

Fúzní palivo a obnovitelné zdroje

Slavomír Entler

ABSTRAKT: Ačkoliv většina obnovitelných zdrojů čerpá ze Slunce energii uvolněnou při jaderné fúzi, samotná jaderná fúze není považována za obnovitelný zdroj. Pokud ale sumarizujeme požadavky kladené na obnovitelné zdroje, zjistíme, že fúzní palivo všechny tyto požadavky splňuje. Jde proto jen o administrativní rozhodnutí, zda bude fúzní palivo mezi obnovitelné zdroje zařazeno.

KLÍČOVÁ SLOVA: jaderná fúze, fúzní elektrárna, obnovitelné zdroje, fúzní energie

ABSTRACT: Although most renewable sources of energy draw their energy directly or indirectly from the fusion of the atomic nuclei in the Sun, the fusion energy source is not considered to be the renewable source of energy. This article summarizes the requirements of the renewable source definitions and demonstrates that the fusion fuel, deuterium and lithium, has all of the characteristics of a renewable source. Accepting fusion fuel as a renewable source of energy may enable faster development of the necessary technologies for using it.

KEYWORDS: nuclear fusion, fusion fuel power plant, renewable source, fusion energy

Obnovitelné zdroje často vzbuzují mezi odborníky i veřejností emoce. Zastánci vidí v obnovitelných zdrojích budoucnost světové energetiky, oponenti naopak upozorňují na nízkou účinnost, nestálý výkon, vysokou spotřebu materiálů při výstavbě a vysokou cenu vyrobené elektřiny z většiny těchto zdrojů. Protože převážná část zastánců obnovitelných zdrojů současně odmítá jadernou energetiku, řeší nestálý energetický výkon fotovoltaických a větrných elektráren podporou využívání elektráren na fosilní paliva jako záskokových zdrojů při nepříznivém počasí. Tím vzniká paradoxní situace: ochránci životního prostředí a přírody podporují elektrárny na fosilní paliva, která poškozují životní prostředí nejvíce ze všech využívaných energetických zdrojů.

Průmyslový obnovitelný zdroj

Východiskem z této situace je nalezení obnovitelného zdroje energie, který by dokázal průmyslově vyrábět elektřinu bez nedostatků, kterými trpí současné obnovitelné zdroje. Průmyslový obnovitelný zdroj energie nesmí poškozovat životní prostředí, z pohledu lidské civilizace musí být nevyčerpatelný a současně musí poskytovat konstantní vysoký energetický výkon nezávislý na počasí.

Přesně takovým zdrojem je jaderná fúze, přesněji palivo pro jadernou fúzi. Fúzní palivo splňuje veškeré požadavky kladené na obnovitelné zdroje a současně umožňuje provozovat energetické zdroje o konstantním vysokém výkonu. Cena vyrobené elektřiny z jaderné fúze bude na obvyklé úrovni ceny vyráběné elektřiny ve vodních nebo jaderných elektrárnách. Protože však jde o nový způsob získávání energie, není obecně známé, že je fúzní palivo skutečně takový zdroj energie.

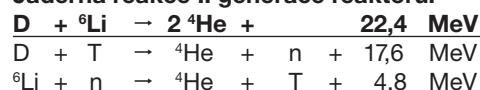
Jaderná fúze

Energetické využití jaderné fúze je založeno na fyzikální zákonitosti, že při slučování atomových jader lehčích než železo na těžší jádra dochází k nárůstu záporné jaderné vazebné energie a vzniklé jádro je lehčí než prostý součet hmotností sloučených jader. Rozdíl hmotností mezi slučovanými jádry a vzniklým jádrem je uvolněn ve formě energie v souladu se známým vztahem A. Einsteina $E = mc^2$. Nejvíce energie se uvolňuje při slučování jader izotopů nejlehčího chemického prvku vodíku. Vodík má tři izotopy: izotop s jádrem tvořeným jediným protonem je nejrozšířenější, a proto se shodně nazývá vodík, izotop s jádrem tvořeným protonem a neutronem se nazývá deuterium (D) a izotop s jádrem tvořeným protonem

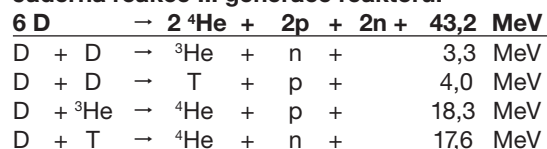
a dvěma neutrony se nazývá tritium (T). Izotopy vodík a deuterium jsou přírodní látky, které se na Zemi hojně vyskytují ve formě sloučenin. Nejvíce vodíku a deuteria tvoří součást vody (v případě deuteria tzv. těžké vody) v oceánech, přičemž přibližně na 6 240 atomů vodíku připadá 1 atom deuteria. Tritium vzniká přirozeně nejčastěji vlivem ionizujícího kosmického záření ve vrchních vrstvách zemské atmosféry a uměle v jaderných reaktorech. Na Zemi se ale prakticky nevyskytuje, protože není stabilní a tzv. β -rozpadem se mění s poločasem rozpadu 12,3 let na izotop helia ^3He .

V energetických fúzních reaktorech první generace bude probíhat fúzní reakce jader deuteria a tritia, která umožňuje ze všech fúzních reakcí nejsnáze dosáhnout energetický zisk reaktoru, protože v dosažitelných podmínkách probíhá nejrychleji. Tritium se bude vyrábět přímo v reaktoru reakcí lithia a neutronů vznikajících při fúzní reakci. Druhá generace energetických reaktorů bude využívat reakci samotných jader deuteria.

Jaderná reakce I. generace reaktorů:



Jaderná reakce II. generace reaktorů:



Ve třetí generaci energetických fúzních reaktorů bude probíhat tzv. bezneutronová fúze, například fúzní reakce jader vodíku a bóru, při které vznikají pouze elektricky nabitě částice udržitelné magnetickým polem reaktoru. Bezneutronová fúze odstraní aktivaci konstrukce reaktorů fúzními neutrony a současně otevře cestu pro přímé magnetohydrodynamické generování elektrické energie bez nutnosti použití termodynamického cyklu.

Popis fyziky jaderné fúze můžete nalézt v dřívějším čísle Energetiky 3/2015 v článku *Jaderná fúze – budoucnost energetiky*.

Současný stav výzkumu

Výzkum energetického využití jaderné fúze probíhá zhruba od konce 2. světové války a zaznamenal řadu významných

úspěchů. V roce 1994 dosáhl americký reaktor TFTR fúzního výkonu 10,7 MW, evropský reaktor JET dosáhl v roce 1997 fúzního výkonu 16 MW. Pro svůj provoz však tyto reaktory spotřebovaly více energie, než kolik se uvolnilo jadernou fúzí. V současnosti je proto ve výstavbě nový fúzní reaktor ITER o tepelném výkonu 500 MW, který prokáže využitelnost jaderné fúze pro energetiku. Projekt ITER byl ideově dohodnut již v roce 1985, avšak jeho výstavba byla zahájena až po 22 letech v roce 2007 s plánovaným spuštěním reaktoru v roce 2021. Současně s výstavbou reaktoru ITER probíhá přípravná fáze projektu první fúzní elektrárny, která bude demonstrovat výrobu elektřiny pomocí jaderné fúze, a je proto označována zkratkou DEMO.

Definice obnovitelných zdrojů

Existuje velké množství definic obnovitelných zdrojů, protože správně popsat obnovitelný zdroj není snadné. Jednotlivé definice se liší v tom, jaké vlastnosti autor té které definice upřednostňuje, anebo naopak nepovažuje za důležité. Typické definice obnovitelných zdrojů jsou uvedeny v příloženém přehledu. Definice ukazují, že základní požadavky jsou bez ohledu na různou formulaci prakticky stejné a liší se pouze mírou detailů. To umožňuje sestavit souhrnnou definici obnovitelných zdrojů:

Obnovitelné zdroje jsou využívané nebo potenciální zdroje energie, které:

1. jsou přírodní,
2. jsou průběžně doplňovány přirozenými přírodními procesy a toky,
3. jsou v antropogenním časovém měřítku nevyčerpatelné a při čerpání se vrací do svého původního stavu,
4. nalézají se v dosahu činnosti lidstva, tj. v antropogenním prostoru,
5. neohrožují své budoucí využívání, a mohou být proto použity znovu a znovu,
6. při čerpání energie nepoškozují životní prostředí,
7. produkují minimální odpad.

Energetické pojetí jaderné fúze

Z fyzikálního hlediska je při fúzi atomových jader zdrojem energie úbytek hmotnosti nově vytvořeného atomového jádra oproti součtu hmotností slučovaných jader.

Energetické pojetí jaderné fúze se výrazně liší od fyzikálního. Pro analýzu jaderné fúze z hlediska energetiky je vhodné označit fúzi jako „spalování“, ve kterém jsou palivem slučovaná atomová jádra. Zdrojem energie je tak fúzní palivo, které při fúzní reakci „shoří“, analogicky k uhlí, ropě, plynu nebo biomase.

Fúzní palivo

První generace fúzních elektráren bude používat jako palivo deuterium a tritium, přičemž tritium se bude vyrábět přímo ve fúzním reaktoru z lithia. Do palivového cyklu proto vstupuje deuterium a lithium a hovoří se o palivu DLi. Druhá generace fúzních elektráren bude používat jako palivo pouze deuterium označované jako DD palivo. Obě uvedená paliva budeme dále souhrnně označovat jako fúzní palivo.

Zásoby fúzního paliva

DD palivo, deuterium, je přírodní látka, která se v obrovském množství vyskytuje především v mořské vodě. Množství deuteria ve světových oceánech je přibližně $4,76 \times 10^{16}$ kg. Při úplném pokrytí současné celosvětové spotřeby energie (přibližně 6×10^{20} J/rok) by zásoby DD paliva vystačily na 8 miliard let. To je mnohem déle, než je předpokládaná délka

existence Země, protože Slunce přibližně za 5,3 miliardy let spálí své zásoby vodíku a vybuchne. V době zániku Země by v takovém případě bylo vyčerpáno pouze 66 % celkových pozemských zásob DD paliva.

Lithium, druhá složka DLi paliva první generace fúzních elektráren, je také přírodní látka. V zemské kůře je přibližně $9,9 \times 10^{10}$ kg lithia a v oceánech $2,47 \times 10^{14}$ kg. Z toho je přibližně $1,83 \times 10^{13}$ kg nevhodnějšího izotopu ^6Li . Při úplném pokrytí výše uvedené celosvětové spotřeby energie by zásoby DLi paliva v oceánech vystačily na 2,2 milionu let. A to je více než dostatečná doba na zvládnutí spalování DD paliva, jehož zásoby pokryjí následující miliardy let. Je důležité zdůraznit, že prakticky všechny stávající fúzní reaktory pracují s DD palivem, a proto je energetické využití DD paliva čistě technologická otázka.

Obrovská velikost zásob znamená, že je fúzní palivo z antropogenního hlediska nevyčerpatelný zdroj energie, stejně jako obnovitelné zdroje závislé na Slunci. Dokud bude svítit Slunce, bude na Zemi také dostatek fúzního paliva pro pozemskou fúzní energetiku. Veškeré zásoby se přitom nalézají v antropogenním prostoru ve světových oceánech, tedy v bezprostředním dosahu lidské činnosti kdekoli na světě.



Obr. 1. Světové oceány obsahují $4,76 \times 10^{16}$ kg deuteria a $1,83 \times 10^{13}$ kg lithia ^6Li . Toto množství představuje dostatečnou zásobu paliva pro celé lidstvo až do výbuchu Slunce a zániku Země

Přirozený tok energie

Při čerpání fúzního paliva z mořské vody dojde pouze k nepatrnému snížení jeho lokální koncentrace v místě čerpání. Přirozenými přírodními procesy, difúzí a prouděním vody, bude nepřetržitě docházet k vyrovnávání této koncentrace s okolní vodou světových oceánů. Čerpání deuteria a lithia bude probíhat v malých množstvích, řádově 1 kg paliva denně/1 000 MW elektrického výkonu. Při spálení tohoto množství paliva vznikne asi 550 g helia. Pro srovnání, přirozený únik vodíku a helia ze Země do vesmíru dosahuje až 90 000 tun ročně a naopak jejich přírůstek z vesmíru činí přibližně 40 000 tun ročně. Přirozený přírůstek fúzního paliva z vesmíru je plně srovnatelný s kvalifikací slunečního záření na hranici antropogenní oblasti a jde o přirozený a nevyčerpatelný energetický tok vstupující do antropogenního prostoru.

Fúzní elektrárna o elektrickém výkonu 1 000 MW přečerpá pro získání paliva na celý den provozu pouhých 25 m³ mořské vody, z nichž 24,999 m³ zase vrátí zpět do oceánu. To je množství vody v dětském bazénu 4 × 5 × 1,3 m. Zcela zanedbatelné množství čerpané vody umožní rychlou obnovu původního stavu oceánu a koncentrace fúzního paliva ve vodě se bude neustále plynule vyrovnávat na původní hodnotu. Energetický

tok fúzního paliva k místu čerpání tak bude probíhat přirozeně, bez zásahu člověka a na základě přírodních procesů ve světových oceánech.

Vliv na životní prostředí

Fúzní palivo je inherentně bezpečný zdroj energie, který z prin-

cipu nemůže nijak ohrozit životní prostředí. Důvodem je skutečnost, že jaderná fúze nemůže v pozemských podmínkách probíhat samovolně. Energetickému využití je nejbližší tzv. termojaderná fúze, která probíhá pouze za velmi vysokých teplot paliva v řádu desítek až stovek milionů stupňů Celsia. Při jakémkoliv závažnější poruše nebo havárii dojde k přirozenému

Tab. 1. Přehled vybraných definic obnovitelných zdrojů

Zdroj	Definice
OSN [1]	„Obnovitelné přírodní zdroje jsou přírodní zdroje, které jsou po svém využití schopny se navrátit zpět na úroveň svých předchozích zásob přirozenými procesy růstu nebo doplňování.“ „Nové a obnovitelné zdroje energie: energetické zdroje zahrnující sluneční energii, geotermální energii, větrnou energii, vodní energii, energii oceánů (tepelný gradient, energii vln a přílivovou energii), biomasu, energii tažných zvířat, palivového dřeva, rašeliny, dále energii z ropné břidlice a dehtových písků.“
OECD [2]	„Obnovitelná energie je energie pocházející z přírodních procesů, které jsou neustále doplňovány.“ „Existují různé formy obnovitelných zdrojů odvozujiících se přímo nebo nepřímo od slunce, či z tepla generovaného z hlubin Země. Patří mezi ně energie vytvářená ze slunce, větru, biomasy, geotermální energie, vodní energie a oceánské zdroje energie, pevná biomasa, bioplyn a kapalná biopaliva.“
Mezinárodní energetická agentura, IEA [3]	„Energie získávaná z přírodních procesů (např. sluneční světlo a vítr), které jsou obnovovány rychlejším tempem, než jsou spotřebovávány. Slunce, vítr, geotermální energie, vodní energie a některé formy biomasy patří mezi běžné zdroje obnovitelné energie.“
Evropská Unie, EU [4]	„Energie z obnovitelných zdrojů označuje energii z obnovitelných nefosilních zdrojů, jmenovitě větrnou, sluneční, aerotermální a geotermální energii, hydrotermální energii a energii oceánů, biomasu, skládkový plyn, plyn z čistíček odpadních vod a bioplyny.“
EUROSTAT [5]	„Obnovitelné zdroje energie zahrnují obnovitelné nefosilní energetické zdroje jako je větrná, solární, geotermální a vodní energie a energie z biomasy a odpadů.“
Úřad pro energetické informace USA [6]	„Energetické zdroje, které jsou přirozeně obnovovány, ale jsou omezeny rychlostí vlastní spotřeby. Jsou tedy v podstatě nevyčerpatelné v čase, ale jsou omezeny množstvím energie, které je z nich dostupné za jednotku času. Obnovitelné zdroje energie zahrnují biomasu, vodní, geotermální, solární a větrnou energii, tepelnou energii oceánů, vln a přílivu.“
Exportní rada pro obnovitelné zdroje USA [7]	„Termín „obnovitelné“ je obecně používán pro ty energetické zdroje a technologie, jejichž společnou vlastností je jejich nevyčerpatelnost nebo přirozená obnovitelnost. Obnovitelné zdroje zahrnují solární energii, větrnou energii, energii z padající vody, tepelnou energii Země (geotermální energii), rostlinnou hmotu (biomasu), vlny, oceán, proudy, teplotní rozdíly v oceánech a přílivovou energii. Technologie obnovitelných zdrojů energie produkují energii, teplo nebo mechanickou energii přeměnou těchto zdrojů buď v elektřinu, nebo v pohybovou energii.“
Natural Resources Canada [8]	„Energie získávaná z přírodních zdrojů, které mohou být přirozeně doplňovány nebo obnovovány v období lidského života, což znamená, že se jedná o udržitelný zdroj energie. Některé přírodní zdroje, jako například pohybující se voda, vítr a sluneční záření nejsou ohroženy vyčerpáním v důsledku výroby energie. Biomasa je však obnovitelným zdrojem pouze v případě, že rychlost její spotřeby nepřesáhne rychlost její tvorby.“
Princeton University [9]	„Jakýkoli přírodní zdroj (jako například dřevo nebo solární energie), který může být s plynutím času přirozeně obnoven.“ „Přírodní zdroj – zdroj (skutečný a potenciální) poskytovaný přírodou.“
Oxford University [10]	„Opakovatelný zdroj, jehož množství není při použití snižováno, ale bude obnoveno. Příkladem je slapová a větrná energie. Obnovitelné zdroje mohou být spotřebovávány bez ohrožení budoucí spotřeby, pokud rychlost jejich využívání nepřevyší rychlost jejich obnovy, tj. podobně jako například u rybolovu.“
BBC [11]	„Obnovitelné nebo nevyčerpatelné zdroje energie jsou zdroje, které se sami rychle obnovují a lze je využívat opět a opět.“
Wikipedia [12]	„Obnovitelná energie je obecně definována jako energie, která pochází ze zdrojů, které jsou přirozeně doplňovány v lidském časovém rámci, jako je sluneční záření, vítr, déšť, příliv, vlny a geotermální teplo.“
Wikipedia [13]	„Zdroj, který je přirozeně nahrazován a lze jej opakovaně používat.“
Investopedia [14]	„Ekonomicky hodnotná látka, kterou lze nahradit nebo doplnit ve stejném množství nebo za kratší čas, než zabere její celkové vyčerpání. Některé obnovitelné zdroje mají v podstatě nevyčerpatelné zásoby, jako například solární energie, větrná energie a geotermální energie, zatímco ostatní zdroje jsou považovány za obnovitelné i přesto, že jejich obnova nějaký čas trvá – mezi takové patří například dřevo, kyslík, kůže a ryby.“
Collins Dictionary [15]	„Forma energie pocházející z přírodního zdroje, jako je například slunce, vítr, slapové jevy nebo vlny.“
Gritsevskiy [16]	„Nové a obnovitelné zdroje energie jsou energetické zdroje zahrnující solární energii, geotermální energii, větrnou energii, vodní energii, energii oceánů (tepelný gradient, energie vln a slapů), biomasu, výkon tažných zvířat, palivové dřeva, rašelina, ropné břidlice a dehtové pisky.“ „Energie získávaná ze zdrojů, které jsou v podstatě nevyčerpatelné (na rozdíl od například fosilních paliv, jejichž množství je omezené). Obnovitelné zdroje energie zahrnují dřevo, odpady, geotermální energii, vítr, fotovoltaiku a tepelnou solární energii.“ „Všechny toky přírodní energie, které jsou z antropogenního hlediska nevyčerpatelné (tj. obnovitelné): sluneční záření, vítr, geotermální energie, vlny a slapová energie a biomasa.“ „Obnovitelná energie – zdroje, které jsou přirozeně obnovovány, ale jsou omezeny rychlostí spotřeby. Jsou tedy v podstatě nevyčerpatelné v čase, ale jsou omezeny množstvím energie, které je z nich dostupné za jednotku času.“
Panwar [17]	„Zdroje, které lze opakovaně využívat pro výrobu energie, např. solární energie, větrná energie, energie z biomasy, geotermální energie atd., které jsou často také nazývány alternativními zdroji energie. Technologie obnovitelných zdrojů energie jsou považovány za čisté zdroje energie a jejich optimální využití minimalizuje dopady na životní prostředí a vede k tvorbě minimálního množství sekundárních odpadů. Z pohledu současných ekonomických a společenských potřeb jsou trvale udržitelné.“
Hoexter [18]	„Obnovitelné zdroje energie jsou typem přirozených energetických toků užitečných pro člověka, které se pravidelně objevují na nebo poblíž zemského povrchu. Kromě toho mezi ně patří také užitečná ložiska přírodní energie, která jsou obnovována přírodními toky v časovém horizontu odpovídajícím rychlosti jejich spotřeby lidmi. Všechny známé zdroje obnovitelné energie pocházejí nebo jsou odvozeny z elektromagnetického záření našeho Slunce, gravitačních polí Země a Měsíce a tepelného záření pocházejícího z nitra Země. Obnovitelné zdroje energie jsou prakticky nevyčerpatelné, ačkoliv některé zdroje jako například geotermální energie a tepelná energie oceánů (využívána konverzí) mohou být lokálně lidskou spotřebou vyčerpány rychlostí, která je vyšší, než je rychlost jejich obnovy přírodním tokem.“

ochlazení paliva a tím k okamžitému zastavení fúzní reakce. Množství paliva v reaktoru bude natolik malé, řádově gram vodíkových izotopů při elektrickém výkonu elektrárny 1 000 MW, že ani při nejtěžší havárii fúzního reaktoru s únikem paliva do ovzduší nedojde k ohrožení přírody a životního prostředí. Spalování fúzního paliva bude probíhat bez jakýchkoliv exhalací a poskytne konstantní energetický výkon bez nutnosti udržovat rozsáhlé zásokové energetické kapacity na fosilní paliva. Odpadem spalování bude helium, přírodní inertní plyn, který je dále dobře využitelný.

Vysokoenergetické neutrony fúzních reaktorů I. a II. generace budou aktivovat vnitřní reaktorové komponenty reaktorů. Vznikne tím v omezeném množství sekundárně radioaktivní odpad. Pro omezení množství materiálu a jeho aktivity budou tyto komponenty vyráběny z konstrukčních materiálů s nízkou nebo omezenou aktivací, které mimo jiné vyloučí vznik radioizotopů s dlouhým poločasem rozpadu. V současné době se předpokládá použití wolframu a speciálních nízkoaktivovatelných ocelí.

Hodnocení fúzního paliva

Fúzní palivo je potenciální zdroj energie, který splňuje všechny požadavky kladené na obnovitelné zdroje (viz výše, odstavec Definice obnovitelných zdrojů).

Splňuje také všechny definice uvedené v přiloženém přehledu definic obnovitelných zdrojů s výjimkou jmenovitých seznamů. Proto by mělo být zařazeno mezi obnovitelné zdroje energie.

Udržitelná energetika

V souvislosti s diskusí, zda je fúzní palivo obnovitelným zdrojem energie, vyvstává otázka, jaký je rozdíl mezi obnovitelným a udržitelným zdrojem energie. Udržitelný zdroj energie je takový, který je nevyčerpatelný v časovém rozmezí relevantním lidstvu a vyhovuje požadavku trvale udržitelného rozvoje, tj. umožňuje současným i budoucím generacím uspokojovat jejich základní životní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů. Jde o energetický zdroj, který nespoteblovává omezené surovinové zdroje, je šetrný k životnímu prostředí a obecně jej lze provozovat dlouhodobě bez negativních vlivů na životní prostředí a ekosystémy.

Uvedená definice je velice podobná definicím obnovitelných zdrojů s jedinou výjimkou, kterou je vlastní obnovitelnost energetického zdroje. Z fyzikálního hlediska však neexistuje žádný skutečně obnovitelný zdroj, podobně jako neexistuje perpetuum mobile. V reálném světě není žádný rozdíl mezi obnovitelnými a udržitelnými zdroji energie. Za „obnovitelné zdroje“ jsou proto považovány takové zdroje, které byly úředně do této kategorie zařazeny.

Energetický mix z trvale udržitelných zdrojů

Vzhledem ke svým vlastnostem se v budoucnu fúzní palivo stane rozhodujícím energetickým zdrojem. Fúzní elektrárny nahradí elektrárny na fosilní paliva i jaderné elektrárny. Budou plnohodnotným průmyslovým protějškem malých decentralizovaných energetických zdrojů a umožní sestavit světovou energetiku čistě z trvale udržitelných zdrojů.

Podstatnou otázkou ale je, kdy k tomu dojde. Průmyslové zvládnutí jaderné fúze je jedním z nejsložitějších úkolů, před nimiž vědci a technici kdy stáli. Specifickým rysem jaderné fúze je také skutečnost, že prozatím neumíme postavit malý energetický fúzní reaktor a jeho minimální velikost odpovídá přibližně velikosti jaderných reaktorů ve velkých elektrárnách. Z těchto důvodů je vývoj fúzního energetického zdroje

finančně nákladný. Závisí proto především na rozhodnutí politiků, jak rychle se jaderná fúze stane součástí energetiky a energetický mix z trvale udržitelných zdrojů bude možné sestavit.

Zařazení fúzního paliva do skupiny obnovitelných zdrojů by tomuto cíli významně pomohlo. Obnovitelné zdroje mají v současnosti podporu veřejnosti i politickou podporu, a proto by se tímto způsobem otevřela snazší cesta získat nezbytné dotace na vývoj a výstavbu fúzních elektráren. Současná podpora obnovitelných zdrojů nespočívá jen v podpoře nákupu vyrobené energie, ale v řadě zemí zahrnuje také podporu investic nebo snížení daní pro projekty obnovitelných zdrojů. Vědecká komunita již delší dobu vytváří podmínky pro hlubší zapojení průmyslu do výzkumu jaderné fúze, avšak vzhledem k finanční náročnosti tohoto výzkumu je odezva minimální. Akceptace fúzního paliva jako obnovitelného zdroje by umožnila na základě již zavedených mechanismů podporovat účast průmyslových podniků ve vývoji fúzních elektráren a tím by přispěla k urychlení jejich integrace do energetiky.

Poděkování

Tato práce vznikla za podpory projektu SUSEN CZ.1.05/2.1.00/03.0108 (ERDF).

Literatura:

- [1] UN, *Glossary of Environment Statistics F-67E*, UN, 1997
- [2] IEA, Eurostat EC, *Energy Statistic Manual*, OECD/IEA, 2005
- [3] IEA, <<http://www.iea.org/aboutus/faqs/renewableenergy/>>, IEA, 2014
- [4] European Union, *Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the Council of 23 April 2009*, European Union, 2009
- [5] Eurostat EC, *Key Figures on Europe Edition 2009*, European Communities, 2009
- [6] EIA, <<http://www.eia.gov/tools/glossary/?id=renewable>>, U.S. Energy Information Administration, 2014
- [7] J. Armstrong, J. Hamrin: *What are "Renewable Resources"? The Renewable Energy Policy Manual*, Organization of American States, U.S. Export Council for Renewable Energy, 2013
- [8] Natural Resources Canada, <<http://www.nrcan.gc.ca/energy/renewable-electricity/7295>>, Natural Resources Canada, Government of Canada, 11. 4. 2014
- [9] Princeton University, WordNet, Princeton University, <http://wordnet.princeton.edu>, 2012
- [10] S. Mayhew: *A Dictionary of Geography*. Oxford University Press, 2009
- [11] BBC, <http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/geography/energy/resources/energy_rev1.shtml>, 2014
- [12] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy>, 16. 10. 2014
- [13] Wikipedia, <http://simple.wikipedia.org/wiki/Renewable_resource>, 7. 6. 2014
- [14] Investopedia, <http://www.investopedia.com/terms/r/renewable_resource.asp>, 2014
- [15] HarperCollins Publishers, <<http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/renewable-energy?showCookiePolicy=true>>, Collin English Dictionary, HarperCollins Publishers Limited, 2014
- [16] A. Gritsevskiy: *Renewable vs. non-renewable energy sources, forms and technologies*. IAEA, 13th Meeting of the London Group on Environmental Accounting, Brussels, Belgium, 2008
- [17] N. L. Panwar, S. C. Kaushik, S. Kothari: *Role of renewable energy sources in environmental protection: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 1513 (2011)
- [18] M. Hoexter: *What is Renewable Energy Anyway?* <<http://greenthoughts.us/2007/12/09/the-renewable-electron-economy-part-ix-what-is-renewable-energy-anyway/>>, 9. 12. 2007



Ing. Slavomír Entler (1963) – Ústav fyziky plazmatu AV ČR, dříve vedoucí výzkumné aktivity Technologie první stěny fúzního reaktoru Centra výzkumu Řež, člen evropské projektové skupiny pro vývoj divertoru reaktoru DEMO, konsorcia EU-ROfusion a zástupce ČR v radě Evropských fúzních laboratoří při evropské agentuře Fusion for Energy (EFLO).

Recenze: **doc. RNDr. Jan Mlynář, Ph.D.**
Ing. Lenka Heraltová