

AKČNÍ PLÁN ROZVOJE TECHNOLOGIÍ ZACHYTÁVÁNÍ, VYUŽITÍ A UKLÁDÁNÍ OXIDU UHLIČITÉHO V ČR

(Akční plán CCUS)

Ministerstvo životního prostředí

Únor 2025

1 OBSAH

1	Úvod	4
1.1	Důvody pro přípravu Akčního plánu.....	4
1.2	Cíle Akčního plánu.....	5
1.3	Plán implementace.....	6
1.4	Regulatorní rámec.....	6
1.4.1	Výběr z evropské legislativy.....	6
1.4.2	Výběr z české legislativy	8
1.5	Emise skleníkových plynů v ČR.....	10
2	Potřeby ČR v oblasti zachytávání CO ₂ pro roky 2030/40/50	14
2.1	Model SEEPIA	14
2.2	Poptávka po úložné kapacitě CO ₂ ve vybraných průmyslových sektorech a alternativní možnosti redukce emisí v těchto sektorech.....	15
2.2.1	Výroba cementu	15
2.2.2	Výroba vápna.....	17
2.2.3	Chemický průmysl.....	18
2.2.4	Výroba železa a oceli	19
2.2.5	Energetické využívání odpadů	20
3	Přehled a popis technologií	22
3.1	Celkový přehled.....	22
3.2	Zachytávání CO ₂	23
3.3	Přeprava CO ₂	25
4	Geologické ukládání CO ₂	26
4.1	Stanovení kapacity úložiště.....	27
4.2	Bezpečnost úložiště a monitoring	28
4.3	Další kroky pro zajištění kapacitních úložišť CO ₂ v České republice	29
4.3.1	Perspektivní geologické struktury	29
4.3.2	Výzkumné práce před stanovením průzkumného území	30
4.3.3	Vyhledávání a průzkum úložišť CO ₂	30
4.3.4	Žádost o povolení provozu úložiště	32
4.4	Bariéry a příležitosti pro uplatnění technologií CCS v České republice	33
4.4.1	Regulatorní rámec	33
4.4.2	Technologické a environmentální aspekty	34
4.4.3	Ekonomické aspekty a rizika	34
4.5.	Společenská přijatelnost CCS a konflikty zájmů	36
5	Využívání CO ₂	39
6	Zachytávání atmosférického/biogenního uhlíku a související technologie	43

6.1	Přímé zachytávání uhlíku (DAC - direct air capture).....	43
6.2	Biouhel (biochar)	44
6.3	Biometanové stanice.....	44
7	Přepravní infrastruktura	46
7.1	Rozvoj soustavy pro přepravu CO ₂ v Evropě	46
7.2	Rozvoj soustavy pro přepravu CO ₂ v ČR	48
7.3	Technické možnosti potrubní přepravy CO ₂ v České republice:	51
7.4	Příležitosti a bariéry rozvoje přepravní infrastruktury	51
7.5	Připravované/probíhající projekty	52
8	Možnosti financování	53
	Příklad zahraniční praxe: Dánský CCUS dotační program.....	53
8.1	zdroje financování.....	54
8.1.1	Modernizační fond.....	57
8.1.2	TAČR	57
9.	NAPLŇOVÁNÍ AKČNÍHO PLÁNU	58
A)	Politická opatření	58
B)	Regulatorní opatření	58
C)	Sdílení znalostí, zapojení stakeholderů	60
D)	Věda a výzkum	61
E)	Financování CCUS	62
	Příloha I - Seznam zkratk	64
	Příloha II – Mechanismus zadržení CO ₂ v rezervoáru.....	66
9	Příloha III –Projekty v oblasti CCS	67
	Projekty CCS v České republice.....	67
	Projekty CCS v EU a dalších zemích Evropy.....	69

1 ÚVOD

1.1 DŮVODY PRO PŘÍPRAVU AKČNÍHO PLÁNU

Změna klimatu je závažným celospolečenským problémem způsobeným antropogenními emisemi skleníkových plynů, především oxidu uhličitého. Pravidelné hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu varují, že bez přijetí účinných opatření bude lidstvo čelit jejím stále se zhoršujícím environmentálním, sociálním i ekonomickým dopadům. Podle nejnovější zprávy od Copernicus Climate Change Service (C3S) a Světovou meteorologickou organizací (WMO) se evropský kontinent otepluje přibližně dvakrát rychleji než celosvětový průměr¹. S tím souvisí stále častější vlny veder, hrozba sucha, úbytek sněhu v zimních obdobích a další projevy. Změna klimatu v České republice dopadá jak na zemědělství a lesnictví, tak na její obyvatele i podnikatelský sektor.

Evropská unie se zavázala snížit emise skleníkových plynů do roku 2030 o 55 % (oproti roku 1990) a navrhla nový cíl snížení do roku 2040 o 90 %. Nejpozději v roce 2050 chtějí být státy EU jako celek klimaticky neutrální – do atmosféry by neměly vypustit více emisí, než kolik z ní zvládnou odstranit. Dosažení těchto cílů a postupné ukončení závislosti na fosilních palivech vyžaduje rozhodná opatření v oblasti klimatu ve všech odvětvích hospodářství. Jak vyplývá z modelování, které Evropská komise provedla pro účely dopadové studie ke sdělení o klimatickém cíli EU pro rok 2040, **nedílnou součástí řešení k dosažení klimatické neutrality budou i technologie zachytávání, využití a ukládání CO₂ (CCUS).**

Scénář přechodu k uhlíkové neutralitě ČR je podrobně popsán ve strategických dokumentech Politika ochrany klimatu (POK), Vnitrostátní plán pro energetiku a klima (NECP) a Státní energetická koncepce (SEK). V roce 2024 byl schválen aktualizovaný NECP a představeny návrhy na aktualizaci POK a SEK.

V návrhu Politiky ochrany klimatu Česká republika si vytkla cíl snížit emise skleníkových plynů do roku 2030 minimálně o 59 % oproti úrovni roku 1990 a dosáhnout klimatické neutrality v roce 2050 díky rozvoji obnovitelných a bezemisních zdrojů energie, akumulace a flexibility, úsporám energie a útlumu fosilní energetiky, včetně úplného ukončení těžby a spalování uhlí pro výrobu elektřiny a tepla do roku 2033. POK i NECP dále počítají s tím, **že po roce 2035 bude třeba část emisí odstranit pomocí technologií zachytávání, využívání a ukládání CO₂ (CCUS).** Tyto technologie najdou uplatnění především v sektorech, kde je snižování emisí obtížné (hard-to-abate sectors). V českých podmínkách jde zejména o výrobu cementu a vápna, chemický průmysl a výhledově i o výrobu železa a oceli či energetické využití odpadu.

Dosažení klimatické neutrality v celém hospodářství do roku 2050 bude vyžadovat také postupné zavádění technologií průmyslového pohlcování uhlíku, které využívají uhlík z biogenních a atmosférických zdrojů. Evropská unie chce pomocí těchto technologií vyvážit těžko odstranitelné emise např. ze zemědělství nebo z letecké dopravy.

¹ <https://climate.copernicus.eu/esotc/2023>

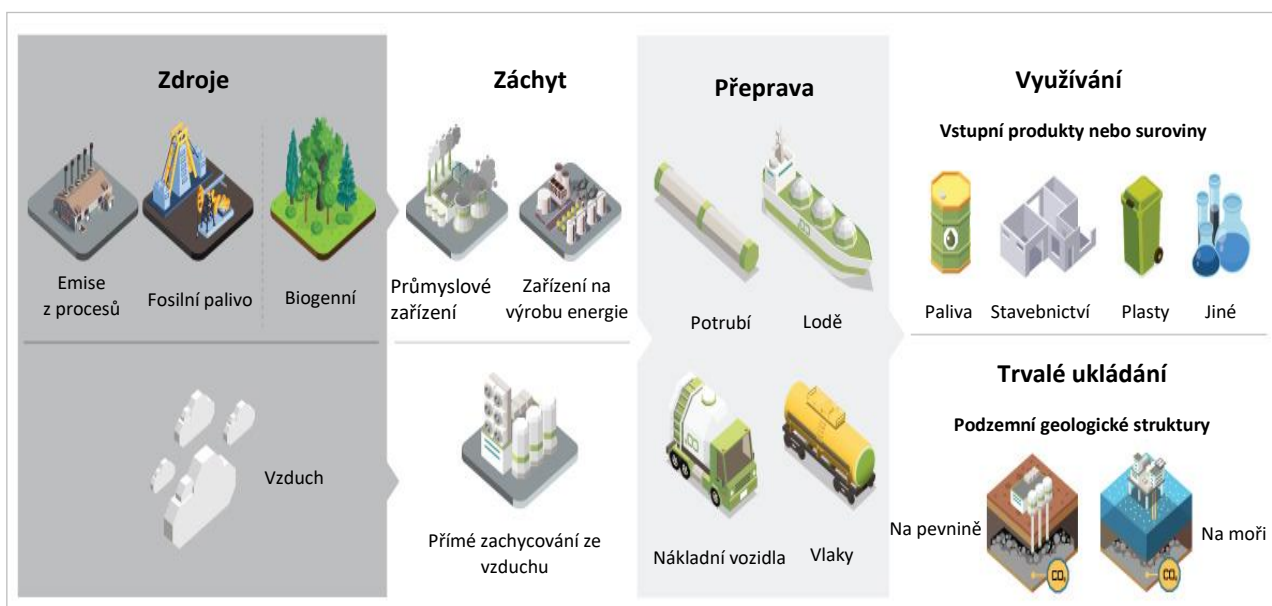
1.2 CÍLE AKČNÍHO PLÁNU

Hlavním cílem akčního plánu pro rozvoj CCUS je popis těchto technologií, jejich potenciálu a omezení v ČR, včetně uvedení způsobů podpory a umožnění rozvoje ve všech částech hodnotového řetězce (zachytávání, transport, využití/uložení). Tím se Akční plán může stát podkladem pro případná následná manažerská rozhodnutí v oblasti dekarbonizace.

Dílčí cíle jsou:

- zjistit potřeby zachytávání a využívání/ukládání CO₂ v ČR v hlavních průmyslových sektorech a na národní úrovni
- provést analýzu dostupných technologií CCUS z hlediska jejich uplatnění v českém kontextu, přičemž se posoudí jejich výhody a nevýhody
- identifikovat hlavní legislativní, technické, ekonomické, sociální i environmentální překážky rozvoje technologií CCUS
- analyzovat poptávku po přepravě a využití/uložení CO₂
- provést analýzu možností rozvoje přeshraniční přepravy CO₂.
- identifikovat dostupné nástroje financování projektů CCUS
- navrhnout opatření na podporu rozvoje CCUS

Obrázek: Průmyslové hospodaření s uhlíkem



Zdroj: CINEA - European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency

1.3 PLÁN IMPLEMENTACE

Akční plán rozvoje technologií CCUS bude realizován v letech 2025 – 2027 prostřednictvím opatření, která jsou detailně popsána v kapitole 9. Jednotlivá opatření jsou rozdělena podle působnosti na politická, regulační, finanční a opatření v oblasti sdílení znalostí a v oblasti vědy a výzkumu.

Implementace bude zajištěna skrze **Národní platformu pro CCUS**, do které budou nominováni zástupci z řad státní správy, průmyslových svazů, vědeckých organizací a akademické sféry. Ministerstvo životního prostředí platformu zřizuje a svolává její jednání nejméně jednou rok. K úkolům platformy patří koordinace činností mezi jednotlivými zúčastněnými stranami, vytváření ad hoc pracovních skupin k plnění dílčích cílů akčního plánu a zajištění společenské přijatelnosti rozvoje technologií CCUS.

Ministerstvo životního prostředí je hlavním gestorem navržených opatření. Klíčovým partnerem a spolugestorem (zejména) pro oblast ukládání CO₂ je Česká geologická služba. Pro realizaci regulačních opatření je zásadní spolupráce mezi MŽP a MPO, resp. společností NET4GAS. Dalším významným partnerem MŽP je platforma CO₂ Czech Solution Group, která zastřešuje průmysl, výzkumné organizace a akademické instituce aktivní na poli CCUS.

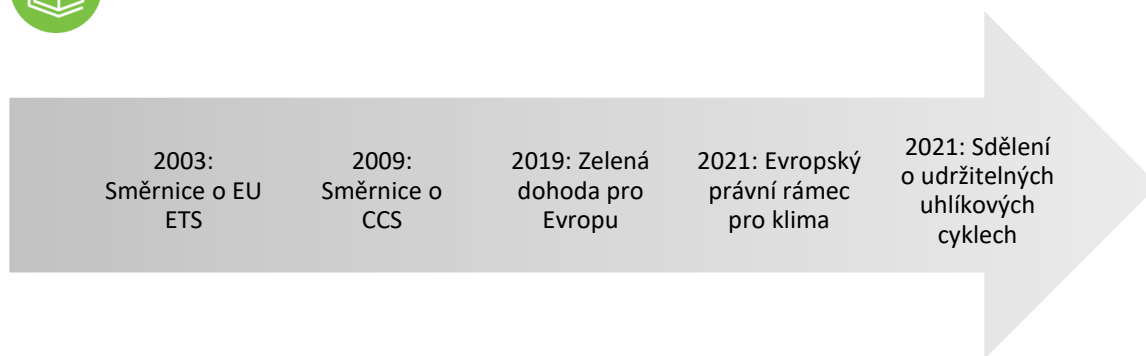
Vzhledem k zacílení projektů, producentům CO₂, realizátorům geologických prací, případně zpracovatelům CO₂ a vlastníkům a provozovatelům liniových staveb je zásadní zapojení soukromého sektoru a zájmových sdružení z oblasti průmyslu, a to zejména s ohledem na jejich zkušenosti. Klíčové při realizaci projektů a návrhu monitoringu budou zkušenosti subjektů při zachytávání CO₂, realizaci geologických prací a vrtných prací a provozu zařízení obdobného charakteru.

Implementace Akčního plánu CCUS je monitorována skrze kritéria plnění pro každé z navržených opatření. Na základě každoročního vyhodnocení stavu plnění je zhotovena zpráva, která bude předložena ministroví životního prostředí.

1.4 REGULATORNÍ RÁMEC



1.4.1 VÝBĚR Z EVROPSKÉ LEGISLATIVY



V roce 2003 vstoupila v platnost **Směrnice o Evropském systému obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů**² podle kterého zachycený a uložený CO₂ není považován za emitovaný. Provozovatelé za něj tedy nemusejí vyřazovat povolenky.

² Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/87/ES ze dne 13. října 2003 o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů v Unii a o změně směrnice Rady 96/61/ES

Evropský právní rámec pro geologické ukládání CO₂ je určen směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/31/ES ze dne 23. dubna 2009 (dále jen „**Směrnice o CCS**“)³. Směrnice o CCS stanovuje podmínky pro trvalé zadržení CO₂ v přírodních horninových strukturách, které je bezpečné z hlediska životního prostředí i lidského zdraví. V roce 2019 představila Evropská komise strategický dokument **Zelená dohoda pro Evropu**⁴ (European Green Deal, EGD), jehož součástí je cíl dosáhnout do roku 2050 na úrovni EU klimatické neutrality a průběžný cíl do roku 2030 snížit emise skleníkových plynů alespoň o 55% v porovnání s rokem 1990. O dva roky později přijatý **Evropský právní rámec pro klima**⁵, učinil tyto cíle právně závaznými.

V roce 2021 Komise ve **Sdělení o udržitelných uhlíkových cyklech**⁶ stanovila pro rok 2030 cíl dosáhnout alespoň 20% podílu udržitelného uhlíku na uhlíku používaném jako vstupní surovina v chemickém průmyslu.

V reakci na ruskou invazi na Ukrajinu byl v roce 2022 přijat plán **REPowerEU**, jehož záměrem je snížit závislost na fosilních palivech dovážených z Ruska, akcelerace cílů v oblasti obnovitelných zdrojů energie a energetických úspor.



Průmyslový plán Zelené dohody pro Evropu⁷ z roku 2023 vyzývá k autonomnějšímu a odolnějšímu průmyslu díky podpoře klimaticky neutrálních technologií v EU. Jde o unijní odpověď na americkou a čínskou podporu domácím zeleným technologiím (v USA tato podpora přišla s přijetím zákona o snížení inflace, tzv. Inflation Reduction Act, IRA). Stěžejními předpisy pro realizaci plánu jsou nařízení o kritických surovinách a nařízení o průmyslu pro nulové čisté emise.

V červnu 2024 nabylo účinnosti **Nařízení o průmyslu pro nulové čisté emise (Net Zero Industry Act - „NZIA“)**⁸, jehož cílem je zvýšit kapacitu EU pro výrobu strategických „technologií pro nulové čisté emise“ tak, aby se do roku 2030 přiblížila nebo dosáhla referenční hodnoty alespoň 40 % roční potřeby EU v oblasti zavádění příslušných technologií. Nařízení zavádí také **celounijní cíl do roku 2030 dosáhnout roční kapacity pro ukládání o objemu nejméně 50 milionů tun CO₂ v geologických strukturách**. S ohledem na tento cíl jsou jednotlivé členské

³ Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/31/ES ze dne 23. dubna 2009 o geologickém ukládání oxidu uhličitého a o změně směrnice Rady 85/337/EHS, směrnic Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, 2001/80/ES, 2004/35/ES, 2006/12/ES a 2008/1/ES a nařízení (ES) č. 1013/2006

⁴ COM(2019) 640 final ze dne 11.12.2019

⁵ Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1119 ze dne 30. června 2021, kterým se stanoví rámec pro dosažení klimatické neutrality a mění nařízení (ES) č. 401/2009 a nařízení (EU) 2018/1999

⁶ COM(2021) 800 final

⁷ COM(2023) 62 final ze dne 1.2.2023.

⁸ Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (EU) 2024/1735 ze dne 13. června 2024, kterým se zřizuje rámec opatření pro posílení evropského ekosystému výroby technologií pro nulové čisté emise a mění nařízení (EU) 2018/1724.

státy EU povinny přijmout nezbytná opatření za účelem urychlení rozvoje technologií zachytávání, přepravy, využití a ukládání CO₂.

Zastřešujícím dokumentem, který se věnuje rozvoji technologií CCUS v EU, je **Sdělení Komise o průmyslovém hospodaření s uhlíkem**,⁹ které bylo zveřejněno v únoru 2024 souběžně s doporučením pro nový průběžný cíl v oblasti snižování emisí skleníkových plynů pro rok 2040. Jedná se o nelegislativní akt, ve kterém Evropská komise představuje **vizi jednotného trhu s CO₂ v Evropě**.

V souvislosti s nařízením o průmyslu pro nulové čisté emise sdělení **předpokládá, že v roce 2030 bude třeba v rámci EU ročně zachytávat 50 milionů tun CO₂**, a tato potřeba vzroste na 280 milionů tun CO₂ v roce 2040 resp. **450 milionů tun CO₂ v roce 2050**. V roce 2040 by CO₂ mělo být plně obchodovatelnou komoditou pro ukládání a využití, přičemž by až 1/3 zachyceného CO₂ měla být využita. V této době již bude zapotřebí celo-unijní přepravní a skladovací infrastruktury, přičemž potrubní a lodní přeprava bude hlavním způsobem přepravy. Po roce 2040 by se průmyslové hospodaření s uhlíkem mělo stát nedílnou součástí hospodářského systému EU a biogenní nebo atmosférický uhlík by se měl stát hlavním zdrojem pro průmyslové procesy nebo paliva používaná v odvětví dopravy.

Sdělení identifikuje hlavní bariéry a příležitosti rozvoje jednotného trhu s CO₂ a navrhuje sadu opatření, která mají průmyslové hospodaření s uhlíkem podpořit. Mezi hlavní z nich patří návrh nového regulačního balíčku pro oblast přepravy CO₂ a příprava Investičního atlasu potenciálních úložišť CO₂. Ve spolupráci s ostatními členskými státy Komise také vytvoří nástroj pro agregaci a propojení dodavatelů CO₂ s provozovateli dopravní a skladovací sítě a odběrateli CO₂.

V dubnu 2024 přijal Evropský parlament prozatímní dohodu o nařízení o **odstraňování uhlíku a uhlíkovém zemědělství (CRCF)**, které vytvořilo první celoevropský dobrovolný rámec pro certifikaci odstraňování uhlíku, uhlíkového zemědělství a ukládání uhlíku v produktech po celé Evropě. Tím, že stanoví kvalitativní kritéria EU a zavádí procesy monitorování a vykazování, nařízení CRCF usnadní investice do inovativních technologií pro odstraňování uhlíku a udržitelných řešení v oblasti uhlíkového zemědělství, a zároveň se vypořádá s tzv. greenwashingem.¹⁰

1.4.1.1 VĚDA A VÝZKUM

Strategický plán EU pro energetické technologie (SET)¹¹ byl vytvořen v roce 2007 a stal jedním z hlavních nástrojů 5. pilíře energetické unie¹² v oblasti výzkumu, inovací a konkurenceschopnosti. Plán SET spojuje evropský průmysl, akademickou obec a vlády zemí zapojených do plánu SET¹³ a podporuje rozvoj čistých, účinných a nákladově konkurenceschopných energetických technologií. Jednou z klíčových aktivit SET plánu je oblast CCS a CCU, které se věnuje dedikovaná pracovní skupina TWG 9¹⁴.



1.4.2 VÝBĚR Z ČESKÉ LEGISLATIVY

⁹ Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě a Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru: Směrem k ambicióznímu průmyslovému hospodaření s uhlíkem pro EU - COM(2024) 62 final

¹⁰ https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en

¹¹ COM(2007) 723 final ze dne 22. listopadu 2007, „Evropský strategický plán pro energetické technologie (plán SET) – „Směrování k budoucnosti s nízkými emisemi uhlíku““.

¹² COM(2015) 080 final, „Rámcová strategie k vytvoření odolné energetické unie s pomocí progresivní politiky v oblasti změny klimatu“.

¹³ V současné době všechny členské státy EU a IS, NO a TR.

¹⁴ TWG9 - https://setis.ec.europa.eu/system/files/2021-04/set_plan_ccus_implementation_plan.pdf

Stěžejní strategické dokumenty v oblasti ochrany klimatu a energetiky **Politika ochrany klimatu (POK)** a **Státní energetická koncepce (SEK)** procházejí v roce 2024 aktualizací, aby reflektovaly nové cíle a legislativu na úrovni EU. **Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu (NECP)** byl schválen vládou v prosinci 2024. Všechny dokumenty zmiňují také technologie CCUS a jejich roli k dosažení uhlíkové neutrality české ekonomiky.

1.4.2.1 STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE (SEK)

V reakci na politické cíle a aktuální mezinárodní trendy v oblasti energetiky prochází česká energetika důležitou transformací. Návrh aktualizované SEK uvádí, že technologie CCS a CCU mohou v tomto procesu hrát určitou roli, ale prozatím jsou v různých fázích výzkumu a vývoje, přičemž ještě nedospěly do stavu, kdy je bude možné efektivně a rutinně využívat. Jejich případné uplatnění by umožnilo v České republice dále využívat alespoň v omezeném množství fosilní paliva.

1.4.2.2 VNITROSTÁTNÍ PLÁN V OBLASTI ENERGETIKY A KLIMATU (NECP)

Více prostoru CCUS technologiím věnuje NECP: dle očekávaného vývoje energetického mixu v ČR (scénáře SEEPIA) bude potřeba zajistit roční zachycení a uložení, popř. využití, 7 miliónů tun CO₂/rok. Tato kapacita je modelovaným výsledkem v horizontu 2033-2050 (s využitím této technologie před rokem 2033 se na základě zadání MŽP modelově nepočítá, detaily modelování a jeho omezení jsou popsány dále ve speciální kapitole).

NECP dále uvádí, že vzhledem k omezené kapacitě ukládání CO₂ do horninových struktur na území ČR bude nejspíše potřeba významné množství zachycených emisí CO₂ přepravit do lokalit mimo území ČR, přičemž nákladově optimální bude potrubní přeprava. Mezi vhodné lokality s významným potenciálem pro ukládání zachyceného CO₂ patří zejména oblast Severního moře, výhledově i Baltské moře.

Jako jeden ze základních cílů dokumentu uvádí „snížit podíl fosilních paliv (využívaných bez technologie zachytávání) na spotřebě primární energie na 50 % do roku 2030 a 0 % do roku 2050“, což potvrzuje záměr využívat zemní plyn jen jako přechodové palivo.

1.4.2.3 POLITIKA OCHRANY KLIMATU (POK)

V návrhu Politiky ochrany klimatu jsou technologie CCUS zmiňovány zejména jako cesta energeticky náročného průmyslu k dosažení uhlíkové neutrality. **CCUS je jednou z možností, jak řešit emise z chemických procesů, které při výrobě nelze nahradit.** V podnicích, kde se nasadí zachytávání CO₂ na procesní emise, se nicméně tato technologie může použít i na emise ze spalování.

Dle návrhu POK se CCUS může uplatnit ve 30. a 40. letech při výrobě cementu, může ale sloužit i jako podpůrná technologie při výrobě oceli. Pro rozvoj této technologie je nutné najít vhodná podzemní úložiště a vybudovat potřebnou infrastrukturu pro transport CO₂ do lokalit s významným potenciálem pro ukládání zachyceného CO₂ a tato snaha by měla být realizována v těsné spolupráci s ostatními státy Evropské unie. Předpokladem je rovněž dostupnost technologie z pohledu investičních i provozních nákladů. Část zachyceného CO₂ je možné využít například v průmyslu a v raných fázích může napomáhat ekonomickému rozvoji sektoru, dlouhodobý výhled ovšem bude znamenat uložení většiny CO₂.

Návrh POK zatím nebyl schválen.

1.4.2.4 LEGISLATIVA PRO OBLAST PŘEPRAVY A GEOLOGICKÉHO UKLÁDÁNÍ CO₂ (CCS)

Směrnice o CCS byla do českého právního řádu transponována pomocí **zákona č. 85/2012 Sb., o ukládání oxidu uhličitého do přírodních horninových struktur.**

V oblasti geologického ukládání CO₂ v ČR jsou dále relevantní také následující předpisy:

- zákon č. 62/1988 Sb., o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu
- zákon č. 44/1988 Sb. o ochraně a využití nerostného bohatství

- zákon č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě
- zákon č. 416/2009 Sb., o urychlení výstavby strategicky významné infrastruktury a
- zákon č. 283/2021 Sb., stavební zákon.

Dále právní úprava na úseku ochrany životního prostředí, jeho jednotlivých složek a ochrany zdraví.

1.4.2.5 OSTATNÍ

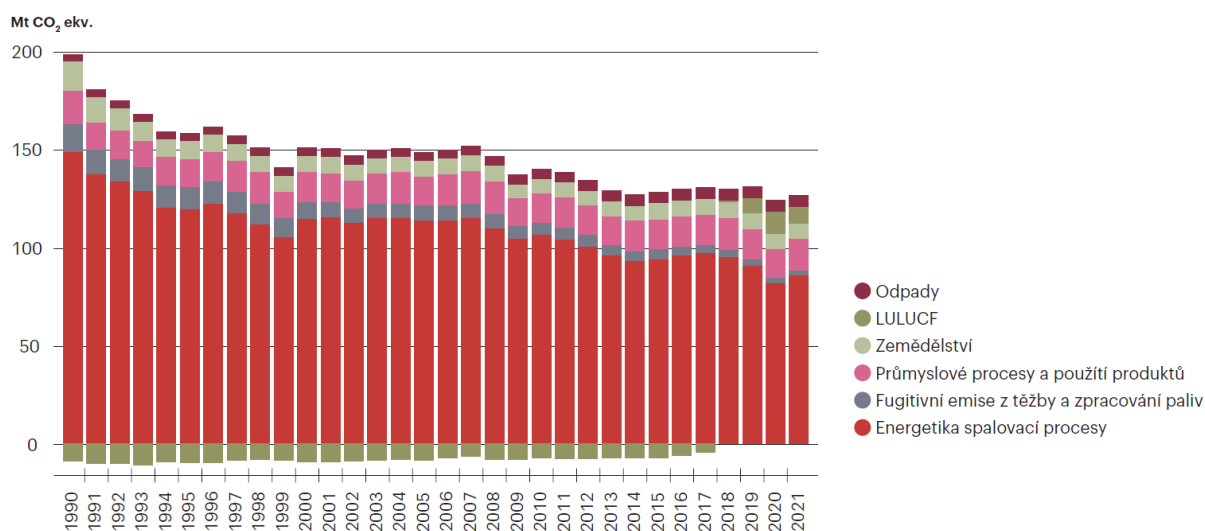
Ze strategických dokumentů, které jsou pro oblast CCUS významné, je vhodné zmínit:

- Surovinová politika ČR v oblasti nerostných surovin a jejich zdrojů
- Státní politika životního prostředí ČR 2030 s výhledem do 2050
- Strategický rámec Česká republika 2030.

1.5 EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V ČR

Následující graf ze Zprávy o stavu životního prostředí ilustruje vývoj reportovaných emisí skleníkových plynů od roku 1990. Celkové emise poslední roky stagnovaly, na jedné straně dochází k snižování emisí v energetice (snižování spalování uhlí), ale na druhé straně došlo k nárůstu emisí započítaných ze sektoru lesnictví a využití půdy LULUCF (např. kůrovcová kalamita).

Agregované emise skleníkových plynů v ČR v sektorovém členění [Mt CO₂ ekv.], 1990–2021

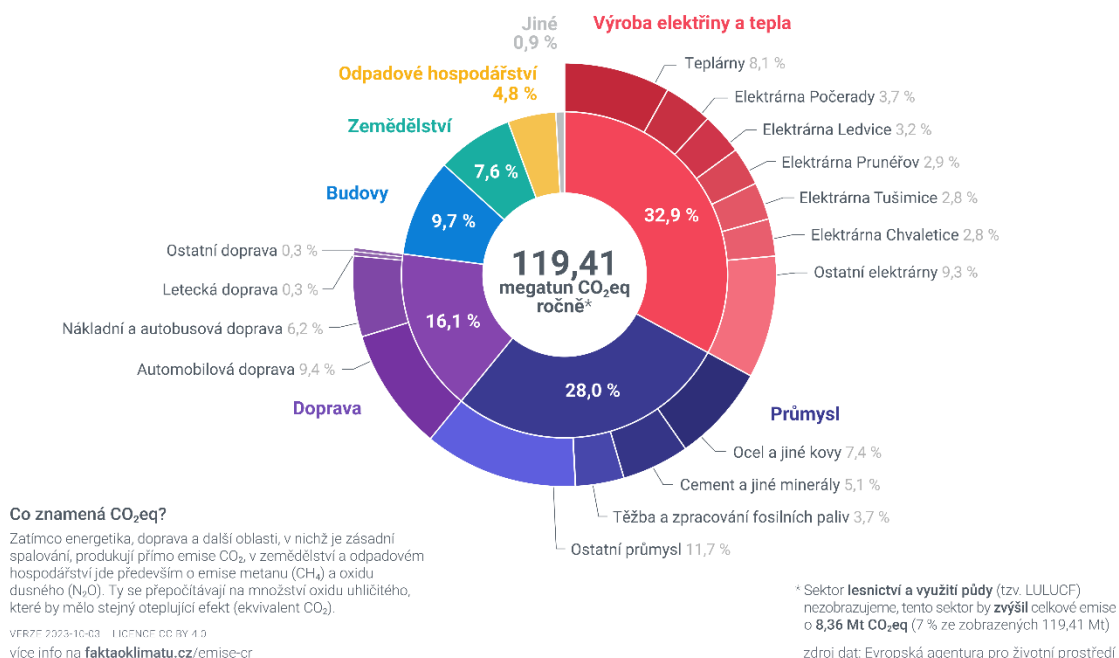


Zdroj: Zpráva o stavu životního prostředí ČR

Následující graf ukazuje strukturu emisí (bez sektoru LULUCF) za celou ekonomiku.

EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ V ČR PODLE SEKTORŮ

Celkové emise České republiky za rok 2021.



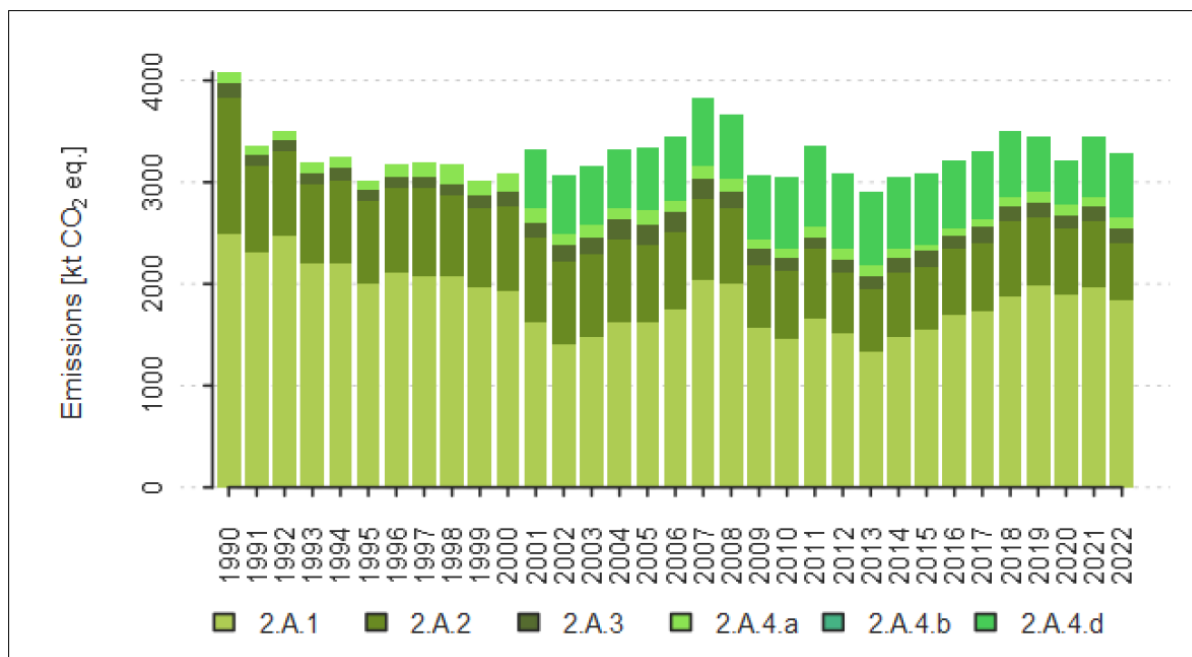
Zdroj: Fakta o klimatu

Detaily o emisích za jednotlivé sektory jsou dostupné v každoročních Národních monitorovacích zprávách, která ČR podává v rámci závazků Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu (UNFCCC).

Následující data ukazují historický vývoj průmyslových emisí, které nejsou spojené se spalovacími procesy, jedná se o sektory, ve kterých je primárně uvažováno s využitím technologie CCUS.

Následující graf zobrazuje trendy emisí skleníkových plynů z kategorie **2.A "Minerální průmysl" (CRF 2.A)** za období 1990–2022. Kategorie zahrnuje emise z procesů, které nejsou spojeny se spalováním, největší podíl emisí (56 %) připadá na 2.A.1 Výroba cementu, následovanou 2.A.2 Výrobou vápna (17 %), 2.A.3 Výrobou skla (4 %) a zbytek na podkategorii 2.A.4 Ostatní procesní využití uhličitánů. Celkově lze pozorovat, že emise se pohybují v rozmezí 3000–4000 kt CO₂ ekv., přičemž vrcholové hodnoty byly zaznamenány kolem let 2006 a 2011.

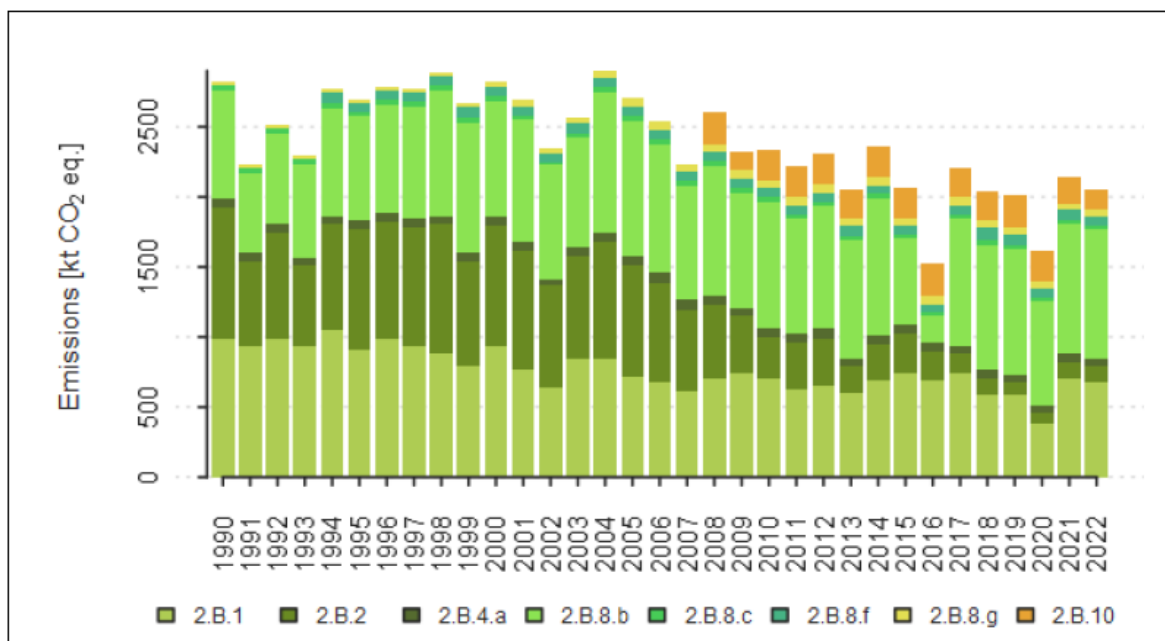
Obrázek: Trend emisí z minerálního průmyslu a podíl jednotlivých podkategorií [kt CO₂ ekv.]



Zdroj: Národní inventarizační zpráva, fig. 4-3, ČHMÚ

Následující graf zobrazuje trendy emisí z kategorie **2.B "Chemický průmysl" (CRF 2.B)**. Největší podíl emisí (52 %) pochází z podkategorie 2.B.8 Petrochemická výroba a výroba sazí, následována 33 % emisí z výroby amoniaku (2.B.1). Menší podíly emisí připadají na výrobu kyseliny dusičné (7 % - 2.B.2), kaprolaktamu (3 % - 2.B.4.a) a ostatní procesy (5 % - 2.B.10). Graf také ukazuje vývoj emisí v těchto podkategoriích, kde je viditelný vrchol emisí kolem roku 2005, následovaný poklesem v dalších letech.

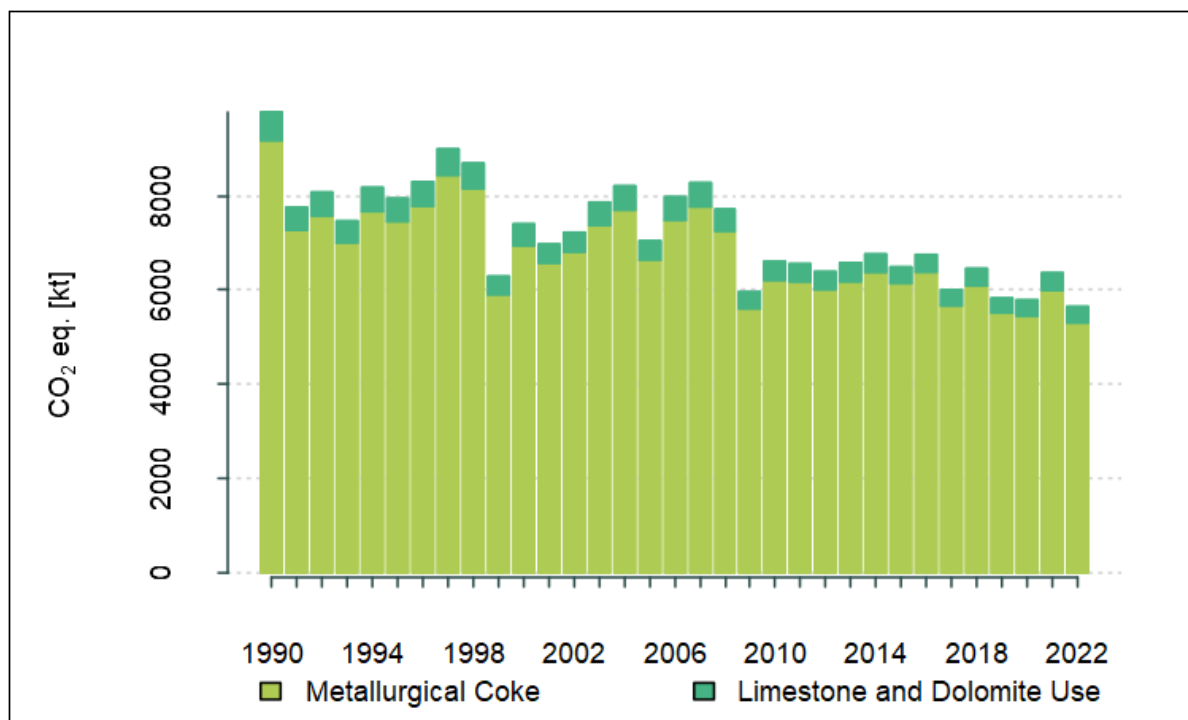
Obrazek: Trend emisí z chemického průmyslu a podíl jednotlivých podkategorií [kt CO₂ ekv.]



Zdroj: Národní inventarizační zpráva, fig 4-5, ČHMÚ

Následující graf ukazuje vývoj emisí v České republice v sektoru metalurgie.

Obrázek: Trend emisí v sektoru metalurgie [kt CO₂ ekv.]



Zdroj: Národní inventarizační zpráva, fig 4-6, ČHMÚ

2 POTŘEBY ČR V OBLASTI ZACHYTÁVÁNÍ CO₂ PRO ROKY 2030/40/50

2.1 MODEL SEEPIA

Tato kapitola prezentuje výstupy modelování v rámci projektu SEEPIA¹⁵, použité pro revize národních energetických a klimatických strategií v roce 2024.

Nejedná se o predikci či plán zachytávání pro ČR, ale jedná se o výstupy modelování s celou řadou omezení a určujících vstupních hodnot.

Výsledek modelování ukazuje využití CC(U)S v oblasti cementu, vápna, oceli a dále v energetice v biomase a zemním plynu. Využití v biomase (BECCS) technologie je v modelu a výpočtu emisí vnímáno jako záporné emise, protože samotné spalování biomasy je počítáno jako nulové emise a zachytávání vypuštěného biogenního CO₂ pak tedy jako záporné emise.

Omezení modelu jsou v tom, že kvůli nedostatku dat nezahrnuje možnost využití CC(U)S pro celý chemický sektor. Zařazení chemického sektoru by mohlo znamenat jiné výsledky modelování s předpokladem vyšší míry využití těchto technologií.

Výsledek modelování též výrazně ovlivňují předpokládané exogenní hodnoty nákladů na tyto technologie, kdy v rámci modelace s ohledem na nedostatek dat nejsou zahrnuty náklady na přepravu, ukládání či využití uhlíku. Odborná literatura uvádí velmi široké rozpětí možných nákladů, které se zároveň mění v čase. Modelace implicitně předpokládá funkční infrastrukturu a legislativní prostředí.

Zároveň model předpokládá relativně vysoké růstové trajektorie, co se týká růstu objemu výroby v jednotlivých průmyslových sektorech. Pro detailnější posouzení by bylo vhodné analyzovat i varianty s jinou trajektorií výroby (min. v ocelářství je pravděpodobnější pokles výroby).

Tabulka: Výsledky modelování SEEPIA v oblasti využití technologie CCUS

Scénář	Odvětví/Sektor	Jednotka	2035	2040	2045	2050
wam3rev	Celkem	CO ₂ ek kt	2 908	4 577	5 900	7 073
wam3rev	Biomasa	CO ₂ ek kt			1 230	2 248
wam3rev	Cement	CO ₂ ek kt	998	2 453	2 463	2 471
wam3rev	Ocel	CO ₂ ek kt	32	32	32	32
wam3rev	Vápno	CO ₂ ek kt	726	741	742	778
wam3rev	Zemní plyn	CO ₂ ek kt	1 152	1 351	1 434	1 544

Je nutné zdůraznit, že model používá CC(U)S jako jednu z posledních možností technologického snižování emisí. V rámci modelace zásadně ovlivňují míru využití technologie CC(U)S také další zadané předpoklady ze strany MŽP, MPO a ČEPS, zejm. patří mezi „soupeřící“ technologie s nasazením CC(U)S dovoz zeleného vodíku, úspory energií a dovozy elektřiny. Nemusí se tak v budoucnu jednat konkrétně o CC(U)S, pokud tyto sektory do té doby naleznou jiné možnosti snížení emisí, a naopak může být i využití CC(U)S vyšší, pokud se vývoj odchýlí od zadaných předpokladů v provedené modelaci.

¹⁵ Modelovací práce vede Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy v rámci výzkumných konsorcií SEEPIA a ARAMIS iniciovaných ze strany Ministerstva životního prostředí, financováno TAČR.

2.2 POPTÁVKA PO ÚLOŽNÉ KAPACITĚ CO₂ VE VYBRANÝCH PRŮMYSLOVÝCH SEKTORECH A ALTERNATIVNÍ MOŽNOSTI REDUKCE EMISÍ V TĚCHTO SEKTORECH

V rámci Akčního plánu je využití technologií CCUS posuzováno v hierarchii priorit, kde by jejich primární nasazení mělo být v tzv. hard-to-abate sektorech, kde není dekarbonizace jinými prostředky možná. Tato kapitola se zaměřuje na sektory výroby cementu, vápna, železa a oceli, na chemický průmysl a na energetické využití odpadu.

Technologii CCUS lze aplikovat i v energetice při spalování zemního plynu. Vnitrostátní plán ČR pro oblast energetiky a klimatu předpokládá, že částečné využití zemního plynu může přetrvat i v roce 2050, přičemž se výstupy modelu uvádějí zachyt emisí ve výši přibližně 1,5 Mt CO₂ ročně z plynových zdrojů. Pro zachytávání se pravděpodobně prosadí technologie post-combustion, při níž je CO₂ separován ze spalín pomocí chemických absorbentů, jako jsou aminy. Tato technologie se již uplatňuje v zahraničí při spalování zemního plynu, ale i uhlí.

Spalování zemního plynu je chápáno v tomto kontextu jako přechodová technologie s předpokladem postupného útlumu vedoucímu až ke konci využívání, přičemž technologie CCUS navíc neřeší emise spojené s úniky plynu při těžbě a dopravě. Další aktualizace Akčního plánu a související regulační rámec budou reflektovat technologický vývoj a ekonomické aspekty projektů, ale i reálný vývoj v energetice a průmyslu, s cílem zajistit efektivní a nákladově optimální nastavení hierarchie podpory využití technologie CCUS.

Na úvod kapitoly je také třeba připomenout, že CCS a CCU jsou tzv. „end-of-pipe„ technologie a dekarbonizační snahy by měly v první řadě hledat nová řešení pro minimalizaci vzniku emisí CO₂. Takovou cestou může být snižování závislosti na produktech z těžko dekarbonizovatelných sektorů, jako jsou výroba cementu, vápna či část chemického průmyslu, pomocí využívání více recyklovaných materiálů či hledání bezemisních alternativ.

2.2.1 VÝROBA CEMENTU

Cement i beton jsou pro Evropu strategickými materiály nezbytnými pro stavbu a opravy budov, ve kterých žijeme, pro zajištění našich energetických a dopravních potřeb a pro udržení bezpečnostní infrastruktury.

Z rozkladu vápence vznikají základní procesní emise CO₂, které lze částečně snížit přidáním vhodných recyklovaných surovin. Tyto procesní emise, které nelze dále ovlivnit, tvoří asi 2/3 celkových emisí CO₂ z výroby cementu.

Obor výroby cementu není ze své chemické podstaty schopen sám o sobě dosáhnout emisní neutrality, k tomu je zapotřebí řada návazných opatření, které přinesou úspory v celém technologickém cyklu výroby cementu, betonu a provádění staveb a návazné recyklace po ukončení životního cyklu.

Potenciál úspor při snižování emisí skleníkových plynů v cementářském průmyslu je členěn podle jednotlivých technologických procesů následovně:

- a) **Využívání náhradních materiálů s nižší uhlíkovou stopou**
- b) **Použití dekarbonizovaných surovin při přípravě surovinové směsi na výpal slínku** - možnost úpravy složení surovinové směsi závisí na dostupnosti složek, zejména odpadních, blízkého chemického složení celkové směsi a tato je v ČR téměř vyčerpána. Pro budoucnost ještě přichází v úvahu možnost využívání např. jemných podílů z recyklace betonu, rovněž jako přínos cirkulární ekonomiky při ukončování životního cyklu betonových staveb. **Potenciál snížení emisí CO₂ touto náhradou do r. 2050 je cca 1-3 % vzhledem k r. 2024.**
- c) **Použití alternativních paliv** - možnost náhrady klasických paliv, v současnosti zejména uhlí a jeho granulometrických derivátů, závisí na dostupnosti energeticky využitelných odpadů z jiných výrobních procesů, zejména z automobilového a dalších průmyslů (zde se situace bude při utlumování různých výrobních procesů měnit), další možností je kontrolovaný notifikovaný dovoz průmyslového odpadu. Dále pak výběr paliv

s vysokým biomasovým podílem, který ale může být omezen novými nařízeními MRR. Vlastní strojní technologie je na nejvyšší dosažitelné úrovni, tedy vícepalivové hořáky a jejich vícemístné umístění, sušárny paliva a využívání odpadního tepla pro další procesy. **Potenciál snížení emisí CO₂ touto náhradou do r. 2050 je cca 5-7 % vzhledem k r. 2024.**

- d) **Zlepšení tepelné účinnosti rotačních pecí** – jedná se o dílčí úpravy v systému stávajících rotačních pecí na výpal slínku jsou možné v oblasti náhrady hořáků, v oblasti kalcinátorů a vhodného umístění bypasů, popř. přidání kalcinačního stupně úpravou výměníků tepla nebo cyklonů, úpravou těsnění pece a zvýšením účinnosti roštových chladičů, nicméně rotační pec je komplexní součástí systému výměník – pec – chladič a je velmi vhodné tento systém pokud možno investičně měnit celý na základě kvalitního tepelně výpočtového základu. **Potenciál snížení emisí CO₂ touto náhradou do r. 2050 je cca 5-10 % vzhledem k r. 2024.**
- e) **Použití směsných cementů s nižším obsahem slínku** - tržně nejžádanějšími cementy jsou cementy CEM I, popř. CEM II/B-S, tedy cementy s nejvyšším obsahem energeticky i emisně nejnáročnější složky cementu – slínku; výroba betonu, ale rovněž projektová odborná veřejnost a zejména velké stavebnictví neumí rozlišovat jednotlivé druhy cementu pro různé betony pro jednotlivé druhy stavebního použití. V oboru výroby cementu je v současnosti hlavním cílem snižování tzv. slínkového faktoru k hodnotě 0,75 i níže a nabízení směsných cementů s nízkým obsahem slínku. **Potenciál snížení emisí CO₂ touto náhradou do r. 2050 je cca 15-20 % vzhledem k r. 2024.**
- f) **Nové typy slínku a alternativních cementů** - stále ve fázi výzkumu a vývoje jsou stavební materiály na bázi belitických slínků anebo calciumsulfoaluminátových cementů, které mohou nalézt využití v horizontu cca 50 let). **Potenciál snížení emisí CO₂ touto náhradou do r. 2050 není vzhledem k r. 2024 realizovatelný.**
- g) **Využití nízkoemisního vodíku a obnovitelné elektrické energie** - využití nízkoemisního vodíku je pravděpodobně výzvou pro budoucnost, neboť základní orientační zkoušky výpal ukázaly, že toto plynné palivo nepřináší dostatečný tepelný vnos pro kvalitní výpal. I existující technologie a procesy budou případně vyžadovat úpravy, aby mohly efektivně využívat vodík. Využití obnovitelné elektrické energie je již realizováno např. v podobě fotovoltaických panelů nebo solárních tepelných systémů na střechách výrobních hal, nicméně se jedná o doplňkový zdroj energie, nikoliv dominantní pro mléčí procesy. Zelená energie tak musí být nakoupena od hlavních energetických producentů. **Potenciál snížení emisí CO₂ touto náhradou do r. 2050 není vzhledem k r. 2024 snadno odhadnutelný.**
- h) **Zachytávání, ukládání a zpracování CO₂ (CCS/CCU)** - v provozních instalacích je řada technologií, které jsou průběžně doplňovány o techniky tak, jak jsou získávány praktické zkušenosti, např. post-combustion absorpce aminy, pre-combustion se separací vodíku, oxy-fuel combustion se spalováním v kyslíku, kryogenní zachyty - pro další využití v procesu utilization nebo storage v podzemních úložištích, popř. pro transport produktovody na offshorové uložení. Tyto technologie jsou energeticky vysoce náročné, nikdy nespotřebují veškerý objem uvolňovaných skleníkových emisí z procesů a dále potřebují buď vhodný zdroj ukládání do země anebo zdroj dalšího technologického uplatnění. Jedná se o technologie s vysokou investiční, energetickou i provozní náročností, které se v investiční a pravděpodobně i posléze v provozní etapě zpravidla neobejdou bez cílené veřejné podpory. Pokud budou schvalovány, finančně podpořeny a zabezpečeny CCS projekty, lze potřebu zachytávání, dopravy a ukládání v tuzemsku, popř. off shore očekávat zejména v období po r. 2035. **Potenciál snížení emisí CO₂ touto náhradou do r. 2050 je potřebný cca 65 % emisí vzhledem k r. 2024, tj. cca 1750 kt CO₂ ročně.**

Řada výše popsanych opatření bude s jistotou realizována v období 2030-2035, kdy nabude vysokou účinnost systém CBAM. Po tomto termínu budu třeba realizovat zejména mechanismy CCU a CCS.

Výrobci cementu analyzovali potenciál jednotlivých opatření a technologií s výsledky v následující tabulce. Jedná se o výpočet s množstvím produkce a emisí z roku 2022.

Oblast/technologie snižování		Podíl (%)	Celkem (kt)
Celkem tis. t CO ₂ (2022)	2837	100	2837
Použití dekarbonizovaných surovin	85	3	85
Použití alternativních paliv	199	7	199
Zlepšení tepelné účinnosti rotačních pecí	284	10	284
Použití cementů s nižším obsahem slinku	567	20	567
Nové typy slinku a alternativních cementů	0	0	0
Využití vodíku a elektřiny z OZE	0	0	0
Zachytávání, ukládání a zpracování CO ₂	1702	60	1702
Započtení rekarbonizace ¹⁶	0	0	0

Zdroj: Svaz výrobců cementu

2.2.2 VÝROBA VÁPNA

Stejně jako cement je i vápno klíčovým materiálem pro mnoho odvětví ekonomiky. Využívá se v průmyslu, energetice, stavebnictví, zemědělství, papírnictví, potravinářství nebo při čištění pitné vody a úpravě odpadních kalů. Jeho jedinečné vlastnosti umožňují dalším průmyslovým odvětvím snížit jejich uhlíkovou stopu.

Přibližně 25 – 30 % emisí CO₂ při výrobě vápna pochází ze spalování paliv pro vytápění pecí. **70 – 75 % emisí CO₂ při výrobě vápna vzniká kalcinací** uhličitanu vápenatého při teplotě kolem 1100 °C. Při rozkladu vápence tak vzniká vápno a oxid uhličitý CO₂ jako procesní emise.

Možnosti redukce těchto procesních emisí jsou, stejně jako v sektoru výroby cementu, omezené. Technologie CCUS proto mají v dekarbonizační strategii výrobců vápna zásadní význam.

Odhad potřeby zachytávání CO₂ v sektoru výroby vápna dle Svazu výrobců vápna ČR:

Rok	CO ₂ (v tunách)
2030	0
2040	300 000
2050	720 000

Alternativní možnosti redukce emisí CO₂ dle Svazu výrobců vápna ČR

Technologie ke snížení emisí	Redukce emise CO ₂ (% z celkové emise)	Poznámka
Náhrada pecí	do 2 %	V současné době již ve většině výrobních zařízení instalovány nejlepší pece typu Maerz
Úprava palivové základny	do 28 %	Využití zemního plynu, biopaliv a paliv z odpadu
Zvyšování energetické účinnosti	do 5 %	
Přirozené zachytávání CO ₂ použitím vápna (princip rekarbonizace)	33 %	K dispozici mezinárodní vědecká studie ¹⁷

¹⁶ Rekarbonizace je proces, při kterém beton absorbuje oxid uhličitý z atmosféry a přeměňuje ho na stabilní karbonátové minerály.

¹⁷ Studie European Lime Association - viz <https://eula.eu/wp-content/uploads/2023/11/LIME-AS-A-NATURAL-CARBON-SINK.pdf>

Mezi alternativními možnostmi snižování emisí CO₂ je důležité zmínit také snižování spotřeby, efektivnější využívání materiálů a využívání náhradních materiálů s nižší uhlíkovou stopou, pokud jsou k dispozici.

2.2.3 CHEMICKÝ PRŮMYSL

Výroba chemických látek a materiálů v EU je nyní do velké míry závislá na fosilních surovinách. Roční poptávka po uhlíku pro chemický průmysl v EU se v současné době odhaduje na přibližně 125 milionů tun a více než z 90 % ji pokrývá fosilní uhlík¹⁸. Pokud chce EU dosáhnout snížení emisí skleníkových plynů v souladu s doporučeným cílem pro rok 2040 a klimatické neutrality v roce 2050, bude nutné fosilní uhlík v chemickém průmyslu postupně nahrazovat surovinami jako je udržitelná biomasa, recyklovaný odpad a zachycený CO₂. V kontextu snižování emisí skleníkových plynů v sektoru chemie se místo dekarbonizace někdy užívá přílehlavější název „defosilizace“ s ohledem na skutečnost, že uhlík je základním stavebním kamenem velké části chemikálií, zejména organických.

Hlavním nástrojem pro snížení emisí v chemickém průmyslu by měla být elektrifikace výrob s využitím obnovitelné elektrické energie a výroba a využití uhlíkově neutrálního tepla. Technologie CCU by pak mohly být doplňkovým nástrojem pro využití zachyceného CO₂. Pro technologie CCU je potřeba zajistit dostatečné množství cenově dostupného vodíku.

Významnou roli by také mělo sehrát termochemické zpracování odpadů, zejména plastového pro zajištění plynu potřebného pro výrobu etanolu či metanolu v případě využití technologií CCU.

V roce 2021 Komise ve sdělení o udržitelných uhlíkových cyklech stanovila pro rok 2030 cíl dosáhnout alespoň 20% podílu udržitelného uhlíku na uhlíku používaném jako vstupní surovina v chemickém průmyslu. Defosilizaci chemického průmyslu se Komise věnuje také v dalších sděleních: Přechodová cesta pro chemický průmysl (zveřejněno v roce 2023) a doporučení pro cíl snížení emisí EU v roce 2040 (zveřejněno souběžně s již zmíněným sdělením o průmyslovém hospodaření s uhlíkem v roce 2024).

2.2.3.1 TECHNOLOGIE A OPATŘENÍ NA SNÍŽENÍ EMISÍ LZE ROZDĚLIT NA 2 HLAVNÍ SKUPINY:

1/ Využití stávajících technologií s omezením emisí CO₂ zejména z teplotních procesů. Jedná se zejména o elektrifikaci výměníků, náhrada pecí pro výrobu tepla elektrickým ohřevem, zvyšující účinnost technologií. Dále jsou to technologie využívající ve větší míře recyklované suroviny (zejména při výrobě polymerů) nebo biomasu, resp. pyrolýza nebo zplyňování odpadů, případně biomasy.

2/ Využití zachyceného CO₂ jako suroviny pro syntézu chemických látek - Samostatně lze uvažovat o výrobě syntetických paliv, resp. technologií Power2X i jako technologií pro akumulaci energií (detailnější popis viz. Kapitola Zachytávání a využívání CO₂)

Existující (průmyslově využívané) technologie v oblasti využití:

- Výroba metanolu: náhrada dovozu jako chemické suroviny (potenciál 100 kt/rok)
- Výroba metanolu jako sezonního akumulátoru energie (potenciál jednotky mil. t/rok – není předmětem dosavadních analýz)
- Výroba derivátů metanolu s dalším potenciálem spotřeby CO₂: kyselina octová náhrada dovozu jako chemické suroviny (potenciál 50-100 kt/rok)
- Výroba močoviny: náhrada dovozu jako suroviny pro výrobu průmyslových hnojiv (potenciál 100 – 200 kt/rok)
- Výroba oxo-alkoholů: náhrada dovozu jako chemické suroviny (potenciál 50 kt/rok)
- Výroba polykarbonátů: náhrada dovozu jako chemické suroviny (potenciál 20 kt/rok).

2.2.3.2 POPTÁVKA PO CCUS V CHEMICKÉM PRŮMYSLU V RÁMCI ČR

¹⁸ Sdělení Evropské komise „Směrem k ambicióznímu průmyslovému hospodaření s uhlíkem pro EU

Dle jednotlivých scénářů k dosažení uhlíkové neutrality, zpracovaných Svazem chemického průmyslu ČR, se předpokládá, že v roce 2050 bude zachyceno 3,3-8,7 milionů tun CO₂/rok. Jedná se o kombinaci procesních emisí CO₂ a CO₂ z vlastní výroby energií. Z toho 2,6-8,5 milionů tun CO₂ bude uloženo a 0,2-0,7 milionů tun CO₂ bude využito. Dle scénářů zbytkové emise CO₂ v roce 2050 v chemickém budou činit cca 2 mil. t/rok, přičemž budou kompenzovány stejným množstvím negativních emisí ukládání či využití biogenního uhlíku.

Tyto odhady v sobě nezahrnují možnou konverzi CO₂ do „produktových akumulátorů energie (P2X)“, které by umožnily snížení potřeby CCS (viz text výše).

Odhad investičních nákladů nezbytných pro realizaci opatření k zajištění uhlíkové neutrality chemického průmyslu ČR

Dle jednotlivých scénářů k dosažení uhlíkové neutrality, zpracovaných Svazem chemického průmyslu ČR, se předpokládá, že do roku 2050 bude nezbytné investovat cca 50 mld. EUR (tzn. cca 2 mld. EUR resp. 50 mld. Kč/ročně) bez zohlednění investic nezbytných na obnovu a modernizaci stávajících výrobních kapacit (současná roční úroveň investic do odvětví činí 37-39 mld. Kč/ročně, viz Ročenka chemického průmyslu ČR na www.schp.cz). Předpokládá se, že realizované investice budou mít přijatelnou návratnost, aby mohly být financovány.

Tyto odhady v sobě nezahrnují možné investice do technologií na konverzi CO₂ do „produktových akumulátorů energie (P2X)“, které by umožnily snížení potřeby CCS (viz text výše).

2.2.4 VÝROBA ŽELEZA A OCELI

Produkce CO₂ v ocelářství je úzce spjata s procesem výroby železa, především ve vysokopecních a ocelářských závodech. Při redukci železné rudy, kdy se z rudy odstraňuje kyslík za použití koksu, vzniká jako vedlejší produkt velké množství oxidu uhličitého. Tento proces je základem tradiční výroby oceli a je odpovědný za velkou část odvětvových emisí. Další zdroje emisí pocházejí z procesů, jako je přeměna železa na ocel, výroba potřebných vstupních surovin, například koksu či aglomerátu, a dále z energetické spotřeby, která se často stále spoléhá na fosilní paliva. Emise lze připsat také areálovým energetickým závodům, které vyrábí energii mj. z procesních plynů (zejména vysokopecního a koksářského), a ta je z velké části využívána zpět v procesu výroby oceli a druhovýroby.

Snížení emisí CO₂ je možné dosáhnout využitím inovativních technologií, jako je přímá **redukce železa za použití vodíku**, tzv. redukce železné rudy vodíkem (H₂-DRI-EAF). Tato metoda zatím není dostupná v průmyslovém měřítku (metoda DRI-EAF se doposud využívá v kombinaci se zemním plynem), ale probíhají pilotní projekty, například ve Švédsku. Proces spočívá v nahrazení koksu vodíkem jako redukčním činidlem, což vede k produkci surového železa a vodní páry namísto oxidu uhličitého. **Takto vyrobené surové železo je pak nutné dále zpracovávat v elektrických obloukových pecích.** Tato technologie vyžaduje velmi vysokou spotřebu vodíku (ideálně zeleného vodíku), několikanásobné množství elektřiny a zcela nové výrobní agregáty, a tudíž značné investice. Existuje i možnost postupného zavádění vodíku do současných vysokých pecí, kde by nahradil např. 20-30 % koksu, což již testují v Německu.

Další možnou metodou, která může významně snížit emise, je **přechod na EOP (elektrická oblouková peci) a tavení především ocelového šrotu elektrickým obloukem.** Tato metoda obecně znamená až 80% snížení emisí i energie z výrobního procesu, úspory primárních surovin (rudy, uhlí, vápenec, atd.) a významné úspory v emisích znečišťujících látek. Tato technologie je běžně dostupná ve světě. Nicméně musí se spoléhat na dostatek šrotu, dostupnost (obnovitelné či nízkoemisní) elektřiny. Vyrobená ocel také nemusí být pro některá specifická použití dostatečně kvalitní jako v případě rudné cesty – záleží na znečištění ocelového šrotu jinými prvky.

Produkce oceli v České republice je v současnosti soustředěna v Třineckých železárnách a v Liberty Ostrava, kde se v běžných letech v součtu vyrábí kolem 4,5–5 milionů tun oceli, přičemž celkové emise dosahují přibližně 6 Mt CO₂ ročně, s energetikou pak cca 9Mt CO₂ ročně. Současná situace kolem Liberty Ostrava je velmi nejistá, zejména kvůli probíhajícím insolvenčním a soudním procesům. Je možné, že se výroba oceli v jejich areálu neobnoví, což by znamenalo snížení výroby oceli v ČR až na 2,5 milionu tun ročně.

Třinecké železářny mají plán na zelenou transformaci výroby oceli s projektem "Steel for Green". Hlavním cílem a opatřením transformačního projektu je do roku 2030 nahradit polovinu výroby ve vysokých pecích elektrickou obloukovou pecí (EOP). U druhé poloviny výroby zatím plán není jasný.

Mezi alternativními možnostmi snižování emisí CO₂ je důležité zmínit také využívání náhradních materiálů s nižší uhlíkovou stopou, pokud jsou k dispozici.“

Využití technologie CCUS v ocelářství

Zavedení technologie elektrických obloukových pecí (EOP) v Třineckých železárnách bude představovat výrazné snížení emisí, ale nevede ke kompletnímu snížení. Pro zbytkové emise je možné uvažovat o technologii CCS či využívání vodíku, jak bylo popsáno v předešlých odstavcích.

Na světě zatím neexistuje komerční zařízení CCS pro zachytávání uhlíku u vysokých pecí, jediný komerční projekt zachytávání CO₂ s týká technologie DRI-EAF se zemním plynem¹⁹. V případě dekarbonizace evropského ocelářského průmyslu se u několika firem do budoucna počítá s přechodem na vodík a EOP, je ale stále možné, že se některé jednotlivé firmy a státy vydají směrem zachytávání CO₂. Naznačuje to i mapa dekarbonizačních projektů Evropské asociace výrobců oceli.²⁰ Nicméně je třeba vzít v úvahu, že implementace CCS v ocelářství může být dražší než v jiných průmyslových odvětvích kvůli specifickým technickým výzvám. V České republice dosud nebylo rozhodnuto o konkrétním využití technologií k dosažení čisté nuly v ocelářském průmyslu. Toto rozhodnutí bude záviset nejen na technologickém vývoji, ale také na dostupnosti energie, především vodíku, a ekonomické životaschopnosti těchto technologií.

2.2.5 ENERGETICKÉ VYUŽÍVÁNÍ ODPADŮ

V České republice se očekává v příštích několika letech výstavba několika zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO), což povede k nárůstu využívání odpadu v energetice a zvýšení potřeby snižovat narůstající emise CO₂ spojené s tímto sektorem. Odhadované množství emisí CO₂ z tohoto sektoru se bude pohybovat v řádu **statisíců tun CO₂ ročně**, v závislosti na množství spaloven a množství a složení zpracovávaného odpadu. Významný vliv na budoucí vývoj spaloven a ekonomiky zachytávání uhlíku bude mít také zvažované zapojení spaloven odpadu do systému EU pro obchodování s emisními povolenkami od roku 2028, jehož podoba a podmínky se budou diskutovat v příštích dvou letech.

Moderní systémy čištění spalín již dnes téměř eliminují většinu dalších škodlivých látek, nicméně pro účinné snížení emisí CO₂ je nezbytná instalace technologií zachytávání uhlíku. Jednou z výzev při zavádění těchto technologií ve spalovnách odpadu je relativně malá velikost některých zařízení ZEVO, pro které bude technologie zachytávání uhlíku relativně dražší a zvýší to tak jednotkové náklady na zachytávání a transport CO₂.

¹⁹ Projekt ocelárny Al Reyadah v Arabských emirátech <https://www.capturemap.no/big-role-for-ccus-in-the-iron-and-steel-industry/>

²⁰ Mapa dekarbonizačních projektů <https://www.eurofer.eu/issues/climate-and-energy/maps-of-key-low-carbon-steel-projects>

Pro další rozvoj této oblasti bude vhodné analyzovat existující a plánované projekty, jako je např. projekt AVR v Duiven²¹, v Nizozemsku nebo pilotní projekt Fortum Oslo Varme²² v Norsku a také vývoj v Německu, které plánuje v odpadovém hospodářství zachytávat cca 15 mil. tun CO₂ ročně²³.

Alternativní způsob zpracování odpadů představuje jejich zplyňování, při němž emise CO₂ takřka nevznikají a tato termická cesta nabízí širší možnosti efektivního uplatnění jako je uchování energie v plynu (syngas) na pozdější využití, separaci vodíku či využití v chemických výrobních procesech např. metanolu a jeho derivátů.

I přes rozvoj výše popsaných technologií by měla zůstat prioritou **hierarchie odpadového hospodářství**, která klade důraz na prevenci vzniku odpadu, jeho opětovné využití a recyklaci. Tímto přístupem lze výrazně snížit množství odpadu určeného ke spalování a následně i objem emisí CO₂, což snižuje potřebu implementace nákladných technologií CCUS.

²¹ <https://www.avr.nl/en/optimal-process/co2-capture-plant/>

²² <https://www.klimaoslo.no/what-the-carbon-capture-project-means-for-oslos-climate-targets/>

²³ <https://www.klimareporter.de/deutschland/ccs-soll-auch-muellverbrennung-retten>

3 PŘEHLED A POPIS TECHNOLOGIÍ

3.1 CELKOVÝ PŘEHLED

Carbon capture and storage (CCS) je soubor technologií, jejichž podstatou je zachytávání CO₂ u zdroje (typicky průmyslový výrobní podnik nebo tepelná elektrárna spalující fosilní paliva), jeho úprava a transport a následné trvalé uložení ve vhodné (přírodní) geologické struktuře na souši (onshore) nebo na moři (offshore). Takto uložený objem CO₂ je vyřazen z cirkulace, nepodílí se na nárůstu koncentrace skleníkových plynů v atmosféře a nepřispívá tak k procesům klimatických změn.

Technologie byla vyvinutá v rámci společensky akceptované snahy o omezení růstu emisí skleníkových plynů a v současnosti je jednou z preferovaných a podporovaných součástí evropské strategie dekarbonizace.

Technologickým průkopníkem CCS je ropný průmysl, který již v polovině 20. století využíval CO₂ získaný z přírodních zdrojů k zatlačení do ropných ložisek a zvyšování výtěžnosti pomocí ovlivňování vlastností ropy (**EOR, enhanced oil recovery**).

Prvním projektem zatlačení separovaného CO₂ do geologické struktury s cílem jeho eliminace je Sleipner v Norsku, fungující od roku 1996.

Carbon capture and utilization (CCU) je technologie, která předpokládá využití CO₂ zachyceného u emitenta pro další průmyslové zpracování, zejména pro výrobu organických chemických látek (močovina, metanol, etanol, kyselina octová aj.), syntetických paliv nebo k mineralizaci s uplatněním v průmyslu stavebních hmot.

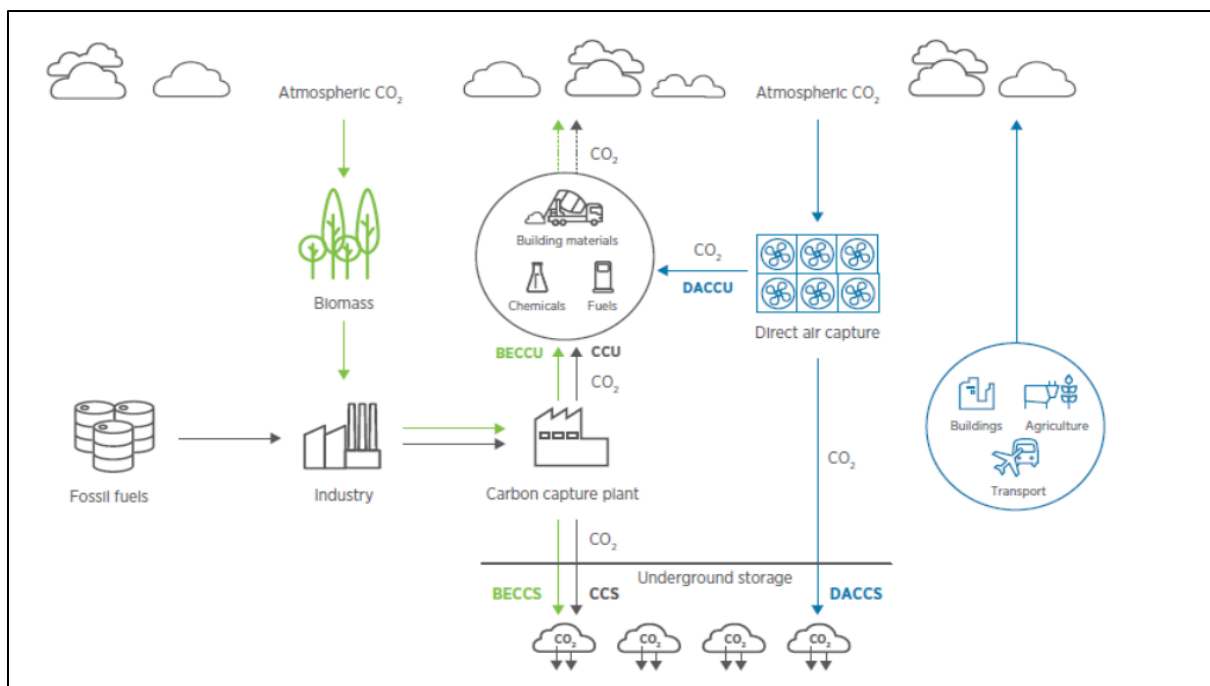
Obě technologie se někdy sdružují pod akronymem CCU/CCS nebo CCUS.

Efektem **BECCS (bioenergy with carbon capture and storage)** je generování negativních emisí CO₂ – tedy úbytek CO₂ v atmosféře důsledkem procesu dvojí sekvestrace uhlíku: rostliny při růstu zachycují a ukládají volný CO₂ z ovzduší, po spálení biomasy dochází k sekvestraci geologické – tedy zachycení uvolňovaného CO₂ a jeho trvalému uložení pod zem. Tato technologie je možné uplatnit např. v energetice při spalování biomasy.

Eliminaci atmosférického CO₂ předpokládá metoda známá jako přímé zachytávání atmosférického CO₂ (**direct air capture, DAC**) a jeho následné uložení nebo zpracování (DACCS/DACCU). V přímém zachytávání se aplikují jak chemické postupy (absorpce, adsorpce), tak i fyzikální metody, např. cestou separace přes selektivní membránové systémy.

V souvislosti s rozvojem vodíkové ekonomiky lze uvažovat o kombinaci výroby vodíku parním reformingem metanu (SMR - Steam methane reforming) s metodou CCS. V této variantě se vzniklé emise CO₂ zachytávají a ukládají pomocí technologie CCS, dále využívají pomocí CCU. Vyrobený vodík tak je prakticky bezemisní a je nazýván modrým vodíkem.

Ve všech uvedených technologiích se objevují základní komponenty celého procesu: zachytávání, transport a uložení CO₂ do vhodné geologické struktury nebo jeho zpracování.



Zdroj: Irena.org, Capturing Carbon 2021

3.2 ZACHYTÁVÁNÍ CO₂

Zachytávání emisí CO₂ je společným výchozím bodem pro všechny cesty průmyslového hospodaření s uhlíkem. Zachytávání probíhá buď u zdroje emisí nebo přímo z atmosféry.

Čím vyšší je koncentrace CO₂ a tlak plynu, tím jednodušší a levnější je zachytávání. CO₂, který lze snadno zachytit, se typicky nachází se v chemickém průmyslu, při úpravě zemního plynu a fermentačních (biorafinérských) procesů. Při výrobě elektrické energie a v těžkém průmyslu zachytávání vyžaduje dražší a složitější řešení. Současná koncentrace CO₂ v atmosféře 420 ppm je škodlivá pro životní prostředí v důsledku prohlubování skleníkového efektu, ale je technicky příliš nízká pro efektivní aplikace technologií zachytávání.

Pro zachytávání CO₂ je k dispozici řada technologických metod, které umožňují danému průmyslovému procesu vybrat řešení, které je z technického a ekonomického hlediska nejvýhodnější.

Tři hlavní metody skupiny zachytávání jsou zachytávání před spalováním (pre-combustion/conversion capture), zachytávání po spalování (post-combustion/conversion capture) a spalování v kyslíkové atmosféře (oxy-combustion). Čtvrtou skupinou by mohla být nově vznikající technologie přímého zachytávání vzduchu (DAC).

Metody zachytávání CO₂ dle typu zdroje:

	Post combustion			Pre combustion			Oxy-combustion
CO ₂ Capture method	CO ₂ is captured from the flue gas produced during the combustion of fuels			Before burning fuels, CO ₂ is separated, typically from synthesis gas			Clean flue gas by combustion with O ₂
CO ₂ capture technology	- Suitable for renovation of existing plants - preservation of existing infrastructure; well applicable to most existing coal-fired power plants - Significant progress is still to be made in this field - Low pressure and CO₂ concentration in the flue gas -> high power, energy demand and cost of CO₂ capture - Output CO₂ at lower pressure - further compression required			- High pressure and CO₂ concentration -> lower costs - Complex solution: it is not enough to capture the flue gas, a process is required where the fuel is pre-treated (e.g. SMR, gasification)			- Very high concentration of CO₂ in the flue gas - High O₂ and heat demand, which significantly increases energy demand and costs
Technology readiness	Absorption CO₂ is passed through liquid phase Capable of trapping low concentration of CO₂ Solution regeneration required Corrosion, degradation			Absorption CO₂ is passed through liquid phase Well known technology Low energy consumption Solution regeneration required Corrosion and degradation			Air separation Separation of oxygen from air Due to the combustion with O₂ instead of air, the difficult separation of N₂ and CO₂ is not required Output CO₂ is of high purity A continuous high-volume oxygen supply is required, resulting in significant costs and energy Extremely high temperature required
Area of application	Mature (TRL9) Ammonia, refining, chemical industry (SMR H₂) IGCC power plant			Mature (TRL9) Ammonia, refining, chemical industry (SMR H₂) IGCC power plant			Mature (TRL5-6) Power plant (natural gas, coal), cement manufacturing, iron and steel

Zdroj: Carbon Dioxide Storage and Utilization (CCS/CCU) Options in Hungary – White Paper^{24, 25}

3.2.1.1 ROZDĚLENÍ PODLE ETAPY ZACHYTÁVÁNÍ VE VZTAHU KE SPALOVÁNÍ

Zachytávání po spalování (Postcombustion capture)

Při zachytávání po spalování se CO₂ odlučuje z plynů vznikajících jako zplodiny hoření, a to pomocí kapalných rozpouštědel nebo jiných metod separace. Při použití absorpčního principu se CO₂ zachytí v rozpouštědle a následně zahřátím opět uvolní, čímž vzniká proud vysoce čistého CO₂. Tato technologie se běžně používá pro potřeby potravinářského průmyslu (včetně výroby nápojů). Další postupy zahrnují zachytávání pomocí adsorpce při aplikaci porézního média např. aktivního uhlí, metodu vymrazování CO₂ (cryogenic capture), kdy dochází k vytvoření a následné sublimaci suchého ledu, nebo membránovou separací CO₂ na selektivní polopropustné pórové membráně. Membránová separace se momentálně nachází v procesu vývoje a testování.

Koncentrace CO₂ v průmyslových spalínách v závislosti na typu využívaného paliva dosahují 4 – 15 %, zbytek tvoří zejména sloučeniny dusíku, zbytkový kyslík a vodní pára.

Zachytávání před spalováním (Precombustion capture)

Při zachytávání CO₂ před spalováním se palivo nejprve v podmínkách vysokého tlaku a teploty přemění na plynnou směs CO, vodíku, a CO₂ (syngas). V dalším zpracování (water-gas shift reaction) se na úkor CO navýší podíl vodíku a CO₂ v plynu. Vodík se následně oddělí a lze jej využít jako bezemisní zdroj energie k dalšímu využití. Separovaný oxid uhličitý se naopak stlačí do formy vhodné k přepravě a ukládání. Kroky nutné k přípravě (konverzi) paliva jsou v případě zachytávání před spalováním obtížnější nežli u zachytávání po spalování. Mezi procesy, kde lze využít zachytávání CO₂ před spalováním, patří např. SMR (popř. auto-termální reformace) či parciální oxidace.

²⁴ University of Szeged; IFUA Horváth & Partners Ltd. Carbon Dioxide Storage and Utilization (CCS/CCU) Options in Hungary - „White paper“ (2023).

²⁵ Tabulka poskytuje pouze zjednodušený přehled technologií zachytávání. Pro zachytávání po spalování (post-combustion) není obecně pravda, že zachytávání chemickou absorpcí (absorption) je spojeno s korozivností použitých materiálů. To platí pouze při použití MEA či MDEA, ale je celá řada dalších rozpouštědel, jako potaš, obecně uhličitany apod., u kterých to neplatí.

Spalování v kyslíkové atmosféře (Oxycombustion capture)

Při spalování v kyslíkové atmosféře se před spalováním paliva odstraní ze vzduchu sloučeniny dusíku a palivo hoří v prostředí obsahující převážně kyslík. Jako zplodiny hoření tak vznikají vodní pára a CO₂. Ty pak lze od sebe snadno oddělit, čímž vzniká proud vysoce čistého CO₂. Problémem je vysoká energetická a ekonomická náročnost oddělení kyslíku od zbytku atmosféry (hlavně vymrazováním).

V nedávné době bylo dokončeno několik výzkumných projektů, které se zabývaly technologiemi zachytávání CO₂, např. projekty Bio-CCS, METAMORPH nebo Rotating Packed Bed (RPB)²⁶.

3.3 PŘEPRAVA CO₂

Po separaci CO₂ je koncentrovaný plyn pro efektivní dopravu hluboce dehydrován a stlačen. Dehydratace je nezbytná pro eliminaci koroze a dále zamezení vytváření krystalů hydrátů, které mohou za vysokých tlaků ucpat přepravní technologie.

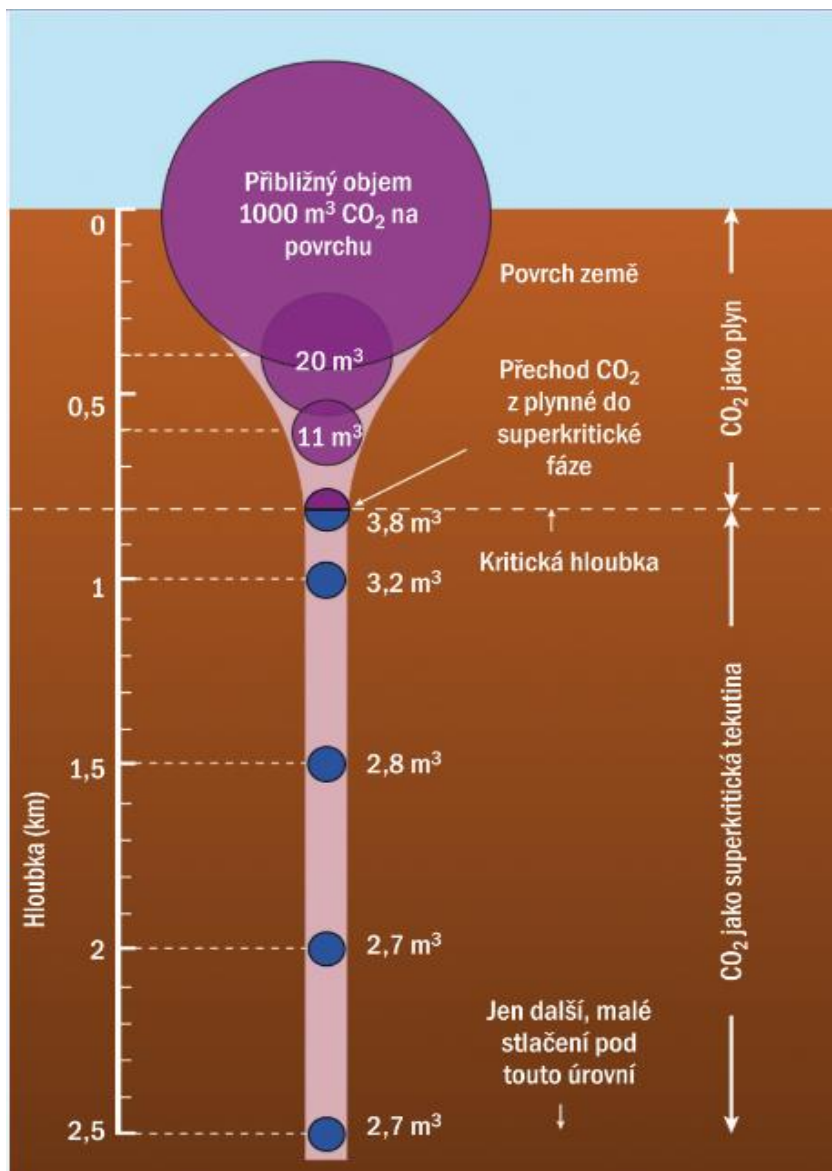
Následuje přeprava CO₂ do lokality vybrané pro trvalé uložení, eventuálně pro jeho další průmyslové využití. V závislosti na generovaných objemech plynu se pro podmínky České republiky předpokládá transport po železnici, silniční dopravou nebo produktovody (pro dopravu CO₂). Zatímco transport autocisternami nebo po železnici lze využít pro menší objemy CO₂ popř. pro demonstrační/pilotní projekty CCU/CCS, plnohodnotná průmyslová přeprava se bude v souladu s platnou legislativou realizovat potrubím, a to buď konverzí vybraných částí stávající plynovodní přepravní sítě, vybudováním nové soustavy potrubí pro dopravu CO₂ či jejich kombinací.

Téma přepravy je dále rozvedeno v samostatné kapitole „7. Přepravní infrastruktura.“

²⁶ Více informací o projektech je k dispozici zde: https://www.vut.cz/vav/projekty/detail/32545?aid_redir=1; <https://energetika.cvut.cz/bio-ccs-projekt/>; <https://tacr.gov.cz/en/metamorph/>

4 GEOLOGICKÉ UKLÁDÁNÍ CO₂

Podstatou geologického uložení CO₂ je jeho vtlačení a trvalé uzavření v existujících pastích ve vhodném hlubokém sedimentárním souvrství (rezervoár). Významnou roli zde hraje mimořádná stlačitelnost CO₂, kdy jeho objem s hloubkou (růstem tlaku i teploty) rychle klesá. V hloubce okolo 800 m přechází do stavu superkritické tekutiny, která díky svými vlastnostmi podobnými plynné fázi dokáže efektivně vyplnit póry v hornině. V hloubce okolo 2000 m dochází k téměř 400-násobnému stlačení CO₂ na hustotu okolo 750 kg/m³.



Zdroj: CO2Geonet.com

Cílové horninové struktury (úložný komplex)) musí splňovat přesně definovaná kritéria, která jsou předmětem průzkumných prací a analýz a zahrnují zejména:

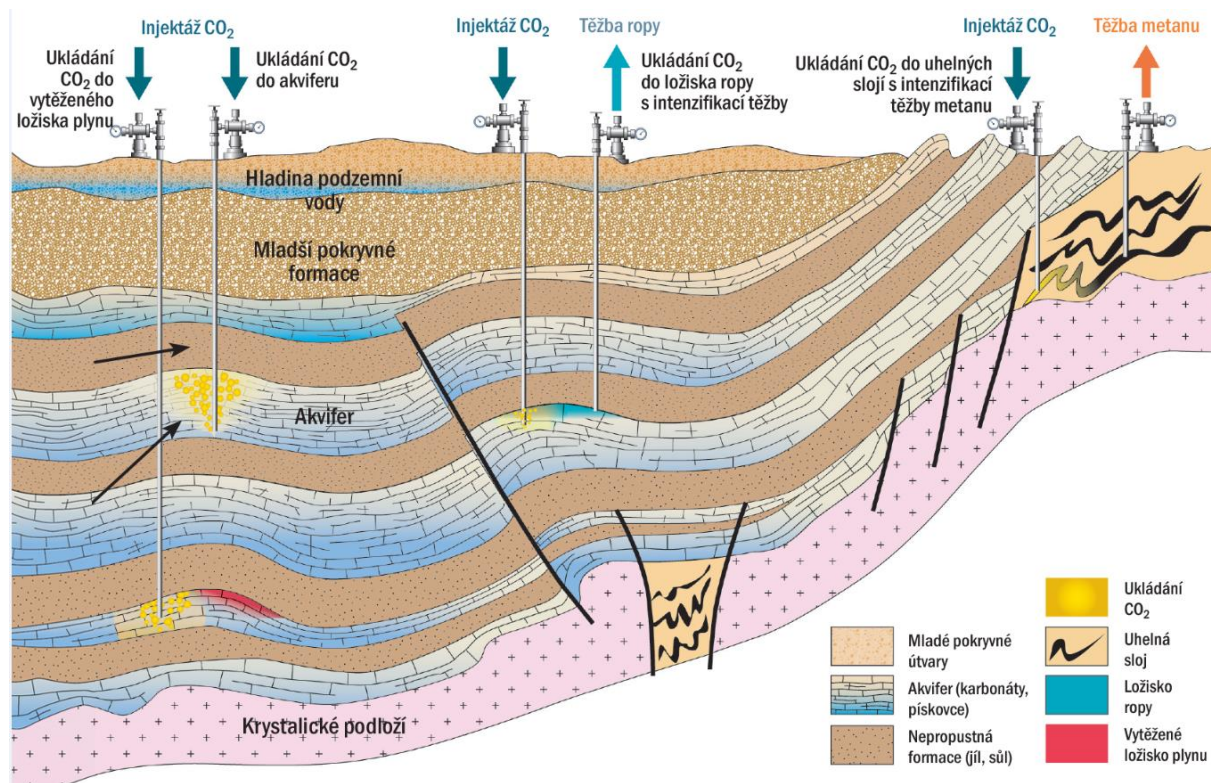
- Rezervoár musí mít přiměřený plošný rozsah a mocnost.
- Hornina musí mít dostatečný objem pórů, který může CO₂ zaplnit.
- Póry v hornině musí být reálně propojené, aby byla zajištěna dostatečná propustnost prostředí (permeabilita). Ta je nezbytná k tomu, aby úložiště mohlo absorbovat CO₂ rychlostí, kterou je do podzemí vtlačeno. Při dostatečné propustnosti se oblak CO₂ může rovnoměrně a přiměřeně rychle rozptýlit od bodu injektáže po úložišti.

- Nad rezervoárem se musí nacházet dostatečně silná vrstva nepropustné těsnicí horniny obvykle jílovce (caprock nebo seal), která funguje jako izolátor a brání pronikání uloženého CO₂ vzhůru zpět na zemský povrch.
- Přítomnost geologické pasti, např. typicky vyklenuté (antiklinální) struktury vrstvy, případně omezení rezervoáru zlomovou plochou. Past zachytí a koncentruje CO₂ a eliminuje jeho další pohyb v rámci úložiště.
- Hloubka uložení musí být větší než 800 m, s teplotou a tlakem, která umožní existenci CO₂ ve formě superkritické kapaliny, a tak maximalizovat úložnou kapacitu.
- Úložný komplex nesmí umožňovat únik CO₂ například systémem zlomů nebo uměle vytvořených cest
- Absence sladké vody, která je přednostně využívána jako zdroj k dalšímu využití.

Za vhodné k uložení CO₂ jsou obecně považovány tzv. slané akvifery, tedy rozsáhlé vrstvy sedimentární horniny obsahující slanou vodu (solanku) a dále vytěžená ložiska přírodních uhlovodíků. Dalšími méně prozkoumanými možnostmi je ukládání CO₂ do uhelných slojí, případně různých typů vyvřelých hornin.

V České republice nabízí největší perspektivu slané akvifery. Jejich nevýhodou je současná nedostatečná prozkoumanost vrtní, geofyzikální i geochemická.

Vytěžená ložiska uhlovodíků jsou naopak dobře známá a lze u nich vycházet z velmi přesných dat o skladovacích kapacitách určených na základě historie těžby ropy nebo zemního plynu. Nedostatkem vytěžených ložisek je oproti akviferům jejich omezená kapacita.



Zdroj: CO2Geonet.com

4.1 STANOVENÍ KAPACITY ÚLOŽIŠTĚ

Prvotní odhady kapacity úložiště jsou zpravidla velmi přibližné a zakládají se na prostorovém rozšíření potenciálně perspektivních souvrství. Odhady kapacity tak lze činit na úrovni národní, úrovni jednotlivých geologických

jednotek, např. pánví nebo pro konkrétní sedimentárních souvrství. Vždy je však třeba počítat s heterogenitami a složitou strukturou každého geologického tělesa.

Obecně lze kapacity úložišť klasifikovat podle úrovně poznání a typu výpočtu:

Objemová kapacita se obvykle stanoví na regionální úrovni a je založena na výpočtu pórového objemu daného rezervoáru v regionu, nebo pro konkrétní akviferové struktury (v ČR pro karpatskou soustavu, středočeské permokarbonské pánve, příp. další). Pro výpočet se používají osvědčené postupy analogické výpočtu prognózních zdrojů uhlovodíků, avšak s přihlédnutím k hustotě CO₂ v podmínkách uložení. Vzhledem k tomu, že velká část pórů je primárně vyplněna vodou, aplikuje se pro stanovení jejich podílu, který může být následně vyplněn CO₂, koeficient úložné kapacity (storage efficiency factor) od 1 do 3 %. Pro stanovením tohoto parametru ovlivňujícího zásadně odhad kapacity možného úložiště se používají analogie a teoretické výpočty.

Pro stanovení objemové kapacity vytěžených ložisek uhlovodíků se vychází z dat o historii těžby a hustotě CO₂ v podmínkách uložení.

Veškeré dosud uváděné údaje o kapacitách úložišť v České republice odpovídají objemové kapacitě.

Realistická kapacita odpovídá vyšší znalosti a stanoví se po detailní analýze výsledků průzkumu konkrétní geologické struktury. Vychází z toho, že rezervoár nemá konstantní mocnost a jeho vlastnosti se mění i na krátké vzdálenosti. Tyto parametry pak vstupují do 3D statického modelu objektu, který umožní omezit nejistotu objemové kapacity. Dynamické modely úložiště pak stanoví charakteristiky vtlačení a simulaci pohybu fluid v rezervoáru v čase tak, aby mohla být určena jeho realistická kapacita.

Praktická/Využitelná (realizovatelná) kapacita již není striktně určená parametry hornin. Do výpočtu vstupují ekonomické faktory zdrojů a dopravy CO₂ a v neposlední řadě také společenská přijatelnost provozu úložiště.

4.2 BEZPEČNOST ÚLOŽIŠTĚ A MONITORING

Všechna úložiště CO₂ bude nutné monitorovat z důvodů provozních, bezpečnostních, ekonomických, a především kvůli ochraně životního prostředí. Parametry monitoringu a řešení eventuálních mimořádných událostí detailně upravuje platná legislativa.

Strategie monitoringu požaduje před zahájením injeckáže provést kompletní soubor základního měření (baseline) požadovaných parametrů, které slouží jako referenční hladina pro měření v budoucnosti.

Cíle a postupy monitoringu obecně zahrnují:

- zobrazení pohybu oblaku CO₂ v hornině prostorově migrujícího od bodu injeckáže, a to pomocí ověřených technologií, například opakovaného seismického měření
- hodnocení neporušenosti těsnící horniny, které je nezbytné především ve fázi injeckáže, kdy dochází k dočasnému růstu tlaku v geologickém prostředí
- měření integrity a utěsnění všech hlubokých vrtů na úložišti, protože vrty mohou sloužit jako potenciální cesta k migraci CO₂ k povrchu. Zde se aplikují geofyzikální a geochemické monitorovací metody používané při těžbě ropy a zemního plynu
- detekce povrchových úniků CO₂ a měření v atmosféře za pomoci lokálních geochemických a biochemických metod i postupů dálkového průzkumu atmosféry
- měření pohybů povrchu a mikroseismicity, kdy zvýšený tlak v rezervoáru může ve specifických případech způsobených injeckáží CO₂ způsobit pohyby povrchu malého rozsahu. Zde jsou k dispozici monitorovací metody pro sledování mikroseismů
- měření objemu uloženého CO₂ pro regulační a fiskální účely, včetně vykazování schémat ETS.

Správný monitoring umožní dlouhodobě bezpečné a správné fungování úložiště.

4.3 DALŠÍ KROKY PRO ZAJIŠTĚNÍ KAPACITNÍCH ÚLOŽIŠŤ CO₂ V ČESKÉ REPUBLICE

4.3.1 PERSPEKTIVNÍ GEOLOGICKÉ STRUKTURY

Celkový objemový odhad úložného potenciálu CO₂ v České republice dosahuje **1200 Mt**, z čehož slané akvifery středočeských permokarbonských pánví a karpatské oblasti činí 95 %, zbytek připadá na ložiska uhlovodíků. Možnost ukládání CO₂ v uhelných slojích v ČR není považována za reálnou. Je nutné zdůraznit, že přesnost tohoto objemového odhadu kapacity závisí na úrovni znalosti jednotlivých objektů, která je, zejména v případě akviferů, nedostatečná.

V karpatské oblasti, na jihovýchodních svazích Českého masivu, lze vyčlenit několik perspektivních stratigrafických celků. Stratigraficky nejnižším obzorem je komplex devonských karbonátů, který v rámci uvažovaného území dosahuje značných mocností. Dalším zájmovým lito-stratigrafickým celkem je komplex bazální jury (Grestenské pískovce, Nikolčické vrstvy, Vranovické karbonáty). Ukládáním v těchto horninách se zabýval i výše zmíněný projekt CO₂-SPICER. Třetím možným objektem jsou pak klastické sedimenty autochtonního paleogénu Nesvačilského a Vranovického příkopu.

V karpatské předhlubni se perspektivní objekty nachází v širokém pásu od Znojma po Ostravu v sedimentech miocénu, a to především eggenburgu a karpátu.

V oblasti Vídeňské pánve je zvažován potenciál její miocenní výplně, a to především sedimentů badenu které vykazují dostatečný podíl klastik (pískovce, slepence) s vhodnými kolektorskými vlastnostmi a zároveň jsou uloženy v dostatečné hloubce.

Středočeský a západočeský permokarbon tvoří rozsáhlý komplex kontinentálních sedimentů uložený v období mladšího paleozoika v dílčích pánvích, které se táhnou v širokém pásu od Plzně až po Mnichovo Hradiště. Z hlediska vhodnosti podmínek pro geologické ukládání CO₂ v hlubokých slaných akviferech se jeví jako nejvýznamnější struktury žatecká dílčí pánev v západní části a roudnická pánev v severozápadní části komplexu. Pozice těchto struktur poblíž zdrojů emisí společně s jejich relativně významnou teoretickou kapacitou činí tyto objekty velmi atraktivní pro cílený výzkum jejich využití jako úložiště CO₂.

Žatecká dílčí pánev je vzhledem k absenci uhelných slojí nejméně prozkoumanou oblastí celého pánevního komplexu. Na základě dostupných dat bylo při její bázi definováno těleso pískovců a slepenců o mocnosti okolo 150 – 250 m a průměrnou porozitou 10 %. Vhodný potenciální izolant tvořený jílovito-prachovitými sedimenty dosahuje průměrných mocností okolo 200 m a podle dosavadních znalostí leží jeho báze téměř výhradně pod hranicí 800 m nutnou pro udržení CO₂ v superkritickém stavu.

Roudnická pánev představuje řádově lépe prozkoumanou strukturu, kde bylo v minulosti v rámci uhelné prospekce provedeno několik desítek hlubokých vrtů a několik reflexně-seismických profilů. V porovnání se žateckou dílčí pánví jde o více zahloubenou strukturu s cyklickou stavbou sedimentů, a tedy několika perspektivními horizonty, které v součtu teoreticky poskytují více než dvojnásobnou kapacitu pro ukládání CO₂ než žatecká dílčí pánev. Porézní polohy tvořené pískovci a slepenci ve spodní části pánevní výplně vytvářejí poměrně rozsáhlá, většinou dobře izolovaná tělesa v dostatečných hloubkách, hodnoty jejich propustnosti však značně kolísají. Zřejmě nejrizikovějším faktorem pro bezpečnost možného úložiště zde zůstává tektonické porušení pánevní výplně a její severní tektonický okraj.

Stanovení možné roční kapacity úložišť v České republice je bezesporu důležitým krokem pro nastavení dlouhodobého horizontu projektů CCS. Bohužel, současná úroveň znalostí o potenciálních úložištích, zejména absence jejich dynamických modelů, takovou kvantifikaci neumožňuje. Pro zpřesnění odhadů by bylo nutné provést další geologické práce.

4.3.2 VÝZKUMNÉ PRÁCE PŘED STANOVENÍM PRŮZKUMNÉHO ÚZEMÍ

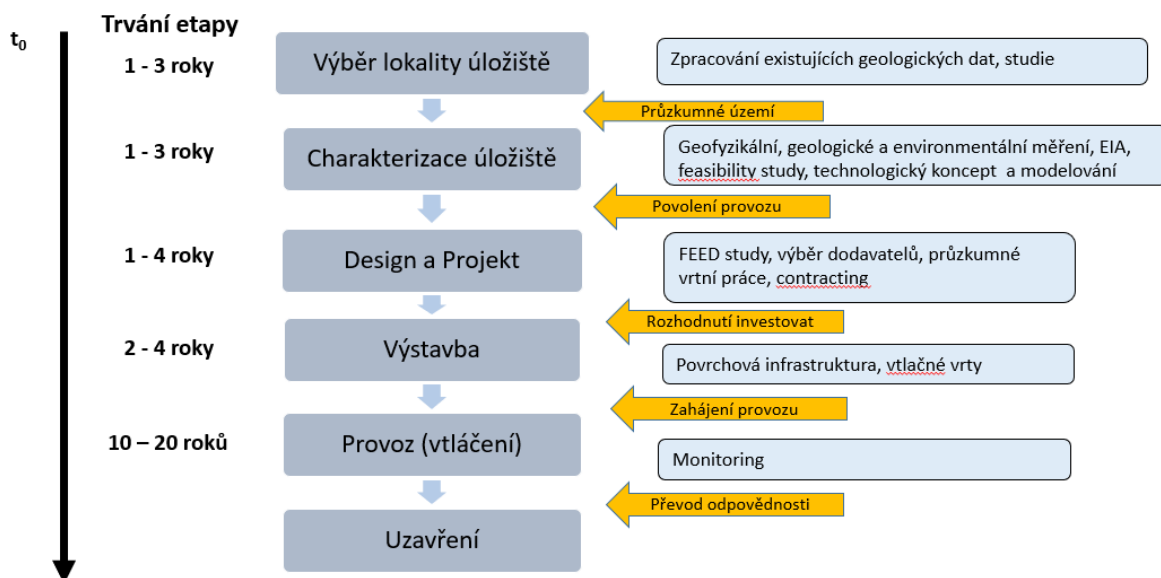
K dnešnímu dni nebylo stanoveno žádné průzkumné území pro vyhledávání a průzkum úložišť oxidu uhličitého do přírodních horninových struktur (dále průzkumné území). Ve všech výše uvedených projektech se jednalo o výzkumné práce, které vycházejí ze studia existujících geologických podkladů.

Z hlediska výzkumných prací je významná struktura Zar-3 projektu CO₂-SPICER která je v současné době připravena k provedení pilotního projektu zatlačení CO₂. Provedení pilotního projektu s celkovou kapacitou do 100 kilotun CO₂ dle požadavků legislativy však závisí na dostupnosti oxidu uhličitého v lokalitě projektu. Bohužel, dnes neexistuje dotační titul, který by předpokládal komerční pořízení takových objemů CO₂, ani není dostupná technologie, která by zajistila lokální zachytávání a zpracování potřebného objemu emisí pro pilotní zatlačení.

Výsledky provedených výzkumných prací poskytnou žadatelům nezbytný základ pro formulaci požadavku na stanovení průzkumného území. Je proto klíčové zahájit proces stanovení průzkumných území tak, aby bylo možné co nejdříve přistoupit k posouzení vhodnosti plánovaného úložného komplexu pro uložení CO₂.

Geologické ukládání uhlíku v ČR

Zjednodušený proces přípravy úložiště (Zák. 85/2012 Sb.) a jeho milníky



Podle International Association of Oil and Gas Producers

V úvahu připadají výše popsané perspektivní lokality středočeských permokarbonských pánví a karpatské oblasti.

4.3.3 VYHLEDÁVÁNÍ A PRŮZKUM ÚLOŽIŠŤ CO₂

Pracovní program v rámci stanovených průzkumných území bude zahrnovat řadu úkonů směřujících k vytvoření dokumentace nezbytné pro podání žádosti o povolení provozu úložiště CO₂ podle zákona č. 85/2012 Sb.

V oblastech bez nebo s nekvalitními seismickými daty budou navržena seismická 2D měření.

Po realizaci a numerickém zpracování 2D seismických dat a jejich interpretaci, může následovat 3D seismické měření vhodné pro detailní zhodnocení podpovrchové geologie. 3D seismické měření v odpovídající geometrii bude navrženo s ohledem na konkrétní lokalitu, tak, aby výsledná data kryla celou oblast potenciálního úložného komplexu, a mohla tak sloužit i v budoucnosti jako základní referenční data set před zatlačení CO₂.

V případě pozitivní strukturně geologické interpretace seismických dat bude navržen opěrný vrt ke studiu maxima dotčených geologických celků v hloubkovém intervalu předpokládaného úložiště. Konstrukce vrtu je vždy navržena s ohledem na ochranu horninového prostředí a penetrovaných zvodní v nadloží.

Během vrtání budou odebírána vrtná jádra, a to jak z předpokládaného ukládacího objektu, tak i z jeho nadloží a podloží. Po odvrtání vrtu bude provedeno karotážní měření zahrnující komplex nejmodernějších metod umožňujících co nejpřesnější popis petrofyzikálních charakteristik horninového prostředí.

Pokud bude výsledek vrtně karotážních prací hodnocen pozitivně, přistoupí se k zapažení a cementaci vrtu. Po zapažení bude provedena série čerpacích a pohlcovacích zkoušek z předpokládaného ukládacího objektu i z jeho nadloží, k určení kolektorských vlastností in situ za ložiskových teplot a tlaků.

Fluida (voda, plyny) horninového prostředí budou chemicky analyzována, bude stanovena jejich salinita, chemické složení a ostatní geochemické parametry s vizí budoucího modelování skladovacího objektu. Po ukončení čerpací zkoušky a jejím vyhodnocení bude následovat zkouška pohlcovací s cílem otestovat schopnost objektu pojmát zatlačovanou kapalinu pro zjištění maximálního vtlačného výkonu.

V nadložních těsnících vrstvách se provádí i tzv. leak-of test, jímž bude zjištěn štěpící tlak: nejvyšší přípustný skladovací tlak pro těsnící horizonty úložiště. Tento test lze provádět i v zapaženém vrtu, nicméně standardně se k němu přistupuje během vrtání, tedy před pažením vrtu.

V průběhu každého vtlačného testu je nutné na povrchu měřit průtok a objem vtlačného média, jeho teplotu a vývoj tlaků na ústí sondy během vtlačení (dynamické tlaky), ale i během přerušení testu, či určitou dobu po ukončení vtlačení (statické tlaky). Cenné informace poskytuje i měření vývoje tlaku a teploty na dně sondy. Pro věrohodné stanovení pohlcovací kapacity vtlačné sondy lze doporučit provedení vtlačení při několika různých průtocích a po dostatečně dlouhou dobu.

Testovací vtlačení CO₂ se provádí zejména v případě, kdy kolektorská hornina úložiště je tvořena karbonáty, případně se jedná sice o pískovce příp. slepence, ale s vysokým podílem karbonátového tmelu. Vtláčením CO₂ může docházet k rozpouštění některých minerálů, např. dolomitu, a také ke krystalizaci nových minerálů, což může mít za následek změny porozity a propustnosti a tím pádem i změnu pohlcovací schopnosti.

Vtlačný test s použitím CO₂ je dále významný i pro případ razantního ochlazení vrtu a jeho okolí vlivem Joule-Thomsonova efektu při expanzi CO₂, např. při vtlačení do vrstvy s pokleslým ložiskovým tlakem. Ochlazením může dojít ke změně propustnosti kolektoru vlivem zamrznutí zbytkové vody, která je součástí pórového prostoru, případně kvůli vytvoření hydrátů. V neposlední řadě může dojít ke štěpení horniny vlivem termického stresu.

Odebraná vrtná jádra slouží k provedení petrofyzikálních, geomechanických a geochemických analýz horninového prostředí a CO₂ v podmínkách úložiště v dlouhých časových obdobích.

Petrofyzikální analýzy zahrnují určení porozity, permeability, hustoty a objemové hmotnosti.

Geomechanické zkoušky sloužící k charakterizaci mezních mechanických vlastností hornin zahrnují určení pevnosti v prostém tlaku, pevnosti v příčném tahu (Brazilská zkouška), a triaxiální pevnosti. Získané hodnoty jsou základem pro odhad a modelování mechanických vlastností hornin v uložišti.

Geochemické analýzy jader zahrnují chemickou a mineralogickou analýzu hornin, analýzu mikrobiální aktivity, dále pak experimentální testování interakcí hornina – fluida - CO₂.

Výsledky vrtání, seismického měření a strukturně geologické interpretace představují základní stavební prvky pro sestavení **3D statického geologického modelu**. Tento model co nejvěrněji zobrazí geometrii geologických celků, obzvláště tektonickou stavbu, orientaci vrstev a jejich mocnost.

3D statický model slouží jako základ pro vytvoření **dynamického modelu**. Cílem dynamického modelování je predikovat chování CO₂ v 3D prostoru a čase, a to jak z pohledu pohybu oblaku CO₂, tak z pohledu tlakových změn v horninovém prostředí. Model určuje teoretické maximální skladovací kapacity a vtačné množství, na jehož základě se určí počet vtačných sond a jejich poloha. K co nejpřesnějšímu výsledku je třeba do modelu integrovat geochemické a geomechanické parametry (změny vlastností fluid a jejich reakce s CO₂), které byly získány během vrtání a laboratorních testů jader. Součástí modelu bude také posouzení jeho citlivosti pomocí souborů simulovaných změn klíčových parametrů.

Ve smyslu platné legislativy pak v návaznosti na výstupy o citlivosti dynamického modelu musí být definována potenciální rizika spojená s ukládáním CO₂.

4.3.4 ŽÁDOST O POVOLENÍ PROVOZU ÚLOŽIŠTĚ

Předpokladem pro podání žádosti o povolení k provozu úložiště je nalezení vhodného úložného komplexu. Úložiště může být povoleno pouze v takových přírodních horninových strukturách, u kterých provedený geologický průzkum prokázal, že zde nehrozí riziko úniku oxidu uhličitého ani rizika pro životní prostředí nebo lidské zdraví a pro úložiště oxidu uhličitého bylo stanoveno chráněné území podle zákona č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon)²⁷.

Povolení k provozu úložiště CO₂ vydává příslušný obvodní báňský úřad. Řízení o povolení provozu úložiště oxidu uhličitého nebo jeho změny²⁸ se zahajuje na návrh žadatele. Přednost před ostatními žadateli má držitel rozhodnutí o stanovení průzkumného území pro vyhledávání a průzkum úložiště oxidu uhličitého podle zákona o geologických pracích (které v době podání žádosti musí být platné).

Účastníkem řízení o povolení provozu úložiště oxidu uhličitého jsou žadatel, obec, v jejímž územním obvodu má být úložiště oxidu uhličitého zřízeno, osoby splňující podmínky podle jiných právních předpisů (např. zákona č. 100/2001 Sb., zákon o posuzování vlivů na životní prostředí) a osoby, jejichž práva a právem chráněné zájmy nebo povinnosti mohou být povolením dotčeny.

Žadatel musí doložit, že má **dostatečnou kvalifikaci a odbornou způsobilost** k vykonávání hornické činnosti podle zákona č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě. Jako součást žádosti předkládá číslo jednací oprávnění k hornické činnosti a číslo jednací osvědčení o odborné způsobilosti fyzické osoby odpovědné za provoz úložiště.

Žadatel musí prokázat, že splňuje **finanční předpoklady k zabezpečení provozu úložiště a k plnění povinností** vyplývajících ze zákona č. 85/2012 Sb., o ukládání oxidu uhličitého do přírodních horninových struktur. Splnění těchto požadavků žadatel prokazuje zřízením finančního zabezpečení rizik. Finanční zabezpečení rizik pokrývá náklady na nápravu závažných nesrovnalostí a dalších rizik během provozu a po uzavření úložiště. Žadatel je dále povinen vytvořit finanční rezervu, která pokryje povinnosti po uzavření úložiště včetně tzv. finančního příspěvku.

V případě řízení o povolení provozu úložiště oxidu uhličitého v přírodních horninových strukturách po vytěžených ložiscích ropy nebo hořlavého zemního plynu je povolení k provozu úložiště podmíněno souhlasným stanoviskem Ministerstva průmyslu a obchodu.

²⁷ Kritéria pro popis a posuzování plánovaného úložného komplexu a okolní oblasti, která jsou nezbytná pro zpracování závěrečné zprávy o výsledcích průzkumu úložiště oxidu uhličitého a úložného komplexu, jsou stanovena v příloze k zákonu č. 62/1988 Sb., o geologických pracích a o Českém geologickém úřadu.

²⁸ Pokud zákon nestanoví jinak, vztahuje se na řízení o povolení provozu úložiště oxidu uhličitého zákon č. 61/1988 Sb., upravující hornickou činnost, výbušniny a státní báňskou správu.

Přílohy žádosti

- závěrečná zpráva o výsledcích průzkumu úložiště oxidu uhličitého a úložného komplexu podle zákona o geologických pracích
- návrh monitorovacího plánu
- návrh plánu nápravných opatření (k nápravě závažných nesrovnalostí)
- návrh předběžného plánu činnosti po uzavření úložiště
- stanovisko nebo závěr zjišťovacího řízení podle zákona č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na ŽP
- potvrzení, která nejsou starší než 30 dnů, že žadatel nemá v evidenci daní u orgánů Finanční správy České republiky nebo orgánů Celní správy České republiky evidován nedoplatek,
- doklad o tom, že finanční zabezpečení rizik vyžadované podle § 16 vstoupí v platnost a účinnost před zahájením vtláčení,
- doklady o vyřešení střetů zájmů, pokud by provozem úložiště oxidu uhličitého mohly být ohroženy zájmy chráněné podle jiných právních předpisů,
- doklady prokazující vlastnické nebo jiné právo žadatele k pozemkům určeným pro umístění vtláčecího zařízení.

4.4 BARIÉRY A PŘÍLEŽITOSTI PRO UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIÍ CCS V ČESKÉ REPUBLICĚ

4.4.1 REGULATORNÍ RÁMEC

Díky nedávné novelizaci několika souvisejících zákonů²⁹ mají nyní produktovody propojující místo vzniku CO₂ s místem jeho uložení zákonné zakotvení veřejné prospěšnosti a z toho plynoucí možné omezení vlastnického práva k pozemkům, které je pro jiné typy veřejně prospěšných staveb a energetických liniových staveb v českém právním řádu zakotveno.

Nedostatkem pro uplatňování uvedených norem je **absence vládního nařízení pro vytváření finančního zabezpečení**, zejména pak pro pokrytí rizik, a to jak během provozu úložiště, tak i po jeho uzavření, a také pro vytvoření finanční rezervy pro náklady spojené s uzavřením úložiště.

Mezi zcela zásadní regulatorní aspekty patří komplexita správního řízení, kterého se účastní MŽP v řízení o stanovení průzkumných území pro úložiště CO₂ v horninových strukturách a obvodní báňské úřady pro povolení provozu úložiště CO₂.

Důležitým předpokladem pro rozvoj CCUS v ČR je také včasná **implementace relevantní evropské legislativy** (např. Směrnice o EU ETS, TEN-E, legislativa k ukládání, Nařízení o průmyslu pro nulové čisté emise) do českého právního řádu. S ohledem na to je třeba včas upravit primární i sekundární legislativu ČR, zejména **Energetický zákon, ZPOZE, Stavební zákon** atd. Úprava legislativy musí proběhnout ve velmi omezeném časovém úseku, tak, aby bylo možné ještě do roku 2030 realizovat investice, které povedou k plnění národních příspěvků k cíli EU v oblasti kapacity pro vtláčení CO₂ do roku 2030, budou-li stanovené.

V případě přepravní infrastruktury bude nutné zajistit, aby se **stávající práva vztahující se k plynárenské infrastruktuře** a práva k užívání pozemků pro výstavbu a provoz plynovodů pro zemní plyn a dalších aktiv sítě vztahovala rovněž na plynovody a další aktiva sítě pro přepravu CO₂.

²⁹ Jedná se o zákony č. 85/2012 Sb. o geologickém ukládání, č. 283/2021 Sb. (stavební zákon), zákona č. 184/2006 Sb., o odnětí nebo omezení vlastnického práva k pozemku nebo ke stavbě a zákona č. 416/2009 Sb., o urychlení výstavby strategicky významné infrastruktury (tzv. liniový zákon), který novelou č. 465/2023 Sb. definuje jako veřejný zájem i stavbu infrastruktury pro ukládání oxidu uhličitého

4.4.2 TECHNOLOGICKÉ A ENVIRONMENTÁLNÍ ASPEKTY

Rozhodujícím momentem pro uplatnění kompletní technologie CCS v České republice je reálná dostupnost všech tří segmentů: zachytávání a technologické úpravy průmyslových objemů CO₂ u zdroje, přepravní technologie a kapacitního geologického úložiště spolu s povrchovou infrastrukturou.

Vzhledem k tomu, že každý z uvedených segmentů je doménou jiných subjektů, je absolutně nezbytná koordinace.

Samostatné budování zachytávání v ČR je možné v případě existence evropského řešení transportu a ukládání. Analogicky pro nezávislé budování úložných kapacit v ČR je předpokladem poptávka po úložišti ze strany emitentů okolních států.

V oblasti zachytávání (capture) dosud nebyl uskutečněn žádný pilotní/demonstrační projekt.

Technická i environmentální rizika jsou spjata s absencí dlouhodobých zkušeností s aplikací technologie zachytávání a úpravy CO₂. Dále je nutné zmínit, že provoz technologie zachytávání vyžaduje značné množství dodávané energie.

V oblasti přepravy CO₂ disponuje Česká republika rozvinutou sítí plynovodů, jak na regionální (páteřní), tak na lokální úrovni. Páteřní síť by v některých případech transportu CO₂ mezi regiony České republiky mohla být přizpůsobena a využita, samozřejmě s ohledem na technické požadavky takové přepravy. Předpokládá se i realizace nových produktovodů pro přepravu CO₂ z místa zachytávání do místa trvalého uložení.

Přeprava CO₂ po stávající silniční síti nebo po železnici není kromě objemů spjatých s pilotními projekty považována za reálnou. Environmentální rizika přepravy CO₂ prostřednictvím silniční či železniční dopravy jsou spjata s možnými haváriemi. V případě potrubní přepravy je riziko havárií podstatně nižší.

Odhady objemové kapacity úložišť ČR pro slané akvifery a vytěžená ložiska uhlovodíků dnes dosahují 1200 Mt CO₂. Geologické parametry zájmových struktur umožňují předpokládat existenci kapacitně zajímavých objektů. Již v přípravné fázi identifikace lokalit vhodných pro geologické ukládání je však nezbytné prověřit, že lokalita není ve střetu s limity vyplývajícími ze zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění (např. lokalitami soustavy Natura 2000, ZCHÚ atp.), a to s ohledem na eliminaci rizik pro reálné budoucí využití úložišť.

Pro stanovení realistické úložné kapacity jednotlivých struktur je nezbytné provedení geologických prací. Geologické riziko je chápáno jako **možný neúspěch nalezení úložiště** očekávaných parametrů v cílové horninové struktuře.

Environmentální riziko provozu úložiště je také spjata s **eventuálními úniky CO₂** buď kvůli narušení krycí horniny, nebo podél vrtů obsluhujících úložiště. Eliminace rizik je řešena Zákonem 85/2012 Sb.

4.4.3 EKONOMICKÉ ASPEKTY A RIZIKA

Vybudování kompletní technologie CCS je investičně i provozně mimořádně náročný projekt. V České republice momentálně neexistuje veřejně dostupná relevantní studie zhodnocení ekonomické výhodnosti takových projektů.

Mezinárodní zdroje uvádějí velmi velkou škálu rozpětí odhadovaných investičních či provozních nákladů činností spojených s celým řetězcem CCS. Podle těchto zdrojů, které jsou detailněji popsány dále, lze odhadovat investiční **náklady uváděné za 1 tunu CO₂ pro zachytávání obvykle ve výši 10 až 170 euro, pro dopravu od 1,5 euro do 12 eur pro pozemní transport potrubím a dalších 11-16 euro pro transport potrubím v moři**. U nákladů pro ukládání se dohady pohybují obvykle v rozmezí 1-20 euro za jednu tunu CO₂.

Následující odstavce popisují detailněji mezinárodní zdroje informací o nákladech technologií CCUS.

Studie **JRC**³⁰ z roku 2023 pro Evropskou komisi uvádí, že se náklady na zachytávání CO₂ mohou pohybovat mezi 13 a 22 EUR za tunu CO₂ pro průmyslové procesy generující vysoce koncentrované toky CO₂ (například výroba ethanolu a zpracování zemního plynu) až po 35 až 105 EUR za tunu CO₂ u procesů se středně koncentrovanými plynými proudy, jako je výroba cementu a uhelné elektrárny. Dále uvádí, že náklady na přepravu se také mohou případ od případu značně lišit, přičemž závisí především na objemech CO₂, geografii, vzdálenostech přepravy a podmínkách skladování. Ve Spojených státech se například náklady na přepravu po pevnině pomocí potrubí pohybují mezi 1,8 a 12 EUR za tunu CO₂. Dále se JRC odkazuje na studii ZEP³¹, která odhaduje, že typické náklady na krátké pozemní potrubí (180 km) a malý objem CO₂ (2,5 Mtpa) jsou něco málo přes 5 EUR za tunu CO₂, přičemž u větších systémů (20 Mtpa) klesají na přibližně 1,5 EUR za tunu CO₂. Zároveň dodávají, že přestavba stávající infrastruktury pro přepravu ropy či plynu k transportu CO₂ může být levnější než výstavba od nuly, pokud je zajištěna dostatečná zbývající životnost pro provoz. Podmořské potrubí je dražší než pozemní. Společnosti zachycující CO₂ poblíž pobřeží mají výhodu snížených nákladů na přepravu po moři. Pro velké objemy přepravy CO₂ (20 Mtpa) potrubím se náklady odhadují na přibližně 11 EUR za tunu CO₂ pro 180 km; 12 EUR za tunu CO₂ pro 500 km a téměř 16 EUR za tunu CO₂ pro velmi dlouhé vzdálenosti (1 500 km), včetně zkapaňování. Pro menší objem CO₂ (2,5 Mtpa) jsou náklady na 500 km těsně pod 15 EUR za tunu, včetně zkapaňování.

Jiná studie³² uvádí u zachytávání cenové rozpětí 10 až 170 euro za tunu CO₂, přičemž se jednotlivé rozpětí liší pro různé sektory: např. pro cement studie uvádí 60-150 či rafinérie 100-170 Euro za tunu zachyceného CO₂.

Co se týče **ukládání CO₂**, rozmezí nákladů je široké, pohybuje se mezi 1 a 20 EUR za tunu. Za předpokladu, že nejlevnější dostupná úložiště budou vybudována jako první, ZEP odhaduje, že ukládání v rané komerční fázi bude stát 2-12 EUR za tunu, jak je definováno pro pozemní solné akvifery. Ukládání CO₂ v podmořských úložištích se pohybuje v rozmezí 2-20 EUR za tunu.

Odhady nákladů na technologii BECCS se také značně liší v závislosti na sektoru aplikace v rozpětí 64–98 EUR za tunu CO₂ dle studie IRENA z 2021³³. Ceny přímého zachytávání CO₂ z ovzduší (DAC) se pohybují v rozmezí 93 až 2 144 EUR za tunu CO₂ dle studie BNEF z 2023³⁴.

Studie francouzské agentury ADME³⁵ předpokládá celkové náklady na celý řetězec v rozmezí 69 až 143 euro. Světová zpráva o CCS 2023³⁶ uvádí modelované náklady celého řetězce CCS pro Egypt v hodnotě 48 až 135 euro za tunu CO₂. Německá studie VDZ³⁷, pro podmínky CCS, v Německu odhaduje náklady pro zachytávání 80-110 euro, pro dopravu 25-60 euro a pro ukládání 10-50 Euro za tunu CO₂.

³⁰ Studie: Carbon Capture, Utilisation and Storage in the European Union

https://setis.ec.europa.eu/carbon-capture-utilisation-and-storage-european-union-0_en

³¹ ZEP (2011b) *The Costs of CO₂ Transport*.

https://www.researchgate.net/publication/316627373_The_cost_of_CO2_Transport.

³² Putting CO₂ to use: Creating value from emissions. https://iea.blob.core.windows.net/assets/50652405-26db-4c41-82dc-c23657893059/Putting_CO2_to_Use.pdf (2019). Van Dael, M. Market study report CCU (2018).

³³ IRENA (2021) *Reaching zero with renewables - Capturing Carbon*. Available at: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Technical-Papers/IRENA_Capturing_Carbon_2021.pdf.

³⁴ BloombergNEF (2023) *Direct air capture: Market and Cost Outlook*.

³⁵ ADEME, 2020, Le Captage et Stockage géologique du CO₂ (CSC) en France, https://librairie.ademe.fr/ged/81/captage-stockage-geologique-co2_csc_avis-technique_2020.pdf

³⁶ Global Status of CCS Report 2023, <https://status23.globalccsinstitute.com/>

³⁷ Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland, 2023, <https://www.vdz-online.de/zementindustrie/klimaschutz/co2-infrastruktur>

Obecně lze uvést, že náklady zachytávání jsou významně ovlivněny cenou energie pro separaci CO₂ podle zvolené technologie. Cena transportu potrubní infrastrukturou je ovlivněna přepravními vzdálenostmi, a tedy cenou technologií pro udržování tlaku v potrubí a samozřejmě investičními náklady spojenými s budováním transportních sítí pro CO₂, tj. buď náklady na konverzi části stávajících přepravních plynovodů či výstavbu plynovodů nových. U budování úložiště jsou nejvýznamnější kapitolou vrtání a v závislosti na hloubce rezervoáru a budování povrchové provozní infrastruktury. Zároveň je navíc nutné zohlednit další náklady na dlouhodobou údržbu a nepřetržité monitorování.

Ekonomické modely pracují na výnosové straně s úsporou (cenou) emisní povolenky, jejíž část bude emitentem použita na provoz zařízení pro zachytávání a zároveň hrazena provozovateli přepravní sítě a úložiště. Hlavní rizika výnosové strany se tedy vztahují k budoucí ceně emisních povolenek.

JRC dále odkazuje na studii BNEF³⁸ z roku 2020, kde uvádí, že zachycený CO₂ může **generovat dodatečné příjmy**, pokud je dále využit. Ve Spojených státech projekty vytvářejí příjmy prodejem CO₂, který je injektován do ropných polí k zvýšení produkce, tato cena se může pohybovat kolem 18,65 EUR za tunu CO₂, ceny pro jiné využití se mohou velmi lišit a dosahovat až 140-280 EUR za tunu pro aplikace potravinářské kvality.

Společnosti budující infrastrukturu pro přepravu a ukládání budou potřebovat snížit riziko svých investic. Kromě efektivního využití dostupných **EU fondů** – přímo řízených či ve sdíleném řízení, případně národních dotačních titulů pro financování výstavby zařízení pro zachytávání a ukládání CO₂ a výstavby infrastruktury pro přepravu CO₂, bude nutné nastavit vhodné regulatorní a finanční nástroje. Mezi mechanismy, které mohou zajistit snížení rizika patří např. tzv. **carbon contracts for difference**,³⁹ poskytování **státních záruk** či podpora dlouhodobých kontraktů pro přepravu a uložení CO₂.

V rámci komplexního uvažování o ekonomice systémů CCUS bude třeba zahrnout i vyřešení otázky finančních nástrojů, konkrétně tzv. **finančního zabezpečení rizik, finanční rezervy a finančního příspěvku**. Způsob vytváření těchto nástrojů by měl být stanoven vládním nařízením k zákonu č 85/2012 Sb., o ukládání oxidu uhličitého do přírodních horninových struktur, které však zatím nebylo vydáno. Nastavení parametrů pro finanční zabezpečení by mělo reflektovat výši přiměřené pravděpodobnosti rizik a vyloučení možností kumulace jejich vzniku.

Finančním příspěvkem se rozumí peněžní prostředky určené na pokrytí nákladů na monitorování a na zajištění úplného a trvalého zadržení oxidu uhličitého v úložištích oxidu uhličitého po přechodu povinností na příslušný orgán. Aktuálně zákon udává povinnost provozovatelům odvádět tento příspěvek tak, aby pokryl výše zmíněné povinnosti na 50 let. Úprava jde nad rámec právní úpravy obsažené ve Směrnici Evropského parlamentu a Rady 2009/31/ES, která předpokládá v čl. 20 náklady na monitorování na nejméně 30 let. Případná úprava zákona a vydání návazného nařízení vlády bude muset zohlednit vědecký a technologický pokrok v této oblasti a zároveň ekonomiku celého řetězce technologie CCS, tak aby umožnila rozvoj této technologie a zároveň zajistila pokrytí nákladů na dlouhodobé uložení a monitoring.

4.5. SPOLEČENSKÁ PŘIJATELNOST CCS A KONFLIKTY ZÁJMŮ

Eliminace emisí skleníkových plynů je dnes považována za hlavní cestu ke zpomalení probíhající klimatické změny. Do okamžiku přechodu ekonomiky na bezemisní (nízkoemisní) formu je technologie CCS jednou z politicky podporovaných přechodných alternativ umožňující zachování stávající úrovně průmyslové aktivity v EU. Není třeba zdůrazňovat, že je v zájmu České republiky jako rozvinuté průmyslové země najít kompromis mezi potřebou omezení emisí a udržitelnou průmyslovou aktivitou.

³⁸ BloombergNEF (2020) *CCUS Costs and Opportunities for long-term CO₂ Disposal*.

³⁹ <https://www.bmwk-energie.wende.de/EWD/Redaktion/EN/Newsletter/2024/03/Meldung/topthema.html>

Pro úspěšnou realizaci předkládané koncepce v rámci ČR je důležité **zajištění společenské přijatelnosti** technologie CCS. Jakkoliv dnes existuje určité povědomí o existenci takových postupů pro ochranu klimatu, bude ze strany státu i soukromého sektoru třeba věnovat pozornost a úsilí vysvětlování a všeobecné osvětě.

V Evropě se totiž jedná o zcela nový koncept v rámci dekarbonizace průmyslu, pro jehož kompletní aplikaci v podmínkách kontinentální Evropy k dnešnímu dni neexistuje analogie. Pokročilé projekty CCS jsou soustředěny do oblastí Severního, případně Baltského moře, navíc do značné míry s využitím existující infrastruktury pro injektáž CO₂ do rezervoárů pod mořským dnem.

Pokud předpokládáme vybudování kompletního systému CCS v České republice (zachytávání, dopravy i ukládání), bude se jednat o projekty minimálně regionálního charakteru s velkým počtem dotčených komunit, kdy i lokální odpor může vyústit v dlouholetá zdržení, nebo i definitivní zrušení takových projektů.

Současná úroveň znalostí navíc naznačuje, že důležité skupiny emitentů se nacházejí do značné míry mimo lokality geologicky vhodné k budování úložišť (východní Morava, eventuálně Středočeský kraj), a proto je vždy třeba počítat s možností dopravy stlačeného CO₂ od emitenta k úložišti, jako s dalším možnou třecí plochou.

U přepravy CO₂ prostřednictvím potrubní soustavy pak společenskou přijatelnost může zlepšit využití konvertované části již existující plynárenské přepravní soustavy, popř. v případě výstavby nových plynovodů využití koridorů stávajících plynovodů a tím zmenšit zásahy do přírody.

Obecným potenciálním konfliktem veřejného a soukromého zájmu je otázka nákladů eliminace jednotkového objemu skleníkového plynu, u nichž se předpokládá korelace s cenou emisní povolenky, a dále tvorba finanční rezervy podle zákona č. 85/2012 Sb. Jen velmi obtížně lze předvídat investiční aktivitu soukromého sektoru do CCS, pokud nebude očekávána rozumná návratnost takového projektu, případně nebudou poskytnuty příslušné státní garance.

Z perspektivy soukromých aktivit lze také diskutovat objem vkladu veřejných prostředků ze systému ETS do vybudování technologie zachytávání, transportu a uložení CO₂ a následující komerční provoz geologických úložišť. Nákladová zátěž spojená s redukcí volných emisních povolenek totiž zasáhne primárně výrobní sektor, a povede k obtížnému uplatnění takto zatížených výrobků na trhu.

Jakkoliv se společnost většinově shoduje v potřebě emise eliminovat, pro jednotlivé segmenty CCS lze dále očekávat specifické konflikty zájmů vztažené k místní situaci a aktivitě jednotlivých zájmových skupin.

1. Zachytávání CO₂ u emisního zdroje je záležitostí lokální, spojená s konkrétním průmyslovým podnikem. Vzhledem k rozsahu budované infrastruktury a vysoké energetické náročnosti budovaného provozu mohou vzniknout konflikty spojené se zvýšenou dopravní aktivitou při budování provozu, případně s rozšířením rozvodné elektrické sítě. Konflikty zájmu spojené s ekologickými riziky spojenými se samotným provozem zachytávání mohou pramenit z obavy o kontaminaci prostředí při případném úniku aplikovaných chemických látek.
2. Transport CO₂ lze považovat za problematický segment z hlediska možných konfliktů, a to v několika modelových situacích.
 - a. Využívání silniční (cisternové) dopravy v případě pilotních projektů nebo při transportu CO₂ od menších emitentů do transportních uzlů může znamenat lokální zvýšení dopravní zátěže.
 - b. Využívání železniční dopravy na regionální bázi v kombinaci s lokální silniční přepravou do sběrných uzlů může také znamenat lokální zvýšení dopravní zátěže.
 - c. Vybudování nové regionální potrubní sítě spojující sběrné uzly s konkrétními úložišti (i když bude považováno za stavbu ve veřejném zájmu) může být ohroženo dlouhými pozemkovými spory.
 - d. Vybudování transnitní sítě pro mezinárodní přepravu CO₂ mimo existující potrubní koridory je obtížné i vzhledem k nutné mezinárodní harmonizaci tras a technologií.

3. Ukládání CO₂ je hlediska konfliktu zájmu problematické jak v etapě průzkumné a stavební, tak i provozní.
 - a. Etapa průzkumu oblasti úložiště může znamenat zátěž spojenou se seismickým měřením v oblasti a zejména vrtní činností spojenou se záborem plochy (i když analogické průzkumné práce pro ropu a zemní plyn, případně geotermální vrtly jsou svým dopadem do krajiny spíše nevýznamné).
 - b. Výstavba povrchové technologie bude vyžadovat vybudování komunikací a následnou dopravní zátěž.
 - c. Provoz úložiště bude spojen s obavami z úniku ukládaného média, jak cestou tektonických narušení nebo netěsností překrývající horniny, tak i umělými cestami, zejména tedy přes poruchy v systému vtlačných vrtů. Zde může vzniknout odpor dotčených komunit, zejména pak když nebude zvolena vhodná komunikační strategie.
 - d. Z hlediska dalších strategických zájmů je třeba zmínit i potenciální překryv perspektivních geologických struktur pro úložiště CO₂ se strukturami vhodnými ke konverzi na zásobníky vodíku či zemního plynu, a to zejména v případě vytěžených ložisek ropy a zemního plynu.

Jednoznačným argumentačním východiskem pro oslovení společnosti je fakt, že CCS je jedním z postupů, které umožní dlouhodobé zachování průmyslové kapacity České republiky i ve stávajících vysokoemisních provozech (cementárny, vápenky, chemický průmysl, železárny) při současném splnění stanovených a akceptovaných klimatických cílů na státní úrovni.

Obecné okruhy pro zvyšování společenské přijatelnosti CCS jsou následující:

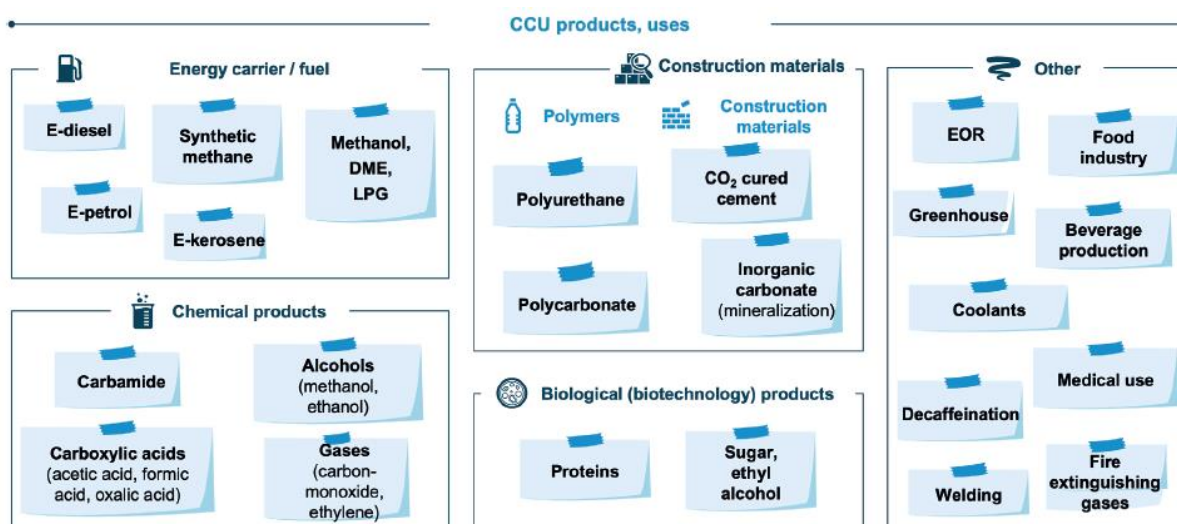
1. Strategie veřejné a mediální podpory a zdůraznění obecného společenského zájmu na úspěchu CCS. Veřejná podpora je nezbytná jak ze strany exekutivy (MPO, MŽP), tak i ze strany krajských a místních samospráv, optimálně při spoluúčasti neziskového sektoru.
2. Podpora dekarbonizace průmyslu. Dotčené soukromé entity (emitenti, výrobní průmyslové podniky) budou veřejně komunikovat svoje úsilí vedoucí k dekarbonizaci a splnění klimatických cílů při zachování jejich činnosti.
3. Nezávislé technické informace. ČGS ve spolupráci s podniky z oblasti průzkumu, zejména pak ropy a zemního plynu, bude veřejnosti poskytovat odborné informace o rozvoji technologií ukládání CO₂ pro edukaci a zvyšování znalostí veřejnosti.
4. Budování důvěry v technologie CCS, prezentace úspěšných příkladů ze zahraničí. Klíčoví účastníci projektů CCS budou sdílet zkušenosti zahraničních partnerů a za účasti uznávaných expertů prezentovat výsledky jejich práce s ohledem na možnosti uplatnění v ČR.
5. Sdílení ekonomických informací o projektech CCS pro zajištění komfortu společnosti ohledně nákladů spojených s dekarbonizací průmyslu.
6. Veřejné diskuse a obecná komunikace o potenciálních rizicích ukládání a případném dopadu takových projektů na životní prostředí a cestách k eliminaci takových rizik.
7. Místní kontext. Projekty ukládání CO₂ budou do značné míry soustředěny do regionů, které dlouhodobě akceptují aktivity spojené s průmyslem ropy a zemního plynu (jižní Morava). Proto je důležité zajistit pokračování synergií mezi průmyslem a místními komunitami.

Realizace uvedené strategie je závislá na synergiích veřejného i soukromého sektoru, zanedbání podpory společenské přijatelnosti může mít pro její uplatnění rozsáhlé negativní důsledky.

5 VYUŽÍVÁNÍ CO₂

Kromě geologického ukládání nabývá stále většího významu využití (někdy též nazvané valorizace) zachyceného CO₂, protože se používá jako surovina v mnoha průmyslových odvětvích a může hrát roli při výrobě produktů s vysokou přidanou hodnotou. Výhodou technologií CCU je skutečnost, že v případě, že dochází k využití CO₂ na místě jeho produkce, odpadá transport plynného CO₂ potrubní soustavou, jejíž samotné vybudování přináší vynaložení značných investic.

Přímé využití CO₂ je významné především v potravinářském průmyslu, výrobě nápojů, farmaceutické výrobě, léčebných postupech a ropném průmyslu. Metody přímého použití jsou vyspělé a komerčně dostupné technologie a mnoho slibných nových postupů se vyvíjí nebo zavádí v komerčním měřítku (např. odsolování, zvýšení výnosů ve sklenících). Prostřednictvím chemické nebo biologické přeměny lze CO₂ použít především při výrobě chemických produktů a plastů, syntetických nosičů energie, stavebních materiálů a biologických produktů. Technologická připravenost metod využití založených na konverzi se značně liší, od aplikace v komerčním měřítku až po laboratorní demonstrace (viz následující obrázek).



Zdroj: Carbon Dioxide Storage and Utilization (CCS/CCU) Options in Hungary – White Paper⁴⁰

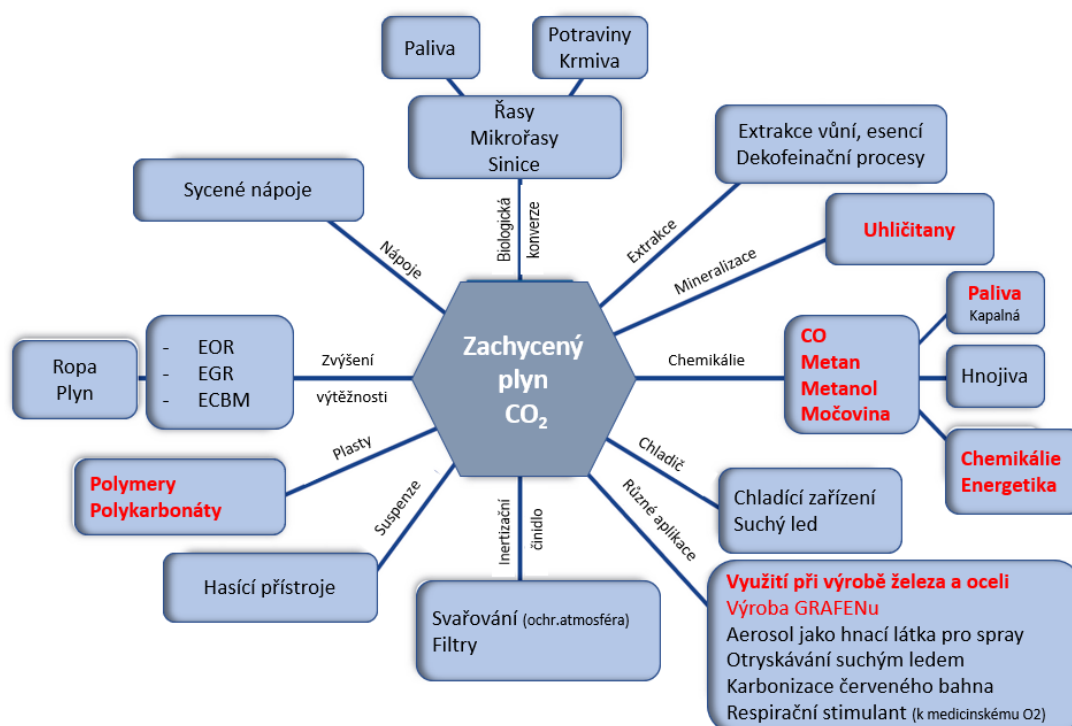
Díky zvýšené výzkumné a vývojové aktivitě a rostoucímu počtu pilotních projektů se postupy neustále vyvíjejí a objevují se nové, perspektivní oblasti použití.

Když už mluvíme o různých řešeních CCU, CO₂ použitý a takto vázaný v produktu se v různých časových intervalech vrací do životního prostředí a do uhlíkového cyklu, a proto může také plnit periodické skladovací funkce. Přímé použití a e-paliva mají nejkratší, kratší než 1 rok dobu zadržení CO₂. Chemické materiály mohou vázat oxid uhličitý použitý při jejich výrobě po dobu několika let, zatímco polymery mohou vázat CO₂ dokonce po celá desetiletí. Doba zdržení CO₂ stavebních materiálů je obzvláště dlouhá a může sloužit skladovacím funkcím po staletí.

Tržní potenciál některých produktů CCU lze odhadnout na základě jejich schopnosti vázat CO₂ a současné velikosti trhu. Očekává se, že potenciál CCU polymerů se bude zvyšovat, protože jejich dlouhá doba retence může přilákat průmyslová odvětví, která hledají nízkouhlíkové plasty (např. výrobce automobilů). Potenciál CCU stavebních materiálů je také vysoký, protože jejich velikost trhu je značná a v průmyslu je k dispozici jen málo alternativ dekarbonizace. Pokud jde o biologické produkty, očekává se také zvýšení potenciálu CCU vzhledem k jejich

⁴⁰ University of Szeged; IFUA Horváth & Partners Ltd. Carbon Dioxide Storage and Utilization (CCS/CCU) Options in Hungary - „White paper“ (2023)

pozoruhodné vazebné kapacity, ale jejich současná velikost trhu je poměrně malá. Škálu možností využívání ukazuje následující obrázek.



Možnosti ukládání do chemikálií se dnes považují z hlediska LDES (Long Duration Energy Storage) za perspektivní. Kombinace se zachycením CO₂, např. konverze do metanolu je jedním z možných řešení. Chemický průmysl má velký potenciál CCU, protože je schopen využít velké množství CO₂ při výrobě mnoha produktů, jejichž trh se neustále rozšiřuje. Nejpřirozenější deriváty CO₂ se jeví methanol (pro přímou spotřebu anebo jako meziprodukt pro výrobu monomerů: technologie MTO – methanol to Olefins), kyselina octová, ethanol, e-kerosin případně syntetická paliva (v SAF) a močovina.

Ukládání do nosičů energie - využití přebytků elektřiny pro výrobu vodíku, metanu a metanolu nabývá na významu jako klíčová technologie pro dekarbonizaci energetiky a průmyslu. Procesy (souhrnně nazývané Power2X) Power-to-Hydrogen, Power-to-Methan a Power-to-Methanol představují možnosti pro dlouhodobé skladování energie, přičemž oba tyto procesy vyžadují uhlík, který může pocházet ze zachyceného CO₂.

Technologie **Power-to-Methan** zahrnuje reakci vodíku se zachyceným CO₂ za vzniku syntetického metanu. Tento metan může sloužit jako náhrada fosilního zemního plynu a využívat stávající plynovou infrastrukturu pro jeho přepravu a skladování. Výhodou je možnost dlouhodobého ukládání energie a jejího opětovného využití v zimních měsících, kdy je produkce obnovitelných zdrojů omezená. Metan nabízí multifunkčnost využití jak přímo v energetice ve formě zemního plynu, tak jako bezpečnější uskladnění vodíku. Výhodou je též možnost energetického propojení elektro soustavy se soustavou zemního plynu.

Více než 40 projektů v různé fázi vývoje v Německu je k dispozici na mapě projektů organizace DVGW⁴¹, jedním z příkladů je např. projekt e-gas od Audi⁴².

Power-to-Methanol je další cesta, při které se vodík kombinuje se zachyceným CO₂ za vzniku metanolu. Ten může sloužit nejen jako palivo, ale i jako surovina pro chemický průmysl. Metanol nabízí výhodné řešení pro dlouhodobé ukládání energie díky vysoké hustotě energie a relativně jednoduché přepravě a skladování v kapalinové formě.

V EU se realizuje několik projektů Power to metanol jako MefCO₂⁴³ LOTER.CO2M⁴⁴ projekty RWE jsou financovány EU zahrnují konsorcia několika evropských společností a univerzit. Z hlediska realizace je nejdál projekt dánské energetické společnosti, realizovaný ve Švédsku Ørsted FlagshipONE⁴⁵

Technologie **Power to Chemicals** představuje inovativní přístup v oblasti chemického průmyslu, který využívá zachycený oxid uhličitý (CO₂) jako surovinu pro výrobu různých chemikálií. Tento koncept je založen na cirkulární ekonomice uhlíku, kdy se CO₂, který by jinak přispíval ke skleníkovému efektu, přeměňuje na užitečné chemické látky, čímž se snižují emise a závislost na fosilních zdrojích.

CO₂ může být využit k výrobě základních chemických látek, jako jsou methanol, ethylen, propylen nebo aromatické sloučeniny, které se dále používají v produkci polymerů, plastů a dalších průmyslových výrobků. Významným příkladem je methanol, který slouží jako klíčová surovina pro výrobu řady jiných chemických látek a polymerů. Technologie „methanol-to-olefins“, běžně používaná v Číně, umožňuje přeměnu methanolu na olefiny, které jsou základem pro výrobu plastů. Na podobném principu funguje i produkce aromatů, jako je benzen nebo toluen. CO₂ lze použít k výrobě **polymerů**, které nacházejí široké uplatnění v průmyslu, například při výrobě plastů, pěn nebo syntetických vláken. Výrobci využívají zachycený CO₂ jako náhradu za fosilní suroviny v procesu polymerizace, kde se CO₂ integruje do struktury polymerů.

Chemický průmysl má velký potenciál CCU, protože je schopen využít významnější množství CO₂ (současná potřeba uhlíku pro výrobu plastů a petrochemický derivátů činí cca 2 mil. t, což znamená cca 7-8 mil. t CO₂). Očekává se, že potenciál CCU polymerů se bude zvyšovat, protože jejich dlouhá doba retence může přilákat průmyslová odvětví, která hledají nízkouhlíkové plasty (např. výrobce automobilů).

Využití CO₂ v potravinářství se uplatňuje používá například při výrobě sycených nápojů, kde je hlavní složkou pro nasycení nápojů oxidem uhličitým. Dále se CO₂ využívá pro chlazení a mražení potravin v podobě suchého ledu, který je účinný a šetrný ke skladovaným potravinám. Kromě toho se CO₂ používá při balení potravin v atmosféře chráněné proti oxidaci, čímž prodlužuje jejich trvanlivost. Skleníky s přidaným CO₂ dosahují také vyšších výnosů, protože vyšší koncentrace tohoto plynu podporuje růst rostlin. Vzhledem k rostoucí poptávce po ekologicky šetrných řešeních lze očekávat, že tyto aplikace budou i nadále růst. Příkladem může být projekt skupiny Coca Cola.⁴⁶

Využití CO₂ ve stavebnictví představuje další možnost využití CO₂. Mezi pokročilé aplikace patří i využití CO₂ pro výrobu stavebních bloků z odpadních materiálů, což přispívá k oběhovému hospodářství a snižuje environmentální dopad stavebního sektoru. Tato technologie je již v komerčním využití, například CarbonCure⁴⁷

⁴¹ <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/power-to-gas/interaktive-power-to-gas-karte>

⁴² <https://www.wired.com/sponsored/story/the-future-of-fuels-e-gas/>

⁴³ <https://www.rwe.com/en/research-and-development/rwe-innovation-centre/e-fuels/mefco2/>

⁴⁴ <https://www.rwe.com/en/research-and-development/rwe-innovation-centre/e-fuels/loter-co2m/>

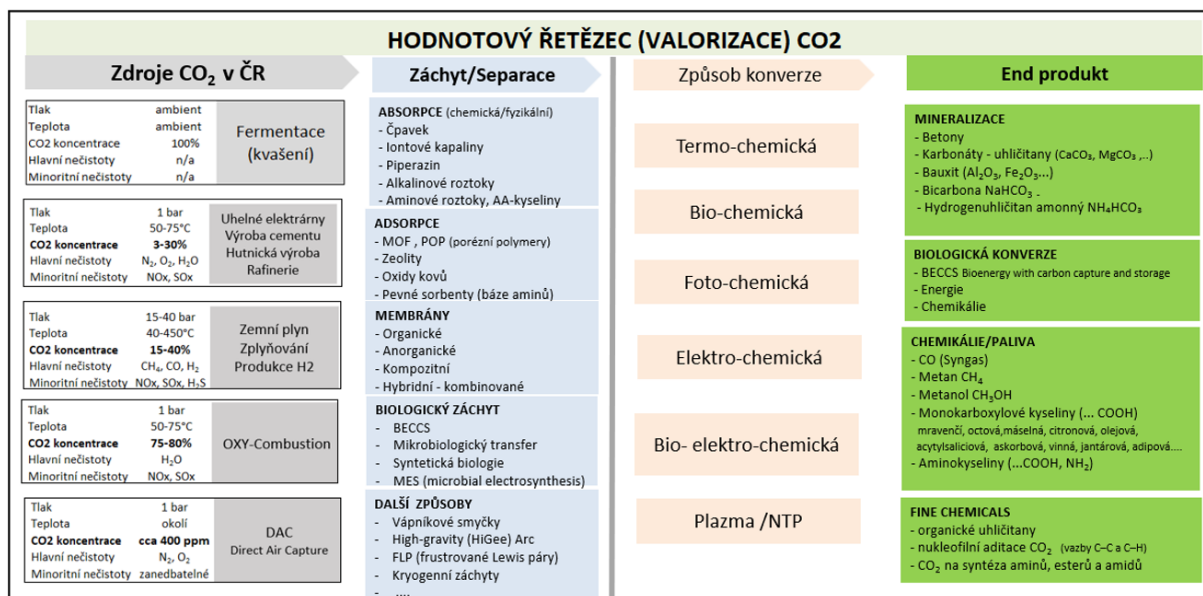
⁴⁵ <https://orsted.com/en/media/news/2022/12/20221220609311>

⁴⁶ <https://sustainabilitymag.com/articles/how-climeworks-dac-tech-carbonates-coca-colas-vasler-water>

⁴⁷ <https://www.carboncure.com/>

vyvíjejí betony, které využívají CO₂ během výroby, cementárny Norcem v Norsku, součást společnosti HeidelbergCement, využívají zachycený CO₂ z výroby cementu pro integraci do stavebních materiálů.⁴⁸

Rozvoj využívání uhlíku bude mj. záležet mj. na tom, v jaké podobě schválí EU rámec Unie pro certifikaci pohlcování.



⁴⁸ <https://ccsnorway.com/capture-heidelberg-materials/>

6 ZACHYTÁVÁNÍ ATMOSFÉRICKÉHO/BIOGENNÍHO UHLÍKU A SOUVISEJÍCÍ TECHNOLOGIE

Ze sdělení o průmyslovém hospodaření s uhlíkem vyplývá, že k dosažení nulových čistých emisí bude nutné v roce 2050 kompenzovat přibližně 400 mil. tun tzv. nevyhnutelných emisí z některých průmyslových sektorů, zemědělství a letectví. Řešení spočívající v přírodním pohlcování uhlíku v tom budou hrát zásadní úlohu.

Přírodní pohlcování uhlíku prostřednictvím hospodaření v krajině, zemědělství a lesnictví představuje klíčový prvek pro dosažení klimatické neutrality. Tyto přístupy zahrnují aktivity jako obnova mokřadů, zalesňování a znovuzalesňování, zlepšování struktury půdy za účelem zvýšení její schopnosti vázat uhlík, agroekologické postupy nebo využití půdopokryvných rostlin. Lesní hospodářství pak může hrát zásadní roli nejen díky ukládání uhlíku v biomase stromů, ale také díky řízenému využití dřeva v dlouhodobě udržitelných produktech. Podpora těchto opatření má nejen pozitivní vliv na sekvestraci uhlíku, ale přispívá také ke zlepšení kvality půdy, zadržování vody v krajině a zvýšení biodiverzity. Na možnosti ČR v této oblasti se zaměřuje například dlouhodobý výzkumný projekt *Pokročilé metody redukce emisí a sekvestrace skleníkových plynů v zemědělské a lesní krajině pro mitigaci změny klimatu* (AdAgriF), koordinovaný Ústavem výzkumu globální změny AV ČR (CzechGlobe).

Přírodní metody hospodaření s uhlíkem nejsou předmětem tohoto dokumentu ani aktivit Národní platformy pro CCUS. Věnuje se jim však například návrh aktualizace Politiky ochrany klimatu v ČR nebo nově připravovaná Politika krajiny. Na problematiku dlouhodobého uložení uhlíku v produktech se zaměřuje rovněž Surovinová politika pro dřevo.

Akční plán CCUS se zaměřuje na technologie průmyslového hospodaření s uhlíkem. Mezi průmyslová řešení pohlcování uhlíku řadíme zejména:

- technologie odstraňování CO₂ přímo z atmosféry (DACSS) a
- zachytávání a trvalé ukládání biogenního uhlíku z elektráren nebo průmyslových provozů (BioCCS).

Technologie BioCCS nejsou v současné době o mnoho dražší než běžné CCS technologie, avšak kladou vysoké nároky na dodávky udržitelné biomasy. Naopak u technologií DACSS jsou náklady na zachycení a uložení jedné tuny CO₂ zatím řádově vyšší, než je aktuální cena povolenky v EU ETS (odhadované budoucí náklady se pohybují mezi 122 až 539 EUR za tunu CO₂).

Mezi hybridní technologie pohlcování uhlíku kombinující přírodní a průmyslové procesy bývá někdy řazena technologie pyrolýzy, ze které vzniká biouhel. Další, níže popsanou možností, je využívat CO₂ zachycený při výrobě biometanu.

6.1 PŘÍMÉ ZACHYTÁVÁNÍ UHLÍKU (DAC - DIRECT AIR CAPTURE)

Jedná se o technologii, která zachytává oxid uhličitý přímo z atmosféry. DAC využívá rozsáhlých soustav ventilátorů, které nasávají vzduch přes mechanismus chemického zachytávání uhlíku. Dvě nejvyspělejší technologie DAC pro blízkou až střednědobou realizaci, které se překrývají s některými technologiemi pro zachytávání CO₂ z bodových zdrojů, jsou:

→ Pevná adsorpce a nízkoteplotní regenerace.

→ Kapalná absorpce a vysokoteplotní regenerace.

Mezi největší nevýhody technologií DAC patří velká spotřeba elektřiny, vysoké náklady a prozatím značně omezená kapacita. Na světě fungují pouze desítky pilotních projektů DAC.

Naopak výhodou jsou široké možnosti umístění zařízení DAC např. blízko obnovitelných zdrojů energie nebo jejich integrace do stávající infrastruktury pro CCUS. Pokud je CO₂ zachycený pomocí DAC trvale uložen

v geologických formacích či v produktech, vede technologie k tzv. negativním emisím, které mohou kompenzovat těžko odstranitelné emise z některých sektorů ekonomiky. Technologie DAC mají velký potenciál pro rozvoj do budoucna.

6.2 BIOUHEL (BIOCHAR)

Biouhel (angl. biochar) je produkt termického zpracování biomasy za omezeného přístupu kyslíku. Tento materiál lze stručně popsat jako dřevěné uhlí, jehož hlavní složku tvoří uhlík biogenního původu. Biouhel lze vyrábět dvěma hlavními technologiemi: pyrolýzou a zplyňováním. Vlastnosti výsledného biouhlu se liší v závislosti na vstupní surovině a parametrech procesu, jako jsou teplota, doba zdržení nebo rychlost ohřevu.

Při pyrolýze vzniká vedle pevného zbytku (biouhlu) také kapalný produkt (bioolej) a plyn, zatímco zplyňování produkuje kromě biouhlu zejména plyn. Složení a poměr těchto produktů ovlivňuje typ biomasy i výrobní podmínky. Kapalně a pevné produkty z pyrolýzy nebo zplyňování lze využít jako palivo pro ohřev zařízení, protože pyrolýza a zplyňování vyžadují dodání energie. Bioolej je možné dále využít jako surovinu pro výrobu chemických látek.

Z hlediska ukládání uhlíku je klíčovým produktem pevný zbytek – biouhel. Mezinárodní iniciativy, jako European Biochar Certificate (EBC) a International Biochar Initiative (IBI), definují parametry, které musí biouhel splňovat, aby mohl být certifikován a bezpečně využíván, například jako půdní aditivum. Stabilitu biouhlu určuje zejména chemické složení, především poměr uhlíku k ostatním prvkům. Vyšší obsah uhlíku a jeho poměr k ostatním prvkům zvyšují stabilitu biouhlu. Zatímco biomasa obsahuje přibližně 50 % uhlíku, biouhel dosahuje mnohem vyššího podílu, což je dáno zejména vyššími teplotami během pyrolýzy.

Přeměna biomasy na biouhel umožňuje imobilizaci uhlíku, který lze uložit do půdy, kde může přetrvávat stovky let. Stabilita tohoto uhlíku je založena na extrapolaci experimentálních dat, avšak historické nálezy podobných uhlíkatých zbytků naznačují jeho dlouhodobou trvanlivost. Při spalování biomasy se veškerý uhlík uvolní ve formě oxidu uhličitého, zatímco při její přeměně na biouhel zůstává značná část uhlíku imobilizována v pevném zbytku.

Kromě ukládání uhlíku má biouhel řadu přínosů pro půdu. Zlepšuje schopnost zadržovat vodu, umožňuje postupné uvolňování živin, snižuje kyselost, omezuje potřebu hnojiv a redukuje emise oxidu dusného (N_2O) a metanu (CH_4). Další aplikace zahrnují náhradu fosilních zdrojů (např. při výrobě aktivního uhlí) nebo jeho využití jako redukčního činidla při výrobě oceli. Biouhel lze také přidávat do krmiv pro zvířata, čímž se snižují emise metanu z jejich trávicího traktu.

Možnosti rozvoje biouhlu v Česku zahrnují jeho využití jako půdní látky v zemědělství při boji proti suchu nebo jako prostředek pro ukládání uhlíku. Výzvami však zůstávají dostupnost biomasy, technická proveditelnost aplikace biouhlu a ochota zemědělců jej využívat.“

6.3 BIOMETANOVÉ STANICE

Mezi technologiemi BECCS/BECCU představuje v současnosti nejdostupnější a nejefektivnější způsob získávání CO_2 v bioplynových stanicích. Biometanové stanice jsou zdrojem koncentrovaného biogenního CO_2 . Při úpravě bioplynu na biometan vzniká kromě samotného biometanu velmi čistý proud CO_2 , který lze efektivně zachytávat a dále využívat. Díky absenci nežádoucích spalín a příměsí je CO_2 z bioplynu vysoce čistý, dosahující koncentrace nad 98 %, což výrazně snižuje náklady na jeho další úpravu a zpracování.

Zachycený CO_2 z procesu čištění bioplynu může být využit v široké škále aplikací, jako je výroba syntetického metanu, sycení nápojů, chlazení v potravinářství, výroba chemikálií a polymerů. Významným potenciálem je rovněž využití zachyceného CO_2 ve skleníkovém hospodářství, kde přispívá k růstu plodin, a při výrobě stavebních materiálů, například betonových směsí. Ekonomika provozu bioplynových stanic může být díky využití CO_2 výrazně zlepšena. Pokud by Česká republika dosáhla roční produkce 500 milionů m^3 biometanu, mohlo by být

zachyceno 400 milionů m³ (0,8 mil. tun CO₂) biogenního CO₂. Téma využití technologií BECCS a BECCU by mělo být dále analyzováno na základě zahraničních zkušeností a podporováno prostřednictvím vědeckého výzkumu či pilotních projektů.

7 PŘEPRAVNÍ INFRASTRUKTURA

Klíčovým faktorem společným pro rozvoj technologií pro zachytávání CO₂ z fosilního, biogenního či atmosférického původu, jeho trvalého geologického uložení či dalšího využití v průmyslu (např. při výrobě stavebních výrobků, syntetických paliv, plastů nebo jiných chemických látek) v rámci jednotného trhu bude rozvinutá, celoevropská infrastruktura pro přepravu CO₂. Zachycený CO₂ totiž nebude možné vždy využít přímo na místě zachytávání a bude třeba jej přepravit do vzdálenějších míst, kde je bude možné využít v průmyslových procesech, nebo trvale uložit do geologických struktur.

Způsoby dopravy, které jsou v současné době dostupné v komerčním měřítku, jsou potrubní (využití existující volné kapacity plynovodů, speciálně vybudované potrubní trasy), železniční a silniční doprava, vodní doprava je k dispozici pouze v demonstrační fázi. Pro dopravu bude rozhodující určení skupenství, v jakém bude CO₂ dopravován (pevná fáze, kapalná fáze, stlačený plyn).

Doprava CO₂ produktovody je technologicky zvládnutá. V USA existují tisíce km takového potrubí s kapacitou 50 mil. tun CO₂ za rok, využívané při aplikaci CO₂ v procesech navyšování těžby ropy (EOR).

Technické otázky provozu produktovodů jsou spojeny také s eliminací možné koroze kvůli obsahu vody v přepravovaném mediu a také se studiem vlivu příměsí dalších látek v závislosti na typu původního paliva (ropa, plyn, uhlí). Zejména efekt dlouhodobé přítomnosti stopového množství těžkých kovů v toku CO₂ bude předmětem dalších výzkumů. Přítomnost dalších substancí, například sirovodíku, oxidů síry a dusíku je dále potřeba brát v úvahu při výběru materiálu přepravního zařízení. Stanovení standardů kvality včetně limitních hodnot pro různé substance / nečistoty pak bude nezbytnou podmínkou pro vybudování přeshraniční potrubní infrastruktury pro CO₂.

V souvislosti s transportem CO₂ se uplatňují termíny jako klastr (skupina samostatných zdrojů nebo úložišť) a hub (sběrný uzel), sloužící ke shromažďování a další distribuci přepravovaného CO₂. Náklady na projekt jsou při využití těchto synergií nižší nežli u zcela samostatných projektů, kde každý bodový zdroj musí mít vlastní nezávislou infrastrukturu pro přepravu a ukládání CO₂.

Předpokládá se, že lokální síť spojí jednotlivé emitenty v rámci klastru do sběrného uzlu (hubu) k dalšímu transportu. Další sběrný uzel propojí nezbytnou stabilizační infrastrukturu s jednotlivými úložišti. Tyto sítě budou budovány v režii jednotlivých operátorů projektů.

Projekt takového sběrného uzlu v oblasti jihovýchodní Moravy je předmětem aktuálně řešeného evropského projektu COREu, financovaného programem Horizon za účasti ČGS, MND a UNIGEO.

Páteční síť s roční kapacitou v milionech tun bude transportovat objemy CO₂ mezi jednotlivými sběrnými huby a úložišti v rámci České republiky, eventuálně propojí Českou republiku s plánovaným přeshraničním přepravním potrubním systémem pro CO₂ v rámci kontinentální Evropy a úložišti pravděpodobně v Severním moři. Příprava těchto přepravních sítí, i s využitím části stávající transportní infrastruktury bude vyžadovat zapojení provozovatele přepravní soustavy v ČR.

7.1 ROZVOJ SOUSTAVY PRO PŘEPRAVU CO₂ V EVROPĚ

Přeprava CO₂ je v současné době již existující činností (avšak ne v ČR), nicméně objemy přepravovaného CO₂ jsou ve srovnání s budoucími potřebami očekávaného průmyslového hospodaření s uhlíkem v Evropě velmi nízké. Dle Sdělení o průmyslového hospodaření s uhlíkem pro EU je potřeba, aby producenti zachycující CO₂, provozovatelé úložišť či společnosti zabývající se využitím uhlíku měli k dispozici přeshraniční, volně přístupnou infrastrukturu pro přepravu CO₂. Z tohoto důvodu Evropská komise stanovila jako jeden ze svých strategických cílů EU i rozvoj různých způsobů přepravy CO₂, které zahrnují potrubí, lodě, vlaky a nákladní vozidla. Studie od Společného výzkumného střediska (JRC), která byla zveřejněna společně se Sdělením, konstatuje, že infrastruktura pro

přepravu CO₂ bude klíčovým faktorem pro úspěšný rozvoj technologií CCUS. Zároveň odhaduje rozsah budoucí evropské soustavy pro přepravu CO₂ do roku 2030 v délce 6 700 až 7 300 km. V následujícím období do roku 2050 by se pak mohla soustava pro přepravu CO₂ rozšířit na 15 000 až 19 000 km. Její cena je odhadována na přibližně 6,5 až 19,5 miliardy EUR do roku 2030, do roku 2050 by se náklady mohly zvýšit na 9,3 až 23,1 miliardy EUR.⁴⁹

Evropská komise předpokládá, že hlavním a nejběžnějším způsobem přepravy CO₂ bude potrubní přeprava. Nicméně s ohledem na dlouhou dobu realizace se očekává, že do roku 2030 bude potřeba prozkoumat i další formy přepravy, např. přepravu lodní. Nicméně, po roce 2030 nebo s dalším rozvojem CCS a CCU technologií by mohlo dojít k významnému rozvoji v přepravě CO₂ prostřednictvím potrubí. K vytvoření přepravní infrastruktury pro CO₂ v rámci jednotného trhu s CO₂ pak bude zapotřebí vytvořit soubor společných pravidel, která zajistí nediskriminační, volně přístupnou, transparentní, multimodální, přeshraniční přepravu a ukládání CO₂, koordinaci napříč hodnotovými řetězci, transparentnost smluv a cen, plánování sítě a včasné povolování. Zároveň bude nutné zajistit pravidla pro nakládání s toky CO₂ z různých zdrojů včetně minimální normy kvality toku CO₂.⁵⁰

Nejpozději v roce 2025 se dá očekávat, že **Evropská komise** zahájí přípravné práce na tvorbě budoucího **regulačního balíčku pro přepravu CO₂** včetně stanovení norem pro toky CO₂ a pravidel pro plánování sítě a započítávání emisí CO₂ v rámci systému EU ETS zohledňující všechny způsoby přepravy. Budoucí regulační rámec by se měl také zabývat i interakcemi mezi odvětvími elektřiny, plynu a vodíku včetně identifikace rezervních kapacit. K optimalizaci přínosu vynaloženého kapitálu na budování infrastruktury pro přepravu CO₂ se bude dát využít část stávající plynárenské infrastruktury a jejího uzpůsobení k tomuto účelu.

V současné době je v Evropě oznámeno celkem 26 projektů na přepravu CO₂.⁵¹ Kromě toho Evropská komise v listopadu 2023 přijala první seznam projektů společného zájmu a projektů ve společném zájmu podle revidovaného nařízení TEN-E, který zahrnuje čtrnáct projektů pro přepravu CO₂.⁵² I když je většina projektů v rané fázi svého rozvoje, nabízí nám informativní obraz toho, jak by mohla vypadat mezinárodní infrastruktura pro přepravu CO₂ (viz obr. č. 1). Fungující společný trh pro CO₂ včetně koordinovaného plánování panevropské infrastruktury prostřednictvím politických nástrojů, jakým je např. TEN-E, pak může zajistit, aby mnohá průmyslová odvětví, u kterých je dekarbonizace obtížná, měla k dispozici stabilní a jednotný regulační rámec včetně přístupu k prostředkům na dekarbonizaci.

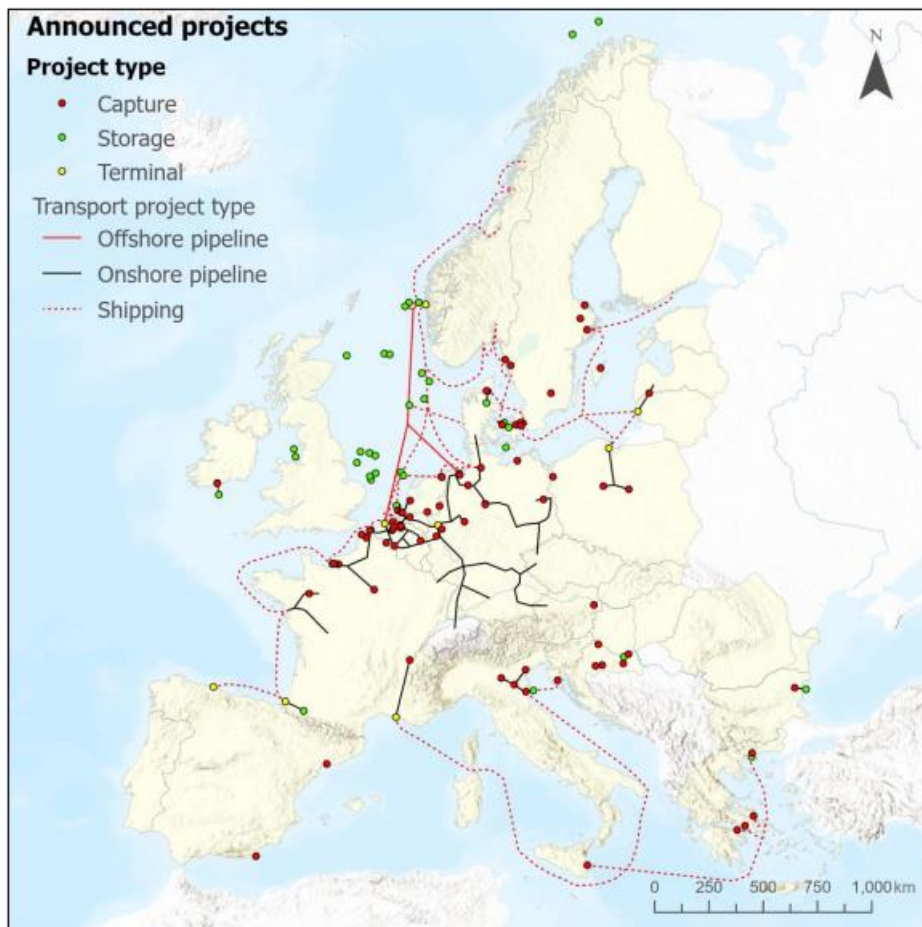
⁴⁹ Uihlein, A. a Hidalgo González, I. Shaping the future CO₂ transport network for Europe (Utváření budoucí sítě pro přepravu CO₂ pro Evropu), Evropská komise, Petten, 2024, JRC136709.

⁵⁰ Interoperabilní síť pro přepravu CO₂ – směrem ke specifikacím pro přepravu CO₂ obsahujícího nečistoty ([odkaz](#)).

⁵¹ Příloha 2 v Uihlein, A. a Hidalgo González, I. Shaping the future CO₂ transport network for Europe (Utváření budoucí sítě pro přepravu CO₂ pro Evropu), Evropská komise, Petten, 2024, JRC136709.

⁵² C/2023/7930 final

Obrázek: Ohlášené projekty pro zachytávání, ukládání, využití a přepravy CO₂ v Evropě



Zdroj: Shaping the future CO₂ transport network for Europe, Evropská komise, Petten, 2024, JRC136709.

Další studií, která se zabývá přepravou CO₂ je studie Re-Stream. Na základě analýzy opětovného využití stávající evropské potrubní infrastruktury pro přepravu CO₂ studie ve svých závěrech konstatuje, že konverze existující potrubní infrastruktury může vést k nákladově efektivnějšímu zavádění technologií CCUS.⁵³

7.2 ROZVOJ SOUSTAVY PRO PŘEPRAVU CO₂ V ČR

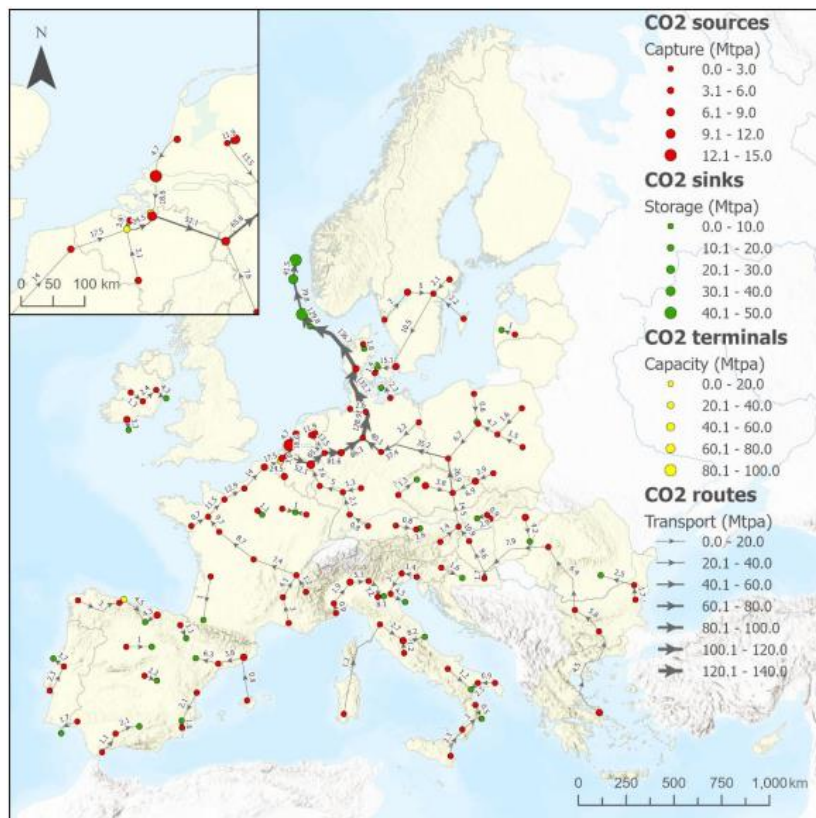
S ohledem na omezené kapacity ukládání CO₂ do horninových struktur na území České republiky (tzv. realistická kapacita) bude potřeba významné množství zachycených emisí CO₂ přepravit do lokalit mimo naše území, tedy vybudovat přeshraniční infrastrukturu.⁵⁴ Kromě zajištění soustavy pro přepravu CO₂ zachyceného na území České republiky, má Česká republika potenciál stát se i významným tranzitérem CO₂. Následující obrázky ukazují dvě možné podoby toků CO₂ v roce 2050 dle studie od JRC. Použitá metodologie propojuje oblasti zachytávání emisí CO₂ pocházejících z průmyslových procesů a výroby elektřiny s oblastmi ukládání CO₂ včetně identifikace tzv. CO₂ hubů, které reprezentují lokace kde se CO₂ shromažďuje a může být dále přepravováno. Z výsledků vyplývá, že Česká republika může zajišťovat přepravu významného množství zachyceného CO₂ ze zemí střední a východní Evropy do oblastí na severu Evropy. Mezi lokality s významným potenciálem pro ukládání zachyceného CO₂ patří

⁵³ Re-Stream study ([odkaz](#))

⁵⁴ Jedním z konkrétních projektů, který se touto problematikou zabývá v regionu středovýchodní Evropy je tzv. COREu projekt, jehož cílem je propojit emitenty s úložišti včetně rozvoje potenciálních tras ([odkaz](#)).

především oblast Severního moře, jehož celková kapacita pro permanentní ukládání je odhadována na 70 až 80 miliard tun CO₂.⁵⁵

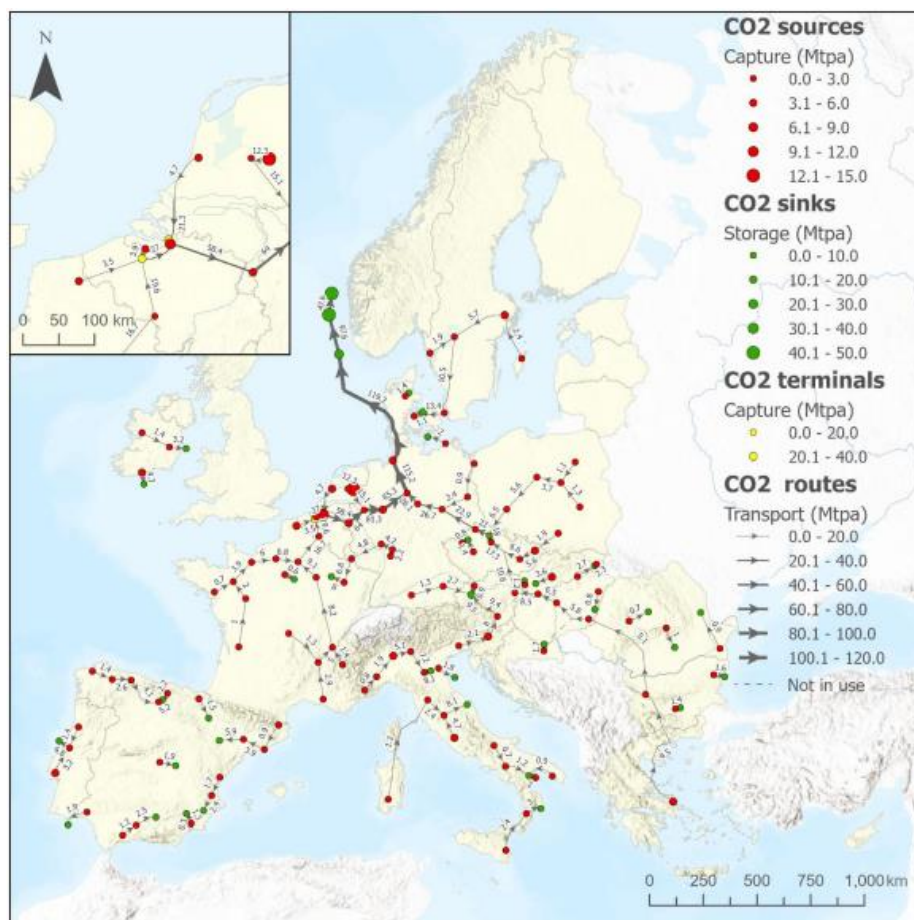
Obrazek: Scénář A2 založený cíli 2040 s projektovaným uloženým CO₂ v 2050 ve výši 247,2 Mta zahrnující kapacity pro ukládání v EU a Norsku



Zdroj: Shaping the future CO₂ transport network for Europe, Evropská komise, Petten, 2024, JRC136709.

⁵⁵ Norwegian Offshore Directorate – CO₂ storage Atlas Norwegian North Sea ([odkaz](#); [odkaz](#))

Obrázek: Scénář D1 s pomalejším rozvojem zachytávaného CO₂, s projektovaným množstvím uloženého CO₂ v roce 2050 ve výši 245,3 Mta zahrnující kapacity pro ukládání v EU, Norsku a UK



Zdroj: *Shaping the future CO₂ transport network for Europe*, Evropská komise, Petten, 2024, JRC136709.

Nákladově optimální možností přepravy CO₂ v požadovaném průmyslovém rozsahu bude přeprava prostřednictvím specializované potrubní infrastruktury vzniklé uzpůsobením části stávající plynárenské infrastruktury a částečnou výstavbou nové. Česká republika disponuje kapacitně robustní přepravní soustavou, která v současné době zajišťuje vnitrostátní přepravu a mezinárodní tranzit zemního plynu (po roce 2030 i čistého vodíku⁵⁶), a která může umožnit nákladově efektivní konverzi vybrané části této soustavy na přepravu CO₂.

V hraničních předávacích stanicích je přepravní soustava napojena na přepravní soustavy sousedních zemí, konkrétně na česko-slovenské hranici, na česko-německých hranicích s Bavorskem a Saskem a na česko-polské hranici. Díky své geografické poloze má Česká republika možnost se napojit na plánované sousední soustavy na přepravu CO₂, pomocí nichž bude možné přepravovat CO₂ zachycený na území České republiky, ale i mimo něj, do míst jeho trvalého uložení či využití. S rozvojem soustavy na přepravu CO₂ prostřednictvím konverze vybrané části stávající plynárenské soustavy a výstavbou nové počítá i Spolková republika Německo. Dle zveřejněných hlavních principů připravované německé strategie pro CCUS se s ohledem na omezenost vhodných úložišť pro CO₂ na svém území Německo spoléhá na vybudování soustavy na přepravu CO₂, která umožní napojení na úložiště v jiných zemích.⁵⁷ Mezi konkrétní iniciativu patří např. projekty německého provozovatele přepravní soustavy OGE, který počítá s přestavbou stávající plynárenské soustavy s cílem rozvoje exportních možností

⁵⁶ Vodíková strategie ČR 2024

⁵⁷ Key principles of the Federal Government for a Carbon Management Strategy ([odkaz](#))

v přístavech ve Wilhelmshavenu, Rotterdamu či Antverpách/Zeebrügge.⁵⁸ I z těchto důvodů bude vhodné rozvoj soustavy na přepravu CO₂ v ČR koordinovat se sousedními zeměmi.

7.3 TECHNICKÉ MOŽNOSTI POTRUBNÍ PŘEPRAVY CO₂ V ČESKÉ REPUBLICĚ:

První možností je potrubní přeprava CO₂ v plynné fázi. K tomuto účelu je možné využít část stávající přepravní soustavy. Technicko-ekonomická analýza, kterou provedlo 65 provozovatelů ropovodů a plynovodů ve studii Re-stream⁵⁹ neidentifikovala žádné překážky, tudíž přeprava CO₂ v plynné fázi ve stávajících potrubích je možná. Zároveň, podobně jako u repurposingu na vodíkové sítě, lze změnou účelu využití stávajících potrubí oproti výstavbě plynovodů nových dosáhnout významného snížení nákladů, což by mohlo být důležité zejména v počátečních fázích rozvoje přepravní soustavy pro CO₂.

Druhou možností je přeprava CO₂ v tzv. husté fázi (CO₂ v superkritické fázi). Přeprava v husté fázi zvyšuje přepravní kapacitu, ale předpokládá výstavbu nových potrubí. Vzhledem k vysokému provoznímu tlaku, který je nutné udržovat v rozmezí 10-15 MPa, by většinu stávajících přepravních plynovodů pro plyn nebylo pravděpodobně možné využít. Vysokotlaký, páteřní plynovod umožňující přepravu CO₂ v husté fázi pak bude potřeba doplnit tzv. sběrnou sítí, prostřednictvím které bude docházet k přepravě CO₂ v plynné fázi od zachytávání u emitentů do páteřní sítě. Pro tento účel by mohly být využity stávající přepravní plynovody. Na předávacím bodě mezi sběrnou a páteřní sítí bude nutné umístit kompresory, které budou transformovat CO₂ z plynné na hustou fázi.

Největší emitenti (např. výroba cementu a vápna, výroba elektřiny a tepla, výroba železa a oceli, chemický průmysl) se nacházejí především na severu, severozápadě a severovýchodě České republiky, tj. podél severní, západní a tzv. moravské větve přepravní soustavy NET4GAS. Co se ukládání týče, v současné době neexistují v České republice žádné přírodní horninové struktury s povolením k trvalému ukládání CO₂. Zásobníky plynu nelze využít k finálnímu uložení CO₂, neboť jsou potřebné ke skladování zemního plynu. Je třeba uvažovat o strukturách nevyužívaných pro zásobníky plynu.

Budoucí přepravní infrastruktura by nejprve předpokládala vytvoření soustavy pro zachytávání, přepravu a uložení CO₂ na vnitrostátní úrovni pro domácí účely pro oblasti (geografické, technické), kde se tato technologie ukáže jako ekonomicky a technologicky vhodná. Zároveň už v této iniciační fázi bude možné v případě potřeby (z důvodů ekonomických či technických) přepravovat CO₂ z ČR do zahraničí. Později by mělo dojít k rozšíření sítě připojením vzdálenějších zdrojů a úložišť ve vzdálenějších lokalitách a etablovat tak ČR jako tranzitéra CO₂. Konečné uspořádání potrubní sítě pro přepravu CO₂ by tak bylo založeno nejen na poptávce po přepravní kapacitě CO₂ (k uspokojení přepravních potřeb uzlů pro zachytávání CO₂), ale také na poptávce po přepravní kapacitě vodíku a metanu.

7.4 PŘÍLEŽITOSTI A BARIÉRY ROZVOJE PŘEPRAVNÍ INFRASTRUKTURY

Dalším benefitem stávající přepravní soustavy v České republice je její topologie, protože je z velké části tvořena paralelními plynovody. Vyčlenění určitých přeshraničních plynovodů na CO₂ může umožnit v budoucnu paralelní provoz přepravy zemního plynu, od roku 2030 čistého vodíku a následně i CO₂. Budoucí přepravou CO₂ by tak nedocházelo k omezování očekávané poptávky po přepravě zemního plynu či vodíku v České republice nebo tranzitu těchto komodit přes ČR.

Pro usnadnění rozvoje trhu s CO₂, včetně transportní sítě pro CO₂ bude nutné, aby si Česká republika identifikovala přírodní horninové struktury, které by mohly být povoleny pro účely ukládání CO₂, a odhadla potřebnou přepravní kapacitu CO₂, která bude odpovídat kapacitě ukládání, ale i zachytávání. Bylo by rovněž nutné přijmout vnitrostátní podpůrná opatření, která by rozvoj CCUS podnítila. Dokud nebudou zavedena

⁵⁸ Our CO₂ transportation grid starts ([odkaz](#))

⁵⁹ Re-stream: Study on the reuse of oil and gas infrastructure for hydrogen and CCS in Europe

harmonizovaná celoevropská pravidla a normy pro přepravní infrastrukturu pro CO₂, bude nutné koordinovat přijatá/plánovaná opatření se sousedními zeměmi, aby se předešlo budoucí fragmentaci trhu.

7.5 PŘIPRAVOVANÉ/PROBÍHAJÍCÍ PROJEKTY

Projekty přepravy CO₂ jsou podporovány podle revidovaného nařízení o TEN-E⁶⁰. Rozvoj infrastruktury pro přepravu CO₂ mezi členskými státy a se sousedními třetími zeměmi s ohledem na zachytávání a ukládání CO₂ zachyceného z průmyslových zařízení za účelem trvalého geologického uložení a využití CO₂ pro účely plynů v syntetických palivech vedoucí k trvalé neutralizaci CO₂ je jednou z prioritních tematických oblastí tohoto nařízení. V dubnu 2024 zveřejnila Evropská komise první seznam **projektů společného zájmu (PCI) a projektů vzájemného zájmu (PMI)**⁶¹. Seznam také obsahuje 14 projektů přeshraničních sítí CO₂ v souladu s cíli EU vytvořit trh pro zachytávání a ukládání uhlíku. Tyto projekty zvyšují celkovou plánovanou kapacitu na 103 milionů tun CO₂ ročně prostřednictvím čtyř pevninských úložišť a osmi nebo více mořských lokalit.⁶²

ČPS respektive jeho členové aktuálně nepodávají žádný PCI / PMI projekt podporovaný TEN- E.

Společnost **NET4GAS** v současné době (3Q/2024) nepodává žádné projekty na přepravu CO₂. Nicméně otázku přeshraniční přepravy CO₂, včetně monitoringu a koordinace rozvoje přepravních sítí pro CO₂ v okolních zemích NET4GAS diskutuje s provozovateli sousedních přepravních soustav (např. německý OGE, slovenský eustream, nebo rakouským GCA). Výsledky těchto analýz, stejně jako vývoj v okolních zemích, následně určí budoucí koncepci české přepravní sítě CO₂ i případné projekty PCI s českou účastí.

⁶⁰ Regulation (EU) 2022/869

⁶¹ Delegated Regulation (EU) 2024/1041

⁶² COM(2024) 62 final

8 MOŽNOSTI FINANCOVÁNÍ

V následujících desetiletích bude nutné výrazně navýšit investice do infrastruktury CCUS, aby bylo možné splnit dekarbonizační cíle Evropské unie. Podle odhadů Evropské komise by se do roku 2050 měly investice do této infrastruktury zvýšit na 9,3 až 23,1 miliardy EUR⁶³, aby bylo dosaženo klimatických cílů pro roky 2040 a 2050. Úspěšný rozvoj CCUS vyžaduje vedle technologických inovací a regulační podpory také stabilní finanční rámec, který přiláká dlouhodobé investice. K tomu je nezbytné, aby byly vytvořeny jasné definované legislativní podmínky pro zachytávání, využívání a ukládání uhlíku. Stabilita regulačního rámce poskytne investorům jistotu, že jejich investice budou chráněny před náhlými změnami trhu nebo politiky.

Zejména pilotní projekty budou pravděpodobně nákladnější než možné výnosy z úspor za cenu povolenky či prodeje uhlíku a takovéto projekty budou vyžadovat dotační podporu v oblasti vědy a výzkumu i samotné výstavby.

Obecně pro usnadnění investic bude potřeba zvážit zavedení podpůrných mechanismů jako jsou dotace, speciální tarify, finanční nástroje a rizikové záruky, které zmírní rizika spojená s investicemi do těchto technologií a zajistí přístup k dlouhodobým kapitálovým zdrojům.

Jedním z dalších důležitých faktorů pro ekonomickou životaschopnost projektů CCUS bude cena uhlíku v rámci systému EU ETS. Očekává se, že tento systém bude směřovat k rovnováze mezi náklady na zachycování, přepravu a ukládání CO₂ a tržní cenou emisí.

Zajímavým mechanismem pro podporu finanční stability a atraktivity CCUS projektů je zavedení rozdílových smluv o uhlíku (Carbon Contracts for Difference, CCFD). Tyto smlouvy by zaručily minimální cenu za uložený CO₂, čímž by snížila rizika spojená s kolísáním tržní ceny emisních povolenek. V případě, že tržní cena uhlíku klesne pod referenční úroveň, stát nebo jiná veřejná instituce pokrývá investorům tento rozdíl. Pokud naopak cena uhlíku na trhu vzroste nad referenční hodnotu, investoři jsou povinni zaplatit zpět rozdíl státu. Tento mechanismus výrazně snižuje finanční riziko spojené s investicemi do technologií CCS a CCU, které jsou často velmi nákladné a závislé na vývoji tržních podmínek a již byl úspěšně testován v jiných oblastech zelených technologií a mohl by být vhodně adaptován i pro podporu CCUS.

Příklad zahraniční praxe: Dánský CCUS dotační program⁶⁴

Dánsko je zemí s nejpokročilejším programem podpory CCUS v EU a může být zdrojem cenných zkušeností, cenových referencí i technologických poznatků v praxi. Dánsko vytvořilo tři dotační fondy: Fond CCUS, Fond NECCS a Fond CCS, které poskytují finanční podporu na rozvoj a implementaci CCS a CCUS projektů. Fond CCUS je tržně orientovaný a technologicky neutrální fond, jehož cílem je podpořit zachytávání, ukládání a využívání CO₂. První výplaty z fondu jsou plánovány na roky 2025/2026, fond je navržen tak, aby do roku 2030 přispíval ke snížení emisí o 0,9 milionu tun CO₂ ročně. Fond NECCS je zaměřen výhradně na podporu zachytávání a ukládání biogenního CO₂, což přispěje k dosažení negativních emisí. Může se jednat o zpracování bioplynu, výrobu energie z biomasy, nebo zachytávání CO₂ ze spaloven odpadů. V roce 2024 byly uzavřeny smlouvy s třemi společnostmi – BioCirc CO₂ ApS, Bioman ApS a Carbon Capture Scotland Limited – které zajistí zachytávání a ukládání 160 350 tun biogenního CO₂ ročně v období 2026 až 2032. Fond CCS je nejrobustnější, jeho alokace činí přibližně 28 miliard DKK. Cílem fondu je dosáhnout do roku 2030 snížení emisí o 2,3 milionu tun CO₂ ročně.

⁶³ COM(2024) 62 final

⁶⁴ <https://ens.dk/en/our-responsibilities/ccs-carbon-capture-and-storage/ccs-tenders-and-other-funding-ccs-development>

8.1 ZDROJE FINANCOVÁNÍ

Evropská unie podporuje projekty CCUS prostřednictvím různých dotačních mechanismů a nástrojů, z nichž klíčovými jsou Inovační fond, program Horizont Evropa a Nástroj pro propojení Evropy. Níže v tabulce představujeme základní parametry 6 vybraných nástrojů EU, které jsou pro oblast CCUS relevantní.

Horizont Evropa Horizon Europe	
Popis	Dotační program pro výzkum a inovace . Jeho cílem je usnadnit spolupráci a zvýšit dopad výzkumu a inovací na boj proti změně klimatu a zároveň zvýšit konkurenceschopnost EU. Na období 2021 – 2027 disponuje rozpočtem 95.5 miliard € . TRL projektů od 3 do 7.
Relevance pro CCUS	CCS je součástí druhého pilíře " Globální výzvy a konkurenceschopnost evropského průmyslu ", s rozpočtem 53,5 miliardy EUR: - klastr 5 "Klima, energetika a mobilita" - klastr 4 "Digitální, průmyslové a vesmírné technologie"
Hodnotící kritéria	1) Excelence : Inovativnost projektu a jeho základní vědecké metodiky. 2) Dopad : Co výsledky projektu přináší tržím a společnosti EU, stejně jako plán šíření, komunikace a využití projektu. 3) Kvalita a účinnost provádění : Struktura rozdělení prací projektu, plán provádění a složení konsorcia.
Míra podpory	60 až 100 % způsobilých nákladů (osobní náklady, subdodávky, cestovné a stravné, vybavení, ostatní zboží, práce a služby, ostatní kategorie nákladů a nepřímé náklady)
Kumulace veřejné podpory	Kombinace s podporou jiného fondu EU je možná při splnění podmínek: – Obě finanční podpory nepokrývají stejné způsobilé náklady (zamezení dvojího financování), – Kumulace obou finančních podpor nepřekročí míru financování spojenou s typem projektu.
Inovační fond Innovation Fund	
Popis	IF podporuje komerční demonstrace vysoce inovativních dekarbonizačních projektů na území Evropského hospodářského společenství. Zdrojem příjmů jsou prodeje emisních povolenek v EU ETS. Odhadované prostředky na období 2020-2030 činí 40 mld. € (odhady závisí na ceně povolenky).
Relevance pro CCUS	CCUS patří mezi podporované oblasti Inovačního fondu. V oblasti zachytávání, přepravy a ukládání CO ₂ bylo od roku 2020 podpořeno více než 20 projektů velkého rozsahu.
Hodnotící kritéria	1) Stupeň inovace v porovnání se současným stavem technologie 2) Potenciál zamezení emisí GHG – absolutní a relativní 3) Vyzrálост projektu z technického, finančního a provozního hlediska 4) Replikovatelnost 5) Nákladová efektivita – poměr mezi požadovanou dotací (+případnou další veřejnou podporou) a absolutním zamezením emisí 6) Bonusové body dle konkrétní výzvy
Míra podpory	Až 60 % příslušných nákladů , což jsou čisté dodatečné náklady, které předkladatel projektu nese v důsledku použití inovativní technologie. Zahrnuje nediskontované náklady na investice (CAPEX), nákladů (CAPEX) na údržbu, provozních nákladů (OPEX), čistou současnou hodnotu (NPV) příjmů projektu a provozních přínosů.
Kumulace veřejné podpory	Podpora z Inovačního fondu není veřejnou podporou. Kumulace s různými druhy veřejné podpory je možná, závisí však na konkrétním nastavení dané výzvy.
Nástroj pro propojení Evropy - Energetika Connecting Europe Facility (CEF) - Energy	

Popis	CEF je zaměřený na urychlení investic do transevropských sítí v oblasti dopravy, energetiky a telekomunikací. V oblasti energetiky se opírá o revidované nařízení o transevropských energetických sítích (TEN-E), které nastiňuje investiční priority potřebné k dosažení cílů EU v oblasti energetiky a klimatu. Na období 2021-2027 má CEF v oblasti energetiky (CEF-E) rozpočet 5,84 mld €. V souladu s TEN-E vydává Komise každé roky seznam Projektů společného zájmu (Projects of Common Interest PCI) a Projektů ve společném zájmu (Projects of Mutual Interest PMI).
Relevance pro CCUS	CEF poskytuje dva typy grantů: -Granty na studie, -Granty na stavební práce Pro získání grantu musí předkladatel projektu projít dvou fázovým procesem: 1) Žádost o zápis na seznam PCI/PMI 2) Pokud je projekt vybrán jako PCI/PMI, přihláška do výzvy CEF-E V listopadu 2023 vydala Komise seznam se 14 projektů PCI-PMI, které se týkají přepravy a ukládání CO₂. Podpora z CEF-E může zahrnovat: Vyhrazená potrubí CO₂, zařízení pro zkapalňování, vyrovnávání, ukládání a konverzi CO₂, povrchová a inžektážní zařízení spojená s geologickým ukládáním v souladu se směrnicí o CCS, která jsou nezbytná k umožnění přeshraniční přepravě a ukládání CO₂ aj.
Hodnotící kritéria	1)Priorita a naléhavost (soulad s politickými cíli a prioritami) 2)Vyzrállost, 3)Kvalita, 4)Dopad, 5)Katalytický účinek (finanční gap, schopnost spoléhat se na více investičních zdrojů)
Míra podpory	Způsobilé náklady mohou pokrývat osobní náklady, subdodávky, nákupy, jiné kategorie a nepřímé náklady -Až 50 % způsobilých nákladů na vývoj PCI/PMI -Až 70 % způsobilých nákladů na práce v nejvzdálenějších regionech -Až 75 % způsobilých nákladů na rozvoj PCI/PMI s vysokou úrovní dopadu, pokud jde o zabezpečení dodávek do EU na regionální úrovni, solidaritu nebo inovace
Kumulace veřejné podpory	Je možná, pokud: - Obě finanční podpory nepokrývají stejné způsobilé náklady (dvojitý financování), - Kumulace obou finančních podpor nepřekročí míru financování spojenou s typem projektu.
Fond pro spravedlivou transformaci Just Transition Fund (JTF)	
Popis	JTF poskytuje granty regionům a průmyslovým odvětvím, které čelí závažným socioekonomickým problémům spojeným s přechodem ke klimatické neutralitě. Na období 2021-2027 disponuje rozpočtem 19,32 miliard €. V ČR se JTF implementuje prostřednictvím Plánu spravedlivé územní transformace (PSÚT), z něž vychází Operační program Spravedlivá transformace (OPST). Podporu s OPST mohou čerpat Karlovarský, Moravskoslezský a Ústecký kraj. Celková alokace pro ČR činí 1,64 mld. eur.
Relevance pro CCUS	Projekty CCUS mohou být z JTF podpořeny pouze: • Pokud investice přispívá k spravedlivé transformaci • Výrazně snižují emise GHG pod referenční hodnotu EU ETS • Jsou potřebné k ochraně pracovních míst
Hodnotící kritéria	Za zveřejňování výzev, formulování hodnotících kritérií a podmínek podpory jsou zodpovědné pověřené orgány MS. V ČR viz (OPST).
Míra podpory	Různé míry spolufinancování: • 85 % pro méně rozvinuté regiony • 70 % pro přechodové regiony • 50 % v rozvinutějších regionech
Kumulace veřejné podpory	Financování z JTF lze kombinovat s granty a půjčkami poskytovanými z jiných pilířů mechanismu spravedlivou transformaci jako je režim pro spravedlivou

	transformaci v rámci programu InvestEU (pilíř II) nebo úvěrový nástroj pro veřejný sektor (pilíř III).
InvestEU	
Popis	InvestEU zastřešuje mnoho různých druhů financování. Zahrnuje 3 pilíře: InvestEU Fund, InvestEU Advisory Hub, InvestEU portal. Prostřednictvím rozpočtové záruky ve výši 26,2 mld. € na období 2021-2027 chce podpořit investice finančních partnerů, jako je Evropská investiční banka (EIB), ve čtyřech oblastech politiky: • Udržitelná infrastruktura (9,9 mld. €), • Výzkum, inovace a digitalizace (6,6 miliardy €), • malé a střední podniky (6,9 miliardy €), • sociální investice a dovednosti (2,8 miliardy €).
Relevance pro CCUS	Pro přímé dotace • OZE (včetně geotermální energie), nízkouhlíkové technologie • Zelená energetická infrastruktura Pro průběžné financování • Výroba a investice do dalších nízkouhlíkových technologií, které nejsou zahrnuty jinde • Výzkum vývoj a inovace zaměřené na zmírnění dopadů změny klimatu
Hodnotící kritéria	Nařízení InvestEU stanoví několik kritérií způsobilosti, která musí potenciální projekt splňovat: • řešit selhání trhu nebo investiční mezery a být ekonomicky životaschopný, • potřebuje finanční prostředky EU, aby mohl být realizován, • dosáhnout multiplikačního efektu, • pomáhat plnit cíle politiky EU v oblasti klimatu a energetiky.
Míra podpory	Fond je realizován ve spolupráci s finančními partnery neboli " prováděcími partnery " (např. EIB, Nordic Investment Bank, Caisse des Dépôts atd.), kteří investují do projektů s využitím záruky EU. Předkladatelé projektů žádají přímo prováděcí partnery o vhodná řešení financování na základě finančních produktů podporovaných zárukou EU.
Kumulace veřejné podpory	InvestEU je možné kombinovat s dotacemi a/nebo s jinými finančními nástroji podporovanými buď z rozpočtu EU nebo z Inovačního fondu. Pokud se projekt spoléhá zároveň na InvestEU a zároveň na IF, musí plnit pravidla stanovená InvestEU.
LIFE	
Popis	LIFE je stěžejním programem EU pro životní prostředí ochranu klimatu. Finanční obálka ve výši 5,4 mld. € na roky 2021-2027 je 2 oblastí (životní prostředí a klima) a 4 podprogramů.
Relevance pro CCUS	LIFE je obecně více zaměřen na odstraňování uhlíku na přírodní bázi, nicméně výzva z roku 2023 umožnila podávat žádosti i v oblasti CCS. Aktivita " Řízení a informace o klimatu " v rámci podprogramu " Zmírňování změny klimatu a přizpůsobení se této změně " vybízí k podávání žádostí, které pomáhají orgánům veřejné správy ve spolupráci se soukromým sektorem a občany vypracovat regionální nebo národní plány CCS
Hodnotící kritéria	• Relevance: jak projekt odpovídá cílům programu a podprogramu LIFE • Dopad: Udržitelnost výsledků projektu po jeho ukončení, škálovatelnost, Kvalita, Zdroje • Bonusové body: pokud projekt vytváří synergie s jinými podprogramy LIFE nebo se nachází v nejvzdálenějším regionu Evropy.
Míra podpory	Pokud je vybrán „standard action project,“ z LIFE může být proplaceno až 60 % způsobilých nákladů (náklady na zaměstnance, vybavení, nákup pozemků aj.
Kumulace veřejné podpory	Je možná, pokud: - Obě finanční podpory nepokrývají stejné způsobilé náklady (dvojitě financování), - Kumulace obou finančních podpor nepřekročí míru financování spojenou s typem projektu.

8.1.1 MODERNIZAČNÍ FOND

Modernizační fond, konkrétně jeho program **I+ Inovativní a komplexní projekty**, představuje novou příležitost pro financování projektů, které přispívají ke snížení emisí skleníkových plynů. Podporované aktivity zahrnují zavádění či výrobu inovativních technologií zejména v oblasti obnovitelných zdrojů energie, akumulace energie, ukládání a využití CO₂ a energeticky náročných výrob. Program cílí jednak na projekty, které uspějí v Inovačním fondu EU (viz výše) a jednak na komplexní projekty, které svým zaměřením přesahují rámce jednotlivých programů nebo v rámci účasti o podporu z evropských programů obdržely pečeť kvality „Sovereignty seal“ a výraznou měrou přispívají k modernizaci energetiky nebo energetickým úsporám, ale není možné je financovat prostřednictvím ostatních programů Modernizačního fondu. V případě projektů, které získají dotaci z Inovačního fondu EU, mohou být z programu I+ financovány výdaje, které netvoří inovativní části projektů, takže nejsou způsobilé z hlediska Inovačního fondu, ale jsou způsobilé z hlediska Modernizačního fondu.

Pokud by se jednalo o investiční podporu na rozvoj přepravní infrastruktury pro CO₂, dalším možným zdrojem financování by mohl být program č. 6 **SMARTNET Modernizace energetických soustav** z Modernizačního fondu. Ačkoli stávající podmínky tohoto programu zatím nepodporují přepravu CO₂, program je stále v přípravné fázi, a proto by mohlo být možné zvážit jeho úpravu.

8.1.2 TAČR

Program Technologické agentury České republiky (TAČR) s názvem **Prostředí pro život** spadá pod Ministerstvo životního prostředí. Tento program je zaměřen na podporu aplikovaného výzkumu a inovací v oblastech životního prostředí, ochrany klimatu a udržitelného rozvoje. Program by mohl být relevantní pro zpracování studií, jako je např. vytvoření mapy emitentů v návaznosti na CCUS technologie, kde by bylo možné financovat aplikační výzkum. V rámci programů TAČR by geologický průzkum pro CCUS, zahrnující technické práce jako jsou vrtné práce, geofyzikální měření, hydrogeologické průzkumy a pod. mohl být teoreticky zařazen. Nicméně náklady na geologický průzkum výrazně přesahují běžné finanční limity projektů podporovaných TAČR, takže by jejich financování z prostředků TAČR nebylo pravděpodobně reálné.

9. NAPLŇOVÁNÍ AKČNÍHO PLÁNU

Opatření v AP CCUS jsou rozdělena do následujících kategorií:

- A) Politická opatření
- B) Regulatorní opatření
- C) Sdílení znalostí, zapojení stakeholderů
- D) Věda a výzkum
- E) Financování CCUS.

Financování opatření bude zajištěno ve stávajících kapitolách zapojených ministerstev, vypsání dotačních titulů a vědeckých projektech.

A) POLITICKÁ OPATŘENÍ

1. Navázat spolupráci se sousedními státy na rozvoji přepravní infrastruktury CO ₂ i pro možné využití zahraničních lokalit pro ukládání CO ₂	
Popis	Vést aktivní diplomatická jednání se sousedními státy za účelem usnadnění vzniku strategických přeshraničních projektů přepravy CO ₂ . V minulosti se v případě vodíkových projektů vyplatilo uzavření neformálních dohod (Memorandum of understanding). Bez předchozích diplomatických jednání je nepravděpodobné, že se ČR podaří prosadit nějaký projekt společného zájmu (PCI). Zároveň vést aktivní diplomatická jednání s dalšími vybranými státy za účelem využití zahraničních offshore úložišť.
Gestor	MŽP
Spolupráce	MPO, MZV
Termín	2026
Kritéria plnění	Uskutečněná bilaterální jednání se sousedními státy. Příprava a podpis memorand o porozumění s vybranými státy. Příprava společné studie o možnostech infrastruktury pro přepravu CO ₂ .

B) REGULATORNÍ OPATŘENÍ

1. Implementovat, pravidelně vyhodnocovat a aktualizovat Akční plán rozvoje CCUS technologií v ČR	
Popis	Akční plán rozvoje CCUS vytváří strategický rámec pro technologie zachytávání, přepravy, využívání a ukládání CO ₂ v České republice a definuje plány na jejich podporu a rozvoj ve všech částech hodnotového řetězce. Akční plán bude pravidelně aktualizován.
Gestor	MŽP
Spolupráce	Gestoři opatření
Termín	Každý rok
Kritéria plnění	Vyhodnocení akčního plánu jednou za rok.

2. Identifikovat potřebné legislativní změny za účelem usnadnění rozvoje CCUS	
Popis	Vytvořit ad hoc skupinu expertů, která provede analýzu stávající legislativy (včetně analýzy přístupů okolních států) a definuje nutné legislativní úpravy pro usnadnění rozvoje zařízení a infrastruktury na zachytávání, přepravu, využití a ukládání CO ₂ . Bude třeba vytvořit komplexní legislativní rámec, který zajistí urychlení výstavby zařízení pro zachytávání, využití a ukládání CO ₂ , a výstavbu liniových staveb včetně přepravy CO ₂ . Identifikace příslušných právních předpisů a komplexní souhrn návrhů změn bude výstupem zřízené expertní skupiny. Mezi zákony, které budou předmětem analýzy, patří např. zákon č. 283/2021 Sb., stavební zákon, nebo zákon č. 416/2009 Sb., liniový zákon. Skupina bude také

	analyzovat možnosti, jak rozšířit stávající právní úpravu vztahující se k plynárenské infrastruktuře také na oblast přepravy CO ₂ .
Gestor	MŽP
Spolupráce	CO2CZ, SPČR, HK, průmyslové svazy, NET4GAS, ČPS
Termín	2025
Kritéria plnění	Setkání expertní skupiny pro legislativní analýzu. Vypracování návrhu legislativních změn pro urychlení výstavby CCUS infrastruktury.

3. Rozvoj CCUS technologií začlenit do dalších strategických dokumentů v oblasti klimatu a energetiky a do související legislativy

Popis	V rámci pravidelných aktualizací strategických dokumentů (POK, NEKP, SEK aj.) i novelizací relevantní legislativy (POZE, Energetický zákon, Stavební zákon aj.) budou zohledněny nejnovější poznatky a požadavky na uplatnění technologií CCUS.
Gestor	MŽP, MPO
Spolupráce	
Termín	Průběžně dle potřeby
Kritéria plnění	Podané připomínky v rámci MPŘ k relevantním dokumentům za Národní platformu.

4. Vydat vládní nařízení k finančnímu zabezpečení podle § 15 zákona č. 85/2012 Sb. o ukládání oxidu uhličitého do přírodních horninových struktur

Popis	Žadatel o povolení provozu úložiště oxidu uhličitého je povinen prokázat, že je schopen poskytnout vhodné finanční zabezpečení, které zahrnuje „finanční zabezpečení rizik“ a „finanční rezervu.“ Způsob vytváření finančního zabezpečení a čerpání peněžních prostředků z finančního zabezpečení stanoví vláda nařízením, které však doposud nebylo vydáno.
Gestor	MŽP
Spolupráce	
Termín	2025
Kritéria plnění	Vypracované a řádně prokonzultované opatření vč. dopadové analýzy.

5. Spolupracovat s Evropskou komisí na přípravě evropského regulačního balíčku pro přepravu CO₂ a na přípravě budoucí evropské legislativy týkající se CCU

Popis	Ve sdělení Komise o průmyslovém hospodaření s uhlíkem (COM(2024) 62 final) z února 2024 Komise zveřejnila záměr připravit regulační balíček, který se bude zabývat otázkami, jako je struktura trhu a nákladů, přeshraniční integrace a plánování, technická harmonizace a investiční pobídky pro novou infrastrukturu, přístup třetích stran, příslušné regulační orgány, regulace tarifů a modely vlastnictví. Česká republika bude v rámci expertních skupin Evropské komise spolupracovat na přípravě této legislativy. ČR také naváže na nizozemskou iniciativu „Společné prohlášení o balíčku evropské politiky udržitelného snižování emisí uhlíku pro chemický průmysl,“ ke které se v roce 2024 připojila a bude spolupracovat s ostatními členskými státy a s Evropskou komisí na vzniku evropské legislativy, která se bude věnovat tématům vytváření trhu pro udržitelné výrobky, pobídkami k nahrazení fosilního uhlíku udržitelnými alternativami, zajištěním rovných podmínek a ochranou výrobních kapacit v Evropě, strategií dostupnosti udržitelného uhlíku aj.
Gestor	MŽP, MPO
Spolupráce	
Termín	2025

Kritéria plnění	Aktivní účast ČR na expertních skupinách EK. Spolupráce na společném prohlášení s ostatními ČS a předložení tohoto prohlášení Evropské komisi v roce 2025.
-----------------	---

6. Vymezit základní kvalitativní parametry CO ₂ pro interoperabilitu sítí a úložišť CO ₂ (EU i národní úroveň)	
Popis	Činnost v oblasti normalizace by se měla zabývat otázkami, jako je složení, čistota, tlak, vlhkost a teplota toků CO ₂ . Ve Sdělení o průmyslovém hospodaření s uhlíkem Komise formuluje také potřebu vytvořit společné pokyny týkající se „náhodně přidružených látek ze zdroje či procesu zachytávání nebo injektáže“, které lze akceptovat v povoleních k ukládání CO ₂ . Popis opatření: spolupracovat s Evropskou komisí a evropskými normalizačními orgány na stanovení minimálních norem pro toky CO ₂ i na společných pokynech pro náhodně přidružené látky.
Gestor	MPO
Spolupráce	MŽP, Česká agentura pro standardizaci, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, NET4GAS, CO2CZ, ČBÚ
Termín	2027
Kritéria plnění	Aktivní účast na mezinárodních jednáních o standardizaci CO ₂ parametrů Zpracování a schválení technických norem.

C) SDÍLENÍ ZNALOSTÍ, ZAPOJENÍ STAKEHOLDERŮ

1. Ustavit národní platformu pro CCUS, která by se stala poradním orgánem ministerstev zapojených do diskuse k dekarbonizaci českého průmyslu.	
Popis	MŽP zřizuje Národní platformu pro CCUS, která usnadní aktivní a užší spolupráci zainteresovaných stran v CCUS v ČR, zejména průmyslových svazů, vědeckých institucí a akademické sféry, vč. iniciativy CO ₂ Czech Solution Group. Národní platforma se zřizuje jako poradní orgán ministerstev pro uplatnění technologií CCUS v celém hodnotovém řetězci. Jedním z jejích důležitých zadání je dosažení společenské přijatelnosti CCUS. V rámci platformy mohou vzniknout i ad hoc pracovní skupiny pro aktuální témata a pro otázky implementace Akčního plánu. MŽP ustanovuje koordinátora pro rozvoj CCUS v ČR, který vede Národní platformu, zajišťuje koordinaci CCUS aktivit v ČR, dohlíží nad integritou CCUS strategie a následně jejího naplňování. Je garantem toho, že při aplikaci CCUS v ČR budou minimalizovány duplicity, protichůdná opatření a časové prostoje.
Gestor	MŽP, MPO
Spolupráce	CO ₂ Czech Solution Group, průmyslové svazy, SPČR, N4G, ČPS, ČGS, univerzity, NNO
Termín	2025
Kritéria plnění	Ustavení národní platformy pro CCUS do konce roku 2025, včetně jmenování. Organizace minimálně jednoho pracovního setkání ročně.

2. Aktivně se zapojit do mezinárodních platform a organizací zabývajících se CCUS	
Popis	Vybraní zástupci z řad českého průmyslu, ČGS či CO ₂ Czech Solution Group by měli zvážit aktivní účast v některé z následujících platform: • EU Zero Emissions Platform • CO₂ Value Europe • IEA Greenhouse Gas R&D Programme MŽP by mělo delegovat zástupce do iniciativy Industrial Carbon Management Forum (dříve CCUS Forum) a zvážit účast na některých jeho pracovních skupinách: • WG on CO₂ infrastructure • WG on CO₂ standards

	• WG on public perception • WG on Carbon capture and utilisation (CCU) MPO by mělo zintenzivnit zapojení do pracovní skupiny IWG9 v rámci EU SET-plan a hrát aktivnější roli v Carbon Sequestration Leadership Forum
Gestor	MŽP
Spolupráce	CO ₂ Czech Solution Group, MPO, průmyslové svazy, ČGS, ČPS,
Termín	2025
Kritéria plnění	Zajištění účasti ČR alespoň na dvou klíčových mezinárodních platformách. Delegování zástupců ČR do jmenovaných pracovních skupin. Reportování o aktivitách skupin na jednání Národní platformy.

D) VĚDA A VÝZKUM

1. Definovat klastry emitentů CO₂ v ČR

Popis	Definovat klastry emitentů CO₂ na území ČR s vazbou na CCUS. Vytvořit mapu, která by usnadnila plánování přepravní infrastruktury i formulování priorit ČR v oblasti dekarbonizace hard-to-abate sektorů. Součástí bude i prognóza budoucích potřeb zachytávání CO₂ za jednotlivé sektory se zohledněním specifik každého sektoru. Výše nákladů na toto opatření bude v řádu statisíců až jednotek milionů Kč v závislosti na rozsahu prací a vysoutěžené ceny. Pokrytí nákladů je předpokládáno ze stávajících dotačních titulů.
Gestor	MŽP
Spolupráce	MND, CO ₂ Czech Solution Group, SPČR, NET4GAS, MPO
Termín	2027
Kritéria plnění	Vytvoření mapy hlavních klastrů emitentů.

2. Zhotovit studii přepravní infrastruktury CO₂ v ČR

Popis	Zhotovit studii proveditelnosti přepravní soustavy pro CO₂ v České republice. Obsahem studie bude: – analýza budoucího možného konceptu infrastruktury potřebného pro přepravu CO₂ v ČR a jejího trasování včetně přeshraničních propojů, – odhad potřebné přepravní kapacity CO₂ a – vyhodnocení technickoekonomické proveditelnosti. – Zpracování dopadů na životní prostředí s cílem vyhnout se střetu s chráněnými zájmy podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů. Studie bude odpovídat potřebám zachytu residuálních CO₂ emisí v dekarbonizovaném systému ČR, tranzitním požadavkům a dostupným / plánovaným kapacitám pro ukládání v ČR i zahraničí. Součástí výstupu studie může být i návrh sítě sběrných uzlů jako zásadní informace pro emitenty. Výše nákladů na toto opatření bude v řádu statisíců až jednotek milionů Kč v závislosti na rozsahu prací a vysoutěžené ceny. Pokrytí nákladů je předpokládáno ze stávajících dotačních titulů.
Gestor	MŽP, MPO
Spolupráce	NET4GAS
Termín	2025
Kritéria plnění	Dokončení studie proveditelnosti přepravní soustavy pro CO ₂ .

3. Spolupracovat s Evropskou komisí a dalšími členskými státy EU na přípravě Investičního atlasu potenciálních úložišť CO₂	
Popis	Ve sdělení o průmyslovém hospodaření s uhlíkem (COM(2024) 62 final) Komise představila záměr vytvořit do začátku roku 2026 digitální soupis podzemních úložišť CO ₂ , který bude vycházet z práce v oblasti evropských geologických průzkumů. Každé potenciální úložiště bude označeno podle „úrovně připravenosti k ukládání“ a spárováno s veřejnými údaji, aby se urychlila práce na identifikaci a posouzení kapacit pro ukládání.
Gestor	ČGS
Spolupráce	MŽP
Termín	2025
Kritéria plnění	Aktivní účast ČR na přípravě atlasu a včasné dodání relevantních dat.

4. Vytvořit databázi geologických struktur, kde by v ČR mohla být provozována úložiště	
Popis	Toto opatření je realizováno v rámci povinného reportingu podle nařízení o průmyslu pro nulové čisté emise (NZIA). Příslušné datové soubory budou zveřejněny na webu ČGS. ČGS zároveň spolupracuje s Komisí na přípravě celoevropského Investičního atlasu úložišť. Atlas bude sloužit jako podklad pro rozhodování investorů v oblasti CCUS. Financování tohoto opatření v řádu statisíců Kč je zajištěno z již schváleného rozpočtu ČGS a z probíhajících evropských projektů.
Gestor	ČGS
Spolupráce	MŽP
Termín	2025 - 2027
Kritéria plnění	Zpracování a zveřejnění požadovaných dat.

5. Zpřesnit odhady úložné kapacity v lokalitách předběžně vytipovaných pro možná úložiště	
Popis	Veškerý dosud uváděný potenciál úložišť v ČR odpovídá objemové kapacitě. Přesnost tohoto objemového výpočtu závisí na úrovni znalosti jednotlivých objektů, která zejména v případě slaných akviferů je poměrně nízká. Ke zjištění realistické úložné kapacity je třeba provést cílený geologický/geofyzikální průzkum na stanovených příslušných průzkumných územích (dnes není stanoveno žádné), který by měl probíhat pod supervizí ČGS/MŽP. Takový průzkum bude spojen s nemalými náklady a bude zatížen vysokým průzkumným rizikem. V implementačním období tohoto Akčního plánu 2025-2027 je předmětem opatření výzkumná činnost, jejímž cílem je připravit metodiky využitelné při budoucí realizaci geologického průzkumu na stanovených územích, případně i pro proces povolení úložiště a jeho provoz. Výše nákladů na toto opatření bude v řádu statisíců až jednotek milionů Kč v závislosti na rozsahu prací a vysoutěžené ceny. Pokrytí nákladů je předpokládáno ze stávajících dotačních titulů. Termín 2027 je indikativní pro první fázi tohoto opatření – zadání výzkumných témat.
Gestor	ČGS
Spolupráce	MŽP
Termín	2027
Kritéria plnění	Navržena výzkumná témata pro ČGS

E) FINANCOVÁNÍ CCUS

1. Nalézt vhodný dotační titul k provedení studie přepravní infrastruktury v ČR	
Popis	Je předpokladem k zhotovení studie zabývající se budoucím konceptem infrastruktury potřebné pro přepravu CO ₂ v ČR (opatření D2).
Gestor	MŽP, MPO
Spolupráce	NET4GAS

Termín	2025
Kritéria plnění	Podání žádosti o financování na identifikovaný dotační titul.

2. Nalézt vhodný nástroj podpory provedení cíleného geologického/geofyzikálního průzkumu ke stanovení realistické úložné kapacity ČR

Popis	Opatření zahrnuje zmapování oblastí, které je třeba financovat v rámci přípravy a testování ukládání CO ₂ v ČR, a provázání těchto oblastí s finančními zdroji. Náklady na toto mapování budou pokryty z kapitoly MŽP, vypsanych dotačních titulů a vědeckých projektů.
Gestor	MŽP
Spolupráce	ČGS
Termín	2027
Kritéria plnění	Podání žádosti o financování na identifikovaný titul. Nebude-li titul identifikován, tedy návrh na vytvoření takového titulu.

PŘÍLOHA I - SEZNAM ZKRATEK

BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage) Zachytávání a ukládání biogenního uhlíku, alternativně bioenergie s ukládáním uhlíku

CAPEX: Investiční náklady.

CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism): Mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích EU.

CCFD (Carbon Contracts for Difference): Rozdílové smlouvy o uhlíku.

CCU (Carbon capture and utilization): Zachytávání a využití uhlíku.

CCUS (Carbon capture, utilization and storage): Zachytávání, využití a ukládání uhlíku.

CDR (Carbon Dioxide Removal): Technologie pro odstraňování oxidu uhličitého z atmosféry.

CINEA (European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency): Evropská výkonná agentura pro klima, infrastrukturu a životní prostředí.

ČGS: Česká geologická služba.

DAC (Direct air capture): Technologie pro přímé zachytávání CO₂ ze vzduchu.

DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage): Přímé zachytávání uhlíku ze vzduchu a jeho ukládání.

EOR (Enhanced oil recovery): Technologie pro zvýšení těžby ropy.

EOP (Electric Arc Furnace): Elektrická oblouková pec.

EU ETS: Evropský systém pro obchodování s emisemi.

LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry): Využívání půdy, změny ve využívání půdy a lesnictví.

MŽP: Ministerstvo životního prostředí.

MPO: Ministerstvo průmyslu a obchodu.

NECP: Vnitrostátní plán ČR v oblasti energetiky a klimatu.

NZIA (Net Zero Industry Act): Nařízení o průmyslu pro nulové čisté emise.

OPEX: Provozní náklady.

PCI (Projects of Common Interest): Projekty společného zájmu v rámci Evropské unie.

PMI (Projects of Mutual Interest): Projekty ve společném zájmu v rámci Evropské unie.

POK: Politika ochrany klimatu.

P2X (Power-to-X): Technologie pro přeměnu elektrické energie na jiné formy energie, například vodík, metan nebo metanol.

SEK: Státní energetická koncepce.

SET (Strategic Energy Technology Plan): Strategický plán EU pro energetické technologie.

SMR (Steam methane reforming): Parní reforming metanu.

TAČR: Technologická agentura České republiky.

ZEVO: Zařízení pro energetické využití odpadu.

PŘÍLOHA II – MECHANISMUS ZADRŽENÍ CO₂ V REZERVOÁRU

Po dopravení na místo úložiště je CO₂ pod tlakem **injektován do rezervoáru**. Injektážní tlak musí být vyšší než aktuální tlak přítomných fluid. Počet injektážních vrtů a rychlost zatlačení závisí na konkrétních vlastnostech horniny, tlak v žádném případě nesmí překročit mezní tlak pro narušení integrity horniny a nadložního těsnění. Postup injektáže a pohyb CO₂ v rezervoáru je předmětem dynamického modelování ložiskového objektu.

Po injektáži do rezervoáru začne CO₂ vyplňovat póry v hornině, kde už se ve většině případů nachází slaná voda (solanka).

Vzhledem k tomu, že vtláčený superkritický CO₂ je o něco lehčí než přítomná slaná voda, má tendenci stoupat vzhůru a jeho část se přesune do horní části úložiště, kde je zadržena pod nepropustnou těsnicí horninou, která funguje podobně jako izolátor („poklička“). Ve většině přírodou vytvořených systémů se mezi rezervoárem a zemským povrchem nachází větší množství takových bariér. Taková akumulace CO₂ se nazývá strukturní zadržení.

Část CO₂ může uvíznout ve velmi drobných pórech, jde o takzvané zbytkové, či reziduální zadržení. Reziduální zachycení se týká malých pórů, které fyzikálně neumožní další vertikální pohyb CO₂. Takto se zachytí několik procent vtláčeného objemu, v závislosti na vlastnostech porozity rezervoáru.

V průběhu času se malá část injektovaného CO₂ rozpustí v přítomné solance (zadržení pomocí rozpouštění). Důsledkem je, že výsledný roztok je těžší, než okolní voda a má tendenci se pohybovat ke dnu rezervoáru. Množství rozpuštěného CO₂ je omezeno maximální koncentrací roztoku. Tyto procesy jsou relativně pomalé.

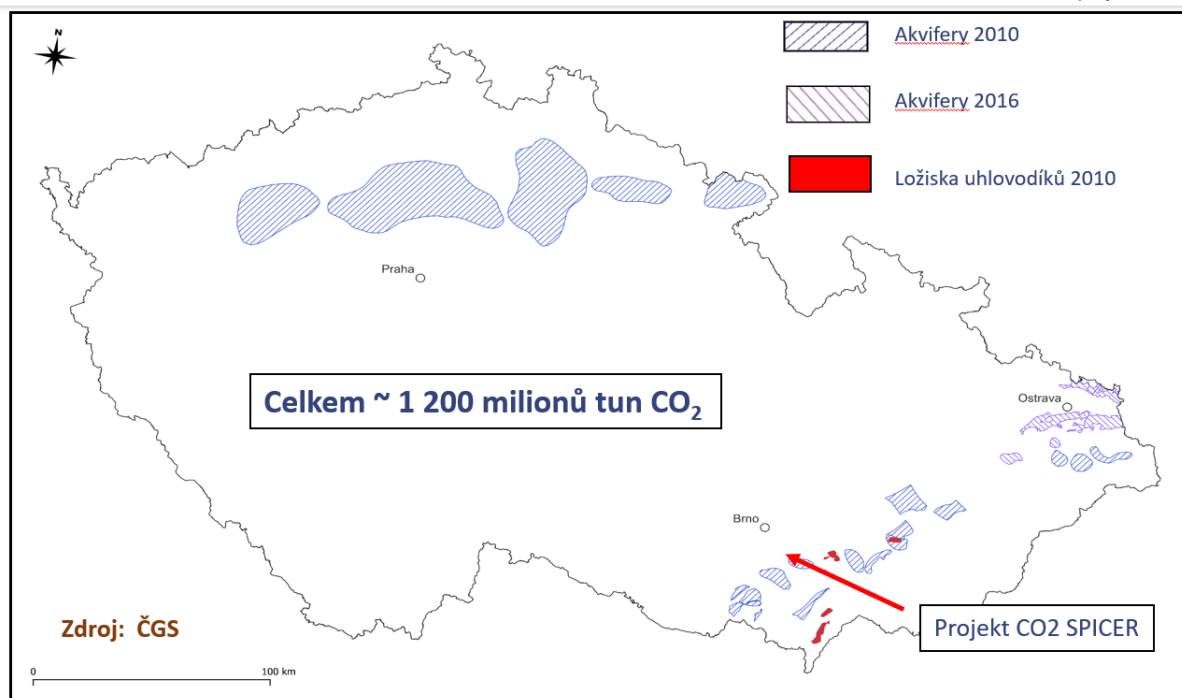
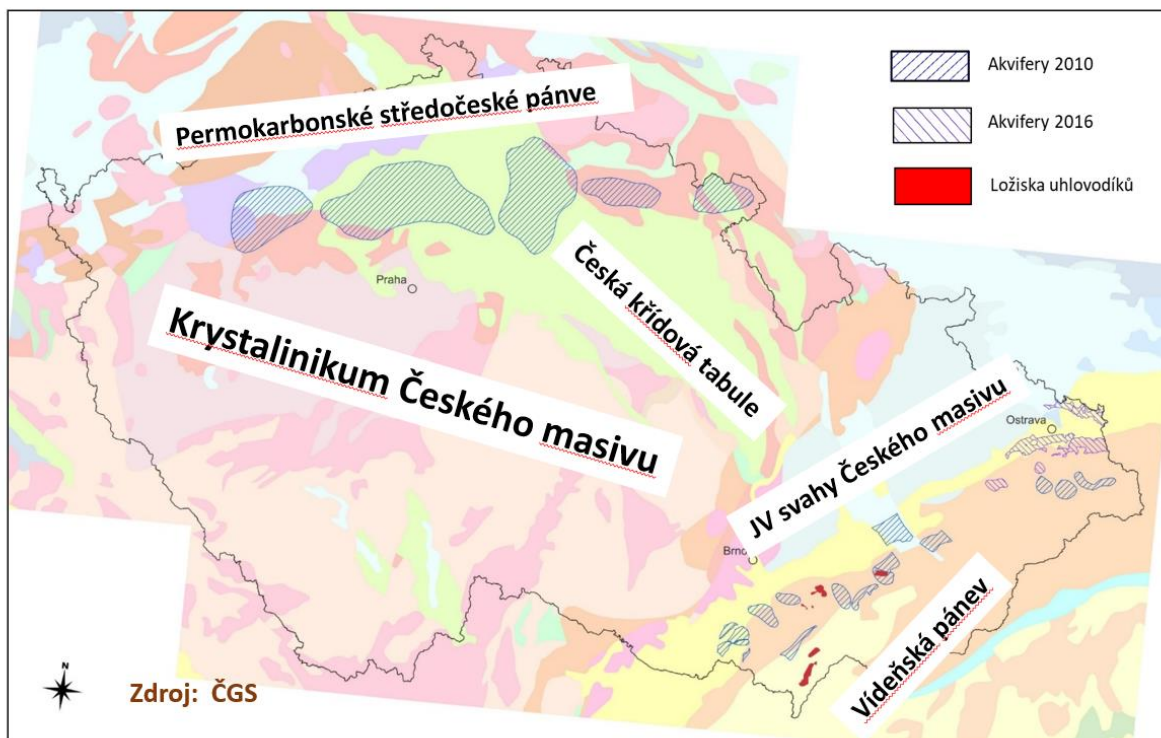
Finálním typem zadržení jsou reakce rozpuštěného CO₂ spolu se solankou a s minerály tvořícími horniny úložiště, při nichž se tvoří nové minerály. Některé minerály se mohou rozpustit, jiné se naopak vysráží, hlavně v závislosti na pH a minerálním složení horninového prostředí. Tomuto procesu říkáme mineralizace (či minerální zadržení).

Vývoj formy přítomnosti CO₂ v rezervoáru byl modelován na citovaném výše ložisku Sleipner v Norsku, kde desítky let probíhá ukládání CO₂ separovaného z těžného zemního plynu. Předpokládá se, že po uplynutí 10 000 let by 95 % mělo být rozpuštěno, 5 % zachyceno v minerálech a ve fázi superkritické tekutiny by neměl zůstat žádný CO₂.

9 PŘÍLOHA III –PROJEKTY V OBLASTI CCS

PROJEKTY CCS V ČESKÉ REPUBLICE

Výzkumu v oblasti CCS se od roku 2003 věnuje Česká geologická služba (ČGS). V rámci aplikace metodických principů uvedených výše byly pro průzkumné práce vybrány středočeské limnické permokarbonské pánve a sedimentární struktury jihovýchodních svahů Českého masivu a Vídeňské pánve (dále karpatská oblast) (viz následující obrázky).



První odhady úložné kapacity na území ČR pro slané akvifery, ložiska uhlovodíků i uhlénné sloje byly stanoveny v rámci řešení projektu EU Castor v roce 2003 na 2,6 - 3,8 Gt CO₂.

Významným přínosem pro metodiku výpočtu úložné kapacity byl projekt EU GeoCapacity (6. rámcový program EU, 2006 - 2009), kde byla mj. určena kritéria pro úložné kapacity akviferů podle stupně jejich uzavřenosti. Pro slané akvifery celé ČR byla stanovena objemové úložná kapacita ve výši 766 Mt.

Na zachytávání CO₂ byl primárně orientován Projekt FR-TI1/379 Výzkum a vývoj metod a technologií zachycování CO₂ v elektrárnách na fosilní paliva a ukládání do geologických formací v podmínkách ČR. Projekt byl realizován v letech 2009 - 2013 za finanční podpory MPO ČR.

Projekt TOGEOS (Norské fondy, 2009-2010) byl zaměřen především na multikriteriální **analýzu středočeských permokarbonských pánví** s ohledem na vybudování úložiště CO₂. Součástí projektu byla simulovaná injektáž CO₂ do roudnické pánev. Vzhledem k nízké permeabilitě rezervoárů se ukázalo, že využití kapacity pánví středočeského permokarbonu bude vyžadovat vysoký počet horizontálních vrtů. Jakékoli další zpřesnění uvedené kapacity nelze činit bez získání nových dat z průzkumného vrtání a specializovaného geofyzikálního měření.

V souvislosti s implementací směrnice EU 2009/31/ES do české legislativy objednalo MŽP ČR roce **2010 u ČGS** studii: „Current status, assessment and comparison of previous work and application of methodology for characterisation of potential CO₂ storage sites“ (Hladík, Kolejka, Paleček, 2010). Po zohlednění výsledků projektů GeoCapacity a TOGEOS byla celková **objemová kapacita ČR stanovena na 853 Mt**, z toho akvifery středočeských pánví a karpatské oblasti činily 766 Mt, ložiska uhlovodíků 33 Mt a uhelné sloje 54 Mt CO₂.

Evropská komise poté financovala projekt **CO₂Stop** (2012-13) za účasti 27 zemí, za ČR se účastnila ČGS. Výsledkem bylo včlenění vybraných geologických jednotek a struktur do celoevropské databáze potenciálu ukládání CO₂.

Projekt REPP-CO2 (norské fondy, 2015 - 2016, hlavní příjemce ČGS) byl zaměřen na přípravu pilotního projektu ukládání CO₂ do vytěženého ložiska uhlovodíků ve Vídeňské pánvi. Kvůli problémům možného rozšíření potenciálního úložiště na území Slovenska nebyla lokalita navržena k dalšímu rozvoji. V rámci projektu REPP-CO2 dále došlo rebilanci objemové úložné kapacity s vyčleněním nových struktur v karpatské oblasti. Celková kapacita akviferů vzrostla na **1140 Mt CO₂**.

Projekt ENOS (program Horizon 2020, 2016 - 2020) identifikoval legislativních bariéry, přeshraniční spolupráci a možnosti druhotných těžebních metod pro ropu (EOR) s použitím CO₂ ve Vídeňské pánvi.

Současný projekt **CO₂-SPICER** podpořený grantem Norska a Technologické agentury České republiky (2020 - 2024, hlavní příjemce ČGS, dále se účastní MND, VŠB a GFÚ AVČR a norský partner NORCE) je zaměřený na přípravu pilotního ukládání CO₂ do ložiska uhlovodíků v karbonátových horninách na JV Moravě (Obr 10). Projekt je koncipován tak, aby vyhověl požadavkům platné legislativy (zákon č. 85/2012 Sb.). Jeho jednotlivé části (work packages, WPs) jsou zaměřeny na tematické požadavky zákona. Charakteristika úložného komplexu a shromáždění relevantních údajů o potenciálních střetech zájmů je řešena ve WP1, vytvoření 3D statického geologického modelu úložiště ve WP2 a dynamické modelu ve WP3. Dalšími tématy jsou zhodnocení geomechanických (WP4) a geochemických parametrů hornin úložiště a krycích hornin (WP5), zhodnocení rizik v případě potenciálního úniku CO₂ na povrch a do atmosféry (WP6) a vypracování plánu monitoringu podle zákona (WP7). Nad rámec zákona, hodnotí WP8 scénáře dalšího potenciální rozvoje úložiště v návaznosti na blízké zdroje emisí CO₂.

Významným přínosem projektu CO2-SPICER je v kontinentální Evropě výjimečná praktická zkušenost řešitelů s celým procesem studia geologického objektu. Výsledky projektu tak mohou být využity k úspěšnému podání žádosti o povolení provozu úložiště na pověřený orgán státní správy.

Nevyřešeným, bohužel, zůstává uskutečnění pilotního zatlačení CO₂ paradoxně z důvodu aktuální nedostupnosti CO₂ mimo komerční zdroje.

ČGS je rovněž zapojena do projektu **GSEU (Geologická služba pro Evropu, 2022-2027)**. Na projektu financovaném z programu Horizon spolupracují desítky evropských geologických organizací a navazují na výsledky předchozího evropského projektu GeoEra z let 2017-2022. V rámci tématu geoenergií se mimo jiné vytváří integrovaná celoevropská databáze kapacit potenciálních úložišť CO₂, včetně jejich kvantitativních a kvalitativních parametrů.

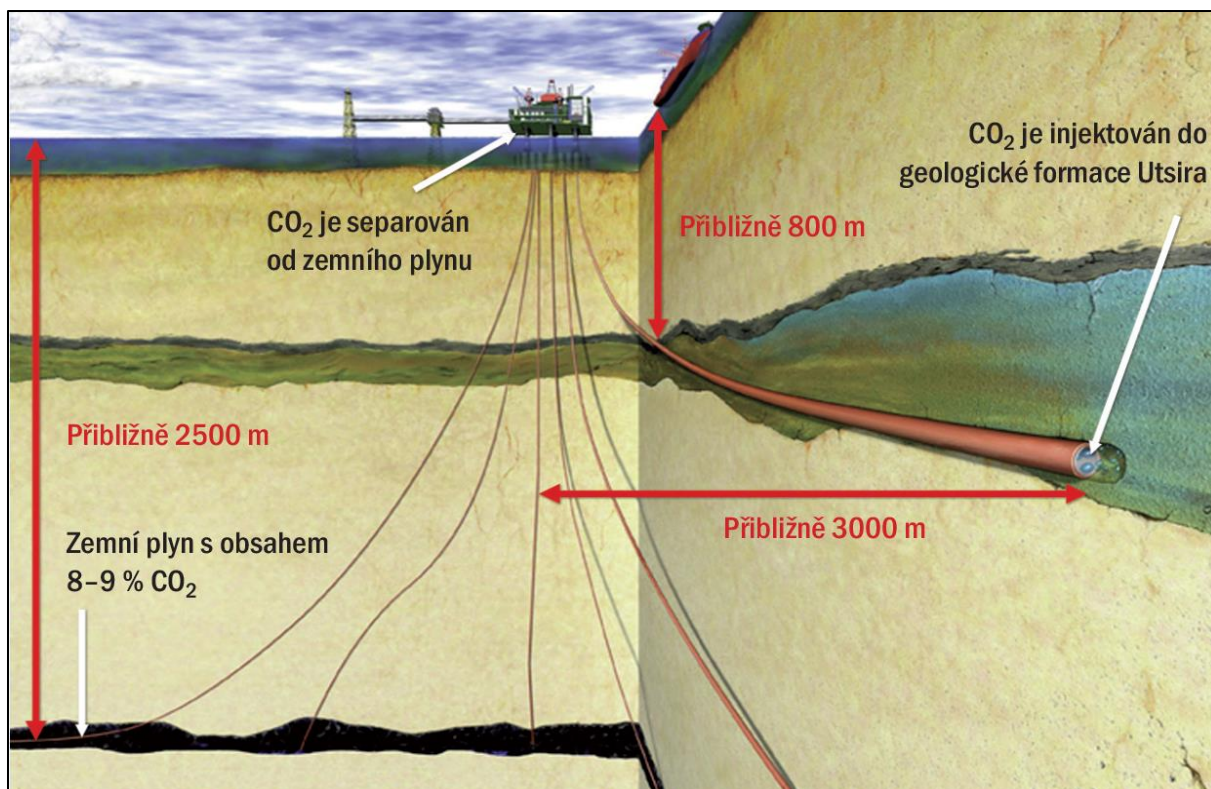
V lednu 2024 byl zahájen ambiciózní 4-letý projekt **COREu** také financovaný programem Horizon (Call HORIZON-CL5-2023-D3-01), který cílí na urychlení přechodu na nízkouhlíkovou budoucnost spojenou s rozvojem CCS, tedy propojení emitentů s úložišti, podporu v oblasti výzkumu a inovací při zachytu, transportu a ukládání CO₂ v regionech jižní a centrálně-východní Evropy. Projekt spojuje více jak 40 partnerů z oblasti technologií, provozovatelů plynovodních sítí, přepravních společností, výzkumných institucí a univerzit. Za Českou republiku se konsorcia účastní ČGS, MND a Unigeo.

Projektem v přípravě je **CCS Moravia** (MND, Heidelberg Materials), potenciálně financovaný Inovačním fondem EU. Jedná se o full-chain projekt zahrnující zachytávání u průmyslového zdroje pomocí kryogenní technologie, transport speciálně vybudovaným produktovodem a uložení CO₂ do akviferů jihovýchodní Moravy s kapacitou projektu až 20 mil. tun. Roční úložná kapacita je stanovena na 800 000 tun CO₂.

Společnost **GasNet** v současné době připravuje projekt na zachytávání uhlíku v pevné formě a jeho využití v průmyslu (**pyrolýza metanu**). Pomocí této technologie se uhlík v pevné formě oddělí od plynu nebo bioplynu, žádné CO₂ ani jiná uhlíkatá sloučenina neuniká do atmosféry. Zachytávání uhlíku je zajištěno prostřednictvím sazí. Tento vedlejší produkt ve formě lisovaného prášku, granulí nebo pelet má četné využití a aplikace: průmyslové (ocel, cement, asfalt, pneumatiky...), zemědělství (zlepšení půdy) nebo jako syntetická surovina pro průmyslovou výrobu (cirkulární ekonomika). Metanová pyrolýza je technologie, která je technicky připravena k implementaci (TRL7).

PROJEKTY CCS V EU A DALŠÍCH ZEMÍCH EVROPY

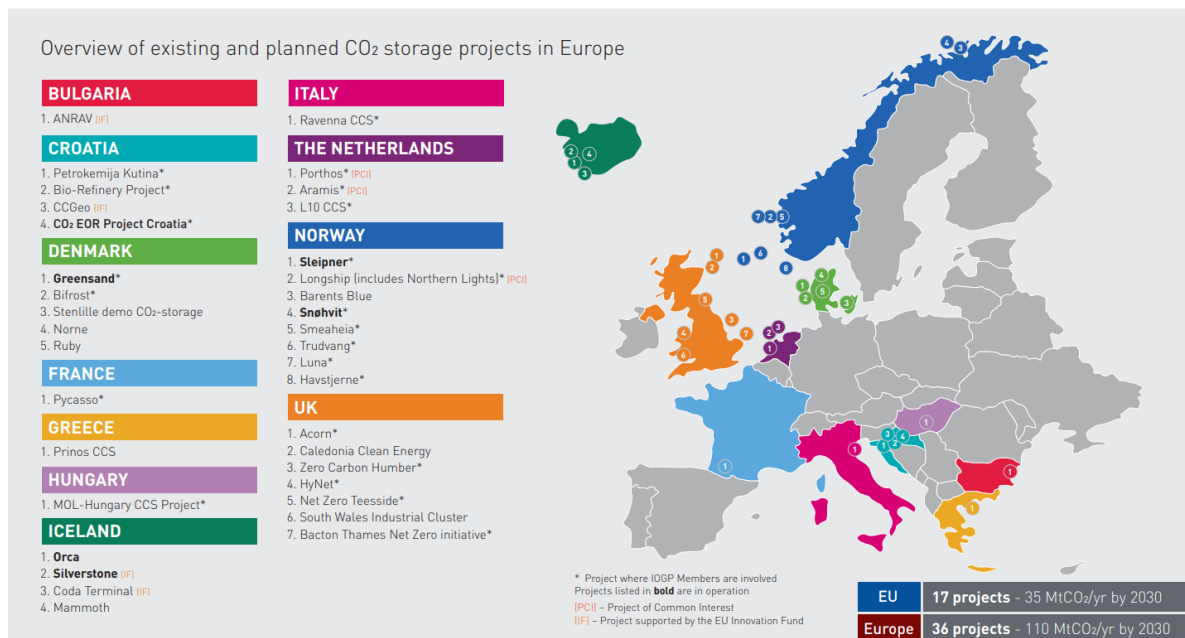
Prvními evropskými komerčními projekty technologie CCS jsou Sleipner (fungující od roku 1996) a Snøhvit (od roku 2008) oba operované společností Equinor s kombinovanou roční kapacitou přibližně 1,8 mil. tun CO₂ a objemem uloženého CO₂ do roku 2023 až 22 mil tun. Podstatou projektů je úprava těženého zemního plynu v norském sektoru Severního moře, který obsahuje přibližně 9 % CO₂. Po separaci a stlačení je CO₂ transportován potrubím a vtlačěn do přiléhajících vhodných pískovcových akviferů (násl. obrázek).



Lokality uvedených projektů jsou díky neustálým geologickým analýzám a pečlivému monitoringu jedny z nejprozkoumanějších na planetě. Zkušenosti se změnami odezvy geologických úložišť v průběhu zatlačení potvrzují, že každý takový projekt se musí vypořádat s unikátními přírodními podmínkami. Z toho vyplývá nezbytnost kontinuálního monitoringu a rozpočtování finančních rezerv pro neočekávané události jak během provozu úložiště, tak i po jeho ukončení.

Aplikací metody EOR v kontinentální Evropě je chorvatský projekt operovaný společností MOL. CO₂ je získáván ze zemního plynu a zatlačen do ropných ložisek Ivanič a Žlutica k podpoře těžby ropy (násl. obrázek).

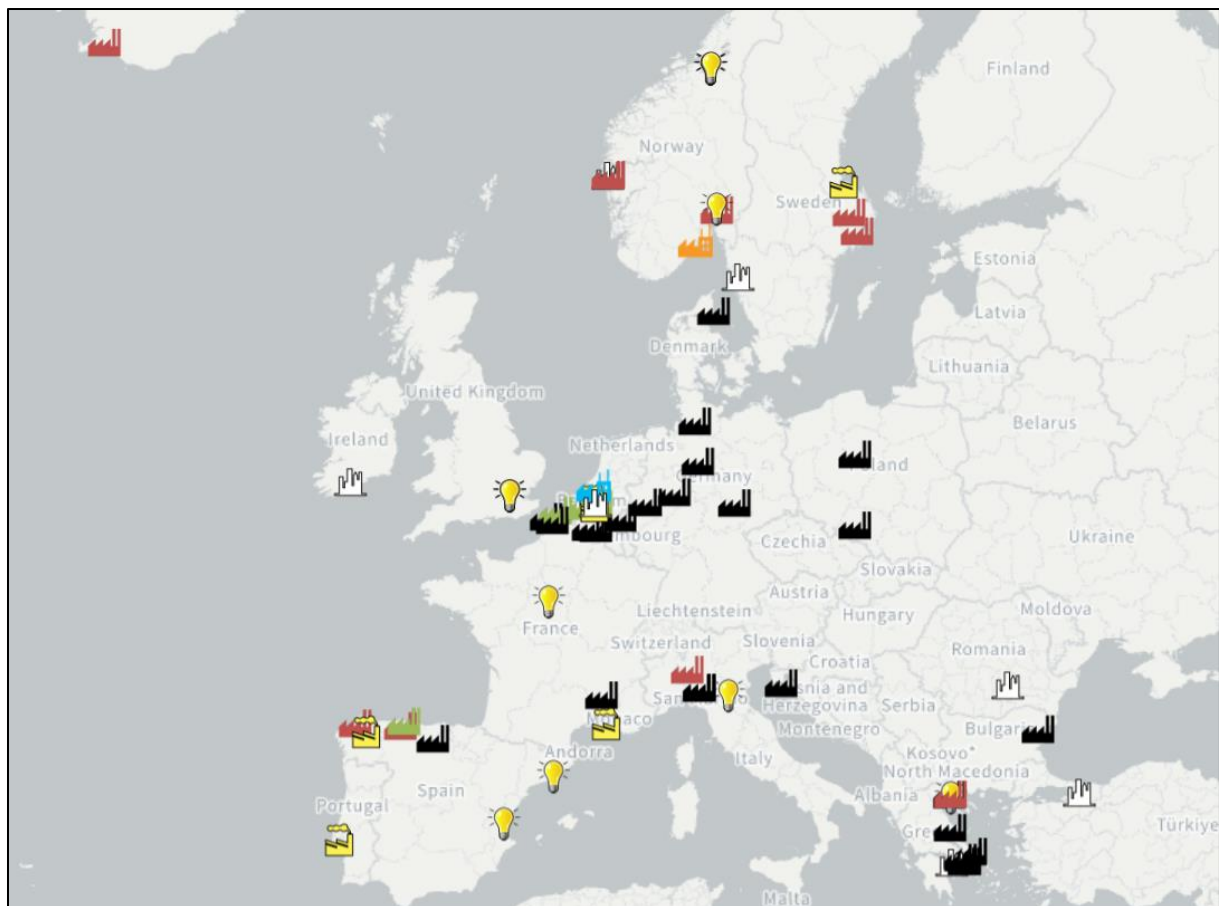
CO₂ storage projects in Europe



Zdroj: International Association of Oil and Gas Producers, 2023

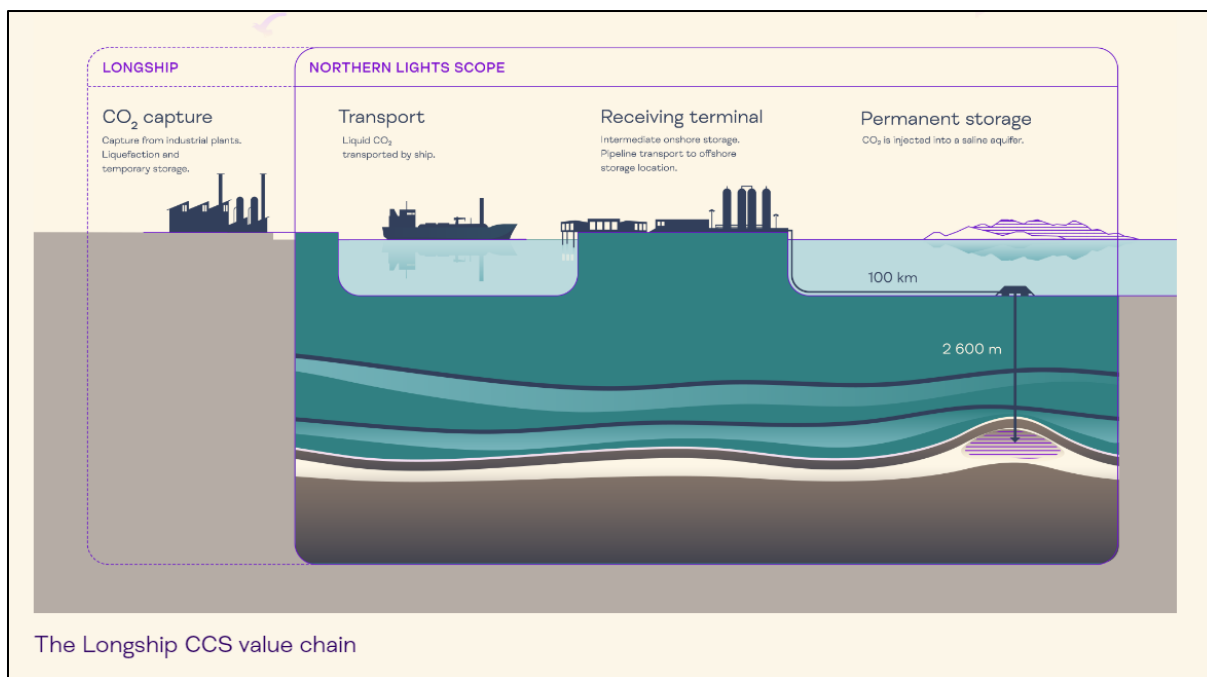
Ve stádiu pilotního projektu se od března 2023 nachází dánský projekt Greensand, vedený konsorciem dánských a mezinárodních společností a podpořený programem Energy Technology Development and Demonstration Program – EUDP. Greensand je první reálný evropský projekt spojení průmyslového zachytávání, transportu i ukládání CO₂. K zachytávání dochází v chemickém komplexu INEOS Oxide v Antverpách, poté je CO₂ tankerem transportován k uložení v dánském sektoru Severního moře ve vytěženém ropném ložisku Nini West 1800 m pod mořským dnem. Po úspěšné testovací fázi by projekt měl pracovat s roční kapacitou 8 mil. tun CO₂.

Od roku 2018 vybudovala Agentura CINEA (European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency) portfolio 98 projektů CCS/CCU o celkovém objemu podpory 4,03 mld EUR pro 573 příjemců z 41 zemí. Programy podílející se na financování zahrnují: the Connecting Europe Facility for Energy (CEF Energy), Inovační fond Fund (IF) a Horizon Europe.



Zdroj: CINEA, <https://cinea.ec.europa.eu/>

Nejpokročilejším projektem ukládání CO₂ je Northern Lights zaměřený na vybudování úložiště v norském sektoru Severního moře s roční kapacitou až 5 mil. tun CO₂, který zahájil činnost v roce 2024. Na projektu podporovaném norskou vládou se podílí ropné společnosti Equinor, Total a Shell. Projekt se skládá z vybudování přijímacího terminálu na norském pobřeží a následného potrubního transportu do úložiště ve vzdálenosti cca 100 km od pobřeží s úložnou hloubkou cca 2600 m. Úložiště budou na komerční bázi využívat emitenti z různých zemí a průmyslových podniků nebo spaloven odpadu.



Zdroj: <https://www.equinor.com/energy/northern-lights>

Další CCS terminál se díky podpoře EU buduje v blízkosti Rotterdamu na pobřeží Holandska. Projekt Porthos bude soustředit emise z průmyslové oblasti Porýní a Porúří a transportovat je potrubím k permanentnímu uložení ve vytěženém ložisku plynu cca 30 km od pobřeží. Spuštění projektu se očekává během roku 2026 s roční kapacitou až 2,5 mil. tun CO₂.

Infrastrukturu projektu Porthos hodlá využít projekt Aramis, kde se ve spolupráci společností TotalEnergies a Shell a státních nizozemských Energie Beheer Nederland (EBN) a Gasunieplánuje ukládání CO₂ ve vytěžených ložiscích plynu v Severním moři od roku 2028.

Bulharský projekt ANRAV se soustředí na vybudování zachytávání CO₂ v cementárně Devnya na pobřeží Černého moře (Heidelberg Materials) a transport do úložiště ve vytěženém plánovém ložisku v Černém moři. Zahájení provozu lze očekávat po roce 2028.

Heidelberg Materials dále získal podporu Inovačního fondu pro projekt GeZero, který předpokládá zachytávání až 700 000 tun CO₂ v německé cementárně Geseke, transport na pobřeží a spolu se společností Wintershal Dea uložení v lokalitách Severního moře. Zahájení výstavby zachytávání v cementárně se očekává v roce 2026.

Z hlediska České republiky je zajímavý polský projekt z Inovačního fondu GO4EcoPlanet v cementárně Kujawy. Projekt si klade za cíl dekarbonizaci cementářského provozu a zachytávání až 95 % produkovaného CO₂, který bude transportován do úložišť v Severním moři.

V Chorvatsku EU financuje CCGeo projekt, který hodlá kombinovat výrobu elektřiny a tepla s využitím geotermální energie. CO₂ obsažený v geotermálních roztocích bude ve výsledku vtlačěn zpět do zdrojového souvrství.

Zajímavým projektem je onshore ukládání CO₂ v rámci projektu CODA na Islandu také financované Inovačním fondem. Principem je uložení CO₂ do bazaltových hornin s výsledkem tvorby stabilních karbonátových minerálů.

Projekty ukládání CO₂ do slaných akviferů v kontinentální Evropě dosud nebyly realizovány a žádný z plánovaných projektů ukládání antropogenního CO₂ nepokročil do demonstrační fáze.