

Environmentální aspekty průmyslových činností

Výroba energie

(02c)

Alternativní způsoby II

Ivan Holoubek

RECETOX, Masaryk University, Brno, CR

holoubek@recetox.muni.cz; <http://recetox.muni.cz>



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Využití biomasy

FOTOSYNTÉZA A PŘEMĚNA BIOLOGICKÉ HMOTY:

Výhody:

- ↪ maximální využití zemědělských, lesních a městských odpadů na výrobu E
- ↪ možnosti využití dosud neobdělávané půdy

Nevýhody:

- ↪ nízká účinnost přeměny sluneční E
- ↪ vyžaduje velké plochy na pěstování rychle rostoucích rostlin a dřevin
- ↪ nákladná příprava půdy (odvodňování bažin a močálů)

Využití biomasy

Možnosti využití:

- ↪ výroba kapalných a plyných paliv
- ↪ pyrolýzou (plyn, topný olej)
- ↪ fermentací

Co je to biomasa? Je to jakýkoli materiál organického původu, tedy živočišné, rostlinný a jejich odpady. V našich podmínkách lze využívat zejména dřevě a dřevní odpad z lesů, odpady z obilnin (sláma, kukuřičné lístky), zvířecí exkrementy (výkaly), odpady z čistíren odpadních vod, organické části městských odpadů, energetické kultury (rostliny s vysokým energetickým obsahem, řepka na výrobu nafty, ...).



biomasa, jak ji všichni známe



- suché procesy (termochemická přeměna)
 - spalování,
 - zplyňování,
- mokré procesy (biochemická přeměna)
 - fermentace,
 - anaerobní vyhnívání (bioplyn).

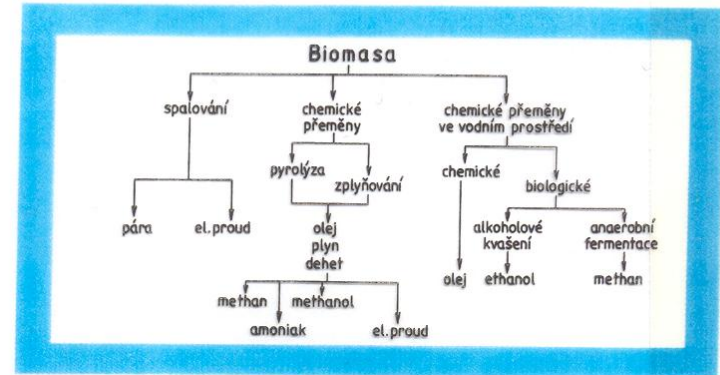
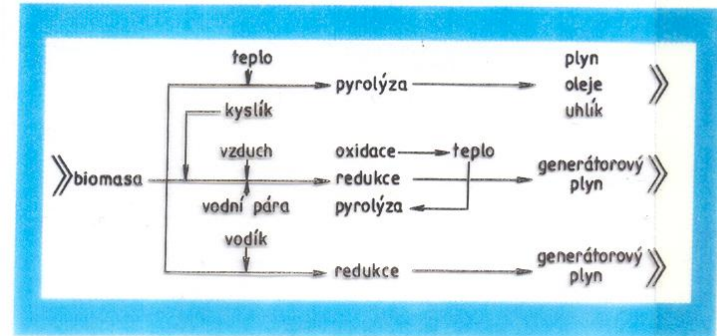
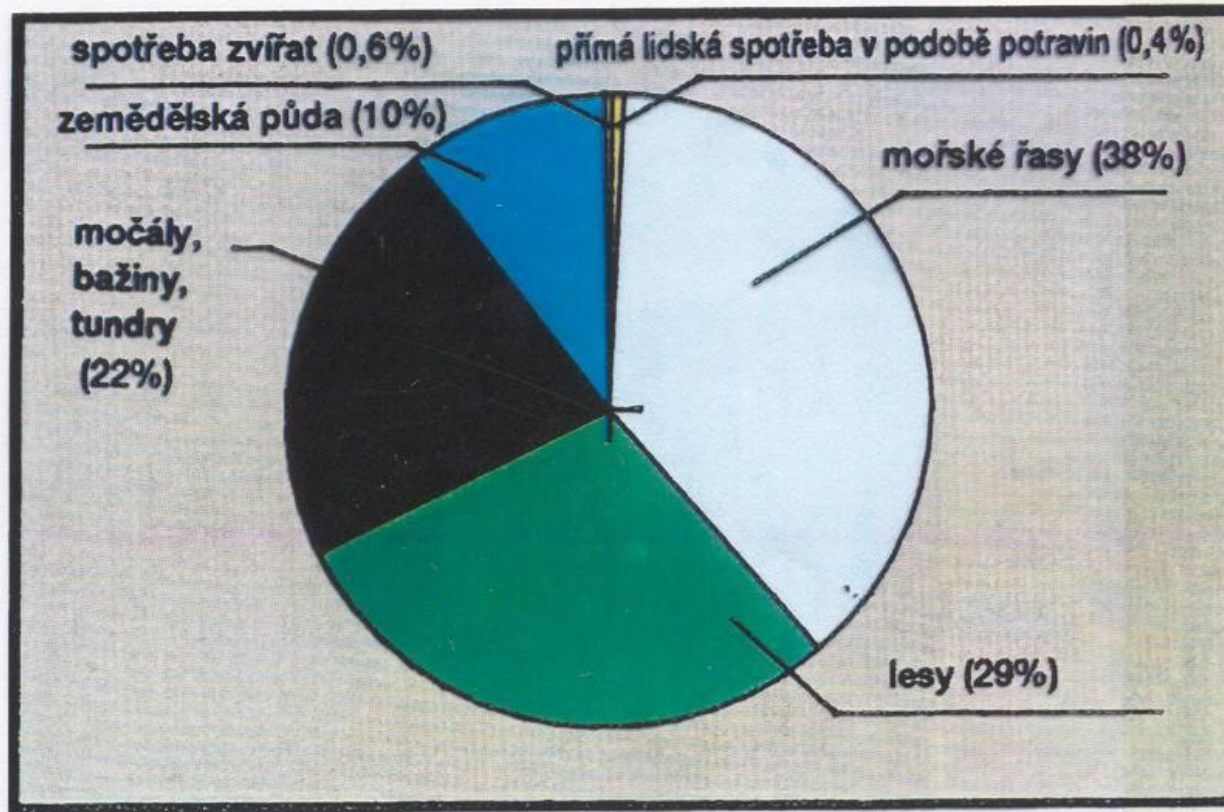


Schéma přeměny energie biomasy v jiné formy energie



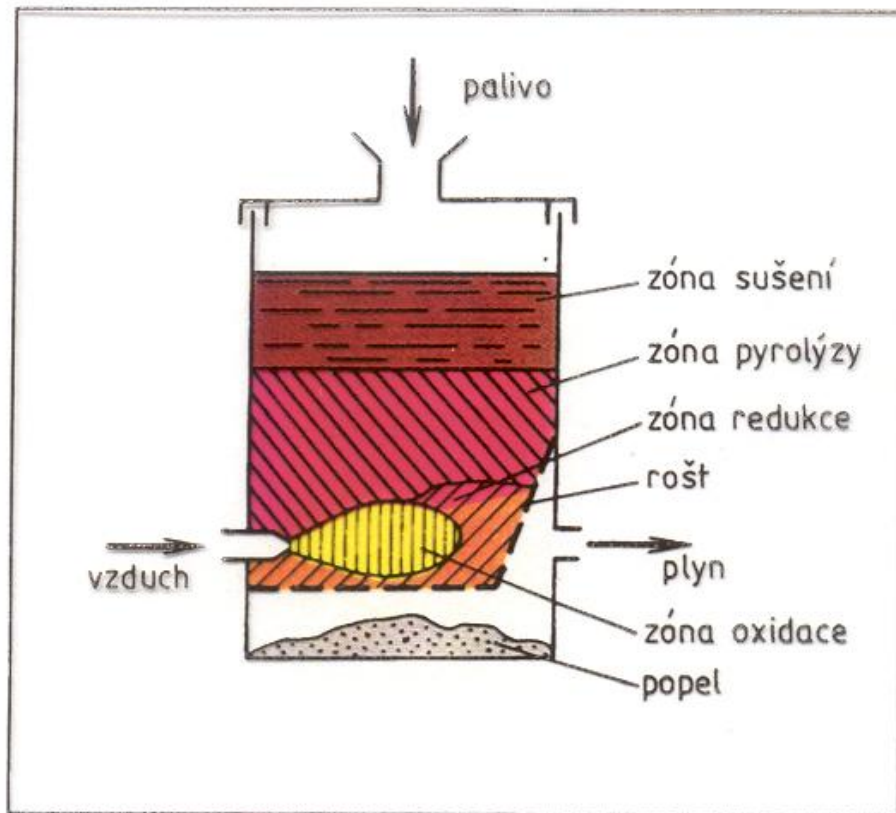
Procesy zplyňování

Energetický potenciál biomasy

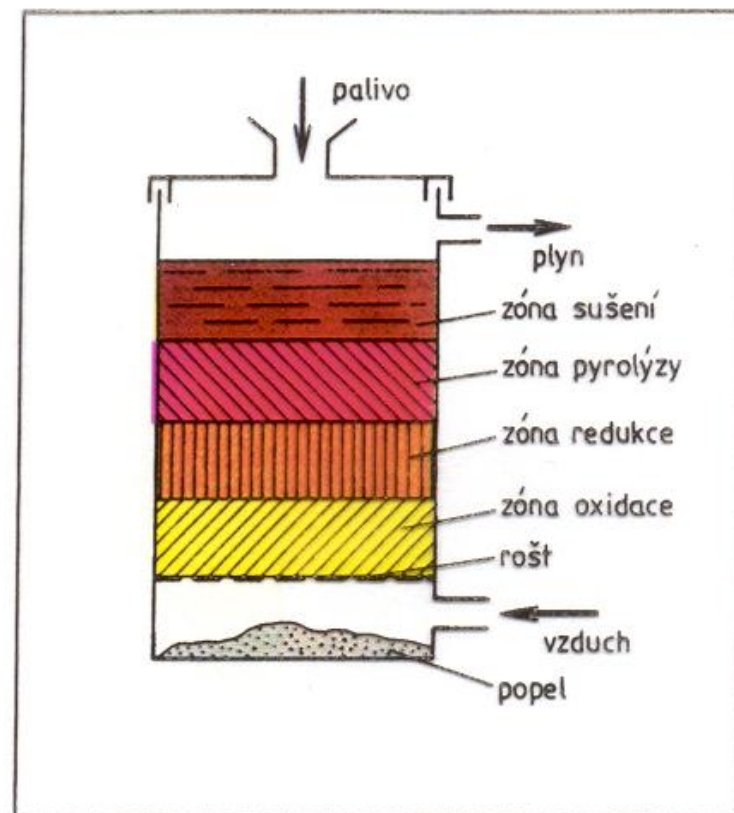


Rozdělení energetického potenciálu biomasy.

Výroba bioplynu

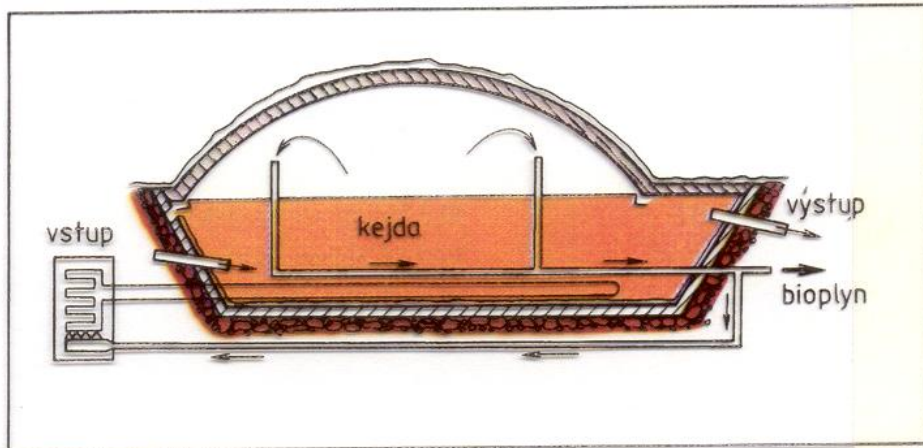


Zplyňovač s příčným prouděním



Protiproudý zplyňovač

Výroba bioplynu



Plug-flow systém s pevným plastovým krytem

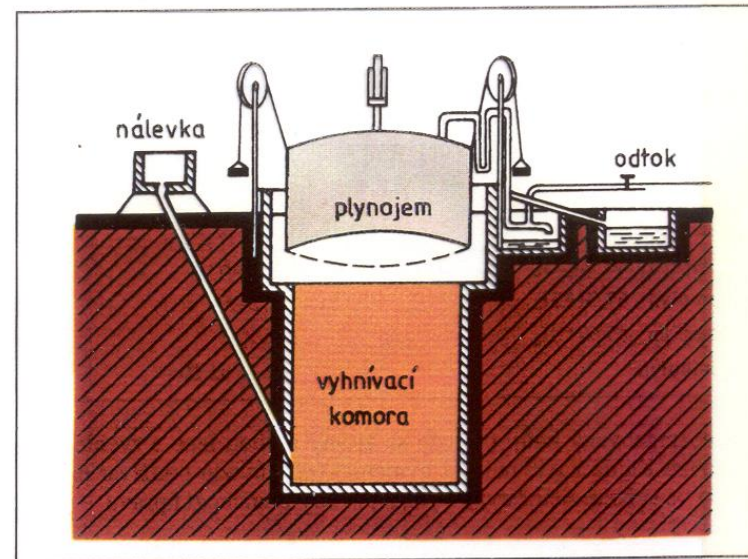


Schéma zařízení na výrobu bioplynu používané v Indii

Obecně lze pro odhad bioplynového potenciálu v hnoji použít přibližné údaje:

1 kráva (500 kg)	25 MJ/den
1 prasnice (150 kg)	7 MJ/den
10 prasat (60 kg/ks)	32 MJ/den
200 ks drůbeže	36 MJ/den

Předpokládaný vývoj využití biomasy v ČR

Tabulka 7.6

Předpokládaný vývoj využití biomasy v České republice podle Státní energetické koncepce z roku 2004, množství energie v PJ,²² podle [98]

Rok	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Biomasa	18	62	121	146	173	228	242
Druhotné teplo	20	20	20	20	20	20	20
Ostatní OZE ²³	6	9	13	14	15	14	13
Odpady	0	2	5	7	7	7	8
Celkem	44	93	159	187	215	269	283
Podíl biomasy (%)	40,9	66,7	76,1	78,1	80,5	84,8	85,5

²² PJ – Petajoule = 1.10^{15} J.

²³ OZE – obnovitelné zdroje energie.

²⁴ Z tohoto zorného úhlu je možné hodnotit i rozhodnutí ze začátku roku 2005 v České republice spálit určité množství pšenice v elektrárnách. Jde rovněž o bioprodukt, jejíž původní určení nebylo energetické, a proto výnos biomasu je menší. Rovněž spalení v elektrárnách není optimální řešení. Vhodnější by byla výroba bioetanolu, který lze přidávat do benzínu (viz poznámka ²⁶).

Na druhé straně ve světě, kde miliony lidí žijí v podvýživě a děti umírají hladem, se takové řešení jeví přinejmenším jako krajně neetické a dokládající neschopnost lidí lépe zorganizovat život na této planetě. A z toho vyplývají vážné obavy autora o možnostech lidského rodu zvládnout problém globálního oteplování Země.

Předpokládaná skladba bioenergetických zdrojů v ČR v roce 2010

Tabulka 7.7

Předpokládaná skladba bioenergetických zdrojů v České republice v roce 2010, podle V. Petříkové [128]

Druh biomasy	celkem		z toho	
	%	PJ	teplo (PJ)	elektřina (GWh)
Dřevo a dřevní odpad	24,8	33,1	25,2	427
Sláma z obilnin a olejnin	11,8	15,7	11,9	224
Energetické rostliny uměle pěstované	47,1	63,0	47,7	945
Bioplyn	16,3	21,8	15,6	535
Biomasa celkem	100,0	133,6	100,4	2 231

Elektrolýza vody

Elektrolýza

Elektrolýza je nejznámější způsob výroby vodíku z vody. V současné době je účinnost elektrolýzy asi 75 procent. Očekává se však, že do roku 2020 by mohla dosáhnout až 83 procent.

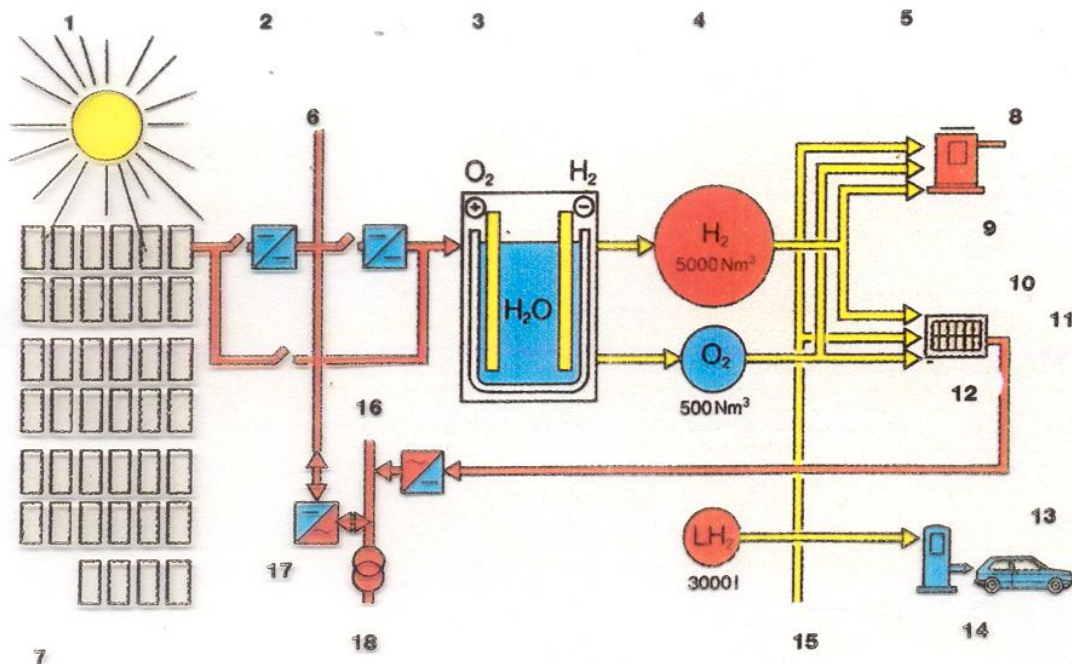
Při masivním nasazení vodíkové energetiky lze počítat s elektrolýzou ve dvou výkonově velmi rozdílných oblastech. První oblastí, s velkými výkony, bude výroba vodíku v jaderných elektrárnách v době jejich odlehčení. Toto odlehčení je jednak krátkodobé v průběhu dne, mimo špičky v elektrizační soustavě, jednak dlouhodobé, sezonní, například v našich evropských podmínkách od pozdnějšího jara do počátku podzimu.



Elektrolýza vody

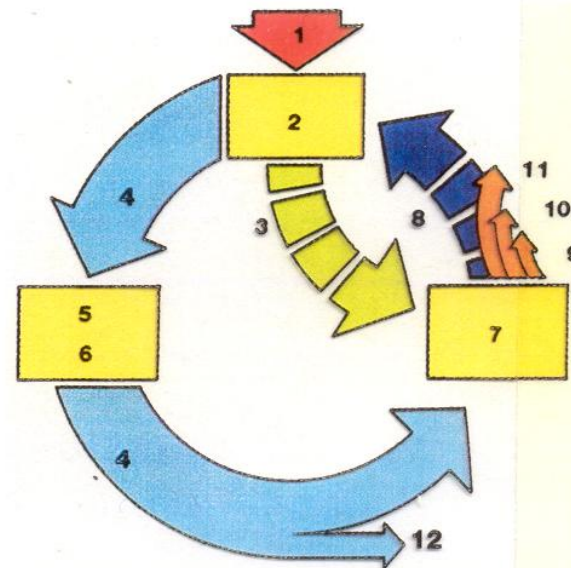
Druhou oblastí nasazení elektrolýzy bude decentralizovaná výroba vodíku pro automobilovou dopravu v oblastech, kam nebudou zasahovat systémy pro rozvod vodíku. Elektrická energie bude odebírána obecně z elektrizační soustavy, ale mohou být využity i místní zdroje elektrické energie. To bude jednak v oblastech, kam nezasahuje ani elektrizační soustava, jednak při využívání místních obnovitelných zdrojů energie, které se vyznačují velkým kolísáním výkonu. Příkladem může být využívání větrné energie a výroba vodíku může být vhodný akumulární článěk v energetickém řetězci [143].

Elektrolýza vody



Demonstrační jednotka elektrolyzáru:

- 1 - Výroba „sluneční“ elektřiny
- 2 - Rozvod elektrického výkonu
- 3 - Výroba vodíku a kyslíku
- 4 - Zásobníky
- 5 - Spotřebitelé
- 6 - Stejnoseměrná sběrnice 0,3–0,43 kV
- 7 - Sluneční panely 280 kW
- 8 - 40 kW teplo
- 9 - Ohřivač
- 10 - 86 kW elektřina
- 11 - 42 kW teplo
- 12 - Palivové články
- 13 - Pohon
- 14 - Tankovací stanice LH₂
- 15 - Zemní plyn
- 16 - Střídavá sběrnice 0,4 kV
- 17 - Měnič proudu
- 18 - Elektrická síť 20 kV



Uzavřený cyklus vodíku a kyslíku:

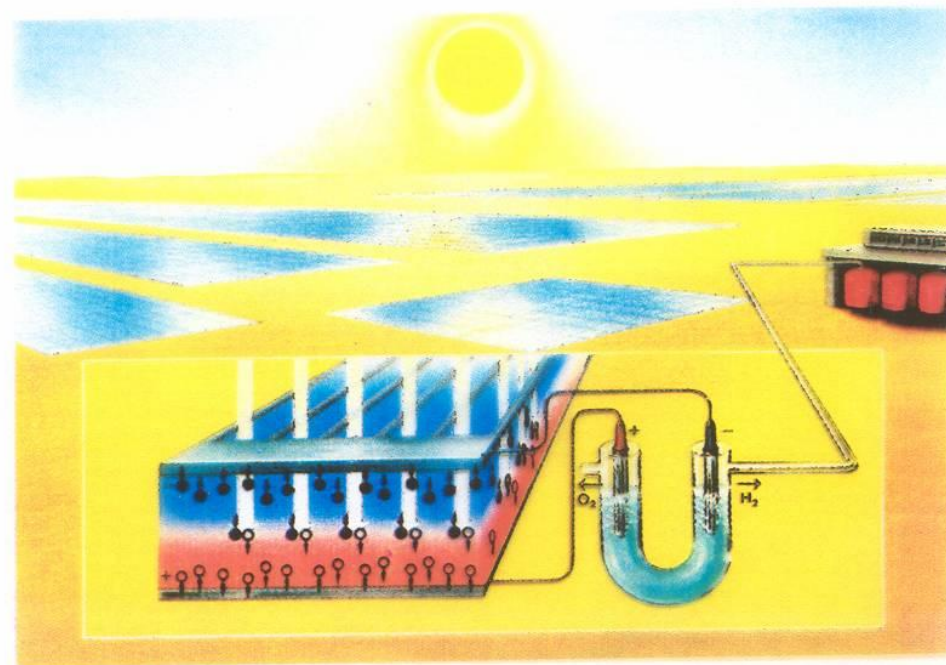
- 1 - Sluneční elektřina
- 2 - Elektrolyza
- 3 - Kyslík
- 4 - Vodík
- 5 - Skladování
- 6 - Doprava potrubím
- 7 - Spalování
- 8 - Voda
- 9 - Elektrický proud
- 10 - Teplo
- 11 - Pohonné hmoty
- 12 - Chemie

Elektrolýza vody



▶
Solární plantáž zásobující elektrolyzéry na výrobu vodíku rozkladem vody.

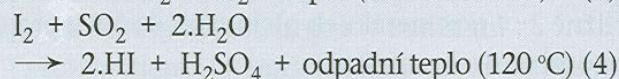
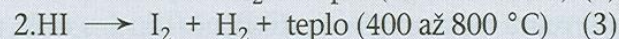
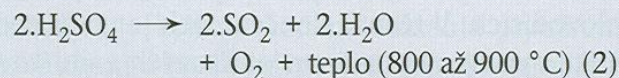
◀
Vodíko-kyslíkový palivový článek s výkonem 100 kW ve funkci přenosné „balené“ elektrárny.



Vysokoteplotní rozklad vody

Vysokoteplotní rozklad vody

Vysokoteplotní rozklad vody, označovaný též termochemická výroba vodíku, je založen na řadě chemických reakcí. Podle [166] je hlavním kandidátem těchto procesů proces síra-vodík, který sestává ze tří chemických reakcí:



Reakce (2) rozkladu kyseliny sírové probíhá za použití katalyzátoru. Důležitým procesním prvkem je jod (I).

Zdrojem tepla budou vysokoteplotní jaderné reaktory. Z důvodů bezpečnosti se předpokládá, že jaderný reaktor bude od výroby vodíku vzdálen nejméně 1 km. Pro transport vysokopotenciálního tepla se předpokládají roztavené soli.

Podle japonských rozborů jsou náklady na výrobu vodíku vysokoteplotním rozkladem vody na úrovni asi 60 procent nákladů na výrobu vodíku elektrolýzou.

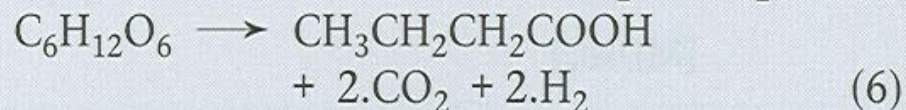
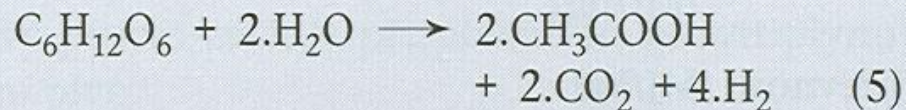
Biologické metody výroby vodíku

Biologické metody výroby vodíku

Biologické metody výroby vodíku mohou být:

1. biofotolýza vody s pomocí řas a cyanobakterií,
2. fotodekompozice uhlovodíkových sloučenin pomocí bakterií schopných provádět fotosyntézu (fotosyntetické bakterie),
3. fermentací uhlovodíkových sloučenin,
4. hybridní systémy využívající fotosyntetické a fermentační bakterie.

Výchozí surovinou je glukóza, sacharóza, celulóza a podobně a jejich směsi. Nejdůležitější jsou reakce:



Biologické metody výroby vodíku

Vedlejším produktem reakce (5) je kyselina octová, dalším vedlejším produktem reakce (6) je butyrát (másel-man). Rovněž při těchto procesech je možné separovat a ukládat oxid uhličitý.

Obecně jedinými ekologicky akceptovatelnými způsoby výroby vodíku jsou postupy, v nichž zdroj pro výrobu vodíku je nefosilní, nejčastěji je to voda, a rovněž zdroj energie vkládané do vodíku je nefosilní. Nefosilním zdrojem vkládané energie může být sluneční energie nebo větrná energie, ale oba tyto energetické zdroje se vyznačují velmi malou hustotou disponibilních energetických toků. Přesto mohou být v některých případech výhodné pro distribuovanou výrobu vodíku. Jediným nefosilním a dostatečně masivním energetickým zdrojem je však jaderná energie.

Porovnání měrných akumulčních kapacit pro různé typy skladování vodíku

Tabulka 9.2

Porovnání měrných akumulčních kapacit pro různé typy skladování vodíku

Skladované médium	Podíl vodíku (kg _H /kg)	Měrná objemová kapacita (kg _H /m ³)	Energetická hmotnostní hustota (MJ/kg)	Energetická objemová hustota (MJ/m ³)
MgH ₂	0,070	101	9,94	14,34
Mg ₂ NiH ₄	0,0316	81	4,49	11,50
VH ₂	0,0207	-	2,97	-
FeTiH _{1,9}	0,0175	96	2,48	13,63
TiFe _{0,7} Mn _{0,2} H _{1,9}	0,0172	90	2,44	12,79
LaNi ₅ H _{7,0}	0,0137	89	1,94	12,64
R.E.Ni ₅ H _{6,7}	0,0135	90	1,91	12,79
Kapalný vodík	1	71	142,0	10,08
Plynný vodík:	10 MPa	8,3	142,0	1,18
	20 MPa	1	16,6	2,36
Benzin (pro srovnání)	-	-	47,3	35,50

Porovnání vlastností důležitých pro spalování pro vodík a metan

Tabulka 9.1

Porovnání vlastností důležitých pro spalování pro vodík a metan

Vlastnost plynu	Vodík	Metan
Spalné teplo: [MJ/kg]	142,00	55,61
[MJ/m _n ³]	12,77	39,86
Výhřevnost: [MJ/kg]	119,62	49,95
[MJ/m _n ³]	10,76	35,80
Rychlost hoření ve vzduchu [cm/s]	350	43
Stechiometrická spalovací teplota ve vzduchu [K]	2 370	2 227
Oblast zápalnosti [%vol]	4 až 75	5 až 15

⁹ Základní vlastnosti vodíku: teplota zkvalnění za normálního tlaku je -259,2 °C, hustota za normálních podmínek (0 °C, 760 torr) je 0,089987 kg/m³, kritický stav: teplota -140,7 °C, tlak 3,76 MPa, hustota 310 kg/m³, hustota kapaliny při teplotě varu a za normálního tlaku 875 kg/m³, spalné teplo 142,2 MJ/kg.

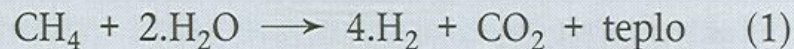
¹⁰ Takzvaná CO-Shift Reakce, nebo též WGS – Water Shift Reaction, za použití katalyzátoru.

¹¹ Viz 10. kapitola.

Parní reforming zemního plynu

Parní reforming zemního plynu

Parní reforming zemního plynu je klasický způsob výroby vodíku ze zemního plynu, který byl vyvinut pro zajištění vodíku pro různé oblasti chemického průmyslu. V současné době se vodík vyrábí téměř výlučně parním reformingem metanu ze zemního plynu. Podle [168] se parním reformingem vyrábí více než devadesát procent vodíku. Jde o endotermickou reakci



která probíhá při teplotě asi 800 °C a tlaku asi 2 MPa.

Vzniklá směs plynů obsahuje vedle vodíku a oxidu uhličitého též oxid uhelnatý. Proto je nejprve nutno provést konverzi oxidu uhelnatého na oxid uhličitý. To se provádí opět reakcí s vodní párou a vznikne přitom další vodík.¹⁰

⁹ Základní vlastnosti vodíku: teplota zkapalnění za normálního tlaku je -259,2 °C, hustota za normálních podmínek (0 °C, 760 torr) je 0,089987 kg/m³, kritický stav: teplota -140,7 °C, tlak 3,76 MPa, hustota 310 kg/m³, hustota kapaliny při teplotě varu a za normálního tlaku 875 kg/m³, spalné teplo 142,2 MJ/kg.

¹⁰ Takzvaná CO-Shift Reakcion, nebo též WGS – Water Shift Reaction, za použití katalyzátoru.

¹¹ Viz 10. kapitola.

Parní reforming zemního plynu

Separace oxidu uhličitého v dnešních technologických procesech se provádí vypírkou hydroxidem draselným s přídavkem etanolaminu s použitím kysličníku vanadu jako inhibitoru. Odloučený oxid uhličitý se v menší míře využívá v nejrůznějších oblastech, ale většina se dosud vypouští do ovzduší. Tento oxid uhličitý lze však po zachycení ukládat, stejně jako oxid uhličitý zachycený při dekarbonizaci.¹¹ Při aplikaci parního reformingu je možné zachytit oxid uhličitý, aniž by byl metan spálen.

Teplo pro parní reforming je možné získat nejen spalováním části zemního plynu, jak je dnes obvyklé, ale také z jaderné energie s využitím vysokoteplotního jaderného reaktoru.

Zplyňování uhlí

Zplyňování uhlí

Zplyňováním uhlí, případně i jiných uhlovodíkových surovin, nejčastěji v rámci technologie IGCC,¹² se vyrábí směsný plyn obsahující při zplyňování kyslíkem vodík, vodní páru, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, oxid siřičitý a další minoritní plyny a při zplyňování se vzduchem ještě dusík. Vzniklý oxid uhelnatý se reakcí s vodní párou převede na oxid uhličitý za vzniku dalšího vodíku.¹³ Odloučený oxid uhličitý je možné ukládat.

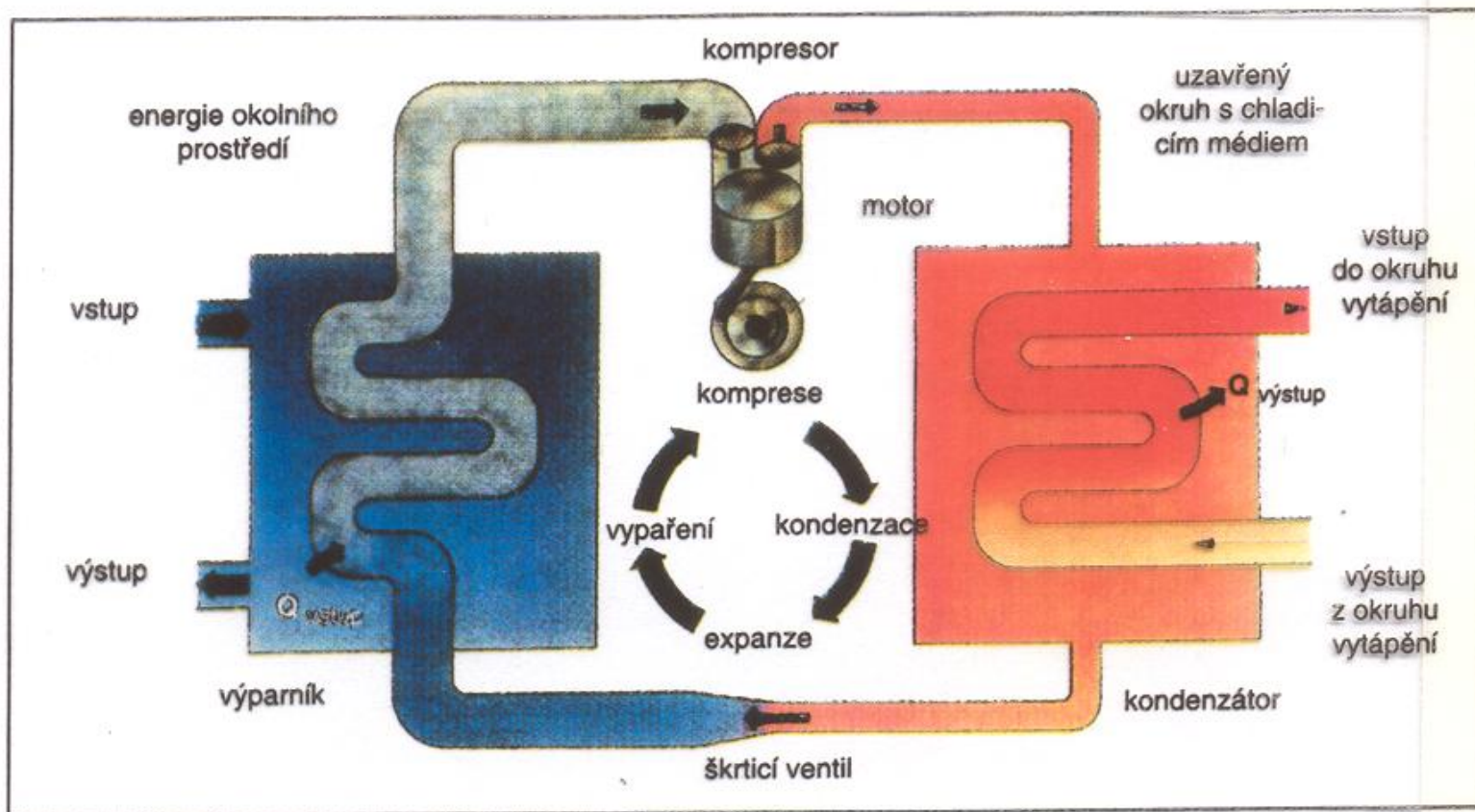
V technologii IGCC je vyrobený vodík spalován v plynové turbíně přiřazeného paroplynového bloku. Při větším dimenzování zplyňovacího modulu zařízení IGCC je možné část vodíku použít pro jiné účely, například pro export vodíku k externímu využití [164].

¹² IGCC – Integrated Coal Gasification Combine Cycle.

¹³ Podle Ch. Nicholsona a P. Ruttera [116] činí náklady na výrobu vodíku získaného z energoplynu 3,75 USD/GJ a náklady na vodík z elektrolýzy činí 15,93 USD/GJ.

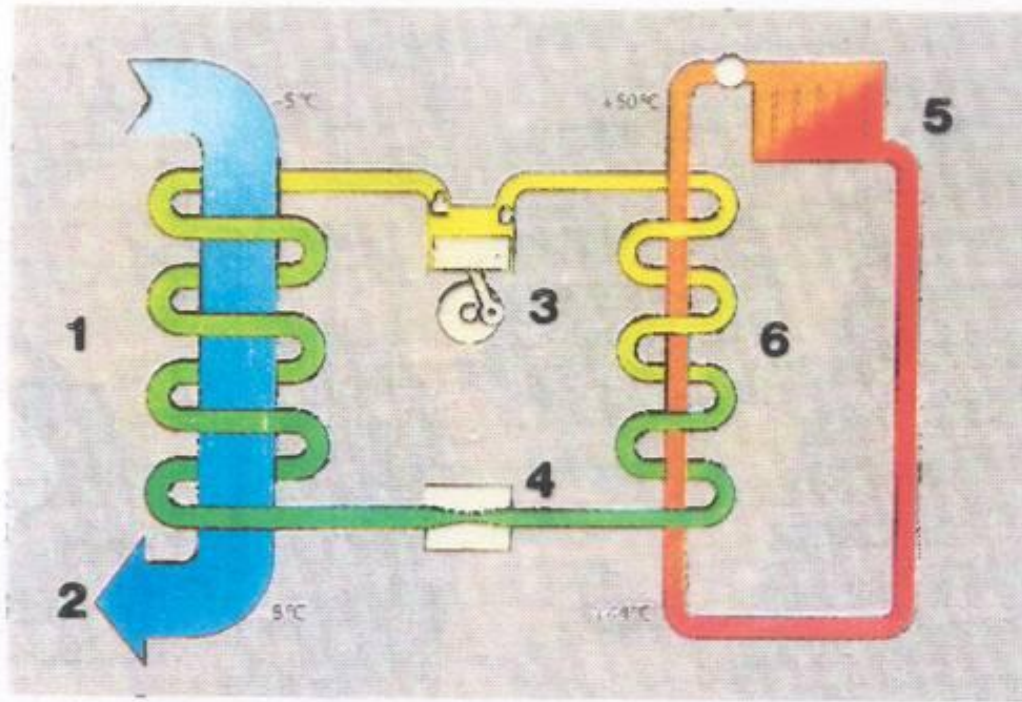
¹⁴ Vnitřní náklady jsou náklady odpovídající přibližně běžné podnikatelské nákladové skladbě. Zahrnují tedy náklady na suroviny, náklady na pracovní síly, náklady vyplývající z investičních nákladů, náklady na opravy, pojištění a tak dále. Nezahrnují náklady na kompenzaci důsledků provozování činností spojených s vynakládáním vnitřních nákladů, které musí zaplatit nikoliv konkrétní provozovatel příslušného zařízení, ale společnost jako celek. Tyto náklady se označují jako externí náklady a zahrnují náklady na kompenzaci poškozování zdraví obyvatelstva, poškozování životního prostředí, poškozování dopravní infrastruktury a podobně.

Tepelná čerpadla



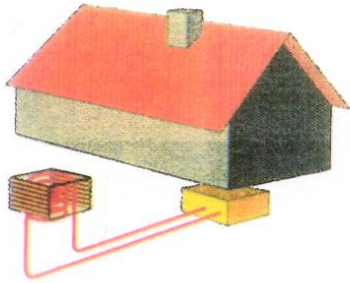
Princip
tepelného
čerpadla

Tepelná čerpadla

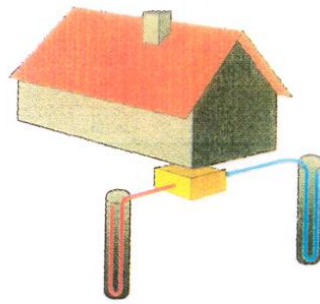


Princip elektricky poháněného tepelného čerpadla:
1 – výparník 2 – ochlazení prostředí 3 – kompresor
4 – škrticí ventil 5 – topný radiátor 6 – kondenzátor

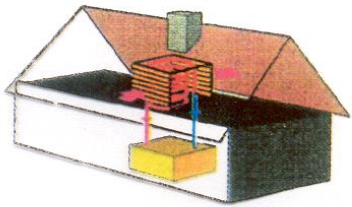
Tepelná čerpadla



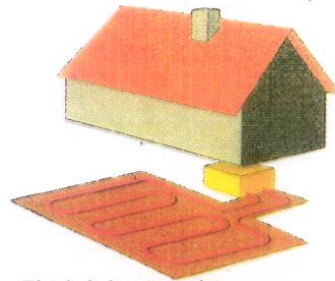
Získávání tepla z okolního vzduchu



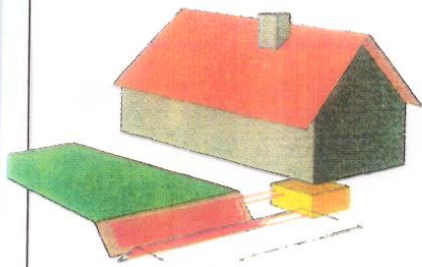
Získávání tepla z hlubinných vrtů



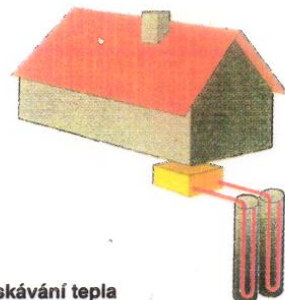
Získávání tepla z odpadního vzduchu



Získávání tepla z půdy

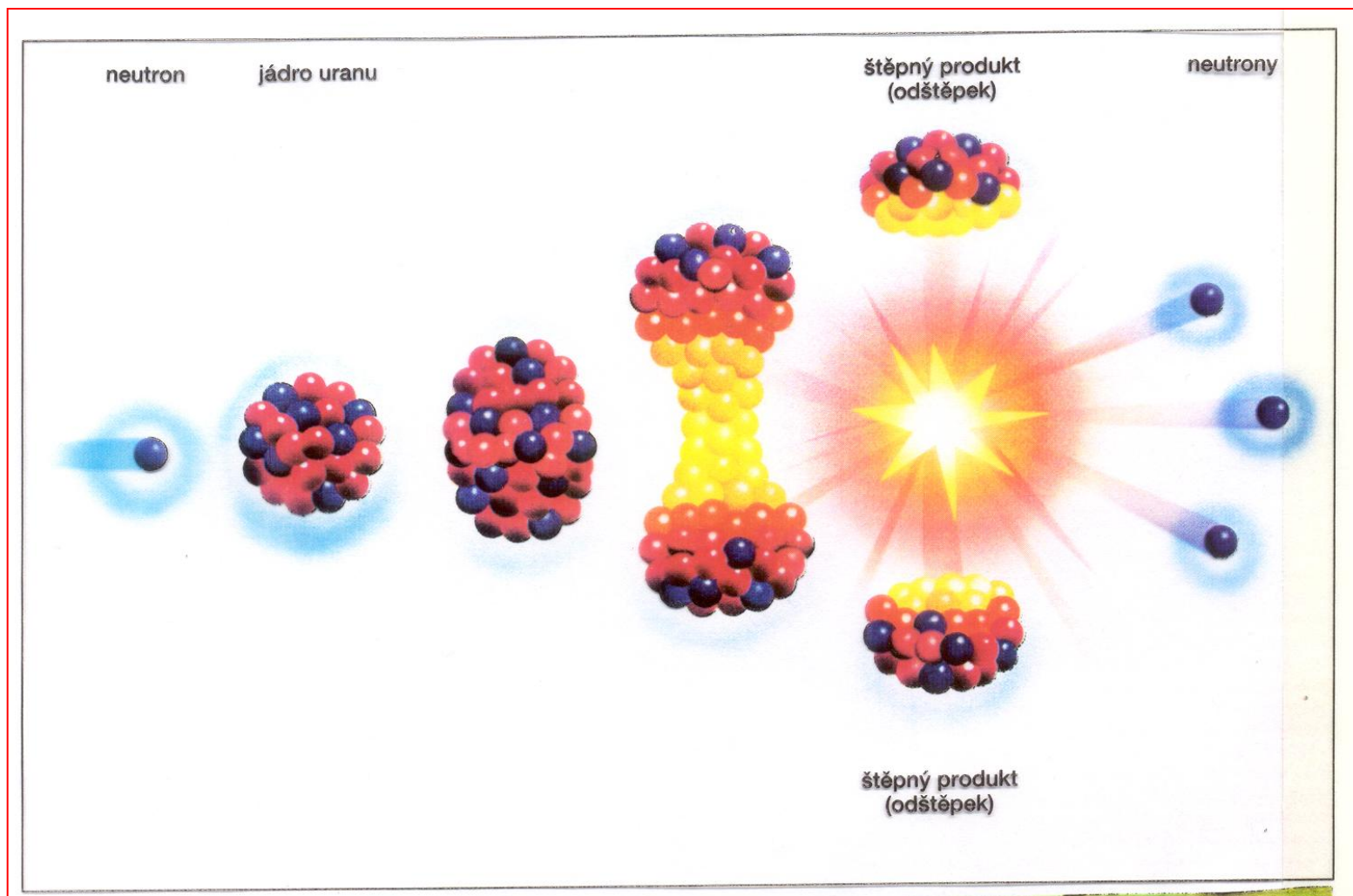


Získávání tepla z povrchových vod

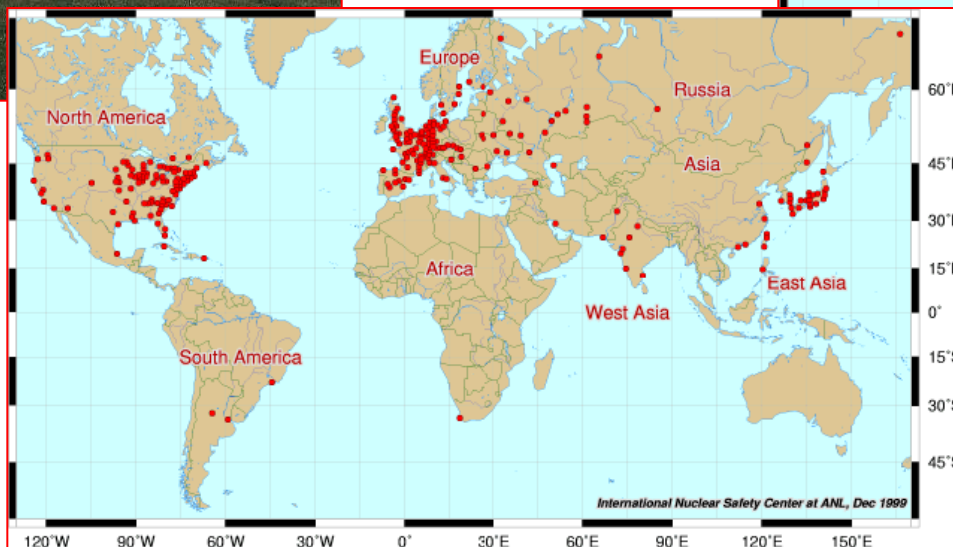


Získávání tepla ze dvou studní

Jaderná energetika

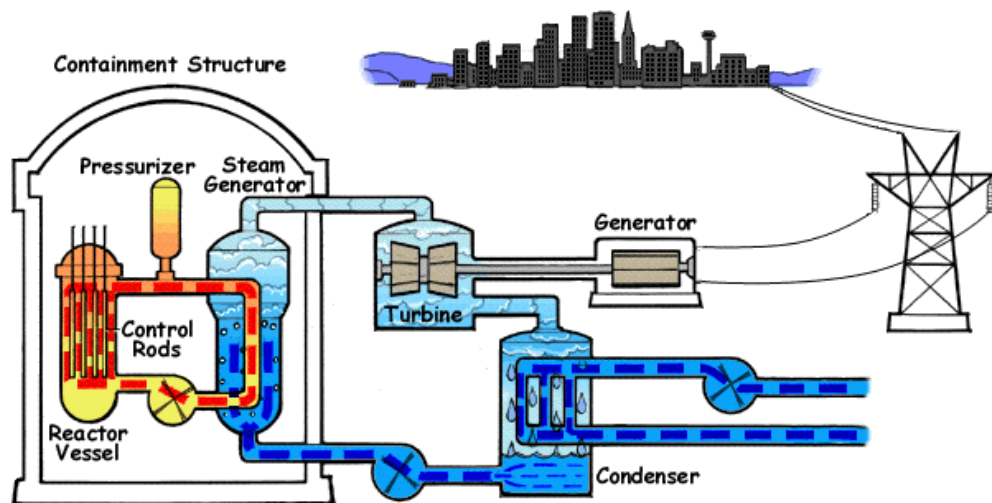


Jaderná energetika

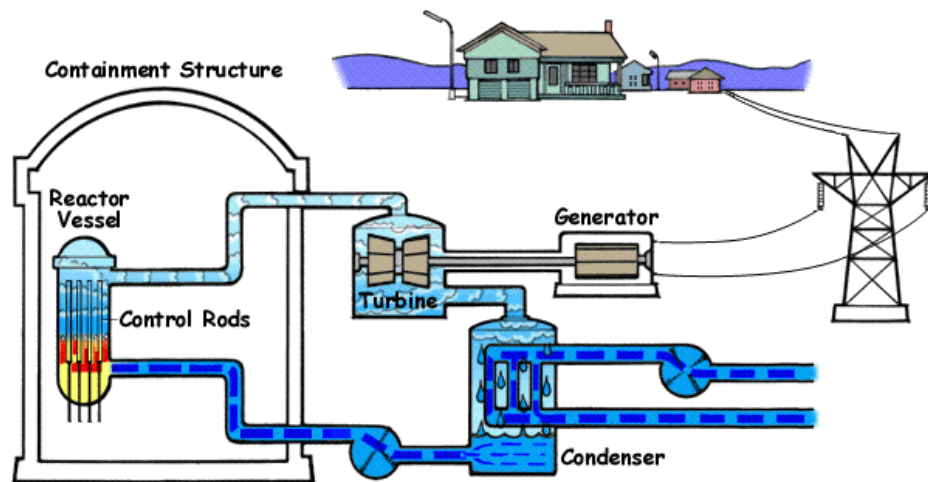


Jaderná energetika

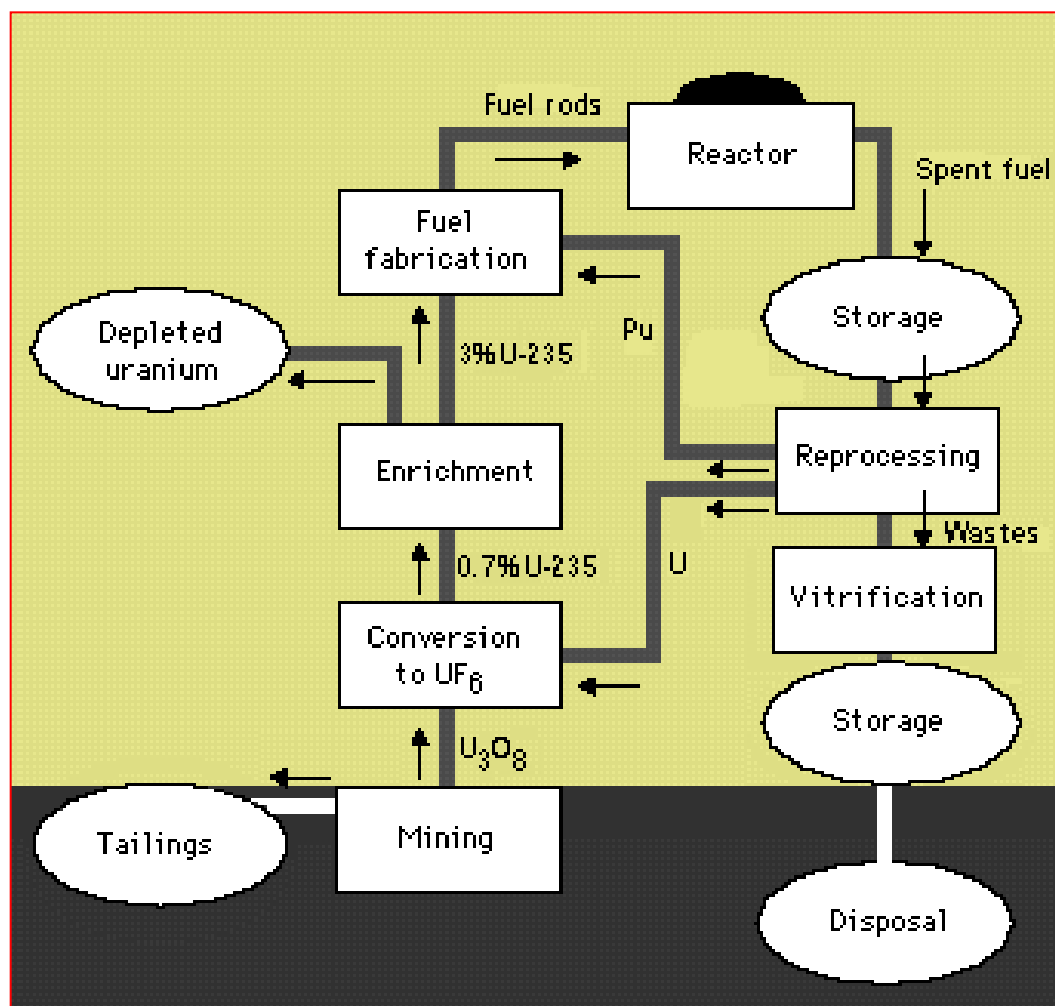
The Pressurized Water Reactor (PWR)



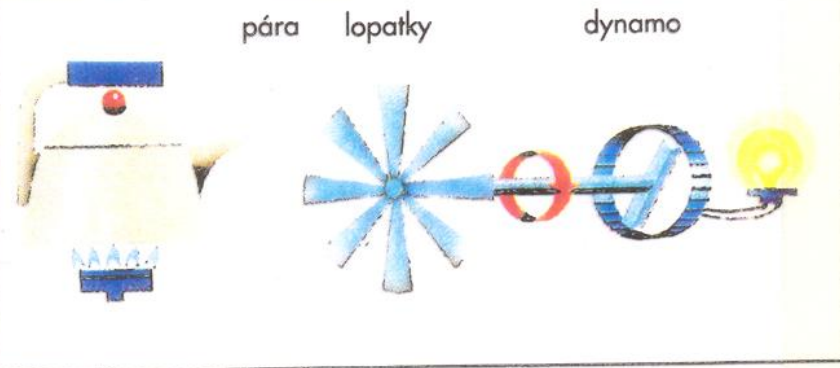
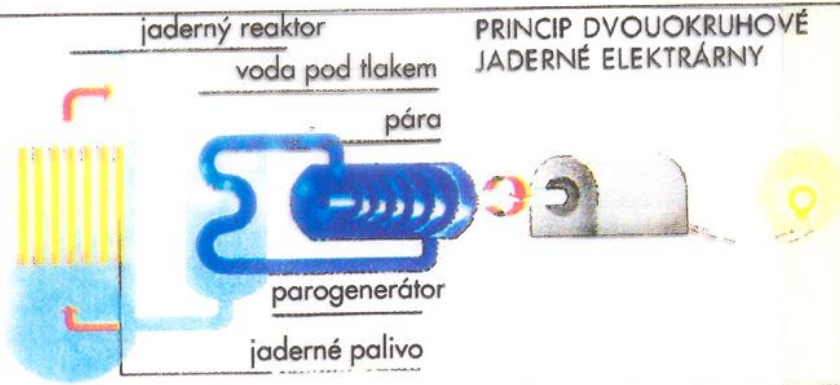
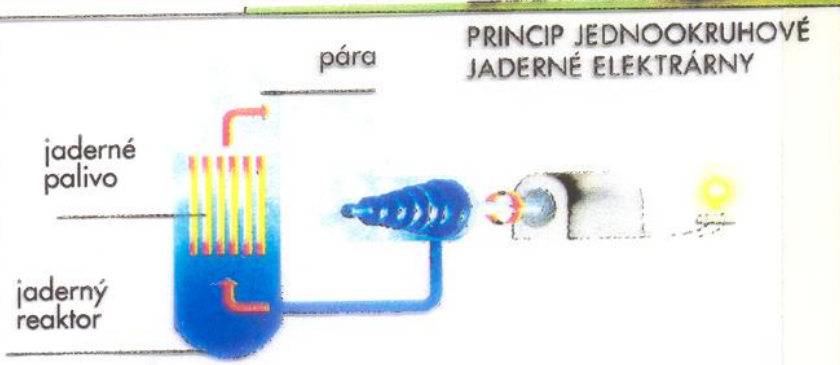
The Boiling Water Reactor (BWR)



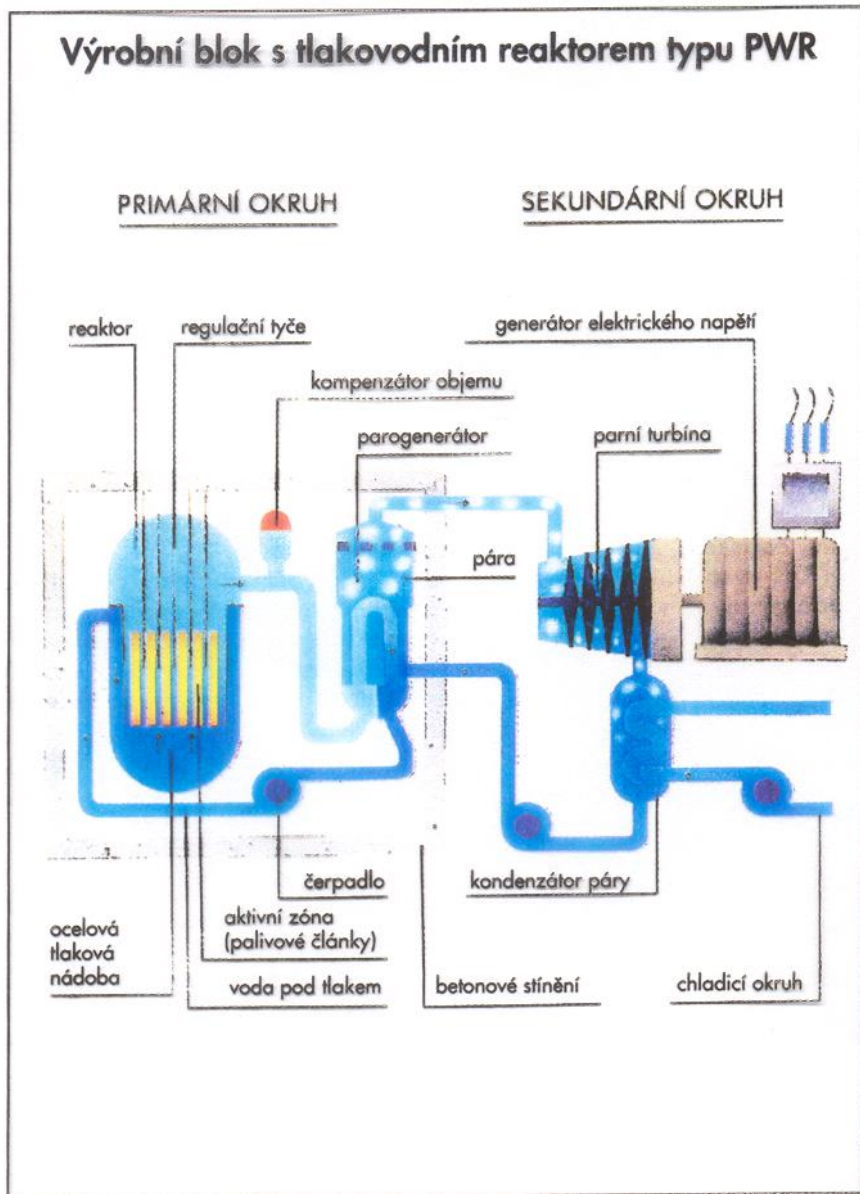
Jaderná energetika



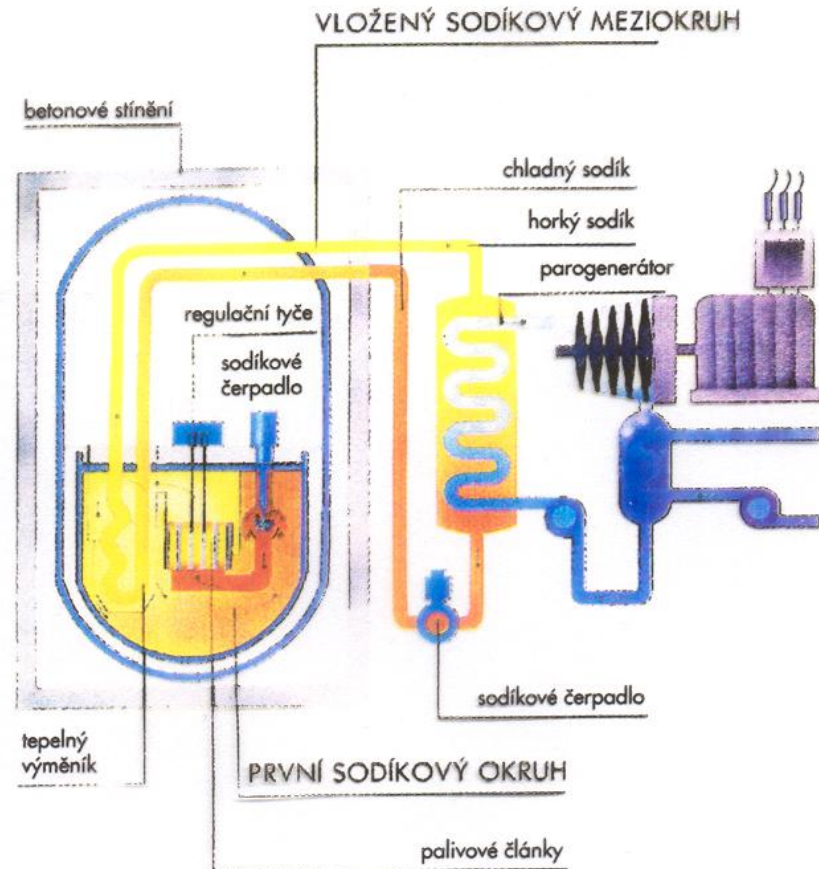
Jaderná energetika



Výrobní blok s tlakovodním reaktorem typu PWR

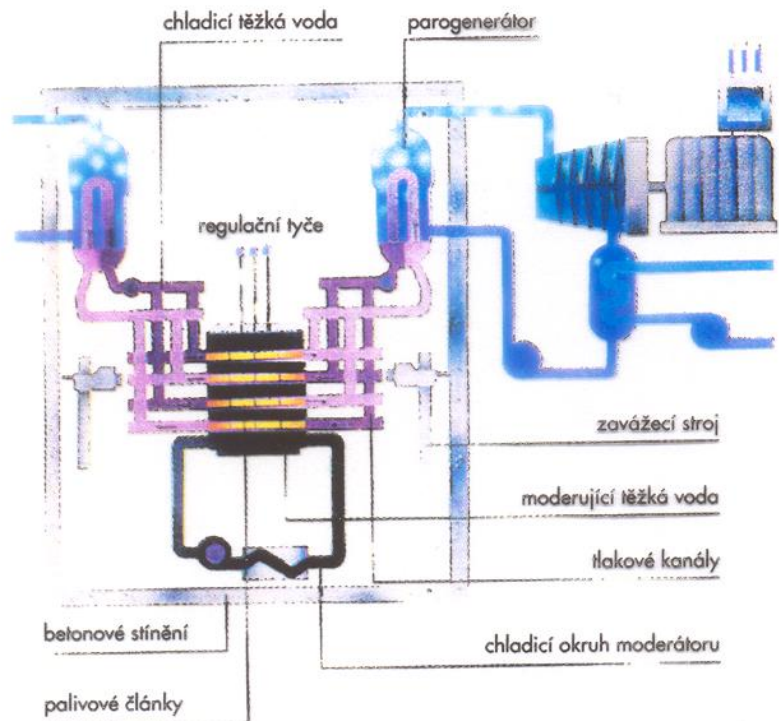


Výrobní blok s rychlým množivým reaktorem typu FBR



Jaderná energetika

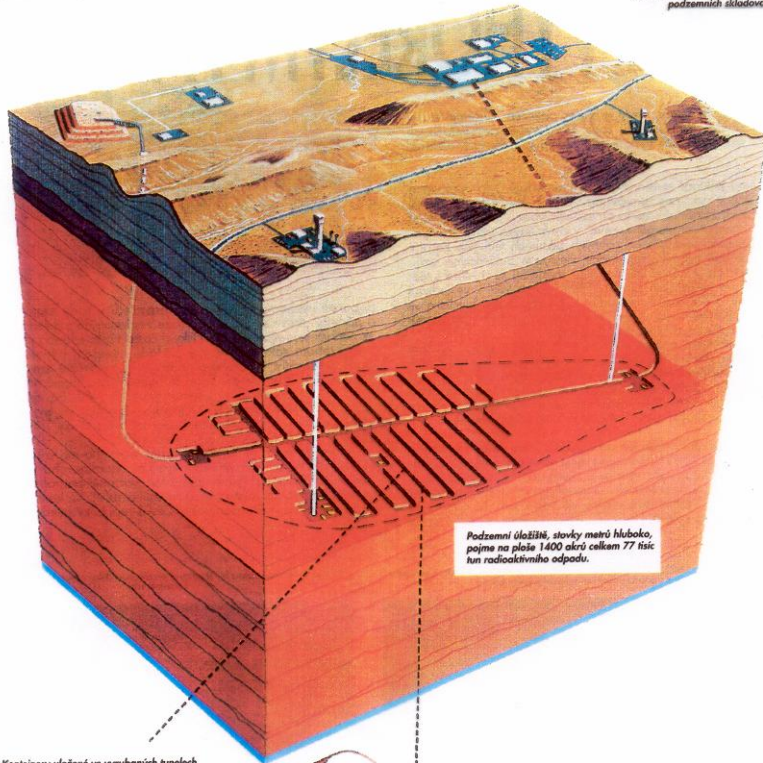
Výrobní blok s těžkovodním reaktorem typu Candu



Jaderná energetika

Vykázaný vulkanický popel a prach bude uložen na povrchu. Po ukončení provozu s ním budou zasypány skladovací tunely.

Radioaktivní odpad bude na místo přivezen po železnici nebo kamiony. V příjímacích budovách jej přemístí do ocelových nebo mďeděných kontejnerů a poté přivezou do podzemních skladovacích prostor.



Podzemní úložišťe, stovky metrů hluboko, pojme na ploše 1400 akřů celkem 77 tisíc tun radioaktivního odpadu.

Kontejnery uložené ve vyhrabaných tunelech budou 50 let monitorovány na těsnost. Poté bude celé úložišťe zasypáno a zapečetěno.

Připravované konečné úložišťe vyhořelého paliva v nevoláském pohorí Yucca Mountains (USA). Se zahájením provozu se počítá po roce 2010.

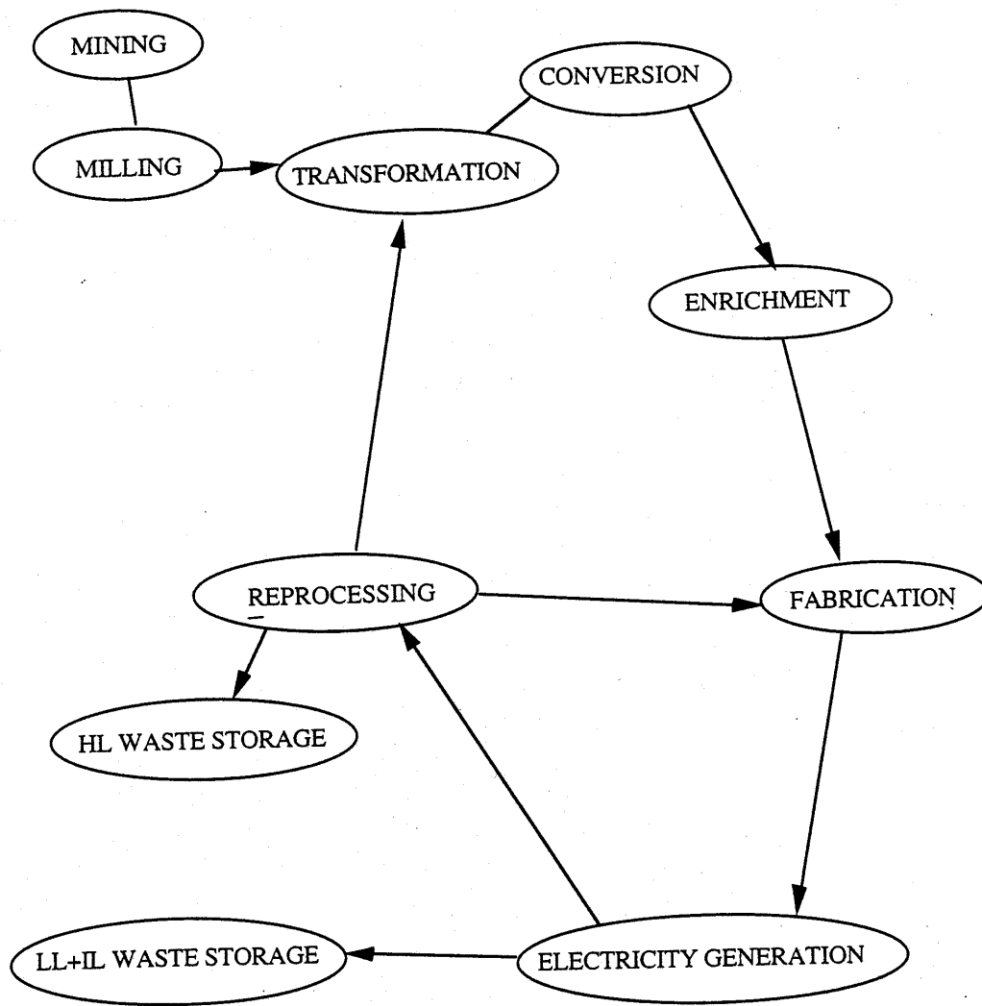
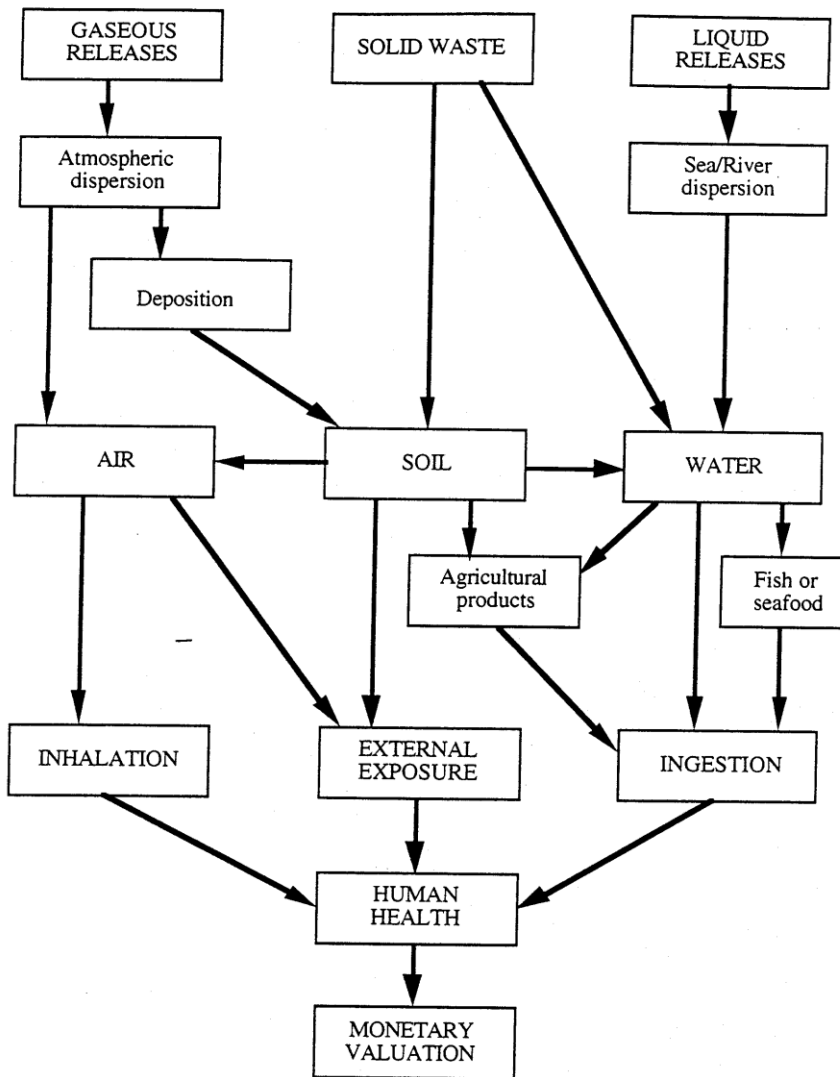
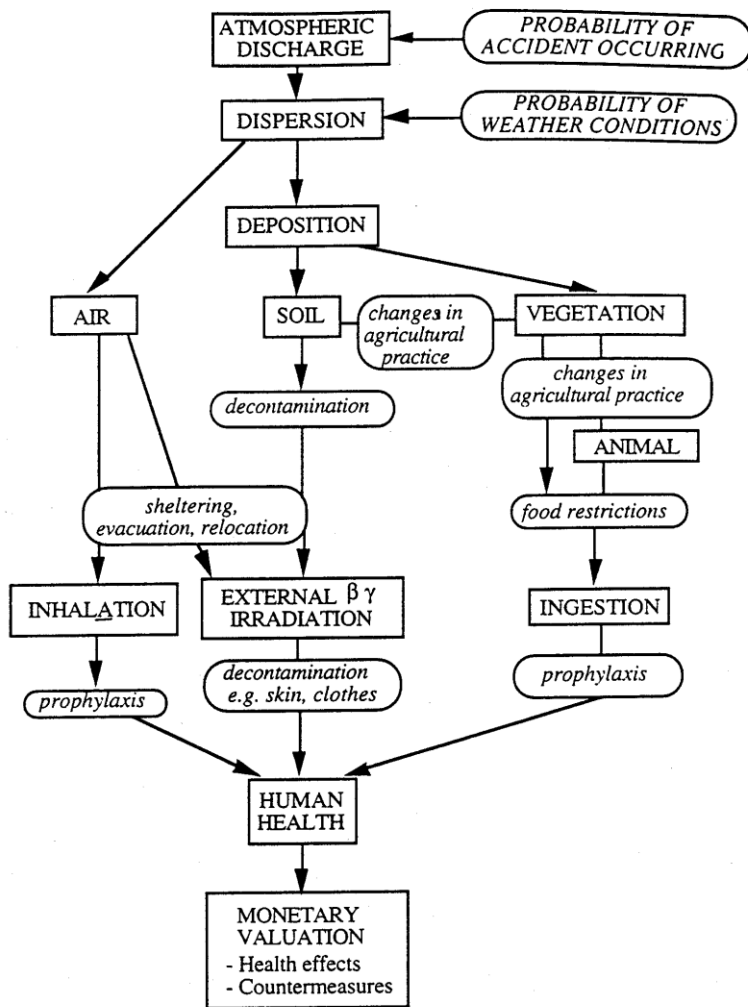


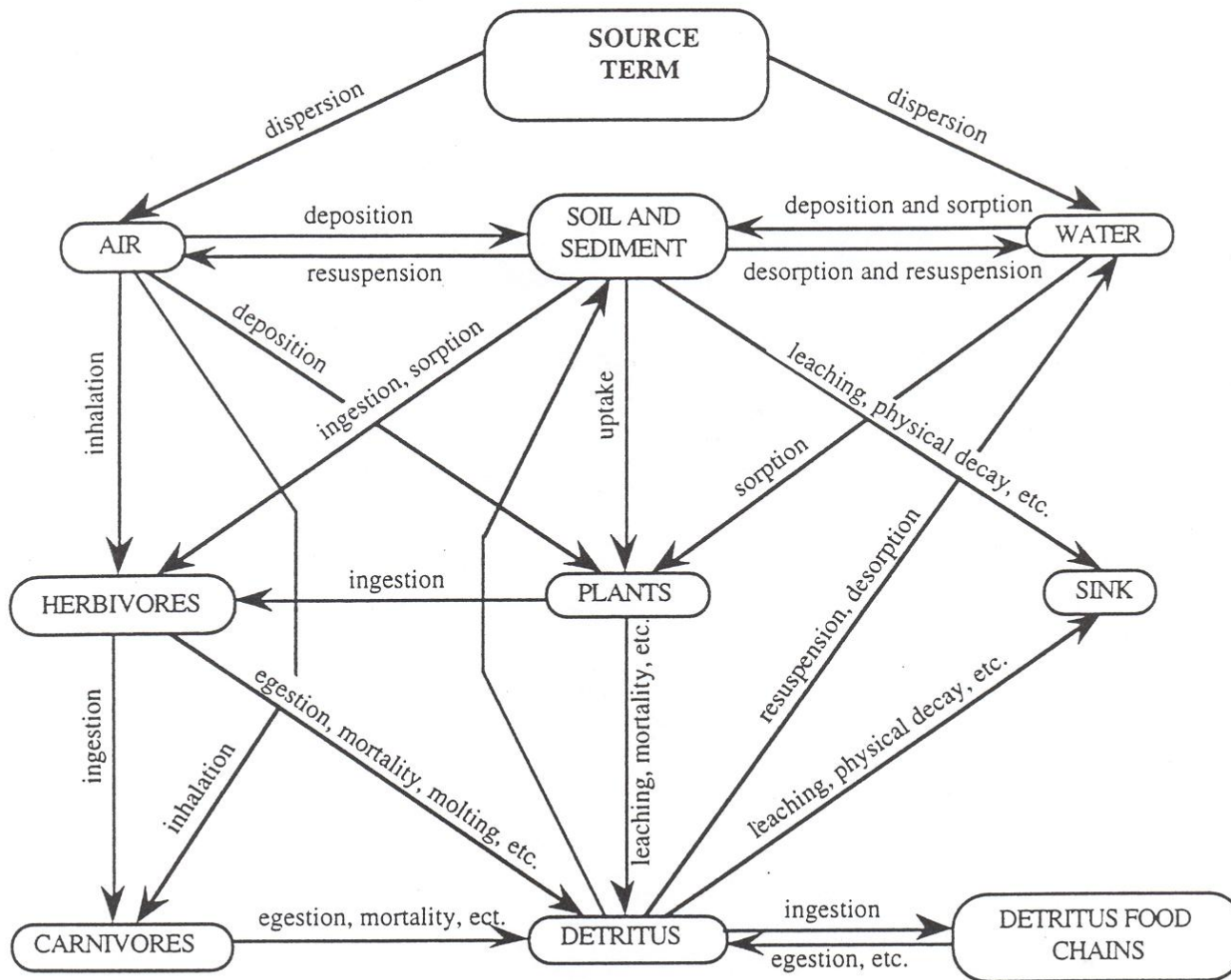
Figure 1. The nuclear fuel cycle



Impact pathways for the release of radioactivity in the environment



Pathways for a severe accidental release



Details of the transport processes of radio nuclides in ecosystems The boxes represent ecosystem components and the arrows represent the flow of materials.

Jaderná energetika

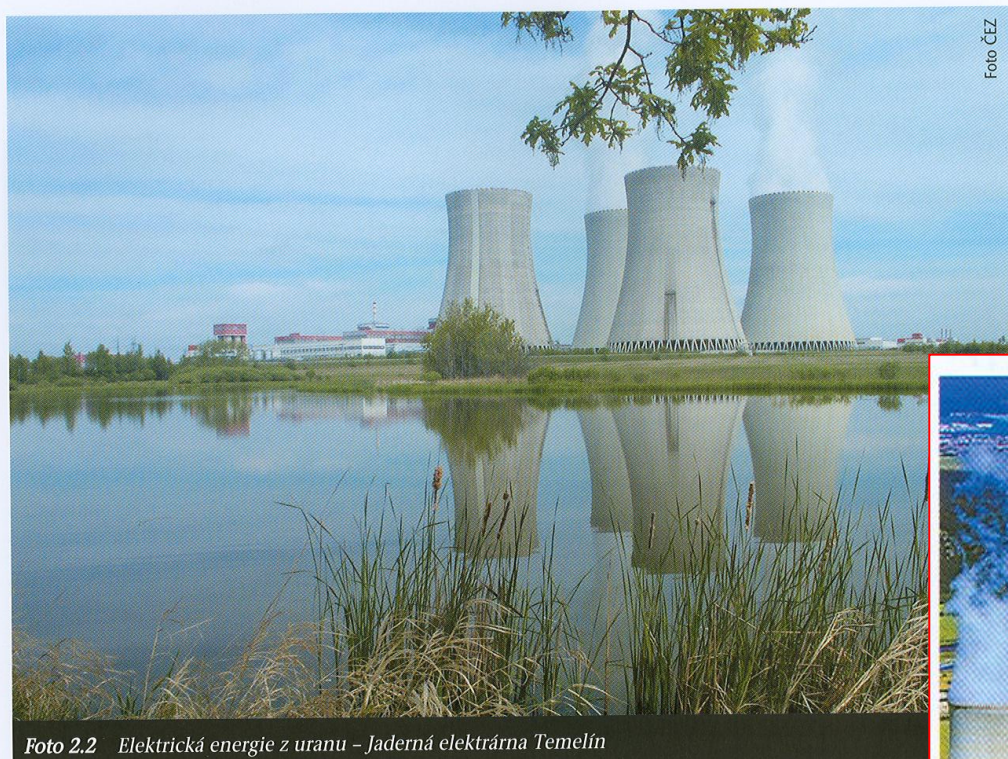


Foto 2.2 Elektrická energie z uranu – Jaderná elektrárna Temelín



Foto 8.1 Elektrická energie z uranu – Jaderná elektrárna Dukovany

Jaderná energetika



Foto 8.2 Elektrická energie z uranu – Jaderná elektrárna Temelín

Termonukleární syntéza



Foto 8.3 TOKAMAK – příprava lidstva na energetické využívání termonukleární syntézy, pohled na budoucí umístění TOKAMAKu 500 MW v Cadarache, Francie

Termonukleární syntéza

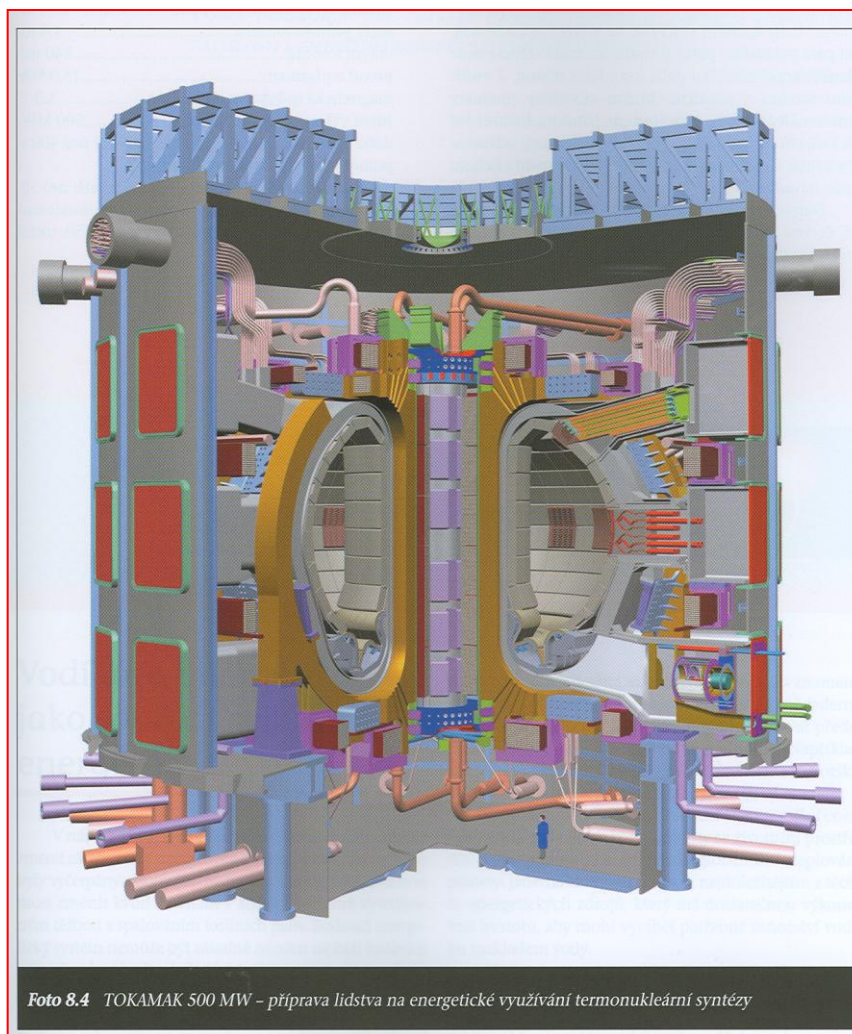
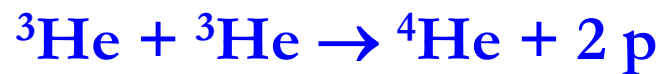
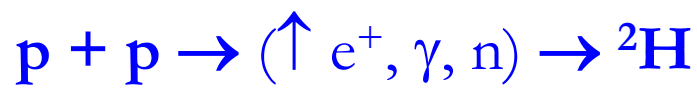


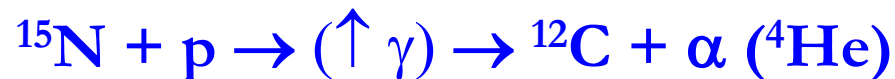
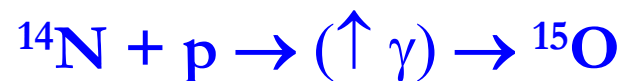
Foto 8.4 TOKAMAK 500 MW - příprava lidstva na energetické využívání termonukleární syntézy

Nukleární reakce

p-p proces (hoření vodíku – 10 milionů K):

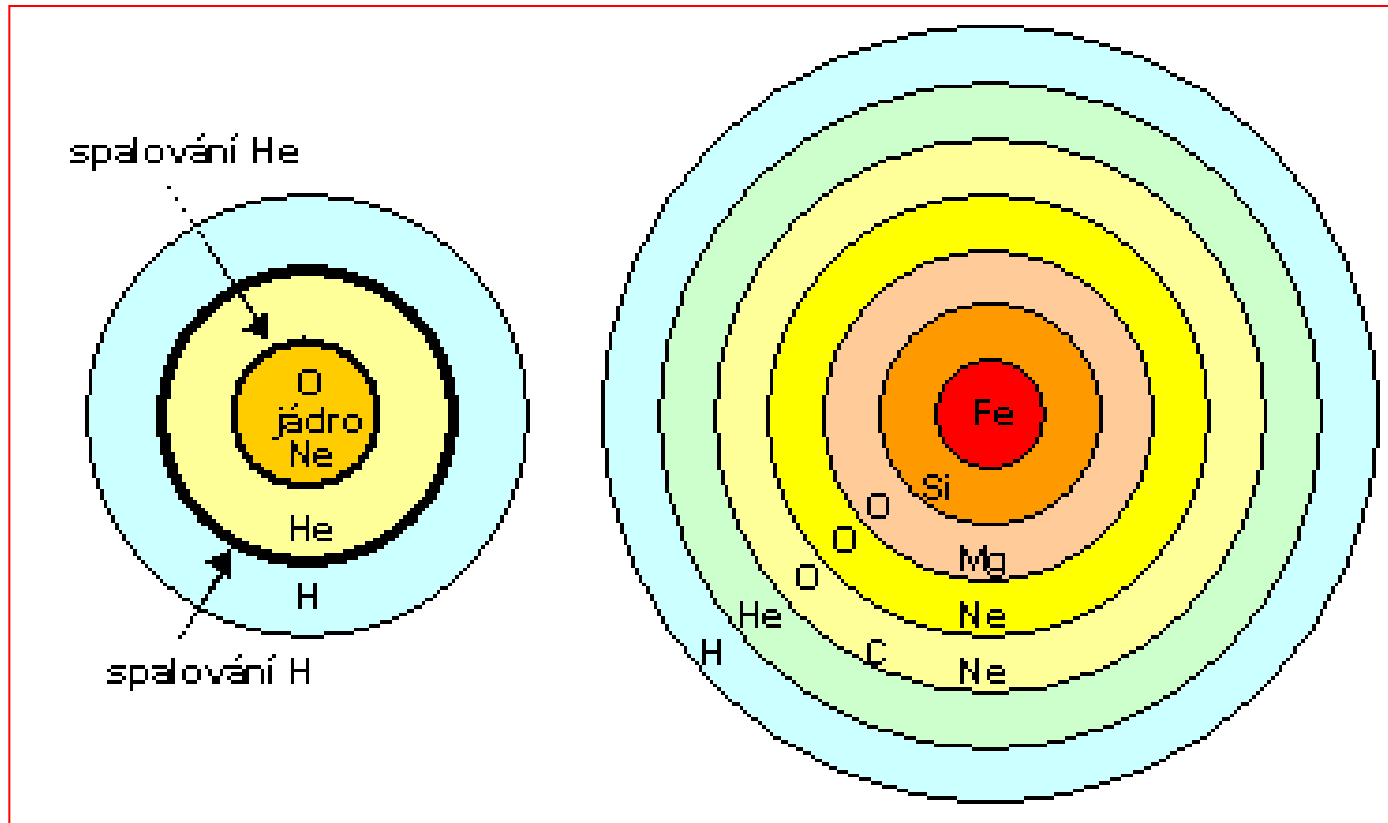


CNO cyklus:



Těžké prvky

- ↪ pomalý záchyt neutronů – *s-proces* (slow)
- ↪ rychlý záchyt neutronů – *r-proces* (rapid) – následně b^- rozpad
- ↪ záchyt protonů – *p-proces*



Předpokládaný příspěvek nových obnovitelných zdrojů E a jejich podíl na všech primárních energetických zdrojích

Tabulka 2.4

Předpokládaný příspěvek nových obnovitelných zdrojů energie (OZE) a jejich podíl na všech primárních energetických zdrojích (PEZ) v roce 2020 podle WEC 2000

Druh OZE	Minimum		Maximum	
	Mt _{oe}	%	Mt _{oe}	%
Biomasa	243	45	561	42
Solární energie	109	20	355	26
Jiné (vítr, geotermální, malé vodní elektrárny)	187	35	429	32
Celkem	539	100	1 345	100
Podíl ze všech PEZ (%)	3 až 4		8 až 12	

Měrná produkce CO₂ při spalování různých paliv

Tabulka 4.10

Měrná produkce oxidu uhličitého při spalování různých paliv

Typ paliva	Výhřevnost (MJ/kg)	Měrná produkce CO ₂ (kg _{CO₂} /kg _{paliva})	Množství CO ₂ vztažené na jednotku energie (kg _{CO₂} /GJ)
Vodík plyný	120	0	0
Vodík kapalný	120	0	0
Uhlí černé	20 až 30	1,7 až 2,9	85 až 100
Uhlí hnědé	11 až 24	1,2 až 1,9	82 až 95
Zemní plyn	43 až 50	2,6 až 2,8	57 až 60
Ropa	40 až 45	3,0 až 3,2	72 až 77
Petrolej	40	3,1	77
Benzin	42	3,0	71
Nafta	39	3,2	82
Bionafta	39	3,2	82
Etanol	30	2,9	97
Dřevěné uhlí	25 až 30	2,0	71 až 75
Dřevo	10 až 20	1,0 až 1,8	90 až 95

Srovnání technologií na úsporu fosilních paliv podle měrné energetické a ekonomické efektivity pro podmínky v ČR

Tabulka 7.12

Srovnání technologií na úsporu fosilních paliv podle měrné energetické a ekonomické efektivity pro podmínky v České republice (měrné úspory měrného paliva za rok vztažené na jednotku vynaložených investic) [88]

Technologie	měrná úspora [$\text{kg}_{\text{mp}}^{50}/\text{r.kK}^{51}$]
1. jaderná elektrárna (JETE) ⁵²	54 až 58
2. nasazení měřicí a regulační techniky ve vytápěcích systémech	50 až 60
3. kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET)	28 až 40 až (200) ⁵⁴
4. zateplení vytápěných obytných a obdobných stavebních objektů ⁵³	12 až 20
5. elektrárny, teplárny a výtopny na biomasu	2 až 65
6. přídatné spalování biomasy v uhelném kotli parní elektrárny	170 až 350
7. nahrazení starších uhelných elektráren novými elektrárnami s nadkritickými stavy páry	2,5 až 20
8. větrné elektrárny v ČR	3 až 6
9. fotovoltaické elektrárny v ČR	0,2 až 1

Měrné náklady na zmenšení produkce CO₂ pro různé technologie na úsporu fosilních paliv

Tabulka 7.13

Měrné náklady na zmenšení produkce oxidu uhličitého pro různé technologie na úsporu fosilních paliv podle tabulky 7.12 pro anuitu ve výši 6 procent, jak odpovídá pro dlouhodobé investice v energetice

Technologie	Porovnávací palivo	Měrná úspora produkce CO ₂ (kg/r.kKč)	Měrné náklady na zmenšení produkce CO ₂ (Kč/t)
1. jaderná elektrárna (JETE) ⁵⁵	HU ⁵⁷	126 až 136	440 až 475
2. nasazení měřicí a regulační techniky ve vytápěcích systémech	MIX ⁵⁸	100 až 120	500 až 600
3. kombinovaná výroba elektřiny tepla (KVET)	MIX	56 až 80 až (400) ⁵⁹	(150) ⁶⁰ až 750 až 1 070
4. zateplení vytápěných obytných a obdobných stavebních objektů ⁵⁶	MIX	24 až 40	1 500 až 2 500
5. elektrárny, teplárny a výtopny na biomasu	HU	5 až 152	395 až 12 000
6. přídatné spalování biomasy v uhelném kotli parní elektrárny	HU	400 až 820	73 až 150
7. nahrazení starších uhelných elektráren novými elektrárnami s nadkritickými stavy páry	HU	6 až 47	1 280 až 10 000
8. větrné elektrárny v ČR	HU	7 až 14	4 300 až 8 600
9. fotovoltaické elektrárny v ČR	HU	0,5 až 2	30 000 až 120 000

Měrné náklady na zmenšení produkce CO₂ pro různé technologie na úsporu fosilních paliv

⁵⁰ kg_{mp} – kilogram měrného paliva, měrné palivo má výhřevnost 29,3 MJ/kg. V americké literatuře se užívá t_{ce} – tuna uhelného ekvivalentu = 29,3 GJ.

⁵¹ kKč – kilokoruna = 1 000 Kč.

⁵² JETE – Jaderná elektrárna Temelín.

⁵³ Polovina vynaložené investice započtena na úsporu energie, druhá polovina na zlepšení úrovně a vzhledu domu.

⁵⁴ Platí pro rekonstrukce a modernizace stávajících tepláren, při nichž se dále využívá větší část stávajícího zařízení a objektů.

⁵⁵ JETE – Jaderná elektrárna Temelín.

⁵⁶ Polovina vynaložené investice započtena na úsporu energie, druhá polovina na zlepšení úrovně a vzhledu domu.

⁵⁷ Hnědé uhlí s měrnou produkcí oxidu uhličitého 2,34 kg/kg_{mp}.

⁵⁸ Směs paliv: 50 procent hnědé uhlí a 50 procent zemní plyn s měrnou produkcí oxidu uhličitého 2,04 kg/kg_{mp}.

⁵⁹ Platí pro rekonstrukce a modernizace stávajících tepláren, při nichž se dále využívá větší část stávajícího zařízení a objektů.

⁶⁰ Platí pro rekonstrukce a modernizace stávajících tepláren, při nichž se dále využívá větší část stávajícího zařízení a objektů.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**Inovace tohoto předmětu je spolufinancována
Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem
České republiky**