

Dekarbonizace energetiky – sny nebo reálné vize

Energetické fórum Ústeckého kraje – 10/2021

Ing. Miroslav Richter, Ph.D., EUR ING, FŽP UJEP v Ústí n.L.

miroslav.richter@ujep.cz

Pozice Evropské unie

- Energetická soběstačnost EU není dosažitelná.
- Evropa dováží více než 50 % paliv s odhadem růstu přes 80 % do roku 2030.
- Manévrovací možnosti EU v dodávkách energie jsou omezené.
- EU nemá vliv na tvorbu světových cen paliv.

Možná východiska deklarovaná EU:

- Uplatnění obnovitelných zdrojů energií.
- Využití lokálních podmínek.
- Snižování podílu fosilních paliv v energetice – tzv. „**uhlíkové stopy**“.
- Snižování emisí skleníkových plynů - **zpomalení globálního oteplování**.

Úplné chemické složení vlhkého vzduchu (podrobná analýza)

zdroj © Pearson Prentice Hall, Lehranimationen, 2007, (upraveno - přepočítáno na vlhký vzduch + CO₂)

Plyn	Chemický vzorec	% obj.	% hm.	[ppmv]	[ppmm]	Molekulární hmotnost (M)
Dusík	N ₂	77,2981623	75,0395008	772 981,62	750 395,01	28,013494
Kyslík	O ₂	20,7402216	23,0022875	207 402,22	230 022,88	31,998860
Voda	H ₂ O	0,9999912	0,6243990	9 999,91	6 243,99	18,015324
Argon	Ar	0,9206876	1,2747844	9 206,88	12 747,84	39,948100
Oxid uhličitý	CO ₂	0,0385010	0,0573815	385,01	573,82	44,009960
Neon	Ne	0,0017820	0,0012463	17,82	12,46	20,179760
Helium	He	0,0004950	0,0000686	4,950	0,686	4,002602
Krypton	Kr	0,0000990	0,0002875	0,990	2,875	83,801000
Vodík	H ₂	0,0000495	0,0000035	0,49	0,03	2,015894
Xenon	Xe	0,0000086	0,0000392	0,086129	0,391941	131,292000
Metan	CH ₄	0,00000178	0,000000990	0,017820	0,009896	16,042888
Oxid dusný	N ₂ O	0,00000031	0,000000468	0,003069	0,004682	44,012924
Oxid uhelnatý	CO	0,00000010	0,000000096	0,000990	0,000961	28,010530
Ozón	O ₃	0,00000003	0,000000049	0,000297	0,000494	47,998290
Aceton	CH ₃ COCH ₃	0,00000000069	0,00000000135	0,000007	0,000013	56,064518
Peroxid vodíku	H ₂ O ₂	0,00000000049	0,00000000058	0,000005	0,000006	34,014754
Etan	C ₂ H ₆	0,00000000049	0,00000000052	0,000005	0,000005	30,069882
Amoniak	NH ₃	0,00000000040	0,00000000023	0,000004	0,000002	17,030588
Formaldehyd	HCHO	0,00000000030	0,00000000031	0,000003	0,000003	30,026424
Kyselina dusičná	HNO ₃	0,00000000030	0,00000000065	0,000003	0,000006	63,012984
Oxid siřičitý	SO ₂	0,00000000020	0,00000000044	0,000002	0,000004	64,065460
Oxidy dusíku	NO _x	0,00000000010	0,00000000010	0,000000990	0,000001029	46,005607
Hydroxilové ionty	OH ⁻	9,90E-15	5,84E-15	0,00000000010	0,00000000006	17,007377
Suma		100,000	100,00	1 000 000,00	1 000 000,00	
M [gmol]	28,85592			Hustota [kg.m ⁻³]		1,28815

Proč dekarbonizace?
Může za globální oteplování jen CO₂ a CH₄?

Nejdůležitější skleníkové plyny

Skleníkový plyn	Konc. 1780	Konc. 1995	Změna	Hlavní zdroje přirozené a antropogenní (odborné odhady)	Ekvivalent CO2	Podíl na SE (max.)
Vodní pára	0,2 - 4,0 (% obj.)		0%	Hydrosféra (oceány, moře, jezera, toky), vegetace a půda. Spalovací procesy, sušení, odpařování, chlazení aj.	10.000	až 86 %
CO₂	280 → 360 (ppm)		29%	Aerobní procesy, anaerobní procesy a vulkanická činnost cca 92% Průmyslové spalovací procesy cca 8% z max. 26 %	1	9 - 26 %
CH₄	0,7 → 1,7 (ppm)		143%	Mokřady, močály, tundra (20%) Anaerobní rozklady (5%), těžba NS (10%) Chov dobytka (25%), pěstování rýže (25%)	20	4 - 9 %
N₂O	280 → 310 (ppb)		11%	Lesy, oceány, půda Prům. hnojiva Spalovací procesy	200	2,80 %
CFC	0 → 300 (ppb)		---	Chladicí aparatury (30 %) Aerosoly (30%), izol. pěny (32 %) Rozpouštědla aj. (8%)	7500	1,00 %
Ozón	82 (ppb)		0%	Krátkovlnné záření Výboje v atmosféře (růst v přízemní vrstvě, pokles ve stratosféře)	2000	3 - 7 %

Jak je to s antropogenními vlivy na troposféru?

Na oteplování troposféry mají vliv hlavně emise:

- Vodních par ze spalování **všech fosilních a recentních paliv**. Např. na 1 mol spáleného metanu, tj. zemního plynu, vznikne 1 mol CO₂, ale 2 moly par H₂O.
- Ohřátého vzduchu z průmyslu a vodních par např. z chladících věží a sušících procesů.
- Prachových částic a aerosolů z těžby a úpravy minerálních surovin, dopravy a manipulace s materiálem, stavebních a demoličních prací, spalování tuhých paliv včetně biomasy aj. zdrojů.
- Teplého vzduchu a spalin z energetiky, dopravy, vytápění, ohřevu a rozvodů TUV a dalších exotermních procesů.
- Tepla vyzařovaného radiací do přízemní vrstvy atmosféry - např. při výrobě stavebních hmot, kovů, skla a keramiky nebo jejich chlazení, dále odlévání, válcování, tepelného zpracování a obrábění kovů aj. zdrojů.

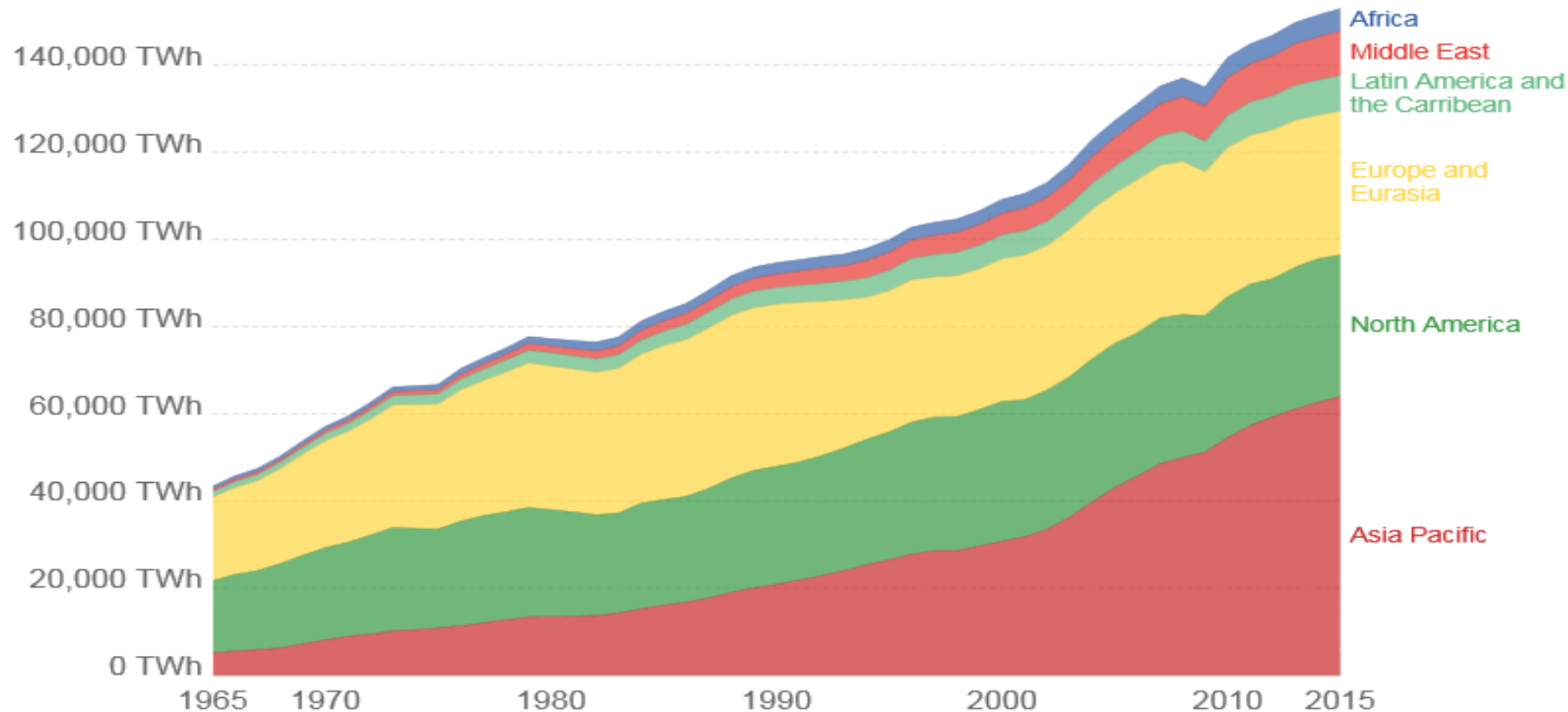
Naprostá většina energie **ze všech** spotřebovaných **fosilních a recentních paliv a jakkoliv vyrobené elektřiny** je v konečné fázi emitována do přízemní vrstvy atmosféry ve formě nízkopotenciálního tepla, **kteřou trvale ohřívá!**

Celková spotřeba energií vzrostla za 50 let o 275 %

Primary energy consumption by region

Global energy consumption by region, measured in terawatt-hours (TWh). Note that this data includes only commercially-traded fuels (coal, oil, gas), nuclear and modern renewables used in electricity production. As such, it does not include traditional biomass sources.

Our World
in Data



Source: BP Statistical Review 2016

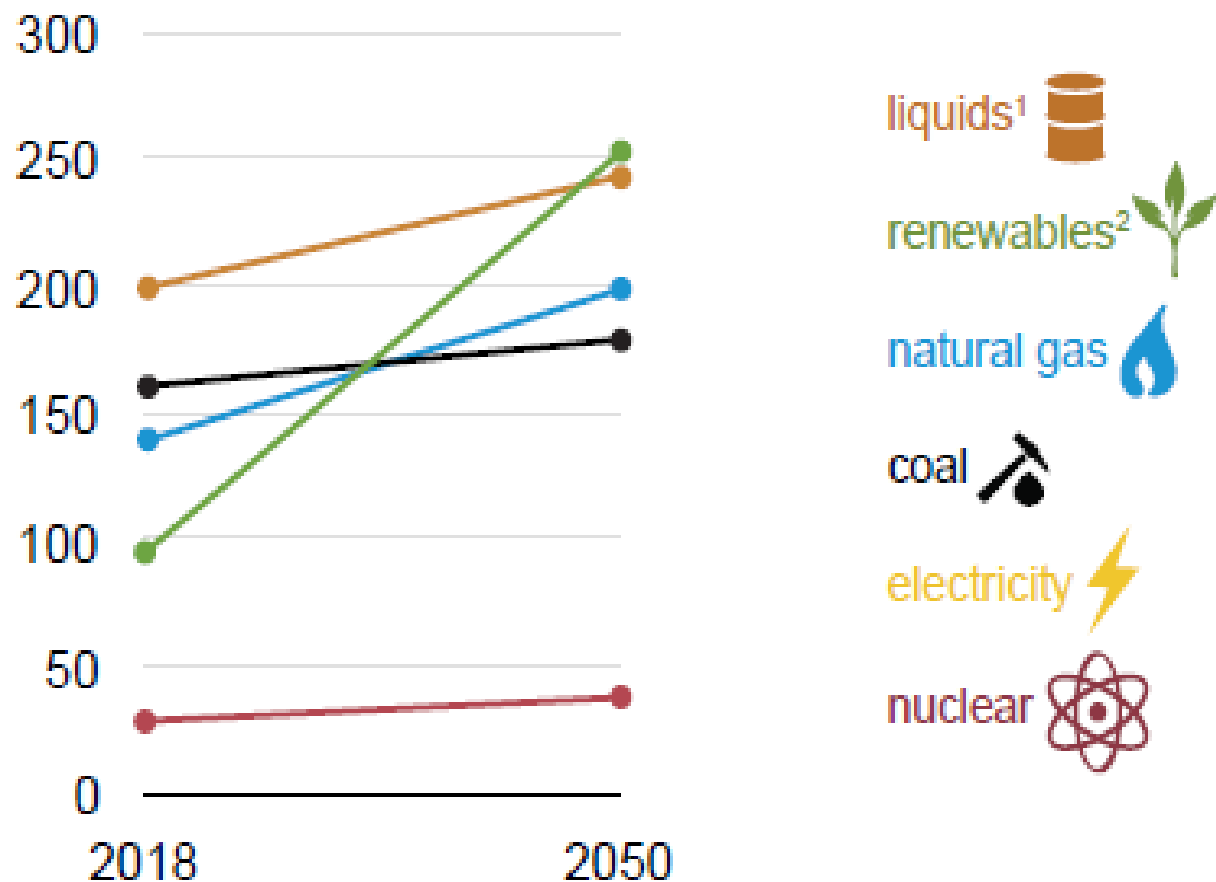
OurWorldInData.org/energy-production-and-changing-energy-sources/ • CC BY-SA

Uvedené trendy ve spotřebě energií trvají, zejména v asijských zemích.

Globální spotřeba energie se do roku 2050 zvýší o 50 %

Primary energy consumption

quadrillion British thermal units



1. Includes petroleum and liquid biofuels



Source: U.S. Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2019*

V současnosti se bez fosilních paliv a ropy neobejde výroba:

- **vodíku** – 95 % je vyráběno ze zemního plynu, ropných frakcí nebo uhlí. Jen 5 % je vyráběno elektrolýzou vodných roztoků, někdy je jen vedlejším produktem z výroby, např. NaOH a KOH.
- **motorových paliv a maziv** – benzínu, petroleje, nafty, olejů turbinových, motorových, převodových, hydraulických a plastických maziv aj. produktů.
- **asfaltu** – zbytku po zpracování ropy pro silniční stavitelství, hydroizolace budov a potrubí, střešní krytiny aj.
- **nátěrových hmot, barviv, pigmentů a tmelů** – antikorozi ochrana kovů, dřeva a staveb před povětrnostními vlivy, těsnění spár aj.
- **stavebních a izolačních hmot** – především cementu a vápna, sádry a cihlářského zboží, struskové, skelné a čedičové vaty, PUR, PS.
- **kovů z rud** - zejména surového železa - litiny a oceli všech kvalit.
- **termoplastů a termosetů** – surovinou jsou uhlovodíky vyráběné z ropy, např. pro obaly, konstrukční díly strojírenských a výrobků elektrotechnických, potrubí pitné a odpadní vody, podlahového vytápění a krytin aj.
- **syntetických vláken** – surovinou jsou ropné frakce. SV jsou částečnou náhradou přírodních vláken, významně šetří ornou půdu.
- **kompozitů** – výroba pryskyřic z ropných frakcí. Vysoce ceněny jsou kompozity, zejména s uhlíkovými vlákny.
- **syntetického kaučuku a pryže** – surovinou jsou uhlovodíky pocházející z ropy. SK min. z 80-ti % nahrazuje přírodní latex kaučukovníků, šetří ornou půdu.
- **elektřiny a tepla** – pro dopravu včetně elektromobility, CNG, LPG, průmyslovou a komunální sféru aj. oblasti.
- **dusíkatých hnojiv** – čpavku, ledků, močoviny a kapalných hnojiv např. typu DAM.

Další aspekty:

1. Fotosyntéza potřebuje CO₂, vodu a sluneční energii, **vyšší koncentrace ji intenzifikuje!**
2. V ústraní neustále zůstává **potřeba makro živin (N,P,K) a mikroživin živin** pro jakoukoliv zemědělskou výrobu zajišťující na světě v první řadě **výrobu cca 60 % krmiv a potravin. Produkce biopaliv na zemědělské půdě se bez nich také neobejde!**
3. Globálně zásadní rozpor tkví v potřebě přednostní výroby krmiv a potravin na zemědělské půdě. **Možnosti vyčlenění pro jakékoliv průmyslové či energetické účely jsou velmi omezené.**
4. Kontinuální průmyslové výroby vyžadují **plynulé dodávky energií**. Jinak není možné je provozovat.
5. Trvalé snižování rozlohy zemědělské půdy urbanizací krajiny – **viz situace v ČR, kdy se nejvíce staví tzv. „na zelené louce“!**
6. Známá ložiska fosforečných surovin budou vytěžena **cca do 50-ti let!**

Jaké jsou možnosti náhrady fosilních paliv v energetice?

- **Vodní elektrárny** – jsou závislé na **proměnných atmosférických srážkách** v ročních obdobích a meteorologické situaci. Často fungují jen jako špičkové zdroje! Vhodné lokality pro výstavbu jsou omezeny. V ČR je to také vázáno na vysoké rozptýlení sídel v krajině.
- **Solární systémy** – výroba tepla a elektřiny je závislá na intenzitě slunečního svitu a oblačnosti. S vyšší zeměpisnou šířkou jejich využitelnost klesá. **Musí být zálohovány** akumulací energie nebo jinou výrobou energie.
- **Větrná energetika** – výroba elektřiny je závislá na síle a směru větru, tj. meteorologické situaci a konfiguraci terénu. Jsou značné rozdíly mezi pobřežím oceánů a vnitrozemím. **Musí být zálohovány!**
- **Biopaliva** – možnosti produkce na zemědělské půdě jsou omezené pro přednostní produkci krmiv a potravin. Silná **závislost výnosů na meteorologické situaci ve vegetačním období** a v době sklizně. Mají větší nároky na uskladnění pro nižší hustotu, výhradně v zastřešených objektech.
- **Vodíková energetika** – pro elektrolýzu vody se spotřebuje min. 2x více elektřiny, než se jí nakonec získá z palivových článků nebo spalovacích motorů. **Do jisté míry to nakonec je plýtvání s elektřinou!**
- **Geotermální energie** – získá tepla, případně výroba elektřiny. **Vhodné geologické podmínky** jsou na omezených plochách v blízkosti litosférických zlomů nebo u geologicky mladších útvarů (Alpy, Karpaty).
- **Přílivové elektrárny** - výroba elektřiny téměř jen v přímořských zálivech. Výkon je proměnný závislý na okamžité výšce přílivu nebo odlivu. Rovněž **musí být zálohovány!**

Všechny výše uvedené OZE vyžadují zálohování výkonu stabilními a výkonnými zdroji, výhledově jen jadernými elektrárnami... Využití jaderné fúze je zatím hudbou budoucnosti!

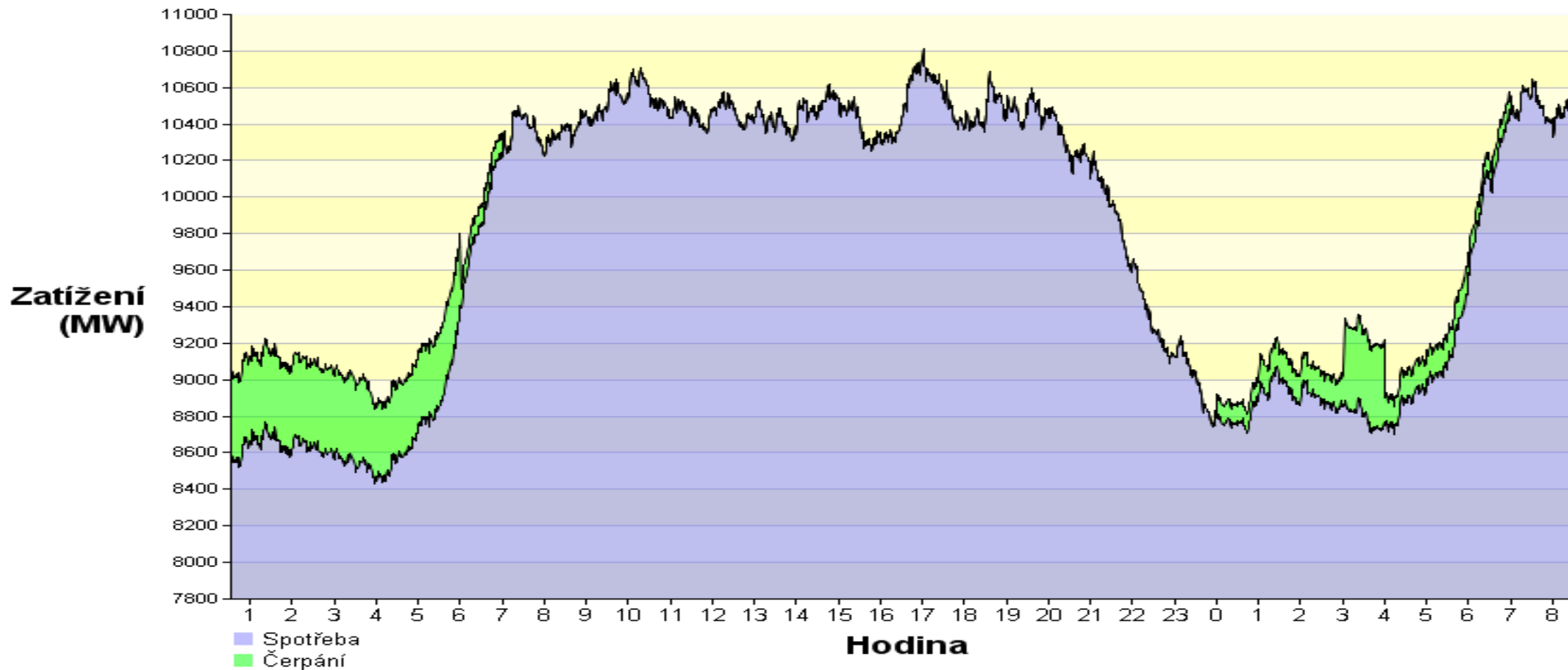
Problémy, které se již objevily – chybí výkonné a stabilní zdroje...

- **USA – Kalifornie** – při slabém větru jsou dodavatelé elektřiny nuceni pro dodržení nasmlouvaných výkonů najíždět dieselaagregáty. V rozvoji nových technologií jaderné energetiky se v USA zaspalo, **náskok má Rusko, Čína a Jižní Korea...**
- **SRN** – OZE často nepokrývají stávající potřeby elektřiny, nemluvě o potřebách výhledových. Výpadky jsou kryty parními elektrárnami nebo nákupem elektřiny ze sousedních zemí (např. Francie, Norsko, ČR). Cena elektřiny je nyní vůbec nejvyšší proti všem předchozím cenám.
- **Nizozemsko, Belgie a Švédsko** – přiznávají, že odstavení JE bylo unáhlené, **návrat k JE bude řešením**. Opětovný nájezd odstavených JE je možný až po několika měsících (nutné revize a modernizace technologie, získání povolení k provozu atd.).
- **Polsko** – bez výstavby JE se emise CO₂ zásadně nesníží, paroplynové elektrárny jsou přechodným řešením. S přípravou výstavby JE začínají v lokalitě Klempicz v západním Polsku...
- **Rakousko** – v zimních měsících nakupuje elektřinu ze sousedních zemí bez ohledu na to, z jakého zdroje pochází...
- **OZE** - jsou drahé, bez dotací a zvýhodnění výkupu el. energie by se řada investic vůbec neuskutečnila. To zatěžuje státní rozpočty zemí EU. Jejich provozuschopnost - **životnost je cca třetinová (!)** proti zdrojům klasickým...
- **Rozvodné sítě** – nejsou připraveny na decentralizaci výroby elektřiny z OZE na území států. Vyžadují velké investice. Jsou problémy v přetížení sítí přetokem výkonů mezi státy s předcházením **blackoutu - rozpadu elektrizační sítě!**
- **Elektromobilita** – prohloubí již dnes jasný nedostatek elektřiny zejména ve večerních a nočních hodinách. V řadě zemí je silně podpořena dotacemi výrobců vozidel i států! Vyžaduje investice do rozvodných sítí, zdrojů elektřiny a její akumulace.
- **EU** – klasické energetické zdroje zastarávají a odstavují se, **nové se nestaví!** Do energetické politiky mluví **nezodpovědní diletanti bez technického a ekonomického vzdělání, bez sociálního citění!** Během 10-ti let hrozí v elektroenergetice Evropy **kritický nedostatek výrobních kapacit...**
- **Malé modulární jaderné reaktory (SMR do výkonu 400 MW)** – pro lokální zásobování teplem a elektřinou. Nyní nejsou k dispozici, jsou ve stádiu vývoje. Je otázkou, jak budou přijímány veřejností. Najde se v ČR např. 10 vhodných lokalit u velkých měst a v průmyslových centrech? Co Ústecký kraj – postupná odstávka uhelných elektráren s možným využitím husté sítě rozvodu elektřiny a tepla!
- **Přečerpávací elektrárny** – technologicky **zvládnutá akumulace elektřiny** pro vyrovnání špičkové zátěže. Co Krušné hory – Ohře, jezera?

V současnosti je cena nákupu elektřiny ze zahraničí min. 3 – 5x dražší proti běžným cenám, a to nejen v energetických špičkách! Cím si v ČR na nákupy elektřiny vyděláme?

Zatížení rozvodné sítě elektřiny v ČR – jak do ní zasáhne elektromobilita? (28-29/11/2011)

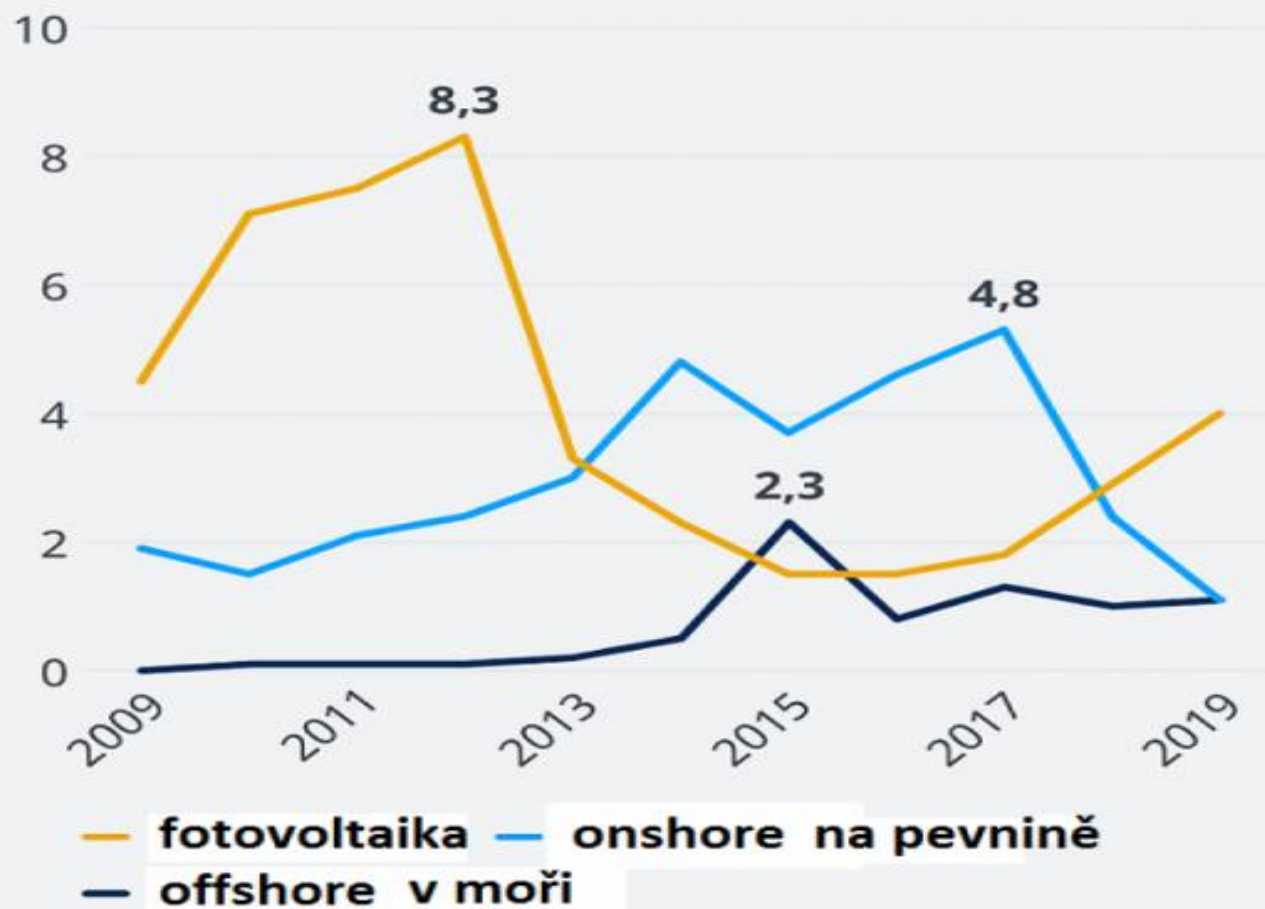
Průběh zatížení za posledních 32 hodin



Co způsobily změny
zákonů, dotací a cen v
SRN...

Větrná a sluneční energie v Německu

výstavba v GW za rok



BSW, Solar Power Europe, Deutsche WindGuard, BWE

Co vyvolalo odklon a nyní pomalý návrat k jaderné energetice?

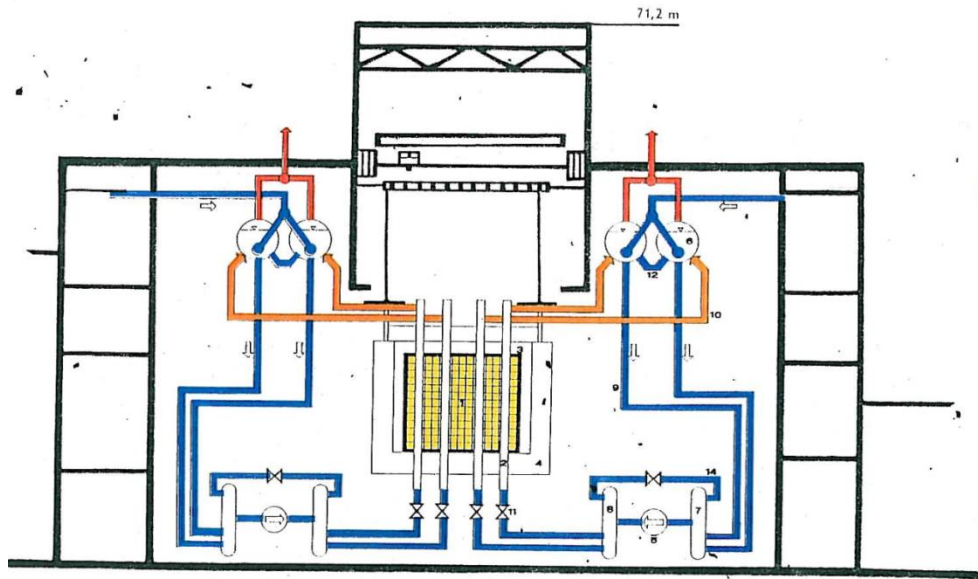
- Havárie: - Černobil
- Fukušima
- Neustálý **růst spotřeby** energií v řadě zemí světa v průmyslu a komunální sféře - tlak na růst životní úrovně.
- Paroplynové elektrárny se sice postaví **rychleji i levně**. Plynová turbína ale vyžaduje fakticky výměnu po 5-ti letech provozu, což významně zvyšuje provozní náklady!
- OZE jsou nejspíše levnější, ale jejich **životnost je třetinová** proti např. JE nebo vodním elektrárnám – co bude stát cca trojnásobná obnova při neustálém růstu cen? Co se vznikajícím odpadem?
- **Množivé reaktory** vstoupily do komerčního provozu – Bělojarská elektrárna – 800 MW . Účinnost využití jaderného paliva přesahuje **40 %! Tím se cca 10x prodlužuje použitelnost jaderných paliv!** Stávající zásoby jaderných paliv pro dnes běžné reaktory jsou odhadovány cca na 100 let.
- Rosatom vyvíjí **beztlaký reaktor** chlazený olovem. Spolupracuje s francouzskou firmou AREVA...

Největší rozvoj jaderné energetiky nastal ve světě v 70. letech minulého století, tj. v době energetické a surovinové krize.

Nejednou se pracuje a rozhoduje o jaderné energetice bez objektivních a technicky zdůvodněných informací! Často se jedná o politická rozhodnutí!

Černobil – kanálový reaktor

SCHÉMA PRIMÁRNÍHO OKRUHU REAKTORU RBMK 1000

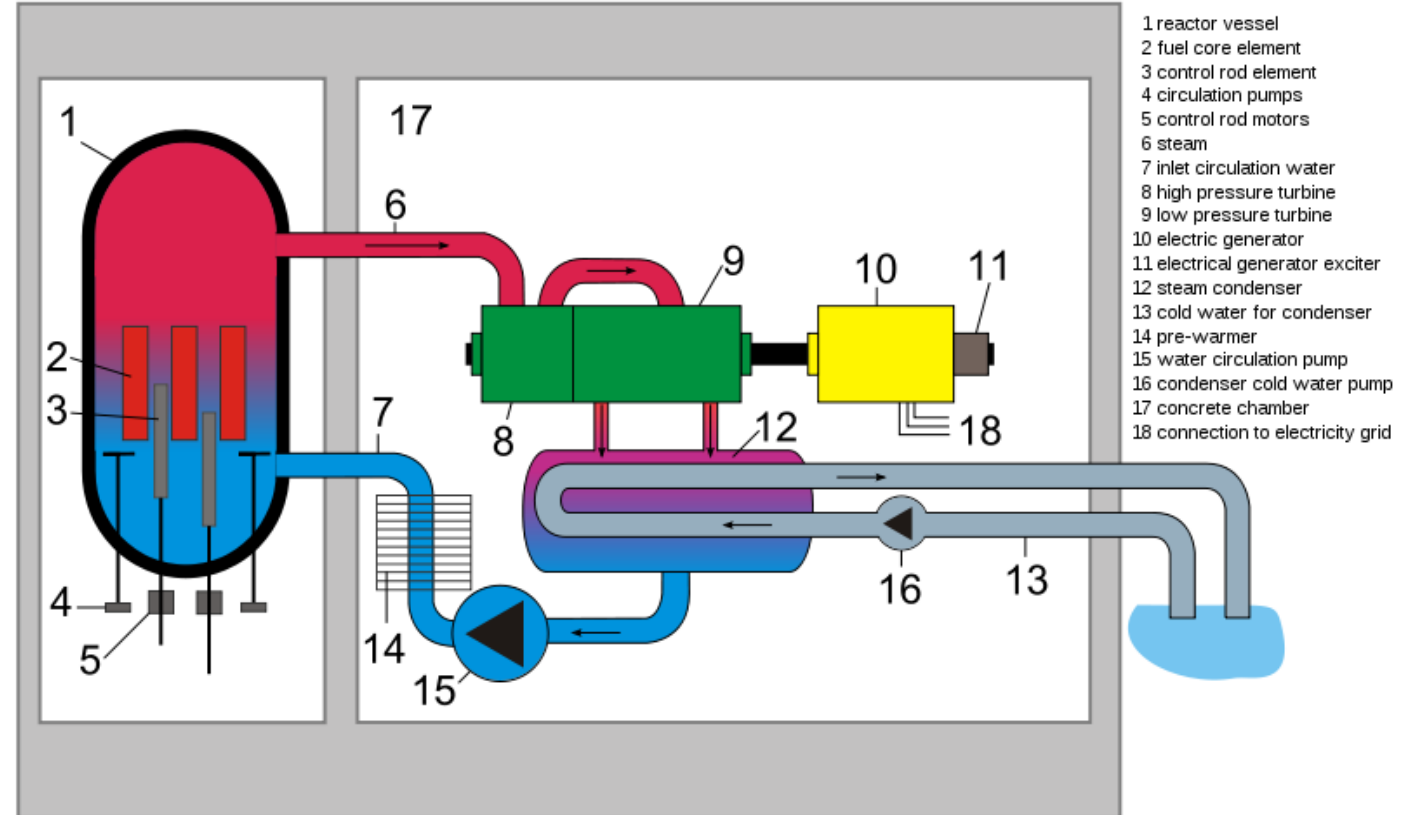


LEGENDA

- 1 - AKTIVNÍ ZÓNA (GRAFITOVÁ STAVEBNICE)
- 2 - PALIVOVÝ KANÁL
- 3 - OCELOVÝ HERMETICKÝ PLÁŠŤ
- 4 - BETONOVÉ STÍNĚNÍ
- 5 - HLAVNÍ CÍRKULAČNÍ ČERPADLO (HCČ)
- 6 - BUBNOVÝ SEPARÁTOR PÁRY
- 7 - SACÍ KOLEKTOR HCČ
- 8 - VÝTLAČNÝ KOLEKTOR HCČ
- 9 - VRATNÉ POTRUBÍ
- 10 - ODVOD PAROVODNÍ SMĚSI
- 11 - UZAVÍRACÍ A REGULAČNÍ VENTIL
- 12 - VYROVNÁVACÍ POTRUBÍ VODNÍHO POTRUBÍ
- 13 - VYROVNÁVACÍ POTRUBÍ PARNÍHO POTRUBÍ
- 14 - OBTOK MEZI SACÍM A VÝTLAČNÝM KOLEKTOREM HCČ

- pára
- parovodní směs
- voda

Fukušima – varný reaktor



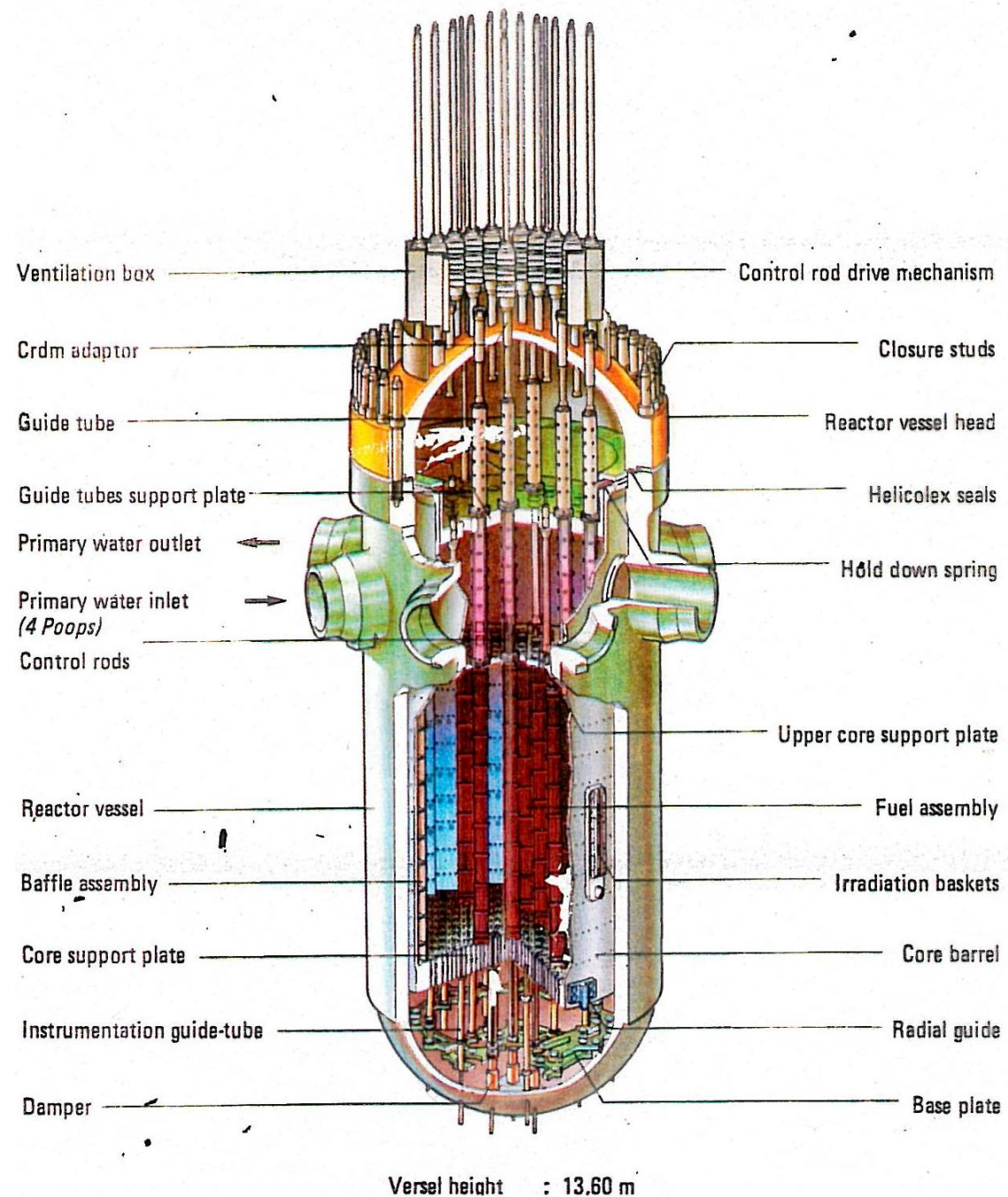
- 1 reactor vessel
- 2 fuel core element
- 3 control rod element
- 4 circulation pumps
- 5 control rod motors
- 6 steam
- 7 inlet circulation water
- 8 high pressure turbine
- 9 low pressure turbine
- 10 electric generator
- 11 electrical generator exciter
- 12 steam condenser
- 13 cold water for condenser
- 14 pre-warmer
- 15 water circulation pump
- 16 condenser cold water pump
- 17 concrete chamber
- 18 connection to electricity grid



Japonsko leží na zlomu litosférických desek.

Umístění a schválení stavby japonských JE na východním břehu Pacifiku je fatální chybou projektantů a státní správy.

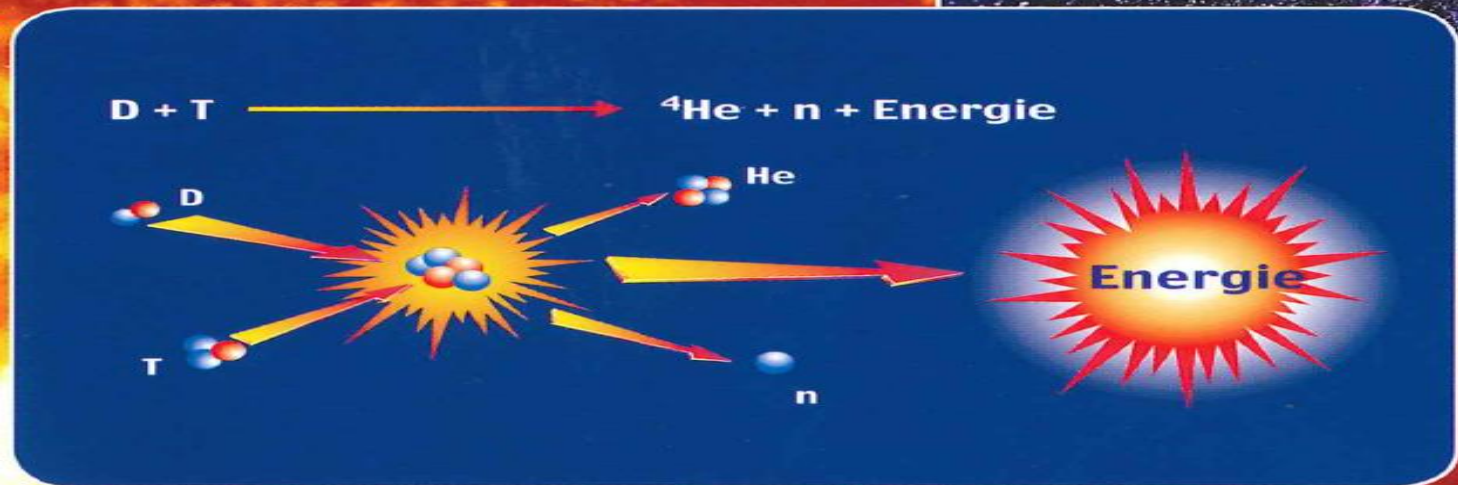
Přes 2/3 JE na světě včetně ČR používá tlakové vodou chlazené jaderné reaktory se dvěma okruhy!





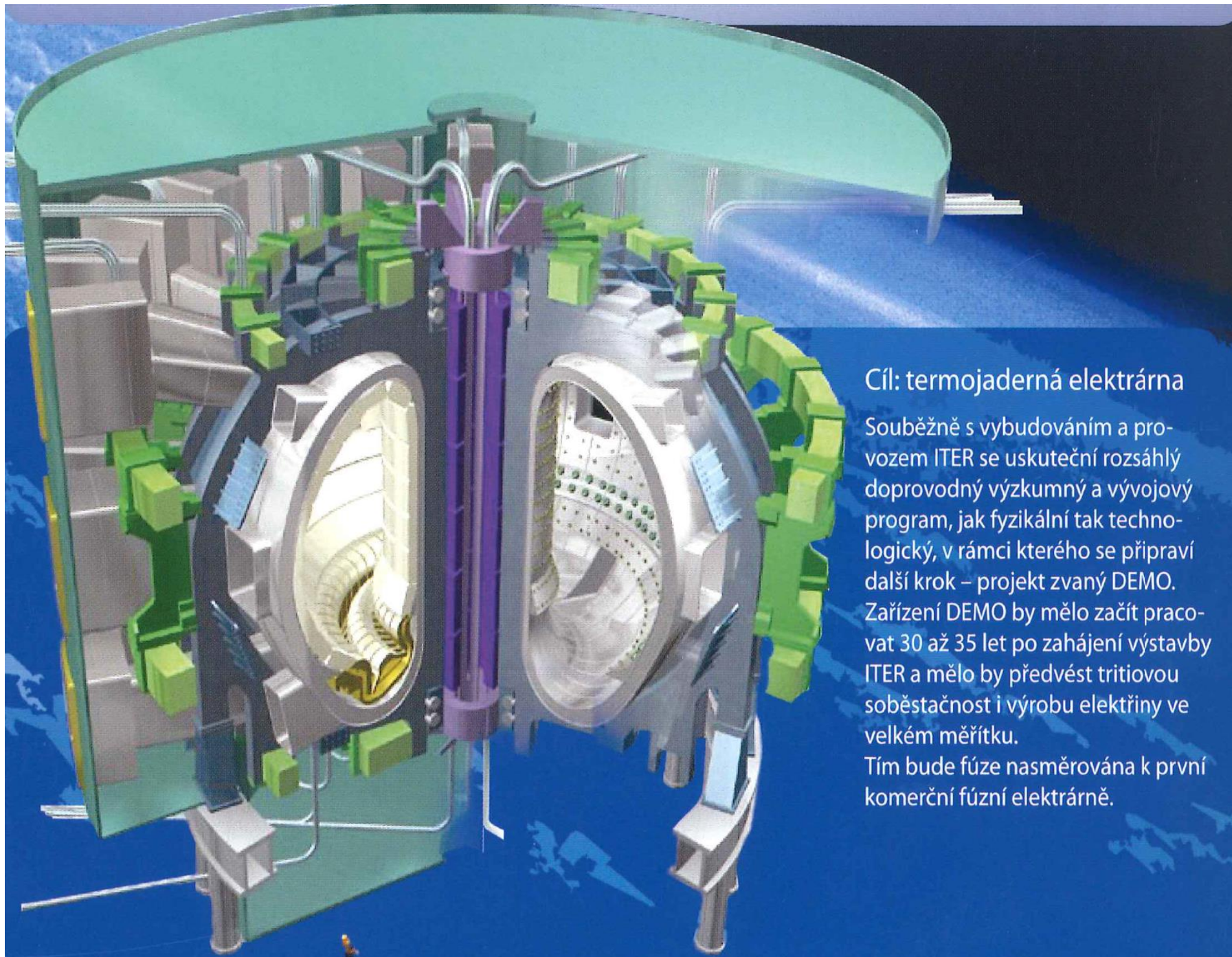
Čistší energie pro budoucnost

helium a neutron a uvolňuje se
e.



Vývoj fúzní energie





Cíl: termojaderná elektrárna

Souběžně s vybudováním a provozem ITER se uskuteční rozsáhlý doprovodný výzkumný a vývojový program, jak fyzikální tak technologický, v rámci kterého se připraví další krok – projekt zvaný DEMO. Zařízení DEMO by mělo začít pracovat 30 až 35 let po zahájení výstavby ITER a mělo by předvést tritiovou soběstačnost i výrobu elektřiny ve velkém měřítku.

Tím bude fúze nasměrována k první komerční fúzní elektrárně.

Možná východiska a závěry:

- **Úspory** všech forem energií.
- **Omezení emisí** skleníkových plynů včetně zejména vodních par a veškeré tepelné energie do přízemní vrstvy atmosféry.
- V energetickém mixu vždy počítat se **stabilními zdroji** – vodními a jadernými elektrárnami.
- **OZE** mohou být důležitým **doplňujícím** zdrojem energie, ale ne jediným a rozhodujícím zdrojem. Problémem zůstávají ceny a návratnost investic!
- V investicích do energetiky vždy přihlížet k dlouhodobému **horizontu 2 – 3 generací**.
- V ekonomickém hodnocení energetických koncepcí zahrnout dopady na **konečné spotřebitele** energie.
- Stále platí pro **ČR energetický mix** navržený Pačesovou komisí!

**Bez uhlíku a jeho sloučenin v řadě produktů se lidstvo neobejde!
Dekarbonizace EU v uvažovaných termínech je drahý omyl!**

Děkuji Vám za pozornost !

