

Obnovitelné zdroje elektrické energie

**Petr Mastný ; Jiří Drápela; Stanislav Mišák; Jan Macháček ;
Michal Ptáček; Lukáš Radil ; Tomáš Bartošík ; Tomáš Pavelka**

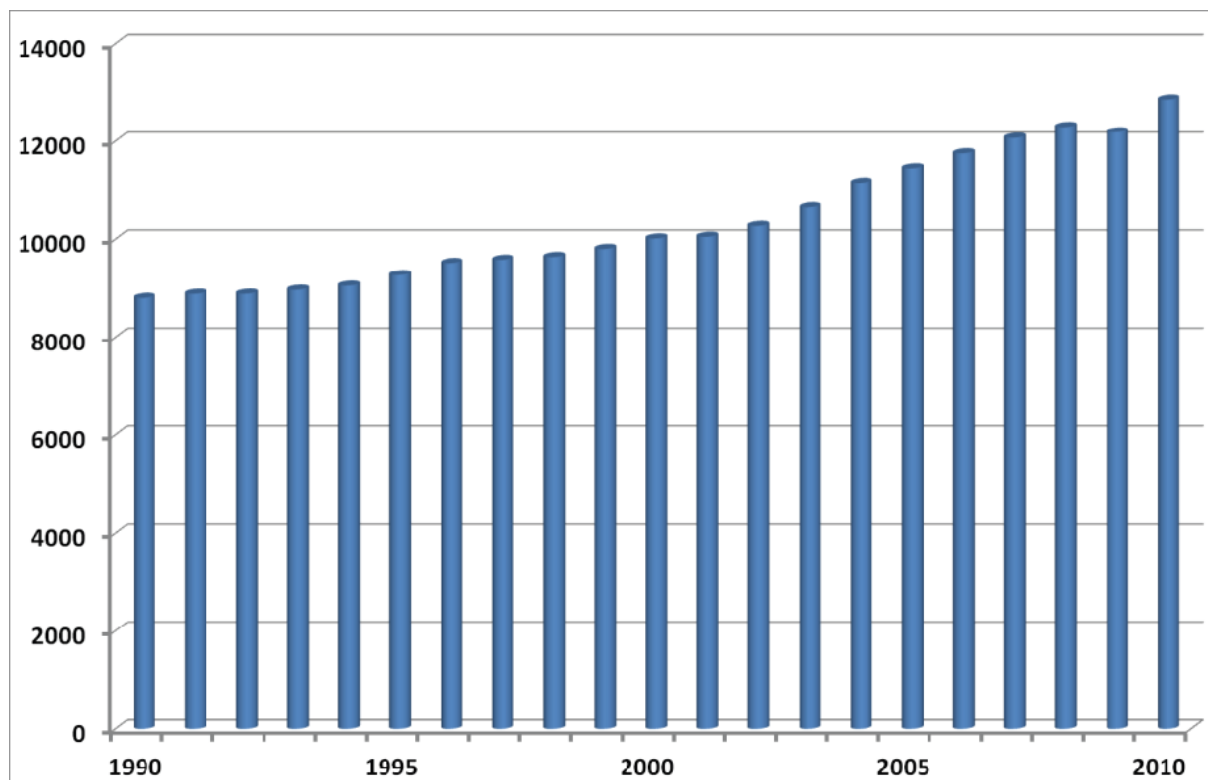


1. Úvod

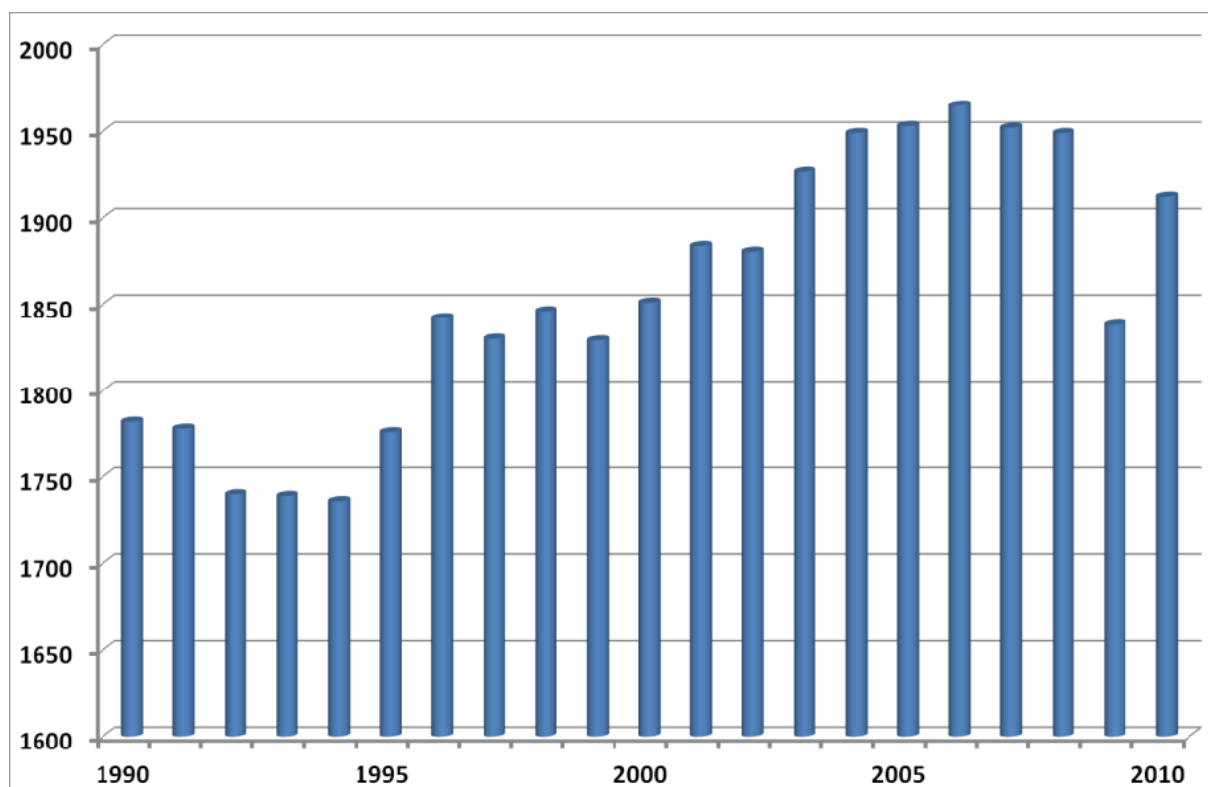
Snižující se zásoby fosilních paliv, růst světové populace i nároků jednotlivců na celém světě na energii, prohlubující se závislost soudobé civilizace na spolehlivé dodávce energie, ohrožení biosféry, na kterém se energetické hospodářství včetně dopravy výrazně podílí a nerovnoměrnost zdrojů i spotřeba paliv vytvářejí prostředí, které se bude výrazně lišit od poměrně bezproblémové situace, na kterou si při čerpání paliv a využívání energie zvykli obyvatelé průmyslových zemí ve 20. století. Současná situace a směry vývoje ukazují na pravděpodobnost nevratných vlivů na světové hospodářství i na globální klima. Nároky na energii neustále porostou a budou odčerpávat zejména nenahraditelné fosilní zdroje energie, které jsou ale zároveň chemickou surovinou. Obecně platí, že spotřeba energie ve všech jejích konečných uživatelských formách stále stoupá. V roce 2010 vzrostla spotřeba energie na celém světě o 5,5% oproti spotřebě před krizí v roce 2009. Tento rostoucí trend by zaznamenán ve všech zemích G20. Tento nárůst spotřeby energie byl zapříčiněn dvěma základními trendy:

- po útlumu v roce 2009 byly oživeny ekonomické aktivity zemí OECD, spotřeba energie se zvýšila o 6,7% v Japonsku, v Evropě o 4% a v USA o 3,7%
- vzrostla poptávka po energii v Číně a Indii (nárůst o více než 6%), Čína posílila svou pozici největšího spotřebitele energie (o 11% více než USA)

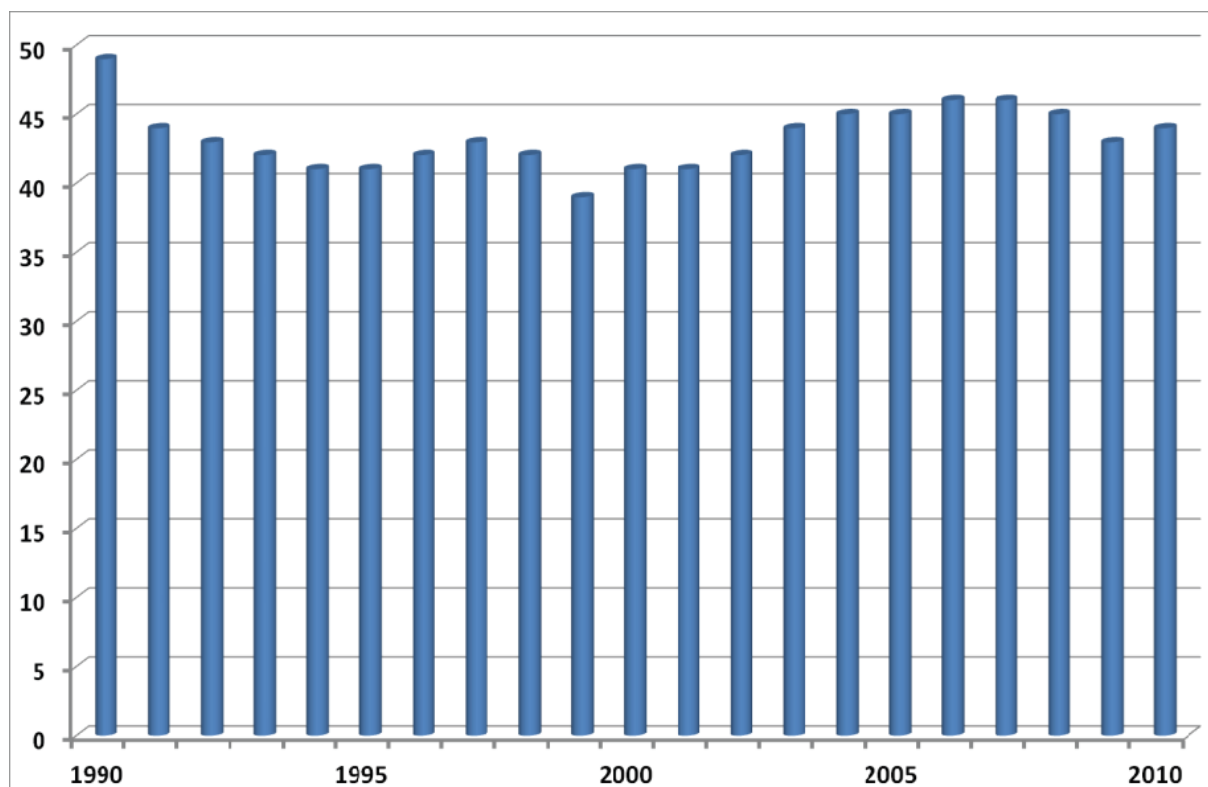
Na následujících obrázcích (1.1 – 1.3) jsou zobrazeny vývojové trendy ve spotřebě energie v letech 1990 – 2010 (údaje jsou v Mtoe - Million Tons of Oil Equivalent).



Obr. 1.1: Vývoj spotřeby energie ve světě [4]



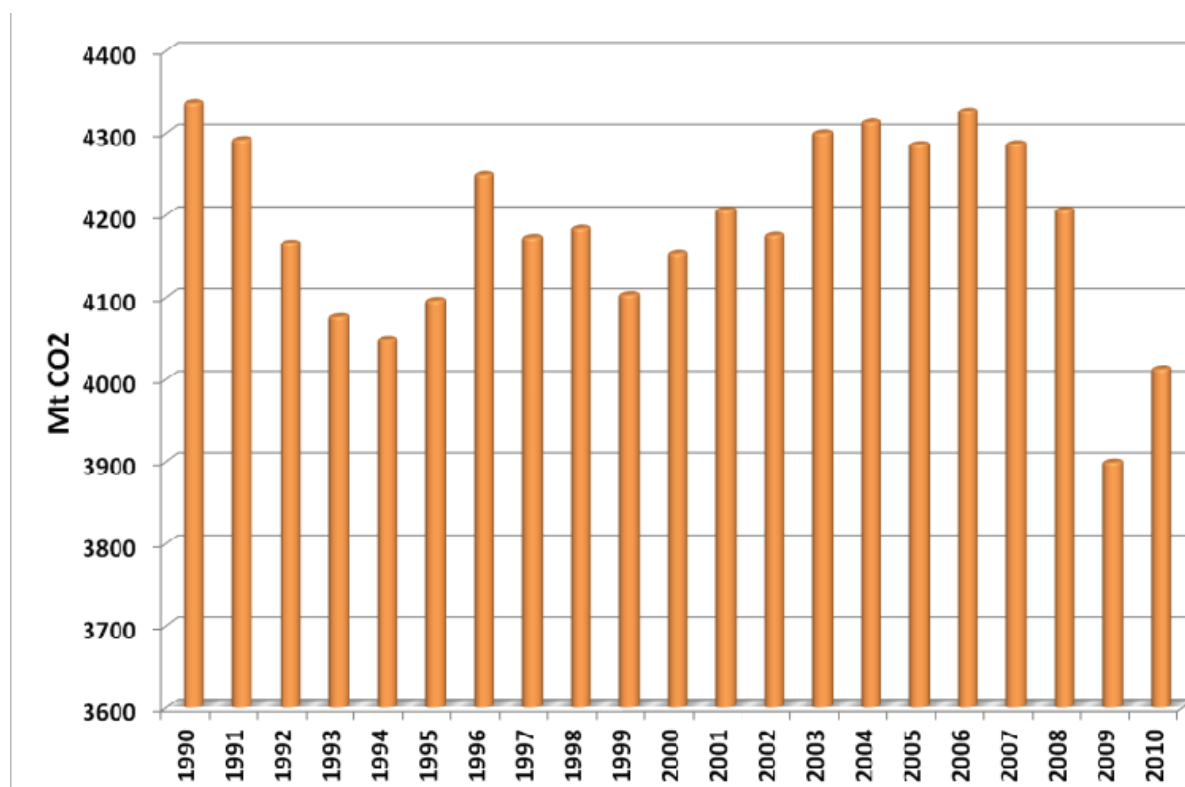
Obr. 1.2: Vývoj spotřeby energie v EU [4]



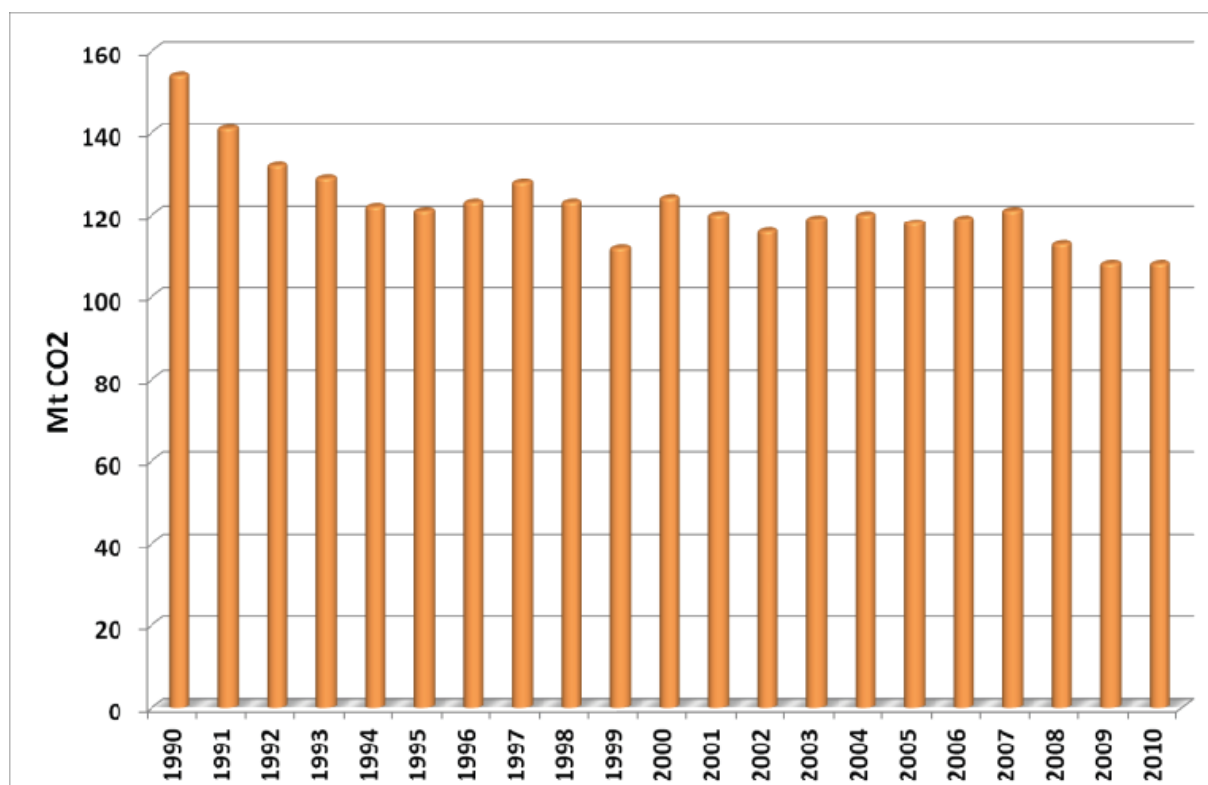
Obr. 1.3: Vývoj spotřeby energie v ČR [4]

Energetická politika Evropské unie (jejíž je Česká republika členem) postavila do popředí otázku snížení závislosti na dovozu energií a environmentální problematiku, z čehož vyplynul, kromě jiného, i požadavek na maximální možné využití obnovitelných zdrojů. Ač všechny členské státy podnikly kroky k podpoře obnovitelných zdrojů, výsledek není všude stejný. Proto vznikly další iniciativy, jejichž závěrem je ambiciózní úkol zdvojnásobení příspěvku obnovitelných zdrojů energie do energetické bilance primárních energetických zdrojů. I když se to zdá nadnesené, byla podpora obnovitelných zdrojů v posledních letech jedním z klíčových bodů energetické politiky Evropské unie. Souhlas s touto politikou potvrzuje průzkum nedávno provedený statistickým úřadem Evropské Unie Eurostat, ve kterém 90 % občanů Evropské unie považuje za jeden z prioritních úkolů svých vlád zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na bilanci spotřeby energie.

Je nepopíratelnou skutečností, že zásoby fosilních paliv jsou omezené, a že je nutné hledat jiné zdroje. Řešením asi není zemní plyn, který mimo to, že je fosilním zdrojem, je také importovanou komoditou, která v sobě skrývá mimo závislosti na dovozu i problém očekávaného velkého cenového nárůstu. Dalším tématem k možné diskusi je současné používání jaderné energie. Výše uvedenou problematiku analyzuje tzv. Zelená kniha Evropské unie „Evropská strategie pro zajištění bezpečných dodávek energií“, která klade velkou důležitost vyššímu využívání obnovitelných zdrojů. Speciálně tuto záležitost do hloubky rozebírá tzv. Zelená a Bílá kniha Evropská unie „Obnovitelné zdroje energie – energie pro budoucnost“.



Obr. 1.4: Produkce CO2 v Evropě [4]



Obr. 1.5: Produkce CO2 v ČR [4]

V souvislosti s nárůstem spotřeby energie, vzrůstají i emise CO₂. V roce 2010 vzrostly emise CO₂ oproti roku 2009 o 6%. Emise ze zemí OECD mají 41% podíl na celosvětové produkci CO₂. V průběhu roku 2010 měly emise zemí OECD pomalejší růst, než byl celosvětový průměr. V USA rostly emise CO₂ rychleji (4%) než v Evropě (3%), zatímco Japonsko zaznamenalo nárůst o 7,6%. V Asii se velmi dramaticky zvýšily emise CO₂ a to především díky hospodářskému růstu a většímu využívání fosilních zdrojů. K největším producentům CO₂ patří Čína, která měla v roce 2010 25% podíl na celosvětové produkci tohoto plynu.

Česká republika má srovnatelné měrné emise CO₂ s průměrem zemí OECD, ale její energetická bilance je tradičně založena na vysoké spotřebě domácího uhlí a omezeném hydropotenciálu. Pro srovnání jsou na obrázku 1.4 a 1.5 zobrazeny emisní hodnoty CO₂ v Evropě a v ČR v letech 1990- 2010.

1.1. Rozdělení energetických zdrojů

Energetické zdroje využívané na naší planetě můžeme rozdělit podle několika základních kritérií:

- rozdělení podle obnovitelnosti,
- rozdělení podle místa v procesu přeměny,
- rozdělení podle rozsahu využití.

Nejběžnější je rozdělení podle obnovitelnosti zdrojů na *neobnovitelné a obnovitelné*. Dále jsou také zmiňovány energetické zdroje *druhotné* (mají svůj původ v lidské činnosti).

1.1.1 Neobnovitelné zdroje energie

Za neobnovitelný zdroj energie je obvykle považován takový zdroj energie, jehož vyčerpání je očekáváno v horizontu maximálně stovek let, ale jeho případné obnovení by trvalo mnohonásobně déle. Jak je vidět na obrázku 1.8, mezi neobnovitelné zdroje patří fosilní a jaderná paliva.

Uhlí

Nepostradatelným a nejvíce rozšířeným zdrojem energie jsou dnes fosilní paliva. Do skupiny fosilních paliv patří především uhlí, a to jak černé uhlí, které je kvalitněji prouhelněné, tak i hnědé uhlí, které je méně kvalitní, má vyšší obsah vody a síry a má přibližně poloviční výhřevnost. Uhlí vznikalo z organického materiálu, především rostlinného původu, který se dostal do hlubších vrstev zemské kůry, kde se rozkládal velmi dlouhou dobu za nepřítomnosti vzduchu. Černé uhlí vznikalo v době před 280–350 milióny lety, jeho sloje jsou dnes mnohem mohutnější, než sloje hnědého uhlí, a jsou uloženy ve větší hloubce, někdy až 1200 metrů. Hnědé uhlí se vytvářelo podstatně kratší dobu a v menší hloubce. Těží se povrchově, což má většinou za následek rozsáhlou devastaci krajiny a rušení některých vesnic. Těžba uhlí ve větším měřítku začala už v 17. století a odhaduje se, že světové zásoby uhlí by měly vydržet ještě asi 600 let. Největší nevýhoda uhlí je, že jeho spalování v uhelných elektrárnách uvolňuje do ovzduší velké množství škodlivých látek. Uhelná elektrárna o výkonu 1000 MW spotřebuje během jednoho roku svého provozu přibližně 130 tisíc vagónů uhlí a do ovzduší vypustí 200 tisíc tun oxidu siřičitého SO₂, 30 tisíc tun oxidu dusíku NO_x, 16 tisíc tun popílku a desítky tun těžkých, toxických a z části i radioaktivních látek. Krajinu v okolí navíc zatěžuje každoročně 1,8 milionu tun popela, který se sice odplavuje na vzdálenější skládky, ale i tak jej vítr rozfoukává po okolí. [2]



Obr. 1.6: Povrchový uhelný důl, Wyoming, USA

Do popředí se dnes dostávají technologie, které umožňují vyrobit z uhlí „čistší“ paliva. Uhlí je zahříváno ve vzduchotěsných komorách na vysokou teplotu a dělí se na jednotlivé složky – takto se získá z jedné tuny uhlí přibližně 630 kg koksu, 54 kg uhelného dehtu, 13,5 kg benzolu, 9 kg dalších chemikálií, 285 krychlových metrů plynu, zbytek tvoří voda a pevný odpad. Další možností je zkapalňování paliv na principu extrahování organických složek z uhlí, za pomoci rozpouštědel a jejich nasycování vodíkem. Podle typu procesu vzniká celá řada produktů, například těžké oleje, benzíny, a také plyny. Z jedné tuny uhlí se takto získá asi 180–350 litrů kapalných produktů. Podíl uhlí na světové energetice je dnes přibližně 25 procent.

Ropa

Další z paliv je ropa. Je to jedno z nejdůležitějších paliv současnosti, jeho podíl na světové energetice je přibližně 30 procent a její současná těžba je kolem 3,5 miliardy tun ročně. Deset procent z tohoto množství se využívá jako důležitá surovina v chemickém průmyslu, zbytek potom v energetice a jako pohonné hmoty do automobilů (benzín, nafta). Ropa je složena z kapalných uhlovodíků, vzniklých rozkladem organických látek usazených na dně moří před 500 miliony let. Usazeniny byly později zakryty anorganickými vrstvami a vystaveny působení vysokých tlaků a teplot. Vznik ropy obvykle doprovází i vznik zemního plynu, který se téměř vždy nachází hned nad ložiskem ropy. Spotřeba ropy od začátků její těžby prudce vzrůstala a už v padesátých letech byla nejvýznamnějším palivem, a to především v dopravě, kde je prakticky nenahraditelná. Nyní její spotřeba sice pomalu klesá, i přesto jsou už dnes světové zásoby ropy z poloviny vyčerpány. Odhaduje se, že při dnešním tempu těžby ropy vystačí světové zásoby už jen na 50 až 70 let. [2], [5]

Těžba ropy může být realizována třemi základními způsoby:

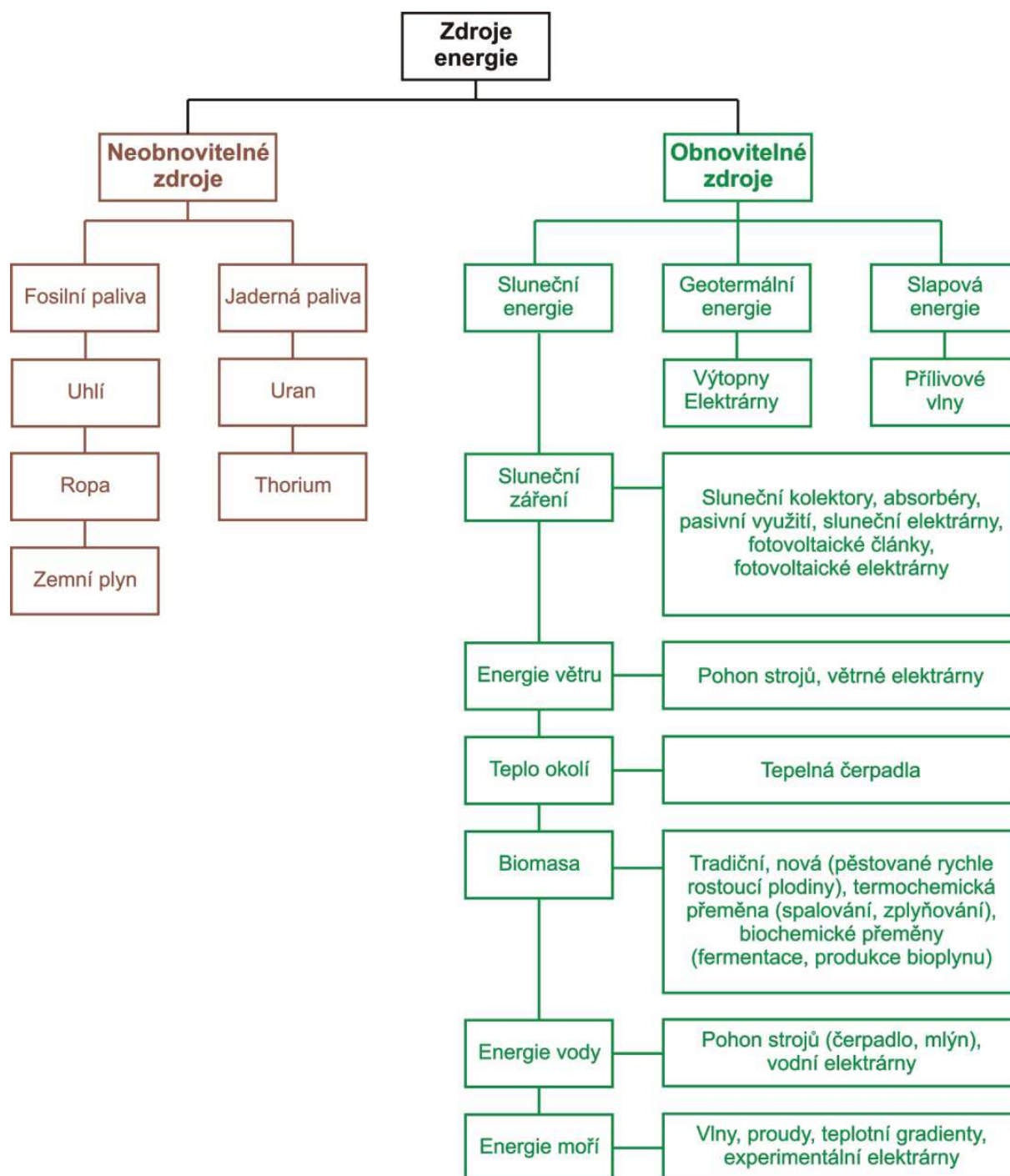
- primární způsob těžby
 - metoda postavená na využití zemních vrtů většinou je v nalezišti společně s ropou přítomen i zemní plyn (zajišťuje potřebný tlak pro vytlačení ropy na povrch) výtěžitelnost naleziště využitím této metody je kolem 20%
- sekundární metoda
 - využívá se při poklesu tlaku v oblasti vrtu využívají se pumpy, nebo zvýšení tlaku pomocí vodní injeckáže, zpětné pumpování zemního plynu nebo popřípadě CO₂ využitím primární a sekundární metody je možno vyčerpat 25 - 35% celkového množství ropy obsažené ve vrtu
- terciální metoda
 - principem je snížení viskozity zbývající ropy pomocí horké vodní páry produkce ropy z vrtu se může zvýšit o 5 – 15%



Obr. 1.7: Ropný vrt na jižní Moravě, Hodonín (Moravské naftové doly)

Zemní plyn

Zemní plyn se nachází především nad ložisky ropy. Jeho hlavní složkou je metan (CH_4), který tvoří 60–80 procent obsahu, další složky jsou etan (5–9%), propan (3–18%) a těžší uhlovodíky (2–14%). Zbytek tvoří malé množství dusíku, kyslíčnicku uhličitého a sirovodíku. V prvních obdobích těžby ropy byl zemní plyn spíše na obtíž, a tak byl vypouštěn do vzduchu anebo byl zapalován. Dnes se zachycuje a využívá jako palivo. Zemní plyn vyžaduje před svým použitím ze všech paliv nejméně úprav. V místě těžby se čistí, zbavuje vlhkosti a potom se dálkovými plynovody vede do míst spotřeby. Zemní plyn se využívá ve velké míře v domácnostech, především k vytápění. Jeho podíl na světové energetice je přibližně 25%.



Obr. 1.8: Rozdělení energetických zdrojů [1], [2]

Jaderná paliva

Jaderné palivo je palivo, z něhož se energie uvolňuje prostřednictvím jaderných reakcí a to buďto rozpadem (štěpením) nebo fúzí. V současnosti se prakticky využívá pouze štěpení jaderného paliva (uran, obohacený nebo přírodní a uměle vytvořené plutonium). Do budoucna se počítá i s thoriem, jehož zemská kůra obsahuje výrazně více. Palivo musí být pro využití v jaderných elektrárnách přepracováno do jaderných palivových článků. Nejběžnějším typem jaderného paliva je obohacený uran ve formě oxidu uraničitého. Tato látka je uzavřena do hermetických tablet, které jsou dále skládány do palivových prutů. Konkrétní typ jaderného

paliva závisí na konstrukčním řešení reaktoru. Byly sestrojeny reaktory, které jsou schopny zpracovávat i přírodní uran bez obohacení, ale tato technologie se ukázala jako málo spolehlivá. Dnes používají jen málo obohacený uran reaktory typu CANDU, které provozuje Kanada, v Evropě Rumunsko. Vyhořelé palivo, v němž se rozpadla většina uranu 235 (případně plutonia) se obvykle skladuje v meziskladech. Toto palivo se dá recyklovat na nové palivo, ale recyklace je v současné době dražší než výroba nového paliva. Recyklace spočívá v oddělení štěpných produktů a doplnění uranu 235 nebo plutonia. Pokud je jaderné palivo použito v reaktoru s vysokým konverzním poměrem, může se v něm množství využitelných izotopů zvýšit. Recyklací se pak získá větší množství jaderného paliva, než bylo původně vloženo.

Jedním z nejdůležitějších problémů souvisejících s používáním jaderných paliv je jejich skladování. Vyhořelé palivo je stále vysoce radioaktivní a nebezpečné, musí proto být skladováno za speciálních podmínek. V první fázi se palivo skladuje zpravidla vedle reaktoru nebo v areálu jaderného zařízení a chladí se několik let ve zvláštním bazénu. Alternativou ke skladování v bazénu je suché skladování v ocelových kontejnerech. V těchto kontejnerech je možné palivo ukládat do meziskladů i na několik desítek let. Pro dlouhodobější skladování a ukládání se používají hlubinná úložiště.[6]

1.1.2 Obnovitelné zdroje energie

Možnost přechodu systémů zajišťujících zásobování lidských aktivit energií k využívání obnovitelných zdrojů vyplývá ze základních přírodních zákonů. Pokud nebude tato cesta nastoupena, může dojít ke snížení kvality života a degradaci životního prostředí. Tento proces přechodu nelze realizovat v krátkém ani středním období, pouze důsledná strategie v dlouhém období může být úspěšná. Mnoho alternativních zdrojů energie lze použít místo fosilních paliv. Rozhodnutí o tom, jaký typ zdroje energie by měl být využit, musí vycházet ze základních ekonomických, environmentálních a bezpečnostních hledisek. [3] Obnovitelný zdroj energie je označení některých vybraných, na Zemi přístupných forem energie, získané primárně především z jaderných přeměn v nitru Slunce. Dalšími zdroji jsou teplo zemského nitra a setrvačnost soustavy Země-Měsíc. Lidstvo je čerpá ve formách např. slunečního záření, větrné energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasy a další. [7]

Obnovitelné zdroje jsou v české legislativě definovány následovně:

- Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona o životním prostředí je: „*Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.*“ [8]
- *Definice podle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů): „Obnovitelnými zdroji se rozumí obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.* [9]

V celosvětovém měřítku představují obnovitelné zdroje energie značný, ekologicky čistý potenciál, který by bylo teoreticky možné využít pro pokrytí současné celosvětové spotřeby energie. Využívání obnovitelných zdrojů je však limitováno několika faktory, jako je malá plošná koncentrace, nestejně rozložené územní rozložení, proměnlivá intenzita v průběhu dne i roku a značné investiční náklady. Obvykle se pro posouzení energetického potenciálu obnovitelných zdrojů využívá jako jediný ukazatel instalovaný výkon (Pi) zařízení určeného k transformaci energie. Avšak s ohledem na výše uvedené limity využití

obnovitelných zdrojů energie je nutné toto posouzení rozšířit o další technické parametry. Jako nezbytná se jeví znalost charakteristických vlastností energetických zařízení, jako jsou: [10]

- *instalovaný výkon P_i (W)*
- *špičkový výkon P_p (W_p) – indexem „p“ je označován tzv. Wattpeak*
- *průměrný celoroční výkon P_{cr} (kW)*
- *součinitel využití K – popisuje využití zařízení v průběhu celého roku a je určován ze znalosti energie W_R ($kWh \cdot r^{-1}$) vyprodukované za rok:*

$$K = \frac{W_R}{P_i \cdot 8700} \quad (1.1).$$

1.1.3 Druhotné zdroje energie

Druhotné energetické zdroje vznikají jako důsledek spotřeby paliv a energie v technologických procesech, ve kterých se bezezbytku nevyužijí. Mohou být tedy následně využity jako zdroj energie pro jiná technologická zařízení. Tyto “odpadní” produkty bývají nositeli energie: [10]

- chemické
 - o různorodé spalitelné odpady jejichž využívání je závislé na množství a místě výskytu
- tlakové
 - o zbývající tlaková energie v nositeli po technologickém procesu se vyskytuje omezeně a její využívání je ojedinělé
- tepelné
 - o odpadní teplo z technologických procesů se jeví jako velmi perspektivní zdroj energie

Odpadní teplo

Za odpadní teplo lze považovat teplo nevyužité při spalování paliv, tj. tepelnou ztrátu a teplo obsažené v látkách opouštějících technologické zařízení. Největším zdrojem odpadního tepla je kondenzační teplo páry vystupující z parních turbín do kondenzátoru a ohřívající chladící vodu. Toto teplo je však nízkopotenciální a jeho využití naráží na značné ekonomické a technické problémy.

Odpadní teplo se vyskytuje i v kompresorových stanicích tranzitního plynovodu, ve spalinách silikátových pecí, ve spalinách v hutnických a ohřívacích pecí apod. Výroba elektrické energie spojená se spalováním jakéhokoli druhu paliva, včetně jaderných elektráren, je vždycky provázána velkým množstvím odpadního tepla, jehož množství závisí na účinnosti elektrárny. Roční objem odpadního tepla se odhaduje asi na 470 000 TJ. Typická 1000 MWe jaderná elektrárna uvolní v relativně malém prostoru (jako bodový zdroj) asi 2000 MW tepla do vody a ovzduší. [15]

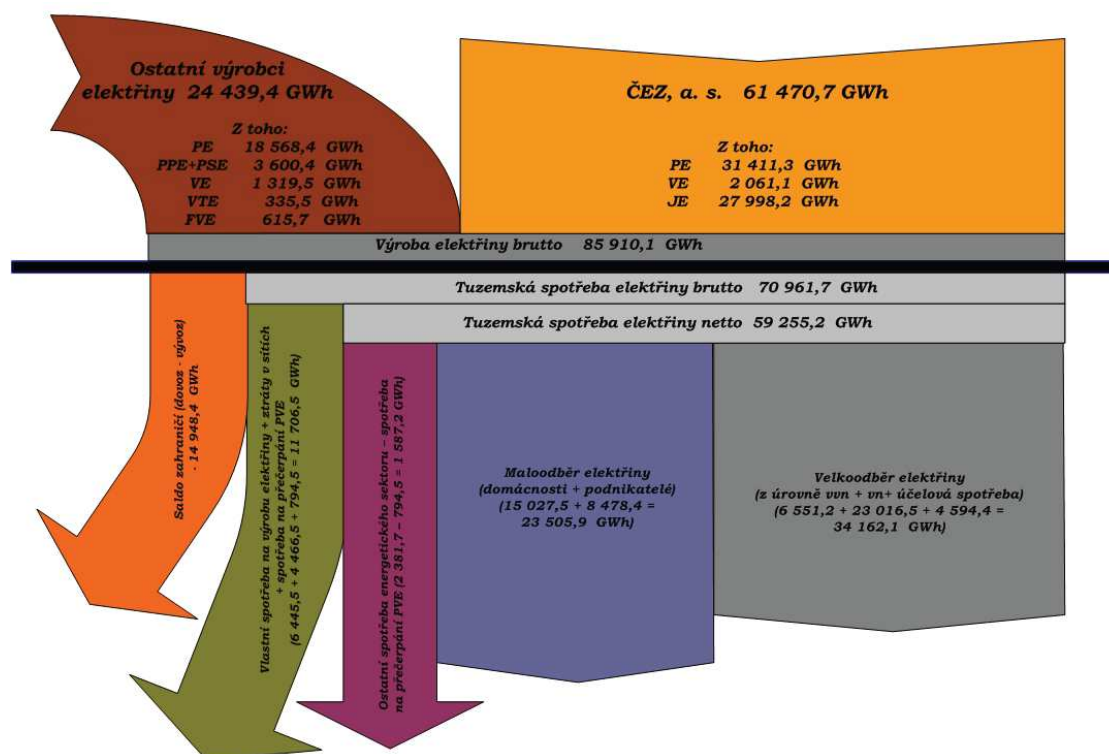
Pro podmínky využití odpadního tepla z chlazení kondenzace parních turbín v ČR bylo rozděleno toto teplo do čtyř kategorií: [15]

- odpadní teplo v chladící vodě (25 – 43°C) využitelné v zemědělsko potravinářském průmyslu,
- upravené nízkopotenciální teplo (50 – 60°C) využitelné pro ekvitermické regulace tepla ve vytápěných objektech,
- teplo pro centralizované soustavy (120 – 180°C) využitelné pro centralizované zásobování teplem,
- teplo pro parní soustavy centralizovaného zásobování teplem

Stále více se uvažuje o využití nízkopotenciální energie, které je sice co do množství dostatek, ale vzhledem k jejímu nízkému potenciálu je její využití velmi obtížné. Pro ilustraci – odebereme-li například jednomu m³ vody teplo ochlazením o 1°C, představuje to takové množství tepla, které se rovná 1,16 kWh. Podobně lze odebírat teplo venkovnímu vzduchu, kterého je všude dostatek. Značnou tepelnou kapacitu představuje i teplo Země. Naše okolí má tedy dostatečnou zásobárnu tepla, jde pouze o to, převést je na teplotu, kterou potřebujeme. Podrobněji je této problematice věnována kapitola 5 – *Geotermální energie*.

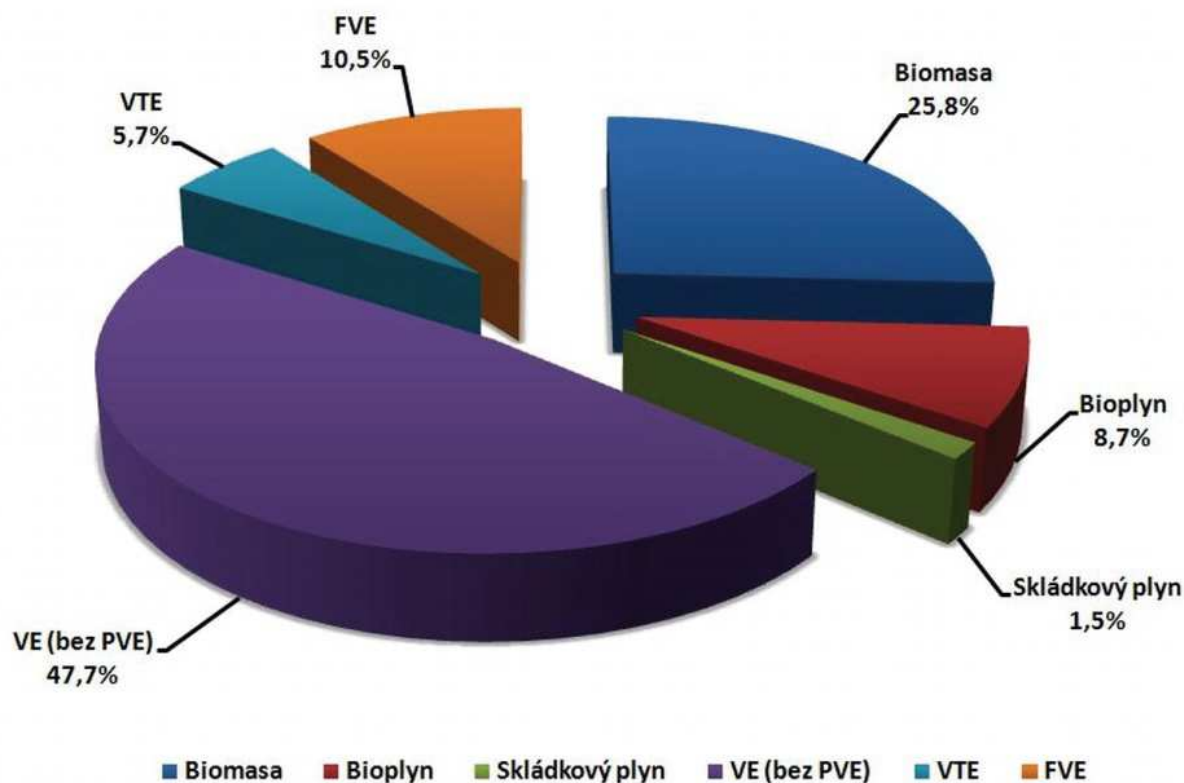
1.1.4 Obnovitelné zdroje energie v ČR

Energetická základna České republiky je založena především na využívání fosilních paliv. Struktura energetických zdrojů a spotřeby elektrické energie v České republice je vidět na obrázku 1.9. Z obrázku vyplývá, že majoritní podíl na výrobě elektrické energie mají tepelné elektrárny (58%), jaderné elektrárny (32%) a vodní elektrárny včetně přečerpávacích (4%). Celková výroba elektrické energie v ČR přesáhla v roce 2010 hodnotu 85 TWh.



Obr. 1.9: Struktura výroby elektrické energie v ČR (2010) [12]

Využití obnovitelných zdrojů energie v České republice představuje velmi malou část z objemu hrubé spotřeby primárních energetických zdrojů. Pro Českou republiku byl při vstupních jednáních do EU odsouhlasen národní indikativní cíl 8% výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů v roce 2010. K datu 31.12. 2010 byl podíl OZE na tuzemské hrubé spotřebě elektrické energie 8,24%. Podíl jednotlivých obnovitelných zdrojů je vidět na obrázku 1.10.



Obr. 1.10: Výroba elektrické energie z OZE v ČR (2010) [1]

V tabulce 1.1 jsou uvedeny stavy instalovaného výkonu a výroby elektrické energie v České republice k polovině roku 2011. Předpokládaný podíl obnovitelných zdrojů energie na výrobě v České republice je 13% v roce 2020. Tento odhad vychází především z dostupného energetického potenciálu jednotlivých OZE v ČR.

<i>OZE v ČR - aktuální údaje</i>				
Typ zdroje	Instalovaný výkon (MW)		Výroba (GWh)	
	k 30.6. 2011	k 30.6. 2010	1.-6. 2011	1.-6. 2010
Vodní elektrárna	2 198,4	2 198,4	1 481,3	1 784,8
Větrná elektrárna	1 060,9	963,0	185,2	157,4
Fotovoltaické elektrárny	1 973,7	569,2	1 157,1	256,7
Biomasa	-	-	813,10	742,20
Bioplyn	-	-	333,90	241,20
Skládkový plyn			49,20	40,80

Tab. 1.1: Instalovaný výkon a výroba z OZE v ČR [1], [13]

1.1.5 Energetický potenciál OZE v ČR

Vodní energetika

V ČR nejsou přírodní poměry pro budování vodních energetických děl ideální. Naše toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Podíl výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách na celkové výrobě v ČR - tj. na produkci uhelných elektráren, JE Dukovany a JE Temelín – je poměrně nízký. V minulých letech k jeho dalšímu snížení přispělo i poškození vodních elektráren vltavské kaskády povodněmi v roce 2002. Určitý potenciál skýtají možnosti výstavby malých vodních elektráren a rekonstrukce stávajících, již nevyhovujících, zařízení vodních elektráren, čímž můžeme dosáhnout zvýšení účinnosti přeměny energie vody. Pro využití vodní energetiky jsou na našem území z hlediska průměrných průtoků energeticky nejvýhodnější řeky Labe, Vltava a Morava. Ostatní toky poskytují možnosti výstavby vodní děl s menší výrobní kapacitou. Nejvíce je energeticky využita Vltava, na níž byla postavena kaskáda vodních elektráren o celkovém instalovaném výkonu asi 750 MW (obrázek 1.11).

V porovnání s energetickými výrobny využívající fosilní paliva, mají vodní elektrárny několik výhod: [2]

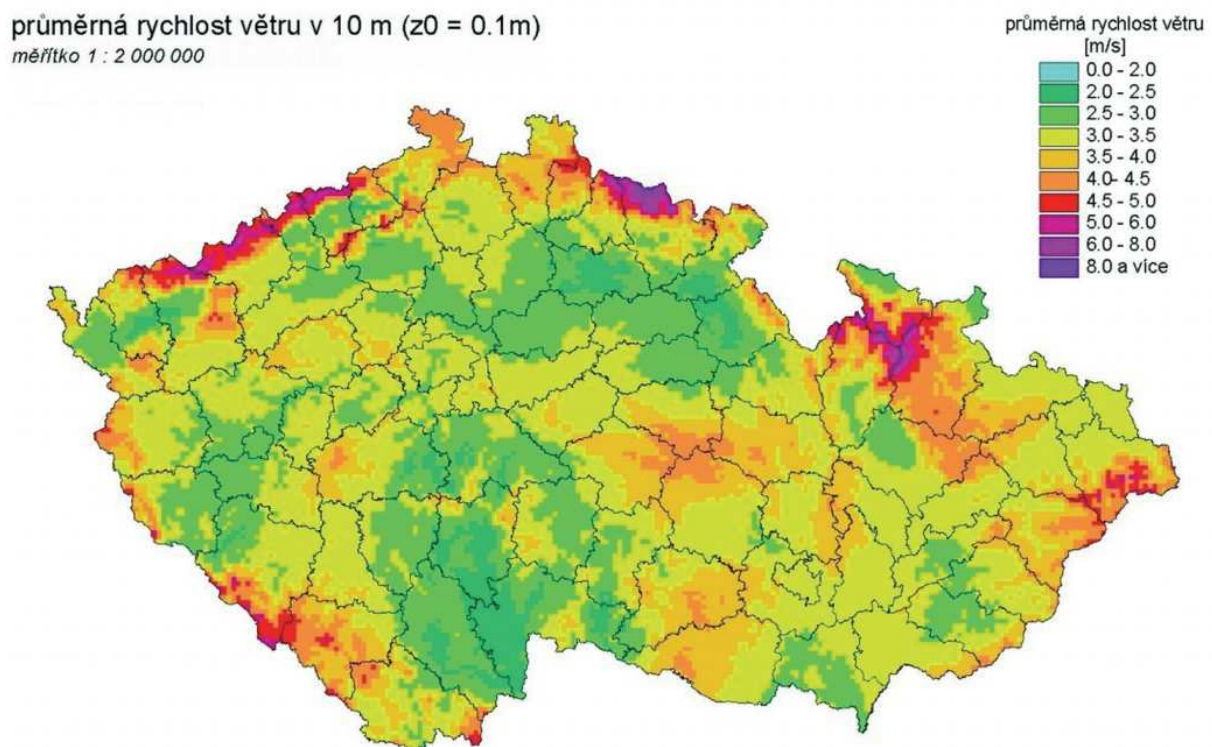
- možnost rychlého a hospodárného spouštění a odstavování,
- jednoduchý technologický proces výroby s možností úplné automatizace provozu a dálkového ovládání,
- vysoká pohotovost k výrobě při nízké poruchovosti,
- vysoká účinnost přeměny mechanické energie vodního toku na energii elektrickou,
- neznečišťují okolí exhalacemi a odpady z výroby.



Obr. 1.11: Schéma Vltavské kaskády vodních elektráren [2]

Větrná energetika

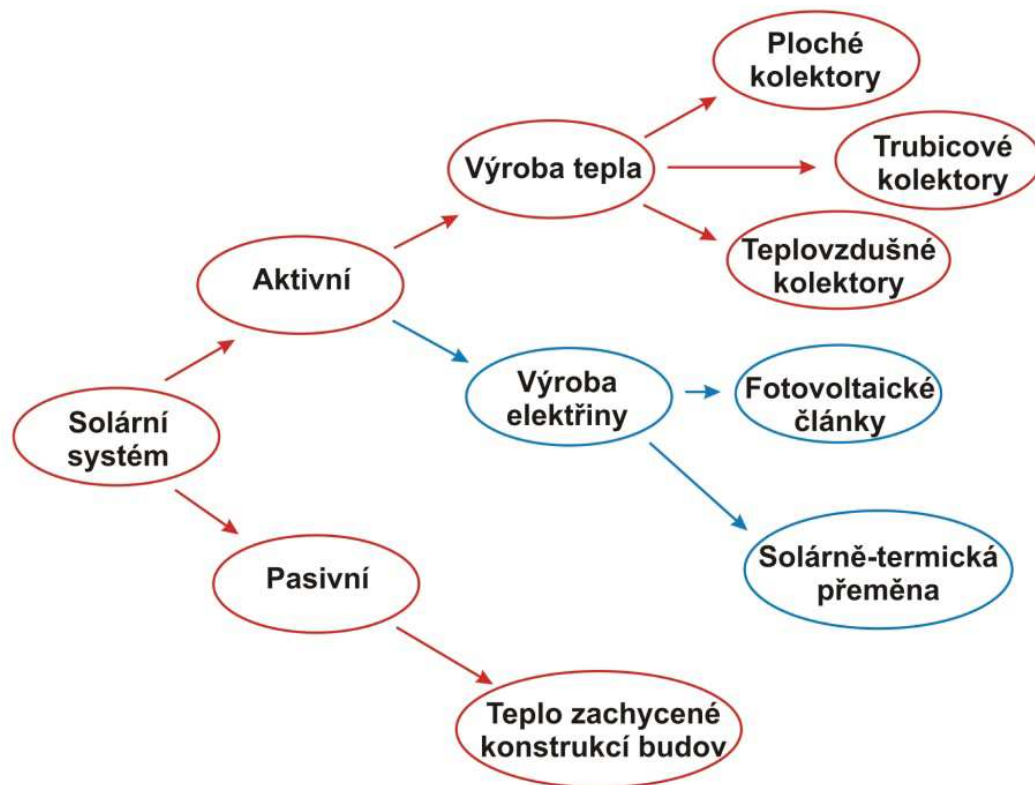
V zemích střední Evropy nejsou větrné podmínky příliš příznivé, proto se zde větrné elektrárny používají jen v menším rozsahu. V ČR jsou příznivé větrné podmínky převážně pouze v horských oblastech a na vrchovinách. Podle provedeného posouzení větrné situace u nás by bylo možné vyrobit ročně větrnými elektrárnami 1 až 3 miliony MWh, tedy jen několik málo procent vyráběné elektrické energie. Jednou z výhod větrné energie je skutečnost, že při výrobě nejsou produkovány žádné škodlivé emise. Tím, že Česká republika není přímořskou zemí, je v našich geografických podmínkách problém s intenzitou větru a výběrem správné lokality pro výstavbu větrné elektrárny. Ve vybrané lokalitě by se průměrná roční rychlost větru měla pohybovat nad hranicí $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na obrázku 1.12 je zobrazena větrná mapa České republiky, ze které je patrné, že počet větrných lokalit vhodných k instalaci větrných elektráren je značně omezený. Dolní hranice energetického využití větru se pohybuje okolo rychlosti $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a horní hranice se pohybuje okolo hodnoty $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při rychlostech větru nad $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ jsou obvykle větrné elektrárny z bezpečnostních důvodů odstavovány.



Obr. 1.12: Větrná mapa ČR [14]

Sluneční energetika

S využitím aktivních nebo pasivních solárních systémů můžeme sluneční energii využít na výrobu tepelné nebo elektrické energie. Základní rozdělení systémů využívajících sluneční energii je zobrazeno na obrázku 1.13.



Obr. 1.13: Rozdělení solárních systémů dle způsobu využití sluneční energie [3]

Tepelné solární systémy

Návrh systémů využívajících sluneční záření je otázkou hlavně ekonomickou, při jejímž řešení se vychází z ceny solárního systému, zejména kolektorů nebo absorbérů. U nízkoteplotních systémů, pracujících s teplotami do 50 až 60°C se nejčastěji používají ploché kolektory, méně často koncentrující nebo vakuované. Konstrukce kolektoru je vždy určitým kompromisem mezi teoretickými poznatky a výrobními možnostmi. Pro tyto systémy jsou obecně výhodnější kolektory jednoduché, jež mají sice nižší účinnost, ale jsou levnější, v provozu spolehlivé při dostatečné životnosti. V pasivních solárních systémech je získané teplo transportováno konvekcí, tedy *pohybem vzduchu*. Pasivní využívání solární energie předpokládá především vhodné stavební řešení objektu. Jelikož pasivní využívání solární energie, podobně jako aktivní, zajistí krytí jen určité části nároků na vytápění, je třeba hledat řešení, které zajistí i krytí zbývajících, respektive rozhodujících částí nároků. Předpokladem pro provoz konvektivního systému je dostatečně intenzivní přímé záření. V poslední době se věnuje zvýšená pozornost solárním absorbérům. Uplatňují se jako tzv. absorpční střechy, popř. absorpční fasády. V těchto případech plní absorbéry dvojí funkci:

- přeměňují sluneční záření na tepelnou energii sice s menší účinností, zejména při vyšších teplotách ohřívané látky, ale na druhou stranu s velkým povrchem a při nízké ceně,
- chrání budovu před povětrnostními vlivy a tím přebírají funkci normální střechy či fasády.

Přechod mezi pasivními systémy a aktivními systémy s kolektory představují hybridní systémy. Jejich konstrukce může být provedena například tak, že se na osluněné jižní straně budovy zavěsí transparentní skleněná deska, a tak se vytvoří jednoduchý vzduchový kolektor. Vzduch proudící za sklem je ohříván slunečním zářením a následně je využit pro vytápění místnosti. Výhodou takového systému je, že v letním období může takto vytvořená energetická fasáda sloužit k odvedení nadměrného tepla, tzn., že může být využita pro chlazení.

Aktivní sluneční soustava se skládá z aktivního sběrače (kolektoru), akumulátoru tepla, potrubí slunečního okruhu, armatur, čerpadla, popř. ventilátoru a otopné soustavy. Sluneční energie se zachycuje ve sběrači, přeměňuje se v teplo, které se vhodnou látkou přepravuje do akumulátoru tepla, kde se skladuje. Takovou látkou je zpravidla nemrznoucí kapalina, ale může být použit i vzduch. Při aplikaci kapaliny se z hygienických důvodů (nemrznoucí směsi jsou jedovaté) odděluje sluneční a vytápěcí okruh.

Při ohřevu teplé užitkové vody se požaduje vyšší bezpečnost, která se zabezpečuje dvojným oddělením, tj. umístěním výměníku slunečního okruhu a výměníku teplé užitkové vody do společného vodního akumulátoru. Základním článkem soustavy jsou kolektory, které mohou být několika typů a prakticky jsou výrobcem chráněným vzorem a nedílnou součástí kompletního systému.

Fotovoltaické solární systémy

Výroba elektrické energie využitím přímé přeměny slunečního záření je známá již z 19. století. Samotný rozvoj fotovoltaických aplikací je závislý na technické úrovni a znalostech z oblasti fyziky polovodičů.

V průběhu poslední dekády minulého století se výstavba fotovoltaických elektráren omezila na ostrovní systémy pro nezávislé napájení objektů a zařízení v lokalitách bez připojení na rozvodnou síť. První sluneční elektrárna o výkonu 10 kWp byla v ČR uvedena do provozu až v roce 1998 na vrcholu hory Mravenečník v Jeseníkách. Celosvětový meziroční nárůst výroby solárních panelů se po roce 2000 pohybuje okolo 35 %. Celkový instalovaný výkon slunečních elektráren byl v roce 2010 přibližně 30 GWp. I tak podíl fotovoltaiky na celkové produkci elektrické energie ve světě stále představuje pouze asi 0,01 %. ČR je v současné době třetím největším provozovatelem slunečních elektráren na světě (1,9 GWp – 31.12.2010).

Podrobněji jsou fotovoltaické systémy popsány v kapitole 3. – *Fotovoltaika*.

1.2. Jednotky v energetice

Mezinárodními dohodami byla zavedena Mezinárodní měrová soustava SI umožňující celosvětovou spolupráci techniků a vědeckých pracovníků. Hlavní jednotky soustavy SI nezbytné pro technická řešení jsou doplňovány jednotkami vedlejšími. Pro laika je orientace v mnoha využívaných vedlejších jednotkách obtížná.

Nejmenší jednotkou výkonu je jeden Watt (W), jehož rozměr je (Nm.s⁻¹). Působením výkonu jednoho Wattu po dobu jedné sekundy získáme energii jednoho Joule (J), tj. jedné Wattsekundy

$$1J = 1Ws \quad (1.2).$$

Tato nejmenší jednotka energie se v oboru energetických zdrojů jako informativní používá minimálně. Využívanou časovou jednotkou je hodina (h), popřípadě rok (r).

$$1Wh = 3600Ws = 3600 J \quad (1.3),$$

$$8760Wh = 1Wr \quad (1.4).$$

Nyní je nutno upozornit na vazbu mezi vyprodukovanou energií a výkonem. Pokud známe hodnotu vyprodukované energie za hodinu uvedenou v kWh, souhlasí její číselná hodnota s výkonem zařízení v kW, což lze demonstrovat nejlépe na příkladech:

- 1) Energií 1000 kWh vyprodukuje generátor (např. větrný motor), pracuje-li s výkonem 1000 kW po dobu jedné hodiny.
- 2) Energií 400 GWh můžeme popsat jako práci 200 MW turbíny po dobu 2000 hodin.
- 3) Stejným způsobem můžeme převést elektrickou energii vyprodukovanou v ČR za rok (WR = 80000 GWh) – podělením počtem hodin (8760 h) dostaneme 9,1 GWr, což znamená, že celoroční průměrný výkon PCR všech elektráren je 9,1 GW.
- 4) Energií 500 MWr (megawattroků) dodá vodní turbína, je-li s výkonem 500 MW v činnosti po dobu jednoho roku, tj. 8760 h.

Mezinárodní SI soustavou jsou zavedeny tyto násobky jednotek:

<i>Kilo (k)</i> = 10 ³	1 kWh = 3,6.10 ⁶ J = 3,6 MJ
<i>Mega (M)</i> = 10 ⁶	1 MJ = 0,2777 kWh
<i>Giga (G)</i> = 10 ⁹	1 GJ = 277,7 kWh
<i>Tera (T)</i> = 10 ¹²	1 TJ = 277,7 MWh
<i>Peta (P)</i> = 10 ¹⁵	1 PJ = 277,7 GWh = 31,7 MWr
<i>Exa (E)</i> = 10 ¹⁸ GWr	1 EJ = 277,7 TWh = 277,7.10 ⁹ kWh = 31,7 GWr

Tab. 1.2: Násobky jednotek SI [1], [10]

Vzhledem k tomu, že vztahy mezi výkonem a energií se popisují nejlépe s využitím jednotek odvozených z (Wh) a u velikých kvant energie z (Wr), jsou jednotky odvozené z (J) používány jen výjimečně.

1.3. Energie

Energie je schopnost hmoty konat práci (působit silou po dráze). Těleso nebo pole, které nemá energii, nemůže konat práci. Konáním práce se energie mění z jednoho druhu na jiný, celkové množství energie zůstává stejné (platí Zákon zachování energie).

Zákon zachování energie říká, že energii nelze vyrobit ani zničit, ale pouze přeměnit na jiný druh energie.

Zákon zachování energie je fyzikální zákon, který zní:

Celková energie izolované soustavy zůstává konstantní při všech dějích, které v ní probíhají. Nebo jinak Jestliže těleso nebo hmotný systém nepodléhá účinkům okolí, pak součet kinetické a potenciální energie částic, z nichž se skládá, zůstává stálý – to znamená, že v soustavě se může měnit jeden druh energie v druhý.

Druhá formulace zákona:

Není možné sestavit perpetuum mobile prvního druhu, tj. stroj který by z ničeho konal práci.

Energie jako fyzikální veličina vyjadřuje množství energie. Velikost práce, které těleso nebo pole vykoná, se rovná úbytku jeho energie.

Práce ve fyzikálním smyslu je působení síly na těleso, při kterém dochází k posouvání tohoto tělesa. Velikost práce lze vypočítat jako součin složky síly ve směru pohybu a dráhy, po kterou se těleso posunulo.

Druhy energie se rozlišují např. podle druhu síly, která působí, podle zdroje, který energii vydává, ap.:

- Mechanická energie
- Kinetická energie (Pohybová energie)
- Potenciální energie (Polohová energie)
 - Gravitační potenciální energie
 - Potenciální energie pružnosti
 - Tlaková potenciální energie
- Elektrická energie
- Magnetická energie
- Energie záření
- Energie vln
- Vnitřní energie
 - Tepelná energie je spojena s chaotickým pohybem (vibrací a rotací) molekul.
 - Jaderná energie
 - Chemická energie (Chemická potenciální energie, Energie chemické vazby, Vazebná energie)

- Sluneční energie
- Vodní energie
- Větrná energie
- Geotermální energie
- Energie mořských vln
- Parní energie
- Svalová energie
- Energie ohně

1.4. Exergie a anergie

Pojem energie u energetika se nekryje s pojmem energie u fyzika. Běžné výrazy z energetiky jako „spotřeba energie“, „ztráta energie“ se nehodí k fyzikálním pojmům energie, neboť energii nelze spotřebovat a také se nemůže ztratit. Pojmy uvedené výše nabývají smyslu, spojíme-li je s pojmem exergie.

1.4.1 Exergie “E”

Exergii lze definovat jako transformovatelnou část energie – část energie, kterou lze přeměnit na mechanickou práci. V ideálních vratných procesech se energie libovolně mění (transformuje) na jiný druh energie. U skutečných procesů dochází ke ztrátám exergie a v konečném stavu k úplné spotřebě exergie, která se mění na *anergii*.

1.4.2 Anergie “B”

Anergie je definována jako transformovatelná část energie, která se již v procesech dále nemění a nemůže konat práci. Je však podstatným činitelem u některých procesů, jako je např. spalování, chemické procesy, izotermická komprese, vytápění a některých dalších. Exergie a anergie jsou veličiny komplementární. Díl energie, který není energií je anergie. Všechny neomezeně transformovatelné energie jsou čistou exergií, omezeně transformovatelné formy obsahují exergii a anergii, energie okolí se skládá jen z anergie. Omezenou transformovatelnost energie vyjadřuje druhá věta termodynamiky, podle níž ne všechny procesy jsou možné. Obecně se to projevuje rozlišením mezi procesy vratnými a nevratnými. V přírodě jsou všechny procesy nevratné. Vratné procesy jsou mezní případy nevratných procesů. Obrácení nevratných procesů je nemožné.

Formulace první a druhé věty pomocí exergie a anergie:

1. Věta (zákon o zachování energie $dq = du + pdv$):

- při všech procesech zůstává součet exergie a anergie konstantní

2. Věta:

- je nemožné přeměnit anergii na energii

Používání druhé věty pro transformaci má následující důsledek – tlak a teplota okolí, v němž probíhají pozemské procesy, ovlivňují transformace energií. Okolím je myšlena atmosféra nebo voda řek a moří. Okolí tedy slouží jako zásobník energie velkých rozměrů, jehož stavové veličiny zůstávají přes přijímání či odnímání prakticky nezměněné a jsou dány energetickou rovnováhou na zemské kouli. Takže pro každého inženýra je běžnou skutečností, že výše teploty okolí ovlivňuje výrobu elektrické energie v tepelné elektrárně (teplota chladící vody) nebo, že se plynová turbína prosadila mnohem dříve jako hnací letecká jednotka než jako stacionární zařízení (výtláčná práce proti tlaku atmosféry ve výškách je menší).

Energie nashromážděná v okolí pozbyla své transformovatelnosti a je tedy energií v tomto pohledu nejpodařenější. To platí i pro všechny systémy, které jsou z okolím v rovnováze.

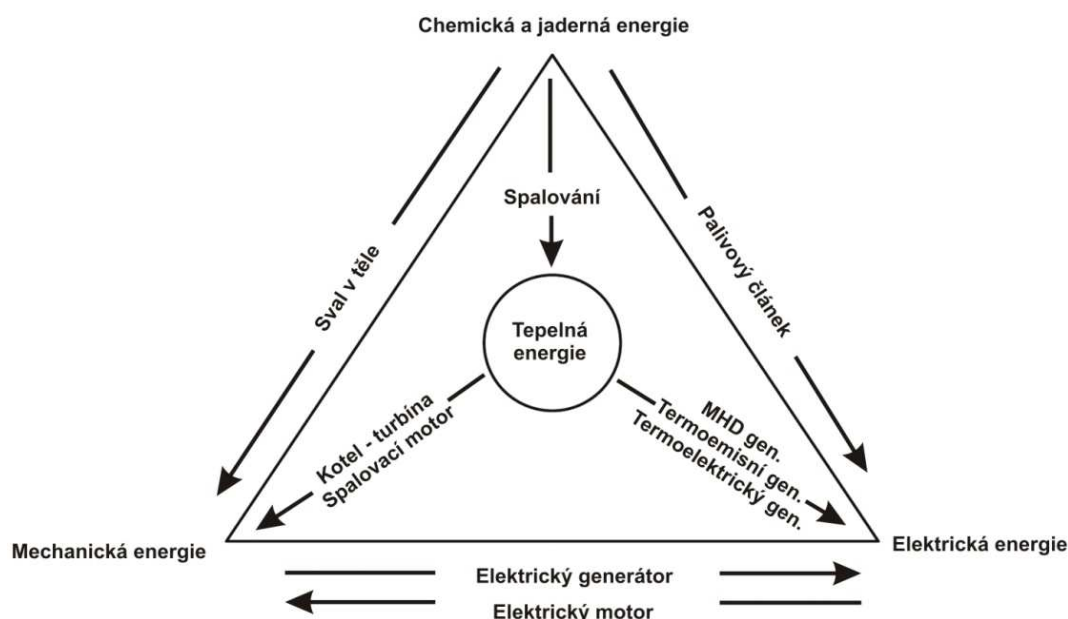
1.5. Transformace energie

Přímé využití primárních zdrojů je možné jen zřídka. Obvykle se zušlechťují podle požadavku jejich využití, dopravy, akumulací atd. Pojem *ušlechtilá energie* je pojem technicko-ekonomický. Základní energetické přeměny jsou znázorněny na obrázku 1.14. Otázky spojené s trvalou přeměnou tepelné energie na mechanickou práci jsou řešeny od počátku technického vývoje. S touto přeměnou je svázána přeměna energie chemické, jaderné i sluneční.

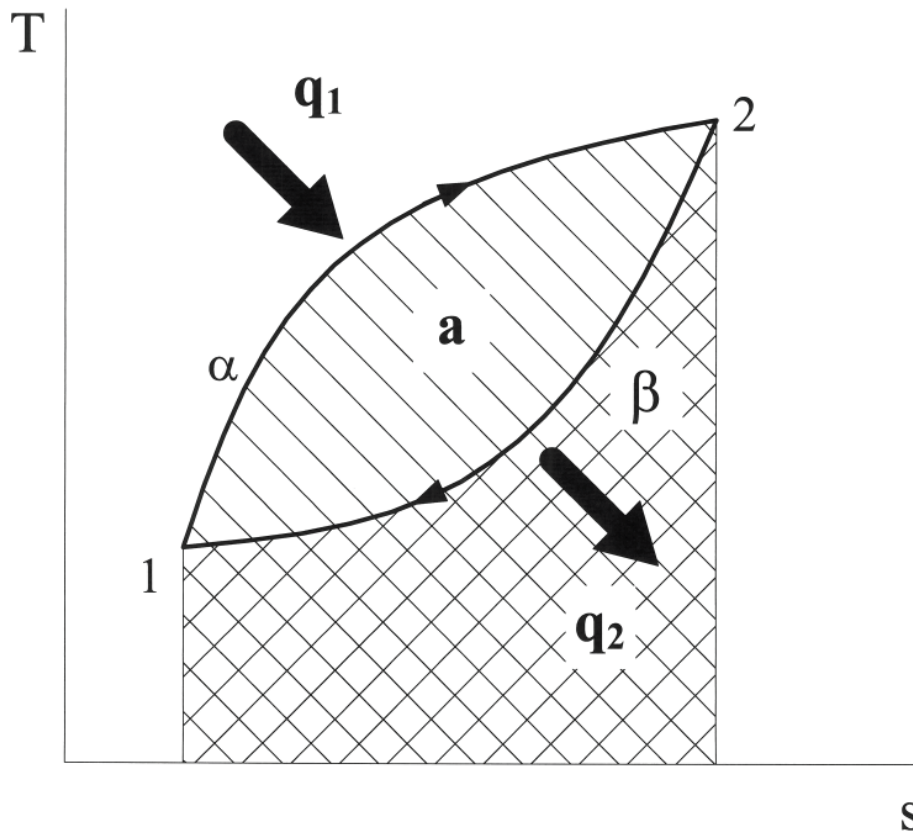
Druhou větu termodynamiky můžeme popsat mnohazpůsoby. Pro popis transformace energie ji můžeme popsat ve smyslu, že teplo nemůže samovolně přecházet z chladnějšího tělesa na teplejší a přeměna tepla v mechanickou práci může proběhnout jen v omezené míře. V praxi to znamená, že ačkoliv některé druhy energie lze přeměnit na tepelnou energii téměř beze ztrát, při opačném pochodu je její značná část, kterou již transformovat nelze (anergie), odváděna do okolí.

K trvalému získávání práce slouží termodynamické oběhy, kde obhájící pracovní látka přenáší tepelnou energii mezi dvěma tepelnými reservoáry. Tepelný oběh se skládá z několika na sebe navazujících stavových změn obíhající pracovní látky, po jejichž vykonání je dosaženo původního stavu, takže oběh se může opakovat.

Obecný oběh je znázorněn v entropickém T-s diagramu na obrázku 1.15. V průběhu stavových změn po křivce α z bodu 1 – 2 přijímá pracovní látka teplo Q_1 z tepelného zásobníku. K dosažení periodicity se opakujícího oběhu je potřeba pracovní látku přivést znovu do výchozího stavu 1. Toto je dosaženo stavovými změnami probíhajícími po křivce β , při kterých je odváděno teplo Q_2 do nízkoteplotního zásobníku. Změny, při nichž se teplo látky přivádí nebo odvádí, nemusí být obecně shodné se změnami, při nichž se získává nebo spotřebovává práce. Obecně však platí, že práce oběhu je dána rozdílem přivedeného a odvedeného tepla. Z takového oběhu lze získávat práci trvale. Získaná práce je na obrázku znázorněna plochou mezi křivkami α a β .



Obr. 1.14: Diagram transformací energie [10], [1]



Obr. 1.15: Obecný termodynamický oběh v T-s diagramu [10], [1]

1.6. Literatura

- [1] Mastný, P., Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie, 2011, Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně
- [2] Matoušek, A., Výroba elektrické energie, skriptum, UEEN FEKT VUT v Brně, Vutium 2007, Brno, ISBN: 978-80-214-3317-5
- [3] Mastný, P., *Využití znalostních technologií pro podporu návrhu energetických systémů v budovách*, Habilitační práce, Brno 2010, Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 123 stran
- [4] Webové stránky Energydata – <http://www.enerdata.net/enerdatauk/>, cit. 17.11.2011
- [5] Webová stránka WIKIKNIHY – Energetické zdroje naší planety a jejich využití, dostupné WWW:http://cs.wikibooks.org/wiki/Energetick%C3%A9_zdroje_na%C5%A1%C3%AD_planety_a_jejich_vyu%C5%BEit%C3%AD, cit. 1.10.2010
- [6] Webová stránka Wikipedie – http://cs.wikipedia.org/wiki/Jadern%C3%A1_energetika, cit. 15.9.2011
- [7] Webová stránka Wikipedie – http://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%A9_zdroje_energie, cit. 16.12.2011
- [8] Zákon o životním prostředí – <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/1992/sb004-92.pdf>, cit. 25.11.2010
- [9] Zákon o odpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře obnovitelných zdrojů) – <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2005/sb066-05.pdf>
- [10] Kaminský, J., Vrtek, M., *Obnovitelné a alternativní zdroje energie*, Interní učební

texty – skriptum, 2002, VŠB Ostrava

- [11] Kadrnožka, J., Energie a globální oteplování – Země v proměnách při opatřování energie, Vutium 2006, VUT v Brně, ISBN: 80-214-2919-4
- [12] Webové stránky společnosti ČEZ, a.s. – <http://www.cez.cz/cs/uvod.html>
- [13] Webové stránky Energetického regulačního úřadu – <http://www.eru.cz>
- [14] Webové stránky Czech RE Agency – <http://www.czrea.org>
- [15] Mastný, P., Využití odpadního tepla v EDU, diplomová práce, Brno 2000, Ústav elektroenergetiky FEI VUT v Brně