

# Česká Technologická Platforma pro užití Biosložek v dopravě a chemickém průmyslu (ČTP Bio)



Spolufinancováno  
Evropskou unií



MINISTERSTVO  
PRŮMYSLU A OBCHODU



Více projektů podpořených Evropskou unií na [www.mapaprojektu.cz](http://www.mapaprojektu.cz)

## Syntetická paliva v kontextu dekarbonizace dopravy, chemického průmyslu a bioekonomiky

*Analytická studie ČTP Bio k roli syntetických paliv, obnovitelného uhlíku a Power-to-X  
technologií v rámci zelené a digitální transformace*

**Název projektu:**

**ČTP Biosložky V**

**OP TAK (2024-2027) - Technologické platformy – výzva II  
Rozvoj technologických platform s cílem urychlení digitální a  
zelené transformace**

Počet stran: 123

Počet příloh: 6

Vypracoval: kolektiv ČTP Bio

Úprava dne: 15.05.2026

Mobil: +420 736 507 756

Email: [martin.kremenak@ctpbio.cz](mailto:martin.kremenak@ctpbio.cz)

## Obsah

Manažerské shrnutí .....	7
1. Účel, rozsah a metodika studie .....	8
1.1 Účel studie.....	8
1.2 Věcné vymezení a rozsah studie.....	9
1.3 Vazba na projekt ČTP Biosložky V a OP TAK .....	11
1.4 Vazba na Akční plán digitální a zelené transformace.....	12
1.5 Vazba na LCA studii a hodnotové řetězce.....	13
1.6 Metodický přístup .....	14
1.7 Charakter studie a způsob interpretace závěrů .....	15
2. Vymezení syntetických paliv .....	16
2.1 Syntetická paliva jako technologická a regulační kategorie .....	17
2.2 E-paliva, Power-to-X a Power-to-Liquid.....	18
2.3 Rozdíl mezi syntetickými palivy, biopalivy, biosložkami, fosilními palivy a vodíkem .....	19
2.4 RFNBO jako zvláštní regulační kategorie .....	21
2.5 Hlavní typy syntetických paliv .....	21
2.6 Vztah syntetických paliv k bioekonomice a obnovitelnému uhlíku .....	23
2.7 Pracovní členění syntetických paliv pro účely studie .....	24
2.8 Dílčí závěr kapitoly.....	25
3. Technologické řetězce výroby syntetických paliv .....	26
3.1 Obecná logika technologického řetězce Power-to-X .....	26
3.2 Výroba vodíku jako základní technologický uzel .....	27
3.3 Uhlíkatý vstup a jeho význam pro syntetická uhlovodíková paliva .....	29
3.4 Výroba syntézního plynu a reakčních meziproductů .....	30
3.5 Fischer–Tropschova syntéza a syntetická kapalná uhlovodíková paliva .....	31
3.6 Syntéza methanolu a navazující využití v dopravě a chemii .....	32
3.7 Metanace a výroba syntetického metanu .....	33
3.8 Syntéza amoniaku a dusíkaté syntetické produkty.....	33
3.9 Finální úprava produktu, blending a kompatibilita s infrastrukturou .....	34
3.10 Energetická náročnost, účinnost a systémové ztráty.....	35
3.11 Integrace výroby syntetických paliv do hodnotových řetězců .....	36

3.12 Dílčí závěr kapitoly .....	36
4. Legislativní a regulační rámec.....	37
4.1 RED III jako základní rámec pro obnovitelná paliva .....	38
4.2 RFNBO: obnovitelná paliva nebiologického původu .....	38
4.3 Adicionalita, časová korelace a geografická korelace .....	39
4.4 Emisní úspora a metodika výpočtu .....	40
4.5 Původ uhlíku a rozdíl mezi RFNBO, recyklovanými uhlíkovými palivy a nízkouhlíkovými palivy.....	41
4.6 ReFuelEU Aviation a syntetická letecká paliva.....	42
4.7 FuelEU Maritime a role syntetických paliv v námořní dopravě.....	43
4.8 Certifikace, evidence a digitální sledovatelnost .....	44
4.9 Dopad regulačního rámce na tržní uplatnění syntetických paliv .....	45
4.10 Dílčí závěr kapitoly .....	45
5. Environmentální hodnocení a LCA .....	46
5.1 Role LCA při hodnocení syntetických paliv.....	46
5.2 Hranice systému a funkční jednotka .....	47
5.3 Hlavní emisní hotspoty .....	48
5.4 Emisní intenzita syntetického paliva.....	50
5.5 Emisní úspora vůči fosilnímu referenčnímu palivu.....	50
5.6 Původ elektřiny a vliv energetického mixu .....	51
5.7 Původ uhlíku a započítání CO <sub>2</sub> .....	52
5.8 Datová kvalita, auditovatelnost a riziko falešné přesnosti .....	52
5.9 Alokace, vedlejší produkty a metodické volby .....	53
5.10 Citlivostní analýza a scénářové hodnocení .....	54
5.11 LCA citlivosti hlavních dekarbonizačních cest.....	55
5.12 Dílčí závěr kapitoly .....	56
6. Technické, normové a kvalitativní požadavky na hlavní syntetická paliva .....	57
6.1 Od emisní užitelnosti k technické použitelnosti.....	57
6.2 Hlavní technické parametry syntetických paliv.....	58
6.3 E-diesel a parafinická dieselová paliva .....	60
6.4 E-SAF a požadavky leteckého sektoru .....	61
6.5 E-methanol jako palivo a chemická surovina .....	62

6.6 Syntetický metan a požadavky plynárenské infrastruktury .....	64
6.7 E-amoniak: technický potenciál a bezpečnostní omezení .....	64
6.8 Vodík jako vstup a samostatný energetický nosič .....	65
6.9 Drop-in, blend-in a non-drop-in paliva .....	66
6.10 Kvalita, certifikace a odpovědnost v dodavatelském řetězci .....	66
6.11 Dílčí závěr kapitoly .....	67
7. Sektorové uplatnění syntetických paliv .....	67
7.1 Kritéria pro posouzení sektorové vhodnosti.....	68
7.2 Obecný rámec pro odhad sektorového potenciálu .....	69
7.3 Silniční doprava.....	70
7.4 Letecká doprava .....	71
7.5 Námořní doprava.....	72
7.6 Chemický průmysl a průmyslové využití uhlíku .....	72
7.7 Plynárenství, syntetický metan a ukládání energie.....	73
7.8 Speciální, pracovní a obtížně elektrifikovatelné aplikace .....	73
7.9 Sektorová prioritizace hlavních syntetických paliv.....	74
7.10 Časové horizonty uplatnění .....	74
7.11 Dílčí závěr kapitoly .....	75
8. Ekonomické, investiční a tržní podmínky rozvoje syntetických paliv .....	76
8.1 Struktura nákladů syntetických paliv.....	76
8.2 Cena elektřiny a výroba vodíku jako hlavní ekonomický uzel .....	78
8.3 Náklady na uhlík a význam biogenního CO <sub>2</sub> .....	79
8.4 Kapitálová náročnost, využití kapacity a náklady kapitálu .....	79
8.5 Náklady syntetických paliv podle produktů.....	81
8.6 Tržní poptávka, cenová prémie a ochota platit .....	82
8.7 Podpůrné mechanismy a role veřejné politiky .....	83
8.8 Investiční rizika a bankovatelnost projektů.....	83
8.9 Domácí výroba, importy a strategická autonomie.....	84
8.10 Ekonomická relevance pro ČTP Bio a české hodnotové řetězce .....	85
8.11 Dílčí závěr kapitoly .....	86
9. Bariéry, rizika a otevřené otázky rozvoje syntetických paliv .....	86
9.1 Typologie bariér a rizik.....	87

9.2 Bariéra dostupnosti elektřiny.....	88
9.3 Bariéra dostupnosti vodíku.....	88
9.4 Bariéra dostupnosti uhlíku a riziko nesprávného započítání CO <sub>2</sub> .....	89
9.5 Technologická rizika a škálování.....	90
9.6 Regulatorní a certifikační rizika.....	91
9.7 Ekonomická rizika a riziko cenové mezery.....	91
9.8 Tržní riziko a nejistota poptávky.....	92
9.9 Datová, LCA a reputační rizika.....	93
9.10 Bezpečnostní a provozní rizika.....	93
9.11 Institucionální a koordinační bariéry.....	94
9.12 Prioritizace rizik.....	94
9.13 Dílčí závěr kapitoly.....	95
10. Doporučení a priority pro další postup ČTP Bio.....	96
10.1 Základní doporučení: zaměřit se na syntetická paliva jako součást hodnotových řetězců.....	96
10.2 Priorita 1: zmapovat zdroje biogenního CO <sub>2</sub> a obnovitelného uhlíku.....	97
10.3 Priorita 2: zaměřit se na e-methanol jako most mezi palivy a chemií.....	98
10.4 Priorita 3: sledovat e-SAF jako strategický sektorový trh.....	99
10.5 Priorita 4: posílit LCA, certifikaci a digitální sledovatelnost.....	100
10.6 Priorita 5: vymezit syntetická paliva jako cílený nástroj pro obtížně elektrifikovatelné sektory.....	101
10.7 Priorita 6: připravit členy platformy na nové certifikační a tržní požadavky.....	102
10.8 Priorita 7: podporovat pilotní a demonstrační projekty s jasnou hodnotově-řetězcovou logikou.....	102
10.9 Priorita 8: formulovat doporučení pro veřejnou správu.....	103
10.10 Implementační plán pro ČTP Bio.....	104
10.11 Dílčí závěr kapitoly.....	105
11. Závěry studie a hlavní sdělení pro další strategickou práci.....	106
11.1 Hlavní závěr 1: syntetická paliva jsou hodnotově-řetězcové téma, nikoli pouze palivový produkt.....	106
11.2 Hlavní závěr 2: největší význam má vazba na obnovitelný uhlík a biogenní CO <sub>2</sub> .....	107
11.3 Hlavní závěr 3: syntetická paliva musí být posuzována podle LCA, nikoli podle názvu.....	108

11.4 Hlavní závěr 4: RFNBO je regulační status, nikoli technický název paliva.....	109
11.5 Hlavní závěr 5: sektorové uplatnění bude selektivní .....	109
11.6 Hlavní závěr 6: ekonomika syntetických paliv bude záviset na ceně elektřiny, vodíku, uhlíku a poptávkovém rámci .....	110
11.7 Hlavní závěr 7: hlavní bariéry jsou systémové, ne pouze technologické .....	111
11.8 Hlavní závěr 8: další práce ČTP Bio má být zaměřena na konkrétní výstupy.....	112
11.9 Celkové shrnutí závěrů studie .....	112
Příloha A: Seznam tabulek .....	114
Příloha B: Seznam obrázků.....	116
Příloha C: Seznam rovnic .....	117
Příloha D: Seznam zdrojů a literatura.....	118
Příloha E: Přehled použitých zkratk.....	121
Příloha F: Doplnující přehled hlavních norem a regulačních dokumentů.....	123

## Manažerské shrnutí

Syntetická paliva mají ve studii vymezenou cílenou roli: mohou doplnit dekarbonizační portfolio tam, kde bude i nadále potřeba kapalné nebo plynné palivo, uhlíkatá či dusíkatá molekula nebo nízkoemisní chemický meziprodukt. Nejsou chápána jako plošná náhrada fosilních paliv, ale jako řešení navázané na konkrétní vstupy, sektorové potřeby, LCA, certifikaci a reálnou tržní poptávku.

Hlavní závěr studie je praktický: syntetická paliva mají smysl jen tam, kde se setkává doložitelný nízkoemisní vstup, prokazatelná emisní úspora, regulační uznatelnost a konkrétní sektorová potřeba. Samotná technická vyrobiteľnosť pro jejich zařazení do dekarbonizační strategie nestačí.

Pro ČTP Bio je nejdůležitější vazba syntetických paliv na obnovitelný uhlík a biogenní CO<sub>2</sub>. Biogenní CO<sub>2</sub> může být konkrétním vstupem pro e-methanol, e-SAF, syntetický metan nebo další Power-to-X produkty, pokud je dostupný ve stabilních, koncentrovaných a certifikovatelných tocích. Proto má být jeho mapování jedním z prvních navazujících kroků.

Nejvyšší sektorovou relevanci mají syntetická paliva v letectví, námořní dopravě, chemickém průmyslu a ve vybraných speciálních aplikacích. V letectví je klíčovým tématem e-SAF, protože ReFuelEU Aviation vytváří dlouhodobý regulační impuls pro udržitelná a syntetická letecká paliva. V námořní dopravě je nejvýznamnějším tématem e-methanol, případně e-amoniak, avšak pouze při zvládnutí bezpečnostních a infrastrukturních požadavků. V chemickém průmyslu mohou mít syntetické produkty ještě vyšší hodnotu než jako paliva, protože mohou nahrazovat fosilní suroviny a vstupovat do výroby chemických látek a materiálů.

Naopak plošné využití syntetických paliv v osobní silniční dopravě se nejeví jako prioritní. V tomto segmentu bude ve většině případů efektivnější přímá elektrifikace. Syntetická kapalná paliva mohou mít smysl spíše ve vybraných částech těžké, pracovní, speciální nebo obtížně elektrifikovatelné dopravy, kde je potřeba vysoká energetická hustota, rychlé doplnění energie, dlouhá provozní doba nebo využití stávající infrastruktury.

Environmentální přínos syntetických paliv nelze odvozovat z jejich názvu. Označení „syntetické“, „e-palivo“, „obnovitelné“ nebo „nízkouhlíkové“ samo o sobě nic nezaručuje. Rozhodující je LCA, tedy posouzení celého životního cyklu. Výsledná emisní bilance závisí zejména na emisní intenzitě elektřiny, způsobu výroby vodíku, původu CO<sub>2</sub>, účinnosti syntézy, logistice, alokaci vedlejších produktů a kvalitě dat. Bez auditovatelné evidence a certifikace nelze emisní přínos důvěryhodně prokázat.

Regulačně je nutné důsledně rozlišovat mezi syntetickým palivem jako technickým produktem a RFNBO jako zvláštní regulační kategorií. Ne každé syntetické palivo je RFNBO. Aby mohlo být jako RFNBO uznáno, musí splnit požadavky na obnovitelný původ elektřiny, adicionalitu, časovou a geografickou korelaci, emisní úsporu, certifikaci a dohledatelnost vstupů. Toto rozlišení má zásadní tržní význam, protože pouze regulačně uznatelné palivo může být plně využitelné pro plnění cílů, mandátů nebo sektorových povinností.

Ekonomika syntetických paliv zůstává náročná. Hlavními nákladovými faktory jsou cena nízkoemisní elektřiny, cena vodíku, dostupnost a cena certifikovatelného CO<sub>2</sub>, investiční náklady syntetických jednotek, využití kapacity, logistika, certifikace a náklady kapitálu. Bez regulatorního impulsu, dlouhodobých odběrových smluv, veřejné podpory nebo ochoty trhu platit cenovou prémii budou syntetická paliva obtížně konkurovat fosilním alternativám.

Největší bariéry rozvoje nejsou pouze technologické. Technologie výroby syntetických paliv existují nebo se rozvíjejí, ale praktické uplatnění brzdí zejména systémové faktory: nedostatek levné nízkoemisní elektřiny, omezená dostupnost obnovitelného nebo nízkoemisního vodíku, nejistota vhodných zdrojů CO<sub>2</sub>, vysoké investiční náklady, složitá certifikace, nejasná poptávka, chybějící offtake smlouvy a vysoké nároky na datovou infrastrukturu.

Pro ČTP Bio z toho vyplývá jasný další postup. Platforma by se neměla soustředit na obecnou propagaci syntetických paliv, ale na konkrétní témata s nejvyšší vazbou na její činnost: biogenní CO<sub>2</sub>, obnovitelný uhlík, e-methanol, e-SAF, LCA, certifikaci, digitální sledovatelnost a hodnotové řetězce zelené chemie. Právě zde může ČTP Bio nabídnout nejvyšší přidanou hodnotu členům, podnikům, výzkumným organizacím i veřejné správě.

Doporučené navazující kroky jsou: zmapovat zdroje biogenního CO<sub>2</sub> v České republice, připravit metodický rámec pro LCA a certifikaci syntetických paliv, rozpracovat e-methanol jako most mezi palivy a chemickým průmyslem, sledovat e-SAF jako strategický sektorový trh, připravit odborný workshop pro členy platformy a začlenit syntetická paliva do budoucí Road Map ČTP Bio v návaznosti na obnovitelný uhlík, bioekonomiku a zelenou chemii.

Studie tak vytváří odborný základ pro realistické uchopení syntetických paliv v rámci ČTP Bio. Jejím hlavním sdělením je, že syntetická paliva mají smysl pouze jako cílená, datově doložená a hodnotově-řetězcová součást dekarbonizační strategie. Největší příležitost pro ČTP Bio neleží v plošné podpoře syntetických paliv, ale v propojení bioekonomiky, biogenního CO<sub>2</sub>, zelené chemie, LCA, certifikace a průmyslových hodnotových řetězců.

## 1. Účel, rozsah a metodika studie

Kapitola vymezuje účel, rozsah a metodiku studie. Ukotvuje téma syntetických paliv v projektu ČTP Biosložky V, v programu OP TAK a v navazujících výstupech platformy, zejména v Akčním plánu, LCA studii a analýze hodnotových řetězců. Současně stanovuje, že syntetická paliva budou hodnocena jako technické, regulatorní, environmentální, datové a tržní téma.

### 1.1 Účel studie

Tato studie vzniká jako jeden z odborných výstupů projektu **ČTP Biosložky V**, realizovaného v rámci programu **OP TAK – Technologické platformy – výzva II**, jehož cílem je rozvoj technologických platforem a urychlení digitální a zelené transformace v relevantních průmyslových odvětvích. Projekt ČTP Biosložky V je zaměřen na uplatnění obnovitelných surovin biologického původu pro výrobu zelených chemických látek a obnovitelných motorových paliv, včetně identifikace potenciálu pro zlepšení efektivity výroby, snižování

uhlíkové stopy, využití moderních technologií, digitalizace, automatizace a dalších nástrojů duální transformace [1].

Studie je zpracována jako sektorový analytický podklad k tématu syntetických paliv a jejich možné roli v dekarbonizaci dopravy, chemického průmyslu a navazujících hodnotových řetězců. Jejím účelem je poskytnout ucelený přehled technologických, regulatorních, environmentálních, datových a tržních souvislostí syntetických paliv a zasadit toto téma do širšího rámce činnosti České technologické platformy pro užití biosložek v dopravě a chemickém průmyslu.

Syntetická paliva se v evropské i české debatě stále častěji objevují jako jedna z možných cest snižování emisní intenzity paliv tam, kde bude i ve střednědobém a dlouhodobém horizontu potřebná kapalná nebo plynná forma energetického nosiče, případně uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu. Typicky se jedná o segmenty, ve kterých přímá elektrifikace naráží na technické, ekonomické, provozní nebo infrastrukturní limity. Studie je proto hodnotí jako doplňkový nástroj pro vybrané aplikace, nikoli jako univerzální náhradu ostatních dekarbonizačních cest.

Téma syntetických paliv je pro ČTP Bio relevantní zejména proto, že projektové zaměření platformy výslovně zahrnuje analýzu hodnotových řetězců a udržitelnosti výroby biopaliv, biosložek a zelených chemikálií, a to včetně srovnání různých pohonů a paliv, mezi nimiž jsou uvedena biopaliva, vodík, syntetická paliva a elektřina, včetně LCA dopadu z pohledu emisí CO<sub>2</sub> [1]. Studie tak navazuje na původní projektové vymezení a rozšiřuje odbornou základnu platformy o téma, které se nachází na rozhraní palivářství, chemického průmyslu, vodíkových technologií, obnovitelné elektřiny, uhlíkového hospodářství a digitálního emisního reportingu.

Základním východiskem studie je princip podmíněné relevance: syntetická paliva mají praktický význam pouze tehdy, pokud jejich výrobní řetězec ob stojí technicky, emisně, regulatorně, datově i tržně.

Studie má sloužit jako přehledový a rozhodovací rámec pro další odbornou činnost ČTP Bio. Je využitelná pro komunikaci s členskou základnou, podniky, výzkumnými organizacemi, veřejnou správou a dalšími partnery. Zároveň poskytuje podklad pro navazující strategické dokumenty platformy, zejména pro Akční plán digitální a zelené transformace, Strategickou výzkumnou agendu, Technologický foresight a budoucí Road Map k příspěvku biopaliv, biosložek, zelených chemických látek a souvisejících nízkoemisních technologií k uhlíkové neutralitě.

## **1.2 Věcné vymezení a rozsah studie**

Studie je koncipována jako sektorový analytický dokument technologické platformy. Jejím těžištěm je posouzení syntetických paliv v širším kontextu zelené a digitální transformace, nikoli izolovaný popis jedné technologie nebo jednoho typu paliva. Rozsah studie je nastaven tak, aby umožnil propojit technologický popis syntetických paliv s jejich regulatorními, environmentálními, datovými, certifikačními a tržními souvislostmi.

Studie se věnuje základnímu vymezení syntetických paliv a e-paliv, jejich vztahu k pojmům Power-to-X a Power-to-Liquid a jejich odlišení od biopaliv, biosložek, fosilních paliv a vodíku. Vysvětluje, že syntetická paliva nejsou jednotnou kategorií s automaticky nízkou emisní stopou, ale skupinou paliv a chemických produktů, jejichž environmentální hodnota závisí na původu vstupů, výrobním procesu, emisní bilanci, certifikaci a způsobu konečného využití.

V rozsahu studie jsou zahrnuty hlavní technologické cesty výroby syntetických kapalných a plyných paliv. Studie se zaměřuje na výrobu vodíku jako klíčového vstupu, na využití obnovitelné nebo nízkoemisní elektřiny, na možné zdroje uhlíku, zejména CO<sub>2</sub> a biogenní uhlík, na syntézní plyn a hlavní konverzní procesy, jako jsou Fischer–Tropschova syntéza, syntéza methanolu, methanace a navazující úpravy výsledného produktu. Součástí rozsahu je také rámcové posouzení energetické náročnosti těchto procesů a významu účinnosti výrobního řetězce pro výslednou uhlíkovou stopu a ekonomickou proveditelnost.

Studie dále rozlišuje hlavní typy syntetických paliv a produktů, které jsou relevantní pro dopravu, chemický průmysl a navazující hodnotové řetězce. Patří mezi ně zejména e-diesel, syntetická letecká paliva typu e-SAF, e-methanol, syntetický metan a e-amoniak. Každý z těchto produktů má odlišný technologický základ, jinou vazbu na existující infrastrukturu, rozdílný regulační impuls a rozdílný sektorový potenciál. Studie proto nebude syntetická paliva hodnotit jako homogenní skupinu, ale bude rozlišovat jejich možné uplatnění podle typu produktu, cílového sektoru, technické kompatibility, regulačních požadavků a očekávané tržní poptávky.

Významnou část rozsahu tvoří evropský regulační rámec. Studie se zaměřuje zejména na vazbu syntetických paliv na RED III, kategorii RFNBO, požadavky na obnovitelný původ elektřiny, adicionalitu, časovou korelaci, geografickou korelaci, původ uhlíkatých vstupů, prokazování emisních úspor a certifikaci. Dále se věnuje sektorovým rámcům, jako jsou ReFuelEU Aviation a FuelEU Maritime, protože právě letectví a námořní doprava patří mezi oblasti, kde může být regulační poptávka po syntetických palivech v budoucnu nejvýraznější.

Součástí rozsahu je také environmentální hodnocení z pohledu životního cyklu. Studie proto sleduje, jak se do emisní bilance promítají vstupy, výrobní procesy, logistika, certifikace a kvalita dat.

Rozsah studie zahrnuje také vztah syntetických paliv k biopalivům, biosložkám, bio-based chemii a obnovitelnému uhlíku. Podrobněji je tato vazba rozpracována v kapitole 2.6 a následně promítnuta do doporučení pro další postup ČTP Bio.

Studie se dále věnuje tržnímu a sektorovému potenciálu syntetických paliv. Posuzuje jejich možné uplatnění v silniční dopravě, letecké dopravě, námořní dopravě, chemickém průmyslu a dalších aplikacích, kde bude i nadále potřeba kapalná nebo plyná forma paliva či suroviny. U každého sektoru je důležité rozlišovat mezi technickou možností využití, regulační motivací, ekonomickou proveditelností, infrastrukturou a dostupností vstupů. Studie proto

nepracuje s jednou univerzální trajektorií rozvoje syntetických paliv, ale vytváří rámec pro diferencované hodnocení podle sektorů a časových horizontů.

Součástí studie je identifikace hlavních rizik, bariér a otevřených otázek. Patří mezi ně zejména vysoká energetická náročnost výroby, dostupnost obnovitelné elektřiny, cena vodíku, původ a dostupnost CO<sub>2</sub>, technologická účinnost, certifikace, regulační nejistota, datová náročnost, infrastruktura, logistika, ochota trhu platit cenovou prémii a riziko přeceňování syntetických paliv jako univerzálního řešení. Studie se těmito riziky zabývá proto, aby bylo možné syntetická paliva hodnotit věcně a realisticky.

Výstupem studie je odborný rámec, který umožňuje lépe rozlišit, kde mohou syntetická paliva představovat realistickou příležitost, kde jsou jejich hlavní limity, jaké podmínky musí být splněny pro jejich environmentální a regulační užitelnost a jakou roli mohou hrát v širší transformaci dopravy, chemického průmyslu a souvisejících hodnotových řetězců.

### 1.3 Vazba na projekt ČTP Biosložky V a OP TAK

Studie je zpracována v návaznosti na projekt **ČTP Biosložky V**, který je realizován v rámci programu **OP TAK – Technologické platformy – výzva II**. Projekt je zaměřen na rozvoj technologické platformy a podporu digitální a zelené transformace v oblasti využití obnovitelných surovin biologického původu, biosložek, zelených chemických látek, obnovitelných motorových paliv a navazujících průmyslových hodnotových řetězců.

Projekt ČTP Biosložky V vytváří odborné, koordinační, analytické a strategické podklady pro další rozvoj odvětví. Syntetická paliva do tohoto rámce zapadají jako návazné téma na rozhraní palivářství, chemického průmyslu, obnovitelných vstupů a hodnotových řetězců. Studie tím rozšiřuje analytickou základnu projektu o oblast, která doplňuje dosavadní zaměření na biopaliva, biosložky a zelenou chemii.

V rámci projektu ČTP Biosložky V je důležité sledovat nejen současné využití biopaliv a biosložek, ale také dlouhodobý vývoj palivového a surovinového mixu. Dekarbonizace dopravy a chemického průmyslu nebude založena na jednom univerzálním řešení. Bude vyžadovat kombinaci různých cest podle typu aplikace, dostupnosti vstupů, technologické připravenosti, emisní bilance a regulačních požadavků. Syntetická paliva proto představují téma, které je nutné zasadit do širšího kontextu strategického plánování, výzkumu, inovací, hodnotových řetězců a dlouhodobé konkurenceschopnosti.

Studie zároveň podporuje cíle OP TAK v oblasti zelené a digitální transformace. Zelená dimenze je zastoupena posouzením potenciálu syntetických paliv ke snížení emisní intenzity vybraných sektorů, zejména tam, kde zůstávají kapalná nebo plynná paliva obtížně nahraditelná. Digitální dimenze se projevuje v důrazu na sledovatelnost vstupů, evidenci původu elektřiny, vodíku a uhlíku, emisní reporting, certifikaci, auditovatelnost dat a datovou interoperabilitu v hodnotových řetězcích.

Studie tak není izolovanou rešerší k technologii syntetických paliv. Je součástí širšího systému výstupů ČTP Bio, které mají přispět k tomu, aby platforma poskytovala odborné podklady pro podniky, výzkumné organizace, veřejnou správu a další aktéry. V tomto smyslu studie přispívá k rozvoji znalostní základny platformy, k formulaci budoucích priorit a k lepší orientaci v možnostech, limitech a podmínkách využití syntetických paliv v českém i evropském kontextu.

#### **1.4 Vazba na Akční plán digitální a zelené transformace**

Studie přímo navazuje na **Akční plán digitální a zelené transformace technologické platformy ČTP Bio**. Akční plán vymezuje potřeby sektoru, identifikuje hlavní bariéry rozvoje, stanovuje strategické cíle a navrhuje opatření v oblasti digitální a zelené transformace. Téma syntetických paliv je s Akčním plánem propojeno zejména tam, kde se překrývají otázky obnovitelného uhlíku, nízkoemisních energetických vstupů, regulačního rámce, hodnotových řetězců, certifikace a digitálního reportingu.

Z hlediska zelené transformace jsou syntetická paliva relevantní především jako možné řešení pro segmenty, kde bude i nadále potřeba kapalná nebo plynná forma paliva či suroviny. Akční plán zdůrazňuje význam bio-based chemie, biosložek, obnovitelných paliv, snižování emisní intenzity a rozvoje nízkoemisních hodnotových řetězců. Syntetická paliva mohou tuto diskusi doplnit zejména v oblastech, kde je možné využít obnovitelnou elektřinu, vodík a vhodný uhlíkatý vstup k výrobě paliv nebo chemických meziproduktů s potenciálně nižší emisní stopou.

Z hlediska digitální transformace je klíčová schopnost průběžně dokládat původ vstupů, emisní profil a návaznost mezi jednotlivými články řetězce. Syntetická paliva jsou proto vhodným příkladem tématu, kde se zelená transformace přímo opírá o datovou interoperabilitu, sledovatelnost a auditovatelný reporting.

Akční plán rovněž pracuje s potřebou identifikace technologických, investičních, regulačních a tržních bariér. Právě v oblasti syntetických paliv jsou tyto bariéry výrazné. Technologie výroby syntetických paliv je energeticky náročná, investičně složitá, citlivá na cenu elektřiny a vodíku, závislá na dostupnosti vhodných uhlíkatých vstupů a silně ovlivněná evropskou regulací. Studie proto navazuje na Akční plán tím, že tyto bariéry pojmenovává, strukturuje a zasazuje do širšího rámce možného budoucího rozvoje.

Další významnou vazbou je vztah syntetických paliv k hodnotovým řetězcům. Akční plán zdůrazňuje potřebu posilovat odolnost a koordinaci hodnotových a dodavatelských řetězců. Výroba syntetických paliv je typickým příkladem technologie, která vyžaduje propojení více sektorů: energetiky, výroby vodíku, zachycování nebo získávání CO<sub>2</sub>, chemického zpracování, palivářství, logistiky, distribuce, certifikace a koncového trhu. Téma syntetických paliv proto umožňuje na konkrétním příkladu ukázat, jak komplexní budou budoucí nízkoemisní hodnotové řetězce a jak důležitá bude jejich koordinace.

Studie zároveň přispívá k budoucí aktualizaci Akčního plánu. Identifikuje oblasti, které bude vhodné dále sledovat, zejména vývoj evropské regulace RFNBO, ReFuelEU Aviation a FuelEU Maritime, vývoj metodik pro emisní hodnocení syntetických paliv, možnosti využití biogenního

CO<sub>2</sub>, vazbu na bio-based chemii, vývoj certifikačních schémat, potřebu datové infrastruktury a potenciální výzkumná a inovační témata pro zapojení podniků a výzkumných organizací.

## 1.5 Vazba na LCA studii a hodnotové řetězce

Studie navazuje také na dokument **Souhrn LCA analýz biopaliv vyráběných a zpracovávaných v České republice**, který byl zpracován jako praktický rozhodovací podklad pro podniky, výzkum, regulaci a Road Map ČTP Bio [3]. LCA studie vychází z principu, že přínos paliv a biosložkových řetězců nelze hodnotit pouze podle jejich obecného zařazení mezi obnovitelné nebo bio-based zdroje. Rozhodující je konkrétní emisní bilance celého hodnotového řetězce, kvalita dostupných dat, certifikace a schopnost doložit skutečný emisní přínos [3].

Tento přístup je pro syntetická paliva zásadní, protože jejich emisní profil vzniká v celém výrobním a dodavatelském řetězci. LCA proto slouží jako kontrolní rámec, který brání tomu, aby byl environmentální přínos odvozován pouze z názvu technologie nebo z použití CO<sub>2</sub> či vodíku.

Studie přebírá z LCA přístupu důraz na emisní hotspoty. U syntetických paliv lze za klíčové hotspoty považovat zejména emisní intenzitu elektřiny, účinnost elektrolýzy, způsob výroby vodíku, původ CO<sub>2</sub> nebo jiného uhlíkatého vstupu, energetickou náročnost syntézy, využití tepla, logistiku a certifikaci. Tyto faktory mohou rozhodovat o tom, zda bude konkrétní syntetické palivo skutečně přispívat ke snižování emisí, nebo zda půjde pouze o technologicky vyrobitelný, ale environmentálně či ekonomicky problematický produkt.

Důležitým prvkem je také datová jistota. LCA studie ČTP Bio zdůrazňuje potřebu rozlišovat mezi řetězci s dostatečnou datovou základnou a řetězci, u nichž je možné postupovat pouze rešeršně, orientačně nebo scénářově [3]. Stejná logika platí i pro syntetická paliva. U některých technologií existují relativně dobře popsané principy výroby a regulační rámce, ale praktická data z průmyslového provozu mohou být omezená. Studie proto rozlišuje mezi technologickým potenciálem, očekávaným budoucím významem a mírou současné datové a tržní jistoty.

Vazba na hodnotové řetězce je u syntetických paliv mimořádně významná. Výroba syntetického paliva začíná již u výroby elektřiny a nekončí samotnou syntézou produktu. Zahrnuje dostupnost vstupní energie, výrobu vodíku, zdroj uhlíku, technologickou konverzi, úpravu produktu, skladování, distribuci, certifikaci a koncové využití. Každý článek tohoto řetězce ovlivňuje jak emisní bilanci, tak ekonomiku, regulační uznatelnost a praktickou použitelnost výsledného paliva.

Zvláštní pozornost si zaslouží vazba syntetických paliv na biogenní uhlík a bio-based řešení. Biogenní CO<sub>2</sub> může v některých případech představovat relevantní uhlíkatý vstup pro výrobu syntetických paliv, pokud je jeho původ, zachycení a využití metodicky správně vymezeno a certifikačně doloženo. Tím vzniká přímá vazba mezi bioekonomikou, biopalivy, chemickým průmyslem a Power-to-X technologiemi. Studie proto sleduje syntetická paliva nejen jako palivářské téma, ale také jako téma obnovitelného uhlíku a jeho efektivního směřování do aplikací s nejvyšší přidanou hodnotou.

Výsledkem této části studie je metodické propojení syntetických paliv s LCA, hodnotovými řetězci a datovou sledovatelností. Toto propojení je nezbytné pro to, aby syntetická paliva byla hodnocena podle skutečného environmentálního přínosu a nikoli pouze podle technologické atraktivity nebo obecné dekarbonizační rétoriky.

**Tabulka 1: Vazba studie syntetických paliv na projekt ČTP Biosložky V a navazující výstupy ČTP Bio**

Oblast vazby	Význam pro studii syntetických paliv	Praktický výstup ve studii
OP TAK – Technologické platformy	Studie je jedním z odborných výstupů projektu ČTP Biosložky V a podporuje zelenou a digitální transformaci sektoru.	Ukotvení studie jako sektorového analytického dokumentu technologické platformy.
Akční plán digitální a zelené transformace	Studie navazuje na cíle v oblasti nízkoe emisních technologií, digitalizace, sledovatelnosti, emisního reportingu a hodnotových řetězců.	Vymezení syntetických paliv jako tématu propojujícího zelenou a digitální transformaci.
LCA studie ČTP Bio	Studie přebírá princip, že paliva nelze hodnotit pouze podle názvu nebo typu, ale podle emisní bilance celého životního cyklu.	Důraz na původ elektřiny, vodíku, CO <sub>2</sub> , certifikaci, datovou kvalitu a auditovatelnost.
Analýza hodnotových řetězců	Syntetická paliva vyžadují propojení energetiky, vodíku, CO <sub>2</sub> , chemické výroby, palivářství, logistiky a koncových trhů.	Posouzení syntetických paliv jako součásti širších průmyslových a dodavatelských řetězců.
Strategická výzkumná agenda / Technologický foresight / Road Map	Výsledky studie mají sloužit jako vstup pro další strategické plánování ČTP Bio.	Identifikace témat pro VaVal, sledování regulatorního vývoje a scénáře 2030–2040–2050.

## 1.6 Metodický přístup

Studie využívá kombinovaný metodický přístup, který propojuje technologickou, regulatorní, environmentální, hodnotově-řetězcovou a strategicko-tržní rovinu. Tento přístup odpovídá povaze syntetických paliv, protože jejich význam nelze posoudit pouze technickým popisem výroby ani pouze pohledem na konečný produkt. Rozhodující je souběžné hodnocení vstupů, technologií, emisní bilance, certifikace, infrastruktury, trhu a regulatorního rámce.

Technologická rovina studie se zaměřuje na výrobní řetězce syntetických paliv. Sleduje zejména výrobu vodíku, využití obnovitelné nebo nízkoe emisní elektřiny, získávání uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu, výrobu syntézního plynu nebo jiných reakčních meziproductů, syntézu finálního paliva a následnou úpravu produktu. Cílem technologické části je vysvětlit hlavní principy a kritická místa výrobních řetězců syntetických paliv v kontextu jejich možné role v dopravě, chemickém průmyslu a navazujících hodnotových řetězcích.

Regulatorní rovina studie se zaměřuje na evropský rámec pro syntetická paliva, zejména na RED III, RFNBO, ReFuelEU Aviation a FuelEU Maritime. Důraz je kladen na to, že regulatorní hodnota syntetického paliva není dána pouze jeho chemickým složením, ale splněním požadavků na původ elektřiny, způsob výroby vodíku, původ uhlíku, emisní bilanci, certifikaci a auditovatelnost. Studie proto sleduje, jak se technická vyrobiteľnost paliva promítá do jeho regulatorní uznatelnosti.

Environmentální rovina studie vychází z principů LCA. Syntetická paliva jsou posuzována z pohledu celého životního cyklu, nikoli pouze podle emisí při konečném spalování nebo podle obecného označení „syntetické“ či „obnovitelné“. Studie sleduje hlavní faktory, které ovlivňují výslednou uhlíkovou stopu, a upozorňuje na potřebu datové kvality, certifikace a transparentnosti. Tam, kde nejsou k dispozici dostatečně robustní data, bude studie pracovat s kvalitativním, rešeršním nebo scénářovým přístupem.

Hodnotově-řetězcová rovina studie sleduje návaznosti mezi jednotlivými sektory. Výroba syntetických paliv vyžaduje propojení energetiky, vodíkových technologií, zdrojů uhlíku, chemické výroby, palivářství, logistiky, certifikace a koncových trhů. Studie proto hodnotí syntetická paliva jako součást širších průmyslových a dodavatelských řetězců. Zvláštní pozornost je věnována oblastem, kde mohou syntetická paliva navazovat na bio-based ekonomiku, zejména prostřednictvím biogenního CO<sub>2</sub>, obnovitelného uhlíku, biosložek a zelené chemie.

Strategicko-tržní rovina studie se zaměřuje na možné uplatnění syntetických paliv v jednotlivých sektorech a časových horizontech. Studie rozlišuje mezi krátkodobým, střednědobým a dlouhodobým potenciálem. Krátkodobě lze očekávat především pilotní a demonstrační projekty, případně využití v segmentech se silným regulačním impulsem. Ve střednědobém horizontu může růst význam syntetických paliv v letectví, námořní dopravě a vybraných průmyslových aplikacích. V dlouhodobém horizontu bude jejich role záviset na dostupnosti obnovitelné elektřiny, poklesu nákladů, stabilitě pravidel, rozvoji certifikace, infrastruktury a schopnosti trhu ocenit nízkoemisní produkty.

Studie pracuje především s veřejně dostupnými odbornými, regulačními a analytickými zdroji a s již připravenými výstupy ČTP Bio, zejména s Akčním plánem digitální a zelené transformace, LCA studií a analýzou hodnotových řetězců. Tento přístup zajišťuje, že studie zůstává obecným a veřejně použitelným výstupem technologické platformy. Zároveň umožňuje navázat téma syntetických paliv na širší činnost ČTP Bio bez vazby na konkrétní podnikový investiční záměr.

## **1.7 Charakter studie a způsob interpretace závěrů**

Studie má charakter odborného sektorového dokumentu. Jejím hlavním přínosem je vytvoření srozumitelného rámce pro posouzení syntetických paliv v kontextu dekarbonizace dopravy, chemického průmyslu a souvisejících hodnotových řetězců. Dokument propojuje technické, regulační, environmentální a strategické aspekty a vytváří základ pro další práci platformy v oblasti syntetických paliv, obnovitelného uhlíku, LCA, certifikace a hodnotových řetězců.

Závěry studie je nutné interpretovat jako sektorový a strategický rámec. Studie bude hodnotit syntetická paliva podle jejich možné role v dekarbonizačním portfoliu, podle podmínek jejich uplatnění a podle bariér, které mohou omezovat jejich praktické rozšíření. Nebude pracovat s jednoduchým závěrem, že syntetická paliva jsou buď jednoznačně žádoucí, nebo naopak nepoužitelná. Jejich význam bude posuzován diferencovaně podle typu paliva, vstupů, technologie, sektoru, časového horizontu a regulačních podmínek.

Tento přístup je důležitý zejména proto, že syntetická paliva mohou být v odborné i veřejné debatě snadno přeceňována nebo naopak předčasně odmítána. Studie proto usiluje o věcnou rovnováhu. Na jedné straně uznává, že syntetická paliva mohou být důležitá v obtížně elektrifikovatelných sektorech a mohou pomoci zachovat funkčnost některých kapalných a plyných palivových řetězců při snižování jejich emisní intenzity. Na druhé straně zdůrazňuje, že jejich výroba je energeticky náročná, vstupně citlivá, regulatorně komplexní a ekonomicky podmíněná.

Studie proto pracuje s principem podmíněné relevance. Syntetická paliva jsou posuzována podle toho, zda v konkrétním řetězci obstojí současně technicky, environmentálně, regulatorně a tržně. Tento princip je uplatněn ve všech dalších kapitolách.

Zvláštní význam má také vztah mezi technickou vyrobiteľností, regulatorní uznatelností a ekonomickou proveditelností. Technicky vyrobiteľné palivo nemusí být automaticky regulatorně uznatelné. Regulatorně uznatelné palivo nemusí být automaticky ekonomicky konkurenceschopné. A ekonomicky zajímavé řešení nemusí být vždy nejvhodnější z pohledu emisní bilance nebo dlouhodobé udržitelnosti. Studie proto bude tyto roviny důsledně rozlišovat a bude syntetická paliva hodnotit jako komplexní průmyslové a hodnotově-řetězcové téma.

Výsledky studie budou využitelné pro další odbornou činnost ČTP Bio, zejména pro aktualizaci strategických dokumentů, přípravu podkladů pro veřejnou správu, identifikaci výzkumných a inovačních témat, diskusi s podniky a orientaci v budoucím vývoji palivového a chemického sektoru. Studie zároveň vytváří základ pro budoucí sledování syntetických paliv v rámci technologického foresightu a Road Map, zejména ve vztahu k horizontům 2030, 2040 a 2050.

## 2. Vymezení syntetických paliv

Kapitola vymezuje základní pojmy používané ve studii a odlišuje syntetická paliva od biopaliv, biosložek, fosilních paliv, vodíku a dalších nízkoemisních energetických nebo surovinových nosičů. Jejím účelem je vytvořit terminologický rámec pro další hodnocení.

Vymezení syntetických paliv je důležité z několika důvodů. Zaprvé nejde o jednu homogenní kategorii, ale o skupinu produktů s rozdílným chemickým složením, výrobní cestou, sektorovým uplatněním a regulatorním postavením. Zadruhé označení „syntetické“ samo o sobě neznamená, že dané palivo je obnovitelné, nízkoemisní nebo regulatorně uznatelné. Zatřetí syntetická paliva mohou být v některých případech blízka existujícím kapalným nebo plyným palivům z hlediska použití a infrastruktury, ale zásadně se liší způsobem vzniku, požadavky na vstupy, emisní bilancí a certifikací.

Pro účely této studie jsou syntetická paliva chápána jako paliva nebo palivové meziprodukty vyráběné řízenou chemickou syntézou z vodíku a vhodného uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu. Pokud je vodík vyráběn elektrolýzou vody za použití obnovitelné nebo nízkoemisní elektřiny, používá se často označení e-paliva. V širším pojetí se syntetická paliva řadí mezi

produkty technologií Power-to-X, tedy procesů, při nichž je elektřina přeměňována na vodík a následně na další energetické nosiče, paliva nebo chemické produkty. Tento přístup odpovídá širším scénářům energetické transformace, které počítají s rostoucí rolí obnovitelné elektřiny, zeleného vodíku, syntetických paliv a bioenergie zejména v sektorech, kde přímá elektrifikace nebude dostatečná nebo technicky vhodná [7].

## 2.1 Syntetická paliva jako technologická a regulační kategorie

Syntetická paliva lze obecně vymezit jako produkty, které nevznikají přímým vytěžením fosilní suroviny ani prostým zpracováním biologické suroviny, ale cílenou chemickou přeměnou vstupních látek na požadovaný palivový nebo chemický produkt. Z technologického hlediska je jejich společným znakem využití syntézy, tedy řízeného procesu, v němž se z vodíku, uhlíku nebo dusíku vytváří nová molekulární struktura výsledného paliva.

Základním vstupem většiny e-paliv je vodík. Ten může být vyroben různými způsoby, ale pro environmentální a regulační hodnocení je rozhodující zejména jeho původ a emisní intenzita. Pokud je vodík vyráběn elektrolýzou vody s využitím obnovitelné elektřiny a celý výrobní řetězec splňuje příslušná pravidla, může být výsledné palivo posuzováno jako obnovitelné palivo nebiologického původu, tedy RFNBO. Evropská komise u obnovitelného vodíku a RFNBO zdůrazňuje požadavek dosažení nejméně 70% úspory emisí skleníkových plynů a vazbu na pravidla přijatá v delegovaných aktech k obnovitelnému vodíku [5].

Uhlíkatý vstup je druhým klíčovým prvkem u syntetických uhlovodíkových paliv. Může mít podobu CO<sub>2</sub>, CO, syntézního plynu nebo jiného uhlíkatého meziprojektu. Uhlík může pocházet z různých zdrojů, například z biogenního CO<sub>2</sub>, z průmyslového zachycování CO<sub>2</sub>, ze vzduchu nebo z jiných procesních cest. Právě původ uhlíku má zásadní význam pro environmentální hodnocení, protože ne každý zachycený uhlík má stejný emisní a regulační status. Z pohledu této studie proto není syntetické palivo hodnoceno pouze podle konečné chemické podoby, ale podle celého řetězce vstupů, výroby a použití. Tento přístup odpovídá logice LCA studie ČTP Bio, podle níž je rozhodující emisní bilance celého hodnotového řetězce, kvalita dat, certifikace a schopnost doložit skutečný emisní přínos [3].

V případě dusíkatých syntetických produktů je nejvýznamnějším příkladem amoniak. Ten neobsahuje uhlík a jeho výroba je založena na kombinaci vodíku a dusíku. E-amoniak proto patří mezi syntetické energetické nebo chemické nosiče, ale jeho role a rizika se liší od syntetických uhlovodíkových paliv. V námořní dopravě a průmyslu může být vnímán jako potenciální nízkoemisní palivo nebo surovina, zároveň však vyžaduje zvláštní pozornost z hlediska toxicity, skladování, bezpečnosti a provozní manipulace.

Syntetická paliva tedy nejsou jen technologickým produktem. V evropském kontextu jsou zároveň regulační kategorií, jejíž význam závisí na tom, zda palivo splňuje požadavky na původ vstupů, emisní úsporu, certifikaci a auditovatelnost. Mezinárodní energetická agentura upozorňuje, že e-paliva lze považovat za nízkoemisní pouze tehdy, pokud je vodík vyráběn pomocí nízkoemisní elektřiny a uhlíkaté vstupy jsou získány způsobem, který vede k nízkým

emisím v životním cyklu [6]. Pro další hodnocení je proto rozhodující konkrétní výrobní a dodavatelský řetězec, nikoli samotné označení paliva.

## 2.2 E-paliva, Power-to-X a Power-to-Liquid

Pojem e-paliva se používá pro syntetická paliva vyráběná za využití elektřiny, vodíku a vhodného uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu. V odborné literatuře se s nimi často pracuje jako s podmnožinou širší skupiny syntetických paliv. Ne každé syntetické palivo je však automaticky e-palivem. Označení e-palivo předpokládá významnou roli elektřiny ve výrobním řetězci, obvykle prostřednictvím výroby vodíku elektrolýzou.

Power-to-X je zastřešující pojem pro přeměnu elektřiny na jiné produkty. Písmeno „X“ označuje výsledný produkt nebo skupinu produktů, například vodík, metan, methanol, kapalná uhlovodíková paliva, amoniak nebo chemické meziprodukty. V kontextu této studie je Power-to-X důležitý proto, že ukazuje, že syntetická paliva nejsou samostatnou izolovanou technologií, ale součástí širšího systému propojujícího elektroenergetiku, vodíkové technologie, chemickou syntézu, zachycování a využití uhlíku, palivářství a koncové trhy. Z hlediska energetické transformace jde o nepřímé využití čisté elektřiny, které může být relevantní zejména tam, kde přímé využití elektřiny není technicky, provozně nebo infrastrukturně vhodné [7].

Power-to-Liquid označuje technologickou cestu, při níž je elektřina využita k výrobě vodíku a ten je následně spolu s uhlíkatým vstupem přeměněn na kapalné palivo. Typickým výsledkem mohou být syntetická kapalná uhlovodíková paliva, například e-diesel, syntetický kerosin nebo syntetické frakce využitelné pro výrobu leteckých paliv. Výhodou kapalných syntetických paliv je jejich potenciální kompatibilita s částí existující palivové infrastruktury a s některými současnými aplikacemi, zejména tam, kde je potřeba vysoká energetická hustota.

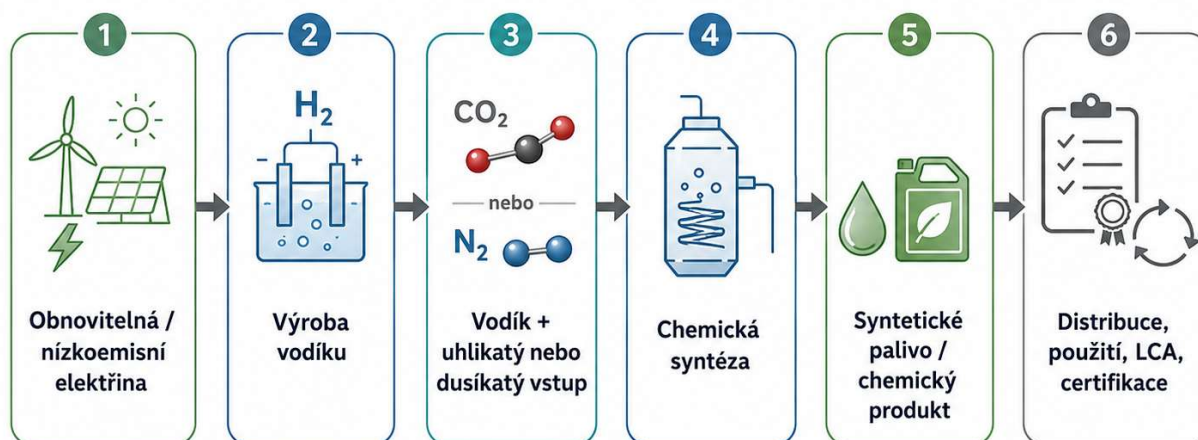
Zároveň je nutné zdůraznit, že nepřímé využití čisté elektřiny prostřednictvím syntetických paliv je obecně energeticky náročnější než přímá elektrifikace. IRENA proto syntetická paliva řadí mezi řešení vhodná zejména pro obtížně dekarbonizovatelné sektory, kde přímé využití elektřiny není technicky nebo provozně vhodné, přičemž upozorňuje na význam technologické připravenosti, účinnosti a dostupnosti čisté elektřiny [9].

Power-to-Gas označuje výrobu plyných syntetických produktů, například vodíku nebo syntetického metanu. Syntetický metan může být atraktivní díky návaznosti na existující plynárenskou infrastrukturu, avšak jeho environmentální přínos závisí na stejných principech jako u ostatních syntetických paliv: původ elektřiny, způsob výroby vodíku, zdroj uhlíku, účinnost přeměny, úniky metanu, certifikace a LCA.

Power-to-Chemicals lze použít jako širší označení pro výrobu chemických meziproduktů z elektřiny, vodíku a uhlíkatých nebo dusíkatých vstupů. V tomto směru je významný zejména e-methanol, který může být chápán jak jako palivo, tak jako chemická surovina. Právě zde se syntetická paliva přibližují agendě zelené chemie, protože některé produkty mohou mít vyšší

hodnotu nikoli při spalování, ale jako vstup pro výrobu chemických látek, materiálů nebo navazujících průmyslových produktů.

Obrázek 1: Základní logika výroby syntetických paliv v režimu Power-to-X



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě principů Power-to-X, LCA přístupu a veřejných podkladů k roli syntetických paliv v energetické transformaci [3], [6], [7], [9].

Obrázek 1 ukazuje základní logiku syntetických paliv. Nejde pouze o výrobu finálního produktu, ale o řetězec kroků, v němž každý vstup a každý proces ovlivňuje výslednou emisní bilanci, regulatorní uznatelnost i praktickou použitelnost. Tento pohled je v souladu s LCA přístupem, podle něhož je nutné hodnotit celý životní cyklus, nikoli pouze poslední fázi použití paliva [3].

### 2.3 Rozdíl mezi syntetickými palivy, biopalivy, biosložkami, fosilními palivy a vodíkem

Pro správné uchopení tématu je nutné odlišit syntetická paliva od dalších palivových a surovinových kategorií, které se v dekarbonizační debatě často objevují společně. Rozdíl mezi nimi nespočívá pouze v chemickém složení výsledného produktu, ale především v původu vstupů, výrobní logice, regulatorním postavení a způsobu hodnocení emisní bilance.

Fosilní paliva vycházejí z fosilní uhlíkové suroviny. Jejich spalováním nebo zpracováním se do aktivního uhlíkového cyklu uvolňuje uhlík, který byl po geologicky dlouhou dobu uložen mimo atmosféru. Z hlediska klimatické politiky je právě tato skutečnost hlavním důvodem postupného odklonu od fosilních paliv a snahy nahrazovat je obnovitelnými, nízkoemisními nebo recyklovanými uhlíkovými vstupy.

Biopaliva vycházejí z biologické suroviny. Může jít o zemědělské plodiny, použité kuchyňské oleje, odpadní tuky, zbytky ze zemědělství, lignocelulóзовou biomasu nebo jiné biologické vstupy. Jejich emisní přínos závisí na způsobu pěstování nebo získání suroviny, zpracování, logistice, využití vedlejších produktů, alokaci emisí, certifikaci a datové kvalitě. LCA studie ČTP Bio zdůrazňuje, že stejný typ paliva může dosahovat odlišných výsledků podle původu suroviny, energetického mixu, výrobní účinnosti, dopravních vzdáleností, alokace vedlejších produktů a schopnosti doložit skutečné hodnoty [3].

Biosložky představují obnovitelné nebo bio-based složky využívané v palivech nebo chemickém průmyslu. V dopravě mohou být používány jako složky kapalných paliv, v chemii jako surovina nebo meziprodukt pro výrobu zelených chemikálií a materiálů. Pro ČTP Bio jsou biosložky důležité proto, že propojují dopravní a chemickou dimenzi bioekonomiky. Jejich význam nespočívá pouze ve snižování emisí při konečném použití, ale také ve vytváření hodnotových řetězců založených na obnovitelném uhlíku [4].

Vodík je energetický nosič a průmyslová surovina, nikoli palivo stejného typu jako uhlovodíková kapalná paliva. Může být využíván přímo, například v palivových článcích, spalovacích procesech nebo průmyslové výrobě, ale může být také meziproduktem pro výrobu syntetických paliv. Pro syntetická paliva je vodík většinou klíčovým vstupem. Jeho emisní profil proto zásadně ovlivňuje emisní bilanci výsledného paliva. Právě proto evropský rámec pro obnovitelný vodík a RFNBO klade důraz na původ elektřiny, emisní úsporu a certifikační pravidla [5].

Syntetická paliva jsou na rozdíl od biopaliv založena na řízené chemické syntéze. Nejsou definována tím, že by pocházela z biologické suroviny, ale tím, že vznikají sestavením výsledné molekuly nebo směsi z jednodušších vstupů, typicky z vodíku a uhlíkatého nebo dusíkatého zdroje. V některých případech však mohou syntetická paliva a bioekonomika sdílet společné prvky. Nejvýznamnějším příkladem je využití biogenního CO<sub>2</sub> jako uhlíkatého vstupu pro výrobu e-paliv. Právě tato vazba je pro ČTP Bio důležitá, protože propojuje biopaliva, biosložky, chemický průmysl, CCU a syntetická paliva [4].

**Tabulka 2: Základní odlišení vybraných palivových a surovinových kategorií**

Kategorie	Hlavní vstup	Výrobní logika	Typické využití	Klíčová podmínka environmentální relevance
Fosilní paliva	Ropa, zemní plyn, uhlí	Těžba a rafinace fosilní suroviny	Doprava, energetika, průmysl, chemie	Postupné snižování využití a náhrada nízkoemisními alternativami
Biopaliva	Biologická surovina, zbytky, odpady	Biologické, chemické nebo rafinérské zpracování biomasy	Kapalná paliva, biosložky, SAF, chemické aplikace	Udržitelnost suroviny, LCA, certifikace, logistika, alokace
Biosložky	Bio-based vstupy a meziprodukty	Začlenění biologické složky do paliv nebo chemických produktů	Paliva, chemie, materiály	Prokazatelný původ, emisní bilance, kompatibilita s hodnotovým řetězcem
Vodík	Voda, elektřina; případně jiné vstupy podle výrobní cesty	Výroba energetického nosiče nebo průmyslové suroviny	Průmysl, energetika, doprava, vstup pro e-paliva	Emisní intenzita výroby a způsob certifikace
Syntetická paliva	Vodík + uhlíkatý nebo dusíkatý vstup	Řízená chemická syntéza	Letecká, námořní a vybraná silniční doprava, chemie, plynárenství	Původ elektřiny, vodíku a uhlíku, LCA, RFNBO/relevantní certifikace

Tabulka 2 ukazuje, že syntetická paliva je nutné chápat jako samostatnou, ale provázanou kategorii. Jejich vztah k biopalivům a biosložkám je doplňkový. Biopaliva vycházejí z biologické suroviny, zatímco syntetická paliva z chemické syntézy. Obě oblasti však sdílejí potřebu prokazování udržitelnosti, emisní bilance, certifikace a datové sledovatelnosti [3], [4].

## 2.4 RFNBO jako zvláštní regulační kategorie

RFNBO, tedy obnovitelná paliva nebiologického původu, nejsou prostým synonymem pro všechna syntetická paliva. Jde o zvláštní regulační kategorii evropské legislativy, která je založena nejen na výsledném typu paliva, ale zejména na způsobu jeho výroby a prokázání původu vstupů. RFNBO může být kapalné nebo plynné palivo, pokud splňuje příslušné požadavky na obnovitelný původ energie a emisní úspory [5].

Toto rozlišení je pro studii zásadní. Syntetické palivo může být technologicky vyrobitelné, použitelné a chemicky srovnatelné s konvenčním palivem, ale nemusí automaticky splňovat požadavky pro uznání jako RFNBO. Aby bylo možné o takovém statutu uvažovat, musí být doložen zejména obnovitelný původ elektřiny, způsob výroby vodíku, časová a geografická vazba na obnovitelné zdroje, původ uhlíkatého vstupu, emisní bilance a certifikační řetězec. Evropská komise v souvislosti s obnovitelným vodíkem výslovně uvádí, že pravidla mají zajistit výrobu z obnovitelných zdrojů a dosažení alespoň 70% úspor emisí skleníkových plynů [5].

RFNBO je proto kategorií, která propojuje technologii, energetiku, certifikaci a právo. Z pohledu trhu je důležité, že regulační status může mít zásadní dopad na ekonomickou hodnotu paliva. Palivo, které splní požadavky RFNBO, může být využitelné pro plnění cílů obnovitelné energie nebo sektorových mandátů. Palivo, které tyto požadavky nesplní, může být stále technicky použitelné, avšak jeho role v dekarbonizační politice a regulovaném trhu bude podstatně odlišná.

Rozlišení mezi syntetickým palivem jako technickým produktem a RFNBO jako regulačně způsobilou kategorií je proto jedním ze základních principů celé studie. V dalších kapitolách bude toto rozlišení důležité zejména při posuzování e-dieselu, e-SAF, e-methanolu a syntetického metanu. U každého z těchto produktů bude nutné sledovat nejen to, zda jej lze vyrobit a použít, ale také zda může splnit požadavky regulačního rámce a zda jeho emisní přínos ob stojí v LCA hodnocení [3], [5].

## 2.5 Hlavní typy syntetických paliv

Syntetická paliva zahrnují více typů produktů s rozdílnou technologickou logikou a sektorovou relevancí. Pro účely této studie jsou nejdůležitější e-diesel, e-SAF, e-methanol, syntetický metan a e-amoniak. Tyto produkty nepředstavují úplný výčet všech možných syntetických paliv, ale pokrývají hlavní skupiny relevantní pro dopravu, chemický průmysl a navazující hodnotové řetězce.

E-diesel je syntetické kapalné palivo určené pro dieselový segment. Z technologického hlediska může být vyráběn například cestou Fischer–Tropschovy syntézy a následné úpravy

uhlovodíkových frakcí. Jeho význam spočívá zejména v možné návaznosti na existující diesellovou infrastrukturu a některé koncové aplikace, zejména v těžší silniční, pracovní nebo speciální dopravě. Jeho praktické využití však závisí na normové shodě, vlastnostech výsledné směsi, původu vstupů, certifikaci a celkové emisní bilanci. Z hlediska IEA lze e-paliva v dopravě chápat jako možný doplňkový nástroj dekarbonizace, nikoli jako univerzální náhradu přímé elektrifikace nebo jiných nízkoemisních řešení [6].

E-SAF označuje syntetické letecké palivo. Letecká doprava patří mezi sektory, kde je přímá elektrifikace dálkových letů velmi obtížná a kde se očekává dlouhodobá potřeba kapalných paliv s vysokou energetickou hustotou. ReFuelEU Aviation vytváří regulační rámec pro postupné zvyšování podílu udržitelných leteckých paliv a zahrnuje také syntetická letecká paliva jako specifickou podkategorii SAF [8]. Právě díky tomuto regulačnímu impulzu patří e-SAF mezi nejdiskutovanější segmenty budoucího využití syntetických paliv.

E-methanol je syntetický methanol vyráběný z vodíku a uhlíkatého vstupu. Je významný tím, že může sloužit jak jako palivo, tak jako chemická surovina. V námořní dopravě je methanol jednou z možných cest snižování emisní intenzity, zatímco v chemickém průmyslu představuje důležitý meziprodukt pro výrobu dalších látek. Právě dvojí role e-methanolu jako paliva i chemické suroviny je důležitá pro ČTP Bio, protože propojuje dopravní a chemickou dimenzi zelené transformace a zároveň ukazuje, že některé syntetické produkty mohou mít vyšší strategickou hodnotu jako chemický vstup než jako finální palivo [4].

Syntetický metan je plynný produkt, který může být vyráběn metanací vodíku a CO<sub>2</sub>. Jeho atraktivita spočívá v možné kompatibilitě s existující plynárenskou infrastrukturou, zásobníky a některými koncovými aplikacemi. Zároveň však vyžaduje zvláštní pozornost z hlediska účinnosti celého řetězce, úniků metanu, původu uhlíku a konkurence s přímým využitím vodíku nebo elektřiny. IEA řadí syntetický metan mezi nízkoemisní paliva pouze tehdy, pokud je celý výrobní řetězec založen na nízkoemisních vstupech a vede k nízkým emisím v životním cyklu [6].

E-amoniak je v této studii chápán jako bezuhlíkový syntetický energetický nosič a současně chemická surovina; v některých sektorech může plnit také funkci paliva. Je založen na vodíku a dusíku a neobsahuje uhlík, čímž se odlišuje od syntetických uhlovodíkových paliv. Jeho potenciál se diskutuje zejména v námořní dopravě a průmyslu, případně jako nosič vodíku. Jeho využití je však spojeno s významnými bezpečnostními, toxikologickými, infrastrukturními a provozními otázkami.

**Tabulka 3: Hlavní typy syntetických paliv a jejich relevance pro studii**

Typ syntetického produktu	Typické využití	Charakter produktu	Hlavní relevance pro ČTP Bio
E-diesel	Silniční, těžká, pracovní a speciální doprava	Syntetické kapalné uhlovodíkové palivo	Vazba na kapalná paliva, blending, normovou shodu a existující diesellový segment
E-SAF	Letecká doprava	Syntetické letecké palivo	Silný regulační impuls, obtížná elektrifikace letectví, potřeba vysoké energetické hustoty
E-methanol	Námořní doprava, chemický průmysl	Palivo i chemická surovina	Propojení dopravy, zelené chemie, CO <sub>2</sub> a obnovitelného uhlíku
Syntetický metan	Plynárenství, průmysl, doprava	Plynné syntetické palivo	Vazba na plynárenskou infrastrukturu, metanaci a otázku účinnosti řetězce
E-amoniak	Námořní doprava, průmysl, nosič vodíku	Bezuhlíkový syntetický energetický nosič / surovina	Referenční případ syntetického produktu bez uhlíku, význam pro specifické sektory

Tabulka 3 ukazuje, že každý typ syntetického paliva má jinou logiku uplatnění. Není proto vhodné formulovat závěry o syntetických palivech obecně bez rozlišení jejich konkrétního typu. Zatímco e-SAF má silný regulační impuls v letectví, e-methanol může být významný pro námořní dopravu i chemii, e-diesel je relevantní pro diskusi o kapalných palivech v existujících segmentech a syntetický metan nebo e-amoniak otevírají odlišné infrastrukturní a bezpečnostní otázky [6], [8].

## 2.6 Vztah syntetických paliv k bioekonomice a obnovitelnému uhlíku

Pro ČTP Bio je podstatná právě návaznost syntetických paliv na bioekonomiku, biosložky a zelenou chemii. Jejich vztah k bioekonomice je nepřímý, ale významný. Nejzřetelnější vazbou je otázka obnovitelného uhlíku. Doprava, chemický průmysl a některé materiálové aplikace budou i v dlouhodobém horizontu potřebovat uhlíkaté molekuly. Otázkou proto není pouze to, jak nahradit fosilní energii, ale také jak nahradit fosilní uhlík [4].

Biomasa představuje jeden z obnovitelných zdrojů uhlíku. V rámci bioekonomiky může být využívána pro paliva, chemikálie, materiály, energii nebo jako zdroj biogenního CO<sub>2</sub>. Syntetická paliva mohou na tuto logiku navázat zejména tehdy, pokud využívají biogenní CO<sub>2</sub> nebo jiné obnovitelné uhlíkaté vstupy. Takové propojení může umožnit, aby se část uhlíku z bio-based procesů nevyužila pouze jednorázově, ale vstoupila do dalšího hodnotového řetězce prostřednictvím CCU a Power-to-X technologií [4].

Toto propojení však není automatické. Využití biogenního CO<sub>2</sub> pro syntetická paliva musí být hodnoceno z hlediska dostupnosti, konkurence s jinými využitími, energetické náročnosti zachycení a úpravy, certifikace, emisní bilance a dlouhodobé udržitelnosti. Biogenní CO<sub>2</sub> může být cenným vstupem, ale jeho využití musí být zasazeno do hierarchie hodnotových cest. V některých případech může dávat větší smysl využít obnovitelný uhlík v chemii nebo

materiálech, v jiných jako palivový vstup pro segmenty, kde nejsou dostupné lepší alternativy. I zde je proto nutné využívat LCA přístup a hodnotit nejen technologickou možnost využití uhlíku, ale i skutečný environmentální přínos dané cesty [3], [4].

Syntetická paliva proto rozšiřují otázku bioekonomiky směrem k řízení uhlíkových toků. Nejde pouze o to, zda je palivo biologické nebo syntetické, ale zda uhlík vstupující do daného produktu pochází z udržitelného, obnovitelného nebo recyklovaného zdroje a zda jeho využití přináší přiměřenou přidanou hodnotu. Tento pohled je v souladu s logikou hodnotových řetězců a s důrazem ČTP Bio na propojení dopravy, chemie, obnovitelných surovin a průmyslové transformace [4].

## **2.7 Pracovní členění syntetických paliv pro účely studie**

Pro další kapitoly studie je vhodné syntetická paliva členit podle několika hledisek: podle vstupů, podle výsledného produktu, podle sektorového uplatnění, podle regulatorního statusu a podle míry datové jistoty. Takové členění umožňuje vyhnout se zjednodušení, že všechna syntetická paliva tvoří jednu skupinu se stejnými vlastnostmi a stejnou rolí v dekarbonizaci.

Podle vstupů lze rozlišovat syntetická paliva založená na obnovitelném vodíku, nízkoemisním vodíku, biogenním CO<sub>2</sub>, průmyslovém CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ze vzduchu nebo dusíku. Toto členění je důležité pro LCA a regulatorní hodnocení. Dvě chemicky podobná paliva mohou mít zcela odlišnou emisní bilanci, pokud se liší původem elektřiny, způsobem výroby vodíku nebo zdrojem uhlíku [3], [5], [6].

Podle výsledného produktu lze rozlišovat kapalná uhlovodíková paliva, plynná syntetická paliva, alkoholy a dusíkaté produkty. Kapalná paliva jsou důležitá zejména pro letectví, těžší dopravu a existující palivovou infrastrukturu. Plynná paliva mohou navazovat na plynárenskou infrastrukturu. Alkoholy, zejména methanol, mají dvojí roli jako palivo i chemická surovina. Dusíkaté produkty, zejména amoniak, otevírají specifickou oblast bezuhlíkových energetických nosičů.

Podle sektorového uplatnění lze syntetická paliva rozdělit na produkty relevantní pro letectví, námořní dopravu, vybrané části silniční dopravy, chemický průmysl, plynárenství a speciální aplikace. Toto členění je důležité pro realistické hodnocení potenciálu. Jiný význam budou mít syntetická paliva v osobní dopravě, kde rychle postupuje elektrifikace, a jiný v dálkovém letectví nebo námořní dopravě, kde jsou technické alternativy omezenější [6], [8], [9].

**Tabulka 4: Pracovní členění syntetických paliv pro další kapitoly studie**

Hledisko členění	Hlavní kategorie	Význam pro další hodnocení
Podle vstupů	obnovitelný vodík, nízkoemisní vodík, biogenní CO <sub>2</sub> , průmyslový CO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> ze vzduchu, dusík	Určuje emisní bilanci, certifikaci, regulační uznatelnost a datové požadavky
Podle produktu	kapalná uhlovodíková paliva, syntetický metan, methanol, amoniak	Určuje technické vlastnosti, infrastrukturu, normy a koncové použití
Podle sektoru	letectví, námořní doprava, silniční doprava, chemie, plynárenství, speciální aplikace	Určuje tržní potenciál, regulační impuls a pravděpodobný časový horizont využití
Podle regulačního statusu	RFNBO, nízkoemisní palivo, recyklované uhlíkové palivo, technicky syntetické palivo bez plné regulační uznatelnosti	Určuje možnost započítání do cílů, ekonomickou hodnotu a certifikační požadavky
Podle datové jistoty	průmyslově zavedené řetězce, demonstrační projekty, pilotní technologie, koncepční scénáře	Určuje míru spolehlivosti závěrů a vhodný způsob hodnocení

Toto pracovní členění bude využito v dalších kapitolách. Umožní rozlišit, kdy je syntetické palivo posuzováno jako technologie, kdy jako regulačně uznatelný produkt, kdy jako emisně relevantní nástroj a kdy jako tržní příležitost. Právě toto rozlišení je nezbytné pro věcnou a obhajitelnou analýzu. Současně odpovídá přístupu, podle něhož se u paliv a palivových řetězců musí rozlišovat nejen technická možnost výroby, ale také emisní bilance, datová jistota, certifikace, regulační rámec a konkrétní sektorové uplatnění [3], [5], [6].

## 2.8 Dílčí závěr kapitoly

Syntetická paliva představují širokou skupinu produktů vznikajících řízenou chemickou syntézou z vodíku a uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu. Jejich význam spočívá v možnosti vytvářet kapalná nebo plynná paliva a chemické meziprodukty pro sektory, kde bude přímá elektrifikace obtížná nebo nedostatečná. Zároveň však platí, že syntetická paliva nelze hodnotit pouze podle finálního produktu nebo podle označení „e-palivo“.

Pro jejich environmentální a regulační relevanci je rozhodující původ elektřiny, způsob výroby vodíku, původ uhlíku nebo dusíku, technologická účinnost, emisní bilance v životním cyklu, certifikace a digitální sledovatelnost. RFNBO je v tomto kontextu zvláštní regulační kategorie, nikoli obecné synonymum pro všechna syntetická paliva. Syntetické palivo může být technicky vyrobitelné, ale jeho role v dekarbonizační politice závisí na tom, zda splní požadavky příslušného regulačního rámce a zda prokáže reálný emisní přínos [3], [5], [6].

Pro ČTP Bio je důležité zejména propojení syntetických paliv s bioekonomikou, biogenním CO<sub>2</sub>, biosložkami, zelenou chemií a hodnotovými řetězci. Syntetická paliva nejsou náhradou biopaliv a biosložek, ale související oblastí, která může v některých segmentech doplňovat širší portfolio dekarbonizačních řešení. Další kapitola proto naváže podrobnějším popisem technologických

řetězců výroby syntetických paliv a vysvětlí, jak jednotlivé vstupy a procesy ovlivňují výslednou použitelnost, emisní bilanci a regulatorní uznatelnost.

### 3. Technologické řetězce výroby syntetických paliv

Tato kapitola popisuje hlavní technologické řetězce výroby syntetických paliv a vysvětluje, jak na sebe navazují jednotlivé kroky od vstupní energie přes výrobu vodíku, zajištění uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu, chemickou syntézu až po úpravu finálního produktu. Cílem kapitoly není technické dimenzování konkrétní výrobní jednotky, ale vytvoření přehledového rámce, který umožní pochopit, proč jsou syntetická paliva technologicky náročná, proč je jejich emisní bilance citlivá na původ vstupů a proč jejich praktická využitelnost závisí na celém hodnotovém řetězci.

Výroba syntetických paliv se liší od výroby konvenčních fosilních paliv i od většiny biopaliv. U fosilních paliv je hlavním vstupem vytěžená uhlíková surovina, která je následně rafinována a distribuována. U biopaliv je základním vstupem biologická surovina, jejíž udržitelnost, logistika a způsob zpracování určují výslednou emisní bilanci [3]. U syntetických paliv je základem vytvoření energeticky a materiálově náročného výrobního řetězce, v němž musí být vyroben vodík, zajištěn uhlíkatý nebo dusíkatý vstup a následně provedena chemická syntéza požadovaného paliva nebo meziprojektu.

Z technologického hlediska proto syntetická paliva nejsou jednou technologií, ale kombinací více navazujících procesů. Patří mezi ně výroba elektřiny, elektrolýza vody, úprava vodíku, zachycení nebo získání uhlíku, výroba syntézního plynu, Fischer–Tropschova syntéza, syntéza methanolu, metanace, syntéza amoniaku, následné rafinérské nebo chemické úpravy, skladování, distribuce a certifikace. Každý krok má vlastní energetické, investiční, technické, emisní a datové požadavky.

Význam této kapitoly spočívá také v propojení technologického pohledu s LCA. U syntetických paliv nelze posuzovat pouze samotný koncový produkt. Rozhodující je, jak byl vyroben vodík, odkud pochází elektřina, jaký je původ uhlíku, jak účinné jsou jednotlivé konverzní kroky, jaké jsou ztráty v řetězci a zda lze vše doložit certifikovanými a auditovatelnými daty. Tento přístup odpovídá principu LCA studie ČTP Bio, podle níž je nezbytné hodnotit celý hodnotový řetězec, nikoli pouze finální palivo [3].

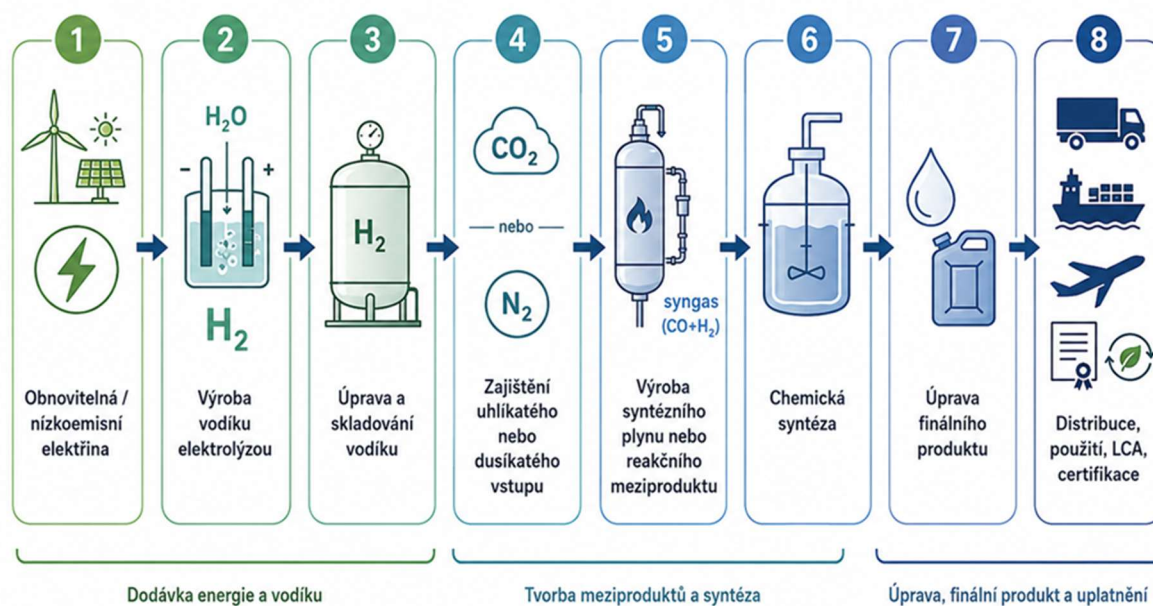
#### 3.1 Obecná logika technologického řetězce Power-to-X

Technologický řetězec syntetických paliv lze zjednodušeně popsat jako přeměnu elektřiny na molekuly. Základní logika vychází z toho, že elektřina je nejprve využita k výrobě vodíku, následně je vodík kombinován s uhlíkatým nebo dusíkatým vstupem a chemickou syntézou vzniká palivo, meziprojekt nebo chemická surovina. V evropském kontextu je pro regulatorní hodnotu takového paliva zásadní, zda elektřina a vodík splňují požadavky na obnovitelný nebo nízkoemisní původ, zda jsou splněny podmínky pro RFNBO a zda je dosaženo požadované emisní úspory [5].

Power-to-X je proto vhodné chápat jako systémovou technologickou platformu, nikoli jako jednu výrobní technologii. Umožňuje vyrábět různé produkty podle toho, jaký vstupní uhlík nebo dusík je k dispozici, jaká syntézní cesta je zvolena a jaký koncový trh má být obslužen. Z elektřiny a vody může vzniknout vodík. Z vodíku a  $\text{CO}_2$  může vzniknout syntetický metan, methanol nebo kapalné uhlovodíky. Z vodíku a dusíku může vzniknout amoniak. Z methanolu mohou dále vznikat další chemikálie nebo syntetická paliva. Právě tato variabilita je výhodou i rizikem celého konceptu.

Výhodou je, že syntetická paliva mohou navázat na sektory, kde bude i nadále potřeba kapalné nebo plynné palivo s vysokou energetickou hustotou. Rizikem je, že každý další konverzní krok znamená ztráty, vyšší energetickou náročnost, vyšší investiční nároky a náročnější certifikaci. IRENA proto upozorňuje, že nepřímé využití čisté elektřiny prostřednictvím syntetických paliv je technologicky relevantní zejména pro obtížně dekarbonizovatelné sektory, ale zůstává energeticky náročné a řada cest je stále ve fázi výzkumu, pilotního nebo demonstračního rozvoje [9].

Obrázek 2: Obecný technologický řetězec výroby syntetických paliv



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě principů Power-to-X, LCA přístupu a veřejných podkladů k e-palivům [3], [6], [9], [10].

Obrázek 2 ukazuje, že výroba syntetického paliva nezačíná samotnou chemickou syntézou, ale již výrobou a certifikací vstupní energie. Každý krok musí být posuzován z hlediska energetické účinnosti, emisní bilance, datové sledovatelnosti a regulační uznatelnosti. Právě proto nelze syntetická paliva hodnotit pouze podle finálního produktu.

### 3.2 Výroba vodíku jako základní technologický uzel

Vodík je hlavním vstupem většiny syntetických paliv. Uhlovodíková syntetická paliva, methanol, syntetický metan i amoniak vyžadují vodík jako reaktivní složku, která umožňuje přeměnu

uhlíku nebo dusíku na požadovaný produkt. Z hlediska výsledné emisní bilance je proto výroba vodíku jedním z nejdůležitějších technologických a environmentálních uzlů celého řetězce.

Význam vodíku jako systémového vstupu pro navazující syntetická paliva dokládají také přehledy IEA k vývoji globálního vodíkového trhu [12].

Pro potřeby výroby e-paliv je nejvýznamnější elektrolýza vody. Při elektrolýze je voda štěpena na vodík a kyslík za použití elektrické energie. Pokud je elektřina obnovitelná a splňuje požadavky evropského rámce, může být vodík použit pro výrobu RFNBO nebo navazujících obnovitelných paliv nebiologického původu. Evropská komise u obnovitelného vodíku zdůrazňuje, že rozhodující není pouze samotná elektrolýza, ale také podmínky, za nichž lze elektřinu považovat za obnovitelnou pro účely RFNBO, včetně pravidel definovaných delegovanými akty [5].

Z technologického hlediska se nejčastěji rozlišují tři hlavní typy elektrolýzy: alkalická elektrolýza, PEM elektrolýza a vysokoteplotní elektrolýza typu SOEC. Alkalická elektrolýza je technologicky vyspělejší a dlouhodobě používaná. PEM elektrolýza nabízí vyšší provozní flexibilitu a rychlejší reakci na změny zatížení, což může být významné při napojení na proměnlivé obnovitelné zdroje. SOEC elektrolýza pracuje při vysokých teplotách a může dosahovat vyšší účinnosti tam, kde je k dispozici vhodná vysokoteplotní teplo, ale její průmyslové rozšíření je stále méně pokročilé než u etablovanějších technologií.

Pro syntetická paliva je důležité nejen to, že vodík lze vyrobit, ale také za jakých provozních podmínek. Výroba vodíku napojená na proměnlivé obnovitelné zdroje může být z pohledu emisí atraktivní, ale může vést k nižšímu využití kapacity zařízení, vyšším jednotkovým nákladům a složitějšímu řízení provozu. Naopak vysoké využití elektrolyzéry může zlepšit ekonomiku, ale pouze tehdy, pokud je k dispozici dostatečné množství způsobitelné nízkoemisní nebo obnovitelné elektřiny. Právě zde vzniká jeden z hlavních kompromisů mezi technickou optimalizací, emisní bilancí a regulatorní udržitelností.

Vodík je zároveň obtížně skladovatelný a logisticky náročný vstup. U syntetických paliv může být výhodné, pokud je vodík vyráběn v blízkosti syntézní jednotky, protože se tím snižuje potřeba jeho přepravy a skladování. Alternativně může být vodík vyráběn jinde a dopraven do místa syntézy, což však přináší další náklady, energetické ztráty a certifikační požadavky. Volba mezi integrovanou výrobou vodíku a externím zajištěním vodíku proto patří mezi klíčové systémové otázky každého syntetického palivového řetězce.

**Tabulka 5: Přehled hlavních typů elektrolýzy relevantních pro syntetická paliva**

Typ elektrolýzy	Hlavní charakteristika	Potenciální přínos pro syntetická paliva	Hlavní omezení
Alkalická elektrolýza	Zavedená technologie s dlouhou provozní historií	Vhodná pro stabilnější provoz a větší výrobní kapacity	Nižší flexibilita oproti PEM při rychlých změnách zatížení
PEM elektrolýza	Flexibilnější technologie s rychlou odezvou	Vhodná pro propojení s proměnlivými obnovitelnými zdroji	Vyšší nároky na materiály a investiční náklady
SOEC elektrolýza	Vysokoteplotní elektrolýza s potenciálně vyšší účinností	Zajímavá při dostupnosti vysokoteplotního tepla a průmyslové integraci	Nižší míra komerční zralosti a vyšší technologická komplexita

Tabulka 5 ukazuje, že volba typu elektrolýzy není pouze technickou otázkou. Ovlivňuje provozní režim, integraci s obnovitelnou elektrinou, náklady, účinnost, flexibilitu, požadavky na teplo i celkovou emisní bilanci. V dalších kapitolách se proto bude výroba vodíku objevovat nejen jako technický vstup, ale také jako rozhodující faktor LCA, certifikace a ekonomické proveditelnosti.

### 3.3 Uhlíkatý vstup a jeho význam pro syntetická uhlovodíková paliva

U syntetických uhlovodíkových paliv je vedle vodíku nezbytný uhlíkatý vstup. Ten může mít podobu CO<sub>2</sub>, CO, syntézního plynu nebo jiného uhlíkatého meziprojektu. Z technologického hlediska je uhlík stavebním prvkem výsledné molekuly. Z hlediska LCA a regulace je však jeho původ jedním z nejcitlivějších bodů celého řetězce.

Uhlíkatý vstup může pocházet z biogenních zdrojů, z průmyslových procesů, z přímého zachytávání CO<sub>2</sub> ze vzduchu nebo z jiných procesních cest. Každá možnost má jiný emisní, regulatorní a praktický význam. Biogenní CO<sub>2</sub> může vytvářet vazbu mezi bioekonomikou a syntetickými palivy, protože umožňuje využít uhlík pocházející z biologického cyklu jako vstup pro další chemickou syntézu [4]. Průmyslový CO<sub>2</sub> může být dostupný ve větších objemech, ale jeho regulatorní a klimatická hodnota závisí na původu emisí, metodice započítání a dlouhodobém výkladu pravidel. CO<sub>2</sub> ze vzduchu může být z hlediska uhlíkového cyklu atraktivní, ale je energeticky a nákladově náročný.

Z pohledu syntetických paliv proto nelze napsat, že jakýkoliv CO<sub>2</sub> je automaticky vhodný nebo udržitelný vstup. Rozhodující je, zda jeho využití vede ke skutečnému snížení emisí v životním cyklu, zda je jeho původ prokazatelný, zda je certifikovatelný a zda nevzniká pouze formální recyklace uhlíku bez reálného klimatického přínosu. IEA upozorňuje, že e-paliva jsou nízkoemisní pouze tehdy, pokud je nízkoemisní nejen použitý vodík, ale také uhlíkatý vstup a celý životní cyklus paliva [6].

Pro výrobu uhlovodíkových e-paliv je často nutné převést CO<sub>2</sub> na CO nebo vytvořit syntézní plyn. Jednou z cest je reverzní reakce vodního plynu, při níž CO<sub>2</sub> reaguje s vodíkem za vzniku CO a vody. Následně může být směs CO a vodíku použita pro Fischer–Tropschovu syntézu. Jinou možností je přímá syntéza methanolu z CO<sub>2</sub> a vodíku nebo metanace CO<sub>2</sub> na syntetický metan.

Výběr cesty závisí na požadovaném produktu, dostupných vstupech, katalyzátorech, teplotách, tlacích, integraci tepla a požadované čistotě produktu.

**Tabulka 6: Možné zdroje uhlíku pro syntetická paliva a jejich význam**

Zdroj uhlíku	Technologický význam	Environmentální a regulační citlivost	Vazba na ČTP Bio
Biogenní CO <sub>2</sub>	Uhlíkatý vstup pro e-paliva a chemické produkty	Potřeba doložit biogenní původ, dostupnost a správné LCA započítání	Přímá vazba na bioekonomiku, biopaliva, biosložky a hodnotové řetězce
Průmyslový CO <sub>2</sub>	Potenciálně dostupný koncentrovaný zdroj uhlíku	Závisí na původu emisí, metodice započítání a regulačním výkladu	Vazba na chemický průmysl a CCU
CO <sub>2</sub> ze vzduchu	Uhlík získaný přímo z atmosféry	Vysoká energetická a nákladová náročnost, ale potenciálně silná klimatická logika	Dlouhodobá možnost pro uzavřenější uhlíkový cyklus
CO / syntézní plyn	Přímý reakční vstup pro syntézu uhlovodíků	Záleží na způsobu výroby a vstupních surovinách	Vazba na chemické procesy a průmyslovou integraci

Tabulka 6 ukazuje, že uhlíkatý vstup je nejen technickou surovinou, ale i rozhodujícím faktorem environmentální důvěryhodnosti syntetických paliv. Pro ČTP Bio je zvláště důležitá možnost využití biogenního CO<sub>2</sub>, protože propojuje syntetická paliva s bio-based ekonomikou, hodnotovými řetězci a otázkou efektivního využití obnovitelného uhlíku [4].

### 3.4 Výroba syntézního plynu a reakčních meziproduktů

Syntézní plyn je směs vodíku a oxidu uhelnatého, případně dalších složek, která slouží jako základní meziprodukt pro výrobu syntetických uhlovodíků nebo methanolu. V tradiční chemii může vznikat ze zemního plynu, uhlí nebo biomasy. V kontextu e-paliv se syntézní plyn získává tak, aby jeho vstupy byly slučitelné s nízkoemisním nebo obnovitelným výrobním řetězcem.

Jednou z hlavních cest je kombinace zeleného nebo nízkoemisního vodíku s CO<sub>2</sub>, který je následně převeden na CO. K tomu může sloužit reverzní reakce vodního plynu. Další možností je vysokoteplotní co-elektrolýza, při níž jsou voda a CO<sub>2</sub> společně přeměňovány na směs vodíku a oxidu uhelnatého. Tyto cesty mohou být technologicky atraktivní, ale zároveň vyžadují vyšší míru integrace procesů, stabilní provozní režim, vhodné materiály, katalyzátory a řízení energetických toků.

Agora Verkehrswende upozorňuje, že Fischer–Tropschova syntéza vyžaduje syntézní plyn složený hlavně z vodíku a CO a že u e-paliv je tento syntézní plyn obvykle získáván z CO<sub>2</sub> a zeleného vodíku například přes reverzní reakci vodního plynu nebo co-elektrolýzu [10]. To ukazuje, že samotná dostupnost vodíku a CO<sub>2</sub> ještě nestačí. Klíčové je vytvořit vhodný reakční meziprodukt s odpovídajícím poměrem složek, čistotou a stabilitou pro navazující syntézu.

Význam meziproduktů je často podceňován. V praxi však právě jejich kvalita, dostupnost a stabilita mohou rozhodovat o účinnosti, spolehlivosti a ekonomice celého procesu. Nevhodné

složení syntézního plynu může snížit výtěžnost, zatížit katalyzátory, zvýšit potřebu čištění a zvýšit energetické nároky. Proto je nutné chápat výrobu syntézního plynu nebo jiného reakčního meziprojektu jako samostatný technologický uzel, nikoli jen jako pomocný krok mezi vodíkem a finálním palivem.

Pro přehlednost jsou níže uvedeny zjednodušené reakční principy hlavních technologických cest, které se při výrobě syntetických paliv uplatňují. Nejde o detailní popis průmyslových procesů, ale o základní chemickou logiku jednotlivých přeměn. Skutečné výrobní řetězce jsou technologicky složitější a zahrnují katalyzátory, řízení teploty a tlaku, čištění vstupních plynů, recyklaci nevyužitých složek, úpravu produktových směsí a návazné certifikační a LCA požadavky.

**Tabulka 7: Zjednodušené reakční principy vybraných technologických cest syntetických paliv**

Technologická cesta	Zjednodušená reakční rovnice	Význam pro syntetická paliva
Elektrolýza vody	$2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$	Výroba vodíku jako základního vstupu pro většinu syntetických paliv.
Reverzní reakce vodního plynu	$\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	Přeměna $\text{CO}_2$ na CO pro výrobu syntézního plynu využitelného ve Fischer–Tropschově syntéze.
Fischer–Tropschova syntéza	$n \text{CO} + (2n + 1) \text{H}_2 \rightarrow \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n \text{H}_2\text{O}$	Výroba syntetických uhlovodíků, například frakcí využitelných pro e-diesel nebo syntetický kerosin.
Syntéza methanolu	$\text{CO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	Výroba e-methanolu jako paliva, chemické suroviny nebo meziprojektu.
Metanace $\text{CO}_2$	$\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$	Výroba syntetického metanu využitelného v plynárenských a průmyslových aplikacích.
Syntéza amoniaku	$\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$	Výroba e-amoniaku jako dusíkatého syntetického produktu, energetického nosiče nebo průmyslové suroviny.

*Poznámka: Uvedené rovnice jsou zjednodušeným stechiometrickým vyjádřením hlavních reakčních principů. Skutečné průmyslové procesy zahrnují katalyzátory, specifické teplotní a tlakové podmínky, úpravu vstupních plynů, vedlejší reakce, recyklaci nevyužitých plynů a následnou úpravu produktů.*

### 3.5 Fischer–Tropschova syntéza a syntetická kapalná uhlovodíková paliva

Fischer–Tropschova syntéza je jednou z hlavních technologických cest pro výrobu syntetických kapalných uhlovodíkových paliv. Je založena na katalytické přeměně syntézního plynu na směs uhlovodíků. Výsledkem není obvykle jeden jediný produkt, ale směs frakcí, které je nutné dále zpracovat, upravit, rozdělit a případně rafinovat nebo izomerizovat podle požadovaného koncového paliva.

V kontextu syntetických paliv může Fischer–Tropschova cesta vést k produkci syntetického kerosinu, e-dieselu nebo dalších uhlovodíkových frakcí. Její výhodou je možnost vyrábět kapalná paliva s vysokou energetickou hustotou, která mohou být relevantní zejména pro letectví, těžší dopravu nebo specifické aplikace. Nevýhodou je technologická složitost, potřeba kvalitního syntézního plynu, víceúrovňový proces a nutnost následné úpravy produktové směsi.

IEA uvádí, že e-paliva mohou v dopravě představovat doplňkové řešení zejména tam, kde je obtížné využít přímou elektrifikaci, a že jejich význam se často vztahuje k existující infrastruktuře a segmentům vyžadujícím kapalná paliva [6]. Právě Fischer–Tropschova syntéza je v tomto směru důležitá, protože umožňuje vyrábět syntetická uhlovodíková paliva blízká konvenčním kapalným palivům.

Z hlediska této studie je důležité, že Fischer–Tropschova cesta musí být hodnocena nejen podle schopnosti vyrobit kapalné palivo, ale také podle vstupů a výtěžnosti celého řetězce. Rozhodující je emisní intenzita elektřiny, způsob výroby vodíku, původ uhlíku, účinnost převodu CO<sub>2</sub> na CO nebo syntézní plyn, účinnost samotné syntézy, využití vedlejších produktů, potřeba finálních úprav a možnost certifikace. Bez tohoto celkového pohledu by bylo hodnocení e-dieselu nebo e-SAF neúplné.

**Tabulka 8: Hlavní technologické cesty a typické produkty syntetických paliv**

Technologická cesta	Hlavní vstupy	Typické produkty	Hlavní technologická citlivost
Fischer–Tropschova syntéza	Vodík + CO / syntézní plyn	E-diesel, syntetický kerosin, další uhlovodíkové frakce	Kvalita syntézního plynu, katalyzátory, výtěžnost, následná úprava frakcí
Syntéza methanolu	Vodík + CO <sub>2</sub> nebo CO	E-methanol	Čistota vstupů, reakční podmínky, využití methanolu jako paliva nebo chemické suroviny
Metanace	Vodík + CO <sub>2</sub> nebo CO	Syntetický metan	Účinnost přeměny, původ uhlíku, úniky metanu, vazba na plynárenskou infrastrukturu
Syntéza amoniaku	Vodík + dusík	E-amoniak	Bezpečnost, toxicita, skladování, využití v námořní dopravě nebo průmyslu
Methanol-to-X	Methanol jako meziprodukt	Syntetický benzín, kerosin, chemické produkty	Dodatečné konverzní kroky, ztráty, produktová specifikace

Tabulka 8 ukazuje, že syntetická paliva lze vyrábět několika technologickými cestami, které se liší vstupy, produkty i kritickými místy. Stejně označení „syntetické palivo“ proto může zahrnovat velmi rozdílné procesní konfigurace. To je důležité pro technické hodnocení, LCA i regulatorní posuzování.

### 3.6 Syntéza methanolu a navazující využití v dopravě a chemii

Methanol je jedním z nejvýznamnějších meziproduktů v oblasti syntetických paliv a zelené chemie. Může být vyráběn z vodíku a CO<sub>2</sub> nebo z vodíku a CO. Jeho význam spočívá v tom, že může sloužit jako palivo, jako energetický nosič, jako chemická surovina i jako meziprodukt pro další konverzní cesty. Právě tato vícenásobná role je důležitá pro ČTP Bio, protože propojuje oblast paliv, chemického průmyslu a obnovitelného uhlíku.

E-methanol může být relevantní pro námořní dopravu, kde se zvažuje jako jedno z možných alternativních paliv. Současně je methanol základní chemickou surovinou, z níž lze vyrábět další produkty, včetně formaldehydu, olefinů, palivových komponent nebo syntetických uhlovodíků.

Concawe ve svých techno-environmentálních a ekonomických analýzách e-paliv řadí e-methanol mezi hlavní sledované cesty vedle e-methanu, e-amoniaku a Fischer–Tropschových uhlovodíkových paliv [36].

Z hlediska hodnotových řetězců může být methanol významný právě proto, že není omezen pouze na finální spalování. Pokud je využit jako chemická surovina, může v některých případech přinášet vyšší materiálovou hodnotu než při přímém energetickém využití. To otevírá otázku hierarchie využití obnovitelného nebo recyklovaného uhlíku. Pro ČTP Bio je tato otázka důležitá, protože navazuje na téma bio-based chemie, obnovitelného uhlíku a rozhodování o tom, kde má uhlíkatý vstup nejvyšší přidanou hodnotu [4].

Technologicky je syntéza methanolu citlivá na čistotu vstupních plynů, reakční podmínky, katalyzátor, dostupnost vodíku a původ uhlíku. Stejně jako u ostatních syntetických paliv platí, že e-methanol nelze automaticky hodnotit jako nízkoemisní pouze podle názvu. Rozhodující je, jak byl vyroben vodík, odkud pochází uhlík, jaká energie byla použita, jaké jsou emise celého řetězce a zda lze vše doložit certifikovanými daty.

### 3.7 Metanace a výroba syntetického metanu

Metanace je proces, při němž vodík reaguje s  $\text{CO}_2$  nebo  $\text{CO}$  za vzniku metanu. Výsledkem může být syntetický metan, který je chemicky blízký zemnímu plynu a může být využit v některých stávajících plynárenských aplikacích. Tato kompatibilita s infrastrukturou je jednou z hlavních výhod syntetického metanu, protože umožňuje uvažovat o využití existujících plynovodů, zásobníků, spalovacích zařízení nebo průmyslových aplikací.

Technologická atraktivita syntetického metanu však neznamena automatickou environmentální výhodnost. Celý řetězec zahrnuje výrobu elektřiny, výrobu vodíku, získání uhlíku, metanaci, případnou úpravu plynu, kompresi, dopravu, skladování a konečné využití. Každý z těchto kroků přináší energetické ztráty a emisní nároky. Zvláštní pozornost vyžadují také úniky metanu, protože metan má vysoký skleníkový potenciál. IEA proto zdůrazňuje, že syntetický metan může být nízkoemisním palivem pouze v případě, že vodík i uhlíkaté vstupy vedou k nízkým emisím v celém životním cyklu [6].

Z hlediska energetického systému může syntetický metan hrát roli v sezónním ukládání energie nebo v aplikacích, kde je plynné palivo obtížně nahraditelné. Zároveň však musí být porovnáván s alternativami, zejména přímým využitím elektřiny, přímým využitím vodíku, biometanem nebo jinými nízkoemisními plyny. Pro tuto studii je syntetický metan důležitý zejména jako příklad syntetického paliva, u něhož může být infrastruktura výhodou, ale celková účinnost a emisní bilance zůstávají klíčovými omezeními.

### 3.8 Syntéza amoniaku a dusíkaté syntetické produkty

E-amoniak se od uhlovodíkových syntetických paliv liší tím, že neobsahuje uhlík. Vyrábí se z vodíku a dusíku, typicky prostřednictvím Haber–Boschovy syntézy nebo jejích navazujících nízkoemisních variant. Pokud je vodík vyráběn s nízkou emisní intenzitou, může být amoniak

považován za potenciální nízkoemisní chemickou surovinu, energetický nosič nebo palivo pro vybrané aplikace.

Nejčastěji se o e-amoniaku diskutuje v souvislosti s námořní dopravou, průmyslem a skladováním nebo přepravou vodíku. Jeho výhodou je vysoký obsah vodíku v molekule a skutečnost, že neobsahuje uhlík. To však neznamená, že je bezproblémový. Amoniak je toxický, vyžaduje specifickou infrastrukturu, bezpečnostní opatření, zvláštní manipulační režimy a technologicky zvládnuté koncové využití. V případě spalování nebo využití v motorech je nutné řešit také emise oxidů dusíku a další provozní parametry.

Z pohledu této studie je e-amoniak zařazen především jako referenční syntetický produkt, který ukazuje šíři Power-to-X technologií. Zatímco e-diesel, e-SAF, e-methanol a syntetický metan pracují s uhlíkem, amoniak představuje dusíkatou větev syntetických energetických nosičů. Jeho role v ČTP Bio je spíše okrajová, ale metodicky užitečná: ukazuje, že u syntetických produktů je vždy nutné hodnotit nejen emisní bilanci, ale i bezpečnost, toxicitu, infrastrukturu, koncové použití a regulatorní uznatelnost.

### **3.9 Finální úprava produktu, blending a kompatibilita s infrastrukturou**

Chemická syntéza obvykle není posledním krokem výroby syntetického paliva. Výsledný produkt nebo produktová směs musí být často dále upravena, rozdělena, rafinována, izomerizována, odsířena, stabilizována nebo smíchána s jinými složkami tak, aby splňovala požadavky příslušných norem, distribuční infrastruktury a koncového použití. Tento krok je zvláště důležitý u syntetických kapalných uhlovodíkových paliv.

U e-dieselu nebo syntetických dieselových frakcí může být významná například hustota, mazivost, cetanové číslo, nízkoteplotní vlastnosti, stabilita a kompatibilita s existujícími palivovými směsmi. U e-SAF je klíčová shoda s požadavky na letecké palivo, včetně přísných bezpečnostních a provozních parametrů. U e-methanolu záleží na tom, zda má být použit jako palivo, lodní palivo, chemická surovina nebo meziprodukt pro další syntézu. U syntetického metanu je důležitá kvalita plynu a kompatibilita s plynárenskou infrastrukturou.

Blending, tedy mísení syntetického paliva s jinými palivovými složkami, může být praktickou cestou postupného zavádění syntetických paliv do existující infrastruktury. Současně však může vytvořit technické a certifikační otázky. Nestačí, aby syntetická složka měla sama o sobě vhodné vlastnosti. Rozhodující je vlastnost výsledné směsi. To odpovídá širšímu metodickému principu celé studie: hodnotit se musí celý produktový a hodnotový řetězec, nikoli pouze jedna izolovaná složka.

Kompatibilita s existující infrastrukturou je často uváděna jako výhoda syntetických kapalných paliv. Tato výhoda je reálná zejména v sektorech, kde již existují skladovací, distribuční a koncové systémy pro kapalná paliva. Zároveň však nelze automaticky předpokládat, že každé syntetické palivo bude bez úprav použitelné ve všech existujících systémech. Praktická použitelnost závisí na normách, kvalitě produktu, mísicích limitech, bezpečnostních požadavcích a certifikaci.

### 3.10 Energetická náročnost, účinnost a systémové ztráty

Jedním z hlavních omezení syntetických paliv je energetická náročnost jejich výroby. Výroba syntetického paliva obvykle zahrnuje více konverzních kroků: výrobu elektřiny, elektrolýzu, případnou kompresi nebo skladování vodíku, získání uhlíku, syntézu, úpravu produktu a distribuci. Každý krok má vlastní ztráty. Výsledná účinnost celého řetězce je proto nižší než u přímého využití elektřiny tam, kde je přímá elektrifikace technicky možná.

To neznamena, že syntetická paliva nedávají smysl. Znamená to, že jejich vhodnost musí být posuzována selektivně. V osobní silniční dopravě, kde je elektrifikace rychlejší a účinnější, bude role syntetických paliv pravděpodobně omezenější. Naopak v letectví, námořní dopravě, některých průmyslových aplikacích a v chemii může mít molekulární energetický nebo uhlíkatý nosič dlouhodobý význam. IEA i IRENA v této souvislosti pracují se syntetickými palivy jako s doplňkovým nástrojem pro obtížně dekarbonizovatelné sektory, nikoli jako s plošnou náhradou přímé elektrifikace [6], [9].

Energetická náročnost zároveň znamená, že rozvoj syntetických paliv bude silně záviset na dostupnosti velkého množství nízkoemisní nebo obnovitelné elektřiny. Pokud je elektřina nedostatečná, drahá nebo emisně zatížená, bude obtížné doložit environmentální přínos i ekonomickou proveditelnost syntetických paliv. Proto musí být každá úvaha o syntetických palivech propojena s vývojem elektroenergetiky, vodíkové infrastruktury, průmyslové poptávky a pravidel pro certifikaci elektřiny a vodíku.

**Tabulka 9: Hlavní faktory ovlivňující účinnost a emisní bilanci syntetických paliv**

Faktor	Dopad na technologický řetězec	Dopad na LCA a certifikaci
Emisní intenzita elektřiny	Určuje kvalitu vstupu pro výrobu vodíku	Zásadní vliv na výslednou uhlíkovou stopu
Účinnost elektrolýzy	Ovlivňuje spotřebu elektřiny na jednotku vodíku	Ovlivňuje emisní intenzitu a ekonomiku paliva
Původ uhlíku	Určuje klimatickou logiku uhlovodíkového paliva	Klíčové pro certifikaci a regulační uznatelnost
Kvalita syntézního plynu	Ovlivňuje výtěžnost a stabilitu syntézy	Nepřímo ovlivňuje spotřebu energie a data pro LCA
Účinnost syntézy	Určuje množství produktu a vedlejších frakcí	Ovlivňuje emisní alokaci a náklady
Finální úprava produktu	Zajišťuje normovou shodu a použitelnost	Přidává energetické a datové požadavky
Logistika a skladování	Ovlivňuje náklady a provozní proveditelnost	Přidává další emisní položky do životního cyklu

Tabulka 9 shrnuje, že účinnost a emisní bilance syntetických paliv nevzniká v jednom kroku. Jde o kumulativní výsledek celého řetězce. Právě proto je v dalších kapitolách nutné spojovat technologický popis s LCA, regulačním rámcem, certifikací a hodnotovými řetězci.

### 3.11 Integrace výroby syntetických paliv do hodnotových řetězců

Výroba syntetických paliv vyžaduje propojení více sektorů. Nestačí postavit samotnou syntézní jednotku. Je nutné zajistit elektřinu, vodu, výrobu vodíku, zdroj uhlíku nebo dusíku, technologii syntézy, čištění a úpravu produktu, skladování, distribuci, odběratele, certifikaci a datovou infrastrukturu. Syntetická paliva jsou proto typickým příkladem technologie, která závisí na fungování celého hodnotového řetězce.

Tato skutečnost navazuje na Analýzu hodnotových řetězců ČTP Bio, která zdůrazňuje význam propojení surovinové základny, technologií, logistiky, certifikace, tržního uplatnění a průmyslových aplikací [4]. U syntetických paliv je tento princip ještě výraznější, protože vstupy často pocházejí z různých sektorů a každý z nich musí být prokazatelný, měřitelný a certifikovatelný.

Hodnotový řetězec syntetických paliv může mít několik podob. V integrovaném modelu se výroba elektřiny, vodíku, zachycení CO<sub>2</sub> a syntéza nacházejí v jednom průmyslovém areálu nebo v jeho blízkosti. Výhodou je kratší logistika a lepší kontrola dat. V decentralizovaném modelu jsou jednotlivé vstupy zajišťovány z různých míst a syntézní jednotka funguje jako uzel propojující energetiku, průmysl a trh s palivy. Výhodou může být flexibilita, nevýhodou vyšší nároky na certifikaci, logistiku a smluvní zajištění.

Z pohledu ČTP Bio je důležité sledovat zejména vazbu na biogenní CO<sub>2</sub> a bio-based chemii. Pokud některé bio-based provozy vytvářejí koncentrované proudy biogenního CO<sub>2</sub>, mohou se stát součástí širšího hodnotového řetězce syntetických paliv. Takový model však vyžaduje nejen technologické propojení, ale i jasnou metodiku započítání emisí, certifikaci původu CO<sub>2</sub> a posouzení, zda je dané využití uhlíku environmentálně i ekonomicky smysluplné [3], [4].

### 3.12 Dílčí závěr kapitoly

Technologické řetězce výroby syntetických paliv jsou komplexní a víceúrovňové. Jejich základem je výroba vodíku, zajištění uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu a následná chemická syntéza. Výsledkem mohou být kapalná uhlovodíková paliva, syntetický metan, e-methanol, e-amoniak nebo jiné chemické produkty. Každá cesta má jiné technologické požadavky, jinou účinnost, jiné nároky na vstupy a jiný sektorový potenciál.

Klíčovým zjištěním této kapitoly je, že syntetická paliva nelze hodnotit pouze podle finálního produktu. Rozhodující je celý řetězec od vstupní elektřiny přes vodík, uhlík nebo dusík, syntézu, úpravu produktu, logistiku, certifikaci až po konečné využití. Každý krok ovlivňuje emisní bilanci, technickou použitelnost, regulatorní uznatelnost a ekonomickou proveditelnost. Tento přístup je v souladu s LCA logikou a s důrazem ČTP Bio na hodnotové řetězce, datovou sledovatelnost a realistické posuzování dekarbonizačních nástrojů [3], [4].

Syntetická paliva proto představují technologicky relevantní, ale vstupně a energeticky náročnou oblast. Jejich hlavní význam lze očekávat v aplikacích, kde bude i nadále potřeba molekulární palivo nebo uhlíkatá surovina a kde přímá elektrifikace nebude dostatečná.

Praktická hodnota syntetických paliv proto závisí nejen na technologické vyrobiteľnosti, ale také na jejich regulatorním statusu, certifikaci a doložitelné emisní bilanci.

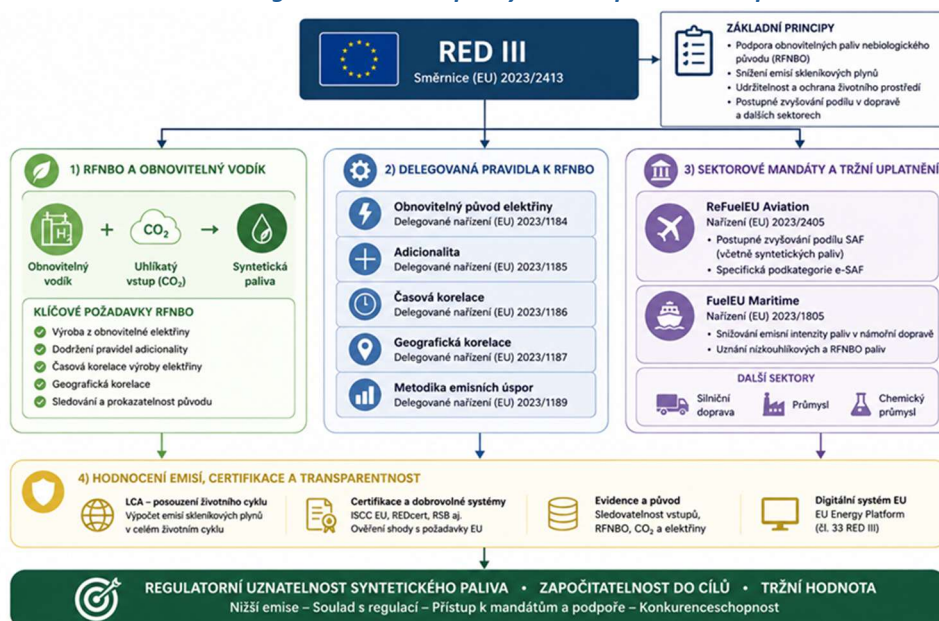
#### 4. Legislativní a regulatorní rámec

Regulatorní rámec určuje, zda bude syntetické palivo pouze technicky vyrobiteľným produktem, nebo také palivem započítatelným do příslušných evropských cílů. V evropském prostředí je proto klíčové zejména rozlišení mezi obecně syntetickým palivem, RFNBO, recyklovaným uhlíkovým palivem a nízkouhlíkovým palivem. Pro jejich uplatnění je rozhodující také to, zda splňují požadavky evropské legislativy na původ vstupů, emisní úspory, certifikaci, započítatelnost do cílů a sektorové mandáty.

Regulace syntetických paliv je komplexní, protože se nachází na rozhraní několika oblastí: obnovitelné energie, vodíku, dopravy, letectví, námořní dopravy, palivářství, emisního reportingu, certifikace a LCA. Základ tvoří směrnice RED III, delegované akty k RFNBO, sektorová nařízení ReFuelEU Aviation a FuelEU Maritime a nově také metodika pro nízkouhlíková paliva podle rámce pro dekarbonizované plyny a vodík. Tato kapitola proto nerozebírá legislativu jako samostatný právní výklad, ale jako rámec, který zásadně ovlivňuje, jaká syntetická paliva budou moci být uznána jako relevantní dekarbonizační nástroj.

Pro ČTP Bio je tato regulatorní rovina důležitá ze dvou důvodů. Zprvė určuje, zda syntetické palivo může být započítáno do plnění cílů v dopravě, letectví, námořní dopravě nebo průmyslu. Zadruhé přímo navazuje na témata řešená v LCA studii a v hodnotových řetězcích: původ elektřiny, vodíku a uhlíku, emisní bilance, datová kvalita, certifikace a auditovatelnost. Regulace syntetických paliv tak není pouze administrativní podmínkou, ale jedním ze základních faktorů jejich tržní hodnoty.

Obrázek 3: Regulatorní rámec pro syntetická paliva v Evropské unii



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě RED III, delegovaných nařízení k RFNBO, ReFuelEU Aviation, FuelEU Maritime a metodiky pro nízkouhlíková paliva [5], [8], [13]–[18].

Obrázek 3 znázorňuje základní regulační logiku syntetických paliv v Evropské unii. Výchozím rámcem je RED III, která vymezuje obnovitelná paliva a RFNBO. Na ni navazují pravidla pro původ elektřiny, adicionalitu, časovou a geografickou korelaci a metodiku emisních úspor. Sektorová nařízení ReFuelEU Aviation a FuelEU Maritime následně určují konkrétní tržní uplatnění syntetických paliv v letectví a námořní dopravě. Napříč celým rámcem je klíčová certifikace, LCA, evidence původu vstupů a digitální sledovatelnost.

#### **4.1 RED III jako základní rámec pro obnovitelná paliva**

Směrnice RED III představuje jeden z hlavních pilířů evropské politiky obnovitelných zdrojů energie a vytváří rámec pro další rozvoj obnovitelných paliv v dopravě, průmyslu i dalších sektorech. Pro syntetická paliva je významná zejména proto, že pracuje s kategorií obnovitelných paliv nebiologického původu, tedy RFNBO, a stanovuje obecný rámec pro jejich započítávání do plnění cílů obnovitelné energie [13].

RFNBO jsou v tomto rámci důležitá proto, že umožňují započítat určité typy syntetických paliv a obnovitelného vodíku do cílů, pokud splní příslušné požadavky na původ energie a emisní úspory. Nejde tedy o volné označení pro jakékoliv syntetické palivo, ale o přesně vymezenou regulační kategorii. Jak bylo uvedeno již v předchozí kapitole, syntetické palivo může být technicky vyrobitelné, ale nemusí automaticky splňovat podmínky pro uznání jako RFNBO [5].

RED III je důležitá i z hlediska sektorového započítávání. Obnovitelná paliva nebiologického původu mají být započítávána v sektoru, kde jsou spotřebována, a obnovitelná elektřina použitá pro jejich výrobu nemá být započítána dvakrát [13]. Tento princip je zásadní pro důvěryhodnost celého systému. Pokud by byla stejná obnovitelná elektřina započítávána jednou jako elektřina a podruhé jako vstup do syntetického paliva, docházelo by ke zkreslení skutečného dekarbonizačního přínosu.

Z pohledu této studie RED III stanovuje základní logiku: syntetické palivo má regulační hodnotu pouze tehdy, pokud je možné doložit jeho původ, emisní úsporu a soulad s pravidly. Tím se přímo propojuje s LCA přístupem ČTP Bio, podle něhož nelze hodnotit paliva pouze podle jejich názvu nebo kategorie, ale podle emisní bilance celého životního cyklu, kvality dat a schopnosti doložit skutečný environmentální přínos [3].

#### **4.2 RFNBO: obnovitelná paliva nebiologického původu**

RFNBO představují klíčovou kategorii pro obnovitelná syntetická paliva. Vztahují se na kapalná a plynná paliva, jejichž energetický obsah pochází z obnovitelných zdrojů jiných než biomasa. Typicky se jedná o paliva vyráběná z obnovitelného vodíku a vhodného uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu. Evropská komise zdůrazňuje, že pravidla pro obnovitelný vodík a RFNBO mají zajistit výrobu z obnovitelných zdrojů a dosažení nejméně 70% úspory emisí skleníkových plynů [5].

RFNBO jsou pro syntetická paliva zásadní, protože vytvářejí most mezi technologickou výrobou a regulační uznatelností. E-diesel, e-SAF, e-methanol nebo syntetický metan mohou mít

podobnou chemickou funkci jako konvenční produkty, ale jejich regulační hodnota závisí na tom, zda splňují podmínky RFNBO. Těmito podmínkami jsou zejména obnovitelný původ elektřiny, způsob výroby vodíku, vazba na obnovitelné zdroje, emisní úspory, původ uhlíku a certifikační prokazatelnost.

RFNBO se proto musí chápat jako kategorie kombinující tři roviny: technickou, emisní a certifikační. Technická rovina říká, že palivo je vyrobeno synteticky a využívá vodík jako zásadní vstup. Emisní rovina říká, že celý výrobní řetězec musí dosahovat požadovaných úspor emisí. Certifikační rovina říká, že tyto skutečnosti musí být měřitelné, ověřitelné a auditovatelné. Bez splnění všech tří rovin nejde o plnohodnotně využitelné RFNBO, i kdyby bylo palivo chemicky srovnatelné s konvenčním palivem.

Z hlediska ČTP Bio je důležité, že RFNBO nejsou v opozici k biopalivům a biosložkám, ale představují jinou regulační kategorii. Biopaliva a biosložky jsou založeny na biologické surovinové základně, zatímco RFNBO na obnovitelné energii nebiologického původu. V některých segmentech mohou soutěžit o stejný trh, například v dopravě nebo letectví. V jiných se mohou doplňovat, například tam, kde biogenní CO<sub>2</sub> vstupuje do výroby syntetického paliva jako obnovitelný uhlíkatý vstup [4].

### 4.3 Adicionalita, časová korelace a geografická korelace

Jedním z nejdůležitějších prvků regulačního rámce pro RFNBO jsou pravidla pro výrobu obnovitelného vodíku. Ta jsou stanovena zejména delegovaným nařízením Komise (EU) 2023/1184, které doplňuje směrnici RED II/RED III a vytváří metodiku pro výrobu obnovitelných kapalných a plyných paliv nebiologického původu v dopravě [14]. Prakticky jde o pravidla, která určují, kdy lze elektřinu použitou k výrobě vodíku považovat za obnovitelnou pro účely RFNBO.

Tato pravidla jsou důležitá proto, aby výroba syntetických paliv skutečně podporovala rozvoj nových obnovitelných zdrojů a nevedla pouze k přesměrování již existující zelené elektřiny z jiných sektorů. Proto se pracuje s principy adicionality, časové korelace a geografické korelace. Tyto tři principy tvoří základní kontrolní mechanismus pro to, aby syntetická paliva deklarovaná jako obnovitelná skutečně odpovídala obnovitelnému energetickému vstupu.

**Adicionalita** znamená, že výroba RFNBO má být spojena s dodatečnou výrobou obnovitelné elektřiny. Cílem je zabránit situaci, kdy elektrolyzátor spotřebuje již existující obnovitelnou elektřinu a v elektrizační soustavě ji fakticky nahradí fosilní výroba. Adicionalita proto posiluje vazbu mezi rozvojem syntetických paliv a rozvojem nových obnovitelných zdrojů [14].

**Časová korelace** znamená, že výroba vodíku má být časově sladěna s výrobou obnovitelné elektřiny. Principem je omezit situace, kdy se v jednom období vyrobí obnovitelná elektřina a v jiném období se spotřebuje elektřina z jiného zdroje, přičemž by se formálně stále tvrdilo, že vodík je obnovitelný. Čím přísnější je časová korelace, tím vyšší jsou požadavky na flexibilitu elektrolyzátoru, akumulaci, řízení spotřeby a datové dokládání [14].

**Geografická korelace** znamená, že výroba vodíku a výroba obnovitelné elektřiny mají mít smysluplnou prostorovou vazbu. Cílem je zajistit, aby se deklarovaná obnovitelná elektřina skutečně vztahovala k oblasti, kde může ovlivnit bilanci spotřeby elektrolyzáru, a aby nedocházelo k čistě formálnímu nákupu obnovitelné elektřiny z lokalit, které nejsou fyzicky nebo systémově relevantní pro daný elektrolyzáru [14].

Tyto principy mají zásadní dopad na ekonomiku a provoz syntetických paliv. Zvyšují důvěryhodnost obnovitelného původu, ale zároveň komplikují provozní modely. Elektrolyzáru nemusí být provozován pouze podle technického nebo ekonomického optima, ale musí respektovat pravidla pro původ elektřiny. To může snížit využití kapacity, zvýšit náklady na jednotku vodíku a zkomplikovat řízení integrované výroby syntetických paliv. Právě proto je regulační rámec jedním z hlavních faktorů, které rozhodují o praktické proveditelnosti RFNBO.

**Tabulka 10: Základní principy pro uznání obnovitelné elektřiny při výrobě RFNBO**

Princip	Základní význam	Praktický dopad na syntetická paliva
Adicionalita	Výroba paliv má podporovat dodatečnou výrobu obnovitelné elektřiny	Nutnost vazby na nové nebo způsobilé obnovitelné zdroje
Časová korelace	Spotřeba elektřiny pro elektrolyzu má časově odpovídat výrobě obnovitelné elektřiny	Vyšší nároky na flexibilitu elektrolyzáru, akumulaci a datové řízení
Geografická korelace	Obnovitelný zdroj a elektrolyzáru mají mít relevantní prostorovou vazbu	Omezení čistě formálního nákupu elektřiny bez vazby na soustavu
Certifikace a audit	Splnění pravidel musí být doložitelné	Vyšší nároky na evidenci, reporting, smlouvy a digitální sledovatelnost

Tabulka 10 ukazuje, že regulační požadavky na RFNBO nejsou pouze formální. Přímým způsobem ovlivňují návrh, provoz, ekonomiku a datové řízení výrobního řetězce syntetických paliv. To je důležité zejména pro menší a střední podniky, které mohou mít omezené kapacity pro složité certifikační a reportingové procesy.

#### 4.4 Emisní úspora a metodika výpočtu

Vedle původu elektřiny je druhým klíčovým pilířem regulačního rámce emisní úspora. Delegované nařízení Komise (EU) 2023/1185 stanovuje metodiku pro posuzování úspor emisí skleníkových plynů u obnovitelných kapalných a plyných paliv nebiologického původu a recyklovaných uhlíkových paliv. Zároveň stanovuje, že úspory emisí u recyklovaných uhlíkových paliv musí dosahovat alespoň 70 % a že úspory emisí RFNBO a recyklovaných uhlíkových paliv se mají určovat podle metodiky uvedené v příloze [15].

Pro syntetická paliva je tento princip zásadní. Palivo nemůže být hodnoceno pouze podle toho, že využívá vodík nebo CO<sub>2</sub>. Musí být posouzeno, zda ve srovnání s fosilním referenčním palivem dosahuje dostatečné emisní úspory. To zahrnuje celý životní cyklus, tedy výrobu vstupů, výrobu paliva, případné zachycení uhlíku, dopravu, skladování, distribuci a konečné využití. Tento

přístup odpovídá logice LCA studie ČTP Bio, která zdůrazňuje význam emisních hotspotů, datové kvality a auditovatelnosti celého řetězce [3].

Zjednodušeně lze princip výpočtu emisní úspory vyjádřit takto:

$$\text{Emisní úspora} = \frac{E_{\text{fosilní referenční palivo}} - E_{\text{posuzované palivo}}}{E_{\text{fosilní referenční palivo}}} \times 100$$

***Rovnice 1: Zjednodušené vyjádření emisní úspory paliva***

kde:

$E_{\text{fosilní referenční palivo}}$  představuje emisní intenzitu referenčního fosilního paliva

$E_{\text{posuzované palivo}}$  představuje emisní intenzitu syntetického paliva v posuzovaném životním cyklu

U RFNBO a příbuzných kategorií je důležité, aby emisní úspora nebyla výsledkem zjednodušeného odhadu, ale aby vycházela z metodiky uznávané příslušným regulačním rámcem [15]. Prakticky to znamená, že výrobce nebo dodavatel musí doložit nejen výslednou hodnotu emisní intenzity, ale také vstupní data, energetické toky, původ surovin, způsob alokace, případné kredity za zachycení uhlíku a související certifikaci.

Pro ČTP Bio je tato část zvláště významná, protože přímo propojuje syntetická paliva s LCA a digitální transformací. Bez datové evidence, sledovatelnosti a auditovatelného výpočtu emisní bilance nebude možné spolehlivě rozlišit, která syntetická paliva skutečně přispívají ke snižování emisí a která pouze formálně splňují technologickou definici. Regulační rámec tak posiluje význam datové infrastruktury a certifikace v celém hodnotovém řetězci.

## **4.5 Původ uhlíku a rozdíl mezi RFNBO, recyklovanými uhlíkovými palivy a nízkouhlíkovými palivy**

Syntetická paliva mohou využívat různé zdroje uhlíku. Z regulačního pohledu je však zásadní, odkud uhlík pochází a jak je započítán v emisní bilanci. Jinou logiku má biogenní CO<sub>2</sub>, jinou CO<sub>2</sub> zachycený z průmyslového procesu, jinou CO<sub>2</sub> zachycený přímo ze vzduchu a jinou uhlík pocházející z fosilního zdroje. Právě původ uhlíku může rozhodnout o tom, zda bude palivo považováno za obnovitelné, recyklované uhlíkové, nízkouhlíkové nebo pouze technicky syntetické.

U průmyslového CO<sub>2</sub> je nutné rozlišovat mezi biogenním, atmosférickým, geologickým a fosilním procesním původem. Zejména CO<sub>2</sub> z fosilních průmyslových zdrojů může mít z pohledu RFNBO a dlouhodobé klimatické neutrality omezenou regulační perspektivu. Studie proto pracuje s biogenním CO<sub>2</sub> jako s prioritně sledovaným uhlíkatým vstupem pro ČTP Bio.

RFNBO jsou založena na obnovitelné energii nebiologického původu. Recyklovaná uhlíková paliva pracují s uhlíkem z vybraných toků, které by jinak mohly být emitovány nebo energeticky využity jiným způsobem. Nízkouhlíková paliva představují širší kategorii, která není nutně obnovitelná, ale musí dosahovat stanovených emisních úspor. Delegované nařízení Komise

(EU) 2025/2359 doplňuje směrnici o společných pravidlech pro vnitřní trh s obnovitelným plynem, zemním plynem a vodíkem a stanovuje metodiku pro posuzování úspor emisí skleníkových plynů u nízkouhlíkových paliv [18].

Toto rozlišení je důležité pro trh i pro strategii ČTP Bio. RFNBO mohou mít v určitých sektorech specifickou regulatorní hodnotu, například při plnění cílů v dopravě nebo letectví. Nízkouhlíková paliva mohou hrát roli v přechodném období nebo v aplikacích, kde není možné okamžitě zajistit obnovitelný vstup. Biogenní CO<sub>2</sub> může být pro syntetická paliva zajímavý tím, že propojuje bioekonomiku a Power-to-X, avšak musí být vždy posuzován z hlediska dostupnosti, certifikace a emisní bilance [4].

**Tabulka 11: Základní rozdíly mezi vybranými regulatorními kategoriemi syntetických a příbuzných paliv**

Kategorie	Základní logika	Typický význam pro syntetická paliva	Klíčová podmínka
RFNBO	Palivo z obnovitelné energie nebiologického původu	Obnovitelný vodík, e-paliva, e-SAF, e-methanol	Obnovitelný původ elektřiny, emisní úspora, certifikace
Recyklovaná uhlíková paliva	Paliva z vybraných uhlíkových toků	Možné syntetické palivo z recyklovaného uhlíku	Splnění metodiky emisních úspor a pravidel započítání
Nízkouhlíková paliva	Paliva s nízkou emisní intenzitou bez nutného obnovitelného původu	Nízkouhlíkový vodík a syntetická paliva z nízkouhlíkového vodíku	Prokázání úspory emisí podle metodiky pro nízkouhlíková paliva
Biopaliva a biosložky	Paliva nebo složky z biologické suroviny	Doplňková kategorie vůči syntetickým palivům	Udržitelnost biomasy, LCA, certifikace a kritéria RED

Tabulka 11 ukazuje, že označení „syntetické palivo“ samo o sobě neříká, do jaké regulatorní kategorie palivo patří. Pro praktické uplatnění je nutné vždy určit, zda se jedná o RFNBO, recyklované uhlíkové palivo, nízkouhlíkové palivo, biopalivo nebo jiný produkt. Tato klasifikace ovlivňuje započítatelnost do cílů, tržní hodnotu, certifikaci i regulatorní rizika.

## 4.6 ReFuelEU Aviation a syntetická letecká paliva

Letecká doprava patří mezi sektory, kde má regulace syntetických paliv nejkonkrétnější podobu. Nařízení ReFuelEU Aviation vytváří rámec pro postupné navyšování podílu udržitelných leteckých paliv na letištích v EU. Nařízení ReFuelEU Aviation stanovuje, že podíl SAF má od roku 2025 činit 2 % a do roku 2050 vzrůst na 70 %. Pro syntetická letecká paliva je stanovena samostatná trajektorie, a to 1,2 % od roku 2030 a 35 % od roku 2050 [8], [16].

Pro syntetická paliva je ReFuelEU Aviation významné proto, že vytváří specifický tržní impuls. Zatímco v některých jiných sektorech mohou syntetická paliva zůstat pouze jednou z možností, v letectví jsou syntetická letecká paliva přímo zahrnuta do regulatorního rámce. Důvodem je obtížná elektrifikace dálkové letecké dopravy, potřeba kapalných paliv s vysokou energetickou hustotou a dlouhá životnost letecké infrastruktury.

Zároveň však platí, že regulační mandát sám o sobě nezajišťuje dostupnost paliv. E-SAF bude záviset na rozvoji obnovitelné elektřiny, výrobě vodíku, dostupnosti vhodného uhlíkatého vstupu, certifikaci, investicích a schopnosti snížit náklady. ReFuelEU Aviation proto vytváří poptávkový rámec, ale nenahrazuje potřebu rozvoje výrobních kapacit, hodnotových řetězců a datové infrastruktury.

Pro ČTP Bio je význam ReFuelEU Aviation dvojitý. Zaprvé ukazuje, že syntetická paliva mohou mít v některých sektorech jasnou regulační perspektivu. Zadruhé vytváří prostor pro diskusi o vztahu mezi e-SAF, bio-SAF, biogenním CO<sub>2</sub> a obnovitelným uhlíkem. V letectví se tak mohou potkávat různé cesty dekarbonizace: pokročilá biopaliva, syntetická paliva, recyklovaná uhlíková paliva a další udržitelná palivová řešení.

**Tabulka 12: Vybrané milníky ReFuelEU Aviation pro SAF a syntetická letecká paliva**

Rok	Povinný podíl SAF na letištích EU	Povinný podíl syntetických leteckých paliv	Význam pro syntetická paliva
2025	2 %	—	Začátek povinného přimíchávání SAF
2030	6 %	1,2 %	První samostatný impuls pro syntetická letecká paliva
2050	70 %	35 %	Dlouhodobý regulační rámec pro významný podíl e-SAF

Tabulka 12 ukazuje, že syntetická letecká paliva mají v evropské regulaci výslovně vymezenou roli. To je podstatný rozdíl oproti některým jiným segmentům, kde je uplatnění syntetických paliv více závislé na obecné ekonomice, technologické připravenosti nebo dobrovolné poptávce.

#### 4.7 FuelEU Maritime a role syntetických paliv v námořní dopravě

Nařízení FuelEU Maritime vytváří rámec pro snižování emisní intenzity energie používané na palubě lodí. Jeho cílem je podporovat využívání obnovitelných a nízkouhlíkových paliv v námořní dopravě a směřovat sektor k postupné dekarbonizaci do roku 2050 [17]. Pro syntetická paliva je tento rámec důležitý proto, že námořní doprava patří mezi sektory, kde přímá elektrifikace velkých plavidel a dálkových tras naráží na technické a provozní limity.

Nařízení se vztahuje na lodě nad 5 000 GT vplouvající do evropských přístavů a stanovuje postupné snižování GHG intenzity energie používané na palubě, a to od 2% snížení v roce 2025 až po 80% snížení v roce 2050.

FuelEU Maritime se neliší pouze tím, že podporuje konkrétní typy paliv, ale především tím, že pracuje s emisní intenzitou energie využitě na palubě. To otevírá prostor pro různé technologie a paliva, pokud splní požadavky na snížení emisí v relevantním životním cyklu. Mezi možnými kandidáty se často diskutují e-methanol, e-amoniak, syntetický metan, biopaliva a další obnovitelná nebo nízkouhlíková paliva.

Z pohledu syntetických paliv je námořní doprava důležitá také proto, že může přijmout paliva, která nejsou vhodná pro všechny ostatní aplikace. Methanol nebo amoniak například vyžadují specifickou infrastrukturu a bezpečnostní režimy, ale v námořní dopravě může být taková infrastruktura snáze koncentrována do přístavů a vybraných tras. Zároveň je nutné řešit bezpečnost, toxicitu, skladování, dostupnost paliv a certifikaci.

Pro ČTP Bio je FuelEU Maritime významné především jako příklad sektorového rámce, kde budou syntetická paliva posuzována podle emisní intenzity a praktické použitelnosti, nikoli pouze podle názvu paliva. To odpovídá celkové logice studie: rozhodující je kombinace vstupů, technologie, emisní bilance, certifikace a sektorového využití.

#### 4.8 Certifikace, evidence a digitální sledovatelnost

Regulační rámec syntetických paliv vytváří vysoké požadavky na certifikaci a evidenci dat. U RFNBO, recyklovaných uhlíkových paliv i nízkouhlíkových paliv je nutné doložit původ vstupů, energetickou bilanci, emisní intenzitu, způsob výroby, použitou metodiku a konečné využití. Bez těchto údajů nelze spolehlivě prokázat, zda palivo splňuje podmínky uznatelnosti.

Certifikace se u syntetických paliv netýká pouze finálního produktu. Musí pokrývat celý řetězec: elektřinu, vodík, uhlíkatý nebo dusíkatý vstup, chemickou syntézu, případné úpravy produktu, dopravu, skladování a konečné využití. To je podstatný rozdíl oproti jednoduchému fyzickému posouzení paliva. U syntetických paliv se často bude rozhodovat o tom, zda má palivo regulační hodnotu, na základě dat, nikoli pouze na základě laboratorního rozboru.

Tato situace přímo navazuje na digitální transformaci. Syntetická paliva budou vyžadovat evidenci původu elektřiny, smluvních vazeb na obnovitelné zdroje, provozních hodin elektrolyzátoru, vstupních toků CO<sub>2</sub>, alokace emisí, výstupních produktů a jejich certifikačního statusu. Digitální sledovatelnost proto nebude jen podpůrným nástrojem, ale podmínkou tržní a regulační použitelnosti.

Z hlediska ČTP Bio je to důležité i pro malé a střední podniky. Složitý certifikační rámec může být bariérou vstupu do nových hodnotových řetězců. Zároveň však může vytvořit příležitost pro služby v oblasti měření, dat, auditu, LCA, certifikace, digitalizace a poradenské podpory. Právě v této oblasti se syntetická paliva propojují s širším cílem OP TAK podporovat digitální a zelenou transformaci technologických platforem.

**Tabulka 13: Hlavní datové a certifikační požadavky u syntetických paliv**

Oblast evidence	Co je potřeba doložit	Význam pro regulační uznatelnost
Elektřina	Původ, časová a geografická vazba, smluvní vztahy	Určení, zda lze elektřinu uznat jako obnovitelnou pro RFNBO
Vodík	Způsob výroby, spotřeba elektřiny, emisní intenzita	Klíčový vstup pro určení emisní bilance paliva
Uhlíkatý vstup	Původ CO <sub>2</sub> nebo jiného uhlíku, metodika započítání	Rozlišení mezi biogenním, recyklovaným, průmyslovým nebo atmosférickým uhlíkem

Oblast evidence	Co je potřeba doložit	Význam pro regulatorní uznatelnost
Výrobní proces	Energetické a materiálové toky, výtěžnost, vedlejší produkty	Výpočet emisní intenzity a alokace emisí
Finální produkt	Typ paliva, množství, kvalita, normová shoda	Prokázání technické použitelnosti a certifikačního statusu
Konečné využití	Sektor spotřeby, započtení do cílů, dodavatelský řetězec	Zamezení dvojímu započtení a správné přiřazení přínosu

Tabulka 13 ukazuje, že regulatorní hodnota syntetického paliva je do značné míry datově podmíněná. Nestačí vyrobit palivo s požadovaným chemickým složením; je nutné doložit celý jeho původ a emisní profil.

#### 4.9 Dopad regulatorního rámce na tržní uplatnění syntetických paliv

Regulace syntetických paliv není pouze otázkou souladu s právními předpisy. Přímo ovlivňuje jejich ekonomickou hodnotu, investiční atraktivitu a možnost uplatnění na trhu. Palivo, které splňuje požadavky RFNBO nebo specifický sektorový mandát, může mít výrazně jinou tržní hodnotu než technicky podobné palivo, které tyto podmínky nespĺňuje.

To je důležité zejména u e-SAF, e-methanolu a syntetických uhlovodíkových paliv. U e-SAF vytváří ReFuelEU Aviation dlouhodobý poptávkový rámec [8]. U námořní dopravy vytváří FuelEU Maritime tlak na snižování emisní intenzity energie na palubě [17]. U paliv pro silniční dopravu bude význam RFNBO záviset na národní implementaci RED III, dostupnosti paliv, ceně, certifikaci a schopnosti započítat je do relevantních cílů [13].

Regulace však zároveň zvyšuje náročnost projektů. Požadavky na adicionalitu, časovou korelaci, geografickou korelaci, LCA, certifikaci a evidenci dat mohou zvýšit náklady a snížit provozní flexibilitu. To může být zvláště náročné pro projekty v rané fázi nebo pro podniky bez dostatečného regulatorního a datového zázemí. Proto je nutné sledovat nejen samotné cíle, ale také praktickou administrativní proveditelnost.

Z hlediska strategie ČTP Bio to znamená, že syntetická paliva musí být posuzována podle tří navzájem propojených otázek: zda je lze technicky vyrobit, zda mohou být regulatorně uznána a zda mohou být ekonomicky uplatněna. Právě kombinace těchto tří rovin rozhodne o tom, zda se syntetická paliva stanou skutečnou součástí dekarbonizačního portfolia, nebo zůstanou pouze technologicky zajímavou, ale omezeně využitelnou možností.

#### 4.10 Dílčí závěr kapitoly

Legislativní a regulatorní rámec je pro syntetická paliva stejně důležitý jako samotná technologie výroby. Syntetické palivo může být chemicky vyrobitelné a technicky použitelné, ale jeho praktická hodnota závisí na tom, zda splní požadavky na obnovitelný nebo nízkouhlíkový původ, emisní úsporu, certifikaci, započitatelnost a sektorové využití.

RED III vytváří základní rámec pro obnovitelná paliva a RFNBO. Delegované nařízení (EU) 2023/1184 stanovuje pravidla pro výrobu obnovitelných paliv nebiologického původu, zejména ve vztahu k původu elektřiny, adicionalitě, časové a geografické korelaci [14]. Delegované nařízení (EU) 2023/1185 stanovuje metodiku pro posuzování emisních úspor RFNBO a recyklovaných uhlíkových paliv [15]. ReFuelEU Aviation vytváří konkrétní dlouhodobý rámec pro udržitelná a syntetická letecká paliva [8]. FuelEU Maritime otevírá prostor pro obnovitelná a nízkouhlíková paliva v námořní dopravě [17]. Metodika pro nízkouhlíková paliva dále rozšiřuje rámec o paliva, která nejsou nutně obnovitelná, ale mohou dosahovat významných emisních úspor [18].

Pro ČTP Bio z toho vyplývá, že syntetická paliva je nutné posuzovat nejen jako technologickou možnost, ale jako regulatorně podmíněný hodnotový řetězec. Rozhodující je návaznost vstupů, konverzních kroků, úpravy produktu, logistiky a konečného použití.

## 5. Environmentální hodnocení a LCA

Environmentální hodnocení syntetických paliv stojí na otázce, zda konkrétní výrobní řetězec skutečně snižuje emise v celém životním cyklu. U syntetických paliv nelze výsledek odvodit z názvu produktu ani z použití CO<sub>2</sub> nebo vodíku. Rozhodující jsou vstupy, účinnost procesů, logistika, metodika výpočtu a kvalita dat.

Environmentální hodnocení syntetických paliv je složitější než pouhé porovnání emisí při konečném použití. Syntetická uhlovodíková paliva mohou při spalování uvolňovat CO<sub>2</sub> obdobně jako fosilní paliva. Rozhodující rozdíl proto neleží pouze ve fázi použití, ale především v tom, odkud pochází uhlík, jak byl vyroben vodík, jaká elektřina byla použita, jak účinná byla syntéza a zda celý řetězec dosahuje prokazatelné emisní úspory. Tento přístup odpovídá logice LCA studie ČTP Bio, podle níž je nutné hodnotit paliva a biosložkové řetězce na základě celé emisní bilance, nikoli pouze podle názvu, původu nebo deklarované technologie [3].

LCA, tedy posuzování životního cyklu, poskytuje metodický rámec pro hodnocení environmentálních dopadů produktu od vstupních surovin přes výrobu, distribuci a použití až po případné ukončení životnosti nebo další zpracování. Norma ISO 14040 vymezuje základní principy a rámec LCA, včetně stanovení cíle a rozsahu, inventarizační analýzy, hodnocení dopadů a interpretace výsledků [19]. Norma ISO 14044 pak stanovuje požadavky a pokyny pro provádění LCA, včetně pravidel pro vymezení systému, datovou kvalitu, alokaci, reporting a kritický přezkum [20]. Pro syntetická paliva je tento metodický rámec nezbytný, protože jejich environmentální výsledek vzniká součtem více technologických, energetických, materiálových a logistických kroků.

### 5.1 Role LCA při hodnocení syntetických paliv

LCA umožňuje posuzovat syntetická paliva jako celý výrobní a dodavatelský systém. Umožňuje rozlišit, zda je environmentální přínos skutečně dosažen díky nízkoemisním vstupům a efektivnímu technologickému řetězci, nebo zda je založen pouze na formálním označení paliva jako syntetického, obnovitelného či nízkouhlíkového. To je důležité zejména proto, že

syntetická paliva mohou mít velmi rozdílné emisní výsledky podle použité elektřiny, způsobu výroby vodíku, původu uhlíku a účinnosti konverzních kroků.

U e-paliv je pozornost soustředěna zejména na vodík a CO<sub>2</sub>, ale jejich význam musí být vždy posuzován v celém řetězci. Rozhodující je emisní profil výroby vodíku, metodicky správně vymezený původ uhlíku a výsledná úspora v životním cyklu [6].

V prostředí technologické platformy ČTP Bio má LCA ještě další význam. Nejde pouze o nástroj pro výpočet emisí, ale také o podklad pro rozhodování, jaké hodnotové řetězce mají nejvyšší potenciál, kde vznikají emisní hotspoty, jaká data je nutné sbírat a kde mohou vznikat bariéry pro certifikaci. LCA studie ČTP Bio pracuje s tím, že výsledky životně-cyklového hodnocení mají vstupovat do Akčního plánu, Strategické výzkumné agendy, Technologického foresightu i Road Map [3]. U syntetických paliv se tato logika uplatňuje zejména v otázkách elektřiny, vodíku, uhlíku, certifikace a digitální sledovatelnosti.

## 5.2 Hranice systému a funkční jednotka

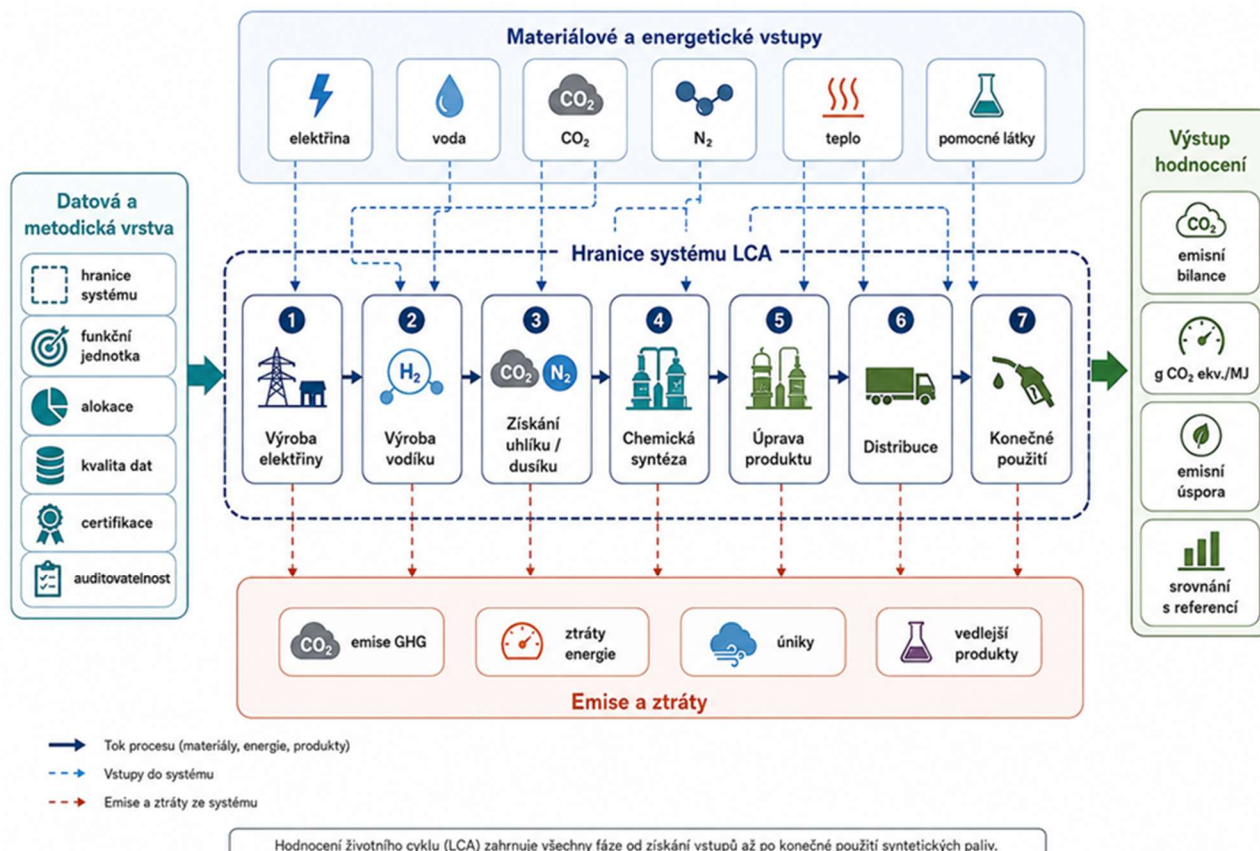
Vymezení hranic systému určuje, které části výrobního a dodavatelského řetězce budou do hodnocení zahrnuty. U syntetických paliv je vhodné pracovat minimálně s přístupem zahrnujícím výrobu vstupů, výrobu paliva, distribuci a použití. V dopravních aplikacích se často používá přístup well-to-wheels, případně well-to-wake v námořní dopravě. JEC Well-to-Wheels metodika vychází z hodnocení výroby paliva a jeho použití ve vozidle, protože právě tyto fáze jsou pro energetickou spotřebu a emise skleníkových plynů v dopravním kontextu rozhodující [21].

U syntetických paliv by hranice systému měly zahrnovat zejména výrobu elektřiny, výrobu vodíku, získání nebo zachycení uhlíkatého či dusíkatého vstupu, úpravu vstupních plynů, chemickou syntézu, finální úpravu produktu, skladování, distribuci a konečné využití. Pokud je některý z těchto kroků opomenut, může být výsledná emisní bilance zkreslená. Zvláště citlivé je vymezení u uhlíkatého vstupu, protože způsob započtení CO<sub>2</sub> zásadně ovlivňuje výsledek u syntetických uhlovodíkových paliv.

Druhým základním prvkem je funkční jednotka. U paliv se nejčastěji používá emisní intenzita vyjádřená v g CO<sub>2</sub> ekv./MJ paliva. V dopravě lze pracovat také s jednotkou dopravního výkonu, například g CO<sub>2</sub> ekv./km, g CO<sub>2</sub> ekv./t-km nebo g CO<sub>2</sub> ekv./osobokm. V chemickém průmyslu může být vhodnější jednotka hmotnosti nebo množství produktu. Volba funkční jednotky musí odpovídat tomu, co má být hodnoceno: energetický obsah paliva, dopravní služba, chemická surovina nebo výsledný výrobek.

Pro syntetická paliva je rozdíl mezi jednotkou paliva a jednotkou služby zvláště důležitý. Palivo s příznivou emisní intenzitou na MJ nemusí automaticky představovat nejlepší environmentální řešení, pokud je jeho koncové využití málo účinné. Naopak v sektorech, kde neexistuje technicky dostupná alternativa k kapalnému nebo plynnému palivu, může být syntetické palivo relevantní i při vyšší energetické náročnosti výroby. Interpretace výsledků proto musí vždy uvádět, k jaké funkční jednotce se vztahují.

Obrázek 4: Hranice LCA hodnocení syntetických paliv



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě LCA studie ČTP Bio, ISO 14040/14044 a metodik pro hodnocení emisních úspor syntetických paliv [3], [15], [19], [20].

Obrázek 4 znázorňuje hranice systému pro environmentální hodnocení syntetických paliv. Na rozdíl od technologického řetězce v kapitole 3 nejde pouze o posloupnost výrobních kroků, ale o vymezení všech vstupů, výstupů, emisních toků a datových požadavků, které ovlivňují výslednou uhlíkovou stopu. Schéma proto zahrnuje výrobu elektřiny, výrobu vodíku, získání uhlíku nebo dusíku, chemickou syntézu, úpravu produktu, distribuci, konečné použití, certifikaci a datovou auditovatelnost.

### 5.3 Hlavní emisní hotspoty

Emisní hotspoty jsou části řetězce, které mají největší vliv na výslednou uhlíkovou stopu. U syntetických paliv se nejčastěji jedná o emisní intenzitu elektřiny, výrobu vodíku, původ uhlíku, účinnost syntézy, logistiku a datovou prokazatelnost. Jejich význam se může lišit podle typu paliva, ale v každém případě platí, že konečný výsledek je součtem více navazujících vlivů.

Prvním hotspotem je elektřina. Výroba vodíku elektrolýzou je elektřinově náročná a další spotřeba elektřiny může vznikat při zachycování CO<sub>2</sub>, kompresi, čerpání, úpravě vstupů a provozu syntézni jednotky. Pokud je použita elektřina emisně zatížená, promítne se to do celého palivového řetězce. Proto regulační rámec RFNBO klade důraz na obnovitelný původ elektřiny, adicionalitu, časovou korelaci a geografickou korelaci [5], [14].

Druhým hotspotem je výroba vodíku. Vedle původu elektřiny je důležitá účinnost elektrolyzéry, provozní režim, využití kapacity, potřeba komprese, skladování a případná přeprava vodíku. Vodík není pouze pomocným vstupem. Je jedním z hlavních faktorů určujících energetickou náročnost, cenu a emisní bilanci syntetického paliva.

Třetím hotspotem je uhlíkatý vstup. U syntetických uhlovodíkových paliv může uhlík pocházet z biogenního CO<sub>2</sub>, průmyslového CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ze vzduchu nebo z jiných zdrojů. Každý zdroj má jiný dopad na LCA a jinou certifikační logiku. Biogenní CO<sub>2</sub> může být důležitým mostem mezi bioekonomikou a Power-to-X technologiemi, ale jeho použití musí být doloženo a správně započteno [4]. Průmyslový CO<sub>2</sub> může být dostupnější, ale jeho dlouhodobá klimatická hodnota závisí na původu emisí a metodice započítání. CO<sub>2</sub> ze vzduchu může být atraktivní z hlediska uhlíkového cyklu, ale vyžaduje značné množství energie.

Čtvrtým hotspotem je samotná syntéza a navazující úpravy produktu. Fischer–Tropschova syntéza, syntéza methanolu, metanace i syntéza amoniaku mají vlastní energetické požadavky, reakční podmínky, výtěžnosti a vedlejší produkty. Finální úprava, rafinace, separace, izomerace nebo blending mohou dále zvýšit energetickou náročnost a ovlivnit rozdělení emisí mezi jednotlivé produkty.

Pátým hotspotem je logistika. U syntetických paliv může být významná zejména tam, kde jsou oddělené zdroje elektřiny, vodíku, CO<sub>2</sub>, syntézni jednotka a odběratel. Přeprava vodíku nebo CO<sub>2</sub> může být technicky a energeticky náročná. Integrované uspořádání výroby může logistické emise snížit, ale může naopak omezovat výběr vhodné lokality.

**Tabulka 14: Hlavní emisní hotspoty v životním cyklu syntetických paliv**

Hotspot	Co rozhoduje o výsledku	Dopad na LCA	Typická kontrolní otázka
Elektřina	Emisní faktor, původ, časová a geografická vazba	Zásadně ovlivňuje výrobu vodíku a další provozní energii	Je elektřina skutečně nízkoemisní nebo obnovitelná?
Vodík	Technologie výroby, účinnost, provozní režim, skladování	Určuje energetickou a emisní náročnost hlavního vstupu	Jak byl vodík vyroben, doložen a dopraven?
Uhlík	Biogenní, průmyslový, atmosférický nebo jiný původ	Rozhoduje o klimatické logice uhlovodíkového paliva	Jaký je původ CO <sub>2</sub> a jak je započten?
Syntéza	Výtěžnost, ztráty, teplo, vedlejší produkty	Ovlivňuje emise na jednotku finálního produktu	Jak účinný je proces a jak se alokují emise?
Úprava produktu	Rafinace, separace, blending, normová shoda	Přidává další energetické a materiálové vstupy	Jaké úpravy jsou nutné pro použití paliva?
Logistika	Umístění zdrojů, skladování, doprava vstupů i produktu	Přidává emise mimo samotnou výrobu	Jak daleko putují klíčové vstupy a palivo?
Data a certifikace	Měření, evidence, audit, metodika	Určuje důvěryhodnost výsledku	Lze výsledek ověřit a obhájit?

Tabulka 14 ukazuje, že u syntetických paliv nelze hledat jeden univerzální parametr, který rozhodne o jejich environmentální kvalitě. Emisní výsledek vzniká kombinací energetických, materiálových, technologických, logistických a datových faktorů.

## 5.4 Emisní intenzita syntetického paliva

Emisní intenzita syntetického paliva se obvykle vyjadřuje jako množství emisí skleníkových plynů na jednotku energie paliva, nejčastěji v g CO<sub>2</sub> ekv./MJ. Skutečný výpočet musí odpovídat zvolené metodice, hranicím systému a certifikačnímu rámci. Pro účely této studie lze základní logiku vyjádřit zjednodušeně jako součet hlavních emisních příspěvků v hodnotovém řetězci vztahený k energetickému obsahu výsledného paliva.

$$E_{\text{palivo}} = \frac{E_{\text{elektřina}} + E_{\text{vodík}} + E_{\text{uhlík}} + E_{\text{syntéza}} + E_{\text{úprava}} + E_{\text{logistika}} - K_{\text{kredity}}}{MJ_{\text{palivo}}}$$

### *Rovnice 2: Zjednodušené vyjádření emisní intenzity syntetického paliva*

kde:

$E_{\text{palivo}}$  je emisní intenzita syntetického paliva

$E_{\text{elektřina}}$  zahrnuje emise spojené s výrobou nebo dodávkou elektřiny

$E_{\text{vodík}}$  zahrnuje emise spojené s výrobou, úpravou, skladováním a případnou dopravou vodíku

$E_{\text{uhlík}}$  zahrnuje emise spojené se získáním, zachycením nebo úpravou uhlíkatého vstupu

$E_{\text{syntéza}}$  zahrnuje emise a energetické vstupy samotné chemické syntézy

$E_{\text{úprava}}$  zahrnuje emise spojené s finální úpravou produktu

$E_{\text{logistika}}$  zahrnuje emise skladování, dopravy a distribuce

$K_{\text{kredity}}$  představuje případné metodicky uznatelné kredity nebo odečty

$MJ_{\text{palivo}}$  je energetický obsah výsledného paliva

Rovnice 2 není náhradou regulační metodiky. Slouží jako přehledové vyjádření logiky, podle níž se emisní intenzita skládá z více dílčích příspěvků. Pro RFNBO a recyklovaná uhlíková paliva je nutné postupovat podle metodiky stanovené delegovaným nařízením (EU) 2023/1185 [15]. Pro nízkouhlíková paliva je relevantní metodika podle delegovaného nařízení (EU) 2025/2359 [18].

Z praktického hlediska je důležité, že příznivá hodnota jedné složky nemusí vykompenzovat slabý výsledek jinde v řetězci. Nízkouhlíková elektřina může výrazně snížit emise výroby vodíku, ale pokud je uhlíkatý vstup problematický, syntéza neúčinná nebo logistika náročná, výsledná emisní intenzita může zůstat vysoká. Naopak dobře integrovaný řetězec s nízkoemisní elektřinou, ověřeným uhlíkem a efektivní syntézou může vykázat významně lepší výsledky.

## 5.5 Emisní úspora vůči fosilnímu referenčnímu palivu

Regulační rámec zpravidla nehodnotí pouze absolutní emisní intenzitu paliva, ale také emisní úsporu vůči fosilnímu referenčnímu palivu. Základní princip výpočtu byl uveden v kapitole 4 v Rovnici 1. V této kapitole je důležité především to, že výpočet emisní úspory je spolehlivý pouze

tehdy, pokud je správně stanovena emisní intenzita posuzovaného paliva v celém životním cyklu.

U syntetických paliv je dosažení vysoké emisní úspory metodicky náročné. Důvodem je kombinace vysoké spotřeby elektřiny, výroby vodíku, potřeby uhlíkatého vstupu, chemické syntézy a následné úpravy produktu. Pokud některý z klíčových vstupů není nízkoemisní nebo není dostatečně doložen, může se deklarovaná výhoda výrazně snížit. Proto je u syntetických paliv nutné výpočet emisní úspory vždy spojovat s hranicemi systému, funkční jednotkou, emisními faktory, alokačními pravidly a kvalitou dat [15], [18].

Tento přístup je důležitý i pro interpretaci výsledků. Stejný typ syntetického paliva může dosahovat odlišných emisních úspor podle lokality, zdroje elektřiny, způsobu výroby vodíku, původu CO<sub>2</sub> a provozního režimu syntézy. Obecný závěr o „emisní výhodnosti“ konkrétního typu paliva proto není dostatečný. Smysl má hodnotit konkrétní výrobní cestu nebo reprezentativní scénář s jasně uvedenými předpoklady.

## 5.6 Původ elektřiny a vliv energetického mixu

Původ elektřiny je u syntetických paliv jedním z nejcitlivějších parametrů. Elektřina vstupuje především do výroby vodíku, ale může se uplatnit také při zachycování CO<sub>2</sub>, úpravě plynů, kompresi, čerpání a provozu syntézní jednotky. Vzhledem k tomu, že syntetická paliva jsou nepřímým využitím elektřiny, promítá se emisní faktor elektřiny do výsledné bilance výrazněji než u řady jiných palivových cest.

Zjednodušeně lze emise spojené se spotřebou elektřiny vyjádřit následovně:

$$E_{\text{elektřina}} = S_{\text{elektřina}} \times EF_{\text{elektřina}}$$

*Rovnice 3: Emise spojené se spotřebou elektřiny*

kde:

$E_{\text{elektřina}}$  jsou emise přiřazené spotřebě elektřiny

$S_{\text{elektřina}}$  je spotřeba elektřiny

$EF_{\text{elektřina}}$  je emisní faktor použité elektřiny

Rovnice 3 ukazuje, že výsledné emise lze snížit dvěma způsoby: snížením spotřeby elektřiny nebo snížením emisního faktoru elektřiny. U syntetických paliv je však prostor pro snížení spotřeby omezen technologickými principy výroby vodíku a následné syntézy. O to větší význam má původ elektřiny a účinnost jednotlivých konverzních kroků.

Regulatorní rámec RFNBO proto nepracuje pouze s obecným prohlášením, že elektřina je obnovitelná. Vyžaduje prokázání původu elektřiny a dodržení pravidel adicionality, časové korelace a geografické korelace [5], [14]. Z pohledu LCA to znamená, že emisní faktor elektřiny není jen technický údaj, ale také datový a certifikační parametr.

## 5.7 Původ uhlíku a započítání CO<sub>2</sub>

Uhlík je u syntetických uhlovodíkových paliv nezbytný. Jeho původ však rozhoduje o tom, zda výsledné palivo může mít skutečný environmentální přínos. V LCA je proto nutné rozlišovat mezi biogenním CO<sub>2</sub>, průmyslovým CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> ze vzduchu a dalšími uhlíkatými vstupy. Každý z těchto zdrojů má jinou klimatickou logiku, jinou dostupnost, jinou energetickou náročnost a jiné certifikační požadavky.

Biogenní CO<sub>2</sub> je pro ČTP Bio zvláště relevantní, protože propojuje syntetická paliva s bioekonomikou, biopalivy, biosložkami a zelenou chemií [4]. Jeho využití může dávat smysl zejména tehdy, pokud vzniká jako koncentrovaný tok v bio-based procesu a pokud je možné doložit jeho původ. Do LCA však musí být zahrnuta také energie potřebná k zachycení, čištění, kompresi a dopravě CO<sub>2</sub>.

Průmyslový CO<sub>2</sub> může být dostupný ve větších objemech, ale jeho využití vyvolává otázku, zda dochází ke skutečnému snížení emisí, nebo pouze k dočasnému přesunu uhlíku do paliva, které bude následně spáleno. U průmyslového CO<sub>2</sub> proto záleží na původu emisního toku, metodice započítání a dlouhodobé regulatorní přijatelnosti. CO<sub>2</sub> ze vzduchu může z hlediska uhlíkového cyklu působit nejčistěji, ale jeho zachycení je energeticky náročné a musí být napájeno nízkoemisní energií, aby dávalo klimatický smysl.

*Tabulka 15: Původ uhlíku a jeho význam pro LCA syntetických paliv*

Zdroj uhlíku	Potenciální přínos	Hlavní LCA riziko	Podmínka věrohodného využití
Biogenní CO <sub>2</sub>	Vazba na obnovitelný uhlíkový cyklus a bioekonomiku	Nedoložený původ, nesprávná alokace nebo opomenutí energie na zachycení	Certifikace biogenního původu a zahrnutí celého řetězce zachycení a využití
Průmyslový CO <sub>2</sub>	Dostupnost koncentrovaných toků	Riziko prodlužování závislosti na emisním procesu	Jasně vymezení původu, metodiky započítání a časového horizontu
CO <sub>2</sub> ze vzduchu	Potenciál uzavřenějšího uhlíkového cyklu	Vysoká energetická náročnost zachycení	Nízkouhlíková energie a transparentní LCA
CO / syntézní plyn	Přímý vstup do syntézy	Nejasný původ uhlíku nebo energeticky náročná příprava	Doložitelný původ vstupů a emisní bilance výroby

Tabulka 15 ukazuje, že CO<sub>2</sub> není jednotný environmentální vstup. Stejně syntetické palivo může mít odlišnou emisní bilanci podle toho, zda byl uhlík biogenní, průmyslový nebo atmosférický a jak byly započteny související energetické a materiálové toky.

## 5.8 Datová kvalita, auditovatelnost a riziko falešné přesnosti

Datová kvalita je u syntetických paliv jedním z rozhodujících předpokladů důvěryhodného LCA. Výsledná hodnota emisní intenzity může vypadat přesně, ale pokud vychází z neověřených předpokladů, průměrných hodnot nebo neúplných dat, její interpretační hodnota je omezená. U syntetických paliv je toto riziko výrazné, protože část výrobních cest je stále ve fázi pilotních, demonstračních nebo raně komerčních projektů [9].

Riziko falešné přesnosti vzniká tehdy, když dokument uvádí jedno konkrétní číslo bez dostatečného vysvětlení hranic systému, zdrojů dat, účinnosti procesů, alokace a nejistot. U syntetických paliv může rozdíl ve zdroji elektřiny, účinnosti elektrolýzy nebo původu CO<sub>2</sub> změnit výsledek zásadním způsobem. Přesnost výstupu proto nesmí být vyšší než kvalita vstupních dat.

Pro strategickou studii technologické platformy je přijatelné pracovat s kvalitativním hodnocením, scénáři a intervaly, pokud jsou jasně popsány předpoklady. Pro certifikaci a regulační uznatelnost budou ovšem nutná robustnější data. Delegované metodiky pro RFNBO, recyklovaná uhlíková paliva a nízkouhlíková paliva vyžadují, aby vstupní údaje byly doložitelné a ověřitelné [15], [18]. Nedostatečná datová evidence proto není jen analytickým nedostatkem, ale může být překážkou pro tržní uplatnění paliva.

**Tabulka 16: Úrovně datové jistoty při hodnocení syntetických paliv**

Úroveň dat	Charakteristika	Vhodné použití ve studii
Ověřená provozní data	Data z konkrétního provozu, auditovaná nebo certifikovaná	Kvantitativní LCA, certifikace, regulační dokládání
Projektová nebo demonstrační data	Data z pilotního nebo demonstračního zařízení	Orientační LCA, scénáře, citlivostní analýza
Literatura a veřejné databáze	Publikované hodnoty, studie, průměry	Rešeršní srovnání a rámcové posouzení
Expertní odhad	Hodnoty založené na předpokladech	Pouze jako doplněk a vždy s označením nejistoty
Neznámá nebo nedoložitelná data	Chybějící vstupní údaje	Nevhodné pro přesné kvantitativní závěry

Tabulka 16 rozlišuje úrovně datové jistoty. Toto členění je důležité pro interpretaci výsledků, protože jinou váhu má ověřené provozní měření a jinou expertní předpoklad použitý pro scénářové posouzení.

## 5.9 Alokace, vedlejší produkty a metodické volby

Výroba syntetických paliv může generovat více produktů a vedlejších toků. Fischer–Tropschova syntéza může produkovat různé uhlovodíkové frakce. Elektrolýza vytváří vedle vodíku také kyslík. Některé procesy mohou produkovat využitelné teplo. Syntéza methanolu může být propojena s další chemickou výrobou. V takových případech je nutné rozhodnout, jak rozdělit emise a energetické vstupy mezi hlavní produkt a vedlejší produkty.

Tento problém se označuje jako alokace. Alokace může být založena na energetickém obsahu, hmotnosti, ekonomické hodnotě, substitučním přístupu nebo jiném pravidle. ISO 14044 věnuje alokaci zvláštní pozornost, protože volba alokační metody může významně ovlivnit výsledek LCA [20]. U syntetických paliv je tato otázka zvláště citlivá, protože některé technologické cesty produkují směs produktů s rozdílným využitím a rozdílnou ekonomickou hodnotou.

Pro tuto studii je důležité, aby alokační pravidla byla vždy transparentní. Pokud se uvažuje o emisní intenzitě e-dieselu, e-SAF, e-methanolu nebo syntetického metanu, musí být jasné, jak byly započteny vedlejší produkty, nevyužité plyny, recyklace vstupů, teplo nebo případné kredity. Bez tohoto vysvětlení nelze výsledky spolehlivě srovnávat mezi jednotlivými palivovými cestami.

## 5.10 Citlivostní analýza a scénářové hodnocení

Syntetická paliva jsou silně citlivá na několik vstupních parametrů. Největší vliv mají obvykle emisní faktor elektřiny, účinnost elektrolýzy, původ CO<sub>2</sub>, účinnost syntézy, využití kapacity zařízení, logistická konfigurace a metodika započítání vedlejších produktů. Proto je vhodné pracovat nejen s jedním výsledkem, ale také s citlivostním a scénářovým hodnocením.

Citlivostní analýza ukazuje, jak se výsledná emisní intenzita mění při změně vybraného parametru. Zjednodušeně ji lze vyjádřit následovně:

$$S_x = \frac{\Delta E_{\text{palivo}}}{\Delta x}$$

*Rovnice 4: Zjednodušené vyjádření citlivosti emisního výsledku*

kde:

$S_x$  je citlivost emisní intenzity paliva na změnu parametru  $x$

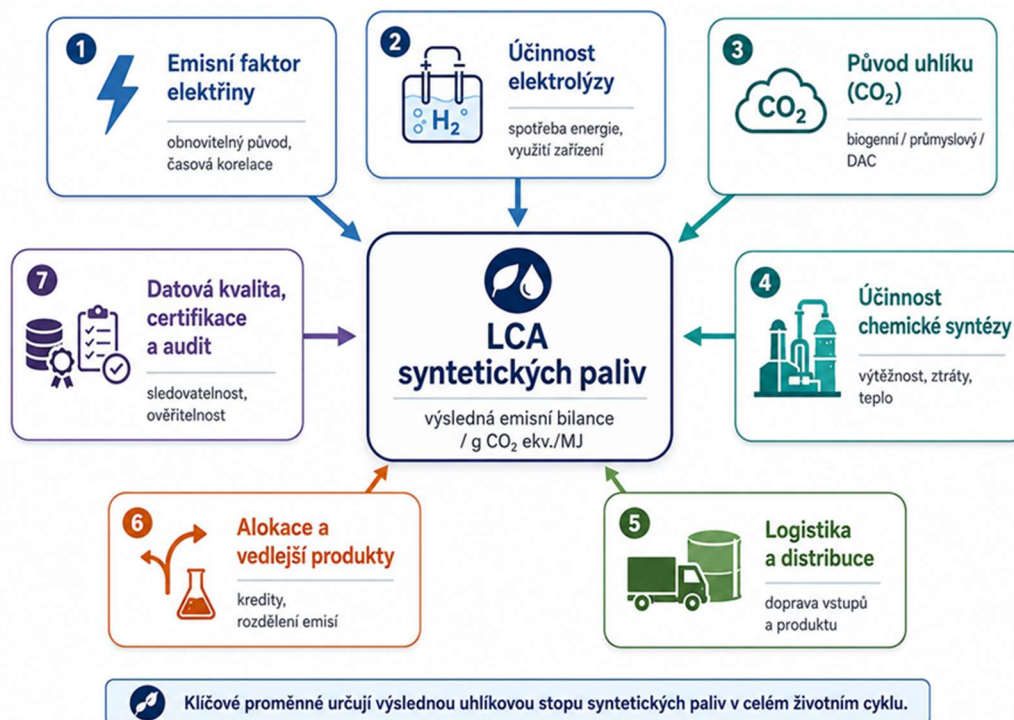
$\Delta E_{\text{palivo}}$  je změna emisní intenzity paliva

$\Delta x$  je změna vybraného vstupního parametru

Rovnice 4 nevyjadřuje plnou LCA metodiku, ale základní analytický princip. U syntetických paliv je často důležitější vědět, které parametry ovlivňují výsledek nejvíce, než prezentovat jeden izolovaný průměr. Například změna emisního faktoru elektřiny může mít zásadní dopad na výslednou uhlíkovou stopu, zatímco změna méně významného logistického vstupu může mít vliv menší.

Scénářové hodnocení umožňuje pracovat s různými realistickými kombinacemi vstupů. Může například porovnat syntetické palivo vyrobené z obnovitelné elektřiny a biogenního CO<sub>2</sub> s variantou založenou na elektřině z průměrného mixu a průmyslovém CO<sub>2</sub>. Takové srovnání je pro strategické rozhodování užitečnější než jeden univerzální výsledek.

Obrázek 5: Klíčové proměnné ovlivňující LCA syntetických paliv



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě LCA studie ČTP Bio, metodiky emisních úspor RFNBO a veřejných podkladů k e-palivům [3], [6], [15], [18].

Obrázek 5 znázorňuje hlavní proměnné, které ovlivňují emisní intenzitu syntetických paliv. Jde zejména o emisní faktor elektřiny, účinnost elektrolýzy, původ uhlíku, účinnost syntézy, logistiku, certifikaci a datovou kvalitu. Schéma ukazuje, že LCA výsledek je výsledkem více vzájemně propojených parametrů, nikoli jedné izolované hodnoty.

### 5.11 LCA citlivosti hlavních dekarbonizačních cest

Syntetická paliva je nutné hodnotit v širším kontextu dalších dekarbonizačních možností. Přímá elektrifikace, biopaliva, biosložky, vodík a syntetická paliva mají rozdílnou logiku, rozdílné emisní hotspoty a rozdílná interpretační omezení. LCA pomáhá určit, kde má konkrétní řešení největší smysl a kde může být vhodnější jiná cesta.

Přímá elektrifikace má obvykle vysokou účinnost využití energie, ale její environmentální přínos závisí na emisním faktoru elektřiny a dostupnosti infrastruktury. Biopaliva a biosložky jsou citlivé na původ biomasy, zpracování, logistiku, alokaci a udržitelnost suroviny [3]. Vodík je citlivý na způsob výroby, skladování, přepravu a koncové využití. Syntetická paliva jsou citlivá na všechny tyto prvky současně: elektřinu, vodík, uhlík, syntézu, logistiku i certifikaci.

Pro ČTP Bio z toho vyplývá, že vztah mezi biopalivy a syntetickými palivy nemá být vykládán jako jednoduchá náhrada. V některých aplikacích mohou soutěžit o stejný trh. V jiných se mohou doplňovat, například prostřednictvím biogenního CO<sub>2</sub> jako vstupu pro syntetická paliva [4]. Klíčovou otázkou proto není, zda má být preferována jedna kategorie paliv obecně, ale kde konkrétní uhlíkatý nebo energetický vstup přináší nejvyšší environmentální a průmyslovou hodnotu.

**Tabulka 17: LCA citlivosti vybraných dekarbonizačních cest**

<b>Dekarbonizační cesta</b>	<b>Hlavní LCA citlivost</b>	<b>Typický emisní hotspot</b>	<b>Interpretační omezení</b>
Přímá elektrifikace	Emisní faktor elektřiny a účinnost koncového zařízení	Výroba elektřiny a bateriový/infrastrukturní řetězec	Vhodná tam, kde je technicky a provozně proveditelná
Biopaliva a biosložky	Původ biomasy, alokace, logistika a zpracování	Zemědělská fáze, sběr suroviny, výrobní energie	Výsledky se výrazně liší podle suroviny a výrobní cesty
Vodík	Způsob výroby, skladování, přeprava a účinnost využití	Elektřina pro elektrolýzu nebo výrobní proces vodíku	Nutné rozlišovat přímé využití vodíku a vodík jako vstup pro e-paliva
Syntetická paliva	Elektřina, vodík, původ uhlíku, účinnost syntézy	Výroba vodíku, zdroj CO <sub>2</sub> , konverzní ztráty	Relevantní zejména tam, kde je potřeba kapalné či plynné palivo nebo uhlíkatá molekula
Nízkouhlíková paliva	Metodika započítání a emisní úspora vůči referenci	Výrobní řetězec a původ vstupů	Nemusí být obnovitelná, rozhoduje prokázaná emisní úspora

Tabulka 17 ukazuje, že LCA není nástrojem pro jednoduché seřazení všech technologií od nejlepší po nejhorší. Je to nástroj pro rozlišení podmínek, za nichž má konkrétní cesta environmentální smysl.

## 5.12 Dílčí závěr kapitoly

Environmentální hodnocení syntetických paliv musí vycházet z celého životního cyklu. Rozhodující není pouze typ paliva, ale emisní profil všech vstupů a procesů: elektřiny, vodíku, uhlíku nebo dusíku, syntézy, úprav produktu, logistiky a konečného využití. Právě proto je LCA nezbytným metodickým nástrojem pro posouzení, zda syntetické palivo přináší skutečný emisní přínos.

Nejdůležitějšími faktory jsou emisní intenzita elektřiny, účinnost výroby vodíku, původ uhlíku, účinnost syntézy, alokační pravidla, logistika a kvalita dat. Tyto parametry mohou výrazně změnit výsledek i u stejného typu paliva. Proto je vhodné pracovat se scénáři, citlivostní analýzou a jasným označením datové jistoty.

Pro ČTP Bio má LCA také strategický význam. Umožňuje propojit syntetická paliva s bioekonomikou, biogením CO<sub>2</sub>, hodnotovými řetězci, certifikací a digitální sledovatelností. Bez těchto prvků nebude možné doložit environmentální přínos ani regulační uznatelnost syntetických paliv. LCA tak vytváří základní kontrolní rámec pro posouzení, zda syntetické palivo obstojí nejen emisně, ale také v navazující certifikaci a tržním uplatnění.

## 6. Technické, normové a kvalitativní požadavky na hlavní syntetická paliva

Praktické uplatnění syntetických paliv závisí na tom, zda výsledný produkt splní technické parametry, normy kvality, bezpečnostní požadavky a podmínky kompatibility s infrastrukturou a koncovými zařízeními. Emisní užitelnost je nutnou, nikoli postačující podmínkou tržního využití.

Syntetické palivo může být z hlediska LCA a regulace perspektivní, ale pokud nesplní požadavky na kvalitu, stabilitu, čistotu, normovou shodu, skladování nebo bezpečnou manipulaci, nebude prakticky využitelné. U jednotlivých typů paliv se technické požadavky výrazně liší. E-diesel a syntetické uhlovodíkové frakce se posuzují zejména ve vztahu k diesellovým standardům a kompatibilitě s motory. E-SAF podléhá velmi přísnému leteckému schvalování. E-methanol a e-amoniak vyžadují odlišnou infrastrukturu, bezpečnostní režimy a provozní pravidla. Syntetický metan musí splňovat požadavky na kvalitu plynu, spalovací vlastnosti a případné vtlačení do plynárenské infrastruktury.

Pro ČTP Bio je tato kapitola důležitá proto, že propojuje analytickou rovinu studie s praktickou průmyslovou použitelností. Syntetická paliva nelze hodnotit pouze jako abstraktní dekarbonizační kategorii. Každý produkt musí být zasazen do konkrétního technického prostředí: motoru, turbíny, lodního pohonu, chemického provozu, plynárenské sítě, skladovacího systému, distribuční infrastruktury nebo certifikačního schématu.

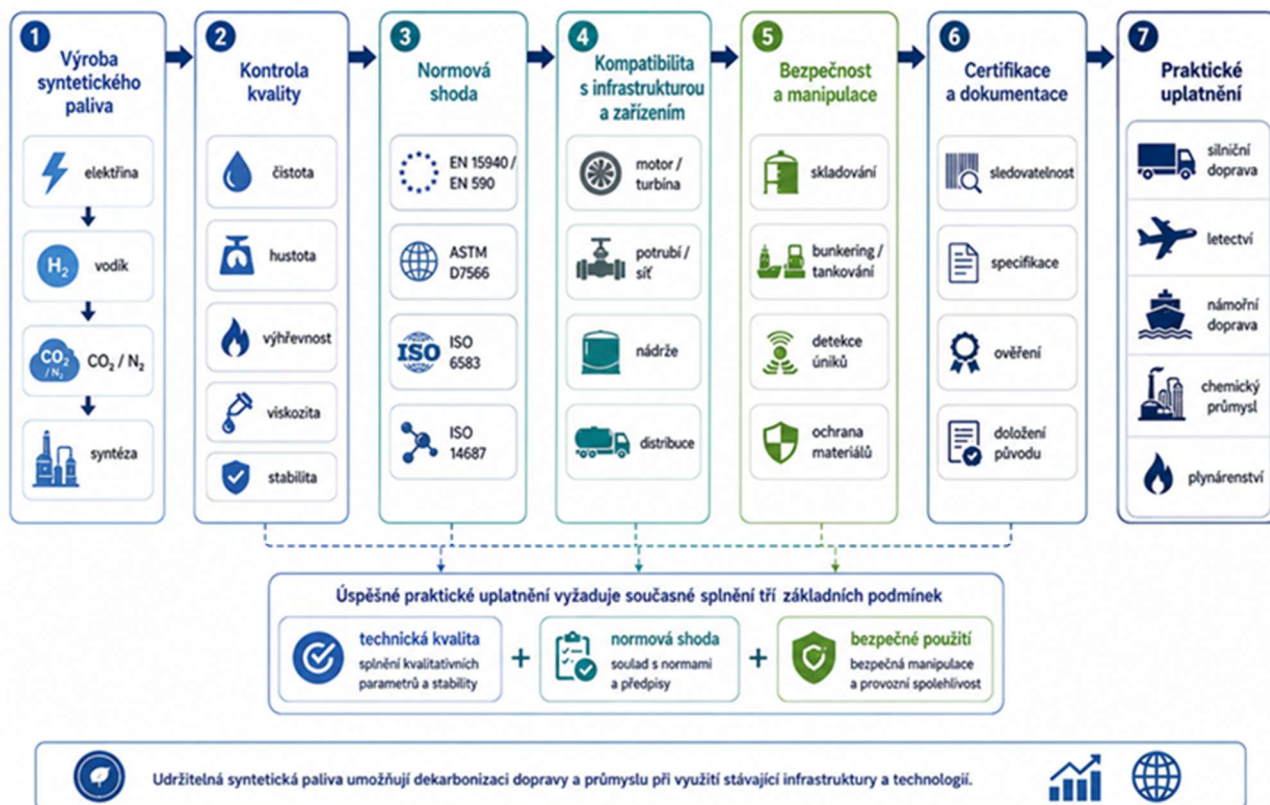
### 6.1 Od emisní užitelnosti k technické použitelnosti

V předchozích kapitolách byla syntetická paliva hodnocena především z hlediska výroby, regulace a emisní bilance. Technická použitelnost přidává další vrstvu. Palivo musí mít vhodné fyzikálně-chemické vlastnosti, musí být bezpečně skladovatelné a přepravitelné, musí splňovat požadavky příslušných norem a musí být kompatibilní s koncovým zařízením.

Technická použitelnost zahrnuje zejména hustotu, výhřevnost, viskozitu, bod vzplanutí, destilační křivku, cetanové nebo oktanové vlastnosti, obsah aromátů, síry, vody, kyslíkatých látek, nečistot a stopových kontaminantů. U plyných paliv je důležitá čistota, spalovací charakteristiky, Wobbeho číslo, tlak, obsah inertních složek a riziko úniků. U methanolu a amoniaku jsou navíc zásadní toxicita, korozivita, nízký bod vzplanutí nebo specifické požadavky na bezpečnost.

Praktická použitelnost má tři stupně: vyrobitelnost, normovou shodu a schválení pro konkrétní trh či zařízení. Reálnou tržní hodnotu vytváří až kombinace všech tří.

Obrázek 6: Od výroby syntetického paliva k jeho praktickému uplatnění



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě technických požadavků na parafinická dieselová paliva, syntetická letecká paliva, námořní paliva a standardů kvality paliv [22]–[29].

Obrázek 6 znázorňuje cestu od chemicky vyrobeného syntetického paliva k jeho praktickému použití. Palivo musí projít kontrolou kvality, ověřením normové shody, posouzením kompatibility s infrastrukturou, bezpečnostním hodnocením, certifikací a teprve následně může být uvedeno do konkrétního tržního segmentu.

## 6.2 Hlavní technické parametry syntetických paliv

Technické vlastnosti syntetických paliv určují jejich použitelnost v konkrétním zařízení. U kapalných paliv je zásadní energetická hustota, spalovací vlastnosti, nízkoteplotní chování, stabilita, mísitelnost a materiálová kompatibility. U plyných paliv je důležitá čistota, spalovací charakteristika, tlak, obsah příměsí a kompatibility se sítí nebo spalovacím zařízením. U methanolu a amoniaku vstupují do popředí také bezpečnostní a toxikologické vlastnosti.

Jedním ze základních parametrů je energetická hustota. U paliv se rozlišuje hmotnostní výhřevnost a objemová energetická hustota. Hmotnostní výhřevnost říká, kolik energie obsahuje jednotka hmotnosti paliva. Objemová energetická hustota je důležitá zejména v dopravě, protože určuje, kolik energie lze uložit v daném objemu nádrže.

$$E_{\text{objemová}} = LHV \times \rho$$

**Rovnice 5: Objemová energetická hustota paliva**

kde:

$E_{\text{objemová}}$  je objemová energetická hustota paliva

$LHV$  je dolní výhřevnost paliva vztažená na jednotku hmotnosti

$\rho$  je hustota paliva

Rovnice 5 ukazuje, proč nelze paliva porovnávat pouze podle hmotnostní výhřevnosti. Například palivo s relativně vysokou hmotnostní výhřevností může mít nižší objemovou energetickou hustotu, pokud má nízkou hustotu. V dopravě, letectví a námořní dopravě je proto objemová energetická hustota často stejně důležitá jako samotná výhřevnost.

Dalším důležitým parametrem je směšovací poměr. Řada syntetických paliv může být v první fázi uplatňována jako příměs do konvenčního paliva, nikoli jako čisté palivo. To je zvláště důležité u leteckých paliv, kde jsou povolené syntetické složky zpravidla schvalovány pro určité blending limity podle konkrétní technologické cesty. Podobně může být relevantní mísení syntetických dieselových frakcí nebo methanolu s jinými palivy.

$$x_{\text{syntetická složka}} = \frac{V_{\text{syntetická složka}}}{V_{\text{celková směs}}} \times 100$$

**Rovnice 6: Objemový podíl syntetické složky ve směsi**

kde:

$x_{\text{syntetická složka}}$  je objemový podíl syntetické složky ve směsi

$V_{\text{syntetická složka}}$  je objem syntetické složky

$V_{\text{celková směs}}$  je celkový objem výsledné palivové směsi

Tento jednoduchý vztah je prakticky důležitý pro blending, normovou shodu a certifikaci. U některých paliv nemusí být možné nebo vhodné používat 100% syntetickou složku bez dalších úprav. Výsledná směs musí splňovat požadavky na vlastnosti finálního paliva, nikoli pouze vlastnosti jednotlivé syntetické komponenty.

**Tabulka 18: Vybrané technické parametry důležité pro hlavní typy syntetických paliv**

Parametr	Význam pro použití paliva	Zvláštní relevance pro syntetická paliva
Dolní výhřevnost	Určuje energetický obsah paliva na jednotku hmotnosti	Důležitá pro dojezd, spotřebu a porovnání paliv
Hustota	Ovlivňuje objemovou energetickou hustotu	Klíčová pro dopravu a skladování

Parametr	Význam pro použití paliva	Zvláštní relevance pro syntetická paliva
Viskozita	Ovlivňuje čerpání, vstřikování a spalování	Významná u dieselových a lodních paliv
Bod vzplanutí	Bezpečnostní parametr pro skladování a manipulaci	Kritický u methanolu a dalších nízko-vzplanutelných paliv
Cetanové číslo	Charakterizuje vznětové vlastnosti dieselového paliva	Důležité u e-dieselu a parafinických dieselových paliv
Aromáty	Ovlivňují těsnění, spalování a vlastnosti leteckých paliv	Zvlášť citlivé u e-SAF
Síra a stopové nečistoty	Ovlivňují emise, katalyzátory a normovou shodu	Syntetická paliva mohou být velmi čistá, ale musí být kontrolována
Stabilita	Určuje chování při skladování	Důležitá pro distribuční řetězec a dlouhodobé použití
Materiálová kompatibilita	Vztah k těsněním, nádržím, potrubí a motorům	Zvlášť významná u methanolu, amoniaku a nových směsí

Tabulka 18 ukazuje, že technické hodnocení syntetického paliva musí být konkrétní. Nestáčí říct, že palivo je syntetické nebo obnovitelné. Je nutné doložit, že má vlastnosti odpovídající zamýšlenému použití.

### 6.3 E-diesel a parafinická dieselová paliva

E-diesel lze chápat jako syntetické kapalné uhlovodíkové palivo určené pro dieselový segment. Může vznikat například cestou Fischer–Tropschovy syntézy a navazující úpravou uhlovodíkových frakcí. Z hlediska praktického uplatnění je klíčové, zda výsledné palivo splňuje požadavky pro dieselové motory, palivovou infrastrukturu a příslušné normy.

V evropském prostředí je pro běžnou motorovou naftu relevantní norma EN 590, která stanovuje požadavky a zkušební metody pro motorovou naftu uváděnou na trh a dodávanou pro použití v dieselových vozidlech [23]. Pro parafinická dieselová paliva vyrobená syntézou nebo hydrogenačními procesy je relevantní norma EN 15940, která stanovuje požadavky a zkušební metody pro tento typ paliva [22]. CEN/CENELEC zároveň uvádí, že parafinická dieselová paliva mohou pocházet ze syntézních nebo hydrotreatingových procesů a jejich kvalita je popsána právě normou EN 15940 [22].

Parafinická dieselová paliva mají obvykle velmi nízký obsah síry a aromátů a mohou mít vysoké cetanové číslo. To může být výhodné z hlediska spalování a lokálních emisí. Současně však mohou mít odlišné vlastnosti oproti konvenční motorové naftě, například nižší hustotu nebo jiné mazivostní a materiálové charakteristiky. Proto je nutné řešit kompatibilitu s motory, palivovým systémem, těsněními a požadavky výrobců zařízení.

E-diesel proto nelze posuzovat pouze jako „syntetickou naftu“. Praktická otázka zní, zda je výsledné palivo použitelné jako čisté parafinické palivo, jako směsná složka, nebo jako

komponenta, která musí být dále upravena tak, aby splnila EN 590 nebo EN 15940. V tomto bodě se technické, normové a tržní požadavky přímo propojují.

**Tabulka 19: Technické a normové otázky u e-dieselu a parafinických dieselových paliv**

Oblast	Klíčová otázka	Význam pro uplatnění
Normová shoda	EN 590 nebo EN 15940	Určuje, zda jde o běžnou motorovou naftu, parafinické palivo nebo specifickou směs
Cetanové vlastnosti	Dostatečná vznětová kvalita	Ovlivňuje spalování, startovatelnost a chod motoru
Hustota	Srovnatelnost s konvenční naftou	Ovlivňuje energetický obsah na objem a dávkování paliva
Mazivost	Ochrana palivového systému	Důležitá pro vstřikovací systémy
Nízkoteplotní vlastnosti	Použitelnost v zimních podmínkách	Klíčová pro distribuci a provoz v evropském klimatu
Materiálová kompatibilita	Těsnění, nádrže, hadice, čerpadla	Nutná pro použití v existující infrastruktuře
Blending	Podíl syntetické složky ve směsi	Ovlivňuje normovou shodu a tržní zavedení

Tabulka 19 ukazuje, že e-diesel může být technicky atraktivní díky návaznosti na existující dieselový segment, ale jeho praktické uplatnění vyžaduje přesné normové zařazení a ověření kompatibility.

## 6.4 E-SAF a požadavky leteckého sektoru

Letecká paliva patří mezi nejpřísněji regulované palivové produkty. Důvodem jsou vysoké bezpečnostní nároky, extrémní provozní podmínky, požadavky na stabilitu, čistotu, energetickou hustotu a kompatibilitu s leteckými motory a palivovou infrastrukturou. U syntetických leteckých paliv proto nestačí, že palivo má vhodnou emisní bilanci nebo že je chemicky podobné kerosinu. Musí být schváleno podle příslušných leteckých standardů a technologických cest.

Základním standardem pro syntetické letecké palivo obsahující syntetické uhlovodíky je ASTM D7566. ASTM uvádí, že tato specifikace definuje minimální požadavky na vlastnosti leteckého turbínového paliva obsahujícího syntetizované uhlovodíky a uvádí přípustná aditiva pro civilní letecké motory a letadla [24]. ICAO v přehledu schválených konverzních procesů uvádí jednotlivé přílohy ASTM D7566, například Fischer–Tropsch SPK, HEFA-SPK, SIP, FT-SKA, ATJ-SPK a další schválené cesty [25].

Je nutné rozlišovat mezi technickou způsobilostí e-SAF a jeho regulatorním statutem. ASTM D7566 řeší technickou způsobilost syntetické letecké komponenty pro použití v letectví; RFNBO status je samostatná regulatorní otázka založená na původu energie, emisní úspoře a certifikaci výrobního řetězce. Splnění letecké palivové specifikace proto samo o sobě neznamená splnění požadavků RFNBO.

Pro e-SAF je důležité zejména to, že různé technologické cesty mají různé blending limity, složení a požadavky na výsledné palivo. Některé syntetické komponenty mohou postrádat aromatické uhlovodíky, které jsou důležité pro materiálovou kompatibilitu, zejména pro těsnění v palivovém systému. Proto nelze obecně tvrdit, že každé syntetické letecké palivo je automaticky plnohodnotnou náhradou konvenčního Jet A-1. Praktické použití závisí na konkrétní schválené cestě a výsledné směsi.

ReFuelEU Aviation vytváří poptávkový a regulatorní rámec pro SAF a syntetická letecká paliva, ale technická použitelnost zůstává vázána na letecké palivové standardy a schválení [8]. To je zásadní rozdíl oproti některým jiným palivovým segmentům. V letectví je postup zavádění nových paliv pomalejší, nákladnější a konzervativnější, ale zároveň poskytuje vysokou míru bezpečnosti a mezinárodní uznatelnosti.

**Tabulka 20: Klíčové technické požadavky u e-SAF**

Oblast	Význam	Dopad na zavádění e-SAF
ASTM D7566	Schválení syntetické letecké komponenty	Určuje, zda může být konkrétní syntetická cesta použita v civilním letectví
Blending limit	Maximální podíl syntetické složky	Omezuje rychlost náhrady konvenčního paliva
Energetická hustota	Dolet a užitečné zatížení	Zásadní pro letecký provoz
Aromatické složky	Materiálová kompatibilita a těsnění	Ovlivňuje možnost použití čistých syntetických komponent
Bod tuhnutí	Provoz ve vysokých letových hladinách	Kritický bezpečnostní parametr
Tepelná stabilita	Chování při vysokých teplotách	Důležitá pro moderní letecké motory
Čistota a kontaminace	Bezpečnost a spolehlivost	Vyžaduje přísnou kontrolu kvality

Tabulka 20 ukazuje, proč je e-SAF jednou z nejvíce technicky náročných kategorií syntetických paliv. Letecký sektor může být z hlediska poptávky velmi významný, ale technická cesta k uplatnění je přísně standardizovaná.

## 6.5 E-methanol jako palivo a chemická surovina

E-methanol má zvláštní postavení mezi syntetickými produkty, protože může sloužit jako palivo, chemická surovina i meziprodukt pro další konverzní procesy. V dopravě je nejčastěji diskutován v souvislosti s námořní dopravou. V chemickém průmyslu může být využit jako vstup pro výrobu formaldehydu, kyseliny octové, olefinů, syntetických paliv nebo dalších produktů. Právě tato dvojí role je pro ČTP Bio významná, protože propojuje palivářství, zelenou chemii a obnovitelný uhlík.

IRENA u obnovitelného methanolu zdůrazňuje jeho dvojí roli jako chemické suroviny a paliva, což odpovídá významu e-methanolu jako spojovacího článku mezi dopravou, zelenou chemií a využitím obnovitelného uhlíku [11].

Technicky má methanol zcela jiné vlastnosti než uhlovodíková kapalná paliva. Je polární, mísitelný s vodou, má nižší energetickou hustotu než diesel nebo kerosin, nízký bod vzplanutí a vyžaduje specifickou materiálovou kompatibilitu. ISO 6583:2024 definuje obecné požadavky a specifikace pro methanol jako palivo pro námořní aplikace v místě převodu vlastnictví před případnou úpravou na palubě, a to pro použití v lodních dieselových motorech, palivových článcích a dalších námořních aplikacích [28].

Z technického hlediska je u e-methanolu důležité rozlišovat mezi kvalitou paliva, kvalitou chemické suroviny a kvalitou meziprojektu pro další syntézu. Každé použití může mít jiné požadavky na čistotu, obsah vody, nečistoty, skladování a logistiku. V námořní dopravě se navíc uplatní bezpečnostní požadavky na nízkovzplanutelné palivo a úpravu bunkeringové infrastruktury.

E-methanol může být pro ČTP Bio významný také z hlediska hodnotových řetězců. Pokud je vyráběn z obnovitelného vodíku a biogenního CO<sub>2</sub>, může propojit bio-based provozy, zachycování uhlíku, Power-to-X a chemický průmysl. Jeho konečné využití by však mělo být posuzováno podle přidané hodnoty. V některých případech může být environmentálně a průmyslově vhodnější využít e-methanol jako chemickou surovinu než jako palivo ke spalování [4].

**Tabulka 21: Technické odlišnosti e-methanolu oproti uhlovodíkovým palivům**

Oblast	Charakteristika e-methanolu	Praktický dopad
Energetická hustota	Nižší než u dieselových a leteckých uhlovodíkových paliv	Vyžaduje větší objem nádrží pro stejný energetický obsah
Bod vzplanutí	Nízký bod vzplanutí	Vyžaduje zvláštní bezpečnostní a požární opatření
Mísitelnost s vodou	Methanol je hygroskopický a mísitelný s vodou	Nutná kontrola kvality, skladování a kontaminace
Materiálová kompatibilita	Odlišné požadavky na těsnění, nádrže a potrubí	Může vyžadovat úpravy infrastruktury
Toxicita	Methanol je toxický	Nutný bezpečný provozní režim a školení personálu
Dvojí role	Palivo i chemická surovina	Možnost využití v dopravě i chemickém průmyslu

Tabulka 21 ukazuje, že e-methanol není drop-in náhradou konvenčních kapalných paliv. Jeho výhodou je flexibilita využití, ale praktická aplikace vyžaduje odpovídající infrastrukturu, bezpečnostní režim a normovou specifikaci.

## 6.6 Syntetický metan a požadavky plynárenské infrastruktury

Syntetický metan může být vyráběn metanací vodíku a CO<sub>2</sub>. Jeho hlavní technickou výhodou je chemická podobnost se zemním plynem. Díky tomu může teoreticky navazovat na existující plynárenskou infrastrukturu, zásobníky, distribuční systémy a některé koncové aplikace. Praktická použitelnost však závisí na kvalitě plynu, spalovacích charakteristikách, tlaku, obsahu příměsí a souladu s požadavky plynárenské sítě.

U plyných paliv je důležitým parametrem Wobbeho číslo, které charakterizuje zaměnitelnost plyných paliv ve spalovacích zařízeních. Zjednodušeně lze Wobbeho číslo vyjádřit takto:

$$W = \frac{HHV}{\sqrt{SG}}$$

*Rovnice 7: Wobbeho číslo plynu*

kde:

**W** je Wobbeho číslo

**HHV** je horní výhřevnost plynu

**SG** je relativní hustota plynu vůči vzduchu

Wobbeho číslo je důležité proto, že spalovací zařízení jsou navržena pro určitý rozsah vlastností plynu. Pokud by syntetický metan obsahoval významné množství vodíku, CO<sub>2</sub>, inertních plynů nebo jiných příměsí, mohl by se odchýlit od požadovaných parametrů. To by mohlo ovlivnit spalování, bezpečnost, emise nebo výkon zařízení.

Z hlediska LCA a regulace syntetického metanu zůstává rozhodující původ elektřiny, vodíku a uhlíku. Z technického hlediska se přidává kvalita plynu. Syntetický metan musí být vyčištěn a upraven tak, aby splňoval požadavky na vtláčení do sítě nebo na konkrétní koncové použití. Důležité je také sledovat úniky metanu, protože i malé úniky mohou významně zhoršit klimatickou bilanci.

## 6.7 E-amoniak: technický potenciál a bezpečnostní omezení

E-amoniak se od uhlovodíkových syntetických paliv liší tím, že neobsahuje uhlík. To je jeho hlavní výhoda i důvod, proč se o něm diskutuje zejména v souvislosti s námořní dopravou a průmyslem. Pokud je vyroben z nízkoemisního nebo obnovitelného vodíku, může představovat bezuhlíkový energetický nosič nebo chemickou surovinu. Současně však patří mezi technicky a bezpečnostně nejnáročnější paliva.

Hlavním rizikem amoniaku je toxicita. EMSA ve studii k bezpečnosti amoniaku jako lodního paliva uvádí toxicitu jako hlavní riziko ve srovnání s konvenčními a alternativními palivy a upozorňuje také na korozivitu [29]. IMO vydala pro lodě používající amoniak jako palivo průběžné bezpečnostní pokyny, které řeší mimo jiné uspořádání prostor, prevenci expozice toxicitě, ochranné systémy a reakci na úniky [29].

Technicky je u amoniaku nutné řešit skladování, bunkering, materiálovou kompatibilitu, detekci úniků, větrání, havarijní systémy, ochranu posádky a emise NOx při spalování. V případě využití v palivových člancích nebo krakování zpět na vodík se přidávají další technologické kroky. E-amoniak proto nelze chápat jako jednoduchou náhradu kapalných paliv. Je to samostatný energetický nosič s vlastní technickou a bezpečnostní logikou.

Z pohledu ČTP Bio je e-amoniak relevantní spíše jako referenční případ syntetického produktu bez uhlíku. Ukazuje, že absence uhlíku v molekule neznamená automaticky snadnou použitelnost. U e-amoniaku se hlavní bariéra přesouvá z emisní a uhlíkové otázky do oblasti bezpečnosti, infrastruktury a provozního řízení.

**Tabulka 22: Technické a bezpečnostní otázky u e-amoniaku**

Oblast	Význam	Praktický dopad
Toxicita	Hlavní bezpečnostní riziko	Nutnost detekce úniků, ochrany posádky a havarijních systémů
Korozivita	Vliv na materiály a zařízení	Požadavky na vhodné materiály a pravidelnou kontrolu
Skladování	Specifické tlakové nebo teplotní podmínky	Nároky na nádrže, armatury a provozní režimy
Bunkering	Riziko úniku při doplňování paliva	Nutnost přísných bezpečnostních postupů
Spalování	Možné emise NOx a nespáleného NH <sub>3</sub>	Potřeba dodatečného řízení emisí
Infrastruktura	Odlíšná od konvenčních kapalných paliv	Vyžaduje nové řetězce dodávek a školení personálu

Tabulka 22 ukazuje, že e-amoniak může být z hlediska uhlíku atraktivní, ale jeho praktické zavádění bude podmíněno zvládnutím bezpečnostních a provozních rizik.

## 6.8 Vodík jako vstup a samostatný energetický nosič

Vodík je v této studii posuzován především jako vstup pro syntetická paliva. Zároveň však může být samostatným energetickým nosičem. To vytváří důležitou technickou otázku: kdy má smysl vodík přímo využít a kdy jej dále převádět na syntetické palivo. Každá další konverze přidává ztráty, ale může vytvořit produkt vhodnější pro konkrétní aplikaci.

Pro syntetická paliva je kvalita vodíku důležitá zejména z hlediska ochrany katalyzátorů, stability procesu a čistoty výsledného produktu. Stopové nečistoty mohou ovlivnit elektrolýzu, kompresi, skladování, syntézu methanolu, Fischer–Tropschovu syntézu i palivové články. ISO 14687 stanovuje minimální kvalitativní charakteristiky vodíkového paliva pro různé aplikace, včetně dopravního a stacionárního využití [26]. Ačkoli tato norma míří především na vodík jako palivo, ukazuje důležitost specifikace čistoty a kontaminantů u vodíkových řetězců.

Z hlediska syntetických paliv je vhodné chápat vodík jako technologický uzel. Jeho kvalita, tlak, čistota, skladování a dostupnost ovlivňují nejen LCA a ekonomiku, ale také provozní spolehlivost syntézní jednotky. Proto nelze v technickém hodnocení syntetických paliv vodík zjednodušit pouze na chemickou značku H<sub>2</sub>.

## 6.9 Drop-in, blend-in a non-drop-in paliva

Při posuzování praktické použitelnosti syntetických paliv je důležité rozlišovat mezi drop-in, blend-in a non-drop-in palivy. Drop-in palivo lze použít ve stávající infrastruktuře a koncovém zařízení bez zásadních úprav. Blend-in palivo lze použít jako složku ve směsi za určitých limitů. Non-drop-in palivo vyžaduje samostatnou infrastrukturu, bezpečnostní režim nebo úpravy koncového zařízení.

E-SAF je často vnímán jako drop-in řešení, ale ve skutečnosti se uplatňuje prostřednictvím schválených syntetických komponent a blending limitů podle konkrétní technologické cesty [24], [25]. E-diesel může být blízký drop-in řešení, pokud splní požadavky EN 590 nebo EN 15940 a je schválen pro dané motory [22], [23]. E-methanol a e-amoniak jsou typicky non-drop-in paliva, protože vyžadují specifickou infrastrukturu, bezpečnostní režimy a koncová zařízení [28], [29]. Syntetický metan může být blízký drop-in řešení v plynárenské infrastruktuře, pokud splní požadavky na kvalitu plynu.

**Tabulka 23: Praktická použitelnost hlavních syntetických paliv podle typu integrace**

Palivo	Typická použitelnost	Hlavní technická podmínka	Typické omezení
E-diesel / parafinické dieselové palivo	Drop-in nebo blend-in podle normy a schválení	EN 590 / EN 15940, kompatibilita motoru	Hustota, mazivost, materiálová kompatibilita
E-SAF	Blend-in podle schválené ASTM cesty	ASTM D7566 a navazující letecké požadavky	Blending limity, aromáty, přísná certifikace
E-methanol	Non-drop-in nebo specifická palivová cesta	ISO 6583, upravená námořní infrastruktura	Nižší energetická hustota, toxicita, nízký bod vzplanutí
Syntetický metan	Potenciálně drop-in v plynárenské infrastruktuře	Kvalita plynu, Wobbeho číslo, čistota	Úniky metanu, požadavky sítě
E-amoniak	Non-drop-in	Specifická infrastruktura a bezpečnostní režim	Toxicita, korozivita, NOx, bunkering
Vodík	Samostatná palivová/infrastrukturní cesta	Kvalita, tlak, čistota, bezpečnost	Skladování, přeprava, konverzní ztráty

Tabulka 23 shrnuje, že syntetická paliva se výrazně liší podle míry kompatibility s existující infrastrukturou. To je jeden z hlavních faktorů, který rozhoduje o rychlosti jejich zavádění.

## 6.10 Kvalita, certifikace a odpovědnost v dodavatelském řetězci

Technická kvalita syntetických paliv musí být doložena v celém dodavatelském řetězci. Nestačí, aby výrobce deklaroval způsob výroby nebo emisní úsporu. Palivo musí splnit specifikace při předání, skladování, dopravě i konečném použití. To je zvláště důležité u paliv, která mohou absorbovat vodu, degradovat, měnit vlastnosti při mísení nebo být citlivá na kontaminaci.

Certifikace kvality a certifikace emisního původu nejsou totéž. Palivo může splnit technickou normu, ale nemusí splnit požadavky RFNBO nebo nízkouhlíkové metodiky. Naopak palivo může

mít dobrý emisní profil, ale pokud nesplňuje technické požadavky, nelze jej bezpečně použít. Praktická tržní hodnota proto vzniká až kombinací technické kvality, regulační uznatelnosti a environmentální důvěryhodnosti.

V dodavatelském řetězci musí být jasně určeno, kdo odpovídá za kvalitu vstupů, kvalitu finálního paliva, skladování, mísení, přepravu, dokumentaci, certifikaci a informování koncového uživatele. U syntetických paliv může být tento řetězec složitější než u konvenčních paliv, protože zahrnuje elektřinu, vodík, CO<sub>2</sub>, chemickou syntézu, certifikaci a často více právně oddělených subjektů.

Pro ČTP Bio z toho vyplývá, že technická kvalita syntetických paliv musí být spojena s datovou sledovatelností. Bez přesné evidence původu, složení, mísení, šarží, certifikátů a provozních podmínek nebude možné spolehlivě doložit ani technickou shodu, ani emisní přínos.

## 6.11 Dílčí závěr kapitoly

Technická použitelnost syntetických paliv je samostatnou podmínkou jejich tržního uplatnění. Tržní uplatnění vyžaduje současné splnění požadavků na kvalitu, bezpečnost, normovou shodu, stabilitu, skladování, distribuci a kompatibilitu s koncovým zařízením.

Hlavní typy syntetických paliv se v tomto ohledu výrazně liší. E-diesel a parafinická diesellová paliva mohou navazovat na existující diesellový segment, ale musí být posuzována podle EN 590, EN 15940 a požadavků výrobců zařízení. E-SAF je tržně významný, ale technicky nejpřísněji regulovaný a závislý na ASTM D7566 a schválených konverzních cestách. E-methanol propojuje paliva a chemii, ale vyžaduje specifickou infrastrukturu a bezpečnostní režim. Syntetický metan je infrastrukturně atraktivní, pokud splní požadavky na kvalitu plynu. E-amoniak je bezuhlíkový, ale bezpečnostně velmi náročný.

Pro další hodnocení syntetických paliv je proto nutné vždy rozlišovat tři roviny: technickou kvalitu, environmentální bilanci a regulační uznatelnost. Pouze jejich současné splnění umožňuje, aby se syntetické palivo stalo prakticky využitelnou součástí dekarbonizačního portfolia. Další kapitola proto naváže sektorovým uplatněním syntetických paliv a posoudí, kde jednotlivé produkty dávají největší technický, tržní a strategický smysl.

## 7. Sektorové uplatnění syntetických paliv

Sektorové uplatnění syntetických paliv závisí na tom, kde molekulární palivo přináší skutečnou systémovou výhodu. Rozhodující je kombinace provozní potřeby, dostupných alternativ, infrastruktury, regulačního impulsu, emisního přínosu a tržní poptávky.

Syntetická paliva mají největší relevanci tam, kde je obtížné nahradit kapalné nebo plynné molekulární palivo přímou elektrifikací. Typicky se jedná o letectví, námořní dopravu, vybrané průmyslové aplikace, chemický průmysl a některé specifické části těžké nebo speciální dopravy. Naopak v segmentech, kde je přímá elektrifikace technicky dostupná, energeticky účinnější a infrastrukturně rychleji škálovatelná, bude role syntetických paliv spíše omezená nebo

přechodná. Tento pohled odpovídá i hodnocení IEA, podle něhož mohou nízkoemisní vodík a vodíková paliva hrát důležitou roli především v obtížně dekarbonizovatelných sektorech, zejména v těžkém průmyslu a dálkové dopravě [33].

Z hlediska ČTP Bio je důležité posuzovat syntetická paliva nejen jako palivářské řešení, ale také jako součást širšího využití obnovitelného uhlíku, biogenního CO<sub>2</sub>, bio-based chemie a hodnotových řetězců. V některých sektorech mohou syntetická paliva soutěžit s biopalivy a biosložkami. V jiných mohou naopak vytvořit návaznost, například pokud je biogenní CO<sub>2</sub> z bio-based procesů využito jako uhlíkatý vstup pro výrobu e-methanolu, e-SAF nebo jiného syntetického produktu [4].

## 7.1 Kritéria pro posouzení sektorové vhodnosti

Sektorová vhodnost syntetických paliv se neodvíjí od samotné technické použitelnosti, ale od toho, zda jejich nasazení obstojí vůči dostupným alternativám, emisní bilanci, infrastruktuře a nákladům.

Prvním kritériem je dostupnost alternativ. Pokud lze danou aplikaci efektivně elektrifikovat, bude přímé využití elektřiny zpravidla energeticky výhodnější než výroba vodíku a jeho následná konverze na syntetické palivo. Pokud je však elektrifikace technicky obtížná, například kvůli požadavku na vysokou energetickou hustotu, dlouhý dojezd, kontinuální provoz nebo existující procesní technologii, mohou syntetická paliva získat větší význam [6], [9].

Druhým kritériem je požadavek na molekulární nosič. Některé aplikace nepotřebují pouze energii, ale konkrétní chemickou molekulu. To je případ chemického průmyslu, výroby methanolu, amoniaku nebo některých uhlovodíkových surovin. V takových případech syntetická paliva a syntetické chemické produkty nejsou pouze náhradou paliva, ale součástí transformace uhlíkových a vodíkových toků v průmyslu [32].

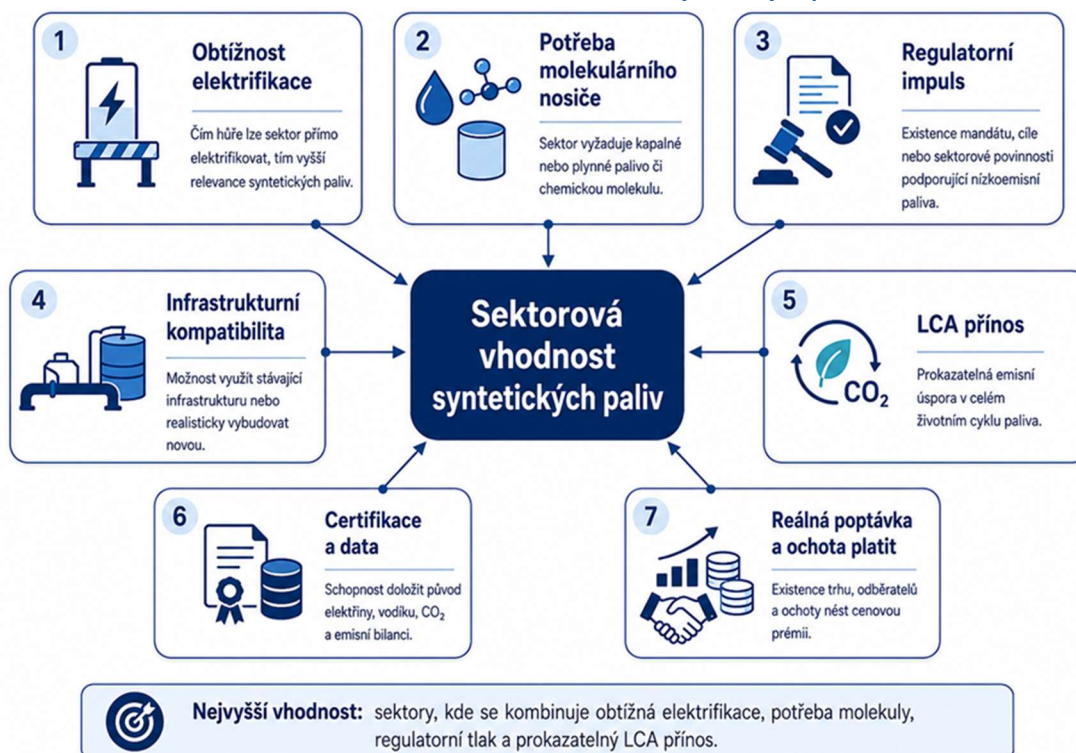
Třetím kritériem je existence regulačního impulsu. ReFuelEU Aviation vytváří konkrétní poptávkový rámec pro SAF a syntetická letecká paliva, včetně podílů syntetických leteckých paliv od roku 2030 a do roku 2050 [8]. FuelEU Maritime zase podporuje využití obnovitelných a nízkouhlíkových paliv a čistých energetických technologií v námořní dopravě [17]. Tyto sektorové rámce mohou zásadně ovlivnit tržní uplatnění syntetických paliv i tam, kde jsou jejich náklady zatím vysoké.

Čtvrtým kritériem je infrastruktura. Některá syntetická paliva mohou využít existující infrastrukturu jen částečně. E-SAF musí splnit přísné letecké požadavky a blending limity. E-methanol a e-amoniak vyžadují specifické skladování, manipulaci a bezpečnostní režimy. Syntetický metan může být infrastrukturně atraktivní, pokud splní požadavky na kvalitu plynu, ale musí být posouzen z hlediska účinnosti řetězce a úniků metanu.

Pátým kritériem je datová a certifikační proveditelnost. U syntetických paliv bude často rozhodovat nejen technická výroba, ale schopnost doložit původ elektřiny, vodíku, uhlíku,

emisní bilanci, certifikaci a započitatelnost do cílů. Bez těchto dat nemusí mít palivo regulační ani tržní hodnotu, i když bude technicky použitelné [3], [15].

Obrázek 7: Kritéria sektorové vhodnosti syntetických paliv



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě technologického, LCA, regulačního a sektorového posouzení syntetických paliv [3], [4], [6], [8], [9], [17], [33].

Obrázek 7 znázorňuje hlavní kritéria, podle nichž lze posuzovat sektorovou vhodnost syntetických paliv: obtížnost elektrifikace, potřebu molekulárního nosiče, regulační impuls, infrastrukturní kompatibilitu, emisní přínos v LCA, certifikovatelnost vstupů a existenci reálné poptávky. Největší potenciál mají syntetická paliva v sektorech, kde se těchto kritérií setkává více najednou.

## 7.2 Obecný rámec pro odhad sektorového potenciálu

Sektorový potenciál syntetických paliv lze vyjádřit jako kombinaci velikosti daného trhu, energetické náročnosti aplikace, technicky dosažitelného podílu náhrady a dostupnosti syntetického paliva. Nejde tedy pouze o otázku, zda syntetické palivo lze použít, ale také o to, v jakém objemu, v jakém časovém horizontu a za jakých podmínek.

Zjednodušeně lze potenciální spotřebu syntetického paliva v daném sektoru vyjádřit takto:

$$D_{\text{syntetické palivo}} = A_{\text{sektor}} \times EI_{\text{sektor}} \times p_{\text{náhrady}}$$

**Rovnice 8: Zjednodušené vyjádření sektorové poptávky po syntetickém palivu**

kde:

$D_{\text{syntetické palivo}}$  je potenciální poptávka po syntetickém palivu

$A_{\text{sektor}}$  je aktivita sektoru, například dopravní výkon, množství výroby nebo energetická služba

$EI_{\text{sektor}}$  je energetická intenzita dané aktivity

$p_{\text{náhrady}}$  je podíl, který může být realisticky nahrazen syntetickým palivem

Rovnice 8 je pouze orientační. V praxi by bylo nutné doplnit cenu paliva, dostupnost vstupů, infrastrukturu, regulatorní povinnost, konkurenční technologie, časový horizont, certifikaci a investiční omezení. Pro strategické posouzení však dobře ukazuje, že vysoký sektorový potenciál nevzniká jen tam, kde je velká spotřeba energie, ale tam, kde zároveň existuje realistický podíl náhrady.

**Tabulka 24: Kritéria pro posouzení sektorového uplatnění syntetických paliv**

Kritérium	Význam pro syntetická paliva	Otázka pro sektorové hodnocení
Obtížnost elektrifikace	Určuje, zda má smysl využívat energeticky náročnější molekulární palivo	Existuje technicky a ekonomicky lepší přímá elektrická alternativa?
Potřeba kapalného nebo plyného nosiče	Zvyšuje relevanci syntetických paliv v letectví, námořní dopravě a průmyslu	Vyžaduje sektor vysokou energetickou hustotu nebo molekulu?
Regulatorní impuls	Vytváří poptávku i při vyšších nákladech	Existuje mandát, cíl, povinnost nebo sektorový rámec?
Infrastrukturní kompatibilita	Ovlivňuje rychlost zavedení	Lze využít současnou infrastrukturu, nebo je nutná nová?
LCA přínos	Rozhoduje o skutečné environmentální hodnotě	Je emisní úspora prokazatelná v celém životním cyklu?
Certifikace a data	Určuje započitatelnost a tržní hodnotu	Lze doložit původ elektřiny, vodíku, CO <sub>2</sub> a finálního paliva?
Nákladová přijatelnost	Rozhoduje o reálném rozšíření	Existuje ochota platit cenovou prémii nebo kompenzační mechanismus?

Tabulka 24 ukazuje, že sektorové uplatnění syntetických paliv musí být posuzováno víceparametricky. Samotná technická použitelnost nestačí.

### 7.3 Silniční doprava

Silniční doprava je největší a nejviditelnější segment dopravní dekarbonizace, ale zároveň není automaticky nejvhodnějším trhem pro syntetická paliva. V osobní a lehké užitkové dopravě rychle postupuje přímá elektrifikace, která má z hlediska energetické účinnosti obecně výhodnější pozici než výroba vodíku a následná syntéza kapalného paliva. Evropský rámec pro nové osobní automobily a dodávky směřuje k nulovým emisím CO<sub>2</sub> z nových vozidel od roku 2035, přičemž střednědobé cíle pro rok 2030 jsou nastaveny na snížení emisí o 55 % u osobních aut a 50 % u dodávek [31].

Z toho nevyplývá, že syntetická paliva nemohou v silniční dopravě hrát žádnou roli. Jejich uplatnění však bude pravděpodobně selektivní. V osobní dopravě může jít spíše o přechodné využití ve stávajícím vozovém parku, specifické aplikace nebo segmenty, kde je provozní elektrifikace obtížná. V těžké silniční dopravě, speciální technice, pracovních strojích,

záchranných složkách, armádním využití nebo v regionech s omezenou dobíjecí infrastrukturou může být relevance syntetických kapalných paliv vyšší.

E-diesel nebo parafinická syntetická diesellová paliva mohou navázat na existující diesellový segment, pokud splní normové požadavky, kompatibilitu s motory a palivovou infrastrukturou [22], [23]. Výhodou je potenciální využití části existující infrastruktury. Omezením je vysoká energetická náročnost výroby syntetického diesellového paliva a konkurence s přímou elektrifikací nebo jinými nízkoemisními řešeními.

Pro ČTP Bio je silniční doprava relevantní zejména jako srovnávací sektor. Ukazuje, že syntetická paliva by neměla být směřována plošně tam, kde existují účinnější alternativy. Důležitější může být jejich cílené využití v segmentech, kde kapalné palivo zůstává prakticky potřebné a kde lze doložit emisní přínos v celém životním cyklu.

## 7.4 Letecká doprava

Letecká doprava patří mezi nejvýznamnější sektory pro budoucí uplatnění syntetických paliv. Důvodem je obtížná elektrifikace střednědobých a dálkových letů, potřeba kapalného paliva s vysokou energetickou hustotou, dlouhá životnost letecké techniky a přísné požadavky na palivovou infrastrukturu. Právě zde má e-SAF jednu z nejjasnějších regulatorních a technických logik.

ReFuelEU Aviation stanovuje postupné navýšování podílu udržitelných leteckých paliv na letištích v EU. Evropská komise uvádí 2% podíl SAF od roku 2025 a 70% podíl SAF do roku 2050. Pro syntetická letecká paliva je stanovena zvláštní trajektorie: 1,2 % od roku 2030 a 35 % od roku 2050 [8]. Tyto cíle vytvářejí dlouhodobý poptávkový rámec pro e-SAF a současně signalizují, že syntetická letecká paliva mají být v EU samostatnou součástí dekarbonizace letectví.

Technickou bariérou letectví je přísné schvalování paliv. E-SAF musí odpovídat schváleným konverzním cestám a palivovým specifikacím, zejména standardu ASTM D7566 [24], [25]. V praxi to znamená, že ani regulatorní poptávka sama o sobě nestačí. Výrobci musí dodat palivo, které splní bezpečnostní, kvalitativní, materiálové a provozní požadavky leteckého sektoru.

Z hlediska hodnotových řetězců může být e-SAF významný také pro bioekonomiku. Pokud je uhlíkatým vstupem biogenní CO<sub>2</sub>, vzniká přímá vazba mezi bio-based procesy, Power-to-X technologiemi a leteckými palivy [4]. To může být strategicky významné pro země a sektory, které mají dostupné koncentrované biogenní CO<sub>2</sub> toky a zároveň chtějí rozvíjet nízkoemisní letecká paliva.

Hlavní rizika e-SAF spočívají v dostupnosti obnovitelné elektřiny, ceně vodíku, dostupnosti vhodného uhlíku, technologickém škálování a nákladech. Z pohledu sektorové vhodnosti je však letectví jedním z nejsilnějších kandidátů pro syntetická paliva, protože kombinuje obtížnou elektrifikaci, vysokou potřebu kapalného paliva, jasný regulatorní impuls a existující mezinárodní palivový režim.

## 7.5 Námořní doprava

Námořní doprava je dalším významným sektorem pro syntetická a nízkouhlíková paliva. Velká plavidla a dlouhé trasy vyžadují vysokou energetickou kapacitu a spolehlivé palivové řetězce. Přímá elektrifikace může být vhodná pro menší lodě, trajekty nebo krátké trasy, ale u oceánské a dálkové námořní dopravy zůstává potřeba kapalných nebo plyných paliv výrazná.

FuelEU Maritime podporuje využívání obnovitelných a nízkouhlíkových paliv a čistých energetických technologií pro lodě v rámci EU [17]. Evropská komise tento rámec popisuje jako součást balíčku Fit for 55, který má podpořit dekarbonizaci námořní dopravy prostřednictvím obnovitelných a nízkouhlíkových paliv [17]. Vedle EU rámce se vyvíjí také globální rámec IMO. IMO Net-Zero Framework pracuje s globálním palivovým standardem, který má postupně snižovat emisní intenzitu lodních paliv v životním cyklu [30].

Pro syntetická paliva jsou v námořní dopravě nejčastěji diskutovány e-methanol, e-amoniak, syntetický metan a případně syntetické kapalné uhlovodíky. E-methanol má výhodu relativně zvládnutelné manipulace oproti některým jiným alternativám a může navázat na rozvíjející se standardy pro methanol jako lodní palivo [28]. E-amoniak neobsahuje uhlík, ale je toxický a bezpečnostně náročný [29]. Syntetický metan může využít zkušenosti s plynými palivy, avšak je nutné sledovat úniky metanu a celkovou účinnost řetězce.

Vedle specifických požadavků pro methanol nebo amoniak je nutné v námořním sektoru sledovat také obecný rámec kvality námořních paliv, zejména normy řady ISO 8217 [27].

Námořní doprava je sektor, kde může být infrastruktura pro nová paliva budována koncentrovaně v přístavech a na vybraných trasách. To může zjednodušit zavádění e-methanolu nebo e-amoniaku oproti silniční dopravě, kde je infrastruktura plošně rozsáhlejší. Zároveň však námořní sektor vyžaduje robustní mezinárodní standardy, dostupnost paliv v přístavech, bezpečnostní školení a jasné odpovědnosti v dodavatelském řetězci.

Pro ČTP Bio je námořní doprava relevantní zejména v souvislosti s e-methanolem, biogenním CO<sub>2</sub> a chemickým průmyslem. Methanol může fungovat jako palivo i jako chemická surovina, což umožňuje propojit námořní palivový trh s průmyslovými hodnotovými řetězci [28].

## 7.6 Chemický průmysl a průmyslové využití uhlíku

Chemický průmysl je pro syntetická paliva a syntetické produkty mimořádně důležitý, protože často nepotřebuje pouze energii, ale konkrétní molekulární vstupy. Methanol, amoniak, syntézní plyn, uhlovodíkové meziprodukty a vodík jsou základními stavebními prvky řady chemických výrob. Proto může být v chemii vhodnější uvažovat o syntetických produktech nikoli jako o palivech ke spalování, ale jako o náhradě fosilních surovin.

IEA označuje chemický sektor za oblast, kde dekarbonizace vyžaduje více cest, včetně energetické účinnosti, elektrifikace, nízkemisního vodíku, využití CO<sub>2</sub>, změn surovinové základny a zachycování uhlíku [32]. U amoniaku, methanolu a dalších základních chemikálií je role vodíku, uhlíku a procesních emisí klíčová [32].

E-methanol může být v chemickém průmyslu významný jako nízkoemisní surovina pro výrobu dalších chemikálií nebo jako meziprodukt pro syntetická paliva. E-amoniak může nahradit konvenční amoniak vyrobený z fosilního vodíku, pokud je vstupní vodík nízkoemisní nebo obnovitelný. Syntetické uhlovodíky mohou sloužit jako vstup do navazujících chemických a rafinérských procesů. V těchto aplikacích má smysl hodnotit nejen energetickou účinnost, ale také materiálovou hodnotu uhlíku a dlouhodobost jeho využití.

Pro ČTP Bio je chemický průmysl strategický zejména kvůli obnovitelnému uhlíku. Biogenní CO<sub>2</sub>, biosložky a bio-based meziprodukty mohou vytvářet vstupy pro nové průmyslové hodnotové řetězce. Otázkou je, kde má obnovitelný uhlík nejvyšší přidanou hodnotu: zda jako palivo, chemická surovina, materiálový vstup nebo meziprodukt pro další syntézu. Z hlediska LCA může být materiálové využití uhlíku v některých případech výhodnější než jeho rychlé spálení, ale vždy záleží na konkrétním výrobním řetězci [3], [4].

## 7.7 Plynárenství, syntetický metan a ukládání energie

Syntetický metan může být relevantní pro plynárenský sektor, protože je chemicky blízký zemnímu plynu a může být potenciálně využit v existující infrastruktuře. Jeho výroba metanací vodíku a CO<sub>2</sub> vytváří možnost převést elektřinu do plynného nosiče, který lze skladovat, přepravovat a využívat v některých stávajících aplikacích.

Výhodou syntetického metanu je infrastrukturní kompatibilita. Pokud splní požadavky na kvalitu plynu, může navázat na plynárenské sítě, zásobníky a koncová zařízení. To může být zajímavé zejména pro sezónní ukládání energie, průmyslové použití nebo aplikace, kde je plyn obtížně nahraditelný. Nevýhodou je však nižší účinnost celého řetězce oproti přímému využití elektřiny nebo v některých případech přímému využití vodíku.

Syntetický metan musí být vždy posuzován z hlediska celého životního cyklu. Rozhodující je emisní intenzita elektřiny, způsob výroby vodíku, původ CO<sub>2</sub>, účinnost metanace, emise při kompresi, skladování a distribuci a zejména riziko úniků metanu [3], [6]. Malé úniky mohou významně zhoršit klimatickou bilanci, protože metan má vysoký skleníkový potenciál.

Pro ČTP Bio je syntetický metan relevantní spíše jako součást širší debaty o Power-to-X, biogenním CO<sub>2</sub> a propojení energetiky s hodnotovými řetězci. Nemusí být prioritním produktem z hlediska bio-based chemie, ale může být důležitý pro pochopení systémových vazeb mezi elektřinou, vodíkem, uhlíkem a infrastrukturou.

## 7.8 Speciální, pracovní a obtížně elektrifikovatelné aplikace

Vedle velkých sektorů, jako je letectví, námořní doprava a chemický průmysl, mohou syntetická paliva najít uplatnění ve specifických aplikacích. Patří sem pracovní stroje, stavební a těžební technika, zemědělská technika, záchranné složky, obranné aplikace, záložní zdroje, vzdálené provozy a některé formy železniční nebo neveřejné dopravy.

Společným znakem těchto aplikací je často vysoký výkon, dlouhá doba provozu, potřeba rychlého doplnění energie, omezený přístup k dobíjecí infrastruktuře nebo požadavek na

dlouhodobé skladování paliva. V takových případech může být kapalné nebo plynné syntetické palivo provozně výhodnější než čistě bateriové řešení, i když má nižší celkovou energetickou účinnost.

Tento segment však nesmí být nadhodnocen. Objemově nemusí jít o největší trh. Jeho význam může spočívat spíše v tom, že syntetická paliva umožní dekarbonizovat aplikace, pro které neexistuje jednoduchá alternativa. Z hlediska ČTP Bio je vhodné tyto aplikace sledovat jako doplňkový trh, nikoli jako hlavní zdroj poptávky.

## 7.9 Sektorová prioritizace hlavních syntetických paliv

Syntetická paliva se liší podle sektorové vhodnosti. E-SAF má nejsilnější vazbu na letectví. E-methanol má význam pro námořní dopravu a chemii. E-amoniak je relevantní zejména pro námořní dopravu a průmysl, ale bezpečnostně náročný. Syntetický metan může být relevantní pro plynárenství a ukládání energie, ale jeho LCA je citlivé na účinnost řetězce a úniky metanu. E-diesel nebo syntetické parafinické dieselové frakce mohou být zajímavé pro vybrané části dieselového segmentu, ale budou konkurovat elektrifikaci a dalším řešením.

**Tabulka 25: Orientační sektorová relevance hlavních syntetických paliv**

Syntetické palivo / produkt	Silniční doprava	Letecká doprava	Námořní doprava	Chemický průmysl	Plynárenství / energetika	Hlavní poznámka
E-diesel / parafinické dieselové frakce	Střední	Nízká	Nízká až střední	Nízká	Nízká	Vhodné spíše pro specifické dieselové aplikace než plošnou osobní dopravu
E-SAF	Nízká	Vysoká	Nízká	Nízká	Nízká	Nejsilnější regulační a technická logika v letectví
E-methanol	Nízká	Nízká	Vysoká	Vysoká	Nízká	Dvojitá role jako palivo a chemická surovina
Syntetický metan	Nízká až střední	Nízká	Střední	Střední	Vysoká	Závisí na kvalitě plynu, účinnosti a úniku metanu
E-amoniak	Nízká	Nízká	Střední až vysoká	Vysoká	Střední	Bezuhlíkový produkt, ale bezpečnostně náročný
Vodík jako vstup	Střední	Nepřímo	Nepřímo	Vysoká	Vysoká	Klíčový vstup pro e-paliva a průmyslové řetězce

Tabulka 25 není finálním pořadím technologií, ale orientačním mapováním sektorové relevance. Skutečné pořadí se může lišit podle ceny elektřiny, dostupnosti vodíku, původu CO<sub>2</sub>, infrastruktury, certifikace a národních politik.

## 7.10 Časové horizonty uplatnění

Sektorové uplatnění syntetických paliv je nutné posuzovat v časových horizontech. Krátkodobě lze očekávat spíše pilotní, demonstrační a omezeně komerční projekty. Střednědobě může růst význam sektorů s jasným regulačním impulzem, zejména letectví a námořní dopravy. Dlouhodobě může být širší uplatnění podmíněno poklesem nákladů, rozvojem obnovitelné

elektřiny, škálováním výroby vodíku, dostupností certifikovaného CO<sub>2</sub> a vytvořením stabilních trhů.

**Tabulka 26: Pravděpodobný časový horizont uplatnění syntetických paliv podle sektorů**

Sektor	Krátkodobý horizont	Střednědobý horizont	Dlouhodobý horizont	Hlavní podmínka rozvoje
Letecká doprava	Pilotní a první komerční dodávky SAF/e-SAF	Růst díky ReFuelEU Aviation	Významný podíl syntetických leteckých paliv	Výroba e-SAF, certifikace, cena a dostupnost vstupů
Námořní doprava	Testování e-methanolu, e-amoniaku a dalších paliv	Rozvoj přístavní infrastruktury a FuelEU Maritime	Diverzifikovaný mix nízkouhlíkových lodních paliv	Bezpečnost, bunkering, cena paliva, globální pravidla
Chemický průmysl	Pilotní e-methanol, nízkoemisní vodík a CO <sub>2</sub> řetězce	Rozvoj obnovitelného uhlíku a nízkoemisních surovin	Systémová náhrada části fosilních vstupů	Dostupnost vodíku, CO <sub>2</sub> , elektřiny a odběratelských řetězců
Silniční doprava	Omezené využití ve specifických segmentech	Selektivní použití v těžších a speciálních aplikacích	Spíše doplňková role	Konkurence elektrifikace a cena e-paliv
Plynárenství	Pilotní metanace a demonstrační projekty	Možné využití v síti nebo zásobnících	Specifická role v ukládání energie a průmyslu	Účinnost, kvalita plynu, úniky metanu, regulace
Speciální aplikace	Testování a jednotlivé projekty	Cílené využití tam, kde chybí alternativa	Stabilní doplňkový segment	Provozní potřeba, logistika, bezpečnost, cena

Tabulka 26 ukazuje, že syntetická paliva nebudou vstupovat do všech sektorů stejně rychle. Nejsilnější střednědobý impuls lze očekávat tam, kde se potkává obtížná elektrifikace se sektorovou regulací a vysokou hodnotou paliva.

## 7.11 Dílčí závěr kapitoly

Sektorové uplatnění syntetických paliv bude selektivní. Největší potenciál mají v aplikacích, kde je obtížné využít přímou elektrifikaci, kde je nutné kapalné nebo plynné palivo s vysokou energetickou hustotou, kde existuje regulatorní poptávka a kde lze doložit emisní přínos v životním cyklu. Z tohoto pohledu patří mezi nejperspektivnější oblasti letectví, námořní doprava, chemický průmysl, vybrané průmyslové aplikace a některé specifické části těžké nebo pracovní dopravy.

Naopak plošné využití syntetických paliv v osobní silniční dopravě se jeví jako méně pravděpodobné, protože zde rychle postupuje přímá elektrifikace a energetická účinnost e-paliv je méně příznivá. To neznamená, že syntetická paliva nebudou v silniční dopravě využitelná vůbec, ale jejich role bude spíše doplňková, cílená a závislá na konkrétním segmentu.

Pro ČTP Bio je klíčové sledovat zejména vazbu syntetických paliv na biogenní CO<sub>2</sub>, bio-based chemii, e-methanol, e-SAF a obnovitelný uhlík. Právě zde může vznikat propojení mezi dosavadní agendou biopaliv a biosložek a širší transformací chemického a palivového průmyslu. Sektorová vhodnost se proto musí vždy spojit s ekonomickou udržitelností, regulatorní udržitelností a existencí konkrétní poptávky.

## 8. Ekonomické, investiční a tržní podmínky rozvoje syntetických paliv

Ekonomika syntetických paliv vzniká v celém řetězci vstupů, technologií, certifikace a odbytu. Cena finálního produktu nevzniká pouze v syntézní jednotce, ale už u elektřiny, vodíku, CO<sub>2</sub>, kapitálových nákladů, logistiky a schopnosti zajistit odběratele.

Ekonomika syntetických paliv je specifická tím, že kombinuje několik nákladově náročných prvků najednou: výrobu obnovitelné nebo nízkoemisní elektřiny, výrobu vodíku, zajištění uhlíkatého nebo dusíkatého vstupu, chemickou syntézu, úpravu produktu, certifikaci, logistiku a tržní uplatnění. Výsledná cena proto není určena jedním parametrem, ale celým hodnotovým řetězcem. IEA ve svém hodnocení vodíku uvádí, že nízkoemisní vodík zatím čelí významné nákladové mezeře vůči fosilním alternativám, a zároveň upozorňuje, že dopad vyšší ceny vodíku se v některých finálních produktech může v hodnotovém řetězci relativně zmenšovat [34].

Z pohledu ČTP Bio je ekonomické hodnocení důležité nejen kvůli ceně finálního paliva, ale také kvůli rozhodování, kde má smysl směřovat obnovitelný uhlík, biogenní CO<sub>2</sub>, vodík a nízkoemisní energii. Syntetická paliva nebudou ekonomicky vhodná ve všech aplikacích. Jejich tržní význam lze očekávat zejména tam, kde se potkává obtížná elektrifikace, regulatorní poptávka, vysoká hodnota produktu, dostupná infrastruktura, prokazatelná emisní úspora a ochota trhu nést cenovou prémii.

### 8.1 Struktura nákladů syntetických paliv

Náklady syntetického paliva lze chápat jako součet nákladů na vstupy, kapitálové náklady, provozní náklady, logistiku, certifikaci a financování. Vstupními náklady jsou zejména elektřina, voda, vodík, CO<sub>2</sub> nebo dusík, případně další pomocné látky. Kapitálové náklady zahrnují elektrolyzátor, zařízení pro zachycení nebo úpravu CO<sub>2</sub>, syntézní jednotku, kompresi, skladování, úpravu produktu a napojení na infrastrukturu. Provozní náklady zahrnují údržbu, obsluhu, spotřebu energií, katalyzátory, chemikálie, revize, monitoring a certifikaci.

U syntetických paliv je typické, že významnou část nákladů tvoří elektřina a vodík. IRENA upozorňuje, že elektřina představuje významnou část výrobních nákladů zeleného vodíku a že snižování nákladů na obnovitelnou elektřinu a elektrolyzéry je klíčové pro ekonomiku zeleného vodíku [35]. Protože vodík je hlavním vstupem většiny syntetických paliv, promítá se jeho cena přímo do ceny e-dieselu, e-SAF, e-methanolu, syntetického metanu i e-amoniaku.

Zjednodušeně lze jednotkové výrobní náklady syntetického paliva vyjádřit takto:

$$C_{\text{palivo}} = \frac{C_{\text{elektřina}} + C_{\text{vodík}} + C_{\text{uhlík/dusík}} + C_{\text{syntéza}} + C_{\text{úprava}} + C_{\text{logistika}} + C_{\text{certifikace}} + C_{\text{kapitál}}}{MJ_{\text{palivo}}}$$

**Rovnice 9: Zjednodušené vyjádření jednotkových nákladů syntetického paliva**

kde:

$C_{\text{palivo}}$  jsou jednotkové náklady syntetického paliva

$C_{\text{elektřina}}$  představuje náklady na elektřinu použitou v celém řetězci

$C_{\text{vodík}}$  představuje náklady na výrobu, úpravu, skladování a případnou dopravu vodíku

$C_{\text{uhlík/dusík}}$  představuje náklady na získání a úpravu CO<sub>2</sub>, CO, syntézního plynu, dusíku nebo jiného vstupu

$C_{\text{syntéza}}$  zahrnuje provozní náklady chemické syntézy

$C_{\text{úprava}}$  zahrnuje náklady na finální úpravu, rafinaci, separaci nebo blending

$C_{\text{logistika}}$  zahrnuje náklady na skladování, dopravu a distribuci

$C_{\text{certifikace}}$  zahrnuje náklady na monitoring, reporting, audit a dokládání původu

$C_{\text{kapitál}}$  představuje roční nebo jednotkově přepočtené kapitálové náklady

$MJ_{\text{palivo}}$  je energetický obsah vyrobeného paliva

Rovnice 9 je zjednodušená a neslouží jako finanční model. Ukazuje však, že cena syntetického paliva vzniká ve více částech řetězce. Pokud se hodnotí pouze cena vodíku nebo pouze cena elektřiny, výsledek může podcenit náklady na CO<sub>2</sub>, syntézu, úpravu produktu, logistiku, certifikaci a kapitál.

**Tabulka 27: Hlavní nákladové složky syntetických paliv**

Nákladová složka	Co zahrnuje	Význam pro výslednou cenu
Elektřina	Elektřina pro elektrolýzu, kompresi, zachycení CO <sub>2</sub> , úpravu plynů a provoz zařízení	Obvykle jeden z nejcitlivějších parametrů
Vodík	Elektrolyzér, voda, elektřina, provoz, skladování, případná doprava	Klíčový vstup většiny syntetických paliv
Uhlíkatý nebo dusíkatý vstup	Zachycení, čištění, komprese a doprava CO <sub>2</sub> ; výroba nebo separace N <sub>2</sub>	Rozhoduje o nákladech a regulatorní hodnotě produktu
Chemická syntéza	Reaktory, katalyzátory, teplo, tlak, separace, recyklace plynů	Ovlivňuje výtěžnost, ztráty a kapitálovou náročnost
Úprava produktu	Rafinace, izomerace, separace, blending, kontrola kvality	Nutná pro normovou shodu a praktické použití
Logistika	Skladování, doprava vstupů a finálního paliva, napojení na infrastrukturu	Závisí na prostorové konfiguraci řetězce
Certifikace a data	Monitoring, audit, evidence původu, RFNBO/LCA dokládání	Podmínka tržní a regulatorní uznatelnosti
Kapitál a financování	Investice, náklady kapitálu, riziková přírážka, využití kapacity	Významné zejména u raných projektů s nejistou poptávkou

Tabulka 27 ukazuje, že syntetická paliva mají nákladově komplexní povahu. Ekonomická optimalizace proto nemůže být zaměřena pouze na jednu technologii, ale musí zahrnovat celý řetězec od elektřiny po koncový trh.

## 8.2 Cena elektřiny a výroba vodíku jako hlavní ekonomický uzel

Cena elektřiny a náklady na výrobu vodíku jsou jedním z hlavních ekonomických uzlů syntetických paliv. Vodík je vstupem pro Fischer–Tropschova paliva, e-methanol, syntetický metan i e-amoniak. Pokud je vodík drahý, bude drahé i finální syntetické palivo. Pokud je vodík levnější, ale není dostatečně nízkoemisní nebo certifikovatelný, může se zhoršit regulační hodnota a LCA výsledek.

Náklady na vodík vyrobený elektrolýzou závisí zejména na ceně elektřiny, účinnosti elektrolýzy, investičních nákladech elektrolyzátoru, využití kapacity, nákladech kapitálu, provozních nákladech a případných nákladech na skladování nebo dopravu. IEA uvádí, že globální výroba vodíku dosáhla v roce 2024 téměř 100 Mt, přičemž nízkoemisní vodík stále tvořil méně než 1 % celkové výroby [34]. IEA zároveň v roce 2025 snížila odhad potenciální výroby nízkoemisního vodíku zoznamovaných projektů do roku 2030 z 49 Mtpa na 37 Mtpa, což potvrzuje, že dostupnost nízkoemisního vodíku zůstává jedním z hlavních omezení pro syntetická paliva. Tyto údaje potvrzují, že přechod na nízkoemisní vodík je teprve v rané fázi a že dostupnost certifikovaného vodíku bude pro syntetická paliva rozhodujícím vstupním faktorem.

Zjednodušeně lze náklad vodíku vyrobeného elektrolýzou popsat následovně:

$$C_{H_2} = \frac{S_{\text{elektřina}, H_2} \times P_{\text{elektřina}} + C_{\text{elektrolyzátor}} + C_{\text{provoz}} + C_{\text{skladování/doprava}}}{kg_{H_2}}$$

*Rovnice 10: Zjednodušené vyjádření nákladů na vodík z elektrolýzy*

kde:

$C_{H_2}$  jsou jednotkové náklady na vodík

$S_{\text{elektřina}, H_2}$  je spotřeba elektřiny na výrobu vodíku

$P_{\text{elektřina}}$  je cena elektřiny

$C_{\text{elektrolyzátor}}$  jsou jednotkově přepočtené kapitálové náklady elektrolyzátoru

$C_{\text{provoz}}$  zahrnuje provoz a údržbu

$C_{\text{skladování/doprava}}$  zahrnuje náklady na skladování, kompresi a dopravu

$kg_{H_2}$  je množství vyrobeného vodíku

Rovnice 10 ukazuje, že ekonomika vodíku je velmi citlivá na využití elektrolyzátoru. Vyšší využití kapacity rozkládá kapitálové náklady na větší objem produkce, ale u RFNBO může být omezeno pravidly pro původ elektřiny, časovou korelaci a geografickou korelaci. Nižší využití může zlepšit regulační čistotu vstupu, ale zhoršit jednotkovou cenu vodíku. To je jeden z hlavních ekonomických kompromisů syntetických paliv.

### 8.3 Náklady na uhlík a význam biogenního CO<sub>2</sub>

U syntetických uhlovodíkových paliv je vedle vodíku klíčovým vstupem uhlík. Náklady na uhlíkatý vstup zahrnují zachycení CO<sub>2</sub>, jeho čištění, sušení, kompresi, skladování, dopravu a certifikaci původu. Ekonomická hodnota CO<sub>2</sub> proto není dána pouze tím, že je fyzicky dostupný. Rozhodující je jeho čistota, koncentrace, lokalita, původ, emisní a regulační status a možnost dlouhodobého smluvního zajištění.

Biogenní CO<sub>2</sub> může být z pohledu ČTP Bio strategicky významný, protože propojuje bio-based procesy se syntetickými palivy a obnovitelným uhlíkem [4]. Pokud vzniká jako koncentrovaný proud v bioetanolovém, bioplynovém, fermentačním nebo jiném bio-based provozu, může být technicky a ekonomicky zajímavější než velmi zředěné zdroje CO<sub>2</sub>. Zároveň však musí být doložen jeho biogenní původ a celý řetězec zachycení a využití musí dávat smysl i z hlediska LCA [3].

Ekonomika CO<sub>2</sub> se liší podle zdroje. Koncentrované průmyslové nebo biogenní proudy mohou mít nižší náklady na zachycení než přímé zachytávání CO<sub>2</sub> ze vzduchu. Přímé zachytávání ze vzduchu může být z klimatického hlediska atraktivní, ale je energeticky a nákladově náročnější. Průmyslový CO<sub>2</sub> může být dostupný ve větších objemech, ale jeho dlouhodobá regulační hodnota může být nejistá, zejména pokud pochází z fosilního procesu.

*Tabulka 28: Ekonomické a strategické rozdíly mezi zdroji CO<sub>2</sub> pro syntetická paliva*

Zdroj CO <sub>2</sub>	Ekonomická výhoda	Hlavní ekonomické riziko	Strategická relevance pro ČTP Bio
Biogenní CO <sub>2</sub> z koncentrovaných proudů	Potenciálně nižší náklady na zachycení a silná vazba na obnovitelný uhlík	Omezené objemy, nutnost certifikace a logistického propojení	Vysoká – propojuje bioekonomiku, biosložky a Power-to-X
Průmyslový CO <sub>2</sub>	Dostupnost větších objemů a průmyslová integrace	Regulační nejistota původu uhlíku a riziko závislosti na fosilním procesu	Střední – významné pro CCU a chemický průmysl
CO <sub>2</sub> ze vzduchu	Nezávislost na bodových emisních zdrojích	Vysoká energetická a investiční náročnost	Dlouhodobá – vhodné spíše pro budoucí uzavřenější uhlíkový cyklus
CO / syntézní plyn	Přímý reakční vstup pro syntézu	Náklady na přípravu a čištění	Relevantní pro chemické a rafinérské řetězce

Tabulka 28 ukazuje, že volba zdroje uhlíku má ekonomický i strategický význam. Nejlevnější dostupný zdroj CO<sub>2</sub> nemusí být nejvhodnější z hlediska dlouhodobé regulační uznatelnosti a environmentální důvěryhodnosti.

### 8.4 Kapitálová náročnost, využití kapacity a náklady kapitálu

Syntetická paliva jsou kapitálově náročná. Investice se netýkají pouze jednoho zařízení, ale celého řetězce: výroby elektřiny nebo smluvního zajištění elektřiny, elektrolyzéry, vodíkové infrastruktury, zachycení a úpravy CO<sub>2</sub>, syntézní jednotky, separace, úpravy produktu,

skladování, logistiky a měřicí a certifikační infrastruktury. To zvyšuje investiční riziko a klade vysoké nároky na financování.

Kapitálové náklady se do ceny paliva promítají podle toho, jak intenzivně je zařízení využíváno. Nízké využití kapacity znamená, že se investice rozpočítává na menší objem výroby. Vysoké využití kapacity zlepšuje ekonomiku, ale může být omezeno dostupností certifikované elektřiny, vodíku, CO<sub>2</sub> nebo poptávkou po finálním produktu. U RFNBO mohou do využití kapacity vstupovat také pravidla adicionality, časové a geografické korelace [14].

Zjednodušeně lze roční kapitálový náklad vyjádřit pomocí kapitalizačního faktoru:

$$C_{\text{kapitál, roční}} = CAPEX \times CRF$$

*Rovnice 11: Zjednodušené vyjádření ročního kapitálového nákladu*

kde:

$C_{\text{kapitál, roční}}$  je roční kapitálový náklad

$CAPEX$  jsou investiční náklady

$CRF$  je kapitalizační faktor

Kapitalizační faktor lze vyjádřit následovně:

$$CRF = \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

*Rovnice 12: Kapitalizační faktor*

kde:

$r$  je diskontní sazba nebo náklady kapitálu

$n$  je ekonomická životnost investice

Rovnice 11 a 12 ukazují, že cena syntetických paliv je citlivá nejen na technické parametry, ale také na cenu kapitálu a investiční riziko. Projekty v rané fázi, s nejistou poptávkou, nejistou regulací nebo bez dlouhodobých odběrových smluv budou mít vyšší náklady kapitálu. To může výrazně zhoršit výslednou cenu paliva.

*Tabulka 29: Faktory ovlivňující kapitálovou náročnost syntetických paliv*

Faktor	Dopad na investici	Dopad na cenu paliva
Velikost projektu	Větší projekty mohou využít úspory z rozsahu	Nížejší jednotkové náklady při dostatečné poptávce
Využití kapacity	Vyšší využití rozkládá CAPEX na více produktu	Nížejší jednotková cena při stabilním provozu
Náklady kapitálu	Vyšší riziko zvyšuje požadovaný výnos investora	Vyšší cena paliva
Technologická zralost	Méně vyspělé technologie nesou vyšší riziko	Vyšší riziková přírážka a rezervy

Faktor	Dopad na investici	Dopad na cenu paliva
Certifikace a regulace	Nejasná pravidla zvyšují investiční nejistotu	Vyšší náklady financování a přípravy projektu
Integrace řetězce	Integrovaný projekt může snížit logistiku, ale zvýšit komplexitu	Výsledek závisí na koordinaci vstupů a odběru

Tabulka 29 ukazuje, že investiční ekonomika syntetických paliv je stejně důležitá jako samotné technologické náklady. Bez stabilního regulatorního a odběratelského rámce mohou být projekty obtížně financovatelné.

## 8.5 Náklady syntetických paliv podle produktů

Jednotlivá syntetická paliva se liší nákladovou strukturou. E-SAF a e-diesel jsou citlivé zejména na cenu vodíku, cenu CO<sub>2</sub>, účinnost Fischer–Tropschovy syntézy, výtěžnost požadovaných frakcí a náklady na finální úpravu. E-methanol je citlivý na cenu vodíku, CO<sub>2</sub>, účinnost syntézy a trh s methanolem jako chemickou surovinou. Syntetický metan je citlivý na účinnost metanace, cenu vodíku, zdroj CO<sub>2</sub> a náklady spojené s kvalitou plynu. E-amoniak je citlivý především na cenu vodíku, investiční náklady syntézy a bezpečnostní a logistickou infrastrukturu.

Concawe ve své techno-ekonomické aktualizaci e-paliv hodnotí více výrobních cest včetně e-methanu, e-methanolu, e-amoniaku a Fischer–Tropschových uhlovodíkových paliv a zaměřuje se na evropskou domácí výrobu i importy směrem k roku 2050 [36]. Takový přístup je pro tuto studii důležitý, protože ukazuje, že ekonomika syntetických paliv není univerzální, ale liší se podle produktu, lokality, zdroje elektřiny, zdroje uhlíku, dopravní vzdálenosti a způsobu dodání do Evropy.

**Tabulka 30: Orientační nákladová citlivost hlavních syntetických produktů**

Produkt	Nejcitlivější nákladové vstupy	Hlavní ekonomická výhoda	Hlavní ekonomické omezení
E-diesel / FT kapaliny	Vodík, CO <sub>2</sub> , FT syntéza, úprava frakcí	Návaznost na kapalná paliva a část existující infrastruktury	Vysoká energetická náročnost a konkurence elektrifikace
E-SAF	Vodík, CO <sub>2</sub> , FT nebo jiná schválená cesta, certifikace	Silný regulatorní impuls v letectví	Přísné normy, náklady a omezená dostupnost vstupů
E-methanol	Vodík, CO <sub>2</sub> , syntéza methanolu, trh s methanolem	Dvojitá role paliva a chemické suroviny	Nižší energetická hustota, infrastruktura a bezpečnost
Syntetický metan	Vodík, CO <sub>2</sub> , metanace, úprava plynu	Potenciální využití plynárenské infrastruktury	Účinnost řetězce a riziko úniků metanu
E-amoniak	Vodík, syntéza amoniaku, skladování, bezpečnost	Bezuhlíkový produkt a průmyslová surovina	Toxicita, bezpečnost a specifická infrastruktura

Tabulka 30 ukazuje, že ekonomická priorita jednotlivých syntetických paliv se bude lišit podle sektoru. E-SAF může být nákladově vysoký, ale mít silný regulatorní tah. E-methanol může být

zajímavý v chemii i námořní dopravě. Syntetický metan může využít infrastrukturu, ale musí obhájit účinnost a emisní bilanci.

## 8.6 Tržní poptávka, cenová prémie a ochota platit

Syntetická paliva se na trhu prosadí pouze tehdy, pokud existuje odběratel ochotný platit cenu vyšší než u fosilního paliva nebo pokud regulační rámec tuto cenovou mezeru překlene. Samotná technologická možnost výroby nestačí. Trh musí mít motivaci syntetické palivo koupit, započítat, použít nebo promítnout do hodnoty finálního produktu.

Ochota platit bude nejvyšší tam, kde existuje regulační povinnost, reputační tlak, zákaznická poptávka, emisní náklad nebo omezená dostupnost alternativ. V letectví může být významným impulsem ReFuelEU Aviation [8]. V námořní dopravě FuelEU Maritime a rámec IMO [17], [30]. V chemickém průmyslu může poptávku vytvářet tlak na nízkoemisní materiály, uhlíkovou stopu výrobků a dekarbonizaci dodavatelských řetězců [32].

Zjednodušeně lze cenovou mezeru syntetického paliva vůči fosilní alternativě vyjádřit takto:

$$\Delta C = C_{\text{syntetické palivo}} - C_{\text{fosilní alternativa}}$$

**Rovnice 13: Cenová mezera syntetického paliva**

kde:

$\Delta C$  je cenová mezera

$C_{\text{syntetické palivo}}$  je cena syntetického paliva

$C_{\text{fosilní alternativa}}$  je cena fosilního paliva nebo suroviny, kterou syntetické palivo nahrazuje

Tato cenová mezera může být překlenuta několika způsoby: regulační povinností, přenesením nákladů na zákazníka, podporou z veřejných zdrojů, dlouhodobou smlouvou, uhlíkovou cenou, certifikátem, zelenou premií nebo kombinací těchto nástrojů. Pokud žádný z těchto mechanismů neexistuje, syntetická paliva budou obtížně konkurovat fosilním palivům.

**Tabulka 31: Možné zdroje tržní poptávky po syntetických palivech**

Zdroj poptávky	Typický sektor	Význam pro syntetická paliva
Regulační mandát	Letectví, námořní doprava, doprava	Vytváří povinnou poptávku i při vyšších nákladech
Firemní dekarbonizační cíle	Chemie, logistika, průmysl, doprava	Vytváří dobrovolnou poptávku po nízkoemisních produktech
Uhlíková cena	Průmysl, energetika, doprava podle režimu	Zvyšuje relativní cenu fosilních alternativ
Zákaznická prémie	Prémiové produkty, letecká doprava, logistika	Umožňuje přenést část nákladů na konečného zákazníka
Dlouhodobé odběrové smlouvy	Průmysl, letectví, námořní doprava	Snižují investiční riziko výrobců
Veřejná podpora	Rané projekty, demonstrační fáze	Pomáhá překlenout nákladovou mezeru a investiční riziko

Tabulka 31 ukazuje, že vznik trhu se syntetickými palivy nebude spontánní. Bude vyžadovat kombinaci regulace, ochoty platit, dlouhodobých kontraktů a podpůrných mechanismů.

## 8.7 Podpůrné mechanismy a role veřejné politiky

Veřejná politika může hrát významnou roli při překlenutí nákladové mezery syntetických paliv. Podpora může mít formu investičních dotací, provozních podpor, aukcí, rozdílových smluv, daňových nástrojů, kvót, mandátů, veřejných zakázek nebo podpory infrastruktury. U syntetických paliv je důležité, aby podpora nebyla zaměřena pouze na výrobu, ale také na poptávku, certifikaci, infrastrukturu a první trhy.

Evropská vodíková banka a aukce v rámci Innovation Fund představují jeden z příkladů provozní podpory. Evropská komise uvádí, že aukce IF24 měla rozpočet 1,2 mld. EUR na podporu výrobců RFNBO vodíku v EHP formou fixní prémie za vyrobený certifikovaný a ověřený vodík po dobu až 10 let [37]. Tento typ nástroje je relevantní i pro syntetická paliva, protože cena RFNBO vodíku je jedním z hlavních vstupů jejich ekonomiky.

Podpora syntetických paliv však musí být nastavena opatrně. Pokud bude podporovat paliva bez skutečné emisní úspory nebo bez perspektivy škálování, může vést k neefektivnímu využití veřejných prostředků. Pokud bude příliš složitá, může odradit menší podniky a projekty v rané fázi. Pokud bude naopak příliš slabá, nemusí překlenout nákladovou mezeru vůči fosilním palivům.

Pro ČTP Bio je důležité sledovat zejména podporu, která propojuje zelenou a digitální transformaci. U syntetických paliv nejde jen o zařízení, ale také o data, certifikaci, měření, audit, LCA, digitální sledovatelnost a zapojení podniků do nových hodnotových řetězců. Právě zde mohou technologické platformy pomoci identifikovat bariéry a připravit podniky na budoucí certifikační a tržní požadavky.

## 8.8 Investiční rizika a bankovatelnost projektů

Bankovatelnost projektu znamená, že projekt je dostatečně předvídatelný, smluvně zajištěný a ekonomicky obhajitelný pro financování. U syntetických paliv je bankovatelnost složitá, protože projekty kombinují technologické riziko, cenové riziko elektřiny, dostupnost vodíku, dostupnost CO<sub>2</sub>, regulatorní riziko, certifikační riziko a tržní riziko odběru.

Investoři budou sledovat zejména dlouhodobý přístup k elektřině, smlouvy na odběr vodíku nebo jeho vlastní výrobu, zajištění CO<sub>2</sub>, odběrové smlouvy na finální palivo, regulatorní uznatelnost produktu a schopnost splnit certifikační požadavky. Bez dlouhodobé odběrové smlouvy nebo jasného mandátu může být obtížné odůvodnit vysokou investici do syntetických paliv.

**Tabulka 32: Hlavní investiční rizika projektů syntetických paliv**

Riziko	Projev v projektu	Možné zmírnění
Cena elektřiny	Kolísání výrobních nákladů	Dlouhodobé PPA, vlastní zdroj, flexibilní provoz
Dostupnost vodíku	Nedostatek certifikovaného nízkemisního/RFNBO vodíku	Integrovaná výroba, dlouhodobé kontrakty
Dostupnost CO <sub>2</sub>	Nejistý objem, původ nebo cena uhlíku	Smlouvy s producenty CO <sub>2</sub> , prioritně biogenní zdroje
Regulační nejistota	Změna pravidel RFNBO, LCH, započítání nebo certifikace	Právní due diligence, flexibilní projektová struktura
Technologické riziko	Nižší účinnost, zpoždění, poruchovost	Pilotní fáze, záruky dodavatelů, postupné škálování
Tržní riziko	Chybějící odběratel nebo nízká ochota platit	Offtake smlouvy, mandáty, veřejná podpora
Certifikační riziko	Nemožnost doložit původ a emisní úsporu	Digitální evidence, auditovatelná data, certifikační schéma
Finanční riziko	Vysoké náklady kapitálu	Veřejná podpora, záruky, dlouhodobé smlouvy

Tabulka 32 ukazuje, že investiční rizika syntetických paliv jsou mezioborová. Nejde pouze o technologii, ale o koordinaci energetiky, chemie, regulace, dat a trhu.

## 8.9 Domácí výroba, importy a strategická autonomie

Evropský trh se syntetickými palivy může být založen na kombinaci domácí výroby a importů. Domácí výroba má výhodu vyšší kontroly nad původem vstupů, certifikací, průmyslovou přidanou hodnotou a bezpečností dodávek. Nevýhodou mohou být vyšší ceny elektřiny, omezená dostupnost obnovitelných zdrojů, omezené objemy biogenního CO<sub>2</sub> nebo prostorové limity.

Importy mohou být ekonomicky atraktivní, pokud pocházejí z regionů s levnější obnovitelnou elektřinou, vyšším využitím zařízení a dostupným uhlíkem nebo dusíkem. Současně však zvyšují nároky na certifikaci, dopravu, geopolitickou spolehlivost, kontrolu původu a emise z přepravy. Concawe proto hodnotí jak evropskou domácí výrobu, tak importní cesty e-paliv směrem k roku 2050 [36].

Pro Českou republiku a ČTP Bio je důležité uvažovat realisticky. Domácí produkce syntetických paliv ve velkých objemech může být omezená dostupností levné obnovitelné elektřiny. Na druhou stranu mohou vznikat specializované projekty založené na biogenním CO<sub>2</sub>, průmyslové integraci, chemické výrobě, výzkumu, certifikaci, technologických dodávkách nebo hodnotových řetězcích s vyšší přidanou hodnotou. Strategická role ČR proto nemusí spočívat pouze v masové výrobě paliva, ale také v zapojení do technologických, datových, certifikačních a chemických částí hodnotového řetězce.

**Tabulka 33: Domácí výroba a import syntetických paliv – hlavní rozdíly**

Kritérium	Domácí výroba	Import
Cena elektřiny	Závisí na domácím mixu a dostupnosti OZE	Může být nižší v regionech s velmi levnou obnovitelnou energií
Certifikace	Snazší kontrola a audit řetězce	Vyšší nároky na mezinárodní certifikaci
Průmyslová přidaná hodnota	Zůstává větší část hodnotového řetězce v domácí ekonomice	Přidaná hodnota se přesouvá do produkčního regionu
Bezpečnost dodávek	Vyšší kontrola, ale omezené objemy	Větší objemový potenciál, ale geopolitická a logistická rizika
Vazba na biogenní CO <sub>2</sub>	Možnost využít domácí bio-based a průmyslové toky	Závisí na certifikaci zdroje v zemi původu
Logistika	Kratší přepravní řetězce	Nutnost přepravy paliva nebo meziprojektu na velké vzdálenosti

Tabulka 33 ukazuje, že otázka domácí výroby a importů není pouze cenová. Zahrnuje také průmyslovou politiku, bezpečnost dodávek, certifikaci, uhlíkové účetnictví a strategickou autonomii.

## 8.10 Ekonomická relevance pro ČTP Bio a české hodnotové řetězce

Pro ČTP Bio není nejdůležitější otázkou pouze to, zda se v České republice budou syntetická paliva vyrábět ve velkém objemu. Důležité je také to, jak se české podniky, výzkumné organizace a technologické firmy mohou zapojit do dílčích částí hodnotového řetězce. Může jít o biogenní CO<sub>2</sub>, chemické meziprojektu, katalyzátory, zařízení, digitalizaci, LCA, certifikaci, monitoring, datovou infrastrukturu, analytiku nebo specializované aplikace.

Ekonomická příležitost může vzniknout i tam, kde finální palivo nebude vyráběno v ČR. Český průmysl se může zapojit do dodávek technologií, projektového inženýrství, certifikačních služeb, analýz, komponent, softwaru nebo odborných kapacit. Ekonomická příležitost pro české aktéry může vznikat i v dílčích článcích řetězce, zejména v oblasti CO<sub>2</sub>, chemických meziprojektů, technologických dodávek, LCA, certifikace a datové infrastruktury.

Zvláštní význam má biogenní CO<sub>2</sub>. Pokud budou identifikovány stabilní a koncentrované zdroje biogenního CO<sub>2</sub>, může se stát strategickým vstupem pro e-methanol, e-SAF nebo jiné syntetické produktů. To by umožnilo propojit dosavadní agendu ČTP Bio v oblasti biopaliv, biosložek a bio-based chemie s novými Power-to-X řetězci [4].

**Tabulka 34: Možné zapojení českých aktérů do hodnotového řetězce syntetických paliv**

Část hodnotového řetězce	Možná role českých aktérů	Význam pro ČTP Bio
Biogenní CO <sub>2</sub>	Identifikace zdrojů, certifikace, logistika, využití v CCU	Přímá vazba na bioekonomiku a biosložky
Vodík	Výroba, integrace, provozní optimalizace, využití v chemii	Vazba na Power-to-X a průmyslovou transformaci

Část hodnotového řetězce	Možná role českých aktérů	Význam pro ČTP Bio
Chemická syntéza	Výzkum, katalyzátory, procesní integrace, pilotní projekty	Vazba na zelenou chemii a VaVal
LCA a certifikace	Metodiky, audit, datové nástroje, reporting	Podpora digitální a zelené transformace
Technologie a komponenty	Dodávky zařízení, měření, řízení, bezpečnostní systémy	Příležitost pro průmyslové firmy a SMEs
Koncové trhy	Chemie, doprava, speciální aplikace	Vytvoření poptávky po nízkoemisních produktech

Tabulka 34 ukazuje, že ekonomická relevance syntetických paliv pro ČR může být širší než samotná výroba paliva. Pro technologickou platformu je důležité sledovat všechny články hodnotového řetězce.

### 8.11 Dílčí závěr kapitoly

Ekonomika syntetických paliv je určena celým hodnotovým řetězcem. Nejvýznamnějšími nákladovými faktory jsou cena elektřiny, náklady na výrobu vodíku, dostupnost a cena uhlíku, kapitálová náročnost syntézních jednotek, využití kapacity, logistika, certifikace a náklady kapitálu. Syntetická paliva proto budou v nejbližších letech zpravidla dražší než fosilní alternativy a jejich rozvoj bude záviset na kombinaci regulatorních mandátů, podpůrných mechanismů, dlouhodobých odběrových smluv a ochoty trhu platit za nízkoemisní produkt.

Nejvyšší ekonomický potenciál lze očekávat v sektorech, kde existuje silný regulatorní impuls nebo omezená technická alternativa. To se týká zejména e-SAF v letectví, e-methanolu a e-amoniaku v námořní dopravě a některých syntetických produktů v chemickém průmyslu. V silniční dopravě bude role syntetických paliv pravděpodobně selektivní, protože přímá elektrifikace má v mnoha segmentech lepší energetickou účinnost.

Pro ČTP Bio je klíčové sledovat nejen cenu finálního paliva, ale i nové ekonomické příležitosti v hodnotových řetězcích. Patří mezi ně biogenní CO<sub>2</sub>, zelená chemie, e-methanol, e-SAF, LCA, certifikace, digitální sledovatelnost, monitoring a technologické dodávky. Ekonomická příležitost proto vznikne jen tam, kde budou současně zvládnuty vstupy, technologie, certifikace, financování a odběratelský trh.

## 9. Bariéry, rizika a otevřené otázky rozvoje syntetických paliv

Rozvoj syntetických paliv omezuje souběh vstupních, technologických, regulatorních, ekonomických, tržních a datových bariér. Klíčové je určit, které z nich mohou zabránit tomu, aby se z technologicky zajímavého řešení stal skutečně použitelný nástroj dekarbonizace.

Syntetická paliva patří mezi technologie s vysokou systémovou komplexitou. Jejich rozvoj závisí současně na dostupnosti nízkoemisní elektřiny, výrobě vodíku, zdrojích uhlíku nebo dusíku, certifikaci, technologické účinnosti, kapitálové dostupnosti, ochotě odběratelů platit cenovou

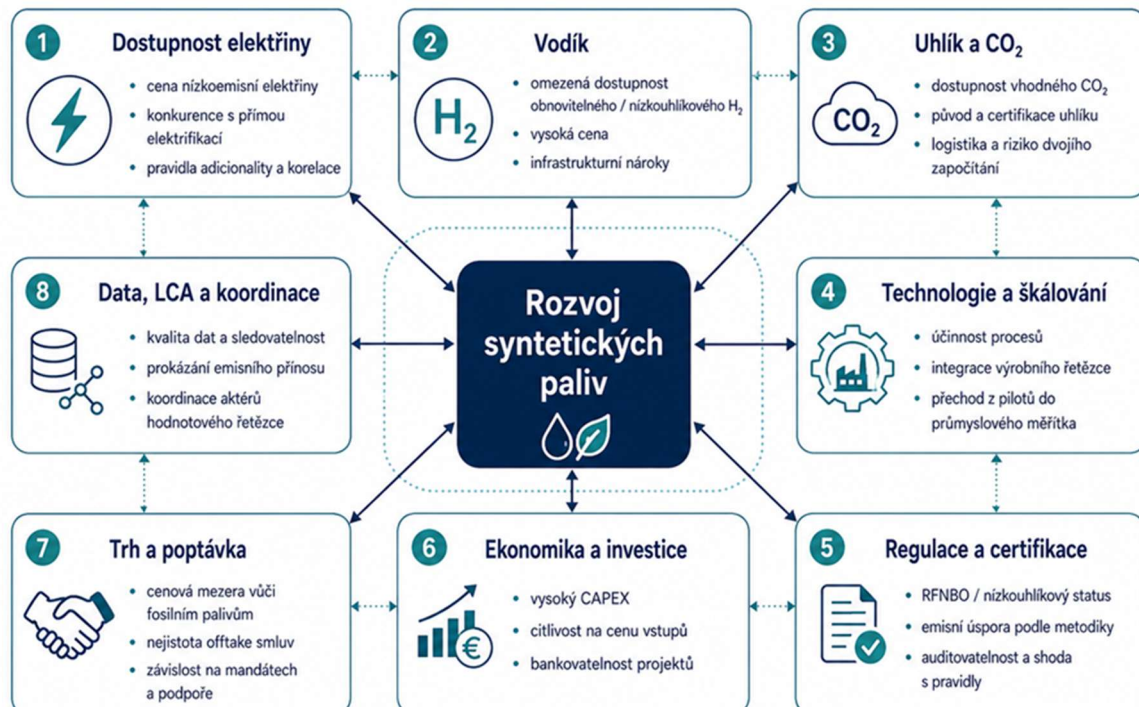
prémii a stabilním regulačním rámci. Pokud selže jeden z klíčových článků řetězce, může být ohrožena technická, ekonomická nebo regulační proveditelnost celého projektu.

Evropský účetní dvůr ve zvláštní zprávě k průmyslové politice EU v oblasti obnovitelného vodíku upozornil, že právní rámec byl z velké části přijat, ale rozvoj trhu vyžaduje realistické přehodnocení cílů, nákladů a podmínek zavádění obnovitelného vodíku [38]. Tento závěr je významný i pro syntetická paliva, protože jejich ekonomika a regulační uznatelnost přímo závisí na dostupnosti obnovitelného nebo nízkoemisního vodíku. IEA zároveň uvádí, že globální výroba vodíku dosáhla v roce 2024 téměř 100 Mt, přičemž nízkoemisní vodík stále tvořil méně než 1 % celkové výroby [34]. IEA v roce 2025 současně snížila odhad potenciální výroby nízkoemisního vodíku z oznámených projektů do roku 2030 z 49 Mtpa na 37 Mtpa [34]. To potvrzuje, že vstupní základna pro syntetická paliva je zatím omezená a bude vyžadovat výrazné škálování.

### 9.1 Typologie bariér a rizik

Bariéry lze rozdělit do šesti skupin: vstupní, technologické, regulační, ekonomické, tržní a datové. Vstupní bariéry souvisejí hlavně s elektřinou, vodíkem a CO<sub>2</sub>. Technologické bariéry se týkají účinnosti, integrace a škálování. Regulační bariéry rozhodují o uznatelnosti paliva. Ekonomické a tržní bariéry určují, zda projekt najde financování a odběratele. Datové bariéry ovlivňují LCA, certifikaci a důvěryhodnost výsledku [3], [15], [18].

Obrázek 8: Mapa hlavních bariér rozvoje syntetických paliv



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě technologického, regulačního, LCA, ekonomického a tržního posouzení syntetických paliv [3], [4], [14], [15], [18], [34], [36], [38].

Obrázek 8 znázorňuje, že bariéry rozvoje syntetických paliv nejsou izolované. Nedostatek levné nízkoemisní elektřiny zvyšuje cenu vodíku. Drahý vodík zvyšuje cenu syntetického paliva.

Vysoká cena snižuje poptávku. Slabá poptávka zhoršuje bankovatelnost projektů. Nejistá bankovatelnost omezuje investice. Nedostatek investic zpomaluje technologické škálování. Celý systém proto vyžaduje koordinovaný přístup, nikoli řešení jedné dílčí překážky.

## 9.2 Bariéra dostupnosti elektřiny

Dostupnost nízkoemisní nebo obnovitelné elektřiny je základní podmínkou rozvoje syntetických paliv. Elektřina je potřebná zejména pro výrobu vodíku elektrolýzou, ale také pro kompresi, úpravu plynů, zachycování CO<sub>2</sub>, syntézu, chlazení, čerpání a provoz dalších zařízení. Pokud elektřina není dostatečně levná, dostupná a certifikovatelná, stává se hlavním omezením celého řetězce.

U RFNBO nestačí pouze nakoupit elektřinu s obnovitelným původem. Je nutné splnit pravidla adicionality, časové korelace a geografické korelace [14]. Tato pravidla posilují důvěryhodnost obnovitelného původu, ale zároveň komplikují provozní modely. Elektrolýzér nemůže být vždy provozován podle ekonomicky optimálního režimu, protože musí respektovat pravidla pro uznání obnovitelné elektřiny. To může snížit využití kapacity a zvýšit jednotkové náklady na vodík.

Z pohledu České republiky je tato bariéra zvláště důležitá. Pokud bude nízkoemisní elektřina vzácná a současně bude poptávána pro přímou elektrifikaci průmyslu, dopravy, budov a výrobu vodíku, bude nutné pečlivě rozhodovat, kde má její nepřímé využití přes syntetická paliva největší přidanou hodnotu. Syntetická paliva by proto měla být směřována primárně do sektorů, kde přímá elektrifikace není technicky nebo ekonomicky vhodná.

**Tabulka 35: Rizika spojená s dostupností elektřiny pro syntetická paliva**

Riziko	Dopad na syntetická paliva	Možné zmírnění
Vysoká cena elektřiny	Zvyšuje cenu vodíku a finálního paliva	Dlouhodobé smlouvy, vlastní zdroje, flexibilní provoz
Nedostatek nízkoemisní elektřiny	Omezuje objem výroby	Prioritizace sektorů s nejvyšší přidanou hodnotou
Regulatorní omezení původu elektřiny	Snižuje provozní flexibilitu elektrolýzérů	Projektové nastavení podle RFNBO pravidel od začátku
Nízké využití kapacity	Zvyšuje jednotkové kapitálové náklady	Kombinace zdrojů, optimalizace provozu, akumulace
Konkurence s přímou elektrifikací	Snižuje dostupný objem elektřiny pro e-paliva	Používat syntetická paliva jen tam, kde dávají systémový smysl

Tabulka 35 ukazuje, že elektřina není pouze technickým vstupem, ale strategickým zdrojem. Její využití pro syntetická paliva musí být obhajitelné vůči jiným dekarbonizačním možnostem.

## 9.3 Bariéra dostupnosti vodíku

Vodík je hlavním vstupem většiny syntetických paliv. Je proto jedním z nejdůležitějších omezení jejich rozvoje. Současný trh s vodíkem je stále převážně založen na fosilních zdrojích a

nízkoemisní vodík tvoří pouze malý podíl celkové produkce [34]. Podle IEA dosáhla globální výroba vodíku v roce 2024 téměř 100 Mt, ale nízkemisní vodík stále tvořil méně než 1 % celkové výroby; zároveň byl odhad potenciální nízkemisní výroby do roku 2030 z oznámených projektů snížen z 49 Mtpa na 37 Mtpa [34]. To znamená, že syntetická paliva nemohou být rychle škálována bez paralelního rozvoje nízkemisní nebo obnovitelné výroby vodíku.

Bariéra vodíku má několik podob. První je objemová: není k dispozici dostatek certifikovaného nízkemisního nebo obnovitelného vodíku. Druhá je cenová: nízkemisní vodík je zpravidla dražší než konvenční fosilní vodík [34], [35]. Třetí je infrastrukturní: vodík je obtížné skladovat, přepravovat a integrovat do průmyslových řetězců. Čtvrtá je regulatorní: pro RFNBO nestačí nízkemisní vodík obecně, ale vodík musí splnit přesná pravidla pro obnovitelný původ elektřiny a emisní úsporu [5], [14], [15].

Zjednodušeně lze vztah mezi dostupností vodíku a potenciálem syntetického paliva vyjádřit takto:

$$Q_{\text{palivo,max}} = \frac{Q_{\text{H}_2,\text{dostupný}}}{S_{\text{H}_2 \text{ na jednotku paliva}}}$$

**Rovnice 14: Vodíkové omezení výroby syntetického paliva**

kde:

$Q_{\text{palivo,max}}$  je maximální množství syntetického paliva omezené dostupností vodíku

$Q_{\text{H}_2,\text{dostupný}}$  je dostupné množství vhodného vodíku

$S_{\text{H}_2 \text{ na jednotku paliva}}$  je spotřeba vodíku na jednotku vyrobeného paliva

Rovnice 14 ukazuje jednoduchý princip: i když existuje technologie, poptávka a regulatorní rámec, skutečný objem výroby bude omezen dostupností vhodného vodíku. To je důležité zejména u e-SAF, e-methanolu a syntetických uhlovodíkových paliv, která jsou vodíkově velmi náročná.

## 9.4 Bariéra dostupnosti uhlíku a riziko nesprávného započítání CO<sub>2</sub>

U syntetických uhlovodíkových paliv je vedle vodíku nezbytný uhlík. Pro environmentálně a regulatorně důvěryhodná syntetická paliva je však rozhodující, odkud uhlík pochází. Vhodný uhlíkatý vstup musí být dostupný, čistý, certifikovatelný, logisticky zvládnutelný a správně započítatelný v LCA.

Biogenní CO<sub>2</sub> je pro ČTP Bio strategicky významný, protože propojuje bioekonomiku, biosložky, biopaliva a Power-to-X [4]. Jeho objemy však mohou být omezené a prostorově rozptýlené. Průmyslový CO<sub>2</sub> může být dostupnější, ale nese riziko regulatorní nejistoty, zejména pokud pochází z fosilního procesu. CO<sub>2</sub> ze vzduchu může být metodicky atraktivní, ale je energeticky a nákladově náročný.

Rizikem je také dvojitý započítání nebo nesprávné připsání emisního přínosu. Pokud je CO<sub>2</sub> zachycen v jednom procesu a následně využit v palivu, které je spáleno, je nutné jasně určit,

kde vzniká emisní úspora a komu se přičítá. Bez jasné metodiky může vzniknout situace, kdy je jeden emisní přínos započten vícekrát nebo kdy se dočasné využití uhlíku prezentuje jako trvalé odstranění emisí.

**Tabulka 36: Rizika spojená s uhlíkatým vstupem pro syntetická paliva**

Riziko	Dopad na projekt	Možné zmírnění
Nedostatek vhodného CO <sub>2</sub>	Omezuje objem výroby uhlovodíkových e-paliv	Mapování zdrojů, prioritně koncentrované biogenní toky
Nejasný původ uhlíku	Ohrožuje certifikaci a LCA výsledek	Doložitelný původ, smluvní zajištění a audit
Vysoké náklady zachycení	Zvyšují cenu paliva	Integrace se zdrojem CO <sub>2</sub> , využití koncentrovaných proudů
Dvojitý započítání emisního přínosu	Ohrožuje důvěryhodnost výsledku	Jasná metodika alokace a certifikace
Závislost na fosilním emisním zdroji	Vytváří dlouhodobé regulatorní riziko	Přechod k biogennímu nebo atmosférickému CO <sub>2</sub>
Logistika CO <sub>2</sub>	Zvyšuje náklady a technickou složitost	Lokalizace výroby blízko zdroje CO <sub>2</sub>

Tabulka 36 ukazuje, že uhlík není pouze chemickým vstupem. Je to regulatorně, environmentálně a strategicky citlivý prvek celého řetězce.

## 9.5 Technologická rizika a škálování

Technologické riziko syntetických paliv spočívá zejména v přechodu od ověřených dílčích technologií k integrovaným průmyslovým řetězcům. Některé části řetězce jsou technicky známé, například elektrolyza, methanolová syntéza, metanace nebo Fischer–Tropschova syntéza. Riziko však vzniká při jejich kombinaci, řízení provozu, optimalizaci účinnosti, zajištění vstupů, stabilitě katalyzátorů, čištění plynů, recyklaci nevyužitých složek a dosažení požadované kvality finálního produktu.

Škálování je zvláště náročné u e-paliv, protože vyžaduje velké objemy vodíku, elektřiny a uhlíku. Pilotní projekt může technicky prokázat proces, ale průmyslová výroba musí dosáhnout stabilní produkce, normové shody, ekonomiky měřítka a spolehlivé certifikace. IRENA upozorňuje, že nepřímé využití čisté elektřiny prostřednictvím syntetických paliv je spojeno s vysokou spotřebou čisté elektřiny a řada cest je stále technologicky méně vyžralá než přímé elektrifikační alternativy [9].

Technologická rizika se projevují také v kvalitě paliva. E-SAF musí splnit letecké standardy a schválené konverzní cesty [24], [25]. E-diesel musí odpovídat požadavkům na motorová nebo parafinická dieselová paliva [22], [23]. E-methanol a e-amoniak vyžadují bezpečnostní a infrastrukturní úpravy [28], [29]. Technologické selhání proto nemusí znamenat pouze nižší výtěžnost, ale také nemožnost uvést produkt do cílového sektoru.

## 9.6 Regulační a certifikační rizika

Regulační riziko patří mezi nejvýznamnější bariéry syntetických paliv. Pravidla pro RFNBO, nízkouhlíková paliva, recyklovaná uhlíková paliva, LCA, certifikaci, původ elektřiny a původ uhlíku určují, zda bude palivo tržně využitelné. Pokud projekt nesplní regulační požadavky, může být technicky funkční, ale nebude mít hodnotu potřebnou pro plnění cílů nebo získání cenové prémie.

Pravidla adicionality, časové korelace a geografické korelace ovlivňují provozní režim výroby vodíku [14]. Metodika emisních úspor určuje, zda palivo splní požadovaný práh emisní úspory [15], [18]. Sektorové předpisy, jako ReFuelEU Aviation a FuelEU Maritime, určují, kde a jak může být palivo započteno [8], [17]. Každé z těchto pravidel může být pro projekt kritické.

Certifikační riziko vzniká zejména tehdy, pokud projekt nemá od začátku nastavenou datovou a auditní architekturu. U syntetických paliv nestačí fyzicky vyrobit palivo. Je nutné doložit původ elektřiny, vodíku, CO<sub>2</sub>, energetické a materiálové toky, výpočty emisních úspor, alokaci, šarže, kvalitu a konečné použití. Pokud tato data nejsou sbírána průběžně, může být dodatečná certifikace obtížná nebo nemožná.

**Tabulka 37: Regulační a certifikační rizika syntetických paliv**

Riziko	Projev	Dopad
Nesplnění RFNBO pravidel	Elektřina nebo vodík nesplní požadavky adicionality či korelace	Ztráta obnovitelného statusu paliva
Nedostatečná emisní úspora	Výpočet nesplní požadovaný práh	Nemožnost započtení do cílových kategorií
Nejasný původ uhlíku	Chybí doložení biogenního, průmyslového nebo atmosférického původu	Riziko odmítnutí certifikace
Nedostatečná datová evidence	Chybí měření, šarže, certifikáty nebo auditní stopa	Nemožnost doložit regulační nárok
Změna pravidel	Úprava metodiky nebo výkladu během přípravy projektu	Investiční nejistota
Dvojitý započítání	Stejný přínos deklaruje více subjektů	Reputační a regulační riziko

Tabulka 37 ukazuje, že certifikace musí být projektována jako součást výrobního řetězce, nikoli jako administrativní krok na jeho konci.

## 9.7 Ekonomická rizika a riziko cenové mezery

Ekonomická rizika vycházejí zejména z vysoké ceny vstupů a nejisté poptávky. Syntetická paliva budou v mnoha případech dražší než fosilní alternativy. Cenová mezera může být překlenuta regulačním mandátem, uhlíkovou cenou, veřejnou podporou, dlouhodobou odběrovou smlouvou nebo ochotou zákazníků platit za nízkoemisní produkt. Bez těchto mechanismů bude tržní rozvoj omezený.

Cenové riziko se netýká jen finálního paliva. Vstupní elektřina může kolísat. Vodík může být dražší, než projekt předpokládal. CO<sub>2</sub> může být dostupný pouze za vyšší cenu nebo s vyššími náklady na dopravu. Kapitálové náklady se mohou zvýšit kvůli úrokovým sazbám, technologickému riziku nebo regulatorní nejistotě. To může zhoršit bankovatelnost projektu.

Riziko cenové mezery lze zjednodušeně vyjádřit navázáním na rovnici z kapitoly 8:

$$R_{\text{mezera}} = \Delta C - (P_{\text{podpora}} + P_{\text{uhlík}} + P_{\text{prémie}})$$

*Rovnice 15: Riziko nepokryté cenové mezery*

kde:

$R_{\text{mezera}}$  je nepokrytá cenová mezera

$\Delta C$  je rozdíl mezi cenou syntetického paliva a fosilní alternativou

$P_{\text{podpora}}$  je veřejná nebo provozní podpora

$P_{\text{uhlík}}$  je ekonomický efekt uhlíkové ceny nebo emisního nákladu

$P_{\text{prémie}}$  je dobrovolná nebo smluvní zelená prémie odběratele

Pokud je  $R_{\text{mezera}}$  kladné, zůstává část cenové mezery nepokryta a projekt může být tržně obtížně realizovatelný. Pokud je nulové nebo záporné, existuje ekonomický mechanismus, který může palivo přiblížit tržní použitelnosti. Rovnice je zjednodušená, ale vystihuje základní logiku investičního rozhodování.

## 9.8 Tržní riziko a nejistota poptávky

Tržní riziko syntetických paliv spočívá v tom, že potenciální poptávka nemusí být dostatečně konkrétní. O syntetických palivech se může mluvit jako o budoucím řešení pro letectví, námořní dopravu nebo chemii, ale investiční projekt potřebuje konkrétního odběratele, dlouhodobou smlouvu, cenu, objem, certifikační požadavky a termín dodávek.

Největší tržní jistotu lze očekávat v sektorech s regulatorním impulzem. ReFuelEU Aviation vytváří dlouhodobý rámec pro SAF a syntetická letecká paliva [8]. FuelEU Maritime a rámec IMO vytvářejí tlak na snižování emisní intenzity námořních paliv [17], [30]. Chemický průmysl může vytvářet poptávku po nízkoemisních surovinách, ale zde bude rozhodovat ochota odběratelů promítnout vyšší cenu do hodnotového řetězce [32].

V silniční dopravě je tržní riziko syntetických paliv vyšší, protože řada segmentů bude postupně elektrifikována. To neznámá, že zde syntetická paliva nemají žádnou roli, ale jejich využití bude pravděpodobně selektivní a bude se týkat spíše specifických aplikací než plošného nahrazení fosilních paliv.

*Tabulka 38: Tržní rizika podle hlavních sektorů*

Sektor	Hlavní tržní příležitost	Hlavní tržní riziko
Letectví	Regulatorní poptávka po SAF a syntetických leteckých palivech	Vysoká cena e-SAF a omezená dostupnost vstupů

Sektor	Hlavní tržní příležitost	Hlavní tržní riziko
Námořní doprava	Růst poptávky po nízkouhlíkových lodních palivech	Nejistota mezi e-methanolem, e-amoniakem, LNG, biopalivy a dalšími cestami
Chemický průmysl	Poptávka po nízkoemisních surovinách	Omezená ochota platit bez tlaku odběratelů nebo regulace
Silniční doprava	Specifické aplikace a stávající vozový park	Konkurence přímé elektrifikace
Plynárenství	Možnost využití stávající infrastruktury	Účinnost řetězce, úniky metanu a konkurence jiných nízkoemisních plynů
Speciální aplikace	Vysoká provozní hodnota kapalného paliva	Menší objemy a obtížné škálování

Tabulka 38 ukazuje, že syntetická paliva nebudou mít jeden jednotný trh. Jejich uplatnění bude záviset na sektorových pravidlech, technických potřebách, infrastruktuře a ochotě odběratelů platit.

### 9.9 Datová, LCA a reputační rizika

U syntetických paliv je velmi vysoké riziko reputačního poškození, pokud bude deklarovaný emisní přínos později zpochybněn. To se může stát v případě nedostatečně doloženého původu elektřiny, nejasného původu CO<sub>2</sub>, nesprávné alokace, dvojího započítání, nadhodnocení emisních úspor nebo použití nereprezentativních dat.

LCA riziko spočívá v tom, že syntetické palivo může být prezentováno jako nízkoemisní na základě zjednodušených předpokladů, zatímco reálný provoz má vyšší spotřebu elektřiny, nižší účinnost, náročnější logistiku nebo jiný původ vstupů. Proto je nutné pracovat se scénáři, citlivostní analýzou a jasným označením úrovně datové jistoty [3].

Datová rizika jsou zároveň obchodní. Odběratelé, investoři, regulátoři i veřejnost budou požadovat důkaz, že palivo skutečně splňuje deklarované parametry. Bez digitální sledovatelnosti, auditovatelnosti a kvalitního reportingu může být obtížné získat důvěru trhu. To platí zejména u paliv, která mají být prodávána s cenovou premií za nízkou uhlíkovou stopu.

### 9.10 Bezpečnostní a provozní rizika

Bezpečnostní rizika se liší podle typu syntetického paliva. E-diesel a e-SAF se mohou částečně opírat o existující palivové režimy, ale stále vyžadují kontrolu kvality, normovou shodu a bezpečné mísení. E-methanol vyžaduje zvláštní režim kvůli toxicitě, nízkému bodu vzplanutí a materiálové kompatibilitě [28]. E-amoniak je ještě náročnější kvůli toxicitě, korozivitě, únikům, ochraně posádky a bezpečnosti bunkeringu [29]. Vodík přidává rizika spojená s vysokým tlakem, úniky, hořlavostí a materiálovou křehkostí.

Provozní rizika se často podceňují. Nové palivo může vyžadovat školení personálu, úpravu skladů, změnu havarijních plánů, nové detektory, odlišné postupy při úniku, ochranné

pomůcky, změnu dopravních pravidel a úpravu pojistných podmínek. Pokud nejsou tato opatření zahrnuta do projektu od začátku, mohou zvýšit náklady a prodloužit zavádění.

Bezpečnostní rizika jsou zároveň reputační. Jedna vážná havárie v rané fázi zavádění může negativně ovlivnit důvěru v celé palivové řešení. Proto musí být bezpečnostní hodnocení součástí technického a ekonomického posouzení, nikoli dodatečným doplňkem.

### 9.11 Institucionální a koordinační bariéry

Syntetická paliva vyžadují koordinaci více sektorů a institucí. Do jednoho hodnotového řetězce vstupuje energetika, vodíkové technologie, chemický průmysl, palivářství, doprava, letectví, námořní sektor, certifikační orgány, regulátoři, veřejná správa, finanční instituce a výzkumné organizace. To vytváří vysoké nároky na koordinaci.

Institucionální bariéra vzniká tehdy, když jednotlivé části systému postupují odděleně. Energetika řeší elektřinu, průmysl řeší CO<sub>2</sub>, doprava řeší paliva, regulátor řeší certifikaci, ale chybí společná logika hodnotového řetězce. Výsledkem může být situace, kdy existuje technologie, ale chybí odběratel; existuje CO<sub>2</sub>, ale chybí vodík; existuje vodík, ale nesplňuje RFNBO pravidla; nebo existuje palivo, ale není certifikovatelné.

Právě zde může mít technologická platforma významnou roli. ČTP Bio může pomoci propojovat aktéry, mapovat zdroje biogenního CO<sub>2</sub>, identifikovat potřeby podniků, přenášet LCA a certifikační požadavky do praxe, podporovat odbornou diskusi a formulovat realistické priority pro české hodnotové řetězce [4].

### 9.12 Prioritizace rizik

Pro praktickou práci se syntetickými palivy nestačí rizika pouze vyjmenovat. Je nutné je prioritizovat podle pravděpodobnosti a dopadu. Některá rizika mohou být velmi závažná, ale málo pravděpodobná. Jiná mohou být téměř jistá, ale zvládnutelná. Pro strategické řízení je důležité identifikovat zejména rizika s vysokou pravděpodobností a vysokým dopadem. Zjednodušeně lze rizikovou prioritu vyjádřit takto:

$$RP = P \times D$$

*Rovnice 16: Zjednodušené vyjádření rizikové priority*

kde:

**RP** je riziková priorita

**P** je pravděpodobnost výskytu rizika

**D** je dopad rizika na projekt nebo sektor

Tento vztah je orientační, ale pomáhá strukturovat rozhodování. Pro syntetická paliva budou typicky nejvyšší prioritu mít rizika dostupnosti levné nízkoemisní elektřiny, ceny a dostupnosti vodíku, certifikace RFNBO nebo nízkouhlíkového statusu, dostupnosti vhodného CO<sub>2</sub>, investiční bankovatelnosti a existence konkrétní poptávky.

**Tabulka 39: Prioritizace hlavních rizik syntetických paliv**

Riziko	Pravděpodobnost	Dopad	Priorita pro ČTP Bio
Nedostatek levné nízkoemisní elektřiny	Vysoká	Vysoký	Velmi vysoká
Vysoká cena nebo nedostatek vhodného vodíku	Vysoká	Vysoký	Velmi vysoká
Nedostatek certifikovatelného CO <sub>2</sub>	Střední až vysoká	Vysoký	Vysoká
Nesplnění RFNBO / LCA požadavků	Střední	Vysoký	Vysoká
Chybějící odběratelé a offtake smlouvy	Vysoká	Vysoký	Velmi vysoká
Technologické problémy při škálování	Střední	Střední až vysoký	Vysoká
Bezpečnostní rizika u methanolu a amoniaku	Střední	Vysoký	Vysoká
Nedostatečná datová sledovatelnost	Vysoká	Střední až vysoký	Vysoká
Reputační riziko nadhodnocených emisních přínosů	Střední	Vysoký	Vysoká

Tabulka 39 ukazuje, že největší pozornost by měla být věnována vstupům, certifikaci, poptávce a datům. Právě tyto oblasti rozhodnou, zda syntetická paliva budou v českém prostředí pouze sledovaným tématem, nebo skutečně využitelnou součástí dekarbonizačních hodnotových řetězců.

### 9.13 Dílčí závěr kapitoly

Rozvoj syntetických paliv je podmíněn zvládnutím několika vzájemně provázaných bariér. Největší význam mají dostupnost levné nízkoemisní elektřiny, rozvoj obnovitelného nebo nízkoemisního vodíku, zajištění vhodného uhlíkatého vstupu, zvládnutí technologického škálování, splnění regulatorních a certifikačních požadavků, vytvoření tržní poptávky a vybudování datové sledovatelnosti.

Syntetická paliva proto nelze rozvíjet jako izolovanou technologii. Vyžadují koordinaci energetiky, chemie, palivářství, dopravy, certifikace, LCA, digitálních nástrojů a průmyslových odběratelů. Největší riziko nevzniká pouze v jedné části řetězce, ale v nesouladu mezi nimi: například když existuje technologie, ale chybí certifikovatelný vodík; existuje CO<sub>2</sub>, ale není jasně započitatelný; existuje poptávka, ale cena je nepřijatelná; nebo existuje palivo, ale nelze doložit jeho emisní přínos.

Pro ČTP Bio z toho vyplývá, že hlavní přidaná hodnota platformy může spočívat ve strukturování těchto bariér, mapování zdrojů biogenního CO<sub>2</sub>, propojování aktérů hodnotových řetězců, podpoře LCA a certifikační připravenosti, sledování regulatorního vývoje a formulaci realistických doporučení pro podniky a veřejnou správu. Pro další práci platformy je proto rozhodující převést identifikované bariéry do konkrétních priorit: mapování vstupů, certifikační připravenosti, datové infrastruktury a realistických hodnotových řetězců.

## 10. Doporučení a priority pro další postup ČTP Bio

Doporučení pro ČTP Bio vycházejí z principu selektivního rozvoje syntetických paliv. Platforma by se neměla soustředit na jejich plošnou podporu, ale na oblasti, kde téma navazuje na bioekonomiku, obnovitelný uhlík, LCA, certifikaci, zelenou chemii a hodnotové řetězce.

Základním východiskem je princip podmíněné relevance. Syntetická paliva mají smysl tehdy, pokud splňují současně několik podmínek: jsou technologicky proveditelná, regulatorně uznatelná, environmentálně obhajitelná, certifikovatelná, ekonomicky alespoň střednědobě uplatnitelná a směřují do sektoru, kde přímá elektrifikace nebo jiné jednodušší řešení není vhodné. Tato kapitola proto doporučuje zaměřit další práci ČTP Bio zejména na segmenty, kde se protíná obtížná elektrifikace, potřeba uhlíkaté nebo dusíkaté molekuly, vazba na biogenní CO<sub>2</sub>, průmyslová poptávka, LCA přínos a možnost zapojení českých podniků do hodnotových řetězců.

Pro ČTP Bio je důležité uchopit syntetická paliva jako doplňkovou a hodnotově-řetězcovou oblast, nikoli jako náhradu dosavadní agendy biopaliv, biosložek a bio-based chemie. Největší přidaná hodnota platformy může spočívat v propojování témat obnovitelného uhlíku, biogenního CO<sub>2</sub>, nízkoemisního vodíku, zelené chemie, LCA, certifikace, digitální sledovatelnosti a sektorových aplikací, zejména v letectví, námořní dopravě, chemickém průmyslu a vybraných speciálních aplikacích.

### 10.1 Základní doporučení: zaměřit se na syntetická paliva jako součást hodnotových řetězců

Prvním doporučením je zaměřit další práci na konkrétní články řetězce, ve kterých může mít ČTP Bio přidanou hodnotu: biogenní CO<sub>2</sub>, obnovitelný uhlík, e-methanol, e-SAF, LCA, certifikaci a datovou sledovatelnost.

ČTP Bio by proto měla syntetická paliva sledovat především v návaznosti na čtyři oblasti. První oblastí je obnovitelný uhlík a biogenní CO<sub>2</sub>. Druhou oblastí je zelená a nízkoemisní chemie, zejména e-methanol, e-amoniak a navazující chemické meziprodukty. Třetí oblastí jsou obtížně elektrifikovatelné dopravní sektory, zejména letectví a námořní doprava. Čtvrtou oblastí je datová, LCA a certifikační infrastruktura, bez níž nebude možné syntetická paliva regulatorně ani tržně uplatnit.

Tento přístup odpovídá logice Analýzy hodnotových řetězců ČTP Bio, která zdůrazňuje propojení surovinové základny, technologií, logistiky, certifikace, tržního uplatnění a průmyslových aplikací [4]. U syntetických paliv je tato logika ještě výraznější než u řady tradičních palivových cest, protože vstupy pocházejí z více sektorů a každý z nich musí být měřitelný, ověřitelný a certifikovatelný.

Obrázek 9: Doporučené zaměření ČTP Bio v oblasti syntetických paliv

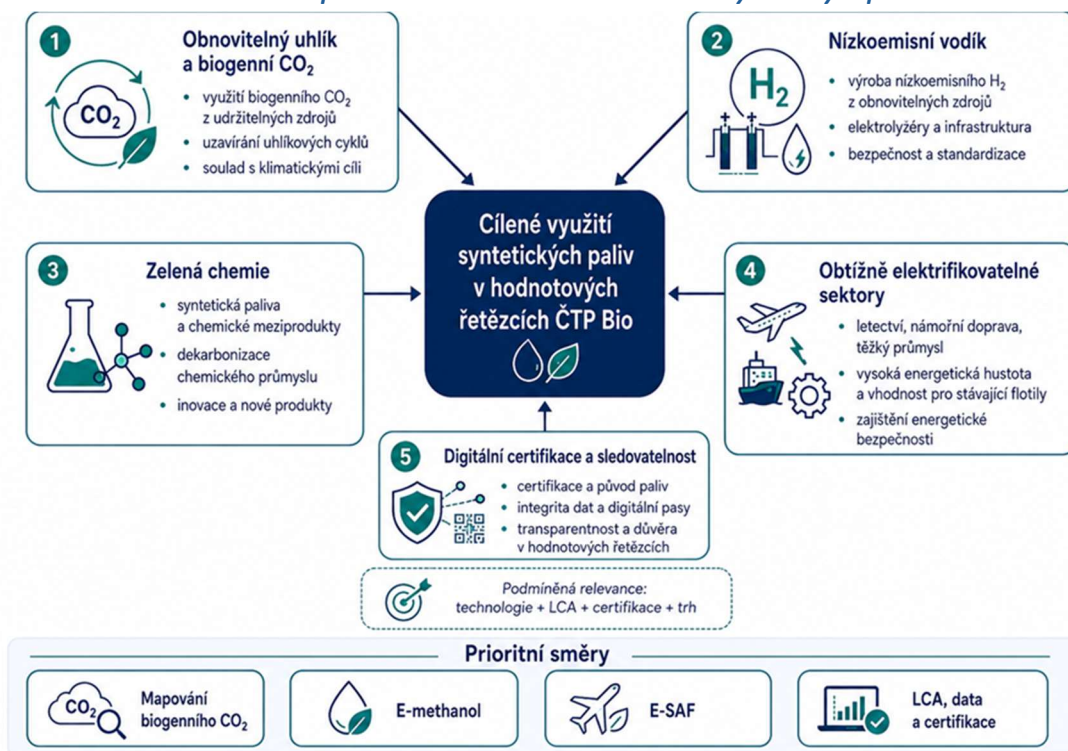


Schéma zdůrazňuje strategické zaměření platformy, nikoli detailní výrobní proces.

Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě předchozí analýzy technologických, regulatorních, LCA, sektorových a hodnotově-řetězcových souvislostí [3], [4], [6], [8], [15], [17], [18], [32].

Obrázek 9 znázorňuje syntetická paliva jako průsečík pěti oblastí: obnovitelného uhlíku a biogenního CO<sub>2</sub>, nízkoemisního vodíku, zelené chemie, obtížně elektrifikovatelných sektorů a digitální certifikace. Ve středu schématu je výstup „cílené využití syntetických paliv v hodnotových řetězcích ČTP Bio“. Smyslem obrázku není ukázat výrobní proces, ale strategické zaměření platformy.

## 10.2 Priorita 1: zmapovat zdroje biogenního CO<sub>2</sub> a obnovitelného uhlíku

První věcnou prioritou by mělo být systematické zmapování dostupných zdrojů biogenního CO<sub>2</sub> a dalších obnovitelných uhlíkatých toků v České republice. Biogenní CO<sub>2</sub> je pro ČTP Bio nejpřirozenějším spojovacím bodem mezi dosavadní agendou biopaliv, biosložek a novou oblastí syntetických paliv. Pokud bude dostupný v dostatečně koncentrovaných tocích, může se stát vstupem pro výrobu e-methanolu, e-SAF nebo dalších Power-to-X produktů.

Mapování by nemělo být pouze kvantitativním odhadem objemu CO<sub>2</sub>. Je nutné sledovat také koncentraci proudu, stabilitu dodávky, sezónnost, čistotu, lokalitu, vzdálenost k potenciálnímu odběrateli, možnost zachycení, energetickou náročnost úpravy, certifikovatelnost biogenního původu a potenciální konkurenci s jiným využitím. Samotná existence biogenního CO<sub>2</sub> ještě neznamená, že je technicky, ekonomicky nebo regulatorně vhodný pro výrobu syntetického paliva.

Doporučeným výstupem je katalog zdrojů biogenního CO<sub>2</sub> a obnovitelného uhlíku. Tento katalog by měl být vytvořen jako pracovní analytický nástroj, nikoli pouze jako seznam provozů.

Měl by obsahovat základní technické, geografické, certifikační a hodnotově-řetězcové informace. Takový výstup by mohl sloužit pro diskusi s podniky, výzkumnými organizacemi, veřejnou správou a potenciálními investory.

**Tabulka 40: Doporučená struktura mapování biogenního CO<sub>2</sub> pro syntetická paliva**

Sledovaná oblast	Co má být zjištěno	Význam pro syntetická paliva
Typ zdroje	Bioethanol, bioplyn, fermentace, biochemie, spalování biomasy, jiný zdroj	Určuje charakter a stabilitu uhlíkového toku
Objem CO <sub>2</sub>	Roční a sezónní dostupnost	Určuje potenciální velikost navazujícího projektu
Koncentrace a čistota	Obsah CO <sub>2</sub> , vody, kyslíku, síry, dusíku a dalších příměsí	Ovlivňuje náklady na zachycení a úpravu
Lokalita	Umístění zdroje a vzdálenost k infrastruktuře	Ovlivňuje logistiku a možnost průmyslové integrace
Biogenní původ	Doložitelnost a certifikace původu uhlíku	Klíčové pro LCA a regulační uznatelnost
Možnost zachycení	Technická proveditelnost, prostor, energie, integrace	Rozhoduje o praktické využitelnosti zdroje
Alternativní využití	Potravinářství, technické plyny, CCS, jiné CCU cesty	Pomáhá určit ekonomickou a environmentální prioritu
Potenciální navazující produkt	E-methanol, e-SAF, syntetický metan, chemický meziprodukt	Ukazuje nejvhodnější hodnotový řetězec

Tabulka 40 ukazuje, že mapování biogenního CO<sub>2</sub> musí spojovat technická, logistická, certifikační a tržní kritéria. Pro ČTP Bio by šlo o jeden z nejkonkrétnějších a nejpraktičtějších navazujících výstupů této studie.

### 10.3 Priorita 2: zaměřit se na e-methanol jako most mezi palivy a chemií

Druhou prioritou je podrobněji sledovat e-methanol. E-methanol má pro ČTP Bio strategický význam, protože stojí na rozhraní paliv, chemického průmyslu, obnovitelného uhlíku a Power-to-X technologií. Může být využit jako námořní palivo, chemická surovina, meziprodukt pro další syntézu nebo prvek dekarbonizace uhlíkových toků v průmyslu.

Výhodou e-methanolu je jeho víceúčelovost. Na rozdíl od některých paliv, která mají dominantně energetickou funkci, methanol vstupuje také do chemických hodnotových řetězců. To je důležité z hlediska efektivního využití obnovitelného uhlíku. Pokud je uhlík vzácný a certifikovatelný, může dávat smysl směřovat jej do produktů s vyšší materiálovou hodnotou, nikoli pouze do přímého spalování. Tento princip navazuje na LCA a hodnotově-řetězcovou logiku předchozích kapitol [3], [4].

ČTP Bio by proto měla e-methanol sledovat ve dvou rovinách. První rovinou je e-methanol jako palivo, zejména pro námořní dopravu, kde existuje rostoucí zájem o alternativní lodní paliva a kde již vznikají technické normy pro methanol jako námořní palivo [28]. Druhou rovinou je e-

methanol jako chemická surovina a platformní molekula, která může navázat na český chemický průmysl a na budoucí Road Map obnovitelného uhlíku.

Zjednodušenou logiku rozhodnutí, zda má uhlík směřovat do paliva nebo chemické suroviny, lze vyjádřit následovně:

$$P_{\text{využití uhlíku}} = H_{\text{přidaná hodnota}} + E_{\text{emisní přínos}} + S_{\text{strategická relevance}} - N_{\text{náklady a rizika}}$$

**Rovnice 17: Orientační priorita využití obnovitelného uhlíku**

kde:

$P_{\text{využití uhlíku}}$  je orientační priorita dané cesty využití uhlík

$H_{\text{přidaná hodnota}}$  vyjadřuje ekonomickou nebo materiálovou hodnotu produktu

$E_{\text{emisní přínos}}$  vyjadřuje očekávaný přínos v životním cyklu

$S_{\text{strategická relevance}}$  vyjadřuje význam pro sektor, hodnotový řetězec nebo průmyslovou politiku

$N_{\text{náklady a rizika}}$  zahrnuje technologická, investiční, certifikační a tržní omezení

Rovnice 17 není výpočtovým modelem, ale rozhodovacím rámcem. Upozorňuje, že obnovitelný uhlík by měl být směřován tam, kde kombinuje emisní přínos, přidanou hodnotu a strategický význam. Právě e-methanol může být jedním z produktů, kde se tyto podmínky mohou potkat.

### 10.4 Priorita 3: sledovat e-SAF jako strategický sektorový trh

Třetí prioritou je sledovat e-SAF jako jeden z nejdůležitějších sektorových trhů pro syntetická paliva. Letecká doprava má silný regulační impuls, omezenou možnost přímé elektrifikace na středních a dlouhých trasách a dlouhodobou potřebu kapalných paliv s vysokou energetickou hustotou. ReFuelEU Aviation nastavuje postupné navyšování podílu SAF a zároveň samostatnou trajektorii pro syntetická letecká paliva [8].

Pro ČTP Bio není nutné, aby se platforma zaměřovala na e-SAF pouze z pohledu výroby finálního paliva. Relevantnější může být sledovat dílčí vstupy a vazby: biogenní CO<sub>2</sub>, certifikaci uhlíku, Power-to-X řetězce, LCA, datovou sledovatelnost, vazbu na bio-SAF a zapojení českých aktérů do technologických nebo analytických částí hodnotového řetězce. E-SAF je zároveň vhodným příkladem sektoru, kde syntetická paliva nejsou obecnou vizí, ale regulačně ukotveným budoucím trhem.

Zároveň je nutné e-SAF hodnotit realisticky. Rozvoj bude limitován dostupností obnovitelné elektřiny, RFNBO vodíku, vhodného uhlíku, certifikovaných výrobních cest, investic a ochoty leteckého sektoru absorbovat vyšší náklady. ASTM D7566 a navazující letecké standardy znamenají, že technická cesta k použití je přísná a nelze ji obejít [24], [25]. Právě tato kombinace silného trhu a vysokých vstupních požadavků z e-SAF dělá prioritní téma pro sledování, nikoli však jednoduchý krátkodobý projekt.

**Tabulka 41: Doporučené zaměření ČTP Bio ve vztahu k e-SAF**

Oblast sledování	Doporučená aktivita ČTP Bio	Praktický význam
Biogenní CO <sub>2</sub>	Mapovat možné zdroje uhlíku pro e-SAF řetězce	Vytváří vazbu mezi bioekonomikou a leteckými palivy
LCA a certifikace	Sledovat požadavky na emisní bilanci, původ uhlíku a RFNBO vstupy	Pomáhá připravit podniky na budoucí tržní požadavky
Technologie výroby	Sledovat FT a další schválené cesty pro syntetická letecká paliva	Umožňuje identifikovat realistické technologické vazby
Normy a kvalita	Sledovat ASTM D7566 a schvalování SAF cest	Zabraňuje zjednodušenému pohledu na e-SAF jako běžné kapalné palivo
Tržní poptávka	Sledovat vývoj ReFuelEU Aviation a poptávku leteckého sektoru	Ukazuje budoucí tržní tah
Český průmysl	Identifikovat role mimo finální výrobu paliva	Umožňuje zapojení do technologií, dat, certifikace a CO <sub>2</sub> řetězců

Tabulka 41 ukazuje, že e-SAF je pro ČTP Bio relevantní především jako strategický hodnotový řetězec, nikoli pouze jako finální palivo.

### 10.5 Priorita 4: posílit LCA, certifikaci a digitální sledovatelnost

Čtvrtou prioritou je rozvíjet kompetence v oblasti LCA, certifikace a digitální sledovatelnosti. U syntetických paliv bude stále více rozhodovat schopnost doložit původ vstupů a emisní bilanci. To se týká elektřiny, vodíku, CO<sub>2</sub>, dusíku, chemické syntézy, logistiky, blendingu i konečného využití. Bez datové infrastruktury nebude možné syntetická paliva uplatnit jako RFNBO, nízkouhlíková paliva ani jinou uznatelnou nízkoemisní kategorii [15], [18].

ČTP Bio by měla v této oblasti působit jako koordinační a metodické centrum. Nemusí sama nahrazovat certifikační orgány, ale může pomáhat členům porozumět požadavkům, připravovat metodické podklady, identifikovat datové mezery, vysvětlovat LCA logiku a podporovat vznik auditovatelných hodnotových řetězců. To je v souladu s Akčním plánem digitální a zelené transformace, který zdůrazňuje datovou interoperabilitu, sledovatelnost, emisní reporting a propojení digitální a zelené transformace [2].

Doporučeným výstupem může být metodický rámec pro sledování dat v syntetických a bio-based hodnotových řetězcích. Tento rámec by měl určit, jaká data je vhodné sbírat, v jaké granularitě, kdo za ně odpovídá, jak se ověřují a jak vstupují do LCA nebo certifikace.

**Tabulka 42: Doporučené datové minimum pro syntetická paliva a navazující hodnotové řetězce**

Datová oblast	Příklad sledovaného údaje	Důvod sledování
Elektřina	Původ, čas, lokalita, smluvní vztah, emisní faktor	Prokázání nízkoemisního nebo obnovitelného vstupu
Vodík	Výrobní cesta, spotřeba elektřiny, čistota, certifikát	Klíčový vstup pro RFNBO a LCA
CO <sub>2</sub> / uhlík	Původ, koncentrace, biogenní status, množství, úprava	Zásadní pro uhlíkovou bilanci a certifikaci
Výrobní proces	Energetické toky, výtěžnost, vedlejší produkty	Nutné pro výpočet emisní intenzity
Produkt	Šarže, složení, norma, blending, kvalita	Nutné pro technickou shodu a tržní použití
Logistika	Trasa, vzdálenost, způsob dopravy, skladování	Doplňuje emise životního cyklu
Certifikace	Schéma, audit, platnost, odpovědný subjekt	Dokládá uznatelnost produktu
Konečné využití	Sektor, odběratel, způsob započtení	Zamezuje dvojímu započítání přínosu

Tabulka 42 ukazuje, že datová připravenost musí být budována již při návrhu hodnotového řetězce. Dodatečné doplňování chybějících dat bývá obtížné a může ohrozit certifikaci.

## 10.6 Priorita 5: vymezit syntetická paliva jako cílený nástroj pro obtížně elektrifikovatelné sektory

Pátou prioritou je důsledně komunikovat syntetická paliva jako cílený, nikoli plošný dekarbonizační nástroj. Tím se předejde nerealistickým očekáváním a zároveň se posílí důvěryhodnost celé agendy. Syntetická paliva jsou energeticky náročná a jejich výroba vyžaduje významné množství elektřiny, vodíku a certifikovatelných vstupů [6], [9]. Proto by měla být primárně směřována tam, kde mají nejvyšší systémový přínos.

Za prioritní sektory lze považovat letectví, námořní dopravu, chemický průmysl a vybrané speciální aplikace. V těchto sektorech se kombinuje potřeba molekulárního nosiče, obtížná elektrifikace, regulační impuls nebo vysoká hodnota produktu. Naopak u osobní silniční dopravy by ČTP Bio měla syntetická paliva prezentovat spíše jako doplňkovou nebo okrajovou možnost, nikoli jako hlavní dekarbonizační cestu.

Takto vymezený přístup je důležitý i pro komunikaci s veřejnou správou. Podpora syntetických paliv by neměla být formulována obecně, ale podle sektorové priority, očekávaného LCA přínosu, dostupnosti vstupů a možnosti zapojení českých hodnotových řetězců. Tím se sníží riziko, že veřejná podpora bude směřovat do aplikací s nízkou účinností nebo slabou perspektivou.

**Tabulka 43: Doporučená sektorová priorita syntetických paliv pro ČTP Bio**

Priorita	Sektor / aplikace	Doporučený postoj ČTP Bio	Důvod
Vysoká	E-methanol a chemické využití obnovitelného uhlíku	Aktivně sledovat a rozpracovat	Přímá vazba na chemii, bioekonomiku a hodnotové řetězce
Vysoká	E-SAF a letecká paliva	Strategicky sledovat	Silný regulační impuls a potřeba kapalných paliv
Vysoká	Biogenní CO <sub>2</sub> jako vstup pro Power-to-X	Aktivně mapovat	Přirozená vazba na ČTP Bio
Střední až vysoká	Námořní paliva, zejména e-methanol	Sledovat sektorové příležitosti	Růst poptávky po nízkoemisních lodních palivech
Střední	Syntetický metan	Sledovat selektivně	Vazba na plynárenství, ale citlivost na účinnost a úniky metanu
Střední	Speciální a pracovní aplikace	Sledovat cíleně	Vhodné tam, kde chybí elektrická alternativa
Nízká až střední	Plošné využití v osobní silniční dopravě	Neprioritizovat	Silná konkurence přímé elektrifikace

Tabulka 43 ukazuje, že prioritizace by měla vycházet z přidané hodnoty pro ČTP Bio, nikoli pouze z velikosti potenciálního trhu.

### 10.7 Priorita 6: připravit členy platformy na nové certifikační a tržní požadavky

Šestou prioritou je vzdělávání a příprava členů platformy. Syntetická paliva a obnovitelný uhlík přinesou nové požadavky na data, certifikaci, LCA, reporting, technickou dokumentaci a smluvní řízení hodnotových řetězců. Mnoho podniků může být těmito požadavky zasaženo nepřímou, například jako dodavatelé surovin, producenti CO<sub>2</sub>, provozovatelé technologií, zpracovatelé biomasy, chemické podniky nebo odběratelé nízkoemisních surovin.

ČTP Bio by proto měla vytvořit vzdělávací a informační balíček pro členy. Ten by měl vysvětlovat základní pojmy, rozdíl mezi RFNBO, nízkouhlíkovými palivy, biopalivy a syntetickými palivy, význam LCA, požadavky na data, riziko dvojího započítání, vazbu na biogenní CO<sub>2</sub> a možnosti zapojení podniků do hodnotových řetězců. Takový výstup by byl prakticky využitelný pro malé a střední podniky i pro větší průmyslové členy.

Součástí může být také série odborných workshopů. Ty by neměly být obecnou popularizací syntetických paliv, ale cíleným pracovním formátem zaměřeným na konkrétní otázky: zdroje CO<sub>2</sub>, LCA, e-methanol, e-SAF, certifikace, datová evidence, možnosti financování a zapojení do projektů. Tím by studie nezůstala pouze analytickým dokumentem, ale stala by se podkladem pro další činnost platformy.

### 10.8 Priorita 7: podporovat pilotní a demonstrační projekty s jasnou hodnotově-řetězcovou logikou

Sedmou prioritou je podporovat přípravu pilotních a demonstračních projektů, ale pouze tam, kde mají jasnou hodnotově-řetězcovou logiku. Pilotní projekt by neměl být samoučelný. Měl

by testovat konkrétní vazbu mezi zdrojem biogenního CO<sub>2</sub>, výrobou nebo dodávkou vodíku, syntézou produktu, certifikací, LCA a reálným odběratelem.

Nejvhodnější pilotní témata pro ČTP Bio by mohla zahrnovat využití biogenního CO<sub>2</sub> pro e-methanol, posouzení CO<sub>2</sub> toků pro budoucí e-SAF řetězce, certifikační model pro obnovitelný uhlík, digitální sledovatelnost šarží, LCA scénáře pro kombinaci biopaliv a syntetických paliv nebo technicko-ekonomické posouzení malého integrovaného Power-to-X řetězce.

Důležité je, aby každý pilotní projekt měl předem definovaná hodnotící kritéria. Nemá stačit, že technologie funguje. Je nutné hodnotit emisní bilanci, datovou dohledatelnost, cenu, škálovatelnost, regulační uznatelnost, bezpečnost, potenciální trh a možnost zapojení českých podniků.

**Tabulka 44: Doporučená kritéria pro výběr pilotních projektů syntetických paliv**

Kritérium	Kontrolní otázka	Význam
Vazba na ČTP Bio	Propojuje projekt bioekonomiku, biosložky, biogenní CO <sub>2</sub> nebo zelenou chemii?	Zajišťuje relevanci pro platformu
Dostupnost vstupů	Existuje reálný zdroj elektřiny, vodíku a CO <sub>2</sub> ?	Omezuje riziko nerealistického projektu
LCA potenciál	Má projekt předpoklad prokazatelné emisní úspory?	Zajišťuje environmentální smysl
Certifikovatelnost	Lze doložit původ vstupů a emisní bilanci?	Nutné pro budoucí tržní využití
Odběratel	Existuje reálný koncový trh nebo partner?	Zvyšuje šanci na pokračování projektu
Škálovatelnost	Lze projekt rozšířit nebo replikovat?	Rozhoduje o strategickém významu
Datová infrastruktura	Sbírá projekt auditovatelná data od začátku?	Snižuje certifikační riziko
Bezpečnost	Jsou řešena provozní a bezpečnostní rizika?	Nutné pro praktické použití

Tabulka 44 ukazuje, že pilotní projekty by měly být vybírány podle systémové hodnoty, nikoli pouze podle technologické atraktivity.

## 10.9 Priorita 8: formulovat doporučení pro veřejnou správu

Osmou prioritou je připravit srozumitelná doporučení pro veřejnou správu. Téma syntetických paliv se dotýká energetiky, dopravy, průmyslu, chemie, životního prostředí, výzkumu, inovací a podpory podniků. Bez koordinovaného přístupu může vzniknout roztříštěné prostředí, v němž se budou podporovat izolované projekty bez jasné vazby na hodnotové řetězce a emisní přínos.

Doporučení pro veřejnou správu by měla vycházet z principu cílené podpory. Veřejné nástroje by měly směřovat především tam, kde syntetická paliva řeší obtížně dekarbonizovatelný sektor, mají prokazatelný LCA přínos, využívají certifikovatelný uhlík, podporují průmyslovou přidanou hodnotu a vytvářejí data využitelná pro další projekty. Podpora by neměla zvýhodňovat syntetická paliva plošně bez ohledu na účinnost, sektorovou vhodnost a dostupné alternativy.

Pro veřejnou správu může být důležité také mapování zdrojů biogenního CO<sub>2</sub>, podpora pilotních projektů, metodická podpora LCA, rozvoj certifikační připravenosti, zapojení do evropských programů, koordinace s vodíkovou strategií a propojení s politikami pro bioekonomiku a chemický průmysl. ČTP Bio může v tomto směru sloužit jako odborný prostředník mezi průmyslem, výzkumem a státní správou.

**Tabulka 45: Doporučení pro veřejnou správu v oblasti syntetických paliv**

Oblast veřejné politiky	Doporučení	Očekávaný přínos
Strategické plánování	Vnímat syntetická paliva jako cílený nástroj pro vybrané sektory	Omezení nerealistických očekávání a lepší prioritizace
Bioekonomika	Mapovat biogenní CO <sub>2</sub> a obnovitelný uhlík	Vytvoření vstupní základny pro Power-to-X
Podpora projektů	Podporovat piloty s jasnou LCA a hodnotově-řetězcovou logikou	Vyšší efektivita veřejné podpory
Certifikace a data	Podpořit metodiky, digitální evidenci a auditovatelnost	Zvýšení připravenosti podniků na tržní požadavky
Výzkum a inovace	Zaměřit VaVal na e-methanol, e-SAF, CO <sub>2</sub> využití, LCA a katalýzu	Posílení domácích kompetencí
MSP	Zjednodušit přístup k informacím a poradenské podpoře	Zapojení menších firem do nových hodnotových řetězců
Koordinace	Propojit energetiku, dopravu, chemii a bioekonomiku	Omezení institucionální roztříštěnosti

Tabulka 45 převádí závěry studie do doporučení využitelných pro komunikaci s veřejnou správou a pro další strategickou práci platformy.

## 10.10 Implementační plán pro ČTP Bio

Doporučení této kapitoly je vhodné převést do jednoduchého implementačního plánu. Ten by měl být realistický, navázaný na kapacity platformy a propojený s Akčním plánem digitální a zelené transformace, Strategickou výzkumnou agendou, Technologickým foresightem a budoucí Road Map. Cílem není vytvářet paralelní strategii, ale doplnit existující rámec ČTP Bio o téma syntetických paliv a obnovitelného uhlíku.

Krátkodobě by měla platforma dokončit tuto studii, připravit stručné manažerské shrnutí, vytvořit přehled priorit a zahájit mapování biogenního CO<sub>2</sub>. Střednědobě by měla připravit odborné workshopy, metodický list k LCA a certifikaci syntetických paliv, katalog potenciálních hodnotových řetězců a podklady pro veřejnou správu. Dlouhodobě by měla sledovat vývoj e-methanolu, e-SAF, RFNBO pravidel, nízkouhlíkových paliv, certifikačních schémat a zapojení českých aktérů do evropských projektů.

**Tabulka 46: Doporučený implementační plán ČTP Bio pro oblast syntetických paliv**

<b>Časový horizont</b>	<b>Doporučený krok</b>	<b>Výstup</b>
Krátkodobě	Dokončit studii a manažerské shrnutí	Veřejný analytický výstup projektu ČTP Biosložky V
Krátkodobě	Připravit mapování biogenního CO <sub>2</sub>	Pracovní katalog zdrojů a potenciálních vazeb
Krátkodobě	Připravit informační materiál pro členy	Stručný přehled RFNBO, LCA, CO <sub>2</sub> , e-methanolu a e-SAF
Střednědobě	Uspořádat odborný workshop k syntetickým palivům	Diskuse s členy, výzkumem, průmyslem a veřejnou správou
Střednědobě	Zpracovat metodický list k datům a certifikaci	Podpora připravenosti podniků
Střednědobě	Identifikovat pilotní hodnotové řetězce	Výběr vhodných témat pro VaVal a demonstrační projekty
Dlouhodobě	Aktualizovat Akční plán a Road Map o obnovitelný uhlík a syntetická paliva	Začlenění tématu do strategických dokumentů platformy
Dlouhodobě	Sledovat evropskou regulaci a trhy	Průběžná aktualizace doporučení pro členy

Tabulka 46 ukazuje, že další postup nemusí začínat investičním projektem. Prvním krokem má být datová, metodická a hodnotově-řetězcová příprava.

### **10.11 Dílčí závěr kapitoly**

Pro ČTP Bio mají nejvyšší prioritu témata s přímou vazbou na bioekonomiku, obnovitelný uhlík a zelenou chemii: mapování biogenního CO<sub>2</sub>, e-methanol, e-SAF, LCA, certifikace, digitální sledovatelnost a metodická připravenost členů.

Doporučený postup pro ČTP Bio je založen na osmi prioritách: zaprvé chápat syntetická paliva jako hodnotově-řetězcové téma; zadruhé zmapovat biogenní CO<sub>2</sub>; zatřetí rozpracovat e-methanol jako most mezi palivy a chemií; začtvrté sledovat e-SAF jako strategický trh; zapáté posílit LCA, certifikaci a digitální sledovatelnost; zašesté vymežit syntetická paliva jako cílený nástroj pro obtížně elektrifikovatelné sektory; zasedmé připravit členy platformy na nové požadavky; a zaosmé podporovat pilotní projekty jen tam, kde mají jasnou hodnotově-řetězcovou logiku.

Pro veřejnou správu z kapitoly vyplývá, že syntetická paliva by měla být podporována selektivně, podle jejich skutečného emisního přínosu, sektorové potřeby, certifikovatelnosti a přidané hodnoty pro průmyslové řetězce. Pro členy ČTP Bio je hlavním závěrem potřeba připravit se na nové požadavky v oblasti dat, LCA, certifikace, původu uhlíku a nízkoemisních vstupů. Další kapitola proto může navázat shrnutím celkových závěrů studie a vymezením hlavních sdělení pro manažerské shrnutí, Road Map a komunikaci s veřejnou správou.

## 11. Závěry studie a hlavní sdělení pro další strategickou práci

Kapitola shrnuje hlavní závěry studie pro další strategickou, odbornou a komunikační práci ČTP Bio. Neopakuje dílčí závěry jednotlivých kapitol, ale soustředí se na sdělení využitelná pro Akční plán, Road Map, komunikaci s veřejnou správou, členy platformy a odbornými partnery.

Základním závěrem studie je, že syntetická paliva představují relevantní, ale podmíněný nástroj dekarbonizace. Nejsou univerzální náhradou fosilních paliv a nemají být chápána jako konkurence všech ostatních dekarbonizačních cest. Jejich význam spočívá především v aplikacích, kde bude i ve střednědobém a dlouhodobém horizontu potřeba kapalné nebo plynné palivo, uhlíkatá nebo dusíkatá molekula, případně chemický meziprodukt s nízkou emisní stopou. Největší smysl dávají tam, kde se současně potkává obtížná elektrifikace, regulatorní poptávka, dostupnost vhodných vstupů, prokazatelný LCA přínos a možnost vytvořit hodnotový řetězec s průmyslovou přidanou hodnotou.

Pro ČTP Bio je klíčové, že syntetická paliva mají přirozenou vazbu na agendu obnovitelného uhlíku, biogenního CO<sub>2</sub>, biosložek, biopaliv, bio-based chemie, LCA, certifikace a digitální sledovatelnosti. Téma syntetických paliv proto nerozšiřuje činnost platformy mimo její logiku, ale doplňuje ji o oblast, která může v budoucnu významně ovlivnit podobu palivových a chemických hodnotových řetězců.

### 11.1 Hlavní závěr 1: syntetická paliva jsou hodnotově-řetězcové téma, nikoli pouze palivový produkt

Prvním hlavním závěrem studie je, že syntetická paliva je nutné hodnotit jako průmyslový a datově doložitelný hodnotový řetězec, nikoli pouze jako finální palivový produkt.

Tento závěr je pro ČTP Bio zásadní. Pokud se syntetická paliva posuzují pouze podle finálního produktu, například e-SAF, e-methanolu nebo e-dieselu, ztrácí se pohled na skutečné podmínky jejich vzniku. Rozhodující je dostupnost nízkoemisní elektřiny, způsob výroby vodíku, původ uhlíku, účinnost syntézy, normová shoda, certifikace, emisní bilance a existence odběratele. Právě tyto vazby určují, zda má dané palivo technický, environmentální a ekonomický smysl.

Studie proto potvrzuje význam hodnotově-řetězcového přístupu, který je již obsažen v Analýze hodnotových řetězců ČTP Bio [4]. U syntetických paliv je tento přístup ještě důležitější než u řady tradičních palivových cest, protože vstupy pocházejí z více sektorů a každý z nich musí být samostatně doložitelný a certifikovatelný.

**Tabulka 47: Hlavní hodnotově-řetězcové vazby syntetických paliv**

Článek řetězce	Význam pro syntetická paliva	Vazba na činnost ČTP Bio
Nízkoemisní elektřina	Určuje emisní profil výroby vodíku a části procesu	Vazba na zelenou transformaci a energetickou efektivitu
Vodík	Základní vstup většiny syntetických paliv	Vazba na Power-to-X a průmyslové inovace
CO <sub>2</sub> / uhlík	Klíčový vstup pro syntetická uhlovodíková paliva	Přímá vazba na biogenní CO <sub>2</sub> , bioekonomiku a obnovitelný uhlík
Chemická syntéza	Přeměna vstupů na palivo nebo chemický produkt	Vazba na zelenou chemii, VaVal a technologický foresight
LCA a certifikace	Doložení emisního přínosu a uznatelnosti	Vazba na LCA studii, datovou kvalitu a digitální sledovatelnost
Koncový trh	Určuje ekonomickou použitelnost produktu	Vazba na sektorové priority a Road Map

Tabulka 47 ukazuje, že syntetická paliva mohou být relevantní pro ČTP Bio právě proto, že propojují více oblastí, které platforma již řeší nebo bude muset řešit v rámci zelené a digitální transformace.

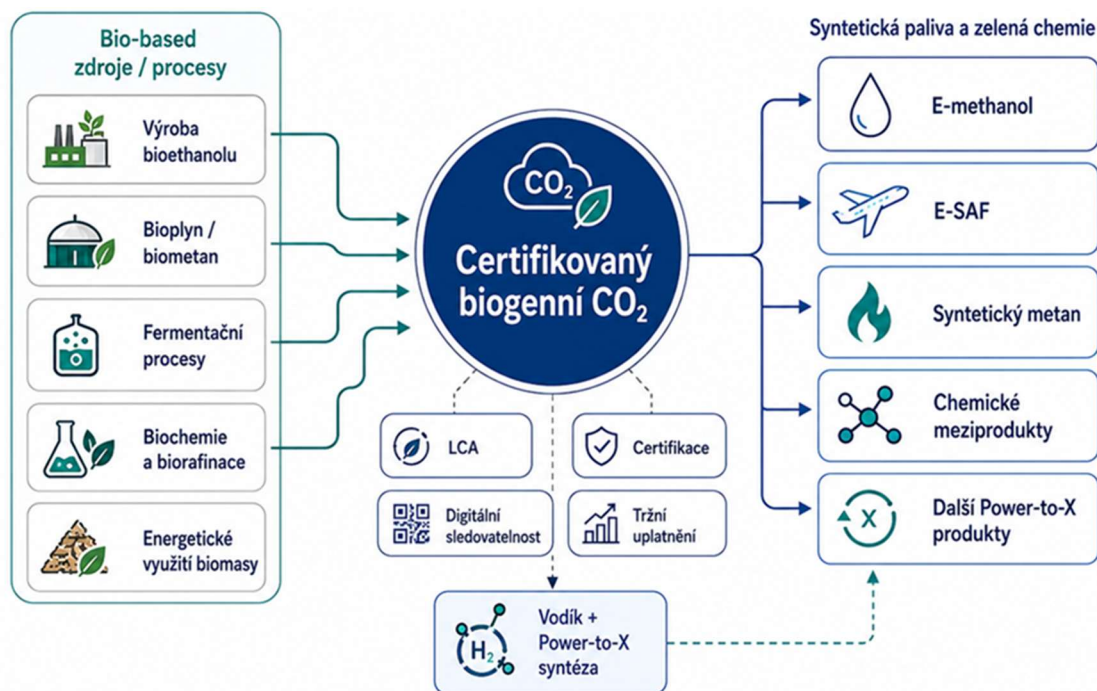
## 11.2 Hlavní závěr 2: největší význam má vazba na obnovitelný uhlík a biogenní CO<sub>2</sub>

Druhým hlavním závěrem je, že nejpřirozenější vstupní bod pro ČTP Bio představuje obnovitelný uhlík, zejména biogenní CO<sub>2</sub>. Syntetická uhlovodíková paliva a některé chemické produkty potřebují uhlík. Pokud má tento uhlík přispívat k dekarbonizaci, musí být jeho původ doložitelný, metodicky správně započtený a environmentálně obhajitelný.

Biogenní CO<sub>2</sub> může propojit dosavadní agendu biopaliv, biosložek a zelené chemie s budoucími Power-to-X řetězci. Pokud je dostupný ve stabilních, koncentrovaných a certifikovatelných tocích, může být vstupem pro e-methanol, e-SAF, syntetický metan nebo další produkty [4].

Současně platí, že biogenní CO<sub>2</sub> není automaticky „volný“ nebo bezproblémový vstup. Je třeba hodnotit jeho objem, čistotu, stabilitu, lokalitu, alternativní využití, náklady na zachycení, certifikaci a LCA. Studie proto doporučuje, aby mapování biogenního CO<sub>2</sub> bylo jedním z nejkonkrétnějších navazujících kroků ČTP Bio.

Obrázek 10: Vazba biogenního CO<sub>2</sub> na syntetická paliva a zelenou chemii



Zdroj: vlastní zpracování ČTP Bio na základě vazby mezi bioekonomikou, biogenním CO<sub>2</sub>, Power-to-X, syntetickými palivy, zelenou chemií a hodnotovými řetězci [3], [4], [6], [15], [18], [32].

Obrázek 10 znázorňuje biogenní CO<sub>2</sub> jako uzel mezi bio-based procesy a navazujícími produkty. Na vstupu jsou bioethanol, bioplyn, fermentace, biochemie a další bio-based zdroje. Ve středu schématu je certifikovaný biogenní CO<sub>2</sub>. Na výstupu jsou e-methanol, e-SAF, syntetický metan, chemické meziprodukty a další Power-to-X produkty. Schéma zdůrazňuje, že rozhodujícími podmínkami pro praktické využití jsou LCA, certifikace, datová sledovatelnost a tržní uplatnění.

### 11.3 Hlavní závěr 3: syntetická paliva musí být posuzována podle LCA, nikoli podle názvu

Třetím hlavním závěrem je, že syntetická paliva nelze hodnotit podle označení. Označení „syntetické“, „e-palivo“, „nízkouhlíkové“ nebo „obnovitelné“ má vypovídací hodnotu pouze tehdy, pokud je podloženo LCA, kvalitními daty a certifikovatelnou metodikou započítání.

Tento závěr navazuje na LCA studii ČTP Bio, která zdůrazňuje, že přínos paliv a biosložek je nutné hodnotit na základě konkrétního hodnotového řetězce, nikoli pouze podle kategorie paliva [3]. U syntetických paliv je tento princip ještě důležitější, protože výsledná emisní bilance je velmi citlivá na původ elektřiny, způsob výroby vodíku, původ uhlíku, účinnost syntézy a logistiku.

Z praktického hlediska to znamená, že ČTP Bio by měla při komunikaci syntetických paliv vždy používat podmíněný a datově založený jazyk. Vhodné je mluvit o „syntetických palivech s potenciálem emisních úspor při splnění definovaných podmínek“, nikoli o syntetických palivech jako automaticky klimaticky neutrálním řešení. Tím se posiluje důvěryhodnost platformy a snižuje riziko nerealistických očekávání.

**Tabulka 48: Co musí být doloženo pro věrohodné environmentální hodnocení syntetického paliva**

Oblast	Co musí být doloženo	Proč je to důležité
Elektřina	Původ, emisní faktor, časová a geografická vazba	Určuje emisní profil vodíku a procesu
Vodík	Způsob výroby, spotřeba elektřiny, čistota, certifikace	Klíčový vstup pro většinu syntetických paliv
CO <sub>2</sub> / uhlík	Původ, biogenní status, způsob zachycení, úprava	Rozhoduje o uhlíkové logice produktu
Syntéza	Energetické toky, výtěžnost, vedlejší produkty	Ovlivňuje emise na jednotku produktu
Produkt	Kvalita, norma, šarže, mísení	Určuje technickou použitelnost
Logistika	Doprava vstupů a produktu, skladování	Doplňuje životně-cyklové emise
Certifikace	Metodika, audit, datová stopa	Podmínka regulatorní a tržní uznatelnosti

Tabulka 48 shrnuje minimální oblasti, bez nichž nelze syntetické palivo environmentálně ani regulatorně spolehlivě hodnotit.

#### **11.4 Hlavní závěr 4: RFNBO je regulatorní status, nikoli technický název paliva**

Čtvrtým hlavním závěrem je nutnost důsledně rozlišovat mezi syntetickým palivem jako technickým produktem a RFNBO jako regulatorní kategorií. Technicky vyrobené syntetické palivo nemusí být automaticky RFNBO. Aby mohlo být jako RFNBO uznáno, musí splnit požadavky na obnovitelný původ energie, emisní úsporu, certifikaci, původ vstupů a další pravidla stanovená evropským rámcem [5], [14], [15].

Toto rozlišení má zásadní ekonomický význam. Palivo, které je technicky použitelné, ale nesplňuje RFNBO nebo jiný relevantní certifikační status, může mít nižší tržní hodnotu nebo nemusí být započítatelné do sektorových cílů. Naopak palivo, které splní regulatorní požadavky, může být využitelné v regulovaných trzích, například v letectví nebo dopravě, a může získat cenovou prémii nebo poptávkový impuls.

Pro ČTP Bio je toto rozlišení důležité i komunikačně. Platforma by měla ve svých materiálech vždy jasně rozlišovat mezi pojmy syntetické palivo, e-palivo, RFNBO, nízkouhlíkové palivo, recyklované uhlíkové palivo, biopalivo a biosložka. Nejasné používání pojmů může vést k chybným závěrům a oslabit odbornou důvěryhodnost.

#### **11.5 Hlavní závěr 5: sektorové uplatnění bude selektivní**

Pátým hlavním závěrem je, že syntetická paliva se nebudou prosazovat ve všech sektorech stejně. Největší potenciál mají tam, kde se potkává obtížná elektrifikace, potřeba kapalného nebo plynného nosiče, regulatorní poptávka a vysoká hodnota produktu. Typicky jde o letectví, námořní dopravu, chemický průmysl, vybrané průmyslové aplikace a některé speciální nebo pracovní aplikace.

V letectví je klíčový e-SAF, protože ReFuelEU Aviation vytváří dlouhodobý rámec pro udržitelná a syntetická letecká paliva [8]. V námořní dopravě může hrát roli e-methanol, e-amoniak nebo jiná nízkoemisní paliva, zejména v návaznosti na FuelEU Maritime [17]. V chemickém průmyslu mohou být důležitější syntetické produkty jako suroviny než jako paliva ke spalování [32]. V

silniční dopravě bude role syntetických paliv pravděpodobně omezenější, zejména kvůli konkurenci přímé elektrifikace.

Tento závěr je důležitý pro prioritizaci aktivit ČTP Bio. Platforma by neměla syntetická paliva prezentovat jako plošné řešení dopravy, ale jako cílený nástroj pro sektory, kde mají technické a systémové opodstatnění.

**Tabulka 49: Shrnutí sektorové priority syntetických paliv**

Sektor	Relevance syntetických paliv	Hlavní důvod	Doporučený přístup ČTP Bio
Letecká doprava	Vysoká	Potřeba kapalných paliv a silný regulační rámec	Strategicky sledovat e-SAF a vazbu na biogenní CO <sub>2</sub>
Námořní doprava	Střední až vysoká	Potřeba alternativních lodních paliv	Sledovat e-methanol a bezpečnostní aspekty e-amoniaku
Chemický průmysl	Vysoká	Potřeba nízkemisních molekul a surovin	Rozvíjet téma e-methanolu a obnovitelného uhlíku
Silniční doprava	Nízká až střední	Konkurence přímé elektrifikace	Neprioritizovat plošné využití, sledovat specifické aplikace
Plynárenství	Střední	Možná infrastruktura pro syntetický metan	Sledovat selektivně a vždy s důrazem na LCA
Speciální aplikace	Střední	Provozní potřeba kapalného paliva	Sledovat cíleně podle konkrétní potřeby

Tabulka 49 ukazuje, že sektorová relevance není dána pouze velikostí trhu. Rozhodující je kombinace technické potřeby, regulace, alternativ a hodnotového řetězce.

## 11.6 Hlavní závěr 6: ekonomika syntetických paliv bude záviset na ceně elektřiny, vodíku, uhlíku a poptávkovém rámci

Šestým hlavním závěrem je, že ekonomika syntetických paliv bude v nejbližších letech náročná. Hlavními nákladovými faktory jsou cena nízkemisní elektřiny, cena vodíku, náklady na získání a úpravu CO<sub>2</sub>, kapitálové náklady syntézních zařízení, využití kapacity, certifikace, logistika a náklady kapitálu. Proto nelze očekávat, že syntetická paliva budou bez regulační nebo tržní podpory rychle konkurovat fosilním alternativám.

Aktualizované hodnocení IEA potvrzuje, že tato závislost bude přetrvávat i ve střednědobém horizontu. Globální výroba vodíku sice v roce 2024 dosáhla téměř 100 Mt, nízkemisní vodík však stále tvořil méně než 1 % celkové výroby a odhad potenciální nízkemisní výroby z oznámených projektů do roku 2030 byl snížen z 49 Mtpa na 37 Mtpa [34]. Dostupnost a cena nízkemisního vodíku proto zůstávají jedním z hlavních ekonomických omezení syntetických paliv.

Ekonomická životaschopnost bude záviset na existenci poptávkového rámce. Ten může vzniknout regulační povinností, uhlíkovou cenou, dlouhodobými odběrovými smlouvami, veřejnou podporou, zelenou prémie nebo kombinací těchto nástrojů. V tomto ohledu mají

největší šanci sektory, kde existuje jasná regulace nebo vysoká ochota platit za nízkoemisní vstup. Příkladem je e-SAF v letectví nebo nízkoemisní vstupy v chemickém průmyslu [8], [32], [34], [36].

Pro ČTP Bio je důležité sledovat nejen cenu finálního paliva, ale i ekonomické příležitosti v dílčích částech hodnotového řetězce. Český průmysl nemusí nutně vstoupit do oblasti syntetických paliv pouze jako velký výrobce finálního paliva. Příležitosti mohou být v biogenním CO<sub>2</sub>, chemických meziproduktech, technologických dodávkách, LCA, certifikaci, digitální sledovatelnosti, monitoringu, výzkumu a projektové přípravě.

### 11.7 Hlavní závěr 7: hlavní bariéry jsou systémové, ne pouze technologické

Sedmým hlavním závěrem je, že hlavní bariéry rozvoje syntetických paliv nejsou pouze technologické. Technologie dílčích procesů existují nebo se rychle rozvíjejí, ale praktický rozvoj brzdí zejména systémové bariéry: dostupnost levné nízkoemisní elektřiny, nedostatek certifikovaného vodíku, nejistota vhodného CO<sub>2</sub>, vysoké kapitálové náklady, složitá certifikace, chybějící odběratelé, slabá datová infrastruktura a institucionální roztříštěnost. Zvláště významná je bariéra nízkoemisního vodíku, protože současná výroba je stále téměř výhradně založena na konvenčních zdrojích a nízkoemisní projekty se rozvíjejí pomaleji, než naznačovaly dřívější projekční scénáře [34].

Tento závěr je důležitý pro formulaci dalších kroků. Pokud by se ČTP Bio zaměřila pouze na technologický popis syntetických paliv, studie by nepostihla skutečné podmínky jejich rozvoje. Klíčové je naopak identifikovat, které části hodnotového řetězce chybí, kde jsou datové mezery, kdo může být dodavatelem vstupů, kdo může být odběratelem a jaká certifikace bude vyžadována.

Evropský účetní dvůr upozornil, že u obnovitelného vodíku je potřeba realisticky posoudit cíle, náklady a zavádění trhu [38]. Tento závěr se přímo promítá i do syntetických paliv, protože bez vodíku nebude možné jejich výrobu rozvíjet ve významnějším měřítku.

*Tabulka 50: Hlavní systémové bariéry a význam pro ČTP Bio*

Bariéra	Význam pro syntetická paliva	Možná role ČTP Bio
Elektřina	Omezuje výrobu vodíku a zvyšuje náklady	Komunikovat potřebu prioritizace sektorů
Vodík	Základní vstup a hlavní nákladový faktor	Sledovat dostupnost RFNBO / nízkoemisního vodíku
CO <sub>2</sub> / uhlík	Určuje uhlíkovou a LCA logiku paliva	Mapovat biogenní CO <sub>2</sub> a obnovitelný uhlík
Certifikace	Určuje uznatelnost a tržní hodnotu	Pomáhat s metodikou a datovou připraveností
Trh	Bez odběratelů nelze investovat	Propojovat aktéry a identifikovat sektory poptávky
Data	Bez auditovatelnosti nelze doložit přínos	Rozvíjet digitální sledovatelnost a LCA rámec
Koordinace	Řetězec zahrnuje mnoho aktérů	Plnit platformní koordinační roli

Tabulka 50 ukazuje, že ČTP Bio může mít přidanou hodnotu právě tam, kde se potkává více sektorů a kde jednotliví aktéři potřebují společný rámec.

## 11.8 Hlavní závěr 8: další práce ČTP Bio má být zaměřena na konkrétní výstupy

Osmým hlavním závěrem je, že další práce by neměla zůstat na úrovni obecné diskuse o syntetických palivech. Studie by měla být využita jako základ pro konkrétní navazující výstupy. Mezi nejdůležitější patří mapování biogenního CO<sub>2</sub>, metodický list k LCA a certifikaci syntetických paliv, přehled sektorových priorit, odborný workshop pro členy a podklad pro veřejnou správu.

Tyto výstupy by měly být propojeny s Akčním plánem digitální a zelené transformace, Strategickou výzkumnou agendou, Technologickým foresightem a budoucí Road Map ČTP Bio. Syntetická paliva tak nebudou samostatným izolovaným tématem, ale jedním z prvků širší transformace bioekonomiky, palivářství a chemického průmyslu.

*Tabulka 51: Doporučené navazující výstupy po dokončení studie*

Navazující výstup	Účel	Priorita
Manažerské shrnutí studie	Stručně převést závěry pro vedení, členy a veřejnou správu	Vysoká
Mapování biogenního CO <sub>2</sub>	Identifikovat vstupní základnu pro Power-to-X řetězce	Vysoká
Metodický list LCA a certifikace	Pomoci členům porozumět datovým požadavkům	Vysoká
Workshop k syntetickým palivům	Ověřit závěry se členy a partnery	Vysoká
Přehled sektorových priorit	Vymezit, kde syntetická paliva dávají největší smysl	Střední až vysoká
Podklad pro veřejnou správu	Formulovat cílená doporučení pro politiku a podporu	Střední až vysoká
Aktualizace Road Map	Začlenit syntetická paliva a obnovitelný uhlík do strategického rámce	Střední
Identifikace pilotních projektů	Vybrat realistické hodnotově-řetězcové projekty	Střední

Tabulka 51 převádí závěry studie do konkrétních kroků, které mohou být dále rozpracovány v rámci aktivit ČTP Bio.

## 11.9 Celkové shrnutí závěrů studie

Studie potvrzuje, že syntetická paliva jsou pro ČTP Bio relevantním, ale selektivním tématem. Největší význam mají v aplikacích, kde je dlouhodobě potřeba molekulární nosič nebo nízkoemisní chemický vstup, zejména v letectví, námořní dopravě, chemickém průmyslu a vybraných speciálních aplikacích.

Pro ČTP Bio je klíčová zejména vazba syntetických paliv na obnovitelný uhlík, biogenní CO<sub>2</sub>, biosložky, biopaliva, zelenou chemii, LCA, certifikaci a digitální sledovatelnost. Studie potvrzuje, že syntetická paliva nemají být chápána jako odklon od dosavadní agendy platformy, ale jako její logické rozšíření směrem k novým hodnotovým řetězcům založeným na nízkoemisních vstupech, prokazatelné emisní bilanci a efektivním využití obnovitelného uhlíku.

Zároveň platí, že syntetická paliva musí být posuzována realisticky. Jejich environmentální přínos není dán samotným názvem nebo technologií výroby, ale konkrétním původem elektřiny, vodíku, uhlíku nebo dusíku, účinností výrobního řetězce, LCA bilancí, certifikací a sektorovým využitím. Bez kvalitních dat, auditovatelnosti a jasné metodiky nelze jejich přínos věrohodně prokázat.

Studie dále ukazuje, že hlavní bariéry rozvoje syntetických paliv nejsou pouze technologické. Významnými omezeními jsou dostupnost levné nízkoemisní elektřiny, rozvoj obnovitelného nebo nízkoemisního vodíku, dostupnost certifikovatelného CO<sub>2</sub>, vysoké investiční náklady, složitá regulace, nejistá poptávka, potřeba dlouhodobých odběrových smluv a náročnost datové a certifikační infrastruktury.

Další postup ČTP Bio by proto měl být zaměřen na konkrétní a prakticky využitelné výstupy: mapování zdrojů biogenního CO<sub>2</sub>, rozpracování témat e-methanolu a e-SAF, posílení LCA a certifikační připravenosti členů, sledování evropského regulačního rámce, přípravu odborných workshopů a začlenění syntetických paliv do budoucí Road Map v návaznosti na obnovitelný uhlík, bioekonomiku a zelenou chemii.

Tím studie vytváří odborný základ pro další činnost ČTP Bio v oblasti syntetických paliv. Jejím hlavním sdělením je, že syntetická paliva mají smysl pouze jako cílená, datově doložená a hodnotově-řetězcová součást širší dekarbonizační strategie, nikoli jako univerzální náhrada všech stávajících palivových řešení.

## Příloha A: Seznam tabulek

Číslo tabulky	Název tabulky	Strana
Tabulka 1	Vazba studie syntetických paliv na projekt ČTP Biosložky V a navazující výstupy ČTP Bio	14
Tabulka 2	Základní odlišení vybraných palivových a surovinových kategorií	20
Tabulka 3	Hlavní typy syntetických paliv a jejich relevance pro studii	23
Tabulka 4	Pracovní členění syntetických paliv pro další kapitoly studie	25
Tabulka 5	Přehled hlavních typů elektrolýzy relevantních pro syntetická paliva	29
Tabulka 6	Možné zdroje uhlíku pro syntetická paliva a jejich význam	30
Tabulka 7	Zjednodušené reakční principy vybraných technologických cest syntetických paliv	31
Tabulka 8	Hlavní technologické cesty a typické produkty syntetických paliv	32
Tabulka 9	Hlavní faktory ovlivňující účinnost a emisní bilanci syntetických paliv	35
Tabulka 10	Základní principy pro uznání obnovitelné elektřiny při výrobě RFNBO	40
Tabulka 11	Základní rozdíly mezi vybranými regulačními kategoriemi syntetických a příbuzných paliv	42
Tabulka 12	Vybrané milníky ReFuelEU Aviation pro SAF a syntetická letecká paliva	43
Tabulka 13	Hlavní datové a certifikační požadavky u syntetických paliv	44
Tabulka 14	Hlavní emisní hotspoty v životním cyklu syntetických paliv	49
Tabulka 15	Původ uhlíku a jeho význam pro LCA syntetických paliv	52
Tabulka 16	Úrovně datové jistoty při hodnocení syntetických paliv	53
Tabulka 17	LCA citlivosti vybraných dekarbonizačních cest	56
Tabulka 18	Vybrané technické parametry důležité pro hlavní typy syntetických paliv	59
Tabulka 19	Technické a normové otázky u e-dieselu a parafinických dieselových paliv	61
Tabulka 20	Klíčové technické požadavky u e-SAF	62
Tabulka 21	Technické odlišnosti e-methanolu oproti uhlovodíkovým palivům	63
Tabulka 22	Technické a bezpečnostní otázky u e-amoniaku	65
Tabulka 23	Praktická použitelnost hlavních syntetických paliv podle typu integrace	66
Tabulka 24	Kritéria pro posouzení sektorového uplatnění syntetických paliv	70
Tabulka 25	Orientační sektorová relevance hlavních syntetických paliv	74
Tabulka 26	Pravděpodobný časový horizont uplatnění syntetických paliv podle sektorů	75
Tabulka 27	Hlavní nákladové složky syntetických paliv	77
Tabulka 28	Ekonomické a strategické rozdíly mezi zdroji CO <sub>2</sub> pro syntetická paliva	79
Tabulka 29	Faktory ovlivňující kapitálovou náročnost syntetických paliv	80
Tabulka 30	Orientační nákladová citlivost hlavních syntetických produktů	81
Tabulka 31	Možné zdroje tržní poptávky po syntetických palivech	82
Tabulka 32	Hlavní investiční rizika projektů syntetických paliv	84
Tabulka 33	Domácí výroba a import syntetických paliv – hlavní rozdíly	85
Tabulka 34	Možné zapojení českých aktérů do hodnotového řetězce syntetických paliv	85
Tabulka 35	Rizika spojená s dostupností elektřiny pro syntetická paliva	88
Tabulka 36	Rizika spojená s uhlíkatým vstupem pro syntetická paliva	90

<b>Číslo tabulky</b>	<b>Název tabulky</b>	<b>Strana</b>
Tabulka 37	Regulační a certifikační rizika syntetických paliv	91
Tabulka 38	Tržní rizika podle hlavních sektorů	92
Tabulka 39	Prioritizace hlavních rizik syntetických paliv	95
Tabulka 40	Doporučená struktura mapování biogenního CO <sub>2</sub> pro syntetická paliva	98
Tabulka 41	Doporučené zaměření ČTP Bio ve vztahu k e-SAF	100
Tabulka 42	Doporučené datové minimum pro syntetická paliva a navazující hodnotové řetězce	101
Tabulka 43	Doporučená sektorová priorita syntetických paliv pro ČTP Bio	102
Tabulka 44	Doporučená kritéria pro výběr pilotních projektů syntetických paliv	103
Tabulka 45	Doporučení pro veřejnou správu v oblasti syntetických paliv	104
Tabulka 46	Doporučený implementační plán ČTP Bio pro oblast syntetických paliv	105
Tabulka 47	Hlavní hodnotově-řetězcové vazby syntetických paliv	107
Tabulka 48	Co musí být doloženo pro věrohodné environmentální hodnocení syntetického paliva	109
Tabulka 49	Shrnutí sektorové priority syntetických paliv	110
Tabulka 50	Hlavní systémové bariéry a význam pro ČTP Bio	111
Tabulka 51	Doporučené navazující výstupy po dokončení studie	112

;

## Příloha B: Seznam obrázků

Číslo obrázku	Název obrázku	Strana
Obrázek 1	Základní logika výroby syntetických paliv v režimu Power-to-X	19
Obrázek 2	Obecný technologický řetězec výroby syntetických paliv	27
Obrázek 3	Regulatorní rámec pro syntetická paliva v Evropské unii	37
Obrázek 4	Hranice LCA hodnocení syntetických paliv	48
Obrázek 5	Klíčové proměnné ovlivňující LCA syntetických paliv	55
Obrázek 6	Od výroby syntetického paliva k jeho praktickému uplatnění	58
Obrázek 7	Kritéria sektorové vhodnosti syntetických paliv	69
Obrázek 8	Mapa hlavních bariér rozvoje syntetických paliv	87
Obrázek 9	Doporučené zaměření ČTP Bio v oblasti syntetických paliv	97
Obrázek 10	Vazba biogenního CO <sub>2</sub> na syntetická paliva a zelenou chemii	108

## Příloha C: Seznam rovnic

Číslo rovnice	Název rovnice	Strana
Rovnice 1	Zjednodušené vyjádření emisní úspory paliva	41
Rovnice 2	Zjednodušené vyjádření emisní intenzity syntetického paliva	50
Rovnice 3	Emise spojené se spotřebou elektřiny	51
Rovnice 4	Zjednodušené vyjádření citlivosti emisního výsledku	54
Rovnice 5	Objemová energetická hustota paliva	59
Rovnice 6	Objemový podíl syntetické složky ve směsi	59
Rovnice 7	Wobbeho číslo plynu	64
Rovnice 8	Zjednodušené vyjádření sektorové poptávky po syntetickém palivu	69
Rovnice 9	Zjednodušené vyjádření jednotkových nákladů syntetického paliva	77
Rovnice 10	Zjednodušené vyjádření nákladů na vodík z elektrolýzy	78
Rovnice 11	Zjednodušené vyjádření ročního kapitálového nákladu	80
Rovnice 12	Kapitalizační faktor	80
Rovnice 13	Cenová mezera syntetického paliva	82
Rovnice 14	Vodíkové omezení výroby syntetického paliva	89
Rovnice 15	Riziko nepokryté cenové mezery	92
Rovnice 16	Zjednodušené vyjádření rizikové priority	94
Rovnice 17	Orientační priorita využití obnovitelného uhlíku	99

## Příloha D: Seznam zdrojů a literatura

- [1] ČTP Bio. **Podnikatelský záměr projektu ČTP Biosložky V**. OP TAK – Technologické platformy – výzva II, 2024
- [2] ČTP Bio. **Akční plán digitální a zelené transformace technologické platformy ČTP Bio**. Projekt ČTP Biosložky V, 2026
- [3] ČTP Bio. **Souhrn LCA analýz biopaliv vyráběných a zpracovávaných v České republice**. Praktický rozhodovací podklad pro podniky, výzkum, regulaci a Road Map ČTP Bio, 2026
- [4] ČTP Bio. **Analýza hodnotových řetězců**. Projekt ČTP Biosložky V, 202
- [5] European Commission. **Renewable hydrogen**. Oficiální informační stránka Evropské komise k obnovitelnému vodíku a RFNB
- [6] International Energy Agency. **The Role of E-fuels in Decarbonising Transport**. IEA, 2023
- [7] International Renewable Energy Agency. **World Energy Transitions Outlook 2023**. IRENA, 2023
- [8] European Commission. **ReFuelEU Aviation**. Oficiální informační stránka Evropské komise k podpoře udržitelných leteckých paliv
- [9] International Renewable Energy Agency. **Technology readiness: Indirect use of clean electricity via synthetic fuels**. IRENA
- [10] Agora Verkehrswende, Agora Energiewende and Frontier Economics. **The Future Cost of Electricity-Based Synthetic Fuels**. 2018
- [11] International Renewable Energy Agency. **Innovation Outlook: Renewable Methanol**. IRENA, 2021
- [12] International Energy Agency. **Global Hydrogen Review 2023**. IEA, 2023
- [13] Evropský parlament a Rada EU. **Směrnice (EU) 2023/2413 ze dne 18. října 2023, kterou se mění směrnice (EU) 2018/2001, nařízení (EU) 2018/1999 a směrnice 98/70/ES, pokud jde o podporu energie z obnovitelných zdroj**
- [14] Evropská komise. **Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1184 ze dne 10. února 2023, kterým se doplňuje směrnice (EU) 2018/2001 stanovením unijní metodiky s podrobnými pravidly pro výrobu obnovitelných kapalných a plyných paliv nebiologického původu v odvětví dopravy**
- [15] Evropská komise. **Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1185 ze dne 10. února 2023, kterým se stanovuje minimální prahová hodnota úspor emisí skleníkových plynů u recyklovaných uhlíkových paliv a metodika posuzování úspor emisí skleníkových plynů u obnovitelných kapalných a plyných paliv nebiologického původu a recyklovaných uhlíkových paliv**

- [16] Evropský parlament a Rada EU. **Nařízení (EU) 2023/2405 ze dne 18. října 2023 o zajištění rovných podmínek pro udržitelnou leteckou dopravu (ReFuelEU Aviation)**
- [17] Evropský parlament a Rada EU. **Nařízení (EU) 2023/1805 ze dne 13. září 2023 o využívání obnovitelných a nízkouhlíkových paliv v námořní dopravě a o změně směrnice 2009/16/ES**
- [18] Evropská komise. **Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2025/2359 ze dne 8. července 2025, kterým se doplňuje směrnice (EU) 2024/1788 stanovením metodiky pro posuzování úspor emisí skleníkových plynů u nízkouhlíkových paliv.** Publikováno v Úředním věstníku EU dne 21. listopadu 2025
- [19] International Organization for Standardization. **ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework**
- [20] International Organization for Standardization. **ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines**
- [21] Joint Research Centre, EUCAR, CONCAWE. **JEC Well-to-Wheels report v5.** JRC Publications Repository, 2020
- [22] CEN. **EN 15940:2023 – Automotive fuels – Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment – Requirements and test methods**
- [23] CEN. **EN 590 – Automotive fuels – Diesel – Requirements and test methods**
- [24] ASTM International. **ASTM D7566 – Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbon**
- [25] ICAO. **SAF Conversion Processes**
- [26] ISO. **ISO 14687:2025 – Hydrogen fuel quality**
- [27] ISO. **ISO 8217:2017 / ISO 8217:2024 – Marine fuels**
- [28] ISO. **ISO 6583:2024 – Methanol as a fuel for marine applications – General requirements and specifications**
- [29] EMSA / IMO. **Safety of ammonia as fuel on ships; IMO Interim Guidelines for the Safety of Ships Using Ammonia as Fuel**
- [30] International Maritime Organization. **The IMO Net-Zero Framework – FAQs**
- [31] European Parliament. **Fit for 55: zero CO<sub>2</sub> emissions for new cars and vans in 2035**
- [32] International Energy Agency. **Chemicals**
- [33] International Energy Agency. **Hydrogen**

[34] International Energy Agency. **Global Hydrogen Review 2025**. IEA, 2025. Použito pro aktuální kontext trhu s vodíkem, zejména objem globální výroby vodíku v roce 2024, nízký podíl nízkoemisního vodíku na celkové výrobě a aktualizovaný výhled potenciální nízkoemisní výroby do roku 2030

[35] International Renewable Energy Agency. **Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal**. IRENA, 2020

[36] Concawe. **E-Fuels: A techno-economic assessment of European domestic production and imports towards 2050 – Update**. Report No. 4/24, 2024

[37] European Commission. **Innovation Fund 2024 Hydrogen Auction / European Hydrogen Bank**

[38] European Court of Auditors. **Special Report 11/2024: The EU's industrial policy on renewable hydrogen – Legal framework has been mostly adopted – time for a reality check**

## Příloha E: Přehled použitých zkratk

Zkratka	Význam
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAPEX	Kapitálové výdaje / investiční náklady
CCU	Carbon Capture and Utilisation – zachycování a využití uhlíku
CCS	Carbon Capture and Storage – zachycování a ukládání uhlíku
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
CRF	Capital Recovery Factor – kapitalizační faktor
ČTP Bio	Česká technologická platforma pro užití biosložek v dopravě a chemickém průmyslu
e-amoniak	Amoniak vyráběný s využitím nízkoemisního nebo obnovitelného vodíku
e-diesel	Syntetické diesellové palivo vyráběné z vodíku a uhlíkatého vstupu
e-methanol	Methanol vyráběný z vodíku a uhlíkatého vstupu, zpravidla CO <sub>2</sub>
e-paliva	Syntetická paliva vyráběná s využitím elektřiny, zejména prostřednictvím vodíku
e-SAF	Syntetické udržitelné letecké palivo
EMSA	European Maritime Safety Agency
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
FuelEU Maritime	Nařízení EU podporující využití obnovitelných a nízkouhlíkových paliv v námořní dopravě
FT	Fischer–Tropschova syntéza
GHG	Greenhouse gases – skleníkové plyny
H <sub>2</sub>	Vodík
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEA	International Energy Agency
IMO	International Maritime Organization
IRENA	International Renewable Energy Agency
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment – posuzování životního cyklu
LCH	Low-carbon hydrogen – nízkouhlíkový vodík
LHV	Lower Heating Value – dolní výhřevnost
MSP	Malé a střední podniky
NH <sub>3</sub>	Amoniak
OP TAK	Operační program Technologie a aplikace pro konkurenceschopnost
OPEX	Provozní výdaje
PPA	Power Purchase Agreement – dlouhodobá smlouva o nákupu elektřiny
Power-to-X	Přeměna elektřiny na vodík, paliva, chemické produkty nebo jiné energetické nosiče
Power-to-Gas	Přeměna elektřiny na plyný energetický nosič
Power-to-Liquid	Přeměna elektřiny na kapalné palivo
RED III	Směrnice EU o podpoře energie z obnovitelných zdrojů ve znění revize RED III

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
ReFuelEU Aviation	Nařízení EU podporující využití udržitelných leteckých paliv
RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biological Origin – obnovitelná paliva nebiologického původu
SAF	Sustainable Aviation Fuel – udržitelné letecké palivo
VaVal	Výzkum, vývoj a inovace

## Příloha F: Doplňující přehled hlavních norem a regulatorních dokumentů

Dokument / norma	Oblast	Význam pro studii
Směrnice (EU) 2023/2413 / RED III	Obnovitelná energie, RFNBO	Základní rámec pro obnovitelná paliva a započítávání RFNBO
Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1184	RFNBO, obnovitelný vodík	Pravidla adicionality, časové korelace, geografické korelace a původu elektřiny
Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/1185	Emisní úspory RFNBO a recyklovaných uhlíkových paliv	Metodika výpočtu emisních úspor
Nařízení (EU) 2023/2405 / ReFuelEU Aviation	Letecká paliva	Rámec pro SAF a syntetická letecká paliva
Nařízení (EU) 2023/1805 / FuelEU Maritime	Námořní paliva	Rámec pro obnovitelná a nízkouhlíková paliva v námořní dopravě
Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2025/2359	Nízkouhlíková paliva	Metodika posuzování úspor emisí skleníkových plynů u nízkouhlíkových paliv
ISO 14040	LCA	Principy a rámec posuzování životního cyklu
ISO 14044	LCA	Požadavky a pokyny pro provádění LCA
EN 590	Motorová nafta	Požadavky a zkušební metody pro běžnou motorovou naftu
EN 15940	Parafinická diesellová paliva	Požadavky na parafinická paliva ze syntézy nebo hydrogenačních procesů
ASTM D7566	Syntetická letecká paliva	Specifikace leteckého turbínového paliva obsahujícího syntetizované uhlovodíky
ICAO SAF Conversion Processes	SAF	Přehled schválených konverzních cest pro udržitelná letecká paliva
ISO 14687	Vodík	Kvalitativní požadavky na vodíkové palivo
ISO 8217	Námořní paliva	Specifikace námořních paliv
ISO 6583:2024	Methanol jako námořní palivo	Požadavky a specifikace pro methanol pro námořní aplikace
IMO Interim Guidelines for Ships Using Ammonia as Fuel	Amoniak jako lodní palivo	Bezpečnostní požadavky pro využití amoniaku v lodní dopravě