

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Olomouc 2012

Petra Schneiderová

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA ANORGANICKÉ CHEMIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VÝROBA, OBOHACOVÁNÍ A POUŽITÍ
URANU VE STŘEDOŠKOLSKÉ VÝUCE
CHEMIE

2012

Vedoucí bakalářské práce:

Prof. RNDr. Jiří Kameníček, CSc.

Vypracovala: Petra Schneiderová

Obor: chemie - matematika

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila literaturu a prameny uvedené v seznamu.

Souhlasím s tím, že práce je prezenčně zpřístupněna na katedře anorganické chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

V Olomouci dne 19. dubna 2012

.....

Petra Schneiderová

Podpis

Děkuji prof. RNDr. Jiřímu Kameníčkovi, CSc. za odborné vedení bakalářské práce, mnoho cenných rad a připomínek a za čas, který mi věnoval.

Děkuji také doc. RNDr. Martě Klečkové, CSc. za konzultaci při rozboru středoškolských učebnic.

Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Danuši Eliášové za poskytnutí vyučovací hodiny chemie na gymnáziu ve Frýdlantu nad Ostravicí a vyzkoušení výukového modulu.

OBSAH

1. ÚVOD.....	7
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	8
2.1. Uran a jeho sloučeniny.....	8
2.1.1. Historie.....	8
2.1.2. Vlastnosti.....	8
2.1.3. Výskyt.....	10
2.1.4. Výroba.....	10
2.1.5. Použití.....	11
2.1.6. Sloučeniny.....	11
2.1.7. Transurany.....	14
2.2. Radioaktivita.....	15
2.3. Jaderná energie.....	19
2.3.1. Řetězová reakce štěpení jader.....	20
2.3.2. Neřízená štěpná reakce - atomová a vodíková bomba.....	22
2.3.3. Řízená štěpná reakce – jaderný reaktor.....	24
2.3.4. Obohacování uranu.....	30
2.3.5. Jaderné havárie.....	31
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	33
3.1. Rozbor středoškolských učebnic chemie.....	33
3.1.1. Společný základ.....	33
3.2. Rozbor středoškolských učebnic fyziky.....	36
3.3. Rozbor zahraničních učebnic.....	37
3.4. Výukový modul.....	37
3.4.1. Informativní dotazník.....	38
3.4.2. Zpracování výsledků dotazníku.....	38

4. DISKUZE	40
4.1. Rozbor středoškolských učebnic	40
4.2. Výukový modul.....	41
5. ZÁVĚR	44
6. SUMMARY	44
7. LITERATURA.....	45
8. PŘÍLOHY	47

1. ÚVOD

Uran je v přírodě vyskytující se radioaktivní chemický prvek patřící mezi aktinoidy. O jeho vlastnostech, výskytu a sloučeninách pojednává obor anorganická chemie. Vzhledem k jeho využití jako energetického zdroje podává mnoho informací také vědní obor fyzika.

Cílem bakalářské práce s názvem „Výroba, obohacování a použití uranu ve středoškolské výuce chemie“ bylo zmapovat současnou situaci ve výuce na středních školách, porovnat obsah používaných učebnic vzhledem k tématu práce a vytvořit takový výukový modul, který by byl využitelný ve výuce chemie na středních školách. V tomto modulu, který je zpracován na DVD, jsou zahrnuty nejen všechny důležité informace ohledně vlastností a použití uranu a jeho sloučenin, ale také jeho využití zejména jako jaderného paliva.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. URAN A JEHO SLOUČENINY

2.1.1. Historie

Uran je stříbrošedý kov, který byl objeven roku 1789 německým chemikem Martinem Heinrichem Klaprothem v nerostu zvaném smolinec, jehož sumární vzorec je U_3O_8 - obrázek 1.



Obr. 1: Smolinec [26]

Prvek byl pojmenován podle planety Uran objevené osm let předtím. Čistý kov byl získán roku 1841 francouzským chemikem Eugene-Melchiorem Peligotem, který jej získal redukcí chloridu uraničitého kovovým draslíkem. V roce 1896 Henri Becquerel objevil u sloučenin uranu nové záření, které bylo později pojmenováno jako radioaktivní. Marie Curie-Sklodovská pak o několik let později z uranové rudy izolovala dva nové radioaktivní prvky, a to polonium a radium.

2.1.2. Vlastnosti

Uran je chemický prvek patřící mezi aktinoidy. V čistém stavu má stříbrošedou barvu (viz. obrázek 2).



Obr. 2: Uran [26]

Fyzikální vlastnosti

Vybrané fyzikální vlastnosti uranu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Fyzikální vlastnosti uranu

Skupenství ¹	Teplota tání (°C)	Teplota varu (°C)	Hustota (g·cm ⁻³)
pevné	1132	3818	19,05

Uran není příliš tvrdý a za normálních teplot se dá kovat a válcovat. Při zahřívání se stává nejdříve křehkým a poté plastickým materiálem. Rozdrcením na jemný prášek se stává pyroforický.

Chemické vlastnosti

Vybrané chemické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Chemické vlastnosti uranu

Atomové číslo	Elektronová konfigurace	Elektronegativita ²	Oxidační stavy ³
92	[Rn]5f ³ 6d ¹ 7s ²	1,38	II, III, IV , V, VI

Uran je lesklý kov, který se však na vzduchu pomalu pokrývá vrstvou oxidů. Při vyšších teplotách je velmi reaktivní. Má značnou afinitu ke kyslíku, již při mírném zahřívání shoří na směsný oxid U₃O₈. Snadno se slučuje s halogeny, s fluorem dává fluorid uraničitý:



Síra reaguje s uranem pomalu při teplotě nad 250 °C za vzniku sulfidu uraničitého:



Uran se slučuje také s vodíkem za vzniku hydridu uranitého:

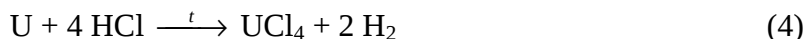


¹ Skupenský stav při normálních podmínkách.

² Podle Paulingovy stupnice [26].

³ Nejstabilnější oxidační stavy jsou znázorněny tučně.

Uran dobře reaguje se zředěnými kyselinami za vzniku vodíku a tvorby uraničitých solí:



2.1.3. Výskyt

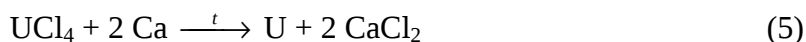
Mezi nejstarší a nejznámější rudu uranu patří smolinec U_3O_8 . Dále se vyskytuje v karnotitu $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ a torbernit $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12 \text{H}_2\text{O}$.

V přírodě je uran obsažen ve směsi izotopů ^{238}U ($99,2739 \pm 0,0007 \%$), ^{235}U ($0,7204 \pm 0,0007 \%$)⁴ a ^{234}U ($0,0057 \pm 0,0007 \%$) [23].

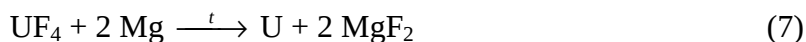
Velká ložiska uranových rud se nacházejí v USA, jižní Africe, Kanadě a Austrálii. V Evropě se uran těží v Sasku, v anglickém Cornwallu, Portugalsku, Norsku a Švédsku. V České republice se dosud uranová ruda těží poblíž Dolní Rožínky u Žďáru nad Sázavou. V minulosti byl významným ložiskem uranových rud Jáchymov.

2.1.4. Výroba uranu

V laboratoři se uran připravuje redukcí chloridu uraničitého UCl_4 , kovovým vápníkem nebo kovovým draslíkem za teploty 700°C :



Čistý kovový uran lze průmyslově získat redukcí UF_4 kovovým vápníkem či hořčíkem:



Uranová ruda se po mechanickém zpracování louží kyselinou sírovou. Z roztoku se poté zaváděním amoniaku získá uranový koncentrát, diuranan amonný $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ tzv. žlutý koláč (yellow cake), který se používá pro výrobu jaderného paliva (viz rovnice 22 - 24).

⁴ Jako zajímavost lze uvést tzv. „Fenomén Oklo“. Jde o to, že v tomto dole (Gabun, Afrika) byl v uranové rudě zjištěn nižší obsah ^{235}U než jinde (ochuzení činilo až 0,3% oproti běžné hodnotě 0,7%). Jedním z možných vysvětlení je, že v této lokalitě v minulosti „pracoval“ jakýsi přírodní jaderný reaktor, který způsobil úbytek štěpitelného ^{235}U . Tuto hypotézu podporuje i fakt, že hornina obsahuje i signifikantně vyšší obsah některých štěpných produktů řetězové reakce [21].

2.1.5. Použití

Největší význam má oxid uraničitý jako palivo do jaderných reaktorů. Další využití nachází pro přípravu plutonia (viz rovnice 21). Uran byl také zneužit ve vojenství k výrobě atomové bomby (viz kapitola 2.3.2).

V menším měřítku se sloučeniny uranu, zejména uranan a diuranan sodný, používají k barvení skla a porcelánu – obrázek 3.



Obr. 3: Skleněné poháry barvené uranovou žlutí [22]

Kovový uran v kombinaci s wolframem je využíván také jako součást protipancéřových projektilů.

2.1.6. Sloučeniny uranu

Uran je schopen tvořit sloučeniny ve všech oxidačních stupních od II po VI. Nejstabilnější je oxidační číslo IV a VI. Vybrané sloučeniny uranu v méně stabilních oxidačních číslech II, III a V jsou shrnuty v tabulce 3.

Tabulka 3. Sloučeniny uranu v oxidačním čísle II, III a V.

Oxidační stupeň	Sloučeniny	
	Název	Vzorec
II	oxid uranatý	UO
III	fluorid uranitý	UF ₃
	chlorid uranitý	UCl ₃
	bromid uranitý	UBr ₃
	jodid uranitý	UI ₃
	hydrid uranitý	UH ₃
V	fluorid uraničný	UF ₅
	chlorid uraničný	UCl ₅

Sloučeniny uranu v oxidačním stavu IV

Oxid uraničitý **UO₂** se získává zahříváním oxidu uranového UO₃ nebo směsného oxidu U₃O₈ v proudu vodíku jako hnědočerný prášek. Je prakticky nerozpustný ve vodě a v alkalických hydroxidech. Nesnadno se také rozpouští v kyselinách, s výjimkou kyseliny dusičné HNO₃, se kterou poskytuje dusičnan uranylu UO₂(NO₃)₂.

Fluorid uraničitý **UF₄** je zelená krystalická látka, která se získává například působením fluoru na kovový uran. Fluorid uraničitý je velmi málo rozpustný ve vodě.

Chlorid uraničitý **UCl₄** tvoří tmavé zelené krystaly. Dá se připravit zahříváním směsi oxidu U₃O₈ s uhlíkem v proudu chloru nebo reakcí oxidu uraničitého UO₂ s chloridem uhličitým CCl₄:



Méně stálý je bromid uraničitý **UBr₄** a jodid uraničitý **UI₄**.

Sulfid uraničitý US_2 vzniká přímým sloučením uranu se sírou nebo reakcí chloridu uraničitého UCl_4 se sulfanem H_2S . Tvoří šedý až černý krystalický prášek.

Sloučeniny uranu v oxidačním stavu VI

Oxid uranový UO_3 lze získat zahříváním dusičnanu uranylu $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ nebo urananu amonného $(\text{NH}_4)_2\text{UO}_4$ jako oranžovo-červený prášek. Oxid uranový je amfoterní – slučuje se se zásaditými oxidy za vzniku urananů a s kyselinami tvoří soli uranylu:



Intenzivním zahříváním přechází na zelenočerný oxid U_3O_8 . Tento oxid se rozpouští v kyselinách za vzniku směsí solí uranylu a uraničitých a je považován za podvojný oxid uraničito-uranový $\text{UO}_2 \cdot 2\text{UO}_3$. Na základě magnetochemických měření však bývá také považován za podvojný oxid uranično-uranový $\text{U}_2\text{O}_5 \cdot \text{UO}_3$ [17].

Fluorid uranový UF_6 je poměrně stabilní bezbarvá krystalická látka. Snadno přechází na plyn sublimací, čehož se využívá při obohacování uranu (viz kapitola 2.3.4.)

Chlorid uranový UCl_6 tvoří tmavě zelené až černé krystaly.

Uranany M_2UO_4 tvoří žluté látky nerozpustné ve vodě. Významné jsou také diuranany $\text{M}_2\text{U}_2\text{O}_7$, z nichž nejznámější je tzv. uranová žlut' $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, která se využívá k barvení skla a porcelánu.

Ze solí uranylu UO_2X_2 (X-halogenidy) jsou nejběžnější hexahydrát dusičnanu uranylu $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a dihydrát octanu uranylu $\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$

2.1.7. Transurany

Prvky následující za uranem se nazývají transurany – viz tabulka 4. Chemicky se tyto látky podobají jak uranu, tak vzácným zeminám. Všechny transurany vystupují v oxidačním stavu III a stabilita tohoto oxidačního čísla roste s rostoucím protonovým číslem. Byly získány uměle jadernými reakcemi, tj. ostřelováním jader těžkých prvků částicemi (neutrony) nebo jinými jádry lehkých prvků (fluor).

Tabulka 4. Transurany

Protonové číslo	Název prvku	Symbol	Protonové číslo	Název prvku	Symbol
93	Neptunium	Np	105	Dubnium	Db
94	Plutonium	Pu	106	Seaborgium	Sg
95	Americium	Am	107	Bohrium	Bh
96	Curium	Cm	108	Hassium	Hs
97	Berkelium	Bk	109	Meitnerium	Mt
98	Kalifornium	Cf	110	Darmstadtium	Ds
99	Einsteinium	Es	111	Roentgenium	Rg
100	Fermium	Fm	112	Copernicium	Cn
101	Mendelevium	Md	113	Ununtrium	Uut
102	Nobelium	No	114	Ununquadium	Uuq
103	Lawrencium	Lr	115	Ununpentium	Uup
104	Rutherfordium	Rf	116	Ununhexium	Uuh

2.2. RADIOAKTIVITA

Je známo, že uran je prvek radioaktivní. Radioaktivita je samovolná přeměna atomových jader nestabilních nuklidů na jiná jádra za vysílání tzv. radioaktivního záření.

Radioaktivita vyskytující se u látek nacházející se v přírodě se nazývá přírozená radioaktivita. Byla objevena roku 1896 francouzským fyzikem Henri Becquerelem právě u sloučenin uranu.

Umělé radioaktivní prvky lze získat bombardováním atomů jadernými částicemi. Tyto částice se po proniknutí elektronovým obalem atomu mohou spojit s jeho jádrem, poruší se stabilní počet protonů a vznikne tak jádro nové. Procesy vzájemného působení jaderných částic a jader atomů, při nichž dochází k přeměně jádra, se nazývají **jadernými přeměnami** (viz kapitola 2.3). Frédéric Joliot-Curie a Iréne Joliot-Curie objevili roku 1934 umělou radioaktivitu a připravili první umělý radioaktivní izotop – izotop fosforu $^{30}_{15}\text{P}$. Získali jej ostřelováním hliníku $^{27}_{13}\text{Al}$ částicemi alfa:



Izotop fosforu $^{30}_{15}\text{P}$ má poločas přeměny pouze 30 sekund a přeměnou β^+ poté přechází ve stabilní izotop křemíku:



První jaderná reakce vůbec byla uskutečněna již roku 1919 Ernestem Rutherfordem při ostřelování dusíku částicemi alfa:



Každá radioaktivní látka se přeměňuje určitou rychlostí. Pro charakteristiku této rychlosti se používá veličina poločas přeměny, která je pro daný izotop konstantní a nedá se prakticky nijak ovlivnit. Poločas přeměny T je čas, během kterého se rozpadne právě polovina jader. Příklady poločasu přeměny některých izotopů jsou znázorněny v tabulce 5.

Tabulka 5. Poločas přeměny vybraných izotopů

Prvek	Izotop	Poločas přeměny
Uran	^{238}U	4,47 miliardy let
Uran	^{235}U	710 milionu let
Cesium	^{137}Cs	30, 17 let
Francium	^{223}Fr	22 minut
Thorium	^{223}Th	0,9 sekund

Přeměna radioaktivních prvků se řídí zákonem radioaktivního rozpadu:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

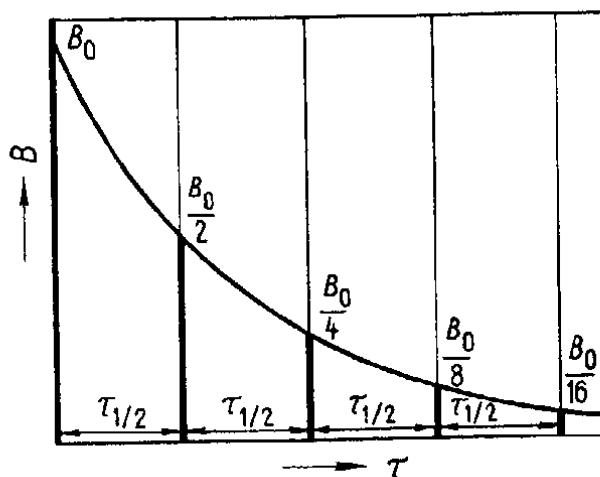
kde je

N_0 = původní množství látky

N = množství látky v čase t

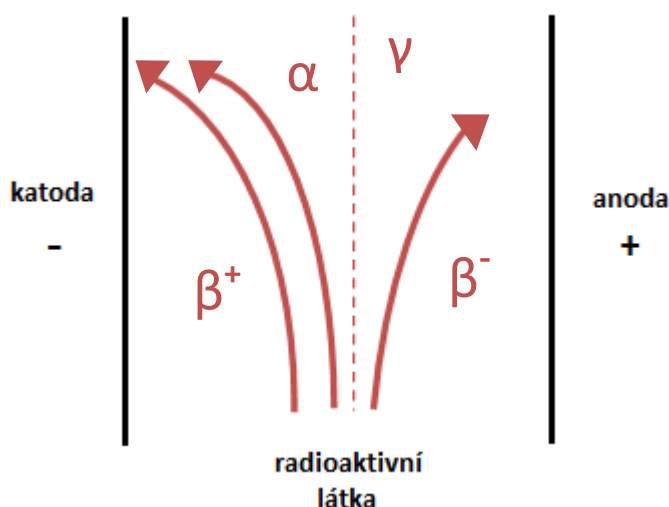
λ = konstanta přeměny charakterizující radioaktivní látku

Pokles počtu nerozpadlých jader radionuklidu v závislosti na čase je znázorněn v grafu na obrázku 4.



Obr. 4: Graf závislosti počtu nerozpadlých jader radionuklidu na čase [20]

Radioaktivní záření dělíme na záření α , β a γ . Na obrázku 5 je znázorněno jejich odchýlení v elektrickém poli.



Obr. 5: Odchýlení záření α , β^+ , β^- a γ v elektrickém poli

Záření α je proud kladně nabitých jader atomů helia. V elektrickém poli se odklání ke katodě. Toto záření má velmi malý dosah a zachytí jej i list papíru.

U záření β , které je pronikavější než záření, se rozlišují dva případy:

- o záření β^- , které je tvořeno proudem elektronů vznikající v jádře rozpadem neutronu:



- o záření β^+ tvořené proudem pozitronů, které vznikají v jádře rozpadem protonu:



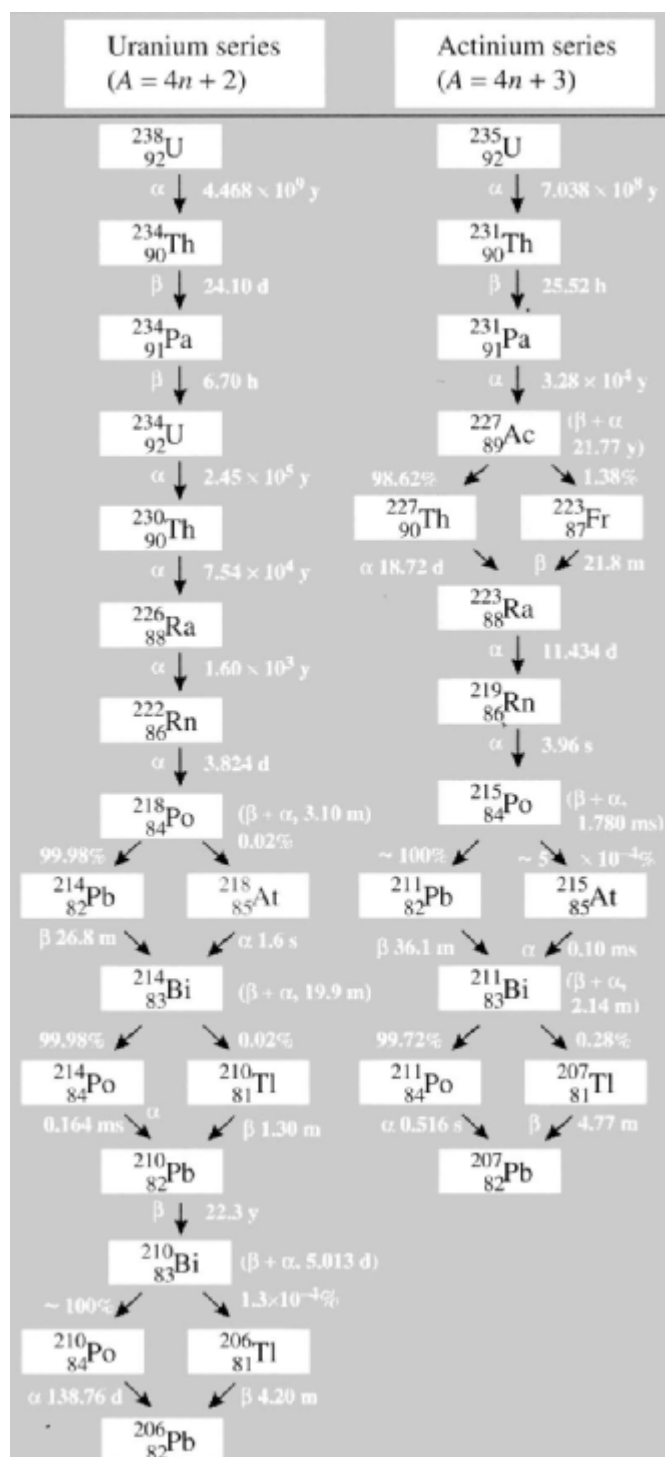
Nejpronikavější je **záření γ** . Jedná se o elektromagnetické záření o velmi krátké vlnové délce, které se v elektrickém poli neodklání.

Rozpadem jader přirozených a umělých radioaktivních prvků se mohou tvořit opět radioaktivní jádra jiných prvků. Posloupnost všech produktů postupných radioaktivních rozpadů se nazývá radioaktivní, též rozpadová řada. Jsou známy čtyři rozpadové řady:

- uranová, začínající ${}^{238}\text{U}$ a končící ${}^{206}\text{Pb}$
- aktiniová - začínající ${}^{235}\text{U}$ a končící ${}^{207}\text{Pb}$

- thoriová - začínající ^{232}Th a končící ^{208}Pb
- neptuniová (umělá) - začínající ^{237}Np a končící ^{209}Bi

Rozpadová řada uranu ^{238}U a ^{235}U je znázorněna na obrázku 6.



Obr. 6: Uranové rozpadové řady [21]

2.3. JADERNÁ ENERGIE

Jadernou energií a přeměnami prvků při jaderných reakcích se zabývá jaderná fyzika. Jaderná reakce je přeměna atomových jader, která je vyvolaná ostřelováním jádra jiným jádrem nebo částicemi.

Energie uvolňované při jaderných přeměnách jsou nesmírně velké. Toto velké množství energie se objasňuje na základě **hmotnostního úbytku (schodku)** a **vazebné energie jádra**. Bylo zjištěno, že celková hmotnost jádra libovolného atomu je menší než součet hmotností jednotlivých nukleonů (protonů a neutronů).

Tento úbytek hmotnosti se označuje jako hmotnostní schodek jádra a lze jej zapsat:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_j$$

m_p = hmotnost protonu

m_n = hmotnost neutronu

m_j = hmotnost jádra

Z = protonové číslo

A = nukleonové číslo

S hmotnostním schodkem souvisí vazebná energie jádra. Je definována jako energie, která se uvolní při vytvoření jádra z jednotlivých nukleonů a číselně se rovná:

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2$$

Δm = hmotnostní schodek

c = rychlost světla ve vakuu ($300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$)

Například nuklid helia ${}^4_2\text{He}$, který se skládá ze dvou protonů a dvou neutronů má hmotnostní úbytek

$\Delta m = 0,03038\text{ m}_u$, kde m_u je atomová hmotnostní jednotka ($m_u = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$)

a vazebnou energii jádra:

$$\Delta W = 4,55 \cdot 10^{-12}\text{ J} = 28,4\text{ MeV}$$

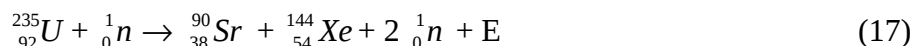
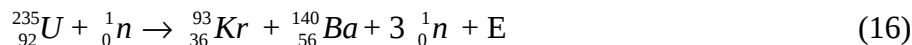
Jaderné přeměny jsou tedy doprovázeny uvolněním energie. Tuto energii lze získávat dvěma způsoby:

- a) štěpením těžkých jader na lehčí jádra
- b) slučováním lehkých jader na jádra těžší

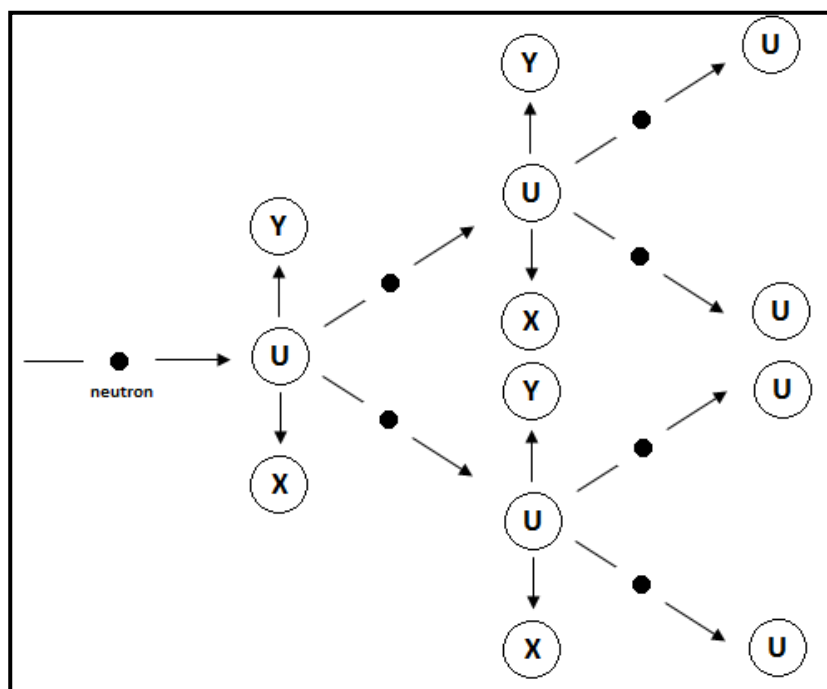
2.3.1. Řetězová reakce štěpení jader

Při štěpení těžších jader vznikají dvě lehčí jádra. Tyto reakce jsou nazývány jako štěpné reakce. Štěpení jader může probíhat působením neutronů nebo nabitých částic. Největší význam pro získávání jaderné energie má použití neutronů. Tato částice nemá náboj a snadno může proniknout do jádra.

Pro průmyslové využití jaderné energie má největší význam štěpná reakce uranu ^{235}U . Štěpení je vyvoláno srážkou letícího neutronu s jádrem atomu uranu. Z místa štěpení se rozletí dvě jádra středně těžkých prvků a dva nebo tři neutrony. Uvolněné neutrony mohou narazit na další jádra atomů uranu a dojde tak k další štěpné reakci za uvolnění obrovské energie (150 – 200 MeV na každé rozštěpené jádro):



Tato reakce štěpení uranu probíhá formou řetězové reakce – obrázek 7.



Obr. 7: Schéma průběhu řetězové reakce [2]

Řetězová štěpná reakce může probíhat dvěma způsoby – neřízeně a řízeně. Při neřízené štěpné reakci zůstávají v soustavě všechny vzniklé neutrony, přičemž jejich počet s časem velmi rychle narůstá a nastane exploze. Tento způsob, kdy se veškerý štěpitelný materiál rozštěpí během zlomku sekundy, byl zneužit pro válečné účely ke konstrukci atomové bomby. Naopak při řízené štěpné reakci musí být rychlé neutrony v klasickém jaderném reaktoru⁵ zpomaleny. Látky sloužící ke zpomalování neutronů se nazývají moderátory. Nejčastěji se k moderování používá voda, těžká voda nebo grafit. Základním technologickým zařízením pro výrobu jaderné energie řízenou štěpnou reakcí jsou jaderné reaktory.

2.3.2. Neřízená štěpná reakce

Jaderné zbraně jsou zbraně hromadného ničení, založené na principu neřízené řetězové reakce. Podle jaderných reakcí, lze jaderné zbraně rozdělit na dva základní typy - zbraně založené na štěpení jader těžkých prvků (atomová bomba) a zbraně založené na slučování (fúzi) jader lehkých prvků (termonukleární zbraně – vodíková bomba).

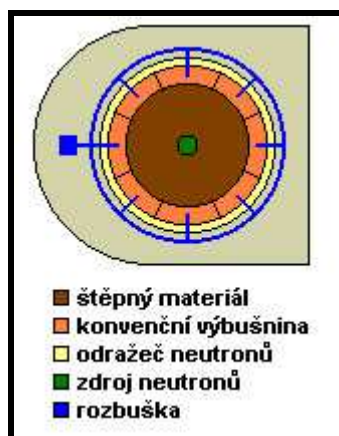
⁵ V poslední době jsou ve vývoji tzv. množivé reaktory („breedery“). K udržení řetězové reakce tyto reaktory používají nezpomalené neutrony, takže reaktor nemá moderátor.

Atomová bomba

Atomová bomba byla poprvé vyvinuta v USA v rámci projektu Manhattan – projekt pro vývoj atomové bomby. Výsledkem byl první pokusný jaderný výbuch, který proběhl 16. července 1945 v poušti Nového Mexika. Již 6. srpna 1945 USA svrhly bombu nazvanou "Little Boy" (Malý chlapec) o ekvivalentu 15 kt TNT na japonské město Hirošimu (výbuch jaderné zbraně odpovídá tisícům až milionům tun klasické výbušniny TNT – trinitrotoluenu). Náplň bomby tvořil ^{235}U . O tři dny později byla na další japonské město Nagasaki svržena druhá bomba nazvaná "Fat Man" (Tlustý muž) o ekvivalentu 22 kt TNT. Náplň této bomby tvořilo ^{239}Pu . Použití těchto zbraní mělo za následek smrt statisíců obyvatel.

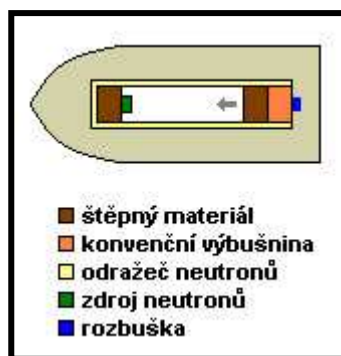
Základní veličinou určující ničivé účinky jaderné zbraně je množství energie uvolňující se při výbuchu. Aby se uskutečnil jaderný výbuch, musí dojít k překročení tzv. kritického množství, tj. nejmenšího množství štěpitelné látky, při které je možná výbušná řetězová jaderná reakce. Závisí to na stupni obohacení, který je v případě uranu vyšší než pro jaderný reaktor (viz kapitola). Jako štěpná látka slouží ^{235}U nebo ^{239}Pu .

Základními složkami jaderných zbraní je náplň, roznětka a obal. Náplň je tvořena štěpným materiálem (uran a plutonium). Je rozdělena na několik částí, přičemž množství látky každé části je menší než kritické a v součtu tvoří množství nadkritické. Pomocí rozněcovacího zařízení se jednotlivé části náplně spojí, hmotnost náplně bude nadkritická, dojde k řetězové reakci, která přejde ve výbuch. Jaderná bomba, kde štěpný materiál tvoří plutonium, se nazývá implozní bomba. Je založena na ztlačení veškeré hmoty do vlastního objemu. Tento typ bomby je znázorněn na obrázku 8.



Obr. 8: Jaderná bomba – implozní typ [27]

Jaderná bomba, kde štěpný materiál tvoří uran, tzv. dělový typ bomby, je na obrázku 9.



Obr. 9: Jaderná bomba – dělový typ [27]

Vodíková bomba

Vodíková bomba je založená na slučování jader atomů vodíku v helium, což je proces probíhající ve hvězdách (tato syntéza se nazývá proton-protonový cyklus) [28]:

1. fáze - vzniká deuterium ${}^2_1\text{H}$, pozitron 0_1e a neutrino ν (elementární částice vznikající při jaderných reakcích):



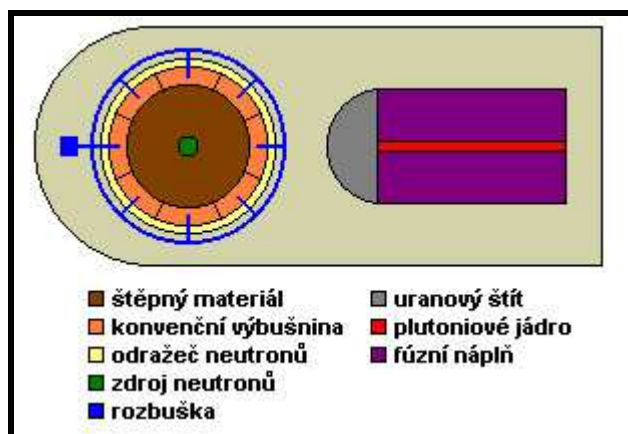
2. fáze - vzniklé deuterium se může spojit s dalším jádrem vodíku ${}^1_1\text{H}$ za vzniku izotopu helia ${}^3_2\text{He}$:



3. fáze – izotop helia ${}^4_2\text{He}$ vzniká spojením dvou jader helia ${}^3_2\text{He}$:



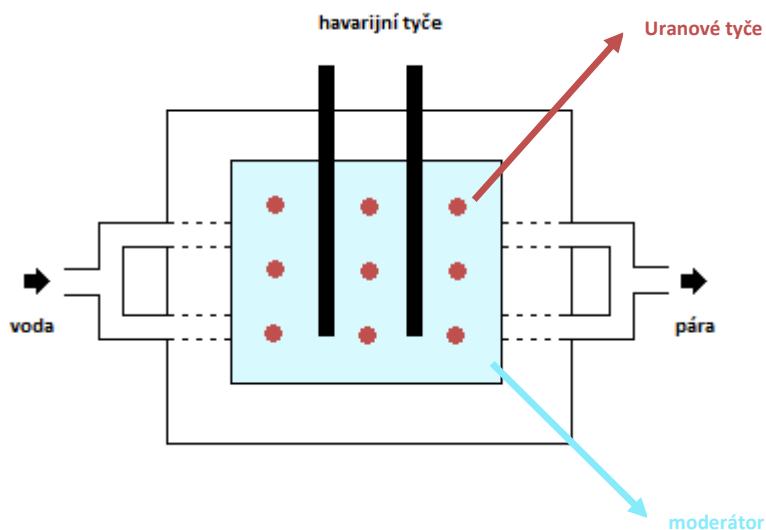
Jako výchozí palivo se tedy používají izotopy vodíku – deuterium a tritium. Vodíková bomba využívá jako iniciátor atomovou bombu, kdy jejím výbuchem dojde k jaderné fúzi izotopů vodíku a uvolní se obrovské množství energie. Výbuch této bomby může odpovídat až několika milionům tun klasické výbušniny TNT. Vodíková bomba je schematicky znázorněna na obrázku 10.



Obr. 10: Vodíková bomba [27]

2.3.3. Řízená štěpná reakce – jaderný reaktor

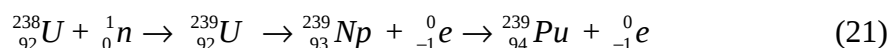
Zařízení, v nichž probíhají řízené řetězové jaderné reakce, se nazývají jaderné reaktory (obrázek 11).



Obr. 11: Schéma jaderného reaktoru

Energie uvolněná při řetězové reakci se mění na tepelnou a ta se pak využívá k získání vodní páry sloužící k pohonu generátorů a výrobě elektrické energie.

Každý reaktor potřebuje ke svému provozu jaderné palivo. Přírodní uran je, jak již bylo zmíněno, směsí tří izotopů, z nichž nejdůležitější jsou ^{238}U (99,3 %) a ^{235}U (0,7%). Obě tato jádra se však chovají vzhledem k neutronům rozdílně. Izotop ^{238}U pohlcuje neutrony střední rychlosti, ale neštěpí se jimi a postupně se mění v plutonium, které se také využívá jako jaderné palivo:



Na rozdíl od předchozího, izotop ^{235}U pohlcuje neutrony pomalé, přičemž se štěpí a vydává další velmi rychlé neutrony. Tyto neutrony se však musí zpomalit. Poté budou značně pohlcovány dalšími jádry ^{235}U a řetězová reakce se tak rozvine (viz rovnice 16, 17). Ke zpomalování neutronů slouží, jak již bylo uvedeno, moderátory. Jako moderátor se nejčastěji používá těžká voda D_2O a grafit. Je možné použít také vodu H_2O , ale to jen v případě, že jaderný reaktor neobsahuje přírodní nýbrž tzv. obohacený uran, ve kterém je zvýšený obsah ^{235}U na 2 - 3 % (viz kapitola 2.3.4).

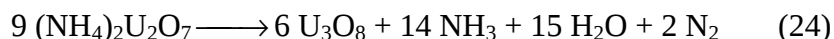
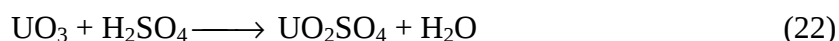
Štěpící se materiál vyžaduje neustálé ochlazování. Jako chladiivo je nejběžnější obyčejná voda, těžká voda nebo oxid uhličitý.

Při konstrukci jaderné elektrárny se klade hlavní důraz na bezpečnost reaktoru. Pro rychlé zastavení štěpné řetězové reakce v jaderném reaktoru jsou připraveny havarijní tyče. Ty jsou vyrobeny z materiálů, které absorbují neutrony, nejčastěji jde o kadmium nebo bór.

Uran musí projít řadou technologických úprav, než je možné ho využít jako paliva v jaderné elektrárně. Složitý technologický proces, zahrnující těžbu uranové rudy, výrobu paliva a jeho energetického využití a uložení vyhořelého jaderného paliva, se nazývá **palivový cyklus**. Jednotlivé fáze jsou následující:

1) Těžba uranové rudy a její chemické zpracování

K získání 1 kg jaderného paliva jsou třeba 2 až 4 tuny uranové rudy. Z vytěžené rudy se chemickou úpravou získá koncentrát žluté barvy (tzv. žlutý koláč - „yellow cake“):



2) Obohacování uranu

Při obohacování uranu je zvýšen obsah izotopu ^{235}U na 2 – 4%. K tomuto procesu je důležité, aby použitá sloučenina uranu byla stabilní v plynné fázi. Pro tyto účely se využívá fluorid uranový UF_6 . Po obohacení se z plynného fluoridu uranu vyrobí pevný oxid uraničitý UO_2 (viz kapitola 2.3.4).

3) Výroba paliva

Slisováním oxidu uraničitého UO_2 vznikají pelety, které se vkládají do vzduchotěsného trubkového obalu tvořeného z vysoce odolného materiálu. Tak vzniká palivový článek, ze kterého se kompletují tzv. kazety. Tyto jaderné kazety tvoří palivo jaderného reaktoru.

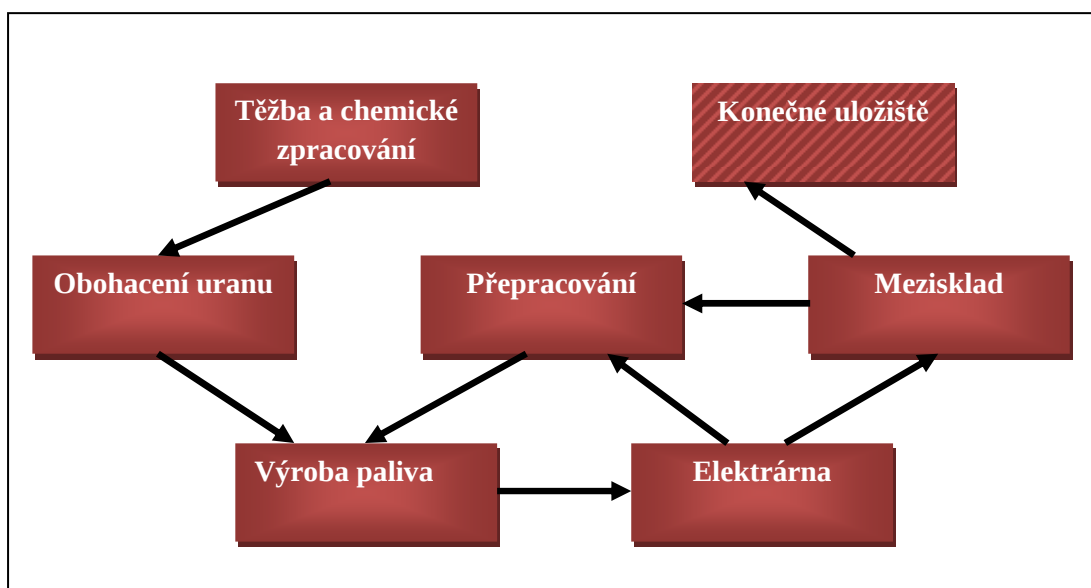
4) Energetické využití jaderného paliva

Jaderný reaktor, ve kterém probíhá řízená štěpná reakce, obsahuje obvykle několik set palivových kazet. Tam uranové palivo vyvíjí obrovské množství tepla, které se využívá k výrobě elektřiny.

5) Uložení vyhořelého jaderného paliva

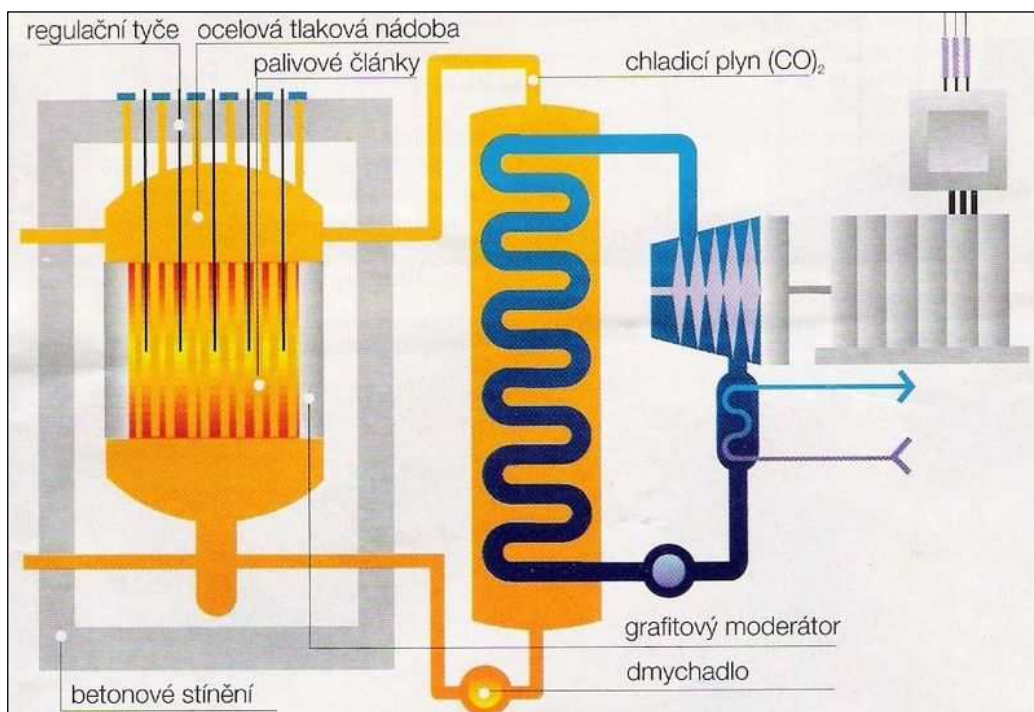
Palivové kazety se musí po určité době vyměnit za čerstvé. Tyto opotřebované palivové kazety se nazývají vyhořelým palivem. Použité palivo se vyjme z reaktoru a pod hladinou vody se kanálem převezde do bazénu. Zde je uloženo několik let. Poté se ukládá v **meziskladu**. Zde může čekat na definitivní uložení v **konečném uložišti**, nebo může být **přepracováno** na palivo nové. Tento proces je velmi technicky i ekonomicky náročný.

Zjednodušené schéma celého procesu nazývaného palivový cyklus je na obrázku 12.



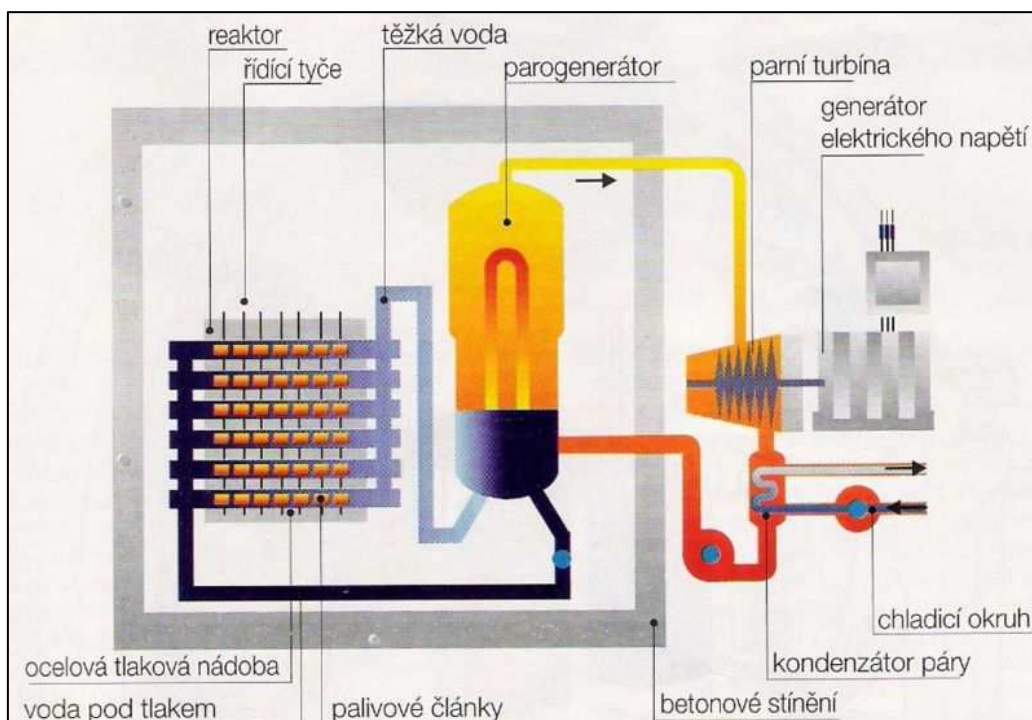
Obr. 12: Palivový cyklus

Dnes se užívá několik typů reaktorů, které lze dělit na základě různých kritérií. Podle použitého moderátoru lze reaktory dělit na grafitové, těžkovodní a lehkovodní. Reaktory moderované grafitem používají jako palivo obohacený uran. Reaktor tohoto typu se nacházel v jaderné elektrárně Černobyl a je znázorněn na obrázku 13.



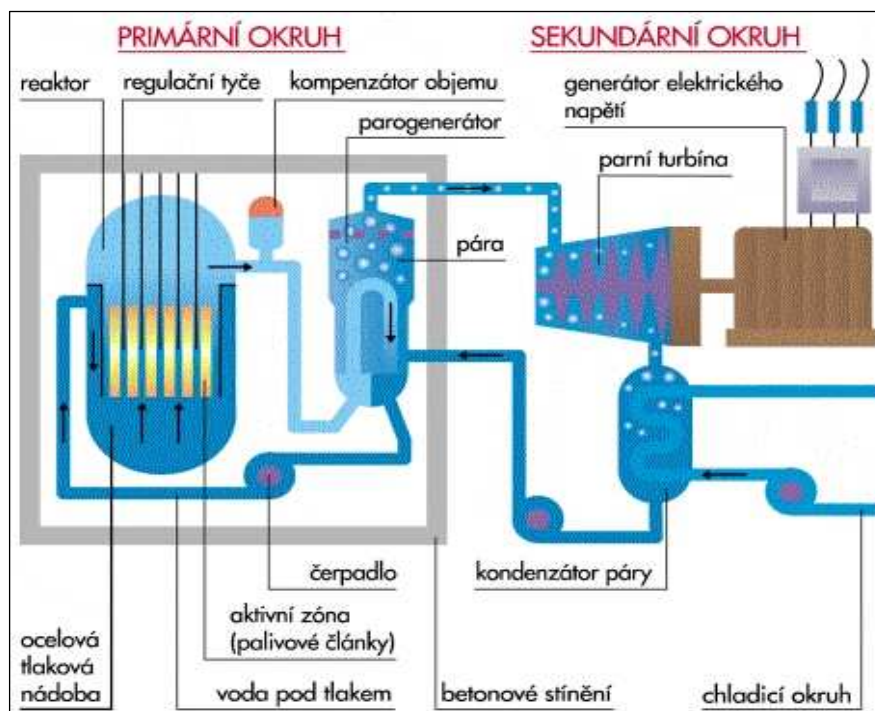
Obr. 13: Reaktor moderovaný grafitem (dvouokruhové schéma) [26]

U těžkovodního reaktoru je palivem přírodní uran, chladičem a moderátorem je těžká voda D_2O . Jedním z těžkovodních reaktorů je reaktor Candu, který byl vyvinut v Kanadě. Tento reaktor je znázorněn na obrázku 14.

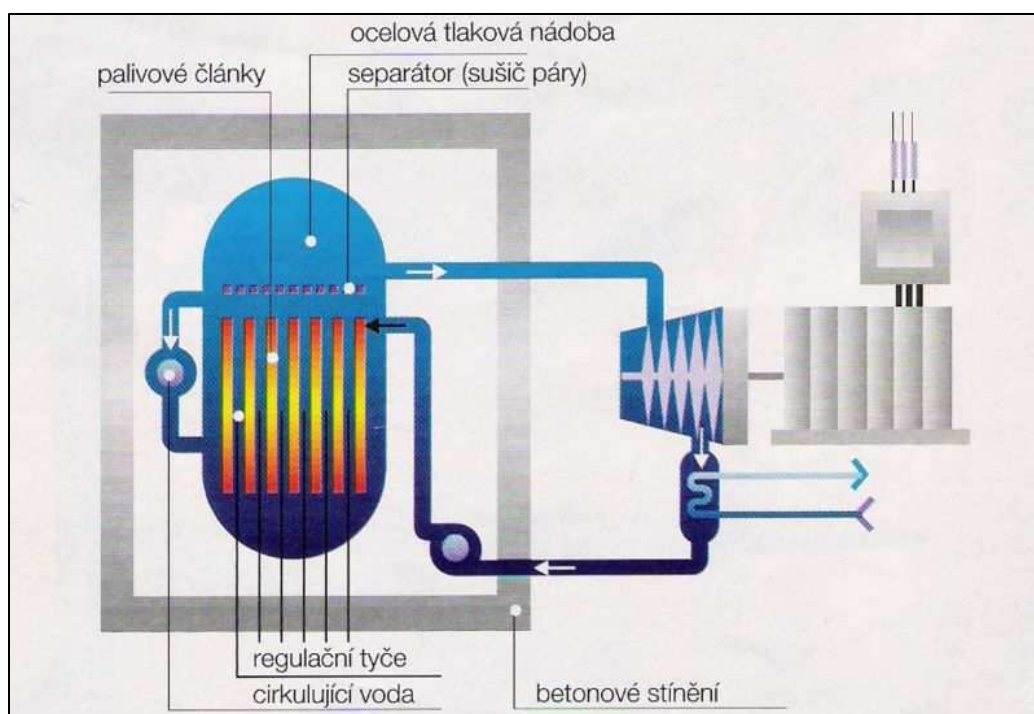


Obr. 14: Těžkovodní reaktor (dvouokruhové schéma) [26]

Lehkovodní reaktory najdeme v obou jaderných elektrárnách v České republice (Dukovany, Temelín). Palivem zde je obohacený uran. Nejrozšířenějším typem lehkovodních reaktorů je PWR (*Pressurized water reactor*) – obrázek 15, který pracuje v jaderné elektrárně Dukovany a v jaderné elektrárně Temelín. Reaktor je chlazen vodou o vysokém tlaku, která také slouží jako moderátor reakce. Tyto reaktory jsou dvouokruhové. Dalším typem lehkovodních reaktorů je BWR (*Boiling water reactor*) - obrázek 16, které jsou jednookruhové. Tento reaktor se nachází např. v jaderné elektrárně Fukušima v Japonsku.



Obr. 15: Lehkovodní tlakový reaktor PWR [26]



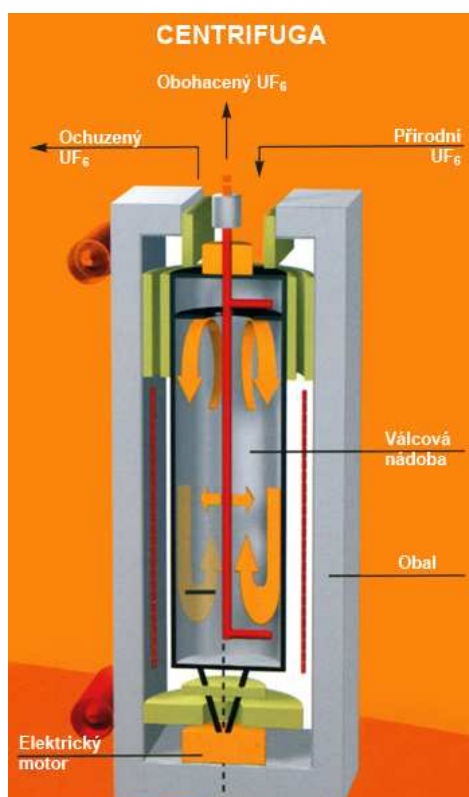
Obr. 16: Lehkovodní reaktor s vroucí vodou BWR [26]

2.3.4. Obohacování uranu

Obohacování uranu je jednou z nejdůležitějších částí palivového cyklu. Při obohacování pro mírové účely je zvýšen podíl izotopu ^{235}U na 2 - 4 %. Oba dva izotopy uranu vykazují prakticky stejné chemické vlastnosti, avšak liší se ve vlastnostech fyzikálních. Proto se k obohacování uranu využívají moderní fyzikální metody. Nejpoužívanější pro obohacování jsou metody plynové difúze, plynové odstředivky nebo nejmoderněji pomocí laserů.

První metoda je založena na difúzi fluoridu uranového porézní membránou, kterou snadněji prochází fluorid obsahující lehčí izotop ^{235}U . Proces je třeba pomocí čerpadel mnohonásobně opakovat, aby ve výsledném produktu byl více zastoupen izotop ^{235}U . Tato metoda je mimořádně energeticky náročná - proces probíhá za vysokých teplot a kompresory protlačující plyn membránami spotřebují mnoho energie.

Druhá metoda využívá tzv. plynové centrifugy (odstředivky) – obrázek 16. Jedná se o zařízení válcovitého tvaru, kde na okrajích se nachází břity. Při vysokých otáčkách zde dochází k oddělení molekul s těžším izotopem ^{238}U a molekul s izotopem ^{235}U v důsledku působení odstředivé síly.



Obr. 16: Centrifuga pro obohacování uranu [29]

Metoda obohacování uranu pomocí laserů je pokládána za nejlevnější a nejvýkonnější známou metodu obohacení uranu ve srovnání s dosud používanými centrifugami a difúzní metodou. Je založena na rozdílné schopnosti různých izotopů absorbovat světlo o určitých frekvencích [31].

2.3.5. Jaderné havárie

Riziko havárie jaderné elektrárny je úměrné úrovni tzv. „jaderné bezpečnosti“. Ta je definována jako stav a schopnost jaderného zařízení i schopnost obsluhy elektrárny zajistit, aby se proces získávání energie štěpením nikdy nevymknul regulaci a řízení, a aby všechny radioaktivní látky, které v tomto procesu vznikají, nemohly proniknout do biosféry [30].

Pokud dojde k jaderné havárii, pak je její vážnost určována pomocí Mezinárodní stupnice jaderných událostí INES (The International Nuclear Event Scale), kterou zavedla Mezinárodní agentura pro atomovou energii – obrázek 17.



Obr. 17: Mezinárodní stupnice jaderných událostí INES [23]

0 - Odchylka (nejběžnější provozní poruchy, běžně zvládnutelné)

1 - Anomálie (poruchy nepředstavující riziko, ale odhalující nedostatky bezpečnostních opatření)

2 - Nehoda (technické poruchy, které neovlivní bezpečnost elektrárny přímo, ale mohou vést k přehodnocení bezpečnostních opatření)

3 - Vážná nehoda (ozáření obsluhy elektrárny nad normu)

4 - Havárie bez vážnějšího vlivu na okolí (částečné poškození aktivní zóny, ozáření obsluhy elektrárny)

5 - Havárie s rizikem vlivu na okolí (vážnější poškození aktivní zóny, nutnost částečné evakuace okolí)

6 - Těžká havárie (velký únik radioaktivních látek mimo objekt, nutnost využít havarijních plánů k ochraně okolí).

7 – Velmi těžká havárie (značný únik radioaktivních látek, okamžité zdravotní následky, dlouhodobé ohrožení životního prostředí).

Mezi nejzávažnější havárie, které byly označeny stupněm 7, patří jaderná havárie v Černobyli a Fukušimě. Černobylská havárie se stala 26. dubna 1986 v jaderné elektrárně na Ukrajině. Vznikla v důsledku experimentu, který měl ověřit, zda setrvačný doběh elektrického generátoru stačí k provozu čerpadel chladicího okruhu. V průběhu tohoto experimentu však došlo k několika vážným chybám (např. vyřazení havarijních tyčí) a lidským selháním, v jejichž důsledku se stal reaktor nestabilní a nastalo jeho přehřátí (rozžhavení grafitu) s následným klasickým výbuchem vodíku, vzniklého reakcí vodní páry s grafitem. Po explozi Černobyli se stalo největším nebezpečím pro okolí radioaktivní zamoření terénu řadou látek, mezi které patřily radioaktivní vzácné plyny, radioaktivní izotop jódu ^{131}I s poločasem rozpadu 8 dnů a radioaktivní izotopy Cs, Sr s delšími poločasy (desítky let).

K havárii jaderné elektrárny Fukušima v Japonsku došlo 11. března 2011. Při zemětřesení zasáhla elektrárnu vlna tsunami, následkem čehož byla vyřazena čerpadla chladicího okruhu a tím selhalo chlazení reaktorů a došlo tak k přehřátí aktivní zóny a úniku radiace.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Obsahem experimentální části bakalářské práce je rozbor středoškolských učebnic zaměřený na téma Uran a jeho využití. Jedná se o velmi rozsáhlé téma, proto byl proveden rozbor jak učebnic chemie, tak i učebnic fyziky. Pro porovnání byl proveden také rozbor vybraných zahraničních učebnic. Dále byl v rámci experimentální části vytvořen výukový modul, který je ve formě DVD uveden v příloze.

3.1. Rozbor středoškolských učebnic chemie

Středoškolské učebnice můžeme rozdělit podle toho, na jakém typu středních škol se používají:

- gymnázia, viz literatura [1-4]
- střední školy chemické, viz literatura [5]
- ostatní střední školy a učiliště, viz literatura [6-8]

V dnešní době existuje mnoho učebnic, které pedagog může používat v hodinách chemie na gymnáziích či středních školách. Byly vybrány nejpoužívanější učebnice chemie a fyziky a bylo v nich porovnáno učivo vztahující se ke sledovanému tématu.

3.1.1. Společný základ

a) Vlastnosti a výskyt

Ve většině učebnic pro gymnázia jsou uvedeny základní vlastnosti uranu. Zmiňují, že uran je stříbrošedý radioaktivní kov patřící mezi aktinoidy. Rovněž se ve většině učebnic nachází i informace o výskytu uranu ve směsi dvou izotopů ^{238}U a ^{235}U . O výskytu uranu ve smolinci U_3O_8 pojednává pouze učebnice [1] a [4]. Informace o vlastnostech a výskytu uranu v učebnicích pro ostatní střední školy jsou velmi strohé.

b) Výroba

O výrobě uranu se dozvídáme pouze v učebnici [4] avšak není zde žádná chemická rovnice. Daná učebnice zmiňuje výrobu uranu redukcí fluoridu uraničitého kovovým vápníkem nebo hořčíkem.

c) Použití (zneužití)

Nejdůležitější je využití uranu jako jaderného paliva. Učebnice [2] a [4] vysvětlují princip řízené štěpné reakce a v souvislosti s tím popisují jaderný reaktor a reakce v něm probíhající. Učebnice [4] se také detailněji zabývá principem neřízené štěpné reakce a výbuchem jaderné pumy. V ostatních učebnicích nebyly nalezeny žádné informace z hlediska jaderného využití uranu.

d) Obohacování

O principu obohacování uranu se zmiňují téměř všechny učebnice určené pro studenty gymnázií. Definují zde obohacený uran, ve kterém je zvýšen obsah izotopu ^{235}U na 2-4 %. Učebnice [2] popisuje mimo jiné možné postupy obohacování. Uvádí metodu, založenou na difúzi plynného fluoridu uranového porézní membránou a rovněž metodu využívající plynové centrifugy.

Na základě provedené analýzy nejpoužívanějších středoškolských učebnic byla vytvořena tabulka č. 6, kde najdeme přehled informací o uranu v jednotlivých učebnicích.

Tabulka 6. Přehled informací o uranu v učebnicích chemie

Název učebnice CHEMIE		Vlastnosti a výskyt	Výroba	Použití		Oboha- cování uranu
				Řízená štěpná reakce (jaderný reaktor)	Neřízená štěpná reakce (atomová bomba)	
[1]	Chemie obecná a anor- ganická pro gymnázia	●	-	-	-	○
[2]	Chemie pro čtyřletá gymnázia II. díl	○	-	●	○	●
[3]	Chemie pro IV. ročník gymnází	-	-	-	-	○
[4]	Přehled středoškolské chemie	●	○	●	○	○
[5]	Obecná a anorganická chemie	-	-	-	-	-
[6]	Chemie pro střední školy	-	-	-	-	-
[7]	Chemie obecná a anorganická	○	-	-	-	-
[8]	Učebnice středoškolské chemie a biochemie	○	-	-	-	○

Vysvětlivky:

- vysvětlení principu
- pouze zmínka
- neobsaženo

Celkové zhodnocení, která z učebnic je pro vysvětlení problematiky daného tématu nejvhodnější, je provedeno v diskusi.

3.2. Rozbor středoškolských učebnic fyziky

V učebnicích fyziky, viz literatura [9-13], ať už ve středoškolských či gymnaziálních, vždy najdeme informace o uranu, a to v souvislosti s jadernou energií. Téměř ve všech učebnicích se nachází základní schéma jaderného reaktoru nebo jaderné elektrárny. Detailně je zpracována učebnice [13], popisující velmi názorně děje probíhající v jaderném reaktoru.

Přehled informací o uranu v učebnicích fyziky najdeme v tabulce 7.

Tabulka 7. Přehled informací o uranu v učebnicích fyziky

Název učebnice FYZIKY		Vlastnosti a výskyt	Výroba	Použití		Obohacování uranu
				Řízená štěpná reakce (jaderný reaktor)	Neřízená štěpná reakce (atomová bomba)	
[9]	Fyzika mikrosvěta, fyzika pro gymnázia	-	-	●	○	-
[10]	Přehled středoškolské fyziky	-	-	●	○	-
[11]	Fyzika - přehled středoškolské fyziky	-	-	-	-	-
[12]	Fyzika pro střední školy II	-	-	●	○	-
[13]	Fyzika pro III. Ročník středních všeobecně vzdělávacích škol	-	-	●	-	-

Vysvětlivky:

- vysvětlení principu
- pouze zmínka
- neobsaženo

3.3. Rozbor zahraničních učebnic

Pro srovnání byla prostudována také vybraná zahraniční literatura. Systém školství v zahraničí je rozdílný než v České republice a učebnice jsou podle toho také strukturované. V učebnici „Advanced chemistry for you“ [14], která je určena pro studenty vyšších škol⁶ ve Velké Británii, byla nalezena pouze zmínka o uranu, a to v souvislosti s jadernou energií.

Další učebnice: „Chemistry A-Level“ [15], která je rovněž určena pro studenty středních škol a vyšších škol ve Velké Británii, zahrnuje všechny části chemie. Je doplněna mnoha ilustračními obrázky a tabulkami. O uranu se dozvídáme zejména v souvislosti s jadernou chemií. Je zde schéma řízené štěpné reakce, část kapitoly je věnována také jadernému reaktoru a atomové bombě.

Z německy psaných knih byla vybrána rakouská učebnice: „Chemie 1 für die Oberstufe“ [15]. V této učebnici byly nalezeny jen základní informace o uranu, pouze v souvislosti s radioaktivitou a rozpadovými řadami. Informace o vlastnostech, výskytu, výrobě a použití uranu nebyly ani zmíněny.

3.4. Výukový modul

Na základě výše uvedených poznatků byl navržen výukový modul zabývající se problematikou výroby, použití a obohacování uranu. Modul je ve formě prezentace (Microsoft PowerPoint) uveden v příloze a obsahuje animace, obrázky a názorná schémata. Z důvodu náročnosti tématu je modul rozdělen na dvě úrovně – vyšší úroveň je určena zejména pro gymnázia a je v rozsahu dvou vyučovacích hodin, nižší úroveň je pro ostatní střední školy v rozsahu jedné vyučovací hodiny.

Nad rámec zadání bakalářské práce byl výukový modul také prakticky vyzkoušen v prvním ročníku gymnázia ve Frýdlantu nad Ostravicí. Pro zpětnou vazbu byl vytvořen jednoduchý dotazník.

⁶ Vyšší vzdělání je ve Velké Británii zakončeno formou A-level, tedy zkouškou zhruba na úrovni naší maturity.

3.4.1. Informativní Dotazník

Dotazník byl anonymní a hodnocení bylo použito pouze v rámci této bakalářské práce. Na základě vyplněných dotazníků a diskuse se studenty bylo možné posoudit a upravit úroveň vytvořeného výukového modulu a rovněž oblíbenost této formy výuky (prezentace), o čemž je zmíněno v diskuzi.

Dotazník:

1/ Jak hodnotíte úroveň vyučovací hodiny?

velmi pozitivně 1 2 3 4 5 velmi negativně

2/ Jak jste byl/a spokojen/a s obsahem prezentace?

velmi pozitivně 1 2 3 4 5 velmi negativně

3/ Jak jste byl/a spokojen/a s používanými metodami výuky?

velmi pozitivně 1 2 3 4 5 velmi negativně

4/ Byla prezentace pro Vás dost zajímavá?

určitě ano 1 2 3 4 5 určitě ne

5/ Byla prezentace pro Vás dost informativní?

určitě ano 1 2 3 4 5 určitě ne

6/ Vaše další připomínky, případně doplnění k výše uvedeným otázkám.

3.4.2. Zpracování výsledků dotazníku

Výsledky dotazníku byly zpracovány do tabulky a grafu. Pro jednodušší znázornění bylo ke každé z uvedených možností odpovědi přiřazeno procentuální zastoupení – jestliže student odpověděl na danou otázku zakroužkováním čísla jedna (velmi pozitivně), jeho

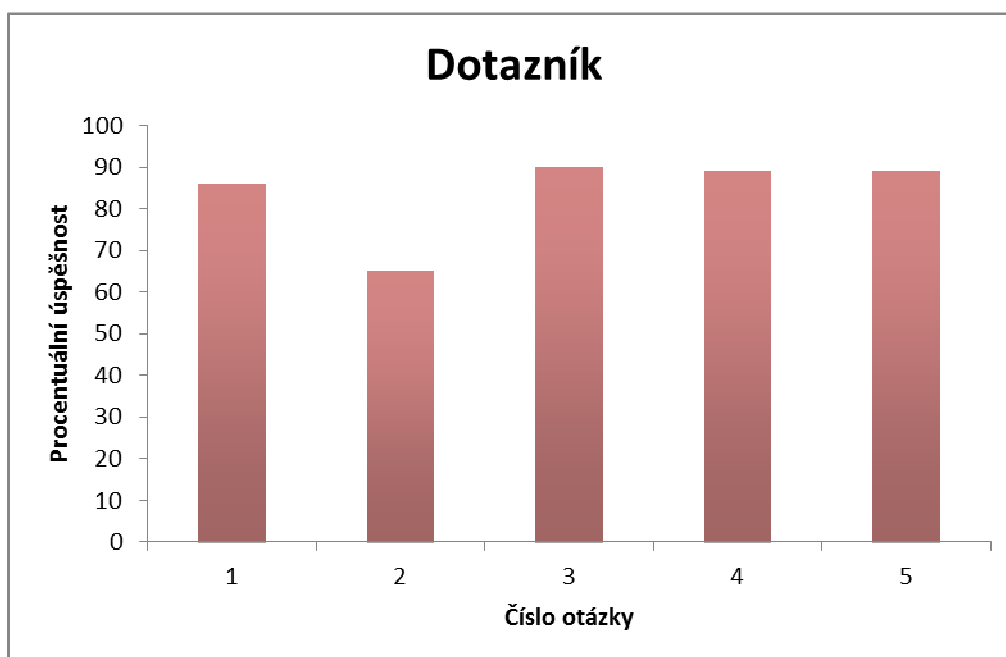
spokojenost byla 100 %. Zakroužkováním odpovědi čísla tři byl student spokojen na 50 %. Poté byl vypočítán aritmetický průměr všech procentuálních zastoupení u každé otázky. Na volnou otázku odpověděli pouze dva studenti, kteří napsali, že to bylo nadměru informativní a výklad byl pro ně rychlý.

Počet odevzdaných dotazníků: 31

Tabulka 8. Výsledky dotazníku

Možnost/číslo otázky	1	2	3	4	5
1 (velmi pozitivně - 100 %)	15	19	20	20	17
2 (pozitivně - 75 %)	15	7	10	8	14
3 (středně - 50 %)	1	1	1	3	0
4 (negativně - 25 %)	0	4	0	0	0
5 (velmi negativně - 0 %)	0	0	0	0	0
Procentuální úspěšnost	86 %	65 %	90 %	89 %	89 %

Graf 1. Výsledky dotazníku



4. DISKUZE

Pro přehlednost je diskuze rozdělena do dvou částí. První část pojednává o rozboru středoškolských učebnic a druhá část o vytvořeném výukovém modulu.

4.1. Rozbor středoškolských učebnic

Cílem bakalářské práce s názvem: „Výroba, obohacování a použití uranu ve středoškolské výuce chemie“ byl mimo jiné rozbor středoškolských učebnic vzhledem k tématu. O využití uranu z hlediska energetiky pojednává také vědní obor fyzika, musely být prostudovány také středoškolské učebnice fyziky. K rozboru středoškolských učebnic byla použita literatura [1-16]. Podle tabulek 6 a 7, které jsou uvedeny u jednotlivých rozborů učebnic je zřejmé, že každá učebnice se zabývá podrobně něčím jiným. Zatímco v učebnicích fyziky se nacházejí informace o uranu v souvislosti s jeho využitím jako jaderného paliva, tak v učebnicích chemie jsou poznatky zejména o jeho vlastnostech, výskytu, výrobě a sloučeninách.

V učebnicích **fyziky** [9-13], ať už ve středoškolských či gymnaziálních, vždy najdeme informace o uranu, a to v souvislosti s jadernou energií. Právě pro průmyslové využití jaderné energie má význam štěpení nuklidu ^{235}U . Téměř ve všech učebnicích nacházíme schéma jaderného reaktoru a popis všech dějů, které v reaktorech probíhají. O obohacování uranu jsou uvedeny pouze velmi stručné a strohé informace.

V učebnicích **chemie** pro gymnázia [1-4] se setkáváme se základní charakteristikou uranu. Ve většině učebnic nalezneme informace o výskytu uranu, jeho chemických vlastnostech a jeho použití, zejména jako jaderné palivo. Velmi rozsáhlá a dobře zpracována je učebnice: „Přehled středoškolské chemie“ [4], která se používá na gymnáziích zejména jako doplňující studijní text, pro přípravu k maturitě či přijímacím zkouškám na vysokou školu. Nacházíme zde opět základní charakteristiku uranu. Podrobněji je však vypracováno použití uranu jak pro mírové, tak i válečné účely. Najdeme zde vysvětlení principu řízení štěpné reakce a v souvislosti s tím popis jaderného reaktoru a reakce v něm probíhající. Část kapitoly je také věnována neřízené štěpné reakci a výbuchu jaderné pumy.

Střední průmyslové školy chemické jsou zaměřené zejména na výrobu a získání praktických dovedností potřebných pro práci v laboratoři i v provozu. V učebnici chemie [5] určené pro tento typ školy, se s uranem setkáváme jen v souvislosti s poznáváním periodické tabulky prvků. Informace o jeho vlastnostech, výskytu, výrobě či využití zde nenajdeme. Učebnice je zaměřena na základní poznatky anorganické chemie, zejména na s - prvky, p - prvky a d - prvky.

V učebnicích chemie [6-8] určených pro střední školy nechemického zaměření a pro učiliště je anorganická chemie jen na elementární úrovni. Nejsou zde tedy žádné poznatky o uranu.

Na základě provedeného rozboru učebnic chemie bych jako nejvhodnější pro výuku tématu: „Výroba, obohacování a použití uranu doporučila učebnici [2] a [4]. I přesto, že jsou tyto učebnice uvedeny jako dostačující pro výuku chemie, z hlediska aktuálnosti tématu nejsou uceleně zpracované a současný stav není zcela uspokojivý. Dané téma je probíráno odděleně a stručně v hodinách fyziky nebo chemie, přičemž je vždy zdůrazněno jen jedno hledisko (fyzikální či chemické). Z tohoto důvodu byl vypracován souhrnný výukový modul zohledňující oba pohledy.

Zahraniční učebnice jsou většinou zpracovány odlišně, než je obvyklé. Rozdílná výuka v zahraničních zemích se odráží na strukturovanosti učebnic. Pro rozbor byly vybrány dvě učebnice používané ve Velké Británii [14-15] a jedna používaná v Rakousku [16]. Ve všech prostudovaných učebnicích byla nalezena vždy alespoň zmínka o uranu, ve většině případů v souvislosti s jadernou energií.

4.2. Výukový modul

Odborná část bakalářské práce obsahuje informace o základních vlastnostech a výskytu uranu, výrobě, sloučeninách a jeho využití, zejména jako jaderné palivo. V této části bakalářské práce je někdy využit tzv. petit – drobnější písmo. Jsou označeny tak poznatky, které jsou podle mého názoru méně důležité a nemusejí být nutně probírány. Z této části byl v souladu se zadáním bakalářské práce vytvořen výukový modul ve formě prezentace (Microsoft Powerpoint), dokonce nad rámec zadání práce ve dvou „úrovních“ obtížnosti. Tento modul je uveden v příloze.

Vypracovaný výukový modul se dá využít jako pomůcka při výuce příslušného učiva chemie na středních školách. Rovněž nad rámec zadání byl tento modul také prakticky vyzkoušen v hodině chemie prvního ročníku gymnázia ve Frýdlantu nad Ostravicí. Po vyzkoušení, reakcích studentů a následné konzultaci s vyučujícím se dospělo k závěru, že by měl být modul přepracován. Téma se ukázalo být pro žáky jako jedno z náročnějších, a tudíž zabralo více času, než jsme předpokládali. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto původní powerpointovou prezentaci modul zkrátit a upravit do dvou úrovní (tyto však z časových důvodů již nebyly prakticky vyzkoušeny ve výuce).

Vyšší úroveň modulu je určena zejména pro gymnázia. V této verzi jsou zahrnuty podrobné informace o historii objevení uranu, jeho fyzikálních a chemických vlastnostech, výskytu, výroby, použití a sloučeninách. Část modulu se věnuje jaderné energii. Pro lepší názornost je neřízená štěpná reakce doplněna krátkým videem výbuchu jaderné bomby. Řízená štěpná reakce je zase doplněna o animaci jaderné elektrárny včetně jaderného reaktoru, což se velmi osvědčilo ve výuce.

Nižší úroveň je určena pro ostatní střední školy, kde není chemie hlavním předmětem. V této verzi jsou jen základní informace, například chybí zde informace o historii objevení uranu, podrobných fyzikálních vlastnostech (teplota tání, teplota varu apod.), podrobných chemických vlastnostech (elektronegativita) nebo o sloučeninách.

Výukový modul a jeho varianty jsou navrženy tak, aby podrobnější verze byla v rozsahu cca dvou vyučovacích hodin, zjednodušená verze pak pouze v rozsahu cca jedné vyučovací hodiny. Powerpointová prezentace umožňuje vyučujícímu některé redundantní informace vynechat jednoduchým prokliknutím dle potřeby.

K zjištění, jak se žákům výuka tématu líbila, byl vytvořen jednoduchý dotazník. Výsledky tohoto dotazníku, které jsou zpracovány do tabulky a grafu, vypovídají o tom, že hodina pro studenty byla zajímavá a úroveň hodnotili velmi pozitivně. Po vyhodnocení dotazníku bylo na základě procentuálního zastoupení zjištěno, že s obsahem prezentace byli žáci spokojeni nejméně. To se rovněž odrazilo i ve volné otázce, kde dva studenti napsali, že prezentace byla velmi rozsáhlá a výklad byl pro ně rychlý. Forma výuky prostřednictvím powerpointové prezentace se však velmi osvědčila a většina žáků by uvítala, kdyby takto koncipované moduly byly zařazeny do výuky chemie. Studenti měli možnost na základě animací, obrázků a názorných schémat snadněji pochopit dané téma a hodina pro ně byla zajímavější. Také se ukázalo, že tento způsob výuky vede k většímu zájmu o chemii, což se

projevilo jejich aktivitou přímo v hodině. Obecně lze konstatovat, že by bylo vhodné udělat více takových modulů, které by směřovaly ke zlepšení kvality výuky na středních školách.

Pro srovnání klasické a modulové výuky by bylo samozřejmě třeba ještě provést další srovnávací testy ve více skupinách žáků, což však už zjevně přesahuje rámec zadání bakalářské práce a ani nemohlo být z časových důvodů provedeno.

5. ZÁVĚR

V bakalářské práci byl proveden rozbor středoškolských učebnic chemie a fyziky z hlediska výroby, obohacování a použití uranu. Bylo zjištěno, že v nich je toto téma zpracováno různým způsobem. V některých učebnicích, zejména gymnaziálních ([2] a [4]), jsou informace poměrně dostačující, avšak v jiných ([5] a [6]) nenalezneme ani zmínku o daném tématu.

Na základě těchto poznatků byl vypracován výukový modul: „Výroba, obohacování a použití uranu ve středoškolské výuce chemie“ ve formě prezentace (Microsoft PowerPoint), který je uveden v příloze ve dvou úrovních obtížnosti. Tento modul, který byl rovněž vyzkoušen v hodině chemie na gymnáziu ve Frýdlantu nad Ostravicí. Ukázalo se, že modul může být vhodnou pomůckou ve výuce a sloužit tak k názornějšímu pochopení dané problematiky.

6. SUMMARY

An analysis of high school textbooks of Chemistry and Physics from the point of view of production, enrichment and use of uranium has been made for this bachelor thesis. In the textbooks this topic is composed in different ways. In some textbooks, especially in those used for grammar schools, the information is quite sufficient, however some do not mention anything about the given topic.

On the basis of these findings, a teaching module was developed: 'The production, enrichment and use of uranium taught in high school Chemistry education', in the form of a presentation (Microsoft PowerPoint), which can be found in the appendix. This module, which has been tested in a Chemistry lesson at a grammar school, should be used as a teaching aid to provide an illustrative understanding of the topic.

7. LITERATURA

- [1] DUŠEK B., FLEMR V. *Chemie pro gymnázia I. (Obecná a anorganická)*. Praha : SPN, 2001.
- [2] HONZA J., MAREČEK A. *Chemie pro čtyřletá gymnázia 1., 2. Díl*. Olomouc : Nakladatelství Olomouc, 1998.
- [3] ČIPERA J. a kol. *Chemie pro IV. ročník gymnázia*. Praha : SPN, 1979.
- [4] VACÍK J. *Přehled středoškolské chemie*. Praha : SPN, 1995.
- [5] KOVALČÍKOVÁ T. *Obecná a anorganická chemie*. Ostrava : Klouda, 2001.
- [6] BANÝR J., BENEŠ P. *Chemie pro střední školy*. Praha : SPN, 2001.
- [7] ŠRÁMEK V. *Chemie obecná a anorganická*. Olomouc : Nakladatelství Olomouc, 2005.
- [8] PEČ P., PEČOVÁ D. *Učebnice středoškolské chemie a biochemie*. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2001.
- [9] ŠTOLL I. *Fyzika pro gymnázia: Fyzika mikrosvěta*. Prometheus, 2004.
- [10] SVOBODA E. *Přehled středoškolské fyziky*. Prometheus, 1996.
- [11] PEŠKOVÁ E., KROPÁČKOVÁ H. *Fyzika: Přehled středoškolské fyziky*. Praha : Albra, 1997.
- [12] LEPIL O. a kol. *Fyzika pro střední školy II*. Praha : Prometheus, 2001.
- [13] FUKA J. a kol. *Fyzika pro III. ročník střední všeobecně vzdělávací školy (pro III. a IV. ročník gymnázia)*. Praha : SPN, 1982.
- [14] RYAN L. *Advanced chemistry for you*. Birmingham : Nelson Thornes, 2000.
- [15] RAMSDEN E.N. *Chemistry A-Level*. Cheltenham : Nelson Thornes, 2000.
- [16] JANUSCHEWSKY J. *Chemie 1 für die Oberstufe*. Wien : Ueberreuter, 1988.
- [17] KAMENÍČEK J. a kol. *Anorganická chemie*. Olomouc : UP, 2006

- [18] BERÁNEK F. *Jaderné a chemické zbraně*. Praha : SNTL, 1969.
- [19] BÜCHNER W. a kol. *Průmyslová anorganická chemie*. Praha : SNTL, 1991.
- [20] KLIKORKA J. a kol. *Obecná a anorganická chemie*. Praha : SNTL, 1989.
- [21] GREENWOOD N.N., EARNSHAW A. *Chemie prvků, svazek II*. Praha : Informatorium, 1993.
- [22] JIRÁSEK J. a kol. *Nerostné suroviny a jejich využití*. Ostrava: Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008.
- [23] COTTON F. A., WILKINSON G. *Anorganická chemie*. Praha: F.R.S. Academia, 1973.
- [24] NAVRÁTIL O. a kol. *Jaderná chemie*. Praha: Academia, 1985.
- [25] MAJER V. a kol. *Základy užité jaderné chemie*. Praha: SNTL Alfa, 1985.

Internetové zdroje

- [26] Wikipedie, otevřená encyklopedie [online], [cit. 2012-03-20], dostupné z [www: http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana](http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana)
- [27] Princip atomové a vodíkové bomby. In: Klikni.tk [online]. 2007 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://jirkovodoupje.wz.cz/princip-atomove-vodikove-bomby.html>
- [28] Proton-protonový cyklus. In: Astronomia [online]. 2010 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/hvezdy/slunce/736-proton-protonovy-cyklus-ppii>
- [29] Jak se obohacuje jaderné palivo. In: 3pol [online]. 2008 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://3pol.cz/655-jak-se-obohacuje-jaderne-palivo>
- [30] Jaderná energie [online]. 2010 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: <http://www.jaderna-energie.cz/>
- [31] Uran [online]. Uran [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: web.vscht.cz/sajdlp/C11_Uran.doc

8. PŘÍLOHY

Výukový modul: „Výroba, obohacování a použití uranu ve středoškolské výuce chemie“ je ve formě prezentace (Microsoft PowerPoint) přiložen na DVD. Modul je rozdělen na dvě úrovně –

A/ vyšší úroveň pro gymnázia,

B/ nižší úroveň pro ostatní střední školy.