Obnovitelné zdroje energie

27. - 29. srpna 1998

Josip Kleczek

Hvězdárna Valašské Meziříčí

www.inext.cz/hvezdarna

Slunce ve větru, vodě a biosféře

Slunce vyzařuje do všech směrů celkem 380 trilionů megawattů (trilion je číslo s 18 nulami). Tomuto úžasnému výkonu se říká **sluneční zářivost**. Země z toho zachytí nepatrný zlomek. pouze jednu dvou miliardtinu. Avšak i ten drobeček energie, který Slunce své planetě Zemi daruje, představuje 180 tisíc terawattů. Z hlediska Slunce opravdu jen drobeček jeho zářivosti, ale z hlediska lidského nesmírný příval zářivé energie. Ten drobeček uštědřovaný Sluncem Zemi je **dva tisíce krát více** než potřebuje vše živé na povrchu Země i v hlubinách moří (tedy biosféra). Je to **dvacet tisíc krát více** než potřebuje celé lidstvo. Nad čím se podivovat více – nad obrovským přívalem světla, který zaplavuje Zemi každým okamžikem už čtyři a půl miliardy let? Nebo žasnout nad nesmírnou marnotratností Slunce – s jakou vysílá téměř všechnu svou energii do bezedných vesmírných temnot?

Osm minut potřebuje záření, aby se od Slunce dostalo k Zemi. Sluneční energii dostává naše planeta ve formě záření – to jest jako obrovský příval nesmírného množství fotonů (= částeček záření). Každý z fotonů přenáší energie zhruba 3 elektronvolty. Trilion fotonů představuje energii jednoho joulu. Jednoduchým podělením vypočteme, že 180 000 terawattů je složeno z 10 na 36 fotonů – chomáčků elektromagnetické energie. Nevím ani jak ten počet s 36 nulami nazvat – zkrátka, takovou porci slunečních fotonů dostává Země každou sekundu.

❶ Přeměna slunečního záření v teplo

Energie fotonů se přeměňuje v jiné formy energie. Je to však stále sluneční energie, přes všechny proměny, které na Zemi prodělává:

❶ V atmosféře je pohlcena jedna pětina fotonů. Předají energii svých kmitů částicím vzduchu a urychlí tak pohyb částic. Jinými slovy pohlcené sluneční záření se mění pohlcením (absorpcí) v teplo vzduchu.

❷ Přibližně polovina fotonového záření je pohlcena zemským povrchem a tak se změní v teplo – v kinetickou energii molekul pevnin nebo oceánů. Slunce tak zahřívá pevniny a oceány. Bez slunečního tepla bychom zde měli teplotu 263 stupňů pod nulou.

Značná část z energie dopadající na hladiny oceánů je využita na vypařování. Vzduch zahřátý od vodní hladiny vynášejí vodní páry nahoru i s jejich skupenským teplem vypařování. Když pak páry ve vyšších atmosférických vrstvách kondenzují v oblaky, odevzdají své skupenské teplo – a to je základní mechanismus zahřívání vyšších vrstev atmosféry.

⊖ Sluneční energie ve větru a koloběhu vody

Od vyhřátého povrchu se zahřívá vzduch. Zahřátý vzduch stoupá a na jeho místo proudí těžší vzduch chladný. Tak vznikají **větry**, jejichž kinetická energie je energií slunečního původu. Energie v pohybu vzduchu v celé atmosféře je obrovská – měření a výpočty udávají 100 trilionů joulů (číslo s 20 nulami). Pohybovou energii větru využívají v různých místech po světě (uveďme větrné mlýny, čerpání vody ze studní, větrné elektrárny apod.). Prouděním vzduchu je odnášen znečištěný vzduch z průmyslových center – kde by jinak lidé nemohli žít. Slunce se tak formou větru stará o dobré rozptylové podmínky.

V proudění větru se ztrácí třením a vířivostí asi tisíc bilionů joulů každou sekundu a jeho pohybová energie se mění v teplo. Toto množství energie je stokrát větší než lidstvo spotřebovává. Slunce však trvale nahrazuje tyto ztráty. Kdyby dodávání přestalo, utichly by větry za několik málo dnů.

Atmosférické proudění, udržované slunečním zářením, je pro život zcela nezbytné. Větry přenášejí teplo z tropů do chladnějších oblastí, přenášejí vlhkost z oceánů na pevniny a udržují koloběh vody a namísto nedýchatelného znečištěného městského vzduchu přinášejí dýchatelný čistý vzduch. Bez větrů by se tropy staly nesnesitelně horké, zatímco ostatní místa na povrchu Země by sužoval mráz. Bez deště a bez řek by se vyprahlé kontinenty staly pouští, obyvatelé měst by se udusili a všichni bychom zahynuli žízní. Díky sluneční energii ve větru a v koloběhu vody tomu tak není.

⊖ Sluneční energie v životě

Bez sluneční energie by nebylo života. Tento poznatek je stručně vyjádřen nápisem na slunečních hodinách starých Římanů: „Sine Sole nihil sum" – Bez Slunce jsem ničím. To platí nejen o člověku, ale o každém živém tvoru od jednobuněčných až po slony a velryby – zkrátka celá biosféra **žije sluneční energií**.

V rostlině, ve zvířeti, v člověku, v každém živém organizmu probíhá mnoho změn, např. různé pohyby, tisíce chemických reakcí, elektrické proudy apod. Ke všem změnám je zapotřebí energie. Rostliny dostávají potřebnou energii přímo od Slunce. Svými zelenými listy zachytávají sluneční světlo a přeměňují je v energii chemickou. Děje se tak v drobných **chloroplastech** uvnitř buněk. V chloroplastech se sluneční energie ukládá do oxidu uhličitého a do vody takovým způsobem, že z nich vznikají cukry, škroby a jiné organické látky. Tento podivuhodný proces se nazývá **fotosyntéza** – což znamená „skládání pomocí světla". Na pevninách probíhá v **zelených rostlinách** kdežto v mořích ji provádějí jednobuněčné organizmy nazývané **fytoplankton**.

Zelené rostliny na pevnině a fytoplankton v mořích zásobují energií celou biosféru. Od rostlin přebírají sluneční energii v chemické formě s výživou živočichové, včetně člověka. Fotosyntézu tedy můžeme nazvat **vstupní branou sluneční energie do biosféry**. Fotosyntézou vstupuje nepřetržitě do biosféry 90 terawattů sluneční energie. Je to pouze půl promile slunečního záření dopadajícího na Zemi.

Opačný proces, při němž se energie z ústrojných látek uvolňuje, je okysličování (hoření nebo dýchání). V buňkách živých organizmů tuto funkci obstarávají drobné částice – **mitochondrie**. Zatímco chloroplasty v rostlinných buňkách sluneční energii do ústrojných látek ukládají – mitochondrie uloženou energii uvolňují. Je to složitý enzymatický proces, který zhruba můžeme vyjádřit takto: ústrojná látka a kyslík dají oxid uhličitý a vodu a **energii**. Fotosyntéza a dýchání tak obstarávají nezbytnou sluneční energii pro život biosféry.

⊖ Fosilní sluneční energie

Sluneční energie zachycená fotosyntézou může zůstat konzervována pod zemí mnoho milionů let. Energie dávné biosféry se tak uchovala v uhlí, ropě a zemním plynu až dodnes. Lze ji uvolnit hořením – tedy okysličováním, stejným procesem jako je dýchání. Hoření fosilních paliv probíhá lavinovitě, kdežto dýchání organizmu je účelně organizmem řízeno.

Jestliže topíme fosilním palivem, hřeje nás sluneční záření zachycené před miliony let fotosyntézou a uskladněné (v chemické formě) pod povrchem zemským. Jedeme-li autem, metrem, vlakem či letíme letadlem, pak nás pohání fosilní sluneční energie. V elektrických spo-

třebičích v naší domácnosti pracuje, topí, svítí, chladí energie zachycená ve velkých přesličkách, plavuních a kapradinách, pod nimiž se pohybovali brontosauři a jiní veleještěři.

Sluneční energie v díle lidském

Bez Slunce by věci nebyly tím, čím jsou. Vytvoření každého díla vyžaduje energii. Stavba budovy, silnice, mostu, metra, letiště, konstrukce počítače atd. vyžadují mnoho energie. Energii lidských svalů i myšlenek, elektrických a naftových motorů, automobilů zajišťujících dopravu atd. atd. Všechna ta rozmanitá energie vynaložená na vytvoření každého díla má svůj původ ve Slunci. Původně to byla energie slunečních fotonů a po několika přeměnách napomáhala různým způsobem dílo vytvořit. Na tom se shodneme všichni, neboť platí **zákon zachování energie**.

Podle zákona zachování energie můžeme vystopovat původ veškeré energie na Zemi v nitru Slunce. Ze stejného důvodu se můžeme také ptát na její konečný osud na Zemi?

Cesty a proměny sluneční energie na Zemi mohou být rozmanité a pestré. Její konečná forma je však **vždy stejná**: infračervené záření o vlnové délce kolem jedné setiny milimetru. To je tepelné záření, které naše planeta vysílá do mrazivých temnot kosmického prostoru.

Závěr

Herakleitos z Efesu před dvěma a půl tisíciletími vyjádřil názor na dění ve světě dvěma slovy: „Panta rhei" – Vše teče, vše se mění. Na základě dnešních poznatků můžeme Herakleita doplnit: všechny změny ve světě neživém i živém jsou projevem toku a přeměn sluneční energie, která na Zem přichází ve formě hodnotného světla a nakonec ji opouští jako znehodnocené infračervené záření. Odborně se takovému znehodnocení říká vzrůst entropie a lze je vyjádřit přesně matematicky. Sluneční energie se během svého působení na Zemi znehodnotí dvacetkrát: tolikrát vzroste její entropie.

Sluneční energie
Z pekelné výhně na povrch Země

Jsme obklopeni různými formami energie. Každá z nich pochází z hmoty (uhlí, nafta, plyn, uran, vodík). Uvolněná energie jde na úkor množství (= hmotnosti) hmoty z níž se energie uvolňuje. Jsou dva základní způsoby, jimiž se energie z hmoty uvolňuje. **Chemické reakce** (např. spalování fosilních paliv) a **jaderné reakce** (např. štěpení uranu nebo fúze vodíku).

➲ Jakým způsobem Slunce uvolňuje energie?

Všechna sluneční energie se uvolňuje přeměnou vodíku v hélium v jádru Slunce. Tam je totiž vhodná hustota (desetkrát větší než hustota olova) a teplota (15 milionů stupňů). Protony se při takové teplotě pohybují rychlostí několika set km za sekundu a lehké elektrony až deset tisíc kilometrů za sekundu. Je to pekelná výheň, obrovská tlačenice, při níž do sebe částice neustále prudce narážejí. Některé srážky protonů jsou tak prudké, že se překoná jejich elektrická odpudivost, dostanou se k sobě až do vzdálenosti jedné biliontiny milimetru. V této blízkosti mezi nimi působí mohutná jaderná přitažlivost a jádra splynou – tomu procesu říkají odborně fúze (to jest slití) atomových jader.

Ve Slunci se každou sekundu mění fúzí pět set šedesát milionů tun vodíku a ubudou 4 miliony tun hmotnosti. Ty se přemění podle Einsteinovy rovnice ve dvě stě trilionů joulů záření. Dvojího záření – neutrinového (unáší 4 % uvolněné energie) a fotonového (které unáší 96%).

➲ Lze sluneční neutrina pozorovat a jakou část uvolněné energie obsahují?

Ano, nedávno byl publikován dokonce snímek **neutrinového Slunce**. Neutrinové záření uniká přímou čarou ven ze Slunce – jakoby pro ně nesmírné masy hořejších vrstev Slunce neexistovaly. Vyběhnou za dvě sekundy po svém vzniku ven ze Slunce a za osm minut jsou na Zemi. Naším tělem projde za jednu sekundu přibližně 700 bilionů neutrin. Za celý náš život se zachytí v našem těle jen dvě, možní tři neutrina – pro ty ostatní neexistujeme. Jsou to částice nesmírně plaché, netečné k jakékoliv hmotě a jen zcela vyjímečně se některé podaří

zachytit. Neutrinové observatoře – a je jich po světě několik – jsou umístěny v hlubokých dolech. Nejcitlivější je v japonském městě Kamioka a jmenuje se Super Kamiokande. Tam se podařilo zachytit neutrina ze supernovy 1987a v Magellanově oblaku. Stočlennému týmu japonských a amerických vědců se podařilo z několika tisíc zachycených slunečních neutrin vytvořit obraz neutrinového Slunce – zatím značně hrubý.

⊖ Ano, je nutno dodat, že při tomto pokusu se podařilo dokázat velice důležitou vlastnost neutrin - že totiž mají hmotnost, i když velice malou.

Ano. Podařilo se dokázat že neutrino na svém letu ze středu Slunce k Zemi několikrát promění svou totožnost. Je třeba dodat, že odborníci na elementární částice znají tři odlišné druhy neutrin: elektronové, mionové a taonové. Ve Slunci vznikají jen neutrina elektronová – ta vznikají při přeměně protonu v neutron při přeměně protonů v alfa částici. Avšak zhruba po tisíci kilometrech se z elektronového neutrina stane mionové neutrino dále taonové neutrino a zpět. Odborníci v kvantové mechanice tomuto opakovanému převtělování říkají „oscilace neutrin". Oscilace – přesně řečeno – kvantově-mechanické oscilace neutrin – však mohou probíhat jen v tom případě, že neutrina mají hmotnost – velmi malou sice, ale nenulovou. To je objev zásadní důležitosti pro budoucí vesmír.

⊖ Vraťme se ke středu Slunce, kde uvolněná energie má svou především formu rentgenového záření. My na Zemi však dostáváme sluneční energii ve formě světla. Jak a kde dojde k přeměně rentgenového záření na životodárné světlo?

Abychom porozuměli přeměně jakou prodělává sluneční energie, je třeba nejdříve odpovědět na otázku: „Proč vůbec Slunce září"? Je to důsledek druhé věty termodynamické, podle níž se příroda snaží přenést teplo z horkých míst do studených. Horký čaj v konvici odevzdává své teplo okolnímu chladnému vzduchu, i když ji zabalíme do nějaké látky. Jádro Slunce má teplotu 15 milionů stupňů a vnější vesmír kolem sluneční soustavy je strašně ledový, neboť má jen -270 stupňů.

Tou izolací chránící před rychlým vychladnutím je u čajové konve látkový obal tlustý jen několik milimetrů. Izolačním obalem žhavého jádra Slunce je mohutná plynná vrstva o tloušťce 680 tisíc km. Rent-

genové záření se touto vrstvou pozvolna prodírá a při tom se záření rentgenové postupně mění v měkké rentgenové, pak ultrafialové a nakonec – na povrchu v záření světelné. Energie záření zůstává zachována, takže jeden foton rentgenový se po strastiplném prodírání k povrchu Slunce objeví jako dva a půl tisíce fotonů světelných. Tato cesta a proměna trvá asi milion roků.

⊖ Jestliže cesta slunečního záření od středu k povrchu trvá tak dlouho, kolik času potřebuje světlo aby z povrchu dorazilo k Zemi?

Vzdálenost Země od Slunce je dvě stě krát delší než poloměr Slunce. Světlo však nepotřebuje dvě stě milionů let, jak by se mohl někdo domnívat, ale pouze osm minut. Ve volném prostoru se pohybuje přímočaře rychlostí jemu vrozenou (to je 300 000 km za sekundu). Nic ho nezdržuje v jeho uspěchaném letu, nic mu nestojí v cestě. Vzdálenost Země od Slunce je 150 milionů km. Podělme tuto vzdálenost rychlostí světla a vypočteme, že ze Slunce letí světlo k Zemi 500 sekund – to jest 8 minut a 20 sekund. Je to překvapivé, že od středu k povrchu Slunce (což je 700 tisíc kilometrů) záření potřebuje zhruba milion let a vzdálenost k Zemi urazí za 8 minut a 20 sekund. Ještě překvapivější je ta skutečnost, že sluneční záření, které dnes dopadá do našeho oka a které nás hřeje, bylo uvolněno v hlubokém nitru Slunce v době, kdy pračlověk poprvé zapaloval oheň? Za dobu, než se sluneční záření prodralo nitrem k povrchu, se zatím člověk vyvinul v inteligentní bytost moderní doby.

⊖ Řekli jsme, že rentgenové záření ze středu Slunce na cestě k jeho povrchu se zcela promění ve světlo. Jak potom vysvětlit snímky Slunce v rentgenovém záření z kosmických lodí Skylab a z několika umělých družic (např. YOHKOH, SOHO, Comptonova observatoř a jiné)?

Ano, Slunce vysílá především světlo, a to z povrchu, který je 6 tisíc stupňů teplý. Z nejvyšších vrstev sluneční atmosféry – jejíž teplota je dva miliony stupňů – pochází záření rentgenové a rádiové. Takže rentgenové záření ve kterém pořizují družice snímky Slunce, nepochází z nitra, ale je ke slunečnímu světlu přidáváno dodatečně, vysoko nad povrchem. Mimochodem, právě toto rentgenové záření, vyzařované slunečními erupcemi, způsobuje lidem potíže (např. bolesti kardiakům, záchvaty pacientů v psychiatrické léčebně, vzrůst dopravních nehod

ap.). Rentgenové záření je pohlcováno ve výškách nad 50 km, způsobí silné zesílení ionosféry a poruchy v magnetosféře. To je však jiné téma.

Po energetické stránce rentgenové záření je zanedbatelné v porovnání s energií, kterou přináší světlo. Kolik ho dopadá na naši Zem?

Přesná měření toku slunečního záření se provádějí na družicích, které obíhají nad atmosférou. Na jeden metr čtvereční postavený kolmo k dopadajícím paprskům, dopadá energie 1,4 kilojouly za sekundu. Energie za sekundu je výkon a joul za sekundu je jeden watt. takže plochou jednoho metru čtverečního lze zachytávat 1,4 kilowattu. Tato důležitá veličina se nazývá **sluneční konstanta**. Není zcela konstantou, neboť vzdálenost Země od Slunce se během roku mění, neboť její oběžná dráha je elipsa.

Snadno ze sluneční konstanty vypočteme, kolik sluneční energie dopadá na celou Zemi. Je to 180 tisíc terawattů (tera znamená bilion, číslo s 12 nulami). Pro srovnání uveďme, že veškerá energetická spotřeba lidstva (v průmyslu, domácnostech, dopravě, zemědělství – prostě všechna energie) je **deset terawattů**. Takže Slunce všem pozemšťanům nabízí dvacet tisíc krát více energie než potřebují.

Co říci na závěr?

Na Zemi, která byla, a patrně navždy zůstane našim domovem, dopadá obrovský tok sluneční energie, dvacettisíckrát větší než v současné době lidstvo potřebuje. Není paradoxní, že v tomto nadbytku se hovoří o energetické krizi?

Zapřáhněme Sluníčko

Slunce je nejdokonalejší zdroj energie, jaký si lze představit. Jaká je jeho energie? Jak sluneční záření přeměňovat v nejpotřebnější formy energie (tepelnou, chemickou, elektrickou a mechanickou)? Kolik sluneční energie dopadá v naší oblasti? Vyplatí se u nás zařízení na využití sluneční energie a která? Jak využívají sluneční energii jinde ve světě? Dá se sluneční energie uchovat na dobu kdy ji potřebujeme? V rámci naší besedy můžeme připomenout jen některé způsoby a několik zařízení praktického využití sluneční energie.

➖ Chvála Sluníčka a jeho energie.

Dostáváme jí ve formě světla v množství **dvacettisíckrát** větším než celé lidstvo potřebuje. A bude v neztenčené míře zářit ještě **sedm miliard let** – tak velké jsou zásoby vodíku v jeho nitru. Je to dokonalý a **naprosto bezpečný jaderný reaktor**. Je dostatečně daleko, takže ho žádný terorista nemůže zneužít. Jeho energie – světlo – **je vysoce kvalitní**, neboť se dá snadno přeměnit v jiné druhy energie. **Je zadarmo**, zatímco ceny ostatních druhů energií stoupají a nevyhnutelně musí stoupat – a to ve všech zemích světa. **Je místní**, nemusíme ji dovážet z daleké ciziny. Sluneční energie je **naprosto čistá** – žádný prach, kouř, výfukové plyny, žádné jedovaté zplodiny při jejím použití.

➖ Co je a v čem je utajena sluneční energie?

Obvykle si pod slovem sluneční energie představujeme sluneční zařízení, kterým je osvětlena denní polokoule Země. Světlo je přímá sluneční energie. Avšak na Zemi se mění do několika jiných forem:

❶ Je v **teple** pevnin, oceánů i atmosféry. (Teplo tropických oceánů bylo využíváno už na začátku tohoto století francouzskými odborníky na Kubě). Dvě třetiny slunečního záření dopadajícího na Zemi jsou pohlceny povrchem a atmosférou, třetina se odráží. Pohlcena znamená přeměněna v teplo, to jest v pohybovou energii molekul látky. Bez pohlcování slunečního záření celým povrchem a atmosférou bychom zde měli třeskutý mráz, -263 stupňů. Teplo na Zemi, které je zcela slunečního původu – je nepostradatelná energie pro existenci života na Zemi.

❷ V hmotě biosféry – **biomase** – je sluneční energie ve **formě chemické** a lze ji z biomasy získat. Často využívanou biomasou je dřevo, velbloudí trus, sláma, cukrová třtina, zemědělský odpad, organický odpad měst. Biosféra získává chemickou energii ze slunečního záření už po tři a půl miliardy let prostřednictvím fotosyntézy. V současnosti přibližně půl promile dopadajícího slunečního záření (tedy 90 TW ze 180 TW) je uskladňováno zelenými rostlinami na pevninách a fytoplanktonem v mořích do biomasy.

❸ V pohybu větrů, mořských proudů a řek má sluneční energie formu **kinetické energie**, která je využívána ve větrných elektrárnách, k pohonu plachetnic, ve větrných mlýnech, vodních mlýnech, vodních turbinách a vodních elektrárnách a jiných zařízeních.

Všechny tři uvedené formy sluneční energie (teplo oceánů, biomasa, vítr a vodní toky) jsou **obnovitelné zdroje energie**. Obsahují energii slunečního původu a jejich zásoby Slunce svým zářením stále obnovuje.

V **uhlí, ropě a zemním plynu** (čili ve fosilních palivech) je také uchovávána sluneční energie, pocházející z dávné biomasy. Dnes ji uvolňujeme okysličováním (hořením). Dnešní doprava, průmysl, zemědělství a všechny domácnosti čerpají energii především z fosilní sluneční energie. **Fosilní zdroje však obnovitelné nejsou**. Biosféra je sice vytváří i dnes, ale tak pomalu, že množství fosilních paliv, které lidstvo spotřebuje za **jeden rok**, vytvoří příroda za **milion let**. Fosilních paliv proto povážlivě ubývá. Ekonomicky těžitelných zdrojů už není ani na celé století.

❽ Zatím jsme hovořili o sluneční energii uložené v obnovitelných a fosilních zdrojích. Jak lze prakticky využít přímé sluneční záření? Jak lze zapřáhnout Sluníčko?

Ve světě pracují různá zařízení na využití sluneční energie. Jsou to zařízení, která přeměňují sluneční záření v teplo, chemickou energii, elektřinu a mechanickou energii. Na několika příkladech ukážeme, jak se tyto čtyři základní a nejpotřebnější formy energií získávají ze slunečního záření:

❶ Teplo

Účinná přeměna slunečního záření v teplo probíhá ve slunečních kolektorech. Ty jsou různé co do:

velikosti (Od jednoduchých pouštních destilátorů pro 1l pitné vody, až po vytápění komplexu budov),

ohřívané látky (voda, vzduch, eutektické směsi, kámen, stěna domu),

teploty, kterou mají dosáhnout (nízkopotencionální teplo 25 – 90 stupňů Celsia, středně potencionální teplo(několik set stupňů Celsia) či vysokopotencionální teplo (až 4 tisíce stupňů Celsia)

účelu jemuž slouží: sluneční ohřívače vody, vzduchu, sušičky ovoce, obilí, zeleniny, píce, dřeva, získání pitné vody z mořské nebo zdravotně závadné, vytápění budov (Tromboho stěna, sluneční domy), tavičky včelího vosku, sluneční vařiče k přípravě jídel (jednoduché v rozvojových zemích a v dokonalejším uspořádání v Japonsku a Saudské Arábii). Sluneční pece pro tavení těžkotavitelných látek (např. v Odeillo ve Východních Pyrenejích).

❷ Chemická energie

Fotosyntéza přeměňuje přímo sluneční záření v chemickou energii ústrojných látek, a to v obrovském měřítku. Celé zemědělství je založeno na fotosyntéze.

Jsou i jiné způsoby přímé transformace slunečního záření v chemickou formu energie. Např. rozklad vody na vodík a kyslík v přítomnosti rutheniového komplexu (jako katalyzátoru). Nepřímým způsobem je zahřátí látky (např. vody) na vysokou teplotu v ohnisku sluneční pece. Jiný způsob je elektrolýza - rozklad elektrickým proudem získaným ve slunečních článcích,

❸ Elektrická energie

Dá se přímo ze slunečního záření získat pomocí **slunečních článků** (tzv. fotovoltaická přeměna). Na družicích, meziplanetárních sondách i výzkumných stanicích na povrchu Měsíce či Marsu, ale i v nepřístupných místech na povrchu Země (prales, pouště, hory. majáky, vysoké hory u letišť) jsou sluneční články často jediným možným zdrojem energie. Uveďme příklad ze Světové zdravotnické organizace:

transport očkovací látky do osamocených osad v pouštích a polopouštích na velbloudech byl možný jen díky fotovoltaickým ledničkám. S klesající cenou článků se stávají přístupnými jako zdroj elektřiny i v obytných domech.

Technicky přístupná je konstrukce geostacionární fotovoltaická elektrárna (myšlenka Ing. Glasera z Pražské techniky). Stejnosměrný proud na družici se bude transformovat v mikrovlnné záření vysílané směrem k přijímací stanici na Zemi. Tam by po transformaci se střídavý normální proud šlo do sítě 10 000 megawattů (z původních 84 000 MW dopadajícího slunečního záření). Není známo jak pokračuje realizace projektu.

❹ Mechanická energie

Pro stroje se dá získat ze slunečního záření přes teplo (sluneční pumpy na Sahaře a jinde), přes chemickou energii (etylalkohol z cukrové třtiny na pohon automobilů v Brazilii) nebo přes elektřinu (např. fotovoltaické sluneční automobily vyráběn v Japonsku).

❺ Kolik u nás máme slunečního záření?

V našich podmínkách dopadá na jeden metr čtvereční vodorovně položený za jeden rok něco přes tisíc kilowatthodin slunečního záření. Není to mnoho. Spočteme-li však plochu světlených střech a stěn u rodinného domku – dostaneme více jak sto tisíc kilowatthodin za rok. Tedy energii v hodnotě přes sto tisíc korun, kterou necháme unikat jako teplo zpět do vesmíru a potřebné teplo si obstaráme za těžký peníz třeba jako uhlí, koks, naftu, plyn, abychom pak v zimě sousedům i sobě otrávili vzduch. Přitom celoroční spotřeba vytápění obyčejného rodinného domku (bez zvláštní izolace) je zhruba 40 tisíc kilowatthodin. Takže sluneční záření by mohlo pomoci. Alespoň na ohřev vody a při topení.

U nás rozhodně není dost slunečního záření ani plochy, abychom mohli v budoucnu krýt požadavky a ve velkém měřítku využívat sluneční záření. Žádná evropská země (snad mimo Řecka a Španělska) si to nemůže dovolit. Podle mezinárodních plánů IIASA (Mezinárodní ústav pro pokročilou systémovou analysu) bychom mohli přivádět elektřinu ze Sahary, kde je mnoho slunečního svitu a obrovské rozlohy. Jiná uvažovaná možnost je rozkládat zářením vodu na vodík a kyslík a dopravovat do Evropy vodík potrubím nebo po lodích. Uskutečnění

těchto energetických plánů však předpokládá rozsáhlou mezinárodní spolupráci.

U nás je výhodné v **malém měřítku** přeměňovat sluneční záření na nízkopotencionální teplo (pod 100 stupňů Celsia). Nízkopotencionální teplo představuje veliký zlomek z celkové spotřeby energie u nás. Na řadě míst se už u nás užívají sluneční kolektory k ohřevu vody pro domácnost, v zemědělství i k přitápění bytů a veřejných budov. Je už u nás řada nadšenců, kteří sestrojili účinné sluneční ohřívače vody. O kolektory, které se u nás vyrábějí je živý zájem i v průmyslově vyspělých zemích.

➲ Závěr

Sluneční energie bude zdrojem energie v příštím tisíciletí. Není jiné cesty. Měli bychom se o ni více zajímat, abychom ušetřili cenné suroviny pro naše potomky a zanechali jim čisté životní prostředí.

Energie ve vesmíru a ve službách lidem

Každá změna kolem nás, na Zemi a v celém vesmíru je projevem sil: jaderné, elektrotechnické, slabé a gravitační. Tyto síly uvolňují z látky energii. V 1 kg každé látky je energie 25 miliard kiliwatthodin. Příklady: ve hvězdách, v kvazarech, v gama záblescích.

My užíváme **spalování** (okysličování) fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn). To je ten nejhorší způsob, jaký v celém vesmíru existuje (účinnost menší než jedna miliardtina). Z ekologického hlediska je to způsob velmi škodlivý. Navíc zásoby fosilních paliv stačí jen na několik desetiletí. Fosilní paliva jsou nenahraditelná chemická surovina, o kterou okrádáme naše potomky – to je zlý kolektivní zločin který na příštích generacích kolektivně pácháme.

Jaké formy energie máme na naší kosmické lodi nazývané planeta Země?

Z toho, o čem jsme hovořili vyplývá**: Slunce je a bude ideálním zdrojem energie pro lidstvo.** Je to bezpečná energie, nevyčerpatelná (ještě 7 miliard roků). Je zdravá (k potěše ekologů), je zadarmo (k potěše našich kapes) a spravedlivě dává svou energii všem.

Země dostává od Slunce (5 miliard roků)	**180 000 TW**
Celé lidstvo potřebuje (dnes)	**10 TW**

což je docela zanedbatelný zlomek toho co nám Slunce nabízí. Neměli bychom tato dvě čísla zapomenout. Jejich podíl je ukazetelem naší bezohlednosti k životu, k vlastnímu zdraví, k příštím generacím. Už jsme opravdu natolik otupěli, že nepřemýšlíme o přírodě a naše myšlení i rozhodování se zredukovalo na fráze reklam? Na Sluníčko není nikde žádná reklama, ani mu žádná zpěvačka nezpívá, abychom se pro ně rozhodli.

Nezapomeňme:

180 000 TW je nám nabízeno (bez reklamy a bez zpěvů)

10 TW draze platíme zdravím, životy, penězmi.

Slunce – Energetická Popelka

Začátkem června jsme zažili úmorné tropické dny, kdy teplota dosahovala hodnot přes 30 stupňů. Leckoho napadla otázka: není možné přesunout alespoň část nepříjemného letního tepla na prosinec či leden, až nám bude zima? Ano, je to možné. I u nás už najdeme – i když vzácně – sluneční domy vytápěné celoročně slunečním zářením. V poslední době se často hovoří o energii. Platíme za ni stále víc a zdražování postihuje všechny. Odpady ze spalování fosilních paliv znečišťují naše životní prostředí. Fosilní paliva jsou nenahraditelná chemická surovina, o kterou okrádáme naše potomky. Jejich zásoby jsou omezené a povážlivě jich ubývá. Tyto důvody (to jest omezenost zdrojů, znečišťování prostředí a ničení nenahraditelných surovin) nás nutí ohlédnout se po jiných zdrojích energie. Po zdrojích trvalých, levných a ekologicky čistých.

Energie má podstatnou roli v našem životě, ve všem dění ve společnosti, na Zemi a vůbec v celém vesmíru. Je v každém pohybu a v každé změně. Bez ní si život neumíme představit. Životní úroveň ve státě (vyjádřená národním důchodem) je přímo úměrná celkové spotřebě energie.

Ani si neuvědomujeme, že veškerou energii získáváme z **klidové energie** obsažené v hmotě (uhlí, koksu, plynu, benzinu, nafty, uranu). Podle teorie relativity hmota je forma energie a rovnost mezi množstvím hmoty a energií, která je v ní skryta se nazývá Einsteinova rovnice. Podle ní v 1 kilogramu hmoty je obsažena energie devadesát tisíc bilionů joulů, což je 25 miliard kilowatthodin. Při ceně 1 koruny za kilowatthodinu je tedy v jednom kilogramu jakéhokoliv paliva utajena energie v hodnotě 25 tisíc milionů korun. Té nesmírné energii utajené ve hmotě se říká klidová.

To je vskutku nesmírné množství energie skryté i v malém kousku hmoty. Ale jak ji odtud dostat?

Zde na Zemi máme **dvě možnosti** čerpat z nesmírné zásobárny klidové energie. Obrazně řečeno jak „ždímat energii z hmoty“.

Za prvé **hořením**, které je základem dnešní energetiky. Při spalování (hoření) se kyslík ze vzduchu slučuje s vodíkem a uhlíkem

v molekulách paliva. Tento způsob vyždímá z jednoho kilogramu paliva zhruba 30 milionů joulů (přibližně 10 kilowatthodin). To je ovšem jen pranepatrná částečka klidové energie obsažené v kilogramu paliva. Je to méně než jedna miliardtina. Vyjádřeno v korunách: Z hodnoty 25 miliard odebereme jen deset korun a ostatní zahodíme. Ostatní klidová energie paliva totiž zůstane nevyužita v kouři, ve výfukových plynech či v popelu. **Spalování je nesmírně neefektivní způsob čerpání energie** – ten nejhorší, jaký si lze představit. Nejhorší po stránce energetické a škodlivý po stránce zdravotní.

Druhý způsob čerpání energie je účinější?

Ano - **podstatně účinnější** jsou **jaderné reakce**. Při nich se uvolňuje z klidové energie stotisíckrát více než při chemické reakci, jakou je hoření. Uvolňování klidové energie z jader atomů je možné dvojím způsobem. Ten prvý probíhá v atomových elektrárnách, kde se **štěpí těžká jádra uranu** na dvě jádra lehčí. Při tom se malá část klidové energie jádra uvolní. **Štěpné reakce** z klidové energie obsažené v jednom kilogramu uranu odčerpají dva biliony joulů – což je zhruba stotisíckrát více než dokáže spalování fosilního paliva. V našem přirovnání: z klidové energie v hodnotě 25 miliard korun štěpné reakce odčerpají energii za necelý milion korun.

Ještě účiněji pro odčerpávání klidové energie je jiný druh jaderných reakcí, tzv. **jaderná fúze**. Je to spojení jader vodíku v jádro helia – tedy opačný proces než štěpení těžkých jader. Fúze probíhá po miliardy roků ve Slunci a v nespočetných hvězdách ve vesmíru. Z klidové energie obsažené v jednom kilogramu těžkého vodíku se fúzí uvolní 300 bilionů joulů – v ceně 80 milionů korun. Jaderná fúze nejlehčích jader je účinnější než štěpení těžkých jader. Zhruba stokrát a deset milionkrát účinnějších než spalování fosilních paliv.

Podaří se v budoucnu uskutečnit fúzi na Zemi?

Ano, už se podařilo. Přeměnu isotopů vodíku v helium se už podařilo uskutečnit a při tom získat více energie než bylo do pokusu vloženo. Dosáhl toho nedávno skupina evropských vědců v projektu JET (Joint European Torus), a to v laboratořích v Culhamu (čti kalhemu) u Oxfordu. To byl jen pokus. Praktické využití fúze si podle odhadu odborníků vyžádá ještě několik desetiletí. Nicméně lidem se už podařilo vytvořit malé sluníčko na Zemi. Jen pro zajímavost: malé chvilkové umělé sluníčko v Culhamu stálo přes půl miliardy dolarů. Přiroze-

né Slunce na obloze vytrvá ještě 7 miliard roků a nestálo nic – je zadarmo.

➲ Do jaké míry se podařilo napodobit Slunce?

Uvolnění energie pomocí termonukleární reakce je velikým úspěchem fyziky plazmatu. Zde na povrchu Země však fyzikové jen **napodobili** fúzi na Slunci. Užili k tomu těžký vodík (deuterium – jehož jádro je z jednoho protonu a jednoho neutronu) a velmi těžký vodík (tricium – s jedním protonem a dvěma neutrony). Tricium vyniká z lithia, jímž jsou obloženy stěny termonukleárních reaktorů. Jádra deuteria triicia se spolu mnohem snadněji spojí, než samotné protony. I tak je potřeba deuterium zahřát na teplotu sto milionů stupňů.

Ve žhavém středu Slunce - probíhá fúze, **obyčejného** (lehkého) **vodíku**, jehož jádrem je pouze proton. Takový vodík je mnohem hojnější v celém vesmíru než deuterium. Ze sta atomů ve vesmíru je 94 atomů vodíku. Proces fúze čtyř protonů v jádro hélia uvolňuje necelé jedno procento klidové energie z vodíku. Je tedy několikrát účinnější než fúze těžkého vodíku uskutečněná na Zemi v Culhamské laboratoři.

➲ Kolik kterého paliva by spotřebovala Praha za rok?

Praha spotřebuje za jeden rok pět milionů megawatthodin elektrické energie. Za rok 1997 to bylo přesně 4 949 639,6 megawatthodin. Porovnejme, jaké množství různých druhů paliva by se spotřebovalo, aby se vyrobilo toto množství elektrické energie. V každém případě bude třeba přeměnit 20 dkg hmoty v energii.

❶ **fosilní paliva** jsou velmi neúčinná v uvolňování energie a proto jich bude třeba velké množství.

Uhlí bude třeba jeden a čtvrt milionu tun. K dovozu by bylo třeba 125 vlaků po sto vagonech.

Ropy by bylo třeba pět a půl milionů barelů, a každou sekundu by se spálilo 30 litrů.

❷ **štěpné reakce** jsou mnohem účinnější:

14 tun **uranu** (oxidu uraničitého), jeden vagon, spotřeba 38 kg na den.

❸ **fúze** je výhodnější:

100 kg **deuteria** a 320 kg **lithia** (z něhož se v reaktoru uvolní 150 kg tricia pro reakci). Odvoz paliva osobním autem.

❹ **sluneční energie:**

přeměna 25 kg **vodíku** v helium v nitru Slunce.

Palivo, z něhož byla odčerpána energie je nepříjemným odpadem, který znečišťuje naše životní prostředí. Jak moc by jednotlivá paliva znečistila Prahu?

Elektrárna na **fosilní paliva**, která by dodávala veškerou elektrickou energii pro Prahu (to je kolem 5 milionů megawatthodin) by za rok vyprodukovala pět a půl milionu tun oxidu uhličitého, který způsobuje oteplování Země. Dalším odpadem je 110 000 tun oxidu siřičitého, který způsobuje kyselé deště. Jako odpad vznikne ještě 15 000 tun oxidu dusičitého, který také straší ekology.

Elektrárna **atomová** (štěpení uranu) by zanechala na dlouhou dobu 14 tun radioaktivního odpadu.

Elektrárna **termojaderná** (fúze deuteria a tricia) vyprodukuje 225 kg hélia – neškodného plynu.

Použitím **sluneční elektrárny** by přibylo 24,8 kg helia v nitru Slunce.

Odborníci v mezinárodním ústavu IIASA v Laxemburku u Vídně se shodují v tom, že jaderné reakce budou nahrazovat hoření fosilních paliv, jaderného paliva a způsobů jsou dostatečné zásoby. **Tři způsoby čerpání atomové energie** by se měly uplatňovat v tomto pořadí:

1) Štěpení těžkých jader probíhá v atomových elektrárnách.

2) Fúze (= spojení, slití) deuteria a tricia. Ve stadiu úspěšných pokusů.

3) Fúze protonů, čili přeměna vodíku v helium v nitru Slunce. Uvolněnou energii Slunce vyzařuje jako světlo. Na Zemi přinášejí dopadající fotony 180 000 TW. Pro srovnání: Celosvětová spotřeba energie v průmyslu, v domácnostech, dopravě a zemědělství je kolem 10 TW, což je jen desetina promile slunečního záření, které nám od nepaměti nabízelo Slunce a bude nabízet ještě sedm miliard let.

Co říci na závěr?

Základním, nevyčerpatelným, nejčistším zdrojem energie je Slunce. Zatím však zůstává mezi zdroji energie popelkou. Není to paradoxní, že lidstvo potřebuje 10 TW, draze je platí penězi, zdravím i mnoha životy a při tom 180 000 TW nabízených Sluncem nechává bez povšimnutí? Proč?

Využití sluneční energie

Slunce je nejdokonalejší zdroj energie, jaký můžeme mít. Jeho energie je naprosto čistá. Dostáváme ji v množství dvacet tisíckrát větším než celé lidstvo potřebuje. A stačí na deset miliard let – tak velké jsou zásoby vodíku v jeho nitru. Je daleko, takže ho žádný terorista nemůže zneužít. Sluneční energie je zadarmo, zatím co ceny ostatních druhů energie stoupají a nevyhnutelně musí stoupat – a to vše ve všech zemích světa.

Zatím se staví atomové elektrárny všude. A při tom Slunce je nejdokonalejší atomový reaktor, jaký si lze přát. Netvoří žádný nebezpečný radioaktivní odpad. Jeho energie k nám na Zemi přichází ve formě světla – to jest vysoce kvalitní formy energie. Slunci nehrozí žádný výbuch – je zde už pět miliard let a sloužilo jen k dobru života. Při vzpomínce na Černobyl a na zmrzačelé děti, dospělé i zvířata... nás mrazí a po světě jsou demonstrace proti stavbě nových atomových elektráren. Zbývá nám a našim potomkům tedy jen Slunce.

V našich podmínkách dopadá na jeden metr čtvereční vodorovně položený za jeden rok něco přes tisíc kilowatthodin slunečního záření. U nás je výhodné toto záření přeměňovat na nízkopotencionální teplo (pod 100 stupňů Celsia). Ostatně nízkopotencionální teplo přestavuje veliký zlomek z celkové spotřeby u nás.

Na řadě míst se už užívají sluneční kolektory k ohřevu vody v domácnostech, v zemědělství i k přitápění bytů a veřejných budov. Je už u nás řada nadšenců, kteří sestrojili ohřívače. A kolektory, které dělají v Kroměříži, V Žiaru nad Hronom i jinde, patří mezi nejlepší na světě. To vyplývá z měření jejich účinnosti.

Nás teď obvykle pálí akumulace tepla: „Kam to letní vedro schovat, aby nás hřálo v zimě“. Švédové mají zkušenosti: udělat co největší akumulátor, společný pro desítky či stovky domácností. Je totiž třeba, aby poměr povrchu akumulátoru k objemu byl co nejmenší. Vodní akumulátor, levně izolovaný, velikosti hřiště a hloubky třiceti metrů, by stačil na zimní topení více jak sta domácností.

První kroky – získávání zkušeností – jsou za námi. I ta nejdelší cesta začíná prvním krokem. A podle Marchettiho zákona, který popi-

suje rozvoj energetických zdrojů v minulosti i v budoucnosti, by sluneční energie v polovině příštího století měla **natrvalo** nahradit všechny dnešní zdroje energie.

U nás není dost slunečního záření ani plochy, abychom mohli v budoucnu zcela krýt energetickou spotřebu ze Slunce. Žádná evropská země (snad mimo Řecka a Španělska) si to nemůže dovolit. Podle mezinárodních plánů IIASA (Mezinárodní ústav pro pokročilou systémovou analysu) budeme přivádět elektřinu ze Sahary, kde je mnoho slunečního svitu a obrovské rozlohy. Běžnost je rozkládat slunečním zářením vodu na kyslík a vodík a dopravovat do Evropy vodík potrubím nebo po lodích. To je zatím připravovaná energetická budoucnost v rozsáhlé mezinárodní spolupráci.

Obsah

Slunce ve větru, vodě a biosféře 2

Sluneční energie 6

Z pekelné výhně na povrch Země 6

Zapřáhněme Sluníčko 10

Energie ve vesmíru a ve službách lidem 15

Slunce – Energetická Popelka 16

Využití sluneční energie 21

© Doc. Josip Kleczek, 1998, Kleczek@sunkl.asu.cas.cz

Vydala Hvězdárna, 757 01 Valašské Meziříčí, HvezdHVM@vm.inext.cz

Grafická úprava a sazba Hynek Olchava, HynekOl@risc.upol.cz