

Rešerše technologie výroby biouhlu jako součást komplexních klimatických opatření měst v ČR a Evropě

PRA HA
PRA GUE
PRA GA
PRA G

CIRK
USC

Rešerše technologie výroby biouhlu jako součást komplexních klimatických opatření měst v ČR a Evropě

Datum zpracování: červen 2025

Objednávka č. OBJ/54/10/024847/2025 Analýza technologických možností výroby biouhlu jako součást komplexních klimatických opatření měst v ČR a Evropě

OBJEDNATEL

Hlavní město Praha
Odbor ochrany prostředí
Magistrát hl. m. Prahy
Mariánské náměstí 2
110 01 Praha 1
Všechna práva vyhrazena.
adaptacepraha.cz



ZPRACOVATEL

Cirkus C (Biouhlírna, s.r.o.)
Ing. Vilém Řiháček
Bc. Šimon Vantuch
Ing. Ondřej Suchomel
Sára Howesová

KONTAKT NA ZPRACOVATELE

kontakt na zpracovatele:
biouhel@cirkusc.cz, tel.:
+420721800559, www.cirkusc.cz

Obsah

- 6 1. Shrnutí**
- 8 2. Úvod**
- 10 3. Zadání, metodika zpracování**
- 14 4. Biouhel a pyrolýzní technologie – základní pojmy**
O biouhlu
O pyrolýze
Slovníček pojmů
- 18 5. Přehled sériově vyráběných zařízení dostupných v EU**
Carbonauten
Pyreg
Polytechnik
Stiesdal
3R-BioPhosphate Ltd.
AquaGreen
Pyronet
Syncraft
Biogreen / Vow / Circular Carbon GmbH
BIOMACON
Carbo-FORCE
Carbofex
Carbon Technik Schuster
Next Generation Elements
3R Systems
Airex Energy
Eqtec
Xylergy
Haffner Energy
MASH Makes
Meva Energy
PyroCore
SOLER Group
BCHAR
Carbo Culture
SPSC GmbH
PyroGenesys LTD
- WoodTek Biochar
TorrCoal
SKANSKA /The CharMaker
Envigas
OZEN Sp. z o.o.
Doplnění – světová scéna
Stručné shrnutí kapitoly
- 46 6. Trendy a perspektivy ve vývoji pyrolýzních zařízení**
Customizace
Modularita
Kombinace benefitů
Stručné shrnutí kapitoly
- 50 7. Příklady fungujících pyrolýzních zařízení v Evropě**
Helsingborg, Švédsko
Darmstadt, Německo
Stockholm, Švédsko
Innsbruck, Rakousko
Helsinki, Finsko
Bratislava, Slovensko
Stručné shrnutí kapitoly
- 60 8. Rešerše provozů výroby biouhlu v ČR a SR**
Dr.Uhli
Equidomus
Preol Lovosice
ČOV Trutnov
Biograda
Stručné shrnutí kapitoly
- 64 9. Legislativa a předpisy v ČR ve vztahu k biouhlu a pyrolýze**
Legislativa vztahující se na energetické zdroje
Legislativa vztahující se k biouhlu
Legislativa vztahující se na odpady
Stručné shrnutí kapitoly

**68 10. Problematika zpracování odpadu
z nábytku na biouhel**

Biouhel a cirkulární ekonomika

Biouhel z nábytku

Stručné shrnutí kapitoly

72 11. Uhlíkové kredity

Úvod do offsetů a uhlíkových kreditů

Uhlíkové kredity z biouhlu a jejich cena v porovnání
s ostatními kredity

Proces nákupu a prodeje uhlíkových kreditů z biouhlu

Proces získání certifikátu – příklad metodiky Puro.

Earth

Stručné shrnutí kapitoly

78 12. Závěry a doporučení pro HMP

Inspirace

Požadavky na vstupy a technologii

Výstupy a benefity

Limity a předpisy

Práce s veřejností

Další postup

82 13. Přílohy

93 14. Zdroje

1. Shrnutí

Cílem předložené rešerše bylo představit technologie pro výrobu biouhlu vyráběné v Evropě a relevantní pro podmínky hlavního města Prahy. Biouhel a jeho výroba je pro Prahu důležitá z těchto důvodů:

- město je poměrně velkým odběratelem biouhlu, který potřebuje pro účely výsadby zeleně a budování prvků modrozelené infrastruktury,
- biouhel představuje dostupný nástroj pro ukládání uhlíku, je tak součástí cesty k uhlíkové neutralitě,
- výroba biouhlu je při správném nastavení systému významným zdrojem energie (tepla a případně také elektřiny),
- biouhel je možné vyrábět z biologického odpadu vznikajícího na území města (údržba zeleně, potěžeční lesní zbytky a podobně).

Existuje mnoho desítek potenciálních výrobců technologií. Pro podrobnější zpracování v kapitole 5 bylo vybráno 32 technologií, které nejlépe odpovídají zadání.

Pyrolýzní zařízení na výrobu biouhlu se liší dimenzemi, výrobní kapacitou, okruhem vhodných vstupních materiálů, způsobem provozu (kontinuální x vsázkové) i technickým řešením vlastního pyrolýzního procesu. Některá řešení umožňují výrobu elektřiny i tepla, jiná dokáží využít jen teplo. Zásadní rozdíly jsou i v předpokládané finanční náročnosti investice.

Výstavba průmyslových provozů na výrobu biouhlu je jednoznačným evropským trendem – za rok 2024 bylo v Evropě zrealizováno cca 50 projektů, část investorů představují větší města. Na trhu v tuto chvíli dominují velké industriální realizace, ale lze vysledovat významný trend v uplatnění menších („modulárních“)

řešení, která umožňují zapojit paralelně několik drobnějších pyrolýzních jednotek. Obě řešení mají své výhody i nevýhody.

Jak ukazují příklady úspěšných zahraničních projektů (Darmstadt, Helsingborg...), klíčem k udržitelnosti provozu je uplatnění doprovodných benefitů (teplo, elektřina, uhlíkové kredity). Úspěšné realizace také zpravidla intenzívně pracují s odbornou i laickou veřejností.

V tuto chvíli nelze ani přibližně stanovit nejvhodnější technologické řešení pro Prahu, nebylo to ostatně ani zadáním této rešerše. K tomu by měla sloužit komplexní studie proveditelnosti. Předložená rešerše může být jedním z jejích podkladů.



2. Úvod

Představitelé hlavního města Prahy jsou si vědomi postupující globální klimatické změny a konkrétních a nepřehlédnutelných dopadů, které klimatická změna má na město a jeho obyvatele. Jedním z důležitých dokumentů, který toto řeší, je Strategie adaptace hl. m. Prahy na klimatickou změnu (tzv. Adaptační strategie) a na ni navazující Implementační plán na roky 2020-2024.

Strategický důraz je kladen na ekosystémově založená opatření, hospodaření s dešťovou vodou, odolnou a funkční zeleň, krizové řízení a další priority. Zároveň si je Praha vědoma svého vlastního příspěvku k emisím skleníkových plynů a analyzuje možnosti snižování své environmentální stopy. Slibným a v praxi opakovaně osvědčeným materiálem jak pro prvky modro-zeleno-šedé infrastruktury tak pro ukládání uhlíku je **biouhel** (někdy též *biochar*). Zpracování předkládané rešerše je důsledkem snahy města analyzovat možnosti vlastní produkce biouhlu. Rešerše se soustředí na zmapování dostupných zařízení na výrobu biouhlu a přináší tak v rámci ČR poprvé ucelený pohled na tuto problematiku.

Biochar
moves
carbon to
where it is
needed¹

¹ <https://biochar-international.org/why-biochar/>

3. **Zadání, metodika zpracování**

Předložená rešerše je zpracována na základě zadání a objednávky Magistrátu hlavního města Prahy z března 2025.

Hlavním cílem této rešerše bylo vyhledat a identifikovat firmy dodávající průmyslové a praxí ověřené technologie na výrobu biouhlu. Předmětem jsou přitom výhradně řešení pro pyrolýzu organické hmoty (např. dřeva) a případně čistírenských kalů. Neposuzovaly se technologie určené pro pyrolýzu plastů a jiných syntetických látek.

Zadání bylo omezeno na technologie vyráběné v rámci EU s možnými výjimkami (Velká Británie, Švýcarsko atp.). Cílem je postihnout širší možnosti a různosti technologických řešení.

Problematika výroby biouhlu je komplexní, proto bylo nutné doplnit kontext, právní rámec, příklady existujících provozů a další fakta a informace postihující širší problematiku.

Zde je nutné podotknout, že téma výroby, zpracování a využití biouhlu je velmi živé a rychle se vyvíjí. Rešerše je tedy předkládána s vědomím, že obsahuje informace dostupné k polovině června 2025. V případě delšího časového odstupu bude žádoucí informace ověřovat. Za tímto účelem jsou důsledně uváděny použité zdroje a citace.

Vyhledávání technologií na výrobu biouhlu

V současnosti neexistuje ucelený registr výrobců biouhlu ani výrobců pyrolýzních technologií. Pro identifikaci relevantních firem bylo proto využito několika zdrojů:

- **Biochar Zero**² je německá poradenská společnost specializující se na rozvoj projektů v oblasti biouhlu. Na svých webových stránkách nabízí nástroje pro vyhledávání výrobců a dodavatelů technologií na výrobu biouhlu. K dubnu 2025 zde bylo uvedeno 82 firem z celé Evropy, zahrnujících výrobce a prodejce biouhlu, technologických zařízení a konzultačních služeb.

- **European Biochar Certificate (EBC)**³ je evropský certifikační systém, který zajišťuje udržitelnou výrobu, zpracování a využití biouhlu. Byl vyvinutý Ithaka Institutem a je spravovaný společností Carbon Standards International. EBC stanovuje vědecky podložené standardy pro kvalitu biouhlu, sledování emisí a udržitelnost výrobních procesů. Certifikace EBC je dobrovolná, avšak v některých zemích (např. Švýcarsko), je povinná pro biouhel určený pro zemědělské využití. Na webu EBC bylo k červnu 2025 uvedeno 93 evropských firem zabývajících se biouhlem. Nešlo výhradně o výrobce technologií, součástí seznamu jsou i výrobci biouhlu a konzultační společnosti.

- **European Biochar Market Report 2022/2023**⁴, vydávaná **European Biochar Industry Consortium (EBI)**, poskytuje přehled o stavu a vývoji trhu s biouhlem v Evropě. EBI je nezisková organizace podporující rozvoj sektoru biouhlu, která sdružuje desítky členů z řad výrobců technologií, provozovatelů zařízení, výzkumných institucí a dalších zainteresovaných subjektů v oblasti biouhlu. Ze zprávy vydané pro roky 2022/23 bylo identifikováno 20 firem specializujících se na výrobu a prodej technologií na biouhel.

2 <https://biochar-zero.com/producer-finder/>

3 <https://www.european-biochar.org/en/companies>

4 <https://www.biochar-industry.com/market-overview/>

- **Vlastní průzkum trhu a kontakty zpracovatele** hrály důležitou roli při vyhledávání a posuzování technologií ale také při výběru příkladů dobré praxe atd.

Žádný z uvedených zdrojů není vyčerpávající, seznamy se zčásti překrývají. Ve výsledku bylo posouzeno 131 firem. Společnosti, jejichž webové stránky uváděly, že nabízejí technologie na výrobu biouhlu, nebo kde tato možnost nebyla vyloučena, byly kontaktovány e-mailem. Kompletní seznamy posuzovaných firem nejsou kvůli velkému rozsahu součástí této rešerše a jsou k dispozici u zpracovatele.

Celkem bylo emailem osloveno 39 firem. V e-mailu byla přiložena jednotná tabulka s žádostí o její vyplnění. Tato tabulka obsahovala otázky na technické parametry zařízení na výrobu biouhlu a byla navržena tak, aby umožnila následné srovnání jednotlivých technologií mezi sebou.

Takto bylo získáno osm relevantních odpovědí. Informace o společnostech, které na dotazy neodpověděly, pocházejí z jejich webů. Pokud to podrobnost dostupných informací umožňovala, byla data přepsána do unifikované tabulky.

V druhém kole výběru tak bylo z **původních 39 emailů oslovených firem vyselektováno 32 společností odpovídajících zadání rešerše. Jejich výčet je včetně odkazu na jejich webové stránky, sídla a kontaktu uveden v přílohách.**

Výše zmíněná data posloužila jako podklad pro vypracování kapitoly 5.

Vyhledávání příkladů municipalit vyrábějících vlastní biouhel

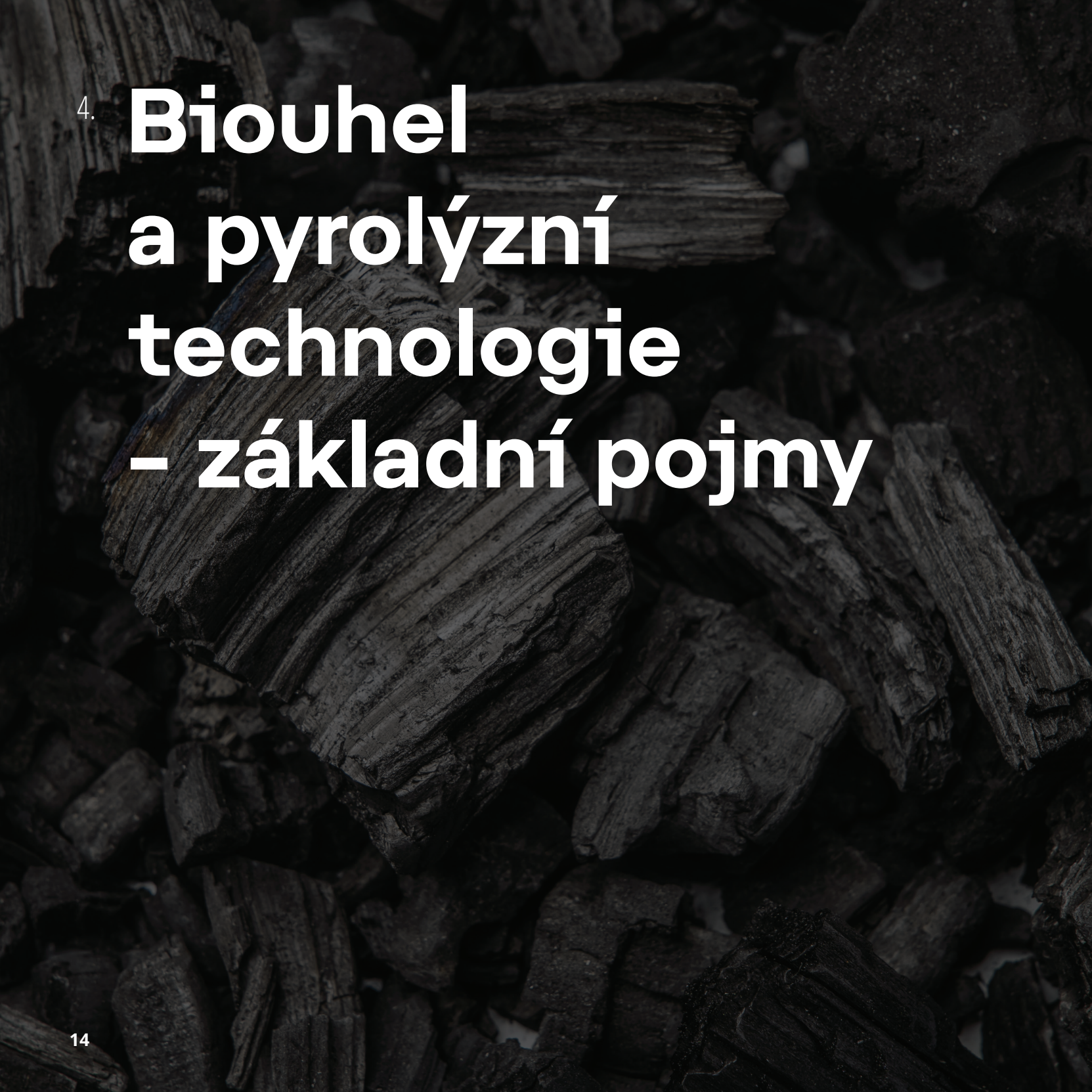
Součástí rešerše bylo také hledání příkladů municipalit (především středních nebo větších měst), které si samy vyrábějí biouhel. Zdrojem informací pro tuto kapitolu bylo dotazování výrobců technologií na referenční realizace, procházení webů pomocí klíčových slov a také osobní kontakty zpracovatele.

Ve výsledku tedy kapitola zahrnuje popis šesti vybraných municipalit, které vyrábějí biouhel nebo na jeho výrobě úzce spolupracují s jiným subjektem.

Stručné shrnutí kapitoly

V současnosti neexistuje centrální registr výrobců biouhlu nebo výrobců pyrolýzních technologií. Z různých dílčích zdrojů zpracovatelé identifikovali více než sto významnějších společností zabývajících se v Evropě výrobou biouhlu a/nebo pyrolýzních technologií. Z nich byla vybrána zhruba třetina relevantních subjektů, které jsou podrobněji popsány v kapitole 5.

Z řady existujících provozů bylo vybráno 6 realizací inspirativních pro větší města v ČR včetně Prahy.



4. Biouhel a pyrolýzní technologie – základní pojmy

O biouhlu

Definici biouhlu stanovila Evropská nadace pro biouhel (European Biochar Foundation) takto: **Biouhel je porézní uhlíkatá látka vyrobená tepelným rozkladem organické hmoty a využita tak, že obsažený uhlík zůstává dlouhodobě uložen nebo v průmyslové výrobě nahrazuje fosilní uhlík. Biouhel není určen jako palivo.**⁵

Biouhel dobře zapadá do principů cirkulární ekonomiky. Uhlík obsažený v biomase se ve formě biouhlu vrací ve stabilní formě do půdy, kde jsou s jeho používáním spojeny další benefity. Spolu s biouhlem je v pyrolýzních jednotkách vyráběno využitelné teplo nebo elektřina a současně je sekvastrován (uložen) oxid uhličitý.

Biouhel vykazuje určité klíčové vlastnosti, které jej odlišují od jiných produktů podobného vzhledu či složení: vysoký obsah uhlíku, velký aktivní povrch, pórovitost, nízká objemová hmotnost sušiny, stabilita (odolnost proti rozkladu), vodní kapacita („vododržnost“), zadržování živin a další. Podrobněji jsou vlastnosti biouhlu zmiňovány např. na webu Cirkus C⁶.

Protože biouhel obsahuje velké množství stabilního uhlíku, je považován za perspektivní způsob boje proti klimatické změně. Uhlík je v biouhlu díky vysokým teplotám stabilizován, a proto podléhá dalšímu rozkladu jen velmi pozvolna.

Stručně řečeno tedy biouhel pomáhá jak v půdě (zadržováním vody, podporou půdního života) tak v ovzduší (zamezuje emisím skleníkových plynů jako je CO₂ nebo metan).

Výroba biouhlu je obzvláště výhodná v místech s velkým množstvím disponibilní biomasy (např. dřeva) a zároveň s možností efektivně využít obrovské množství uvolňované energie (teplo a potenciálně elektřina).



Foto: autor

O pyrolýze

Biouhel vzniká tepelným rozkladem biomasy bez přístupu kyslíku (pyrolýza). Jde o tzv. nedokonalé spalování. Nedokonalost spočívá v tom, že biomasa nemá při hoření dostatek kyslíku, takže v ní obsažený uhlík nemůže být zoxidován a dokonale spálen na popel.

Existuje bezpočet metod a způsobů výroby biouhlu. Způsoby výroby se různí od pálení v jednoduchých kovových nádobách s otevřeným plamenem (např. metoda KON-TIKI) až po velké industriální realizace s automatizovaným provozem. Základní princip zahřívání za nedostatku kyslíku je však vždy zachován. Velmi přehledně a srozumitelně o tom hovoří např. web TZB-info.⁷ Odtud také pocházejí následující schémata dvou nejčastěji používaných pyrolýzních reaktorů (souproutý a protiproutý).

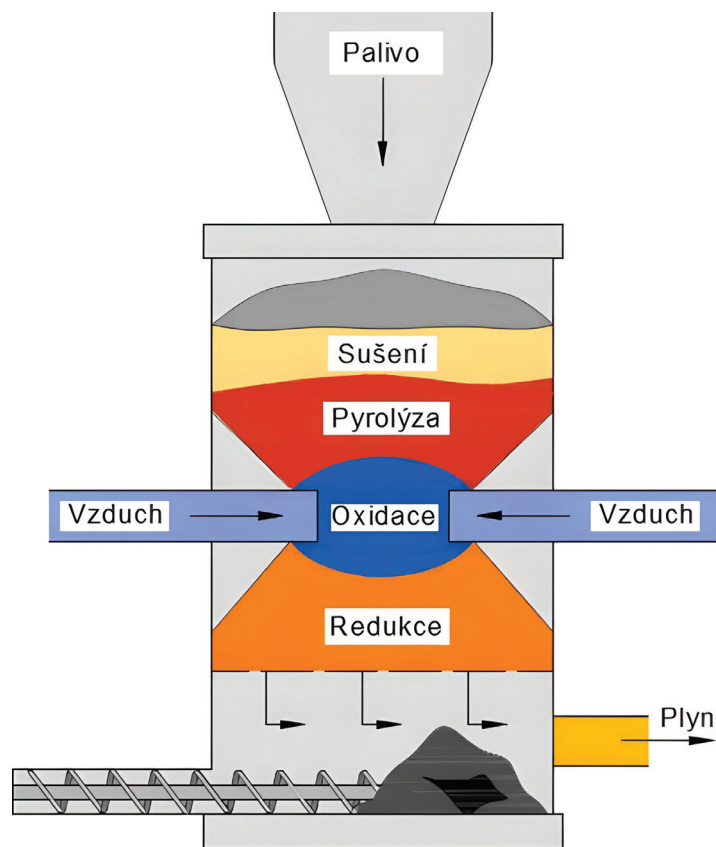
Konkrétní technická řešení jednotlivých výrobců se od

⁵ EBC (2012–2022) 'European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar' European, Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. (<http://european-biochar.org>). Verze 10.0 z 1. 1. 2022.

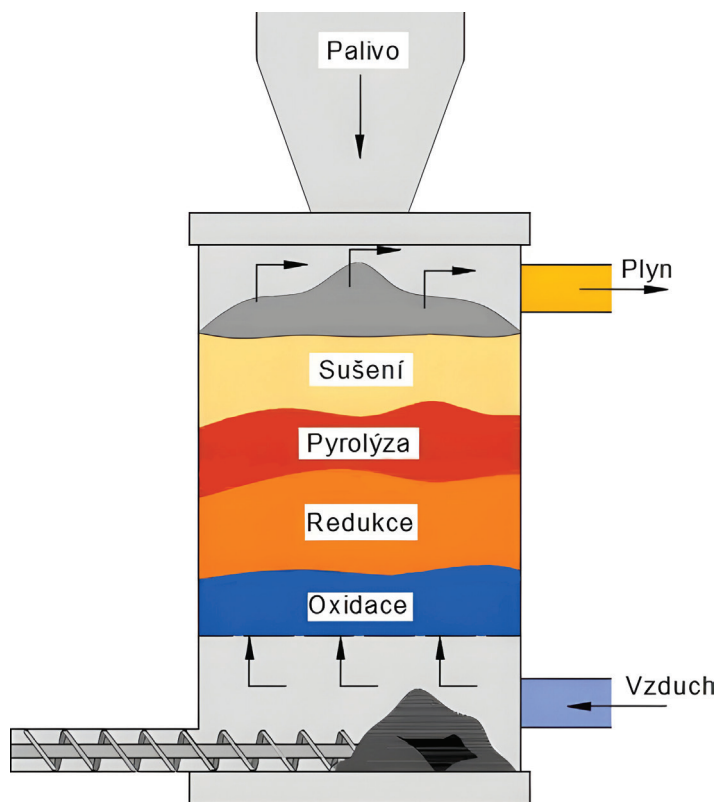
⁶ <https://www.cirkusc.cz/co-je-biouhel-vlastnosti-vyuziti/>

⁷ <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>

sebe liší a výrobci si unikátní části technologií zpravidla chrání pomocí patentů či průmyslových vzorů. Představu o širší variant řešení si lze učinit ze schémat či fotek u jednotlivých výrobců (viz níže).



Obrázek – protiproudý pyrolýzní reaktor: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>



Obrázek – souproudý pyrolýzní reaktor: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>

5. Přehled sériově vyráběných zařízení dostupných v EU

Tato kapitola přináší ucelený přehled existujících pyrolýzních zařízení vyráběných v evropském prostoru a použitelných pro výrobu biouhlu. Práce se soustředí na zařízení určená pro pyrolýzu biomasy (organické hmoty). Nezabývá se řešeními pro pyrolýzu plastů, pryží a podobně.

Podmínkou pro zařazení do této kapitoly bylo:

- výrobní zařízení musí mít charakter, který umožňuje nasazení v průmyslovém provozu, toto kritérium bylo vyhodnoceno případ od případu odborným odhadem
- probíhající výroba těchto zařízení s alespoň jednou fungující realizací
- dostupnost relevantních informací na webu nebo emailovým kontaktem.

Kapitola mapuje stav k půlce roku 2025. Ve vztahu k vybudování vlastního pyrolýzního provozu HMP do budoucna předpokládáme vypracování komplexní studie proveditelnosti. Tato rešerše bude v takovém případě sloužit jako podklad pro zpracovatele studie, proto byla tato kapitola ponechána v rozsáhlé podobě a pro úplnost obsahuje i informace o technologických řešeních, které považujeme v podmínkách HMP za omezeně použitelné.

Carbonauten

Společnost Carbonauten GmbH je německá firma sídlící v Giengen an der Brenz. Představuje průkopnický přístup k dekarbonizaci průmyslu prostřednictvím modulárních a decentralizovaných továren. Společnost nabízí vlastní technologii pyrolýzy, která přeměňuje dřevní zbytky na biouhel, pyrolýzní oleje a syntézní plyn. Výsledné produkty slouží jako základ pro výrobu, CO₂-negativních materiálů, označovaných jako NET Materials, které nacházejí uplatnění v zemědělství, stavebnictví, chemickém průmyslu a energetice. Firma se

specializuje na výstavbu celých výrobních provozů, nikoliv pouze prodej pyrolýzní technologie.

Technologický koncept a provozní parametry

Každý modulární soubor hal je v typickém případě navržen pro zpracování přibližně 24 000 tun dřevní biomasy ročně, což vede k produkci 8 000 tun biouhlu a 8 000 tun pyrolýzního oleje. Továrny jsou provozovány v standardním fondu 8 000 hodin ročně, přičemž generují tepelný výkon 4 MW. Proces pyrolýzy je možný v těchto zařízeních regulovat v teplotním rozsahu 400 až 700 °C.

Konkrétní parametry technologie jsou uvedeny níže v tabulce.

Modulární konstrukce továren umožňuje snadnou montáž, demontáž a rozšiřování podle potřeby. Nejmenší typická konfigurace se skládá ze dvou hal spojených protipožární stěnou, zabírajících plochu přibližně 10 000 m². Výstavba takové továrny trvá obvykle 12 až 18 měsíců od schválení projektu. Denně se předpokládá provoz 4 až 6 nákladních automobilů na jeden soubor hal.



Foto: <http://carbonauten.com/karbonisierung-und-pyrolyse>

Realizace projektů

Jediná realizace pyrolýzního závodu se nachází v Eberswaldu v Německu. Tento závod slouží jako výzkumné centrum. Provoz spolupracuje s Deutsche Bahn a vytvářejí plastové komponenty do vlaků s obsahem biouhlu. Podle dostupných zdrojů se od roku 2023 firma podílí na výstavbě továrny v Chibi v Číně. Mělo by jít o největší továrnu produkující biouhel na světě.

ZDROJE: <https://carbonauten.com/>

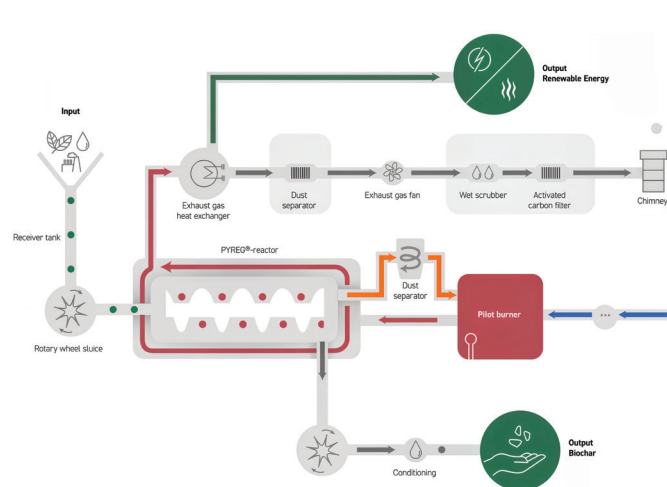
Pyreg

Společnost PYREG GmbH se sídlem v německém Dörthu je předním výrobcem modulárních pyrolýzních zařízení, která přeměňují organický odpad na biouhel a obnovitelnou energii. Od svého založení v roce 2009 společnost nainstalovala více než 50 zařízení po celém světě, která ročně odstraní přibližně 30 000 tun CO_2 a vyprodukují 75 GWh obnovitelné energie, což odpovídá roční spotřebě přibližně 5 000 domácností. Zařízení umožňují získání EBC certifikátů.

Technologický koncept a provozní parametry

V portfoliu společnosti figurují tři technická provedení pyrolýzní jednotky pro zpracování dřevních materiálů a dvě technická řešení pro zpracování čistírenských kalů. Technologie PYREG je založena na autotermickém karbonizačním procesu, který probíhá při teplotách mezi 500 a 750 °C za omezeného přístupu kyslíku. Tento proces generuje teplo, které je následně možné využít v dalších procesech. Modulární zařízení PYREG (např. modely PX500 a PX1500) jsou navržena pro snadnou integraci do stávající infrastruktury a materiálových toků. Oproti tomu model PX6000 je vhodnější pro realizaci nového projektu.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://pyreg.com/our-technology/>



Obrázek: https://pyreg.com/wp-content/uploads/221101_flyer_biomass_DE.pdf

Realizace projektů

Technologie PYREG byla realizována na několika desítkách míst v Evropě i ve světě. Největší projekt v Německu je v Grevesmühlenu, kde dvě jednotky PX1500 odstraňují 3 200 tun CO₂ ročně a vyrábějí teplo pro dálkové vytápění. Dalším velkým zařízením je chystaný projekt v německé Bochumi se čtyřmi jednotkami. Ve švýcarské Basileji je nasazena jedna jednotka PX1500 ve spolupráci s energetickou společností IWB, kde produkuje 550 tun biouhlu a 1,5 GWh tepla ročně. Ve Velké Británii vzniká v Royal Wootton Bassett největší britská instalace s plánovaným odstraněním 17 000 tun CO₂ ročně. V USA se technologie používá v Maine ve spolupráci se Standard Biocarbon a v Pittsburghu s firmou Orbital Biocarbon. Ve švédském Hammenhöggu technologii provozuje firma Skånefro AB.

ZDROJE: <https://pyreg.com/>

Polytechnik

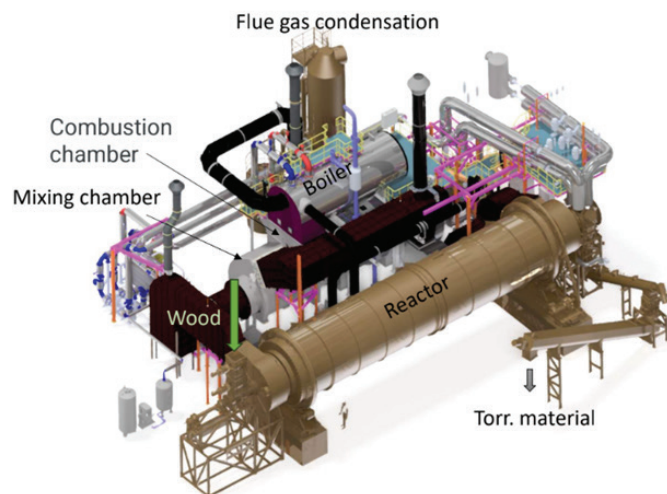
Společnost Polytechnik Luft – und Feuerungstechnik GmbH (zkráceně Polytechnik) je rakouský výrobce technologií pro energetické využití biomasy s více než šedesátiletou historií a více než 3000 referenčními projekty ve více než 25 zemích. V posledních letech společnost uvedla na trh také pyrolýzní technologii pro výrobu biouhlu. Firma se specializuje na technologie torrefakce a karbonizace biomasy, které umožňují efektivní využití organických zbytků k výrobě uhlíkatých produktů a obnovitelné energie.

Technologický koncept a provozní parametry

Torrefakce, označovaná jako „lehké pražení“, probíhá při teplotách do 300 °C a vede k výrobě materiálu s výhřevností kolem 20–23 MJ/kg a obsahem uhlíku přibližně 50–60 %. Naopak karbonizace („tmavé pražení“)

probíhá při vyšších teplotách nad 300 °C a produkuje vysoce karbonizovaný materiál s výhřevností až 30 MJ/kg a obsahem uhlíku přes 75 %. Polytechnik tyto procesy provozuje v kontinuálních plně automatizovaných zařízeních, která zahrnují kroky jako sušení, plnění reort, předehřev, karbonizaci v rotačních reaktorech, chlazení a finální zpracování produktů. Zařízení lze upravit pro širokou škálu surovin – od dřevní štěpky, pilin a odpadního dřeva až po kokosová vlákna, slupky a další zemědělské zbytky. Zařízení lze propojit s kogeneračními jednotkami typu ORC pro výrobu tepla a elektřiny. Celý provoz je automatizovaný s možností vzdáleného řízení.

Ze zaslaných podkladů nejsou jasné přesnější technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie nemá vlastní tabulku specifikací.



Obrázek: <https://polytechnik.com/en/>

Realizace projektů

Od roku 2016 je v provozu karbonizační závod v německém Uelitzu s roční výrobní kapacitou 3 000 tun biouhlu. V tomto případě jde o dávkovou technologii. V roce 2024 byla uvedena do provozu největší evropská

torrefakční linku ve finském Taaleri s roční kapacitou 60 000 tun biouhlu. Provoz je zaměřen na zpracování dřevní biomasy. Ve fázi projektování či výstavby jsou další provozy v Evropě i ve světě.

ZDROJE: <https://polytechnik.com/en/>

Stiesdal

Společnost Stiesdal A/S je dánská klimatická technologická firma založená v roce 2016 zaměřující se na vývoj a komercializaci inovativních řešení pro zmírnění změny klimatu. Dceřiná společnost Stiesdal Fuel Technologies vyvinula technologii SkyClean, zaměřenou na dekarbonizaci zemědělství a průmyslu prostřednictvím výroby biouhlu a obnovitelných paliv. Technologie kombinuje pyrolýzu organického odpadu s produkcí energie, čímž umožňuje efektivní zachycování a ukládání uhlíku.

Technologický koncept a provozní parametry

SkyClean využívá pyrolýzní proces, při kterém se organický odpad zpracovává při teplotách kolem 600 °C bez přístupu kyslíku. Standardní jednotka SkyClean má kapacitu 20 MW a je schopna zpracovat přibližně 40 000 tun suché biomasy ročně, což vede k produkci až 15 000 tun biouhlu. Tento biouhel může být certifikován podle evropského standardu European Biochar Certificate (EBC). Technologie je navržena jako modulární a plně automatizovaná, což umožňuje její snadné škálování a integraci do stávajících energetických systémů. Díky své flexibilitě může zpracovávat širokou škálu organických materiálů od zemědělských zbytků přes dřevní biomasu po digestát z bioplynových stanic.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Foto: <https://www.stiesdal.com/skyclean/>

Realizace projektů

Společnost Stiesdal A/S realizovala v Dánsku tři klíčové projekty v oblasti výroby biouhlu pomocí technologie SkyClean. Prvním bylo 200 kW testovací zařízení v Risø, které ověřovalo funkčnost systému. Zařízení o výkonu 2 MW je v provozu v GreenLabu ve Skive a je zaměřené na zpracování slámy a kombinaci s výrobou zeleného vodíku. Dosud největší realizací je komerční jednotka o výkonu 20 MW umístěná ve Vrå. Byla otevřena v roce 2024 a zpracovává 40 000 tun biomasy ročně. Výsledkem je roční produkce 14 000 tun biouhlu.

ZDROJE: <https://www.stiesdal.com/>

3R-BioPhosphate Ltd.

3R-BioPhosphate Ltd. je maďarská společnost zaměřená na výrobu biouhlu a recyklaci fosforu prostřednictvím své patentované technologie 3R Zero Emission Pyrolysis & Phosphorus Recovery. Tato technologie využívá thermochemický proces založený na pyrolýze zvířecích kostí, který umožňuje současnou produkci biouhlu (ve formě kostního uhlí) a bezpečných organických hnojiv bohatých na fosfor, bez emisí a odpadů.

Technologický koncept a provozní parametry

Základní surovinou jsou vedlejší živočišné produkty potravinářské kvality, zejména hovězí kostní moučka, která je již předzpracována při teplotě 133 °C po dobu 20 minut při tlaku 3 bary. Následně je v zařízení 3R podrobena karbonizaci při vysoké teplotě až 850 °C, což zajišťuje úplné odstranění všech organických a proteinových složek. Tento biouhel je díky vysoké porositě a čistotě vhodný nejen jako hnojivo, ale i pro environmentální aplikace, např. jako adsorbent. Technologie 3R má kapacitu až 20 800 tun vstupní suroviny ročně a vyrábí biouhel bohatý na fosfor.

Ze zaslaných podkladů nejsou zřejmé technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie nefiguruje v tabulkách specifikací.



Foto: <https://biophosphate.net/3r-competitive-advantages>

Realizace projektů

Společnost 3R-BioPhosphate Ltd. provozuje pyrolýzní zařízení v západním Maďarsku, kde zpracovává biologický odpad, zejména živočišné kosti a další živočišné zbytky, na certifikovaný biouhel a organické hnojivo bohaté na fosfor (ABC BioPhosphate). Zařízení je uváděno jako bezemisní a energeticky soběstačné. Firma se rovněž aktivně zapojuje do evropských projektů, jako jsou REFERTIL, NUTRIMAN nebo Waste4Soil, které se zaměřují na recyklaci živin, vývoj standardů pro biouhel a zlepšování zdraví půdy.

ZDROJE: <https://biophosphate.net/>

AquaGreen

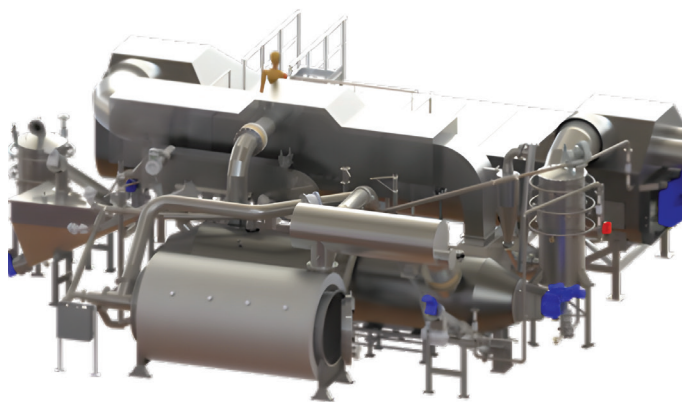
Společnost AquaGreen ApS je dánská firma se sídlem v Roskilde, která se specializuje na inovativní řešení pro zpracování mokré biomasy (zejm. čistírenských kalů) prostřednictvím své patentované technologie HECLA. Tato technologie kombinuje parní sušení a pyrolýzu v jednom integrovaném systému, který umožňuje přeměnu odpadní biomasy na obnovitelnou tepelnou energii a stabilní biouhel. Zároveň se eliminují škodlivé látky a snižují se emise skleníkových plynů. Technické řešení systému HECLA nabízí 2 verze velikosti technologie.

Technologický koncept a provozní parametry

Proces HECLA zahrnuje sušení biomasy pomocí přehřáté páry při teplotě 200 °C, následované pyrolýzou při 650 °C po dobu 20 minut v prostředí bez přístupu kyslíku. Tímto způsobem se organické látky rozkládají na pyrolýzní plyn, který je spalován pro zajištění energetické soběstačnosti procesu, a na pevný zbytek – biouhel. Technologie AquaGreen je plně automatizovaná a kontinuální, což umožňuje zpracování různých

typů biomasy s obsahem sušiny mezi 18–28 % bez potřeby externí energie. Systém využívá více než 100 senzorů pro optimalizaci provozu a může být vzdáleně monitorován, což minimalizuje potřebu lidské obsluhy.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://aquagreen.dk/technology/>

Realizace projektů

Zařízení AquaGreen jsou v provozu na šesti místech v Dánsku a Švédsku a další čtyři projekty jsou ve fázi realizace. Praktickým příkladem implementace technologie HECLA je čistírna odpadních vod v dánském městě Fårevejle, kde zařízení HECLA zpracovává ročně 4 000 tun kalu od 50 000 obyvatel. Tento provoz produkuje 2 000 MWh energie a ročně ukládá 500 tun uhlíku do biouhlu.

ZDROJE: <https://aquagreen.dk/>

Pyronet

Pyronet GmbH je švýcarská technologická firma sídlící v Basileji, která se specializuje na výrobu decentralizovaných pyrolýzních jednotek pro výrobu tepla a biouhlu. Její hlavní produkt je zařízení PyroFarm P60. Pyronet cílí na využití odpadní biomasy, zejména dřevní štěpky a pelet.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie PyroFarm P60 využívá princip dávkové pyrolýzy typu TLUD (Top-Lit UpDraft), kde dochází k řízenému spalování plynů vznikajících karbonizací dřeva. Zařízení má nominální tepelný výkon 60 kW. PyroFarm je modulární jednotka určená k vytápění malých objektů (např. 2–3 domy), s možností napojení na akumulční nádrže o objemu 4 500 až 12 000 litrů. Zařízení se instaluje v kotelnách s minimální výškou 2,5–3 metry a vyžaduje komín s tahem pro provoz podtlakového spalování. Jde o vsázkový typ zařízení, které je schopné na jednu várku vyrobit zhruba 40 kg biouhlu.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://www.pyronet.ch/pyrofarm/>

Realizace projektů

První provozní reference PyroFarm P60 je na farmě ve švýcarském Stettlenu, kde od roku 2021 zařízení úspěšně vytápí čtyři byty. Společnost tímto demonstruje funkčnost své technologie v reálném provozu a prezentuje ji jako udržitelnou alternativu k fosilnímu vytápění pro venkovská a agrární prostředí.

ZDROJE: <https://www.pyronet.ch/>

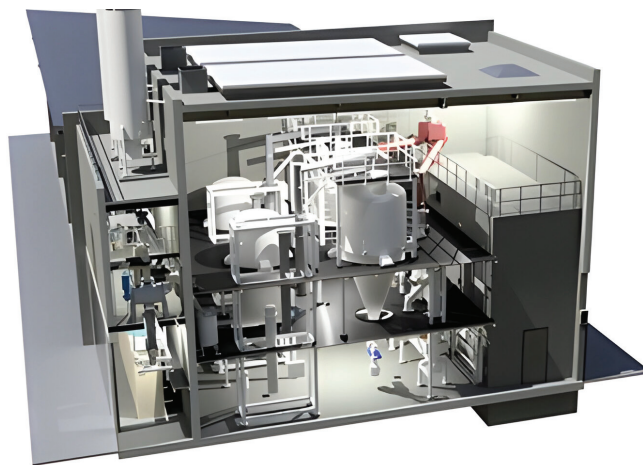
Syncraft

Syncraft Engineering GmbH je rakouská technologická společnost se sídlem v Tyrolsku, která se od svého založení v roce 2009 jako univerzitní spin-off z MCI Innsbruck vyvinula v komerční subjekt. Jejich hlavní produkt nese název Reversepowerplant, což odkazuje na schopnost systému generovat nejen obnovitelnou energii, ale zároveň odstraňovat CO₂ z atmosféry formou stabilního biouhlu.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie Syncraft je postavena na patentované fluidní vrstvě (Floating Bed Technology), která umožňuje velmi flexibilní zpracování široké škály paliv včetně dřevní štěpky, odpadního dřeva a dalších lignocelulózových materiálů. Za hlavní přínos této technologie výrobce označuje paralelní výrobu elektřiny, tepla a biouhlu, který může být certifikován podle standardů EBC. Syncraft se profiluje jako dodavatel komplexních řešení na klíč od techno-ekonomického posouzení projektu, přes technickou podporu při povolovacím řízení po výstavbu a uvedení zařízení do provozu v roli generálního dodavatele.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://www.syncraft.at/system-types/typ1000/>

Realizace projektů

Mezi referenční instalace patří zařízení ve Frauenfeldu ve Švýcarsku, kde čtyři jednotky CW1800x2-1000 s výkonem 4 MW elektřiny a 14 MW tepla zpracovávají 25 000 tun dřevního odpadu ročně. Současně je ročně odstraňováno 9 000 tun CO₂. V rakouském Gänserndorfu bylo v roce 2024 uvedeno do provozu pyrolýzní zařízení s výkonem 500 kW elektřiny a 750 kW tepla. Další významné projekty zahrnují instalace v Heilbronnu a Wahlstedtu v Německu a v rakouském Pergu, kde zařízení s výkonem 1 MW elektřiny a 1,54 MW tepla zásobuje místní síť dálkového vytápění.

ZDROJE: <https://en.syncraft.at/>

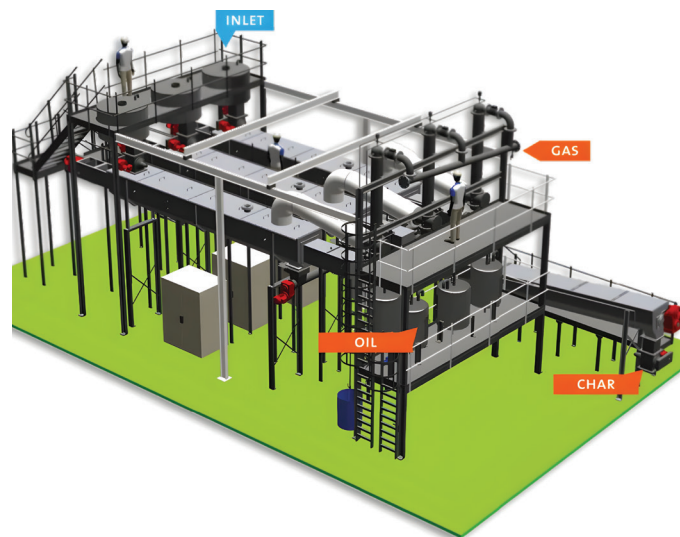
Biogreen / Vow / Circular Carbon GmbH

Biogreen Energy je francouzská firma specializující se na ekologické technologie pro zpracování biomasy a odpadů pomocí pyrolýzy. Je součástí konzorcia ETIA SAS, založené v roce 1989 v Compiègne (Francie), která je nyní dceřinou společností norské skupiny Vow ASA.

Technologický koncept a provozní parametry

Biogreen vyvíjí a dodává modulární pyrolýzní jednotky, které přeměňují různé organické materiály (např. dřevní štěpku, čistírenský kal, pneumatiky či plastový odpad) na produkty s vyšší přidanou hodnotou jako je biouhel, pyrolýzní olej a syntézní plyn. Jejich klíčovou technologií je Spirajoule, patentovaný elektricky vyhřívaný šnekový dopravník, který umožňuje přesné řízení teploty až do 800 °C v bezkyslíkatém prostředí. Tento systém je navržen pro kontinuální provoz a je vhodný pro širokou škálu vstupních materiálů včetně biomasy, kalů, plastů a pryže. Dalšími komponenty jsou UPK (chladič šnekový dopravník pro odvádění biouhlu) a Beltomatic – pásový sušič pro předúpravu materiálů. Biogreen nabízí také kontejnerizované jednotky pro snadnou instalaci a provoz.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zmínována v tabulkách specifikací.



Obrázek: <https://www.vowasa.com/solutions/industrial-solutions/our-core-products/>

Realizace projektů

Biogreen Energy realizovala řadu projektů po celém světě. Ve Spojených státech se podílí na projektu Quonset Soil Solutions v Rhode Islandu, kde jsou instalovány čtyři reaktory pro výrobu až 6 000 tun biouhlu ročně. Ve Švédsku byla jednotka Biogreen nasazena ve městě Helsingborg společností NSR AB, kde zpracovává 7 000 tun zahradního odpadu ročně a produkuje 1 500 tun biouhlu, přičemž vzniklé teplo (více než 11 GWh) je využíváno v systému dálkového vytápění. V Německu společnost spolupracuje s firmou Circular Carbon GmbH, která využívá zbytky z potravinářského průmyslu (zejm. kakaové slupky) k produkci biouhlu a páry, čímž snižuje uhlíkovou stopu výrobců potravin.

ZDROJE: <https://www.biogreen-energy.com/>

BIOMACON

Společnost BIOMACON GmbH je německý výrobce pyrolýzních kotlů se sídlem v Rehburgu (Dolní Sasko).

Založena byla v roce 2003 a specializuje se na vývoj a výrobu zařízení pro termochemickou přeměnu biomasy na biouhel a teplo. Tato technologie umožňuje efektivní využití biomasy a přispívá k snižování emisí CO₂.

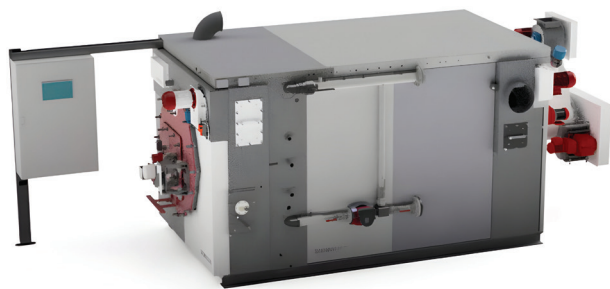
Technologický koncept a provozní parametry

BIOMACON nabízí dvě hlavní produktové řady

- Farm Edition pro menší aplikace,
- Industry Edition pro průmyslové využití.

Celkově společnost nabízí 4 produkty (C160-F, C224-F, C400-I, C500-I) s tepelným výkonem v rozsahu 160–500 kW. Jde o vsázkové kotle, které využívají teplo z procesu na ohřev vody. Pyrolýzní proces v tomto zařízení probíhá při 850 °C.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://www.biomacon.com/?lang=en>

Realizace projektů

Ve Švýcarsku byla jednotka C400-I dodána firmě Ocean Energy, kde slouží k výrobě tepla a biouhlu. Ve Švédsku je jednotka C160-F v provozu na farmě Krageholm.

Dalšími příklady jsou instalace u společnosti Auen Care Service Ltd a v norské obci Sandnes. Ve švédském Hjelmsäteru je v provozu systém Decarbo Energy složený z několika pyrolýzních jednotek společnosti Biomacon. Zbytkové teplo je zde využíváno pro vytápění obytných domů.

ZDROJE: <https://www.biomacon.com/>

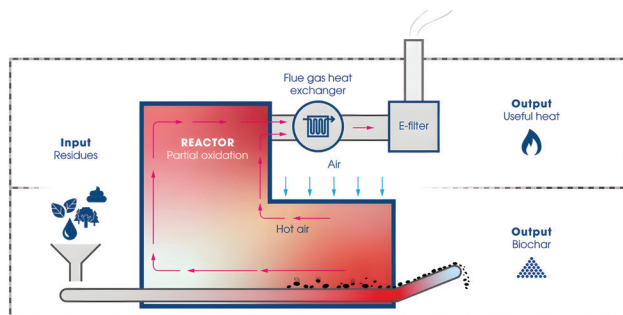
Carbo-FORCE

Společnost Carbo-FORCE GmbH je německý výrobce pyrolýzních zařízení se sídlem v Kasselu (Hesensko). Založena byla v roce 2017 a specializuje se na vývoj modulárních technologií pro karbonizaci biomasy. Jejich zařízení přeměňují organické zbytky jako jsou dřevní štěpky, kal z čistíren odpadních vod nebo zemědělský odpad. Výstupem je biouhel a teplo. Carbo-FORCE je součástí skupiny BAUER Resources GmbH.

Technologický koncept a provozní parametry

Jejich klíčovou technologií je jednotka CF-250, která využívá proces částečné oxidace (Carbo-CAP-TEC). Tato jednotka je navržena pro kontinuální provoz s kapacitou až 280 kg/h suché biomasy, nominálním tepelným výkonem 600 kW a schopností sekvestrace až 1 720 tun CO₂ ročně. Pyrolýzní proces probíhá při teplotě 900 °C. Díky modulárnímu designu v kontejnerovém formátu je zařízení snadno přepravitelné a instalovatelné. Jednotka je schopna zpracovávat širokou škálu organických materiálů od dřevní štěpky přes čistírenské kaly po zemědělské zbytky.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://www.carbo-force.de/de/verfahren>

Realizace projektů

První komerční instalace proběhla v roce 2021 v německém Rendsburgu, kde zařízení provozuje regionální odpadová společnost AWR. Jednotka zde zpracovává dřevní odpad, přičemž celý proces je energeticky soběstačný díky autotermnímu provozu bez potřeby externího zdroje tepla. V německém Osterrade byla jednotka nasazena na farmě, kde ročně zpracovává přibližně 2 000 tun dřevní štěpky na 500 tun biouhlu. Tento biouhel slouží jako přísada do krmiva pro 300 krav. Vzniklé teplo je využíváno v místní teplárenské síti a sekvestrace CO₂ dosahuje až 1 500 tun ročně. Tento projekt získal prestižní zemědělskou cenu VR Förderpreis. Podobná instalace je v provozu v německém Großsoltu. V Dubaji byla jednotka CF-250 nasazena na velbloudí farmě s 8 500 zvířaty, kde zpracovává velbloudí hnůj. Výsledný biouhel je využíván ke zlepšení půdy v pouštních oblastech. Vzniklé teplo pokrývá část energetických potřeb farmy.

ZDROJE: <https://resources.bauer.de/en>; <https://www.carbo-force.de/en>

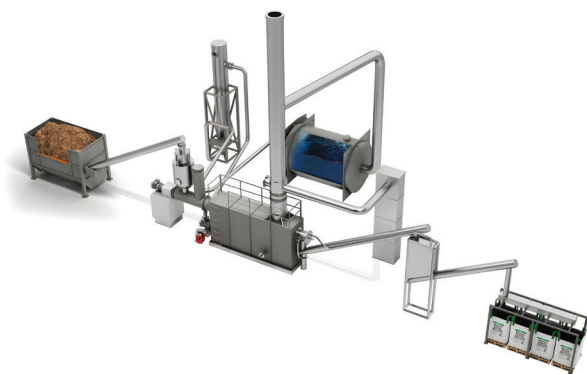
Carbofex

Finská společnost Carbofex se sídlem ve městě Nokia se prezentuje jako průkopník v oblasti pyrolýzní technologie a výroby biouhlu. Od svého založení v roce 2016 se zaměřuje na přeměnu odpadní biomasy na biouhel, obnovitelnou energii a pyrolýzní olej prostřednictvím kontinuálního procesu karbonizace. Jejich zařízení Carbofex de-carboniser využívá nepřímý ohřev ve šnekovém reaktoru, což umožňuje přesné řízení teploty a doby setrvání materiálu. Tím je dosaženo konzistentní kvality výstupního produktu. Biouhel a další výstupy z technologií společnosti Carbofex mohou být certifikovány podle standardu EBC.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie umožňuje zpracovat až 3 500 tun biomasy ročně, přičemž roční produkce biouhlu dosahuje až 1 000 tun a vzniká až 8 000 MWh energie. Proces probíhá při teplotách v rozmezí 650–900 °C a doba setrvání materiálu v reaktoru je 5–10 minut. Zařízení je určeno pro široké spektrum vstupních materiálů – od dřevní štěpky přes ořechové a kokosové skořápky až po ligninové pelety s maximální povolenou vlhkostí do 30 %.

Z dostupných podkladů nejsou zřejmé technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není v tabulce specifikací.



Obrázek: <https://carbofex.fi/>

Realizace projektů

Hlavní výrobní závod se nachází ve městě Nokia ve Finsku, kde je v provozu kontinuální pyrolýzní jednotka zpracovávající až 3 500 tun biomasy ročně. Tento závod je certifikován podle standardu Puro.earth a produkuje biouhel s vysokým obsahem uhlíku (93,6 % sušiny), který je využíván v zemědělství, zahradnictví a v péči o městskou zeleň.

ZDROJE: <https://carbofex.fi/>; <https://puro.earth/>

Carbon Technik Schuster

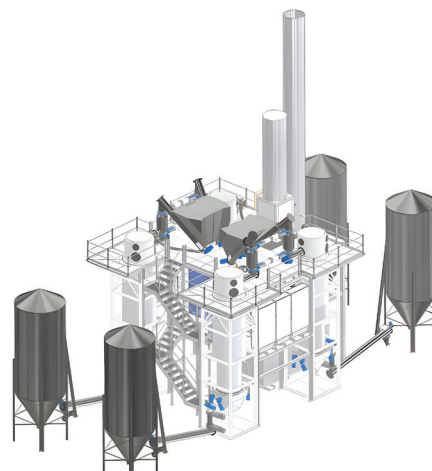
Společnost Carbon Technik Schuster GmbH má více než dvacetiletou historii. Sídlí v Dischingenu v německé spolkové zemi Bádensko-Württembersko a specializuje se na vývoj, výrobu a prodej inovativních karbonizačních zařízení pro produkci biouhlu. Společnost vyvinula modulárně rozšiřitelné systémy, které jsou navrženy pro dlouhodobý a efektivní provoz. Jejich zařízení CTS40 je modulární pyrolýzní jednotka, která se dá snadno škálovat a je možné ji provozovat v malém i průmyslovém měřítku. Standardní konfigurace

tohoto zařízení zahrnuje čtyři karbonizační jednotky, přičemž celý systém je navržen tak, aby byl snadno přizpůsobitelný specifickým potřebám zákazníka.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie využívá kontinuální proces karbonizace, při kterém biomasa prochází vertikálním reaktorem a je zahřívána na teploty mezi 650 °C a 750 °C za nepřítomnosti kyslíku. Tímto způsobem dochází k přeměně přibližně dvou třetin původní hmotnosti biomasy na plynné produkty, které mohou být využity k výrobě energie, a jedné třetiny na biouhel. Zařízení je navrženo s důrazem na robustnost a dlouhou životnost, přičemž modulární konstrukce umožňuje snadné rozšíření systému podle rostoucích potřeb provozu. Řídicí systém zajišťuje regulaci procesu karbonizace, což umožňuje kontrolovat kvalitu výstupního biouhlu a optimalizaci energetické účinnosti.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není řazena v tabulce specifikací.



Obrázek: <https://ct-schuster.de/anlagenkonzepte>

Realizace projektů

Zařízení typu CTS je v provozu ve městě Darmstadt-Kranichstein v Německu, systém zde provozuje společnost Eigenbetrieb für kommunale Aufgaben und Dienstleistungen (EAD). Tato instalace se zaměřuje na zpracování městského zeleného odpadu a produkci biouhlu, který je certifikován podle standardů EBC.

ZDROJE: <https://biochar-zero.com/>; <https://ct-schuster.de/>

Next Generation Elements

Společnost Next Generation Elements GmbH (NGE) sídlící ve Feldkirchenu na Dunaji v Rakousku se specializuje na vývoj a realizaci pokročilých pyrolýzních technologií pro zpracování biogenních odpadů a plastů. Jejich klíčovým produktem je T: CRACKER – kontinuální pyrolýzní reaktor s elektrickým ohřevem, který umožňuje zpracování různorodých vstupních materiálů od čistírenských kalů a fermentačních zbytků přes zelený odpad po plasty. Druhou technologií je PyroDry, který umožňuje zpracovávat čistírenské kaly a odpadní biomasu.

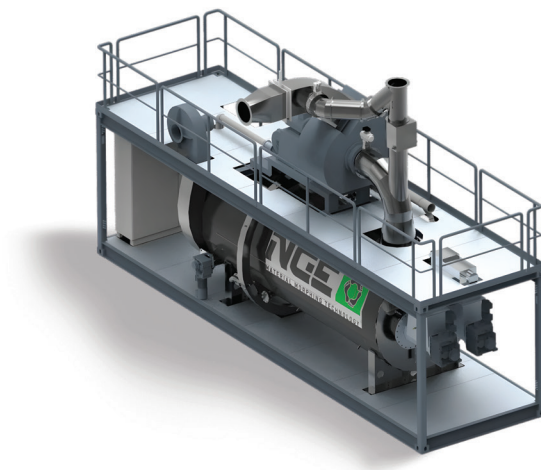
Technologický koncept a provozní parametry

Firma nabízí dvě řady pyrolýzních jednotek. PyroDry vhodný pro zpracovávání čistírenských kalů a PyroPower určený k pyrolýze dřevní štěpky a jiných podobných materiálů. PyroPower pracuje při teplotách až 700 °C a je elektricky vyhřívaný. PyroDry kombinuje sušení a pyrolýzu v jednom kroku, čímž umožňuje zpracování vstupního materiálu s vlhkostí až 85 %. Výstupem je biouhel spolu s využitelným teplem a pyrolýzním plynem. Celý systém je navržen modulárně

a může být doplněn o ORC (Organic Rankine Cycle) jednotku pro výrobu elektřiny.

Společnost uvádí jako výhodu flexibilitu, čistý provoz a nízké provozní náklady. Technologie NGE jsou podle výrobce zvláště vhodné pro obce a komunální služby.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://nge.at/#technology>

Realizace projektů

Technologie NGE našla reálné uplatnění např. v kompostárně Sonnenerde v Riedlingsdorfu (Rakousko), kde jednotka PyroDry zpracovává až 5 300 tun bioodpadu ročně a produkuje cca 1 000 tun biouhlu. Reaktory T: CRACKER byly také nasazeny u řady zpracovatelů plastového a kalového odpadu v Rakousku a Německu.

ZDROJE: <https://nge.at/>; <https://www.recovery-worldwide.com/en/artikel/next-generation-holding-gmbh-4091500.html>

3R Systems

Společnost 3R Systems GmbH je německá firma se sídlem v Kolíně nad Rýnem, která se specializuje na vývoj a výrobu modulárních pyrolýzních zařízení pro udržitelnou přeměnu biomasy na biouhel. Jejich technologie využívá nízkoteplotní termolýzu v rotačních pecích, která umožňuje bezemisní zpracování organických materiálů přímo v místě jejich vzniku. Kromě produkce biouhlu se firma zaměřuje i na efektivní využití vznikajícího tepla například pro výrobu zeleného vodíku či dálkové vytápění.

Technologický koncept a provozní parametry

Základem technologie je horizontálně uspořádaná nepřímě vyhřívaná rotační pec, která pracuje za podmínek nízkého tlaku a teplot dosahujících až 850 °C. Díky modulární konstrukci lze zařízení přizpůsobit specifickým potřebám a kapacitám, přičemž menší jednotky zvládnou zpracovat přibližně 6 500 tun biomasy ročně, zatímco větší průmyslové instalace dosahují kapacity až 20 800 tun ročně. Proces je energeticky soběstačný, přičemž vznikající termolytický plyn je využíván k udržení provozní teploty a přebytečné teplo může sloužit k dalším účelům jako je sušení vstupní biomasy nebo výroba zeleného vodíku.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie nefiguruje v tabulce specifikací.



Foto: <https://www.3r-systems.de/engineering-2/>

Realizace projektů

Společnost realizovala projekt REFERTIL financovaný Evropskou komisí, který probíhal v letech 2011–2015. V rámci tohoto projektu byla technologie 3R Systems nasazena k výrobě biouhlu z různých druhů biomasy včetně rostlinných zbytků anebo kostí. Další uplatnění technologie 3R Systems je dohledatelné v Indii, kde byla použita k výrobě úrodného substrátu z komunálního zeleného odpadu.

ZDROJE: <https://www.3r-systems.de/>; <https://cordis.europa.eu/project/id/289785>

Airex Energy

Společnost Airex Energy je kanadská firma se sídlem v quebeckém Lavalu, která se specializuje na vývoj a výrobu technologií pro dekarbonizaci průmyslu prostřednictvím výroby biouhlu. Jejich hlavním cílem je pomoci organizacím dosáhnout uhlíkové neutrality a snížit emise skleníkových plynů. Společnost využívá vlastní patentovanou technologii CarbonFX, která umožňuje efektivní zpracování dřevěných zbytků a lesní biomasy.

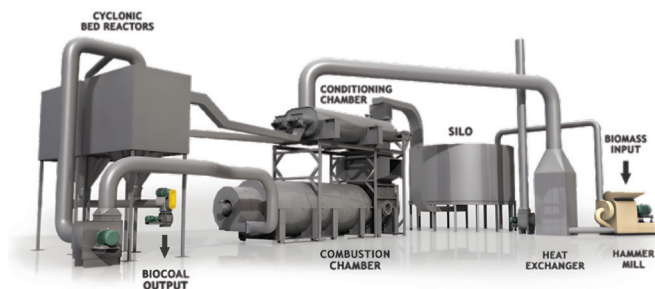
Společnost nemá sídlo v Evropě a představuje tak výjimku mezi uváděnými společnostmi (podobně jako níže uvedená kalifornská Carbo Culture). Důvodem je technologické řešení odlišné od ostatních zmiňovaných technologií a také silné evropské ambice společnosti.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie CarbonFX™ je založena na procesu torrefakce a vysokoteplotní pyrolýzy, při kterém je biomasa zahřívána na teploty mezi 350 a 600 °C bez přístupu kyslíku. Proces zahrnuje několik fází: předsušení biomasy pomocí zbytkového tepla z procesu, úprava

v nasycené parní atmosféře a následnou torrefakci v cyklonovém reaktoru. V tomto reaktoru biomasa spirálovitě klesá dolů, přičemž je udržována ve vznosu díky kombinaci odstředivé síly, gravitace a tlaku plynu. Tento design zajišťuje rovnoměrné zahřívání a vysokou homogenitu výstupních produktů. Celý systém je plně automatizovaný a energeticky efektivní, přičemž zbytkové teplo z procesu je využíváno k předsušení vstupní biomasy.

Z poskytnutých informací nejsou zřejmé konkrétní technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není řazena v tabulkové příloze.



Obrázek: <https://airex-energy.com/tech/>

Realizace projektů

Mezi významné realizace společnosti patří projekt Carbonity, který vznikl ve spolupráci s firmami SUEZ a Groupe Rémabec. Tento projekt zahrnuje výstavbu největšího závodu na výrobu biouhlu v Severní Americe, který se nachází v Port-Cartier, Québec. Závod využívá technologii CarbonFX™ k přeměně přibližně 58 000 tun lesních zbytků ročně na biouhel, čímž přispívá k sekvenci přibližně 75 000 tun CO₂ ekvivalentu ročně. Projekt je součástí ambiciózního plánu na dosažení roční produkce 350 000 tun biouhlu do roku 2035.

ZDROJE: <https://airex-energy.com/tech/>

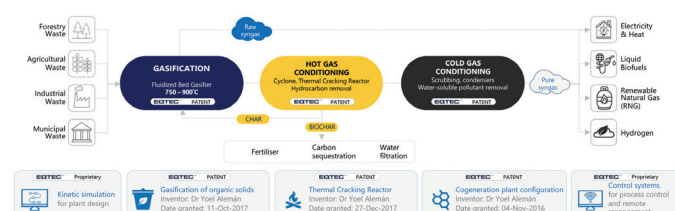
Eqtec

Společnost EQTEC plc je irská firma se sídlem v Corku specializující se na vývoj a licencování pokročilých technologií pro zplyňování a přeměnu různorodého odpadu na syntézní plyn (syngas). Tento syngas slouží jako palivo pro výrobu elektřiny, tepla nebo jako surovina pro produkci obnovitelných plynů a biopaliv. Biouhel v tomto případě vedlejším produktem provozu zařízení.

Technologický koncept a provozní parametry

EQTEC vyvinula vlastní patentovanou technologii pokročilého zplyňování, která umožňuje přeměnu více než 60 typů odpadů na vysoce čistý syngas. Proces probíhá v teplotním rozmezí 250–1300 °C a dosahuje konverze uhlíku na plyn až 95 % s minimálním obsahem dehtů. Technologie je modulární a škálovatelná od 1 MW do 30 MW, což umožňuje její přizpůsobení různým potřebám a lokalitám. Součástí řešení je také vlastní kinetický model a řídicí systém, které zajišťují optimalizaci procesu v reálném čase a vysokou provozní efektivitu.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není řazena v tabulce specifikací.



Obrázek: <https://eqtec.com/what-we-do/>

Realizace projektů

EQTEC má za sebou několik úspěšných projektů. Například zařízení ve španělské Movialse s výkonem 5,9 MW zpracovává 20 000 tun zemědělského odpadu ročně a dosahuje provozní dostupnosti přes 90 % od roku 2015. Další projekty zahrnují zařízení v Belišće (Chorvatsko) o výkonu 1,2 MW nebo EQTEC Italia MDC v Toskánsku s výkonem 1 MW. Obě realizace slouží také jako demonstrační centra technologie. V USA je ve výstavbě zařízení v kalifornském North Fork s výkonem 2 MW zaměřené na zpracování lesního odpadu.

ZDROJE: <https://eqtec.com/>

Xylergy

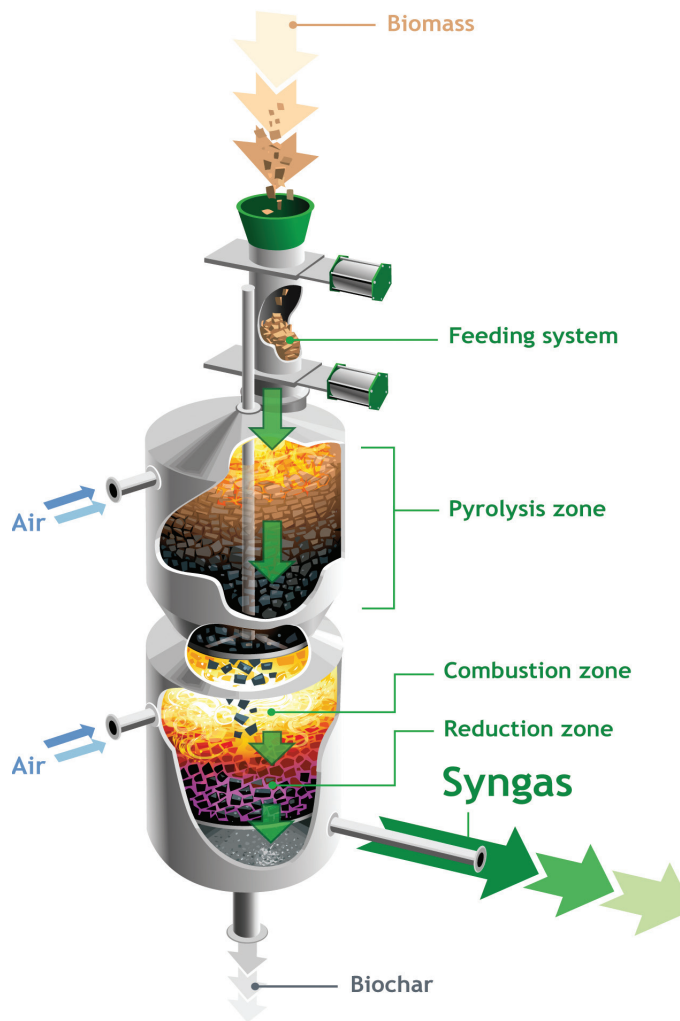
Společnost Xylergy je belgická technologická firma se sídlem v Louvain-la-Neuve, která se specializuje na vývoj a dodávku zařízení pro zplyňování biomasy. Jako svůj cíl si společnost stanovila poskytování řešení pro dekarbonizaci energetiky prostřednictvím přeměny biomasy na syntézní plyn, elektřinu a teplo. Společnost vznikla akvizicí technologie NOTAR od firmy Xylowatt a navázala na více než 20 let výzkumu a vývoje v oblasti zplyňování biomasy. Jde o technologii, která produkuje biouhel jako vedlejší produkt.

Technologický koncept a provozní parametry

Tato technologie je autotermická, tedy nevyžaduje externí zdroj tepla. Umožňuje zpracování různých druhů biomasy, především dřeva.

Reaktor NOTAR je navržen pro zpracování přibližně 6 000 tun biomasy ročně. Syngas může být využit pro výrobu elektřiny, tepla nebo jako náhrada fosilních paliv v průmyslových procesech. Jelikož biouhel vzniká jako sekundární produkt, výrobce neuvádí jeho bilanci.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zařazena v tabulce specifikací.



Obrázek: <https://xylergy-group.com/en/technology/>

Realizace projektů

Společnost Xylergy realizovala například instalaci v nemocnici Mont-Godinne v Belgii, kde zařízení s výkonem

750 kW a 1 200 kW zajišťuje kombinovanou výrobu elektřiny a tepla a produkuje přibližně 750 tun biouhlu ročně. Další projekty zahrnují instalace v Tournai (Belgie), regionu Champagne (Francie), na Université Catholique de Louvain la Neuve (Belgie) a v Gedinne (Belgie). Společnost také dokončuje montáž zařízení v Matsumoto (Japonsko), jehož spuštění bylo plánováno na začátek roku 2025.

ZDROJE: <https://xylergy-group.com/en/>; <https://www.bioflux.earth/>; https://task33.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/sites/33/2023/12/IEA-Bioenergy-Task-33_Newsletter-II-FINAL.pdf

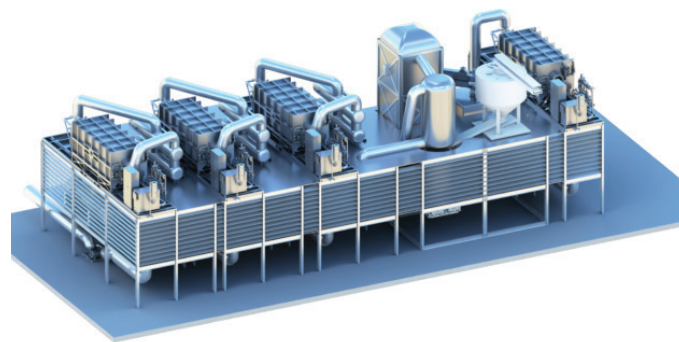
Haffner Energy

Společnost Haffner Energy je francouzská rodinná firma se sídlem ve Vitry-le-François, která se specializuje na vývoj a dodávku technologií pro výrobu obnovitelných paliv z biomasy. Společnost působí nejen ve Francii, ale má také zastoupení v americkém Houstonu. Jejich technologie se zaměřuje na výrobu obnovitelného syntézního plynu (označovaný jako Hypergas), vodíku, metanolu a udržitelného leteckého paliva (SAF) z různých druhů biomasy včetně zemědělských a lesních zbytků. Vedlejším produktem provozu je biouhel.

Technologický koncept a provozní parametry

Klíčovou technologií společnosti je patentovaný proces termolýzy biomasy, který umožňuje přeměnu různých biomateriálů na energeticky bohatý syntézní plyn *Hypergas*. Při tomto procesu vzniká opět biouhel jako sekundární produkt. Hypergas je bohatý na vodík a uhlík a může být dále využit k výrobě obnovitelného vodíku, metanolu nebo SAF. Společnost nabízí modulární řešení, jako je například Hynoca Flex 500 IG, které umožňuje decentralizovanou výrobu vodíku a elektřiny z biomasy.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zařazena do tabulky specifikací.



Obrázek: <https://www.haffner-energy.com/our-history/>

Realizace projektů

Mezi významné realizace společnosti Haffner Energy patří projekt Nede'HY ve Francii, kde se technologie HYNOCa využívá k výrobě 240 tun zeleného vodíku a 1 000 tun biouhlu ročně z agro-lesnických zbytků. Technologie je součástí první francouzské továrny na výrobu udržitelného leteckého paliva (SAF) v lokalitě Paris-Vatry (spolupráce s LanzaTech a LanzaJet). Společnost H2 bois SA v současné době realizuje ve švýcarském Glovelieru provoz na výrobu vodíku, elektřiny a biouhlu z lokální biomasy.

ZDROJE: <https://www.haffner-energy.com/>

MASH Makes

Společnost MASH Makes je indo-dánská technologická firma zaměřená na produkci biouhlu a bio-oleje prostřednictvím pokročilé pyrolýzy zemědělských zbytků. Jejich cílem je dosáhnout odstranění jedné gigatuny CO_2 z atmosféry do roku 2040. Společnost vznikla jako spin-off z Technické univerzity v Dánsku a kombinuje více než 30 let výzkumu v oblasti termochemických procesů s praktickým nasazením v zemích globálního Jihu, zejména v Indii. MASH Makes je certifikovaným výrobcem biouhlu podle standardu EBC v kategorii AgroOrganic.

Společnost také rafinuje vznikající pyrolýzní kondenzát za účelem výroby biopaliv.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie MASH Makes využívá modulární pyrolýzní jednotky, které zpracovávají zemědělské zbytky (např. slupky z kešu ořechů) při teplotách nad $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ v prostředí s nízkým obsahem kyslíku. Tento proces produkuje biouhel s obsahem fixního uhlíku až 87 %, což umožňuje dlouhodobou sekvestraci uhlíku v půdě. Společnost zdůrazňuje jako výhodu vysokou mobilitu jednotek, díky čemuž můžou být nasazeny přímo v blízkosti zdrojů biomasy, což snižuje náklady na dopravu a zvyšuje se celková efektivita systému.

Z webových stránek nejsou zřejmé technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zařazena do souhrnné tabulky specifikací.



Obrázek: <https://www.mashmakes.com/>

Realizace projektů

Funkční zařízení je v provozu v indické Karnatace. Několik projektů je v různé fázi přípravy.

ZDROJE: <https://www.mashmakes.com/>

Meva Energy

Švédská společnost Meva Energy se specializuje na vývoj a implementaci pokročilých technologií zplyňování biomasy. Jejich cílem je poskytovat decentralizovaná energetická řešení pro průmyslové podniky, která umožňují přeměnu místních biogenních odpadů na obnovitelný syngas a biouhel. Tato technologie je navržena tak, aby nahradila fosilní paliva v energeticky náročných odvětvích, jako je papírenský, kovozpracující a nábytkářský průmysl. Meva Energy je členem Světové bioenergetické asociace a aktivně se podílí na švédském národním inovačním klastru pro biouhel.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie společnosti Meva Energy využívá termochemickou konverzi biomasy pro účely výroby syngasu (syntézního plynu) a biouhlu. Vznikající syngas je určen pro spalování v kogeneračních jednotkách pro výrobu elektrické energie.

Z webových stránek nejsou zřejmé technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zařazena do souhrnné tabulky specifikací.



Foto: <https://mevaenergy.com/#>

Realizace projektů

Mezi klíčové projekty společnosti patří zařízení ve švédské Kise, kde Meva Energy ve spolupráci se společností Sofidel nahradila fosilní LPG biosyngasem pro sušení papíru. Toto zařízení s výkonem 4,2 MW ročně sníží emise CO₂ o 8 500 tun a zároveň produkuje biouhel využívaný pro zlepšení půdy. Dalším významným projektem je spolupráce s firmou Elcowire v Helsingborgu

(Švédsko), kde Meva Energy dodává 9 MW v podobě syngasu pro tavení mědi, čímž umožňuje první plně bez-fosilní výrobu měděných drátů na světě. Technologie společnosti Meva Energy je také nasazena v zařízení na výrobu obnovitelné energie v závodě IKEA Industry ve městě Zbąszynek v Polsku. Zařízení má výkon 2,4 MW a je navrženo tak, aby ročně zpracovalo přibližně 100 000 tun dřevního odpadu.

ZDROJE: <https://mevaenergy.com/>

PyroCore

Společnost PyroCore je britský technologický podnik se sídlem v Bristolu s pobočkami v Belgii a Francii. Specializuje se na vývoj a implementaci pokročilých pyrolýzních zařízení pro zpracování obtížně recyklovatelných odpadů jako jsou biomasa, plasty a kal z akvakultur. Cílem společnosti je přeměnit tyto odpady na využitelné produkty jako je biouhel a tím přispět k dekarbonizaci průmyslu a podpoře cirkulární ekonomiky.

Technologický koncept a provozní parametry

PyroCore nabízí modulární a kontejnerizované pyrolýzní jednotky, které umožňují zpracování různých odpadních materiálů přímo na místě jejich vzniku. Proces probíhá za vysokých teplot v prostředí s omezeným přístupem kyslíku, což vede k termochemickému rozkladu materiálu na syntézní plyn a biouhel. Syntézní plyn je následně spalován za účelem výroby tepla, které může být využito pro ohřev vody, výrobu páry nebo elektřiny. Technologie je navržena tak, aby byla energeticky soběstačná – po počátečním zahřátí je proces udržován spalováním vzniklého syntézního plynu.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zařazena do souhrnné tabulky specifikací.



Obrázek: <https://pyrocore.com/en/our-solution/pyrolysis/>

Realizace projektů

Jedním z klíčových projektů je Mersey Biochar ve Warringtonu (Velká Británie), kde PyroCore dodalo technologii pro zařízení schopné zpracovat 4 000 tun biomasy ročně a vyprodukovat přibližně 700 tun biouhlu. Tento projekt je realizován ve spolupráci s organizacemi Severn Wye Energy Agency, Pure Leapfrog a Vital Energi, a jeho cílem je nejen výroba biouhlu, ale také dodávka tepla pro místní budovy a sekvestrace více než 2 500 tun CO₂ ročně. Dalším příkladem je spolupráce s firmou Blue Ocean Technology na zpracování kalu z akvakultury na biouhel.

ZDROJ: <https://pyrocore.com/en/>

SOLER Group

Společnost SOLER Group je francouzská rodinná firma založená v roce 1993, která se specializuje na výrobu

biouhlu prostřednictvím pyrolýzy dřevních zbytků z udržitelně obhospodařovaných lesů. Společnost provozuje tři biorafinérie ve Francii: dvě v Gyé-sur-Seine a jednu v Lacanau. Celková roční výrobní kapacita je uváděna 50 000 tun biouhlu, dodávky „zelené“ elektřiny odpovídají spotřebě zhruba 20 000 domácností.

Technologický koncept a provozní parametry

SOLER Group využívá vlastní patentovanou technologii pyrolýzy, která umožňuje přeměnu dřevních zbytků na obnovitelný uhlík a zelenou energii. Proces probíhá za vysokých teplot v prostředí s omezeným přístupem kyslíku, což vede k termochemickému rozkladu biomasy na syntézní plyn a biouhel. Syntézní plyn je následně spalován za účelem výroby tepla a elektřiny. Technologie je navržena tak, aby byla energeticky soběstačná a ekologicky šetrná.

Z webových stránek nejsou jasné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zařazena do souhrnné tabulky specifikací.



Foto: <https://soler-group.com/press-echos-soler-united-states-biocarbone/>

Realizace projektů

Společnost SOLER Group realizovala tři hlavní biorafinérie ve Francii. První zařízení bylo uvedeno do provozu v roce 2012 v Gyé-sur-Seine a disponuje roční

kapacitou 10 000 tun biouhlu a výrobou 28 000 MWh elektřiny. Druhá jednotka (rovněž v Gyé-sur-Seine) byla spuštěna v roce 2019 a produkuje 20 000 tun biouhlu a 12 000 MWh elektřiny ročně. Třetí provoz byl otevřen v roce 2021 v Lacanau a roční výkon zařízení odpovídá 20 000 tunám biouhlu a 12 000 MWh elektřiny. Tyto projekty dohromady zásobují více než 20 000 domácností udržitelnou energií.

ZDROJE: <https://soler-group.com/>

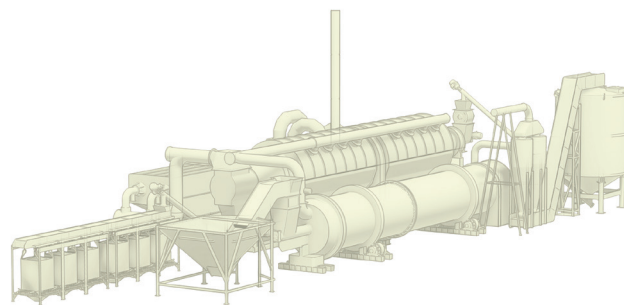
BCHAR

Společnost BCHAR je mladá firma založená v roce 2023 ve švýcarském Curychu jako spin-off univerzity ETH Zurich. Jejich cílem je umožnit masivní rozšíření technologie výroby biouhlu především pro použití v zemědělství, kde může zlepšit zdraví půdy, recyklovat organický odpad a přispívat ke snižování emisí oxidu uhličitého. Firma se otevřeně hlásí k celosvětovému cíli odstraňování uhlíku ve velkém měřítku do roku 2050.

Technologický koncept a provozní parametry

Technologie BCHAR je postavená na modulárním a plně automatizovaném systému. Zařízení jsou navrhována ve Švýcarsku a vyráběna v Asii. Jako výhodu svého řešení společnost uvádí instalaci bez nutnosti svařování. BCHAR nabízí šest modelových řad zařízení, BCHAR50 až BCHAR1000, kde číslo označuje kapacitu výstupu v kilogramech biouhlu za hodinu. Jednotky jsou navrženy jako kontinuální zařízení. Vzniklé teplo je využito v provozu pro zvýšení účinnosti. Po vybudování příslušných akcesorií může být teplo využito pro výrobu elektrické energie. Pyrolýza probíhá při teplotě 500 °C a celý proces je řízený MRV systémem pro optimální procesní podmínky.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://bchar.earth/>

Realizace projektů

Pilotní provoz v Thajsku zpracovával kokosové slupky a sloužil k ověření kvality výstupu a funkčnosti zařízení v tropickém prostředí. V Argentině spolupracuje BCHAR se Zurich University of Applied Sciences na projektu v provincii Jujuy, kde se zpracovávají piliny a odpadní dřevo z místního dřevařského průmyslu. Odpadní teplo z procesu se využívá pro sušení dřeva.

ZDROJE: <https://bchar.earth/>

Carbo Culture

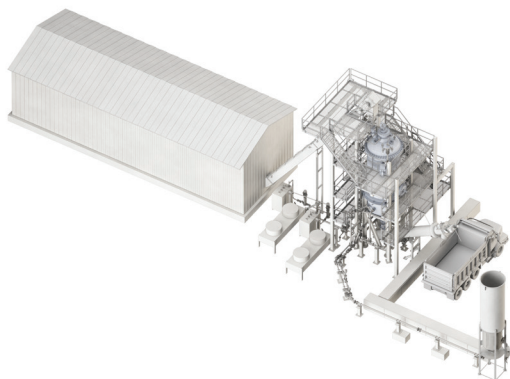
Společnost Carbo Culture je technologická firma se sídlem v Kalifornii (Walnut), která vznikla jako spin-off z akademického prostředí (Stanford StartX) s misí trvale odstraňovat CO₂ z atmosféry přeměnou biomasy na biouhel. Společnost má významné zastoupení v Evropě, proto je řazena do tohoto výčtu.

Technologický koncept a provozní parametry

Klíčová technologie společnosti nazvaná Carbolysis využívá patentované vysokoteplotní pyrolýzy při teplotách okolo 850 °C a krátkodobého působení tlaku stlačeného vzduchu. Společnost uvádí, že to vede ke

vzniku uhlíku extrémně vysoké stability. Zároveň je produkován bezdehtový syngas pro výrobu tepla či elektřiny. V technologickém procesu Carbolysis se biomasa vkládá do reaktoru, který je následně přetlakován stlačeným vzduchem. Spodní zapálení spustí reakční frontu, jež postupuje nahoru a přemění biologický materiál na biouhel. Současně se dehty a oleje přeměňují na energeticky hodnotný syntézní plyn (syngas) určený k výrobě obnovitelné energie nebo jinému využití.

Z webových stránek nejsou zřejmé přesnější technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není řazena v příloze.



Obrázek: <https://carboculture.com/technology/reactors>

Realizace projektů

Společnost na svých stránkách uvádí 3 projekty – R2, R3 a C1. Jde o pilotní projekty s různou velikostí a koncepcí provozu. Projekt R2 byl experimentální reaktor postavený v Escalonu (Kalifornie, USA) v roce 2022. Jde o malý testovací provoz. R3 je projekt z finského města Kerava poblíž Helsinek. Jde o projekt, který implementoval zařízení z projektu R2. Zařízení bylo uvedeno do provozu v roce 2023 a uvádí roční produkci biouhlu 900 tun. Výhledově plánuje společnost Carbo Culture

širší výstavbu komerčních jednotek v Evropě včetně provozů, které mají patřit mezi největší na světě.

ZDROJE: <https://carboculture.com/technology/reactors>; <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CarboCulture.pdf>

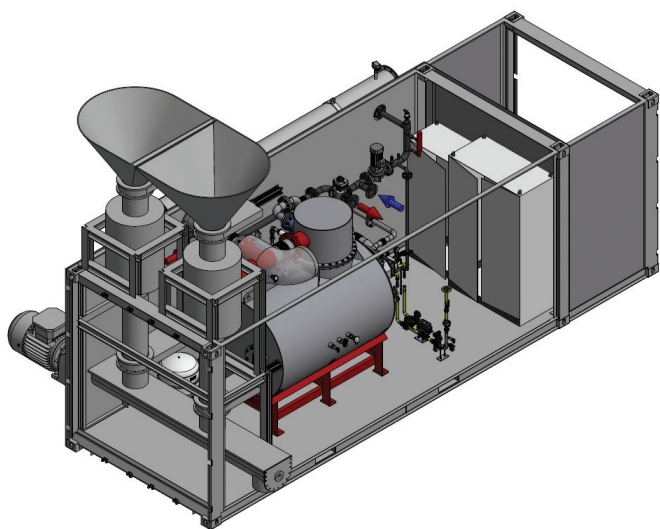
SPSC GmbH

Německá polečnost SPSC (Schweiger & Partner Prozesstechnik) sídlí v Ottobrunnu u Mnichova (Bavorsko). Od roku 2016 se věnuje vývoji a výrobě technologií pro výrobu biouhlu z biomasy. Jejich řešení jsou modulární a plně automatizovaná. Společnost nabízí jak menší zařízení pro drobnější uživatele (farmáři, obce), tak velkokapacitní průmyslová řešení pro větší provozy.

Technologický koncept a provozní parametry

Zařízení SPSC pracují v bezkyslíkovém prostředí při teplotách mezi 400–1 000 °C, kde vzniklý syngas je spalován a zajišťuje tepelnou soběstačnost. Biouhel vyrobený těmito technologiemi dosahuje obsah fixního uhlíku 92–94 % a vyhovuje standardům EBC. Společnost nabízí dva typy zařízení, které se liší koncepcí. Modely VARIO S a L jsou vsázkového typu, zatímco VARIO XS a XL jsou určeny pro kontinuální provozy. Vsázková zařízení jsou schopná za jeden cyklus přeměnit biomasu na biouhel v rozsahu 0,12 až 0,9 m³ biouhlu bez potřeby využití elektřiny nebo plynu. Obě řady technologií jsou schopny zpracovávat řadu materiálů od dřevní štěpky po zemědělské zbytky.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.



Obrázek: <https://www.sp-sc.de/en/vario-xs-fully-automatic/>

Realizace projektů

Společnost SPSC uvádí více než 20 instalací ve 8 zemích (Německo, Rakousko, Švýcarsko, Bělorusko, Slovensko, Malajsie, Tchaj-wan, Rusko). Společnost uvádí, že dosud největší průmyslová karbonizační linka s osazenou technologií SPSC dosahuje roční produkce 7 000 tun biouhlu.

ZDROJE: <https://www.sp-sc.de/en/startseitehome/>

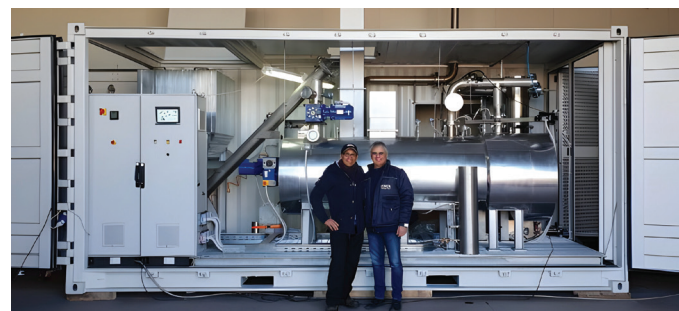
PyroGenesis LTD

PyroGenesis je britská technologická společnost se sídlem v Birminghamu na Faraday Wharf. Byla založena roku 2017 a vyvíjí a provozuje inovativní kontejnerová zařízení pro přeměnu biologického odpadu na energii a biouhel. Jejich patentovaný systém Pyrochemy kombinuje pyrolýzu a flexibilní využití syngasu, biooleje a biouhlu pro decentralizované energetické systémy zejména v odlehklých komunitách subsaharské Afriky.

Technologický koncept a provozní parametry

Systém Pyrochemy je kontejnerizované zařízení pracující na principu pokročilé termické pyrolýzy schopné zpracovat širokou škálu zemědělských odpadů (např. slupky manioku, rýže, drcené dřevo apod.). Proces přeměňuje biologický odpad na tři použitelné produkty: biouhel, syngas pro výrobu elektrické energie a pyrolýzní olej, který lze dále rafinovat za vzniku biopaliv. Zařízení je modulární, snadno přemístitelné a je určeno především pro provoz mimo hlavní elektrické sítě.

Z dostupných informací nejsou zřejmé přesné technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není uvedena v tabulkové příloze.



Obrázek: <https://pyrogenesys.com/>

Realizace projektů

PyroGenesis vyvíjí a realizuje řešení Pyrochemy zejména v subsaharské Africe (Nigérie, Libérie, Sierra Leone a Etiopii) v rámci čtyř pilotních projektů (EMEES, RIVET, PPA, EAA). Společnost je aktivní v konsorciích zaměřených na energetickou soběstačnost zemědělských komunit.

ZDROJE: <https://pyrogenesys.com/>

WoodTek Biochar

Společnost WoodTek Biochar je britská rodinná firma sídlící v Guilsfield, Welshpool. Jako součást inženýrské firmy WoodTek Engineering Ltd, která má více než 30 let zkušeností s instalací a provozem kotlů na biomasu a zařízení pro energetické využití, vyvinula vlastní technologii dvoustupňové pyrolýzy. Společnost nabízí zařízení označené jako Woodtek C1000, které bylo v letech 2023 a 2024 otestováno v provozu na třech lokalitách.

Technologický koncept a provozní parametry

Systém Woodtek C1000 ročně vyprodukuje přibližně 800 tun biouhlu především ze dřevní štěpky, kůry a vedlejších produktů pilařské výroby. Přípustným vstupním materiálem je také zelený zahradní odpad. Zařízení vyrábí elektřinu a zbytkové teplo v množství 1-1,5 MW na 1 tunu biouhlu. Toto teplo je využito k sušení dřevní štěpky a vytápění. Výroba elektřiny převyšuje spotřebu zařízení, díky čemuž je uhlíkově negativní. Woodtek C1000 zahrnuje integrovanou technologii čištění spalin. Výrobce uvádí, že zařízení je dobře přepravitelné.

Z webových stránek nejsou zřejmé podrobnější technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie nefiguruje v tabulkové příloze.



Obrázek: <https://www.woodtekbiochar.com/post/first-woodtek-biochar-plant-commissioned-in-2024>

Realizace projektů

Zařízení je v provozu v sídle společnosti na farmě v Guilsfield. Další zařízení jsou provozována na několika místech ve Velké Británii a ve Švédsku.

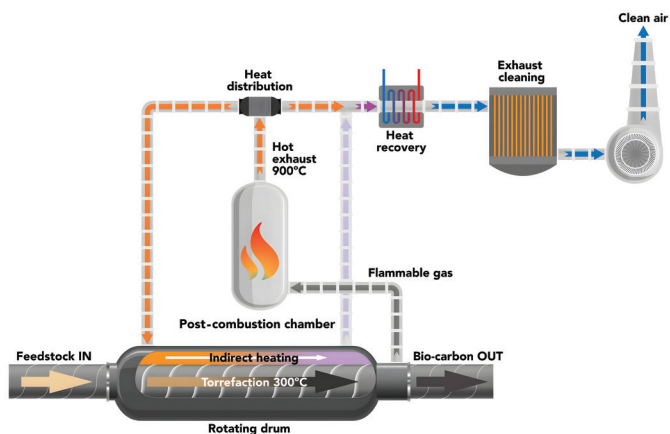
ZDROJE: <https://www.woodtekbiochar.com/>

TorrCoal

Společnost TorrCoal se specializuje na komerční uplatnění torrefakce. Za tím účelem vyvinula vlastní konstrukční řešení a nabízí licenci na svou technologii, projektové poradenství i knowhow. Provoz společnosti v belgickém Dilsen-Stokkem je považován za jednu z největších torrefakčních továren na světě. Provoz má rozlohu 2 500 m² a je navržen na produkci 30 000 tun biouhlu ročně. Cílem společnosti je nahrazovat fosilní zdroje v energeticky náročných odvětvích jako je např. výroba oceli (spolupráce s Acelor-Mittal). TorrCoal má ve svém portfoliu dodávky technologie např. pro provoz Dalkia v Katovicích, Technische Universität Freiburg ve Freiburgu, TEC Pellets v Portugalsku a další.

Technologický koncept a provozní parametry

Jádrem technologie je patentovaný rotující torrefakční buben (CVertr), kde se biomasa zahřívá při 270–350 °C bez kyslíku. Vzniklý syngas se spaluje a zajišťuje ohřev torrefakčního bubnu. Provoz je tedy energeticky soběstačný. Zařízení umožňuje nepřetržitý provoz. Součástí torrefakce je systém čištění spalin, generátor a rekuperace tepla, které je možno dále využívat pro vytápění nebo sušení materiálu.



Obrázek: <https://www.torrcoal.com/cms/wp-content/uploads/Torr-Coal-2D-illustratie.jpg>

Realizace projektů

Firma kromě své továrny uvádí ve svém portfoliu dalších 14 realizovaných projektů, např. elektrárna v Katovicích, pilotní zplyňovací zařízení o výkonu 1MW v Groningenu v Německu a další provozy v Portugalsku, Belgii nebo v Itálii.

ZDROJE: <https://www.torrcoal.com/torrefaction-technology/>

SKANSKA /The CharMaker

Nadnárodní společnost SKANSKA se zabývá zejména stavební a developerskou činností. Ve spolupráci s australskou firmou The CharMaker vyvinula zařízení CharMaker FPP40 určené pro zpracování dřevní hmoty s důrazem na jinak obtížně využitelné části stromů jako jsou pařezy nebo kořeny stromů.

Technologický koncept a provozní parametry

Zařízení označené jako CharMaker FPP40 má kapacitu 43 m³ a výstupem je 6-8 m³ biouhlu. Je určeno

především na zpracování velkých klád, pařezů, kořenů a podobně problematického materiálu. Jedná se o dávkový systém. Pyrolýza jedné dávky trvá 8-24 hodin. Systém je navržen tak, aby po dosažení pyrolýzní teploty došlo ke stabilizaci procesu a reakce doběhla autonomně bez lidské obsluhy. Odpadní teplo je využito na předsušení biomasy. Technologie byla zkonstruována pro specifické podmínky určitého projektu v lokalitě s extrémně nízkými teplotami (až -40 °C). Produkt je EBC certifikovaný včetně certifikace EBC C-Sink na uhlíkové kredity.

Z webových stránek nejsou zřejmě podrobnější technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie nefiguruje v příloze.



Obrázek: <https://thecharmaker.com/project/skanska-ab-biochar-facility/>

Realizace projektů

Společnost uvádí realizace ve švédských lokalitách Skellefteå a Södertälje.

ZDROJE: <https://thecharmaker.com/project/skanska-ab-biochar-facility/>; <https://thecharmaker.com/project/telge-atervinning-ab-bio-char-facility/>; <https://thecharmaker.com/contact-us/>

Envigas

Envigas je švédská společnost zasazující se o dekarbonizaci ocelářského průmyslu. Usiluje o nahrazení fosilního uhlí při výrobě oceli dřevěným uhlím z biomasy. Technologie je určena primárně ke karbonizaci potěžebních zbytků z lesního hospodaření. Společnost uvádí, že od roku 2013 je jedním z předních výrobců a prodejců biouhlu, pyrolýzního oleje (používaného na energetické a chemické účely) a syntézního plynu s velkou výhřevností.

Technologický koncept a provozní parametry

Používaná technologie vyrábí biouhel, pyrolýzní plyn a olej. Cílem firmy je do roku 2030 dosáhnout výrobní kapacity 150 000 tun biouhlu. V současnosti společnost disponuje pilotním závodem se třemi zařízeními od malého retortního řešení po velkoobjemový průmyslový reaktor, které dohromady vyrobí 5 000 tun biouhlu a 2 000 tun pyrolýzního oleje za rok.

Z dostupných informací nejsou zřejmé podrobnější technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie nefiguruje v tabulkové příloze.



Obrázek: <https://www.envigas.com/post/pressrelease-envigas-ou-tokumpu-eng>

Realizace projektů

Továrna je provozována ve švédském Skellefteå. Dále společnost uvádí, že je ve výstavbě několik projektů ve spolupráci s průmyslovými firmami a evropskými univerzitami.

ZDROJE: <https://www.envigas.com/>

OZEN Sp. z o.o.

Polská společnost OZEN Sp. z o.o. se nachází ve městě Walcz a má svoji patentovanou technologii na výrobu dřevěného uhlí. Rozloha provozu činí 90 000 m² a od roku 2011 v ní bylo vyrobeno 210 000 tun dřevěného uhlí. Z informací uváděných společností nepřímo vyplývá, že biouhel je spíše vedlejším produktem výroby. Kromě toho je společnost zaměřená na přidruženou výrobu a prodej zelené elektřiny.

Technologický koncept a provozní parametry

Vstupním materiálem je zejména předem vybrané tvrdé dřevo. Předpříprava zahrnuje drcení materiálu na velikost do 30 cm a sušení. Biomasa následně putuje do vertikální retorty, ve které při teplotách okolo 550 °C vzniká dřevěné uhlí a dřevoplyn. Z dřevoplynu je následně vyrobena elektřina. Dřevěné uhlí a biouhel poté podléhají třídění podle frakcí, případně probíhá drcení nebo briketace. Továrna disponuje dvěma oddělenými linkami a celý proces je automatizovaný.

Z dostupných informací nejsou zřejmé podrobnější technické specifikace pyrolýzního zařízení, a proto tato technologie není zařazeno do tabulkové přílohy.



Obrázek: <https://ozen.pl/en/homepage>

Realizace projektů

Společnost provozuje vlastní výrobu dřevěného uhlí ve městě Walcz **v Polsku**. Podle dostupných informací není společnost zaměřena na realizaci další podobných projektů **s uplatněním** zmiňované technologie.

ZDROJE: <https://ozen.pl/en/homepage/>

Doplnění – světová scéna

V rámci rešerše byly v souladu se zadáním uvažovány pouze společnosti, které dodávají technologie pro výrobu biouhlu a mají sídlo v Evropě. Toto zadání bylo vedeno snahou o zajištění souladu s evropskými normami, certifikací a optimalizací nákladů a logistiky v případných dalších fázích projektu. Lokální výrobci často vyvíjejí svá zařízení s ohledem na specifika evropského trhu a odpadových toků, což zvyšuje pravděpodobnost jejich úspěšného nasazení. Rovněž lze předpokládat pružnější, spolehlivější a ve výsledku levnější servisní služby ve fázi provozu.

Na světové scéně však působí dlouhá řada mimoevropských významných výrobců a dodavatelů technologií pro pyrolýzu a produkci biouhlu, kteří realizují projekty po celém světě. Není bez zajímavosti, že čtyři z pěti největších výrobců zařízení pro výrobu biouhlu jsou čínské podniky. Asijští výrobci jsou vyhledáváni i jako dodavatelé komponent pro technologie vyráběné v Evropě či USA. Pro ilustraci zde zmíníme například velké americké technologické společnosti New England Biochar⁸ a ARTi⁹, průkopnickou australskou společnost Renergi Pty¹⁰ Ltd nebo významné čínské výrobce Beston Group¹¹ a Pyrogreen¹².

Stručné shrnutí kapitoly

Pyrolýzní technologie jsou stále relativně nové a průběžně dochází k uvádění dalších inovativních řešení na trh. V evropském prostoru působí řada firem zaměřených na vývoj a výrobu různých typů těchto technologií. Nejčastěji se jedná o kontinuální provozy určené ke zpracování dřevních odpadů nebo surového dřeva, přičemž stále častěji se objevují i zařízení zaměřená na

8 <https://newenglandbiochar.com/>

9 <https://www.arti.com/>

10 <https://renergi.net/>

11 <https://www.bestongroup.com/>

12 <https://www.pyrogreen-energy.com/>

zpracování čistírenských kalů. Technologie pro pyrolytické zpracování syntetických látek byly pro účely této rešerše ponechány stranou.

Největší výrobci těchto systémů sídlí zejména v Rakousku, Německu a Skandinávii. Na trhu jsou k dispozici malé až středně velké jednotky, které zpracovávají omezené množství biomasy a jsou vhodné pro lokální využití. Prosazují se modulární řešení, kdy je možné drobnější (a levnější) reaktory seřadit do soustav s proměnlivým výkonem. Druhou skupinu tvoří velkokapacitní zařízení, která jsou schopna zásobovat teplem a v některých případech i elektřinou celé městské čtvrti.

Výrobci technologie běžně nabízejí kromě vlastního technologického zařízení také komplexní řešení na klíč včetně projektování, dodávky, instalace, uvedení zařízení do provozu a následného servisu.

The background of the slide is a dark, high-contrast image showing a pile of wood chips and charcoal. The wood chips are light-colored and elongated, while the charcoal is dark and irregularly shaped. The text is overlaid on the left side of the image.

6. Trendy a perspektivy ve vývoji pyrolýzních zařízení

Zde se pokusíme stručně a v bodech shrnout poznatky z prostudovaných materiálů, rozhovorů s odborníky a vlastních zkušeností a vyvodit z nich náznaky vývoje a trendy.

Customizace

Poměrně zřídka lze dohledat konkrétní informace o technických parametrech, rozměrech nebo dokonce cenách pyrolýzních zařízení různých výrobců. Není to proto, že by parametry nebyly známy, ale u většiny řešení existuje poměrně velké rozpětí použitelnosti zařízení a ty které instalace se tak od sebe mohou velmi lišit. Uvádění konkrétních vlastností by tak mohlo být do jisté míry zavádějící. Realizaci každé středně- nebo velkokapacitní výroby biouhlu zpravidla předchází zpracování studie a pak následuje fáze projektové přípravy, během níž teprve vyvstanou všechna specifika a stanoví se konkrétní parametry vhodné pro danou situaci. Úprava zařízení „na míru“ tak hraje v projekční fázi zásadní roli.

Z toho pravidla se vymykají malá modulární zařízení. Ta bývají nabízena v režimu „plug-in“, kdy s trochou nadsázky stačí zařízení přivést, zapojit a uvést do provozu. Tato zařízení bývají levnější a zpravidla neumožňují customizaci.

Modularita

Lze vypořádat významný trend ve vývoji a realizaci drobnějších pyrolýzních reaktorů, které mohou být řazeny paralelně. Oproti stavbě a provozu jednoho velkého reaktoru mají sestavy drobnějších reaktorů tyto výhody:

- jednotlivé bloky mohou být uváděny do provozu (nebo naopak odstavovány) podle vývoje situace na trhu s biomasou, poptávce po biouhlu, spotových cen elektřiny a podobně,

- v případě poruchy nebo pravidelné údržby je odstaven vždy jen jeden reaktor, nejsou tak ohroženy kontinuální dodávky tepla a energie z kogenerace,

- drobnější (modulární) pyrolýzní jednotky bývají levnější, vyplatí se i menším producentům, toky biomasy, energie a výroba biouhlu je tak decentralizovaná,

- zařízení bývají nabízena v daných variantách, která neumožňují širší škálu úprav (customizace).

Sestavy drobnějších modulárních řešení bývají oblíbené u bytových komplexů, zemědělských podniků nebo průmyslových objektů. Pro větší aglomerace nebo podniky se zajištěným přísunem biomasy a velkým požadovaným výkonem může být vhodnější velké zařízení. To je nutné posoudit v rámci studie proveditelnosti, která bude (mimo jiné) kvantifikovat disponibilní vstupy a požadované výstupy v rámci celého procesu, a to včetně nejrůznějších rizik a nejistot.

Kombinace benefitů

Je pravidlem, že u sériově vyráběných pyrolýzních jednotek je využíváno přebytkové teplo (zpravidla k vytápění objektů a/nebo sušení materiálů). Méně často se také uplatňuje výroba elektrické energie, což nese výrazně vyšší náklady a omezuje škálu dostupných zařízení. Neefektivnější bývá využití vyráběné elektřiny pro vlastní spotřebu investora (úspora). Prodej do sítě je uplatňován výjimečně.

Poměrně zřídka bývají extrahovány pyrolýzní kondenzáty, což je dáno jejich problematickým složením a zatím omezenou škálou koncového využití. Ze zkušeností z různých úspěšných instalací je ekonomicky nejstabilnější model, kdy jsou zároveň uplatňovány tyto benefity:

- likvidace přebytkových materiálů (odpadu) jako jsou čistírenské kaly, gastroodpad, biomasa,

- produkce biouhlu,
- produkce energie (teplo, elektřina),
- uplatnění uhlíkových kreditů.

Jak je zřejmé, skloubit všechny tyto benefity do smysluplného celku a uplatnit je úspěšně na trhu nemusí být snadné. Četné příklady z praxe ale ukazují, že je to možné a dobře nastavený model může být ekonomicky i environmentálně extrémně zajímavý.

Stručné shrnutí kapitoly

Lze vypořádat několik trendů ve vývoji uplatňovaných pyrolyzních zařízení:

- **customizace** – u větších instalací je běžné řešení „na míru“,
- **modularita** – prosazují se drobnější (a levnější) řešení umožňující decentralizovanou produkci,
- **kombinace benefitů** – jsou paralelně využívány všechny benefity, což umožňuje provozní a finanční stabilitu projektů.

7. **Příklady fungujících pyrolýzních zařízení v Evropě**

Účelem této kapitoly je uvést několik příkladů dobré praxe. Text v žádném případě není vyčerpávajícím výčtem úspěšných evropských projektů. Bylo vybráno několik realizací z prostředí evropských měst, které mohou být inspirativní pro hlavní město Prahu a případně další česká města. Jedná se o Helsingborg, Darmstadt, Stockholm, Innsbruck, Helsinky a Bratislavu.

Helsingborg, Švédsko¹³

Helsingborg je středně velké přístavní město na jihu Švédska, ležící přímo naproti dánskému Helsingøru. Žije zde přibližně 115 000 obyvatel. Město se dlouhodobě profiluje jako inovativní a environmentálně uvědomělé, což se odráží i v jeho přístupu k nakládání s odpady a ochraně klimatu.

Na předměstí města v areálu Filborna vzniklo moderní pyrolýzní zařízení na výrobu biouhlu, které provozuje NSR AB (Nordvästra Skånes Renhållningsbolag AB) – regionální podnik vlastněný šesti okolními municipality, včetně Helsingborgu. Projekt byl oficiálně uveden do provozu v červnu 2022 a stal se klíčovým prvkem v úsilí města o klimaticky udržitelná řešení. Celkové náklady na projekt činily přibližně 50 milionů SEK (114 mil. CZK). Tato částka byla částečně financována garantem od Švédské agentury na ochranu životního prostředí.

Zařízení ročně zpracuje přibližně 7 000 tun městské biomasy – především zeleného odpadu ze zahrad a parků¹⁴ (konkrétně větve¹⁵) – a vyprodukuje z něj 1 500 tun biouhlu. Současně vzniká 11 GWh tepla, které je odváděno do městské sítě dálkového vytápění a slouží i pro vlastní provoz zařízení. Výsledkem je vázání zhruba 3 000 tun CO₂ ročně.

Technologicky je provoz rozdělen na dvě části. Venkovní

část dodala dánská společnost **EUROmilling**, která navrhla, vyrobila a dodala kompletní řešení včetně řídicího systému pro příjem, drcení, třídění, sušení a meziskladování biomasy určené pro reaktor. Vnitřní část tvoří samotný pyrolýzní reaktor od norské společnosti **Vow**. Její technologie **BioGreen** využívá **elektricky vyhřívaný šnekový dopravník (Spirajoule)**, který umožňuje přesné řízení teploty a vysokou energetickou účinnost. Při pyrolýze vzniká syntézní plyn (syngas), který je spalován v kotli produkujícím teplo pro městskou síť i sušárnu. Elektrickou energii pro provoz zajišťují generátory na skládkový plyn z kompostárny provozované NSR, nacházející se v těsné blízkosti zařízení. Výstup biouhlu z jednotky BioGreen je vybaven další patentovanou technologií – **chladícím šnekovým dopravníkem UPK**. Tento systém zajišťuje kontinuální, bezpečný a efektivní odvod biouhlu pomocí chladicí vody. Ochlazený biouhel je poté dopravován do venkovní baličky, kde je následně balen do big bagů pro meziskladování nebo přepravu.



Foto: <https://bioenergyinternational.com/nsr-closes-the-circle-with-novel-biochar-plant/>

V rámci areálů Filborna se nachází také vzdělávací a výzkumné zázemí **Biochar Competence Centre**. Je vybaveno laboratoří a malým testovacím reaktorem a nabízí prostor pro výuku, výstavy i odborná setkání. V rámci centra probíhá také výzkum aplikací biouhlu, například v rámci sanace kontaminovaných půd, ve spolupráci se Švédskou univerzitou zemědělských věd (SLU) a Švédským geotechnickým institutem.

¹³ Zdroj: <https://bioenergyinternational.com/nsr-closes-the-circle-with-novel-biochar-plant/>

¹⁴ <https://bloombergcities.jhu.edu/news/big-lessons-small-city-borrowing-and-building-upon-idea>

¹⁵ <https://helsingborg.se/makingofasmartercity/climate-expert-and-ipcc-author-oliver-geden-has-been-booked-as-one-of-the-key-note-speakers/>

Podle dohledaných informací je plánem města Helsingborg celou jednu třetinu vyrobeného biouhlu dát na výzkum a vývoj nových produktů. Příkladem takových výzkumných projektů je výroba klimaticky neutrálního betonu.^{16 17}

Zařízení města Helsingborg je skvělým příkladem použití inovativních technologií a integrace vzdělávání.

Darmstadt, Německo

Darmstadt je město ve spolkové zemi Hesensko, ležící jižně od Frankfurtu nad Mohanem. Má přibližně 160 000 obyvatel a je známé jako centrum vědy a výzkumu. Nachází se zde množství výzkumných ústavů, univerzit a technologických firem. Není proto překvapením, že právě zde vznikl inovativní městský projekt zaměřený na výrobu biouhlu z komunálního odpadu.

Za tímto projektem stojí **městský podnik EAD** (Eigenbetrieb für kommunale Aufgaben und Dienstleistungen), který zajišťuje komunální služby včetně zpracování odpadu. V městské části Kranichstein EAD provozuje kompostárnu, do jejíž provozu byla v roce 2022 začleněna karbonizační jednotka na výrobu biouhlu. Tato jednotka ročně zpracuje přibližně 4 000 tun zeleného a organického odpadu, z něhož vzniká 1 000 tun biouhlu. Výsledkem je zachycení a trvalé uložení asi 2 600 tun CO₂ ročně, což představuje významný přínos k ochraně klimatu.¹⁸

Technologii dodala německá společnost **Carbon Technik Schuster (CTS)**. Zařízení o ploše zhruba 400 m² se skládá ze dvou pecí umístěných pod střechou pokrytou fotovoltaickými panely. Teplo vznikající při pyrolýze se využívá k předsušení vstupního materiálu a také k výrobě elektřiny pomocí plynové turbíny, která slouží nejen pro chod karbonizační jednotky, ale částečně i pro napájení samotné kompostárny. Zařízení je v provozu téměř po celý rok (provozovatel uvádí až 320 dní ročně) a běží nonstop.¹⁹

Vstupní surovinou je městský zelený odpad – především dřevní zbytky z prořezávek stromů a údržby veřejné zeleně. Výsledný biouhel se na místě mísí s kompostem a substrátem a vzniká substrát PALATERRA, který je v současnosti prodáván ve volně ložené formě přímo v areálu kompostárny. Čistý darmstadtský biouhel je možno díky spolupráci EAD a lokálního prodejce supermarketové sítě EDEKA nakoupit přímo v prodejně EDEKA v Darmstadtu.²⁰ První praktické využití substrátu s biouhlem již proběhlo například ve výsadbách městské zoologické zahrady Vivarium.

EAD projekt aktivně propojuje také s environmentálním vzděláváním. Každoročně se zde koná Den sázení pro veřejnost, organizovaný ve spolupráci s místní mateřskou školou. Návštěvníci se zde mohou seznámit s výrobou kompostu i biouhlu, zhlédnout film o biouhlu a zakoupit si květiny i substráty.²¹ V oblasti výzkumu spolupracuje město s Univerzitou Geisenheim, přičemž společně realizují projekt na zvyšování odolnosti městské vegetace pomocí biouhlu. Výsadby s přídavkem biouhlu se testují na 23 různých městských stanovištích – zejména v ulicích, kde je vegetace vystavena zátěži.²²

16 <https://bloombergcities.jhu.edu/news/big-lessons-small-city-borrowing-and-building-upon-idea>
17 <https://www.bable-smartcities.eu/explore/use-cases/use-case/climate-neutral-concrete-with-biochar.html>
18 Zdroj: <https://pflanzenkohle-darmstadt.de/>
19 Zdroj: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/spatenstich-fuer-neue-karbonisierungsanlage-des-ead/>
20 Zdroj: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/nachhaltigkeit-gemeinsam-umgesetzt/>
21 Zdroj: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/ead-pflanztag-am-20-april-auf-der-kompostierungsanlage/>
22 Zdroj: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/seit-februar-erprobt-darmstadt-resilienzsteigerung/>

Darmstadtský biouhel má **evropský certifikát EBC** (European Biochar Certificate) a provozovatel uvádí, že je součástí systému obchodování s emisními povolenkami **EU ETS**. To znamená, že město může prodávat uložený uhlík ve formě CO₂ certifikátů, čímž získává další prostředky na podporu udržitelnosti.²³

Stockholm, Švédsko

Stockholm, hlavní město Švédska s přibližně 980 000 obyvateli, je známé svým důrazem na ekologické inovace a udržitelný rozvoj. V rámci své klimatické strategie, která si klade za cíl dosáhnout uhlíkové neutrality do roku 2040, město realizovalo projekt zaměřený na výrobu biouhlu z městského zeleného odpadu.

Projekt byl zahájen po vítězství v soutěži Bloomberg Mayors' Challenge v roce 2014, kdy město získalo finanční podporu ve výši 1 milion eur. Pilotní provoz byl zahájen v roce 2017 a v plném měřítku měl být dokončen v roce 2020. V provozu je zde reaktor Pyreg P500. Bylo naplánováno rozšíření o dalších 5 zařízení, což by znamenalo zvýšení kapacity na 7000 tun biouhlu a sekvestrování 25 200 tun CO₂. Zároveň s tím produkuje 25 200 MWh energie pro 400 domácností.²⁴ Podle informací z roku 2020 město plánuje přesun zařízení z umístění v Högdalenu na sever města.²⁵ Aktuální pilotní projekt dokončený v roce 2020 přeměňuje 1300 tun biomasy s výstupem 300 tun biouhlu ročně.²⁶

Hlavním vstupním materiálem je zelený odpad z městských parků a zahrad, sezónně pak vánoční stromky. Do sběru biomasy jsou zapojeni i samotní obyvatelé Stockholmu, kteří mohou odpad ze zahrad odevzdávat

na sběrných místech. Zde si zároveň mohou vyzvednout výsledný biouhel.²⁷ Tento komunitní prvek pomáhá nejen snižovat objem komunálního odpadu, ale také posiluje vztah občanů k ekologickým projektům města.²⁸

Produkt se prodává dalším místním úřadům, které jej používají k pěstování rostlin a stromů v parcích a veřejných prostranstvích města.²⁹

Stockholm Biochar Project je zároveň příkladem efektivní osvěty. Od roku 2019 navštívilo zařízení přibližně 1 500 zájemců, kteří se seznámili s technologiemi pyrolýzy a využitím biouhlu. Město rovněž distribuovalo informace o projektu přímo občanům.³⁰

Město Stockholm používá biouhel jako náhradu rašeliny a jako součást prvků městské mordo-zelené infrastruktury.³¹ Stockholm se tak stal zřejmě prvním městem na světě, které používá biouhel jako součást své strategie ukládání uhlíku.



Foto: <https://pyreg.com/stockholm-first-pyreg-unit-has-been-officially-handed-over/>

23 Zdroj: <https://pflanzenkohle-darmstadt.de/klimarelevanz/>

24 https://nordregio.org/sustainable_cities/stockholm-biochar-project/

25 <https://www.nordicbiochar.org/about-us/map/>

26 <https://www.nordicbiochar.org/about-us/map/>

27 https://nordregio.org/sustainable_cities/stockholm-biochar-project/

28 <https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2019/09/Stockholm-Biochar-Project.pdf>

29 https://nordregio.org/sustainable_cities/stockholm-biochar-project/

30 <https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2019/09/Stockholm-Biochar-Project.pdf>

31 <https://www.c40.org/case-studies/cities100-stockholm-world-s-first-urban-carbon-sink-with-biochar/>

Na základě zájmu dalších organizací a měst o replikaci tohoto projektu vydal tým pro biouhel **replikační příručku** a **kontrolní seznam**. Odkaz na příručku³² a kontrolní seznam³³ je v poznámce pod čarou.

Innsbruck, Rakousko

Innsbruck je hlavní město spolkové země Tyrolsko v Rakousku v údolí řeky Inn. Město má přibližně 130 000 obyvatel a je známé nejen jako centrum zimních sportů, ale i pro své inovativní přístupy v oblasti udržitelného rozvoje. Jedním z takových projektů je zařízení na výrobu biouhlu, které provozuje městská společnost Innsbrucker Kommunalbetriebe AG (IKB).

Akciová společnost IKB (Innsbrucker Kommunalbetriebe AG neboli Innsbrucké komunální podniky) provozuje zařízení na výrobu biouhlu v Innsbrucku. Toto zařízení využívá technologii od společnosti SynCraft umožňující výrobu biouhlu z dřevní štěpky, která v tomto případě pochází z lesního dřevního odpadu. Roční kapacita zařízení se pohybuje mezi 200 a 2000 tunami. Produkty jsou certifikovány podle standardů EBC (European Biochar Certificate) pro různé oblasti použití včetně krmiv, městských aplikací a spotřebitelských materiálů.³⁴

Za zmínku stojí související experimentální projekt Cool-IN města Innsbruck a společnosti IKB, který byl realizován v městském Messeparku. Došlo zde k rozsáhlé přeměně prostoru — asfaltové plochy byly nahrazeny zelení a vodními prvky. Při budování systému Schwammstadt („městské houby“) byl ke stromům přidán biouhel vyrobený v zařízení IKB, který je součástí vrstveného substrátu. Tento aktivovaný rostlinný uhlík pomáhá zvyšovat schopnost zadržovat vodu a zároveň podporuje růst stromů.



Obrázek: https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/land-forstwirtschaft/agrar/dorferneuerung-tirol/Lebensraum_Dorf/Stoellnberger_Trojer_-_cool-INN_Messepark_Innsbruck_-_Ein_Praxisbeispiel_zur_Kuehlung_durch_blau_gruene_Infrastruktur.pdf

Helsinky, Finsko

Helsinky, hlavní město Finska s přibližně 650 000 obyvateli se dlouhodobě profiluje jako lídr v oblasti udržitelného rozvoje a inovací. Město usiluje o dosažení uhlíkové neutrality do roku 2030 a zároveň se snaží o efektivní ukládání uhlíku na svém území. Město vyhlásilo „Helsinki biochar project“ ve spolupráci s Helsinskými regionálními environmentálními službami HSY, Univerzitou Aalto a Technickým výzkumným centrem Finska (VTT). Tento projekt se uskutečnil v letech 2022-2024.³⁵

Helsinky uspěly v žádosti o zařazení mezi sedm měst zapojených do dvouletého globálního projektu replikace Stockholmského modelu s biouhlem financovaného

32 <https://nordregio.org/wp-content/uploads/2018/05/Replicating-in-Stockholm-booklet-manual.pdf>

33 <https://nordregio.org/wp-content/uploads/2018/05/Replicating-in-Stockholm-checklist.pdf>

34 <https://biochar-zero.com/company/innsbrucker-kommunalbetriebe-ag/>

35 <https://www.aalto.fi/sites/default/files/2024-06/Helsinki-Biochar-Project---final-report.pdf> (zdroj pro většinu částí o Helsinkách)

a podporovaného nadací Bloomberg Philanthropies. Dalšími zařazenými městy jsou Darmstadt (Německo), Sandnes (Norsko), Helsingborg (Švédsko) a americká města Cincinnati, Lincoln v Nebrasce a Minneapolis.³⁶ Města v rámci projektu získala technické poradenství, financování, podporu při realizaci a přístup k síti partnerských měst i k příkladům osvědčené praxe z celého světa. Všechna sedm měst pracuje na rozvoji celoměstských projektů využívajících biouhel a aktivně zapojuje obyvatele do boje proti klimatické změně.

Společnost HSY měla již předchozí zkušenosti s výrobou biouhlu z čistírenských kalů, tzv. „sludge char“. V rámci projektu využily svou stávající pilotní pyrolýzní jednotku k testování dalších vstupních surovin mimo oblast kalového hospodářství. Tím se případ Helsinek liší od ostatních měst uvedených v této rešerši – zatímco jiná města budovala nová zařízení navržená pro zpracování dřevní štěpky a jiných tuhých biomateriálů, Helsinky experimentovaly s úpravou technologie původně určené výhradně pro pyrolýzu čistírenských kalů. Pro nakládání s kaly a jejich pyrolýzu společnost využívá vlastní komplexní technologii označovanou jako RAVITA.

Pilotní pyrolýzní jednotku s kapacitou 3 600 tun pyrolýzovaných čistírenských kalů za rok provozuje HSY od roku 2021. Zařízení vzniklo po výzkumu prováděném ve spolupráci s výzkumným ústavem Luke a společností Gasum. Do vstupního materiálu se přidává přibližně 20 % dřevní štěpky jako podpůrná surovina. Jednotka pracuje spolehlivě a většinově energeticky soběstačně. Ve Finsku je v současnosti pyrolýzovaný kal povolen jako přísada do kompostu z bioodpadu a probíhá proces schvalování jeho využití jako hnojiva.³⁷

Zpracování materiálu v pilotní jednotce HSY probíhá ve více krocích. Nejprve jsou vstupní suroviny nadrceny a následně sušeny ve speciální termické sušičce, kde se využívá teplo vzniklé spalováním pyrolýzních plynů. Suchý materiál je poté dávkován přes uzavírací ventily

do rotační pyrolýzní pece s dvojitým pláštěm. Pro pyrolýzu byla v projektu použita teplota v rozmezí 580–610 °C, přičemž doba zdržení se lišila podle typu zpracovávaného materiálu. Plyny vznikající při pyrolýze se bez kondenzace spalují a vzniklé teplo se dále využívá k ohřevu reaktoru.

Výstupní biouhel se ochlazuje nepřímým vodním chlazením a následně zvlhčuje. Výsledný produkt je skladován ve vácích ve venkovních silech před další distribucí.

Použití různých materiálů přineslo odlišné provozní nároky. Například dřevní štěpka, která má vysokou energetickou hustotu, způsobovala přehřívání systému – bylo nutné zpomalit její dávkování. Naopak travní biomasa a rákosí měly nízkou výhřevnost a nepřinášely dostatečnou energii pro stabilní chod zařízení. Kalové materiály jsou oproti tomu velmi těžké a vlhké, což klade nároky na mechanickou manipulaci. Z tohoto důvodu bude do budoucna nutné standardizovat vstupní materiály a optimalizovat zařízení podle jejich specifických parametrů.

V rámci projektu byla věnována zvláštní pozornost výběru vhodných vstupních surovin pro testování pyrolýzní jednotky. HSY a město Helsinky zmapovaly různé druhy uhlíkatého odpadu dostupné ve městě a jeho okolí. Klíčovými kritérii při posuzování byly zejména nízký obsah písku (kvůli ochraně pohyblivých částí zařízení), vhodné logistické a skladovací podmínky a také minimální objem suroviny 20 000 kg na jednu dávku, což odpovídá kapacitě jednotky.

Finálně byly vybrány 4 vstupní materiály: dřevní štěpka, rákos, měkký zelený odpad a drť z větví. Pouze biouhel z dřevní štěpky a rákosu splnil legislativní kvalitativní normy (např. limity obsahu těžkých kovů).

Po ukončení zmíněného Helsinki Biochar Project³⁸ pokračuje výroba biouhlu ve spolupráci HSY a města Helsinky.

36 <https://bloombergcities.jhu.edu/news/big-lessons-small-city-borrowing-and-building-upon-idea>

37 <https://www.phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter144.pdf>

38 <https://www.hsy.fi/en/hsy/hsys-projects/project-pages/rahi-project/>

Bratislava, Slovensko

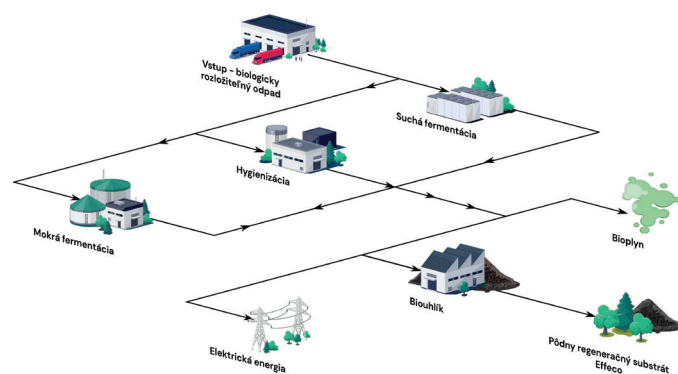
Společnost Biograda, známá také pod obchodním názvem Zdroje Zeme, představuje inovativní přístup k nakládání s biologicky rozložitelným odpadem a výrobě biouhlu v regionu Bratislavy. Jejich pilotní zařízení se nachází v Horném Jatově přibližně 70 km od Bratislavy. Bylo vybudováno na místě bývalého brownfieldu. Toto zařízení je navrženo tak, aby ročně zpracovalo až 30 tisíc tun živočišného hnoje a dalších 100 tisíc tun biologického odpadu, včetně kuchyňského biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) z Bratislavy, která má 475 tisíc obyvatel. Zařízení je koncipováno na produkci přibližně 20 000 tun substrátu s biouhlem a 42 500 MWh energie.³⁹

Biograda je soukromá společnost založená v roce 2016. Zaměřuje se na komplexní řešení pro oběhové hospodářství, které zahrnuje zpracování bioodpadů z kuchyní, rostlinné, živočišné výroby a průmyslu, jejich transformaci na zelenou energii a regenerativní půdní substrát na bázi biouhlu obchodovaný pod značkou Effeco by ZZ. Spolupracuje s městskou společností Odvoz a likvidácia odpadu (OLO) v Bratislavě, která od října 2021 zavedla sběr kuchyňského bioodpadu ve většině městských částí. Do konce roku 2022 bylo do tohoto systému zapojeno více než 100 000 domácností (tedy 57 % z celkového počtu), které vytrídily téměř 2 000 tun kuchyňského bioodpadu. Část tohoto odpadu je následně zpracována v zařízení Biograda.^{40 41} Vedlejší živočišné produkty kategorie 3 (VŽP KAT3 např. vyhozené potraviny pro lidskou potřebu a části poražených zvířat) jsou odděleny od ostatního bioodpadu a podrobeny hygienizační stabilizaci, kde jsou po dobu jedné hodiny zahřívány o teplotě 70 °C a následně putují do kaskádové fermentace. Ze 100 tisíc tun odpadu je tak ročně získáno cca 7 820 000 m³ bioplynu. Ten je kogenerační jednotkou převeden na elektřinu dodávanou do distribuční

sítě ZSE (Západoslovenská energetika, a.s.) nebo je čištěn na biometan, který lze vtlačet do plynárenské sítě či přeměněn na CNG nebo LNG. Vedlejším produktem výroby biometanu je zelený CO₂ v tekuté formě. Zbýlá pevná frakce je pyrolyzována a zpracována na substrát Effeco by ZZ.

Effeco by ZZ bylo patentováno a schváleno Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským v Bratislavě pro použití v zemědělství včetně ekologického zemědělství. Jeho vývoj a aplikace probíhají ve spolupráci s odborníky ze Slovenské zemědělské univerzity v Nitře. Je aplikován v podobě pelet a jeho přesné složení se dá upravit na konkrétní potřeby cílové půdy.

Technologie a procesy společnosti Biograda jsou chráněny čtyřmi domácími a dvěma mezinárodními patenty. Z dostupných zdrojů vyplývá, že Biograda využívá vlastní patentovanou technologii, kterou vyvinula spolu se svými strategickými partnery. Vyrobená energie se používá pro provoz celého zařízení a část produkce je prodávána dále jako obnovitelný energetický zdroj. Zařízení usiluje o certifikaci European Biochar Certificate (EBC) od Carbon Standards International.



Obrázek: <https://www.biograda.eu/sk/komplexne-riesenie-biograda/>

³⁹ <https://www.biograda.eu/sk/>

⁴⁰ <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/107014/kuchynsky-odpad-bratislava.aspx>

⁴¹ <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/107762/zdroje-zeme-biograda-bioodpad.aspx>

Stručné shrnutí kapitoly

Lze konstatovat zejména fakt, že každé město či municipalita má svá specifika vyžadující individuální posouzení a je tudíž obtížné činit obecné závěry. Svou roli hraje zejména dostupnost zdrojového materiálu pro výrobu biouhlu (lesy, městská zeleň, dřevní odpad z průmyslu) z pohledu množství, charakteru, prostorové distribuce a případné sezónnosti. Další důležitým parametrem je možnost využití hlavních vedlejších produktů – tepla, elektřiny a pyrolýzního oleje.

Konkrétní parametry technologie jsou zřejmé z tabulky v příloze.

Shrnující tabulka pří- kladů fungujících py- rolýzních zařízení v Ev- ropě

Město	Velikost zařízení
Helsingborg	1500 t biouhlu/rok
Darmstadt	1000 t biouhlu/rok
Stockholm	300 t biouhlu/rok (pilotní projekt), plán 7000 t
Innsbruck	200-2000 t/rok
Helsinky	3000-3600 t biouhlu z kalů/rok
Bratislava	20 000 t biouhelného substrátu /rok

	Technologie	Vstupní materiál (před úpravou)	Využití biouhlu	Další produkty	Certifikáty	Produkce uh- líkových kreditů
	BioGreen Pyrolysis (Vow), EUROmilling	Biomasa, městský odpad	Veřejná zeleň, testování na kontaminovaných půdách	teplo	Nemá certifikát EBC	Neuvádí se
	CTS, dvoupevné zařízení	Zelený odpad a dřevní materiál	Substrát PALA-TERRA, městská zeleň, zoologická zahrada	teplo, elektřina	EBC, QS (DQS CFS GmbH)	EU ETS
	Pyreg P500	Zahradní a parkový odpad, vánoční stromky	Veřejné záhony, městská zeleň, zahrady obyvatel	teplo	Neuvádí se	Neuvádí se
	Syncraft	Lesní odpad	Městská zeleň, Schwammstadt projekt v Messeparku	Neuvádí se	EBC	Neuvádí se
	Vlastní	Převážně čistírenské kaly, částečně dřevní štěpka	Městská zeleň komunitní zahrady, fotbalové hřiště	teplo	Neuvádí se	Neuvádí se
	Vlastní	BRKO, lesnický a zemědělský bioodpad, čistírenské kaly	Patentovaný substrát Effeco by ZZ	Bioplyn, elektřina, teplo, zelený CO2	Usiluje se o EBC	Neuvádí se



8. Rešerše provozů výroby biouhlu v ČR a SR

Tato doplňková kapitola byla zpracována na základě zkušenosti a vlastního průzkumu situace na trhu v České republice a na Slovensku.

Vzhledem k zadání a zaměření řešerše zde nejsou uváděni domácí výrobci využívající jednoduchou ruční výrobu (tzv. kon-tiki metodu) v otevřených nádobách. Rovněž nejsou uváděni výrobci, kteří si informace o své výrobě biouhlu nepřejí zveřejňovat.

Dr.Uhli

Jde o společnost založenou v roce 2016 pod názvem Devrakon, s.r.o., která v roce 2025 změnila název na Dr.Uhli s.r.o. Společnost provozuje souprůdný pyrolýzní reaktor vlastní konstrukce. Uvádějí roční výrobní kapacitu 1-2 tis. m³ biouhlu, přičemž zdrojovým materiálem pro výrobu jsou odpadní palety s příměsí dalších dřevnatých materiálů jako je např. nábytek. Součástí provozu je výroba elektrické energie a využití tepla pro sušení materiálu a vytápění. Společnost s vyrobeným biouhlem obchoduje (malo- i velkoobchod) a provozuje také e-shop na stránkách <https://www.druhli.cz/>



Foto: autor

Equidomus

Společnost Equidomus s.r.o. provozuje v obci Dráčov pilařskou výrobu se specializací na výrobu boxů pro koně. Dřevní odpad je přímo v závodě drcen a po před-sušení zplyňován s primárním cílem výroby elektřiny a tepla pro sušení řeziva a vytápění. Za tím účelem je v provozu 6 malých upravených reaktorů od německého výrobce Spanner Re². Vedlejším produktem provozu je jemnozrnný biouhel. Provoz je relativně nový a roční produkce biouhlu je kolísavá. Protože výstupem technologie je biouhel, jehož kvalita prozatím neumožňuje jeho využití do půdy v souladu s předpisy, neuvádíme zde použitou technologii v soupisech. Kontakty a další informace jsou dostupné na <https://www.equidomus.com/>



Foto: autor

Preol Lovosice

V roce 2024 byla akciovou společností PREOL zprovozněna pyrolýzní technologie PYREG PX 1500. Linka je zaměřena na pyrolýzní zpracování sekundárních plev z čištění řepkového semene. Předpokládaná roční produkce biouhlu je 897 tun. Vznikající biouhel má od února 2025 platnou registraci jako pomocná půdní látka a je registrován i jako krmná surovina. Technologie splňuje kritéria kvality certifikačního schématu EBC (European Biochar Certificate) a společnost usiluje o prodej uhlíkových kreditů.



Foto: <https://www.linkedin.com/pulse/p%C5%99edstavujeme-n%C3%A1%C5%A1-dal%C5%A1%C3%AD-projekt-biochar-preol-hr9ge>

ČOV Trutnov

Na čistírně odpadních vod v Trutnově byla v roce 2021 uvedena do plného provozu kalová koncovka s pyrolýzní jednotkou PYREG P500 KSF s předřazenou sušárnou kalů EloDry NT-16. Investorem a provozovatelem zařízení je společnost VaK Trutnov. Při běžném fondu 7500 hodin zpracovává provoz 1250 tun kalu vysušeného na 80 % sušiny. Uvádí se roční produkce 560

tun karbonizovaného kalu. Tento pyrolýzovaný čistírenský kal uvádí na trh společnost Bio cycle Grow jako pomocnou půdní látku pod značkou TURBO!

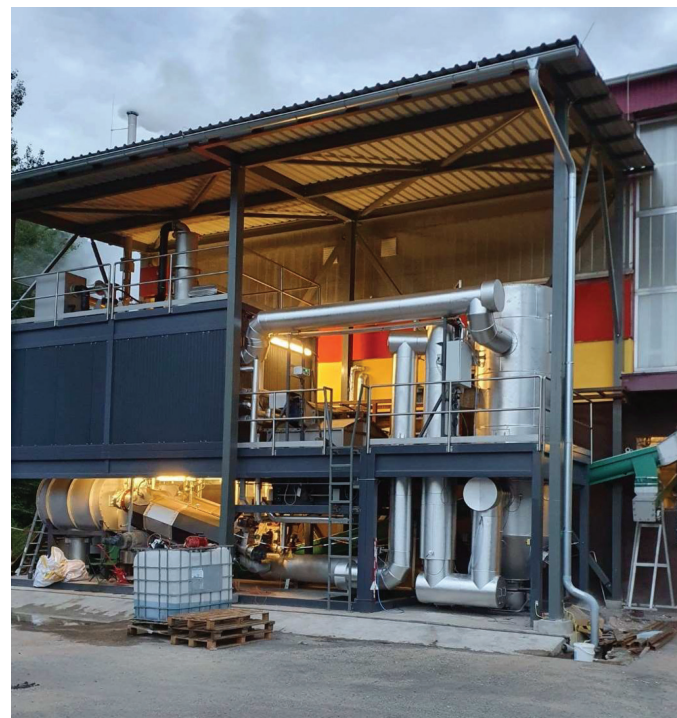


Foto: http://www.cpga.cz/files/prednasky/2003_Fuka_Kos_Trutnov_kalova_koncovka.pdf

Biograda

Tato slovenská společnost nabízí komplexní služby v nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Ve vlastním závodě v Horném Jatově (Trnovec nad Váhom) společnost provozuje linku na likvidaci a využití bioodpadu formou fermentace, kompostování a karbonizace. Vzniká tak produkt nazvaný *effecto by ZZ*, který je substrátem určeným pro zlepšení stavu půd.

Podrobněji se o projektu Biograda hovoří v předchozí kapitole o příkladech dobré praxe.

Informace a kontakty jsou dostupné na webu <https://www.biograda.eu/sk/>.



Foto: www.biograda.eu

Stručné shrnutí kapitoly

V Česku a na Slovensku je poměrně malý počet výrobců biouhlu na průmyslové úrovni. Teprve v posledních letech se uplatňují sériově vyráběné technologie (PYREG), do té doby byla v provozu specifická řešení.

9. **Legislativa a předpisy v ČR ve vztahu k bio- uhlu a pyrolýze**

Obsahem kapitoly není vyčerpávající výčet relevantních předpisů jako spíše přehled hlavních témat a okruhů předpisů, které je potřeba zohledňovat.

Principem pyrolýzní jednotky je karbonizace nebo torefakce biologického materiálu. Nejčastější vstupní surovinou jsou dřevní materiály, čistírenské kaly nebo jiné organické materiály např. ze zemědělské výroby. Cílem těchto úprav je odstranit těkavou složku z materiálu a zkoncentrovat uhlík. Jelikož tyto procesy jsou exotermní povahy a v jeho průběhu vznikají spaliny, je nahlíženo na pyrolýzní technologie jako na energetické zdroje.

Samotný biouhel nemá zatím vlastní legislativu, a proto je na něho nahlíženo jako na látku podobnou hnojivům (pomocná půdní látka) potažmo jako na přísadu do krmiv.

Některé vstupní suroviny pro výrobu biouhlu (včetně např. nábytku) mohou být kategorizovány jako odpad, proto je relevantní také odpadová legislativa.

Legislativa vztahující se na energetické zdroje

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

Pyrolýzní jednotky jsou považovány za stacionární zdroje znečišťování ovzduší. Zákon stanovuje povinnosti týkající se emisních limitů, monitorování emisí a získání povolení k provozu. Dle tepelného výkonu, roku uvedení zařízení do provozu a dalších charakteristik se zařízení kategorizuje do příslušné skupiny a jsou pro něj stanoveny přesné maximální emisní limity a další omezení. Provozovatelé musí vypracovat provozní řád a zajistit, že emise nepřekračují stanovené limity. Pokud by pyrolýzní jednotka překračovala povolené emisní limity, bylo by zapotřebí vybudovat systém čištění spalin.

Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci

Pro větší pyrolýzní jednotky může být vyžadováno integrované povolení podle tohoto zákona, který implementuje principy nejlepší dostupné techniky (BAT) a zajišťuje komplexní ochranu životního prostředí. Muselo by se ovšem jednat o technologii která má zpracovatelskou kapacitu 50 tun odpadu za den nebo větší.

Dalším aspektem je výroba organických chemických látek, jako jsou jednoduché uhlovodíky atd. Při výrobě biouhlu tyto látky vznikají a je možné je odvádět a tím pádem i označit za výrobní proces. V takovém případě by se na provoz vztahovaly předpisy o integrované prevenci.

Zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí (EIA)

Pokud by se jednalo o velké pyrolýzní zařízení zpracovávající dřevěný odpad v kapacitě větší než 1 t/den, bylo by nutné projít zjišťovacím procesem EIA. Pokud by zařízení bylo zařazeno do této kategorie, bylo by zapotřebí získat kladný posudek EIA, který je nezbytný pro následné povolovací kroky. Těmito kroky jsou integrované povolení, stavební povolení a povolení k provozu.

Pokud by zařízení mělo větší tepelný výkon jak 50 MW, bylo by také zapotřebí projít zjišťovacím procesem EIA.

Zákon o požární ochraně – č. 133/1985 Sb.

Pyrolýza je tepelný proces a tím pádem zařízení musí být posouzeno z hlediska požární bezpečnosti.

Stavební zákon – zákon č. 283/2021 Sb.

Pyrolýzní jednotka je stavba technické infrastruktury (průmyslová stavba). Ve stavebním řízení se zohledňuje např. hluk, prašnost, vzdálenost od obytné zástavby.

Zákon o inspekci životního prostředí – č. 282/1991 Sb.

Česká inspekce životního prostředí (ČIŽP) kontroluje dodržování podmínek provozu.

Tento výčet není konečný. Existují další zákony, které v povolovacím procesu mohou být uplatněny, pokud dojde k naplnění některých parametrů nebo omezení.

Legislativa vztahující se k biouhlu

Biouhel jako produkt pyrolýzy může být využíván v zemědělství ke zlepšení vlastností půdy. V současnosti však v České republice neexistuje specifická legislativa upravující jeho výrobu a použití. Pro jeho aplikaci na půdu je nutné splnit obecné požadavky na hnojiva a půdní pomocné látky včetně registrace a posouzení bezpečnosti.

Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech

Tento zákon upravuje uvádění hnojiv a pomocných půdních látek na trh. Pro uvedení biouhlu jako hnojiva na trh je nutné, aby biouhel splňoval požadavky na kvalitu a bezpečnost, byly poskytnuty informace o jeho složení a jeho doporučeném použití a musí se podat oznámení na Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský.

Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva

Přílohy této vyhlášky stanovují konkrétní požadavky a limity obsahu rizikových látek pro hnojiva a pomocné půdní látky uváděné na trh v ČR.

Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv

Tato vyhláška stanovuje omezení platná pro skladování biouhlu a jeho používání.

Legislativa vztahující se na odpady

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech

Tento zákon stanovuje pravidla pro nakládání s odpady, včetně jejich využívání a odstraňování. Pyrolýzní jednotky, které zpracovávají (nejen) dřevní odpad, spadají pod tento zákon jako zařízení k využívání odpadů. Provozovatelé musí získat souhlas k provozování zařízení a dodržovat hierarchii nakládání s odpady, která upřednostňuje předcházení vzniku odpadu a jeho recyklaci před energetickým využitím a skládkováním.

Stručné shrnutí kapitoly

Tato kapitola zmiňuje vybrané předpisy týkající se povolovacího procesu, náležitostí spojených s energetickými zdroji, odpady a podobně. Cílem této kapitoly nebyl vyčerpávající výčet předpisů ale pouze upozornění na širší problematiku. Je zapotřebí zmínit, že rozsah předpisů bude podstatně záviset na okolnostech daného řešení – např. je-li zařízení zdrojem elektrické energie, nakládá-li s odpady a podobně.

10. **Problematika
zpracování
odpadu z nábytku
na biouhel**

Biouhel a cirkulární ekonomika

Biouhel je konkrétním příkladem toho, jak lze v praxi naplnit principy cirkulární ekonomiky – tedy takového hospodaření, které uzavírá materiálové toky, minimalizuje odpad a udržuje hodnotu surovin v oběhu co nejdéle. V tomto pojetí je např. městský zelený a dřevní odpad zpracován pyrolýzou na biouhel. Během toho je využito odpadní teplo a zároveň přeměněn uhlík do stabilní podoby. Biouhel pak slouží jako nová surovina s vysokou užitnou hodnotou. Nejčastěji se aplikuje zpátky do půdy, čímž se smyčka uzavírá. Zároveň se zvyšuje vitalita vegetace a celková odolnost města vůči klimatické změně.

V tomto kontextu je možné do koloběhu začlenit i výrobu biouhlu z čistírenských kalů či starého nábytku. Výzvou u těchto dvou materiálů ale mnohdy jsou příliš vysoké koncentrace rizikových látek. Pokud se tuto výzvu podaří vyřešit a rizikové látky zredukovat do podlimitních koncentrací, bude se jednat o velký krok vpřed.

Biouhel z nábytku

Na základě důkladného průzkumu dostupných zdrojů nebyl nalezen žádný realizovaný ani plánovaný projekt, ve kterém by municipality nebo soukromé firmy cíleně využívaly vyřazený nábytek jako surovinu pro výrobu biouhlu. Tato absence je pravděpodobně způsobena složením nábytkového odpadu, který je často nehomogenní a obsahuje různé látky jako jsou lepidla, kovy, plasty, laky a jiné chemické úpravy, což komplikuje proces pyrolýzy a může vést k produkci biouhlu s nežádoucími vlastnostmi. Například ve studii Gmar

(2022)⁴² byl elektronovou mikroskopií zkoumán biouhel vyráběný ze dřeva ošetřeného konzervačním náterem chromovaným arzeničnanem měďnatým (CCA). Bylo zjištěno, že koncentrace těžkých kovů (As a Cr) v biouhlu překračovaly limity stanovené Agenturou pro ochranu životního prostředí (EPA). V roce 2004 bylo použití CCA kvůli riskantnímu vyluhování kovů v rezidenčních oblastech zakázáno, ale protože v devadesátých letech minulého století patřil mezi zcela běžné konzervační látky, zůstává likvidace jím ošetřeného dřeva rozšířeným problémem a biouhel z něho vyrobený může obsahovat nadlimitní koncentrace těžkých kovů.

Nicméně je zde možnost biouhel z nábytku používat v odvětvích jako je stavebnictví, kde je dohlíženo na jiné parametry. Například studie Onuaguluchi (2024) potvrdila, že přidání biouhlu vyrobeného z čistírenských kalů zvyšuje pevnost malty a současně snižuje její uhlíkovou stopu^{43 44 45}.

Téma výroby biouhlu z odpadního nábytku by si zasloužilo hlubší výzkum včetně zmapování množství jednotlivých druhů a složení nábytku, laboratorní výrobu biouhlu a měření jeho kvality vznikajícího biouhlu se zvláštním důrazem na obsah rizikových látek.

Pokud by biouhel z nábytku byl využíván výhradně např. ve stavebnictví, musel by být vyráběn odděleně od biouhlu putujícího do zemědělství a potravinářství. Některé chemické látky jako lepidla se pyrolýzou rozloží díky vysoké teplotě a nejsou zásadním problémem. Na druhou stranu těžké kovy se v biouhlu zkoncentrují a naváží se na jeho strukturu. Odstranění těchto látek by vyžadovalo přidat do procesu absorpční látky, které by těžké kovy místo biouhlu vyvázaly. Tento proces je však pouze teoretický a praxi pravděpodobně velmi nákladný.

42 <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/14/5071>

43 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061824011000>

44 <https://www.vtei.cz/2019/06/biouhel-nova-perspektiva-v-technologie-docistovani-odpadnich-vod-nebo-slepa-ulicka/>

45 <https://biochar-international.org/about-biochar/how-to-make-biochar/biochar-feedstocks/#:~:text=Biomass%20waste%20materials%20appropriate%20for,methane%20back%20into%20the%20atmosphere>

Je také třeba zmínit uvolňování toxických látek do spalín. Látky jako As, Cr a Hg se vážou na plynné polutanty a při spalování starého nábytku s těmito látkami by bylo nutné instalovat za pyrolýzní jednotku systém čištění spalín. Tato praxe je možná, ale významným způsobem zvyšuje investiční náklady na zařízení.

Obsah toxických látek v biouhlu vyrobeném z nábytku (nebo podobného materiálu) tedy považujeme za dosud nevyřešený problém.

Na tomto místě je vhodné kromě odpadního nábytku zmínit také téma odpadního průmyslového a stavebního dřeva. Množství těchto materiálů je obtížné odhadnout, ale vyjdeme-li z dostupných údajů o objemu ročních lesních těžeb a pilařské výroby, bude se v ČR jednat o jednotky mil. m³ dřevního materiálu.⁴⁶ Podstatná část tohoto dřeva se dříve či později stává v různých podobách odpadem a mohla by být zpracovávána na biouhel. Takový přístup velmi dobře naplňuje principy cirkulární ekonomiky, kdy materiál je na konci své životnosti energeticky využit, zatímco obsažený uhlík zůstává zakonzervován a slouží dále v podobě biouhlu.

Stručné shrnutí kapitoly

Kvůli nehomogenitě nábytku a použití problematických látek jako jsou lepidla či laky mohou výsledné hodnoty toxických látek převyšovat limity stanovené příslušnými předpisy. Jeho použití do půdy je v takovém případě v rozporu s předpisy. Použití takto vzniklého biouhlu ve stavebnictví je předmětem intenzivního výzkumu.

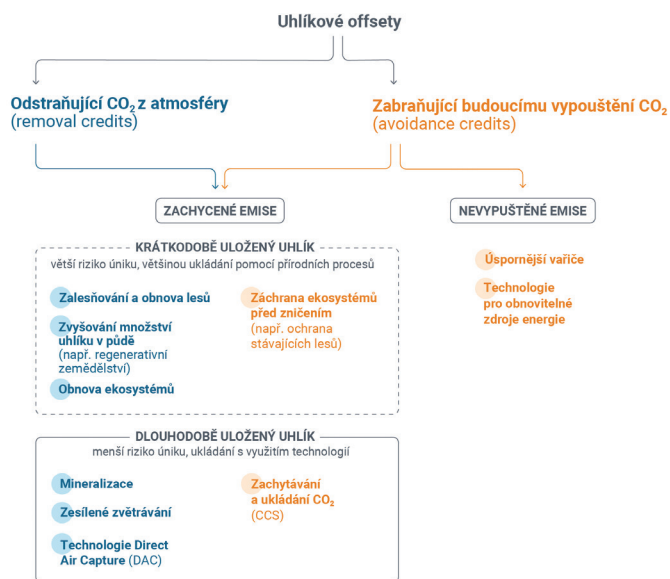
Množství plynných emisí toxických látek vzniklých při pyrolýze nábytku by vyžadovalo umístění nákladného systému čištění spalín.

Výroba biouhlu ze starého nábytku představuje dosud nevyřešenou výzvu.

11. Uhlíkové kredity

Úvod do offsetů a uhlíkových kreditů

Uhlíkové offsety (nebo také uhlíkové kredity) jsou obchodovatelné jednotky, které umožňují jednotlivcům, firmám nebo státům kompenzovat část své uhlíkové stopy, kterou již nedokáží snížit jiným způsobem⁴⁷. Offsety se dělí jednak podle typu zásahu a za druhé podle trvání uložení uhlíku, jak zobrazuje obrázek níže.



Obrázek: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/uhlikove-offsety>

1. Podle typu zásahu:

- *Removal offsets* – projekty, které odstraňují CO₂ z atmosféry (např. výsadba stromů).

- *Avoidance offsets* – projekty, které zabráňují emisím CO₂ (např. výstavba obnovitelných zdrojů energie).

2. Podle trvání uložení uhlíku:

- *Krátkodobé uložení* – např. v biomase, která může být zničena požárem.

- *Dlouhodobé uložení* – např. geologické ukládání CO₂, které je méně náchylné k uvolnění

Uhlíkové kredity z biouhlu a jejich cena v porovnání s ostatními kredity

Biouhel spadá do kategorie dlouhodobé odstranění CO₂ z atmosféry, a tak se nyní zaměříme na technologie dlouhodobého ukládání uhlíku (uložení delší než 100 let). Jedná se o:

- **BECCS** (Bioenergy with Carbon Capture and Storage – bioenergie se zachycováním a ukládáním uhlíku)

- **Biochar** (Biouhel)

- **DACCS** (Direct Air Carbon Capture and Storage – přímé zachycování CO₂ ze vzduchu s ukládáním)

- **EW** (Enhanced Weathering – zrychlené zvětrávání)

- **mCDR** (Marine Carbon Dioxide Removal – mořské odstraňování uhlíku)

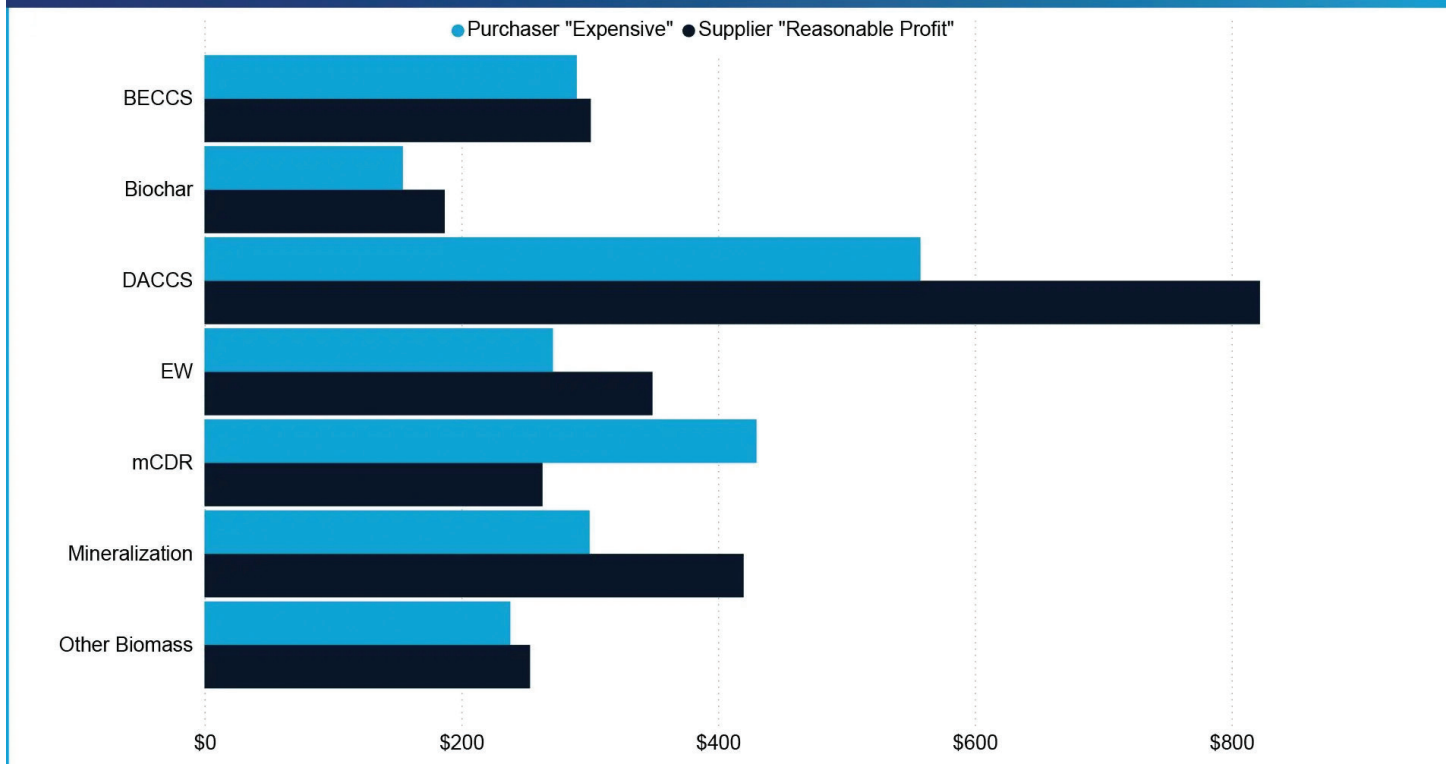
- **Mineralization** (mineralizace CO₂)

- **Other Biomass** (ostatní metody využívající biomasu)

Tyto technologie se stávají součástí rychle se rozvíjejícího dobrovolného trhu s uhlíkovými kredity, kde si organizace a firmy mohou kupovat odstranění emisí prostřednictvím těchto řešení. Za účelem zvýšení

⁴⁷ <https://faktaoklimatu.cz/explainery/uhlikove-offsety>

Perceptions of Cost in 2025: Purchasers' View of "Expensive" vs Suppliers' "Reasonable Profit"



Source: CDR.fyi and OPIS Durable CDR Pricing Survey

transparentnosti a předvídatelnosti tohoto trhu provedli organizace CDR.fyi a OPIS v roce 2025 výzkum⁴⁸ se zaměřením na analýzu cenových očekávání a reálných nákladů spojených s technologiemi dlouhodobého odstraňování CO₂. Výsledky shrnuje graf výše.

Graf znázorňuje rozdíl mezi cenou, kterou jsou odběratelé ochotni za odstranění jedné tuny CO₂ v roce 2025 zaplatit (tzv. „drahá“ cena z jejich pohledu – světle modré sloupce), a cenou, kterou dodavatelé považují za potřebnou k pokrytí nákladů a dosažení rozumného zisku (tmavě modré sloupce). Graf ukazuje, že trh s uhlíkovými kredity je zatím značně nevyrovnaný a obecně

Graf: <https://www.cdr.fyi/blog/cdr-pricing-survey-jan-2025>

platí, že existuje nesoulad mezi očekáváním dodavatelů a odběratelů, což ukazuje na napětí na trhu.

Ve většině případů odběratelé preferují nejlevnější varianty, které jim stále umožní věrohodně deklarovat dosažení klimatických cílů. To by v krátkodobém a střednědobém horizontu zvýhodňovalo metody založené na biomase. Z nich si v současnosti nejlépe stojí biouhel, což mu dává konkurenční výhodu.

⁴⁸ <https://www.cdr.fyi/blog/cdr-pricing-survey-jan-2025>



Obrázek: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/uhlikove-offsety>

Proces nákupu a prodeje uhlíkových kreditů z biouhlu

Uhlíkový offset funguje jako dohoda mezi třemi hlavními stranami: kupujícím, realizátorem projektu a nezávislým auditorem⁴⁹. Kupující, například firma usilující o snížení své uhlíkové stopy, zaplatí za offset, uváděný v jednotkách tun ekvivalentu CO₂. Realizátor projektu se zavazuje využít tyto prostředky na konkrétní aktivitu, které buď odstraní uhlík z atmosféry (např. výsadba stromů, výroba a použití biouhlu), nebo zabrání jeho uvolnění (např. výstavba obnovitelných zdrojů energie). Nezávislý auditor následně ověřuje, zda realizátor skutečně plní své závazky a projekt přináší deklarované snížení emisí. Jak je znázorněno na obrázku, kupující za projekt může platit předem.

Proces získání certifikátu – příklad metodiky Puro.Earth

Metodika Puro.Earth je jednou z nejčastěji uplatňovaných, proto byla vybrána jako praktický příklad pro ilustraci procesu certifikace uhlíkových kreditů. V této kapitole jsou rozebrána kritéria „QU.A.L.ITY“, přičemž zkratka „QU.A.L.ITY“⁵⁰ vychází z pěti základních principů, které by měl každý projekt na odstraňování uhlíku naplňovat:

- **Quantification** (kvantifikace): Uhlík musí být měřitelný a prokazatelný. Projekty musejí využívat transparentní a ověřitelné metodiky pro výpočet množství odstraněného uhlíku. V případě biouhlu se hodnotí množství stabilního uhlíku ve výsledném produktu.
- **Additionality** (adicionalita): Projekt musí přinášet uhlíkové snížení navíc oproti běžné praxi. Jinými slovy, bez pobídky ve formě certifikace a prodeje kreditů by projekt s největší pravděpodobností nevznikl.

49 <https://faktaoklimatu.cz/explainery/uhlikove-offsety>

50 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_7159

- **Long-term storage** (dlouhodobé skladování): Klíčové je zajistit, že uhlík bude z atmosféry odstraněn na dlouhou dobu, ideálně stovky až tisíce let. Biouhel má výhodu v tom, že při správném použití v půdě zůstává stabilní po velmi dlouhou dobu.

- **Sustainability** (udržitelnost): Uhlíkové projekty nesmí způsobovat ekologické nebo sociální škody. Musí být v souladu s principy udržitelnosti, a to jak v oblasti využití surovin, tak i vlivu na místní komunity.

- **Transparency** (transparentnost): Proces certifikace, metodiky i následné reportování musí být plně přístupné a ověřitelné třetími stranami.

Tato kritéria slouží jako rámec pro důvěryhodné projekty a jsou i základem metodik jednotlivých certifikačních systémů včetně Puro.Earth.

Metodika Puro. Earth⁵¹ je rozdělena do pěti hlavních částí:

1. Způsobilý typ činnosti
2. Bod vytvoření certifikátu o odstranění CO₂ (CORC)
3. Posouzení emisí skleníkových plynů během životního cyklu
4. Metodika výpočtu pro kvantifikaci odstraňování CO₂
5. Potřebné důkazy od dodavatele odstraňování CO₂.

S ohledem na rozsah textu metodiku podrobněji nerozebíráme a odkazujeme na oficiální zdroj (viz poznámka pod čarou).

Stručné shrnutí kapitoly

Biouhel spadá mezi vyhledávané dlouhodobé *removal* offsety. Na trhu s dobrovolnými uhlíkovými kredity se biouhel cenově nachází mezi dostupnějšími metodami. Biouhel drží konkurenční výhodu oproti jiným metodám díky nižším výrobním nákladům. Dobrovolný trh s uhlíkovými kredity je velmi rozkolísaný.

Proces obchodování s uhlíkovými kredity zahrnuje tři hlavní subjekty: kupujícího, realizátora projektu (například výrobce biouhlu) a nezávislého auditora, který uložení uhlíku certifikuje.

Výsledkem je systém, který zajišťuje, že každý prodaný kredit odpovídá reálně měřitelnému množství trvale uloženého uhlíku. Tento princip je základem důvěryhodnosti popsaného systému.

51 <https://puro.earth/biochar>



12. Závěry a doporu- čení pro HMP

Inspirace

Výroba biouhlu je v jiných městech nejčastěji založena na biomase vzniklé údržbou veřejné zeleně. Tento přístup uplatňují např. Helsingborg, Darmstadt a Stockholm. Ve Stockholmu jsou navíc zapojeni i obyvatelé, kteří mohou odevzdávat zahradní nebo kuchyňský odpad. V Innsbrucku se zpracovává lesní dřevní štěpka. Helsinky testovaly také netradiční vstupy jako je rákos a tráva kromě čistírenských kalů, na které je jejich pyrolýzní jednotka primárně určena. Soukromá firma Biograda spolupracující se slovenskou Bratislavou pak zpracovává prakticky všechny typy biomasy včetně kuchyňského biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO), zemědělský odpad z rostlinné i živočišné výroby a hnůj.

Požadavky na vstupy a technologie

Zařízení pro pyrolýzu by mělo být schopné zpracovávat široké spektrum vstupní biomasy. Výběr technologie by měl zohlednit tuto variabilitu – jedním z kritérií může být univerzálnost jednotky vůči různým typům suroviny.

Umístění pyrolýzní jednotky by mělo vycházet z možností využití vedlejších produktů. V závislosti na potřebách a účelnosti provozu může zařízení vyrábět nejen biouhel, ale i teplo, elektřinu nebo bioplyn. Vhodné je tedy propojení s tepelným hospodářstvím nebo technologiemi, které využijí vyrobenou elektřinu.

Objem vstupní biomasy je dalším důležitým faktorem při volbě technologie. Pyrolýza biomasy snižuje její hmotnost přibližně na jednu čtvrtinu. Například v Darmstadtu se 4000 tun biomasy ročně přemění na 1000 tun biouhlu. Důležitou motivací měst pro ukládání uhlíku bývá naplnění jejich klimatických závazků.

Stockholm se tak ukládáním uhlíku přibližuje ke svému cíli stát se uhlíkově neutrálním městem do roku 2040.

Jedním ze zadaných cílů této rešerše bylo prozkoumat možnost vyrábět biouhel z nábytku, což by zapadalo do konceptu cirkulární ekonomiky. Tento postup prozatím praxí není ověřený a jeví se jako problematický kvůli vyšším koncentracím rizikových látek. To může limitovat použití takto vzniklého biouhlu do půdy. Využití těchto biouhlů ve stavebnictví je zatím v začátcích. Výrobu biouhlu z nábytku proto v tuto chvíli nelze doporučit. Nadějným se naopak jeví pyrolytické zpracování stavebního a průmyslového dřevního odpadu, který bývá relativně homogenní a zpravidla neobsahuje problematické látky.

Výstupy a benefity

Biouhel naplňuje principy cirkulární ekonomiky, kdy z problematicky využitelných surovin vytváří materiály s velkou přidanou hodnotou a pozitivními environmentálními dopady.

Biouhel dnes nachází široké uplatnění při tvorbě substrátů pro městské výsadby, jako příměs ke kompostu, do zelených střech, sportovních trávníků i ke komerčnímu prodeji. Inspirací může být provoz v Darmstadtu, kde je pyrolýzní jednotka situována vedle kompostárny. Výsledný produkt – substrát PALATERRA – je využíván při výsadbách a v městské zoologické zahradě. Biouhel může být využíván také k sanaci starých ekologických zátěží, jak se děje v Helsingborgu.

Z kapitoly o uhlíkových kreditech a dotazníkového šetření organizace CDR.fyi vyplývá, že sekvestrace oxidu uhličitého skrze biouhel je v současnosti nejlevnější ze všech metod dlouhodobého ukládání uhlíku. Tento podpůrný argument může být klíčový při prezentaci projektu. Výroba biouhlu dobře zapadá do naplňování

klimatických strategií měst. Současně je s výrobou biouhlu spojeno plnění několika *Cílů udržitelného rozvoje* OSN a řešení environmentálních problémů, jako je degradace zemědělských půd včetně eroze, acidifikace a úbytku biodiverzity. Jako vstupní materiál pro pyrolýzu se doporučuje používat čistou biomasu všeho druhu. Biomasa z plantážního pěstování není z procesu vyloučena, ale podléhá přísnější kontrole v důsledku možných negativních externalit.

Limity a předpisy

Zavedení pyrolýzních jednotek v městském prostoru podléhá souboru legislativních opatření. Mezi klíčové předpisy patří zákon o ochraně ovzduší, zákon o integrované prevenci, zákon o posuzování vlivů na životní prostředí (EIA), zákon o odpadech a řada vyhlášek a dalších podzákonných předpisů. Tento výčet není konečný a na konkrétní provozní řešení se mohou vztahovat specifické limity a předpisy.

Práce s veřejností

Nedílnou součástí provozu je také osvěta a vzdělávání veřejnosti. Příklad z Helsingborgu ukazuje, že pyrolýzní jednotku může doprovázet vzdělávací a výzkumné centrum s laboratoří, testovacím reaktorem a prostory pro výuku, výstavy či odborná setkání. Zapojení a informování široké veřejnosti je běžné téměř ve všech zkoumaných případech. Časté je vydávání tiskovin, pořádání exkurzí a dnů otevřených dveří, ale možností je celá řada od nabídek biouhlu komunitním zahradám přes práci se školami až po semináře pro odbornou veřejnost.

Doporučení

Město Praha by mělo v rámci postupu prací zadat zpracování komplexní vyhledávací studie a studie proveditelnosti (dále jen Studie proveditelnosti) pro umístění zařízení na výrobu biouhlu.

Tato Studie proveditelnosti musí prověřit celou šíři problematiky a zahrnout mimo jiné:

- množství a charakter dostupné biomasy,
- prostorovou distribuci biomasy a dostupnost v čase (v průběhu roku),
- umístění pozemků vhodných pro stavbu zařízení z hlediska dopravní dostupnosti, okolní zástavby, zdroje biomasy, územního plánování atd.,
- možnosti využití biouhlu v rámci města – požadavky na množství a kvalitu,
- požadavky a možnosti pro využití tepla z provozu (vytápění, sušení),
- možnosti a okolnosti připojení pyrolýzního zařízení do sítě jako potenciálního zdroje elektřiny, možnosti a okolnosti využití elektřiny pro vnitřní potřeby podniku,
- aspekty týkající se uhlíkových kreditů (jejich množství, uplatnění v rámci uhlíkového účtu města nebo případný prodej, vhodná certifikační schéma),
- časový harmonogram a propočet nákladů na projekční práce a inženýring, pořízení, montáž a zkušební provoz zařízení včetně nezbytných akcesorií a uvedení kompletní technologie do běžného provozu, výpočet provozních nákladů,
- propočet výnosů z likvidace odpadu, produkce

energií, biouhlu a uhlíkových kreditů, zohlednění případných dalších výnosů,

- komplexní business model, finanční plán a cost-benefit analýza (viz předchozí body) a zhodnocení udržitelnosti z hlediska ekonomického, sociálního a environmentálního,
- analýzu rizik s návrhem opatření k jejich minimalizaci,
- posouzení možností financování záměru včetně dotačních příležitostí,
- výběr vlastní výrobní technologie a doprovodných technologií (sušení, drcení, třídění, čištění spalin a podobně), to vše v případných variantách,
- marketingovou strategii včetně návrhu práce s hlavními stakeholdery a veřejností,
- analýzu právních aspektů včetně návrhu vlastnické struktury,
- další aspekty umožňující posoudit umístění pyrolýzní technologie v celé širší problematice.

Jedním z podkladů pro zadání Studie proveditelnosti, pro posouzení variant a výběr vhodného zařízení může sloužit také tato rešerše, která přináší ucelený pohled na aktuálně dostupné pyrolýzní technologie.

13. Přílohy

Příloha 1: Seznam výrobců pyrolýzních technologií

Příloha 2: Jednotná dotazníková tabulka technických parametrů

Příloha 3: Přehledná tabulka porovnání dostupných pyrolýzních technologií

PŘÍLOHA 1:

Seznam výrobců
pyrolýzních
technologií

3R Systems GmbH
3R-BioPhosphate Ltd.
Airex energy
AquaGreen: Sludge pyrolysis
Arigna Fuels
BCHAR
BIATEX
Bio Energy netherlands
Biogreen/Vow
Biomacon
Carbo Force
CarboCulture
Carbofex
Carbonauten
Circular Carbon GmbH
CTS (Carbon Technik Schuster)
e4f prime gmbh
Envigas
Eqtec
GreenWin/XYLERGY
Haffner energy
Mash makes
Meva energy
NGE
Novocarbo
OZEN Sp. z o.o.

	https://www.3r-systems.de/engineering-2/	Německo - Hannover	info@3r-systems.de
	https://biophosphate.net/site-energy-recycling-reinforce-circular-agri-food-production-systems	Maďarsko - Kajászó	biochar@3ragrocarbon.com
	https://airex-energy.com/	Kanada - Québec (Působí ve Francii)	mají pouze formulář na stránkách
	https://aquagreen.dk/technology/	Dánsko - Roskilde	contact@aquagreen.dk
	https://arignafuels.ie/	Irsko - Arigna	info@arignafuels.ie
	https://bchar.earth/our-offering	Švýcarsko - Curych	contact@bchar.earth
	https://www.biatex.net/en/products/htc-coal	Německo - Rheine	mají jen formulář na stránkách
	https://bioenergynetherlands.nl/en/	Nizozemsko - Amsterdam	info@bioenergynetherlands.nl
	https://www.biogreen-energy.com/pyrolysis-equipment	Francie - Compiègne	info@vowasa.com
	https://www.biomacon.com/?lang=en	Německo - Rehburg	th@biomacon.com
	https://www.carbo-force.de/en/plants	Německo - Kassel	info@carbo-force.de
	https://carboculture.com/	Finsko - Helsinky	hello@carboculture.com
	https://carbofex.fi/	Finsko - Nokia	info@carbofex.fi
	https://carbonauten.com/en/carbonization/	Německo - Giengen	info@carbonauten.com
	https://circular-carbon.com/en/	Německo - Straubing	info@circular-carbon.com
	https://carbex.one/ueber-uns	Německo - Dischingen	info@carbex.one
	https://www.e4f.eu/geschichte-der-firma.html	Rakousko - Spittal an der Drau	anton.aschbacher@e4f.eu
	https://www.envigas.com/production	Švédsko - Stockholm	info@envigas.com
	https://eqtec.com/	Irsko - Cork	mají jen formulář na stránkách
	https://xylergy-group.com/en/	Belgie - Ottignies-Louvain-la-Neuve	info@xylergy-group.green
	https://www.haffner-energy.com/	Francie - Vitry-le-François	contact@haffner-energy.com
	https://www.mashmakes.com/	Dánsko - Kodaň	mají pouze formulář na stránkách
	https://mevaenergy.com/	Švédsko - Hisings Backa	info@mevaenergy.com
	https://nge.at/en/	Rakousko - Feldkirchen	info@nge.at
	https://novocarbo-biochar.com/	Německo - Hamburk	info@novocarbo.com
	https://ozen.pl/en/homepage/	Polsko - Wałcz	info@ozen.pl

Perpetual next
Polytechnik
PYREG
PyroCore
PyroGenesys
SKANSKA / The CharMaker
Soler/Carbonex
SPSC
Stiesdal
Syncraft
TORRCoal
Woodtek Biochar

	https://perpetualnext.com/en/	Nizozemsko - Amsterdam	info@perpetualnext.com
	https://polytechnik.com/en/	Rakousko - Weissenbach	office@polytechnik.at
	https://pyreg.com/	Německo - Dörth	info@pyreg.com
	https://pyrocore.com/en/	Belgie - Brusel	Info@pyrocore.com
	https://pyrogenesys.com/process/	Anglie - Birmingham	admin@pyrogenesys.com
	https://thecharmaker.com/project/skan-ska-ab-biochar-facility/	Švédsko - Stockholm / Austrálie - Port Melbourne	enquiries@thecharmaker.com
	https://soler-group.com/our-biorefineries/	Francie - Gyé-sur-Seine	mají pouze formulář na stránkách
	https://www.sp-sc.de/en/startseitehome/	Německo - Ottobrunn	info@sp-sc.de
	https://www.stiesdal.com/skyclean/	Dánsko - Kodaň	info@stiesdal.com
	https://en.syncraft.at/	Rakousko - Schwaz	office@syncraft.at
	https://www.torrcoal.com/	Nizozemsko - Sittard-Geleen	l.smeets@torrcoal.nl
	https://woodtekengineering.co.uk/contact-us	Anglie - Guilsfield	sales@woodtekeng.co.uk

PŘÍLOHA 2:

Jednotná dotazníková tabulka technických parametrů:

Name of unit	Values	Units
Description of unit		-
Continual/ Batch type		-
Cycle duration		h
Fuel type		-
Maximum moisture of fuel		%
Auxiliary power		kW
Fuel supply		kg/h
Conversion ratio of fuel to biochar		kg/kg
Biochar production		kg/h
Pyrolysis unit price		€
Heat output		kW
Electrical output		kW
Number of operators		person
Building space		m ²
Working fund		h
Producing biochar from waste furniture	Yes/No	-
Producing biochar from sewage sludge	Yes/No	-
Examples of completed implementations (1 to 3) - ideally carried out for municipalities		-

PŘÍLOHA 3:

Přehledná tabulka
porovnání dostupných
pyrolýzních technologií

Firma	Název zařízení
Carbonauten GmbH	minus CO ₂ factory
Pyreg GmbH	Px500
	Px1500
	Px6000
	Px500 SH
	Px1500 SH
Stiesdal	SkyClean
Aqua Green	HECLA 1 000
	HECLA 1 500
Pyronet	PyroFarm P60
Syncraft	CW1800x2-1000
Carbo Force	CF-250
Biomacon	C160-F
	C224-F
	C400-I
	C500-I
BCHAR	BCHAR-50
	BCHAR-100
	BCHAR-250
	BCHAR-500
	BCHAR-750
	BCHAR-1000
SPSC GmbH	VARIO S
	VARIO L
	VARIO XS 120 KW
	VARIO XS 250 KW

	Specifika zařízení	Množství vyrobeného biouhlu [kg/h]	Výrobní poměr [kg/kg]	Tepelný výkon [kW]	Elektrický výkon [kW]
	dřevní štěpka/pelety ,vsázkový reaktor, kompletní výstavba	1 000	3:1	4 000	-
	štěpka/zemědělské zbytky, kontinuální provoz	48	2,5:1	500	-
	štěpka/zemědělské zbytky, kontinuální provoz	113	2,5:1	1 500	-
	štěpka/zemědělské zbytky, kontinuální provoz	500	2,5:1	6 000	-
	čistírenské kaly, kontinuální provoz	84	10:1	200	-
	čistírenské kaly, kontinuální provoz	238	10:1	575	-
	pelety, kontinuální provoz s výrobou bioplynu	1 075	4:1	20 000	-
	čistírenské kaly, kontinuální provoz	70	10:1	350	-
	čistírenské kaly, kontinuální provoz	100	10:1	525	-
	štěpka, menší vsázkový provoz	10,6	6,25:1	60	-
	štěpka, kontinuální provoz	112,5	6,27:1	1 300	1 000
	štěpka, střední kontinuální provoz	-	4:1	600	-
	štěpka, menší vsázkový provoz	18	5,28:1	160	-
	štěpka, menší vsázkový provoz	25	4,52:1	224	-
	štěpka, střední rotační vsázkový provoz	46	5,17:1	400	-
	štěpka, střední rotační vsázkový provoz	64	4,61:1	500	-
	zemědělský odpad/ štěpka, střední kontinuální provoz	50	3,6:1	200	-
	zemědělský odpad/ štěpka, střední kontinuální provoz	100	3,6:1	500	100
	zemědělský odpad/ štěpka, střední kontinuální provoz	250	3,6:1	1100	200
	zemědělský odpad/ štěpka, větší kontinuální provoz	500	3,6:1	2200	400
	zemědělský odpad/ štěpka, větší kontinuální provoz	750	3,6:1	3000	600
	zemědělský odpad/ štěpka, velký kontinuální provoz	1000	3,6:1	4500	800
	štěpka, malý vsázkový provoz	120 l/várka	2,5:1	-	-
	štěpka, malý vsázkový provoz	900 l/várka	2,5:1	-	-
	zemědělské zbytky/ štěpka, malý kontinuální provoz	90 l/h	2,78:1	120	-
	zemědělské zbytky/ štěpka, malý kontinuální provoz	180 l/h	2,78:1	250	-

14. Zdroje

2. Úvod

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE, 2025. Why Biochar [online]. 2025. Dostupné z: <https://biochar-international.org/why-biochar/>

3. Zadání, metodika zpracování

BIOCHAR ZERO, 2025. Biochar Consulting [online]. 2025. Dostupné z: <https://biochar-zero.com/>

EUROPEAN BIOCHAR CERTIFICATION, 2025. EBC Producer [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.european-biochar.org/en/companies>

EUROPEAN BIOCHAR INDUSTRY, 2023. Market Report 2022/23 [online]. 2023. Dostupné z: <https://www.biochar-industry.com/market-overview/>

4. Biouhel a pyrolýzní technologie – základní pojmy

CIRKUS C, 2025. Co je biouhel: Vlastnosti, využití a přínosy pro půdu [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.cirkusc.cz/co-je-biouhel/>

EBC (2012–2022) ‚European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.‘ European, Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. (<http://european-biochar.org>). Verze 10.0 z 1. 1. 2022.

PEER, Václav a Pavel FRIEDEL, 2016. Zplyňování – principy a reaktory [online]. 2016. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-pevnymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>

5. Přehled sériově vyráběných zařízení dostupných v Evropě

AIREX ENERGY, 2025. *Airex Energy - MULTIPLE FEED-STOCK. ENERGY EFFICIENT. COST EFFECTIVE.* [online]. 2025. Dostupné z: <https://airex-energy.com/tech/>

AQUA GREEN, 2025. Aqua Green - Turn your biomass into resources [online]. 2025. Dostupné z: <https://aquagreen.dk/>

ARTI, 2025. Arti - Cool solutions to cool the planet [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.arti.com/>

BESTON, 2025. Beston - Continuous Pyrolysis Plant [online]. 2025. Dostupné z: ARTI, 2025. Arti - Cool solutions to cool the planet [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.arti.com/>

BIOMACON, 2025. Biomacon - Decarbo power [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.biomacon.com/?lang=en>

CARBO FORCE, 2025. Carbo Force - Pyrolysis plant: 100% practical [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.carbo-force.de/en>

CARBOFEX, 2025. Carbofex - World class biochar production facilities made in Finland [online]. 2025. Dostupné z: <https://carbofex.fi/>

CARBON TECHNIK SCHUSTER, 2025. Carbon Technik Schuster - Die negativ Emissionstechnologie der Zukunft [online]. 2025. Dostupné z: <https://ct-schuster.de/>

CARBONAUTEN, 2025. carbonauten GmbH the minus CO2 factory [online]. 2025. Dostupné z: <https://carbonauten.com/>

EQTEC, 2025. EQTEC - Beyond fossil fuels [online]. 2025. Dostupné z: <https://eqtec.com/>

HAFFNER ENERGY, 2025. Haffner Energy - Cleantech for renewable gas and clean fuels [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.haffner-energy.com/>

MASH MAKES, 2025. MASH MAKES - Think fast. Think big. Think Gigaton. [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.mashmakes.com/>

MEVA ENERGY, 2025. MEVA ENERGY - Enabling a fossil-free manufacturing industry [online]. 2025. Dostupné z: <https://mevaenergy.com/>

NEXT GENERATION ELEMENTS GMBH, 2025. NGE - Leading negative emission technology for a better future [online]. 2025. Dostupné z: <https://nge.at/>

POLYTECHNIK, 2025. Polytechnik - Transforming Biomass Since 1965 [online]. 2025. Dostupné z: <https://polytechnik.com/en/>

PYREG, 2025. PYREG - Net zero technology [online]. 2025. Dostupné z: <https://pyreg.com/>

PYROCORE, 2025. PyroCore - Move to circularity [online]. 2025. Dostupné z: <https://pyrocore.com/en/>

PYRONET, 2025. Pyronet - Negative emissions technology [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.pyronet.ch/>

SOLER GROUP, 2025. Soler - Solutions for Nature - Innovative technologies for climate neutrality [online]. 2025. Dostupné z: <https://soler-group.com/>

STIESDAL, 2025. Stiesdal - We deliver high-impact solutions to climate change [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.stiesdal.com/>

SYNCRAFT, 2025. Syncraft - Climate Positive Solutions [online]. 2025. Dostupné z: <https://en.syncraft.at/>

VOW, 2025. At Vow, we turn waste into value [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.vowasa.com/>

XYLERGY, 2025. Xylergy - Energize your biomass [online]. 2025. Dostupné z: <https://xylergy-group.com/en/>

BCHAR, 2025a. BCHAR - Decarbonizing agricultural supply chains with biochar [online]. 2025. Dostupné z: <https://bchar.earth/>

CARBOCULTURE, 2025. Carboculture - Captured by nature, secured by us. [online]. 2025. Dostupné z: <https://carboculture.com/>

OJANEN, 2023. Carboculture [online]. 2023. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclcfindmkaj/https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CarboCulture.pdf>

SPSC, 2025. SPSC - Carbon technology [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.sp-sc.de/en/startseitehome/>

PYROGENESYS, 2025. Pyrogenesys - Providing energy access to off-Grid Communities [online]. 2025. Dostupné z: <https://pyrogenesys.com/>

WOODTEK, 2025. WoodTek - WELCOME TO WOODTEK BIOCHAR [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.woodtekbiochar.com/>

TORRCoal, 2025. TorrCoal - A perpetual next company [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.torrcoal.com/torrefaction-technology/>

NURMINEN, Fiia, 2012. ENVIRONMENTAL IMPACTS OF TORREFIED WOOD PELLET PRODUCTION Cases Rislog and Pursiala pilot plant [online]. 2012. B.m.: Miktech. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclcfindmkaj/https://www.torrcoal.com/cms/wp-content/uploads/Environmental-impacts-of-torrefied-wood-pellet-production.pdf>

THE CHARMAKER, 2022. Skanska AB – Batch Biochar Facility [online]. 2022. Dostupné z: <https://thecharmaker.com/project/skanska-ab-biochar-facility/>

THE CHARMAKER, 2021. Telge Återvinning AB – Biochar Facility [online]. 2021. Dostupné z: <https://thecharmaker.com/project/telge-atervinning-ab-biochar-facility/>

THE CHARMAKER, 2025. The CharMaker - Contact us [online]. 2025. Dostupné z: <https://thecharmaker.com/contact-us/>

ENVIGAS, 2025. Envigas - Envigas Biocarbon Fossil Free Transition with BioCarbon Solutions [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.envigas.com/>

OZEN, 2025. OZEN - Europe's most modern charcoal plant [online]. 2025. Dostupné z: <https://ozen.pl/en/homepage/>

3R SYSTEMS, 2025. 3R SYSTEMS - Recycle, Reduce, Reuse [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.3r-systems.de/>

3RBIPHOSPHATE LTD., 2025. 3RBioPhosphate [online]. 2025. Dostupné z: <https://biophosphate.net/>

7. Příklady fungujících pyrolýzních zařízení v Evropě

BABLE, 2022. Climate-Neutral Concrete with Biochar [online]. 2022. Dostupné z: <https://www.bable-smartcities.eu/explore/use-cases/use-case/climate-neutral-concrete-with-biochar.html>

BIOGRADA, 2025. Biograda - Obnovujeme zdroje Země [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.biograda.eu/sk/>

BIOCHAR ZERO, 2025. Innsbrucker Kommunalbetriebe AG [online]. 2025. Dostupné z: <https://biochar-zero.com/company/innsbrucker-kommunalbetriebe-ag/>

BLOOMBERG CITIES NETWORK, 2023. Big lessons from a small city on borrowing—and building upon—an idea

[online]. 2023. B.m.: Johns Hopkins University. Dostupné z: <https://bloombergcities.jhu.edu/news/big-lessons-small-city-borrowing-and-building-upon-idea>

BLOOMBERG PHILANTROPIES, 2021a. BRINGING BIOCHAR TO YOUR CITY LESSONS FROM THE STOCKHOLM BIOCHAR PROJECT. In: [online]. Stockholm. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bbhub.io/dotorg/sites/2/2017/03/Replicating-in-Stockholm.pdf>

BLOOMBERG PHILANTROPIES, 2021b. KEYS TO SUCCESS WHEN REPLICATING THE BIOCHAR PROJECT. In: [online]. Stockholm. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://nordregio.org/wp-content/uploads/2018/05/Replicating-in-Stockholm-checklist.pdf>

C40CITIES, 2015. Cities100: Stockholm - World's First Urban Carbon Sink with Biochar [online]. 2015. Dostupné z: <https://www.c40.org/case-studies/cities100-stockholm-world-s-first-urban-carbon-sink-with-biochar/>

EAD, 2021. Spatenstich für neue Karbonisierungsanlage des EAD [online]. 2021. Dostupné z: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/spatenstich-fuer-neue-karbonisierungsanlage-des-ead/>

EAD, 2024a. EAD-Pflanztag am 20. April auf der Kompostierungsanlage: Kooperation mit der Gärtnerei Aumühle und Upcycling-Angebot [online]. 2024. Dostupné z: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/nachhaltigkeit-gemeinsam-umgesetzt/>

EAD, 2024b. Nachhaltigkeit gemeinsam umgesetzt: Darmstädter Pflanzenkohle erstmals bei EDEKA Patschull erhältlich [online]. 2024. Dostupné z: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/nachhaltigkeit-gemeinsam-umgesetzt/>

EAD, 2024c. Seit Februar erprobt Darmstadt Resilienzsteigerung der städtischen Vegetation durch

pflanzenkohlebasiertes Pflanzkonzept [online]. 2024. Dostupné z: <https://ead.darmstadt.de/aktuelles/detail/seit-februar-erprobt-darmstadt-resilienzsteigerung/>

EAD, 2025a. *Darmstädter Pflanzenkohle Unser gemeinsamer Beitrag zum Klimaschutz* [online]. 2025. Dostupné z: <https://pflanzenkohle-darmstadt.de/>

EAD, 2025b. *Klimarelevanz* [online]. 2025. Dostupné z: <https://pflanzenkohle-darmstadt.de/klimarelevanz/>

EUROPEAN SUSTAINABLE PHOSPHORUS PLATFORM, 2022. *Perspectives for pyrolysis of sewage sludges* [online]. 2022. B.m.: SCOPE NEWSLETTER. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter144.pdf>

GUSTAFSSON, Mattias, 2019. Stockholm Biochar Project. In: *Nordic Biochar Conference* [online]. B.m. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://biochar-international.org/wp-content/uploads/2019/09/Stockholm-Biochar-Project.pdf>

HELSINGBORG, 2023. *Climate expert and IPCC author Oliver Geden keynote speaker at Biochar Summit* [online]. 2023. Dostupné z: <https://helsingborg.se/makingofasmartercity/climate-expert-and-ipcc-author-oliver-geden-has-been-booked-as-one-of-the-keynote-speakers/>

HELSINKI REGION ENVIRONMENTAL SERVICES AUTHORITY HSY, 2025. *Comprehensive recovery of nutrients and carbon from wastewater (RAHI 2)* [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.hsy.fi/en/hsy/hsys-projects/project-pages/rahi-project/>

MARKKANEN, Tuuli, Will TWUIJVER a Linda RÖMAN, 2023. *Helsinki Biochar Project – piloting local production and use of biochars* [online]. Stockholm: City of Helsinki, publications of the Central Administration 2024:17.

ISBN 978-952-386-440-5. Dostupné z: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.aalto.fi/sites/default/files/2024-06/Helsinki-Biochar-Project---final-report.pdf>

NORDIC BIOCHAR NETWORK, 2025. *Nordic Biochar Map* [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.nordic-biochar.org/about-us/map/>

NORDREGIO, 2018. *Stockholm Biochar Project* [online]. 2018. Dostupné z: https://nordregio.org/sustainable_cities/stockholm-biochar-project/

POTOČÁR, Radovan, 2022. *Kuchynský odpad z Bratislavy smeruje do nového koncového zariadenia* [online]. 2022. B.m.: ODPADYPORTAL. Dostupné z: <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/107014/kuchynsky-odpad-bratislava.aspx>

SHERRARD, Alan, 2024. *NSR closes the circle with novel biochar plant* [online]. 2024. B.m.: BECCS. Dostupné z: <https://bioenergyinternational.com/nsr-closes-the-circle-with-novel-biochar-plant/>

STÖLLNBERGER, Lisa a Michael TROJER, 2024. cool-INN (Messepark Innsbruck) Ein Umsetzungsprojekt zur urbanen Kühlung durch blau grüne Infrastruktur. In: [online]. B.m. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/land-forstwirtschaft/agrar/dorferneuerung-tirol/Lebensraum_Dorf/Stoellnberger__Trojer_-_cool-INN_Messepark_Innsbruck_-_Ein_Praxisbeispiel_zur_Kuehlung_durch_blau_gruene_Infrastruktur_.pdf

ZDROJE ZEME, 2023. *Ponúkajú spracovanie bioodpadu. Spoločnosť Zdroje Zeme má inovatívnu technológiu* [online]. 2023. B.m.: ODPADYPORTAL. Dostupné z: <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/107762/zdroje-zeme-biograda-bioodpad.aspx>

8. Rešerše provozů výroby biouhlu v ČR a SR

BIOGRADA, 2025. Biograda - Obnovujeme zdroje Země [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.biograda.eu/sk/>

DR.UHLI, 2025. dr.uhli [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.druhli.cz/>

EQUIDOMUS, 2025. EQUIDOMUS - Boxy pro koně [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.equidomus.com/>

FUKA, Jaroslav a Miroslav KOS, 2021. ZPRACOVÁNÍ OD-VODNĚNÝCH VYHNILÝCH KALŮ SUŠENÍM A PYROLÝ-ZOU NA ČOV TRUTNOV [online]. 2021. B.m.: HST Hydrosystémy s.r.o. Dostupné z: http://www.cpga.cz/files/prednasky/2003_Fuka_Kos_Trutnov_kalova_koncovka.pdf

PREOL, 2025. Preol - energie dodaná přírodou [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.preol.cz/>

10. Problematika zpracování odpadu z nábytku na biouhel

Fakulta životního prostředí ČZU v Praze., 2023. #FZPSHORTS | Projekt SWAMP #5 | Biochar [online]. [YouTube video]. 2023. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=l4CLycStzME>

GMAR, Mouna, Hassine BOUAFIF, Besma BOUSLIMI, Flavia L. BRAGHIROLI a Ahmed KOUBAA, 2022. Pyrolysis of Chromated Copper Arsenate-Treated Wood: Investigation of Temperature, Granulometry, Biochar Yield, and Metal Pathways. Energies [online]. 15(14), 5071. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en15145071

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE, 2025. How to Make Biochar [online]. 2025. Dostupné z: <https://>

biochar-international.org/about-biochar/how-to-make-biochar/biochar-feedstocks/#:~:text=Bio-mass%20waste%20materials%20appropriate%20for, methane%20back%20into%20the%20atmosphere

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2024. ZPRÁVA O STAVU LESA A LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY V ROCE 2023 [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství. ISBN 978-80-7434-790-0. Dostupné z: <https://nli.gov.cz/wp-content/uploads/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-hospodarstvi-ceske-republiky-v-roce-2023.pdf>

ONUAGULUCHI, Obinna, Badr MOHAMED, Adib AD-WAN, Loretta LI a Nemkumar BANTHIA, 2024. Sludge-derived biochar as an additive in cement mortar: Mechanical strength and life cycle assessment (LCA). Construction and Building Materials [online]. 425, 135959. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2024.135959

ŠŤASTNÝ, Václav, 2019. Biouhel – nová perspektiva v technologii dočišťování odpadních vod, nebo slepá ulička? Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. 61(3), 40–43. ISSN 0322-8916.

UŠŤAK, Sergej, Jakub MUÑOZ a Vojtěch VÁŇA, 2021. Možnosti využití hnojivých substrátů na bázi biouhlu z kombinované hydrotermochemické úpravy kontaminovaných bioodpadů [online]. B.m.: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Drnovská 507, 161 06 Praha 6 - Ruzyně. ISBN 978-80-7427-365-0. Dostupné z: <https://invenio.nusl.cz/record/511510/?ln=cs>

11. Uhlíkové kredity:

CDR.FYI, 2025a. New Survey Shows Pricing Gap in Durable CDR [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.cdr.fyi/blog/cdr-pricing-survey-jan-2025>

CDR.FYI, 2025b. We bring transparency and accountability to the carbon removal market [online]. 2025. Dostupné z: <https://www.cdr.fyi/>

EBC (2020), Certification of the carbon sink potential of biochar, Ithaka Institute, Arbaz,

EUROPEAN COMMISSION, 2022. Questions and Answers on EU Certification of Carbon Removals [online]. 2022. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_7159

KÁŇA, Jan, 2024. UHLÍK POD KONTROLOU [online]. 2024. Dostupné z: <https://www.biochar.foundation/microchar-je-crcf-ready/>

OXFORD BIOCHAR, 2019. CO2 Certification [online]. 2019. Dostupné z: https://oxfordbiochar.org/?page_id=18922

PURO.EARTH, 2022. Biochar Methodology [online]. 2022. B.m.: Puro Standard. Dostupné z: <https://puro.earth/biochar>

SNOVÁKOVÁ, Andy a Ondráš PŘIBYLA, 2023. Co jsou uhlíkové offsety? [online]. 2023. B.m.: Fakta o klimatu. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/uhlikove-offsety>

Switzerland. (<http://European-biochar.org>). Version 2.1E of 1st February 2021

