

KLÍČOVÉ TECHNOLOGICKÉ TRENDY A ENERGETICKÉ PŘÍLEŽITOSTI PRO ČR POLICY BRIEF

Národní centrum pro energetiku II

Číslo projektu: TN02000025

Hlavní řešitel: prof. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.

Tento projekt je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu Národní centra kompetence.

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

OBSAH

1	Manažerské shrnutí.....	3
2	Hlavní technologické směry a eko-sociální přesah.....	4
2.1	Hlavní technologické trendy a vazby na aktivity NCE II a CANUT II.....	4
2.1.1	Alternativní paliva (TA1: syntetická paliva, pokročilá biopaliva a vodík).....	4
2.1.2	OBěhové hospodářství a energetické využití odpadů (TA2)	4
2.1.3	Obnovitelné zdroje energie a energetická účinnost (TA3).....	5
2.1.4	Chytré sítě a energetické komunity (TB1–TB3)	5
2.1.5	Akumulace energie a energetická flexibilita (TC1–TC4)	6
2.1.6	Pokročilé jaderné technologie (TA4)	7
2.1.7	Bezpečnost a spolehlivost energetických systémů (TD1–TD3)	7
2.1.8	Společnost, odpady a udržitelnost (TE1–TE3)	8
2.1.9	Mezinárodní rámce a výhled ve výzkumu do roku 2035	8
2.2	Chybějící eko-socio-environmentální přesah vědy v ČR.....	9
2.2.1	Ekonomika a průmysl	9
2.2.2	Výzkum a inovace.....	9
2.2.3	Společnost a životní prostředí	10
3	Strategická doporučení pro tvůrce politik.....	11
4	Implementace knowledge-to-policy: Nezávislý poradní orgán.....	12
5	Seznam zkratk.....	13
6	Seznam zkratk a plných názvů megatrendů.....	15
7	Seznam použité literatury a zdrojů.....	16
	Appendix	17

1 MANAŽERSKÉ SHRUTÍ

Tento Policy Brief vznikl jako společný výstup dvou strategických projektů Národního centra pro energetiku II (NCE II)¹ a Centra pokročilých jaderných technologií II (CANUT II).² Na základě analýzy vědeckých poznatků předních Evropských institutů, tento dokument představuje syntézu nejnovějších technologických trendů, výzkumných poznatků a strategických doporučení pro směřování české energetiky do roku 2035. Zvláštní důraz je kladen na propojení výzkumu a tvorby veřejných politik (*knowledge-to-policy*). Policy Brief si klade za cíl vyvolat diskusi o nutnosti vytvoření nezávislého institutu v energetice, který bude sloužit, jakožto úzce specializovaný poradní orgán vlády České republiky.

NCE II a CANUT II představují komplementární pilíře energetické transformace České republiky. Vytvářejí integrovanou znalostní základnu, která propojuje výzkum, vývoj, inovace a strategické poradenství pro státní správu i průmyslové partnery. Díky spolupráci vzniká unikátní expertní platforma, schopná poskytovat vládě a institucím nezávislá doporučení, foresightové analýzy a návrhy k opatřením, která reflektují technologický vývoj, evropskou legislativu i potřeby českého průmyslu. Společným cílem obou projektů je, aby ČR nebyla pouze příjemcem globálních trendů, ale jejich aktivním tvůrcem a inovačním centrem v oblasti nízkouhlíkové energetiky – jak nejaderné, tak jaderné.

V rámci prvního Policy Brief je uveden:

- přehled klíčových technologických směrů v oblasti energetiky,
- ekonomický, výzkumný a společenský přesah dopadu využití těchto technologií,
- doporučení tvorby veřejných politik při efektivním využití výzkumného potenciálu.

Součástí dokumentu je také návrh implementační struktury knowledge-to-policy, která má propojit výstupy a výsledky NCE II a CANUT II s rozhodovací praxí státní správy prostřednictvím čtyř nástrojů: **Foresight Briefs, Policy Options Papers, Rapid Response Notes a Implementation Audits**. Diseminace klíčových zjištění cílové skupině, představující stakeholdery a politické činitele vybraných ministerstev bude oproti jiným Policy Briefs³ následně učiněna transparentní cestou. Konkrétní oblast udržitelné energetiky v kontextu cirkulární ekonomiky není v současnosti předmětem žádných Policy Briefs. Na úrovni EU nebyla tato instance doposud zřízena. Ukazujeme takto jasný směr, co do inovativního přístupu a transparentní komunikace právě pomocí Policy Brief(s).⁴

¹ NCE II se zaměřuje na nízkouhlíkové a moderní energetické technologie – především vodíkové technologie, obnovitelné zdroje energie, akumulaci, inteligentní řízení sítí, využití odpadního tepla a cirkulární hospodářství. Jeho cílem je propojit excelentní výzkum s průmyslovou praxí a podpořit transformaci české ekonomiky směrem k dekarbonizaci, energetické soběstačnosti a technologické konkurenceschopnosti.

² CANUT II se soustředí na rozvoj pokročilých jaderných technologií jako klíčové součásti nízkemisní energetiky. Projekt se věnuje výzkumu a vývoji se zaměřením na zvyšování bezpečnosti, prodlužování životnosti a zvyšování spolehlivosti a efektivnosti stávajících jaderných elektráren, vývoj pokročilých jaderných technologií a malých modulárních reaktorů (SMR) v oblastech materiálového inženýrství, technologií, bezpečnostních systémů a integraci jaderných zdrojů do hybridních energetických systémů kombinujících jádro s OZE a dalšími moderními technologiemi (akumulace apod.). Zároveň analyzuje společenské, ekonomické a legislativní aspekty rozvoje jaderné energetiky v České republice i na úrovni Evropské unie, s důrazem na bezpečnost, udržitelnost, konkurenceschopnost a akceptovatelnost.

³ Policy Briefing Papers, případně Policy Briefs INSPIRE, obojí London School of Economics and Political Science, vycházejí na preprint serveru SSRN; University of Cambridge jde při diseminaci cestou vlastních Corporate Leaders Groups; University of Oxford sbírá Reports & Policy Briefs jiných akademií.

⁴ Rada pro výzkum, vývoj a inovace je stanovena zákonem č. 130/2002 Sb., o podpoře výzkumu, experimentálního vývoje a inovací z veřejných prostředků a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o podpoře výzkumu, experimentálního vývoje a inovací), a nařízením vlády č. 397/2009 Sb., o informačním systému výzkumu, experimentálního vývoje a inovací. Z pohledu energetiky však vidíme prostor pro nezávislý poradní orgán, specializovaný právě tímto směrem (viz 2.2).

2 HLAVNÍ TECHNOLOGICKÉ SMĚRY A EKO-SOCIÁLNÍ PŘESAŘ

2.1 HLAVNÍ TECHNOLOGICKÉ TRENDY A VAZBY NA AKTIVITY NCE II A CANUT II

Globálním megatrendem v energetice a průmyslu je dekarbonizace⁵, tedy přechod k nízkoemisním zdrojům energie s cílem dosažení klimatické neutrality do roku 2050. Technologické inovace směřují k naplnění cílů Pařížské dohody a Zelené dohody pro Evropu (European Green Deal) a zároveň reagují na nové evropské legislativní iniciativy (např. Fit for 55, REPowerEU, Net-Zero Industry Act, Critical Raw Materials Act). V tomto kontextu se prosazuje několik klíčových technologických směrů – megatrendů – které jsou zároveň hlavními pilíři výzkumu projektů NCE II a CANUT II.

2.1.1 ALTERNATIVNÍ PALIVA (TA1: SYNTETICKÁ PALIVA, POKROČILÁ BIOPALIVA A VODÍK)

Náhrada fosilních paliv v dopravě a průmyslu syntetickými palivy, pokročilými biopalivy a obnovitelným či nízkouhlíkovým vodíkem se globálně rychle rozvíjí. Syntetická paliva a biopaliva jsou již ve fázi ověřování (stupeň technologické připravenosti TRL ~7) a očekává se jejich masové nasazení kolem let 2030–2035, kdy by se jejich cena mohla přiblížit cenám fosilních paliv. Vodík vyráběný elektrolýzou (případně s využitím zachycování uhlíku u fosilních zdrojů) je další stěžejní oblast – projekce ukazují, že už v roce 2030 by poptávka po vodíku mohla globálně převyšovat nabídku zhruba o 13 milionů tun ročně. To podtrhuje nutnost navýšit výrobní kapacity a rozvíjet nové technologie produkce, uskladnění a distribuce H₂. EU navíc stanovila kritéria pro obnovitelný vodík (RFNBO) v delegovaných aktech (EU 2023/1184 a 2023/1185) – české národní schéma podpory a certifikace je potřeba s těmito předpisy sladit.

NCE II rozvíjí pokročilé procesy CO₂-to-X, výrobu e-paliv a zeleného vodíku z OZE, zatímco CANUT II propojuje jaderné zdroje tepla (SMR, HTR) s elektrolýzou a syntézou paliv. Tím oba projekty společně přispívají k naplnění megatrendu TA1 – Alternativní paliva, potažmo k rozvoji vodíkové ekonomiky a substituci fosilních paliv v ČR. Zvláštní důraz je kladen na vývoj nízkouhlíkového vodíku v souladu s evropskými požadavky na RFNBO a na provádění s plánovanými vodíkovými v ČR.

PROVÁZÁNÍ:

TA1 → VÝVOJ E-PALIV A CO₂-TO-X PROCESŮ (NCE II); INTEGRACE TEPLA ZE SMR A HTR PRO VYSOKOTEPLOTNÍ ELEKTROLÝZU A SYNTÉZU PALIV V HYBRIDNÍCH JADERNĚ-OZE SYSTÉMECH (CANUT II).
VODÍK → VÝZKUM PEM A AEM ELEKTROLÝZY, LOKÁLNÍ H₂ HUBY A MODEL Y VODÍKOVÝCH SÍTÍ (NCE II); STABILNÍ JADERNÉ ZDROJE TEPLA A ELEKTŘINY PRO VELKOKAPACITNÍ VÝROBU H₂ (CANUT II).
INFRASTRUKTURA → PŘÍPRAVA NA BUDOUCÍ VODÍKOVODY, BEZPEČNOSTNÍ ANALÝZY A MATERIÁLY ODOLNÉ VŮČI H₂ (NCE II + CANUT II). **REGULAČNÍ RÁMEC → SLADĚNÍ ČESKÉ PRAXE S POŽADAVKY EU NA RFNBO (2023/1184 A 2023/1185) A DOPADY NA CERTIFIKACI VÝROBY E-PALIV A VODÍKU V ČR.**

2.1.2 OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ (TA2)

Technologie pro přeměnu odpadů na energii a pokročilou recyklaci surovin nabývají na významu. **Termochemická konverze odpadů** (např. pyrolýza, termolýza) je atraktivní metoda, která by po roce 2030 mohla být ve větší míře nasazena k produkci vodíku, syntetických paliv a tepla (TRL 7–9). Navazujícím trendem je pokročilá recyklace materiálů, například plastů – v současnosti se v EU recykluje jen ~38 % plastového odpadu. EU proto směřuje k **zákazu skládkování využitelných odpadů do roku 2030**, což vyžaduje zefektivnit stávající recyklační technologie (TRL 8–9) a vyvíjet nové. Klíčovou oblastí do budoucna je také recyklace lithium-iontových baterií z elektromobilů: masivnější potřeba nastane až po roce **2035** s dožitím první generace baterií, proto už nyní je nutné investovat do vývoje recyklačních procesů (aktuálně TRL ~4–5) pro získání cenných materiálů. Efektivní recyklace baterií může v budoucnu představovat významný ekonomický potenciál.

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

Do oblasti cirkulární ekonomiky patří i výzkum přepracování vyhořelého jaderného paliva. **Pokročilé metody přepracování** umožní využít zbytkový energetický potenciál paliva a omezit množství dlouhodobě skladovaných radioaktivních odpadů. Tyto technologie jsou již v omezené míře využívány v průmyslovém měřítku; ve střednědobém horizontu se počítá s uplatněním pokročilých technologií přepracování na bázi pyrochemických procesů (v současnosti na úrovni TRL ~4–5). Pro Českou republiku je relevantní také využití směsných jaderných paliv na bázi MOX, která jsou ve světě již rutinně aplikována.

NCE II řeší termochemické procesy pro energetické využití odpadů, recyklaci plastů a získávání kritických surovin z baterií. CANUT II navazuje výzkumem pokročilých materiálů pro jaderné technologie, využitelných i v zařízeních pro zpracování a ukládání radioaktivních odpadů a použitého jaderného paliva, včetně technologií pro uzavření palivového cyklu. Obě tyto linie společně naplňují princip cirkulární ekonomiky – transformaci odpadů na zdroje energie a materiálů.

PROVÁZÁNÍ:

TA3 → TERMO-CHEMICKÁ KONVERZE V PILOTNÍCH LINKÁCH VŠB-TUO; TA4–TA5 → HYDRO- A PYRO-RECYKLACE LI-ION BATERIÍ, CANUT II DODÁVÁ MATERIÁLOVÉ MODEL Y PRO ODOLNÉ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE PRO ZPRACOVÁNÍ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ; TA6 → VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA A INTEGRACE DO NÍZKOTEPLNÍCH SÍTÍ ŘÍZENÝCH AI.

2.1.3 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE A ENERGETICKÁ ÚČINNOST (TA3)

Obnovitelné zdroje energie (OZE) – zejména solární, větrná, vodní a geotermální energetika – dnes patří k vyspělým a široce rozšířeným technologiím (TRL 9) a nadále výrazně porostou. V letech 2023–2031 se globálně predikuje průměrný růst trhu OZE okolo **12 % ročně**. Pro Českou republiku to vytváří tlak na lepší využití domácího potenciálu: například větrné elektrárny aktuálně pokrývají jen **~1 %** spotřeby elektřiny v ČR, ačkoli podmínky (např. na jižní Moravě či v pohraničních horách) jsou srovnatelné s regiony, kde je větrná energetika mnohem rozvinutější.

Součástí trendu je také **využití odpadního tepla a zvyšování energetické účinnosti**. Technologie pro zpětné získávání tepla – např. výměníky, rekuperační jednotky či ORC (Organic Rankine Cycle) – jsou komerčně dostupné a rychle se rozšiřují (očekává se růst trhu těchto technologií ze ~56 na 108 mld. USD v letech 2023–2031). Prioritou je dále zvyšovat účinnost těchto systémů, včetně nových aplikací (např. nasazování ORC mikroturbín k využití nízkopotenciálního tepla).

NCE II posiluje rozvoj solárních, větrných a geotermálních technologií, včetně hybridních instalací OZE + akumulace. CANUT II rozvíjí modely hybridních energetických systémů kombinujících SMR s OZE a akumulací, což umožní flexibilní výrobu elektřiny, tepla i vodíku. Tím dochází k praktickému naplnění megatrendu **TA3 – OZE a účinnost** a vytváření nízkouhlíkové energetiky s vysokou účinností v podmínkách ČR.

PROVÁZÁNÍ:

NCE II → PILOTNÍ PROJEKTY SOLÁRNÍ + BATERIOVÉ SYSTÉMY V KOMUNITNÍ ENERGETICE; CANUT II → VYUŽITÍ TEPLA ZE SMR V CZT A PRŮMYSLU, ANALÝZA ÚČINNOSTI INTEGRACE SMR DO SMART-GRID REGIONŮ.)

2.1.4 CHYTRÉ SÍŤE A ENERGETICKÉ KOMUNITY (TB1–TB3)

Integrace velkého množství decentralizovaných zdrojů vyžaduje moderní energetické síť s pokročilým řízením. **Technologie chytrých sítí (smart grids)** řeší kolísání v síti při rostoucím podílu OZE – zahrnují např. polovodičové transformátory, pokročilé regulátory, vysokonapěťové DC systémy pro datacentra a zejména sofistikovaný software pro řízení poptávky a nabídky v reálném čase. Tyto prvky již dosahují vysoké technologické úrovně (TRL

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

7–9) a jejich širší nasazení se očekává okolo roku **2028**, souběžně s posilováním přenosové a distribuční infrastruktury.

S rozvojem decentralizace energetiky vznikají **energetické komunity**, které umožňují místním výrobcům a spotřebitelům sdílet energii v rámci lokálních sítí. V ČR byl nejprve legislativně zaveden rámec pro komunitní energetiku (tzv. **Lex OZE II**), na který navázal **Lex OZE III** přijatý v březnu 2025 – ten rozšiřuje možnosti agregace, flexibility a akumulace; v letech 2025–2026 probíhá implementace prováděcích předpisů a zprovoznění energetického datového centra. Ve vyspělých zemích již energetické komunity podporují rozvoj lokálních sítí a očekává se, že v ČR budou po roce **2028** plně fungovat a aktivně se podílet na řízení toků energie v distribučních soustavách nízkého napětí.

Nová média a infrastruktura pro jejich distribuci jsou dalším trendem: s nastupující vodíkovou ekonomikou se budují specializované **vodíkovody** (potrubní sítě pro H₂) a rozvíjí se přeprava kapalného či zkapalněného vodíku, využití organických nosičů LOHC i inovativní hydridová úložiště. Tyto technologie vyžadují značné investice do infrastruktury, ale jsou klíčové pro budoucí dodávky vodíku. V teplárenství zároveň probíhá integrace OZE do soustav a přechod na nízkoteplotní dálkové vytápění – v pilotních instalacích se využívají solární termální systémy, velkokapacitní tepelná čerpadla či geotermální zdroje (aktuálně TRL ~7–8).

NCE II proto rozvíjí inteligentní řídicí systémy, prediktivní údržbu a energetické datové huby (vazba na Lex OZE III), zatímco CANUT II využívá digitální dvojčata a AI diagnostiku pro řízení velkých jaderných bloků i SMR. Společně tak vytvářejí architekturu „**smart defense grids**“ – bezpečných a autonomních sítí budoucnosti propojujících decentralizované OZE i jaderné zdroje.

PROVÁZÁNÍ:

TB1 → POKROČILÉ ŘÍDICÍ SYSTÉMY PRO DECENTRALIZOVANÉ ZDROJE; TB2 → MODEL Y ENERGETICKÝCH KOMUNIT A SDÍLENÍ ENERGIE; TB3 → TECHNOLOGIE PRO DISTRIBUCI VODÍKU A NÍZKOTEPLTNÍHO TEPLA; (PŮVODNÍ TB4 → DIGITÁLNÍ DVOJČATA A AI ŘÍZENÍ PRO DISPEČINKY A JADERNÉ ELEKTRÁRNY.

2.1.5 AKUMULACE ENERGIE A ENERGETICKÁ FLEXIBILITA (TC1–TC4)

Pro vyvážení výroby a spotřeby v nízkouhlíkové energetice jsou zásadní účinná úložiště energie. Perspektivní jsou **nové generace baterií** – například pevné (solid-state) lithium-iontové baterie s vyšší kapacitou a rychlejším nabíjením pro elektromobily. Tyto baterie jsou ve vývoji (aktuálně TRL 5–6, prototypy kolem roku 2025) a po roce **2030** by podle odhadů mohly umožnit dojezd elektromobilů až **~1200 km** a plné nabití za **~10 minut**. Pro velkokapacitní stacionární úložiště a stabilizaci sítí se zkoušejí vanadové **redoxní průtočné baterie** a **Carnotovy baterie** – tyto technologie jsou zatím v raném stadiu (TRL ~4–5) a širší nasazení se očekává také až po roce 2030.

Ukládání energie ve vodíku představuje další variantu akumulace: dnes dominují vysokotlaké zásobníky (TRL 8–9), avšak vývoj směřuje k bezpečnějším a lehčím nádržím s tlakem až okolo 1000 bar využívajícím pokročilé oceli a kompozity – jejich nasazení se očekává do konce tohoto desetiletí (TRL 6–7). **Tepelné akumulátory** (TES) jsou taktéž rozvíjeny – stávající technologie (např. zásobníky horké vody, roztavených solí či materiálů s fázovou změnou) jsou často již komerčně dostupné (TRL 8–9) a trh tepelných úložišť roste cca **10 % ročně**. Po roce 2030 se očekávají nové možnosti, jako ukládání tepla s teplotou >1000 °C pro průmyslové využití. Neméně důležité jsou i energeticky úsporné systémy a jejich řízení – pokročilé **energetické manažerské systémy (EMS)** využívají digitální technologie k optimální regulaci spotřeby v průmyslu, budovách i domácnostech. Tyto systémy jsou již dostupné (TRL 9) a jejich globální trh by měl do roku 2030 vzrůst z ~63 mld. USD na ~240 mld. USD (průměrně ~16 % ročně). Největší rozvoj se očekává v oblasti chytrého softwaru pro řízení energií, který umožní pokročilé řízení poptávky a zvyšování energetické účinnosti.

NCE II vyvíjí nové generace baterií (solid-state, vanad-redox, Carnotovy baterie) a také pokročilé tepelné akumulátory. CANUT II integruje akumulaci energie do modelů SMR a vyvíjí materiály odolné vůči radiaci,

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

vysokým teplotám a cyklické zátěži. Společně tak naplňují megatrendy **TC1–TC4** (akumulace elektřiny, vodíku, tepla a řízení spotřeby) a vytvářejí základy flexibilních a odolných energetických soustav.

PROVÁZÁNÍ: TC1–TC2 → BATERIOVÁ ÚLOŽIŠTĚ PRO ELEKTROMOBILITU A STABILIZACI SÍTÍ (NCE II); TC3 → VODÍKOVÁ AKUMULACE ENERGIE V KOMPOZITNÍCH TLAKOVÝCH NÁDOBÁCH A HYDRIDOVÝCH ÚLOŽIŠTÍCH; TC4 → AKUMULACE TEPLA Z PRŮMYSLVÝCH PROCESŮ A SMR, ENERGETICKÝ MANAGEMENT BUDOV ŘÍZENÝ AI.

2.1.6 POKROČILÉ JADERNÉ TECHNOLOGIE (TA4)

Malé modulární reaktory (SMR) patří k nejvýznamnějším energetickým inovacím posledních dekád. Díky modularitě, nižším počátečním nákladům a vyšší bezpečnosti umožní flexibilní a decentralizovanou výrobu energie – nejen v elektroenergetice, ale i pro průmysl, dálkové teplo či produkci vodíku. Řada konceptů SMR prochází licencováním (např. GE BWRX-300, NuScale VOYGR, Rolls-Royce SMR) a první komerční jednotky by mohly být v provozu již v průběhu 30. let 21. století. Do roku 2030 mají být spuštěny pilotní projekty SMR, což potvrdí jejich technickou a ekonomickou proveditelnost; do roku **2050** se předpokládá široké rozšíření flotily SMR globálně, včetně nasazení v hybridních energetických systémech spolu s OZE – SMR by tak mohly tvořit významnou část dekarbonizovaného energetického mixu.

Zároveň probíhá výzkum **pokročilých reaktorů IV. generace** – např. vysokoteplotních plynem chlazených reaktorů, sodíkem chlazených rychlých reaktorů nebo reaktorů s roztavenými solemi – které umožní vyšší účinnost a využití nových materiálů a chladiv. Po roce **2035** se počítá s jejich demonstračním nasazením, jelikož tyto směry jsou dosud v nižších fázích technologické připravenosti. Velmi významným výhledem je také jaderná fúze – projekt ITER představuje zásadní milník na cestě ke komerčnímu využití fúze. **Fúzní energetika** by mohla dosáhnout demonstrační fáze kolem roku **2040**, což znamená reálnou možnost nasazení v období po roce 2035.

Bezpečnost zůstává klíčovým požadavkem jaderné i celé energetiky. Trendem je přechod k **pasivním a inherentním bezpečnostním systémům** (např. u SMR a reaktorů IV. generace) a využití pokročilých materiálů či odolných paliv **ATF (ACCIDENT TOLERANT FUELS)** zvyšujících bezpečnost provozu. Tyto směry reflektují mezinárodní rámce (Úmluva o jaderné bezpečnosti, standardy a návody MAAE). S rostoucí digitalizací zároveň narůstá důraz na ochranu řídicích systémů a infrastruktury – kybernetická bezpečnost energetických sítí a jaderných zařízení se do roku 2050 stane nedílnou součástí jejich architektury. Využívají se i autonomní AI systémy schopné v reálném čase detekovat a neutralizovat kybernetické útoky.

CANUT II rozvíjí malé modulární reaktory (SMR), nové palivové cykly a materiály s cílem zvýšit bezpečnost, účinnost a spolehlivost jaderné energetiky. Projekt rovněž zkoumá možnosti využití jaderné energie pro podporu procesů zachytávání a využití CO₂ (CCUS) v rámci dekarbonizace průmyslu. Současně CANUT II rozvíjí digitalizaci a umělou inteligenci – např. prediktivní údržbu, autonomní řízení reaktorů a kybernetickou ochranu kritické infrastruktury, s inspirací v jiných odvětvích energetiky.

PROVÁZÁNÍ: TD1 → SMR JAKO STABILNÍ ZDROJ ENERGIE PRO CCU A SYNTETICKÁ PALIVA; TAI → AI ALGORITMY DIGITÁLNÍCH DVOJČAT A ŘÍZENÍ KOMPLEXNÍCH ENERGETICKÝCH PROCESŮ V ENERGETICE.

2.1.7 BEZPEČNOST A SPOLEHLIVOST ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ (TD1–TD3)

Megatrendy **TD** reflektují rostoucí potřebu odolné a bezpečné energetiky. **TD1 – jaderná bezpečnost** směřuje k využívání pasivních bezpečnostních systémů (zejména u SMR a reaktorů IV. generace) a odolných paliv ATF; technologie jsou široce ověřené (**TRL 9**) a navazující inovace probíhají v rámci testování. **TD2 – kybernetická a infrastrukturní bezpečnost** reaguje na digitalizaci energetiky: do roku 2030 se sjednotí evropské standardy ochrany řídicích systémů a do roku 2050 bude kyberbezpečnost plně integrována do architektury energetických sítí (také **TRL 9**). **TD3 – senzory a prediktivní diagnostika** využívají pokročilé senzorové sítě, digitální dvojčata a AI k včasné detekci poruch; technologie jsou dostupné (**TRL 8**), ale plošná integrace zatím postupuje postupně.

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

NCE II a CANUT II TD megatrendy naplňují vývojem digitálních dvojčat, prediktivní diagnostiky pro SMR, bezpečnostních prvků a pokročilých systémů řízení i ochrany kritické infrastruktury.

PROVÁZÁNÍ:

TD1 → NÁVRH PASIVNÍCH BEZPEČNOSTNÍCH SYSTÉMŮ SMR, TESTOVÁNÍ ATF PALIV, MODELOVÁNÍ SCÉNÁŘŮ HAVÁRIÍ (CANUTII); **TD2** → KYBERNETICKÁ OCHRANA DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ, DIGITALIZACE DISPEČINKU, ZABEZPEČENÍ ŘÍDICÍCH SYSTÉMŮ SMR; INTEGRACE DO ENERGETICKÉHO DATOVÉHO CENTRA (NCE II + CANUT II); **TD3** → PREDIKTIVNÍ DIAGNOSTIKA TURBÍN, VÝMĚNÍKŮ, ELEKTROLYZÉRŮ I SMR POMOCÍ DIGITÁLNÍCH DVOJČAT A AI; SENZORY PRO MONITORING DEGRADACE MATERIÁLŮ V JADERNÝCH I NEJADERNÝCH TECHNOLOGIÍCH (NCE II + CANUT II).

2.1.8 SPOLEČNOST, ODPADY A UDRŽITELNOST (TE1–TE3)

Megatrendy **TE** rozšiřují technologický pohled o dlouhodobé dopady na prostředí a společnost. **TE1 – odpady a decommissioning** zahrnuje bezpečné nakládání s energetickými odpady (včetně radioaktivních), vývoj hlubinného úložiště (v ČR rozhodnutí o lokalitě do 2030) a výzkum uzavírání palivového cyklu; klíčové procesy mají **TRL 9**, pokročilé pyrochemické metody a transmutace jsou na nižším TRL. **TE2 – environmentální dopady a udržitelnost** řeší minimalizaci dopadů OZE, vodíku a baterií na životní prostředí prostřednictvím cirkulárního designu a recyklace; tradiční recyklační technologie jsou vyspělé, avšak nové materiály (kompozity, solární panely, Li-ion baterie) vyžadují vývoj (**TRL 7**). **TE3 – společenská akceptace** zdůrazňuje transparentní komunikaci, participativní plánování a využití digitálních nástrojů (AI vizualizace) v souladu s Aarhuskou úmluvou; technologie participace mají **TRL 8**, výzvou je jejich systematické používání.

NCE II a CANUT II megatrendy TE podporují výzkumem recyklace baterií, materiálového cyklu jaderné energetiky, socioekonomických analýz a participativních přístupů v transformujících se regionech.

PROVÁZÁNÍ:

TE1 → VÝZKUM RECYKLACE A PŘEPRACOVÁNÍ LI-ION BATERIÍ (NCE II), POKROČILÉ METODY NAKLÁDÁNÍ S RADIOAKTIVNÍMI ODPADY, PYROPROCESY A UZAVŘENÍ PALIVOVÉHO CYKLU (CANUT II); **TE2** → HODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH DOPADŮ OZE, VODÍKOVÝCH TECHNOLOGIÍ A BATERIOVÝCH ŘEŠENÍ (NCE II); **ANALÝZA UDRŽITELNOSTI JADERNÝCH MATERIÁLŮ A DECOMMISSIONINGU** (CANUT II); **TE3** → SOCIOEKONOMICKÉ MODELY TRANSFORMACE REGIONŮ, PARTICIPACE VEŘEJNOSTI V PROJEKTECH OZE A H₂ HUBŮ (NCE II); **KOMUNIKACE BEZPEČNOSTI SMR A JADERNÝCH TECHNOLOGIÍ SMĚREM K VEŘEJNOSTI** (CANUT II).

2.1.9 MEZINÁRODNÍ RÁMCE A VÝHLED VE VÝZKUMU DO ROKU 2035

Uvedené technologické megatrendy představují pro Českou republiku velkou výzvu, ale zároveň i šanci. Jsou úzce provázány s mezinárodními klimaticko-energetickými cíli a nelze je ignorovat. ČR jako otevřená ekonomika musí systematicky monitorovat globální vývoj a adekvátně reagovat. **Aktivity NCE II a CANUT II společně pokrývají celý soubor megatrendů TA1–TE3** a v praxi pomáhají naplňovat cíle dekarbonizace a energetické suverenity ČR. Zatímco NCE II se zaměřuje na nejadernou část nízkouhlíkové energetiky a infrastruktury, CANUT II zajišťuje jaderný a materiálový pilíř. Obě platformy tak tvoří integrovaný ekosystém excelence a přenosu znalostí napojený na národní i evropské rámce (aktualizovaná Státní energetická koncepce 2024, NEKP 2030, evropské iniciativy jako NZIA, CRMA aj.).

Česká republika se při formování politik opírá o Pařížskou dohodu, Evropský Green Deal, balík **FIT FOR 55** či plán **REPOWEREU**. Tyto rámce definují milníky jako konec uhlí v energetice, rozvoj elektromobility do 2035 či zvýšení energetické účinnosti do 2030. Uvedené technologické trendy – syntetická paliva, vodík, CCUS, AI, OZE, akumulace – synergicky směřují k naplnění těchto cílů. Pro výzkum v ČR z toho vyplývají následující priority: (i) zaměřit se na vodíkové technologie, nové bateriové materiály, digitální dvojčata a AI, recyklační procesy a

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

pokročilé materiály; (ii) provázat národní strategie (SEK 2024, klimatickou strategii, RIS3) s evropskými iniciativami (NZIA, CRMA ad.); (iii) budovat pilotní provozy (e-paliva, H₂ huby, smart-grid regiony, geologické úložiště CO₂); (iv) zavést pravidelný technologický foresight.

Detailní výhled do 2035:

- **Syntetická paliva** vstupují do masového nasazení (po 2030; cenová konkurenceschopnost vůči fosilním palivům).
- **Solid-state baterie** běžně používané v EV (po 2030; dojezdy ~1200 km, ultrarychlé nabíjení ~10 min).
- **Vanadové redoxní, Carnotovy a další dlouhodobé baterie** využívány pro stabilizaci sítí (po 2030; nasazení s rostoucím podílem OZE).
- **Recyklace Li-ion baterií** se stává standardem (po 2035; zpracování velkého objemu akumulátorů z EV).
- **První SMR** v Evropě v provozu (během 30. let); **fúzní energetika** dosahuje demonstrační fáze (~2040).
- **Provoz stávajících jaderných elektráren** se prodlužuje nad 60 let (probíhá postupná modernizace a dožívání bloků).
- **Komunitní energetika** v ČR funguje naplno (po 2028); **vodíková infrastruktura** v pilotním provozu (vodíkovody, H₂ huby).

2.2 CHYBĚJÍCÍ EKO-SOCIO-ENVIRONMENTÁLNÍ PŘESAH VĚDY V ČR

2.2.1 EKONOMIKA A PRŮMYSL

Uvedené technologické trendy představují pro ČR významné **ekonomické příležitosti**. Globální přechod k čisté energetice má odhadovaný tržní potenciál kolem **27 bilionů USD** v letech 2020–2040, což signalizuje obrovské nové trhy, do nichž se mohou zapojit i české firmy. Například rozvoj vodíkového hospodářství může v ČR otevřít zcela nový průmyslový segment – od výroby a distribuce vodíku až po jeho využití v dopravě a chemickém průmyslu. Jedna odborná studie odhaduje, že české jaderné zdroje by mohly do roku 2050 vyrábět 200–300 tisíc tun vodíku ročně, což by výrazně posílilo průmyslovou konkurenceschopnost ČR. Zapojení domácích podniků do produkce syntetických paliv, výroby baterií či recyklačních technologií může podpořit export a vznik kvalifikovaných pracovních míst. Nezanedbatelný je i vliv inovací na **energetickou bezpečnost** státu – vyšší využití domácích OZE, odpadů a nových paliv může snížit závislost na dovozu fosilních surovin a stabilizovat ceny energie v ekonomice.

Dimenze **odolnosti a obrany**: energetická infrastruktura se stává strategickým prvkem národní bezpečnosti. Moderní nízkouhlíkové a decentralizované systémy – vodíkové, bateriové i jaderné – zvyšují odolnost vůči kybernetickým a fyzickým hrozbám, umožňují provoz tzv. ostrovních systémů v krizových situacích a zajišťují dodávky energie pro obranný, zdravotnický a bezpečnostní sektor. Výzkum v rámci NCE II a CANUT II se proto zaměřuje i na technologie **dvojího užití** (civilní i obranné) a na modelování krizových scénářů z pohledu energetické bezpečnosti státu.

2.2.2 VÝZKUM A INOVACE

Český výzkumný potenciál má šanci profilovat se v oborech spjatých s nastupující energetickou transformací. Národní projekty jako NCE II a CANUT II již cílí na témata typu **bezpečné nakládání s odpady, environmentální technologie či společenská akceptace** nových zdrojů – tedy oblasti pokrývající i doplňkové megatrendy TE1–TE3. Tím vzniká znalostní základna, kterou lze dále rozvíjet a využít. Česká vědecká pracoviště se mohou intenzivněji zapojit do mezinárodních výzkumných iniciativ (Horizont Evropa, partnerství **CLEAN ENERGY TRANSITION** apod.) zaměřených na vodík, baterie, inteligentní sítě, SMR a další perspektivní oblasti. Významnou příležitostí pro ČR je využít své tradiční silné stránky – např. strojírenství a chemický průmysl – pro vývoj komponent OZE, technologií CCUS, modulárních jaderných reaktorů či softwaru pro řízení energií a AI. Propojení akademického výzkumu s průmyslem (klastry, inovační platformy) může urychlit aplikaci nových poznatků do praxe. Klíčové je

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

také zaměření národní inovační politiky: dle aktualizované RIS3 strategie je třeba podporovat obory s vysokou přidanou hodnotou v souladu s globálními trendy, aby výzkum pomohl zvýšit konkurenceschopnost ČR v měnících se mezinárodních podmínkách.

2.2.3 SPOLEČNOST A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Přechod k novým energetickým technologiím má významné **společenské dopady** – přináší řadu pozitiv, ale i výzev. Pozitivně lze očekávat zlepšení kvality ovzduší a životního prostředí (pokles emisí, méně odpadů díky recyklaci), což prospívá veřejnému zdraví i kvalitě života obyvatel. Inovace v energetice zároveň mohou podpořit **regionální rozvoj** – instalace OZE a rozvoj komunitní energetiky mohou generovat příjmy pro obce a posílit jejich energetickou soběstačnost. V České republice byl přijat právní rámec (Lex OZE II v roce 2023 a Lex OZE III v roce 2025) na podporu energetických společenství, což umožní obcím a občanům více se podílet na energetických projektech. Ve vyspělých zemích se lokální sdílení energie osvědčilo a technická připravenost již není limitujícím faktorem – v ČR se očekává plná funkčnost komunitních projektů po roce 2028.

Nutná je však široká **společenská akceptace** nových řešení (větrné elektrárny, úložiště CO₂, jaderné zdroje apod.), která vyžaduje transparentní plánování a komunikaci s veřejností. Roste potřeba včasného zapojení stakeholderů do rozhodování – megatrendem jsou participativní metody a digitální nástroje (např. vizualizace pomocí AI simulací) pro zvyšování důvěry veřejnosti. Tento princip je zakotven i v Aarhuské úmluvě (1998), která garantuje práva veřejnosti na informace a účast v rozhodování o environmentálních otázkách. Příkladem je nutnost zohlednit názory místních obyvatel při rozvoji např. větrných parků či hlubinných úložišť.

Zásadní bude také **příprava pracovní síly** na nové kvalifikace: transformace energetiky a průmyslu přinese poptávku po expertech na vodíkové technologie, datových analytících, technikách pro OZE apod. Proto je nutné investovat do vzdělávání a rekvalifikací, aby přechod proběhl sociálně citlivě a nevytvářel regionální nerovnosti (např. v uhelných regionech). Realizace uvedených trendů je zároveň klíčová pro plnění mezinárodních klimatických závazků ČR – má širší společenský přínos v podobě zmírnění změny klimatu a snížení environmentálních rizik.

3 STRATEGICKÁ DOPORUČENÍ PRO TVŮRCE POLITIK

1. **Zaměřit veřejnou podporu výzkumu a inovací na klíčové směry dekarbonizace.**
Upravit priority národních programů VaVal a financování tak, aby reflektovaly výše popsané trendy. To zahrnuje zejména výzkum alternativních paliv a vodíku (hrozící převis poptávky po H₂ do 2030), nových baterií a úložišť, CCUS, AI a pokročilých jaderných technologiích včetně SMR. Cílené programy mohou akcelarovat prototypy a pilotní projekty napříč těmito oblastmi, včetně výzkumu bezpečnosti a digitálního řízení jaderných zařízení.
2. **Rozvíjet infrastrukturu pro nové energie a modernizovat legislativu.**
Strategicky plánovat a investovat do vodíkovodů, integrace nabíjecích stanic, úložišť a modernizace teplotních sítí. Současně upravit legislativní rámec pro nasazení SMR a jejich integraci do energetických soustav, včetně implementace principů Net-Zero Industry Act a zjednodušení povolenacích procedur v oblasti jaderných zařízení nové generace.
3. **Podporovat implementaci oběhového hospodářství a snižování odpadu.**
Zavést zákaz skládkování využitelných odpadů do 2030 a motivovat investice do recyklace. V oblasti jaderné energetiky podpořit výzkum materiálového cyklu včetně odolných kompozitů a technologií dekontaminace či opětovného využití konstrukčních materiálů, např. v rámci SMR a dekontaminačních provozů.
4. **Odblokovat potenciál OZE a akumulace v ČR.**
Nastavit ambicióznější cíle pro OZE a odstranit administrativní překážky. Současně rozvíjet hybridní systémy OZE–SMR s cílem optimalizovat flexibilní a bezpečné dodávky energie, včetně podpory tepelné akumulace z jaderných zdrojů a jejich zapojení do smart-grid řešení.
5. **Analyzovat nové trendy v průmyslu (čistá mobilita, průmysl 4.0).**
Připravit průmysl na nové emisní a technologické standardy (AFIR, CBAM, ReFuelEU). Rozšířit investiční nástroje i na aplikace nízkouhlíkového jaderného tepla pro průmyslové procesy a podporovat využití SMR např. pro výrobu vodíku a syntetických paliv v souladu s evropskými standardy (RFNBO, RED III).
6. **Zajistit provázanost s evropskými politikami a financování z EU.**
Využít NZIA a CRMA pro rychlejší povolování a financování projektů – včetně demonstračních jednotek SMR, vývoje palivových cyklů a navazujících hybridních řešení jádro–OZE. Vytvořit meziresortní plán na čerpání prostředků z Modernizačního a Inovačního fondu rovněž pro tyto účely.
7. **Zavést systematický foresight a poradní mechanismy**
Každé 2–3 roky aktualizovat technologické priority státu včetně hodnocení připravenosti na nasazení SMR v podmínkách ČR. Rozvíjet „research-for-policy“ nástroje napojené na výstupy projektů NCE II a CANUT II – včetně expertního zázemí pro rozhodovací procesy v oblasti jaderné a hybridní energetiky.
8. **Posílit dimenzi „defence“ – energetiku jako pilíř státní odolnosti.**
Zahrnout SMR mezi klíčové prvky krizové infrastruktury. Malé modulární reaktory mohou sloužit jako stabilní ostrovní zdroje energie pro zdravotnictví, armádu, ICT či logistiku. Vhodné je vypracovat scénáře a krizové modely pro jejich nasazení v mimořádných situacích.
9. **Vytvořit expertní pracovní skupinu NCE II – CANUT II – MPO – MO – MV.**
Skupina bude koordinovat přenos výzkumu a technologií (včetně jaderných) do bezpečnostní, energetické a průmyslové politiky státu. CANUT II jako garant pokročilých jaderných řešení poskytne odbornou oporu pro legislativní návrhy a scénáře implementace SMR.
10. **Posílit vzdělávání a kvalifikace pro transformující se energetiku**
Transformace bude vyžadovat nové profily – kromě odborníků na OZE, akumulaci a datovou analytiku je nutné připravit generaci inženýrů a techniků pro návrh, provoz a údržbu SMR a dalších pokročilých jaderných technologií. Vzdělávací systém a rekvalifikační programy musí tuto poptávku včas reflektovat.

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

4 IMPLEMENTACE KNOWLEDGE-TO-POLICY: NEZÁVISLÝ PORADNÍ ORGÁN

Účel

Vytvořit trvalou expertní kapacitu pro nezávislé, vědecky podložené poradenství v energetice – spojující nízkouhlíkový (NCE II) a jaderný (CANUT II) výzkum s tvorbou veřejných politik transparentní a otevřenou cestou.

Hlavní funkce

- Quarterly Foresight Briefs: pravidelný přehled trendů (TRL, CAPEX, LCOE, regulační vývoj EU)⁵.
- Policy Options Papers: variantní doporučení pro MPO/MŽP s CBA a dopady.

Zásady kvality diseminace transparentním způsobem

- Otevřená metodika, otevřená peer-review, transparentní datové zdroje.
- Nezávislý řídicí orgán (zástupci akademie, průmyslu, krajů).
- Veřejné abstrakty, FAIR data pro státní správu (v souladu s FAIR principy uzavřená ryze v případě bezpečnosti státu nebo k ochraně duševního vlastnictví).⁶

Integrace a governance

- Napojení na energetický datový hub a státní analytické portály,
- Společné pracovní skupiny s ERÚ, ČEPS, DSO, SFDI.

Přínos

- Zrychlení přenosu znalostí (měsíce → týdny),
- Lepší rozhodovací podklady a legitimita strategických rozhodnutí,
- Posílení role ČR jako inovačního centra energetické transformace v EU.

Období	Klíčový krok	Výstup	Odpovědné subjekty
Q1–Q2/2026	Memorandum o spolupráci MPO–MŽP–MO–MV	Dohoda o mandátu a řízení	MPO, MŽP, MO, MV, NCE II, CANUT II
Q2–Q3/2026	1. pilotní Foresight Brief + první Policy Paper	Mapování priorit vodíkové infrastruktury 2030	NCE II, MPO
Q3–Q4/2026	Napojení na energetický datový hub, zahájení Rapid Response služby	Datové rozhraní, procesní manuál	MPO, NCE II, ERÚ
Q1–Q2/2027	Implementation Audit SEK/NEKP 2025	Zpráva pro vládu ČR	NCE II & CANUT II, TA ČR

⁵ Odborné tvrzení o TRL, tempu růstu a časování technologií vychází ze studie technologických trendů a souvisejících částí (viz citace). Legislativa a stav účinnosti jsou promítnuty dle aktuálního rámce EU/CZ: RED III (platná 2023), AFIR (v účinnosti), CBAM (ostrý režim 2026), ReFuelEU Aviation (2024/25), FuelEU Maritime (2025), NZIA/CRMA (implementace 2024/25), Lex OZE III (přiját březen 2025 – probíhá implementace).

⁶ Transparentní proces otevřeného recenzního řízení při dodržení FAIR principů (*Findable-Accessible-Interoperable-Reusable*) bude realizován primárně užitím platformy [Open Research Europe](#), který patří mezi doporučené postupy *Open Science* v současné výzvě *Horizon Europe*. Díky diskusi odborné veřejnosti je navíc naplněno hledisko Citizen Science, kdy rovněž občanská věda patří k doporučeným postupům. Detailně je proces tvorby strategických dokumentů popsán v příloze.

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

5 SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam / Vysvětlení
AFIR	<i>Alternative Fuels Infrastructure Regulation</i> – Nařízení o rozvoji infrastruktury pro alternativní paliva (EU 2023/1804)
AI	<i>Artificial Intelligence</i> – Umělá inteligence
CANUT II	<i>Centre for Advanced Nuclear Technologies II</i> – projekt NCK zaměřený na výzkum a rozvoj pokročilých jaderných technologií (SMR, bezpečnost, materiály)
CBA	<i>Cost–Benefit Analysis</i> – Analýza nákladů a přínosů
CBAM	<i>Carbon Border Adjustment Mechanism</i> – Uhlíkový vyrovnávací mechanismus na hranicích (EU 2023/956)
CCUS	<i>Carbon Capture, Utilization and Storage</i> – Zachytávání, využití a ukládání oxidu uhličitého
CEET	<i>Centre for Energy and Environmental Technologies</i> – Centrum energetických a environmentálních technologií VŠB–TUO
CZT	Centrální zásobování teplem
DAC	<i>Direct Air Capture</i> – Zachytávání oxidu uhličitého přímo ze vzduchu
DSO	<i>Distribution System Operator</i> – Provozovatel distribuční soustavy
EMS	<i>Energy Management System</i> – Systém řízení spotřeby energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU ETS	<i>European Union Emissions Trading System</i> – Systém obchodování s emisními povolenkami EU
FIT for 55	Balík legislativ EU pro snížení emisí o 55 % do roku 2030
FuelEU Maritime	<i>FuelEU Maritime Regulation</i> – Nařízení o snižování emisí z námořní dopravy (EU 2023/1805)
Gigafactory	Velkokapacitní výrobní závod na bateriové články
H ₂	Vodík
IEA	<i>International Energy Agency</i> – Mezinárodní agentura pro energii
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i> – Spalovací motor
Implementation Audit	Pravidelná hodnotící zpráva o naplňování Státní energetické koncepce (SEK) a klimatického plánu (NEKP)
LDES	<i>Long-Duration Energy Storage</i> – Dlouhodobá akumulace energie
Lex OZE II / III	Národní legislativa pro rozvoj obnovitelných zdrojů energie a komunitní energetiky (ČR, 2023 a 2025)
LOHC	<i>Liquid Organic Hydrogen Carrier</i> – Organický nosič vodíku v kapalně formě
LCOE / LCOS	<i>Levelized Cost of Energy / Storage</i> – Vyrovnané jednotkové náklady na energii / akumulaci
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
MO	Ministerstvo obrany ČR

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

Zkratka	Význam / Vysvětlení
MV	Ministerstvo vnitra ČR
MŽP	Ministerstvo životního prostředí ČR
MYRRHA	Multi-purpose Hybrid Research Reactor for High-tech Applications – výzkumný reaktorový projekt EU pro vývoj transmutace odpadu
NCE II	<i>Národní centrum energetiky II</i> – projekt NCK zaměřený na výzkum nízkouhlíkových nejaderných energetických technologií (vodík, OZE, akumulace, sítě)
NEKP	<i>Národní energeticko-klimatický plán</i> (National Energy and Climate Plan, ČR)
NRIS3	<i>Národní výzkumná a inovační strategie pro inteligentní specializaci ČR (RIS3)</i>
NZIA	<i>Net-Zero Industry Act</i> – Akt o průmyslu s nulovými čistými emisemi (EU 2024/1028)
OZE	Obnovitelné zdroje energie
ORC	<i>Organic Rankine Cycle</i> – Technologie pro využití nízkopotenciálního tepla
Policy Options Paper	Analytický dokument s variantním návrhem politiky na základě vědeckých důkazů
QFB (Foresight Brief)	<i>Quarterly Foresight Brief</i> – čtvrtletní přehled technologických trendů
RED III	<i>Renewable Energy Directive III</i> – Směrnice EU o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů (2023/2413)
ReFuelEU Aviation	<i>ReFuelEU Aviation Regulation</i> – Nařízení o udržitelných leteckých palivech (EU 2023/2405)
RFNBO	<i>Renewable Fuels of Non-Biological Origin</i> – Obnovitelná paliva nebiologického původu (např. zelený vodík)
RIS3	<i>Research and Innovation Strategy for Smart Specialisation</i> – Národní strategie inteligentní specializace
SFDI	Státní fond dopravní infrastruktury
SEK	<i>Státní energetická koncepce</i>
SMR	<i>Small Modular Reactor</i> – Malý modulární jaderný reaktor
TA ČR	<i>Technologická agentura České republiky</i>
TES	<i>Thermal Energy Storage</i> – Tepelná akumulace energie
TRL	<i>Technology Readiness Level</i> – Stupeň technologické připravenosti
VaVal	Výzkum, vývoj a inovace

6 SEZNAM ZKRATEK A PLNÝCH NÁZVŮ MEGATRENDŮ

1. **TA Konverze energie:**
2. **TA1 – Alternativní paliva** (syntetická paliva, biopaliva, vodík)
3. **TA2 – Oběhové hospodářství a energetické využití odpadů**
4. **TA3 – Obnovitelné zdroje energie a energetická účinnost**
5. **TA4 – Pokročilé jaderné technologie**
6. **TB Přenos a distribuce energie:**
7. **TB1 – Chytré sítě a modernizace přenosu**
8. **TB2 – Decentralizace a energetické komunity**
9. **TB3 – Nová média a infrastruktura pro jejich distribuci** (vodík, nízкотеплотní teplo)
10. **TC Akumulace a užití energie:**
11. **TC1 – Nové generace baterií** (pro elektromobilitu i sítě)
12. **TC2 – Ukládání energie do vodíku**
13. **TC3 – Tepelné akumulátory**
14. **TC4 – Energetické úspory a řízení spotřeby (EMS)**
15. **TD Bezpečnost:**
16. **TD1 – Jaderná bezpečnost a pasivní prvky**
17. **TD2 – Kybernetická a infrastrukturní bezpečnost**
18. **TD3 – Senzory a prediktivní diagnostika**
19. **TE Environmentální a společenské aspekty:**
20. **TE1 – Nakládání s odpady a vyřazování zařízení**
21. **TE2 – Environmentální dopady a udržitelnost**
22. **TE3 – Společenská akceptace (zapojení veřejnosti)**

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

Primární projektové a analytické podklady:

- Studie technologických trendů v kontextu strategie NCE II – revize 8 (2024), VŠB-TUO / CEET.
- NCK – Osnova povinného výsledku strategického dílčího projektu, TA ČR (2023).
- Poznámky k Policy Brief (TA ČR 2023) – metodické doporučení pro aplikační výstupy VaVal.
- Interní data CEET / NCE II / CANUT II (2023–2025) – průběžné výsledky výzkumných balíčků (WP 1–6).

Legislativní a strategické dokumenty EU:

- European Green Deal – COM(2019) 640 final.
- Fit for 55 package – komplex legislativních návrhů EU (2021–2023, stav k říjnu 2025).
- REPowerEU Plan – COM(2022) 230 final.
- Directive (EU) 2023/2413 – RED III on renewable energy (účinnost od 2023).
- Regulation (EU) 2023/1804 – AFIR (účinné 2024).
- Regulation (EU) 2023/956 – CBAM (přechodná fáze 2023–2025, ostrý režim od 2026).
- Regulation (EU) 2023/2405 – ReFuelEU Aviation (účinnost 2024, závazky od 2025).
- Regulation (EU) 2023/1805 – FuelEU Maritime (účinnost od 2025).
- Delegated Regulations (EU) 2023/1184 & 1185 – kritéria pro RFNBO a nízkouhlíkový vodík.
- Regulation (EU) 2024/1028 – Net-Zero Industry Act (NZIA) – přijat 2024, implementace 2025.
- Regulation (EU) 2024/1252 – Critical Raw Materials Act (CRMA) – přijat 2024.
- Directive (EU) 2024/1275 – EPBD Recast (energetická náročnost budov, revize směrnice 2010/31/EU).

Národní strategické dokumenty ČR:

- Státní energetická koncepce ČR (aktualizace 2024, MPO).
- Národní energeticko-klimatický plán (NEKP) 2024–2030 – MPO & MŽP (předběžný návrh).
- Politika druhotných surovin ČR (2023) – MPO.
- Lex OZE II (Sb. 2023) a Lex OZE III (Sb. 2025) – zákony o komunitní energetice a agregaci flexibility.
- Národní RIS3 Strategie 2021+ (MŠMT / RVVI, 2021–2027).

Doplňkové a odborné zdroje:

- IEA – GLOBAL HYDROGEN REVIEW (2023).
- IEA – ENERGY STORAGE REPORT (2024).
- OECD – SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION OUTLOOK (2024).
- JRC – CLEAN ENERGY TECHNOLOGY OBSERVATORY (2023).
- World Bank – ENERGY TRANSITION OUTLOOK (2023).
- IEA – NET ZERO BY 2050 (Scenario, 2024 update).

APPENDIX

Tabulka 1: Proces tvorby strategických dokumentů transparentní cestou Open Research Europe ⁷

Krok	Popis	Realizace v ORE dle Horizon Europe ⁸
I. Definice cílové skupiny	Identifikace klíčových stakeholderů (vládní úřady, energetické společnosti, neziskové organizace).	V úvodu vždy stručně specifikovat, komu je výstup konkrétně určen.
II. Struktura dokumentu	- Úvod (kontext a cíl) - Klíčová zjištění (stručné shrnutí vědeckých výsledků) - Politická doporučení (konkrétní kroky) - Vědecké důkazy a odkazy (citace studií, data mající licenci CC BY) - Závěr a výhled	Nutné dodržet jasnou a stručnou formu (max. 5 stran). Anglický text (povinný pro ORE) zároveň doprovází český překlad. Vždy nahrát oba soubory (anglický + český) a označit je jako „language version“. Takto se proces tvorby stává transparentní z hlediska diskuse odborné veřejnosti. Nutno pamatovat, že draft a data jdou ihned veřejně, následně jsou veřejné i posudky s uvedením jmen recenzentů.
III. Otevřené vědecké výstupy	Všechny použité publikace a data musí být dostupné pod licencí CC BY.	Při citaci jednotlivých výstupů vždy uvádět DOI a odkaz na ORE záznam, kde je každý výstup uložený.
IV. Příprava otevřených dat	Surová data mohou být vědecké studie. Zpracovaná data, mohou být schémata, vizualizace,	Surová data (v tomto případě články) jsou veřejně přístupná, co nejdříve po publikaci a označena licencí CC BY. Zpracovaná data pomocí analytických nástrojů, např. uzavřeného systému AI & LLM modelů (e-infra).
V. Metadatová povinnost	Každý záznam (publikace i dataset) musí obsahovat: autor(y), název, datum, seznam veřejných grantů, licence, trvalý identifikátor (DOI), identifikátory organizací.	ORE automaticky generuje požadovaná metadata; doplňte případně informace o nástrojích potřebných k validaci výsledků. Lze uvést seznam v .CSV nebo .TXT formátu.
VI. Licenční podmínky	Použít nejnovější verzi licence CC BY (metadata CCO). Pro monografie a obsáhlejší zprávy lze CC BY-NC.	Při nahrávání souboru v ORE zvolit příslušnou licenci; licence je součástí veřejného záznamu.
VII. Plán diseminace	Strategie, jak bude policy brief šířen (webináře, sociální sítě, tiskové zprávy).	Zahrnovat odkaz na ORE záznam do všech komunikačních materiálů; tak lze zajistit transparentnost a sledovatelnost. Veřejně jsou nejen posudky, které nejsou anonymní, formou diskuse se opravdu vyjadřuje široká odborná veřejnost.

⁷ England, J., Dolinar, M., & Nielsen, L. H. (2025, July 2). Horizon Europe Open Science praktiky v praxi – OpenAIRE, záznam webináře věnujícího se Open Research Europe. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15776027>

⁸ EU Grants: AGA — Annotated Grant Agreement: V2.0 – 01.04.2025 (pp. 382-389, Open Science)

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

VIII. Revize a schválení	Nejprve kontrola interní (hledisko právní, institucionální politiky, etické) + externí (stakeholdeři).	Pokud někdo vznese námitku (např. ohrožení legitimních zájmů), nutno zajistit, aby byl výstup před zasláním do ORE upraven nebo omezen v souladu s ochranou duševního vlastnictví. Záznam nelze smazat.
--------------------------	--	---

Vědecké zdroje:

- [1] Alam, G., Ihsanullah, I., Naushad, Mu., & Sillanpaa, M. (2022). Applications of artificial intelligence in water treatment for optimization and automation of adsorption processes: Recent advances and prospects. *CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL*, 427. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130011>
- [2] Baeyens, J., Zhang, H., Nie, J., Appels, L., Dewil, R., Ansart, R., & Deng, Y. (2020). Reviewing the potential of bio-hydrogen production by fermentation. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110023>
- [3] Bogachuk, D., Zouhair, S., Wojciechowski, K., Yang, B., Babu, V., Wagner, L., Xu, B., Lim, J., Mastroianni, S., Pettersson, H., Hagfeldt, A., & Hinsch, A. (2020). Low-temperature carbon-based electrodes in perovskite solar cells. *ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE*, 13(11), 3880–3916. <https://doi.org/10.1039/d0ee02175j>
- [4] Breyer, C., Khalili, S., Bogdanov, D., Ram, M., Oyewo, A. S., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Solomon, A. A., Keiner, D., Lopez, G., Ostergaard, P. A., Lund, H., Mathiesen, B., V., Jacobson, M. Z., Victoria, M., Teske, S., Pregger, T., Fthenakis, V., Raugei, M., ... Sovacool, B. K. (2022). On the History and Future of 100% Renewable Energy Systems Research. *IEEE ACCESS*, 10, 78176–78218. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3193402>
- [5] Cavus, M., Dissanayake, D., & Bell, M. (2025). Next Generation of Electric Vehicles: AI-Driven Approaches for Predictive Maintenance and Battery Management. *ENERGIES*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/en18051041>
- [6] Eshetu, G. G., Zhang, H., Judez, X., Adenusi, H., Armand, M., Passerini, S., & Figgemeier, E. (2021). Production of high-energy Li-ion batteries comprising silicon-containing anodes and insertion-type cathodes. *NATURE COMMUNICATIONS*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25334-8>
- [7] Fan, J.-L., Li, Z., Huang, X., Li, K., Zhang, X., Lu, X., Wu, J., Hubacek, K., & Shen, B. (2023). A net-zero emissions strategy for China's power sector using carbon-capture utilization and storage. *NATURE COMMUNICATIONS*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41548-4>
- [8] Frith, J. T. T., Lacey, M. J. J., & Ulissi, U. (2023). A non-academic perspective on the future of lithium-based batteries. *NATURE COMMUNICATIONS*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-35933-2>
- [9] Gao, Z., & Liu, X. (2021). An Overview on Fault Diagnosis, Prognosis and Resilient Control for Wind Turbine Systems. *PROCESSES*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/pr9020300>
- [10] Ines, C., Guilherme, P. L., Esther, M.-G., Swantje, G., Stephen, H., & Lars, H. (2020). Regulatory challenges and opportunities for collective renewable energy prosumers in the EU. *ENERGY POLICY*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111212>
- [11] Khenkin, M. V., Katz, E. A., Abate, A., Bardizza, G., Berry, J. J., Brabec, C., Brunetti, F., Bulovic, V., Burlingame, Q., Di Carlo, A., Cheacharoen, R., Cheng, Y.-B., Colsmann, A., Cros, S., Domanski, K., Dusz, M., Fell, C. J., Forrest, S. R., Galagan, Y., ... Lira-Cantu, M. (2020). Consensus statement for stability assessment and reporting for perovskite photovoltaics based on ISOS procedures. *NATURE ENERGY*, 5(1), 35–49. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0529-5>
- [12] Kober, T., Schiffer, H.-W., Densing, M., & Panos, E. (2020). Global energy perspectives to 2060-WEC's World Energy Scenarios 2019. *ENERGY STRATEGY REVIEWS*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2020.100523>
- [13] Kohse-Hoeinghaus, K. (2023). Combustion, Chemistry, and Carbon Neutrality. *CHEMICAL REVIEWS*, 123(8), 5139–5219. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00828>

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

- [14] Lebrouhi, B. E., Djoupo, J. J., Lamrani, B., Benabdelaziz, K., & Kousksou, T. (2022). Global hydrogen development-A technological and geopolitical overview. *INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY*, 47(11), 7016–7048. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.076>
- [15] Lebrouhi, B. E., Khattari, Y., Lamrani, B., Maaroufi, M., Zeraoui, Y., & Kousksou, T. (2021). Key challenges for a large-scale development of battery electric vehicles: A comprehensive review. *JOURNAL OF ENERGY STORAGE*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103273>
- [16] Lin, J., Liu, X., Li, S., Zhang, C., & Yang, S. (2021). A review on recent progress, challenges and perspective of battery thermal management system. *INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120834>
- [17] Menye, J. S., Camara, M.-B., & Dakyo, B. (2025). Lithium Battery Degradation and Failure Mechanisms: A State-of-the-Art Review. *ENERGIES*, 18(2). <https://doi.org/10.3390/en18020342>
- [18] Odenweller, A., Ueckerdt, F., Nemet, G., Jensterle, M., & Luderer, G. (2022). Probabilistic feasibility space of scaling up green hydrogen supply. *NATURE ENERGY*, 7(9), 854-+. <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01097-4>
- [19] Pauliuk, S., Heeren, N., Berrill, P., Fishman, T., Nistad, A., Tu, Q., Wolfram, P., & Hertwich, E. G. (2021). Global scenarios of resource and emission savings from material efficiency in residential buildings and cars. *NATURE COMMUNICATIONS*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25300-4>
- [20] Rissman, J., Bataille, C., Masanet, E., Aden, N., Morrow, W. R., III, Zhou, N., Elliott, N., Dell, R., Heeren, N., Huckestein, B., Cresko, J., Miller, S. A., Roy, J., Fennell, P., Cremmins, B., Blank, T. K., Hone, D., Williams, E. D., du Can, S. de la R., ... Helseth, J. (2020). Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070. *APPLIED ENERGY*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114848>
- [21] Roy, J. J., Phuong, D. M., Verma, V., Chaudhary, R., Carboni, M., Meyer, D., Cao, B., & Srinivasan, M. (2024). Direct recycling of Li-ion batteries from cell to pack level: Challenges and prospects on technology, scalability, sustainability, and economics. *CARBON ENERGY*, 6(6). <https://doi.org/10.1002/cey2.492>
- [22] Ruhnau, O., Stiewe, C., Muessel, J., & Hirth, L. (2023). Natural gas savings in Germany during the 2022 energy crisis. *NATURE ENERGY*, 8(6), 621–628. <https://doi.org/10.1038/s41560-023-01260-5>
- [23] Slamersak, A., Kallis, G., & O' Neill, D. W. (2022). Energy requirements and carbon emissions for a low-carbon energy transition. *NATURE COMMUNICATIONS*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33976-5>
- [24] Smith, O., Cattell, O., Farcot, E., O'Dea, R. D., & Hopcraft, K., I. (2022). The effect of renewable energy incorporation on power grid stability and resilience. *SCIENCE ADVANCES*, 8(9). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abj6734>
- [25] Stephens, I. E. L., Chan, K., Bagger, A., Boettcher, S. W., Bonin, J., Boutin, E., Buckley, A. K., Buonsanti, R., Cave, E. R., Chang, X., Chee, S. W., da Silva, A. H. M., de Luna, P., Einsle, O., Endrodi, B., Escudero-Escribano, M., de Araujo, J. V. F., Figueiredo, M. C., Hahn, C., ... Zhou, Y. (2022). 2022 roadmap on low temperature electrochemical CO₂ reduction. *JOURNAL OF PHYSICS-ENERGY*, 4(4). <https://doi.org/10.1088/2515-7655/ac7823>
- [26] Tapia-Ruiz, N., Armstrong, A. R., Alptekin, H., Amores, M. A., Au, H., Barker, J., Boston, R., Brant, W. R., Brittain, J. M., Chen, Y., Chhowalla, M., Choi, Y.-S., Costa, S. I. R., Crespo Ribadeneyra, M., Cussen, S. A., Cussen, E. J., David, W. I. F., Desai, A., V., Dickson, S. A. M., ... Younesi, R. (2021). 2021 roadmap for sodium-ion batteries. *JOURNAL OF PHYSICS-ENERGY*, 3(3). <https://doi.org/10.1088/2515-7655/ac01ef>
- [27] Valera-Medina, A., Amer-Hatem, F., Azad, A. K., Dedoussi, I. C., de Joannon, M., Fernandes, R. X., Glarborg, P., Hashemi, H., He, X., Mashruk, S., McGowan, J., Mounaim-Rouselle, C., Ortiz-Prado, A., Ortiz-Valera, A., Rossetti, I., Shu, B., Yehia, M., Xiao, H., & Costa, M. (2021). Review on Ammonia as a Potential Fuel: From Synthesis to Economics. *ENERGY & FUELS*, 35(9), 6964–7029. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c03685>

Klíčové technologické trendy a energetické příležitosti pro ČR - Policy Brief

- [28] Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., Fellander, A., Daniela Langhans, S., Tegmark, M., & Nerini, F. F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *NATURE COMMUNICATIONS*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y>
- [29] Yalaw, S. G., van Vliet, M. T. H., Gernaat, D. E. H. J., Ludwig, F., Miara, A., Park, C., Byers, E., De Cian, E., Piontek, F., Iyer, G., Mouratiadou, I., Glynn, J., Hejazi, M., Dessens, O., Rochedo, P., Pietzcker, R., Schaeffer, R., Fujimori, S., Dasgupta, S., ... van Vuuren, D. P. (2020). Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios. *NATURE ENERGY*, 5(10), 794–802. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0664-z>
- [30] Zampardi, G., & La Mantia, F. (2022). Open challenges and good experimental practices in the research field of aqueous Zn-ion batteries. *NATURE COMMUNICATIONS*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28381-x>
- [31] Zhu, Z., Liu, W., Ye, S., & Batista, L. (2022). Packaging design for the circular economy: A systematic review. *SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION*, 32, 817–832. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.06.005>
- [32] Zia, M. F., Benbouzid, M., Elbouchikhi, E., Muyeen, S. M., Techato, K., & Guerrero, J. M. (2020). Microgrid Transactive Energy: Review, Architectures, Distributed Ledger Technologies, and Market Analysis. *IEEE ACCESS*, 8, 19410–19432. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2968402>