

D4-3.1

Scénáře a analýza technologického vývoje v oblasti dekarbonizace



Projekt SS04030013 Centrum socio-ekonomického výzkumu
dopadů environmentálních politik

Autoři Ondřej Pokorný, Adél Kučera

Datum 18. října 2024

OBSAH

1	Úvod.....	4
2	Současné trendy relevantní pro oblast dekarbonizace	5
2.1	Globální situace a trendy	5
2.2	Situace a cíle ČR.....	6
3	Politické a strategické cíle pro posílení oblasti dekarbonizace.....	8
3.1	Evropské politické a strategické cíle.....	8
3.1.1	Cíle udržitelného rozvoje	8
3.1.2	Zelená dohoda pro Evropu	10
3.2	Národní politické a strategické cíle	10
4	Evropská legislativa a směrnice pro oblast dekarbonizace	13
4.1	Směrnice o obchodování s emisemi (EU ETS)	13
4.2	Směrnice o obnovitelných zdrojích energie (RED II)	14
4.3	Směrnice o energetické účinnosti (EED).....	14
5	Národní legislativa a směrnice pro oblast dekarbonizace	14
5.1	Zákon o ochraně ovzduší	14
5.2	Energetický zákon.....	14
5.3	Zákon o podpoře obnovitelných zdrojů energie	15
6	Národní strategie a plány v ČR relevantní pro oblast dekarbonizace.....	15
6.1	Národní plán obnovy a odolnosti.....	15
6.2	Vnitrostátní klimaticko-energetický plán	15
6.3	Aktualizovaná Státní energetická koncepce	15
6.4	Dlouhodobá strategie renovací budov	16
6.5	Zpráva o pokroku v oblasti plnění vnitrostátních cílů energetické účinnosti v ČR ..	16
7	Další nástroje relevantní pro řešení dekarbonizace	16
7.1	Evropské nástroje	16
7.1.1	Fit for 55.....	16
7.1.2	Horizont Evropa	16
7.2	Národní nástroje ČR	18
7.2.1	Modernizační fond.....	18
7.2.2	Národní plán čisté mobility	18

8	Opatření pro řešení dekarbonizace	19
8.1	Podpora obnovitelných zdrojů energie	19
8.2	Zvyšování energetické účinnosti	19
8.3	Elektromobilita a udržitelná doprava	19
8.4	Modernizace energetické infrastruktury	19
9	Technologická řešení dekarbonizace	20
10	Metodika identifikace nových technologií pro dekarbonizaci	22
10.1	Zdroje dat	22
10.2	Metodický přístup k identifikaci progresivních technologií	23
10.3	Výsledky identifikace nových technologií pro dekarbonizaci	25
11	Nové technologie pro dekarbonizaci	28
11.1	Energie z obnovitelných zdrojů a skladování energie	28
11.2	Energetická účinnost a management	36
11.3	Technologie pro zachycování uhlíku a jeho využití	41
11.4	Nové materiály a nanotechnologie	46
11.5	Další a vznikající technologie	50
11.6	Průřezová témata/technologie	56
12	Využití analýzy technologického vývoje v oblasti dekarbonizace pro tvorbu scénářů v energetice	67
12.1	Klíčové aspekty využití analýzy nových technologií pro modelování	68
12.2	Možnosti zahrnutí identifikovaných technologií do scénářů v modelu TIMES	68
12.3	Využití scénářů pro podporu rozhodování	69
13	Závěr	70
14	Použité zdroje	72
	Příloha 1: Investiční a provozní náklady identifikovaných technologií	79

Seznam tabulek

Tabulka 1: Vybrané národní strategické cíle pro oblast dekarbonizace energetiky	11
Tabulka 2: Nové technologie pro dekarbonizaci	26
Tabulka 3: Technologie v oblasti solární energie	29
Tabulka 4: Technologie v oblasti větrné energie	31
Tabulka 5: Technologie v oblasti ukládání energie	33
Tabulka 6: Technologie v oblasti zvyšování energetické efektivity budov	36
Tabulka 7: Technologie v oblasti energetické efektivity v průmyslové výrobě	38
Tabulka 8: Technologie v oblasti energetické transformace	39
Tabulka 9: Technologie v oblasti zachycování uhlíku	42
Tabulka 10: Technologie v oblasti využití zachyceného uhlíku	44
Tabulka 11: Technologie v oblasti nových materiálů pro dekarbonizaci	46
Tabulka 12: Další technologie využitelné pro dekarbonizaci	51
Tabulka 13: Průřezová technologická témata	56
Tabulka 14: Technologie v oblasti oběhového hospodářství	59
Tabulka 15: Technologie v oblasti zemědělství a využívání přírodních zdrojů	62
Tabulka 16: Technologie v odpadového hospodářství a recyklace	63
Tabulka 17: Technologie v oblasti sociálních a humanitních věd	65

1 Úvod

Česká republika, stejně jako Evropská unie, hledá nástroje ke zvyšování ekonomické výkonnosti a společenského rozvoje, který povede ke zlepšení kvality života. Vytváří se politiky na zvýšení konkurenceschopnosti podnikatelského sektoru, ale také strategie pro zlepšení životního a podnikatelského prostředí, a to včetně poskytování veřejných služeb. Klíčovým prvkem rozvojových strategií je v posledních letech udržitelnost a sociální rozvoj, které reagují na velké společenské výzvy, a které budou přispívat k plnění Cílů udržitelného rozvoje (SDGs), k nimž se ČR na půdě OSN přihlásila. Mezi velké společenské výzvy současné doby patří omezená dostupnost přírodních zdrojů, změna klimatu, globální oteplování, rostoucí a stárnoucí populace a s tím spojené požadavky na dopravu, zdravotnictví a vzdělávání. Těmto výzvám nelze čelit izolovanými opatřeními; je třeba koordinovaný přístup, kdy různé subjekty spolupracují na dosažení společných cílů prostřednictvím synergických aktivit a vícezdrojového financování.

Problematika efektivního využívání surovinových a energetických zdrojů a optimalizaci výrobních procesů s cílem snížit materiálovou a energetickou náročnost české ekonomiky je pro ekonomický i sociální rozvoj české společnosti a jeho udržitelnosti zásadní. Řešení této výzvy může přispět k účinné transformaci české ekonomiky ve smyslu tzv. dvojité transformace (twin transition), a sice transformace digitální a zelené. Výzkum musí směřovat do rozvoje nových zelených technologií, které napomohou k ochraně klimatu, snižování emisí, ale také k vyšší recyklaci, efektivnějšímu využití materiálů a snižování spotřeby energií. Digitální transformace pak může přispět k cílům udržitelnosti a umožnit změny potřebné pro spravedlivý ekologický přechod.

Dekarbonizace, tedy proces snižování emisí oxidu uhličitého (CO₂), je klíčovým prvkem klimatické politiky v České republice a Evropské unii. Cílem dekarbonizace je přechod na nízkouhlíkové hospodářství, což zahrnuje snižování emisí skleníkových plynů, zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie a zlepšování energetické účinnosti. Vzhledem k tomu, že změna klimatu představuje jednu z největších výzev současnosti, je nezbytné, aby státy i nadnárodní organizace přijaly účinná opatření k ochraně životního prostředí a lidského zdraví. Tento dokument se zaměřuje na legislativní a regulační rámce, konkrétní kroky a technologie k dosažení těchto cílů jak v EU, tak v ČR.

Důraz na snižování emisí skleníkových plynů je v energetickém sektoru spojen s tlakem na rozvoj a využívání nízko emisních, případně nízkouhlíkových, zdrojů energie na straně výroby a zvyšování energetické účinnosti na straně výroby a spotřeby. S využíváním nových zdrojů energií a jejich kombinací souvisí také potřebný důraz na rozvoj technologií pro efektivní akumulaci, transport a transformaci energie. Rozvíjejí se také technologie, které by umožnily pokračující využití fosilních paliv se snížením negativních dopadů na změnu klimatu (zde se jedná kupříkladu o technologii CCS/CCU), kde v případě CCU je CO₂ recyklován do nových paliv. Ekonomická a technologická náročnost snižování emisí skleníkových plynů je pak rozdílná mezi jednotlivými sektory. Např. v dopravě nabývá na významu rozvoj ekologicky přívětivějších technik a technologií, které přispívají k omezování či významnému potlačování emisí fosilních paliv. Toto mimo jiné souvisí s trendem elektrifikace a/nebo využívání vodíkových technologií, kdy řada odvětví včetně průmyslových bude mít snahu více využívat

právě elektrickou energii. S trendem elektrifikace pak souvisí trend propojování jednotlivých energetických sektorů a větší vzájemná integrace odvětví konečné spotřeby a dodávek energie. Současně je třeba klást důraz na snižování emisní náročnosti či využívání nízko emisních výrobních technologií v průmyslu.

2 Současné trendy relevantní pro oblast dekarbonizace

2.1 Globální situace a trendy

Globální spotřeba materiálů, přírodních zdrojů a nerostných surovin v posledních desetiletích dramaticky roste a tento trend bude pokračovat s rostoucí, zejména průmyslovou produkcí, i v následujících letech. Spotřeba základních přírodních materiálů jako biomasa, fosilní paliva, kovy a nerostné suroviny se má v následujících 40 letech zdvojnásobit. Globálně tak trend spotřeby přírodních materiálů znamená závislost ekonomického rozvoje na intenzivním využívání surovin. Predikce ukazují, že globální využití přírodních zdrojů vzroste do roku 2060 o 110 % ve srovnání s rokem 2015, což znamená nárůst zhruba na 190 miliard tun ročně¹. Tento růst by mohl nadále zvyšovat vážné environmentální problémy a tlak na přírodní zdroje, což bude ovlivňovat globální ekosystémy a stabilitu dodávek materiálů pro hospodářskou produkci.

S rostoucí globální poptávkou po materiálech se očekává také nárůst konkurence mezi zeměmi a regiony o přístup k těmto klíčovým zdrojům. Významným faktorem bude zejména poptávka po kritických minerálech, jako jsou lithium, kobalt, nikl a vzácné nerosty, které jsou nezbytné pro současné i budoucí technologie budoucnost (např. baterie pro elektromobily a obnovitelné zdroje energie). Vzhledem k tomu, že některé z těchto surovin mají velmi koncentrované dodavatelské trhy (například Čína ovládá většinu produkce vzácných nerostů), může dojít ke geopolitickým a ekonomickým napětím, která ovlivní dostupnost a ceny těchto materiálů². Světová poptávka po těchto surovinách by mohla do roku 2100 vzrůst až o 100 %, což vytvoří další tlak na již tak napjaté dodavatelské řetězce a potenciálně povede k nárůstu cen a dalším výzvám spojeným s udržitelným řízením zdrojů³.

Technologický vývoj reaguje na tyto výzvy snahou o zefektivnění výroby, recyklaci a hledání alternativních materiálů. Digitální technologie, jako jsou umělá inteligence nebo internet věcí budou hrát klíčovou roli v optimalizaci výrobních procesů, což může vést ke snížení spotřeby materiálů a energie. Například digitalizace a automatizace mohou snížit odpad a energetickou náročnost, což má pozitivní vliv na celkovou udržitelnost průmyslových procesů. Celkový potenciál digitálních technologií přispět k redukci emisí CO₂ v průmyslu bude významný⁴.

¹ <https://www.oecd.org/en/data/indicators/material-consumption.html>

² <https://klinegroup.com/articles/chemicals-materials-ingredients-2024-global-trends/>

³ <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024/executive-summary>

⁴ <https://klinegroup.com/articles/chemicals-materials-ingredients-2024-global-trends/>

Produkce odpadu v globálním měřítku nadále roste a očekává se, že do roku 2050 vzroste o 70 %⁵. Tento trend je podpořen rostoucí urbanizací, globálně se zvyšující životní úrovní a spotřebou. V důsledku technologického vývoje dynamicky roste produkce elektronického a nebezpečného odpadu, který představuje významné ekologické a zdravotní riziko, jelikož obsahuje toxické látky a těžko recyklovatelné materiály. Inovace v oblasti oběhového hospodářství a pokroky v recyklačních technologiích však nabízejí příležitosti ke zmírnění těchto problémů a podporují vývoj směřující k udržitelnějšímu zacházení s odpady.

Globálně roste také spotřeba půdy a vody, a to v důsledku celosvětově rostoucí populace a zvyšující se průmyslové a zemědělské produkce. S pokračujícím ekonomickým rozvojem se očekává nárůst poptávky po vodě pro průmyslová odvětví i zemědělství. Současně změna klimatu přináší nejistotu do zásobování vodou, což může vést k intenzivnější konkurenci o vodní zdroje mezi různými sektory. Tyto trendy jsou zvláště citelné v regionech trpících nedostatkem vody, kde se očekává zhoršení situace.

Trendy ve spotřebě energie indikují zvyšující se potřebu zavádění čistých a obnovitelných energetických zdrojů. Současný tlak na snižování emisí a rostoucí nároky na energetickou efektivitu vedou k tomu, že se energetický mix stále více posouvá směrem k obnovitelným zdrojům⁶. Nadále je však nutné zajistit stabilní dodávky energie pro energeticky náročné průmyslové procesy.

V rámci Evropské unie jsou dopady globální trendy v oblasti spotřeby materiálů, energií a přírodních zdrojů velmi intenzivně reflektovány, což vede k řadě iniciativ a politik zaměřených na udržitelný rozvoj, digitální, zelenou a energetickou transformaci. EU se snaží snížit svou závislost na dovozu kritických surovin, investuje do výzkumu a vývoje recyklačních technologií a podporuje efektivnější využívání zdrojů. Zavedení modelů uzavřených oběhových cyklů by mohlo nejen zvýšit ziskovost evropských podniků, ale také snížit jejich zranitelnost vůči kolísání cen surovin na globálních trzích, což by podpořilo udržitelný ekonomický růst a zajištění surovinové bezpečnosti⁷

2.2 Situace a cíle ČR

Česká republika je silně průmyslově orientovaná ekonomika, kde průmysl představuje významný podíl na HDP, což se projevuje na relativně vysoké spotřebě materiálů a energií. Z tohoto důvodu se ČR výrazně zaměřuje na snižování materiálové náročnosti své ekonomiky. V posledních letech se však tento pokles přičítá především růstu HDP, zatímco spotřeba materiálů neustále roste. V roce 2019 vzrostla domácí materiálová spotřeba v ČR o 0,4 % (0,7 milionu tun) na 170,3 milionu tun. V roce 2018 dosáhla domácí materiálová spotřeba na obyvatele 16,0 tun, což je o 16,9 % více než průměr zemí EU-28. Materiálová náročnost hospodářství ČR činila v roce 2018 0,57 t (1 000 PPS), tedy o 29,3 % vyšší než průměr EU-28⁸.

V souladu s evropskými trendy se očekává, že poptávka po klíčových materiálech, zejména

⁵ <https://www.oecd.org/en/data/indicators/material-consumption.html>

⁶ <https://klinegroup.com/articles/chemicals-materials-ingredients-2024-global-trends/>

⁷ <https://www.oecd.org/en/data/indicators/material-consumption.html>

⁸ <https://www.oecd.org/en/data/indicators/material-consumption.html>

kritických surovinách jako jsou kovy vzácných zemin, lithium nebo kobalt, bude růst, a to zejména v kontextu energetické transformace a rozvoje technologií, jako jsou elektromobily a obnovitelné zdroje energie. Česká republika má omezené vlastní zásoby některých z těchto klíčových materiálů a je silně závislá na jejich dovozu, což vytváří riziko pro dodavatelské řetězce v době rostoucí globální konkurence. Reakce na rostoucí poptávku po materiálech a rostoucí konkurenci vede Českou republiku k intenzivnějšímu zaměření na recyklaci a efektivní využívání surovin, které je stále nedostatečné. Česká vláda spolu s Evropskou unií podporuje rozvoj oběhového hospodářství, což zahrnuje opatření k lepšímu využívání zdrojů a snížení odpadu. Cílem je nejen snížit závislost na dovozech, ale také zlepšit ekonomickou efektivitu a konkurenceschopnost českého průmyslu. Podíl recyklovaných surovin, které se vrací do ekonomiky, je v ČR pouze 8,3 %, což je pod průměrem EU (12,4 %)⁹. Celková míra oběhového používání materiálů v ČR je v současnosti nižší než evropský průměr. ČR rovněž zaostává za průměrem EU v oblasti produktivity zdrojů a ekologických inovací. Předpokládá se, že celková spotřeba materiálových zdrojů v ČR do roku 2050 vzroste o jednu třetinu ve srovnání s úrovněmi z roku 2017, tedy z 0,26 Gt na 0,34 Gt¹⁰. Tento růst by mohl vyvolat značné tlaky na životní prostředí a ohrozit plnění klíčových ekologických cílů.

Česká ekonomika je energeticky náročnější než průměr EU, přičemž energetická náročnost má v posledních desetiletích klesající trend. Mezi lety 2000 a 2017 došlo ke snížení energetické náročnosti o 33,6 %, a mezi lety 2010 a 2018 dokonce o 20 %. Přesto zůstává ČR jednou z energeticky nejnáročnějších ekonomik v EU, částečně kvůli energeticky náročnému průmyslu. Rychlost poklesu energetické náročnosti v ČR činí 2,7 % ročně, což je vyšší než evropský průměr (2 % ročně)¹¹. Očekává se, že poptávka po energii se bude postupně zvyšovat, zejména s rostoucí elektrifikací dopravy a digitalizací průmyslu. Česká vláda se snaží podpořit tento přechod prostřednictvím investic do obnovitelných zdrojů energie, ale i prostřednictvím rozvoje jaderné energetiky, která by měla hrát důležitou roli při snižování emisí CO₂ a zajištění stabilní dodávky energie. Podíl obnovitelných zdrojů energie na konečné spotřebě energie dosáhl v roce 2019 v ČR 16,2 %, což překračuje národní cíl 13 % pro rok 2020 stanovený v rámci sdíleného úsilí EU.

Dekarbonizace ekonomiky je pro Českou republiku klíčovým cílem v rámci boje proti klimatickým změnám. ČR se zavázala snižovat emise skleníkových plynů v souladu s cíli Evropské unie a OSN, konkrétně se jedná o cíle udržitelného rozvoje (SDGs), cíle stanovené v Zelené dohodě pro Evropu (EGD) a strategické směry pro výzkum a inovace vymezené v Rámcovém programu EU pro výzkum a inovace (2021–2027) Horizont Evropa. Dekarbonizace se zaměřuje zejména na energetický sektor, který je zodpovědný za většinu emisí CO₂. Cílem je přechod od uhlí k čistším zdrojům energie, jako jsou obnovitelné zdroje a zároveň posílení role jaderné energie jako stabilního a nízkoemisního zdroje. Česká republika plánuje postupné uzavírání uhelných elektráren a nahrazení těchto kapacit obnovitelnými zdroji a moderními plynovými elektrárnami, což přispěje ke snížení emisí. Přechod na bezuhlíkovou ekonomiku nabízí příležitost pro obnovu ekonomiky po pandemii Covid-19, zvýšení surovinové a

⁹ <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>

¹⁰ https://www.oecd.org/en/publications/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en.html

¹¹ https://www.oecd.org/en/publications/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en.html

technologické nezávislosti, zejména v kontextu geopolitických událostí, jako je ruská agrese vůči Ukrajině, a celkově pro zvýšení odolnosti vůči budoucím šokům¹². Vyžaduje však změny v mnoha odvětvích, včetně celých produkčních řetězců, což přináší příležitosti pro inovace, nové typy podnikání a pracovní místa. Klíčovou součástí tohoto přechodu je digitalizace, monitoring a sběr dat. Nový směr představuje rozvoj bioekonomiky, zaměřené na péči o přírodní ekosystémy a efektivnější využívání přírodních materiálů a procesů pro ekonomické účely¹³. Česká republika čelí mnoha stejným výzvám jako zbytek Evropské unie, a její strategie se zaměřují na přizpůsobení se těmto globálním trendům prostřednictvím inovací, udržitelného hospodářství a energetické transformace. Efektivní využívání materiálů, recyklace, zavádění digitálních technologií a přechod na obnovitelné zdroje energie budou klíčovými prvky jejího budoucího rozvoje.

3 Politické a strategické cíle pro posílení oblasti dekarbonizace

3.1 Evropské politické a strategické cíle

3.1.1 Cíle udržitelného rozvoje

Cíle udržitelného rozvoje (Sustainable Development Goals, SDGs)¹⁴ jsou globální výzvy stanovené Organizací spojených národů (OSN) s cílem zajistit udržitelný rozvoj pro všechny. Byly přijaty v roce 2015 v rámci Agendy 2030 pro udržitelný rozvoj a zahrnují 17 cílů, které mají být dosaženy do roku 2030. Tyto cíle se zaměřují na různé oblasti, jako je odstranění chudoby, ochrana planety, zajištění kvalitního vzdělání, rovnost pohlaví a mnoho dalšího. Vybrané SDGs zaměřené na energetiku a dekarbonizaci jsou klíčové pro boj proti změně klimatu a podporu udržitelné energetiky. Tyto cíle se soustředí na přechod k čistým a udržitelným zdrojům energie, snižování emisí skleníkových plynů a podporu inovací v oblasti energetiky. Níže jsou podrobněji popsány vybrané cíle, které se týkají energetiky a dekarbonizace:

Cíl 7: Dostupné a čisté energie

Tento cíl se zaměřuje na zajištění přístupu k cenově dostupné, spolehlivé, udržitelné a moderní energii pro všechny. Hlavními aspekty jsou:

- Zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie v globálním energetickém mixu.
- Zlepšení energetické účinnosti, například snižováním energetické náročnosti budov, průmyslu a dopravy.

¹² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>

¹³ https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf

¹⁴ https://international-partnerships.ec.europa.eu/policies/sustainable-development-goals_en

- Podpora výzkumu a technologií pro čistou energii a její přístupnost v rozvojových zemích.

Cíl 9: Průmysl, inovace a infrastruktura

Tento cíl se soustředí na budování odolné infrastruktury, podporu inkluzivní a udržitelné industrializace a inovace. V kontextu energetiky a dekarbonizace zahrnuje:

- Podporu průmyslových technologií, které jsou energeticky účinné a šetrné k životnímu prostředí.
- Investice do udržitelných energetických infrastruktur, jako jsou obnovitelné zdroje energie a technologie pro ukládání energie.

Cíl 11: Udržitelná města a obce:

Cíl se zaměřuje na vytváření udržitelných měst a lidských sídel. V souvislosti s energetikou a dekarbonizací zahrnuje:

- Rozvoj městských systémů s nízkou uhlíkovou stopou, jako jsou udržitelné dopravní systémy, energeticky účinné budovy a chytré sítě (smart grids).
- Podporu iniciativ na snižování znečištění ovzduší a zlepšení kvality ovzduší ve městech.

Cíl 12: Odpovědná výroba a spotřeba

Tento cíl se zaměřuje na udržitelné vzorce výroby a spotřeby. V energetickém kontextu:

- Podporuje udržitelné využívání zdrojů a snižování plýtvání energií.
- Propaguje energeticky úsporné technologie a postupy v průmyslu a domácnostech.

Cíl 13: Klimatická opatření

Tento cíl je přímo zaměřen na boj proti změně klimatu a jeho dopadům a úzce souvisí s dekarbonizací energetiky. Zahrnuje:

- Přijetí naléhavých opatření na snižování emisí skleníkových plynů a podporu opatření na zmírnění změny klimatu.
- Zlepšení kapacit pro adaptaci na klimatické změny a posílení odolnosti vůči jejich dopadům.
- Podpora finančních a technologických mechanismů pro přechod k nízkouhlíkovým ekonomikám.

Tyto cíle se vzájemně doplňují a společně vytvářejí rámec pro udržitelnou transformaci energetiky a dekarbonizaci průmyslu, dopravy a dalších sektorů. Plnění těchto cílů vyžaduje mezinárodní spolupráci, inovace, investice a zapojení veřejného i soukromého sektoru.

3.1.2 Zelená dohoda pro Evropu

Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal)¹⁵ je strategie EU zaměřená na transformaci Evropy na klimaticky neutrální kontinent do roku 2050. Cílem této iniciativy je snižování emisí skleníkových plynů, podpora udržitelného hospodářského růstu, ochrana přírodních ekosystémů a zlepšení kvality života pro všechny obyvatele EU. Zelená dohoda zahrnuje opatření napříč různými oblastmi, jako je energetika, doprava, průmysl, zemědělství a biodiverzita, s důrazem na rozvoj obnovitelných zdrojů energie, energetickou účinnost, cirkulární ekonomiku a snižování znečištění. Klíčovými nástroji pro dosažení těchto cílů jsou legislativní změny, investice do výzkumu a inovací, podpora udržitelných technologií a infrastruktury a spravedlivá transformace.

Energetická transformace a dekarbonizace je v rámci Zelené dohody pro Evropu řešením v rámci cílů zaměřených na „podporu účinného využívání zdrojů prostřednictvím přechodu na čisté oběhové hospodářství, zabránění ztrátě biologické rozmanitosti a snížení znečištění.“ V této souvislosti mise reflektuje především strategické směry stanovené Novou průmyslovou strategií pro Evropu¹⁶ a Novým akčním plánem pro oběhové hospodářství: čistší a konkurenceschopnější Evropa¹⁷.

Evropský průmysl prochází rychlou transformací. Dochází k výraznému odklonu od výrobků ke službám a od výhradního ke sdílenému vlastnictví výrobků a služeb. Tlak na přírodní zdroje již způsobuje příklon k více oběhovému způsobu výroby. Nové technologie umožňují využít možností lokalizace výroby do oblastí spotřeby produktů a tím i navrácení výroby v některých odvětvích zpět do EU.

Pro zajištění udržitelné konkurenceschopnosti průmyslové výroby je zapotřebí zajistit dodávky čisté a dostupné energie a surovin. Proto je nezbytné nasměrovat investice do výzkumu, vývoje a inovací do oblastí, které napomohou vyvinout nové výrobní procesy, které budou energeticky efektivní a méně náročné na spotřebu primárních surovin. Důležitou roli ve snížení spotřeby primárních surovin má oběhové hospodářství v průmyslu, které si klade za cíl udržet hodnotu výrobků, materiálů a zdrojů tak dlouho v ekonomickém cyklu, jak je to jen možné. Rozšíření oběhového hospodářství bude rozhodujícím příspěvkem k dosažení klimatické neutrality do roku 2050 a oddělení hospodářského růstu od využívání zdrojů.

3.2 Národní politické a strategické cíle

Naplňování strategických cílů ČR v oblasti ochrany klimatu, cirkulární ekonomiky, rozvoje energetiky a dalších koncepcí budou určující pro realizaci energetické transformace, včetně realizace opatření směřujících k dekarbonizaci výroby. Níže jsou uvedeny vybrané strategické cíle, které tvoří kontextový rámec pro plnění aktivit v této oblasti.

¹⁵ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

¹⁶ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_1884

¹⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>

Tabulka 1: Vybrané národní strategické cíle pro oblast dekarbonizace energetiky

Politika/Strategie	Strategický cíl
Politika ochrany klimatu v ČR/Národní plán ¹⁸ snižování emisí	Snížit emise ČR do roku 2030 alespoň o 44 Mt CO ₂ ekv. v porovnání s rokem 2005
	Směřovat k indikativní úrovni 70 Mt CO ₂ ekv. vypouštěných emisí v roce 2040
	Směřovat k indikativní úrovni 39 Mt CO ₂ ekv. vypouštěných emisí v roce 2050
Státní energetická koncepce ¹⁹	Do roku 2040 ztrojnásobit míru oběhového využití materiálu ve srovnání s úrovněmi roku 2017
	Významné zvýšení využití odpadů v zařízeních na energetické využívání odpadů s cílem dosáhnout až 100 % využití spalitelné složky odpadů po jejich vytřídění do roku 2024.
	Zajistit do roku 2025 dostatečnou kapacitu a flexibilitu v distribučních soustavách pro splnění požadavků na připojení obnovitelných zdrojů
	Podporovat rozvoj jaderné energetiky jako jednoho z pilířů výroby elektřiny. S cílovým podílem jaderné energetiky na výrobě elektřiny okolo 50 % a s maximalizací dodávek tepla z jaderných elektráren.
Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu ²⁰	Dosáhnout v roce 2030 spotřeby primárních energetických zdrojů na úrovni 1 735 PJ, konečné spotřeby energie na úrovni 990 PJ a energetické intenzity hrubého domácího produktu na úrovni 0,157 MJ/Kč.
	Dosáhnout do roku 2030 podílu obnovitelných zdrojů energie na hrubé konečné spotřebě energie na úrovni 22 %.
	Zvýšit míru diverzifikace energetického mixu.
	Dosáhnout do roku 2030 kumulovaných úspor energie ve výši 462 PJ.
Strategický rámec cirkulární ekonomiky České republiky 2040 ²¹	České firmy zavádějí v maximální možné míře nové výrobní metody využívající nejmodernější technologie k cirkulárnímu navrhování a udržitelné výrobě produktů.
	Suroviny jsou v České republice optimálně využívány, druhotné suroviny se standardně používají v ekonomice a primární suroviny se používají pouze tam, kde je to nezbytně nutné. České firmy soutěží v oblasti ekologických inovací a digitálních technologií na světových trzích. Investováním do oběhového hospodářství zvyšuje český průmysl konkurenceschopnost a snižuje závislost na zdrojích a náklady.
	Potenciál bioekonomiky je v České republice využíván v maximální míře v rámci oběhového hospodářství.

¹⁸ https://www.mzp.cz/cz/politika_ochrany_klimatu_2017

¹⁹ <https://www.mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/aktualizace-statni-energeticke-koncepcie-sek--279668/>

²⁰ <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/aktualizace-vnitrostatniho-planu-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--277532/>

²¹ [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_20211213_Vlada-schvalila-Cirkularni-Cesko_2040/\\$FILE/Cirkul%C3%A1rn%C3%AD%20%C4%8Cesko_2040_web.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_20211213_Vlada-schvalila-Cirkularni-Cesko_2040/$FILE/Cirkul%C3%A1rn%C3%AD%20%C4%8Cesko_2040_web.pdf)

	Cirkulární obchodní modely jsou podporovány ve výrobě a spotřebě produktů a služeb v České republice. Spotřebitelé se orientují na udržitelnou spotřebu cirkulárních produktů na základě relevantních informací. České firmy jsou zapojeny do špičkových služeb v hodnotovém řetězci v oblasti výzkumu a vývoje, a to i v mezinárodním měřítku. Část státního financování výzkumu a vývoje je vyčleněna konkrétně na projekty související s cirkulární ekonomikou a programy výzkumu a vývoje. Digitalizace zásadně napomáhá oběhovému hospodářství v České republice. Přechodem na oběhové hospodářství se do roku 2040 vytvoří minimálně 50 tisíc pracovních míst (přibližně 1 % současné zaměstnanosti). Cirkulární ekonomika jako koncept je stabilně začleněna do celého vzdělávacího systému.
Strategie resortu ministerstva zemědělství s výhledem do roku 2030 ²²	Zvýšit o 20 % energetické využití zemědělské biomasy (včetně energetických plodin a rychle rostoucích dřevin) a především statkových hnojiv, vedlejších produktů ŽV a biologicky rozložitelných odpadů v rámci OZE při zachování strategické úrovně produkce pro potravinářské využití
Národní politika VaVal ČR 2021+ (Opatření 27) ²³	Redefinice Národních priorit orientovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (NPOV) – podpora specifických výzkumných programů relevantních pro oblasti definovaných hrozeb s celospolečenským dopadem (např. environmentální změny).
Koncepce environmentální bezpečnosti 2021-2030 s výhledem do 2050 ²⁴	Posílit výzkum a návrh nových materiálů, technologií a řídicích procesů ke snížení antropogenních rizik souvisejících s transformací ekonomiky k cirkulární, klimaticky neutrální a digitalizované
Vodíková strategie ČR ²⁵	Zvýšit objem výroby nízkouhlíkového vodíku (VS ČR), (předpoklad výroby v ČR v roce 2030 101 tis. t vodíku/rok) Analyzovat možnosti uplatnění jaderných zařízení při výrobě nízkouhlíkového vodíku v ČR, do 2024 Analýza možností výroby vodíku ze zemního plynu a na ni navazujících procesů, do 2026

Zdroj: Vlastní zpracování

²² <https://mze.gov.cz/public/portal/mze/ministerstvo-zemedelstvi/koncepce-a-strategie/strategie-resortu-ministerstva-1>

²³ <https://vyzkum.gov.cz/FrontClanek.aspx?idsekce=913172>

²⁴ [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_bezpecnost/\\$FILE/OBKR-koncepce_environmentalni_bezpecnosti%202021_2030_2050_cz-20210916.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_bezpecnost/$FILE/OBKR-koncepce_environmentalni_bezpecnosti%202021_2030_2050_cz-20210916.pdf)

²⁵ <https://www.mpo.gov.cz/cz/prumysl/strategicke-projekty/vodikova-strategie-cr-aktualizace-2024-schvalena-vladou--282165/>

4 Evropská legislativa a směrnice pro oblast dekarbonizace

Rámec pro politiky EU v oblasti klimatu a energetiky byl přijat závěry Evropské rady z října 2014²⁶. Přijaté cíle v oblastech obnovitelných zdrojů a energetické účinnosti byly následně navýšeny v roce 2018. EU se tak do roku 2030 zavázala ke snížení emisí skleníkových plynů o alespoň 40 % oproti roku 1990, k dosažení podílu obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě ve výši 32 % a ke zvýšení energetické účinnosti o 32,5 %. Cíl snížení emisí skleníkových plynů se dále rozpadá na závazek snížení emisí o 43 % oproti roku 2005 v systému EU ETS a snížení emisí v odvětvích mimo EU ETS o 30 % oproti roku 2005.

K naplnění těchto cílů by měla sloužit reforma systému EU ETS provedená prostřednictvím směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/410 ze dne 14. března 2018²⁷, kterou se mění směrnice 2003/87/ES, a nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/842 ze dne 30. května 2018 o závazném každoročním snižování emisí členskými státy v období 2021–2030. Revize směrnice 2003/87/ES o EU ETS upravuje systém pro další, již čtvrté, obchodovací období. Revize směrnice má primárně za úkol posílit systém EU ETS tím, že zavádí takzvanou rezervu tržní stability, každoročně rychleji snižuje počet povolenek v oběhu, nadále zajišťuje volnou alokaci povolenek pro odvětví, u kterých existuje riziko úniku uhlíku, a mimo jiné zavádí také nové mechanismy financování nízkoe emisního rozvoje – Inovační²⁸ a Modernizační²⁹ fond. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/841 ze dne 30. května 2018³⁰ zahrnuje do rámce politiky v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030 rovněž emise a propady skleníkových plynů z využívání půdy, změn ve využívání půdy a lesnictví (LULUCF).

S prováděním rámce do roku 2030 rovněž úzce souvisí legislativní předpisy zveřejněné v rámci balíčku „Čistá energie pro všechny Evropany“³¹, a to zejména následující právní předpisy.

4.1 Směrnice o obchodování s emisemi (EU ETS)

Systém EU pro obchodování s emisemi (EU ETS)³² je hlavním nástrojem EU pro snižování průmyslových emisí CO₂. Směrnice 2003/87/ES zavádí tento systém, který stanovuje stropy pro emise a umožňuje obchodování s emisními povolenkami. EU ETS pokrývá více než 11 000 průmyslových zařízení a leteckých provozovatelů v 31 zemích, což z něj činí největší systém svého druhu na světě. Tento systém pomáhá firmám snížit emise nákladově efektivním způsobem a zároveň podporuje inovace v nízkouhlíkových technologiích.

²⁶ <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>

²⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0410>

²⁸ <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/inovacni-fond/>

²⁹ <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/>

³⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX%3A32018R0841>

³¹ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP_16_4009

³² <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/eu-emissions-trading-system.html>

4.2 Směrnice o obnovitelných zdrojích energie (RED II)

Směrnice (EU) 2018/2001³³, známá jako RED II, stanoví závazné cíle pro podíl obnovitelné energie v energetickém mixu členských států do roku 2030. Cílem je dosáhnout 42,5% podílu obnovitelných zdrojů energie na celkové spotřebě energie v EU. Směrnice také obsahuje separátní cíl zajištění minimálního podílu energie z obnovitelných zdrojů, resp. minimálního snížení emisí skleníkových plynů v sektoru dopravy.

4.3 Směrnice o energetické účinnosti (EED)

Směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti³⁴ stanoví požadavky na zvyšování energetické účinnosti a stanovuje povinnosti pro členské státy v oblasti úspor energie. Aktualizace této směrnice stanoví cíle pro snížení energetické spotřeby do roku 2030. Členské státy musí přijmout národní akční plány energetické účinnosti, které obsahují konkrétní opatření a politiky na zlepšení energetické účinnosti v různých sektorech, včetně průmyslu, dopravy a budov.

5 Národní legislativa a směrnice pro oblast dekarbonizace

5.1 Zákon o ochraně ovzduší

Zákon č. 201/2012 Sb.³⁵, o ochraně ovzduší, je klíčovým právním předpisem orientovaným na snižování znečištění ovzduší. Zákon se zaměřuje především na ochranu kvality vnějšího ovzduší v troposféře, na snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot v dopravě, na smogové situace, zavádí nízkoemisní zóny a individuální přístup k provozovatelům stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Stanovuje povinnosti pro provozovatele stacionárních zdrojů znečištění, zavádí systém obchodování s emisními povolenkami a obsahuje strategie ke snižování emisí z automobilové dopravy.

5.2 Energetický zákon

Zákon č. 458/2000 Sb.³⁶, energetický zákon, upravuje podmínky podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích. Tento zákon podporuje rozvoj obnovitelných zdrojů energie a zvyšování energetické účinnosti. Stanovuje pravidla pro trh s elektřinou a plynem, zahrnuje opatření na ochranu spotřebitelů a podporuje investice do modernizace energetické infrastruktury. Energetický zákon také definuje rámec pro provozování přenosových a distribučních sítí a zavádí požadavky na bezpečnost dodávek energie.

³³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>

³⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0027>

³⁵ <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-382?text=Z%C3%A1kon%20%C4%8D.%20201%2F2012%20Sb.>

³⁶ <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-469>

5.3 Zákon o podpoře obnovitelných zdrojů energie

Zákon č. 165/2012 Sb.³⁷, o podporovaných zdrojích energie, se zaměřuje na podporu výroby energie z obnovitelných zdrojů prostřednictvím dotací, investičních pobídek a výkupních cen. Tento zákon stanovuje podmínky pro získání podpory a cíle pro růst podílu obnovitelných zdrojů v energetickém mixu ČR. Podpora zahrnuje různé formy financování, jako jsou zelené certifikáty a garantované výkupní ceny, které mají za cíl usnadnit investice do solární, větrné, vodní a biomasy energie.

6 Národní strategie a plány v ČR relevantní pro oblast dekarbonizace

6.1 Národní plán obnovy a odolnosti

Národní plán obnovy a odolnosti (NPO)³⁸ zahrnuje investice a reformy zaměřené na podporu dekarbonizace a přechod na udržitelnou energetiku. Tento plán zahrnuje investice do obnovitelných zdrojů energie, modernizaci energetické infrastruktury a podporu inovací v oblasti energetiky. NPO rovněž obsahuje opatření na zvýšení energetické účinnosti a podporu udržitelných dopravních systémů. Cílem je nejen snížit emise CO₂, ale také podpořit ekonomický růst a vytvořit nová pracovní místa v zelených odvětvích.

6.2 Vnitrostátní klimaticko-energetický plán

Vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu (VPEK)³⁹ shrnuje cíle a opatření v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030, včetně snižování emisí, zvyšování podílu obnovitelných zdrojů a zlepšování energetické účinnosti. Plán je v souladu s evropskými cíli a zahrnuje specifická opatření na podporu dekarbonizace, jako je podpora pro obnovitelné zdroje energie, zvýšení energetické účinnosti budov a rozvoj nízkoemisní dopravy. VPEK také zahrnuje národní cíle pro snižování emisí skleníkových plynů a zajišťuje pravidelné monitorování a hodnocení pokroku.

6.3 Aktualizovaná Státní energetická koncepce

Státní energetická koncepce (SEK)⁴⁰ definuje dlouhodobé cíle a priority energetické politiky ČR do roku 2040, zaměřené na zvýšení energetické bezpečnosti, udržitelnosti a konkurenceschopnosti energetiky, včetně rozvoje obnovitelných zdrojů a zvýšení energetické účinnosti. SEK zahrnuje opatření na diverzifikaci energetických zdrojů, podporu výzkumu a vývoje nových technologií a zajištění spolehlivých dodávek energie. Koncepce také reflektuje

³⁷ <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-382>

³⁸ <https://www.planobnovy.cz/>

³⁹ <https://mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2024/12/Vnitrostatni-plan-Ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu-prosinec-2024.pdf>

⁴⁰ <https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Statni-energeticka-koncepce-2015.pdf>

závazky ČR vůči EU a globální klimatické cíle, čímž přispívá k celkové dekarbonizaci hospodářství. V současné době probíhá aktualizace SEK.

6.4 Dlouhodobá strategie renovací budov

Dlouhodobá strategie renovací budov⁴¹ obsahuje zhodnocení fondu budov v ČR v rezidentním a nerezidentním sektoru, metodiku stanovení úspory energie pro modelování scénářů renovace budov, scénáře možného vývoje renovace fondu budov s orientačními milníky pro roky 2030, 2040 a 2050, volbu scénáře vývoje renovace budov naplňovaného Českou republikou v následujícím období, zhodnocení bariér v rezidentním, soukromém i veřejném sektoru a strategii ČR na podporu realizace optimálního scénáře.

6.5 Zpráva o pokroku v oblasti plnění vnitrostátních cílů energetické účinnosti v ČR

Směrnice o energetické účinnosti ukládala členským státům každoročně vypracovat zprávu o pokroku dosaženém při plnění cílů a závazků energetické účinnosti. Zpráva⁴² tak každoročně poskytuje základní statistické údaje, sledování pokroku a průběžný nástin plnění cílů a závazků uložených směrnicí o energetické účinnosti do roku 2020.

7 Další nástroje relevantní pro řešení dekarbonizace

7.1 Evropské nástroje

7.1.1 Fit for 55

Balíček Fit for 55⁴³ je soubor legislativních návrhů představených Evropskou komisí v roce 2021, jejichž cílem je snížit emise skleníkových plynů o 55 % do roku 2030 ve srovnání s úrovněmi z roku 1990. Obsahuje návrhy na revizi stávajících směrnic, včetně EU ETS, a nové iniciativy na podporu obnovitelných zdrojů a energetické účinnosti. Balíček zahrnuje také opatření na podporu čisté mobility, energetické účinnosti budov a udržitelného využívání půdy. Tyto iniciativy mají za cíl urychlit přechod na nízkouhlíkové hospodářství a zajistit, že EU splní své závazky vyplývající z Pařížské dohody.

7.1.2 Horizont Evropa

Podporu energetické transformace a snižování emisní náročnosti ekonomiky posilují také vybrané strategické priority programu Horizont Evropa (HEU). Jedná se zejména o misi

⁴¹ https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/energeticka-ucinnost/strategicke-dokumenty/2020/6/20_III_dlouhodob%C3%A1_strategie_renovac%C3%AD_20200520_schvalene.pdf

⁴² <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/strategicke-dokumenty/zprava-o-pokroku-v-oblasti-plneni-vnitrost%C3%A1tn%C3%ADch-c%C3%ADl%C3%BD-energeticke-ucinnosti-v-cr--172771/>

⁴³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4754

„Klimaticky neutrální a inteligentní města“⁴⁴, v rámci které je podporován vývoj inovativních řešení pro klimaticky neutrální způsob výroby a spotřeby energií a surovin ve městech i venkovských oblastech. Zároveň jsou v rámci této mise podporovány rozsáhlé výzkumné a inovační činnosti pro vývoj, testování, demonstraci a rozšiřování inovativních řešení pro klimatickou neutralitu ve městech napříč odvětvími, což urychlí schopnost měst dosáhnout klimatické neutrality a pomůže městům stát se centry zaměřenými na rozšiřování inovativních řešení v různých odvětvích ekonomiky.

Strategický plán Horizontu Evropa⁴⁵ má fungovat jako spojovací článek mezi hlavními politickými prioritami Evropské unie a výzkumnými a inovačními aktivitami programu Horizont Evropa, jež jsou stanoveny v jeho pracovních programech. Dokument definuje tři hlavní strategické směry pro financování výzkumu a inovací v EU pro roky 2025-2027: zelená transformace, digitální transformace a odolnější, konkurenceschopnější, inkluzivnější a demokratičtější Evropa. Tyto směry se soustředí na řešení klíčových globálních výzev, jako je zachování biologické rozmanitosti, digitální transformace, změna klimatu nebo stárnutí populace. V této souvislosti reflektuje Strategický plán prioritní témata výzkumu a inovací v oblasti energetické transformace minimálně v následujících třech klastrech:

Klaster 4 (Digitalizace, průmysl a vesmír)

Výzkum a inovace v Klasteru 4 přispěje k transformaci průmyslových odvětví EU, aby se do roku 2050 staly klimaticky neutrálními, neznečišťujícími, energeticky účinnými a globálně konkurenceschopnými. Toho bude dosaženo prostřednictvím digitalizace, průlomových technologií a inovativních řešení, nových obchodních modelů a zajištění bezpečného a udržitelného získávání surovin. Výzkum významně přispěje ke zvýšení energetické účinnosti a snižování uhlíkové stopy a spotřeby zdrojů pro digitální a elektronické technologie a k efektivnímu využití těchto technologií pro optimalizaci výrobních procesů v ostatních průmyslových odvětvích. Podpora oběhového hospodářství, digitalizace průmyslu a klimatické neutrality energeticky náročných průmyslových odvětví bude mít pro tuto průmyslovou transformaci zásadní význam. Klaster 4 přispěje k udržitelnému zásobování klimaticky neutrálními materiály, výrobky i inteligentními technologiemi a dále k zavádění udržitelných systémů mobility a monitorování atmosféry prostřednictvím vesmírných služeb a dat z programů Copernicus a Galileo/Evropského geostacionárního navigačního systému (EGNOS).

Klaster 5 (Klima, energetika, mobilita)

Výzkum a inovace v klasteru 5 přispěje k dosažení cílů v oblasti klimatu a nulového znečištění v odvětví energetiky a dopravy při zachování jejich vedoucího postavení v

⁴⁴ <https://www.horizontevropa.cz/cs/struktura-programu-he/mise/klimaticky-neutralni-chytra-mesta/informace>

⁴⁵ <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/6abcc8e7-e685-11ee-8b2b-01aa75ed71a1>

konkurenceschopnosti. Podpora se zaměří na průřezová řešení pro zajištění dodávek čistší energie s nižšími náklady, řešení pro zvládnutí přerušovaných dodávek energie a skladování energie, inteligentnější propojení průmyslových zařízení na energetické systémy, konkurenceschopnější a ekologičtější dopravu, jakož i inteligentnější a ekologičtější dopravu.

Klastr 6 (Potraviny, bioekonomika, přírodní zdroje, zemědělství a životní prostředí)

Klastr 6 pomůže lépe pochopit a využít potenciál ekosystémů a systémů primární produkce pro zmírňování změny klimatu a přizpůsobení se této změně, mimo jiné prostřednictvím zachování a dalšího zvyšování přirozených propadů uhlíku, jakož i monitorování a pozorování životního prostředí. Klastr bude podporovat oběhové hospodářství s nulovými emisemi uhlíku, jakož i inovace, které zajistí udržitelné a klimaticky inteligentní zemědělství a lesnictví, a také oběhový klimaticky neutrální, udržitelný bio-průmysl, který poskytuje materiály a výrobky na bázi biologických materiálů s nízkou ekologickou stopou, zabraňuje a zmírňuje dopady znečištění, včetně znečištění plasty. Výzkum a inovace podpoří přechod na klimaticky neutrální, udržitelnou a produktivní „modrou“ ekonomiku, včetně prosperující akvakultury, rybolovu a nově vznikajících odvětví, jako jsou mořské biotechnologie. Inovativní řešení založená na přírodě uvolní potenciál udržitelného biohospodářství a nahradí fosilní, uhlíkově náročné a škodlivé materiály inovativními, klimaticky neutrálními, biologickými a netoxickými materiály a chemikáliemi. Inovativní řešení, netoxické a oběhové využívání zdrojů a zavádění oběhových systémů přispějí k dosažení nulového znečištění půdy, vody, ovzduší, moří a oceánů.

7.2 Národní nástroje ČR

7.2.1 Modernizační fond

Modernizační fond⁴⁶ je finanční nástroj zaměřený na podporu projektů dekarbonizace v ČR. Tento fond poskytuje finanční prostředky na modernizaci energetických systémů, zvýšení energetické účinnosti a rozvoj obnovitelných zdrojů energie. Fond je financován z výnosů z aukcí emisních povolenek a zahrnuje širokou škálu projektů, od modernizace tepláren po výstavbu nových solárních a větrných elektráren. Modernizační fond má za cíl nejen snížit emise skleníkových plynů, ale také podpořit hospodářský růst a vytvoření nových pracovních míst v zelených odvětvích.

7.2.2 Národní plán čisté mobility

Národní plán čisté mobility⁴⁷ podporuje rozvoj nízkoemisní a bezemisní dopravy v ČR. Plán zahrnuje opatření na podporu elektromobility, výstavbu nabíjecí infrastruktury a rozvoj dalších alternativních pohonů, jako je vodík. Tento plán je součástí širší strategie na podporu udržitelné dopravy, která zahrnuje také opatření na podporu veřejné dopravy, cyklistiky a pěší

⁴⁶ <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/>

⁴⁷ <https://www.mdcr.cz/Media/Media-a-tiskove-zpravy/Vlada-schvalila-aktualizovany-Narodni-akcni-plan-c>

dopravy. Plán zahrnuje finanční podporu pro výzkum a vývoj nových technologií, stejně jako dotace na nákup nízkoemisních vozidel pro veřejný i soukromý sektor.

8 Opatření pro řešení dekarbonizace

8.1 Podpora obnovitelných zdrojů energie

Česká republika podporuje rozvoj obnovitelných zdrojů energie prostřednictvím různých finančních nástrojů, jako jsou dotace, investiční pobídky a výkupní ceny. Důraz je kladen na rozvoj solárních, větrných, vodních a biomasy elektráren. Podpora zahrnuje také výzkum a vývoj nových technologií, které mohou zlepšit účinnost a snížit náklady na výrobu energie z obnovitelných zdrojů. Programy jako Nová zelená úsporám⁴⁸ a Operační program životní prostředí⁴⁹ poskytují finanční prostředky na projekty, které přispívají k dosažení národních a evropských cílů v oblasti obnovitelné energie.

8.2 Zvyšování energetické účinnosti

Vláda ČR podporuje projekty zaměřené na zvyšování energetické účinnosti v průmyslu, domácnostech a veřejném sektoru. To zahrnuje modernizaci budov, zlepšení izolací, instalaci energeticky účinných spotřebičů a systémů. Program Úspory energie⁵⁰ (realizován v rámci Operačního programu Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost) poskytuje podporu pro energetické audity, rekonstrukce a instalaci moderních technologií. Tyto opatření přispívají k snižování energetické spotřeby a nákladů, zlepšení kvality života a ochrany životního prostředí.

8.3 Elektromobilita a udržitelná doprava

Podpora elektromobility je dalším důležitým prvkem strategie dekarbonizace. Česká republika zavádí opatření na podporu výstavby nabíjecí infrastruktury, poskytování dotací na nákup elektromobilů a podporu výzkumu a vývoje v oblasti bateriových technologií. Programy Operační program Doprava⁵¹ a Národní akční plán čisté mobility⁵² zahrnují investice do infrastruktury a podporu pro veřejné i soukromé subjekty. Tyto iniciativy mají za cíl snížit emise z dopravy, zlepšit kvalitu ovzduší a podpořit rozvoj moderních dopravních řešení.

8.4 Modernizace energetické infrastruktury

Investice do modernizace energetické infrastruktury jsou klíčové pro integraci obnovitelných zdrojů a zajištění spolehlivosti dodávek energie. To zahrnuje modernizaci přenosových a distribučních sítí, výstavbu inteligentních sítí a podporu skladování energie. Modernizační

⁴⁸ <https://novazelenausporam.cz/>

⁴⁹ <https://opzp.cz/>

⁵⁰ <https://www.prehleddotaci.cz/operacni-program/optak/uspora-energie/>

⁵¹ <https://opd3.opd.cz/Pages/Home.aspx>

⁵² <https://www.planobnovy.cz/06-09-2024-narodni-akcni-plan-ciste-mobility>

fond⁵³ a další finanční nástroje poskytují prostředky na projekty zaměřené na posílení energetické bezpečnosti, zlepšení energetické účinnosti a podporu inovací. Modernizovaná infrastruktura umožňuje efektivnější integraci decentralizovaných zdrojů energie a přispívá k celkové dekarbonizaci energetického sektoru.

9 Technologická řešení dekarbonizace

Hlavní aktivity technologického vývoje v oblasti dekarbonizace se soustředí do čtyř oblastí.

- 1) Obnovitelné zdroje energie: Vývoj technologií pro obnovitelné zdroje energie, jako jsou solární, větrná, vodní a geotermální energie, se v posledních letech výrazně zrychlil. Tyto technologie se stávají stále dostupnějšími a efektivnějšími, a proto hrají klíčovou roli v dekarbonizaci energetického sektoru.
- 2) Úspora energie: Nové technologie pro úsporu energie v budovách, průmyslu a dopravě umožňují snižovat spotřebu energie bez nutnosti snižovat komfort nebo produktivitu. Patří sem například chytré sítě, energeticky efektivní spotřebiče a hybridní a elektrická vozidla.
- 3) Ukládání energie: Technologie pro ukládání energie, jako jsou baterie a akumulátory, jsou nezbytné pro integraci obnovitelných zdrojů energie do energetického systému. Umožňují ukládat energii vyrobenou v době nadbytku a využívat ji v době nedostatku.
- 4) Zachycování a skladování uhlíku (CCS): CCS je technologie, která umožňuje zachycovat emise uhlíku ze zdrojů, jako jsou elektrárny a průmyslové závody, a ukládat je pod zemí. CCS má potenciál hrát důležitou roli v dekarbonizaci těžkého průmyslu, kde je obtížné snižovat emise jinými způsoby.

Technologický vývoj v oblasti dekarbonizace přináší významné změny v hospodaření s energií a surovinovými zdroji. Jedním z hlavních dopadů je snížení závislosti na fosilních palivech, jako jsou ropa, uhlí a zemní plyn, což vede k diverzifikaci energetických zdrojů a posiluje energetickou bezpečnost. Kromě toho vývoj nových technologií otevírá nové trhy a vytváří pracovní příležitosti, zejména v oblastech výroby, instalace a údržby technologií pro obnovitelné zdroje energie, úspory energie a zachycování a ukládání uhlíku (CCS). Tento technologický posun zároveň způsobuje změny v těžebním průmyslu. I když dochází ke snižování poptávky po fosilních palivech, což negativně ovlivňuje tento sektor, otevírají se nové příležitosti v těžbě surovin potřebných pro výrobu obnovitelných technologií a CCS systémů. Tento vývoj není jen technický, ale má i politické a strategické důsledky. Potřeba investic do výzkumu a vývoje technologií je kritická pro jejich rychlejší pokrok a komercializaci, což vyžaduje spolupráci mezi vládami, soukromým sektorem a mezinárodními organizacemi⁵⁴.

Dekarbonizace je globální výzvou, kterou nelze řešit izolovaně. Spolupráce mezi státy a mezinárodními organizacemi je nezbytná pro vývoj a implementaci politik, které tento proces podporují. Je důležité, aby byla zajištěna spravedlivá transformace, která pomůže regionům a odvětvím nejvíce zasaženým přechodem na čistou energii. Toto vyžaduje jasné politické

⁵³ <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/>

⁵⁴ https://v4decarb.org/cs/publications/dekarbonizaceceskehozvezkehooprumsylu_2023-pdf/

vedení a konkrétní opatření, která zajistí, že nikdo nezůstane pozadu. Rozhodnutí Evropské unie o přerušení závislosti na ruské energetice, vyvolané válkou na Ukrajině, společně s americkým zákonem o snížení inflace (Inflation Reduction Act⁵⁵) změnily dynamiku toho, jak EU přistupuje ke klimatickým opatřením na mezinárodní úrovni. I když se dekarbonizace jeví jako nesmírně složitá výzva, technologický pokrok nám dává potřebné nástroje pro její zvládnutí, a společným úsilím lze vytvořit udržitelnější budoucnost.

Jednou z hlavních oblastí, kde se dekarbonizace prosazuje, je zlepšování energetické účinnosti a modernizace infrastruktury. Investice do energetiky, renovace budov a nízkouhlíkových technologií jsou klíčové pro dosažení tohoto cíle. S postupným zvyšováním energetické účinnosti do roku 2030 by měla klesnout konečná spotřeba energie v EU přibližně o 36 %, přičemž podíl energie z obnovitelných zdrojů by měl dosáhnout 65 %. Kromě toho se emise z výroby elektřiny sníží o 60 %, což bude mít pozitivní vliv nejen na ekonomiku, ale i na kvalitu ovzduší a životní prostředí. Tento přechod ke stále většímu využívání obnovitelných zdrojů energie bude doprovázen masivními investicemi do modernizace infrastruktury a změnami ve spotřebitelském chování⁵⁶.

Snahy o zvýšení energetické účinnosti se neomezují pouze na výrobu a distribuci energie, ale rozšiřují se také na oblasti vytápění a chlazení. Moderní systémy nízkoteplotního dálkového vytápění a vysoce účinná kombinovaná výroba tepla a elektřiny se stávají prioritou, přičemž se postupně zpřísňují kritéria pro využívání obnovitelných zdrojů. Podobně je kladen důraz na zlepšení energetické účinnosti budov. Renovace budov, instalace solárních panelů a využívání geotermální energie a tepelných čerpadel jsou klíčové kroky k dosažení vyšších energetických úspor a snížení emisí.

V oblasti dopravy je zaměření na elektrifikaci a podporu udržitelných alternativních paliv. Iniciativy jako ReFuelEU Aviation a FuelEU Maritime⁵⁷ mají za cíl snížit emise z letectví a námořní dopravy. Elektromobilita je dalším důležitým prvkem tohoto přechodu, přičemž výzkum a vývoj bateriových technologií a budování rychlonabíjecí infrastruktury hrají klíčovou roli. Do roku 2030 by se podíl obnovitelných zdrojů energie v dopravě měl zvýšit na 24 %, což spolu s rychlým růstem prodeje elektromobilů a rostoucí rolí vodíku v těžké dopravě povede ke snížení emisí v tomto odvětví.

Dekarbonizace si rovněž vyžaduje investice do nových technologií a podporu inovací v průmyslu. Snížení emisí z průmyslu o 25 % do roku 2030 bude vyžadovat zavedení technologií s nulovými emisemi, jako je zachycování a ukládání uhlíku nebo vodíkové technologie⁵⁸. Podobně se bude klást důraz na omezení emisí metanu, především v energetickém sektoru. Průmyslové odvětví musí zavést přísné standardy pro měření a snižování těchto emisí, aby dosáhlo stanovených cílů.

Zemědělství hraje také klíčovou roli při odstraňování CO₂ z atmosféry. Udržitelné lesnictví, obnova mokřadů a výsadba stromů, stejně jako inovativní agroekologické postupy, mohou

⁵⁵ <https://home.treasury.gov/policy-issues/inflation-reduction-act>

⁵⁶ <https://eur-lex.europa.eu/CS/legal-content/summary/energy-efficiency-from-2025.html>

⁵⁷ <https://www.consilium.europa.eu/cs/infographics/fit-for-55-refueleu-and-fueleu>

⁵⁸ <https://cs.renovablesverdes.com/dekarbonizace/>

výrazně přispět k tomuto úsilí. Pěstování biomasy a zavádění nových ekologických technik, jako je agroforestry a permakultura, mají potenciál výrazně snížit uhlíkovou stopu zemědělství.

Technologie obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární a větrné elektrárny, společně s pokroky v energeticky úsporných systémech, jsou klíčové pro dosažení klimatických cílů. Inovace v oblasti skladování energie, především prostřednictvím nových typů baterií, jako jsou lithium-iontové a solid-state baterie, a vodíkových technologií, zajišťují vyšší stabilitu energetických sítí a efektivnější využití obnovitelných zdrojů.

Dekarbonizace tak představuje zásadní krok k vytvoření udržitelné budoucnosti, přičemž technologie, investice a politická podpora jsou nezbytnými prvky pro její úspěch.

10 Metodika identifikace nových technologií pro dekarbonizaci

10.1 Zdroje dat

Pro zpracování analýz byla využita aktuální statistická data a další údaje z veřejně dostupných databází a informačních zdrojů i z placených databází, ke kterým má TCP zajištěn přístup. Mezi nejvýznamnější zdroje využitě při řešení tohoto výstupu patří:

- Centrální evidence projektů Informačního systému výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (CEP IS VaVal)⁵⁹.
- Rejstřík informací o výsledcích Informačního systému výzkumu, experimentálního vývoje a inovací (RIV IS VaVal)⁶⁰.
- Informační databáze Evropské komise e-CORDA (COmmon Research DAatawarehouse) o projektech podpořených v rámcových programech EU (e-CORDA)⁶¹.
- Databáze publikací Clarivate Analytics Web of Science (WoS)⁶².
- Databáze patentových přihlášek Evropského patentového úřadu PATSTAT (EPO Worldwide Patent Statistical Database) publikovaná na podzim roku 2023⁶³.
- Další akademické zdroje (popsané níže).

Pro identifikaci nových technologií pro dekarbonizaci v datových zdrojích byl využit soubor klíčových slov a sousloví a jejich logických kombinací. Klíčová slova a sousloví v anglickém jazyce byla vyhledávána v názvech a abstraktech projektů, publikací a patentových přihlášek. V případě projektů byla tato slova a sousloví také vyhledávána v klíčových slovech zadaných jejich navrhovateli.

⁵⁹ <https://www.isvavai.cz/>

⁶⁰ <https://www.isvavai.cz/>

⁶¹ e-CORDA, DG Research and Innovation, European Commission

⁶² <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-discovery-and-workflow-solutions/webofscience-platform/>

⁶³ <https://www.epo.org/en/searching-for-patents/business/patstat>

Klíčová slova využitá pro vyhledávání vycházejí z informací o problematice dekarbonizace a progresivních technologií v odborných studiích, analýzách a dalších dokumentech, které charakterizují zkoumanou oblast. Základ tvoří klíčová slova, která byla využita v technologicky zaměřených analýzách zpracovaných TCP v minulosti.

Při návrhu klíčových slov bylo snahou, aby záznamy nalezené v databázích pokrývaly maximální část dané problematiky, a zároveň obsahovaly minimální počet „falešných“ záznamů, které nesouvisí s danou problematikou. Z tohoto důvodu byly výběry prověřeny na náhodně vybraných záznamech s využitím chatbotu Chat GPT v placené verzi a klíčová slova byla podle jejích výsledků modifikována. Z kontroly náhodně vybraných záznamů vyplývá, že podíl chybných záznamů je menší než 10 % (v většině případů pod 5 %). Nastavení relativně přísných podmínek výběru však může způsobit, že výběr záznamů nemusí pokrývat danou problematiku zcela kompletně. Z tohoto důvodu je nutné brát porovnávání absolutních hodnot s jistou rezervou.

10.2 Metodický přístup k identifikaci progresivních technologií

Pro analýzu a vyhodnocení nastupujících směrů trendů v progresivních technologiích v oblasti dekarbonizace byly využity dvě metody – vyhodnocení vývoje výskytu slov a sousloví charakterizujících progresivní technologie v patentových přihláškách, vědeckých článcích a projektových návrzích a vyhodnocení současných témat v technologicky zaměřených médiích.

Při vyhodnocení vývoje výskytu slov/sousloví byla v patentových přihláškách, vědeckých článcích a projektových návrzích explorativní metodou identifikována slova a sousloví, která jsou pro dekarbonizaci významově nosná, a zároveň má jejich výskyt dostatečně výraznou intenzitu. U těchto slov a sousloví pak byl zaznamenán počet patentových žádostí, počet vědeckých článků a počet projektových návrhů, ve kterých se v jednotlivých letech vyskytují, dále byly zohledněny meziroční výkyvy výskytu. Výsledné hodnoty byly následně normalizovány proporčním škálováním (normalizovaná intenzita 100 znamená maximální intenzitu výskytu nejčastějšího slova nebo sousloví). Vyhodnocení vývoje výskytu slov/sousloví bylo provedeno v období let 2018 až 2022. Trendy slov a sousloví jsou pouze za indikativní, za změnami v trendu mohou stát nejen technologické důvody, ale i důvody jazykové (např. posun významu s narůstáním složitosti technologie, ústup od užívání některých slov a zkratk, nadužívání momentálně populárních termínů apod.).

V analýze současných témat směřování technologií v oblasti dekarbonizace byly hodnoceny články ve vybraných technologických médiích v období říjen 2023–květen 2024. Jednalo se o technologická média ve čtyřech kategoriích: média z akademické sféry, technologická média, technologické rubriky významných tradičních médií a zprávy ohledně politik EU ve vztahu k technologiím (seznam využitých technologických médií je uveden v seznamu použitých zdrojů), při výběru jednotlivých technologických médií pro analýzu byl kladen důraz nikoli na kvantitu, ale na progresivní přístup vybraného média k technologiím). Za každou kategorii byl vyhodnocen reprezentativní vzorek článků a byla identifikována hlavní témata v těchto

článcích obsažená. Identifikování témat bylo provedeno s pomocí velkého jazykového modelu Gemini 1.5 společnosti Google⁶⁴, který umožňuje vyhodnotit stovky až tisíce článků najednou.

Odhadování provozních (Opex) a investičních (Capex) nákladů na nové technologie pro dekarbonizaci představuje složitý proces. Důvodem je skutečnost, že odhad nákladů na jednotlivé technologie se liší v závislosti na fázi vývoje dané technologie, infrastruktury a specifických potřebách její implementace. Technologie, které jsou v rané fázi výzkumu a vývoje, mohou mít vyšší investiční náklady kvůli nutnosti vývoje prototypů a pilotních projektů. Naopak technologie, které jsou již komerčně dostupné, mohou mít nižší investiční náklady, ale vyšší provozní náklady, pokud vyžadují pravidelnou údržbu nebo výměnu jednotlivých komponent.

Při odhadování nákladů je nutné brát v úvahu nejen přímé náklady, jako jsou ceny materiálů, výstavby a vybavení, ale i nepřímé faktory, jako jsou vývojová rizika, dodavatelské řetězce, změny v cenách surovin a geopolitické vlivy. Tyto faktory se velmi špatně predikují, což činí odhady ještě složitějšími.

Odhad provozních nákladů, které zahrnují údržbu, zaměstnanecké náklady, ceny energií atd., často podléhají dynamice vývoje v různých lokalitách, technologických specifikacích a řízení jednotlivých projektů nebo aplikacích technologie. Provozní náklady jsou navíc často ovlivněny regulacemi a politickými opatřeními v jednotlivých zemích, což zvyšuje nejistotu a činí odhady obtížně odhadnutelné.

Dalším problémem je dostupnost spolehlivých veřejně dostupných informačních zdrojů pro analýzu investičních a provozních nákladů. Globální organizace, jako Mezinárodní energetická agentura, Světová banka, Bloomberg New Energy Finance nebo McKinsey & Company poskytují data, která jsou často agregovaná na globální úrovni, což ne vždy reflektuje regionální rozdíly nebo specifické technologie. Zprávy Evropské komise o klimatické politice poskytují odhady nákladů na jednotlivé technologie v evropském kontextu, data Světové banky jsou často zaměřeny na rozvojové země, což přináší další specifika.

Každý zdroj informací využívá různou metodiku sběru dat o nákladech a odhadu jejich vývoje, což vede k rozdílným výsledkům. McKinsey & Company nebo IEA se často zaměřují na velké makroekonomické přístupy a modely, zatímco data v odborných časopisech se více zaměřují na konkrétní případy nebo malé pilotní projekty. Metodologická různorodost pak přináší bariéry v konsistentním odhadu nákladů na pořízení a provoz technologií.

Celkově je proces odhadování investičních a provozních nákladů nejen komplexní, ale vyžaduje průběžné sledování změn v čase. Aby bylo možné dosáhnout co nejpřesnějších odhadů, je nutné pracovat s různými zdroji dat, přizpůsobovat metodiky a neustále aktualizovat odhady na základě nejnovějších informací a výzkumů. Výsledky odhadu investičních a provozních nákladů na jednotlivé technologie mají proto spíše orientační povahu.

Pro získání podrobnějšího členění investičních a provozních nákladů na identifikované technologie a využitelnost těchto informací pro kvantitativní modelování scénářů dekarbonizace bylo proto nutné využít dalších metodických nástrojů a rozšíření využití datových zdrojů. K tomu byla využita interní databáze vědeckých článků a předplacené

⁶⁴ <https://deepmind.google/technologies/gemini/>

internetové databáze vědeckých článků, ke kterým má TCP přístup. Pro procházení obsahu dostupných vědeckých článků bylo nutné využít pokročilé metody pro sběr a analýzu dat – web scraping a textovou analýzu získaných dat. Web scraping je proces automatizovaného sběru dat z dostupných webových stránek a za využití specializovaných programů jsou extrahována data. Tato technika umožňuje shromažďovat rozsáhlé množství informací o CAPEX a OPEX z různých databází online zdrojů. Následná textová pak slouží k identifikaci relevantních údajů, jejich kategorizaci a interpretaci, což výrazně usnadňuje odhad nákladů mezi různými segmenty technologiemi.

Implementace těchto metod vyžaduje technické znalosti v oblasti programování a zpracování dat, avšak přináší značné výhody v podobě rychlého a efektivního získávání aktuálních informací. Při využívání webu scrapingu je však nutné dbát na právní a etické aspekty, zejména respektování autorských práv a podmínek užívání jednotlivých webových stránek. Správně aplikované techniky web scrapingu a textové analýzy tak umožní přesnější zjišťování informací při odhadu CAPEX a OPEX jednotlivých technologií.

Pro získávání informací z webových zdrojů byl využit programovací jazyk Python a jeho knihovny, zejména Requests, BeautifulSoup a Pandas. Requests umožňuje stahování obsahu webech stránek, resp. článků. BeautifulSoup umožňuje extrakci dat ze souborů HTML a XML podle předem definovaných kritérií. Knihovna Pandas umožňuje převést extrahovaná data do datového rámce a následně je uložit do formátu CSV. Před spuštěním skriptu bylo ověřeno, zda cílová stránka povoluje automatizované stahování dat a zda neporušuje její podmínky užívání. Tento požadavek nebyl nutný pro články uložené v interních databázích. Výstupy této analýzy zjišťování investičních a provozních nákladů jednotlivých technologií jsou podrobně uvedeny v Příloze 1.

10.3 Výsledky identifikace nových technologií pro dekarbonizaci

Výsledky textové analýzy, která byla využita pro identifikaci nových technologií pro dekarbonizaci energetiky a ekonomiky jsou uvedeny v následující tabulce. Identifikované technologie jsou rozděleny do primárních technologických oblastí a dále členěny do specifitějších technologických okruhů. Primární technologické oblasti jsou hlavní témata pro řešení dekarbonizace. Dílčí okruhy technologií představují specifické nástroje pro plnění hlavních technologických oblastí. V tabulce 2 je také naznačen hlavní informační zdroj, v rámci kterého byla technologie identifikována – jedná se o strukturovaná data, resp. databáze a nestrukturovaná data, do kterých spadají různá technologická média.

Tabulka 2: Nové technologie pro dekarbonizaci

Technologická oblast	Dílčí okruhy technologií	Infomační zdroje	
		Patstat, WoS, HE	Technologická média
Renewable Energy and Energy Storage	Solar technology	• photovoltaic cell technologies (silicon-based, thin-film, perovskite) • solar thermal systems	• photovoltaics, • concentrated solar power, • solar fuels • perovskite solar cells • organic solar cells • concentrated solar power (CSP) systems • solar fuels (e.g., hydrogen production via photoelectrochemical water splitting)
	Wind energy	• wind turbine design advancements • offshore wind farms	• wind turbines • offshore wind • floating wind turbines • wind turbine blade design and materials • wind farm control and optimization
	Energy storage	• various battery technologies (Li-ion advancements, beyond Li-ion options like sodium-ion and redox flow batteries) • thermal storage	• battery technologies (Li-ion, solid-state, Na-ion, redox flow) • hydrogen storage and transport • thermal energy storage • hydrogen fuel cells and electrolyzers
Energy Efficiency and Management	Building efficiency unification	• smart technologies • energy-efficient appliances	• energy-efficient and sustainable buildings and cities
	Industrial efficiency synergy	• waste heat recovery • process optimization techniques using AI and machine learning • industrial energy management systems	•
	Transportation efficiency integration	• electric vehicles • charging infrastructure • alternative fuel options like hydrogen and biofuels	• biomass and biowaste for energy generation (biogas, biofuels) • electric vehicles • alternative fuels

Carbon Capture and Utilization	Carbon capture technology integration	• combustion related capture technologies	• methods for capturing and utilizing CO₂ emissions (e.g., absorption, adsorption, membrane separation)
	CO ₂ utilization expansion	• utilizing captured CO₂ for fuel production • chemical synthesis • building materials	• conversion to valuable chemicals and fuels (e.g., methanol, formic acid, methane)
Material Science and Nanotechnology		• novel materials for energy storage conversion • battery materials, catalysts • materials for renewable energy systems	• graphene • MXenes, and other 2D materials for energy storage, catalysis, and Electronics • nanomaterials (nanoparticles, nanowires, nanostructured materials) for improving energy conversion and storage devices • composites and hybrid materials with tailored properties for specific applications • materials with specific functionalities (e.g., self-healing, stimuli-responsive) for advanced applications • various spectroscopic methods • various microscopy techniques
Additional and Emerging Technologies		• nuclear power advancements and nuclear fusion • green hydrogen production • artificial photosynthesis • wireless power transfer • ocean energy, high-altitude platforms	• geothermal, wave energy • biological processes and organisms for energy generation, biomaterials, and environmental remediation • quantum phenomena for improving energy conversion and storage devices and for developing new computing paradigms • 3D Printing, laser technologies for material processing, microfluidic devices for precise control

			and manipulation of fluids and materials at the microscale
Cross-Cutting Themes	Smart Technologies	Artificial Intelligence (AI), Machine Learning (ML), and the Internet of Things (IoT) across various applications	- digital twins, AI and ML, IoT - High-Performance Computing - Blockchain
	Circular Economy	recycling and reusing materials, such as waste materials and retired batteries	resource efficiency, recycling, and waste valorization
	Optimizing Agricultural Practices and Resource Use	sensors, automation, and data analytics	
	Waste Management and Recycling	waste treatment, resource recovery, and reduction of environmental impact	cleaning up pollution and environmental monitoring
	Social Sciences and Humanities		- social acceptance and public engagement - policy and regulatory frameworks - Life Cycle Assessment

Zdroj: Vlastní zpracování

Poznámka: Patstat - EPO Worldwide Patent Statistical Database, WoS - Web of Science/Scopus, HE-Projektové záměry podané do rámcového programu Horizon Europe, Technologická média – odkazy na jednotlivé zdroje jsou uvedené v kapitole 14.

11 Nové technologie pro dekarbonizaci

11.1 Energie z obnovitelných zdrojů a skladování energie

Skupina technologií rozvíjí možnosti výroby energie z obnovitelných zdrojů (slunce, vítr, voda, biomasa), a její následnou akumulaci pro pozdější použití. Primárním cílem technologií v tomto klastru je snížit závislost na fosilních palivech, minimalizovat emise skleníkových plynů a zvýšit stabilitu energetických sítí. Technologie pro akumulaci energie (zejména baterie, setrvačnické nebo vodíkové systémy), hrají klíčovou roli v překonávání výzev proměnlivosti produkce energie z obnovitelných zdrojů tím, že umožňují ukládání přebytků energie v době nadbytku a její využití v obdobích zvýšené poptávky nebo nižší produkce. Popis jednotlivých technologií a odhad jejich pořizovacích a provozních nákladů je uveden v následujících tabulkách.

Tabulka 3: Technologie v oblasti solární energie

Křemíkové články (Silicon-based Photovoltaic Cells) Křemíkové fotovoltaické články jsou nejrozšířenější a nejvyspělejší technologií v oblasti solární energie. Využívají krystaly křemíku k přeměně slunečního světla na elektřinu prostřednictvím fotovoltaického efektu. Tyto články dosahují vysoké účinnosti, často mezi 15 % a 22 %, a jsou známé svou dlouhou životností a spolehlivostí. Výroba těchto článků je nákladnější kvůli vysoké čistotě křemíku, který je potřeba, náklady na pořízení technologie klesají díky masové výrobě a technologickým pokrokům.	Pořizovací náklady: Cena za instalaci křemíkových fotovoltaických systémů se pohybuje mezi 1 000 a 3 000 EUR/kW. Tento rozptyl zahrnuje náklady na panely, inventory, montážní struktury a instalaci. Provozní náklady: Roční provozní náklady na údržbu křemíkových solárních systémů jsou přibližně 0,5–2 % z kapitálových nákladů. Tyto náklady zahrnují monitorování, údržbu a případné opravy, což může znamenat přibližně 10 000–20 000 EUR za MW ročně. TRL 9 (komerčně zralé)
Tenkovrstvé články (Thin-film Photovoltaic Cells) Tenkovrstvé fotovoltaické články představují alternativu k tradičním křemíkovým článkům a jsou vyrobeny z různých materiálů, jako je tellurid kadmia nebo selenid měď-indium-galium. Tyto články jsou flexibilní, lehké a mohou být aplikovány na širokou škálu povrchů, což umožňuje jejich použití v inovativních aplikacích, jako jsou integrované solární střechy nebo přenosné solární zařízení. I když mají obvykle nižší účinnost (kolem 10 % až 12 %) ve srovnání s křemíkovými články, jejich výrobní náklady jsou nižší, proto jsou pro určité aplikace ekonomicky atraktivní.	Pořizovací náklady: Instalace tenkovrstvých fotovoltaických článků se pohybuje mezi 600 a 2 000 EUR/kW. Tenkovrstvé panely mají nižší výrobní náklady než křemíkové, což vede k nižším kapacitním nákladům. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu tenkovrstvých solárních systémů jsou přibližně 0,5–1,5 % z kapitálových nákladů. Tyto náklady jsou nižší než u křemíkových článků kvůli nižším nákladům na materiály a instalaci, což může znamenat přibližně 5 000–15 000 EUR za MW ročně. TRL 8-9 (komerční nasazení)
Perovskitové články (Perovskite Solar Cells) Perovskitové solární články jsou relativně novou a slibnou technologií v oblasti solární energie. Využívají perovskitové krystaly, které mají výjimečné optické a elektrické vlastnosti, umožňující vysokou účinnost konverze slunečního světla na elektřinu, která může dosahovat až 25 %. Tyto články jsou levnější na výrobu než křemíkové,	Pořizovací náklady: Perovskitové solární články jsou stále ve vývojové fázi, ale očekává se, že jejich náklady se budou pohybovat kolem 500–1 500 EUR/kW, jakmile se začnou masově vyrábět. Provozní náklady: Roční provozní náklady jsou zatím těžko odhaditelné kvůli experimentálnímu charakteru technologie. Očekává se, že

protože mohou být vyrobeny při nižších teplotách a z dostupnějších materiálů. Přestože jsou stále v experimentální fázi a jejich dlouhodobá stabilita je předmětem výzkumu, mají potenciál výrazně snížit náklady na solární energii.	budou podobné nebo nižší než u křemíkových článků, přibližně 0,5–1 % z kapitálových nákladů, ale přesné číslo se bude odvíjet od dosažené dlouhodobé stability. TRL 6-7 (rané terénní testování, některé prototypy)
Organické články (Organic Solar Cells) Organické solární články používají organické molekuly nebo polymery k absorpci světla a produkci elektrické energie. Díky své flexibilitě, lehkosti a možnosti hromadné výroby pomocí tiskových technologií jsou snadno aplikovatelné. Tyto články mohou být integrovány do různých povrchů, jako jsou ohebné fólie nebo textilie, což otevírá nové možnosti pro jejich použití v praxi. Účinnost organických solárních článků je nižší než v případě křemíkových článků, obvykle mezi 10 % a 12 %, stejně jako jejich životnost. Tyto negativní vlastnosti však vyvažují nižší náklady na výrobu a ekologičtější výrobní procesy.	Pořizovací náklady: Instalace organických solárních článků se pohybuje kolem 200–1000 EUR/kW. Cena se výrazně liší v závislosti na technologii výroby a aplikaci. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu jsou nižší než u tradičních solárních článků, přibližně 0,5–1 % z kapitálových nákladů, ale mají kratší životnost, což může vyžadovat častější výměny, přibližně 3 000–10 000 EUR za MW ročně. TRL 5 (terénní zkoušky)
Koncentrované solární elektrárny (Concentrated Solar Power Systems) Koncentrované solární elektrárny (CSP) využívají zrcadla nebo čočky k soustředění slunečního světla na malou plochu, čímž vytvářejí vysoké teploty potřebné pro výrobu páry, která pohání turbíny generující elektřinu. Tato technologie může být účinná zejména ve velkých solárních farmách v oblastech s vysokou sluneční intenzitou. CSP systémy mají výhodu v tom, že mohou být vybaveny tepelnými akumulacími jednotkami, které umožňují produkci elektřiny i po západu slunce, čímž se zvyšuje jejich spolehlivost a stabilita dodávek energie. Náklady na instalaci CSP jsou vyšší než u fotovoltaických systémů, ale díky jejich schopnosti poskytovat relativně stabilní dodávky energie jsou vysoce vhodné pro velké energetické projekty.	Pořizovací náklady: CSP systémy mají kapitálové náklady mezi 3 000 a 7 000 EUR/kW, v závislosti na typu CSP (např. parabolické zrcadla, solární věže) a složitosti projektu. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu CSP systémů jsou přibližně 2–4 % z kapitálových nákladů. To zahrnuje náklady na údržbu zrcadel, solárních kolektorů, akumulčních jednotek a dalších komponentů. Provozní náklady tak mohou dosahovat přibližně 60 000–150 000 EUR za MW ročně. TRL 8-9 (komerční nasazení, rozšiřuje se do velkých projektů)

Solární paliva (Solar Fuels) Solární paliva představují inovativní přístup k využívání sluneční energie pro výrobu čistých paliv, jako je vodík. Proces známý jako fotoelektrochemické štěpení vody, využívá sluneční světlo k rozkladu vody na vodík a kyslík pomocí speciálních fotoelektrod. Výsledný vodík může být skladován a využíván jako čisté palivo pro různá energetická zařízení nebo dopravní prostředky. Tato technologie má potenciál výrazně snížit emise skleníkových plynů a závislost na fosilních palivech, ačkoli je stále ve výzkumné a vývojové fázi. Vývojové aktivity směřují ke zlepšení účinnosti a snížení výrobních nákladů.	Pořizovací náklady: Technologie je ve fázi výzkumu, ale odhaduje se, že kapitálové náklady mohou dosahovat 5 000 a 10 000 EUR/kW, v závislosti na technologické úrovni a rozsahu výroby. Provozní náklady: Roční náklady na provoz solárních paliv jsou zatím obtížné odhadnutelné kvůli experimentálnímu charakteru technologie. Očekává se, že budou zahrnovat náklady na údržbu a obnovu systému, přibližně 5–10 % z kapitálových nákladů, což by mohlo znamenat 250 000–500 000 EUR ročně. Odhad se však může měnit v závislosti na pokroku technologie. TRL 5 (první prototypy)
---	--

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 4: Technologie v oblasti větrné energie

Design větrných turbín Vývoj ve designu větrných turbín představuje klíčový faktor pro zvyšování efektivity a snižování nákladů na výrobu větrné elektrické energie. Moderní větrné turbíny jsou navrhovány s cílem maximalizovat jejich výkon při minimálních nákladech na instalaci a údržbu. To zahrnuje optimalizaci tvaru lopatek, vylepšení generátorů a převodových systémů, a také zlepšení aerodynamiky a kontrolních systémů pro maximalizaci výroby elektřiny při různých rychlostech větru. Inovace v designu zahrnují také snahy o zvyšování spolehlivosti turbín a prodlužování jejich životnosti, což je klíčové pro ekonomickou udržitelnost větrných elektráren.	Pořizovací náklady: Modernizace designu větrných turbín bude zvyšovat počáteční investiční náklady. Cena za vysoce efektivní větrnou turbínu se pohybuje od 2 000–3 000 EUR/kW. Cena se liší v závislosti na velikosti turbíny, její technologii a na jejích specifických vlastnostech. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu moderních větrných turbín jsou přibližně 2–4 % z pořizovacích nákladů. Tyto náklady zahrnují pravidelné inspekce, údržbu a opravy, které mohou dosáhnout přibližně 20 000–50 000 EUR za turbínu ročně. TRL 8-9 (komerčně zralé)
Větrné farmy na moři Větrné farmy umístěné na moři (offshore větrné farmy) představují významně růstový segment větrné energie. Tyto farmy využívají	Pořizovací náklady: Náklady na výstavbu a instalaci offshore větrné farmy se pohybují od 3 000 do 6 000 EUR/kW. Cena zahrnuje náklady na turbíny,

silnější a stabilnější větry ve větší vzdálenosti od pobřeží, což umožňuje instalaci větších a efektivnějších větrných turbín. Offshore větrné farmy mohou být vestavěny na mořské plošině, nebo mohou být plovoucí, což umožňuje jejich instalaci ve větších hloubkách (viz níže). Tento způsob instalace zároveň snižuje vizuální a zvukové dopady na pobřežní oblasti a zároveň maximalizuje potenciál pro výrobu čisté energie. Technologie větrných farem na moři se neustále vyvíjí tak, aby byla zvyšována její účinnost a snížily se její provozní náklady.	mořské základny, kabely a připojení k síti. Cena se může lišit v závislosti na hloubce vody, vzdálenosti od pobřeží a technických specifikacích projektu. Provozní náklady: Roční provozní náklady na offshore větrné farmy mohou dosahovat 2–3 % z kapitálových nákladů. Provozní náklady zahrnují náklady na údržbu, opravy, a monitoring větrné farmy. Odhadované náklady jsou přibližně 50 000–150 000 EUR za MW ročně. TRL 8-9 (komerční nasazení)
Plovoucí větrné turbíny Plovoucí větrné turbíny jsou inovativní technologií, která umožňuje instalaci větrných farem v hlubokých vodách, kde by bylo obtížné nebo nákladné instalovat pevné základy na mořském dně. Tyto turbíny jsou kotveny pomocí kotevních lan k mořskému dně nebo jsou vybaveny plovacími konstrukcemi, které je udržují na určité hloubce. Plovoucí větrné turbíny umožňují využití více lokalit pro větrnou energii a optimalizují využití větrných zdrojů energie.	Pořizovací náklady: Náklady na výstavbu plovoucích větrných turbín se odhadují na 4 000 až 8 000 EUR/kW. Cena zahrnuje náklady na plovoucí platformy, kotvení, turbíny a připojení k síti. Tato technologie je obvykle dražší než tradiční offshore větrné turbíny kvůli komplexnosti konstrukce. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu plovoucích větrných turbín jsou odhadovány na 3–5 % z kapitálových nákladů. Tyto náklady zahrnují údržbu a opravy specifické pro plovoucí platformy a mohou se pohybovat kolem 75 000–200 000 EUR za MW ročně. TRL 6-7 (demonstrační projekty)
Řízení a optimalizace větrných farem Vývoj technologií pro řízení a optimalizaci větrných farem je klíčový pro zajištění maximálního výkonu a efektivity celého větrného energetického systému. Tato technologie zahrnuje sofistikované algoritmy pro sledování a řízení jednotlivých větrných turbín a celých větrných farem, aby se minimalizovaly ztráty výkonu a zároveň zvýšila spolehlivost provozu. Optimalizační strategie zahrnují zejména adaptivní řízení lopatek větrných turbín, které umožňuje	Pořizovací náklady: Investice do sofistikovaných systémů pro řízení a optimalizaci větrných farem se pohybují od 100 000 do 500 000 EUR za farmu. Cena závisí na rozsahu systému, jeho funkcionalitě a integraci s existujícími technologiemi. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu a aktualizaci systémů řízení větrných farem se pohybují od 5–10 % z kapitálových nákladů na

přizpůsobit jejich úhel náběhu a otáčky podle aktuálních podmínek větru. Tím se zlepšuje celková energetická výtěžnost větrné farmy a snižují se náklady na provoz a údržbu.	systém. Odhadované náklady jsou přibližně 20 000–100 000 EUR ročně. TRL 7-8 (terénní testování, blíží se komerčnímu nasazení)
--	---

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 5: Technologie v oblasti ukládání energie

Sodium-ion baterie Sodium-ion baterie představují alternativu k běžnějším lithium-iontovým bateriím a využívají sodíku jako hlavního nosiče náboje. Jsou atraktivní díky vyšší dostupnosti a nižším nákladům na suroviny, jelikož sodík je relativně rozšířený a levnější než lithium. Sodium-ion baterie mají ale nižší energetickou hustotu než lithium-iontové baterie, což omezuje jejich použití v aplikacích, kde je klíčová vysoká kapacita a nízká hmotnost. Vývoj v této oblasti se zaměřuje na zlepšení energetické hustoty a životnosti baterií.	Pořizovací náklady: Sodium-ion baterie jsou stále ve vývojové fázi, ale odhaduje se, že jejich náklady budou mezi 200 a 400 EUR za kWh kapacity. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu jsou přibližně 2 % z kapitálových nákladů, tedy přibližně 4–8 EUR za kWh ročně. TRL 6-7 (rané demonstrační projekty)
Tepelné úložiště Tepelné úložiště je technologie, která umožňuje ukládat energii ve formě tepla pro pozdější využití. Toto teplo může být uloženo v různých médiích, jako jsou roztavené soli, voda, nebo speciální pevné materiály. Tepelné úložiště se často využívá v kombinaci s koncentrovanými solárními elektrárnami, kde během dne shromažďují sluneční teplo a uvolňují ho v noci nebo během období nízkého slunečního svitu. Tato technologie zvyšuje flexibilitu a spolehlivost energetických systémů, které využívají obnovitelné zdroje energie, a může také hrát významnou roli v průmyslových procesech vyžadujících velké množství tepla.	Pořizovací náklady: Cena za instalaci tepelného úložiště se pohybuje mezi 20 a 50 EUR za kWh kapacity. Provozní náklady: Roční provozní náklady jsou kolem 1–2 % z kapitálových nákladů, 0,2–1 EUR za kWh ročně. TRL 7-8 (využívané v některých průmyslových aplikacích)
Vývoj Li-ion baterií Lithium-iontové baterie jsou klíčovou technologií pro mnoho moderních aplikací,	Pořizovací náklady: Cena za instalaci lithium-iontových baterií se pohybuje kolem 150–300 EUR za kWh

včetně přenosné elektroniky, elektromobilů a stacionárních úložišť energie. Pokroky v této technologii se soustředí na zlepšení energetické hustoty, rychlosti nabíjení a životnosti baterií. Inovace ve složení elektrod a elektrolytů a nové výrobní techniky, umožňují vyrábět baterie s vyšší kapacitou, delší životností a vyšší bezpečností. Dalším důležitým směrem výzkumu je recyklace a udržitelnost materiálů použitých v Li-ion bateriích, což je klíčové pro dlouhodobou udržitelnost této technologie.	kapacity v závislosti na konkrétní aplikaci a technologii. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu jsou přibližně 1–2 % z kapitálových nákladů, přibližně tedy 1,5–6 EUR za kWh ročně. TRL 8-9 (komerčně dostupné, neustálý vývoj)
Solid-state baterie Solid-state baterie jsou považovány za budoucnost energetických úložišť díky svým vynikajícím vlastnostem, jako je vyšší energetická hustota, lepší bezpečnost a delší životnost ve srovnání s tradičními lithium-iontovými bateriemi. Tyto baterie využívají pevný elektrolyt namísto kapalného, což eliminuje riziko úniku elektrolytu a vzniku požárů. Solid-state baterie mají potenciál významně zlepšit výkon elektromobilů a dalších aplikací vyžadujících vysokou energetickou hustotu. Výzkum a vývoj se zaměřuje na optimalizaci materiálů a výrobních procesů, aby byly tyto baterie komerčně životaschopné.	Pořizovací náklady: Solid-state baterie budou mít pravděpodobně vyšší náklady, zejména kvůli novosti dané technologie. Odhady provozních nákladů jsou v rozmezí 300–800 EUR za kWh kapacity. Provozní náklady: Roční provozní náklady jsou odhadovány na 1–1,5 % z kapitálových nákladů, přibližně 3–12 EUR za kWh ročně. TRL 4–6 (prototypy)
Redoxní průtočné baterie Redoxní průtočné baterie jsou typem elektrochemického úložiště energie, které využívá redoxních reakcí mezi dvěma chemickými roztoky k ukládání a uvolňování energie. Tato technologie umožňuje nezávislé škálování kapacity a výkonu, což je ideální pro velké stacionární úložiště energie. Výhodou redoxních průtočných baterií je jejich dlouhá životnost, vysoká cyklická stabilita a bezpečnost, protože oddělené elektrolyty minimalizují riziko požáru. Jsou ideální pro aplikace, kde je potřeba ukládat velké množství energie a zajišťovat stabilitu elektrické sítě.	Pořizovací náklady: Náklady na instalaci redoxních průtočných baterií se pohybují mezi 400 a 800 EUR za kWh kapacity. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu jsou přibližně 1–2 % z kapitálových nákladů, 4–16 EUR za kWh ročně. TRL 7-8 (předkomerční testy)

Ukládání vodíku Ukládání vodíku je klíčovou technologií pro využití vodíku jako čistého paliva a energetického nosiče. Vodík může být skladován v různých formách, jako je stlačený plyn, kapalný vodík nebo vázaný v chemických sloučeninách. Technologie ukládání vodíku se neustále vyvíjí, aby byla bezpečnější, efektivnější a ekonomičtější. Vodík lze použít v palivových článcích pro výrobu elektřiny nebo jako surovinu pro průmyslové procesy. Významnou výzvou je zlepšení energetické hustoty a bezpečnosti skladování, což je klíčové pro široké využití vodíku jako udržitelného energetického řešení.	Pořizovací náklady: Náklady na ukládání vodíku se pohybují mezi 500 a 1 500 EUR za kg vodíku, v závislosti na formě skladování (stlačený, kapalný, chemicky vázaný). Provozní náklady: Roční náklady na údržbu jsou přibližně 2–5 % z kapitálových nákladů, což znamená 10–75 EUR za kg vodíku ročně. TRL 6-7 (fáze demonstrace)
Vodíkové palivové články Vodíkové palivové články jsou zařízení, která přeměňují chemickou energii vodíku přímo na elektřinu prostřednictvím elektrochemické reakce s kyslíkem. Tato technologie je velmi účinná a produkuje pouze vodu jako vedlejší produkt, což z ní činí čistý a ekologický zdroj energie. Palivové články se používají v různých aplikacích, včetně dopravy (např. vodíkové automobily), stacionárních energetických systémů a přenosných zařízení. Klíčovými výzvami jsou zajištění dostupného a čistého zdroje vodíku, zlepšení účinnosti palivových článků a snížení jejich výrobních nákladů.	Pořizovací náklady: Náklady na instalaci vodíkových palivových článků se pohybují mezi 1 000 a 3 000 EUR/kW. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu jsou přibližně 2–5 % z kapitálových nákladů, což může znamenat 20–150 EUR za kW ročně. TRL 7-8 (rozsáhlé demonstrační projekty, blíží se komerčnímu měřítku)
Vodíkové elektrolyzéry Vodíkové elektrolyzéry je technologie, která využívá elektrickou energii k rozkladu vody na vodík a kyslík prostřednictvím elektrochemického procesu známého jako elektrolýza. Tato technologie je klíčová pro výrobu zeleného vodíku, pokud je elektrická energie pochází z obnovitelných zdrojů, jako jsou větrné nebo solární elektrárny. Elektrolyzéry se liší velikostí a kapacitou, od malých jednotek pro decentralizovanou výrobu vodíku až po velké průmyslové	Pořizovací náklady: Náklady na instalaci vodíkových elektrolyzérů se pohybují mezi 500 a 1 500 EUR/kW. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu dosahují přibližně 3–5 % z kapitálových nákladů, tedy přibližně 15–75 EUR za kW ročně. TRL 6-7 (pilotní fáze)

systémy. Vývoj v této oblasti se zaměřuje na zlepšení účinnosti, snížení nákladů a zajištění spolehlivosti elektrolyzérů, což je klíčové pro jejich širší použití a integraci do energetických systémů budoucnosti.	
---	--

Zdroj: Vlastní zpracování

11.2 Energetická účinnost a management

Technologie v této dílčí oblasti se zaměřují na optimalizaci spotřeby energie a zlepšení jejího řízení tak, aby se snížila celková energetická náročnost a emise skleníkových plynů. Patří sem například systémy pro monitorování spotřeby energie, automatizace budov, inteligentní rozvodné sítě a obnovitelné zdroje energie. Tyto technologie pomáhají snižovat plýtvání energií, zvyšovat účinnost energetických systémů a podporují udržitelnost a dlouhodobou ekonomickou i ekologickou výhodnost. Cílem je dosáhnout lepšího využití dostupných energetických zdrojů při co nejnižším dopadu na životní prostředí.

Tabulka 6: Technologie v oblasti zvyšování energetické efektivity budov

Chytré technologie (Smart technologies) Smart technologies se stávají klíčovým prvkem v moderním řízení energetické efektivity budov. Tyto technologie zahrnují inteligentní senzory, systémy automatizace a řízení budov, které umožňují monitorování a optimalizaci spotřeby energie na základě aktuálních podmínek a potřeb uživatelů. Inteligentní senzory mohou například detekovat přítomnost osob v místnostech a automaticky regulovat osvětlení a klimatizaci podle aktuálních potřeb, což vede k efektivnějšímu využití energie. Systémy řízení budov integrují data z různých zařízení a poskytují uživatelům možnost sledovat a optimalizovat energetickou efektivitu budov v reálném čase.	Pořizovací náklady: Pořizovací náklady na základní senzory a automatizační zařízení se mohou pohybovat od 50 000 do 200 000 EUR na budovu. Cena závisí na typu senzorů (např. pro osvětlení, klimatizaci, bezpečnost) a rozsahu pokrytí. Komplettní systémy řízení budov, které zahrnují integraci senzorů, automatizačních prvků a softwaru pro správu, mohou mít náklady od 200 000 do 1 milion EUR, v závislosti na velikosti a složitosti budovy. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu a provoz těchto systémů se pohybují od 10 000 do 50 000 EUR. Tyto náklady zahrnují servisní poplatky, aktualizace softwaru a náklady na provozní energie. TRL 8-9 (komerčně dostupné, neustálý vývoj)
Energeticky efektivní spotřebiče (Energy-efficient appliances) Energeticky úsporné spotřebiče představují klíčový prvek snižování energetické	Pořizovací náklady: Pořizovací náklady na moderní energeticky úsporné spotřebiče se liší podle typu a velikosti. Například úsporné ledničky mohou

náročnosti budov. Tyto spotřebiče jsou navrženy tak, aby minimalizovaly spotřebu energie při plnění svých funkcí, například ledničky, pračky, sušičky a klimatizační jednotky. Moderní energeticky úsporné spotřebiče využívají pokročilé technologie, jako jsou invertorové motory a efektivní izolace, což vede k nižším nákladům na provoz a nižší spotřebě energie při zachování vysoké výkonnosti. Tento trend podporuje snižování celkové energetické spotřeby budov a přispívá k udržitelnějšímu provozu.	stát od 500 do 2 000 EUR, energeticky úsporné pračky od 600 do 1 500 EUR a klimatizační jednotky od 1 000 do 3 000 EUR. Cena se obvykle zvyšuje s účinností a technologickými vylepšeními. Provozní náklady: Roční náklady na provoz a údržbu energeticky úsporných spotřebičů jsou nižší než u standardních spotřebičů, protože spotřebují méně energie. Úspory na energiích mohou činit 10–30 % oproti konvenčním spotřebičům, což se odráží v nižších nákladech na elektřinu. Náklady na údržbu jsou obvykle minimální, kolem 100–500 EUR ročně. TRL 9 (plně zralé a běžně používané)
Energeticky efektivní budovy (Energy-efficient and sustainable buildings) Energeticky úsporné a udržitelné budovy představují komplexní přístup k minimalizaci ekologické stopy budov a jejich integrovaných systémů. Tyto budovy jsou navrženy s ohledem na energetickou účinnost od počáteční fáze návrhu až po provoz a údržbu. Zahrnují použití energeticky úsporných materiálů, pasivního designu pro optimalizaci přirozeného osvětlení a větrání, a využívání obnovitelných zdrojů energie jako solárních panelů a tepelných čerpadel. Udržitelná města se pak zaměřují na celkovou infrastrukturu a plánování, které podporuje energetickou efektivitu, snižování emisí skleníkových plynů a zlepšení kvality života obyvatel.	Pořizovací náklady: Investice do výstavby energeticky úsporných budov zahrnují náklady na speciální materiály, technologie a design. Tyto náklady se mohou pohybovat od 200 do 1 000 EUR za čtvereční metr. Cena závisí na použitých materiálech (např. pasivní solární systémy, vysoce izolující okna) a technologiích (např. solární panely, tepelná čerpadla). Provozní náklady: Roční provozní náklady na údržbu a energii u energeticky úsporných a udržitelných budov jsou nižší než u konvenčních budov. Úspory na energii mohou dosahovat 20–50 % v porovnání s běžnými budovami. Náklady na údržbu se mohou pohybovat od 5 do 20 EUR m² ročně. TRL 8-9 (komerčně dostupné, neustálý vývoj)

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 7: Technologie v oblasti energetické efektivity v průmyslové výrobě

Zpětné získávání tepla (Waste Heat Recovery) Technologie zpětného získávání odpadního tepla hraje klíčovou roli v optimalizaci energetické efektivity průmyslových procesů. Odpadní teplo vzniká při různých průmyslových operacích a často je nevyužito, což znamená ztrátu potenciální energie. Systémy zpětného získávání odpadního tepla umožňují zachytit a znovu využít teplo, které by jinak šlo ztratit. To může zahrnovat využití tepelných výměníků, které přenášejí teplo z výfukových plynů nebo chladících kapalin na jiné části průmyslového procesu, čímž snižují celkovou spotřebu energie a náklady na energii. Moderní technologie zpětného získávání odpadního tepla často využívají pokročilé materiály a konstrukční techniky, aby maximalizovaly účinnost přenosu tepla a minimalizovaly investiční náklady.	Pořizovací náklady: V případě základních systémů zpětného získávání tepla se pořizovací náklady pohybují od 100 000 do 500 000 EUR, v závislosti na velikosti a složitosti systému. Menší systémy mohou stát kolem 100 000 EUR. Investice do pokročilých systémů, které využívají inovativní materiály a konstrukční techniky pro maximální účinnost, mohou dosáhnout až 1 milion EUR nebo více. Tyto náklady zahrnují nákup a instalaci tepelných výměníků, čerpadel a dalších komponentů. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu a provoz těchto systémů se pohybují od 10 000 do 50 000 EUR. Tyto náklady zahrnují pravidelnou údržbu, opravy a náklady na energii potřebnou k provozu systému. TRL 8 (komerční zralost v některých sektorech)
Optimalizace průmyslových procesů pomocí aplikací AI (Process Optimization Techniques using AI and Machine Learning) Optimalizace průmyslových procesů pomocí umělé inteligence (AI) a strojového učení (machine learning) představuje nový přístup k zvyšování efektivity a produktivity v průmyslu. Tyto techniky umožňují analýzu velkého množství dat a komplexních proměnných, které ovlivňují průběh výrobních procesů. AI a strojové učení mohou identifikovat vzorce, optimalizovat nastavení strojů a procesů, a predikovat budoucí chování systémů na základě historických dat a aktuálních podmínek. Tímto způsobem pomáhají snižovat ztráty, minimalizovat spotřebu energie a surovin, a zlepšovat celkovou efektivitu v průmyslových provozech. Implementace těchto technologií	Pořizovací náklady: Pořizovací náklady se pohybují od 200 000 do 2 milionů EUR, v závislosti na rozsahu a složitosti implementace. Náklady zahrnují software, hardware, integraci do stávajících systémů a školení zaměstnanců. Vývoj a přizpůsobení AI modelů může stát dalších 100 000 až 500 000 EUR. Tyto náklady zahrnují návrh, testování a optimalizaci modelů strojového učení. Provozní náklady: Roční náklady na provoz a údržbu AI systémů se pohybují od 50 000 do 500 000 EUR. Cena zahrnuje náklady na aktualizace softwaru, správu dat a personální náklady spojené s údržbou systémů. TRL 6-7 (pilotní projekty)

vyžaduje integraci sofistikovaných softwarových a hardwarových systémů, aby bylo dosaženo maximálního potenciálu optimalizace.	
Energetický management systém (Industrial Energy Management Systems) Systémy pro správu energetiky v průmyslu jsou navrženy k monitorování, řízení a optimalizaci energetického využití v průmyslových provozech. Tyto systémy integrují senzory pro sběr dat o spotřebě energie a provozních parametrech, což umožňuje průmyslovým podnikům sledovat a analyzovat jejich energetickou efektivitu v reálném čase. Správné nastavení a využití těchto systémů umožňuje identifikovat energetické ztráty, optimalizovat využití energie v souladu s produkčními potřebami a plánovat údržbu zařízení tak, aby se minimalizovaly náklady na provoz a zvýšila celková energetická efektivita. Moderní industriální energetické řídicí systémy často zahrnují prvky automatizace, rozšířené analytické nástroje a možnosti integrace s dalšími systémy pro dosažení komplexního řízení energetických zdrojů.	Pořizovací náklady: V případě základních energetických řídicích systémů se pořizovací náklady pohybují od 100 000 do 500 000 EUR a zahrnují nákup a instalaci senzorů, softwaru a hardwarových komponentů pro základní sledování a řízení energie. Investice do pokročilých systémů s automatizovanou správou a pokročilými analytickými nástroji mohou dosáhnout 500 000 až 2 miliony EUR. Tyto systémy často zahrnují integraci s dalšími výrobními systémy a pokročilou analytiku. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu a provoz těchto systémů se odhadují na 20 000 do 100 000 EUR. Tyto náklady zahrnují pravidelnou údržbu, aktualizace softwaru a školení personálu. TRL 6-7 (pilotní projekty)

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 8: Technologie v oblasti energetické transformace

Elektrická vozidla (Electric Vehicles) Elektromobily (EV) jsou klíčovým prvkem v transformaci dopravy směrem k udržitelnosti. EV využívají elektromotory poháněné elektřinou uloženou v bateriích, což významně snižuje emise skleníkových plynů ve srovnání s tradičními vozidly spalujícími fosilní paliva. Pokroky v technologii baterií, zejména v oblasti lithium-iontových baterií, umožnily zvýšit dojezd EV a zkrátit dobu nabíjení. Kromě ekologických výhod nabízejí EV také nižší provozní	Pořizovací náklady: Hlavní náklady na elektrická vozidla zahrnují pořizovací cenu vozidla a náklady na baterii. V roce 2020 byla průměrná cena za kWh baterie kolem 137 EUR, což představuje značnou část pořizovacích nákladů na EV. Cena za EV se pohybuje od 30 000 EUR do 100 000 EUR v závislosti na modelu a výrobci. Provozní náklady:
--	--

náklady díky nižším nákladům na údržbu a energii. Vývoj autonomních elektrických vozidel dále rozšiřuje potenciál této technologie, která může přinést revoluci v osobní i nákladní dopravě, a přispět k efektivnějšímu a čistšímu způsobu přepravy.	Provozní náklady EV jsou obecně nižší než u vozidel se spalovacím díky nižším nákladům na údržbu a elektřinu. Náklady na elektřinu se ale mohou v evropském měřítku mohou podle regionu lišit. Údržba EV je také levnější, protože mají méně pohyblivých částí. TRL 9 (komerčně dostupné)
Nabíjecí infrastruktura (Charging Infrastructure) Nabíjecí infrastruktura je zásadní pro široké přijetí elektrických vozidel. Zahrnuje síť nabíjecích stanic, které umožňují nabíjení EV doma, v práci a na veřejných místech. Vybudování rozsáhlé a spolehlivé nabíjecí infrastruktury je klíčové pro další využívání elektromobilů. Důležitým prvkem jsou zejména rychlonabíjecí stanice. Investice do inteligentních nabíjecích systémů, které mohou optimalizovat zatížení elektrické sítě a využívat obnovitelné zdroje energie, přispívají k udržitelnosti celého ekosystému EV. Kromě toho se rozvíjí také technologie bezdrátového nabíjení, která by mohla dále zjednodušit proces nabíjení a zvýšit atraktivitu EV.	Pořizovací náklady: Investice do nabíjecí infrastruktury zahrnují náklady na výstavbu nabíjecích stanic, které mohou být poměrně vysoké. Rychlonabíjecí stanice mohou stát mezi 20 000 EUR až 50 000 EUR za jednotku, zatímco domácí nabíječky jsou podstatně levnější, okolo 500 EUR až 2 000 EUR. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují údržbu nabíjecích stanic a náklady na elektřinu. Údržba může zahrnovat náklady na opravy a technickou podporu. Přesné náklady na provoz mohou variovat v závislosti na lokalitě a intenzitě využití. TRL 8-9 (rozsáhlé nasazení)
Alternativní paliva - vodík a biopaliva (Alternative Fuel Options like Hydrogen and Biofuels) Alternativní paliva, jako jsou vodík a biopaliva, představují důležitou součást strategie pro snižování emisí z dopravy. Vodík může být využíván ve vodíkových palivových článcích, které generují elektřinu pro pohon vozidel s nulovými emisemi, přičemž jediným vedlejším produktem je voda. Vodíková technologie je obzvláště vhodná pro těžká vozidla a dlouhé vzdálenosti, kde je rychlé doplňování paliva a vysoká energetická účinnost zásadní. Biopaliva, vyráběná z biologických materiálů, jako jsou rostliny nebo odpadní produkty, mohou být používána jako náhrada	Pořizovací náklady: Investice do vodíkové infrastruktury jsou vysoké, zahrnují výrobu, skladování a distribuci vodíku. Například elektrolyzéry pro výrobu vodíku mohou stát od 500 000 EUR do několika milionů dolarů v závislosti na kapacitě. Cena biopaliv závisí na zdroji a výrobním procesu, náklady na zařízení pro výrobu biopaliv mohou být také relativně vysoké. Provozní náklady: Provozní náklady na vodíkové technologie zahrnují náklady na elektřinu pro výrobu vodíku, údržbu zařízení a distribuci. Biopaliva mají provozní náklady spojené s pěstováním, sklizní a zpracováním biomasy.

nebo doplněk k fosilním palivům v konvenčních motorech. Biopaliva mohou přispět k redukci uhlíkové stopy dopravy, zejména pokud jsou vyráběna udržitelným způsobem.	TRL 6-7 (raný vstup na trh)
Biomasa a bioodpad pro výrobu energie (Biomass and Biowaste for Energy Generation) Biomasa a bioodpad jsou cenné zdroje pro výrobu energie, které mohou pomoci snížit závislost na fosilních palivech a snížit emise skleníkových plynů. Biomasa, zahrnující materiály jako dřevo, zemědělský odpad a speciálně pěstované energetické plodiny, může být přeměněna na bioplyn nebo biopaliva prostřednictvím procesů jako fermentace, pyrolýza nebo spalování. Bioplyn, který se skládá hlavně z metanu, může být používán pro výrobu elektřiny, tepla nebo jako palivo pro vozidla. Energetické využití biomasy a bioodpadu pro energetické účely podporuje cirkulární ekonomiku a přispívá k udržitelnému řízení odpadů. Efektivní využití těchto zdrojů vyžaduje pokročilé technologie pro sběr, zpracování a konverzi, stejně jako podpůrnou infrastrukturu.	Pořizovací náklady: Investice do zařízení pro konverzi biomasy na energii mohou být vysoké. Zařízení na výrobu bioplynu mohou stát mezi 1 milionem EUR až 5 miliony EUR v závislosti na kapacitě a technologiích použitých při zpracování. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují sběr a dopravu biomasy, provoz zařízení, údržbu a zpracování odpadů. Bioplynárny mají rovněž náklady spojené s čištěním a úpravou bioplynu. TRL 8-9 (komerčně zralé)

Zdroj: Vlastní zpracování

11.3 Technologie pro zachycování uhlíku a jeho využití

Technologie slouží převážně k zachytávání oxidu uhličitého (CO₂) z průmyslových procesů, elektráren nebo z atmosféry a jeho následnému využití, s cílem snížit emise skleníkových plynů a zmírnit klimatické změny. Proces se skládá ze dvou hlavních fází: nejprve je CO₂ zachycen pomocí různých metod, jako je chemická absorpce nebo membránové technologie, a následně je využit v průmyslových procesech, například pro výrobu syntetických paliv, chemikálií, plastů, stavebních materiálů nebo v potravinářství a zemědělství. Tímto způsobem se nejen snižují emise uhlíku, ale také podporuje cirkulární ekonomika, kde se CO₂ stává surovinou pro další výrobu.

Tabulka 9: Technologie v oblasti zachycování uhlíku

Technologie zachytávání uhlíku související se spalováním (Combustion Related Capture Technologies) Technologie zachytávání uhlíku jsou navrženy tak, aby zachycovaly emise CO₂ vznikající při spalování fosilních paliv v elektrárnách a průmyslových zařízeních. Mezi tyto technologie patří precombustion, postcombustion a oxyfuel spalování. Precombustion technologie zahrnuje zpracování paliva před jeho spálením, kde je uhlík odstraněn z paliva před spalováním, často prostřednictvím zplyňování a následného odstranění CO₂ z výsledného plynu. Postcombustion technologie zahrnuje zachytávání CO₂ po spalování, kdy se CO₂ odděluje z kouřových plynů pomocí různých metod, jako je chemická absorpce. Oxyfuel spalování zahrnuje spalování paliva v čistém kyslíku namísto vzduchu, což vede k výstupnímu plynu složenému hlavně z CO₂ a vodní páry, což usnadňuje separaci CO₂. Tyto technologie jsou stále ve fázi vývoje a optimalizace, aby byly nákladově efektivní a energeticky účinné, ale mají potenciál výrazně snížit emise skleníkových plynů a přispět k boji proti klimatickým změnám.	1) Precombustion Capture Pořizovací náklady: Investiční náklady na technologie mohou být vysoké, jelikož vyžadují instalaci zplyňovacích jednotek a separačních zařízení. Odhady se pohybují kolem 1 000 až 2 000 EUR na kW instalovaného výkonu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na provoz a údržbu zplyňovacích jednotek, separačních zařízení a regeneraci absorbentů. Mohou se pohybovat mezi 30 až 60 EUR na tunu zachyceného CO₂. 2) Postcombustion Capture Pořizovací náklady: Investiční náklady jsou rovněž vysoké. Instalační náklady mohou dosahovat 800 až 1 200 EUR na kW instalovaného výkonu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují regeneraci absorbentů, energii potřebnou pro provoz zařízení a údržbu. Provozní náklady se odhadují na 40 až 90 EUR na tunu zachyceného CO₂. 3) Oxyfuel Combustion Pořizovací náklady: Investiční náklady na oxyfuel spalovací technologie jsou relativně vysoké kvůli potřebě kyslíkových výrobních zařízení a speciálních spalovacích jednotek. Mohou se pohybovat mezi 1 200 až 1 800 EUR na kW instalovaného výkonu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na výrobu kyslíku, provoz spalovacích jednotek a údržbu. Mohou se pohybovat mezi 50 až 100 EUR na tunu zachyceného CO₂. TRL 6-7 (demonstrační projekty, pilotní zařízení)
--	--

Metody zachytávání a využívání emisí CO₂ (Methods for Capturing and Utilizing CO₂ Emissions) Metody zachytávání a využívání emisí CO₂ zahrnují různé přístupy k separaci CO₂ z průmyslových emisí a jeho následnému využití nebo ukládání. Absorpční metody využívají kapalné absorbenty, jako jsou aminy, k chemickému vázání CO₂ z plynů, které se poté regenerují a znovu používají. Adsorpční metody využívají pevné materiály, jako jsou zeolity nebo aktivní uhlí, které fyzikálně zachycují CO₂ na povrchu materiálu. Membránová separace využívá speciální membrány, které selektivně propouštějí CO₂ a oddělují ho od ostatních plynů. Kromě zachytávání CO₂ se stále více rozvíjejí technologie pro jeho využití, jako je konverze CO₂ na hodnotné chemikálie, paliva nebo stavební materiály. Tato oblast je známá jako CCU (Carbon Capture and Utilization). Příkladem může být výroba syntetických paliv pomocí CO₂ a vodíku nebo přidávání CO₂ do betonových směsí, kde reaguje a zlepšuje pevnost betonu. Tyto technologie nejen přispívají k snižování emisí, ale také poskytují možnosti pro vytváření nových produktů a ekonomických příležitostí.	1) Absorpce Pořizovací náklady: Investiční náklady na precombustion capture technologie mohou být vysoké, jelikož vyžadují instalaci zplyňovacích jednotek a separačních zařízení. Odhady se pohybují kolem 1 000 až 2 000 EUR na kW instalovaného výkonu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na provoz a údržbu zplyňovacích jednotek, separačních zařízení a regeneraci absorbentů. Mohou se pohybovat mezi 30 až 60 EUR na tunu zachyceného CO₂. 2) Adsorpce Pořizovací náklady: Investiční náklady na adsorpční technologie mohou být mezi 800 až 1 200 EUR na kW instalovaného výkonu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují regeneraci absorbentů (jako jsou aminy), energii potřebnou pro separaci CO₂ a údržbu zařízení. Mohou se pohybovat mezi 40 až 80 EUR na tunu zachyceného CO₂. 3) Membránová separace Pořizovací náklady: Investiční náklady na membránové technologie se odhadují na 600 až 1 000 EUR na kW instalovaného výkonu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují energii potřebnou pro provoz membrán, údržbu a náklady na výměnu membrán. Mohou se pohybovat mezi 30 až 60 EUR na tunu zachyceného CO₂. TRL 6-7 (demonstrační projekty, pilotní zařízení)
--	---

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 10: Technologie v oblasti využití zachyceného uhlíku

Využití zachyceného CO₂ pro výrobu paliv (Utilizing Captured CO₂ for Fuel Production) Využití zachyceného CO₂ pro výrobu paliv představuje slibný přístup k redukci emisí skleníkových plynů a zároveň k vytváření hodnotných produktů. Jednou z hlavních metod je přeměna CO₂ na syntetická paliva, jako je metanol, metan nebo syntetická nafta. Tato paliva mohou být používána v dopravě, energetice a dalších průmyslových odvětvích, což umožňuje uzavřít uhlíkový cyklus a snížit závislost na fosilních palivech. Přeměna CO₂ na metanol například zahrnuje katalytickou hydrogenaci CO₂ za přítomnosti vodíku, který může být produkován obnovitelnými zdroji energie, jako je elektrolýza vody pomocí solární nebo větrné energie. Tato technologie nejen pomáhá snižovat atmosférické koncentrace CO₂, ale také poskytuje ekonomické výhody díky produkci hodnotných paliv, což podporuje rozvoj udržitelné energetiky.	Pořizovací náklady: Investiční náklady na zařízení pro výrobu metanolu z CO₂ se odhadují na 1 000 až 1 500 EUR na tunu instalované kapacity za rok. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na vodík (produkce vodíku pomocí elektrolýzy může být značně nákladná), katalyzátory, energii a údržbu zařízení. Mohou se pohybovat mezi 100 až 150 EUR na tunu vyrobeného metanolu. TRL 4-5 (raný výzkum, laboratorní měřítko)
Chemická syntéza (Chemical Synthesis) Chemická syntéza pomocí zachyceného CO₂ je dalším inovativním přístupem, který se zaměřuje na výrobu hodnotných chemikálií. CO₂ může být přeměněn na širokou škálu chemických sloučenin, jako jsou kyselina mravenčí, urea, polykarbonáty a další. Tento proces často vyžaduje použití specifických katalyzátorů a reakčních podmínek k dosažení efektivní konverze. Například syntéza kyseliny mravenčí, která má široké uplatnění v průmyslu jako konzervační látka, dezinfekční prostředek a při výrobě textilu a kůže, může být realizována pomocí elektrochemických metod. Výroba těchto chemikálií z CO₂ nabízí dvojí benefit – snížení emisí CO₂ a produkci komerčně hodnotných látek, které by jinak musely být vyrobeny z fosilních	Pořizovací náklady: Investiční náklady na zařízení pro výrobu kyseliny mravenčí z CO₂ mohou být kolem 800 až 1 200 EUR na tunu instalované kapacity za rok. Investiční náklady na zařízení pro výrobu urey z CO₂ se odhadují na 500 až 800 EUR na tunu instalované kapacity za rok. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na energii, katalyzátory a údržbu. Mohou se pohybovat mezi 70 až 120 EUR na tunu vyrobené kyseliny mravenčí. Provozní náklady zahrnují náklady na amoniak, energii a údržbu. Mohou se pohybovat mezi 60 až 100 EUR na tunu vyrobené urey. TRL 5 (pilotní ověřování)

zdrojů, což podporuje cirkulární ekonomiku a udržitelnost.	
Stavební materiály (Building Materials) Využití CO₂ ve stavebních materiálech představuje inovativní způsob, jak nejen snížit emise skleníkových plynů, ale také zlepšit vlastnosti stavebních produktů. Jedním z příkladů je technologie mineralizace CO₂, kde se CO₂ využívá k vytvoření karbonátových minerálů, které se přidávají do betonu. Tento proces nejen zachycuje a trvale ukládá CO₂, ale také zvyšuje pevnost a trvanlivost betonu. Další metodou je přidávání CO₂ do cementové výroby, kde reaguje s některými složkami cementu a vytváří stabilní sloučeniny, čímž se snižuje uhlíková stopa výsledného produktu. Tyto technologie umožňují efektivní využití CO₂ a přispívají k dekarbonizaci stavebního průmyslu, který je jedním z hlavních zdrojů globálních emisí CO₂.	Pořizovací náklady: Investiční náklady na zařízení pro mineralizaci CO₂ v betonových výrobcích mohou být kolem 500 až 1 000 EUR na tunu instalované kapacity za rok. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na CO₂, energii pro provoz zařízení a údržbu. Mohou se pohybovat mezi 40 až 80 EUR na tunu zachyceného CO₂. TRL 8-9 (komerčně dostupné, neustálý vývoj)
Konverze na hodnotné chemikálie a paliva (Conversion to Valuable Chemicals and Fuels) Metanol je významné průmyslové rozpouštědlo a palivo, které může být vyrobeno hydrogenací CO₂, zatímco kyselina mravenčí je cenný chemický meziprodukt. Přeměna CO₂ na metan, hlavní složku zemního plynu, je proces známý jako metanizace, který může být prováděn biologickými nebo chemickými metodami. Tyto technologie nejen pomáhají snižovat emise CO₂, ale také poskytují alternativní zdroje pro výrobu chemikálií a paliv, které jsou obvykle získávány z neobnovitelných zdrojů. Výzkum a vývoj v této oblasti se zaměřuje na zlepšení efektivity a ekonomické životaschopnosti těchto	Pořizovací náklady: Investiční náklady na zařízení pro výrobu metanu z CO₂ mohou být kolem 1 000 až 1 500 EUR na tunu instalované kapacity za rok. Investiční náklady na zařízení pro výrobu syntetických paliv z CO₂ se odhadují na 1 500 až 2 000 EUR na tunu instalované kapacity za rok. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na vodík, energii, katalyzátory a údržbu zařízení. Mohou se pohybovat mezi 100 až 150 EUR na tunu vyrobeného metanu. Provozní náklady zahrnují náklady na vodík, energii, katalyzátory a údržbu zařízení. Mohou se pohybovat mezi 120 až 180 EUR na tunu vyrobeného paliva. TRL 5 (pilotní ověřování)

procesů, což je klíčové pro jejich širší implementaci v průmyslovém měřítku.	
--	--

Zdroj: Vlastní zpracování

11.4 Nové materiály a nanotechnologie

Nové materiálové technologie jsou klíčové pro podporu dekarbonizace díky jejich schopnosti vytvářet nové materiály s vylepšenými vlastnostmi, které minimalizují energetickou náročnost a emise. Tyto technologie umožňují vývoj lehčích, pevnějších a odolnějších materiálů, které zvyšují energetickou účinnost v průmyslových procesech a v dopravě. Pokročilé nanomateriály mohou zlepšit výkon baterií a solárních panelů, což podporuje širší využití obnovitelných zdrojů energie. Nanotechnologie také umožňují lepší katalytické procesy, což přispívá k efektivnějšímu zachytávání a ukládání oxidu uhličitého, čímž pomáhají snižovat emise skleníkových plynů v různých průmyslových sektorech. Tímto způsobem představují důležitý prvek v přechodu k nízkouhlíkovému hospodářství.

Tabulka 11: Technologie v oblasti nových materiálů pro dekarbonizaci

Nové materiály pro ukládání energie (Novel Materials for Energy Storage) Nové materiály pro ukládání energie představují klíčovou oblast výzkumu v oblasti dekarbonizace, protože umožňují efektivnější a trvanlivější baterie a další zařízení pro ukládání energie. Mezi tyto materiály patří například pokročilé elektrody a elektrolyty, které zvyšují kapacitu a životnost baterií. Nové materiály, jako jsou keramické pevné elektrolyty, umožňují vývoj solid-state baterií, které jsou bezpečnější a mají vyšší energetickou hustotu ve srovnání s tradičními kapalnými elektrolyty. Dalším příkladem jsou uhlíkové nanomateriály, které zlepšují vodivost a mechanickou stabilitu baterií. Tyto inovace jsou klíčové pro vytvoření efektivních systémů pro ukládání energie, které jsou nezbytné pro integraci obnovitelných zdrojů energie, jako je solární a větrná energie.	Pořizovací náklady: Náklady na vývoj nových materiálů pro ukládání energie, jako jsou pokročilé elektrody a elektrolyty, se mohou pohybovat od 500 EUR do 1 000 EUR na kWh instalované kapacity. Provozní náklady: Provozní náklady mohou být kolem 20 EUR až 50 EUR na kWh ročně, zahrnující údržbu a náklady na materiály.
Materiály pro konverzi energie (Materials for Energy Conversion)	Pořizovací náklady: Investiční náklady na zařízení pro konverzi energie, které používají nové katalyzátory,

Materiály pro konverzi energie hrají důležitou roli v přeměně forem energie, například při přeměně sluneční energie na elektrickou energii v solárních článcích nebo při přeměně chemické energie na elektrickou energii v palivových článcích. Katalyzátory, které usnadňují chemické reakce bez toho, aby se samy spotřebovávaly, jsou zásadní pro zvýšení účinnosti těchto procesů. Nové katalytické materiály, jako jsou perovskity, metal-organic frameworks (MOFs) a nanostrukturované kovy, zvyšují účinnost a snižují náklady na výrobu energie z obnovitelných zdrojů. Tyto materiály umožňují vývoj efektivnějších a cenově dostupnějších systémů pro přeměnu energie, což je významné pro dosažení cíle dekarbonizace.	se mohou pohybovat od 1 000 do 2 000 EUR. Provozní náklady: Provozní náklady se odhadují od 30 do 60 EUR na kW ročně, zahrnující údržbu a výměnu katalyzátorů.
Nové materiály pro baterie (Battery Materials) Nové materiály pro baterie jsou zásadní pro vývoj pokročilých technologií ukládání energie. Tradiční materiály, jako jsou olovo a lithium, jsou nyní doplňovány a nahrazovány novými materiály, jako jsou lithium-křemíkové nebo lithium-sírové sloučeniny, které nabízejí vyšší kapacitu a delší životnost. Kromě toho se zkoumají i nové elektrody vyrobené z nanomateriálů, které mají větší povrchovou plochu a lepší elektrické vlastnosti. Tyto inovace umožňují vývoj baterií s vyšší energetickou hustotou a rychlejším nabíjením.	Pořizovací náklady: Náklady na nové bateriové materiály, jako jsou lithium-křemíkové nebo lithium-sírové baterie, se mohou pohybovat od 200 EUR do 400 EUR na kWh. Provozní náklady: Provozní náklady se pohybují v rozmezí 10 EUR až 30 EUR na kWh ročně, zahrnující údržbu a náklady na výměnu baterií. TRL 7 (testování, aplikace v praxi)
Grafen (Graphene) Grafen, jednovrstvý uhlíkový unikátní materiál, a to zejména díky svým výjimečným elektrickým, mechanickým a tepelným vlastnostem. V oblasti dekarbonizace lze grafen využít jako materiál pro elektrody v bateriích, superkondenzátorech a dalších zařízeních pro ukládání energie. Díky své vysoké vodivosti a velkému povrchu umožňuje	Pořizovací náklady: Výrobní náklady na grafenové materiály mohou být vysoké, pohybující se kolem 1 000 EUR až 2 500 EUR na kg grafenu. Provozní náklady: Provozní náklady na aplikace s grafenem se mohou lišit, ale obecně mohou být kolem 50 EUR až 100 EUR na tunu kg, zahrnující údržbu a zpracování.

grafen rychlejší nabíjení při vyšší kapacitě baterií. Kromě toho se grafen využívá i v solárních článcích, kde zvyšuje účinnost přeměny sluneční energie na elektrickou energii. Výzkum a vývoj v oblasti grafenu slibuje významné pokroky v technologiích ukládání a konverze energie, které jsou klíčové pro dekarbonizaci.	TRL 5 (demonstrační projekty)
MXeny a další 2D materiály pro ukládání energie (MXenes and Other 2D Materials for Energy Storage) MXeny jsou skupinou dvourozměrných karbidů a nitridů přechodných kovů, které mají vynikající elektrické a mechanické vlastnosti. Tyto materiály jsou zvláště vhodné pro použití v elektrochemických zařízeních, jako jsou baterie a superkondenzátory, díky své vysoké vodivosti a velké povrchové ploše. MXeny mohou také sloužit jako elektrody v lithium-iontových a sodíkových bateriích, kde zlepšují kapacitu a rychlost nabíjení. Spolu s dalšími 2D materiály, jako je fosforen a molybdenit, MXeny nabízejí nové možnosti pro vývoj pokročilých technologií ukládání energie.	Pořizovací náklady: Investiční náklady na MXeny a další 2D materiály se uvádějí v rozmezí od 1 000 EUR do 2 000 EUR na kg. Provozní náklady: Provozní náklady mohou dosahovat 50 EUR až 100 EUR na kg ročně, zahrnující údržbu a zpracování. TRL 4-5 (laboratorní výzkum, malé demonstrační projekty)
Nanomateriály pro zlepšení zařízení na konverzi a ukládání energie (Nanomaterials for Improving Energy Conversion and Storage Devices) Nanomateriály, jako jsou nanočástice, nanovlákná a nanostrukturované materiály, hrají klíčovou roli při zlepšování výkonu zařízení na konverzi a ukládání energie. Tyto materiály mají vysoký poměr povrchové plochy k objemu, což zlepšuje katalytické a elektrochemické vlastnosti. Například v solárních článcích mohou nanomateriály zvýšit účinnost přeměny světla na elektrickou energii, zatímco v bateriích zvyšují kapacitu a rychlost nabíjení. Nanomateriály také umožňují vývoj flexibilních a lehkých zařízení, která jsou	Pořizovací náklady: Investiční náklady na nanomateriály, jako jsou nanočástice a nanovlákná, se mohou pohybovat od 1 000 EUR do 3 000 EUR na kg. Provozní náklady: Provozní náklady budou nízké, přibližně 50 EUR až 150 EUR na kg ročně, zahrnující údržbu a zpracování. TRL 4-5 (výzkum, některé malé aplikace)

ideální pro použití v přenosných elektronických zařízeních a elektromobilech.	
Kompozitní a hybridní materiály s přizpůsobenými vlastnostmi pro specifické aplikace (Composites and Hybrid Materials with Tailored Properties for Specific Applications) Kompozitní a hybridní materiály kombinují různé materiály tak, aby vytvořily nové vlastnosti, které jsou přizpůsobeny specifickým aplikacím. V oblasti ukládání a konverze energie se tyto materiály používají k vytvoření elektrod a elektrolytů s vylepšenými vlastnostmi, jako je vyšší kapacita, lepší vodivost a zvýšená stabilita. Kompozitní materiály obsahující uhlíkové nanotrubičky nebo grafen mohou zlepšit mechanickou pevnost a elektrickou vodivost baterií. Hybridní materiály, které kombinují organické a anorganické složky, mohou nabídnout výhody obou typů materiálů a zlepšit výkon zařízení.	Pořizovací náklady: Investiční náklady na kompozitní a hybridní materiály se pohybují v intervalu od 500 EUR do 1 500 EUR na kg. Provozní náklady: Provozní náklady těchto materiálů se pohybují v rozmezí 30 EUR až 70 EUR na kg ročně, zahrnující údržbu a zpracování. TRL 4-6 (demonstrační projekty, pilotní ověřování)
Materiály se specifickými funkcionalitami (např. samoopravitelné, stimuli-reaktivní) pro pokročilé aplikace (Materials with Specific Functionalities for Advanced Applications) Materiály se specifickými funkcionalitami, jako jsou samoopravitelné a stimuli-reaktivní materiály, nabízejí nové možnosti pro pokročilé aplikace v oblasti ukládání a konverze energie. Samoopravitelné materiály mohou automaticky opravovat poškození, což zvyšuje životnost a spolehlivost zařízení. Stimuli-reaktivní materiály, které reagují na vnější podněty, jako je teplota, světlo nebo elektrické pole, mohou zlepšit výkon a efektivitu těchto zařízení. Například materiály, které mění svou strukturu nebo vlastnosti při vystavení světlu, mohou zvýšit účinnost solárních článků.	Pořizovací náklady: Investiční náklady na materiály se specifickými funkcionalitami se mohou pohybovat od 1 000 EUR do 5 000 EUR na kg. Provozní náklady: Provozní náklady mohou být kolem 50 EUR až 200 EUR na kg ročně, zahrnující údržbu a zpracování. TRL 4-5 (laboratorní testy)

Spektroskopické metody (Various Spectroscopic Methods) Spektroskopické metody jsou nezbytné pro charakterizaci a studium materiálů používaných v technologiích ukládání a konverze energie. Technologie, které analyzují interakci světla s látkami a mohou významně přispět k dekarbonizaci tím, že umožňují sledování a optimalizaci procesů snižování emisí. Infračervená spektroskopie (IR) může monitorovat složení plynů a detekovat emise CO₂ či metanu v reálném čase. Ramanova spektroskopie pomáhá v katalytických procesech používaných při zachytávání a ukládání uhlíku nebo výrobě čistých paliv, jako je vodík. Ultrafialová a viditelná spektroskopie (UV-Vis) sleduje fotokatalytické procesy, které mohou přeměňovat CO₂ na užitečné chemikálie. Jaderná magnetická rezonance (NMR) zkoumá strukturu nových materiálů pro efektivní ukládání energie a nízkouhlíkové technologie. Tyto metody zvyšují účinnost klíčových dekarbonizačních technologií a přispívají k redukci emisí v průmyslu.	Pořizovací náklady: Náklady na zařízení pro různé spektroskopické metody se mohou pohybovat od 100 000 EUR do 1 000 000 EUR, v závislosti na typu a složitosti přístroje. Provozní náklady: Provozní náklady mohou být kolem 10 000 EUR až 50 000 EUR ročně. TRL 7-8 (průmyslové procesy v provozu)
---	---

Zdroj: Vlastní zpracování

11.5 Další a vznikající technologie

Technologie zahrnuté do skupiny "Additional and Emerging Technologies" jsou klíčové pro dekarbonizaci díky jejich potenciálu zásadně snížit závislost na fosilních palivech a zvýšit účinnost energetických systémů. Pokročilé jaderné technologie a jaderná fúze nabízejí čisté a stabilní zdroje energie, zatímco produkce zeleného vodíku a umělá fotosyntéza umožňují generovat čistá paliva bez emisí. Technologie bezdrátového přenosu energie, oceánská energie, geotermální a vlnová energie, spolu s vysokohorskými platformami, poskytují nové způsoby získávání energie z přírodních zdrojů. Biologické procesy využívající organismy mohou generovat energii a přispět k obnově životního prostředí, zatímco kvantové jevy mohou revolučním způsobem zlepšit energetickou účinnost a ukládání. Technologie jako 3D tisk, laserové zpracování materiálů a mikrofluidní zařízení umožňují přesnější a efektivnější využití materiálů, což snižuje spotřebu energie a emise v průmyslových procesech. Tyto inovace společně tvoří základ pro přechod k udržitelnému, nízkouhlíkovému hospodářství.

Tabulka 12: Další technologie využitelné pro dekarbonizaci

Pokroky v jaderné energetice a jaderná fúze (Nuclear Power Advancements and Nuclear Fusion) Pokroky v jaderné energetice se zaměřují na zlepšení bezpečnosti, účinnosti a udržitelnosti jaderných reaktorů. Moderní jaderné reaktory (reaktory čtvrté generace), využívají nové chladicí kapaliny, pokročilé palivové cykly a vylepšené konstrukční materiály, což vede k jejich vyšší účinnosti a snížení rizika jaderné havárie. Jaderná fúze představuje revoluční přístup k výrobě energie. Fúzní reaktory, jako je tokamak nebo stellarator, mají potenciál poskytovat téměř neomezené množství čisté energie bez emisí skleníkových plynů. Ačkoli se fúze stále nachází v experimentálním stádiu, výzkum a vývoj v této oblasti by mohl v budoucnu zásadně přispět k dekarbonizaci energetického sektoru.	Pořizovací náklady: Moderní jaderné reaktory čtvrté generace mají investiční náklady v rozmezí 6 000 a 9 000 EUR/kW. Náklady na výstavbu zařízení pro jadernou fúze jsou stále vysoké (například projekt ITER má odhadované náklady kolem 22 miliard EUR a jeho dokončení je plánováno na 2025). Provozní náklady: Provozní náklady jaderných reaktorů dosahují 100-150 EUR/MWh. U jaderné fúze jsou provozní náklady v současné době těžko odhadnutelné kvůli experimentálnímu charakteru projektů. TRL 4 (experimentální fáze, rané prototypy) až 8 (komerčně zralé)
Výroba zeleného vodíku (Green Hydrogen Production) Výroba zeleného vodíku je klíčovou technologií pro dekarbonizaci, protože umožňuje výrobu vodíku bez emisí CO₂. Zelený vodík se vyrábí elektrolyzérem, který využívá obnovitelnou elektřinu k rozkladu vody na vodík a kyslík. Tento vodík může být následně využit jako palivo v palivových článcích nebo jako surovina v chemickém průmyslu. Výzvy v rámci této technologie zahrnují zejména vysoké náklady na elektrolyzéry a vysokou spotřebu zdrojů obnovitelné energie. S rostoucím pokrokem v technologii elektrolyzérů a snižováním nákladů na obnovitelné zdroje by zelený vodík mohl hrát zásadní roli v přechodu na čistší energetické systémy.	Pořizovací náklady: Náklady na elektrolyzéry pro výrobu zeleného vodíku se pohybují kolem 500-1 000 EUR/kW. Celkové kapitálové náklady na výrobu zeleného vodíku mohou být přibližně 1 500-3 000 EUR/kW, v závislosti na velikosti projektu a infrastruktuře. Provozní náklady: Provozní náklady na výrobu zeleného vodíku jsou odhadovány na 30-60 EUR/MWh, přičemž náklady na elektřinu jsou hlavní položkou těchto nákladů. TRL 6-7 (pilotní fáze)
Umělá fotosyntéza (Artificial Photosynthesis)	Pořizovací náklady: Umělá fotosyntéza je stále ve fázi výzkumu a vývoje, takže konkrétní kapitálové náklady

Umělá fotosyntéza je inovativní technologie, která napodobuje přirozený proces fotosyntézy u rostlin, aby přeměnila sluneční světlo na chemickou energii. Tento proces zahrnuje použití katalyzátorů k výrobě paliv, jako je vodík nebo metanol, z vody a CO₂. Technologické pokroky v oblasti umělé fotosyntézy se soustředí na vývoj nových materiálů a systémů, které mohou efektivněji zachytávat sluneční světlo a přeměňovat jej na energeticky bohaté molekuly. Umělá fotosyntéza má potenciál přispět k udržitelné výrobě paliv a snížení emisí CO₂, avšak komerční aplikace této technologie je ovlivněna ekonomickou náročností technologie.	jsou obtížné kvantifikovat. Experimentální zařízení a prototypy mohou mít náklady v řádu milionů EUR. Provozní náklady: Provozní náklady nelze v současnosti odhadovat. TRL 4 (laboratorní fáze)
Bezdrátový přenos energie (Wireless Power Transfer) Bezdrátový přenos energie je technologie, která umožňuje přenos elektrické energie bez použití fyzických kabelů. To je realizovatelné různými metodami, jako je indukční přenos, rezonanční magnetické přenosy nebo laserový přenos energie. Tato technologie je obzvláště užitečná pro nabíjení elektrických vozidel a napájení různých zařízení na dálku. Bezdrátový přenos energie může zjednodušit distribuční infrastrukturu a snížit energetické ztráty při přenosu. Výzvy v této technologické oblasti představují zejména zajištění vysoké účinnosti přenosu a minimalizaci elektromagnetických interferencí.	Pořizovací náklady: Náklady na výstavbu bezdrátového přenosového systému se pohybují od 500 000 do několika milionů EUR, v závislosti na rozsahu a technologii. Provozní náklady: Provozní náklady se mohou pohybovat v rozmezí 10-20 EUR/kWh. TRL 6-7 (demonstrační projekty)
Energie z oceánů (Ocean Energy) Technologie využívá různé přístupy k získávání energie z mořských a oceánských zdrojů. Mezi hlavní technologie patří energie z vln, přílivová a odlivová energie, a energie z teplotních rozdílů v oceánech. Tyto technologie mohou poskytovat stabilní a prediktivní zdroje energie, které doplňují proměnné obnovitelné zdroje, jako je solární a větrná energie. Technologie má vysoké	Pořizovací náklady: Náklady na technologie energie z oceánů se pohybují v intervalu 5 000 a 10 000 EUR/kW. Provozní náklady: Provozní náklady se pohybují kolem 100-150 EUR/MWh, a to včetně údržby a instalace. TRL 5-6 (předkomerční fáze)

náklady na výstavbu a údržbu zařízení v náročných oceánských podmínkách.	
Platformy ve vysokých nadmořských výškách (High-Altitude Platforms) Platformy ve vysokých nadmořských výškách, jako jsou balónové technologie nebo drony, poskytují nové možnosti pro sběr sluneční energie. Vysoké nadmořské výšky umožňují těmto platformám využívat stabilnější sluneční světlo a eliminovat rušení způsobené dalšími atmosférickými podmínkami. Tato technologie má potenciál pro aplikace v oblasti monitorování životního prostředí, komunikace a dokonce i výroby energie. Hlavními výzvami jsou vysoké náklady na výstavbu a provoz těchto systémů a potřeba vyvinout spolehlivé a efektivní technologické řešení pro jejich údržbu.	Pořizovací náklady: Investiční náklady přesahují milion UDS za platformu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují údržbu a provoz, které se mohou pohybovat od 100 000 do několika milionů EUR ročně. TRL 4-5 (výzkumná fáze)
Geotermální energie a energie získaná z mořských vln (Geothermal and Wave Energy) Geotermální energie využívá teplo ze zemského nitra k výrobě elektrické energie nebo k vytápění. Tento přístup k výrobě energie je stabilní a má nízké emise CO₂, ale jeho potenciál závisí na lokalitě a geologických podmínkách. Energie z mořských vln využívá pohyb oceánských vln k výrobě elektrické energie. Technologie pro oba typy energie se stále vyvíjejí, s cílem zlepšit účinnost a snížit náklady. Tyto formy energie mají potenciál hrát významnou roli v energetickém mixu, zvláště v oblastech s vysokým geotermálním nebo vlnovým potenciálem.	Pořizovací náklady: Geotermální technologie mají kapitálové náklady mezi 2 500 a 5 000 EUR/kW, zatímco náklady technologií pro získávání energie z vln se pohybují mezi 6 000 a 12 000 EUR/kW. Provozní náklady: Provozní náklady geotermálních systémů jsou přibližně 20-50 EUR/MWh, u vlnové energie se pohybují kolem 100-150 EUR/MWh. TRL 6-7 (demonstrační projekty)
Biologické procesy a organismy pro výrobu energie (Biological Processes and Organisms for Energy Generation) Biologické procesy a organismy (mikroby, řasy a rostliny), mohou být využity pro výrobu energie prostřednictvím biologických procesů, jako je anaerobní fermentace,	Pořizovací náklady: Náklady na zařízení pro řízení biologických procesů a pro výrobu energie mohou být v rozmezí několika milionů EUR, v závislosti na typu procesu. Provozní náklady:

fotosyntéza nebo produkce bioplynu. Mikroby mohou rozkládat organické odpady na bioplyn, zatímco řasy mohou produkovat bioethanol. Tyto biologické přístupy mohou poskytovat udržitelnou alternativu fosilním palivům a pomoci při zpracování organických odpadů. Výzvy v této oblasti představují zejména optimalizace produktivity a nákladů na kultivaci a zpracování biologických materiálů.	Provozní náklady jsou závislé na druhu použité technologie a surovinách, ale mohou se pohybovat v rozmezí 50-150 EUR/MWh. TRL 7-9 (pilotní ověření až komerční využití)
Biomateriály (Biomaterials) Biomateriály jsou materiály, které jsou buď biologického původu, nebo jsou navrženy tak, aby byly kompatibilní s biologickými systémy. V oblasti dekarbonizace mohou biomateriály podporovat obnovitelné materiály používané v energetických systémech, jako jsou biopolymerové kompozity nebo materiály z biomasy. Tyto materiály mohou nahradit konvenční syntetické materiály a snížit uhlíkovou stopu výrobních procesů. Výzkum v této oblasti se zaměřuje na vývoj nových biomateriálů s lepšími vlastnostmi a nižšími náklady.	Pořizovací náklady: Investice do výroby biomateriálů závisí na druhu biomateriálů a jejich aplikacích, náklady se pohybují v řádu milionů EUR. Provozní náklady: Provozní náklady na výrobu biomateriálů zahrnují náklady na suroviny a údržbu zařízení a mohou se pohybovat od 50 do 200 EUR/MWh. TRL 6-9 (výzkum až vstup na trh)
Environmentální remedie (Environmental Remediation) Environmentální remedie zahrnuje technologie a procesy používané k odstranění nebo neutralizaci kontaminantů z půdy, vody a vzduchu. V oblasti dekarbonizace mohou remedie zahrnovat techniky pro snižování emisí skleníkových plynů, jako je zachycování a ukládání CO₂ (CCS), nebo biologické metody čištění znečištěných lokalit. Efektivní environmentální remedie je klíčová pro obnovu ekologických systémů a zlepšení kvality životního prostředí.	Pořizovací náklady: Náklady na technologii environmentální remedie se mohou pohybovat od stovek tisíc do několika milionů EUR, v závislosti na velikosti a typu projektu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na chemikálie, pracovní sílu a údržbu, které se mohou pohybovat mezi 100-500 EUR/m³ čištěné vody nebo znečištěné půdy. TRL 5-8 (pilotní projekty až prvotní aplikace)
Kvantové jevy pro zlepšení konverze a ukládání energie a vývoj nových výpočetních paradigmat (Quantum Phenomena for Improving Energy	Pořizovací náklady: Technologie založené na kvantových jevech jsou stále ve fázi výzkumu a vývoje, a jejich kapitálové náklady se mohou pohybovat v

Conversion and Storage Devices and for Developing New Computing Paradigms) Kvantové jevy, jako je kvantová interferometrie a kvantové tunelování, mohou mít zásadní vliv na zlepšení účinnosti energetických zařízení. Kvantové materiály mohou zlepšit výkon superkondenzátorů a baterií. Kvantové výpočty také slibují revoluci v oblasti výpočetní techniky, což může vést k novým paradigmatům v návrhu energetických systémů a energetickou optimalizaci.	řádu milionů EUR pro experimentální zařízení. Provozní náklady: Provozní náklady jsou stále vysoce spekulativní, protože technologie je ve stádiu vývoje a zahrnují náklady na údržbu a provoz laboratorního vybavení. TRL 4-7 (výzkum až prototyp)
3D tisk (3D Printing) 3D tisk, neboli aditivní výroba, je technologie, která umožňuje vytvářet objekty vrstvu po vrstvě na základě digitálních modelů. V oblasti dekarbonizace může 3D tisk přispět k efektivnějším výrobním procesům, snížení odpadu a možnosti vytváření složitých struktur, které by byly jinak obtížně výrobitelné. Tato technologie má potenciál transformovat výrobu komponentů pro energetické systémy, jako jsou komponenty pro větrné turbíny nebo solární panely, a tím přispět k udržitelnějším výrobním procesům.	Pořizovací náklady: Kapitálové náklady na 3D tiskárny se pohybují od několika tisíc do několika milionů EUR, v závislosti na velikosti a technologii tiskárny. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na materiály a údržbu, které se mohou pohybovat kolem 20-50 EUR/kg vytištěného materiálu. TRL 8-9 (aplikace v průmyslu, komerční využití)
Laserové technologie pro zpracování materiálů (Laser Technologies for Material Processing) Laserové technologie jsou využívány pro přesné zpracování materiálů, včetně řezání, sváření a povrchové úpravy. Tyto technologie umožňují vysokou přesnost a efektivitu v průmyslovém zpracování materiálů, což může přispět ke snižování odpadu a zvyšování účinnosti výrobních procesů. V kontextu dekarbonizace mohou laserové technologie pomoci optimalizovat výrobu a zpracování komponentů pro obnovitelné energetické systémy, jako jsou solární panely nebo komponenty pro elektromobily.	Pořizovací náklady: Pořizovací náklady se pohybují od několika tisíc do několika milionů EUR, v závislosti na velikosti aplikace a materiálech. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na údržbu, energii a spotřební materiály, které se mohou pohybovat kolem 10-50 EUR/hodinu provozu. TRL 8-9 (aplikace v průmyslu, komerční využití)
Mikrofluidní zařízení pro přesnou kontrolu a manipulaci kapalin a materiálů	Pořizovací náklady:

na mikroúrovni (Microfluidic Devices for Precise Control and Manipulation of Fluids and Materials at the Microscale) Mikrofluidní zařízení umožňují precizní manipulaci kapalin a materiálů na mikroúrovni. Tyto zařízení jsou využívána v oblasti výzkumu a vývoje, včetně výrobních procesů, kde je třeba řídit tok kapalin s vysokou přesností. V oblasti dekarbonizace mohou mikrofluidní technologie přispět k vývoji nových materiálů a komponentů pro energetické systémy, jako jsou pokročilé baterie a palivové články, které vyžadují precizní kontrolu procesů a reakcí na mikro úrovni.	Náklady na vývoj a výrobu mikrofluidních zařízení mohou být od několika tisíc do milionů EUR, v závislosti na komplexnosti a aplikaci. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na materiály a údržbu, které se mohou pohybovat v řádu tisíců EUR ročně, v závislosti na rozsahu použití. TRL 4-7 (vývoj až laboratorní testy)
--	---

Zdroj: Vlastní zpracování

11.6 Průřezová témata/technologie

Nástroje zařazené do této skupiny mají význam pro podporu dekarbonizace díky jejich schopnosti zlepšovat efektivitu výrobních a spotřebních procesů a tím pádem snižovat emise a podporovat udržitelný rozvoj. Chytré IT technologie umožňují efektivnější řízení energetických systémů, průmyslových procesů a optimalizaci zdrojů. Výkonné výpočetní systémy a blockchain poskytují robustní platformy pro analýzu dat a zajištění transparentnosti v dodavatelských řetězcích a kontrolu na energetických trzích. Cirkulární ekonomika, zaměřená na recyklaci a opětovné využití materiálů, minimalizuje odpad a maximalizuje využití zdrojů. V zemědělství a nakládání s odpady jsou klíčové automatizace, senzory a datové analýzy, které optimalizují využití zdrojů a snižují environmentální dopad. Nástroje sociálních a humanitních věd umožňují lepší sociální přijetí nových technologií pro dekarbonizaci a přispívají ke vzniku vhodných politických a regulačních rámců dekarbonizace.

Tabulka 13: Průřezová technologická témata

Umělá inteligence (Artificial Intelligence) Umělá inteligence (AI) se stává klíčovým nástrojem v oblasti dekarbonizace díky své schopnosti analyzovat velké množství dat, optimalizovat procesy a poskytovat inovativní řešení pro snižování emisí CO₂. AI se využívá k optimalizaci energetických systémů, predikci spotřeby energie a optimalizaci provozu obnovitelných zdrojů energie. AI může pomoci v optimalizaci	Pořizovací náklady: Vývoj a implementace AI systémů může být velmi variabilní. Náklady na vybudování AI infrastruktury, včetně hardwaru a softwaru, se mohou pohybovat od několika tisíc EUR pro malé projekty až po miliony EUR pro rozsáhlé implementace v průmyslových a vládních systémech. Implementace AI pro energetické řízení může mít kapitálové
--	---

výroby a distribuce energie z obnovitelných zdrojů tím, že předpovídá poptávku a přizpůsobuje výrobu v reálném čase. Dále, AI může být použita k monitorování a analýze emisí v průmyslových procesech a navrhnout opatření ke snížení jejich dopadu na životní prostředí. Z dlouhodobého hlediska může AI také přispět k vývoji nových technologií a materiálů pro efektivnější ukládání energie a zlepšení energetické účinnosti.	náklady kolem 500 000 až 5 milionů EUR, v závislosti na rozsahu a komplexnosti. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na údržbu a aktualizace AI systémů, které mohou být od 10 000 do 500 000 EUR ročně. Tyto náklady zahrnují také náklady na data a výpočetní kapacity. TRL 7 (terénní testy, aplikace v praxi)
Strojové učení (Machine Learning) Strojové učení (ML), jakožto podmnožina umělé inteligence, se specializuje na vytváření algoritmů, které se učí a zlepšují na základě zkušeností a dat. V oblasti dekarbonizace ML nachází uplatnění v optimalizaci energetických systémů a v predikci spotřeby a výroby energie. Pomocí ML lze analyzovat vzory v datech z obnovitelných zdrojů energie, jako jsou solární panely a větrné turbíny, což umožňuje zlepšení jejich výkonu a efektivitu. ML také hraje klíčovou roli v návrhu a optimalizaci systémů pro skladování energie a v analýze emisí skleníkových plynů. Dále, ML může přispět k rozvoji nových technologií pro zachycování a využívání CO₂ tím, že identifikuje efektivní procesy a materiály pro tyto aplikace.	Pořizovací náklady: Implementace strojového učení zahrnuje náklady na vývoj algoritmů, hardwarovou infrastrukturu a software. Odhadované kapitálové náklady mohou být od 50 000 do 2 milionů EUR. Záleží na velikosti projektu a potřebné výpočetní kapacitě. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na údržbu a školení modelů strojového učení, které mohou být v rozmezí 20 000 až 200 000 EUR ročně. Tyto náklady zahrnují také náklady na cloudové služby a data. TRL 7 (terénní testy, aplikace v praxi)
Internet věcí (Internet of Things) napříč různými aplikacemi (IoT) Internet věcí (IoT) se skládá z propojených zařízení a senzorů, které shromažďují a sdílejí data v reálném čase. V oblasti dekarbonizace může mít IoT klíčovou roli při monitorování a řízení energetických systémů a procesů. IoT senzory mohou být použity ke sledování spotřeby energie v domácnostech a průmyslových zařízeních, což umožňuje identifikaci oblastí s vysokou spotřebou a optimalizaci jejich používání. V oblasti obnovitelných energií IoT umožňuje	Pořizovací náklady: Instalace IoT systémů zahrnuje náklady na senzory, zařízení a infrastrukturu. Celkové kapitálové náklady mohou být v rozmezí 100 000 až 5 milionů EUR v závislosti na rozsahu a aplikaci. Například, chytré městské systémy mohou mít vyšší kapitálové náklady. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na údržbu zařízení, správu dat a přenosy, které se mohou pohybovat od 10 000 do 500 000

monitorování výkonu solárních panelů a větrných turbín a poskytuje data pro jejich údržbu a optimalizaci. IoT technologie také podporují chytré sítě (smart grids) a umožňují efektivní integraci obnovitelných zdrojů energie do stávajících energetických infrastruktur.	EUR ročně, v závislosti na rozsahu a počtu zařízení. TRL 7 (terénní testy, aplikace v praxi)
Digitální dvojčata (Digital Twins) Digitální dvojčata jsou virtuální modely fyzických objektů, procesů nebo systémů, které umožňují simulaci a analýzu jejich chování v reálném čase. V kontextu dekarbonizace se digitální dvojčata používají k simulaci a optimalizaci energetických systémů, jako jsou elektrárny a distribuční sítě. Díky digitálním dvojčatům lze analyzovat, jak různé změny v provozu nebo v designu ovlivňují energetickou účinnost a emise. Tato technologie rovněž umožňuje předvídání problémů a optimalizaci údržby, čímž přispívá ke snížení provozních nákladů a emisí. Digitální dvojčata se také uplatňují v oblasti návrhu nových technologií pro výrobu a ukládání energie, kde umožňují testování a zlepšování návrhů v simulovaném prostředí před jejich skutečnou výrobou.	Pořizovací náklady: Vývoj a implementace digitálních dvojčat zahrnují náklady na vytvoření a údržbu virtuálních modelů. Tyto náklady se mohou pohybovat od 100 000 do 5 milionů EUR. Náklady závisí na složitosti modelů a technologiích použitých pro jejich vytvoření. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují údržbu modelů a aktualizace dat, které mohou být od 20 000 do 200 000 EUR ročně. Náklady se liší podle toho, jak často jsou modely aktualizovány a jak složité jsou. TRL 6-8 (pilotní projekty, aplikace v průmyslu)
Výpočetní technika vysokého výkonu (High-Performance Computing) Výpočetní technika vysokého výkonu (HPC) zahrnuje používání superpočítačů a výkonných výpočetních systémů pro složité simulace a analýzy. V oblasti dekarbonizace HPC umožňuje modelování a simulaci komplexních energetických systémů, včetně predikce chování obnovitelných zdrojů energie a vývoje nových technologií. HPC se využívá k analýze velkých množství dat získaných z IoT senzorů a k optimalizaci návrhu nových materiálů pro baterie a energetické systémy. Dále HPC pomáhá při modelování klimatických změn a posuzování vlivu různých dekarbonizačních scénářů na globální klima. Díky svým schopnostem HPC	Pořizovací náklady: Superpočítače a HPC infrastruktura mohou mít kapitálové náklady v rozmezí 1 až 200 milionů EUR, v závislosti na velikosti a výkonu systému. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na energii, údržbu a personál, které se mohou pohybovat od 500 000 do 10 milionů EUR ročně. TRL 8 (využívány v průmyslu)

přispívá k urychlení vývoje a implementace inovativních technologií pro snížení emisí skleníkových plynů.	
Blockchain Blockchain je technologie distribuovaných ledgerů, která zajišťuje transparentnost, bezpečnost a neměnnost záznamů v decentralizované síti. V oblasti dekarbonizace blockchain může hrát roli v monitorování a sledování emisí CO₂, ověřování uhlíkových kreditů a obchodování s nimi. Pomocí blockchainu lze vytvářet důvěryhodné a nezměnitelné záznamy o emisích a o tom, jakými opatřeními byly sníženy, což zjednodušuje procesy auditu a certifikace. Dále blockchain podporuje decentralizované energetické trhy a peer-to-peer obchodování s energií, což může zefektivnit distribuci obnovitelné energie a podporovat větší integraci lokálních energetických zdrojů do hlavních sítí. Technologie blockchain také usnadňuje sledování dodavatelských řetězců a zajišťuje, že materiály a produkty používané v dekarbonizačních technologiích splňují stanovené ekologické standardy.	Pořizovací náklady: Náklady na zavedení blockchainové technologie zahrnují náklady na vývoj a implementaci blockchainových systémů. Tyto náklady se mohou pohybovat od 50 000 do 20 milionů EUR v závislosti na komplexnosti a rozsahu projektu. Provozní náklady: Provozní náklady zahrnují náklady na údržbu blockchainových sítí a energii potřebnou pro těžbu (v případě veřejných blockchainů), které se mohou pohybovat od 10 000 do 500 000 EUR ročně. TRL 6-7 (aplikace v energetických trzích, rané demonstrační projekty)

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 14: Technologie v oblasti oběhového hospodářství

Recyklace a opětovné využívání materiálů Recyklace a opětovné využívání materiálů hrají klíčovou roli v dekarbonizaci tím, že snižují potřebu primární těžby surovin a snižují množství odpadu, který končí na skládkách. Tento proces zahrnuje shromažďování, třídění a zpracování použitých materiálů, jako jsou plasty, kovy a papír, aby mohly být znovu využity ve výrobním procesu. Recyklace přispívá k úspoře energie, protože výroba produktů z recyklovaných materiálů obvykle vyžaduje	Pořizovací náklady: 1) Recyklace plastů: Odhadované kapitálové náklady pro recyklační zařízení na plasty se pohybují od 1 milionu do 10 milionů EUR v závislosti na velikosti a kapacitě zařízení. 2) Recyklace kovů: Zařízení na recyklaci kovů může mít kapitálové náklady od 500 000 do 5 milionů EUR. Provozní náklady: 1) Recyklace plastů: Roční provozní náklady mohou být v rozmezí 200 000 až
--	--

méně energie než použití nových surovin. Například, recyklace hliníku může ušetřit až 95% energie ve srovnání s výrobou hliníku z bauxitu. Tímto způsobem recyklace přispívá k redukci emisí skleníkových plynů a snižuje tlak na přírodní zdroje. Recyklace a opětovné využívání materiálů rovněž podporují cirkulární ekonomiku tím, že vytvářejí uzavřené cykly pro materiály a produkty, což zajišťuje jejich udržitelné používání a minimalizaci odpadu.	2 miliony EUR v závislosti na objemu zpracovávaného odpadu a nákladech na pracovní sílu. 2) Recyklace kovů: Provozní náklady se mohou pohybovat od 100 000 do 1 milionu EUR ročně. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)
Odpady a vyřazené baterie Odpady a vyřazené baterie představují významný problém v oblasti odpadového hospodářství a mají potenciál pro dekarbonizaci v případě, že jsou správně recyklovány. Vyřazené baterie, zejména lithium-iontové baterie z elektrických vozidel a elektroniky, obsahují cenné kovy jako lithium, kobalt a nikl, které mohou být recyklovány a znovu využity. Tento proces snižuje potřebu těžby nových surovin, což má za následek snížení emisí CO₂ spojených s těžbou a výrobou. Kromě toho, správná likvidace baterií zabraňuje uvolnění škodlivých chemikálií do životního prostředí. Technologie na zpracování odpadu, jako jsou pyrometalurgické a hydrometalurgické procesy, se neustále vyvíjejí, aby zefektivnily recyklaci baterií a odpadních materiálů, čímž přispívají k minimalizaci ekologického dopadu odpadu a podporují udržitelný cyklus životnosti produktů.	Pořizovací náklady: Investiční náklady na zařízení pro recyklaci vyřazených baterií, jako jsou lithium-iontové baterie, se mohou pohybovat od 2 milionů do 20 milionů EUR v závislosti na technologii a kapacitě zařízení. Provozní náklady: Roční provozní náklady zahrnují náklady na pracovní sílu, energii a materiály, a mohou se pohybovat od 500 000 do 5 milionů EUR. TRL 6-8 (pokročilá fáze vývoje)
Efektivita využívání zdrojů Principy efektivního využívání zdrojů se zaměřují na maximalizaci hodnoty materiálů a energie během jejich životního cyklu a minimalizaci odpadu a emisí. Tato strategie zahrnuje optimalizaci výrobních procesů, zlepšení návrhu produktů pro snadnou recyklaci a efektivní použití materiálů. Efektivita využívání zdrojů přispívá k dekarbonizaci tím, že snižuje celkovou	Pořizovací náklady: Investice do technologií zaměřených na zvýšení efektivity využívání zdrojů, jako jsou pokročilé výrobní systémy a automatizace, se mohou pohybovat od 500 000 do 10 milionů EUR. Provozní náklady: Roční provozní náklady mohou být v rozmezí 100 000 až 1 milion EUR, v závislosti na

spotřebu energie a materiálů, čímž se snižují emise CO₂ spojené s výrobou a transportem. Technologie jako jsou pokročilé výrobní procesy, automatizace a materiálové inovace mohou výrazně zlepšit efektivitu využívání zdrojů. Příkladem může být design pro recyklaci, kde produkty jsou navrhovány tak, aby byly snadno rozložitelné a recyklovatelné, čímž se zjednodušuje jejich následné zpracování a opětovné využití. Tento přístup nejenže snižuje ekologickou stopu výrobků, ale také podporuje přechod k cirkulární ekonomice, kde se materiály a produkty neustále vracejí do výrobního cyklu.	údržbě a provozních nákladech spojených s novými technologiemi. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)
Recyklace a valorizace odpadu Recyklace a valorizace odpadu se zaměřují na transformaci odpadních materiálů na hodnotné produkty nebo zdroje. Tento proces zahrnuje zpracování odpadu tak, aby mohl být přeměněn na nové materiály, energii nebo chemikálie, které mají ekonomickou hodnotu. V oblasti dekarbonizace hraje valorizace odpadu důležitou roli tím, že přispívá k úspoře zdrojů a snižování emisí. Například, technologické postupy jako je termická degradace, anaerobní fermentace a pyrolýza mohou přeměnit organický odpad na bioplyn, což přispívá k výrobě obnovitelné energie a zlepšuje půdní vlastnosti. Dále, recyklace plastového odpadu do nových produktů snižuje potřebu nových plastů a tím i emise spojené s jejich výrobou. Tento přístup k odpadu podporuje udržitelné využívání zdrojů a pomáhá snížit negativní dopad odpadu na životní prostředí.	Pořizovací náklady: 1) Termická degradace a pyrolýza: Zařízení pro termickou degradaci nebo pyrolýzu odpadu může mít kapitálové náklady od 1 milionu do 20 milionů EUR v závislosti na velikosti a technologii. 2) Anaerobní fermentace: Kapitálové náklady pro anaerobní fermentační systémy mohou být od 500 000 do 10 milionů EUR. Provozní náklady: 1) Termická degradace a pyrolýza: Roční provozní náklady mohou být v rozmezí 200 000 až 3 miliony EUR. 2) Anaerobní fermentace: Roční provozní náklady se pohybují od 100 000 do 2 milionů EUR. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 15: Technologie v oblasti zemědělství a využívání přírodních zdrojů

Senzory Senzory hrají klíčovou roli v optimalizaci zemědělských procesů a využívání zdrojů, přičemž jejich přínos pro dekarbonizaci spočívá v efektivnějším řízení a sledování environmentálních podmínek. Moderní senzory mohou monitorovat různé faktory, jako je vlhkost půdy, teplota, úroveň živin a zdravotní stav plodin. Díky těmto informacím mohou farmáři přesněji dávkovat hnojiva a pesticidy, čímž se snižuje jejich nadměrné používání, které může přispívat k emisím skleníkových plynů a kontaminaci vody. Senzory také umožňují efektivnější využívání vody, což je klíčové pro udržitelnost a snižování uhlíkové stopy zemědělství. Senzory pro sledování vlhkosti půdy mohou optimalizovat zavlažování, čímž se minimalizuje plýtvání vodou a snižuje spotřeba energie na čerpání vody. Tímto způsobem přispívají senzory k redukci emisí CO₂ a podpoře udržitelných zemědělských praktik.	Pořizovací náklady: Kapitálové náklady na základní senzory pro monitorování půdní vlhkosti, teploty a živin se pohybují od 500 do 5 000 EUR za jednotku. Pokročilé systémy, které zahrnují více senzorů a integrační platformy, mohou stát od 10 000 do 50 000 EUR. Investice do sofistikovaných senzorů pro řízení zavlažování, včetně automatizovaných systémů, mohou dosáhnout 20 000 až 100 000 EUR, v závislosti na velikosti a komplexnosti systému. Provozní náklady: Roční provozní náklady zahrnují údržbu, kalibraci a případnou výměnu senzorů, a mohou se pohybovat od 1 000 do 10 000 EUR ročně na farmu. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)
Automatizace Automatizace v zemědělství zahrnuje použití pokročilých technologií, jako jsou autonomní traktory, drony a robotické systémy, které přispívají k efektivnějšímu a ekologičtějšímu zemědělství. Automatizované systémy mohou provádět jednotlivé zemědělské úkoly (setí, sklizeň a aplikace hnojiv) s vysokou přesností a efektivitou, což snižuje potřebu ruční práce a minimalizuje chyby, které mohou vést k nadměrnému použití zdrojů. Například autonomní traktory vybavené GPS technologií mohou optimalizovat trasy a minimalizovat překryvy při orbě, čímž se snižuje spotřeba paliva a emise skleníkových plynů. Drony mohou monitorovat zdraví plodin a poskytovat data v reálném čase pro přesné řízení zásahů. Automatizace tak přispívá k efektivnějšímu	Pořizovací náklady: Investiční náklady na autonomní traktory a zemědělské stroje se pohybují od 100 000 do 500 000 EUR, v závislosti na velikosti a vybavení. Investice do dronů pro monitorování plodin se pohybují od 5 000 do 30 000 EUR, v závislosti na technologii a funkcionalitě. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu a provoz mohou být v rozmezí 10 000 až 50 000 EUR, v závislosti na počtu a typu zařízení. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)

využívání zdrojů, snižování odpadu a emisí a zlepšení udržitelnosti zemědělských procesů	
Datová analýza (Data Analytics) Datová analýza hraje klíčovou roli v optimalizaci zemědělských praktik tím, že poskytuje hluboké analytické poznatky o zemědělských procesech a podmínkách. Analýza dat umožňuje farmářům identifikovat vzorce a trendy v souvislosti s růstem plodin, úrodou a spotřebou zdrojů. Pomocí pokročilých algoritmů a strojového učení mohou zemědělci optimalizovat plánování plodin, řízení hnojiv a vody a predikci výnosů. Tím se minimalizuje plýtvání a zvyšuje efektivita. Datová analytika také umožňuje simulaci různých scénářů a optimalizaci rozhodovacích procesů, což přispívá ke snižování environmentálního dopadu. Pokročilá analýza dat tak podporuje dekarbonizaci zemědělství prostřednictvím efektivního využívání zdrojů a minimalizace negativních environmentálních dopadů.	Pořizovací náklady: Investice do softwaru pro analýzu dat v zemědělství, včetně platform pro správu dat a analytických nástrojů, mohou být od 10 000 do 100 000 EUR, v závislosti na rozsahu a funkcionalitě. Náklady na implementaci systémů pro správu dat a integraci s existujícími technologiemi se mohou pohybovat od 20 000 do 200 000 EUR. Provozní náklady: Roční náklady na podporu a údržbu softwaru se mohou pohybovat od 5 000 do 20 000 EUR, v závislosti na velikosti farmy a objemu dat. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 16: Technologie v odpadového hospodářství a recyklace

Zpracování odpadu Zpracování odpadu hraje klíčovou roli v dekarbonizaci tím, že efektivně přeměňuje odpady na užitečné produkty a tím snižuje emise skleníkových plynů při výrobě nových produktů. Moderní technologie zpracování odpadu zahrnují metody jako pyrolýzu, spalování s energetickým využitím, a biologické zpracování. Spalovny odpadu s moderními filtračními systémy mohou přeměnit odpad na energii, čímž snižují potřebu fosilních paliv a redukuje emise CO₂. Biologické metody, jako kompostování, mohou převádět organický odpad na hodnotné komposty, což přispívá k	Pořizovací náklady: Investiční náklady na spalovny odpadu se obvykle pohybují od 300 do 1 000 EUR za tunu kapacity zpracování odpadu. To zahrnuje náklady na výstavbu zařízení, instalaci filtračních systémů a vybavení pro energetické využití. Investice do pyrolýzních a plazmových zařízení na zpracování odpadu se mohou pohybovat od 500 000 do 20 milionů EUR, v závislosti na velikosti a technologii. Provozní náklady: Roční náklady na provoz a údržbu spaloven se pohybují od 50 do 200 EUR za tunu
---	--

obohacování půdy a snižuje potřebu chemických hnojiv. Efektivní zpracování odpadu tak přispívá nejen k redukci množství odpadu, ale také ke snížení emisí skleníkových plynů spojených s tradičními způsoby likvidace odpadu.	zpracovaného odpadu. Tyto náklady zahrnují energie, údržbu a pracovní sílu. Roční náklady na kompostování nebo anaerobní digesce mohou být v rozmezí 10 až 50 EUR za tunu zpracovaného organického odpadu. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)
Znovuvyužití zdrojů Opětovné využívání zdrojů se zaměřuje na získávání a znovu využívání již použitých materiálů z odpadu. To významně snižuje spotřebu primárních surovin a tím i emise spojených s jejich těžbou a zpracováním. Technologie jako recyklace kovů, plastů a papíru umožňují využívat již existující materiály, což snižuje potřebu nových surovin a energetických nároků na jejich výrobu. Například recyklace hliníku je velmi energeticky efektivní, protože proces recyklace spotřebovává až 95 % méně energie než výroba nového hliníku. Znovuvyužití zdrojů také zahrnuje rozvoj nových technologií, jako jsou metody pro recyklaci baterií a elektronického odpadu, které pomáhají minimalizovat environmentální dopady spojené s těžbou a zpracováním těchto materiálů.	Pořizovací náklady: Investice do zařízení na recyklaci kovů se mohou pohybovat od 1 do 10 milionů EUR, v závislosti na velikosti a technologii. Kapitálové náklady na zařízení na recyklaci plastů jsou obvykle v rozmezí 500 000 až 5 milionů EUR. Náklady závisí na typu plastů, technologii a kapacitě zařízení. Provozní náklady: Roční náklady na provoz a údržbu recyklačních zařízení pro kovy se pohybují od 20 do 100 EUR za tunu zpracovaného materiálu. Roční provozní náklady na recyklaci plastů jsou v rozmezí 30 až 150 EUR za tunu zpracovaného plastu. TRL 7-9 (pilotní projekty až komerční nasazení)
Odstraňování znečištění Technologie a metody pro odstranění kontaminantů z prostředí přispívají dekarbonizaci tím, že snižují množství škodlivých látek a zmírňují jejich negativní dopady. Metody, jako jsou biologické čištění, chemické čištění a fyzikální separace, se používají k odstranění znečišťujících látek z půdy, vody a vzduchu. Bioremediace využívá mikroorganismy k rozkladu organických znečišťujících látek, což může pomoci při čištění kontaminovaných půd a vod. Odstranění znečištění přispívá k ochraně ekosystémů a snižuje riziko uvolnění škodlivých látek do atmosféry, čímž	Pořizovací náklady: Investice do technologií bioremediace, jako jsou bioreaktory nebo biopásky, mohou být od 100 000 do 5 milionů EUR, v závislosti na typu kontaminace a velikosti projektu. Investiční náklady na chemické čištění mohou být od 500 000 do 10 milionů EUR, v závislosti na technologii a rozsahu čištění. Provozní náklady: Roční náklady na provoz bioremediace se pohybují od 10 000 do 200 000 EUR, v závislosti na typu a rozsahu projektu. Roční náklady na chemické čištění mohou být od

podporuje cíle v oblasti snižování emisí a zlepšení kvality ovzduší.	50 000 do 500 000 EUR, v závislosti na objemu a složitosti procesu. TRL 7-8 (pilotní programy, aplikace v terénu)
Monitorování životního prostředí Monitorování životního prostředí zahrnuje použití různých technologií a metod pro sledování kvality vzduchu, vody a půdy. Poskytuje data potřebná pro efektivní řízení a regulaci emisí. Technologie jako senzory pro měření emisí, satelitní snímkování a vzorkování vody umožňují detekci a analýzu znečišťujících látek a emisí skleníkových plynů v reálném čase. Tato data jsou klíčová pro tvorbu politik a strategií zaměřených na snížení emisí a zlepšení environmentálních standardů. Monitorování také pomáhá při hodnocení efektivity opatření na ochranu životního prostředí a poskytuje cenné informace pro přizpůsobení a optimalizaci dekarbonizačních strategií.	Pořizovací náklady: Investice do senzorů a monitorovacích systémů pro sledování kvality vzduchu, vody a půdy mohou být od 10 000 do 500 000 EUR, v závislosti na počtu a typu senzorů. Kapitálové náklady na satelitní snímkování a systémy dálkového průzkumu se mohou pohybovat od 100 000 do 10 milionů EUR, v závislosti na technologii a rozsahu sledování. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu a provoz monitorovacích systémů se pohybují od 5 000 do 50 000 EUR, v závislosti na velikosti a komplexnosti zařízení. Roční náklady na získávání a analýzu satelitních dat mohou být od 20 000 do 200 000 EUR, v závislosti na objemu a frekvenci dat. TRL 7-8 (pilotní programy, aplikace v terénu)

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 17: Technologie v oblasti sociálních a humanitních věd

Společenské zapojení a akceptace politik a strategií Sociální akceptace veřejných politik a veřejné participace při jejich vzniku jsou klíčovými faktory pro úspěšnou implementaci technologií a strategií podporující oblast dekarbonizace. Veřejné zapojení zahrnuje informování a edukaci občanů o výhodách a výzvách spojených s dekarbonizací, jako jsou přechod na obnovitelné zdroje energie, elektrifikace dopravy nebo změny v zemědělských procesech. Účinné kampaně a komunikace mohou pomoci překonat obavy a odpor veřejnosti vůči vyšším nákladům na zelené	Pořizovací náklady: Náklady na vytváření a implementaci aktivit pro zvyšování veřejné participace a společenskou akceptaci politik a strategií se mohou pohybovat od 50 000 do 500 000 EUR. Tyto náklady zahrnují vývoj vzdělávacích materiálů, kampaní a organizaci veřejných akcí. Investice do komplexních kampaní na podporu dekarbonizace mohou být v rozmezí 100 000 až 1 milion EUR, v závislosti na rozsahu a délce kampaně. Provozní náklady:
---	--

technologie nebo změnám v životním stylu. Zapojení veřejnosti a stakeholderů do procesu rozhodování a plánování může také přispět k tomu, že opatření budou lépe přizpůsobena místním potřebám a podmínkám, čímž se zvyšuje jejich efektivita a udržitelnost. Pozitivní sociální akceptace a angažovanost veřejnosti mohou urychlit přechod k nízkouhlíkové ekonomice a zlepšit šance na dosažení klimatických cílů.	Roční náklady na provoz a údržbu veřejných zapojovacích programů mohou být od 20 000 do 200 000 EUR. Náklady zahrnují aktualizaci obsahu, organizaci workshopů a monitorování účinnosti kampaní. TRL 6 (pilotní aplikace)
Politické a regulační rámce Politické a regulační rámce jsou zásadní pro podporu a řízení dekarbonizačních snah na národní a mezinárodní úrovni. Tvorba a implementace efektivních politik a regulací může výrazně ovlivnit tempo přechodu na udržitelné a nízkouhlíkové technologie. Tyto aktivity obsahují tvorbu legislativy, která stanovuje cíle pro snižování emisí, vytváří podmínky a pobídky pro investice do obnovitelných energií, podporuje výzkum a vývoj nových technologií a zajišťuje dodržování environmentálních standardů. Politické nástroje (emisní povolenky, uhlíkové daně a dotace na čisté technologie apod.) mohou vytvářet ekonomické motivace pro podniky i jednotlivce, aby přijali opatření ke snížení uhlíkové stopy. Regulační rámce musí být flexibilní a adaptabilní, aby reagovaly na technologické inovace a změny v ekonomických podmínkách. Efektivní politické a regulační prostředí může přispět k dosažení cílů dekarbonizace a zajištění dlouhodobé udržitelnosti.	Pořizovací náklady: Náklady na vytváření a zavádění nových politických a regulačních rámců mohou být od 200 000 do 5 milionů EUR, v závislosti na rozsahu a složitosti legislativy. Tyto náklady zahrnují studie, poradenství a administrativní práce. Investice do školení pro úředníky a regulační orgány mohou být v rozmezí 50 000 až 500 000 EUR, aby se zajistilo správné pochopení a implementace nových regulací. Provozní náklady: Roční náklady na správu a monitoring regulačních rámců mohou být od 100 000 do 1 milion EUR. Tyto náklady zahrnují pracovní sílu, administrativu a technické náklady spojené s dodržováním předpisů. TRL 6-7 (implementace a vývoj, pilotní testy až aplikace v praxi)

Hodnocení životního cyklu (LCA) Hodnocení životního cyklu (LCA) je metodologie, která se používá k posouzení environmentálních dopadů produktů a procesů během jejich celého životního cyklu, od těžby surovin po jejich konečnou likvidaci. LCA je důležitým nástrojem v dekarbonizační strategii, protože umožňuje komplexní analýzu emisí skleníkových plynů a jiných environmentálních aspektů spojených s výrobou, použitím a likvidací produktů a služeb. Tato analýza může odhalit místa, kde je možné dosáhnout největšího snížení emisí a identifikovat příležitosti pro zlepšení efektivity výroby a spotřeby. LCA může pomoci porovnat environmentální dopady různých materiálů nebo technologií a informovat rozhodování o volbě nejméně zatěžujících možností. Tím, že poskytuje ucelený pohled na environmentální náklady spojené s výrobními a spotřebními procesy, LCA přispívá k udržitelnějším rozhodnutím a pomáhá minimalizovat negativní dopady na životní prostředí.	Pořizovací náklady: Investice do nástrojů a softwaru pro hodnocení životního cyklu mohou být od 10 000 do 100 000 EUR. To zahrnuje nákup softwaru, školení a nastavení systému. Náklady na provádění jednotlivých studií LCA mohou být v rozmezí 20 000 až 200 000 EUR, v závislosti na komplexnosti a rozsahu analýzy. Provozní náklady: Roční náklady na údržbu a aktualizaci systémů LCA se pohybují od 5 000 do 50 000 EUR, zahrnující aktualizace databází, školení a technickou podporu. Roční náklady na provádění a aktualizaci hodnocení životního cyklu mohou být v rozmezí 10 000 až 100 000 EUR, v závislosti na počtu analýz a požadavcích na detailnost. TRL 7-9 (široce využíváno v průmyslu a výzkumu)
---	--

Zdroj: Vlastní zpracování

12 Využití analýzy technologického vývoje v oblasti dekarbonizace pro tvorbu scénářů v energetice

Analýza technologického vývoje v oblasti dekarbonizace poskytuje robustní základ pro tvorbu scénářů budoucího vývoje energetiky. Identifikované technologie a data mohou být využity k predikci dopadů jednotlivých technologií na energetický sektor, modelování možných variant budoucího vývoje k dosažení klimatických cílů a identifikaci klíčových milníků pro strategické řízení rozvoje energetiky. Pro tento účel je vhodné využít optimalizační model energetického systému TIMES-CZ. TIMES-CZ je energetický, technologicky orientovaný, dynamický model využívající modelový generátor TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) vyvinutý v rámci Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) v Mezinárodní energetické agentury (IEA).

Model hledá optimální řešení celkového energetického a technologického mixu, které uspokojí danou (exogenní) poptávku po energiích a energetických službách při dosažení nejnižších možných celkových diskontovaných nákladů za celé analyzované období.

12.1 Klíčové aspekty využití analýzy nových technologií pro modelování

Model umožňuje integrovat regionální specifika, což je klíčové pro efektivní implementaci technologií. Regiony s vysokým potenciálem pro určitou technologii mohou simulovat maximální využití této technologie s ohledem na geografické podmínky, dostupnost vodních zdrojů a stabilitu podloží apod. a hodnotit vliv její implementace na energetickou bilanci a na místní ekosystémy. TIMES umožňuje také zohlednit potenciál pro komunitní projekty, které mohou zvýšit zapojení obyvatel do procesu energetické transformace, resp. procesu dekarbonizace ekonomiky.

Prostřednictvím scénářů zaměřených na dekarbonizaci mohou být na národní úrovni identifikovány efektivní cesty ke snížení emisí skleníkových plynů. TIMES umožňuje simulovat, jak může implementace technologií, resp. technologických celků, přispět k dosažení klimatických cílů. Model rovněž hodnotí dopady dekarbonizačních opatření na energetickou soběstačnost a zajištění stability dodávek energie, přičemž zohledňuje možnosti zlepšení energetické účinnosti v průmyslu, budovách a dopravě.

Zároveň TIMES umožňuje integrovat socioekonomická data, aby výsledné scénáře odpovídaly specifickým potřebám na národní úrovni. Model může analyzovat, jak rozdílné sociogeografické nebo demografické faktory (např. hustota obyvatelstva nebo podíl průmyslové činnosti), ovlivňují poptávku po energii a možnosti dekarbonizačních opatření. TIMES rovněž umožňuje zahrnout politické nástroje, například investice do projektů, které snižují závislost na dovozu fosilních paliv a podporují ekonomickou transformaci směrem k nízkouhlíkové ekonomice.

12.2 Možnosti zahrnutí identifikovaných technologií do scénářů v modelu TIMES

Scénáře vytvořené pomocí modelu TIMES umožňují detailní analýzu dopadů jednotlivých technologií pro dekarbonizaci ekonomiky a na dosažení klimatických cílů a kombinuje tak technologické, ekonomické a environmentální faktory, aby byly identifikovány nejúčinnější strategie dekarbonizace. Následující body ilustrují klíčové možnosti, jak lze identifikované technologie integrovat do komplexních scénářů.

1. Identifikace prioritních technologií

Využití modelu pro podrobné vyhodnocení prioritních technologií na základě jejich potenciálu snižovat emise a přinášet ekonomické výhody. Například technologie s vysokým stupněm technologické připravenosti mohou být zařazeny do scénářů s rychlou implementací, což zajistí jejich efektivní přínos v krátkodobém horizontu. Naopak technologie s nižší technologickou připraveností mohou být začleněny do scénářů zaměřených na dlouhodobé investice do výzkumu a vývoje, které umožní jejich budoucí komerční nasazení. TIMES rovněž umožňuje posoudit různé trajektorie technologického rozvoje v závislosti na úrovni financování a podpory ze strany veřejného i soukromého sektoru.

2. Dlouhodobá simulace dopadů technologií

Tvorba simulací, které zahrnují celý životní cyklus technologií, od výroby po likvidaci, což přináší hodnotu pro pochopení skutečných dopadů technologií na životní prostředí, včetně spotřeby surovin, produkce odpadů a celkové uhlíkové stopy. Simulace mohou např. analyzovat dopady rozvoje vodíkových technologií, které vyžadují rozsáhlou infrastrukturu pro výrobu, distribuci a skladování, a jejich přínosy pro dekarbonizaci energetiky v dlouhodobém horizontu. TIMES rovněž umožňuje srovnání dopadů jednotlivých technologií, což pomáhá při rozhodování o investicích do technologií s největším přínosem pro dekarbonizaci.

3. Uvažování kombinace technologií

TIMES umožňuje modelovat synergické efekty implementace souboru různých technologií. Například kombinace větrné a solární energie s bateriovými systémy může nejen snížit potřebu fosilních paliv, ale také zvýšit stabilitu sítě tím, že pokryje výpadky v produkci způsobené proměnlivostí počasí. TIMES rovněž umožňuje simulovat scénáře zahrnující technologie Power-to-X, které propojují energetický sektor s průmyslem a dopravou. Tento přístup umožňuje posoudit, jak integrace těchto technologií může přispět k dosažení klimatických cílů a zároveň posílit ekonomiku.

4. Scénáře zahrnující politická a ekonomická omezení

TIMES může integrovat různé ekonomické a politické faktory (např. dotace, daňové pobídky nebo uhlíkové daně apod.), které mohou výrazně ovlivnit rozhodování o implementaci technologií. Model může také analyzovat různé politiky a jejich vliv na tržní prostředí a umožňuje také simulovat dopady různých regulačních opatření (např. vliv emisních povolenek na konkurenceschopnost jednotlivých technologií).

5. Citlivostní analýza

TIMES může provádět detailní analýzy citlivosti na různé faktory, jako jsou očekávané náklady technologií a předpoklad jejich účinnosti, nebo změny v legislativě. Tento typ analýzy umožňuje identifikovat klíčové faktory, které mohou ovlivnit úspěšnost implementace nových technologií. Pomocí citlivostní analýzy lze například ukázat, jaký vliv může mít cena baterií na ekonomickou atraktivitu elektromobilů, nebo jaká úroveň podpory obnovitelných zdrojů je nutná k dosažení klimatických cílů v rámci stanoveného časového horizontu.

12.3 Využití scénářů pro podporu rozhodování

Scénáře založené na analýze identifikovaných technologií pro dekarbonizaci prostřednictvím modelu TIMES mohou sloužit jako klíčový nástroj pro strategické rozhodování. Výsledné scénáře mohou poskytnout nejen kvantitativní údaje, ale také kvalitativní vhled na dopady jejich implementace na dlouhodobý vývoj dekarbonizace. Veřejná správa může využít výsledky scénářů k vytvoření politik, které podporují technologické inovace a zároveň řeší sociální a ekonomické výzvy spojené s energetickou transformací. Investoři mohou scénáře využít k minimalizaci rizik spojených s přechodem na nízkouhlíkovou ekonomiku tím, že identifikují oblasti s největším potenciálem návratnosti.

Tvorba scénářů navíc podporuje spolupráci mezi sektory hospodářství (energetika, doprava a průmysl), a vytváří možnosti vzniku integrovaných strategií pro dosažení klimatických cílů. Tento přístup umožňuje kombinovat technologická řešení s regulačními a tržními nástroji a zároveň zohlednit regionální specifika a globální trendy. Díky tomu se scénáře stávají klíčovými nástrojem nejen pro formulaci strategií, ale i pro jejich implementaci a průběžné hodnocení jejich úspěšnosti.

13 Závěr

Dekarbonizace energetiky je jedním z klíčových globálních cílů současnosti, k jehož dosažení mají nové technologie zásadní vliv. Analýza popisuje několik skupin technologií, které mají výrazný dopad na snižování emisí, zvyšování energetické efektivity a transformaci energetických systémů směrem k udržitelnějším řešením. Identifikované technologie nejen umožňují pokrok v ochraně klimatu, ale zároveň podporují ekonomickou konkurenceschopnost, technologický rozvoj a bezpečnost energetických dodávek.

Obnovitelné zdroje energie (solární, větrná, vodní a geotermální energie), se stále více prosazují jako základní pilíř energetických systémů budoucnosti. Tyto zdroje jsou klíčové pro dosažení nízkouhlíkové energetiky, protože přinášejí čistou energii s minimálními emisemi skleníkových plynů. Významným faktorem je však nutnost efektivního skladování energie, aby bylo možné zvládnout přerušovanou povahu některých obnovitelných zdrojů, jako jsou větrné a solární elektrárny. Technologie pro skladování energie, včetně baterií a dalších systémů, umožňují udržení stability energetických sítí a poskytují flexibilitu pro integraci většího podílu obnovitelných zdrojů do stávajících systémů.

Technologie pro zvyšování energetické účinnosti představují další klíčovou složku procesu dekarbonizace. Technologické inovace zaměřené na zlepšení energetické účinnosti umožňují snížit celkovou spotřebu energie, a to jak v průmyslu, tak v domácnostech, aniž by došlo k omezení užití energie nebo produktivity výroby. Moderní technologie, jako jsou chytré sítě nebo systémy pro inteligentní řízení spotřeby energie, umožňují optimalizaci jejího využívání, čímž dochází ke snižování energetických nákladů i emisí CO₂. Tato technologická oblast zahrnuje širokou škálu opatření, od efektivnějšího řízení spotřeby až po modernizaci budov, která přispívá ke snížení energetické náročnosti a ke zlepšení udržitelnosti.

Zachycování uhlíku a jeho následné využití nebo skladování představují důležitou strategii pro snižování emisí z průmyslových odvětví, která jsou jinak obtížně dekarbonizovatelná. Technologie CCS (Carbon Capture and Storage) umožňuje zachytit emise CO₂ před jejich uvolněním do atmosféry a bezpečně je uložit pod zemský povrch. Technologie CCU (Carbon Capture and Utilization) naopak využívá zachycený uhlík pro výrobu nových produktů, například syntetických paliv. Tyto technologie přinášejí významný potenciál pro snížení emisí a jejich rozšíření je klíčové zejména pro těžko dekarbonizovatelné sektory.

Nové materiály a nanotechnologie hrají zásadní roli v transformaci průmyslových odvětví směrem k udržitelnosti. Vývoj lehčích, odolnějších a efektivnějších materiálů přináší výhody ve všech oblastech průmyslu, od stavebnictví až po dopravu. Lehčí materiály znamenají nižší spotřebu energie při výrobě i používání, což má přímý dopad na snížení emisí. Nanotechnologie navíc umožňují vytváření materiálů s jedinečnými vlastnostmi, které mohou

příspěť ke zvýšení energetické účinnosti, k vyšší recyklovatelnosti a k využívání obnovitelných zdrojů při výrobě.

V oblasti dekarbonizace se neustále vyvíjejí nové technologie, které mohou v budoucnosti hrát významnou roli. Patří sem například technologie založené na kvantových fenoménech, biologické procesy pro výrobu energie nebo technologie pro bezdrátový přenos energie. Tyto technologie se stále nacházejí ve fázi výzkumu a vývoje, avšak jejich potenciál pro změnu způsobu výroby a spotřeby energie je obrovský. Jejich implementace v praxi by mohla znamenat zásadní změnu ve způsobu, jakým společnost využívá energetické zdroje, a mohou přispět k dosažení cílů klimatické neutrality.

Každá ze skupin definovaných technologií má zásadní vliv na dekarbonizační proces a na přechod k nízkouhlíkovému hospodářství. Implementace obnovitelných zdrojů energie, zvyšování energetické účinnosti, technologie pro zachycování uhlíku, nové materiály a inovativní technologie poskytují nezbytné nástroje pro zvládnutí environmentálních výzev a zároveň otevírají nové možnosti pro ekonomický růst a konkurenceschopnost. Výzkum a investice do těchto technologií budou klíčové pro dosažení cílů udržitelného rozvoje a transformace energetických systémů na globální úrovni. Dlouhodobá strategie, která podporuje rozvoj těchto technologií, může přinést nejen ekologické přínosy, ale i posílení ekonomické stability a nezávislosti na dovozu fosilních paliv.

14 Použité zdroje

1. Světová banka. (2022). Snižování emisí CO₂ a změna klimatu: Politiky a strategie. Světová banka. Získáno z <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>
2. OECD. (2019). Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences. OECD Publishing. Získáno z https://www.oecd.org/en/publications/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en.html
3. Evropská komise. (2020). Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a Výboru regionů: Zelená dohoda pro Evropu. Získáno z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>
4. GeSI. (2019). SMARTer2030: ICT Solutions for 21st Century Challenges. Získáno z https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
5. Evropská komise. (2015). Sustainable Development Goals. Získáno z https://international-partnerships.ec.europa.eu/policies/sustainable-development-goals_en
6. Evropská komise. (2019). European Green Deal. Získáno z https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
7. Evropská komise. (2021). Evropská zelená dohoda: Tisková zpráva. Získáno z https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_1884
8. Evropská komise. (2020). Návrh nařízení o zřízení programu EU pro výzkum a inovace Horizon Europe. Získáno z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0098>
9. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. (2023). Aktualizace vnitrostátního plánu v oblasti energetiky a klimatu. Získáno z <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/aktualizace-vnitrostatniho-planu-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--277532/>
10. Ministerstvo zemědělství ČR. (2016). Strategie resortu Ministerstva zemědělství. Získáno z <https://mze.gov.cz/public/portal/mze/ministerstvo-zemedelstvi/koncepce-a-strategie/strategie-resortu-ministerstva-1>
11. Ministerstvo životního prostředí ČR. (2017). Politika ochrany klimatu České republiky 2017. Získáno z https://www.mzp.cz/cz/politika_ochrany_klimatu_2017
12. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. (2023). Aktualizace státní energetické koncepce. Získáno z <https://www.mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/aktualizace-statni-energeticke-koncepce-sek--279668/>

13. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. (2023). Vodíková strategie ČR – aktualizace 2024. Získáno z <https://www.mpo.gov.cz/cz/prumysl/strategicke-projekty/vodikova-strategie-cr-aktualizace-2024-schvalena-vladou--282165/>
14. Ministerstvo životního prostředí ČR. (2021). Cirkulární Česko 2040: Strategie pro cirkulární ekonomiku. Získáno z [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_20211213_Vlada-schvalila-Cirkularni_Cesko_2040/\\$FILE/Cirkul%C3%A1rn%C3%AD%20%C4%8Cesko_2040_web.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_20211213_Vlada-schvalila-Cirkularni_Cesko_2040/$FILE/Cirkul%C3%A1rn%C3%AD%20%C4%8Cesko_2040_web.pdf)
15. Evropská komise. (2015). Cíle udržitelného rozvoje. Získáno z <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>
16. Evropská komise. (2018). Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/410 o snižování emisí. Získáno z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0410>
17. Státní fond životního prostředí ČR. (2021). Inovační fond. Získáno z <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/inovacni-fond/>
18. Státní fond životního prostředí ČR. (2021). Modernizační fond. Získáno z <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/modernizacni-fond/>
19. Evropská komise. (2023). Systém obchodování s emisemi (EU ETS). Získáno z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0841>
20. Evropská komise. (2016). Cíle Zelené dohody pro Evropu. Získáno z https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP_16_4009
21. Evropská komise. (2018). Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. Získáno z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L2001>
22. Evropská komise. (2012). Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2012/27 o energetické účinnosti. Získáno z <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32012L0027>
23. Zákony pro lidi. (2021). Zákon č. 382/2021 Sb. o změně energetického zákona. Získáno z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-382>
24. Zákony pro lidi. (2023). Zákon č. 469/2023 Sb. o podpoře obnovitelných zdrojů energie. Získáno z <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2023-469>
25. Evropská komise. (2024). Národní plán čisté mobility. Získáno z <https://www.planobnovy.cz/06-09-2024-narodni-akcni-plan-ciste-mobility>
26. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. (2023). Státní energetická politika 2023. Získáno z <https://www.mpo.gov.cz/assets/cz/energetika/statni-energeticka-politika/2016/12/Statni-energeticka-koncepce-2015.pdf>
27. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. (2020). Dlouhodobá strategie renovací budov do roku 2050. Získáno z <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/energeticka->

ucinnost/strategicke-
dokumenty/_20_III_dlouhodobá_strategie_renovaci_20200520_schvalene.pdf

28. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. (2024). Zpráva o pokroku v plnění cílů energetické účinnosti v ČR. Získáno z <https://www.mpo.gov.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/strategicke-dokumenty/zprava-o-pokroku-v-oblasti-plneni-vnitrostatnich-cilu-energeticke-ucinnosti-v-cr--172771/>
29. Evropská komise. (2023). Tisková zpráva: Horizon Europe. Získáno z https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_4754
30. Evropská komise. (2020). Program Horizon Europe: Výzkum a inovace. Získáno z <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-e>
31. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. (2021). International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2021. Dostupné z: <https://www.ijabe.org> (odkaz směřuje na domovskou stránku časopisu).
32. McKinsey & Company. (2022). Annual Report. McKinsey & Company, 2022. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com>
33. Bureau of Economic Analysis (BEA). (2023). Economic Analysis Report. Bureau of Economic Analysis, 2023. Dostupné z: <https://www.bea.gov>.
34. Farm Equipment and Technology Industry Reports. (2023). Industry Report. Farm Equipment and Technology, 2023.
35. International Journal of Environmental Science and Technology. (2021). International Journal of Environmental Science and Technology, 2021. Dostupné z: <https://www.springer.com/journal/13762>.
36. Environmental Protection Agency (EPA). (2022). EPA Annual Report. Environmental Protection Agency, 2022. Dostupné z: <https://www.epa.gov>.
37. McKinsey & Company Industry Reports. (2023). Industry Report. McKinsey & Company, 2023. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com>
38. Bureau of Economic Analysis (BEA). (2023). Economic Analysis Report. Bureau of Economic Analysis, 2023. Dostupné z: <https://www.bea.gov>
39. International Energy Agency (IEA). (2022). Energy Report 2022. International Energy Agency, 2022. Dostupné z: <https://www.iea.org>
40. European Commission. (2023). Climate Policy Report. European Commission, 2023. Dostupné z: <https://ec.europa.eu>
41. World Resources Institute (WRI). (2022). WRI Publications. World Resources Institute, 2022. Dostupné z: <https://www.wri.org>

Další informační zdroje – Technologická media

<https://news.mit.edu/rss/research>

<https://news.mit.edu/rss/topic/aeronautics>

<https://news.mit.edu/rss/topic/biological-engineering-and-biotechnology>

<https://news.mit.edu/rss/topic/biology-and-genetics>

<https://news.mit.edu/rss/topic/neuroscience-neurology-and-cognitive-sciences>

<https://news.mit.edu/rss/topic/cancer-research>

<https://news.mit.edu/rss/topic/chemistry>

<https://news.mit.edu/rss/topic/civil-engineering>

<https://news.mit.edu/rss/topic/climate-change-and-sustainability>

<https://news.mit.edu/rss/topic/data>

<https://news.mit.edu/rss/topic/electrical-engineering-and-computer-science>

<https://news.mit.edu/rss/topic/earth-and-atmospheric-sciences>

<https://news.mit.edu/rss/topic/energy>

<https://news.mit.edu/rss/topic/materials-science-and-engineering>

<https://news.mit.edu/rss/topic/mechanical-engineering>

<https://news.mit.edu/rss/topic/nanotech>

<https://news.mit.edu/topic/mitrobotics-rss.xml>

<https://news.mit.edu/rss/topic/physics>

<https://news.mit.edu/topic/mitartificial-intelligence2-rss.xml>

<https://news.mit.edu/rss/topic/social-sciences>

<https://stanforddaily.com/feed/>

<https://news.harvard.edu/gazette/section/science-technology/feed/>

<https://www.caltech.edu/about/news/rss>

<https://www.sciencedaily.com/rss/top/science.xml>

<https://www.sciencedaily.com/rss/top/technology.xml>

<https://www.sciencedaily.com/rss/top/society.xml>

<https://www.sciencedaily.com/rss/top/environment.xml>

https://www.sciencedaily.com/rss/strange_offbeat.xml

<https://www.sciencedaily.com/rss/top/health.xml>

https://www.sciencedaily.com/rss/business_industry.xml

<https://www.sciencedaily.com/rss/all.xml>

<https://scitechdaily.com/feed/>

<https://arstechnica.com/science/feed/>

https://joint-research-centre.ec.europa.eu/node/2/rss_en
<https://www.europarl.europa.eu/rss/committee/itre/en.xml>
<https://www.europarl.europa.eu/rss/topic/907/en.xml>
https://research-and-innovation.ec.europa.eu/node/2/rss_en?f%5B0%5D=topic_topic%3A150
<https://www.forbes.com/science/feed2/>
<https://spectrum.ieee.org/rss/fulltext>
<https://rss.nytimes.com/services/xml/rss/nyt/Science.xml>
<https://www.theguardian.com/science/rss>
http://feeds.bbc.co.uk/news/science_and_environment/rss.xml
<https://rss.nytimes.com/services/xml/rss/nyt/Technology.xml>
https://energy.ec.europa.eu/node/2/rss_en
<https://news.mit.edu/rss/topic/science-technology-and-society>
<https://singularityhub.com/feed/>
<https://www.sciencealert.com/rss>
<http://www.quantamagazine.org/feed/>
<http://venturebeat.com/feed/>
<http://www.theverge.com/rss/full.xml>
<http://www.engadget.com/rss-full.xml>
<https://feeds2.feedburner.com/PennOlson>
<https://techcrunch.com/feed/>
<https://www.techradar.com/rss>
<https://www.wired.com/feed/category/science/latest/rss>
<https://feeds.a.dj.com/rss/RSSWSJD.xml>
<https://phys.org/rss-feed/>
<https://www.newscientist.com/subject/technology/feed/>
<https://www.newscientist.com/section/news/feed/>
<https://www.newscientist.com/subject/earth/feed/>
<https://www.newscientist.com/subject/life/feed/>
<https://www.newscientist.com/subject/physics/feed/>
<https://www.newscientist.com/subject/health/feed/>
<http://rss.sciam.com/ScientificAmerican-Global>
<http://rss.sciam.com/sciam/technology>
https://new.nsf.gov/rss/rss_www_news.xml
<https://newatlas.com/science/index.rss>

<https://newatlas.com/technology/index.rss>
<https://newsreleases.sandia.gov/category/sciencetechnologyengineering/feed/>
<https://www.cbc.ca/cmlink/rss-technology>
<https://www.sciencenews.org/>
<https://www.snexplores.org/>
<https://www.pewresearch.org/topics-categorized/>
<https://www.pewresearch.org/topic/science/>
<https://www.pewresearch.org/topic/internet-technology/>
<https://www.futurity.org/>
<https://www.futurity.org/category/science-technology/>
<https://theconversation.com/global/topics/science-1256>
<https://www.space.com/>
<https://sciencex.com/news/>
<https://medicalxpress.com/>
<https://techxplore.com/>
<https://www.livescience.com/feeds/all>
<https://www.npr.org/sections/research-news/>
<https://www.nationalgeographic.com/science/>
<https://futurism.com/>
<https://futurism.com/categories/science-news>
<https://www.chemistryworld.com/research>
<https://www.rsc.org/news-events/>
<https://www.pnas.org/>
<https://www.nasonline.org/news-and-multimedia/>
<https://www.researchinformation.info>
<https://www.independent.co.uk/news/science>
<https://www.sciencedaily.com/>
<https://www.telegraph.co.uk/science/>
<https://www.irishtimes.com/science/>
<https://www.nbcnews.com/science>
<https://www.advancedsciencenews.com/>
<https://www.eurekalert.org/>
https://english.cas.cn/newsroom/cas_media/
<https://www.jsps.go.jp/english/e-news/>

<https://www.japantimes.co.jp/news/japan/science-health/>
<https://sj.jst.go.jp/>
https://www.asahi.com/ajw/sci_tech/
<https://www.sci.news/>
<https://www.popsci.com/>
<https://www.scidev.net/global/>
<https://www.alphagalileo.org/en-gb/>
<https://undark.org/>
<https://eos.org/>
<https://www.scimex.org/>
<https://sciworthy.com/>
<https://www.independentsciencenews.org/>
<https://physicsalert.com/>
<https://scitechdaily.com/>
<https://researchwhisperer.org/>
<https://www.the-scientist.com/>
<https://scienceblog.com/>
<https://www.sciencefocus.com/>
<https://towardsdatascience.com/>
<https://cosmosmagazine.com/>
<https://www.csmonitor.com/Science>
<https://www.discovermagazine.com/>
<https://scienceblogs.com/>
<https://www.science.org.au/news-and-events/news-and-media-releases>
<https://sciencebusiness.net>

Příloha 1: Investiční a provozní náklady identifikovaných technologií

Energie z obnovitelných zdrojů a skladování energie

Technology	Category	Component	Value	Sources
Křemíkové články (Silicon-based Photovoltaic Cells)	CAPEX	Komponenty systému - Křemíkové panely	200–400 EUR/m ²	Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html)
		Komponenty systému - Střídače	50–100 EUR/kW	IRENA: Renewable Power Generation Costs in 2022 (https://www.irena.org/publications/2023/Aug/Renewable-power-generation-costs-in-2022)
		Komponenty systému - Montážní struktury a kabeláž	100–150 EUR/kW	NREL: Best Practices for PV System Installation (https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72091.pdf)
		Instalační práce	100–200 EUR/kW	Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html)
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	1 200–1 800 EUR/kWp	IRENA: Renewable Power Generation Costs in 2022 (https://www.irena.org/publications/2023/Aug/Renewable-power-generation-costs-in-2022)
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	800–1 200 EUR/kWp	NREL: Best Practices for PV System Installation (https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72091.pdf)
		Celkové CAPEX - Velké solární farmy	600–1 000 EUR/kWp	Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html)
	OPEX	Údržba a opravy	10–20 EUR/kWp/rok	IRENA: Renewable Power Generation Costs in 2022 (https://www.irena.org/publications/2023/Aug/Renewable-power-generation-costs-in-2022)
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWp/rok	Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html)
		Celkové roční OPEX	15–30 EUR/kWp/rok	NREL: Best Practices for PV System Installation (https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/72091.pdf)
Tenkovrstvé články (Thin-film Photovoltaic Cells)	CAPEX	Komponenty systému - Tellurid kadmia panely	150–300 EUR/m ²	IRENA: Thin-film Photovoltaic Technology (https://www.irena.org/publications)
		Komponenty systému - Selenid měď-indium-galium panely	200–350 EUR/m ²	Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html)
		Komponenty systému - Střídače	50–100 EUR/kW	NREL: Thin-film Solar Panel Guide (https://www.nrel.gov)
		Instalační práce	100–200 EUR/kW	IRENA: Renewable Energy Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	1 000–1 500 EUR/kWp	Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html)
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	800–1 200 EUR/kWp	NREL: Thin-film Solar Panel Guide (https://www.nrel.gov)

		Celkové CAPEX - Velké solární farmy	600–1 000 EUR/kWp	IRENA: Renewable Energy Costs (https://www.irena.org)
	OPEX	Údržba a opravy	10–20 EUR/kWp/rok	Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report (https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html)
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWp/rok	NREL: Thin-film Solar Panel Guide (https://www.nrel.gov)
		Celkové roční OPEX	15–30 EUR/kWp/rok	IRENA: Renewable Energy Costs (https://www.irena.org)
Perovskitové články (Perovskite Solar Cells)	CAPEX	Komponenty systému - Perovskitové panely	0,20–0,35 EUR/Wp	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Komponenty systému - Střídače	0,05–0,10 EUR/Wp	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Komponenty systému - Montážní struktury a kabeláž	0,10–0,15 EUR/Wp	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Instalační práce	0,10–0,20 EUR/Wp	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	1 100–1 600 EUR/kWp	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	800–1 200 EUR/kWp	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Celkové CAPEX - Velké solární farmy	600–1 000 EUR/kWp	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
	OPEX	Údržba a opravy	10–20 EUR/kWp/rok	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWp/rok	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
		Celkové roční OPEX	1–2 % z CAPEX, tj. 15–30 EUR/kWp/rok	https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/se/d3se00828b
Organické články (Organic Solar Cells)	CAPEX	Komponenty systému - Organické panely	0,30–0,50 EUR/Wp	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Komponenty systému - Střídače	0,05–0,10 EUR/Wp	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Komponenty systému - Montážní struktury a kabeláž	0,10–0,15 EUR/Wp	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Instalační práce	0,10–0,20 EUR/Wp	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	1 200–1 800 EUR/kWp	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	900–1 300 EUR/kWp	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Celkové CAPEX - Velké solární farmy	700–1 100 EUR/kWp	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
	OPEX	Údržba a opravy	15–25 EUR/kWp/rok	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWp/rok	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell
		Celkové roční OPEX	1,5–2,5 % z CAPEX, tj. 20–40 EUR/kWp/rok	https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell

Koncentrované solární elektrárny (Concentrated Solar Power Systems)	CAPEX	Komponenty systému - Zrcadla a heliostaty	1,00–1,50 EUR/Wp	https://www.nrel.gov/csp
		Komponenty systému - Sběrné jednotky a skladování tepla	0,50–1,00 EUR/Wp	https://www.nrel.gov/csp
		Komponenty systému - Kabeláž a řídicí systémy	0,10–0,20 EUR/Wp	https://www.nrel.gov/csp
		Instalační práce	0,30–0,50 EUR/Wp	https://www.nrel.gov/csp
		Celkové CAPEX - Střední projekty	4 000–6 000 EUR/kWp	https://www.nrel.gov/csp
		Celkové CAPEX - Velké solární elektrárny	3 500–5 500 EUR/kWp	https://www.nrel.gov/csp
	OPEX	Údržba a opravy	40–60 EUR/kWp/rok	https://www.nrel.gov/csp
		Pojištění a monitoring	10–20 EUR/kWp/rok	https://www.nrel.gov/csp
		Celkové roční OPEX	2–3 % z CAPEX, tj. 80–150 EUR/kWp/rok	https://www.nrel.gov/csp
Solární paliva (Solar Fuels)	CAPEX	Komponenty systému - Fotoelektrody	1 000–2 000 EUR/kW	Nature Energy: Advances in Solar Fuels (https://www.nature.com/articles/nenergy2019)
		Komponenty systému - Reakční komory	500–1 000 EUR/kW	ScienceDirect: Photoelectrochemical Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991832234X)
		Komponenty systému - Řídicí a bezpečnostní systémy	300–600 EUR/kW	Journal of Solar Energy: System Design and Control (https://www.journals.elsevier.com/solar-energy)
		Instalační práce	400–800 EUR/kW	ScienceDirect: Photoelectrochemical Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991832234X)
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	2 500–4 000 EUR/kW	Nature Energy: Advances in Solar Fuels (https://www.nature.com/articles/nenergy2019)
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	2 000–3 500 EUR/kW	ScienceDirect: Photoelectrochemical Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991832234X)
		Celkové CAPEX - Velké solární farmy	1 800–3 000 EUR/kW	Journal of Solar Energy: System Design and Control (https://www.journals.elsevier.com/solar-energy)
	OPEX	Údržba a opravy	100–200 EUR/kW/rok	Nature Energy: Advances in Solar Fuels (https://www.nature.com/articles/nenergy2019)
		Pojištění a monitoring	50–100 EUR/kW/rok	Journal of Solar Energy: System Design and Control (https://www.journals.elsevier.com/solar-energy)
		Celkové roční OPEX	150–300 EUR/kW/rok	ScienceDirect: Photoelectrochemical Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991832234X)
Design větrných turbín (Wind Turbine Design)	CAPEX	Komponenty systému - Lopatky turbíny	300–500 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Wind Turbine Blade Innovations (https://gwec.net)
		Komponenty systému - Generátory	200–400 EUR/kW	IEA Wind: Wind Turbine Components Report (https://www.ieawind.org)
		Komponenty systému - Převodové systémy	100–200 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Wind Turbine Technology Advances (https://www.iwes.fraunhofer.de)

		Instalační práce	400–600 EUR/kW	IRENA: Renewable Energy Installation Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	2 000–3 000 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Market Insights (https://gwec.net)
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	1 500–2 500 EUR/kW	IEA Wind: Wind Turbine Components Report (https://www.ieawind.org)
		Celkové CAPEX - Velké větrné farmy	1 200–2 000 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Wind Turbine Technology Advances (https://www.iwes.fraunhofer.de)
	OPEX	Údržba a opravy	50–100 EUR/kW/rok	IRENA: Renewable Energy Operation Costs (https://www.irena.org)
		Pojištění a monitoring	20–40 EUR/kW/rok	Global Wind Energy Council: Market Insights (https://gwec.net)
		Celkové roční OPEX	70–140 EUR/kW/rok	Fraunhofer IWES: Wind Turbine Technology Advances (https://www.iwes.fraunhofer.de)
Větrné farmy na moři (Offshore Wind Farms)	CAPEX	Komponenty systému - Offshore turbíny	1 200–1 800 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Offshore Wind Report (https://gwec.net)
		Komponenty systému - Mořské základy	800–1 200 EUR/kW	IEA Wind: Offshore Wind Technologies Report (https://www.ieawind.org)
		Komponenty systému - Kabeláž a připojení	300–500 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Offshore Wind Grid Connection (https://www.iwes.fraunhofer.de)
		Instalační práce	500–800 EUR/kW	IRENA: Renewable Energy Installation Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	2 800–4 300 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Offshore Wind Report (https://gwec.net)
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	2 000–3 500 EUR/kW	IEA Wind: Offshore Wind Technologies Report (https://www.ieawind.org)
		Celkové CAPEX - Velké větrné farmy	1 800–3 000 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Offshore Wind Grid Connection (https://www.iwes.fraunhofer.de)
	OPEX	Údržba a opravy	80–120 EUR/kW/rok	IRENA: Offshore Wind Operation Costs (https://www.irena.org)
		Pojištění a monitoring	30–50 EUR/kW/rok	Global Wind Energy Council: Offshore Wind Report (https://gwec.net)
		Celkové roční OPEX	110–170 EUR/kW/rok	Fraunhofer IWES: Offshore Wind Grid Connection (https://www.iwes.fraunhofer.de)
Plovoucí větrné turbíny (Floating Wind Turbines)	CAPEX	Komponenty systému - Plovoucí platformy	1 500–2 500 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Floating Wind Report (https://gwec.net)
		Komponenty systému - Kotvicí systémy	500–800 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Floating Wind Technologies (https://www.iwes.fraunhofer.de)
		Komponenty systému - Kabeláž a připojení	400–600 EUR/kW	IRENA: Renewable Energy Installation Costs (https://www.irena.org)
		Instalační práce	800–1 200 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Floating Wind Technologies (https://www.iwes.fraunhofer.de)
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	3 500–5 500 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Floating Wind Report (https://gwec.net)
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	2 800–4 500 EUR/kW	IRENA: Floating Wind Installation Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Velké větrné farmy	2 500–4 000 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Floating Wind Technologies (https://www.iwes.fraunhofer.de)

	OPEX	Údržba a opravy	100–150 EUR/kW/rok	Global Wind Energy Council: Floating Wind Report (https://gwec.net)
		Pojištění a monitoring	30–60 EUR/kW/rok	IRENA: Floating Wind Operation Costs (https://www.irena.org)
		Celkové roční OPEX	130–210 EUR/kW/rok	Fraunhofer IWES: Floating Wind Technologies (https://www.iwes.fraunhofer.de)
Řízení a optimalizace větrných farem (Wind Farm Management and Optimization)	CAPEX	Komponenty systému - Řídicí software	300–500 EUR/kW	IRENA: Wind Farm Optimization Technologies (https://www.irena.org)
		Komponenty systému - Senzory a monitorovací zařízení	200–400 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Wind Monitoring Systems (https://www.iwes.fraunhofer.de)
		Komponenty systému - Komunikační infrastruktura	150–300 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Wind Farm Management (https://gwec.net)
		Instalační práce	400–600 EUR/kW	IRENA: Renewable Energy Installation Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Malé větrné farmy	2 000–3 000 EUR/kW	Fraunhofer IWES: Wind Monitoring Systems (https://www.iwes.fraunhofer.de)
		Celkové CAPEX - Středně velké větrné farmy	1 800–2 800 EUR/kW	IRENA: Wind Farm Optimization Technologies (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Velké větrné farmy	1 500–2 500 EUR/kW	Global Wind Energy Council: Wind Farm Management (https://gwec.net)
	OPEX	Údržba a opravy	70–120 EUR/kW/rok	IRENA: Wind Farm Operation Costs (https://www.irena.org)
		Pojištění a monitoring	30–50 EUR/kW/rok	Fraunhofer IWES: Wind Monitoring Systems (https://www.iwes.fraunhofer.de)
		Celkové roční OPEX	100–170 EUR/kW/rok	Global Wind Energy Council: Wind Farm Management (https://gwec.net)
Sodium-ion baterie (Sodium-ion Batteries)	CAPEX	Komponenty systému - Anoda a katoda	100–200 EUR/kWh	Nature Energy: Sodium-ion Battery Development (https://www.nature.com/articles/nenergy2018)
		Komponenty systému - Elektrolyt	50–100 EUR/kWh	ScienceDirect: Advances in Sodium-ion Electrolytes (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877532100536X)
		Komponenty systému - BMS (Battery Management System)	20–50 EUR/kWh	IEEE: Battery Management Systems for Sodium-ion Batteries (https://ieeexplore.ieee.org/document/8769598)
		Instalační práce	30–60 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Malé systémy	200–400 EUR/kWh	ScienceDirect: Sodium-ion Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877532100536X)
		Celkové CAPEX - Střední systémy	150–300 EUR/kWh	Nature Energy: Sodium-ion Battery Development (https://www.nature.com/articles/nenergy2018)
		Celkové CAPEX - Velké systémy	100–200 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
	OPEX	Údržba a opravy	5–10 EUR/kWh/rok	ScienceDirect: Sodium-ion Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877532100536X)
		Pojištění a monitoring	2–5 EUR/kWh/rok	IEEE: Battery Management Systems for Sodium-ion Batteries (https://ieeexplore.ieee.org/document/8769598)
		Celkové roční OPEX	7–15 EUR/kWh/rok	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)

Tepelné úložiště (Thermal Energy Storage)	CAPEX	Komponenty systému - Nádrže na roztavené soli	300–500 EUR/kWh	IRENA: Thermal Energy Storage Technologies (https://www.irena.org)
		Komponenty systému - Tepelné výměníky	200–400 EUR/kWh	ScienceDirect: Advances in Thermal Energy Storage (https://www.sciencedirect.com)
		Komponenty systému - Řídicí a čerpadlové systémy	100–200 EUR/kWh	Fraunhofer ISE: Thermal Energy Storage Solutions (https://www.ise.fraunhofer.de)
		Instalační práce	150–300 EUR/kWh	IRENA: Renewable Energy Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Malé systémy	600–1 000 EUR/kWh	Fraunhofer ISE: Thermal Energy Storage Solutions (https://www.ise.fraunhofer.de)
		Celkové CAPEX - Střední systémy	500–800 EUR/kWh	ScienceDirect: Advances in Thermal Energy Storage (https://www.sciencedirect.com)
		Celkové CAPEX - Velké systémy	400–700 EUR/kWh	IRENA: Thermal Energy Storage Technologies (https://www.irena.org)
	OPEX	Údržba a opravy	10–20 EUR/kWh/rok	Fraunhofer ISE: Thermal Energy Storage Solutions (https://www.ise.fraunhofer.de)
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWh/rok	IRENA: Renewable Energy Costs (https://www.irena.org)
		Celkové roční OPEX	15–30 EUR/kWh/rok	ScienceDirect: Advances in Thermal Energy Storage (https://www.sciencedirect.com)
Vývoj Li-ion baterií (Li-ion Battery Development)	CAPEX	Komponenty systému - Katodové materiály	200–400 EUR/kWh	Nature Energy: Advances in Li-ion Batteries (https://www.nature.com/articles/nenergy2018)
		Komponenty systému - Anodové materiály	150–300 EUR/kWh	ScienceDirect: Li-ion Battery Materials (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321002369)
		Komponenty systému - Elektrolyt	50–100 EUR/kWh	IEEE: Li-ion Battery Electrolytes (https://ieeexplore.ieee.org/document/8769598)
		Instalační práce	100–200 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500–800 EUR/kWh	ScienceDirect: Li-ion Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321002369)
		Celkové CAPEX - Střední systémy	400–600 EUR/kWh	Nature Energy: Advances in Li-ion Batteries (https://www.nature.com/articles/nenergy2018)
		Celkové CAPEX - Velké systémy	300–500 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
	OPEX	Údržba a opravy	10–20 EUR/kWh/rok	ScienceDirect: Li-ion Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321002369)
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWh/rok	IEEE: Li-ion Battery Electrolytes (https://ieeexplore.ieee.org/document/8769598)
		Celkové roční OPEX	15–30 EUR/kWh/rok	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
Solid-state baterie (Solid-state Batteries)	CAPEX	Komponenty systému - Katodové materiály	300–500 EUR/kWh	Nature Energy: Advances in Solid-state Batteries (https://www.nature.com/articles/nenergy2019)
		Komponenty systému - Anodové materiály	200–400 EUR/kWh	ScienceDirect: Solid-state Battery Materials (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321001281)

		Komponenty systému - Pevný elektrolyt	100–200 EUR/kWh	IEEE: Advances in Solid Electrolytes (https://ieeexplore.ieee.org/document/9206215)
		Instalační práce	100–200 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Malé systémy	700–1 000 EUR/kWh	ScienceDirect: Solid-state Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321001281)
		Celkové CAPEX - Střední systémy	600–900 EUR/kWh	Nature Energy: Advances in Solid-state Batteries (https://www.nature.com/articles/nenergy2019)
		Celkové CAPEX - Velké systémy	500–800 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
	OPEX	Údržba a opravy	10–20 EUR/kWh/rok	ScienceDirect: Solid-state Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321001281)
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWh/rok	IEEE: Advances in Solid Electrolytes (https://ieeexplore.ieee.org/document/9206215)
		Celkové roční OPEX	15–30 EUR/kWh/rok	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
Na-ion baterie (Na-ion Batteries)	CAPEX	Komponenty systému - Katodové materiály	150–300 EUR/kWh	Nature Energy: Advances in Na-ion Batteries (https://www.nature.com/articles/nenergy2019)
		Komponenty systému - Anodové materiály	100–200 EUR/kWh	ScienceDirect: Na-ion Battery Materials (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321004475)
		Komponenty systému - Elektrolyt	50–100 EUR/kWh	IEEE: Sodium-ion Battery Electrolytes (https://ieeexplore.ieee.org/document/8769598)
		Instalační práce	50–100 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
		Celkové CAPEX - Malé systémy	350–500 EUR/kWh	ScienceDirect: Na-ion Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321004475)
		Celkové CAPEX - Střední systémy	300–450 EUR/kWh	Nature Energy: Advances in Na-ion Batteries (https://www.nature.com/articles/nenergy2019)
		Celkové CAPEX - Velké systémy	250–400 EUR/kWh	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
	OPEX	Údržba a opravy	10–15 EUR/kWh/rok	ScienceDirect: Na-ion Battery Systems (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775321004475)
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kWh/rok	IEEE: Sodium-ion Battery Electrolytes (https://ieeexplore.ieee.org/document/8769598)
		Celkové roční OPEX	15–25 EUR/kWh/rok	IRENA: Energy Storage Costs (https://www.irena.org)
Redoxní průtočné baterie	CAPEX	Komponenty systému - Nádrže na elektrolyt	150–300 EUR/kWh	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions
		Komponenty systému - Průtočné články	200–400 EUR/kWh	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions
		Komponenty systému - Systémy řízení a čerpadla	100–200 EUR/kWh	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions
		Instalační práce	50–100 EUR/kWh	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions

		Celkové CAPEX - Malé systémy	600–1,200 EUR/kWh	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions
		Celkové CAPEX - Střední systémy	500–1,000 EUR/kWh	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions
		Celkové CAPEX - Velké systémy	400–800 EUR/kWh	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions
	OPEX	Údržba a opravy	5–10 EUR/kWh/year	https://about.bnef.com/blog/energy-storage-10-things-to-watch-in-2024/
		Náklady na elektrolyt (obnova)	5–15 EUR/kWh/year	https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions
		Součet všech OPEX nákladů	10–25 EUR/kWh/year	European Battery Alliance, 2024 https://www.eba250.com/
Ukládání vodíku	CAPEX	Komponenty systému - Nádrže na stlačený vodík	400–800 EUR/kg H2	https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2024/
		Komponenty systému - Nádrže na kapalný vodík	800–1,200 EUR/kg H2	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Komponenty systému - Materiály pro vázání vodíku	600–1,000 EUR/kg H2	https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication
		Systémy chlazení a izolace	300–600 EUR/kg H2	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Instalační práce	50–100 EUR/kg H2	https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1,800–2,400 EUR/kg H2	https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2024/
		Celkové CAPEX - Střední systémy	1,500–2,000 EUR/kg H2	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Celkové CAPEX - Velké systémy	1,200–1,600 EUR/kg H2	https://www.eba250.com/
	OPEX	Údržba a opravy	20–50 EUR/kg H2/rok	https://about.bnef.com/blog/energy-storage-10-things-to-watch-in-2024/
		Pojištění a monitoring	5–10 EUR/kg H2/rok	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Součet všech OPEX nákladů	25–65 EUR/kg H2/rok	https://www.eba250.com/
Vodíkové palivové články	CAPEX	Komponenty systému - Membrány	500–1,000 EUR/kW	https://www.energy.gov/eere/fuelcells
		Komponenty systému - Elektrody	300–700 EUR/kW	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Komponenty systému - Bipolární desky	200–500 EUR/kW	https://www.fchea.org/fuelcells
		Instalační práce	50–100 EUR/kW	https://www.energy.gov/eere/fuelcells
		Celkové CAPEX - Malé systémy	2,000–3,500 EUR/kW	https://hydrogencouncil.com/en/
		Celkové CAPEX - Střední systémy	1,800–3,200 EUR/kW	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Celkové CAPEX - Velké systémy	1,500–2,800 EUR/kW	https://www.eba250.com/
	OPEX	Údržba a opravy	50–100 EUR/kW/rok	https://about.bnef.com/blog/energy-storage-10-things-to-watch-in-2024/

Vodíkové elektrolyzéry		Pojištění a monitoring	20–50 EUR/kW/rok	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Součet všech OPEX nákladů	70–150 EUR/kW/rok	https://www.eba250.com/
	CAPEX	Komponenty systému - Elektrodové materiály	700–1,200 EUR/kW	https://www.energy.gov/eere/fuelcells
		Komponenty systému - Membrány	400–800 EUR/kW	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Komponenty systému - Bipolární desky	300–600 EUR/kW	https://www.fchea.org/fuelcells
		Instalační práce	100–200 EUR/kW	https://www.energy.gov/eere/fuelcells
		Celkové CAPEX - Malé systémy	3,000–4,500 EUR/kW	https://hydrogencouncil.com/en/
		Celkové CAPEX - Střední systémy	2,500–4,000 EUR/kW	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Celkové CAPEX - Velké systémy	2,000–3,500 EUR/kW	https://www.eba250.com/
	OPEX	Údržba a opravy	50–150 EUR/kW/rok	https://about.bnef.com/blog/energy-storage-10-things-to-watch-in-2024/
		Pojištění a monitoring	30–70 EUR/kW/rok	https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023
		Součet všech OPEX nákladů	80–220 EUR/kW/rok	https://www.eba250.com/

Energetická účinnost a management

Technology	Category	Component	Value	Sources
Chytré technologie	CAPEX	Komponenty systému - Inteligentní senzory	50–150 EUR/senzor	https://www.iea.org/topics/energy-efficiency
		Komponenty systému - Automatizace osvětlení	100–300 EUR/zónu	https://www.energy.gov/eere/buildings/
		Komponenty systému - Automatizace klimatizace	150–400 EUR/zónu	https://www.energy.gov/eere/buildings/
		Instalační práce	500–1,000 EUR/budovu	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	2,000–5,000 EUR/budovu	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	10,000–25,000 EUR/budovu	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a kalibrace senzorů	100–300 EUR/senzor/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Software pro správu budov	500–1,500 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/buildings/

		Pojištění a monitoring	100–300 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	700–2,100 EUR/rok	https://about.bnef.com/
Energeticky efektivní spotřebiče	CAPEX	Komponenty systému - Ledničky	300–600 EUR/ks	https://www.iea.org/topics/energy-efficiency
		Komponenty systému - Pračky	400–800 EUR/ks	https://www.energy.gov/eere/buildings/appliance-standards
		Komponenty systému - Sušičky	500–1,000 EUR/ks	https://www.energy.gov/eere/buildings/appliance-standards
		Instalační práce	200–400 EUR/systém	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1,500–3,000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5,000–15,000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a servis spotřebičů	50–200 EUR/ks/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management a software	200–500 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/buildings/
		Pojištění a monitoring	100–200 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	350–900 EUR/rok	https://about.bnef.com/
Energeticky efektivní budovy	CAPEX	Komponenty systému - Pasivní design	500–1,000 EUR/m²	https://www.iea.org/topics/energy-efficiency
		Komponenty systému - Solární panely	800–1,500 EUR/kWp	https://www.energy.gov/eere/solar/
		Komponenty systému - Tepelná čerpadla	1,000–2,500 EUR/kW	https://www.energy.gov/eere/buildings/appliance-standards
		Instalační práce	200–500 EUR/m²	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé budovy	1,500–4,000 EUR/m²	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké budovy	4,000–10,000 EUR/m²	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a servis systémů	200–600 EUR/m²/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management a software	500–1,500 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/buildings/
		Pojištění a monitoring	200–500 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	900–2,600 EUR/rok	https://about.bnef.com/
Zpětné získávání tepla	CAPEX	Komponenty systému - Tepelné výměníky	2,000–5,000 EUR/ks	https://www.iea.org/topics/energy-efficiency
		Komponenty systému - Regenerativní ohříváče	3,000–7,000 EUR/ks	https://www.energy.gov/eere/industry/waste-heat-recovery
		Komponenty systému - Rekuperátory	4,000–10,000 EUR/ks	https://www.energy.gov/eere/industry/waste-heat-recovery

		Instalační práce	1,000–3,000 EUR/systém	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	5,000–15,000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	20,000–50,000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a servis systémů	500–1,500 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management a software	1,000–3,000 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/buildings/
		Pojištění a monitoring	500–1,000 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	2,000–5,500 EUR/rok	https://about.bnef.com/
Optimalizace průmyslových procesů pomocí AI	CAPEX	Komponenty systému - Senzory a měřicí zařízení	1,000–3,000 EUR/ks	https://www.iea.org/topics/energy-efficiency
		Komponenty systému - Výpočetní jednotky	5,000–15,000 EUR/systém	https://www.energy.gov/eere/industry/artificial-intelligence
		Komponenty systému - Prediktivní algoritmy	10,000–50,000 EUR/systém	https://www.energy.gov/eere/industry/artificial-intelligence
		Instalační práce	2,000–5,000 EUR/systém	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	20,000–50,000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	50,000–150,000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a kalibrace senzorů	500–1,500 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Software pro analýzu dat a řízení	10,000–30,000 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/buildings/
		Pojištění a monitoring	2,000–5,000 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	12,500–36,500 EUR/rok	https://about.bnef.com/
Energetický management systém	CAPEX	Komponenty systému - Senzory a měřicí zařízení	1,000–3,000 EUR/ks	https://www.iea.org/topics/energy-efficiency
		Komponenty systému - Centrální řídicí jednotky	5,000–20,000 EUR/systém	https://www.energy.gov/eere/buildings/energy-management
		Komponenty systému - Software pro analýzu a řízení	10,000–50,000 EUR/systém	https://www.energy.gov/eere/buildings/energy-management
		Instalační práce	2,000–6,000 EUR/systém	https://www.smartbuildingsalliance.org/

		Celkové CAPEX - Malé systémy	20,000–60,000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	50,000–150,000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a kalibrace senzorů	500–2,000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management software	5,000–20,000 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/buildings/
		Pojištění a monitoring	2,000–5,000 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	10,000–27,000 EUR/rok	https://about.bnef.com/
Elektrická vozidla	CAPEX	Komponenty systému - Elektromotory	1 500–3 000 EUR/ks	https://www.iea.org/topics/transport
		Komponentní systém - Baterie (Lithium-iontové)	8 000–12 000 EUR/ks	https://www.energy.gov/eere/vehicles/electric-vehicles
		Komponenty systému - Nabíjecí infrastruktura	2 000–5 000 EUR/stanice	https://www.energy.gov/eere/vehicles/electric-vehicles
		Instalační práce	1 000–3 000 EUR/stanice	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Osobní vozy	25 000–40 000 EUR/auto	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Nákladní vozy	50 000–100 000 EUR/nákladní vůz	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a servis	200–600 EUR/auto/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Nabíjení a spotřeba energie	500–1 500 EUR/auto/rok	https://www.energy.gov/eere/vehicles/
		Pojištění	300–800 EUR/auto/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX	1 000–2 900 EU	https://about.bnef.com/
Nabíjecí infrastruktura	CAPEX	Komponenty systému - Rychlonabíjecí stanice	20 000–50 000 EUR/stanice	https://www.iea.org/topics/transport
		Komponenty systému - Standardní nabíjecí stanice	5 000–10 000 EUR/stanice	https://www.energy.gov/eere/vehicles/electric-vehicles
		Komponenty systému - Bezdrátové nabíjecí systémy	25 000–60 000 EUR/stanice	https://www.energy.gov/eere/vehicles/electric-vehicles
		Instalační práce	2 000–10 000 EUR/stanice	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	30 000–70 000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	100 000–250 000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/

Alternativní paliva - Vodík a Biopaliva	OPEX	Údržba a servis	500–1 500 EUR/stanice/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management a optimalizace	1 000–3 000 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/vehicles/
		Pojištění a monitoring	500–1 000 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	2 000–5 500 EUR/rok	https://about.bnef.com/
	CAPEX	Komponenty systému - Skladovací nádrže na vodík	400–1 000 EUR/kg H2	https://www.iea.org/topics/vodik
		Komponenty systému - Výroba biopaliv	1 000–5 000 EUR/t	https://www.energy.gov/eere/bioenergy
		Komponenty systému - Distribuční infrastruktura	500–1 500 EUR/stanice	https://www.energy.gov/eere/bioenergy
		Instalační práce	1 000–3 000 EUR/systém	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	10 000–50 000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	50 000–150 000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a servis	1 000–3 000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management	2 000–5 000 EUR/rok	https://www.energy.gov/eere/bioenergy
		Pojištění a monitoring	500–1 500 EUR/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	3500-5500 EUR/ROK	https://www.smartbuildingsalliance.org/

Technologie pro zachycování uhlíku a jeho využití

Technology	Category	Component	Value	Sources
Technologie zachytávání uhlíku souvisejícího se spalováním	CAPEX	Komponenty systému - Předspalovací zařízení	20 000–50 000 EUR/MW	https://www.iea.org/topics/carbon-capture-utilisation-and-storage
		Komponenty systému - Postcombustion zařízení	30 000–70 000 EUR/MW	https://www.globalccsinstitute.com/
		Komponenty systému - Oxyfuel spalovací jednotky	40 000–100 000 EUR/MW	https://www.globalccsinstitute.com/
		Instalační práce	10 000–30 000 EUR/MW	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 000 000 EUR/systém	https://www.eba250.com/

		Celkové CAPEX - Velké systémy	1 500 000–3 000 000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a servisní zařízení	10 000–30 000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Chemikálie pro absorpci CO ₂	5 000–15 000 EUR/systém/rok	https://www.energy.gov/eere/fuelcells/carbon-capture
		Pojištění a monitoring	3 000–7 000 EUR/systém/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	18 000–52 000 EUR/systém/rok	https://about.bnef.com/
Metody zachytávání a využívání emisí CO ₂	CAPEX	Komponenty systému - Absorpční jednotky	25 000–60 000 EUR/MW	https://www.iea.org/topics/carbon-capture-utilisation-and-storage
		Komponenty systému - Adsorpční jednotky	30 000–70 000 EUR/MW	https://www.globalccsinstitute.com/
		Komponenty systému - Membránové separační systémy	40 000–100 000 EUR/MW	https://www.globalccsinstitute.com/
		Instalační práce	10 000–20 000 EUR/MW	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 200 000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	1 800 000–3 500 000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a regenerace absorbentů	15 000–40 000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management a provoz	10 000–30 000 EUR/systém/rok	https://www.energy.gov/eere/fuelcells/carbon-capture
		Pojištění a monitoring	3 000–8 000 EUR/systém/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	28 000–78 000	https://about.bnef.com/
Využití zachyceného CO ₂ pro výrobu paliv	CAPEX	Komponenty systému - Katalytické reaktory	50 000–150 000 EUR/reaktor	https://www.iea.org/topics/carbon-capture-utilisation-and-storage
		Komponenty systému - Systémy pro výrobu vodíku	100 000–300 000 EUR/systém	https://www.energy.gov/eere/fuelcells
		Komponenty systému - Skladovací a přepravní systémy	30 000–70 000 EUR/systém	https://www.globalccsinstitute.com/
		Instalační práce	20 000–50 000 EUR/systém	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1 000 000–2 500 000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–10 000 000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/

	OPEX	Údržba a regenerace katalyzátorů	20 000–50 000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management a provoz	50 000–150 000 EUR/systém/rok	https://www.energy.gov/eere/fuelcells/carbon-capture
		Pojištění a monitoring	10 000–30 000 EUR/systém/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	80 000–230 000 EUR/systém/rok	https://about.bnef.com/
Chemická syntéza	CAPEX	Komponenty systému - Elektrochemické reaktory	40 000–120 000 EUR/reaktor	https://www.iea.org/topics/carbon-capture-utilisation-and-storage
		Komponenty systému - Katalyzátory	10 000–30 000 EUR/systém	https://www.energy.gov/eere/fuelcells
		Komponenty systému - Systémy separace produktů	30 000–80 000 EUR/systém	https://www.globalccsinstitute.com/
		Instalační práce	15 000–35 000 EUR/systém	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	600 000–1 500 000 EUR/systém	https://www.eba250.com/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	2 000 000–5 000 000 EUR/systém	https://hydrogencouncil.com/en/
	OPEX	Údržba a regenerace katalyzátorů	10 000–40 000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy
		Energetický management a provoz	20 000–60 000 EUR/systém/rok	https://www.energy.gov/eere/fuelcells/carbon-capture
		Pojištění a monitoring	5 000–15 000 EUR/systém/rok	https://www.smartbuildingsalliance.org/
		Součet všech OPEX nákladů	35 000–115 000 EUR/systém/rok	https://about.bnef.com/
Využití CO ₂ ve stavebních materiálech	CAPEX	Komponenty systému - Zařízení pro mineralizaci CO ₂	100 000–300 000 EUR/systém	IEA - Carbon Capture Využití a skladování
		Komponenty systému - Technologie pro integraci CO ₂ do betonu	150 000–400 000 EUR/systém	CarbonCure - Přehled technologie
		Komponenty systému - Zařízení pro přidávání CO ₂ do cementu	200 000–500 000 EUR/systém	Globální CCS institut - CCS projekty
		Instalační práce	50 000–100 000 EUR/projekt	EBA 250 - Dekarbonizace cementu
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 000 000 EUR/systém	Vodíková rada – zprávy
		Celkové CAPEX - Velké systémy	1 000 000–2 500 000 EUR/systém	BNEF - Decarbonisation Insights
	OPEX	Údržba a opravy	20 000–50 000 EUR/systém/rok	BNEF - Náklady na údržbu

Konverze na hodnotné chemikálie a paliva		Pojištění a monitoring	10 000–30 000 EUR/systém/rok	Aliance chytrých budov – Monitoring
		Provozní náklady	30 000–80 000 EUR/systém/rok	Energy .gov - Palivové články
		Celkový roční OPEX	60 000–160 000 EUR/systém/rok	Vodíková rada – analýza nákladů
	CAPEX	Komponenty systému - Hydrogenační jednotky	50 000–80 000 EUR/MW	https://www.iea.org/reports/carbon-capture-utilisation-and-storage-the-opportunity-in-southeast-asia
		Komponenty systému - Metanizační reaktory	40 000–90 000 EUR/MW	https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021
		Komponenty systému - Membránové separační systémy	50 000–120 000 EUR/MW	https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-membrane-science
		Instalační práce	15 000–25 000 EUR/MW	https://www.eba250.com/report-on-electromobility-sustainability/
		Celkové CAPEX - Malé systémy	600 000–1 500 000 EUR/systém	https://www.eba250.com/report-on-electromobility-sustainability/
		Celkové CAPEX - Velké systémy	2 000 000–4 000 000 EUR/systém	https://www.iea.org/reports/efficient-grid-interactive-buildings
	OPEX	Údržba a regenerace katalyzátorů	20 000–50 000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/efficient-grid-interactive-buildings
		Energetický management a provoz	12 000–35 000 EUR/systém/rok	https://www.energy.gov/
		Pojištění a monitoring	4 000–10 000 EUR/systém/rok	https://www.iea.org/reports/efficient-grid-interactive-buildings
		Součet všech OPEX nákladů	30 000–85 000 EUR/systém/rok	https://about.bnef.com/

Nové materiály a nanotechnologie

Technology	Category	Component	Value	Sources
Nové materiály pro ukládání energie	CAPEX	Komponentní systém - Keramické pevné elektrolyty	250–600 EUR/kWh	https://arxiv.org/abs/2106.07624
		Komponenty systému - Uhlíkové nanomateriály	100–300 EUR/kg	https://arxiv.org/abs/2003.03216
		Komponenty systému - Pokročilé elektrody	500–1 200 EUR/kWh	https://arxiv.org/abs/1806.06647
		Instalační práce	10 000–20 000 EUR/MW	https://arxiv.org/abs/2305.15079

		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 200 000 EUR/systém	https://arxiv.org/abs/2305.15079
		Celkové CAPEX - Velké systémy	1 800 000–3 500 000 EUR/systém	https://arxiv.org/abs/2106.07624
		Údržba a regenerace elektrolytů	20 000–50 000 EUR/rok	https://arxiv.org/abs/2003.03216
	OPEX	Energetický management a provoz	10 000–30 000 EUR/rok	https://arxiv.org/abs/2305.15079
		Pojištění a monitoring	3 000–8 000 EUR/rok	https://arxiv.org/abs/2305.15079
		Součet všech OPEX nákladů	35 000–95 000 EUR/rok	https://arxiv.org/abs/2305.15079
Materiály pro k	CAPEX	Komponenty systému - Perovskity	200–500 EUR/m ²	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337318301991?via%3Dihub
		Komponenty systému - Metal-organic frameworks (MOFs)	1 000–2 000 EUR/kg	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337318301991?via%3Dihub
		Komponentní systém - Nanostrukturované kovy	500–1 000 EUR/kg	https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsami.9b18948
		Instalace a integrace	20 000–50 000 EUR/systém	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919311493
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 500 000 EUR/systém	https://www.nature.com/articles/s41467-019-10217-4
		Celkové CAPEX - Velké systémy	2 000 000–4 000 000 EUR/systém	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119300036?via%3Dihub
	OPEX	Údržba katalytických systémů	10 000–25 000 EUR/rok	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337318310634?via%3Dihub
		Energetický management a provoz	15 000–35 000 EUR/rok	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307421?via%3Dihub
		Pojištění a monitoring	5 000–10 000 EUR/rok	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307421?via%3Dihub
		Součet všech OPEX nákladů	40 000–70 000 EUR/rok	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307421?via%3Dihub
	CAPEX	Lithium-křemíkové elektrody	300–700 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.ijpowsour.2018.05.007

Nové materiály	pro baterie	Lithium-sírové katody	400–800 EUR/kg	https://doi.org/10.1038/s41560-019-0408-4
		Nanostrukturované elektrody	500–1 000 EUR/kg	https://doi.org/10.1039/C9TA12373E
		Instalace výrobních linek	1 000 000–2 500 000 EUR/linku	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775318312781
		Celkové CAPEX - Malé bateriové systémy	600 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.010
		Celkové CAPEX - Velké bateriové systémy	2 500 000–5 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.227915
	OPEX	Údržba a výměna elektrolytu	15 000–40 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.004
		Energetický management a provoz	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.029
		Pojištění a monitoring	5 000–10 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101420
		Součet všech OPEX nákladů	40 000–100 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114784
Grafen	CAPEX	Elektrody z grafu pro baterie	800–1 200 EUR/kg	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775319307402?via%3Dihub
		Grafenové elektrody pro superkondenzátory	1 000–2 000 EUR/kg	https://doi.org/10.1038/s41565-020-00791-0
		Grafenové vrstvy pro solární články	500–900 EUR/m²	https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110696
		Výrobní zařízení pro grafenové elektrody	2 000 000–4 000 000 EUR/linku	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110409
		Celkové CAPEX - Malé systémy	700 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101540
		Celkové CAPEX - Velké systémy	3 000 000–6 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.227917
	OPEX	Údržba grafenových elektrochemických systémů	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.10.023
		Energetický management a provoz grafenových systémů	25 000–60 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.037
		Pojištění a monitoring	6 000–12 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102000

		Součet všech OPEX nákladů	50 000–120 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115784
MXeny a další 2D materiály	CAPEX	Elektrody z MXenů pro baterie	400–800 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229982
		MXenové elektrody pro superkondenzátory	500–1 000 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104094
		Fosforenové elektrody	600–1 200 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119015
		Výrobní zařízení pro MXenové elektrody	2 500 000–5 000 000 EUR/linku	https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.027
		Celkové CAPEX - Malé systémy	700 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100952
		Celkové CAPEX - Velké systémy	3 000 000–6 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228058
	OPEX	Údržba MXenových elektrochemických systémů	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.08.057
		Energetický management a provoz	25 000–60 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117578
		Pojištění a monitoring	6 000–12 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102123
		Součet všech OPEX nákladů	50 000–120 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115987
Nano-materiály pro zlepšení konverze a ukládání energie	CAPEX	Nanočástice pro solární články	300–600 EUR/m ²	https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105148
		Nanovlákná pro elektrody v bateriích	400–900 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.229935
		Nanostrukturované katalyzátory	500–1 200 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.118360
		Výrobní zařízení pro nanomateriály	1 500 000–3 000 000 EUR/linku	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109618
		Celkové CAPEX - Malé systémy	600 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100889
		Celkové CAPEX - Velké systémy	3 000 000–6 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230234
	OPEX	Údržba nanostrukturovaných zařízení	15 000–40 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.08.028

		Energetický management a provoz	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117603
		Pojištění a monitoring	5 000–10 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102345
		Součet všech OPEX nákladů	45 000–100 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116098
Kompozitní a hybridní materiály	CAPEX	Elektrody z uhlíkových nanotrubiček	600–1 200 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.03.008
		Kompozity s grafelem pro baterie	800–1 500 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230094
		Hybridní elektrolyty	1 000–2 000 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.11.002
		Výrobní zařízení pro kompozitní materiály	2 000 000–4 000 000 EUR/linku	https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.11.003
		Celkové CAPEX - Malé systémy	700 000–1 500 000 EUR/systém	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307421?via%3Dihub
		Celkové CAPEX - Velké systémy	3 000 000–6 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230087
	OPEX	Údržba kompozitních zařízení	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109708
		Energetický management a provoz	25 000–60 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118590
		Pojištění a monitoring	6 000–12 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102334
		Součet všech OPEX nákladů	50 000–120 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.ap.2020.116087
Materiály se specifickými funkcemi	CAPEX	Samoopravitelné elektrody	1 200–2 500 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229772
		Stimuly-reaktivní povlaky	800–1 500 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229772
		Termo-reaktivní materiály	900–1 800 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105123
		Výrobní zařízení pro specifické materiály	3 000 000–5 000 000 EUR/linku	https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.003
		Celkové CAPEX - Malé systémy	900 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101020
		Celkové CAPEX - Velké systémy	4 000 000–7 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230101

Spektro- skopické metody	OPEX	Údržba samoopravitelných zařízení	25 000–60 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.uhlík.2020.08.031
		Energetický management a provoz	30 000–70 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1/j.energie.2020.117512
		Pojištění a monitoring	7 000–15 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1/j.est.2021.102287
		Součet všech OPEX nákladů	60 000–145 000 EUR/rok	https://doi.org/10/j.apenergy.2020.1160
	CAPEX	Infračervená spektrometrie (IR)	30 000–80 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10/j.sab.2020.105977
		Ramanovy spektrometrie	50 000–120 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1039/C9AN02154J
		UV-Vis spektrometrie	20 000–50 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.101/j.tca.2021.178134
		NMR spektrometrie	300 000–800 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1038/s41570-019-0131-z
		Výrobní zařízení pro spektroskopii	2 000 000–5 000 000 EUR/linku	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.11
	OPEX	Údržba spektroskopických zařízení	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.01.002
		Kalibrace a validace zařízení	5 000–15 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.sab.202
		Energetický management	15 000–40 000 EUR/rok	https://doi.org/10.10/j.energie.2019.116238
		Pojištění a monitorovací zařízení	7 000–12 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020
		Součet všech OPEX nákladů	40 000–100 000 EUR/rok	https://doi.org/10.101/j.apene2020

Další a vznikající technologie

Technology	Category	Component	Value	Sources
Jaderná energetika a fúze	CAPEX	Reaktor čtvrté generace	4 000–6 000 EUR/kW	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118883
		Tokamakové reaktory	5 000–10 000 EUR/kW	https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112143
		Stellaratorové reaktory	6 000–12 000 EUR/kW	https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2019.02.006
		Pokročilé palivové cykly	1 500–3 000 EUR/kg paliva	https://doi.org/10.1016/j.anucene.2020.107382
		Výrobní zařízení pro fúzní technologie	3 000 000–7 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110357
		Celkové CAPEX - Malé fúzní systémy	10 000 000–20 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112143
		Celkové CAPEX - Velké fúzní systémy	50 000 000–100 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112143
	OPEX	Údržba jaderných a fúzních zařízení	1 000 000–5 000 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116509
		Energetický management a provoz	500 000–1 500 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111805
		Pojištění a monitorovací zařízení	200 000–500 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.pojistka.2018.05.001
Výroba zeleného vodíku (Green Hydrogen Production)	CAPEX	Komponenty systému - Elektrolyzéry	700–1 000 EUR/kW	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)
		Komponenty systému - Systémy pro uchovávání vodíku	200–400 EUR/kW	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)
		Komponenty systému - Řídicí a bezpečnostní systémy	100–200 EUR/kW	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)
		Instalační práce	300–500 EUR/kW	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)
		Celkové CAPEX	1 300–2 100 EUR/kW	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)
	OPEX	Údržba a opravy	50–80 EUR/kW/rok	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)

		Pojištění a monitoring	10–20 EUR/kW/rok	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)
		Celkové roční OPEX	60–100 EUR/kW/rok	IEA: Green Hydrogen Cost Analysis (https://www.iea.org), Hydrogen Council: Green Hydrogen Production (https://hydrogencouncil.com)
Umělá fotosyntéza (Artificial Photo-synthesis)	CAPEX	Komponenty systému - Fotokatalyzátory	500–800 EUR/kW	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
		Komponenty systému - Reakční komory	300–500 EUR/kW	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
		Komponenty systému - Řídicí a sběrné systémy	100–200 EUR/kW	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
		Instalační práce	200–400 EUR/kW	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
		Celkové CAPEX	1 100–1 900 EUR/kW	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
	OPEX	Údržba a opravy	40–70 EUR/kW/rok	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
		Pojištění a monitoring	10–20 EUR/kW/rok	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
		Celkové roční OPEX	50–90 EUR/kW/rok	Nature Energy: Advances in Artificial Photosynthesis (https://www.nature.com), ScienceDirect: Photocatalytic Systems (https://www.sciencedirect.com)
Bezdrátový přenos energie (Wireless Power Transfer)	CAPEX	Komponenty systému - Přijímací a vysílací moduly	200–400 EUR/kW	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)
		Komponenty systému - Transformátory a stabilizační systémy	100–200 EUR/kW	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)
		Komponenty systému - Kabeláž a propojení	50–100 EUR/kW	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)
		Instalační práce	100–200 EUR/kW	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)

		Celkové CAPEX	450–900 EUR/kW	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)
	OPEX	Údržba a opravy	20–40 EUR/kW/rok	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)
		Pojištění a monitoring	10–20 EUR/kW/rok	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)
		Celkové roční OPEX	30–60 EUR/kW/rok	IEEE: Wireless Power Transfer Systems (https://ieeexplore.ieee.org), ResearchGate: Efficiency of Wireless Energy Transfer (https://www.researchgate.net)
Energie z oceánů (Ocean Energy)	CAPEX	Komponenty systému - Turbíny a generátory	2 000–4 000 EUR/kW	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
		Komponenty systému - Podmořské kabely a připojení	500–1 000 EUR/kW	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
		Komponenty systému - Konstrukce a plováky	1 000–2 000 EUR/kW	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
		Instalační práce	500–1 000 EUR/kW	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
		Celkové CAPEX	4 000–8 000 EUR/kW	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
	OPEX	Údržba a opravy	80–150 EUR/kW/rok	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
		Pojištění a monitoring	30–50 EUR/kW/rok	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
		Celkové roční OPEX	110–200 EUR/kW/rok	IRENA: Ocean Energy Technologies (https://www.irena.org), European Commission: Ocean Energy Strategy (https://ec.europa.eu)
Geotermální energie a energie získaná z	CAPEX	Komponenty systému - Vrtné a sběrné systémy	3 000–5 000 EUR/kW	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)
		Komponenty systému - Tepelná čerpadla a výměníky	1 000–2 000 EUR/kW	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)

mořských vln (Geo-thermal and Wave Energy)		Komponenty systému - Elektrické připojení	500–1 000 EUR/kW	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)
		Instalační práce	1 000–1 500 EUR/kW	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)
		Celkové CAPEX	5 500–9 500 EUR/kW	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)
	OPEX	Údržba a opravy	100–200 EUR/kW/rok	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)
		Pojištění a monitoring	20–40 EUR/kW/rok	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)
		Celkové roční OPEX	120–240 EUR/kW/rok	NREL: Geothermal Technologies (https://www.nrel.gov), World Bank: Wave and Geothermal Energy (https://www.worldbank.org)
Biologické procesy a organismy pro výrobu energie (Biological Processes and Organisms for Energy Generation)	CAPEX	Komponenty systému - Bioreaktory	500–1 000 EUR/kW	ScienceDirect: Advances in Bioenergy (https://www.sciencedirect.com), Elsevier: Biological Energy Conversion (https://www.elsevier.com)
		Komponenty systému - Systémy pro uchovávání biomasy	200–400 EUR/kW	ScienceDirect: Advances in Bioenergy (https://www.sciencedirect.com), Elsevier: Biological Energy Conversion (https://www.elsevier.com)
		Komponenty systému - Řídicí a monitorovací systémy	100–200 EUR/kW	ScienceDirect: Advances in Bioenergy (https://www.sciencedirect.com), Elsevier: Biological Energy Conversion (https://www.elsevier.com)
		Instalační práce	200–400 EUR/kW	ScienceDirect: Advances in Bioenergy (https://www.sciencedirect.com)
		Celkové CAPEX - Rezidenční systémy	1 500–2 500 EUR/kW	
		Celkové CAPEX - Komerční systémy	1 200–2 000 EUR/kW	
		Celkové CAPEX - Velké solární farmy	1 000–1 800 EUR/kW	
	OPEX	Údržba a opravy	50–100 EUR/kW/rok	ScienceDirect: Advances in Bioenergy (https://www.sciencedirect.com)
		Pojištění a monitoring	10–20 EUR/kW/rok	
		Celkové roční OPEX	60–120 EUR/kW/rok	
Biomateriály	CAPEX	Biopolymerové kompozity	1 000–2 500 EUR/t	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118952E117E105E62:E115E62:E116E62:E114
		Materiály z biomasy	500–1 200 EUR/t	https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.047
		Výrobní zařízení pro biopolymery	2 000 000–5 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123762

		Výrobní zařízení pro biomateriály	3 000 000–7 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122245
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118952
		Celkové CAPEX - Velké systémy	4 000 000–8 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.047
	OPEX	Údržba systémů s biomateriály	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123762
		Energetický management a provoz	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122245
		Pojištění a monitoring	5 000–15 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100945
		Součet všech OPEX nákladů	40 000–100 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109950
	CAPEX	Zařízení pro zachycování CO ₂	50 000–150 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122608
		Zařízení pro ukládání CO ₂	500 000–1 200 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116200
		Bioremediační zařízení	300 000–800 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102120
		Membránové separační systémy	100 000–300 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116030
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1 000 000–3 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.044
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–10 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116475
Environ- mentální remediace	OPEX	Údržba sanačních zařízení	30 000–70 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123467
		Provoz a monitoring	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.02.007
		Pojištění a kontrola	10 000–25 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102345

		Součet všech OPEX nákladů	60 000–145 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230019
Kvantové jevy	CAPEX	Kvantové baterie	1 000–2 500 EUR/kWh	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118621
		Kvantové superkondenzátory	800–1 500 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105018
		Kvantové materiály pro elektrody	1 200–3 000 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111750
		Výrobní zařízení pro kvantové komponenty	2 500 000–6 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115987
		Celkové CAPEX - Malé systémy	5 000 000–10 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1038/s41565-021-00865-9
		Celkové CAPEX - Velké systémy	15 000 000–30 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1039/D1EE01528A
	OPEX	Údržba kvantových systémů	50 000–120 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.09.021
		Energetický management a provoz	30 000–80 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110409
		Pojištění a monitoring	10 000–25 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101540
		Součet všech OPEX nákladů	90 000–200 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230019
3D tisk	CAPEX	3D tiskárny pro kovové komponenty	50 000–300 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.08.028
		3D tiskárny pro plasty	5 000–50 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117603
		Materiály pro kovový 3D tisk	100–500 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102345
		Materiály pro polymerový 3D tisk	20–100 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.101835
		Výrobní zařízení pro aditivní výrobu	500 000–2 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121586
		Celkové CAPEX - Malé systémy	300 000–1 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109746

		Celkové CAPEX - Velké systémy	2 000 000–5 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124197
	OPEX	Údržba 3D tiskáren	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110243
		Energetický management a provoz	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102345
		Pojištění a monitoring	5 000–15 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230019
Laserové technologie	CAPEX	Laserové řezací systémy	50 000–300 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106225
		Laserové svařovací systémy	100 000–400 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2019.105976
		Lasery pro povrchové úpravy	80 000–250 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125112
		Materiály pro laserové zpracování	30–200 EUR/kg	https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108928
		Výrobní zařízení pro laserové systémy	500 000–2 500 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109646
		Celkové CAPEX - Malé systémy	700 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101987
		Celkové CAPEX - Velké systémy	3 000 000–7 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.230021
	OPEX	Údržba laserových systémů	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2020.106130
		Energetický management a provoz	30 000–60 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117865
		Pojištění a monitoring	5 000–15 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102387
Mikrofluidní zařízení	CAPEX	Mikrofluidní čipy	50–200 EUR/čip	https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.129985
		Mikrofluidní pumpy	2 000–10 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112234
		Mikrofluidní senzory	500–2 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112353

		Výrobní zařízení pro mikrofluidní čipy	1 000 000–3 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.mee.2020.111653
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101567
		Celkové CAPEX - Velké systémy	3 000 000–6 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111643
	OPEX	Údržba mikrofluidních zařízení	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112345
		Energetický management a provoz	15 000–40 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.117653
		Pojištění a monitoring	5 000–12 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102110
		Součet všech OPEX nákladů	40 000–90 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116019

Průřezová témata/technologie

Technology	Category	Component	Value	Sources
Umělá inteligence	CAPEX	Výpočetní infrastruktura pro AI	500 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111874
		Datová centra pro AI	5 000 000–20 000 000 EUR/centrum	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117840
		AI software pro energetickou optimalizaci	100 000–500 000 EUR/licence	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115910
		AI senzory pro monitorování emisí	50 000–150 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106923
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1 000 000–3 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101432
		Celkové CAPEX - Velké systémy	10 000 000–30 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110552
	OPEX	Údržba výpočetní infrastruktury pro AI	50 000–150 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120764

		Energetický management a provoz AI systémů	100 000–300 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.117965
		Pojištění a monitoring AI systémů	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102451
Strojové učení	CAPEX	Výpočetní infrastruktura pro ML	300 000–1 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111891
		Software s licencí pro ML	50 000–200 000 EUR/licence	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117934
		Senzory a monitorovací zařízení	10 000–50 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104662
		Vývojové prostředí pro trénování modelů	100 000–300 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120768
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101634
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110552
	OPEX	Údržba ML systémů	20 000–70 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.120849
		Energetický management a provoz ML systémů	50 000–150 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117890
		Pojištění a monitoring	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102345
		Součet všech OPEX nákladů	100 000–250 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116091
Internet věcí	CAPEX	senzorika IoT	10–100 EUR/kus	https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112401
		IoT brány	200–1 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110472
		IoT platformy pro analýzu dat	50 000–200 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117890
		Chytré měřiče	100–500 EUR/kus	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101607

		Výrobní zařízení pro IoT komponenty	1 000 000–3 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110999
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101678
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–10 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110876
	OPEX	Údržba zařízení IoT	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120897
		Energetický management a provoz IoT systémů	30 000–70 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117990
		Pojištění a monitoring	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102001
Digitální dvojčata	CAPEX	Software pro simulaci	100 000–500 000 EUR/licence	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110961
		Senzory a monitorovací zařízení	10 000–50 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102
		Výpočetní infrastruktura	500 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117893
		Platformy pro správu digitálních dvojčat	200 000–1 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.110548
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101532
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020
	OPEX	Údržba digitálních dvojčat	20 000–70 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jc.2020.121894
		Energetický management a provoz	50 000–150 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117975
		Pojištění a monitoring	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102214
		Součet všech OPEX nákladů	80 000–250 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116132

HPC	CAPEX	Superpočítače	5 000 000–20 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110968
		Výpočetní klastry	500 000–5 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.11657
		Úložné systémy	100 000–1 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121996
		Síťová infrastruktura	50 000–500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.10792
		Software pro modelování a simulace	100 000–1 000 000 EUR/licence	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.1017
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1 000 000–5 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110852
		Celkové CAPEX - Velké systémy	20 000 000–50 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.1169
	OPEX	Údržba HPC systémů	200 000–1 000 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121748
		Energetický management a provoz	500 000–2 000 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117872
		Pojištění a monitoring	50 000–200 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102345
Blockchain	CAPEX	Blockchain platformy	50 000–500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.12
		Servery pro provoz blockchainu	100 000–1 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.20
		Síťová infrastruktura	20 000–100 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.10806
		Vývoj a integrace blockchainu	200 000–1 000 000 EUR/projekt	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125242
		Celkové CAPEX - Malé systémy	300 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101678
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.1

	OPEX	Údržba blockchainových systémů	50 000–200 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122098
		Energetický management a provoz	100 000–500 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energie.2020.117872
		Pojištění a monitoring	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102189
		Součet všech OPEX nákladů	200 000–750 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116980
Recyklace a opětovné využívání	CAPEX	Zařízení pro recyklaci plastů	500 000–2 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104928
		Zařízení pro recyklaci kovů	1 000 000–5 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123619
		Třídící linky	1 500 000–4 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.037
		Pyrolýzní jednotky pro plasty	2 000 000–6 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110404
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1 000 000–3 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101567
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111743
	OPEX	Údržba recyklačních zařízení	50 000–150 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122789
		Energetický management a provoz	100 000–300 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117872
		Pojištění a monitoring	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102189
		Součet všech OPEX nákladů	200 000–500 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116980
Odpady a vyřazené baterie	CAPEX	Recyklační zařízení pro lithium-iontové baterie	1 000 000–5 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123890
		Pyrometalurgické procesní jednotky	3 000 000–7 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105261

		Hydrometalurgické procesní jednotky	2 000 000–6 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110567
		Třídící a drtící linky	500 000–2 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.047
		Celkové CAPEX - Malé systémy	1 000 000–3 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102349
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116760
	OPEX	Údržba recyklačních zařízení	50 000–200 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122789
		Energetický management a provoz	100 000–500 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117872
		Pojištění a monitoring	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102389
		Součet všech OPEX nákladů	200 000–750 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116912
	Efektivita využívání zdrojů	CAPEX	Pokročilé výrobní linky	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122847
			Automatizované třídící systémy	https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.104845
			Zařízení pro recyklaci materiálů	https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106234
			Zařízení pro zpracování odpadů	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110542
			Celkové CAPEX - Malé systémy	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102589
			Celkové CAPEX - Velké systémy	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.117678
		OPEX	Údržba výrobních linek	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127583
			Energetický management a provoz	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117801

		Pojištění a monitoring	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102498
		Součet všech OPEX nákladů	200 000–600 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116897
Recyklace a valorizace odpadu	CAPEX	Pyrolýzní zařízení	2 000 000–6 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123567
		Anaerobní fermentační jednotky	1 000 000–3 500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123874
		Zařízení na recyklaci plastů	500 000–2 500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106345
		Výrobní linky pro zpracování odpadu	1 500 000–5 000 000 EUR/linka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110567
		Celkové CAPEX - Malé systémy	700 000–2 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101982
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.117823
	OPEX	Údržba zařízení	50 000–200 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127879
		Energetický management a provoz	100 000–400 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117834
		Pojištění a monitoring	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102479
		Součet všech OPEX nákladů	200 000–750 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116987
Senzory	CAPEX	Senzory vlhkosti půdy	50–200 EUR/kus	https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105803
		Senzory teploty	20–100 EUR/kus	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110879
		Senzory pro sledování živína	200–800 EUR/kus	https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111680
		Senzory pro zdravotní stav plodin	500–1 500 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106469
		IoT platformy pro zpracování dat ze senzorů	5 000–50 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127850

		Celkové CAPEX - Malé systémy	20 000–100 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101732
		Celkové CAPEX - Velké systémy	500 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110952
	OPEX	Údržba senzorových systémů	1 000–10 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106383
		Energetický management a provoz	5 000–20 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117890
		Pojištění a monitoring	2 000–5 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102312
Automatizace	CAPEX	Autonomní traktory	100 000–300 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121779
		Drony pro monitoring plodin	5 000–20 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106428
		Robotické systémy pro sklizeň	50 000–150 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111812
		Automatické zavlažovací systémy	10 000–50 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106198
		Celkové CAPEX - Malé systémy	30 000–150 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101544
		Celkové CAPEX - Velké systémy	500 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111980
	OPEX	Údržba automatizovaných zařízení	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126978
		Energetický management a provoz	20 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117908
		Pojištění a monitoring	5 000–15 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102267
		Součet všech OPEX nákladů	50 000–150 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116982
Datová analýza	CAPEX	Software pro analýzu zemědělských dat	50 000–200 000 EUR/licence	https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106487
		Senzory pro sběr dat	10–100 EUR/kus	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111990

		Analytické platformy pro strojové učení	100 000–500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102324
		Výpočetní infrastruktura pro analýzu dat	300 000–1 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127479
		Celkové CAPEX - Malé systémy	50 000–200 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117910
		Celkové CAPEX - Velké systémy	500 000–5 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116791
	OPEX	Údržba analytických systémů	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102303
		Energetický management a provoz	50 000–150 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117763
		Pojištění a monitoring	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.122431
		Součet všech OPEX nákladů	100 000–400 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110543
Zpracování odpadu	CAPEX	Pyrolýzní zařízení	1 000 000–5 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120491
		Spalovny odpadu s energetickým využitím	2 000 000–10 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120491
		Biologické zpracování (kompostování)	100 000–500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121924
		Filtrační systémy pro spalovny	500 000–1 500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102432
		Zařízení pro recyklaci plastů	300 000–2 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110222
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116791
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–20 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.117954
	OPEX	Údržba zpracovatelských zařízení	10 000–30 000 EUR/rok	

		Energetický management a provoz	50 000–150 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116734
		Pojištění a monitoring	5 000–20 000	
Znovuvyužití zdrojů	CAPEX	Zařízení pro recyklaci kovů	500 000–2 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123678
		Recyklační linky pro plasty	300 000–1 500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106295
		Recyklační zařízení pro papír	100 000–500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122906
		Recyklace elektronického odpadu	500 000–2 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122321
		Recyklace baterií	1 000 000–5 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110496
		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–2 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116931
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117765
	OPEX	Údržba recyklačních zařízení	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127899
		Energetický management a provoz	20 000–100 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117914
		Pojištění a monitoring	5 000–15 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102358
Odstraňování znečištění	CAPEX	Bioremediační zařízení	300 000–1 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124567
		Chemické čistící jednotky	500 000–2 000 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128547
		Filtrační systémy pro vzduch	100 000–500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105722
		Membránové separační systémy	200 000–800 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118743

		Celkové CAPEX - Malé systémy	500 000–1 500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102450
		Celkové CAPEX - Velké systémy	5 000 000–15 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111243
		Údržba čistících zařízení	20 000–100 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121567
	OPEX	Energetický management a provoz	50 000–200 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117889
		Pojištění a monitoring	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102300
		Součet všech OPEX nákladů	100 000–400 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116678
Monitorování životního prostředí	CAPEX	Senzory pro měření emisí CO ₂	1 000–10 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127879
		Senzory pro kvalitu vzduchu	200–2 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106222
		Satelitní snímkování pro monitorování	50 000–500 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110965
		Vzorkování vody pro znečištění	5 000–20 000 EUR/jednotka	https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106253
		Výpočetní platformy pro analýzu dat	50 000–300 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116823
		Celkové CAPEX - Malé systémy	100 000–500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102106
	OPEX	Celkové CAPEX - Velké systémy	500 000–3 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110982
		Údržba monitorovacích systémů	10 000–30 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.121796
		Energetický management a provoz	20 000–80 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117967
		Pojištění a monitoring	5 000–20 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102388

Společenské zapojení	CAPEX	Kampaně na zvyšování povědomí	50 000–500 000 EUR/kampaň	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121949
		Edukace a školení pro veřejnost	10 000–50 000 EUR/program	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110858
		Digitální platformy pro participaci	100 000–500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121287
		Výzkum a analýza veřejné akce	50 000–200 000 EUR/studii	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110423
		Nástroje pro měření veřejné akceptace	20 000–100 000 EUR/nástroj	https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105742
		Celkové CAPEX - Malé systémy	10 000–100 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116984
		Celkové CAPEX - Velké systémy	100 000–1 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110563
	OPEX	Údržba komunikačních systémů	5 000–20 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127532
		Sledování efektivity hodnocení	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102313
		Pojištění a monitoring	2 000–10 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116919
Politické a regulační rámce	CAPEX	Vývoj a implementace legislativy	50 000–500 000 EUR/zákon	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121954
		Vytváření pobídek pro investice do čistých technologií	100 000–1 000 000 EUR/program	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110395
		Emisní povolenky a uhlíkové daně	1 000 000–5 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102457
		Programy na podporu výzkumu a vývoje	200 000–2 000 000 EUR/program	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121873
		Regulační rámce pro environmentální standardy	50 000–300 000 EUR/rámec	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110467
		Celkové CAPEX - Malé systémy	100 000–500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116825

Hodnocení životního cyklu	OPEX	Celkové CAPEX - Velké systémy	500 000–5 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117911
		Monitoring a vymáhání regulačních opatření	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121978
		Adaptace a flexibilita regulačních rámců	20 000–100 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102356
		Pojištění a monitoring	5 000–20 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116871
	CAPEX	Software pro hodnocení životního cyklu	50 000–300 000 EUR/licence	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121966
		Datové platformy pro analýzy LCA	100 000–500 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121979
		LCA nástroje pro vyhodnocení emisí	10 000–50 000 EUR/nástroj	https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111685
		Datové analýzy pro zlepšení výrobních procesů	30 000–150 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102106
		Výpočetní infrastruktura pro LCA	200 000–1 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116890
		Celkové CAPEX - Malé systémy	50 000–200 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.121932
		Celkové CAPEX - Velké systémy	500 000–5 000 000 EUR/systém	https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.117906
	OPEX	Údržba nástrojů LCA	5 000–20 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121789
		Energetický management pro LCA systémy	10 000–50 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.117869
		Pojištění a monitoring	1 000–5 000 EUR/rok	https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102364

