



# **Studie - Technology Foresight pro Karlovarský kraj**

Objednatel: Karlovarská agentura rozvoje podnikání,

Financováno z prostředků Karlovarského kraje.

Editor: SUSCHEM CZ (Česká technologická platforma pro udržitelnou chemii)

Zpracováno dne: 4. 4. 2023

## Obsah

1.	Cíl studie .....	10
2.	Zaměření a struktura studie .....	10
3.	Základní charakteristika kraje v relevantní oblasti.....	11
3.1.	Základní charakteristika kraje relevantní pro splnění zadaného cíle.....	11
3.2.	Chemický průmysl v ČR a v EU .....	11
3.2.1.	Orientace průmyslu a produkce.....	11
3.2.2.	Produkce a HDP .....	15
3.2.3.	Finanční ukazatele.....	18
3.2.4.	Závěry a doporučení.....	23
3.2.5.	Zdroje .....	23
3.3.	Analýza chemického průmyslu v Karlovarském kraji .....	23
3.3.1.	Podnikatelské prostředí .....	24
3.3.2.	Přímé zahraniční investice.....	27
3.3.3.	Zaměstnanost.....	28
3.3.4.	Mzdová úroveň.....	29
3.3.5.	Závěry a doporučení.....	30
3.3.6.	Zdroje .....	30
3.4.	Problematika technického a chemického vzdělávání v kraji.....	30
3.4.1.	Nástin organizace vysokého technického školství v Karlovarském kraji .....	30
3.4.2.	Závěry a doporučení.....	31
4.	Popis hlavních trendů, které budou do budoucna kraj významně determinovat.....	33
4.1.	Vodík a vodíkové technologie .....	33
4.1.1.	Vodík ve světě a v EU .....	33
4.1.2.	Klasifikace vodíku.....	37
4.1.3.	Výroba vodíku.....	39
4.1.4.	Zařízení pro elektrolytický rozklad vody .....	43
4.1.5.	Skladování vodíku.....	44
4.1.6.	Současná situace a trendy v ČR .....	44
4.1.7.	Vodíkové technologie do budoucna .....	50
4.1.8.	Scénář spotřeby vodíku po odvětvích .....	53
4.1.9.	Časový plán pro zavádění vodíku v ČR.....	55
4.1.10.	Závěry a doporučení.....	55
4.1.11.	Zdroje .....	56

4.2.	Cirkulární ekonomika a zpracování odpadů .....	56
4.2.1.	Druhy odpadů a jejich bilance v ČR a regionech .....	57
4.2.2.	Mechanická recyklace .....	60
4.2.3.	Chemická recyklace .....	60
4.2.4.	Současný stav využití odpadů .....	61
4.2.5.	Odpadní plasty jako surovina pro chemickou recyklaci .....	62
4.2.6.	Technologie pyrolýzy opotřebovaných pneumatik .....	75
4.2.7.	Aktuální a budoucí rozvoj – připravované investice ve světě.....	76
4.2.8.	Závěry a doporučení .....	78
4.2.9.	Zdroje .....	78
4.3.	Využití biomasy a obnovitelných bio-surovin – tzv. zelená chemie .....	79
4.3.1.	Zelená chemie ve světě .....	79
4.3.2.	Zelená chemie ve světě – Syntetická paliva.....	82
4.3.3.	Bioplyn – stav a současné trendy v EU .....	90
4.4.	Battery value chain .....	104
4.4.1.	Výskyt lithiových rud ve světě a v ČR.....	104
4.4.2.	Co je lithiová baterie? .....	107
4.4.3.	Technologie .....	108
4.4.4.	Sumarizace situace kolem lithium iontových článků .....	109
4.4.5.	Stávající a plánované bateriové aktivity v EU .....	110
4.4.6.	Lithiová energetika – potenciál pro průmysl a bateriový řetězec .....	112
4.4.7.	Recyklace baterií .....	115
4.4.8.	Situace v ČR – potenciál a přínosy pro dotčené regiony .....	115
4.4.9.	Závěr a doporučení .....	116
4.5.	Podpora technologií OZE .....	117
4.5.1.	Elektrická energie.....	117
4.5.2.	Teplo.....	119
4.5.3.	Závěry a doporučení .....	120
5.	Naznačení možností, jak popsane trendy uplatnit u hlavních průmyslových společností	121
5.1.	Případová studie I .....	122
5.1.1.	Vodíkové technologie aplikovatelné v Karlovarském kraji .....	122
5.1.2.	Výroba a využití syntézního plynu z biomasy v Karlovarském kraji – návrh projektu 125	
5.1.3.	Bioplyn a jeho využití v Karlovarském kraji .....	125

5.1.4.	Závěry a doporučení v oblasti bioplynu .....	129
5.1.5.	Cirkulární ekonomika a zpracování odpadů – potenciál pro a.s. SUAS .....	129
5.1.6.	Odpadní plasty v Karlovarském kraji – doporučené projekty.....	131
5.2.	Případová studie II.....	132
5.2.1.	Biomasa a zelená chemie-význam pro Karlovarský kraj a spol. Synthomer ...	132
5.2.2.	Nové „bio“ a alternativní produkty – potenciální význam pro a.s. Synthomer	135
5.2.3.	Malotonážní produkty – potenciál pro a.s. Synthomer .....	137
5.2.4.	Zelené a malotonážní produkty v Karlovarském kraji – doporučené aktivity	137
5.3.	Energetické úspory obecně – stručná charakteristika.....	138
5.3.1.	Možná doporučení pro chemické podniky Karlovarského kraje.....	145
5.3.2.	Využití moderních energetických systémů v Karlovarském kraji – doporučené projekty	145
5.3.3.	Využití moderních energetických systémů - možná doporučení pro Synthomer	146
5.3.4.	Zdroje .....	146
5.4.	Chemické využití uhlí bez doprovodné tvorby oxidu uhličitého .....	147
5.4.1.	Uhlí jako minerální uhlíková surovina.....	147
5.4.2.	Technologie .....	148
5.4.3.	Využití procesního plynu z uhlí .....	149
5.4.4.	Zachycování a využití oxidu uhličitého ze zpracování uhlí.....	151
5.4.5.	Specifické použití uhlí.....	151
5.4.6.	Integrace chemického zpracování uhlí se zpracováním biomasy a tuhého komunálního odpadu .....	152
5.4.7.	Integrace petrochemického průmyslu s chemickým zpracováním uhlí .....	152
5.4.8.	Integrace produktů z chemického zpracování uhlí v podmínkách ČR.....	152
5.4.9.	Využití uhlí v Karlovarském kraji.....	153
5.4.10.	Závěry a doporučení.....	155
6.	Závěry a základní doporučení .....	156

## Seznam tabulek a obrázků

<b>Tab. 1:</b> Počet firem ve vybraných CZ-NACE v pověřených obcích.....	25
<b>Tab. 2:</b> Průměrný počet podniků podle CZ-NACE se 100 a více zaměstnanci .....	26
<b>Tab. 3:</b> Průměrný evidenční počet zaměstnanců podle CZ-NACE se 100 a více zaměstnanci .....	26
<b>Tab. 4:</b> Tržby z prodeje výrobků a služeb průmyslové povahy podle CZ-NACE se 100 a více zaměstnanci (v mil. Kč) .....	26
<b>Tab. 5:</b> Projekty zprostředkované agenturou CzechInvest .....	27
<b>Tab. 6:</b> Velké projekty v rámci fDi Markets .....	27
<b>Tab. 7:</b> Světová výroba vodíku – struktura dle surovin .....	34
<b>Tab. 8:</b> Současná spotřeba vodíku dle hlavních segmentů .....	34
<b>Tab. 9:</b> Hmotnostní bilance procesu MTP .....	49
<b>Tab. 10:</b> Stávající výroby vodíku v ČR.....	54
<b>Tab. 11:</b> Průměrná hmotnostní skladba SKO z obcí ČR v r. 2020.....	57
<b>Tab. 12:</b> Náklady a výtěžnost odpadů dle regionů .....	58
<b>Tab. 13:</b> Výtěžnost plastového odpadu v Karlovarském kraji po letech v kg na obyvatele a rok (všechny druhy sběru) .....	59
<b>Tab. 14:</b> Charakteristika ojetých pneumatik.....	70
<b>Tab. 15 :</b> Charakteristické složení pneumatik (% hm.) .....	70
<b>Tab. 16:</b> Reprezentativní složení pneumatiky .....	72
<b>Tab. 17:</b> Materiálová bilance pyrolýzy ojetých pneumatik (výtěžky počítány na vstup gumárenské suroviny).....	73
<b>Tab. 18:</b> Složení surového metanolu vyrobeného ze směsi H <sub>2</sub> a CO <sub>2</sub> a ze syntézního plynu obvyklého složení.....	101
<b>Tab. 19:</b> Celkový instalovaný výkon.....	119
<b>Tab. 20:</b> Přehled současné provozovaných bioplynových stanic v Karlovarském kraji.....	126
<b>Tab. 21:</b> Využití biomasy při kogeneraci .....	143
<b>Tab. 22:</b> <i>Složení a výhřevnost uhlí</i> .....	147
<b>Obr. 1:</b> Podíl jednotlivých zemí EU na chemické produkci v roce 2020.....	12
<b>Obr. 2:</b> Podíl dovozů chemické produkce do ČR v roce 2021 .....	13
<b>Obr. 3:</b> Podíl vývozu chemické produkce z ČR v roce 2021 .....	13
<b>Obr. 4:</b> Obchodní bilance EU .....	14
<b>Obr. 5:</b> Celková chemická produkce ve světě a podíl EU.....	15

<b>Obr. 6:</b> Vývoj výkonů v období 1993-1999 .....	16
<b>Obr. 7:</b> Vývoj výkonů v období 2000-2007 .....	16
<b>Obr. 8:</b> Vývoj výkonů v období 2008-2015 .....	17
<b>Obr. 9:</b> Vývoj výkonů v období 2016-2021 .....	17
<b>Obr. 10:</b> Vývoj chemické produkce EU od roku 2018.....	18
<b>Obr. 11:</b> Vývoj hrubé přidané hodnoty v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa) .....	19
<b>Obr. 12:</b> Vývoj zisku v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa) .....	19
<b>Obr. 13:</b> Vývoj produkce v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa).....	20
<b>Obr. 14:</b> Vývoj investic v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa) .....	20
<b>Obr. 15:</b> Vývoj rentability tržeb v období 1993–2021 .....	21
<b>Obr. 16:</b> Vývoj spotřeby energií chemického odvětví EU .....	21
<b>Obr. 17:</b> Srovnání energetické spotřeby chemického průmyslu EU v porovnání s celým zpracovatelským průmyslem EU .....	22
<b>Obr. 18:</b> Emise skleníkových plynů a spotřeba energií chemického odvětví EU .....	22
<b>Obr. 19:</b> Počet firem ve vybraných CZ-NACE (17, 19, 20, 21, 22, 23) v okresech .....	25
<b>Obr. 20:</b> Rozdělení projektů v chemickém průmyslu dle jednotlivých podoblastí v % .....	28
<b>Obr. 21:</b> Karlovarský kraj – predikce zaměstnanosti v oddílech NACE 19, 20, 21, 22 a 23.....	28
<b>Obr. 22:</b> Karlovarský kraj – predikce zaměstnanosti u pozic CZ-ISCO 813 a 814.....	29
<b>Obr. 23:</b> Jednostupňová aminová vypírka.....	40
<b>Obr. 24:</b> Vypírka Rectisol (Linde) .....	40
<b>Obr. 25:</b> Vodíkový cyklus .....	45
<b>Obr. 26:</b> Variabilita tandemu syntézní plyn – metanol .....	48
<b>Obr. 27:</b> Využití metanolu jako udržitelné petrochemické suroviny .....	49
<b>Obr. 28:</b> Princip výroby olefinů z metanolu.....	50
<b>Obr. 29:</b> Prognóza růstu spotřeby nízkouhlíkového vodíku po odvětvích.....	53
<b>Obr. 30:</b> Prognóza růstu spotřeby nízkouhlíkového vodíku v dopravě.....	54
<b>Obr. 31:</b> Principy cirkulární ekonomiky .....	57
<b>Obr. 32:</b> Skladba SKO z obcí ČR v r 2020 .....	57
<b>Obr. 33:</b> Výtěžnost plastu v krajích ČR; veřejná sběrná síť.....	58
<b>Obr. 34:</b> Výtěžnost plastu v krajích ČR; všechny způsoby sběru .....	59
<b>Obr. 35:</b> Účinnost procesu dotřídění plastových komunálních odpadů .....	60
<b>Obr. 36:</b> Způsoby nakládání s odpady v ČR za rok 2019 .....	62
<b>Obr. 37:</b> Možnosti implementace odpadních plastů do konceptu cirkulární ekonomiky .....	62
<b>Obr. 38:</b> Plazmové zplyňování – princip.....	66

<b>Obr. 39:</b> Grafické schéma procesu PSLoop .....	67
<b>Obr. 40:</b> Solvolýza v zařízení společnosti Creacycle.....	68
<b>Obr. 41:</b> Výsledná pyrokapalina .....	74
<b>Obr. 42:</b> BASF pyrolýza .....	76
<b>Obr. 43:</b> Možností výrob klíčových chemikálií z obnovitelných surovin.....	79
<b>Obr. 44:</b> Výroba bio-etylenu z obnovitelného zdroje – biolihu .....	80
<b>Obr. 45:</b> Světové aplikační kapacity pro bioplasty .....	80
<b>Obr. 46:</b> Světové produkční kapacity bioplastů .....	81
<b>Obr. 47:</b> „Zelená“ paliva pro letectví .....	82
<b>Obr. 48:</b> Ukázka transformace odpadů na produkty .....	83
<b>Obr. 49:</b> Schéma zpracování řepkové biomasy .....	85
<b>Obr. 50:</b> Celkové schéma výroby čistých metylesterů z MEŘO .....	86
<b>Obr. 51:</b> Hlavní reakce při rozkladu glycerolu.....	89
<b>Obr. 52:</b> Potenciál produkce biometanu v ČR v r. 2030 .....	91
<b>Obr. 53:</b> Závislost Wobbeho čísla a hutnoty na obsahu metanu v plynu.....	92
<b>Obr. 54:</b> Znázornění procesu adsorpce CO <sub>2</sub> z bioplynu.....	93
<b>Obr. 55:</b> Základní fáze technologie VPSA.....	94
<b>Obr. 56:</b> Schéma procesu VPSA .....	95
<b>Obr. 57:</b> Schéma procesu membránové separace.....	96
<b>Obr. 58:</b> Schéma technologie membránové separace biometanu použité v ECR Rapotín .....	97
<b>Obr. 59:</b> Využití metanolu jako petrochemické suroviny .....	98
<b>Obr. 60:</b> Blokové schéma výroby metanolu ze syntézního plynu.....	99
<b>Obr. 61:</b> Schéma výroby metanolu ze směsi H <sub>2</sub> a CO <sub>2</sub> .....	101
<b>Obr. 62:</b> Nejvýznamnější lithiové rudy a obsah lithia.....	105
<b>Obr. 63:</b> Hlavní světoví producenti lithia (rok 2016).....	105
<b>Obr. 64:</b> Výskyt kovových rud v ČR .....	106
<b>Obr. 65:</b> Odhadované zásoby lithia v ČR.....	106
<b>Obr. 66:</b> Výskyt lithia v lokalitě Horní Slavkov .....	107
<b>Obr. 67:</b> Schéma lithium-iontového článku .....	108
<b>Obr. 68:</b> Schéma výroby uhličitanu lithného .....	108
<b>Obr. 69:</b> Skutečnost a předpoklad výroby bateriových článků v EU (v GWH).....	110
<b>Obr. 70:</b> Bateriové aktivity v EU .....	111
<b>Obr. 71:</b> Výroba Li baterií v Evropě podle typu .....	111
<b>Obr. 72:</b> Výrobci baterií v Evropě.....	112



<b>Obr. 73:</b> Potenciál domovních instalací s bateriovým článkem .....	113
<b>Obr. 74:</b> Bateriový průmysl – příklad .....	114
<b>Obr. 75:</b> Výroba elektřiny brutto (GWh) .....	118
<b>Obr. 76:</b> Spotřeba elektřiny netto (GWh).....	118
<b>Obr. 77:</b> Bilance tepla za rok 2021 .....	120
<b>Obr. 78:</b> Využití vodíku pro chemické syntézy .....	123
<b>Obr. 79:</b> Možnosti využití bioplynu .....	128
<b>Obr. 80:</b> Výroba metanolu.....	129
<b>Obr. 81:</b> Recyklace PET lahví.....	130
<b>Obr. 82:</b> Pyrolýza pneumatik .....	130
<b>Obr. 83:</b> Schéma výroby „zelených“ alkoholů.....	134
<b>Obr. 84:</b> Výroba bio akrylové kyseliny .....	135
<b>Obr. 85:</b> Alternativní a bio-based technologie výroby akrylové kyseliny .....	135
<b>Obr. 86:</b> Základní moderní postupy chemického zpracování uhlí .....	148
<b>Obr. 87:</b> Reference využití uhlí pro výrobu NH <sub>3</sub> .....	149
<b>Obr. 88:</b> Schéma chemického využití uhlí .....	155

## 1. Cíl studie

Cílem studie Technology Foresight (TF) je na základě současného stavu odvětví v regionu a při zmapování vnějších trendů popsat budoucí vývoj ve zvolených oborech chemické technologie a navrhnout doporučení pro sféru komerční, vědecko-výzkumnou i samosprávnou, která budou směřovat k zajištění budoucí prosperity průmyslu v Karlovarském kraji. Cílem předkládaného materiálu je popsat očekávané hlavní body zmiňovaného dokumentu Technology Foresight se zaměřením na chemický průmysl a blízká odvětví. Záměrem je přispět ke globální konkurenceschopnosti chemického a energetického průmyslu v Karlovarském kraji. Studie se pokouší sledovat celosvětové trendy, jejich dopady na region a strategie k jejich využití v uvedených průmyslových segmentech. Časový horizont foresightové studie je rok 2035. Je-li zmiňován kraj nebo region, je v tomto dokumentu vždy míněn Karlovarský kraj.

Studie bere do úvahy současné trendy, stejně jako aktuální a předpokládané legislativní prostředí, které je především určováno agendami Nové zelené politiky Evropské unie (New Green Deal, NGD). Agendy NGD budou na dekády dopředu zásadně ovlivňovat ekonomicko-sociální prostředí a tržně-finanční vztahy.

Studie však zatím nemůže postihnout, popsat a do detailu odhadnout vývoj, který je aktuálně podmiňován novou iniciativou EU z konce ledna t.r. pod názvem „Přechodová transformace pro chemický průmysl“ (Transition Pathway for the Chemical Industry). Tato iniciativa předpokládá mnoho následných a navazujících kroků v oblasti tzv. dvojitého přechodu, to je digitální a udržitelná tranzice. V průběhu příštích měsíců má být vypracována Cestovní mapa (Road Map), která se soustředí na tři základní komponenty/části:

- a/ **orientovaná na akci** – bude soustřeďovat nejdůležitější, spolu úzce provázaná témata: spolupráce pro inovace, dodávky čisté energie a diverzifikaci zdrojů surovin.
- b/ **technologická** – se zaměřením na elektrifikaci, vodíkovou ekonomiku, biomasu, odpady, CCU a CCS a také na intenzifikaci chemických procesů
- c/ **regulatorní** – soustřeďuje existující legislativu, včetně iniciativ podporujících vědecko-výzkumné aktivity a inovace, které ovlivňují digitální a udržitelný rozvoj chemického průmyslu.

Mnohé výše uvedené technologie i návrhy jsou v naší studii zmiňovány a popsány, avšak dá se očekávat, že tato iniciativa (Transition Pathway for the Chemical Industry) se zcela jistě propíše do podmínek dalšího rozvoje chemického průmyslu v jednotlivých členských státech EU, tzn. včetně ČR. Bude proto naprosto nezbytné další vývoj sledovat, popř. se podílet na připomínkování a ovlivňování budoucích kroků. Toto zmiňujeme i v našich doporučeních na závěr studie.

## 2. Zaměření a struktura studie

Chemický průmysl a část energetického průmyslu, která je na pomezí energetiky a chemie, je dnes celosvětově jedním z nejvýznamnějších a nejdynamičtěji rozvíjejících se hospodářských sektorů. Podíl chemického průmyslu na HDP ČR je cca 7 %. Chemický průmysl zahrnuje širokou škálu používaných technologií a dodává rozmanité produkty – odhaduje se, že je běžně na trhu asi 3000 chemických produktů. Významný podíl tohoto průmyslového sektoru je zastoupen též

v Karlovarském kraji. Do uvažované komplexní studie lze proto zahrnout činnosti, při kterých dochází k transformaci organických a anorganických surovin chemickými procesy a jsou vytvářeny chemické produkty. V této studii se do chemického průmyslu zahrnují i některé energetické technologie těsně související s chemickými přeměnami.

Vzhledem k vymezení zadané studie a k současné orientaci Karlovarského kraje je žádoucí, aby byla primárně provedena analýza v oblastech zaměřených na odvětví, která jsou pro Karlovarský kraj důležitá – tj. výroba organických a polymerních látek (klíčovým hráčem v této oblasti je společnost SYNTHOMER) a na tu část energetického sektoru, který je na pomezí energetiky a chemie (tedy např. společnost SUAS, která je vedle čisté energetiky dlouhodobě orientována na výrobu a chemické využití syntézních plynů). Studie zahrnuje též úvahy o neenergetickém zpracování hnědého uhlí. Dle tohoto záměru je studie zpracována ve třech základních oddílech:

- Popis základní charakteristiky kraje relevantní pro splnění zadaného cíle,
- popis hlavních trendů, které budou do budoucna kraj významně determinovat,
- naznačení možností, jak tyto trendy uplatnit u hlavních průmyslových společnostech.

Návrh způsobu, rozsah a metodika zpracování studie jsou popsány ve stručnosti dále.

### **3. Základní charakteristika kraje v relevantní oblasti**

#### **3.1. Základní charakteristika kraje relevantní pro splnění zadaného cíle**

V textu je popsána současná obecná situace regionu zejména se zaměřením na průmyslovou základnu, pozici regionu v porovnání s ostatními kraji ČR. Jsou zde charakterizovány hlavní průmyslové segmenty kraje a s větším detailem popsán chemický a chemicko-energetický průmysl, kterým se zde rozumí aktivity zaměřené na neenergetické využití hnědého uhlí, zejména z pohledu na možný vývoj tohoto segmentu do budoucna. Studie popisuje potenciál kraje v oblasti obnovitelných surovinových a energetických zdrojů (zejména biomasy) a rámcově též související problematiku produkce, resp. zpracování odpadů. Nedílnou součástí základní charakteristiky kraje je alespoň základní analýza lidských zdrojů, vzdělanosti a školství, trhu práce apod.

#### **3.2. Chemický průmysl v ČR a v EU**

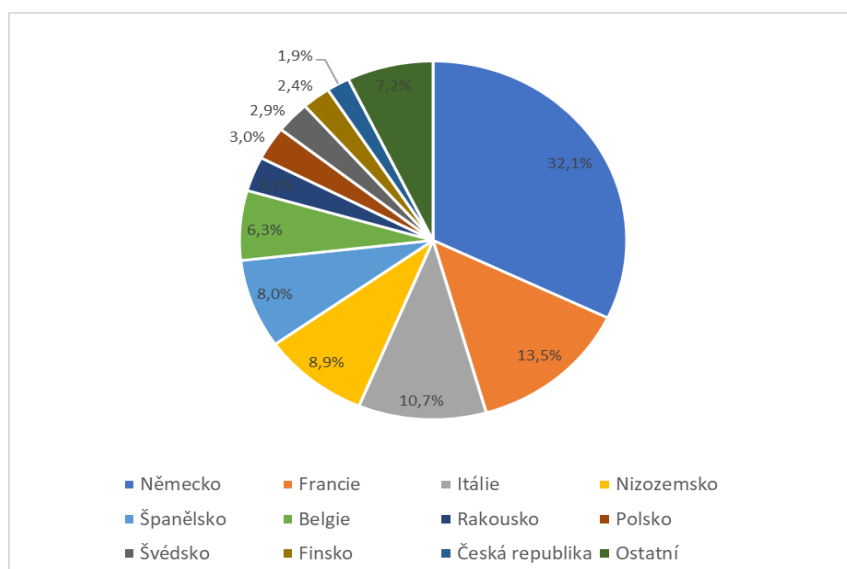
V současné době, a platí to především do budoucna, je průmysl v ČR těsně propojen regionálně v rámci celé ČR i v rámci EU – situace je popsána v dalších oddílech.

##### **3.2.1. Orientace průmyslu a produkce**

Chemický průmysl je jedním z nevyspělejších a nejrychleji se vyvíjejících hospodářských sektorů. Zahrnuje širokou škálu používaných technologií a dodává rozmanité produkty, bez kterých si dnes neumíme představit fungování jiných průmyslových odvětví a ani uspokojení potřeby obyvatelstva ve spotřebním zboží a potravinami. K zabezpečení dostatku potravin je nezbytná intenzivní zemědělská výroba, která se neobejde bez produkce průmyslových hnojiv, přípravků na ochranu rostlin či stimulátorů růstu, k nimž bude zejména v regionu EU docházet k postupnému omezování v souvislosti s legislativním rámcem vycházejícím z evropského Green Dealu.

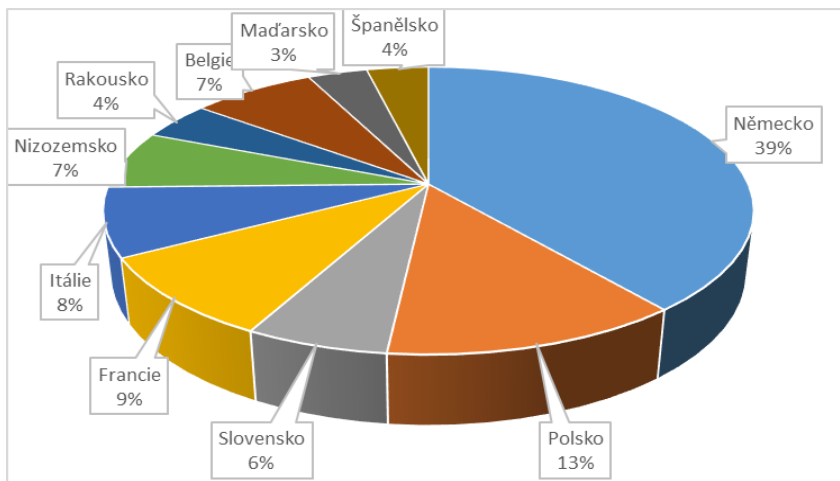
Chemický průmysl je stále založen převážně na zdrojích minerálních surovin: uhlí, ropy, zemní plyn, minerály a rudy, byť i postupné uplatňování obnovitelných zdrojů zde postupně nachází stále větší uplatnění. Samostatnou problematikou je dekarbonizace odvětví, zejména s ohledem na energetickou náročnost výroby ve smyslu využívání bezemisních nebo nízkoemisních energetických zdrojů a vyššího uplatnění vodíku (i jako zdroje pro další odvětví). Chemický průmysl ČR v posledních letech zaznamenal významný rozvoj a proběhla v něm řada významných strukturálních změn. Další změny lze očekávat v souvislosti s legislativním rámcem Green Dealu (zejména Strategie udržitelnosti chemických látek, „Farm to Fork“ a Dekarbonizace/Fit for 55). Významnou roli sehraje konečné řešení Ukrajinské krize, resp. ruské agrese na Ukrajinu a dopad na dodávku klíčových fosilních surovin za přijatelné ceny do evropského regionu.

Na rozdíl od jiných středoevropských zemí si chemické odvětví zachovalo svou váhu v českém národním hospodářství, podařilo se mu díky rozvojovým investicím udržet konkurenceschopnost vůči evropským, ale i asijským výrobcům, byť bilance zahraničního obchodu zůstává dlouhodobě negativní. Přes vysoký objem dovozů však chemická produkce českého původu významně přispívá i k exportnímu potenciálu ČR. Produkce českého chemického průmyslu zaujímá cca 2% podíl tržeb chemického průmyslu EU a ve středoevropském regionu zaujímá významné postavení s významnými dovozně-vývozními vazbami s okolními zeměmi.



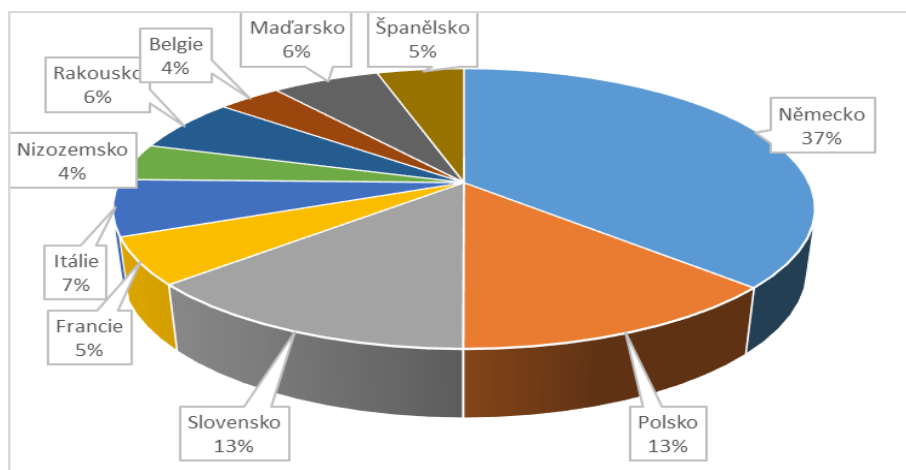
**Obr. 1:** Podíl jednotlivých zemí EU na chemické produkci v roce 2020

[Zdroj: [New edition of the chemical industry's Facts and Figures and regional overview is online - cefic.org](https://www.cefic.org)]



**Obr. 2:** Podíl dovozů chemické produkce do ČR v roce 2021

[Zdroj: [New edition of the chemical industry's Facts and Figures and regional overview is online - cefic.org](https://www.cefic.org)]

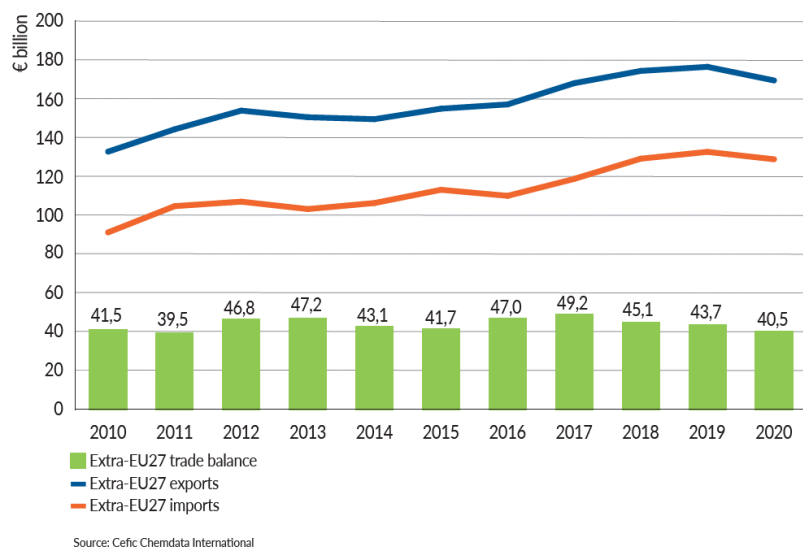


**Obr. 3:** Podíl vývozů chemické produkce z ČR v roce 2021

[Zdroj: [New edition of the chemical industry's Facts and Figures and regional overview is online - cefic.org](https://www.cefic.org)]

Obchodní bilance EU byla dlouhodobě přebytková.

## Extra-EU27 chemicals trade balance



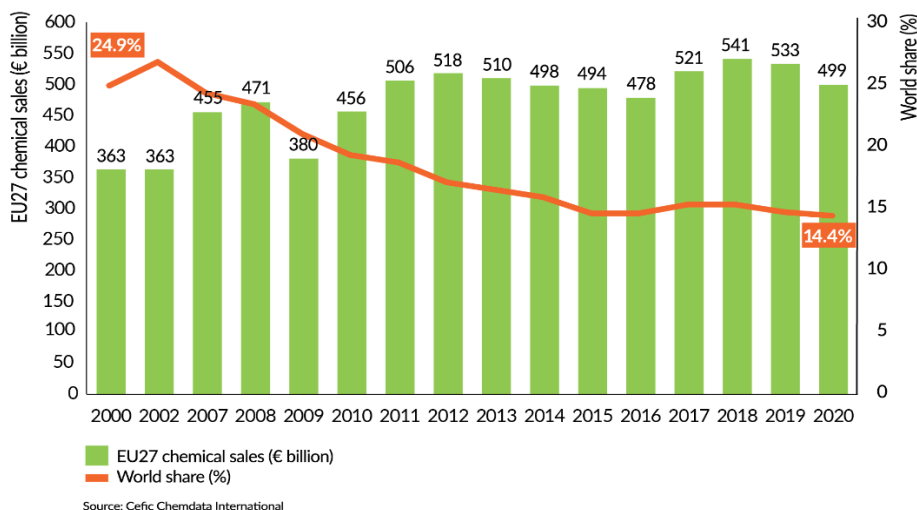
**Obr. 4:** Obchodní bilance EU

[Zdroj: [New edition of the chemical industry's Facts and Figures and regional overview is online - cefic.org](https://www.cefic.org)]

V roce 2022 však poprvé v historii došlo k převisu dovozů nad vývozy. Kapacity českého chemického průmyslu byly privatizovány (státem zůstaly vlastněny pouze logistické společnosti zajišťující dopravu ropy do ČR a logistiku pohonných hmot, příp. primárního benzínu a některých rafinérských polotovarů v rámci ČR), do významné části tohoto odvětví vstoupil zahraniční kapitál.

Nace 20, 21, 22: chemický průmysl, farmaceutický průmysl a průmysl zpracování plastů (a kaučuků), takto širěji definovaný „chemický průmysl“ se podílí na zaměstnanosti, výsledku hospodaření a dalších významných ekonomických charakteristikách v celé české ekonomice přibližně mezi 2 až 4 %, přičemž podíl ve zpracovatelském průmyslu činí 12-15 % (což ho řadí na 2.-3. nejvýznamnější průmyslové odvětví). Přidaná hodnota na zaměstnance a průměrná měsíční mzda zaměstnance je u chemických podniků vyšší než průměr zpracovatelského průmyslu. Vahou chemického průmyslu ČR na celkové průmyslové výrobě (12-15 %) odpovídá významu odvětví v rozvinutých průmyslových zemích, jako je Německo a Francie, v produkci na obyvatele je na špičce.

## EU27 share of global chemicals market



**Obr. 5:** Celková chemická produkce ve světě a podíl EU

[Zdroj: [New edition of the chemical industry's Facts and Figures and regional overview is online - cefic.org](https://www.cefic.org)

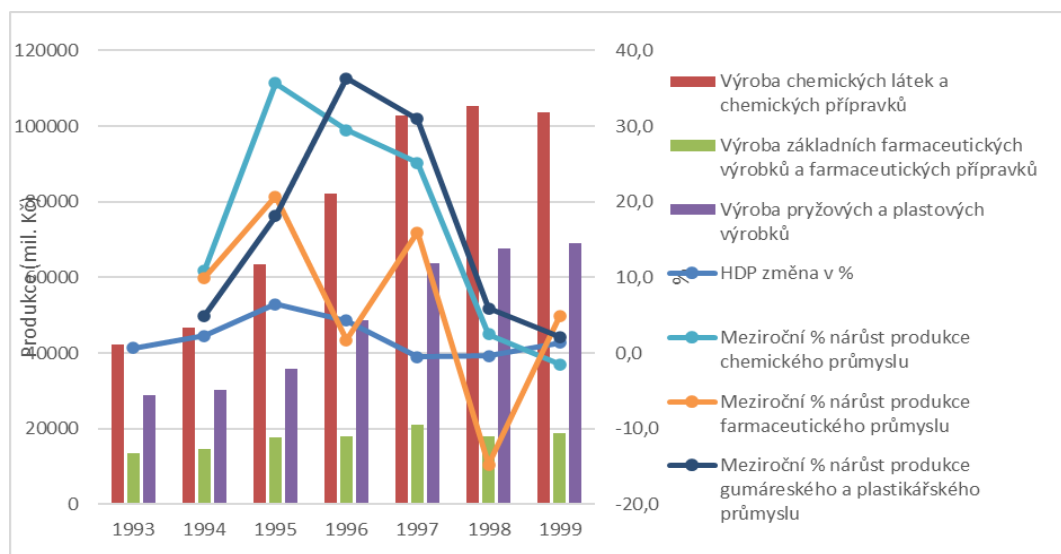
Chemický průmysl zůstává energeticky náročným odvětvím a regionální znevýhodnění oproti jiným světovým regionům ve značné míře ohrožuje konkurenceschopnost tohoto odvětví v Evropě, které eskalovalo od konce roku 2021 s ohledem na vývoj ceny energií (zejména zemní plyn a elektřina). Chemický průmysl podporuje zlepšení životního standardu, zaměstnanosti a ekonomiky, reprezentuje kolem 7 % průmyslové produkce EU a poskytuje přímo cca 1,2 mil. vysoce kvalifikovaných pracovních pozic. Dvě třetiny ze své produkce vydá na zásobování ostatních sektorů zpracovatelského průmyslu a zajištění fungování zpracovatelských řetězců. Další důležitá propojení existují se sektorem zemědělství a službami.

Chemický průmysl EU, potažmo ČR, se potýká s výzvami, jako je především legislativní rámec daný EGD (European Green Deal), který nepochybně vyvolává zvýšenou mezinárodní konkurenci (danou např. aplikací systému EU ETS s očekáváním částečné kompenzace systémem CBAM). Samostatným problémem v posledním období je zvyšování cen energií a vstupních surovin, očekávaná nedostupnost zemního plynu a ropy z Ruska a postupná dekarbonizace (která zcela jistě vyvolá nárůst potřeby obnovitelné elektrické energie), které se stávají klíčovými aspekty pro další vývoj chemického průmyslu. Souvisí s tím samozřejmě i odezva účinnějším využíváním zdrojů, realizace inovací mj. s akcentem na vodíkové zdroje. Navíc je chemický sektor velmi regulovaný z důvodu ochrany zdraví svých zaměstnanců, zdraví konzumentů a ochrany životního prostředí.

### 3.2.2. Produkce a HDP

Produkce chemického průmyslu ČR v běžných cenách ve sledovaných segmentech v 90. letech rostla různými tempy podle jednotlivých odvětví, zatímco nejprudší růst v počátečním období zaznamenalo odvětví gumárenského a plastikářského průmyslu, odvětví farmaceutického průmyslu rostlo více či méně standardním konstantním tempem. Sledujeme také relativně prudký hospodářský růst, především mezi lety 1993-1996, aby na konci tohoto období došlo k nasycení a postupné stabilizaci temp růstu. Obě tyto skutečnosti lze doložit jednak investiční činností a

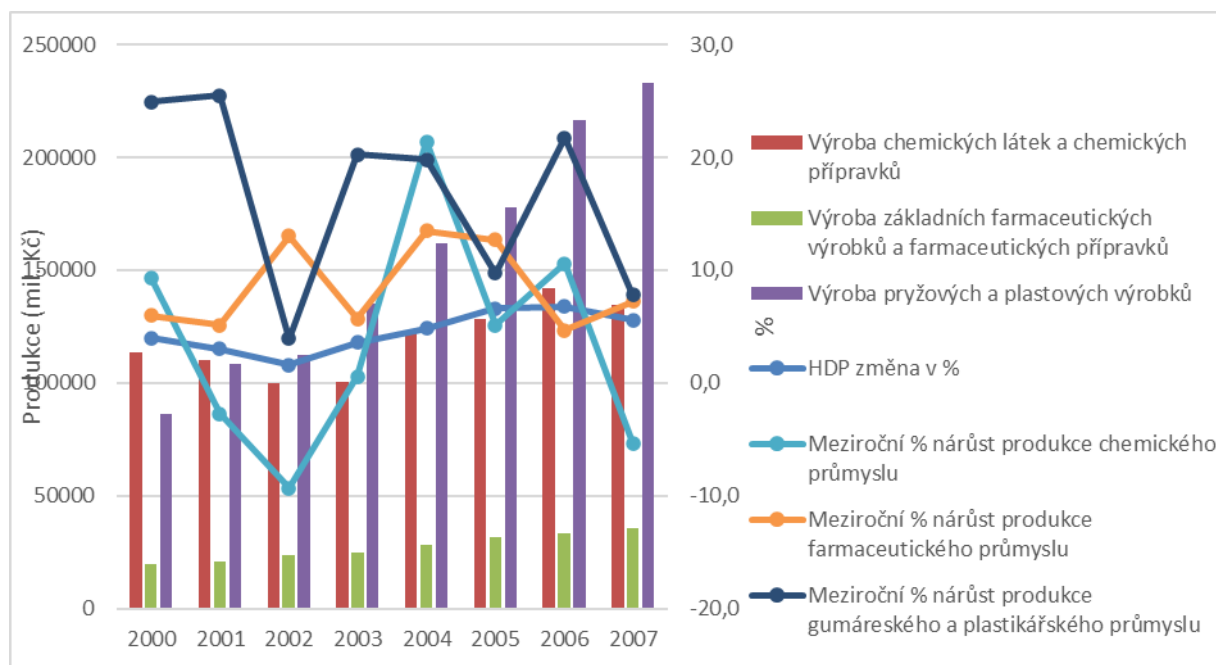
restrukturalizačními opatřeními v odvětví a jednak hospodářským cyklem probíhajícím v odvětví chemického průmyslu. Obrázky bez zdrojů v této kapitole pochází od Svazu chemického průmyslu ČR.



**Obr. 6:** Vývoj výkonů v období 1993-1999

[Zdroj:

Období 2000-2007 je charakterizováno trvalým hospodářským růstem HDP, odvětví výroby plastových a pryžových výrobků nadále roste velmi rychlým tempem, na počátku tisíciletí meziročně dokonce o 25 %, zatímco výroba chemických látek, přípravků, léčiv a chemických vláken roste výrazně pomaleji, v roce 2002 chemický průmysl zaznamenal dokonce i přes hospodářský růst pokles výkonů o 7 %.

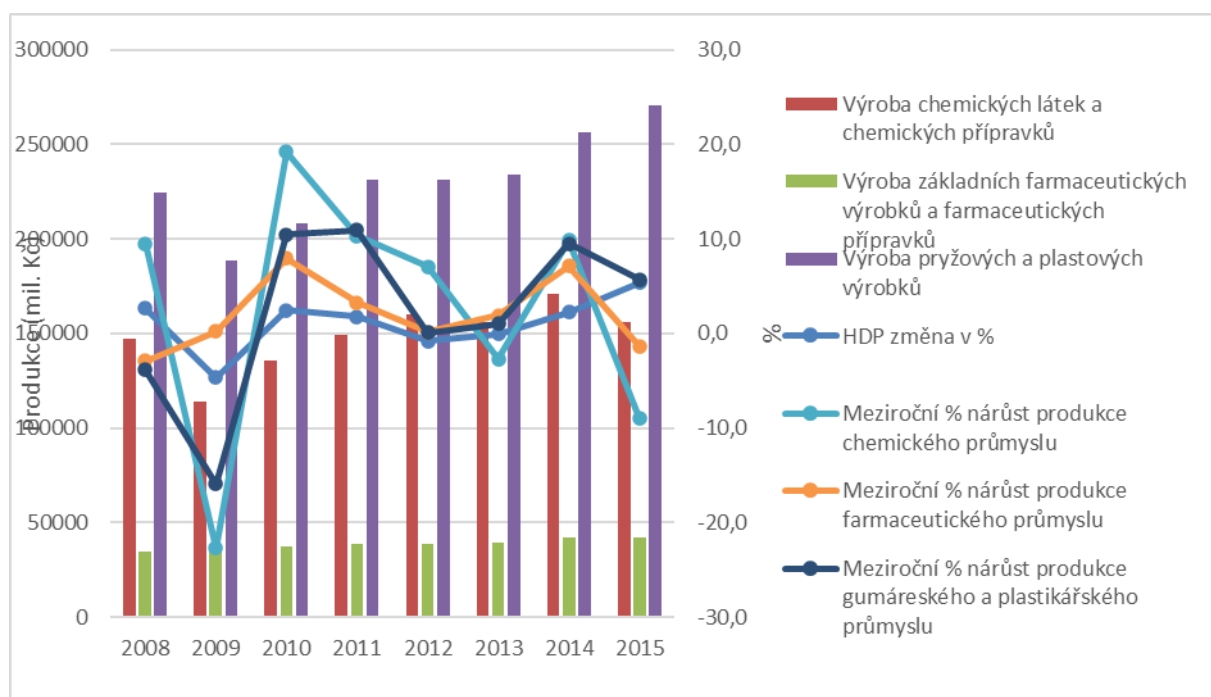


**Obr. 7:** Vývoj výkonů v období 2000-2007

Období recese a hospodářské krize roku 2009 zasáhlo sledovaná odvětví poměrně silně, výkony meziročně klesaly daleko prudčeji než HDP, ale v roce 2010 se trend obrátil a opět

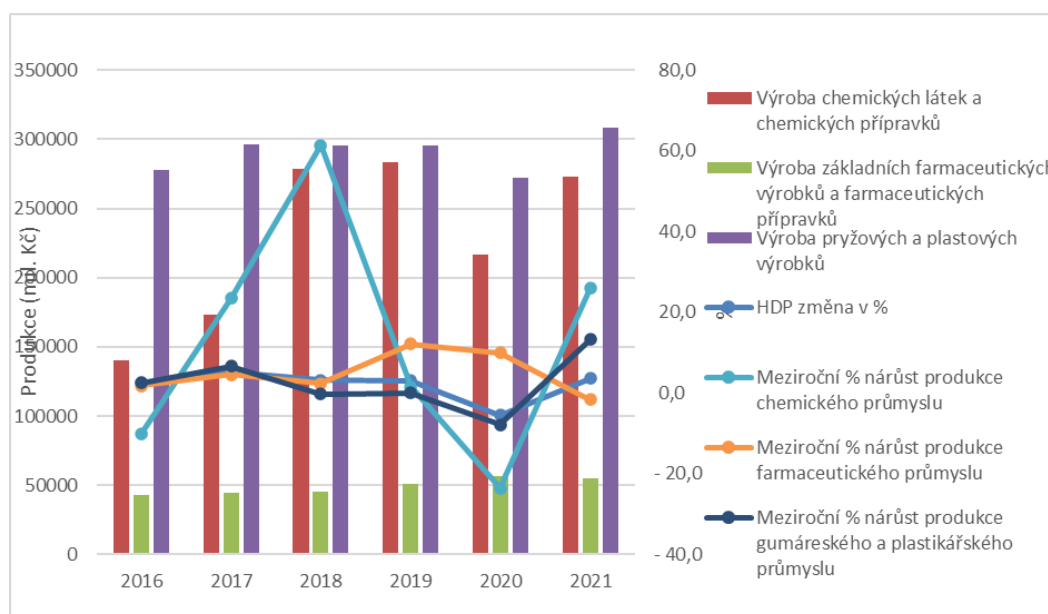


sledujeme růst, u výroby chemických látek a přípravků mírný, s drobným poklesem v roce 2013, u výroby plastových a pryžových výrobků výraznější.



**Obr. 8:** Vývoj výkonů v období 2008-2015

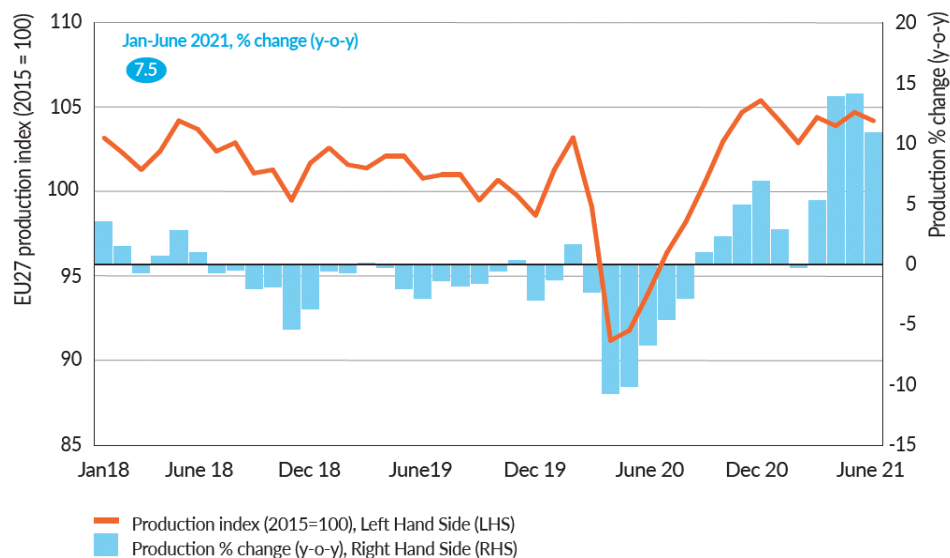
Obdobný vývoj, tj. evidentní dopad krizového období jako byl v roce 2009, jsme zaznamenali v roce 2020, kdy pokles poptávky a ochlazení celé ekonomiky způsobila pandemie viru COVID-19. V roce 2021 pak znovu dochází k výraznému oživení.



**Obr. 9:** Vývoj výkonů v období 2016-2021

Vývoj chemického průmyslu EU v posledním pětiletí zaznamenával konstantní vývoj s pochopitelným propadem produkce v kovidovém období.

## EU27 chemical industry production



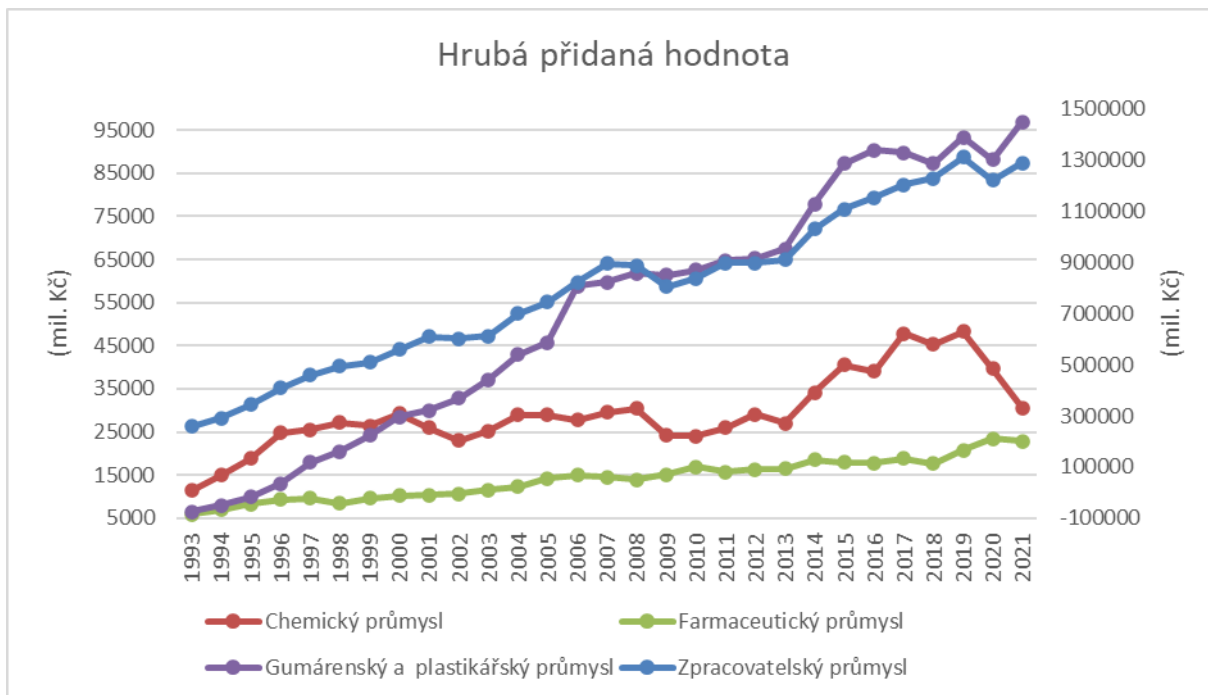
Source: Cefic Chemdata International

**Obr. 10:** Vývoj chemické produkce EU od roku 2018

[Zdroj: [New edition of the chemical industry's Facts and Figures and regional overview is online - cefic.org](https://www.cefic.org)

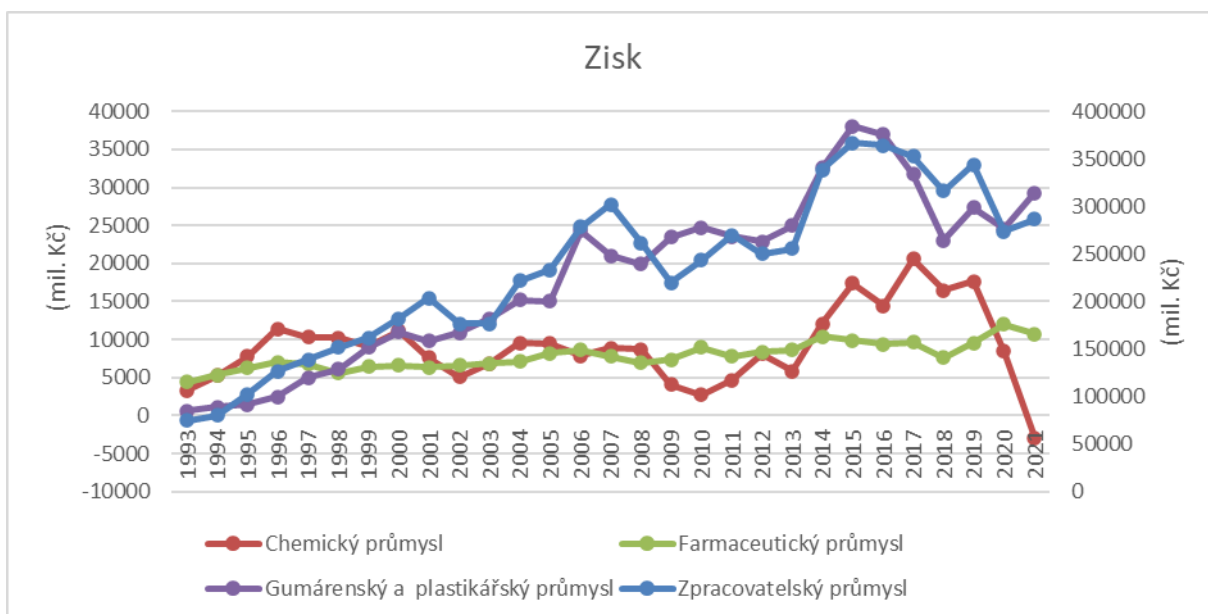
### 3.2.3. Finanční ukazatele

Od roku 1993 vidíme výrazné trvalé zvyšování přidané hodnoty u gumárenského a plastikářského průmyslu, zatímco v odvětví chemického a farmaceutického průmyslu rostla jen velmi pozvolna, přičemž k výraznějšímu nárůstu došlo v období 1993-1996 a v období 2013-2017. Kovidová krize a nárůst cen energií ve druhé polovině roku 2021 způsobily pokles efektivity zejména chemického odvětví.



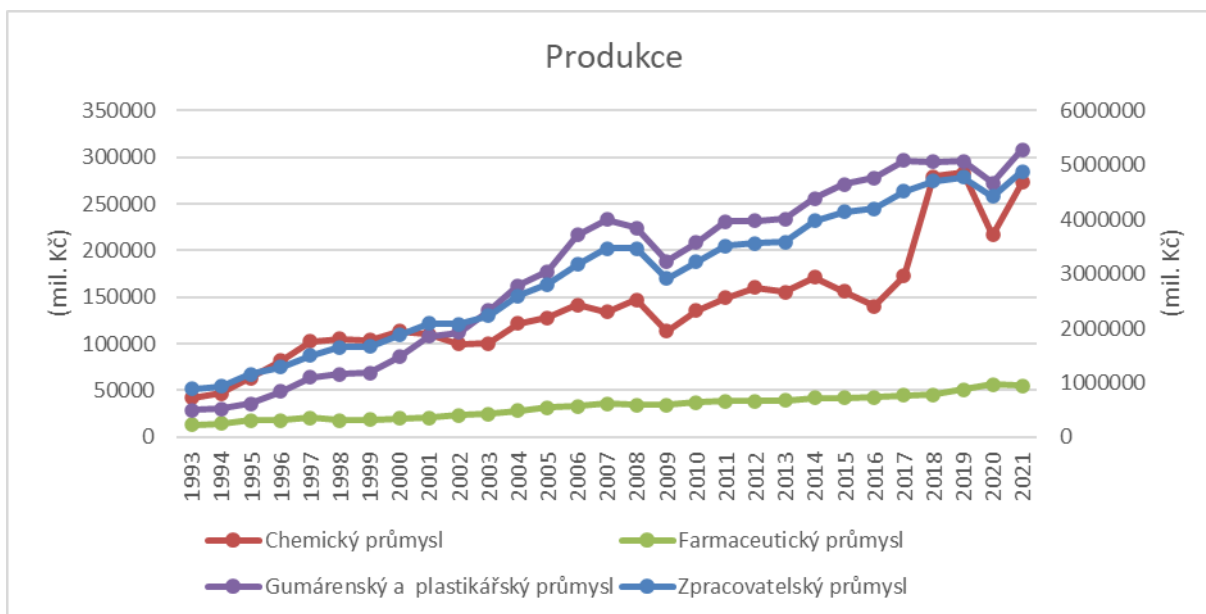
**Obr. 11:** Vývoj hrubé přidané hodnoty v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa)

Podobný vývoj má i ukazatel zisku, kdy se chemický průmysl v roce 2021 dostal dokonce do záporných čísel.



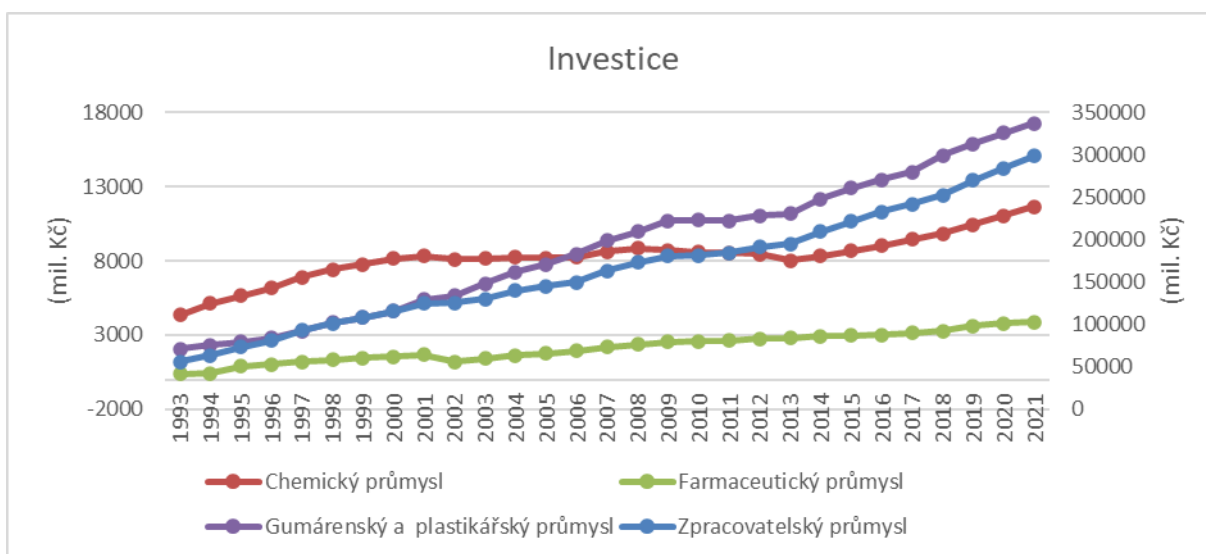
**Obr. 12:** Vývoj zisku v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa)

Vývoj produkce má trend trvalého růstu zejména v první polovině sledovaného období, kdy dochází k expanzi odvětví (zejména gumárenského a plastikařského průmyslu). Jsou zaznamenány 3 propady chemického odvětví: 2009 (celosvětová finanční krize), 2016 a 2020 (kovidová krize).



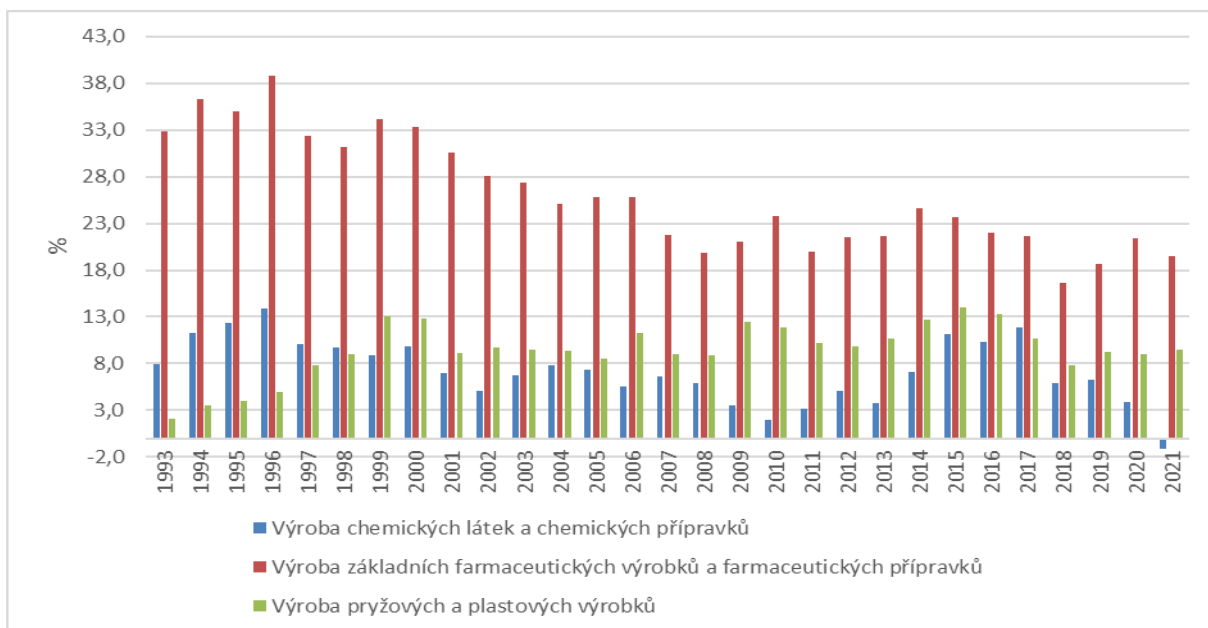
**Obr. 13:** Vývoj produkce v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa)

Co se týče vývoje investičních aktivit, ta má trvale vzrůstající trend pro všechna sledovaná odvětví úměrná tvorbě přidané hodnoty, zisku a produkce.



**Obr. 14:** Vývoj investic v období 1993-2021 (pro zpracovatelský průmysl platí pravá osa)

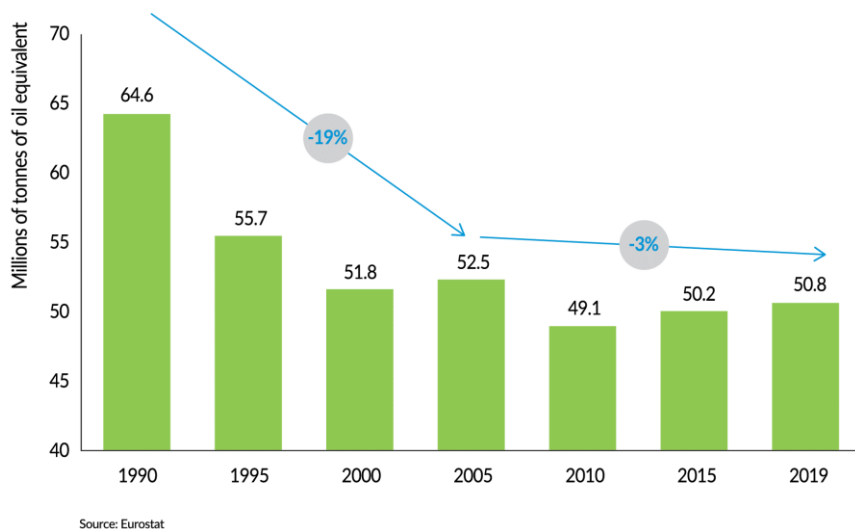
Zajímavým vývojem prošla rentabilita tržeb, kdy z provedené analýzy je patrný významný pokles rentability nezbytný pro zajištění návratnosti vložených prostředků v 90ých letech (vysoké úrokové sazby). Z analýzy je zřejmá přirozeně vysoká rentabilita tržeb pro odvětví farmacie (přes 18 %) a významně kolísající pro odvětví chemického průmyslu (mezi -1 % - 13 %).



**Obr. 15:** Vývoj rentability tržeb v období 1993–2021

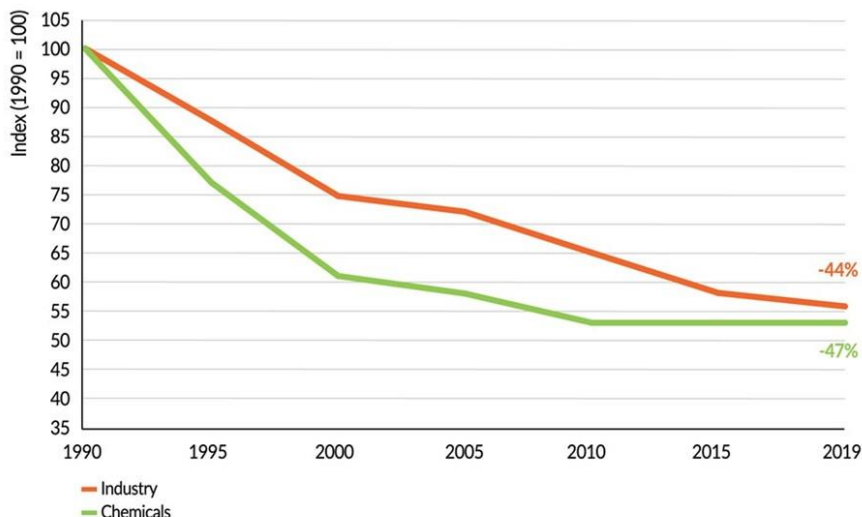
Významným aspektem efektivnosti chemického průmyslu, jako energeticky náročného odvětví, je spotřeba energií. Tento aspekt je ještě umocněn současným legislativním tlakem EU. Celé odvětví na tento vývoj reaguje a je realizována řada investic, z části podporovaných dotačními programy EU a ČR.

### Energy consumption in the EU27 chemical industry



**Obr. 16:** Vývoj spotřeby energií chemického odvětví EU

### Specific energy consumption\* chemicals vs total industry

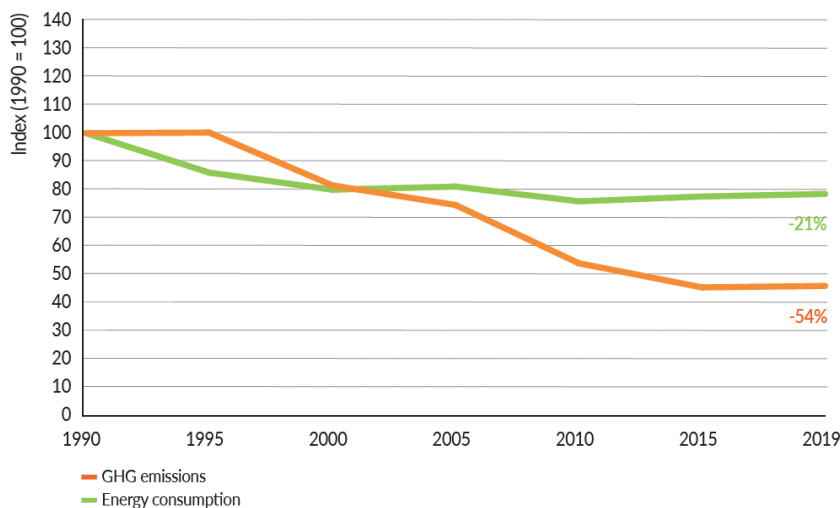


Source: Eurostat  
 \*Specific energy consumption index is calculated as (energy consumption index/production index), (1990=100)

**Obr. 17:** Srovnání energetické spotřeby chemického průmyslu EU v porovnání s celým zpracovatelským průmyslem EU

S celkovou energetickou spotřebou je spojena i emise skleníkových plynů (CO<sub>2</sub> ekv.), která je rovněž důsledně zarámována legislativou EU (Fit for 55, Green Deal).

### GHG emissions and energy consumption by the EU27 chemicals industry



**Obr. 18:** Emise skleníkových plynů a spotřeba energií chemického odvětví EU

### 3.2.4. Závěry a doporučení

V uplynulém období, stejně jako celé hospodářství, prošel chemický průmysl 2 významnými krizemi: v roce 2009 (krize vyvolaná finanční krizí v USA) a v roce 2020 (krize vyvolaná pandemií koronaviru). Ani v nadcházejícím období se nerýsuje povzbudivý vývoj:

- Výkonnost odvětví chemického průmyslu bude závislá nejen na vývoji cen energií, ale také na dostupnosti stěžejních surovin. Vysoké ceny energií významně ovlivňují rentabilitu odvětví a „chut“ k dalším investicím, významnou bude pravděpodobně i skutečnost poklesu poptávky z důvodů vysokých cen.
- Strategie REPowerEU, která stanovuje plán odklonu zemí EU od ruských fosilních paliv do roku 2027, má urychleně zvyšovat energetickou účinnost i energetické úspory. Zemní plyn bude nicméně velmi obtížné v blízkém až střednědobém horizontu nahradit jakožto vstupní surovinu pro energetické nebo surovinové využití nejen v chemickém průmyslu, ale také v řadě dalších průmyslových odvětví.
- V prostředí aktuální nejistoty je vhodné také vytvoření konkrétních krizových scénářů, z kterých bude pro energeticky náročná odvětví zřejmé, co přesně nastane v okamžiku částečného či úplného odpojení od dodávek ruského plynu nebo jaká vládní opatření lze očekávat při dalším prudkém nárůstu cen elektřiny a zemního plynu.
- Zavedení windfall tax a odvodů z mimořádných výnosů z prodeje elektřiny významně ovlivní další rozvoj odvětví.

### 3.2.5. Zdroje

Cefic 2022: Facts And Figures Of The European Chemical Industry

<https://slidetodoc.com/the-european-chemical-industry-facts-and-figures-2022>

Cefic 2022: Chemdata international

<https://cefic.org/cefic-chemicals-trends-report>

Cefic 2022: Chemicals Trends Report

<https://cefic.org/cefic-chemicals-trends-report>

### 3.3. Analýza chemického průmyslu v Karlovarském kraji

Z obecného pohledu je chemický průmysl jedna z nejvýznamnějších oblastí hospodářství, a to zejména z důvodu produkce vstupů pro ostatní odvětví průmyslu i zemědělství. Zahrnuje jak tzv. základní chemii, tak zpracování ropy neboli petrochemii, farmaceutiku, gumárenský i plastikářský průmysl. Chemie se přímo objevuje v odvětvích Výroba chemických látek a chemických přípravků (CZ-NACE 20), Výroba základních farmaceutických výrobků a farmaceutických přípravků (CZ-NACE 21), Výroba pryžových a plastových výrobků (CZ-NACE 22) a Výroba koksu a

rafinovaných ropných produktů (CZ-NACE 19). Z regionálního hlediska jsme do definice chemického průmyslu zařadili další odvětví, kde má chemie důležitý dopad. Jedná se o Výrobu papíru a výrobků z papíru (CZ-NACE 17) a Výrobu ostatních nekovových minerálních výrobků (CZ-NACE 23). Výroba skla, keramiky a porcelánu, jež náleží pod CZ-NACE 23, jsou tradičními odvětvími v Karlovarském kraji.

#### NACE kódy

- 17: Výroba papíru a výrobků z papíru
- 19: Výroba koksu a rafinovaných ropných produktů
- 20: Výroba chemických látek a chemických přípravků
- 21: Výroba základních farmaceutických výrobků a farmaceutických přípravků
- 22: Výroba pryžových a plastových výrobků
- 23: Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků

### 3.3.1. Podnikatelské prostředí

V Karlovarském kraji v rámci podnikatelského prostředí existuje 489 registrovaných subjektů s vybranými NACE kódy včetně jejich detailnějších podskupin. Podnikatelské subjekty jsou dle databáze bez negativního záznamu (insolvence, exekuce, likvidace apod.).

#### NACE kódy

- 23: Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků – **295 podniků**
- 22: Výroba pryžových a plastových výrobků – **118 podniků**
- 20: Výroba chemických látek a chemických přípravků je zastoupena – **44 podniků**
- 17: Výroba papíru a výrobků z papíru – **32 podniků**
- 19: Výroba koksu a rafinovaných ropných produktů – **0 podniků**
- 21: Výroba základních farmaceutických výrobků a farm. přípravků – **0 podniků**

#### Top 20 firem dle obratu

1. WITTE ACCESS TECHNOLOGY s.r.o
2. Synthomer a.s
3. Hexpol Compounding Lesina, s.r.o.
4. Petainer Czech Holdings s.r.o.
5. JSP International, s.r.o.
6. Lias Vintířov, lehký stavební materiál k.s.
7. Thun 1794 a.s.
8. Heinz-Glas Decor s.r.o.
9. KH Czechia s.r.o.
10. G.Benedikt Karlovy Vary s.r.o.
11. Nexans Power Accessories Czech Republic, spol. s r.o.
12. Böhm – extruplast s.r.o.
13. EUTIT s.r.o.
14. Playmobil CZ spol. s r.o.

#### Top 15 firem dle počtu zaměstnanců

1. WITTE ACCESS TECHNOLOGY s.r.o.
2. Thun 1794 a.s.
3. Synthomer a.s.
4. MOSER, a.s.
5. Heinz-Glas Decor s.r.o.
6. G. Benedikt Karlovy Vary s.r.o.
7. Playmobil CZ spol. s.r.o.
8. Nexans Power Accessoriens Czech Republic, spol. s.r.o.
9. KH Czechia s.r.o.
10. Speciální obaly Cheb, s.r.o.
11. Hexpol Compounding Lesina, s.r.o.
12. Petainer Czech Holdings s.r.o.
13. JSP International, s.r.o.
14. Lias Vintířov, lehký stavební materiál k.s.
15. EUTIT s.r.o.

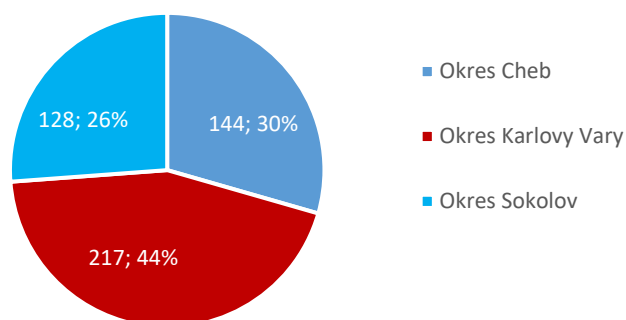


15. W. Markgraf stav s.r.o.
16. MOSER, a.s.
17. PAPOS Trade s.r.o.
18. Rauschert, k.s.
19. BEPOF, spol. s r.o.
20. Speciální obaly Cheb, s.r.o.

[Zdroj: Albertina Silver Edition – D&B, 2023

V seznamu TOP 20 firem dle obrátu a počtu zaměstnanců není uvedena společnost Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s., jelikož převažující NACE kód je Těžba hnědého uhlí, kromě lignitu, jenž nespadá do daných NACE kódu. Jedná se o firmu s největším obrátem a počtem zaměstnanců.

Počet firem ve vybraných CZ NACE v okresech



**Obr. 19:** Počet firem ve vybraných CZ-NACE (17, 19, 20, 21, 22, 23) v okresech

[Zdroj: Albertina Silver Edition – D&B, 20

**Tab. 1:** Počet firem ve vybraných CZ-NACE v pověřených obcích

Pověřená obec	Počet firem
Aš	40
Horní Slavkov	7
Cheb	67
Chodov	37
Karlovy Vary	150
Kraslice	15
Kynšperk nad Ohří	10
Loket	10
Mariánské Lázně	37
Nejdek	13
Ostrov	39
Sokolov	49
Toužim	7

[Zdroj: Albertina Silver Edition – D&B, 2023

Z dostupných dat je nejvyšší průměrný počet podniků se 100 a více zaměstnanci v odvětví 23 – Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků a zároveň je zde nejvyšší průměrný počet zaměstnanců. U odvětví 22 – Výroba pryžových a plastových výrobků je dosaženo nejvyšších tržeb z prodeje. Cílem podpory chemického průmyslu je stabilizace počtu zaměstnanců ve vybraných odvětvích, popřípadě změna struktury zaměstnanců a rostoucí trend tržeb.

**Tab. 2:** Průměrný počet podniků podle CZ-NACE se 100 a více zaměstnanci

Odvětví	2018	2019	2020	2021
C: Zpracovatelský průmysl	61	61	59	56
17: Výroba papíru a výrobků z papíru	1	-	-	-
19: Výroba koksu a rafinovaných ropných produktů	-	-	-	-
20: Výroba chemických látek a chemických přípravků	2	2	2	2
21: Výroba základních farm. výrobků a farm. přípravků	-	-	-	-
22: Výroba pryžových a plastových výrobků	7	7	7	7
23: Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků	10	10	10	10

[Zdroj: Český statistický úřad, 2023

**Tab. 3:** Průměrný evidenční počet zaměstnanců podle CZ-NACE se 100 a více zaměstnanci

Odvětví	2018	2019	2020	2021
C: Zpracovatelský průmysl	15 096	14 917	14 004	14 096
17: Výroba papíru a výrobků z papíru	-	-	-	-
19: Výroba koksu a rafinovaných ropných produktů	-	-	-	-
20: Výroba chemických látek a chemických přípravků	-	-	-	-
21: Výroba základních farm. výrobků a farm. přípravků	-	-	-	-
22: Výroba pryžových a plastových výrobků	1 444	1 513	1 449	1 463
23: Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků	2 367	2 382	2 242	2 243

[Zdroj: Český statistický úřad, 2023

**Tab. 4:** Tržby z prodeje výrobků a služeb průmyslové povahy podle CZ-NACE se 100 a více zaměstnanci (v mil. Kč)

Odvětví	2018	2019	2020	2021
C: Zpracovatelský průmysl	34 370	35 188	31 472	37 253
17: Výroba papíru a výrobků z papíru	-	-	-	-
19: Výroba koksu a rafinovaných ropných produktů	-	-	-	-
20: Výroba chemických látek a chemických přípravků	-	-	-	-
21: Výroba základních farm. výrobků a farm. přípravků	-	-	-	-

22: Výroba pryžových a plastových výrobků	6 082	6 962	6 133	7 341
23: Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků	2 788	2 532	2 335	2 873

[Zdroj: Český statistický úřad, 2023]

### 3.3.2. Přímé zahraniční investice

#### Projekty CzechInvestu 1993–2021

Jedná se pouze o investiční projekty, které byly realizovány a zprostředkovány za pomoci agentury CzechInvest v období od roku 1993 do roku 2021. Celkový počet projektů ve vybraných oblastech spadajících pod zvolené NACE kódy je 14. Celkem bylo vytvořeno 859 pracovních míst a realizovány investice v hodnotě přibližně 7 224 mil. Kč. Nejvíce pracovních míst v rámci investiční projektů agentury CzechInvest vzniklo za dané období v plastikářském sektoru (433) a byly zde i realizovány nejvyšší investice (téměř 2 736 mil. Kč).

**Tab. 5:** Projekty zprostředkované agenturou CzechInvest

Sektor	Projekty	Pracovní místa	Investice (mil. CZK)
Chemický a petrochemický	4	57	2 594,50
Nekovové minerální výrobky (sklo, stavební materiály)	4	209	1 276,25
Papírenský a dřevozpracující	1	30	252,21
Plastikářský	4	433	2 735,87
Potravinářský	1	130	365,00
<b>Celkový součet</b>	<b>14</b>	<b>859</b>	<b>7 223,83</b>

[Zdroj: CzechInvest, 2023]

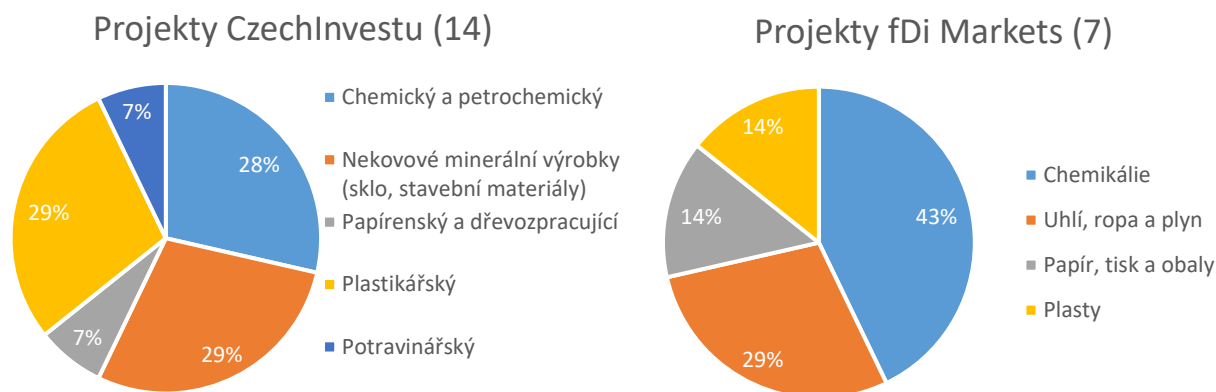
#### Projekty fDi Markets 2002–2022

Velké investiční projekty po celém světě v každém oboru/sektoru mapují statistiky projektu fDi Markets. Zdroj eviduje většinu zásadních projektů. V Karlovarském regionu bylo zaznamenáno 7 projektů ve vybraných NACE. Celkový objem investic realizovaných v rámci těchto projektů je přibližně 155 milionů EUR. Bylo vytvořeno 797 pracovních míst. Všechny projekty byly uskutečněny 7 různými společnostmi. Poslední projekt byl realizován v roce 2018.

**Tab. 6:** Velké projekty v rámci fDi Markets

Sektor	Projekty	Investice (mil. EUR)	Pracovní místa	Společnosti
Chemikálie	3	58,78	256	3
Uhlí, ropa a plyn	2	52,05	406	2
Papír, tisk a obaly	1	40,62	104	1
Plasty	1	3,96	31	1
<b>Celkový součet</b>	<b>7</b>	<b>155,42</b>	<b>797</b>	<b>7</b>

[Zdroj: fDi Markets – Financial Times, 2023]

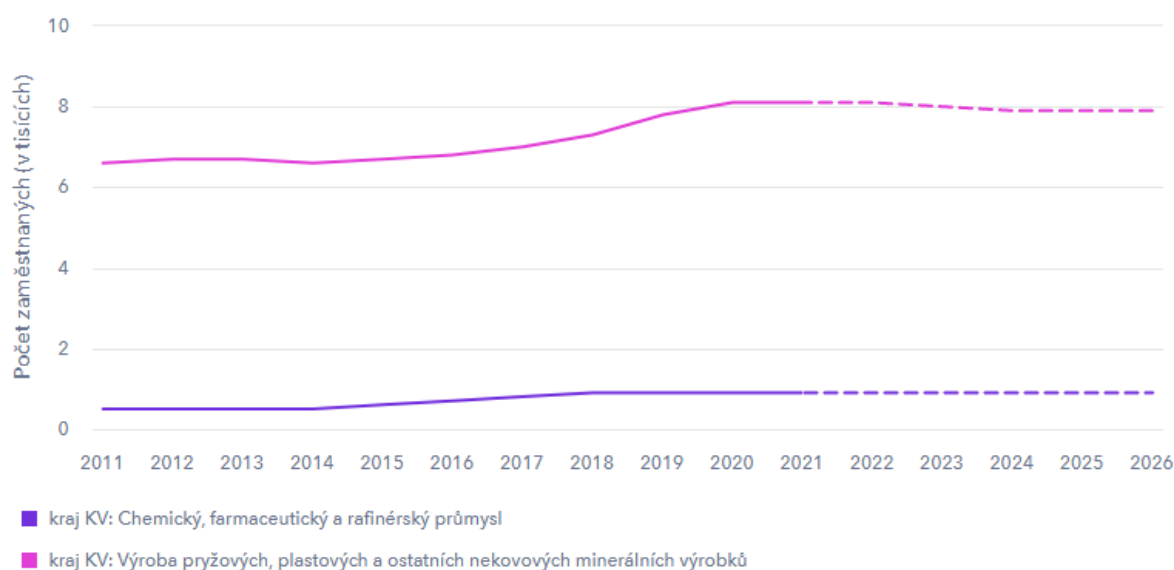


**Obr. 20:** Rozdělení projektů v chemickém průmyslu dle jednotlivých podoblastí v %

### 3.3.3. Zaměstnanost

V roce 2021 bylo v Karlovarském kraji ve zpracovatelském průmyslu (CZ-NACE C) zaměstnáno 37,6 tisíc osob, což je o 6 tis. osob více ve srovnání s rokem 2020. V chemickém, farmaceutickém a rafinérském průmyslu (CZ-NACE 19, 20, 21) a výrobě pryžových a plastových výrobků a ostatních nekovových minerálních výrobků (CZ-NACE 22, 23) pracovalo celkově zhruba 9 000 osob. Ve srovnání s rokem 2020 v těchto odvětvích nebyla zaznamenána žádná větší změna. Více než pětina zaměstnanců zaměstnaných ve zpracovatelském průmyslu tedy pracuje v kraji v uvedených oborech. Většina těchto zaměstnanců pracuje ve výrobě pryžových, plastových a ostatních nekovových minerálních výrobků (8 100). Dle projektu MPSV Predikce trhu práce – Kompas se zaměstnanost v kraji ve výrobě pryžových, plastových a ostatních nekovových minerálních výrobků od roku 2020 drží a dále bude držet na úrovni 8 000 zaměstnanců. Naproti tomu v chemickém, farmaceutickém a rafinérském průmyslu zaměstnanost od roku 2014 mírně stoupala a v příštích letech se ustálí na čísle 900 osob, viz graf níže.

Počet zaměstnaných

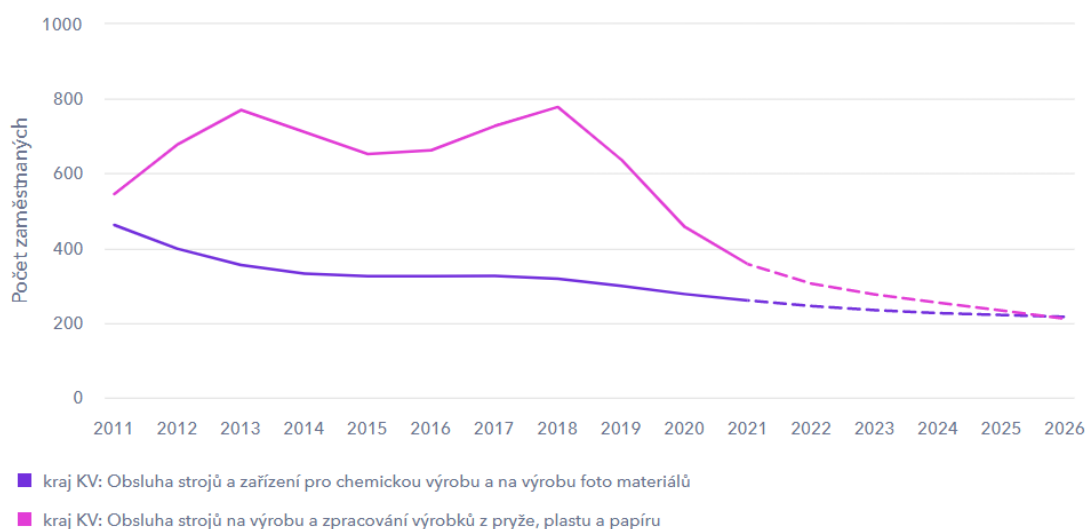


**Obr. 21:** Karlovarský kraj – predikce zaměstnanosti v oddílech NACE 19, 20, 21, 22 a 23

[Zdroj: *Predikce trhu práce, Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2023*

U konkrétních pozic jsou relevantní údaje pro Karlovarský kraj zaznamenány u pozic Obsluha strojů a zařízení pro chemickou výrobu a na výrobu fotomateriálů (CZ-ISCO 813) a Obsluha strojů na výrobu a zpracování výrobků z pryže, plastu a papíru (CZ-ISCO 814). Na těchto pozicích pracovalo v roce 2021 kolem 700 zaměstnanců. Výhled do příštích let počítá s úbytkem zaměstnanců u Obsluhy výrobků z pryže, plastu a papíru a také s mírným úbytkem u Obsluhy strojů a zařízení pro chemickou výrobu a na výrobu fotomateriálů, viz graf níže.

Počet zaměstnaných v profesi



**Obr. 22:** Karlovarský kraj – predikce zaměstnanosti u pozic CZ-ISCO 813 a 814

[Zdroj: *Predikce trhu práce, Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2023*

Lidé v povolání Obsluha strojů a zařízení pro chemickou výrobu a na výrobu foto materiálů nejčastěji pracovali v roce 2021 v následujících odvětvích: Těžební průmysl, kde jich pracovalo 70 %, Chemický, farmaceutický a rafinérský průmysl, kde jich pracovalo 29 %.

Lidé v povolání obsluha strojů na výrobu a zpracování výrobků z pryže, plastu a papíru nejčastěji pracovali v roce 2021 v následujících odvětvích: Výroba pryžových, plastových a ostatních nekovových minerálních výrobků, kde jich pracovalo 26 %, Chemický, farmaceutický a rafinérský průmysl 22 %, Výroba kovů a kovodělných výrobků 33 %.

Při srovnání zaměstnanosti v odvětvích a na vybraných pozicích a s přihlédnutím k časovému hledisku nezaznamenáváme korelaci mezi vývojem v celém odvětví a na konkrétních pozicích. Může to souviset s postupnou automatizací výroby a poklesem počtu u vybraných pozic se současným zachováním a růstem u specializovanějších pozic. Je nutné podotknout, že detailnější informace k ostatním relevantním pozicím (technici, specialisté v oblasti chemie a další) nejsou známy z důvodu nedostatečného počtu pozorování.

### 3.3.4. Mzdová úroveň

Regionální statistika ceny práce sledovaná Ministerstvem práce a sociálních věcí evidovala v Karlovarském kraji v roce 2021 u pozice Obsluha strojů a zařízení pro chemickou výrobu

průměrnou mzdu ve výši 44 961 Kč, což je nadprůměrná mzda ve srovnání s krajskou průměrnou hrubou měsíční mzdou ve výši 33 180 Kč v roce 2021. Zároveň ve srovnání s rokem 2020 vzrostla průměrná mzda u uvedené pozice v kraji o 12 %. U ostatních pozic bohužel nemá Regionální statistika ceny práce MPSV relevantní údaje.

### **3.3.5. Závěry a doporučení**

Pro tuto podkapitolu nebyla žádná doporučení definována.

### **3.3.6. Zdroje**

Albertina Silver Edition – D&B, 2023

Albertina Silver Edition – D&B, 2022

CzechInvest, 2022

CzechInvest/Analyticko-informační odbor, 2022

Český statistický úřad, 2022

fDi Markets – Financial Times, 2022

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, 2022

Predikce trhu práce, Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2022

## **3.4. Problematika technického a chemického vzdělávání v kraji**

Cílem této kapitoly je definovat současný stav a pravděpodobnou budoucnost vzdělávání v přírodních a technických vědách v Karlovarském kraji a poskytnout možná doporučení. Rozsah kapitoly je podmíněn multifaktoriálním charakterem dané problematiky. Z tohoto důvodu je celý text zpracován v **Příloze 1** a v základním textu studie je uvedena pouze pasáž věnovaná všeobecně zdůrazňovanému požadavku zřízení vysokoškolské instituce v Karlovarském kraji.

### **3.4.1. Nástin organizace vysokého technického školství v Karlovarském kraji**

Z hlediska posílení, udržení a rozvoje obecné vzdělanosti v Karlovarském kraji se ukazuje jediným možným řešením existence samostatné vysoké školy. V první etapě lze doporučit vybudování neuniverzitní vysoké školy (bez existence fakult) kombinovaného polytechnického zaměření, na oblasti, které jsou z hlediska možnosti uplatnění absolventů a dalšího strategického rozvoje kraje perspektivní – chemické technologie, strojírenství, stavební průmysl, informatika, aplikovaná ekonomika, dále i potravinářství a disciplíny spojené s lázeňstvím. V úvahu připadá výuka profesně zaměřených bakalářských a magisterských navazujících studijních programů. Příkladem tohoto řešení mohou být dnes plně funkční a etablované dvě vysoké školy: Vysoká škola polytechnická Jihlava (VŠPJ) a Vysoká škola technická ekonomická v Českých Budějovicích (VŠTE).

Provoz a udržitelnost polytechniky vzdělávající zhruba 1 000 studentů v bakalářských (75 %) a navazujících magisterských (25 %) studijních programech by mohlo zajišťovat 50–60

akademických pracovníků (profesoři, docenti, odborní asistenti s Ph.D., asistenti) a dalších 120–150 zaměstnanců (THP). Roční provozní náklady lze uvažovat v intervalu 100–150 mil. Kč (vyšší náklady v případě zajištění provozu většího podílů chemických laboratoří a experimentální výuky). Investiční náklady na vybudování / generální rekonstrukci infrastruktury, vč. základního vybavení lze předpokládat v intervalu 800 – 1 500 mil. Kč, opět v závislosti na podílu experimentální výuky. Další investiční náklady by si vyžádalo vybudování studentských kolejí s kapacitou 25–30 % počtu studujících. Ubytování studentů bude nutné zajistit, neboť každodenní dopravní dostupnost ze všech míst Karlovarského kraje zcela určitě není a v dohledné době nebude ideální, navíc studentský život i mimo běžnou výuku je pro zajištění udržitelnosti vysokoškolského kampusu zcela nezbytný.

Pozitivem uvedeného řešení je zcela jednoznačně vyšší dostupnost vysokoškolského studia pro obyvatele Karlovarského kraje, vytvoření nových pracovních příležitostí pro vysoce kvalifikované profese, může být též důvodem i pro návrat vysokoškolských pedagogů původem z Karlovarského kraje zpět do svého rodiště. Dalším nesporným přínosem by byla i podpora středního školství v kraji, kdy by vysoká škola podporovala středoškolskou odbornou činnost a pomáhala zajišťovat experimentální výuku žáků středních i základních škol (např. chemické laboratoře).

Na druhou stranu toto řešení přináší velké a velice pravděpodobné riziko chybějících volných kapacit vysokoškolských pedagogů, tj. zajistit potřebný počet profesorů a docentů jako garantů studijních programů a studijních předmětů tak, aby mohly být akreditovány Národním akreditačním úřadem pro vysoké školství může představovat vážný problém, který může reálně ohrozit fungování nové vysoké školy v Karlovarském kraji.

Řešením, alespoň na přechodnou dobu, by mohla být spolupráce s některými ze současných vysokých škol, které portfoliem nabízených studijních předmětů i reálnou dopravní dostupností, by mohly pokrýt teoretickou část výuky a v Karlovarském kraji by se zajišťovala, ve spolupráci s průmyslovými podniky nebo veřejnými institucemi, praktická část výuky (praxe, experimentální a projektová výuka, kvalifikační práce). Nabízí se spolupráce s VŠCHT Praha (chemická technologie, potravinářství), Univerzitním centrem Litvínov (chemická technologie), ČVUT (strojírenství, stavebnictví, informatika), Západočeskou univerzitou v Plzni (strojírenství, ekonomika) nebo Univerzitou J.E. Purkyně v Ústí n. Labem. Tyto vysoké školy by mohly v počáteční etapě činnosti polytechnické vysoké školy v Karlovarském kraji převzít garanci nad výukou některých studijních programů nebo vyučovaných předmětů. Karlovarský kraj by

Důležité pro zajištění udržitelnosti VŠ studia v Karlovarském kraji bude i motivace pro studium na regionální vysoké škole, kterou může být finanční stipendijní podpora (ze strany podniků nebo krajského úřadu), kompenzace nákladů na dopravu studentů do spolupracujících vysokých škol.

Až s časovým odstupem 10–15 let lze případně uvažovat o transformaci neuniverzitní polytechniky do formy vysoké školy univerzitního typu (s fakultami), která bude moci nabídnout i doktorské studium. Podmínkou toho je zajištění kvalitní vědecko-výzkumné práce v rámci aktivit vysoké školy a navázání aktivní mezinárodní spolupráce. Další podmínkou je i spolupráce s průmyslem formou aplikovaného výzkumu, přičemž i v tomto aspektu má Karlovarský kraj poměrně dobré předpoklady (SUAS, Synthomer).

### **3.4.2. Závěry a doporučení**

Průmyslové podniky blízké chemické výrobě

- NACE 23: Výroba ostatních nekovových minerálních výrobků
- NACE 22: Výroba pryžových a plastových výrobků
- NACE 20: Výroba chemických látek a chemických přípravků je zastoupena
- NACE 17: Výroba papíru a výrobků z papíru

jakož i správní, vzdělávací a výzkumné instituce je nutné všemi formami podpůrných aktivit orientovat na následující základní principy:

### **Cirkulární ekonomiku**

Uvedený průmysl bude muset snížit používání neobnovitelných zdrojů během výroby a zajistit, aby materiály, které vyrábíme, mohly být recyklovány. Budeme muset urychlit recyklaci odpadu za účelem výroby nových chemických látek. Využívat modernizované technologie doplněné zachycováním a využíváním CO<sub>2</sub>/CO jako vstupní surovinu pro naše procesy a využití odpadní biomasy k rozvoji „zelené“ chemie.

### **Klimatickou neutralitu**

Chemický průmysl EU má ambici stát se do roku 2050 klimaticky neutrálním. Za posledních 60 let jsme již snížili emise skleníkových plynů o více než 30 %, ale abychom do roku 2050 dosáhli klimatické neutrality, potřebujeme průlomové inovace a zásadní změny ve výrobních procesech. Přechod na klimatickou neutralitu bude vyžadovat obrovské množství cenově dostupné elektřiny z nízkoemisních zdrojů nebo inovace stávajících technologií pro snížení emisní stopy. K uskutečnění přechodu budeme také potřebovat nezbytnou infrastrukturu.

### **Přechod na digitalizaci**

Zavádění digitálních technologií, jako je zpracování velkých datových souborů, umělá inteligence a robotika jakož i podpora inovací může všechny procesy učinit transparentnějšími a efektivnějšími směrem k celkové ekologické transformaci. Mnoho společností již používá pokročilé senzory k monitorování výrobních parametrů pro větší energetickou účinnost a lepší využívání zdrojů. Tyto příležitosti však přicházejí s mnoha výzvami: od navrhování společných principů sdílení dat v celém odvětví až po rekvalifikaci a zvyšování kvalifikace pracovní síly.

### **Přechod na bezpečné a udržitelné chemické látky**

Očekává se, že chemický průmysl EU bude nadále pokračovat v odstraňování škodlivých látek ze spotřebních výrobků, pokud nemají zásadní význam pro společnost. Tento cíl znamená, že průmysl bude muset výrazně posílit své výzkumné a inovační činnosti, aby vyvinul a uvedl na trh bezpečné a udržitelné chemické látky. K výzvám zde patří riziko, že trh nepřijme (z cenových a kvalitativních důvodů) nové výrobky. Rizikem je situace podniků (též malých a středních), které často nemají prostředky na to, aby byly průkopníky nových výrobků a postupů.

Klíčovým doporučením, které přímo souvisí s uvedenými body je podpora vzdělávání, zejména zřízení vysokoškolské instituce zaměřené na polytechnické obory, jak je to popsáno v kapitole 3.4.1



## 4. Popis hlavních trendů, které budou do budoucna kraj významně determinovat

V dalším textu jsou krátce charakterizovány globální trendy v chemii a chemicko-energetickém sektoru, které se těsně promítají do situace u nás. Před jednotlivými kapitolami je jako sumární informace podán výtah ze základního rozvojového dokumentu pro ČR a Karlovarský kraj, což jsou Národní a krajské rozvojové inovační strategie.

Dokument Národní RIS3 strategie pro období 2021–2027 byl schválen vládou ČR dne 25.1.2021. Dynamický vývoj inovačního prostředí, stejně tak i nově přicházející trendy a příležitosti, jsou v Národní RIS3 strategii reflektovány pomocí průběžných aktualizací Příloh hlavního dokumentu. Aktualizace této přílohy byla projednána a schválena Řídicím výborem RIS3 dne 21. 09. 2021 a schválena prostřednictvím opatření ministra průmyslu a obchodu dne 7. 10. 2021. Příloha č. 1 Národní RIS3 strategie i ve svých aktualizovaných verzích navazuje na kapitolu 4.3 dokumentu Národní RIS3 strategie věnovanou inteligentní specializaci ČR, to znamená zejména doménám výzkumné a inovační specializace. V uvedené kapitole je popsán proces stanovení parametrů výzkumné a inovační specializace a je zde shrnuto zaměření jednotlivých oblastí.

Přes jistou nepřehlednost evropských a tuzemských technologických iniciativ lze s jistotou jako závazné pro budoucnost sumarizovat: zaměření na cirkulární ekonomiku, ekologickou elektrifikaci, vodíkovou ekonomiku, biomasu, CCU a CCS a také na intenzifikaci chemických procesů.

Z výše uvedených informací, požadované budoucí orientace klíčového průmyslu kraje lze jako základní součásti studie diskutovat problematiku **vodíku, cirkulární ekonomiky a využití biomasy, resp. oblast obnovitelných zdrojů energie (OZE)**. Těmto třem pilířům dalšího rozvoje jsou věnovány následující podkapitoly, vždy se zaměřením na očekávané světové trendy, které se promítnou i do reality ČR.

### 4.1. Vodík a vodíkové technologie

V této kapitole je nejprve představena situace kolem vodíku a vodíkových technologií ve světě a v Evropské unii, dále je vodík popsán jako základní přírodní látka a stručně jsou uvedeny postupy pro jeho výrobu a využití. Popsány budou perspektivní a vyvíjené postupy výroby. Návazně budou uvedeny hlavní směry jeho současného a zejména budoucího využití v tzv. vodíkové ekonomice s relevancí pro Českou republiku.

#### 4.1.1. Vodík ve světě a v EU

Vodík se v Evropě i po celém světě těší opětovné a stále větší pozornosti. Lze jej používat jako vstupní surovinu, palivo nebo nosič a úložiště energie a má mnoho možných využití v odvětvích průmyslu, dopravy, energetiky a stavebnictví. Nejdůležitějším aspektem však je, že se při jeho používání neuvolňuje CO<sub>2</sub> a že téměř neznečišťuje ovzduší. Nabízí se tak řešení, jak dekarbonizovat průmyslové procesy a hospodářská odvětví, v nichž je snižování emisí uhlíku naléhavě nutné a zároveň je obtížné ho dosáhnout. Z těchto důvodů je vodík nezbytný k podpoření závazku EU dosáhnout do roku 2050 uhlíkové neutrality a k celosvětovému úsilí o provádění Pařížské dohody a snaze dosáhnout nulového znečištění.

V následující tabulce je uvedena struktura současné světové výroby vodíku dle používaných surovin. (Není-li uvedeno jinak, jsou následující tabulky a obrázky v kapitole 4.1. převzaty z dokumentu: Vodíková strategie ČR).

**Tab. 7:** Světová výroba vodíku – struktura dle surovin

SUROVINA	VÝROBA	
	mil. tun/rok	%
Zemní plyn	35,5	48
Ropa	22,2	30
Uhlí	13,3	18
Elektrolýza	3,0	4
Celkově	73,9	100

Obdobně podává tabulka informace o současné spotřebě vodíku dle hlavních segmentů.

**Tab. 8:** Současná spotřeba vodíku dle hlavních segmentů

VYUŽITÍ VODÍKU		
	mil. tun/rok	%
Amoniak	31,5	43
Čistá paliva	38,2	52
Ostatní	4,2	5

Vodík však v současnosti představuje jen skromnou část energetického mixu v celosvětovém měřítku a v EU a stále se z velké části vyrábí z fosilních paliv, zejména ze zemního plynu, ropy nebo černého uhlí, což vede k tomu, že se v EU do ovzduší uvolňuje 70 až 100 milionů tun CO<sub>2</sub> ročně. Aby vodík přispíval k neutralitě z hlediska klimatu, musí se dosáhnout mnohem většího rozsahu výroby a ta se musí plně dekarbonizovat.

Vodík byl již v minulosti v popředí zájmu, ale neprosadil se jako přenašeč energií. Dnes se pro něj díky rychlému poklesu nákladů na energii z obnovitelných zdrojů, technologickému vývoji a naléhavosti výrazně snížit emise skleníkových plynů otevírají nové možnosti. Podle mnohých ukazatelů se nyní blížíme k bodu zlomu. Každý týden jsou oznamovány nové investiční plány, často v řádu gigawattů. V období od listopadu 2019 do března 2020 zvýšili tržní analytici prognózy plánovaných celosvětových investic v oblasti výkonu elektrolyzérů do roku 2030 z 3,2 GW na 8,2 GW (z toho 57 % v Evropě) a počet společností, které se připojily k vodíkové radě, vzrostl z 13 v roce 2017 na dnešních 81.

Existuje mnoho důvodů, proč je vodík pro dosažení cílů Green Deal a přechodu na čistou energii v Evropě klíčovou prioritou. Očekává se, že elektřina z obnovitelných zdrojů dekarbonizuje do roku 2050 velkou část spotřeby energie v EU, ale ne veškerou. Vodík má silný potenciál překlenout část tohoto rozdílu jako přenašeč pro ukládání energie z obnovitelných zdrojů spolu s bateriemi a pro přepravu energie z obnovitelných zdrojů, neboť zajišťuje rezervu pro sezónní výkyvy a propojuje výrobní místa se vzdálenějšími středisky poptávky. Podle strategické vize klimaticky neutrální EU zveřejněné v listopadu 2018 se má podíl vodíku na energetickém mixu v Evropě do roku 2050 zvýšit ze současných 2 % na 13 až 14 %.

Vodík může dále nahradit fosilní paliva v některých uhlíkově náročných průmyslových procesech, např. v ocelářském nebo chemickém průmyslu, a tím snižovat emise skleníkových plynů a dále posilovat celosvětovou konkurenceschopnost těchto odvětví. Může nabídnout řešení pro

segmenty dopravního systému, kde je obtížné emise snižovat, a je doplňkovou možností k tomu, čeho lze dosáhnout elektrifikací a pomocí jiných paliv z obnovitelných zdrojů a nízkouhlíkových paliv. Postupné zavádění řešení na bázi vodíku může rovněž vést ke změně účelu stávající infrastruktury pro zemní plyn nebo opětovnému využití jejích částí a zároveň zamezit uvíznutí aktiv v potrubí.

Vodík bude hrát úlohu v integrovaném energetickém systému budoucnosti spolu s obnovitelnou elektrifikací a účinnějším a oběhovým využíváním zdrojů. Rozsáhlé zavádění čistého vodíku rychlým tempem je klíčové k tomu, aby EU dosáhla vyšších cílů v oblasti klimatu a snížila emise skleníkových plynů nákladově efektivním způsobem o nejméně 50 % a do roku 2030 o hodnotu blízkou se 55 %. Investice do vodíku podpoří udržitelný růst a zaměstnanost. EU vyzdvihuje nízkouhlíkový vodík jako jednu z hlavních oblastí, kterou je zapotřebí se zabývat v souvislosti s transformací energetiky, a zmiňuje řadu možných způsobů, jak ji podpořit. Evropa je navíc vysoce konkurenceschopná v oblasti výroby technologií k produkci čistého vodíku a má dobrou pozici k tomu, aby mohla těžit z celosvětové expanze čistého vodíku jako nosiče energie. Kumulativní investice do vodíku z obnovitelných zdrojů v Evropě by do roku 2050 mohly dosáhnout 180 až 470 miliard EUR a v případě nízkouhlíkového vodíku z fosilních paliv rozpětí 3 až 18 miliard EUR. Vznik vodíkového hodnotového řetězce, který by sloužil radě průmyslových odvětví a dalším konečným uživatelům, by ve spojení s vedoucí úlohou EU v oblasti technologií a v oblasti energie z obnovitelných zdrojů mohl přímo či nepřímo zaměstnávat až 1 milion lidí. Analytici odhadují, že čistý vodík by mohl do roku 2050 pokrýt 24 % celosvětové poptávky po energii, přičemž roční tržby by se pohybovaly v řádu 630 miliard EUR. Vodík z obnovitelných zdrojů energie a nízkouhlíkový vodík však ve srovnání s vodíkem z fosilních paliv zatím nejsou nákladově konkurenceschopné. Aby Evropská unie využila všech příležitostí spojených s vodíkem, potřebuje strategický přístup. Průmysl EU na tuto výzvu zareagoval a vypracoval ambiciózní plán, jak do roku 2030 dosáhnout kapacity výkonu elektrolyzérů 2x40 GW. Téměř všechny členské státy zahrnuly plány týkající se čistého vodíku do svých vnitrostátních plánů v oblasti energetiky a klimatu, 26 z nich podepsalo „vodíkovou iniciativu“ a 14 členských států zahrnuje vodík do vnitrostátního rámce politiky v oblasti infrastruktury pro alternativní paliva. Některé členské státy (včetně ČR) již vnitrostátní strategie přijaly nebo je právě přijímají.

V porovnání s vodíkem z fosilních paliv není v současnosti nákladově konkurenceschopný ani vodík z obnovitelných zdrojů ani nízkouhlíkový vodík, zejména vodík z fosilních paliv se zachycováním uhlíku. Odhadované náklady na vodík z fosilních paliv pro EU, které jsou do značné míry závislé na cenách zemního plynu, aniž by se braly v potaz náklady na CO<sub>2</sub>, dnes činí přibližně 1,5 EUR/kg. V současnosti odhadované náklady na vodík z fosilních paliv se zachycováním a ukládáním uhlíku činí přibližně 2 EUR/kg a na vodík z obnovitelných zdrojů 2,5–5,5 EUR/kg. Náklady na vodík z obnovitelných zdrojů se rychle snižují. Náklady na elektrolyzéry se již v posledních deseti letech snížily o 60 % a očekává se, že se v roce 2030 v porovnání se současností sníží díky úsporám z rozsahu o polovinu. V regionech, kde je elektřina z obnovitelných zdrojů levná, by elektrolyzéry měly být schopné konkurovat vodíku z fosilních paliv v roce 2030. Tyto aspekty budou klíčovými hnacími silami postupného rozvoje vodíku v celém hospodářství EU.

V této fázi je třeba zvýšit výrobu elektrolyzérů, včetně těch velkých (s kapacitou až 100 MW). Tyto elektrolyzéry by mohly být instalovány vedle stávajících středisek poptávky ve větších rafinériích, ocelárnách a chemických komplexech. V ideálním případě by byly napájeny z místních obnovitelných zdrojů elektřiny. Kromě toho budou zapotřebí vodíkové čerpací stanice, aby se rozšířilo využívání autobusů s vodíkovými palivovými články a v pozdější fázi multifunkčních

kamionů. Elektrolyzéry tedy budou nutné také k tomu, aby se lokálně zásoboval větší počet vodíkových čerpacích stanic. K rozšíření výroby vodíku a trhu s ním budou přispívat různé formy nízkouhlíkového vodíku z elektřiny, zejména ty formy, které se vyrábí s téměř nulovými emisemi skleníkových plynů. Některé stávající závody na výrobu vodíku by měly být dekarbonizovány tím, že se dovybaví technologiemi pro zachycování a ukládání uhlíku. Potřeby v oblasti infrastruktury pro přepravu vodíku zůstanou omezené, neboť poptávka bude zpočátku uspokojena výrobou přímo na místě nebo v jeho blízkosti a v některých oblastech může docházet k mísení se zemním plynem, avšak měla by se začít plánovat infrastruktura pro středně velkou a páteřní přenosovou soustavu. K usnadnění některých forem nízkouhlíkového vodíku bude zapotřebí infrastruktura pro zachycování uhlíku a využívání CO<sub>2</sub>. Politika bude klást důraz na stanovení regulačního rámce pro likvidní a dobře fungující trh s vodíkem a na stimulaci nabídky i poptávky na rozhodujících trzích, mimo jiné překlenutím rozdílů v nákladech mezi konvenčními řešeními a vodíkem z obnovitelných zdrojů a nízkouhlíkovým vodíkem a prostřednictvím vhodných pravidel státní podpory. Základní rámcové podmínky nastartují před rokem 2030 konkrétní plány pro velké větrné a solární elektrárny určené k výrobě vodíku z obnovitelných zdrojů na gigawattové úrovni. K vybudování rozsáhlé základny investic přispěje Evropská aliance pro čistý vodík. Finanční nástroje z programu Next Generation EU, včetně oblasti strategických evropských investic programu InvestEU a inovačního fondu systému pro obchodování s emisemi, zintenzivní v rámci ozdravného plánu Komise finanční podporu a pomohou překlenout investiční mezeru v oblasti obnovitelných zdrojů energie způsobenou krizí COVID-19.

V druhé fázi od roku 2025 do roku 2030 se vodík musí stát neodmyslitelnou součástí integrovaného energetického systému se strategickým cílem instalovat v EU do roku 2030 elektrolyzéry pro výrobu vodíku z obnovitelných zdrojů o výkonu alespoň 40 GW a zahájit výrobu až do výše 10 milionů tun vodíku z obnovitelných zdrojů. Vodík z obnovitelných zdrojů začne hrát roli při vyrovnávání elektrizační soustavy i díky skutečnosti, že bude zabezpečovat flexibilitu. Vodík se bude rovněž používat pro denní nebo sezónní ukládání jako záložní systém a zajistí vyrovnávací funkce, čímž zvýší bezpečnost dodávek ve střednědobém horizontu. Budou se rozvíjet místní vodíkové klastry, jako jsou vzdálené oblasti nebo ostrovy, či regionální ekosystémy – tzv. vodíková údolí, která budou vycházet z místní výroby vodíku založené na decentralizované výrobě energie z obnovitelných zdrojů a na místní poptávce s přepravou na krátké vzdálenosti. V takových případech může zvláštní vodíková infrastruktura využívat vodík nejen pro průmyslové a dopravní aplikace a výkonovou rovnováhu v elektroenergetice, ale také pro dodávky tepla pro obytné a komerční budovy. V této fázi vznikne potřeba disponovat logistickou infrastrukturou v celé EU a budou přijata opatření umožňující přepravu vodíku z oblastí s velkým potenciálem z hlediska obnovitelných zdrojů do středisek poptávky, která se případně nacházejí v jiných členských státech. Bude nutné naplánovat páteř celoevropské sítě a vytvořit síť vodíkových čerpacích stanic. Stávající plynárenská soustava by mohla být částečně přeorientována na přepravu vodíku z obnovitelných zdrojů na delší vzdálenosti, přičemž by muselo dojít k rozvoji rozsáhlejších zařízení pro skladování vodíku. Expanze využití vodíku v relativně krátkém období bude vyžadovat, aby se přichystala podpora EU a podnítily investice k vybudování plnohodnotného vodíkového ekosystému. Do roku 2030 bude EU usilovat o dokončení otevřeného a konkurenceschopného trhu EU s vodíkem, kde přeshraniční obchod nebude ničím omezován a dodávky vodíku budou efektivně rozdělovány mezi jednotlivá odvětví.

Ve třetí fázi od roku 2030 do roku 2050 by technologie pro výrobu vodíku z obnovitelných zdrojů měly dosáhnout vyspělosti a být zavedeny ve velkém rozsahu tak, aby se rozšířily do všech odvětví, v nichž je dekarbonizace obtížná, kde jiné alternativy nemusí být proveditelné nebo jsou

nákladnější. V této fázi musí výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů masivně vzrůst, neboť do roku 2050 by na výrobu vodíku z obnovitelných zdrojů mohla být využívána přibližně čtvrtina elektřiny z obnovitelných zdrojů. Zejména vodíková paliva a syntetická paliva odvozená od vodíku, která mají uhlíkově neutrální CO<sub>2</sub>, by mohla ve větší míře proniknout do širšího spektra hospodářského odvětví, od letecké a lodní dopravy po průmyslové a komerční budovy, v nichž je dekarbonizace obtížná

K dosažení cílů v oblasti zavádění vodíku, které jsou nastíněny v tomto strategickém plánu do roku 2024 a 2030, je zapotřebí solidní investiční program využívající synergie a zajišťující soudržnost veřejné podpory napříč různými fondy EU a financováním ze strany EIB, využití pákového efektu a zamezení nadměrné podpory. Od nynějška do roku 2030 by se investice do elektrolyzérů mohly pohybovat od 24 do 42 miliard EUR.

V odvětví silniční dopravy by postupné spuštění provozu dalších 400 menších vodíkových čerpacích stanic (ve srovnání s dnešními 100 stanicemi) mohlo vyžadovat investice ve výši 850 milionů až 1 miliardu EUR. Na podporu těchto investic a vzniku plnohodnotného vodíkového ekosystému dnes Komise zahajuje fungování Evropské aliance pro čistý vodík, kterou oznámila ve své nové průmyslové strategii.

Hlavní úlohou Aliance bude určit a sestavit jednoznačný seznam životaschopných investičních projektů. Usnadní se tím koordinované investice a politiky v celém vodíkovém hodnotovém řetězci a spolupráce mezi soukromými a veřejnými zúčastněnými stranami v celé EU, přičemž v případě potřeby bude poskytnuta veřejná podpora a zapojeny soukromé investice. Aliance rovněž tyto projekty zviditelní a v případě potřeby jim umožní získat odpovídající podporu. V tomto okamžiku již probíhají nebo jsou oznámeny nové projekty na výrobu vodíku z obnovitelných zdrojů o kapacitě 1,5–2,3 GW a další plánované projekty na elektrolyzéry o výkonu 22 GW se musí ještě dále rozpracovat a potvrdit. Zvláštní nástroj IPCEI umožňuje, aby státní podpora řešila selhání trhu u velkých přeshraničních integrovaných projektů pro vodík a paliva odvozená z vodíku. Rada členských států označila vodík z obnovitelných zdrojů a nízkouhlíkový vodík za strategický prvek svých vnitrostátních plánů v oblasti energetiky a klimatu. Komise si bude s členskými státy vyměňovat informace o vodíkových plánech prostřednictvím Sítě pro vodíkovou energii (Hydrogen Energy Network, HyENet). Na těchto plánech a prioritách stanovených v rámci evropského semestru budou muset členské státy stavět při navrhování svých plánů na podporu oživení a odolnosti v souvislosti s novou facilitou na podporu oživení a odolnosti, jejímž cílem je podporovat investice a reformy členských států, které jsou zásadní pro udržitelné oživení.

#### **4.1.2. Klasifikace vodíku**

Vodík, který je využit v koncových zařízeních, je vždy tvořen stejnou molekulou H<sub>2</sub>. Vzhledem k různým způsobům výroby a koncového využití můžeme ovšem rozlišovat několik druhů vodíku:

- podle produkce CO<sub>2</sub> během výroby,
- podle čistoty.

##### **4.1.2.1. Klasifikace podle produkce CO<sub>2</sub> během výroby**

Pro účely vodíkové strategie používáme klasifikaci v závislosti na způsobu výroby vodíku. V současnosti neexistuje v rámci EU jednoznačná kategorizace druhů vodíku. Dá se však očekávat, že v následujícím období dojde s nárůstem předpisů k harmonizaci názvosloví v rámci EU.

#### 4.1.2.2. Nízkouhlíkový vodík

Nízkouhlíkovým vodíkem rozumíme vodík, při jehož výrobě vznikne maximálně 36,4 g CO<sub>2</sub>/MJ. Jde například o vodík vyrobený elektrolýzou elektřinou z obnovitelných zdrojů nebo z jaderných zdrojů, vodík vyrobený z bioplynu a vodík vyrobený ze zemního plynu nebo odpadu se zachytáváním CO<sub>2</sub>. Pro tento typ vodíku se používá označení „modrý vodík“. Někdy je vhodné definovat i podmnožiny nízkouhlíkového vodíku v závislosti na způsobu jeho výroby:

➤ **Obnovitelný vodík**

Jde o vodík, který byl vyroben elektrolýzou vody pomocí elektrické energie vzniklé z obnovitelných zdrojů, hlavně v solárních, větrných a vodních elektrárnách. Vodík z obnovitelných zdrojů lze rovněž vyrábět reformováním bioplynu/biometanu (namísto zemního plynu) nebo biochemickou či termochemickou přeměnou biomasy, pokud jsou v souladu s požadavky na udržitelnost. Obvyklým cílem vodíkových strategií v jednotlivých regionech světa je maximalizovat využití obnovitelných zdrojů pro výrobu vodíku. Pokud je započten celý hodnotový řetězec, včetně výroby a likvidace solárních panelů nebo větrných elektráren, je i vodík z obnovitelných zdrojů zatížen určitou uhlíkovou stopou, jako jakékoliv jiné zdroje energie. V ČR se snažíme maximalizovat výrobu vodíku z obnovitelných zdrojů, ty jsou ale vzhledem k naší zeměpisné poloze omezené, protože máme méně slunečního svitu a větru než země ležící u moře nebo blíže k rovníku. Tento vodík se někdy nazývá „zelený vodík“.

➤ **Vodík vyrobený pomocí jaderných zdrojů**

Pokud použijeme k elektrolýze vody elektrický proud vyrobený z jaderných zdrojů nebo využijeme vysokých teplot k přímému rozkladu vody, získáme vodík s minimální uhlíkovou stopou.

➤ **Vodík vyrobený pyrolýzním rozkladem zemního plynu**

Dalším způsobem výroby nízkouhlíkového vodíku je pyrolýzní rozklad zemního plynu bez přístupu vzduchu, kdy je vodík oddělen od uhlíku, který pak může být zpracován nebo uložen bez toho, aby vznikl CO<sub>2</sub>, který by mohl uniknout do atmosféry. Tento vodík se někdy nazývá „tyrkysový vodík“.

➤ **Vodík vyrobený pyrolýzním rozkladem, případně plazmovým zplyňováním odpadu**

Pyrolýzním rozkladem, nebo přímo plazmovým zplyňováním organického odpadu bez přístupu vzduchu můžeme vyrobit vodík s minimální uhlíkovou stopou.

#### 4.1.2.3. Ostatní vodík

Existuje celá řada dalších možností výroby vodíku, jako například z ropných zbytků, uhlí a ze zemního plynu bez zachycování CO<sub>2</sub>. Ty jsou ale zatíženy velkou uhlíkovou stopou, proto nám takovýto vodík nemůže z dlouhodobého hlediska pomoci se snižováním množství skleníkových plynů vypouštěných do atmosféry. Využití takového vodíku může být pouze přechodným řešením na určitou omezenou dobu. Do této kategorie spadá i vodík vyráběný elektrolýzou ze sítě, kde výroba elektřiny je zatížena odpovídající uhlíkovou stopou danou národním energetickým mixem. Veškerý vodík, který není nízkouhlíkový, je někdy označován jako „šedý vodík“. V případě, že je nasazena technologie CCU (Carbon Capture and Utilisation), tj. konverze vznikajícího CO<sub>2</sub> na produkty dlouhodobé spotřeby, pak je tento vodík tzv. „nízkoemisní“, a je „modrý“.

#### 4.1.2.4. Klasifikace podle čistoty

Nezávisle na způsobu výroby musíme vodík rozlišovat podle jeho čistoty. Požadovaná čistota vodíku jako paliva pro palivové články s proton výměnnou membránou (PEM), ale i pro jiná použití, je dána normou ČSN ISO 14687. Jde nám hlavně o dvě kategorie:

##### *Vodík pro palivové články PEM*

Vodík pro palivové články PEM, které se hlavně využívají v dopravě, vyžaduje nejvyšší chemickou čistotu, aby bylo zajištěno, že ani při dlouhodobém provozu nedojde k degradaci a poškození palivových článků. Tento vodík se převážně vyrábí elektrolýzou vody.

##### *Vodík pro ostatní použití*

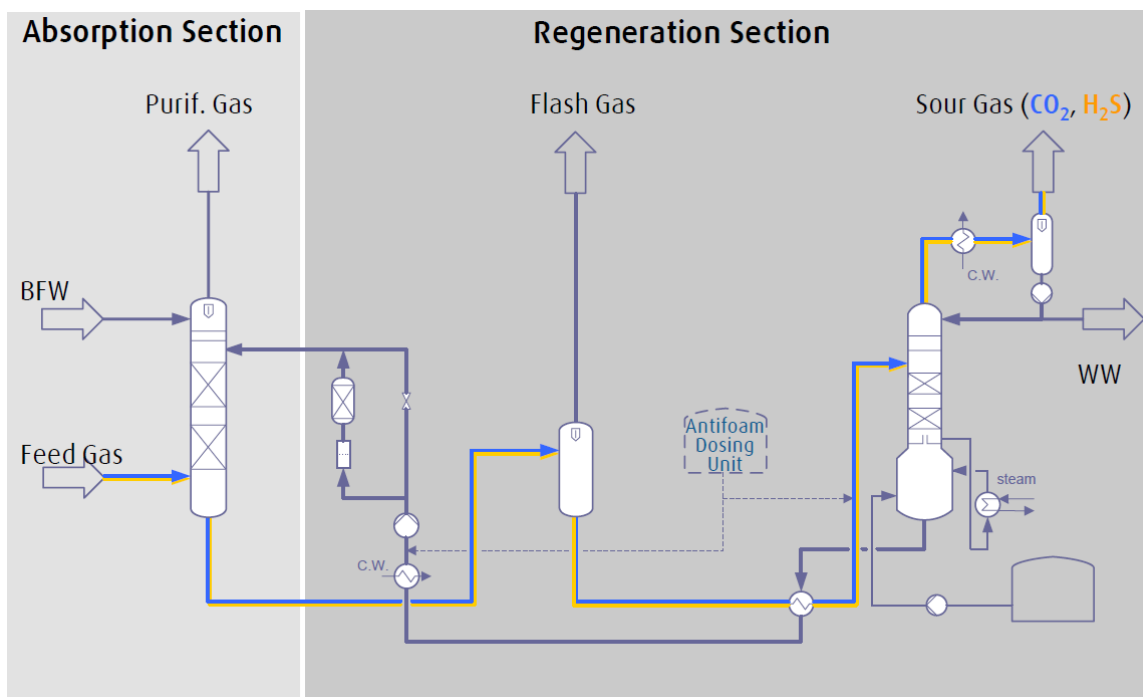
Při ostatním využití nejsou na čistotu vodíku kladeny tak vysoké nároky. Vodík se v tomto případě využívá převážně jako vstupní surovina chemické reakce, případně pro výrobu tepla spalováním. Požadavky na čistotu proto mohou být definovány konkrétním použitím, které může být citlivé na příměsi specifických látek. Příměsi a nečistoty je nutné posuzovat z pohledu konkrétní chemické reakce.

#### 4.1.3. Výroba vodíku

Původní metody výroby vodíku z fosilních paliv (Boschova metoda, Zplyňování v generátoru se sesuvným ložem, Winklerovy generátory) jsou dnes již překonány. Při těchto výroбах vznikal plyn bohatý na vodík, ale také na CO<sub>2</sub> a organické podíly.

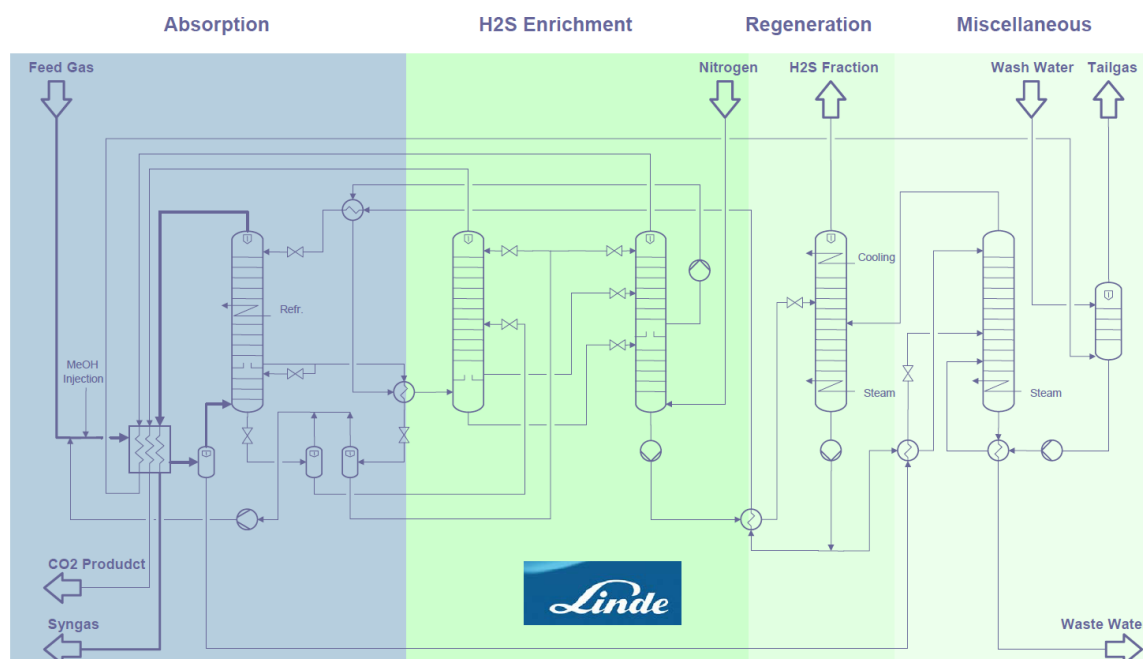
Moderní metodou výroby vodíku z fosilních paliv je vysokoteplotní zplyňování v generátorech se přímým vstřikem nebo fluidních generátorech doplněných krakovacím reaktorem, které produkují plyn bohatý na vodík s nízkým obsahem CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a s minimem nebo zcela bez obsahu organických podílů. Tento vodíkový plyn je velmi čistý a vhodný pro následné syntézní procesy.

Oxid uhličitý, který je nežádoucí složkou plynu, se vypere. Moderní technologie vypírky CO<sub>2</sub> jsou založeny na chemické vypírce aminy (MDEA, TEA) nebo fyzikální vypírce (Rectisol, Selexol). Hlavní výhodou aminové vypírky je především její jednoduchost (malý počet aparátů, schopnost praní i při nízké koncentraci CO<sub>2</sub> ve vstupním plynu, nízké nároky na chlazení absorpčních kolon atd.) Hlavní nevýhodou je pak neselektivnost, kdy kyselé plyny (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) odcházejí jako směs, což ztěžuje jejich další využití. Také nároky na spotřebu tepla na regeneraci jsou mnohem vyšší než u fyzikálních vypírek. V neposlední řadě nelze využít expanzní regeneraci. Hlavní výhodou fyzikálních vypírek je selektivnost a nízká spotřeba páry (tepla). Díky selektivnosti je možné separovat téměř čistý CO<sub>2</sub> a následně ho využít v rámci CCU/CCS. Nevýhody těchto vypírek jsou ovšem větší složitost (větší investiční náklady), nutnost intenzivního chlazení větší spotřeba elektřiny.



**Obr. 23:** Jednostupňová aminová vypírka

[Zdroj: *Selection of Wash Systems for Sour Gas Removal; 4th International Freiberg Conference on IGCC & Xtl Technologies; 2010*]



**Obr. 24:** Vypírka Rectisol (Linde)

[Zdroj: *Handling of Trace Components for Rectisol Wash Units; Ulvi Kerestecioğlu, Thomas Haberle; 2008, Linde*]

Nejdůležitějším zdrojem pro výrobu vodíku v současnosti jsou syntézní plyny. Získávají se ze zemního plynu, primárních ropných benzinů nebo uhlí. Kapacitně, energeticky i surovinově patří výroba syntézních plynů k nejrozsáhlejším chemickým technologiím. Na tyto technologie navazují



další výroby vodíku, amoniaku a metanolu a celá řada dalších procesů, jakými jsou oxosyntéza, hydrogenační rafinace, hydrokrakování a podobně.

Nejpoužívanějším současným procesem na výrobu vodíku je parní reformování zemního plynu. Hlavní uhlovodíkovou složkou zemního plynu je metan, který obsahuje vzhledem k množství uhlíku nejvíce vodíku. Parní reformování se realizuje ve dvou stupních. V prvním stupni se zemní plyn v proudu vodní páry při vysoké teplotě rozloží na vodík a oxid uhelnatý. Získá se tzv. syntézní plyn, což je směs vodíku a oxidu uhelnatého v poměru 3:1. V druhém stupni se oxid uhelnatý konvertuje vodní parou na vodík a oxid uhličitý. Velká spotřeba tepla činí proces energeticky vysoce náročný. Oxid uhličitý je nežádoucí složkou plynné směsi. Odstraňuje se podobně jako v Boschově procesu. Průběh reakcí parního reformování je následující:



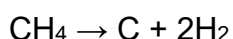
Vodík z tohoto zdroje lze výhodně použít v rafinérských procesech, zejména při rafinaci ropných produktů, výrobě umělých hnojiv a v blízké budoucnosti jako palivo v palivových článcích a výrobě zelených chemikálií.

Dalším zdrojem vodíku je parciální oxidace zemního plynu, případně lehčích uhlovodíků vzduchem nebo kyslíkem při teplotách kolem 1250 °C podle reakce:



Při parním reformování zemního plynu a benzínu je tepelné zabarvení probíhajících reakcí silně endotermní. Proto se pracuje v trubkách naplněných katalyzátorem. Ty jsou ohřívány z venku.

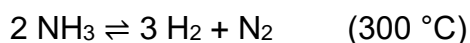
Přímou konverzi zemního plynu a lehčích uhlovodíků na vodík a uhlík lze uskutečnit při vysokých teplotách za podmínek pyrolýzy. Metan zavedený do spodní části konvertoru vyplněného roztaveným kovem (olovem nebo slitinou kovu) se rozštěpí na vodík a uhlík. Uhlík vyplave na hladinu roztaveného kovu a odseparují se na základě rozdílné hustoty. Vodík se odvede k dalšímu použití. Proces nevyžaduje přítomnost vody ani kyslíku. Probíhá podle reakce:



V ropných rafineriích se vodík produkuje při zušlechťování primárních benzínů v procesu katalytického reformování. Z ekonomického hlediska je to nejlevnější vodík. Vodík vyrobený touto cestou se zpravidla spotřebuje v rafinérii.

Vodík lze získat i z jiných látek, které obsahují vodík, a to při podstatně nižších teplotách. Vhodnými látkami jsou metanol, popřípadě amoniak. Obě látky se ukazují jako perspektivní zdroj (přenašeč) vodíku. Takto lze využít například odpadní biologickou hmotu (biomasu) na ušlechtilé palivo. Štěpení těchto látek lze vyjádřit rovnicemi následovně:

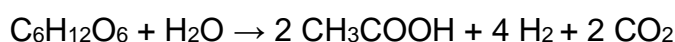




Čistota vodíku vyrobeného výše uvedenými postupy se pohybuje na úrovni 40 až 97 %. Pro raketovou techniku, katalýzu, elektrotechniku, palivové články a další technické obory se vyžaduje vodík s vyšší čistotou. Vodík je třeba dočišťovat na požadované koncentrace.

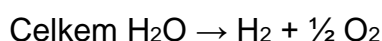
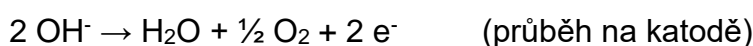
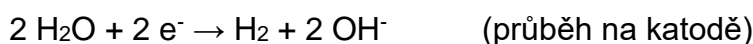
Vodík s čistotou až 99,99 % lze připravit difúzními, případně elektrochemickými procesy. Difúzní procesy využívají schopnost vodíku pronikat kovovými stěnami tenké polopropustné membrány vyrobené z palladia nebo jeho slitin při teplotách 300 až 500 °C a tlakovém spádu 1 MPa. V elektrochemických procesech se plynná směs přivádí na anodu elektrolyzéro, kde se vodík ionizuje. Kationty vodíku jsou elektromagnetickým polem usměrněny na katodu, kde získají potřebný elektron a poskytnou vodík. Z katody se odebírá čistý vodík.

V budoucnu se počítá s výrobou čistého vodíku využitím biotechnologií. Biovodík se může produkovat rozkladem biomasy za podpory slunečního světla, vhodného typu mikroorganismů, zelených řas a minerálních solí v aerobním nebo anaerobním prostředí. Dominantním substrátem v biomase, který podléhá rozkladu na vodík, jsou uhlohydráty (cukry). Uhlohydráty v prostředí vody v přítomnosti specifických bakterií produkujících vhodné enzymy a světla poskytují vodík. V aerobním prostředí je produkce vodíku závislá na obsahu kyslíku. Kyslík zpravidla inhibuje účinek enzymů. Některé bakterie (*Azotobacter vinelandii*, *Rhizobium leguminosarum*, *Rhizobium japonicum*, *Rhizobium meliloti*, *Azospirillum brasilense*) jsou však schopny produkovat vodík i v aerobních podmínkách. Rozkladným produktem uhlohydrátů jsou pak organické kyseliny, vodík a oxid uhličitý. Průběh reakce lze vyjádřit následovně:



Rozklad biomasy spojený s produkcí vodíku probíhá i v anaerobních podmínkách v přítomnosti cyanobakterií. Rozklad probíhá ve fotobioreaktorech.

Pro rozvoj vodíkových technologií se ovšem upřednostňuje výroba vodíku z vody elektrolýzou. Elektrolýza vody na vodík a kyslík samozřejmě vyžaduje zdroj elektrického proudu. Výhodou je využití levné elektrické energie získané z takových zdrojů, jakými jsou: jaderná energie, energie vodních toků, energie přílivu a odlivu, sluneční energie a energie větru. Katodou, ponořenou do vodného roztoku elektrolytu, se do vody přivádějí nosiče záporného elektrického náboje (elektrony), které redukují ionty vody na vodík a hydroxylové anionty. Hydroxylové anionty difundují elektrolytem na anodu, předávají přebytečný elektrický náboj a oxidují se na kyslík a vodu podle následujících reakcí:



Anodový a katodový prostor se přehradí polopropustnou membránou, která oddělí katodový a anodový prostor tak, aby nedošlo ke kontaktu vodíku s kyslíkem a zaručila se bezpečnost výroby.

Elektrolýzu vody lze provést i v parní fázi při teplotách kolem 900 °C. Elektrolyt je nahrazen keramickým nosičem katalyzátoru. Katalyzátorem je zpravidla oxid zirkoničitý. Dosahuje se

přeměna až 85 %. Podobná je i elektrolýza v přítomnosti pevného polymerního elektrolytu (metoda SPE – Solid Polymer Electrolyte).

Další průmyslově využívanou technologií je chloralkalická elektrolýza, která je navázána na výrobu alkalických hydroxidů a chloru. Vodík je u chlor-alkalické elektrolýzy spíše vedlejším produktem, jehož výroba může být dokonce zcela potlačena.

#### **4.1.4. Zařízení pro elektrolytický rozklad vody**

Elektrolyzéry pro výrobu vodíku je možné rozdělit na tři hlavní technologie. Alkalickou elektrolýzu, PEM elektrolýzu a vysokoteplotní elektrolýzu (dnes výhradně typu SOEC). Pro zjednodušení situace se ve výpočtové části zabýváme pouze dvěma technologiemi, a to nízkoteplotní, kam spadá PEM a alkalická elektrolýza vody, a vysokoteplotní, kam spadá technologie SOEC.

##### **4.1.4.1. Alkalická elektrolýza**

Alkalická elektrolýza vody je průmyslově zavedený proces po několik desetiletí. Jako elektrolyt je používán hydroxid draselný o koncentraci 25 – 30 hm. % při teplotě až 90 °C, katoda je z oceli, jako anoda je používán nikl, nebo poniklovaný kov. Potenciál alkalické elektrolýzy však omezuje nízká flexibilita (15 – 100 %), což je dáno především klasickým uspořádáním alkalických elektrolyzérů využívajících porézní separátor. Mezi nevýhody patří také vyšší nároky na použitý materiál kvůli používanému roztoku hydroxidu.

##### **4.1.4.2. PEM elektrolýza**

PEM elektrolýza patří do skupiny kyselé elektrolýzy vody. V této technologii se využívá proton-výměnné membrány (PEM – Proton Exchange Membrane) jako pevného elektrolytu, odtud název PEM elektrolýza. Díky použití této membrány může systémem cirkulovat pouze čistá voda, čímž odpadají vysoké nároky na materiál oběhové soustavy. Mezi výhody procesu patří výroba velmi čistého vodíku, kompaktní rozměry. Hlavní překážkou rozvoje této technologie je její vyšší cena. To je dáno zejména nutností používat platinové kovy na obou elektrodách. Typicky je katoda potažena platinou a anoda obsahuje platinu, iridium a ruthenium.

##### **4.1.4.3. Vysokoteplotní elektrolýza**

Vysokoteplotní elektrolýza je proces již dlouho známý, ovšem řadu let se nerozvíjel z důvodu materiálové náročnosti a patří tak k nejméně pokročilým technologiím z již zmíněných. Vysokoteplotní elektrolýza typu SOEC (Solid Oxide Electrolysis Cell) je provozována v rozmezí 700 – 900 °C a vstupní voda je přiváděná ve formě páry. Vysokoteplotní elektrolýza má oproti dříve zmíněným technologiím velkou výhodu v tom, že část (přibližně 1/3) energie potřebné pro rozklad vody je dodávána ve formě tepla, což snižuje spotřebu na elektrické energie. Velmi výhodné je tak pro vysokoteplotní elektrolýzu spojení s jiným vysokoteplotním procesem, ve kterém vzniká využitelné „odpadní“ teplo. Nevýhodou tohoto procesu je jeho omezená flexibilita, vysoká cena a prozatím nižší životnost oproti dříve zmíněným technologiím.

#### 4.1.5. Skladování vodíku

Skladování vodíku v kapalném stavu je výhodné v tom, že kapacita skladů zabírá relativně málo místa. Vyžaduje však efektivní izolaci skladovacích nádob. Využívají se dvouplášťové nádoby, případně izolace nádob polystyrenovou pěnou. Přesto se nepřetržitě ztrácejí odpařením malé množství vodíku (1-3 % denně), což může být příčinou vážných bezpečnostních problémů. Skladovat vodík v kapalném stavu je velmi nákladné v porovnání s jinými skladovacími metodami. Vývoj v této oblasti se soustřeďuje na snížení energetické náročnosti procesu a materiály skladovacích nádob.

Skladování vodíku v plynném stavu pod vysokým tlakem lze ideálně aplikovat ve stacionárních podmínkách. Důvodem je vysoká hmotnost tlakových nádob a potřeba zajistit bezpečnost. Systém je dost těžkopádný. Komprese vodíku vyžaduje dodatečnou energii. Tlaková nádoba na vodík s obsahem energie ekvivalentní benzínu je zpravidla trojnásobně větší, což zvyšuje i prostorové nároky.

Skladování vodíku v plynném stavu v tlakových nádobách vyvolává obtíže, zejména při zvýšených teplotách. Vodík difunduje stěnami nádob, což je umožněno především malými rozměry vodíkových molekul. Vodík reaguje s uhlíkem přítomným v oceli a způsobuje její křehnutí. S vývojem nových materiálů nacházejí uplatnění kompozitní materiály z hliníkových slitin a uhlíkových vláken. Tlakové nádoby jsou lehčí a pevnější. Snášejí tlaky až 40 MPa. Nevýhodou tlakových nádob je, že se musí pravidelně kontrolovat a testovat.

Kovové hydridy umožňují dodávat vodík při konstantním tlaku. Životnost náplně ve skladovacích nádržích je však přímo závislá na čistotě vodíku. Adsorpci vodíku lze srovnat s houbou, která nasává nejen vodík, ale i nečistoty, které jej doprovázejí. Výsledný efekt je sice desorpce čistého vodíku, ale kapacita skladovací nádrže se zmenšuje tak, jako doprovodné nečistoty postupně zanášejí adsorpční médium. Z tohoto důvodu je výhodné vodík předčišťovat přes keramické nebo kovové membrány. Vodík desorbovaný z hydridů je ideální palivo pro palivové články, ve kterých se chemická energie vodíku přeměňuje na elektrickou energii. Elektrickou energii lze úspěšně využívat k pohonu širokého spektra motorové techniky včetně těžkých mobilních prostředků.

Skladování vodíku v uhlíkových nanotrubicích umožňuje jejich mikroporézní a trubicová struktura. Princip a mechanismus vázání a uvolňování vodíku probíhá přibližně za stejných podmínek, jako na kovových hydridech. Výhodou je však větší množství vodíku, které lze za stejných podmínek adsorbovat. Sorpční kapacita vztažená na hmotnost adsorbovaného vodíku se zvýší z přibližně 4,2 % u kovových hydridů v průměru na 65 až 72 % u uhlíkových nanotrubic. Současné hodnoty se pohybují pouze na úrovni 2 až 14 %.

Doprava vodíku na menší i větší vzdálenosti se uskutečňuje vodíkovody a je bezproblémová. Kapalným vodíkem se dopravuje ve speciálních železničních i automobilových cisternách.

#### 4.1.6. Současná situace a trendy v ČR

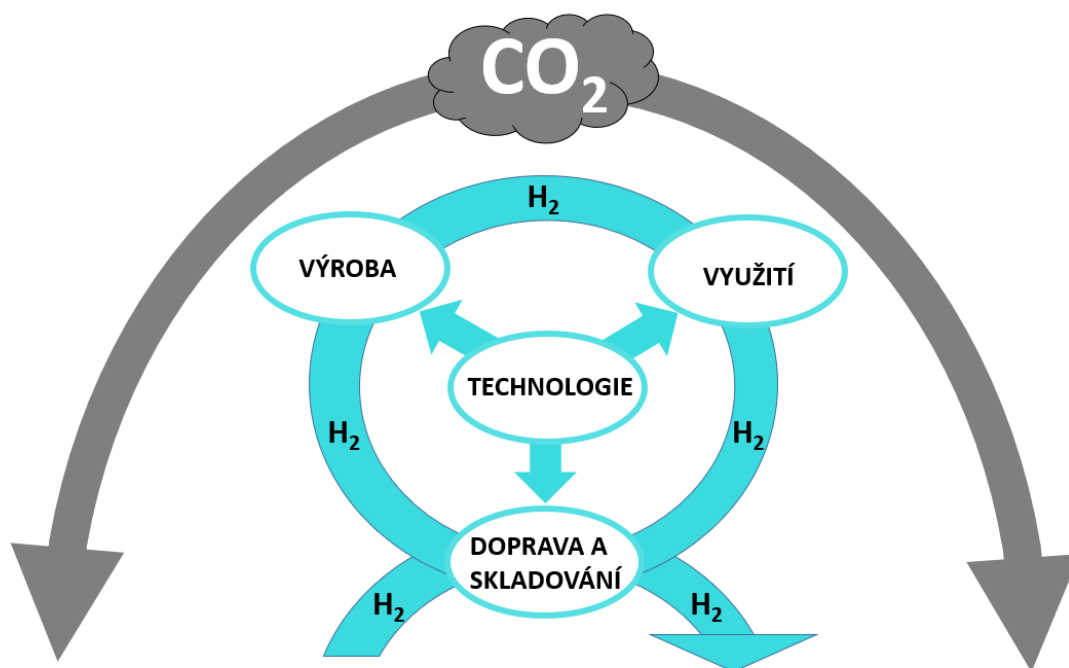
##### 4.1.6.1. Vodíková strategie ČR

V návaznosti na Evropskou vodíkovou strategii a cíle Green Deal se tato strategie zaměřuje na období 2021–2050, na jehož konci bychom měli dosáhnout klimatické neutrality. Cílem vodíkové strategie je urychlení procesu implementace vodíkových technologií při minimalizaci s tím spojených nákladů. Pro efektivní nasazení je nutné v každém kroku citlivě vyvažovat

požadavky na spotřebu a výrobu vodíku a zajistit tak maximální využití investičně náročné infrastruktury jako jsou elektrolyzéry, plnicí stanice, skladovací nádrže, přepravníky a další zařízení. Vodíková strategie je založena na čtyřech vzájemně provázaných pilířích:

- **výroba nízkouhlíkového vodíku** – různé způsoby výroby vodíku
- **využití nízkouhlíkového vodíku** – využití vodíku v nejrůznějších odvětvích ve funkci paliva, chemické suroviny a média k ukládání energie
- **doprava a skladování vodíku** – různé způsoby dopravy, skladování a distribuce vodíku, tak aby místa výroby a využití byla efektivně propojena. zahrnuje i dovoz a přepravu vodíku přes ČR
- **vodíkové technologie** – podpora výzkumu, vývoje a výroby technologií pro výrobu a využití vodíku

Strategickým cílem vodíkové strategie je snížit celkové množství skleníkových plynů vypouštěných do atmosféry v ČR při zachování výkonnosti a exportního potenciálu českého průmyslu.



Obr. 25: Vodíkový cyklus

#### 4.1.6.2. Výchozí stav roku 2020

ČR je zemí s rozvinutým chemickým průmyslem, který je v našich podmínkách prakticky jediným producentem i konzumentem vodíku. Doposud převládajícími výrobními metodami jsou parciální oxidace těžkých ropných frakcí (Partial Oxidation – POX), parní reforming zemního plynu (Steam Methane Reforming – SMR) a elektrolyza. Pokud použijeme k elektrolyze elektrickou energii ze sítě, má pro ČR takto vzniklý vodík uhlíkovou stopu 176 g CO<sub>2</sub> / MJ, což je výrazně více než při výrobě pomocí parního reformingu zemního plynu a takovýto vodík není možné považovat za nízkouhlíkový. Průměrná emisní stopa vodíku vyrobeného v ČR je v současné době 116 g CO<sub>2</sub>/MJ.

Ve Státní energetické koncepci z roku 2015 je vodík uveden jen okrajově. Ve Vnitrostátním plánu ČR v oblasti energetiky a klimatu je již možnost využití vodíku nastíněna podrobněji. Jedná se jak o vodík nízkouhlíkový, a to jak vyrobený z OZE, tak vyrobený v kombinaci s technologiemi zachytu a následného využití nebo uskladnění CO<sub>2</sub> (tzv. Carbon Capture and Use – CCU, nebo Carbon Capture and Storage – CCS). Další uváděnou rolí vodíku je stabilizace elektrické přenosové soustavy, při níž by vodík mohl nalézt uplatnění.

Pro Karlovarský kraj může být zajímavou alternativou i propojení v rámci tzv. „Vodíkových údolí (Hydrogen Valleys)“, a to obzvláště směrem na Bavorsko či Sasko, kde už první projekty začínají.

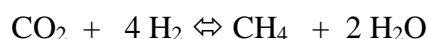
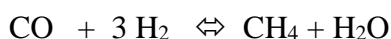
#### 4.1.6.3. Současné a budoucí využití vodíku

V současné době se vodík využívá zejména pro hydrogenační procesy v rafinériích ropy, pro syntézu metanolu, na výrobu amoniaku a následně hnojiv a stále více se začíná uplatňovat i v dopravě. Předpokládá se jeho významná role v cirkulární ekonomice, jako nositele energie. O vodíku do budoucna, tedy o nízkouhlíkovém, se uvažuje především ve třech velkokapacitních technologiích – ve výrobě syntetického zemního plynu (metanizaci), o výrobě metanolu (uhlík z CO<sub>2</sub>) a uhlovodíkových směsích Fischer-Tropschovou syntézou založenou na CO<sub>2</sub>. Tyto procesy krátce charakterizujeme.

##### Výroba syntetického zemního plynu

Pro výrobu syntetického zemního plynu (SNG) je možné využít širokou škálu surovin, tj. kromě fosilních (uhlí) též biomasu, pevný komunální odpad a odpadní oxid uhličitý, vždy ideálně v kombinaci s obnovitelnou elektřinou.

SNG se vyrábí katalytickou metanizací syntézního plynu a představuje další využívanou alternativu chemického zpracování syntézního plynu. Reakce probíhá jako reversní katalytická reakce parního reformování a konverzní (WGS) reakce. Již v současnosti se běžně využívá k odstranění kyslíkatých sloučenin z vodíku:



Průběh reakcí je silně exotermní. Nutno poznamenat, že význam procesu je spíše energetický, jeho využití pro chemické syntézy je omezené, primárně se může jednat o bezpečnou formu uskladnění vodíku.

##### Fischer-Tropschova syntéza

FTS byla vyvinuta ve 20. letech 20. století Franzem Fischerem a Hansem Tropschem. Jedná se o proces transformace syntézního plynu s použitím heterogenního katalyzátoru na kapalné produkty. Podle použitého katalyzátoru a reakčních podmínek probíhají následující základní reakce, které zajišťují:

- Vznik alkanů  $n \text{CO} + (2n+1) \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{C}_n\text{H}_{2n+2} + n \text{H}_2\text{O}$
- Vznik alkenů  $n \text{CO} + 2n \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{C}_n\text{H}_{2n} + n \text{H}_2\text{O}$
- Vznik alkoholů  $n \text{CO} + 2n \text{H}_2 + \rightleftharpoons \text{C}_n\text{H}_{2n+1} \text{OH} + (n-1) \text{H}_2\text{O}$

Průběh všech reakcí je silně exotermní. Výhodou je, že parametr n lze velmi pružně ovlivňovat reakčními podmínkami a katalyzátory. Výtěžky uhlovodíků podle počtu atomů uhlíku jsou

podrobně publikovány. Pro výrobu alkanů a alkenů se používají katalyzátory na bázi železa nebo kobaltu, při reakční teplotách 200–300 °C a tlacích 1–4 MPa. Kyslíkaté látky pak vznikají na katalyzátorech na bázi železa, při teplotě 400 °C a tlacích 10–15 MPa.

Výběr katalyzátoru může ovlivnit reakční mechanismus FTS a tím také distribuci produktů. Moderní technologie se zaměřují především na katalyzátory na bázi železa nebo kobaltu. Jako nosiče jsou využívány  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  nebo uhlík, nejnověji dokonce nanotrubičky na bázi uhlíku a grafenu.

FTS není chemický proces selektivní k jedinému produktu nebo ke specifickému rozmezí produktů. Určitou nevýhodou je, že prakticky polovina spotřebovávaného vodíku se přemění na vodu v rámci výrazně exotermní reakce, při které je vyvíjeno značné množství tepla, a že tudíž ziskovost tohoto chemického procesu výrazně závisí na využití odpadního reakčního tepla. Na složení produktů FTS má významný rovněž vliv konstrukce reaktorů.

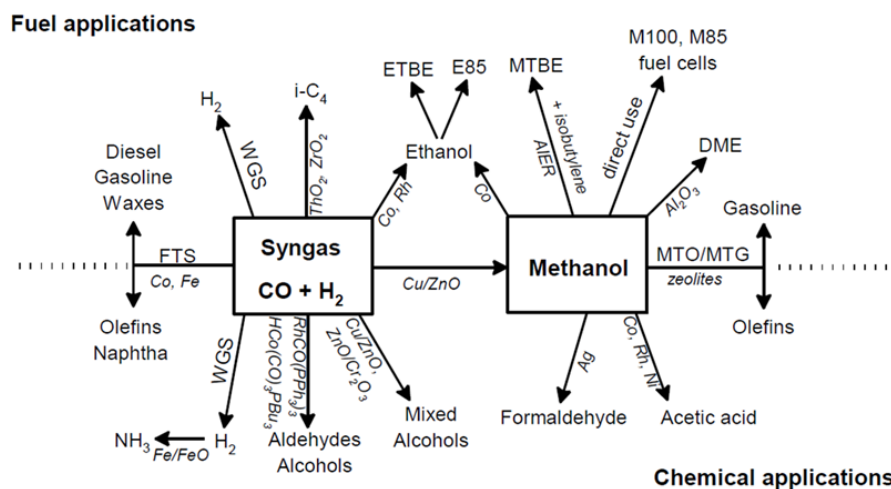
Energetická účinnost tradičního FTS procesu je nízká, pouze 35 %. Z přípravy syntézního plynu v poměru  $\text{H}_2 : \text{CO} = 2 : 1$  navíc odpadá určité množství oxidu uhličitého a výrobní technologii je tudíž nezbytné doplnit některou z technologií CCSU. Při samotného procesu vzniká rovněž velké množství vody (zhruba 1,0 – 1,3 kg vody na 1 kg syntetizovaných uhlovodíků nebo alkoholů) znečištěné organickými sloučeninami, kterou je nezbytné čistit.

## Syntéza metanolu

Výroba metanolu ve světě dosahuje kapacity 34 mil.  $\text{t}\cdot\text{r}^{-1}$ . Již dnes je metanol jednou z nejdůležitějších ve světě vyráběných komodit a klíčovou surovinou pro petrochemický průmysl. Zvýšení spotřeby metanolu se očekává poté, co se ve větší míře rozšíří výroba etylenu a propylenu na jeho bázi, tj. za 10–15 let, kdy by se měla stále více prosazovat výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů, resp. kdy bude k dispozici dostatek tzv. „zeleného vodíku“ (Power-to-Metanol).

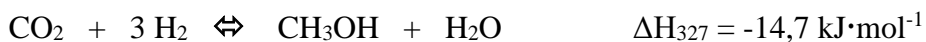
Prakticky celá světová produkce metanolu je dnes realizována na bázi syntézního plynu ze zemního plynu. Jen velmi malá část se vyrábí ze syntézního plynu vyrobeného z ropy nebo uhlí. Syntézní plyn se katalyticky transformuje na kapalný metanol. Reakční souvislosti mezi syntézním plynem a metanolem dokumentuje obr. 26, který současně demonstruje i obrovský chemický potenciál tohoto systému. Na rozdíl od FTS vzniká při syntéze metanolu jen malé množství vody, reakcí se účastní oxid uhelnatý i uhličitý a metanol má potenciál být surovinou pro celou řadu organických sloučenin.

## Aplikace syntézního plynu



**Obr. 26:** Variabilita tandemu syntézní plyn – metanol

Při katalytické syntéze metanolu probíhají následující hlavní reakce:



Při syntéze metanolu probíhá paralelně i reakce *WGS*:



Syntéza metanolu je z technického hlediska jedním z nejlépe propracovaných průmyslových procesů, který od r. 1923 prošel zajímavým a bouřlivým vývojem.

V souladu s konceptem minimalizace emisí skleníkových plynů z průmyslových výroby se začíná ve světě uplatňovat výroba metanolu z průmyslově zachycovaného oxidu uhličitého místo CO a vodíku produkovaného elektrolýzou z přebytku obnovitelné elektrické energie

Metanol je v současnosti předmětem celosvětového zájmu jako univerzální meziprodukt pro energetické i chemické aplikace obdobně, jako je dnes ropa. Možnost využívat zachycený oxid uhličitý a „zelený vodík“ jako suroviny pro jeho výrobu, pestrá škála možností chemické transformace metanolu, konkurenceschopné ceny a čistší emise z něj činí nejen potenciální alternativu k fosilním palivům, ale především univerzální surovinu chemického průmyslu. Výroba metanolu představuje jednu z cest postupného přechodu ekonomiky na udržitelná paliva a chemikálie.

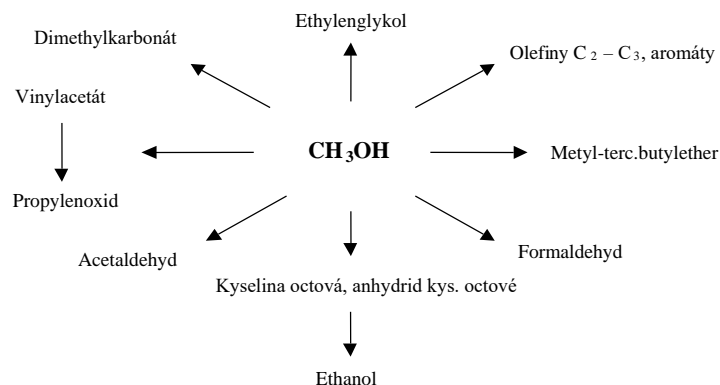
Metanol může hrát důležitou roli v tzv. vodíkové ekonomice. Je totiž jedním z uvažovaných způsobů ukládání a transportu vodíku v „kapalně“ formě. Metanol obsahuje 12,5 % hm. vodíku. Lze jej použít pro palivové články (PEMFC) přímo, anebo cestou parního reformování štěpit zpět na vstupní látku – oxidy uhlíku a vodík.

Speciální roli v petrochemických, resp. organických syntézách může hrát metanol získaný úplně (bio-metanol) nebo částečně z obnovitelných zdrojů (v případě, že použitý uhlík je fosilní a vodík z elektrolýzy vody). Bio-metanol lze průmyslově vyrábět ze syntézního plynu získaného:



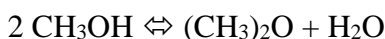
- Zplyňováním odpadní biomasy (dřevní štěpka, rostlinné zbytky, odpadní oleje, recykláty v rámci cirkulární ekonomiky apod.).
- Použitím zachycené oxidu uhličitého (CCSU) jako výchozího zdroje uhlíku a zeleného vodíku pro reverzní WGSR reakci.

Jak bylo již zmíněno v předchozí kapitole, o metanolu lze mluvit jako o univerzálním meziprojektu pro výrobu klíčových „zelených“ chemikálií.



**Obr. 27:** Využití metanolu jako udržitelné petrochemické suroviny

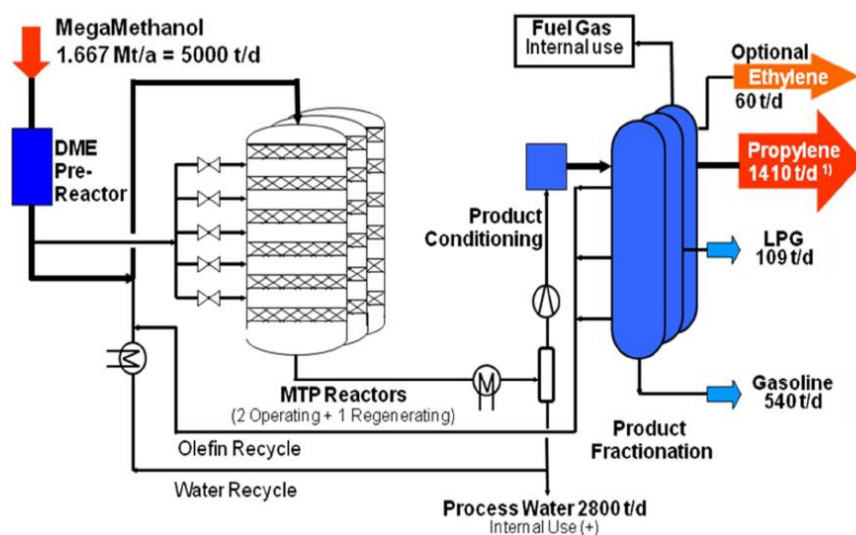
Jednou z nejatraktivnějších aplikací metanolu je jeho konverze na propylen. Jedná se již o zavedenou technologii MTP. Reakce probíhají přes metoxymetan (DME), na principu dehydratace molekuly alkoholu:



Používá se zeolitový katalyzátor, který poskytuje 65 % selektivitu na propylen. Tento typ katalyzátoru se vyznačuje dlouhým provozním cyklem a je regenerovatelný „in-situ“. Reakce probíhají při 480 °C a tlaku 130 kPa, přičemž vedlejšími produkty jsou etylen a benzinová frakce, tedy látky ideálně zpracovatelné v rafinérsko-petrochemickém komplexu, viz hmotnostní bilance. Benzinová frakce neobsahuje síru, má nízkou koncentraci benzenu a lze ji s výhodou použít pro výrobu důležitých monomerů etylenovou pyrolýzou. V případě potřeby lze tak výtěžek etylenu dále zvýšit.

**Tab. 9:** Hmotnostní bilance procesu MTP

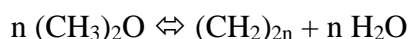
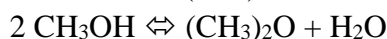
Proud	Výtěžek (% hm.)
Metanol	-100
Propylen	28,6
Etylen	1,2
LPG	2,2
Benzin	10,9
Voda	56,3
Ostatní	0,8



**Obr. 28:** Princip výroby olefinů z metanolu

[Zdroj: [www.cchem.berkeley.edu/molsim/teaching/fall2009/mto/background.html](http://www.cchem.berkeley.edu/molsim/teaching/fall2009/mto/background.html)]

Metanol je dále možné konvertovat na syntetický benzín technologií MTG ExxonMobil. Základem jsou opět reakce dehydratace alkoholu na metoxymetan (DME) a následující dehydratace na uhlovodíky až s 10 atomy uhlíku v molekule (C10):



Průběh reakcí je exotermní. Používají se reaktory s pevným ložem katalyzátoru (2 v sérii, pracovní cyklus katalyzátoru 20 dní, vstupní teplota 360 °C, tlak 2,2 MPa, recykl reakčních produktů 9 : 1) i s fluidním ložem katalyzátoru (teplota v loži 415 °C, tlak 0,3 MPa, bez recyklu reakčních meziproduktů). Výtěžek kapalných uhlovodíků je cca 43 % hm., z toho frakce C5 – C10 uhlovodíků činí 60–76 % hm. První výroba s kapacitou 4,5 tis. t·d-1 byla realizována na Novém Zélandě a provozována v rozmezí let 1985–1997. Vyrábělo se se 1,7 tis. t·d-1 benzinové frakce, ale v této době výroba nebyla rentabilní a byla proto odstavena.

Pro budoucí vývoj chemického průmyslu v ČR by pravděpodobně mohlo být významné použití metanolu pro výrobu olefinů (etylenu a propylenu), neboť speciálně pro propylen se předpokládá stabilní roční nárůst poptávky do r. 2040 okolo 4–5 %. To zejména ve spojení s trvalým nárůstem spotřeby polypropylenu, který má pro svoje vynikající užité vlastnosti významný potenciál nahrazovat jiné typy polymerů. Pro ČR je tento trend klíčový, neboť na jeho území je realizována velkokapacitní petrochemická produkce propylenu (pyrolýza a FCC), více než 300 tis. t/rok, a existují rozsáhlé technologické i obchodní zkušenosti s tímto monomerem. Vyrobený propylen je základem pro produkci klíčových výrobků tuzemského plastikářského průmyslu. Na roční výrobu 500 tis. t propylenu z metanolu by bylo potřeba 1 750 tis. tun metanolu. Vedlejší produkty této výroby by pak představovalo 21 tis. tun etylenu, 39 tis. tun LPG a 191 tis. tun benzinové frakce. Uvedené množství metanolu představuje 656 tis. t./rok uhlíku.

#### 4.1.7. Vodíkové technologie do budoucna

Zapojení se do výroby komponent a finálních výrobků v oblasti vodíkových technologií může být významný stimul k posílení inovačního potenciálu českých firem. Vodíkové technologie

přinášejí celou řadu příležitosti v oblasti Hi-Tech výrob s vysokou přidanou hodnotou. Podpora vodíkových technologií v jednotlivých členských zemích EU vyvolá masovou poptávku po tomto typu výrobků. Je ale nutné si uvědomit, že okno ke vstupu na tento trh bude otevřeno jen po relativně krátkou dobu. Vodíkové technologie mohou také představovat vhodný stimul pro transformaci českého automobilového průmyslu, který je nyní silně svázán s využíváním fosilních paliv.

V rámci analýzy vodíkových technologií byly srovnány jednotlivé základní technologické komponenty potřebné k provozu vodíkových technologií. Ve srovnání zde vítězí takové komponenty, kde má ČR již určitou tradici a současně je využití dostatečně široké (univerzální). Příkladem takové komponenty je třeba baterie. Řada komponent je již velmi technologicky zralých, ale problém lze spatřovat v masivní konkurenci obdobných levných komponent vyráběných mimo Evropu.

Vzhledem k prioritám v oblasti výroby a spotřeby vodíku lze spatřovat největší potenciál výzkumu, vývoje a výroby v následujících oblastech:

- Komponenty pro vodíková vozidla a dopravní infrastrukturu,
- vodíková vozidla (autobusy, nákladní a osobní vozidla),
- zařízení pro výrobu vodíku (elektrolýza a pyrolýza).

Jak již bylo dříve zmíněno, přesný odhad množství vodíku až do roku 2050 je velmi obtížný. Odhady byly rozděleny do stejných sektorů, jaké jsou použity v předcházející kapitole.

#### **4.1.7.1. Doprava**

Při odhadech množství budoucí spotřeby strategie vychází z Národního akčního plánu čisté mobility (NAP ČM) pro autobusy a osobní automobily. Požadavky na nákladní automobily byly nastaveny na základě diskutovaných projektů. Oblast železniční dopravy bude muset být ještě upřesněna a s leteckou a lodní dopravou zatím v odhadech vůbec nebylo počítáno.

#### **4.1.7.2. Chemický průmysl**

Chemický průmysl bude využívat vodík dvěma způsoby:

- **Jako surovinu:** v tomto případě strategie pracuje s množstvím vodíku, které se zpracovává nyní, s tím, že v budoucnu toto množství asi poklesne kvůli snížení výroby benzínu a nafty v rafineriích a snížení výroby čpavku pro umělá hnojiva, které bude vyvoláno plněním cílů Green Deal. Snížení produkce čpavku nicméně může být eliminováno rostoucími požadavky na výrobu syntetických paliv. U tohoto množství bylo odhadnuto, kolik procent šedého vodíku bude postupně nahrazováno nízkouhlíkovým vodíkem.
- **Jako zdroj tepla – náhradu za zemní plyn a uhlí:** údaj o množství zemního plynu, který se využívá na výrobu tepla, byl získán z materiálu **Souhrnná energetická bilance státu v metodice Eurostatu za léta 2010–2019**. Procentuálním poměrem lze odhadnout, kolik tohoto zemního plynu bude nahrazeno vodíkem. Neočekává se, že by tak byla nahrazena veškerá současná energetická spotřeba zemního plynu. Ten bude nahrazován i biometanem a elektrickou energií.

#### **4.1.7.3. Hutnictví železa**

Při snaze dekarbonizovat odvětví hutnictví železa spoléhá EU primárně na vodíkové technologie, kdy principem bude redukce železné rudy vodíkem místo dodnes používaného uhlí či koksu, jež je hlavní původce sektorových emisí CO<sub>2</sub>. Tyto technologie však zatím nejsou na trhu dostupné – teprve se vyvíjí či testují. V dnes používaných vysokých pecích nelze uvažovat o plné náhradě koksu vodíkem, testuje se alespoň částečná náhrada. Pro plné nahrazení budou třeba zcela nové výrobní agregáty.

V revolučním švédském projektu HYBRIT, který by měl za pomoci vodíku vyráběného z OZE zajistit do několika let produkci první zcela bezemisní oceli, se počítá s tím, že na jednotku oceli bude potřeba přibližně 3,5 MWh elektřiny. Studie Klimaneutrale Industrie uvádí potřebu 3,3 MWh/tunu oceli. Současně většina dostupných zdrojů odhaduje, že na jednu tunu oceli bude třeba odhadem 70–90 kg vodíku. Současná (2018) výroba 4 milionů tun železa a 5 milionů tun oceli v ČR ročně skrze přímou redukci vodíkem by tedy znamenala spotřebu až 360 tis. t vodíku, na jehož výrobu bude potřeba přibližně 20 TWh elektřiny (pro srovnání činila v roce 2019 spotřeba elektřiny v ocelářství přibližně 2 TWh; celková spotřeba elektřiny v ČR byla 73,9 TWh). Kromě spotřeby elektřiny na výrobu vodíku v elektrolyzátoru vzniká dodatečná potřeba velkých objemů elektřiny na roztavení železa pro další zpracování v ocelárně. Výsledkem redukce vodíkem totiž (na rozdíl od primárního procesu výroby ve vysoké peci s použitím koksu) není kov v tekutém stavu.

Množství vodíku potřebné pro hutnictví železa v ČR, závisí nejen na budoucím objemu výroby železa a oceli, ale především na fyzické a cenové dostupnosti vodíku a vodíkové technologie, která není doposud na trhu dostupná. I podle toho bude možné lépe odpovědět na otázku, kolik oceli se nakonec bude vyrábět tavbou ze železného šrotu v elektrických pecích, která se dá uskutečnit i bez pomoci vodíku, a nakolik se bude využívat vodík při redukci z rud. Výsledný technologický mix bude pravděpodobně kompromisem mezi oběma technologiemi. Každopádně je třeba počítat s tím, že při výrobě oceli ze šrotu i při natavování železné houby (vzniklé redukci vodíkem) pomocí elektrických obloukových pecí, se emituje jisté množství CO<sub>2</sub>.

#### **4.1.7.4. Průmysl (bez hutnictví železa a chemického průmyslu)**

V průmyslu se vodík bude používat převážně jako náhrada zemního plynu pro výrobu tepla. Množství zemního plynu bylo získáno z materiálu Souhrnná energetická bilance státu v metodice Eurostatu za léta 2010–2019. Procentuálním poměrem bylo odhadnuto, kolik tohoto zemního plynu bude nahrazeno vodíkem. Neočekává se, že veškerá současná energetická spotřeba zemního plynu bude nahrazena vodíkem. Zemní plyn bude nahrazován i biometanem a nízkouhlíkovou elektrickou energií.

#### **4.1.7.5. Domácnosti**

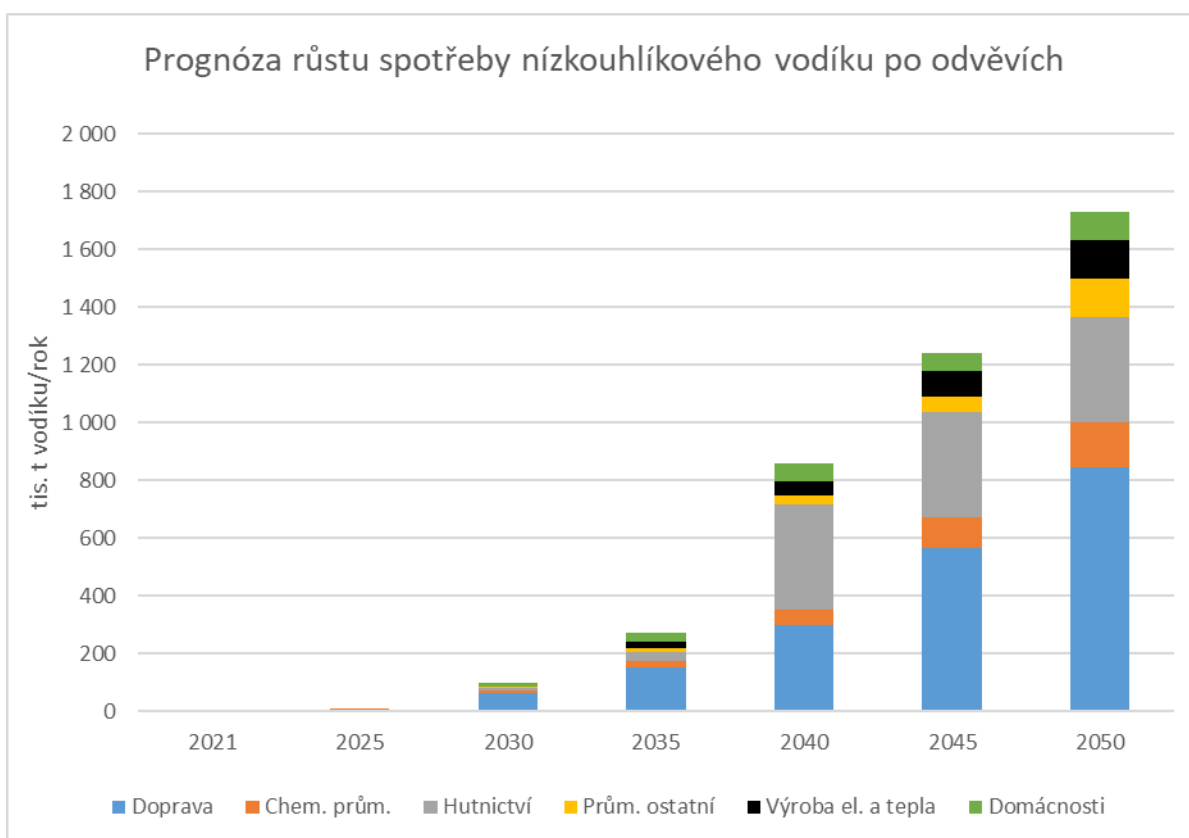
V domácnostech se vodík může využít, pouze pokud bude přimícháván do zemního plynu. Množství zemního plynu bylo získáno z materiálu Souhrnná energetická bilance státu v metodice Eurostatu za léta 2010–2019. Neočekává se, že veškerá současná energetická spotřeba zemního plynu domácností bude nahrazena vodíkem. Zemní plyn bude nahrazován i biometanem, elektrickou energií, biomasou, částečně fototermikou, případně dojde k rozvoji hybridních tepelných čerpadel. Současně se předpokládá pokračování trendu energetických úspor domácností (zateplování, nízkoenergetické domy a další formy). Pro přimíchávání vodíku do zemního plynu

zatím se počítá pouze s malým množstvím do 2 %. Toto přimíchávání může začít i ve fázi 1 a 2, jelikož vyžaduje minimální technologické změny.

#### 4.1.8. Scénář spotřeby vodíku po odvětvích

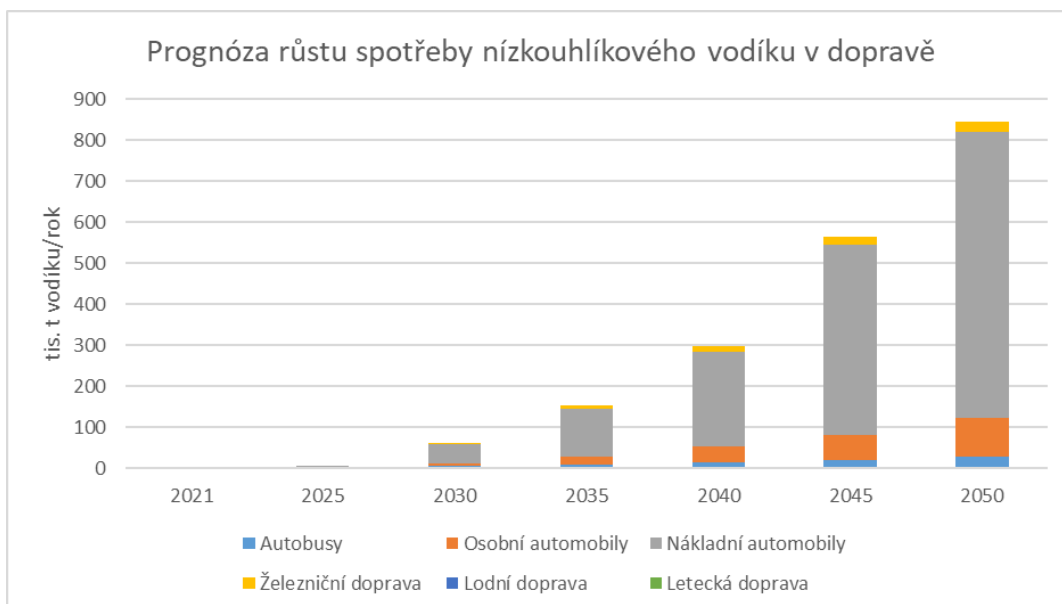
Na základě odhadů bychom měli v ČR v roce 2050 dosáhnout spotřeby 1 728 tis. t nízkouhlíkového vodíku ročně. K výrobě tohoto množství vodíku pomocí elektrolýzy bychom potřebovali 95 TWh elektrické energie. Pokud by toto množství mělo být vyrobeno elektrolýzou, byl by potřeba přibližně 3,2násobek roční výroby jaderných elektráren Temelín a Dukovany dohromady (30,2 TWh/rok v roce 2020). Další možností je dovést toto množství vodíku pomocí plynárenské soustavy ze zahraničí.

Podle současné prognózy je doprava, a hlavně nákladní doprava, největším uživatelem nízkouhlíkového vodíku.



**Obr. 29:** Prognóza růstu spotřeby nízkouhlíkového vodíku po odvětvích

[Zdroj: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/strategicke-projekty/vodikova-strategie-cr-schvalena-vladou>]



**Obr. 30:** Prognóza růstu spotřeby nízkouhlíkového vodíku v dopravě

[Zdroj: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/strategicke-projekty/vodikova-strategie-cr-schvalena-vladou>]

Ilustrativní je přehled současné výroby vodíku v ČR (Tab.10) :

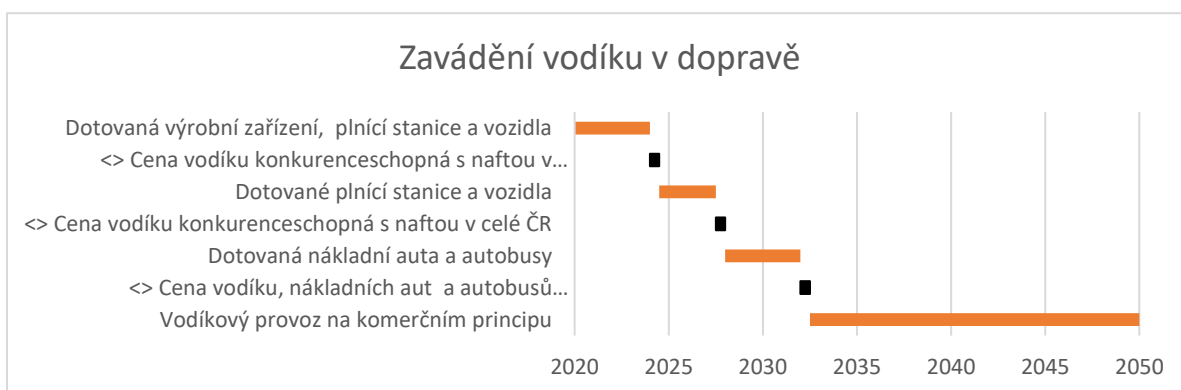
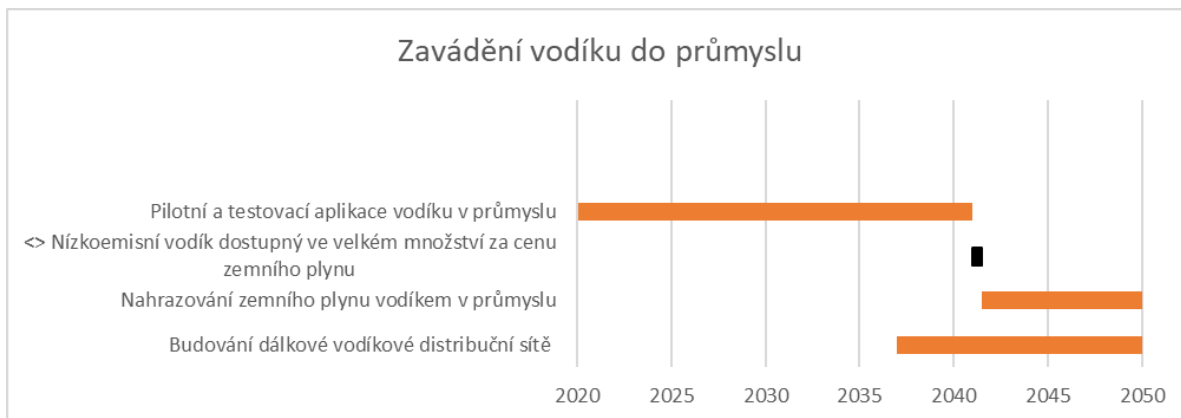
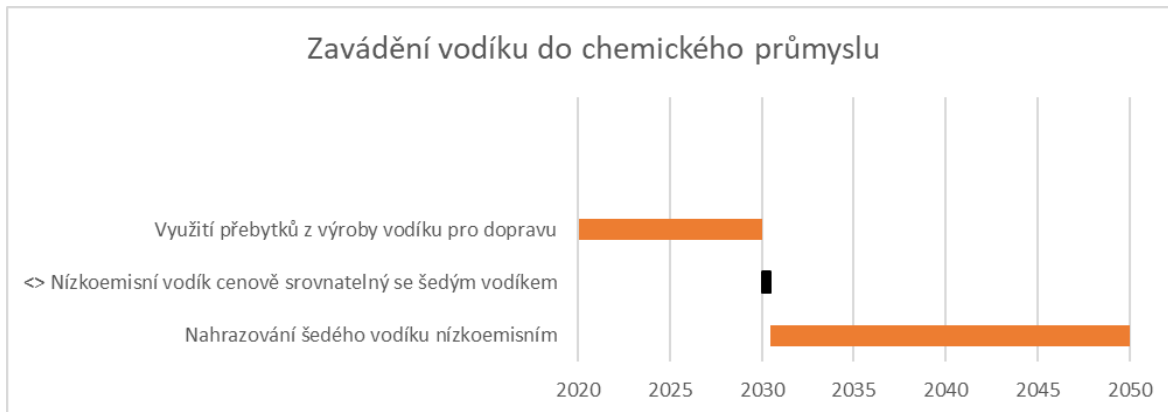
**Tab. 10:** Stávající výroby vodíku v ČR

Kapacita	Emise CO <sub>2</sub>	Emise CO <sub>2</sub> (120 MJ/kg H <sub>2</sub> )	Firma/lokality
t/rok	kg CO <sub>2</sub> /kg H <sub>2</sub>	g CO <sub>2</sub> /MJ H <sub>2</sub>	
98 000	15	125	ORLEN Unipetrol/Litvínov
7 000	13,15	110	ORLEN Unipetrol/Kralupy
2 500	1,8	15	Synthos/Kralupy
13 650	9	75	BC-MCHZ/Ostrava
1 400	12	100	DEZA/Valašské Meziříčí
3 000	14,8	123	Spolchemie/Ústí n. L.
<b>SUMA: 125 550</b>		<b>PRŮMĚR: 116,2</b>	

Tabulka neobsahuje bilanci vodíku ve společnosti SUAS ve Vřesové. Výroba vodíku v roce 2019 zde činila 40 000 t s emisním zatížením CO<sub>2</sub>: 37 kgCO<sub>2</sub>/kgH<sub>2</sub> (313 kgCO<sub>2</sub>/MJ H<sub>2</sub>). V roce 2020 byla technologie odstavena. V roce 2023 se předpokládá částečné obnovení provozu ve Vřesové s odhadovanou výrobou pro tento rok na úrovni 300 t.

#### 4.1.9. Časový plán pro zavádění vodíku v ČR

Pro úvahy o využití vodíku je nutné vzhledem k výše uvedeným, především energetickým, zdrojům pro jeho výrobu, uvažovat s realizačním tempem. Pro účely této studie lze zavádění vodíkových technologií v ČR dokumentovat na následujících přehledech, převzatých z Vodíkové strategie ČR.



#### 4.1.10. Závěry a doporučení

V předchozím výkladu byly uvedeny četné informace o výrobě vodíku a záměrech EU a ČR pro zavádění vodíku jako ekologického nosiče energie nebo jako zdroj důležitých „zelených“ chemikálií. Na tomto místě je možné uvést stručně doporučení, které je pro kraj s existencí velkého

chemického podniku a velkého podniku chemicko-energetického, u obou se značným intelektuálním i finančním potenciálem, zřejmé.

**Projekt:** Výstavba nového výrobního závodu obnovitelného vodíku určeného pro dekarbonizaci chemického průmyslu a dopravy v Karlovarském kraji. Lze doporučit výrobní závod skládající se ze zdroje obnovitelné energie – fotovoltaické elektrárny o špičkovém výkonu mnoha desítek MWp, navržené pro potřeby výrobní jednotky obnovitelného vodíku.

Pro vznik fotovoltaické elektrárny lze alokovat dostatečné plochy v lokalitě revitalizovaných oblastí po těžbě hnědého uhlí. Fotovoltaickou elektrárnu je možno navrhnout inovativním způsobem, který zajišťuje převedení maximálního množství výkonu pro potřeby elektrolyzátoru, anebo uvažovat o využití přebytků elektrického výkonu do lokální distribuční soustavy, která sloužila pro napájení technologií pro těžbu uhlí.

Druhou klíčovou technologií výrobního závodu je alkalický elektrolyzátor, který lze vybudovat v areálu chemického podniku. Prostředí chemického podniku umožňuje mimo jiné i využití odpadního tepla pro zajištění optimálních podmínek a maximalizace energetické efektivity celého výrobního procesu. Hlavní výhodou umístění elektrolyzátoru v areálu chemického podniku však není jen kompetence zaměstnanců, ale také možnosti využití vodíku pro návazné, již popsané, syntézy. Výrobní kapacita nového výrobního závodu může být minimálně 850 t vodíku ročně. Takto vyrobený vodík lze následně využít nejen pro přímou dekarbonizaci dopravy použitím v FCEV automobilech, ale zároveň také pro dekarbonizaci výroby v podnicích kraje.

#### 4.1.11. Zdroje

Bajus, M., 2007, *Petroleum & Coal*, 49 (2), pp. 1–20

Bajus, M., 2017, *Petrochemistry*, Vydavatelství SCHK-FCHPT, STU v Bratislava, str. 430

<http://asynbrain.baf.cz/sanatorium/1/h2fuel/>

<http://web.gat.com/pubs-ext/miscpubs/A23373.pdf>

[http://www.et.anl.gov/section/ceramics/research/ceram\\_mem.html](http://www.et.anl.gov/section/ceramics/research/ceram_mem.html)

<https://www.mpo.cz/cz/prumysl/strategicke-projekty/vodikova-strategie-cr-schvalena-vladou>

Lewandowski WM; (Conventional and renewable sources of energy); Polski Klub ekologiczna, 1996

Sacco, A., Jr. and Reid, RC, 1979, *Carbon*, 17, 459

Sdělení komise evropskému parlamentu, radě, evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů, Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu (V Bruselu dne 8.7.2020 COM)

Vallo, D., 2006, Vodík jako alternativní palivo, *Vojenské obzory*, 12 (1), 161–173.

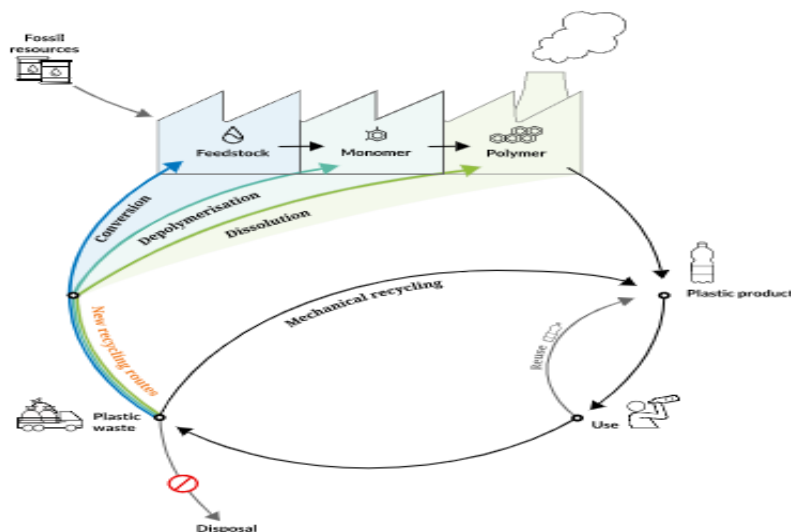
Vodíková strategie pro klimaticky neutrální Evropu COM (2020)

## 4.2. Cirkulární ekonomika a zpracování odpadů

V této kapitole jsou sumarizovány poznatky z chemické recyklace plastů a o zpracování odpadních pneumatik. Produkce plastů neustále roste, a tak přibývá i plastových odpadů, proto je v poslední době kladen větší důraz na jejich recyklaci neboli opětovné využití. Existují dva základní typy recyklace plastů. Jednak materiálová recyklace, která zahrnuje procesy od nejjednoduššího mletí upotřebených výrobků a následné tepelně mechanické zpracování. Druhým způsobem je chemická recyklace, která se využívá u takových polymerů, které jsou náchylné k degradaci při



opakovaném zpracování. Chemická recyklace je založena na chemickém rozkladu polymeru na produkty s nižší molární hmotností. Recyklování plastů je možnost, jak snižovat množství odpadů spíše než úspora primárních zdrojů, protože jen 4-6 % ropy se používá na výrobu plastů. Předkládaný text je zaměřen nejprve na stručnou bilanci odpadů v ČR a jednotlivých regionech a dále zejména na různé možnosti chemické recyklace pomocí pyrolýzy především odpadních plastů a pneumatik. Text se zabývá zjednodušeným popisem pyrolýzních jednotek (jejich funkce, procesy, chemické děje a produkty). Podrobnější představení hlavních průmyslových procesů zaměřených na recyklaci plastových odpadů je shrnuto v Příloze č. 2.



**Obr. 31:** Principy cirkulární ekonomiky

#### 4.2.1. Druhy odpadů a jejich bilance v ČR a regionech

Údaje o druhu a množství odpadů v ČR a regionech jsou patrné z následujících tabulek.

**Tab. 11:** Průměrná hmotnostní skladba SKO z obcí ČR v r. 2020

látková skupina	V. PRŮMĚR [% hm.]	MEDIÁN [% hm.]	SM. ODCH. [% hm.]	VÝSKYT MATERIÁLU [ tis. t]
papír/lepenka	7,8	6,5	3,2	162 (± 66)
plasty	10,1	9,1	3,4	209 (± 70)
sklo	3,5	3,2	1,9	72 (± 40)
kovy	2,6	2,6	1,0	54 (± 21)
nápojový karton*	0,8	0,7	0,4	16 (± 7)
textil	1,8	1,6	2,4	38 (± 51)
minerální odpad	1,7	1,2	2,5	36 (± 51)
nebezpečný odpad	0,6	0,3	0,8	13 (± 18)
elektroodpad	0,5	0,4	0,7	11 (± 15)
biodpad	24,8	24,2	8,7	514 (± 181)
spalitelný odpad	25,1	24,4	7,4	520 (± 153)
podsítná frakce (< 40 mm)	20,7	18,5	10,7	430 (± 222)
<b>CELKEM</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2 074</b>

\*Nápojový karton byl do r. 2016 zahrnut do papíru. Od roku 2018 je sledován samostatně.

Zdroj: EKO-KOM, a.s

**Obr. 32:** Skladba SKO z obcí ČR v r 2020

[Zdroj: [Rozbory skladby smíšeného komunálního odpadu z obcí v roce 2020 – EKO-KOM \(ekokom.cz\)](#)]

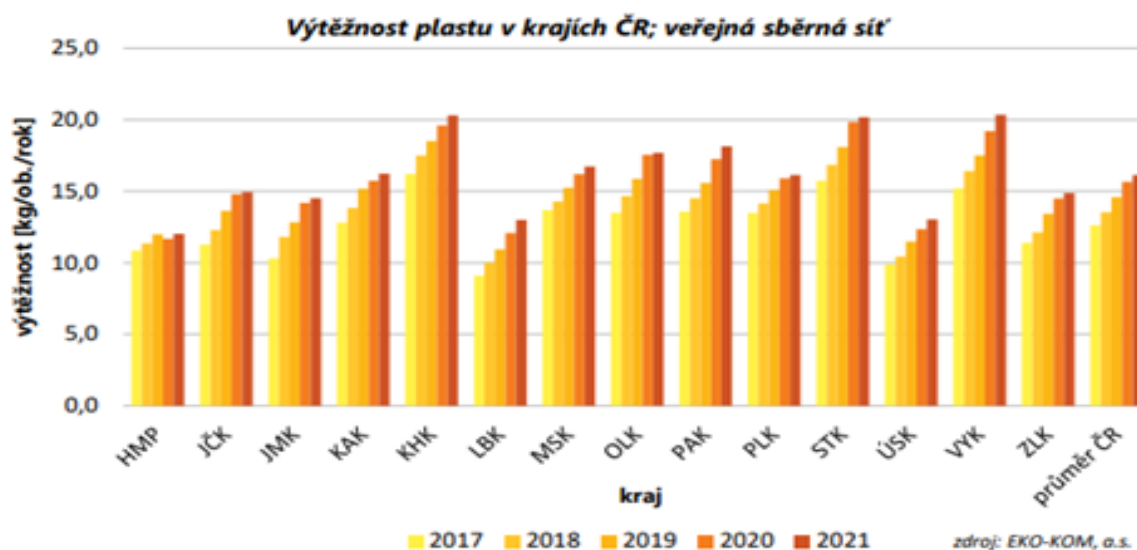
**Tab. 12:** Náklady a výtěžnost odpadů dle regionů

Kraj	Jednotkové náklady		Výtěžnost*
	Kč/t	Kč/ob.	kg/ob.
Hlavní město Praha	8 028	370,9	46,2
Jihočeský kraj	5 781	291,1	50,4
Jihomoravský kraj	3 895	178,7	45,9
Karlovarský kraj	4 864	247,1	50,8
Královéhradecký kraj	5 222	294,3	56,4
Liberecký kraj	6 237	294,3	47,2
Moravskoslezský kraj	4 436	211,7	47,7
Olomoucký kraj	3 798	196,2	51,7
Pardubický kraj	4 656	238,4	51,2
Plzeňský kraj	6 701	348,2	52,0
Středočeský kraj	6 324	374,4	59,2
Ústecký kraj	6 642	264,1	39,8
Vysočina	4 749	272,6	57,4
Zlínský kraj	4 825	214,0	44,3
<b>Celkem ČR</b>	<b>5 595</b>	<b>277,8</b>	<b>49,6</b>

*\* pouze nádobové a pytlkové sběry, vztaheno k obcím s validními daty o nákladech na tříděný sběr*

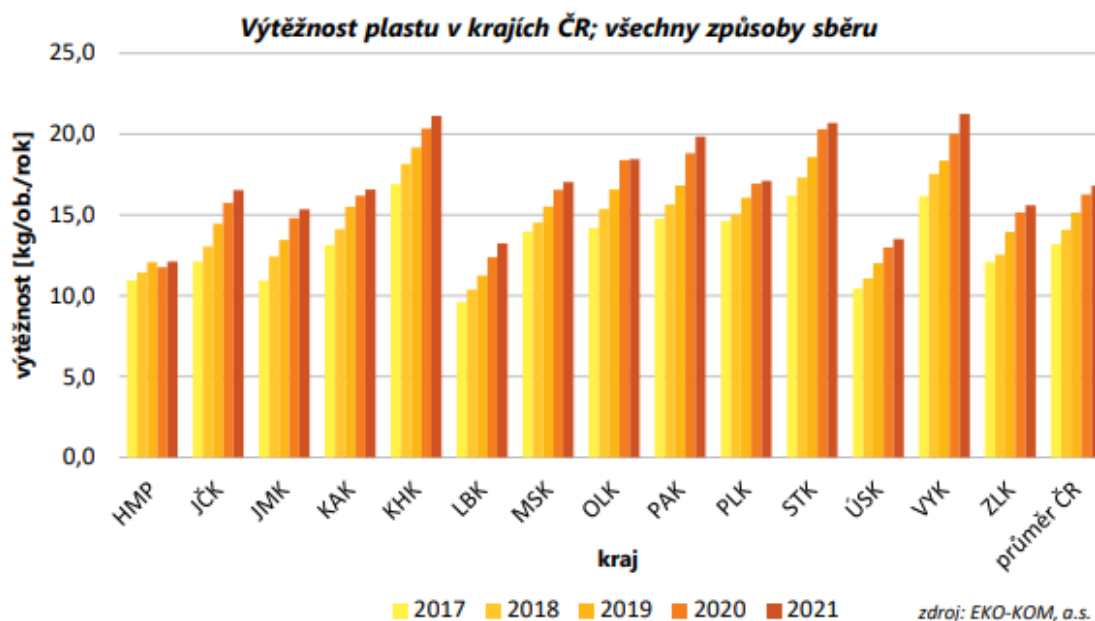
*zdroj: EKO-KOM, a.s.*

[Zdroj: [Výtěžnosti tříděného sběru v obecních systémech v letech 2017 – 2021 – EKO-KOM \(ekokom.cz\)](#)]



**Obr. 33:** Výtěžnost plastu v krajích ČR; veřejná sběrná síť

[Zdroj: [Výtěžnosti tříděného sběru v obecních systémech v letech 2017 – 2021 – EKO-KOM \(ekokom.cz\)](#)]



**Obr. 34:** Výtěžnost plastu v krajích ČR; všechny způsoby sběru

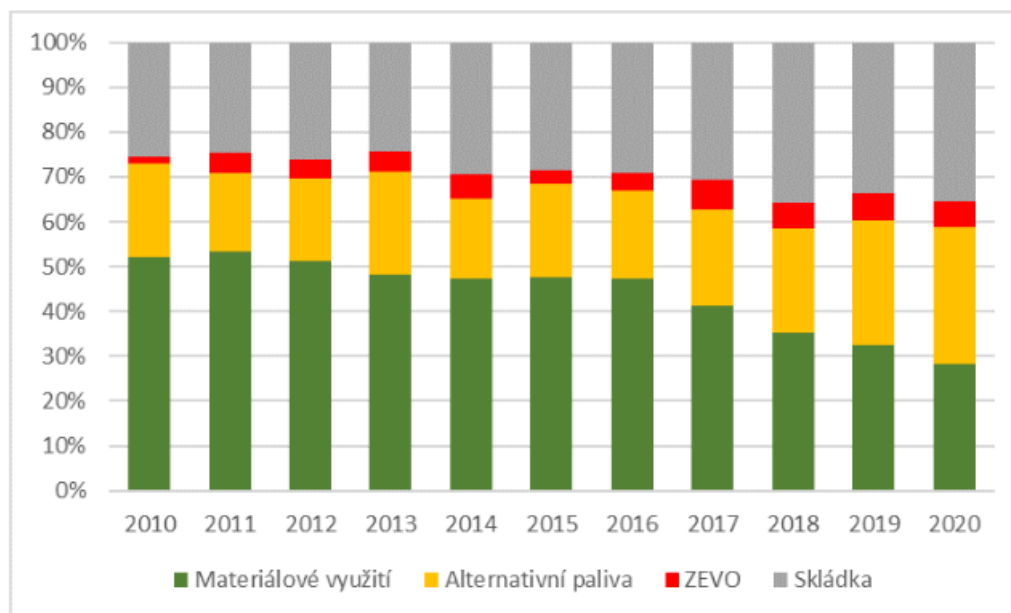
[Zdroj: [Výtěžnosti tříděného sběru v obecních systémech v letech 2017 – 2021 – EKO-KOM \(ekokom.cz\)](http://ekokom.cz)]

**Tab. 13:** Výtěžnost plastového odpadu v Karlovarském kraji po letech v kg na obyvatele a rok (všechny druhy sběru)

2017	2018	2019	2020	2021
13,1	14,1	15,5	16,2	16,6

Při počtu obyvatel v Karlovarském kraji cca 290-295 tis. v letech 2020-2022 je tak produkováno cca 4800 t plastového odpadu. Při průměrné účinnosti třídění (viz graf obr.36) cca 30 % pro přímé materiálové využití (obvykle určené pro mechanickou recyklaci) lze předpokládat, že podle typu použité technologie chemické recyklace by bylo možné materiálově využít dalších 50-60 % plastového odpadu. Dalo by se tak uvažovat o nasazení středně kapacitní technologie chemické recyklace s kapacitou 2000 t/ročně, která by byla soběstačná na plastových odpadech z „krajských zdrojů“ při efektivní optimalizaci logistiky, třídění a skladování takového odpadu.

Graf: Účinnost procesu dotřídění plastových komunálních odpadů



**Obr. 35:** Účinnost procesu dotřídění plastových komunálních odpadů

[Zdroj: [Výtěžnosti tříděného sběru v obecních systémech v letech 2017 – 2021 – EKO-KOM \(ekokom.cz\)](http://ekokom.cz)

#### 4.2.2. Mechanická recyklace

Mechanická recyklace, je jedním z nejběžnějších způsobů recyklace plastového odpadu a patří mezi materiálovou recyklaci. Je to proces, během kterého se z plastového odpadu získává výrobek bez využití chemické reakce, tudíž není změněna molekulární struktura. Tento proces obvykle zahrnuje čtyři fáze, kterými jsou sběr, třídění, praní a mletí materiálu. Jednotlivé kroky mohou probíhat v různém pořadí, vícekrát nebo vůbec, což závisí na původu a složení odpadu. Obecně je materiálová recyklace založena na přetvoření odpadní suroviny vlivem působení tepelné a mechanické energie spolu s aditivy (stabilizátory, barviva, plniva atd.) na nový materiál s mechanickými i estetickými vlastnostmi, které jsou blízké výchozímu polymeru. Tento způsob recyklace je vhodný zejména pro termoplasty. Její nevýhodou je, že není využitelná pro všechny druhy plastů. To je způsobeno tím, že určité polymery jsou více náchylné k degradaci při opakovaném zpracování. Tato skutečnost komplikuje jednak samotné technologické provedení a jednak významně zhoršuje kvalitu recyklátu. Dalším faktorem je pak požadavek na poměrně vysokou kvalitu vstupní suroviny.

Praktickým příkladem je materiálová recyklace výrobků z polyetylentereftalátu. Metoda je také známa pod názvem „Bottle – to – Bottle“. Jak už z názvu vyplývá, dochází během tohoto procesu k přepracování starých PET lahví na nové. Surovina se nejprve vytřídí, rozdrťí, vypere a vysuší, následně se roztaví za teploty zhruba 280 °C a po zchlazení vzniká regranulát, ze kterého se opět vyrobí nová PET lahev. Podobným způsobem je recyklován také polyvinylchlorid.

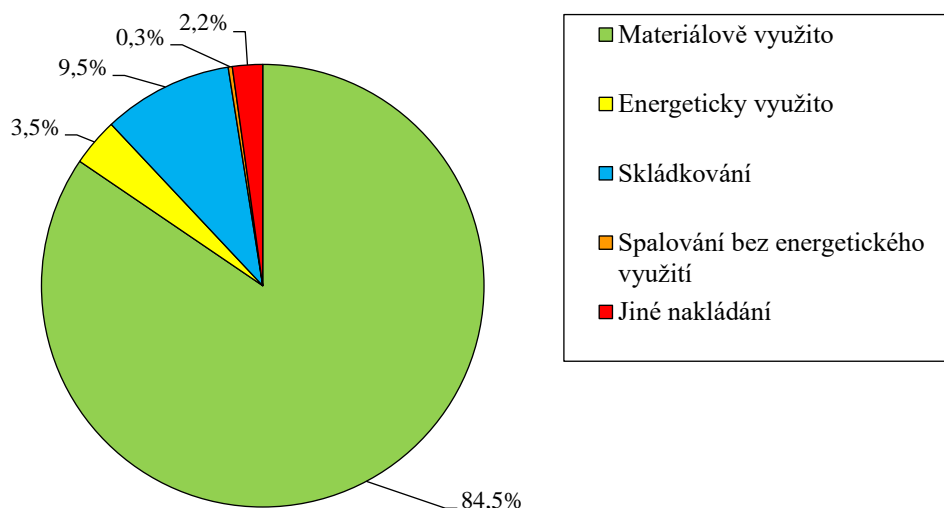
#### 4.2.3. Chemická recyklace

Při metodách chemické recyklace dochází ke změně chemického složení materiálu. Tato recyklace patří kvalitativně rovněž mezi procesy materiálové recyklace. Molekuly polymeru se štěpí za vzniku produktů o podstatně nižší molekulové hmotnosti, hlavně na oligomery nebo až na monomerní jednotky. V případě chemické recyklace nejsou kladeny tak vysoké nároky na čistotu vstupní suroviny, jako je tomu například u recyklace mechanické. Nevýhodou pak představují poměrně vysoké investiční náklady na technologická zařízení. Plastový odpad se v případě chemické recyklace jeví jako výbornou surovinou za účelem zisku cenných monomerů či surovin pro rafinerii anebo petrochemii. Zájem o jejich použití jako suroviny neustále roste, protože jsou úzce spjaty s konvenčními ropnými frakcemi a mají vysoký obsah uhlovodíků. Je však třeba zdůraznit, že chemicky recyklované polymery jsou dražší než původní materiál, a to zejména kvůli investičním a provozním nákladům. Nejvýznamnějšími procesy chemické recyklace jsou zplyňování, katalytické krakování a hydrokrakování a pyrolýza.

#### **4.2.4. Současný stav využití odpadů**

V České republice bylo za rok 2019 celkem vyprodukováno zhruba 37,4 kt odpadu. Na jednoho obyvatele České republiky tak připadá přibližně 3,5 t veškerého odpadu. Z celkového množství odpadu bylo 88 % znovu využito, což odpovídá hodnotě okolo 32,5 kt. Dle dat uvedených na obrázku 37 lze konstatovat, že odpady byly převážně využity. Materiálově bylo využito celkem 84,5 % a energeticky pak 3,5 %. Množství odpadu, které bylo odstraněno skládkováním činilo 9,5 %. S 2,2 % odpadu bylo nakládáno jiným způsobem a 0,3 % odpadu bylo pouze spáleno bez energetického využití. Významnou část z celkové produkce všech odpadů tvoří komunální odpad. Podíl komunálních odpadů na celkové produkci odpadů tak tvořil 15,7 %. V roce 2019 bylo využito 53 % vyprodukovaných komunálních odpadů, z toho 41 % materiálově a 12 % energeticky. Skládkováním byla odstraněna podstatná část komunálního odpadu, konkrétně 46 % (v 2018 rovněž 46 %).

Mezi státy Evropské unie je přístup v nakládání s odpady rozdílný. Například v severských státech převládá hlavně spalování a recyklace odpadů na úkor skládkování, které je stále velmi časté ve východních a jižních zemích Evropy. Celkem v deseti státech končí na skládkách polovina nebo i více komunálního odpadu. Na Maltě, Kypru a v Řecku je to až 80 %, v Chorvatsku, Rumunsku, Bulharsku a Slovensku více než 60 % a polovina komunálního odpadu končí na skládkách i ve Španělsku a Portugalsku. Spalování odpadu využívají i země, které současně skládkují zhruba třetinu jejich odpadu. Jedná se o Litvu, Lotyšsko, Irsko, Itálii, Francii, Estonsko, Slovinsko a Lucembursko. Nejlépe si v recyklaci vedou země jako Německo a Rakousko.

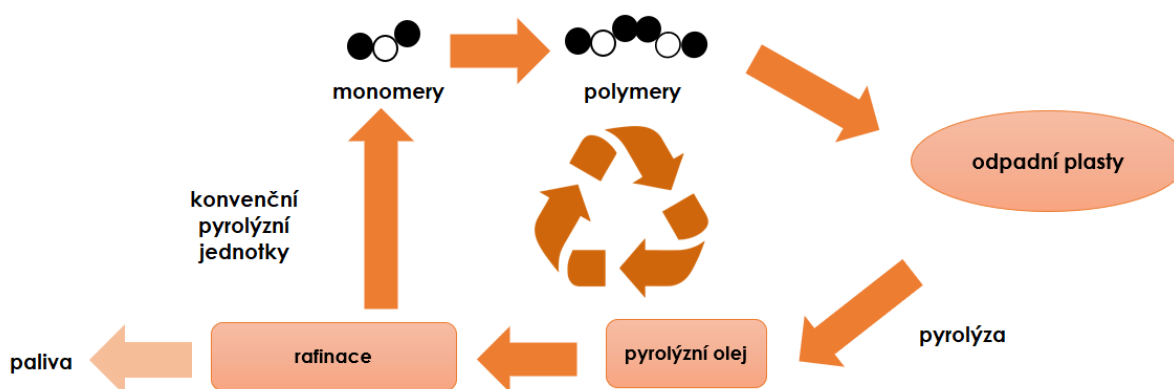


**Obr. 36:** Způsoby nakládání s odpady v ČR za rok 2019

[Zdroj: [Jaké máme způsoby nakládání s odpady a jaké opravdu využíváme? | Komunální ekologie \(komunalniekologie.cz\)](http://komunalniekologie.cz)

#### 4.2.5. Odpadní plasty jako surovina pro chemickou recyklaci

V reakci na rychlý nárůst množství plastového odpadu roste počet navrhovaných technologií, které mají účinně a udržitelně přeměnit odpadní plasty buď na palivo anebo na petrochemické suroviny. Jak již bylo zmíněno, existuje několik možností, jakým způsobem odpadní plasty recyklovat. Pro účely a charakter práce bude však detailněji popsána pyrolýza, což je jeden ze způsobů chemické recyklace a jeví se jako vhodný typ technologie při recyklaci odpadních plastů. Možné schéma implementace odpadních plastů do konceptu cirkulární ekonomiky je uvedeno na obrázku 37. V rámci hodnocení chemické recyklace je podstatné rozlišovat, zda se jedná o přeměnu odpadních plastů na plast podobné kvality (P2P – „Plastic to plastic“), či o přeměnu na jiné produkty s nižší hodnotou, jako jsou paliva (P2F – „Plastic to fuel“).



**Obr. 37:** Možnosti implementace odpadních plastů do konceptu cirkulární ekonomiky

Rozdíl mezi P2P a P2F spočívá v konečném použití produktů. V případě P2F se produkty nakonec spalují a nemohou tak splňovat, oproti P2P, koncept cirkulární ekonomiky, protože se nevyrobí nový plast. U těchto paliv je však zapotřebí dalšího zpracování, aby se jednak

zlepšila jejich kvalita a aby zároveň splňovaly legislativní normy. Stejně tomu tak je i v případě P2P. Vzhledem k povaze procesu a typu surovin je složité vyrábět pyrolýzní olej v takové kvalitě, která je nezbytná pro výrobu nových plastů. Pyrolýzní olej je tak nutné rafinovat, což znamená další provozní a investiční náklady, které celý proces prodražují. V rámci trvalé udržitelnosti je velmi podstatné, aby procesy nebyly příliš energeticky i materiálově náročné.

#### 4.2.5.1. Pyrolýza

Pyrolýza neboli termolýza (řecky: pyr = oheň, thermos = teplo, lysis = rozklad) je fyzikálně – chemický proces, který probíhá tak, že vlivem vysokých teplot (v rozmezí 150–900 °C) a bez přítomnosti zplyňovacích médií dochází k termickému rozkladu suroviny na níževroucí produkty.

Pyrolýza je nejefektivnější proces přeměny organických materiálů, zejména lignocelulózové biomasy, na paliva a jinak využitelné organické látky s potenciálem v budoucnu nahradit fosilní zdroje. V současné době je produkce pyrolýzního oleje, případně konkrétních látek z pyrolýzy, na technologickém rozhraní mezi vývojem a uvedením do praxe. Výzkum v oblasti pyrolýzy se v současné době zaměřuje na optimalizaci procesních parametrů spolu s následnou úpravou bio-oleje, případně se hledají tzv. „one pot“ řešení, která vedou k zisku žádaného produktu v jednom procesu.

Pyrolýzu lze rozdělit podle několika kritérií. Jednotlivé technologie se liší zejména druhem zpracovávané suroviny, procesními podmínkami (teplota, doba zdržení), či konstrukcí pyrolýzního reaktoru (typ, způsob ohřevu).

Podle doby zdržení rozlišujeme:

- Pomalou pyrolýzu, kdy dochází ke vzniku většího množství uhlí. Je to dáno dlouhou dobou zdržení materiálu v peci a pomalým zahříváním, přičemž probíhají repolymerační reakce, které vedou ke vzniku uhlí. Výhodou této technologie je možnost zpracování různých druhů vstupních surovin a nízké pořizovací náklady. Produkci ve velkém měřítku ale brání pomalý přenos tepla v objemu materiálu, a tudíž dlouhá doba zdržení materiálu v reaktoru.
- Rychlou pyrolýzu, kdy je pyrolýzovaný materiál rychle zahřát (10–200 °C/s). Zdržení materiálu v reaktoru je poměrně rychlé, v řádu vteřin a vzniklé páry jsou prudce ochlazovány. Rychlá pyrolýza se využívá nejčastěji k pyrolýzování pevné biomasy na kapalný produkt. K ovlivnění vzniku chemických látek se používají katalyzátory.
- Mžiková pyrolýza je charakterizována velmi rychlým zahřátím materiálu (10<sup>3</sup>–10<sup>4</sup> °C/s) a velmi krátkým zdržením v reaktoru, které je řádově desetiny vteřin. Materiál pro tento druh pyrolýzy musí mít malou zrnitost (do 0,2 mm). Pro rychlé zahřátí a krátkou dobu zdržení se využívají nejčastěji reaktory s fluidním ložem.

Podle reakční teploty rozlišujeme pyrolýzní procesy na:

- **Nízkoteplotní**, kdy se reakční teplota pohybuje maximálně do 500 °C.
- **Středněteplotní**, kdy se reakční teplota pohybuje od 500 °C do 800 °C
- **Vysokoteplotní**, kdy je reakční teplota vyšší, než 800 °C

Jako suroviny pro pyrolýzu se mohou používat:

- **Fosilní paliva** – uhlí
- **Biomasa** – především dřevní štěpka

- **Odpady s podílem organických látek** – např. pneumatiky, tříděný komunální odpad, plasty, nemocniční odpad
- **Kaly** – z nádrží na ropné látky, z barev a laků, které obsahují organická rozpouštědla, různé druhy olejů

### **Druhy pyrolýzních reaktorů**

Základem pyrolýzního procesu je reaktor. Oblast výzkumu a vývoje se zaměřuje na zlepšení základních charakteristik – vysoká rychlost ohřevu, dosahování optimálních teplot, krátkého zdržení par v reaktoru, k získání co největšího podílu kapalné fáze. Největší vliv na výtěžek kapalné fáze má teplota. Velikost částic a doba zdržení par v reaktoru pak ovlivňuje hlavně složení (Wang et al., 2005). Pyrolýzní reaktory můžeme rozdělit do tří skupin:

- **Vsádkové a semivsádkové reaktory** – s pevným ložem
- **Kontinuální reaktory** – s pohyblivým ložem, šnekový, rotační
- **Fluidní reaktory**

### **Reaktory s pevným ložem**

Celý systém se skládá z reaktoru, kde pyrolýzovaný materiál leží na pevném roštu, z něhož jsou těkavé produkty pyrolýzy unášeny procházejícím inertním plynem ( $N_2$ ). Ten následně prochází přes čistící a kondenzační systém, který se může skládat ze suchých filtrů, cyklónů nebo mokřých praček a kondenzačních nádob, kde lze separovat jednotlivé frakce podle teploty varu. Nevýhodou tohoto reaktoru je problém s odstraněním vzniklého pyrolýzního uhlí a diskontinuální provoz. Tento typ reaktoru se používá často v laboratorních podmínkách, kde je rychlejší přenos tepla v materiálu díky menšímu objemu reaktoru a vsádky.

### **Rotační reaktory**

Rotační reaktory jsou účinnější v přenosu tepla do vsádky než reaktory s pevným ložem, jelikož pomalá rotace nakloněné pece umožňuje dobré promíchávání. Pec je vyhřívána zpravidla z vnějšku spalováním pyrolýzního plynu a rychlost ohřevu je pomalá, tudíž je také dlouhá doba zdržení materiálu v peci. Jedná se o reaktory vhodné pro pomalou (konvenční) pyrolýzu. Výhodou tohoto typu reaktorů je možnost spalování nehomogenního materiálu, který nevyžaduje drahou předúpravu, a proto jde o nejběžnější typ pyrolýzní pece používaný pro pyrolýzu komunálního odpadu.

### **Šnekové reaktory**

Tato technologie je vhodná pro kontinuální pyrolýzu i jinak nevyužitelných a heterogenních materiálů. Místo nosného plynu je zde jeden nebo více šnekových dopravníků, které posouvají pyrolýzovaný materiál a zároveň ho promíchávají s předeřhřátým teplosměnným materiálem. Tento proces se někdy také nazývá jako pražení a poskytuje díky většímu zdržení materiálu v peci větší podíl pevného produktu.

### **Vsádkové a semivsádkové reaktory**

Vsádkový reaktor je uzavřený systém bez přívodu a odvodu reaktantů či produktů po celou dobu reakce. Reaktor je nejčastěji vyhříván externě elektrickou pecí. Jako nosný plyn se používá dusík nebo jiný inertní plyn. Vysoké konverze lze dosáhnout prodloužením reakční doby, takže jsou vhodné spíše pro pomalou pyrolýzu. Nevýhodami vsádkového reaktoru je však nízká variabilita produktu a obtížnost výroby ve velkém měřítku. Semivsádkový reaktor pak umožňuje do určité míry



přidávání reaktantů a odběr produktů. Tato flexibilita v průběhu reakce je výhodou hlavně ve smyslu selektivity. I přesto je tento typ vhodnější pro výrobu v malém měřítku.

### **Kontinuální reaktory**

Jedním z typů kontinuálního reaktoru je šnekový reaktor. Skládá se z jednoho či více šnekových šroubů a může být provozován jak v horizontální, tak ve vertikální poloze. Spirála se nejčastěji ohřívá nepřímo, a to pomocí otopné kapaliny, která je vedena uvnitř šroubovice nebo v obalu reaktoru. Ovšem nevýhodou je, že mohou lokálně, v horkých zónách, vznikat spáleniny. Doba zdržení se pak odvíjí v závislosti na délce reaktoru a na rychlosti otáčení šroubovice. Tento typ reaktoru je zpravidla využíván i na úrovni průmyslového měřítka.

### **Fluidní reaktory**

Tento typ reaktorů je populární pro použití zejména při rychlé pyrolýze, jelikož umožňuje rychlý přenos tepla, dobrou kontrolu pyrolýzních reakcí a doby zdržení páry v reaktoru. Jako pevná fáze fluidního lože se používá ohřátý písek, který ohřívá pyrolýzovaný materiál. Vzniklé uhlí je odnášeno společně s produkovanými plyny a paramia následně je odloučeno v cyklónovém odlučovači. Kondenzací zbylých par se získává pyrolýzní olej. Mezi nejběžnější typy fluidních reaktorů patří:

- Reaktor se stacionární fluidní vrstvou – doba zdržení 2 s–3 s
- Reaktor s cirkulující fluidní vrstvou – doba zdržení 0,5 s–1 s, vyšší rychlost vede k vyššímu obsahu pevného podílu v pyrolýzním oleji

#### **4.2.5.2. Klíčové procesy pyrolýzy odpadních plastů**

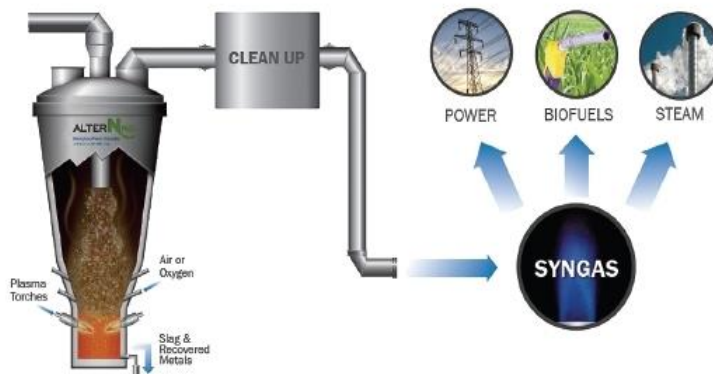
Klíčové ve světě provozované procesy pyrolýzy odpadních plastů jsou krátce představeny v **Příloze č. 2**.

#### **4.2.5.3. Zplyňování odpadních plastů**

Jednou z možností energetického využití odpadů je jejich převedení do plynné fáze zplyňováním. Vyrobený energoplyn resp. synplyn může nahradit v některých případech ušlechtlejší formy energie jako např. zemní plyn nebo topné oleje. Po vyčištění na parametry požadované výrobcí plynových motorů (dehty max 50 mg/m<sup>3</sup>n, prach max 50 mg/m<sup>3</sup>n) může být použit jako palivo pro kogenerační jednotky výroby elektrické energie. Jinou možností je využití vzniklého syntézního plynu pro chemické aplikace. Podrobnější popis syntetických možností využití synplynu je uveden na jiném místě. V současnosti se za perspektivní postup zplyňování odpadů pokládá plazmatická technologie.

Plazmové zplyňování komunálního odpadu umožňující konverzi odpadu na syntézní plyn využitelný na výrobu alternativních paliv a klíčových chemikálií. Typická kapacita zpracování komunálního odpadu je 200 000 t/rok. Surovina – odpadní plasty – splňuje svým zařazením parametry udržitelnosti definované v evropské direktivě RED II z roku 2018. Princip této inovativní technologie spočívá v termickém rozkladu odpadních látek za vysokých teplot a nepřístupu vzduchu. Výstupem je syntézní plyn o vysoké energetické hodnotě, který je po přečištění dále možno vhodnou technologií okamžitě převádět na vhodné nosiče energie (pokročilá alternativní paliva) nebo na základní petrochemikálie s vysokou čistotou (etylen, propylen aj.). Plazmové zplyňování odpadu se proti klasickému spalování odpadu liší v teplotě. Klasické spalovny

komunálního odpadu pracují při teplotách mezi 800 °C až 900 °C, zatímco teploty při plazmovém zplyňování odpadu přesahují v okolí elektrického výboje 3000°C. Vysoká teplota v reaktoru a následné rychlé zchlazení vzniklého syntézního plynu minimalizují vznik dioxinů. Technologií plazmového zplyňování jsou vstupní odpady přeměněny na čistý syntézní plyn, který může být následně transformován na různé formy energie.



**Obr. 38:** Plazmové zplyňování – princip

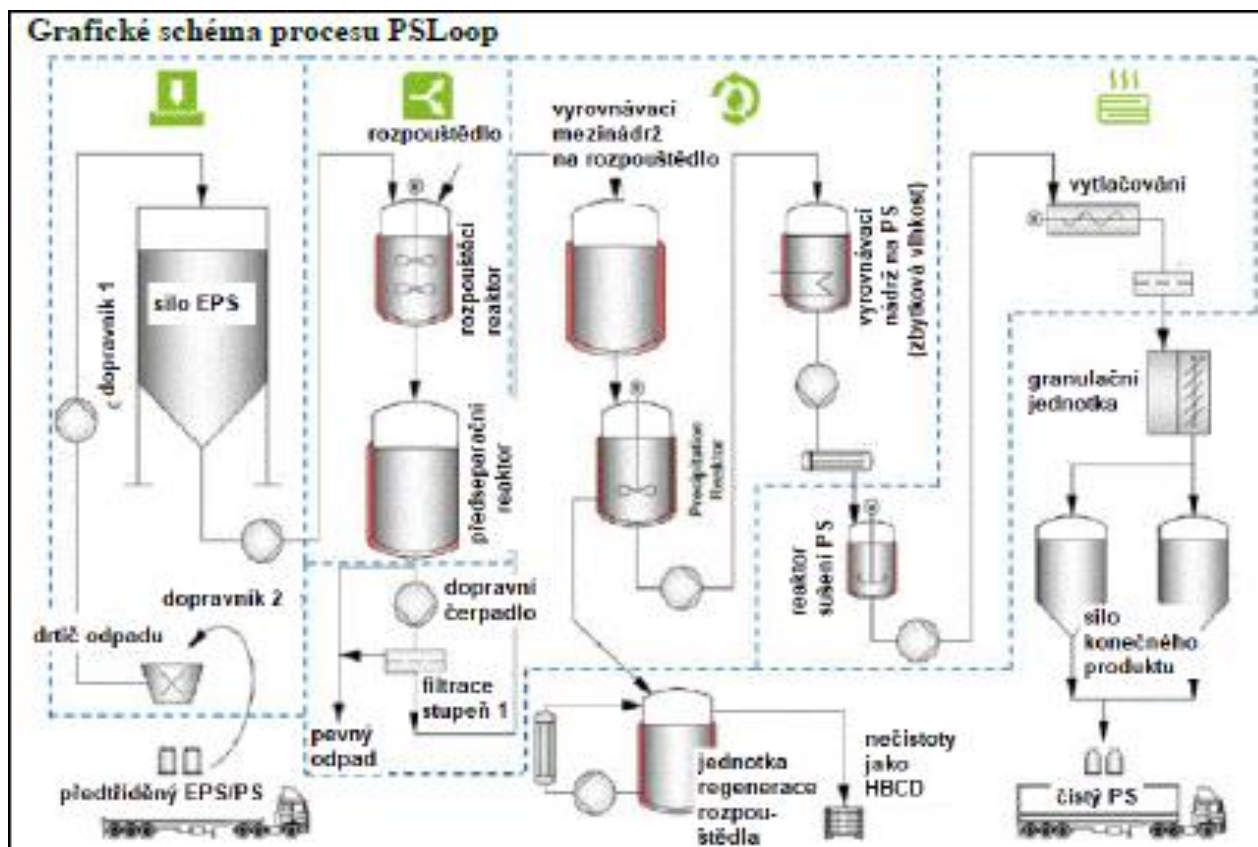
[Zdroj: Alter NRG Corp / Westinghouse Plasma Corp.]

Celkově plazmové zplyňování představuje následující výhody:

- Různorodá vsázka
  - Zpracování heterogenní vsázky při její minimální přípravě
  - Zpracování odpadu s vysokým obsahem inertní složky a vlhkosti
- Téměř 100% konverze uhlíku
- Sklovitá stuska – vitrifikát je inertní, nevyluhovatelná, nekontaminuje půdu ani vodu, následná využití ve stavebnictví
- Syntézní plyn může být vyroben podle požadavků na jeho další zpracování (turbína, kotle, výroba etanolu, pokročilých biopaliv)
- Spalování syntézního plynu po jeho vyčištění má obdobné dopady na životní prostředí jako spalování zemního plynu
- Podporuje tzv. zásadu 3R pro nakládání s odpady – omezit (reduce), využít (reuse), recyklovat (recycle)

#### 4.2.5.4. Separované rozpouštění

Tzv. separované rozpouštění plastových odpadů je z popisovaných metod chemické recyklace nejmladší. Pilotní projekty testují možnosti, kdy rozpouštěním plastového odpadu, především polypropylenu a polyesteru, vzniká vlákno využitelné v textilním průmyslu. Rozpouštění se používá v případech, kdy je plastový odpad znečištěn cizorodými a těžko oddělitelnými příměsemi (nelze je oddělit standardními postupy, jako je oddělení PVC a PET od PP a PS podle hustoty za použití vodní nádrže). Využití separovaného rozpouštění je proto zvláště vhodné v případě recyklace některých typů PVC ze smíšeného plastového odpadu separovaného ze smíšeného komunálního odpadu. Metoda spočívá v rozpouštění PVC pomocí různých rozpouštědel a následné separace cizorodých látek pomocí filtrů. Vyčištěný PVC je poté znova vysrážen např. pomocí vodní páry.

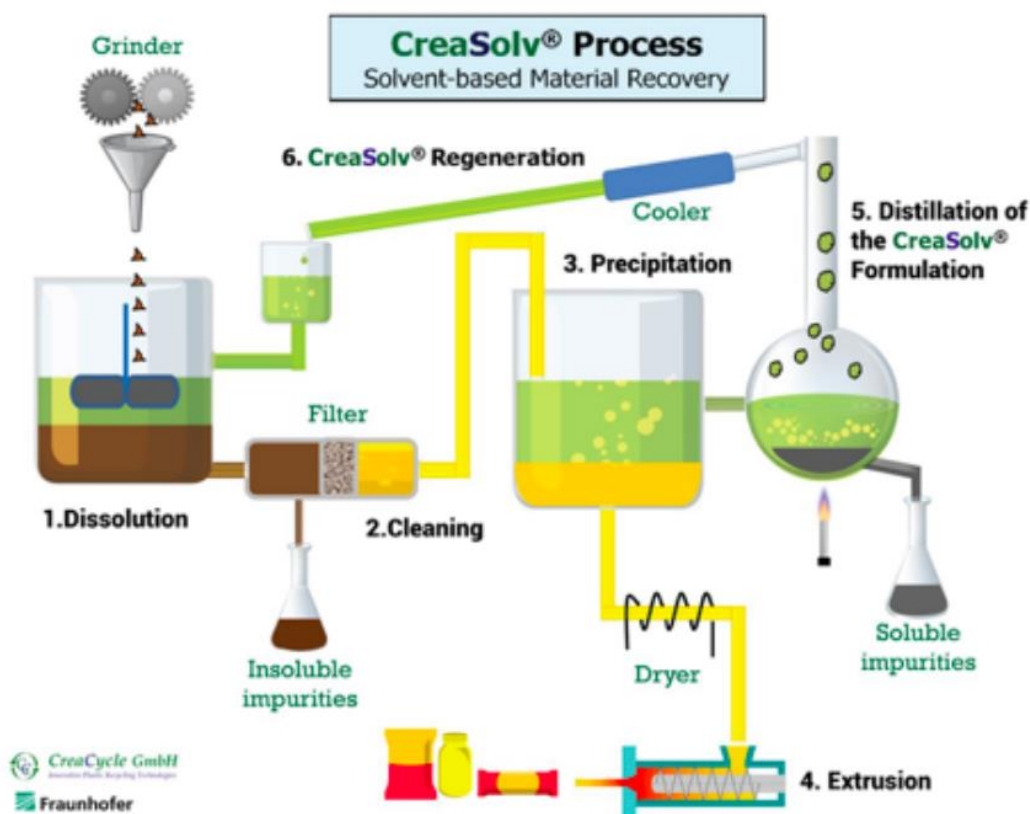


**Obr. 39:** Grafické schéma procesu PSLoop

Rozpouštědlová recyklace je proces, ve kterém jsou plasty rozpuštěny ve vhodném rozpouštědle, dojde přitom k oddělení polymerů od aditiv a přidaných materiálů /vlákna, plniva, barviva/ a kontaminantů. Výstupem jsou recyklované polymery, které mohou být modifikovány. Tento proces umožňuje recyklaci i dalších cenných složek z plasty.

#### 4.2.5.5. Solvolýza

Selektivní extrakci vybraných polymerů a monomerů lze také provádět pomocí metody solvolýzy. Solvolýza umožňuje selektivní rozpouštění cílového polymeru. Je proto v odvětví recyklace plastových odpadů využitelná. K procesu solvolýzy je nutné využití rozpouštědel, jako jsou např. alkohol či voda. V případě vody se procesu říká hydrolýza. Fungování solvolýzy v oblasti chemické recyklace lze znázornit na technologii společnosti Creacycle s názvem CreaSolv. Na obrázku níže (obr. 40) lze vidět, že proces probíhá v šesti krocích. Po přípravě plastového odpadu (třídění, drcení apod.) je dalším krokem rozpouštění pomocí na míru připraveného rozpouštědla. Dalším krokem je čištění od nerozpustných nečistot, z čehož vzniká čirý roztok. Část vzniklých nečistot lze dále zpracovat či recyklovat. Následuje srážení a oddělení žádaného polymeru, které je umožněno změnou rozpustnosti materiálu. Následuje extruze sušeného recyklovaného polymeru do nových granulátů s velmi podobnými vlastnostmi jako tzv. virgin materiál. Tím je umožněno využití materiálu na stejné úrovni jako u původní aplikace. Posledním krokem je destilace, kde dochází ke shromáždění a dalšímu čištění roztoku od nečistot.



**Obr. 40:** Solvolýza v zařízení společnosti Creacycle

[Zdroj: [Creacycle - 2020.01.16 The CreaSolv® Process is neither a Solvolysis nor Chemical Recycling](#)]

#### 4.2.5.6. Recyklace odpadních pneumatik

V současnosti se ojeté pneumatiky stávají vážným problémem. V mnoha zemích způsobují četné environmentálních a ekonomické potíže. Jejich postupná akumulace na skládkách je jedním z nejzávažnějších problémů s tuhým odpadem v průmyslově vyspělých zemích. Přestože ojeté pneumatiky reprezentují jen méně než 2 % komunálního odpadu, způsobují značné problémy, zejména v důsledku velmi nízké biologické odbouratelnosti, nízké hustoty z hlediska profilu, resp. tvaru a dalších technických důvodů.

Odhadnout celkové množství gumárenských odpadů je komplikované. Gumový odpad jednak vzniká jako průmyslový odpad při výrobě gumárenských výrobků a používáním pryžových výrobků, které ztrácejí své užité vlastnosti. V úvahu je třeba brát i skutečnost, že údaje týkající se evidence nejsou úplné. Obecně lze říci, že nejvýznamnější složkou pryžových odpadů představují ojeté pneumatiky a odpad vznikající při obnově (protektorování) pneumatik.

Kromě toho, že ojeté pneumatiky na skládkách výrazně zhoršují kolorit země, jsou velmi často příčinou vzniku obrovských požárů, při kterých unikají do atmosféry zdraví škodlivé látky. Jsou to především aromatické uhlovodíky, benzen, toluen, styren a tuhé částičky (PM), které způsobují vážné ekologické kontaminace. Využití recyklovaných pneumatik v USA bylo ve skutečnosti více rozšířené před třicátými lety minulého století než v současnosti. V šedesátých letech minulého století recyklované gumárenské suroviny představovaly 20 % z výchozích průmyslových gumárenských surovin. Avšak zavedením a postupným rozšířením syntetických kaučuků na výrobu radiálních pneumatik (ocelové kordy) poklesl podíl recyklovaného gumového odpadu ve výchozí

surovině na přibližně 2 %. V posledních letech došlo v oblasti recyklace pneumatik k novým technologickým inovacím, jakými jsou chemická devulkanizace, povrchová úprava a použití nových pojidel. Tento trend zajistí znovuoživení vyšší míry recyklace ojetých pneumatik ve výrobě technických gumárenských produktů.

Zkrácení řetězce recyklace automobilových pneumatik v současnosti v USA ještě nepřichází v úvahu. Přesto jsou existující údaje velmi povzbudivé, zejména z hlediska využití ojetých pneumatik na výrobu paliv (1994 101 Mt, 1995 131 Mt, 1996 → 172 Mt).

Recyklace ojetých pneumatik z osobních a nákladních automobilů je obrovskou příležitostí pro mnohé firmy, zvláště když vezmeme v úvahu, že pneumatiky jsou kompozitem kaučuků, řady gumárenských chemikálií, vyztužené textilními vlákny a ocelovými kordy. Gumárenské komponenty jsou vulkanizované (tj. chemicky příčně pospojovány). Tvary, pružnost a nízká hustota ojetých pneumatik způsobují obtíže při jejich dopravě a výrobě gumové drtě.

V nakládání s odpadními pneumatikami dlouhodobě převládá materiálové zhodnocování. V roce 2013 dosáhla úroveň recyklace odpadních pneumatik 72 %. Energeticky bylo regenerovaných 11 % vzniklých odpadních pneumatik. Zneškodňování odpadních pneumatik skládkováním je minimální. Podle zákona o odpadech i nového zákona o odpadech se zakazuje skládkování odpadních pneumatik a drcených odpadních pneumatik. Výjimku z uvedeného zákazu mají odpadní pneumatiky, které lze použít jako konstrukční materiál při budování skládky, pneumatiky z kol a pneumatiky s větším vnějším průměrem než 1 400 mm.

### **Suroviny na výrobu pneumatik**

Recyklace umožňuje znovunavrácení opotřebovaných pneumatik do spotřebního cyklu, a to ve formě nových chemikálií a paliv. Abychom mohli uvažovat o jak cenné chemikálie a paliva se jedná, musíme znát z jakých komponent, resp. výchozích surovin se pneumatiky vyrábějí. Základem výroby pneumatik jsou gumárenské suroviny a chemikálie.

Recyklace gumárenských materiálů zahrnuje poměrně široké spektrum kaučuků. Přibližně 94 % z celkového množství světové spotřeby, mají kaučuky termosetový charakter. Zbývajících 6 % gumárenských produktů je založeno na termoplastických elastomerech. Kromě pneumatik mají termosetový charakter i hnací řemeny, automobilové hadice a další komponenty výrobků pro brzdící systémy, které nakonec také skončí v gumárenském odpadu.

### **Kaučuky**

Přírodní a syntetický kaučuk se již poměrně dlouho komerčně využívá na výrobu jednotlivých druhů gumárenských výrobků. Kaučuky jsou elastomerové polymery (elastomery), které mají charakteristickou přítomnost síťované struktury. Díky pružnosti se pak guma dokáže deformovat působením vnější síly.

Přírodní kaučuk představuje 25 % z celkové spotřeby výchozích gumárenských surovin. Získává se z kaučukovníků *Hevea brasiliensis*. Je tvořen izoprenovými jednotkami v cis-1,4-formě. Přírodní kaučuk se používá na výrobu pneumatik, latexu, mechanických výrobků a obalů. Komerčně se používají různé syntetické kaučuky, např.: styren-butadienový (SB), polybutadienový, etylen-propylenový, butylový a halogen-butylový. Mezi nejdůležitější patří styren-butadienový kaučuk. Tvoří hlavní složku v pneumatikách osobních automobilů. Je základní komponentou prakticky ve všech vyráběných pneumatikách.

Kaučuky se nejdříve podrobují vulkanizaci nebo se zpracovávají jinými technologickými procesy za účelem zlepšení jejich vlastností. Vulkanizace se provádí běžně reakcí se sírou za vzniku

třídídimenzionální struktury, v níž síra vytváří můstky mezi polymerními řetězci. Mezi další vulkanizační činidla patří peroxidy, kovové oxidy a aminy. V případě gumárenských výrobků se na zlepšení vlastností používají i další přísady, známé jako gumárenské chemikálie: akcelerátory, aktivátory, retardéry, antioxidanty, antiozonanty, změkčovadla, plastifikátory a plniva.

### Složení pneumatik

Poměrně složitá struktura pneumatik způsobuje obtíže při jejich recyklaci. Pneumatiky se mohou vyrábět ze dvou kaučuků. Z přírodního (NR) a syntetického kaučuku, např. butylového (BR) nebo styren-butadienového kaučuku (SBR). Nejčastěji se používá styren-butadienový kopolymer (SBR), který obsahuje 25 % hm. styrenu. Přibližné a elementární složení suroviny reprezentující opotřebované pneumatiky je uvedeno v tab. 14.

**Tab. 14:** Charakteristika ojetých pneumatik

Složka	Obsah
Uhlík	86,7
Vodík	8,1
Dusík	0,4
Síra	1,4
Kyslík	1,3
(Popel)	2,1
Fixovaný uhlík	29,5
Těkavé podíly	61,9
Popel	8,0
Vlhkost	0,7
Spalné teplo (MJ·kg <sup>-1</sup> )	36,2

Z tabulky je zřejmá vysoká hodnota spalného tepla. V porovnání s typickými hodnotami uváděnými pro hnědé uhlí je srovnatelný obsah uhlíku a síry. Obsah dusíku je nižší a obsah vodíku je vyšší. Nižší je obsah vlhkosti, popela a vázaného uhlíku. Typické složení pneumatik je uvedeno v tab. 15.

**Tab. 15 :** Charakteristické složení pneumatik (% hm.)

Složka / literatura	[1]	[2]	[3]
Syntetický kaučuk (SBR)	62,1	27	60-65
Přírodní kaučuk (NR)	-	14	
Saze	31,0	28	29-31
Syntetická vlákna (např. NYLON)	-	4	-
Změkčovadla	1,9	10	~ 2

Ocelový kord	-	10	
Petrochemikálie	-	4	
Plniva (S, ZnO, TiO <sub>2</sub> )	-	3	
Přísady	-	-	~ 2
ZnO	1,9	-	2-3
Kyselina stearová	1,2	-	
Síra	1,1	-	1-2
Akcelerátor	0,7	-	
<b>Celkem</b>	<b>99,9</b>	<b>100</b>	

#### 4.2.5.7. Mechanická recyklace opotřebených pneumatik

Mechanická nebo materiálová recyklace ojetých pneumatik se skládá z několika zpracovatelných stupňů a procesů: sběr a separace, odstraňování znečištění a kontaminace. Po nich následují mechanické aplikace:

- **Drcení.** Protože pneumatiky jsou objemné a mají elastický charakter, musí se před jakoukoli recyklací nebo zpracováním rozdrtit na menší části. Pneumatiky, které se používají jako vstupní suroviny pro výrobu sypkého gumárenského materiálu nebo paliva se před použitím drtí na 2,5 × 2,5 nebo 5×5 centimetrovou drť. Granulace gumové drtě a separace ocelových a vláknitých kordů z pneumatik se realizuje několika způsoby. V důsledku značné roztažnosti vláknitých kordů a pružnosti kaučuků v automobilových pneumatikách probíhá drcení pneumatik v těžkých mechanismech a patří mezi nezbytné operace.
- **Mletí.** Gumová drť se mletím drolí na menší granulky. Proces běžně probíhá ve čtyřech stupních: 1. drcení, 2. separace, 3. granulace, 4. hodnocení. Mletím se získává kvalitní jemný sypký materiál práškovitého charakteru (průměr 1-2 mm), z něhož jsou již na 98-99 % odstraněny ocelové kordy a textilní vlákna.

Pneumatiky se nejdříve rozdělí na základě stáří a složení. Pomocí stoupajícího pásového dopravníku přicházejí do drtiče, ve kterém se získá drť o velikosti 5 × 5 cm a následně drobnější o průměru 2,5 cm. Mezi drtičem a granulátory procházejí částičky mezi silnými pásovými magnety, které odstraní 90-95 % ocelového materiálu. V procesu zmenšování objemu je odstraňování textilu z rozdrčených pneumatik extrémně náročné a obtížné z hlediska získání požadované čistoty granulovaného materiálu. V gumové drti je přítomnost zbytkových vláken prakticky nepřijatelná, zejména když se mají využívat spolu s pojídel. Velký povrch vláken adsorbuje relativně velké množství cenově náročných pojidel. Jemná textilní vlákna se odstraňují ve speciálním vzduchovém aspirátoru. V těchto zařízeních odcházejí jemná vlákna vrchem a těžší gumové granulky spodem zařízení.

V granulačním stupni se drť zmenšuje na částičky o průměru 6 mm, přičemž uvolňující se textilní vlákna se odstraňují ve speciálně vyvinutém zařízení s rotory majícími ostré nože za použití vzdušné separace. Takto získaný gumárenský granulát znovu prochází magnetickým polem, aby se odstranily zbytky ocelových kordů. Následně se uvolňuje velmi jemný textil v cyklónovém

separátoru. Částičky gumy pak vstupují do dalšího granulátoru, ve kterém se průměr granulek z 6 mm zmenšuje na 1,7 mm.

Čtvrtý stupeň je separační. Zde se ocelové a textilní nečistoty a jemný prach separují pomocí sady sít.

Pneumatiky z osobních aut je obtížnější zpracovat na jemný gumárenský granulát než pneumatiky z nákladních automobilů v důsledku většího obsahu textilií. Z tohoto pohledu je pochopitelné, proč se v Evropě a USA více zpracovávají pneumatiky z nákladních aut.

**Kryogenní granulace.** Jemná zrníčka se dají získat ochlazením gumové drti v kapalném dusíku při teplotě  $-195,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při kryogenní granulaci se gumárenská drť prudce ochladí v kapalném dusíku "v mrazicí troubě". Následně se rozseká v kladivovém mlýně na jemnější zrnění. Současně se uvolní ocelový a textilní podíl. Kryogenní proces poskytuje granule velmi jemného zrnění s relativně hladkým povrchem. Zrnění z kryogenně granulovaných pneumatik má pravidelnou velikost a je díky nízkému povrchu srovnatelné s částičkami získanými klasickým mletím pneumatikové drti. Částičky získané klasickým mletím jsou již na první pohled větší s širší škálou distribuce velikosti v porovnání s granulami z kryogenního způsobu.

Klasický způsob mletí se stává nákladnějším v případě, že chceme získat částičky velmi jemného zrnění  $<250\text{ }\mu\text{m}$ . V takovém případě potřebujeme ještě další granulátor. Kryogenní granulace je ekonomičtější a rychlejší při výrobě velmi jemných částic. Částičky získané mletím klasickým způsobem vypadají pod mikroskopem rozvlákněné a mají vláknitý charakter. Naproti tomu částice z kryogenní granulace mají ostré hrany s hladkým povrchem.

**Kvalita granulátu.** Mezi profilující vlastnosti, které rozhodují o kvalitě granulátu, patří distribuce velikosti částiček a úroveň kontaminace textilními vlákny. Nejpreferovanější velikostí zrnění je  $850\text{ }\mu\text{m}$  (20 mesh). Přítomnost textilních vláken a ocelových kordů je nežádoucí. Má být minimalizována na nejnižší možnou míru. Nejnovější ASTM norma uvádí obsah kordů pod 0,1 % hm. a vláken nižší než 0,5 % hm.

#### 4.2.5.8. Pyrolýza

V posledních letech se pozoruje zvýšený zájem o transformaci gumárenských odpadů, zejména ojetých (opotřebovaných) pneumatik využitím pyrolýzy nebo termického rozkladu. Díky tomu, že pneumatiky kromě kaučuku obsahují značné množství i dalších složek, stává se pyrolýza pneumatik mnohem složitějším procesem než pyrolýza samotného kaučuku.

Reprezentativní složení a zastoupení jednotlivých složek je uvedeno v tab. 16.

**Tab. 16:** Reprezentativní složení pneumatiky

Složka	Obsah (% hm.)
Syntetický (SBR) a přírodní kaučuk	60-65
Saze	29-31
Oxid zinečnatý	2-3



Síra	1-2
Změkčovadla	~ 2
Příspěvy	~ 2

Při pyrolýze pneumatik vznikají principiálně tři druhy produktů: plynné, kapalné a tuhé zbytky. Materiálová bilance pyrolýzy odpadních pneumatik ve fluidním průtočném reaktoru je uvedena v tab. 17.

### Pyroplyn z použitých pneumatik

S rostoucí teplotou (do 600 °C) klesá tvorba tuhých uhlíkatých produktů. Naproti tomu se favorizuje tvorba plynů a kapalných pyrolýzních produktů.

**Tab. 17:** Materiálová bilance pyrolýzy ojetých pneumatik (výtěžky počítány na vstup gumárenské suroviny)

Teplota (°C)	500	600
<b>Plynné produkty (% hm.)</b>		
<b>Plyny celkem (% hm.)</b>	<b>5,0</b>	<b>9,1</b>
Složení (% hm.)		
Vodík	0,15	0,38
Oxid uhelnatý	0,20	0,10
Metan	0,39	0,90
Etan	0,34	0,64
Etylen	0,25	1,08
Propan	0,20	0,23
Propylen	0,31	1,12
<b>Kapalné produkty (% hm.)</b>		
<b>Předestilovaný podíl celkem (% hm.)</b>	<b>25,0</b>	<b>29,0</b>
Alifatické uhlovodíky celkem	5,2	4,9
<b>Destilační zbytek / dehty (% hm.)</b>	<b>40</b>	<b>22</b>
<b>Koks / saze</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
Materiálová bilance v % celkem	100	100, 1

Hodnoty spalného tepla pyroplynu vznikajícího při pyrolýze pneumatik v průmyslových procesech se pohybují od 34,6 do 40 MJ·m<sup>-3</sup>. Pyrolýzní plyn se díky vysoké kalorické hodnotě úspěšně používá pro vlastní potřebu technologie.

### Pyrokapalina

Kapalný uhlovodíkový podíl má molekulovou hmotnost až do 1660 g·mol<sup>-1</sup>, s největším zastoupením složek s molekulovou hmotností kolem 400 g·mol<sup>-1</sup>. V pyrolýzním oleji bylo identifikováno široké spektrum uhlovodíků

Obecně se soudí, že oxid zinečnatý a síra přítomné v pneumatikách spolu reagují za vzniku sulfidu zinečnatého. Síra pak v rozhodující míře zůstává jako složka popela v koksu. Plynné a kapalné produkty z tohoto důvodu mají relativně nízký obsah sirných látek. Proto mohou být kvalitní složkou paliv s nízkým obsahem síry a emisemi. V typických pyrolýzních experimentech zůstává až 78 % hm. původní síry v pyrolýzním koksu. Do plynné formy prochází jen kolem 1 % (přednostně jako sulfan) a do pyrokapaliny projde běžně okolo 2 %-9 % hm. síry. Jelikož tvorba kapalných pyrolýzních produktů je vysoká, vytváří se tím značný prostor pro pyrolýzu odpadních pneumatik s cílem náhrady fosilních paliv jako zdrojů kapalných uhlovodíků. Pyrokapalinu lze použít buď přímo jako palivo nebo dodávat do rafinerie ropy jako cennou petrochemickou surovinu

S rostoucí teplotou klesá nejen tvorba pyrokapaliny, ale i její spalné teplo. Naproti tomu roste množství pyroplynu. Příčinou může být buď hydrogenační štěpení nebo poměrně rychlé odvádění primárně vznikajících produktů z pyrolytické zóny reaktoru. A to ještě předtím, než začnou probíhat ve zvýšené míře sekundární reakce.



**Obr. 41:** Výsledná pyrokapalina

[Zdroj: <https://www.pyrum.net/en/solutions/products/pyrum-oil/>]

### Pyrolýzní koks

Cenným produktem při pyrolýze ojetých pneumatik je tuhý zbytek. Jedná se o uhlíkový materiál (pyrouhlík, saze, koks). Koks sestává hlavně ze sazí a směsí produktů z degradace gumárenských materiálů, jakými jsou nauhličené polymery kaučuku, netěkavé uhlovodíky a menší množství přísad na bázi gumárenských chemikálií (zinek, síra, hlinky, silikagel). Anorganické složky nacházející se v ojetých pneumatikách mohou skončit jako nečistoty nebo popel v pyrolýzním koksu.

Kvalita a výtěžky získaného pyrolýzního koksu patří mezi důležitá kritéria ekonomického hodnocení technologického procesu pyrolýzy ojetých pneumatik. Výtěžky pyrokoksu začínají stoupat od 30 % hm. (při 500 °C), což je hodnota přidávaného množství sazí do výchozího materiálu (kaučuku), až do 40 % hm. (při 600 °C). Současně roste jeho specifický povrch z hodnoty 73 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> (při 500 °C) na 85 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> (při 600 °C). Zatímco extrahovatelný podíl při nižší teplotě činí okolo 2 %, při vyšší teplotě je to jen 0,2 % hm.

#### 4.2.6. Technologie pyrolýzy opotřebovaných pneumatik

V průběhu posledních let minulého a začátkem tohoto století bylo vyvinuto a odzkoušeno velmi mnoho procesů pro pyrolýzu ojetých pneumatik za účelem získání cenných produktů z gumárenských odpadů. Při pyrolýze pneumatik se odzkoušely následující typy reaktorů: míchané vsázkové reaktory, rotační pece, reaktory s pevně uloženým ložem, reaktory s fluidní vrstvou a šachtové systémy. Mnoho z uvedených typů reaktorů se v současnosti používá v laboratorním, pilotním, poloprovozním i průmyslovém měřítku.

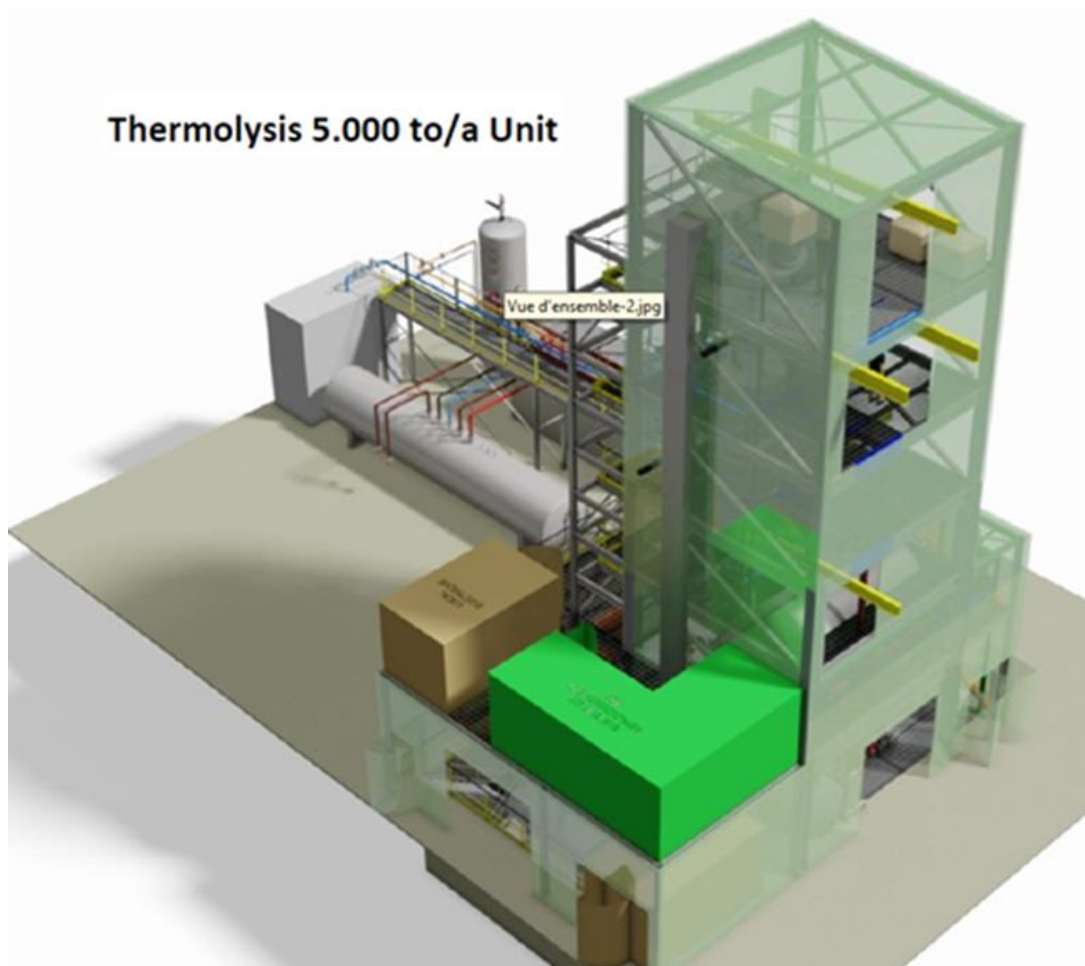
Novým způsobem recyklace ojetých pneumatik je velmi rychlá pyrolýza probíhající v kontinuálním ablativním reaktoru. Na zařízení s ablativním reaktorem se uskutečnil úspěšný pyrolýzní rozklad ojetých pneumatik, při kterém se získaly v maximální míře žádané pyrolytické produkty. Současně se potlačoval průběh sekundárních polymeračních a kondenzačních reakcí. Pyrolýzní proces probíhal velmi rychle za velmi výhodných kinetických podmínek.

V zařízení se ohřívají pevné částičky získané z ojetých pneumatik na vysokou teplotu ablativním způsobem na horkém povrchu při době zdržení kratší než 1 sekunda. Doba zdržení se kontroluje průtokem nosného plynu (dusíku).

Surovina ve tvaru válečkovitých částiček se dávkuje ze zásobníku. Pyroplyn vznikající v průběhu termického rozkladu se odtahuje z reaktoru pomocí mechanického vakuového čerpadla. Následně parciálně kondenzuje.

Je třeba zdůraznit, že koks získaný z pyrolýzního oleje obsahuje podstatně menší množství síry a popela ve srovnání se standardním ropným koksem. Velmi cenné je, že tuhé podíly neobsahují vanad, který je nežádoucím elementem z hlediska kvality koksu. Tyto výsledky poukazují na potencionální využití pyrolýzního oleje z rozkladu ojetých pneumatik jako zdroje vysoce kvalitního koksu a dalších velmi zajímavých surovin pro rafinerie.

Jak bylo již uvedeno, pyrolýza patří mezi nejvhodnější způsoby recyklace heterogenních materiálů, jakými jsou směsné odpady a plastové zbytky z automobilů, včetně ojetých pneumatik. **Tepelné štěpení plastových odpadů uskutečnila v průmyslovém rozsahu firma BASF v Německu. Díky pružnosti procesu a designové jednoduchosti se stala recyklace pomocí pyrolýzy ekonomicky životaschopná.**



**Obr. 42:** BASF pyrolýza

[Zdroj: <https://www.pyrum.net>]

Pyrolýza plastových odpadů probíhá v pecích, které umožňují vysokou tepelnou účinnost na úrovni 75-85 %. Na pyrolytické jednotce se přeměňuje plastový odpad na pyrolýzní plyn, pyrolýzní olej a pyrolýzní koks. Pyrolýzu můžeme považovat spíše za součást vícestupňového procesu než samostatný integrovaný systém.

#### **4.2.7. Aktuální a budoucí rozvoj – připravované investice ve světě**

Průmysl zaměřený na chemickou recyklaci je celosvětově velmi aktivní v budování pokročilých pilotních a výrobních jednotek a zahajování velkých nových investic v oblasti cirkulární ekonomiky. Pod tlakem legislativy a stanovených cílů udržitelnosti se celosvětově plánuje celá řada projektů zaměřených na chemickou recyklaci. Toto úsilí bude gradovat v letech 2021 až 2025. Následuje shrnutí investičního rozvoje velkých chemických společností.

Na začátku roku 2022 oznámila společnost Plastic Energy svůj záměr vybudovat druhý recyklační závod ve španělské Seville, který bude transformovat plastové odpady na surovinu nazývanou Tacoil. K tomu využijí svou patentovanou recyklační technologii založenou na pyrolýze. Firma TotalEnergies tuto surovinu využije na výrobu polymerů původní kvality. Nový závod bude

zpracovávat až 33 000 tun/rok a očekává se zahájení provozu počátkem roku 2025. Společnost LG Chem provedla značnou kapitálovou investici do společnosti Mura, která v roce 2021 oznámila uzavření partnerství s firmou Dow a zakoupili proces licence od partnera společnosti Mura KBR k používání Hydro-PRT technologie v hydrotermálním zařízení v Jižní Korei, s kapacitou až 25 000 tun ročně. Nový závod Mury nacházející se v závodě Dow's Böhlen v Německu se má stát nejnovějším z řady plánovaných projektů po celém světě navrhovaných k rychlému rozvoji technologie chemické recyklace. Zařízení, s očekávaným zahájením provozu do roku 2025, by mělo dodávat přibližně 120 000 tun/rok při plném provozu. Toto a další plánované jednotky by celkově mohly přidat až 600 000 tun/rok kapacity do roku 2030. Firma Honeywell zakládá společný podnik Avangard Innovative, aby spoluvlastnily a provozovaly závod na chemickou recyklaci v rámci NaturaPCR společnosti Avangardkomplexu ve Walleru v Texasu. Komplex využije Technologie UpCycle Process společnosti Honeywell, a technologie založené na pyrolýze, kterou Honeywell spustil v roce 2021. Plánované zařízení bude mít kapacitu 30 000 tun/rok. Očekává se zahájení výroby v roce 2023.

Honeywell také podepsal memorandum o porozumění s egyptskou firmou Environ Adapt for Recycling Industries k prozkoumání možnosti otevření prvního UpCycleequipped zařízení v zemi. Memorandum o porozumění umožňuje firmě Environ zpracovat studii proveditelnosti k prozkoumání trendů, dostupnosti surovin a potenciálních trhů, stejně jako provádět technické studie týkající se provozu závodu a navrhnout časový harmonogram projektu. Americká chemická recyklační společnost Encina vyčlenila 55 milionů \$ vlastního kapitálu s účastí IMMInvestice Global a SW Recycle Fund. Oznámila, že kromě 20 milionů dolarů použila finanční prostředky k zajištění kapitálového financování, které dříve získala, k pokroku komercializace recyklace plastového odpadu na aromatické látky. Mezi aktuální plánované projekty Encina patří zařízení v USA a offshore projekty v Asii a Jižní Americe. Očekává se, že každý závod zpracuje přibližně 450 000 tun odpadu ročně. Na začátku roku 2022 společnost Neste provedla studii proveditelnosti zkoumající kapacitu pro předúpravu zkapalněného odpadního plastu ve své rafinérii v Porvoo, Finsko. Do poloviny července získala pozitivní rozhodnutí o přidělení grantu až do výše 135 milionů EUR z inovací EU Fondu.

Firma Neste nedávno zakoupila evropská práva na technologii zkapalňování od společnosti AlterraTechnologie a společně budují závod v nizozemském Vlissingenu. Obdobně společnosti Südpack a Clean Cycle podepsaly dohodu na dlouhodobou investici do depolymerizace Carbolique technologie, vyvinuté společností Recenso. Proces katalytické tribochemické konverze byl úspěšně použit na směsný odpad plastů na pilotní jednotce v závodě Ennigerloh v Německu.

Na jaře loňského roku oznámily společnosti Toray Films Europe a Axens spolupráci na studii chemické recyklace PET, která by měla být realizována v Saint-Maurice-de-Beynost ve Francii. Jednotka použije depolymerační proces firmy Axens Rewind včetně čistících kroků pro odstranění organických a anorganických sloučenin (včetně barviv a pigmentů) v odpadních PET.

Norská společnost zabývající se recyklací chemikálií Quantafuel a francouzská investiční společnost Eurazeo uzavřely dohodu o výstavbě třídícího zařízení 50/50 v dánském Esbjergu. Závod založený na vysoce pokročilém systému třídění je schopný separovat plastové odpady na úzké, tzv. mono frakce, a bude mít kapacitu 160 tis tun/rok. Bude uveden do provozu v druhé polovině roku 2023.

Společnost Ineos Styrolution podepsala smlouvu se společností Indaver o odběru styrenu získaného z odpadních kelímků od jogurtů depolymerizační technologií. Indaver staví závod v

přístavu Antverpy v Belgii. Očekává se, že od roku 2024 bude recyklováno 65 000 tun styrenových plastů ročně.

Svůj pokrok ve vývoji v oblasti cirkulární ekonomiky představila společnost Borealis. Jde o krakovací technologie surovinově založené na nepotravinářské odpadní biomase a chemicky recyklovaném odpadu a ve druhé fázi na zpracování zachyceného atmosférického uhlíku. Technologie ISCC Plus bude produkovat standardní petrochemické produkty – etylen, propylen, buteny a aromáty. Borealis plánuje velkokapacitní výstavby své technologie ve Finsku, Norsku a Švédsku.

#### 4.2.8. Závěry a doporučení

Závěry a doporučení nebyly pro tuto podkapitolu definovány.

#### 4.2.9. Zdroje

Analýza současného stavu vybraných komodit druhotných suroviny a jejich zdrojů, včetně vize rozvoje daného odvětví. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR., 11. 2018.

Anděl M. Pyrolytické zpracování odpadů. Bakalářská práce. Praha: ČVUT Praha, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky, 2016.

Wichterle, K., 2019, Circular Economy from the Perspective of the Historical Development of the Chemical Industry, Book of Abstracts, Full Papers, Session: PL, 7th International Conference on Chemical Industry, Mikulov.

Česká asociace pro pyrolýzu a zplyňování [online]. b.r. [cit. 2016-08-14]. Dostupné z: <http://www.cpga.cz/>

Hopewell, J.; Dvorak, R.; Kosior, E., Plastics recycling: challenges and opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 2009, 364 (1526), 2115-2126

<https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/obehove-hospodarstvi/20180328STO00751/nakladani-s-odpadem-v-eu-fakta-a-cisla-infografika>.

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady\\_podrubrika/\\$FILE/OODP-Produkce\\_a\\_nakladani\\_2019-20201119.002.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Produkce_a_nakladani_2019-20201119.002.pdf)

International Journal of Scientific Engineering and Technology Research. 4 (2015),2562-2566.

Jak se recykluje plast. Třídění odpadu [online]. [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluje-plast>.

Jílková, L.; Cíahotný, K.; Černý, R., Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů. Paliva 2012, 4 (3), 74-80

Kulhánková, P., 2019, Circular Economy and Applications in The Chemical Industry, Book of Abstracts, Full Papers, Session: PL, 7th International Conference on Chemical Industry, Mikulov.

Možnosti recyklace plastů. EnviWeb [online]. 11.10.2010 [cit. 2021-10-28]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/88360>.

Směrnice evropského parlamentu a rady 2000/76/ES ze dne 4.12.200, o spalování odpadů.

Souhrnná data o odpadovém hospodářství ČR v letech 2009 - 2019: Odpady. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2021-10-29]. Dostupné z:

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady\\_podrubrika/\\$FILE/OODP-Souhrnna\\_data\\_2009\\_2019-20201119.002.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Souhrnna_data_2009_2019-20201119.002.pdf)

### 4.3. Využití biomasy a obnovitelných bio-surovin – tzv. zelená chemie

Obvyklým základním principem tzv. zelené chemie je zpracování biomasy – tedy lignocelulóзовých, polysacharidických a triglyceridických substrátů.

Bilance biomasy v jednotlivých krajích ČR byla stanovena v rozsahu:

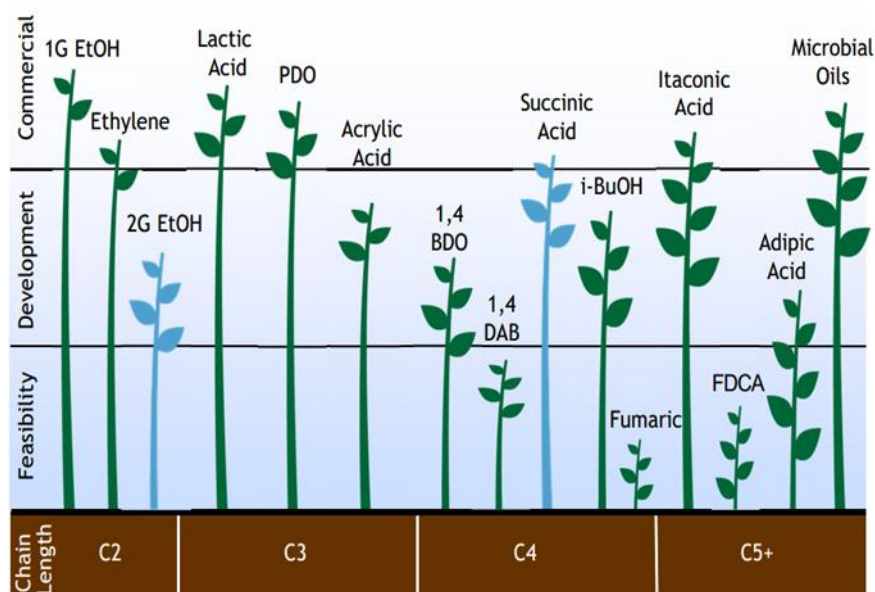
305 867 – 500 000 t Karlovarský, Liberecký a Zlínský kraj

500 001 – 700 000 t Ústecký, Královehradecký, Pardubický, Olomoucký a Moravskoslezský kraj

700 001 – 1 375 439 t Plzeňský, Středočeský, Jihočeský, Jihomoravský kraj a Kraj Vysočina

#### 4.3.1. Zelená chemie ve světě

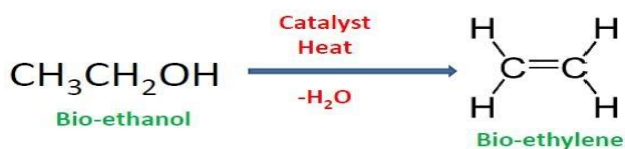
S ohledem na nově přijaté politiky odklonu od fosilních zdrojů se vývojem technologií výroby základních produktů organické technologie (které se doposud získávají z fosilních uhlíkových surovin: uhlí, ropa, zemní plyn, a které by bylo možné alternativně získat z obnovitelných uhlíkových surovin: dřevo, obilí, rostlinné oleje apod.) dnes zabývá významná část světových výzkumných kapacit. Mnohé technologie jsou již pevně etablované na trhu, mnoho postupů je rozpracováno v různých úrovních procesu TRL (technology readiness level). Na následujících obrázcích jsou naznačeny vybrané klíčové informace.



Obr. 43: Možnosti výroby klíčových chemikálií z obnovitelných surovin

[Zdroj: Hronec M., Lederer J.: Perspektivy petrochemického průmyslu a výzkumu, Konference ICCT, Milovy 2018

V dále naznačeném schématu se např. dokládá jedna z možností výroby základního monomeru pro navazující výroby polymerů – etylenu – z kvasného lihu, tedy ze suroviny získávané fermentací obnovitelných sacharidických (cukry, škrob, celulóza) surovin.

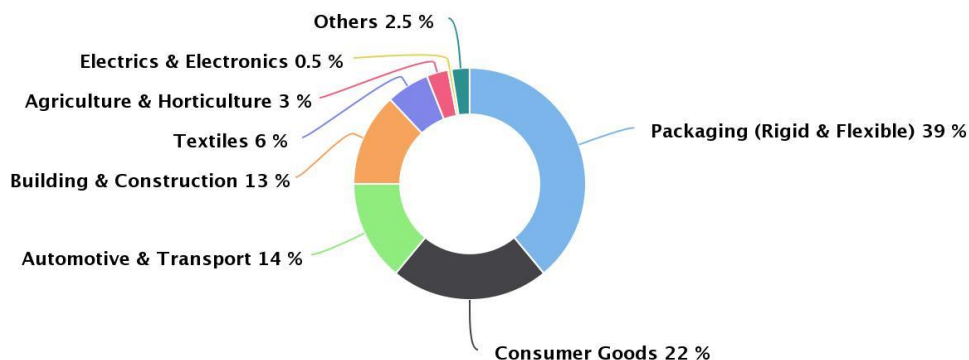


Obr. 44: Výroba bio-ethylenu z obnovitelného zdroje – biolihu

Obdobně je svět masivně připravován na využití plastů na bázi obnovitelných surovin (bio based plastics), jak je to uvedeno v následujících obrázcích. Připomeňme, že předpolymerační fázi bioplastu je primárně syntetizovaný bio-monomer.

### Global Production Capacities Of Bioplastics

In 2016



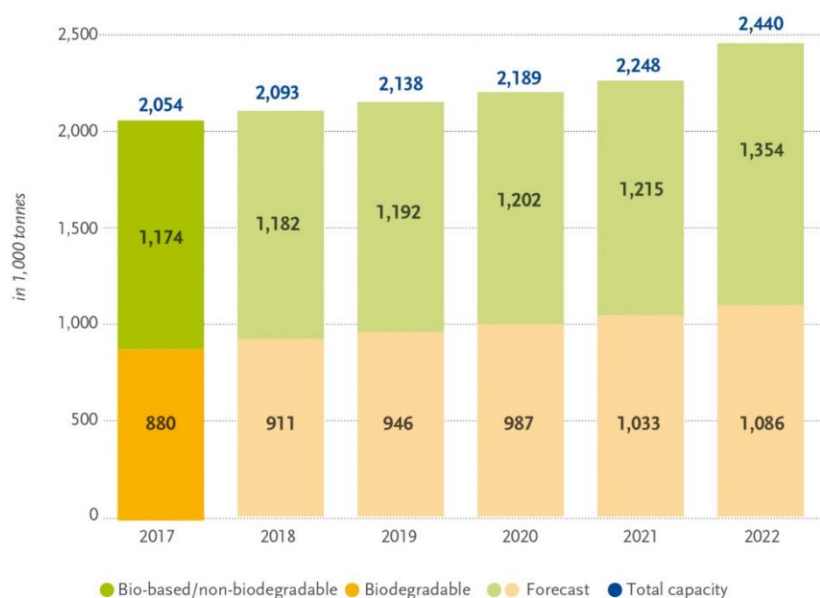
PlasticsInsight.com | Data Source: European Bioplastics

Obr. 45: Světové aplikační kapacity pro bioplasty

[Zdroj: [Report\\_Bioplastics-Market-Data\\_2019\\_short\\_version.pdf](https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2019/03/Report-Bioplastics-Market-Data-2019-short-version.pdf) (european-bioplastics.org)]



## Global production capacities of bioplastics

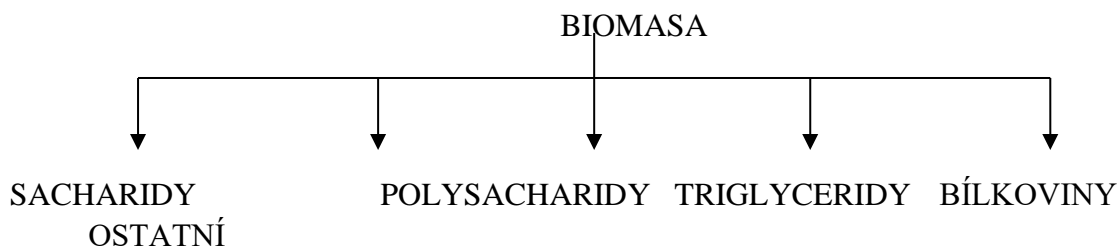


Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017).  
More information: [www.bio-based.eu/markets](http://www.bio-based.eu/markets) and [www.european-bioplastics.org/market](http://www.european-bioplastics.org/market)

**Obr. 46:** Světové produkční kapacity bioplastů

[Zdroj: [Report Bioplastics-Market-Data 2019 short version.pdf \(european-bioplastics.org\)](https://www.european-bioplastics.org/Report_Bioplastics-Market-Data_2019_short_version.pdf)]

Podle obsahu hlavní složky lze biomasu rozčlenit do těchto skupin:



Hlavními zdroji pro uvedené skupiny jsou tyto přírodní produkty:

**Sacharidy:** cukrová řepa, cukrová třtina

**Polysacharidy:** škrobnaté látky – obilí, kukuřice, brambory, celulóza – dřevo, trávy

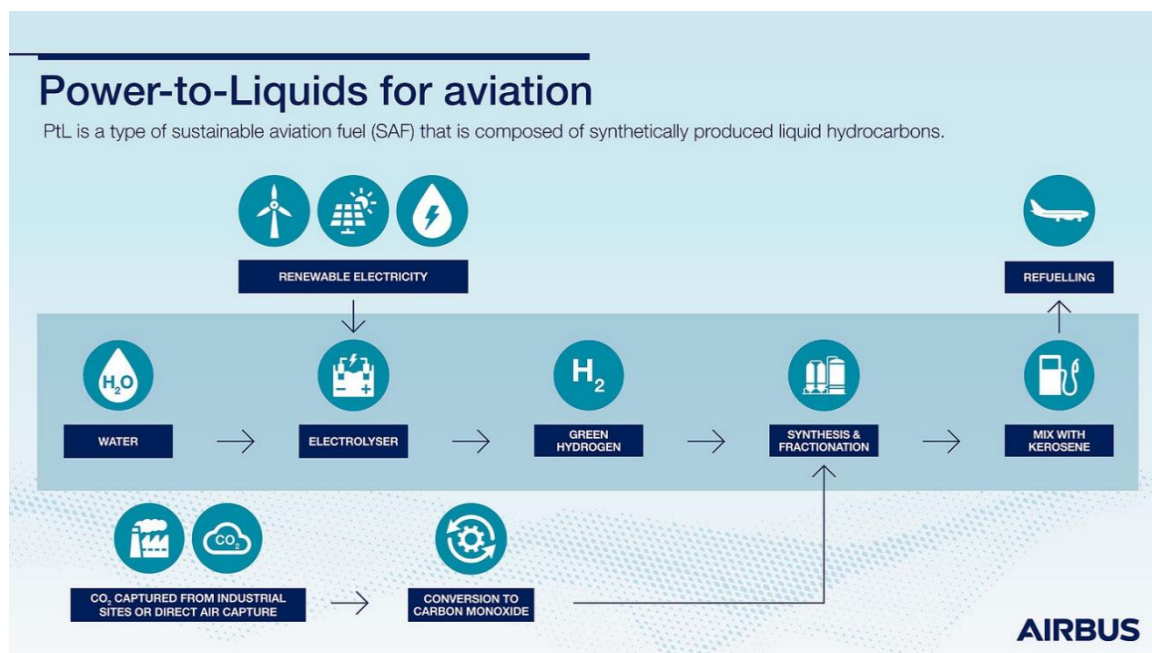
**Triglyceridy:** olejniny, živočišné tuky

**Bílkoviny:** rostlinné – luštěniny, šroty olejnin, lihovarnické výpalky, živočišné – maso, kolagen

**Ostatní:** léčivé, aromatické aj. rostliny

### 4.3.2. Zelená chemie ve světě – Syntetická paliva

Syntetická paliva, také nazývaná e-paliva, jsou „zelenou“ alternativou pro spalovací motory. Syntetická paliva se používají v tradičních spalovacích motorech místo benzínu či nafty. Mají ale čistší emise a v případě, že je výroba poháněna „zelenou“ energií, jsou uhlíkově neutrální, neboť se k jejich výrobě používá uhlík již přítomný v atmosféře nebo uhlík získaný pomocí CCS/CCU z jiného procesu.



**Obr. 47:** „Zelená“ paliva pro letectví

[Zdroj: <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2021/07/Power-to-Liquids.html>]

Jako příklad lze přiblížit projekt firmy Siemens, který realizuje v Chile. V pilotní fázi je v plánu vyrobit zhruba 130 tisíc litrů syntetických paliv ročně. Bude to plně integrované zařízení na výrobu uhlíkově neutrálních syntetických paliv. Závod Haru Oni poblíž města Punta Arenas v jižním Chile kombinuje větrnou energii, vodu a CO<sub>2</sub> za účelem výroby e-metanolu a nakonec uhlíkově neutrálního benzínu na bázi elektřiny. Siemens Energy navrhla a vedla integraci pilotního závodu HIF Global ve spolupráci s Porsche a dalšími partnery. Tato technologie je krokem v dekarbonizaci dopravního sektoru, zejména těch segmentů, které je obtížné nebo nemožné elektrifikovat, jako je námořní a letectví. Do března 2023 bude továrna dokončena. Vodík, základ procesu syntézy paliva, se vyrábí v elektrolyzáru od společnosti Siemens Energy. Očekává se, že systém bude do roku 2023 produkovat 130 000 litrů eFuel ročně. Přibližně o dva roky později se očekává kapacita 550 milionů litrů ročně.

V západní Evropě se připravují projekty výroby syntetických paliv z odpadů. Jedná se o podobný proces, jako výše, jen zdrojem uhlíku je recyklovaný odpad. Zdrojem vodíku může být elektrolyzáru nebo vysokoteplotní zplyňování odpadu při kterém vzniká syntézní plyn bohatý na vodík.



## THE ENERKEM SOLUTION

From Non-recyclable Waste To Sustainable Chemicals And Biofuels



2

**Obr. 48:** Ukázka transformace odpadů na produkty

[Zdroj: <https://enerkem.com/process-technology/technology-comparison/>]

Společnost Enerkem společně se společností Shell poskytne komplexní technické řešení pro přeměnu těžko recyklovatelného odpadu na tryskové palivo kombinací technologie zplyňování odpadu společnosti Enerkem a technologie Fischer-Tropsch společnosti Shell. Projekt by zpracoval až 360 000 tun odpadu z recyklace ročně a vyrobil by až 80 000 tun obnovitelných produktů. Enerkem a Shell se chystají realizovat tento projekt v Rotterdamu. Výstavba má začít v roce 2025 nebo 2026.

### 4.3.2.1. Zelené chemikálie – relevance pro Karlovarský kraj

Cílem foresightové studie není dát úplný přehled o problematice, ale navrhnout směry pro zelenou chemii pro Karlovarský kraj, pro který může mít význam zejména využití rostlinných olejů, mastných kyselin (pro speciální chemické produkty), glycerolu (pro navazující chemické deriváty vhodné např. pro výrobu akroleinu či oxo-alkoholů), bio-alkoholů (metanol, etanol, n-butanol oxo-alkoholy). Tyto látky pocházejí zejména z plodin, zemědělských činností a již instalovaných výrobních kapacit v okolních regionech (Ústecký a Plzeňský kraj, Sasko a Bavorsko). Další text je tedy omezen na tyto surovinové komodity.

### Chemické výrobky z metylesterů mastných kyselin

Výroba chemických organických produktů je převážně orientována na zpracování fosilních surovin, tj. ropy, zemního plynu a uhlí. Jedná se o neobnovitelné, a tudíž o vyčerpatelné surovinové zdroje. Lze předpokládat, že z dlouhodobého hlediska se jejich ceny (i v důsledku zhoršujících se podmínek jejich těžby a vývoje geopolitické situace) budou nadále zvyšovat a povedou k růstu cen výrobků z nich vyrobených. Současné zaměření (až na některé výjimky) surovinové základy chemických kapacit v ČR je ropa, pro energetické účely pak zemní plyn a uhlí. Hlavním problémem s tím spojeným jsou emise CO<sub>2</sub>.

Tento problém se řeší globálně a v rámci EU jsou za tímto účelem zpracovány a realizovány programy na úspory energií, zvýšení účinností a snížení emisí v oblasti výroby elektřiny, tepla, chladu a v dopravě. V oblasti dopravy jde o program náhrady fosilních motorových paliv, tj. automobilového benzínu a motorové nafty alternativními palivy, které řeší uvedené problémy. Jako alternativní paliva se v současné době uplatňují biopaliva 1. generace, což jsou metylestery mastných kyselin získané přeesterifikací rostlinných olejů (řepkový, sójový, palmový aj.) označované FAME, z nichž se v ČR jedná hlavně o MEŘO (metylestery kyselin řepkového oleje), označované jako Bio-diesel. Podle Komise EU mělo být v členských zemích v roce 2010 nahrazeno tímto palivem 5,75 % e.e. a v roce 2020 10 % e.e., pro rok 2030 se sice počítá s dalším navýšením na 14 % e.e., avšak s omezením podílu biopaliv 1. generace max. 7 % e.e. V ČR je zákonem stanoveno povinné přimíchávání FAME do motorové nafty v množství 7 % obj., přičemž se klíčovým parametrem pro alternativní motorová paliva stává úspora emisí CO<sub>2</sub>. Alternativou jsou hydrogenované rostlinné oleje (tzv. HVO). Na trhu jsou k dispozici i směsná a čistá biopaliva. Dá se očekávat, že spotřeba MEŘO v ČR bude v roce 2022 na dosavadní úrovni, tj. cca 300 tis. kt. České výrobní kapacity MEŘO jsou umístěny v Ústeckém kraji: Lovosicích (PREOL) 120 kt/rok, v Ústí n.L. (Chemoprojekt) 100 kt/rok a dále v jiných krajích ČR: v Milíně (Primagra) 35 kt/rok a v Liberci (Oleochemical) 50 kt/rok (další menší výrobní kapacity vybudované v předchozím období byly postupně odstaveny). Celková kapacita tedy činí 505 t/rok. Ne všechny kapacity však jsou v současné době využívány. Vedle toho se v ČR již používá (dovážené) HVO v množství do 100 kt/rok, na které v ČR zatím nejsou vybudovány žádné výrobní kapacity.

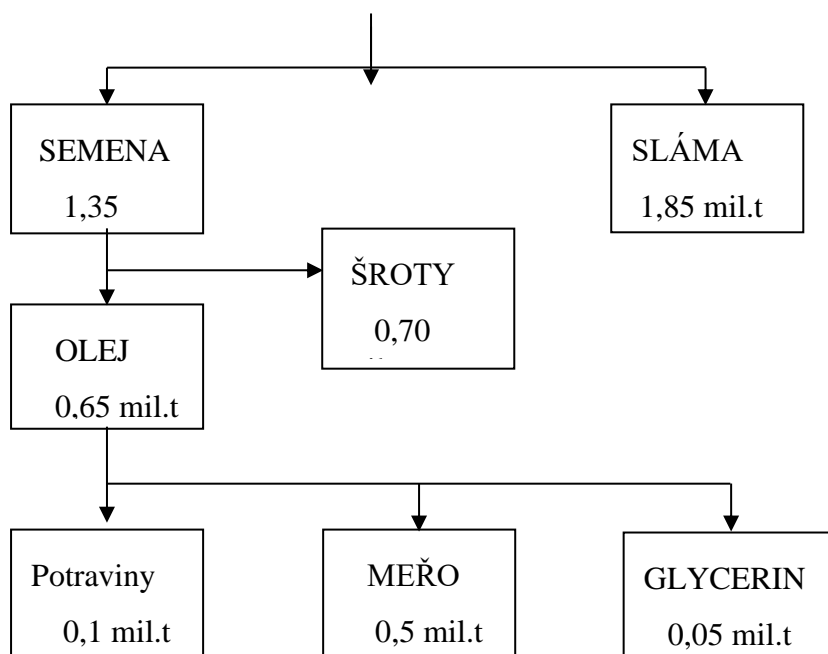
Pro období do roku 2030 se v rámci EU v oblasti alternativních paliv v dopravě predikuje rozvoj spotřeby biopaliv 2. generace, tj. esterů a uhlovodíků z nepotravinářské biomasy, a hlavně elektřiny z obnovitelných zdrojů (RED II). Spotřeba biopaliv 1. generace má přinejmenším stagnovat a po roce 2030 se má utlumovat vzhledem k preferenci paliv vyšší generace a současně s ohledem na postupné snižování spotřeby kapalných paliv pro dopravu (razantnější uplatnění elektromobility nejenom pro železniční dopravu). Z toho vyplývá, že po roce 2030 se v ČR uvolní a nebudou využity kapacity na výrobu MEŘO, která činí cca 0,5 mil. t/rok. Je nasnadě tuto kapacitu využít pro výrobu jiných chemických produktů.

V případě ukončení výroby MEŘO by u výrobců došlo ke snížení ročních příjmů o 5 mld. Kč, snížení produkce krmných šrotů ve výši 450 tis. t v hodnotě 1,5 mld. Kč a snížení zemědělské produkce (řepkových semen) o 750 kt, tj. 5 mld. Kč.

Tak jako v dopravě a jiných oblastech, kde dochází k náhradě fosilních surovin na obnovitelné zdroje, je třeba realizovat obdobné změny i v chemickém průmyslu, tj. zvažovat náhradu ropy, zemního plynu a uhlí biomasou, z níž výhodné jsou rostlinné oleje a jejich estery. K tomu mohou být výhodně využita uvolněná zařízení na výrobu MEŘO. Zařízení je možné využít buď na výrobu jiných esterů než MEŘO, nebo vyráběné MEŘO využít na výrobu dalších chemických produktů. Alternativní možnosti na realizaci chemických výrob vycházejících z MEŘO jsou navrhovány v této kapitole s tím, že během 10 let je možné připravit příslušné výroby na základě licencí nebo vlastního výzkumu.

Následující schéma uvádí základní hmotovou bilanci výhledově možné roční produkce surovin z řepky v ČR:

Řepková biomasa 3,2 mil.t
------------------------------



**Obr. 49:** Schéma zpracování řepkové biomasy

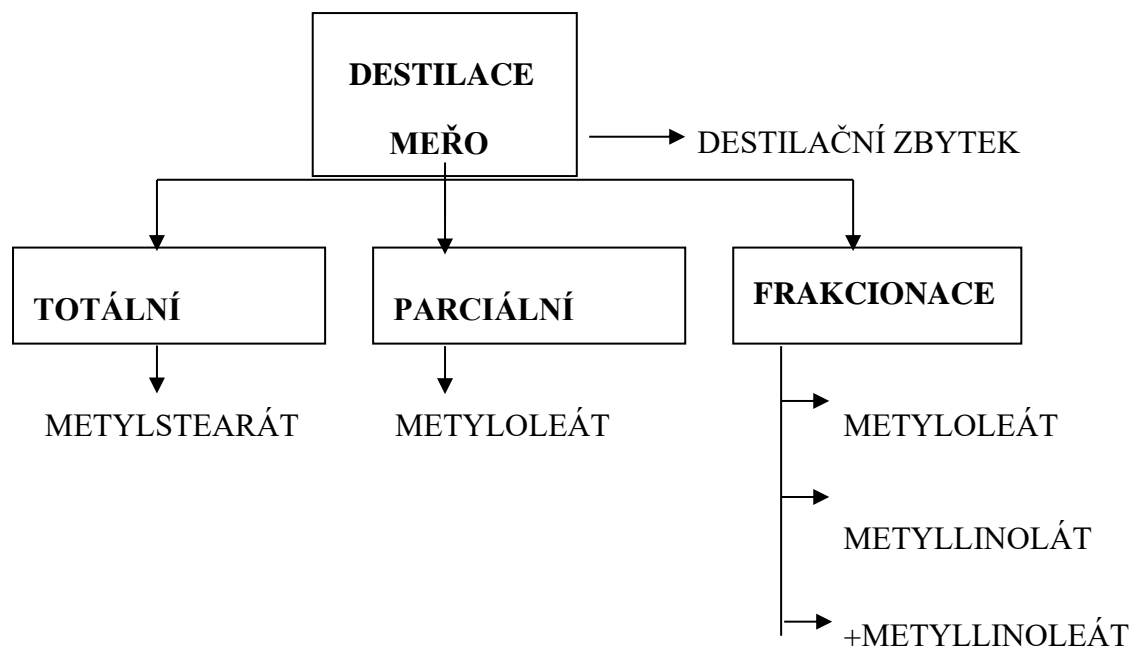
Řepková sláma (resp. její přebytek po zaorání dle agrotechnických podmínek) může být využita jak pro energetické účely, tak i pro chemické zpracování. Biochemickými způsoby může být využita pro výrobu různých produktů zvláště k výrobě bioetanolu. Zplyněním na syntézní plyn lze vyrábět uhlovodíky (syntéza Fischer-Tropsch), metanol, dimethyléter aj. Řepkové šroty mohou být kromě krmiva využity k výrobě syntézního plynu a následných chemických produktů a k izolaci obsažených bílkovin a k jejich dalšímu zpracování na chemické výrobky.

V případě omezení výroby MEŘO se nabízí využití nezpracovaných rostlinných olejů pro výrobu HVO. MEŘO může být využito na výrobu různých chemických výrobků. Z hlediska dlouhodobé perspektivy jsou dále uvedeny alternativní možnosti několika výrobních programů. Přestože se v Karlovarském kraji nenachází žádná výrobní pro zpracování semen olejnin, lze zvážit zavedení hydrogenace těchto olejů, které by byly do kraje dováženy (z původu ČR nebo zahraničí). Klíčovou komoditou, u které se předpokládá významná poptávka v ČR je výroba HVO. Předností realizace v Karlovarském kraji může být dostupnost vodíku.

### Výroba technicky čistých esterů

V chemickém průmyslu se zpracovávají suroviny požadované kvality. MEŘO je směs esterů, ze které lze s použitím metod hydrogenace a frakční krystalizace vyrobit v různé kvalitě základní produkty, které se následně využijí pro výrobu dalších chemických výrobků. Jedná se o metylstearát, metyloleát, metyllinolát a metyllinoleát.

Technický metylstearát lze získat katalytickou úplnou hydrogenací MEŘO za použití niklových katalyzátorů. Reakce se uskutečňuje bez tlaku při teplotě cca 180 °C. Technický metyloleát lze získat přímou frakcionací MEŘO. S vyšší kvalitou se metyloleát získá frakcionací parciálně hydrogenovaných MEŘO. Směs metylesterů kyseliny linolové a linolenové se získají frakcionací výchozích metylesterů kyselin řepkového oleje.



**Obr. 50:** Celkové schéma výroby čistých metylesterů z MEŘO

### Fytosteroly

Steroly jsou látky, které se díky svým farmakologickým a dietetickým vlastnostem využívají jako přísady do potravin a jako suroviny ve farmacii. Fytosteroly mají antioxidační, emulgační, antikancerogenní a antipolymerizační aktivitu a vykazují pozitivní vliv na lidský organizmus. V poslední době jsou široce využívány pro snižování obsahu cholesterolu, a to buď v původní formě, nebo po chemické úpravě jako stanoly. Hlavními zdroji k izolaci fytosterolů jsou rostlinné oleje a vedlejší produkty z výroby celulózy jako je tallový olej a sulfitová mýdla. Fytosteroly lze izolovat z destilačních zbytků po destilaci MEŘO. Těchto zbytků je zpravidla okolo 5 % a obsahují cca 10 % fytosterolů. Jejich obsah v řepkovém oleji je 0,4-1,1 % a cena cca 500 Kč/kg. Fytosteroly aplikuje např. finská fy Raisio do emulgovaných tuků, margarínů v množství až 10 %, fy Unilever do margarínů a mléčných výrobků, fy Coca-Cola do nápojů, fy ADM do salátových dressingů, mléčných výrobků a sýrů. V ČR je na trhu margarín s obsahem 6 % fytosterolu Flora pro-active fy Unilever.

### Povrchově aktivní látky

Rostlinné oleje, respektive MEŘO lze využít pro výrobu různých povrchově aktivních látek.

### Etoxylované metylestery mastných kyselin

Metylestery kyselin řepkového oleje a jiných olejů byly využity pro výrobu neionogenních povrchových látek oxyetylací. V rámci projektu EUREKA byly v roce 2000 polskými a českými výzkumnými organizacemi vyvinuty etoxyláty metylesterů kyselin řepkového oleje, upraveného parciální hydrogenací k eliminaci kyseliny linolenové, s použitím speciálního katalyzátoru etoxylace. Produkty měly různý stupeň etoxylace a byly určeny pro výrobu pracích a čisticích prostředků, jako emulgátory a odpěňovače.

## **Alfa-sulfonované metylestery**

V 80. letech byla zveřejněna technologie sulfonace metylesterů mastných kyselin jakožto anionaktivních povrchových látek. K sulfonaci se užívají totálně hydrogenované metylestery s nízkým jódovým číslem. Výroba sestává ze sulfonace esterů, bělení produktů peroxidem vodíku a neutralizace hydroxidem sodným. Produkty jsou odolné vůči hydrolyze jak v kyselém, tak i v alkalickém prostředí, mají vysokou biologickou rozložitelnost, nedráždí oči a pokožku a mají nízkou akutní orální toxicitu.

Výhodnou vlastností je stálost k tvrdé vodě, což se projevuje vysokou schopností dispergovat vápenatá mýdla a malým poklesem detergentních vlastností.

## **Alkanolamidy**

Alkanolamidy jsou povrchově aktivní látky používané pro výrobu čisticích prostředků, kosmetických výrobků, detergentů, kde působí na zvýšení viskozity, stabilizaci pěny, zlepšení emulgačních vlastností, detergence, jako inhibitory koroze a mazadla v textilním průmyslu. Používají se i k výrobě dalších druhů povrchově aktivních látek. Vyrábějí se amidací mastných kyselin monoetanolaminem nebo dietanolaminem při teplotě okolo 180 °C. Výhodněji se vyrábějí z metylesterů mastných kyselin při nižší teplotě. Alkanolamidy se vyrábějí zpravidla z kyselin C 10 až 16 a je možné je vyrábět i na bázi metylesteru kyseliny olejové.

## **Plastické hmoty**

Deriváty rostlinných olejů jsou široce používány jako pomocné přípravky při výrobě a zpracování plastických hmot (PVC, polyolefiny, ABS, polystyren, fenolické a melaminové pryskyřice). Jsou využívány jako kluzné přípravky, lubrikanty, antistatické přípravky, plastifikátory a stabilizátory. Řada těchto produktů může být vyrobena na bázi kyselin nebo esterů mastných kyselin obsažených v řepkovém oleji.

## **Mastné amidy a aminy**

Nesubstituované mastné amidy nacházejí použití jako kluzné přípravky (slip agents) a separační přípravky (antiblock agents) pro polyolefinické plasty, zejména ve formě folií, které se používají hlavně při výrobě a distribuci potravin, kde musí být zaručena zdravotní nezávadnost. Mastné aminy ale i při výrobě sypkých produktů (hnojiva) pro nespékavou úpravu. Výroba spočívá v amidaci mastné kyseliny amoniakem při teplotě cca 200 °C a tlaku 0,3 - 0,7 MPa. Jejich hydrogenací se vyrábějí mastné aminy. Jako lubrikanty pro různé plasty se používají i alkylendiamidy, tj. produkty reakce mastných kyselin nebo esterů mastných kyselin s alkyldiaminy.

## **Soli vyšších mastných kyselin**

Velmi rozšířenými lubrikanty jsou soli mastných kyselin, zvláště soli kyseliny stearové. Vyrábějí se neutralizací kyseliny stearové hydroxidy, nebo oxidy příslušných kovů. Hlavními výrobky jsou stearan vápenatý, zinečnatý, hořečnatý a hlinitý. Výrobky se používají ve farmaceutickém průmyslu a ve výrobě stavebních hmot.

## **Kyselina azelaiová**

Již ve 40. letech minulého století byla v Holandsku (UNICHEMA) a v USA (EMERY) realizovaná výroba kyseliny azelaiové, jakožto výchozí látky pro výrobu polyamidů. Výroba se uskutečňuje ozonolýzou kyseliny olejové za vzniku kyseliny azelaiové a pelargonové. Kyselina azelaiová je používána k výrobě polyesterů, polyaminů a diesterů, používaných jako plastifikátory PVC a jiných plastických hmot. Tato aplikace se v současné době jeví zvláště aktuální s ohledem na postupný zákaz používání ftalátů, tj. nejrozšířenějších plastifikátorů, u kterých byly zjištěny kancerogenní účinky. Kyselinu pelargonovou je možné využít pro výrobu sikativů, přísadu k polyuretánovým hmotám, k výrobě syntetických maziv aj.

## **Epoxidované produkty**

Epoxidovaný sójový olej s jodovým číslem 5–7 a vysokým obsahem oxiranu 7 % se široce používá jako tepelný a světelný stabilizátor a jako plastifikátor PVC. Epoxidace se provádí peroxidem vodíku v přítomnosti kyseliny octové. Analogicky je možné jako výchozí produkt použít řepkový olej, nebo frakcionované MEŘO s vyšším obsahem dvojných vazeb.

## **Laky, rozpouštědla**

Při výrobě laků a nátěrových hmot se používají tzv. vysychavé a polovysychavé rostlinné oleje, tj. oleje s vysokým obsahem polynenasycených kyselin, zvláště kyseliny linolenové (lněný olej, tungový olej, makový olej, sójový olej). Bylo by účelné použití nenasycené frakce MEŘO, tj. směsi metylesterů kyseliny linolové a linolenové pro výrobu pryskyřic a bezrozpouštědlových laků.

## **Adjuvanty**

Pro zvýšení účinností pesticidů se používají látky, které zvyšují přilnavost chemických prostředků k rostlinám. Jsou to směsi povrchově aktivních látek a olejů. Olejovou složkou může být řepkový olej.

## **Rozpouštědla**

MEŘO mají výborné rozpouštěcí schopnosti a je možné je využít jako netěkavá rozpouštědla a jako součást čistících prostředků. Mají analogické vlastnosti jako nafta jsou však biologicky plně odbouratelná.

## **Mazací oleje**

Řepkový olej má vynikající mazací vlastnosti a používá se jako základový olej pro mazání motorových pil, katrů a jiných zvláště ztrátových mazání.

## **Separátor**

Na bázi rostlinných olejů a metylesterů se připravují separační prostředky pro povrchovou úpravu bednění při stavebních pracích.



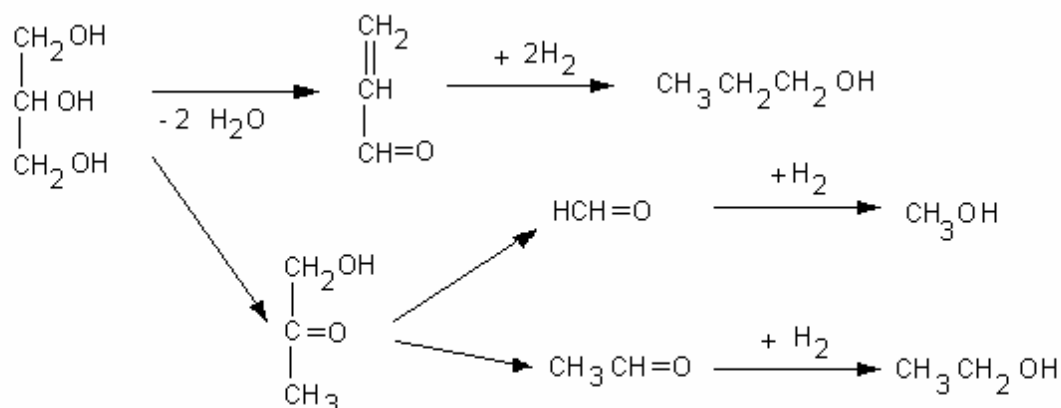
## Vyšší mastné alkoholy

Vyšší mastné alkoholy jsou široce používanými surovinami zvláště pro výrobu tenzidů ve formě sulfátů a etoxylátů. Vyrábějí se z metylesterů mastných kyselin vysokotlakou hydrogenací. K jejich výrobě lze použít vyráběná FAME z odpadních živočišných tuků a získat stejné alkoholy jako jsou vyráběny v současné době při zpracování čistých živočišných tuků (sádlo, lůj). K výrobě mastných alkoholů možné využít i MEŘO eventuálně upravené parciální hydrogenací a frakcionací na frakci nasycenou (směs esterů palmitové a stearové kyseliny) a nenasycenou frakci esteru kyseliny olejové. Nasycenou frakci je možné alternativně použít k výrobě alfa-sulfonovaných metylesterů. Mastné alkoholy lze výhodně vyrábět z metylesterů palmového oleje (MEPO), kde bude nasycená část obsahovat vyšší podíl metylesteru palmitové kyseliny, což je příznivé z hlediska funkčních vlastností na jejich základě vyráběných tenzidů.

### 4.3.2.2. Chemické výrobky na bázi glycerolu

#### Glycerol jako vstupní surovina

Zajímavou surovinou pro výrobky zelené chemie je glycerol. Tento produkt je na světovém trhu v přebytku a odpadá při výrobě MEŘO v množství 10 %. V EU v roce 2020 byla produkce glycerinu z této výroby až 1 milion tun, v ČR je to pak cca 20-30 kt/rok. Termický rozklad glycerolu vyžaduje teploty 430–450 °C. Jako hlavní produkt vzniká akrolein, vedle toho acetal, který se dále rozkládá na nižší aldehydy, acetaldehyd a formaldehyd – viz obr. 51. Při rozkladu vzniká i elementární uhlík.



**Obr. 51:** Hlavní reakce při rozkladu glycerolu

#### Propylenglykoly

Glycerin je výhodnou surovinou pro výrobu propylendiolu. Výroba 1,3 propylenglykolu se provádí biochemickým způsobem a používá se jako polyolová složka při výrobě polymerů např. polytrimetylenftalátu. Výroba 1,2 propylenglykolu spočívá ve vysokotlaké hydrogenaci při 7 MPa, teplotě 250–300 °C, v přítomnosti niklových nebo měďných katalyzátorů. Používá se při výrobě polymerů a jako teplotnosná kapalina.

## **Dihydroxyaceton**

Selektivní biochemickou oxidací se z glycerolu vyrábí dihydroxyaceton, který se používá hlavně v kosmetice. K výrobě se používá glycerin vysoké kvality. Jeví se zajímavé uskutečnit výrobu z technického glycerinu a výsledný produkt využít jako diolovou složku pro výrobu nových polyesterových aj. polymerů.

## **Akrolein, kyselina akrylová**

Rozkladem glycerolu lze získat akrolein, jehož oxidací se vyrábí kyselina akrylová. Rozklad glycerolu na akrolein je známá reakce, ale není publikováno její průmyslové využití. Dehydratace glycerolu se provádí v přítomnosti kyselých katalyzátorů jako je kyselina sírová, boritá a fosforečná nebo sulfátových katalyzátorů jako síran hořečnatý, nebo kyselý síran draselný při teplotě 300–350 °C. Při reakci dehydratace probíhají i polykondenzační procesy s tvorbou oligomerů a polymerů, které ve formě pryskyřičnatých produktů komplikují proces. Zvládnutí procesu dehydratace glycerolu na akrolein by byl ekonomicky efektivní proces, při kterém by propylen fosilního původu byl nahrazen glycerinem, tj. surovinou obnovitelnou.

## **Propandiol**

Experimentálně byl ověřen dvoustupňový proces konverze glycerinu na 1,2 propandiol, který se skládá z kalcinace při zvýšené teplotě a následné redukce vodíkem. Proces lze realizovat i jednostupňově ve vodíkové atmosféře, takže kalcinace a redukce jsou spojeny do jedné operace.

### **4.3.2.3. Biopolymery**

Kondenzací glycerolu a vícesytných organických kyselin lze syntetizovat biopolymery, tj. látky biologicky rozložitelné. Jejich využití je však v současné době sporné s ohledem na recyklovatelnost směsného plastového odpadu.

## **Polyglyceroly**

Kondenzací glycerolu vznikají di-, tri- a další polyglyceroly. Využívají se jejich povrchově aktivní vlastnosti, zvláště jako emulgátory v kosmetických přípravcích.

## **Mono- a diglyceridy**

Jsou parciální estery vyšších mastných kyselin a glycerolu. Vyrábějí se buď glycerolýzou triacylglycerolů, nebo esterifikací mastných kyselin glycerolem. Používají se hlavně jako emulgátory a prostředky pro zachování čerstvosti v potravinářském průmyslu.

### **4.3.3. Bioplyn – stav a současné trendy v EU**

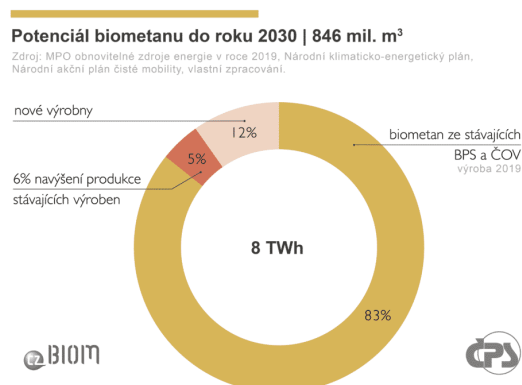
Významným segmentem v oblasti zelené chemie je bioplyn. Obecné poznatky o bioplynu jsou předmětem této kapitoly. Speciální význam pro Karlovarský kraj je rozpracován v kapitole 5.1.2.

Ve vyspělých zemích EU se stále větší část produkce bioplynu upravuje na biometan a následně využívá spolu se zemním plynem v distribučních plynových sítích. Evropská komise

oznámila jako součást svého plánu REPowerEU cíl vyrábět do roku 2030 v rámci EU 35 mld. m<sup>3</sup> biometanu. V současné době EU produkuje asi 3 mld. m<sup>3</sup> biometanu, přičemž plánovaný nárůst na 35 mld. m<sup>3</sup> vyžaduje mobilizovat udržitelné zdroje biomasy, především odpady a potravinové zbytky. K tomu by bylo v rámci států Unie potřeba vybudovat přibližně pět tisíc nových výroben bioplynu. Přibližně 80 mld. €, které budou potřeba na kapitálové investice, umožní produkovat biometan s vynaložením podstatně nižších nákladů, než jaká byla cena zemního plynu za několik posledních měsíců, a to i po odečtení ceny povolenky CO<sub>2</sub>.

V zemích EU je v současné době v provozu 1 023 zařízení produkujících biometan (za poslední rok a půl zahájilo provoz téměř 300 nových jednotek). Největší nárůst počtu zařízení pro úpravu bioplynu na biometan byl zaznamenán ve Francii, Itálii a Dánsku. Každý rok dochází ke konverzi mnoha bioplynových stanic na biometanové stanice, a to především z důvodu dočerpání podpory pro výrobu elektřiny a tepla z bioplynu. Konverze na biometan je cestou k získání další podpory, anebo odbytu zajištěného prodejem záruk původu plynu.

MPO ČR plánuje, že by biometan v roce 2030 mohl pokrýt 5–10 % spotřeby zemního plynu v ČR. Počítá se s tím, že vzniknou nové biometanové stanice a stávající bioplynové stanice projdou konverzí na výrobu tohoto zeleného plynu. Potenciál výroby biometanu v ČR je dle zdroje MPO odhadován v r. 2030 na 846 mil. m<sup>3</sup>. Bližší podrobnosti jsou uvedeny na následujícím obrázku 52.



**Obr. 52:** Potenciál produkce biometanu v ČR v r. 2030

[Zdroj: [Biometan jako nezbytná součást programu ČR a cílů EU | EFG \(efg-holding.cz\)](https://efg-holding.cz)]

V ČR je bioplyn produkován ve více než 600 zařízeních s celkovou produkcí energie v bioplynu bezmála 7 TWh, což představuje 8 % z české spotřeby zemního plynu (čtvrtý nejvyšší podíl v EU) a současně tvoří 6,8 % celkové produkce bioplynu v EU. Rozvojem sektoru, a především přestavbou současných bioplynových stanic na úpravu bioplynu na biometan a intenzifikací jejich provozu, můžeme dosáhnout potenciálu výroby biometanu až 8 TWh v roce 2030.

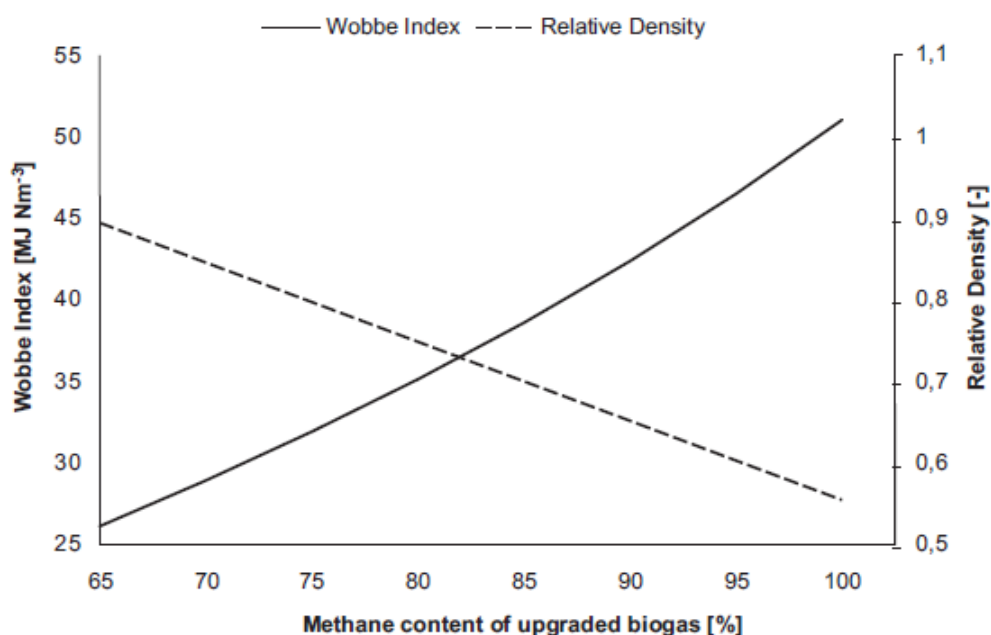
Převod bioplynových stanic do režimu výroby biometanu je ve vyspělých zemích již delší dobu významným vývojovým trendem. V České republice s touto technologií pracuje jediná stanice (ECR Rapotín). Na další stanici (BPS Litomyšl) se v současné době připravuje zařízení pro produkci biometanu k uvedení do provozu. Důvodem opoždění tohoto trendu vývoje byla neochota provozovatelů plynovodních distribučních sítí k připojení producentů bioplynu. Zdá se však, že

situace se v posledním roce změnila a také provozovatelé distribučních sítí zemního plynu hledají nové zdroje plynu.

#### 4.3.3.1. Úprava bioplynu na biometan

U většiny bioplynových stanic v ČR je bioplyn využíván pouze v kogeneračních jednotkách k výrobě elektřiny a tepla. Dochází až ke dvoutřetinovým ztrátám energie v období, kdy je problematické využití tepla, a to je odváděno bez užitku do ovzduší.

Pro zušlechťování bioplynu na biometan je používáno několik metod pracujících na různých principech. V prvním stupni úpravy dochází k odstranění nežádoucích látek, mezi které patří sulfan, siloxany, amoniak a vodní pára. Po odstranění těchto látek dochází ve druhém stupni k separaci oxidu uhličitého z bioplynu, čímž dojde ke snížení relativní hustoty a zvýšení výhřevnosti plynu; to zvyšuje Wobbeho číslo, které je na těchto parametrech závislé. Závislosti Wobbeho čísla a relativní hustoty plynu na obsahu metanu v plynu jsou znázorněny na obrázku 53. Výsledný biometan obsahuje obvykle 97–99 % CH<sub>4</sub> a 1 - 3 % CO<sub>2</sub> a může být dále využit jako alternativní zemní plyn v distribučních plynárenských sítích.



**Obr. 53:** Závislost Wobbeho čísla a hutnoty na obsahu metanu v plynu

Existuje celá řada technologií, které umožňují zvýšit podíl metanu v produkovaném bioplynu, tj. oddělit z něj nežádoucí příměsi. Zejména se jedná o odstranění oxidu uhličitého (v bioplynu je zastoupen v koncentracích 25 - 55 %), dále vodní páry, sulfanu, amoniaku, vodíku a kyslíku a dusíku, které jsou v bioplynu obsaženy v malých množstvích. U kalového nebo skládkového plynu se pak rovněž vyskytují nežádoucí příměsi na bázi halogenovaných sloučenin nebo organických sloučenin křemíku.

Jednotlivé technologie se liší v principu separace, komplexnosti (některé odstraňují jen některé nežádoucí složky z bioplynu) a robustnosti (kapacitních schopnostech

absorpčních/adsorpčních činidel). Před vlastním oddělováním CO<sub>2</sub> obvykle předchází vyčištění surového bioplynu od stopových látek, především síry, které by negativně ovlivňovaly další proces obohacování plynu metanem.

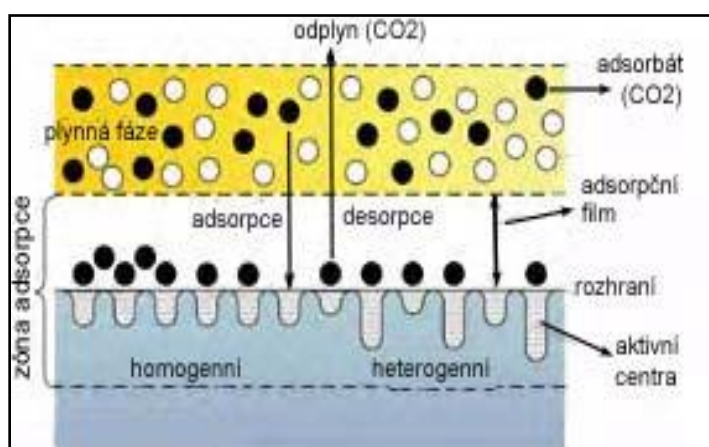
Pro separaci oxidu uhličitého od metanu lze využít následující čtyři nejvíce rozšířené technologie:

- adsorpce – technologie PSA
- absorpce – chemická a fyzikální vypírka
- membránová separace
- kryogenní separační technologie

Pro separaci oxidu uhličitého z bioplynu se do technické praxe prosadily hlavně technologie adsorpce a membránové separace, které dokážou splnit poměrně přísné požadavky na čistotu produkovaného biometanu (aspoň 95 %). Proto bude další popis zaměřen pouze na tyto technologie.

### **Technologie PSA**

Technologie PSA (pressure swing adsorption) pracuje na principu adsorpce CO<sub>2</sub> z bioplynu v krátkých adsorpčně-desorpčních cyklech. Při adsorpci se zachytávají oddělované molekuly CO<sub>2</sub> ze směsi plynů na porézních pevných látkách (adsorbentech). Fixace molekul odstraňovaných látek na povrchu adsorbentu většinou probíhá pomocí Van der Waalsových sil. Obr. 54 znázorňuje průběh adsorpce a desorpce na molekulární úrovni.



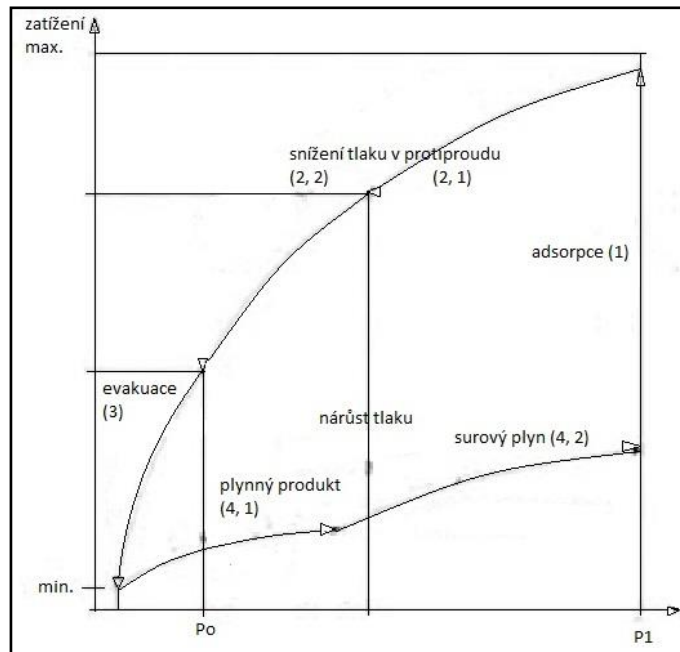
**Obr. 54:** Znázornění procesu adsorpce CO<sub>2</sub> z bioplynu

Technologie PSA, používaná pro separaci a zachycení CO<sub>2</sub> prostřednictvím fyzikálních přitažlivých sil, má nízké energetické požadavky a nízké náklady ve srovnání s jinými separačními metodami, jako je např. absorpce. Regeneraci lze provádět snížením tlaku nebo zvýšením teploty. Takto zregenerovaný adsorbent se používá v opakovaných cyklech. Tato technologie dokáže separovat z bioplynu nejen CO<sub>2</sub>, ale i O<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>. Obdobou této technologie je technologie VPSA, která pracuje na stejném principu jako technologie PSA, ale pouze s tím rozdílem, že pro desorpci zachyceného CO<sub>2</sub> se používá vakuum.

Pracovní režim technologie VPSA lze rozdělit do čtyř fází znázorněných na obrázku 55:

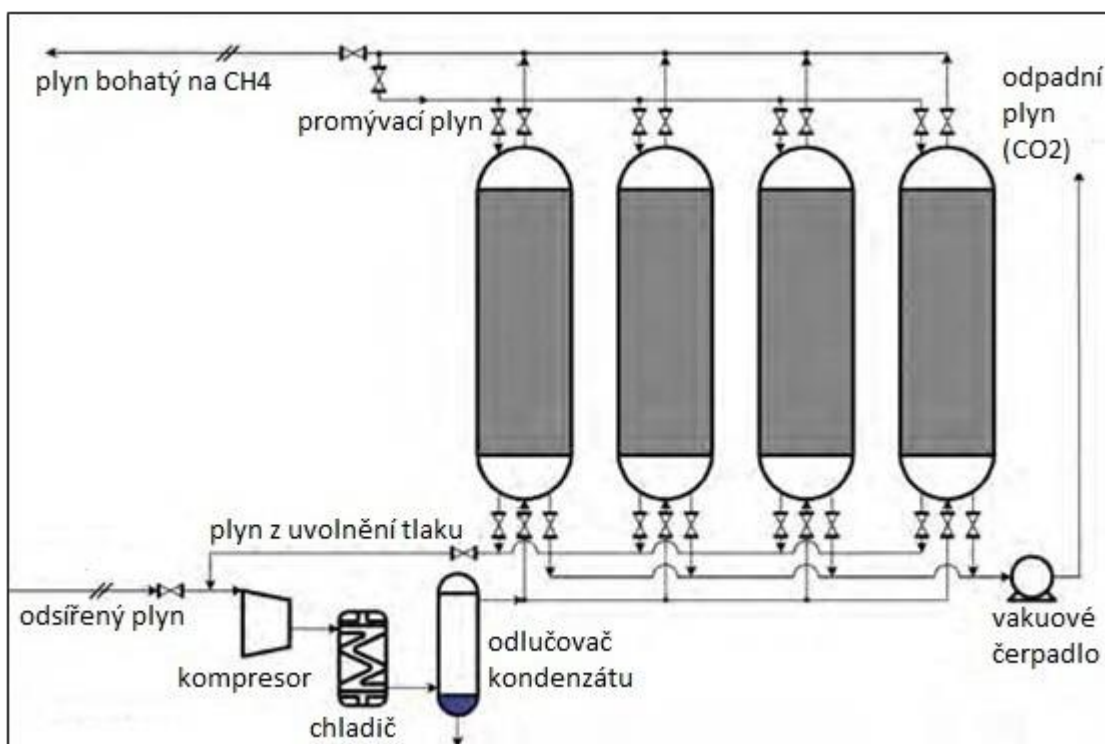
- adsorpce CO<sub>2</sub> z bioplynu při zvýšeném tlaku (1)

- protiproudá desorpce CO<sub>2</sub> snížením tlaku (2)
- desorpce CO<sub>2</sub> evakuací sorbentu (3)
- natlakování zregenerovaného adsorbentu bioplynem na pracovní tlak adsorpce (4)



**Obr. 55:** Základní fáze technologie VPSA

Plyn používaný k separaci CO<sub>2</sub> musí být zbaven téměř veškerého množství síry, protože síra vyloučená ze sulfanu na vnitřním povrchu adsorbentu by postupně blokovala porézní systém adsorbentu, čímž by se snížila adsorpční kapacita pro CO<sub>2</sub>. Schématické znázornění procesu separace CO<sub>2</sub> z bioplynu metodou VPSA je znázorněno na následujícím obrázku (obr. 56).



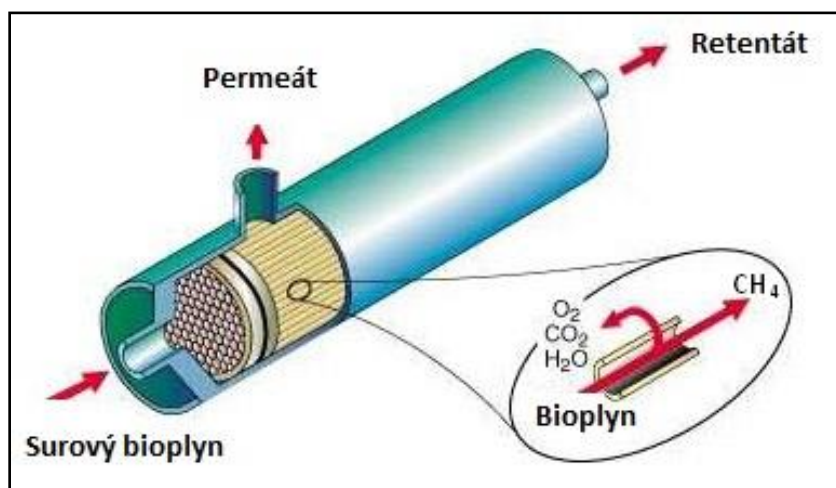
**Obr. 56:** Schéma procesu VPSA

Pracovní režim technologie VPSA pro odstranění  $\text{CO}_2$  z bioplynu lze popsat podle výše uvedeného obrázku. Plyn zbavený síry se stlačí na tlak 4–7 bar bezolejovým kompresorem. Stlačením dojde k ohřátí plynu na teplotu až  $170\text{ }^\circ\text{C}$  a je nutné ho ochladit na 10 až  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , čímž dojde k oddělení vodního kondenzátu, který se separuje v odlučovači. Takto vyčištěný plyn proudí spodem adsorbéru naplněného molekulovým sítem, kde dojde k zachycení  $\text{CO}_2$ , zbytku  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  a malého množství  $\text{CH}_4$ . Horní část adsorbéru odchází vyčištěný plynný produkt, který obsahuje 95–98 % metanu. Doba provozu adsorpčního zařízení je dána jeho velikostí a separace probíhá do téměř úplného nasycení adsorbentu. Poté je proud surového plynu přepnut do čerstvě zregenerovaného adsorbéru. Tlak, který je v adsorbéru saturovaném  $\text{CO}_2$ , se v následující fázi procesu sníží z tlaku adsorpce až na tlak atmosférický, čímž dojde k desorpci části  $\text{CO}_2$  a malého množství předtím nasorbovaného metanu. Odpadní plyn produkovaný při odtlakování adsorbéru obsahuje převážně oxid uhličitý a malé množství metanu. Adsorbér po snížení tlaku na tlak okolí je evakuován na podtlak mínus 0,9 až mínus 0,95 bar a odtahovaný plyn je připojen k odpadnímu plynu z odtlakování adsorbéru. Evakuace se provádí z důvodu zvýšení účinnosti desorpce  $\text{CO}_2$ . Když je adsorbér plně regenerován, tlak v adsorbéru je následně zvýšen s použitím plynu z odtlakování jiného adsorbéru, což snižuje spotřebu energie. Poté je další surový plyn do adsorbéru dodáván kompresorem, dojde k natlakování adsorbéru na adsorpční tlak a proces čištění může opět pokračovat další adsorpcí  $\text{CO}_2$ . Z výše uvedeného obrázku je zřejmé, že pro kontinuální provoz technologie je nutná instalace více adsorbérů vedle sebe. V procesu zušlechťování bioplynu se používají zpravidla čtyři adsorbéry. Pro snížení ztrát metanu a zvýšení jeho obsahu v produkovaném plynu je výhodné provádět separaci se surovým plynem a dále pak ještě ve druhém stupni zařízení se získaným produktem z prvního stupně. Takto získaný biometan obsahuje až 98 % metanu.

Nevýhodou procesu je nutná komprese bioplynu na vyšší tlak, což ale v případě zavádění biometanu do středotlakých sítí zemního plynu je naopak výhodou, protože produkovaný biometan již není nutné dále komprimovat.

#### 4.3.3.2. Membránová separace

Membránová separace  $\text{CO}_2$  z bioplynu je založena na selektivní propustnosti některých separovaných složek bioplynu stěnou membrány. Má vysokou efektivitu, ale obvykle není schopna odolávat agresivním složkám obsaženým v bioplynu. Při separaci  $\text{CO}_2$  z bioplynu se používají polymerní membrány ze silikonového kaučuku nebo acetátu celulózy. Další možností jsou membrány z polyimidu nebo polyeteramidu. Schématické znázornění procesu membránové separace je na následujícím obrázku (obr. 57).



Obr. 57: Schéma procesu membránové separace

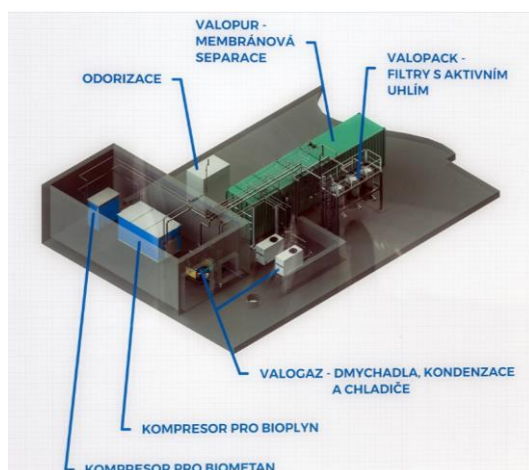
Membrány z acetátu celulózy se používají pro odstranění menších molekul polárního charakteru,  $\text{CO}_2$  a vlhkosti. Surový plyn může být vyčištěn až na 94 %  $\text{CH}_4$  v jednom kroku a použitím dvou až tří dalších stupňů membránových modulů může být dosaženo koncentrace metanu 96 % a více. Stopové koncentrace některých nečistot je nutné odstranit před membránou, např. pomocí filtru s aktivním uhlím.

Technologie separace  $\text{CO}_2$  z bioplynu instalovaná v ECR Rapotín pracuje na principu membránové separace. Bioplynová stanice EFG v Rapotíně na Šumpersku je unikátní tím, že za pomoci technologie membránové separace přeměňuje biologicky rozložitelný odpad na téměř čistý biometan. Ten pak dodává do běžné distribuční sítě. Zařízení na separaci biometanu z bioplynu bylo uvedeno do provozu v říjnu 2019.

Bioplynová stanice v Rapotíně může ročně zpracovat 30 000 tun biologického odpadu. Zařízení je schopno produkovat teplo a elektřinu, která by vystačila až pro 2 000 domácností. Sama stanice má přitom několik zdrojů příjmů – jedním jsou platby za zpracování odpadu, dalším pak prodej vyprodukovaných energií a zemního plynu – biometanu. Investiční náklady na pořízení separačního zařízení pro úpravu bioplynu na biometan zde činily 45 milionů korun. Separační zařízení upraví za hodinu 260 až 300  $\text{m}^3$  bioplynu, ročně se zde vyrobí 1,3 milionu  $\text{m}^3$  metanu.

Schématické znázornění technologie membránové separace, která je použita v ECR Rapotín, je znázorněno na následujícím obrázku (obr. 58).





**Obr. 58:** Schéma technologie membránové separace biometanu použité v ECR Rapotín

Technická specifikace membránové technologie v ECR Rapotín:

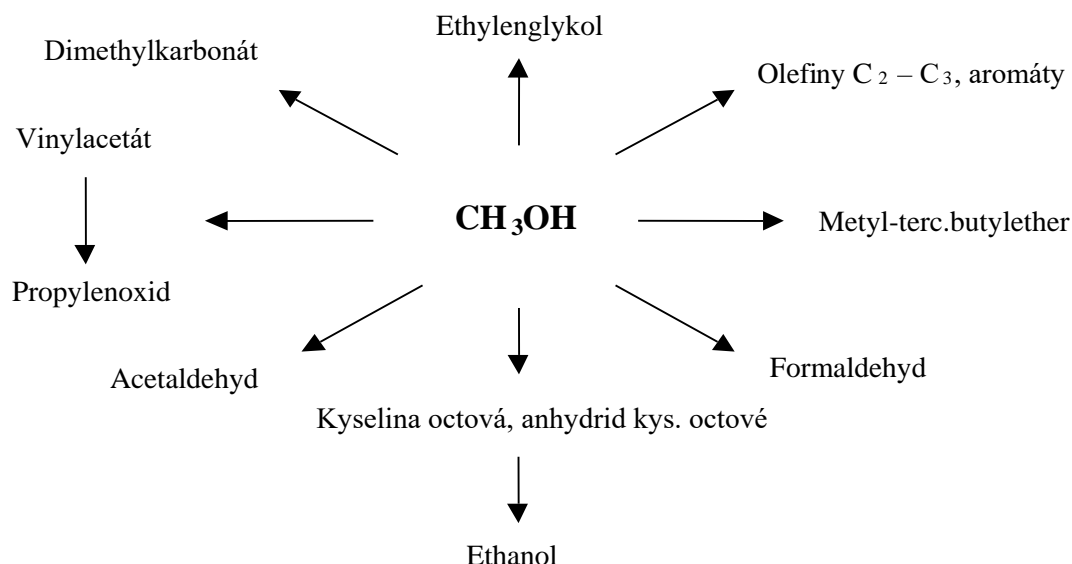
- Třístupňová membránová separace bioplynu je založena na propustnosti molekul jednotlivých složek plynů polymerovým vláknem. Tím dochází k oddělení metanu ( $\text{CH}_4$ ) od ostatních složek – oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ), kyslíku ( $\text{O}_2$ ) atd.
- Výrobce technologie je společnost PRODEVAL, dodavatelem na český trh je společnost Biometane CE
- Kapacita jednotky je 260–300 m<sup>3</sup> bioplynu za hodinu
- Roční produkce biometanu: 1,3 mil. m<sup>3</sup> (13 GWh) /rok

#### 4.3.3.3. Využití bioplynu pro výrobu metanolu

Výrobě syntézního plynu z metanu (biometanu) je věnována jiná pasáž studie. Dále jsou uvedeny informace relevantní k nejperspektivnějšímu záměru pro Karlovarský kraj i ČR, a to pro výrobu metanolu, v tomto případě biometanolu.

Prakticky celá světová produkce metanolu je na bázi zemního plynu. Jen velmi malá část se vyrábí ze syntézního plynu vyrobeného na bázi ropy nebo uhlí.

V roce 1977 byla světová spotřeba metanolu asi 10 mil. t/r, v roce 1989 stoupla na cca 18 mil. t/r, v roce 1996 byla cca 26 mil. t/r a v současné době se pohybuje nad úrovní 30 mil. t/rok. Metanol je jednou z nejdůležitějších ve světě vyráběných chemikálií. Patří mezi klíčové suroviny petrochemického průmyslu. K významným výrobám využívajícím jako surovinu metanol patří výroby formaldehydu, dimetyleteru, metyl-terc.-butyleteru, kyseliny octové a dalších důležitých chemických surovin resp. produktů; využití metanolu jako petrochemické suroviny je uvedeno na obr. 59. Zvýšení spotřeby metanolu se očekává po tom, co se ve větší míře rozšíří výroba etylenu a propylenu na bázi metanolu a výrazný nárůst se očekává za 10–15 let, kdy by se měla prosadit výroba elektrické energie v palivových člancích.



**Obr. 59:** Využití metanolu jako petrochemické suroviny

Syntéza metanolu je z technického hlediska jedním z nejlépe propracovaných průmyslových procesů. To se nedá říci o mechanismu syntézy, na který je řada protichůdných názorů.

První patent na syntézu metanolu byl udělen v roce 1923 firmě BASF, která také v tomto roce uvedla do provozu první jednotku na výrobu metanolu konverzí syntézního plynu; do té doby byl metanol vyráběn rozkladnou destilací dřeva. Proces firmy BASF představoval vysokotlakou variantu syntézy metanolu. Vysoká reakční teplota byla dána malou aktivitou použitého katalyzátoru, kterým byla směs oxidů zinku a chromu. Tento katalyzátor vyžadoval i použití vysokého reakčního tlaku. Z tohoto důvodu byla při dalším vývoji syntézy metanolu značná pozornost věnována nalezení vhodného katalyzátoru s větší aktivitou, než měl katalyzátor firmy BASF. S takovým katalyzátorem na bázi mědi a zinku přišla v roce 1966 firma ICI. Použití aktivního Cu-katalyzátoru umožnilo výrazně snížit jak reakční teplotu, tak i reakční tlak. Po roce 1970 se začaly stavět nové výrobní metanolu již jen pro nízkotlakou variantu syntézy metanolu.

#### 4.3.3.4. Technologie výroby metanolu

První výrobní metanolu, ve které byla realizována vysokotlaká varianta této syntézy, byla uvedena do provozu v roce 1923 u firmy BASF. Další výrobní s touto variantou syntézy metanolu byly stavěny až asi do roku 1970. V těchto výrobních se pracovalo při následujících reakčních podmínkách při reakční teplotě 300–450 °C a reakčním tlaku 25 až 35 MPa. Vysoká reakční teplota byla dána malou aktivitou použitého katalyzátoru, kterým byla směs kysličníků zinku a chromu. Tento katalyzátor vyžadoval i použití vysokého reakčního tlaku, s ohledem na negativní vliv vysoké reakční teploty na termodynamickou rovnováhu limitující konverzi syntézního plynu na metanol. Jeho jedinou výhodou byla jeho relativně dobrá odolnost vůči otravě sirnými sloučeninami. Reaktory syntézy byly plátovány mědí, aby se zamezilo vzniku karbonylu železa. Karbonyl železa se na katalyzátoru syntézy rozkládal a deaktivoval jej.

V roce 1966 přišla firma ICI s aktivnějším katalyzátorem na bázi mědi a zinku (Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). O mědi se brzy zjistilo, že je klíčovou složkou katalyzátoru pro syntézu metanolu. Její použití umožnil další vývoj výroby syntézního plynu, resp. změna ve výchozí surovině použité pro výrobu syntézního plynu, tj. přechod od uhlí ke kapalným ropným frakcím, především benzínu a zemnímu plynu. V důsledku této změny suroviny se výrazně zlepšila kvalita vyráběného

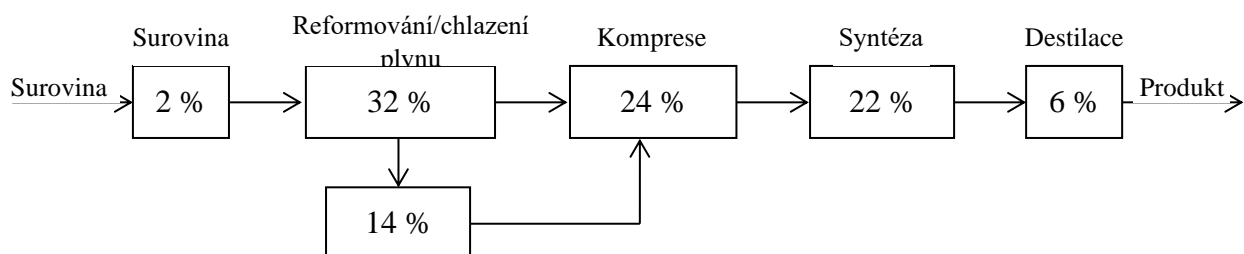
syntézního plynu. Podařilo se odstranit sloučeniny síry, arsenu a chloru, což použití mědi vyžaduje. Použití aktivního Cu-katalyzátoru umožnilo výrazně snížit jak, reakční teplotu, tak i reakční tlak. Vyrobený syntézní plyn se dále nijak neupravuje a po kompresi na provozní tlak se použije pro vlastní syntézu metanolu.

Obvyklé reakční podmínky nízkotlakých jednotek firmy ICI jsou reakční teplota 220–280 °C, reakční tlak 5–10 MP, GHSV (prostorová rychlost) 5 000 – 60 000 h<sup>-1</sup> a hodnota poměru H<sub>2</sub>/2 CO + 3 CO<sub>2</sub> větší nebo rovna 1; po úpravách lze pro syntézu metanolu použít i syntézní plyn s hodnotou uvedeného poměru menší než 1. I když bylo složení katalyzátoru Cu/ZnO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> optimalizováno s ohledem na maximální selektivitu, výtěžek a dobu životnosti, přesto po určité době dochází k jeho deaktivaci, pravděpodobně stopami železa. U dnešních moderních jednotek se doba životnosti katalyzátoru pohybuje v rozmezí 3–4 let.

U nízkotlakých výroben metanolu, se syntézní plyn upravuje tak, aby obsahoval vedle vodíku a oxidu uhelnatého přibližně 4–7 % obj. CO<sub>2</sub>. Při vyšším obsahu CO<sub>2</sub> např. nad 10 % obj. se zvyšuje v reakčním plynu obsah vodní páry, která způsobuje deaktivaci používaného katalyzátoru. Při nízkoteplotní syntéze metanolu se jedním průchodem získá jen 4–7 % obj. metanolu, takže zbývající syntézní plyn je nutno recyklovat.

Celkový mechanismus syntézy metanolu není dosud zcela uspokojivě objasněn. Dosavadní názory je možno shrnout a konstatovat, že převládá názor, že metanol vzniká z CO<sub>2</sub> (přítomného ve vstupní surovině, resp. reakční směsi). Molekuly CO<sub>2</sub> se disociativně adsorbují na povrchu aktivní složky katalyzátoru, mědi, a hydrogenací vzniká metanol. Úlohou CO je udržovat měď v redukované formě. I když metanol na tomto katalyzátoru může vznikat z plynu obsahujícího pouze H<sub>2</sub> a CO, rychlost jeho vzniku je cca 100krát menší než v přítomnosti CO<sub>2</sub>.

Rozdělení investičních nákladů na jednotlivé výrobní stupně publikované firmou ICI je uvedeno v blokovém schématu výroby metanolu ze syntézního plynu na obr. 60.



**Obr. 60:** Blokové schéma výroby metanolu ze syntézního plynu

Z uvedených hodnot vyplývá, že podíl investic připadajících na vlastní syntézu je poměrně malý. Není vždy jednoznačné, má-li být instalován jen jeden velkokapacitní reaktor, nebo dva menší při větší flexibilitě výroby. Jedním z hlavních požadavků na dobrou funkci syntézního reaktoru je spolehlivý odvod tepla; při výrobě 1 kg metanolu ze směsi H<sub>2</sub> a CO se uvolní 2 870 kJ a ze směsi H<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> je to 1 570 kJ. Z 1 m<sup>3</sup> naplněného katalyzátoru se musí za hodinu odvést 5,8 až 8,3 mil. kJ.

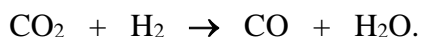
S nízkotlakou variantou syntézy metanolu přišla v roce 1971 i firma Lurgi. I ta používá Cu-katalyzátor, a to typu Cu/ZnO/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Reakční teplota se v tomto případě pohybuje v rozmezí 240–270 °C a dosahovaný výtěžek metanolu (Space Time Yields) se pohybuje okolo hodnoty 1 kg

metanolu/1 l katalyzátoru/hod. Trubkový reaktor pracuje v prakticky isothermním režimu, s ohledem na skutečnost, že teplotní profil podél reaktoru nepřekračuje diferenci 10 °C.

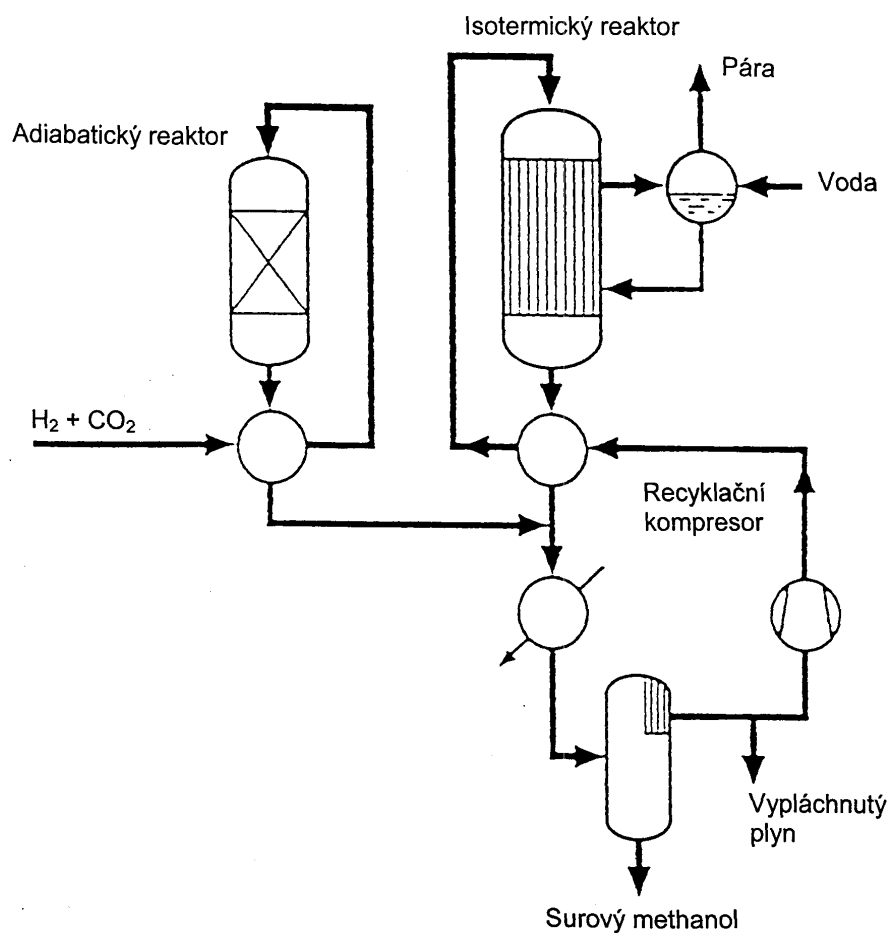
V roce 1991 uvedla na trh firma Südchemie A.G., Mnichov zlepšené katalyzátory pro syntézu metanolu označované C 79–5 GL, C 79–4 G1 a C 79–6 G1. Tyto katalyzátory jsou dobře aplikovatelné i při syntéze metanolu ze směsi H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>. Ověřovací zkoušky byly provedeny ve spolupráci s firmou Lurgi. Reakční podmínky při syntéze metanolu s katalyzátorem C 79–5 G1 byly následující:

- obsah CO<sub>2</sub> v čerstvém syntečním plynu 8 % obj.,
- stechiometrický poměr SN v čerstvém syntečním plynu 2,
- poměr recyklovaného a čerstvého plynu 3,8
- objemová rychlost Nm<sup>3</sup>/M<sup>3</sup>. hod 10 700
- tlak 8 MPa
- teplota 251 °C,
- projektovaná kapacita výroby metanolu/den. 2 000 t

Při syntéze probíhají paralelně reakce:



Doporučená teplota syntézy je 260–270 °C. Předpokládá se, že katalyzátor C 79–5 G1 by mohl mít životnost kolem 4 let. Složení metanolu vyrobeného ze směsi H<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> je obdobné jako u obvyklé syntézy ze syntečního plynu s hodnotou SN kolem 2 až 3; složení surového metanolu z obou syntéz je uvedeno v tab. 22, schéma výroby metanolu ze směsi H<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> je na obr. 61. Firma Lurgi ověřila výrobu metanolu ze směsi H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> a uvádí, že výroby o denní kapacitě 3000 t metanolu by mohly být ekonomické již v současném období.



**Obr. 61:** Schéma výroby metanolu ze směsi  $H_2$  a  $CO_2$

**Tab. 18:** Složení surového metanolu vyrobeného ze směsi  $H_2$  a  $CO_2$  a ze syntézního plynu obvyklého složení

Parametr	$CO_2 + H_2$			Syntézní plyn
Teplota (°C)	250.2	255.0	260.1	250.0
Hlavní složky (% hm.)				
Metanol	63.7	63.7	63.7	84.5
Voda	36.2	36.3	36.3	15.4
Nečistoty (ppm)				
n-Alkany:				
C4	0	0	0	10
C5	0	0	0	13
C6	0	0	0	13
C7	0	0	0	13
C8	0	0	0	9
C9	0	0	0	6

C10	0	0	0	5	
C11	0	0	0	4	
C12	0	0	0	5	
Celkem	0	0	0	78	
Vyšší alkoholy	C2	39	46	68	289
n-C3	12	16	24	87	
i-C3	8	9	13	40	
n-C4	7	7	9	27	
i-C4	3	3	5	33	
s-C4	12	15	20	96	
Celkem	89	105	148	626	
Estery					
Metylester kys. mravenčí	145	140	129	580	
Metylester kys. octové	0	0	0	1	
Metylester kys. propionové	0	0	0	1	
Celkem	145	140	129	582	
Ketony	0	0	0	14	
Aceton					
Metyl etylketon	0	0	0	8	
Metyl propylketon	0	0	0	2	
Celkem	0	0	0	24	
Dimetyleter	14	18	24	61	
Nečistoty celkem	248	263	301	1 371	

#### 4.3.3.5. Současné trendy výroby metanolu

V současné době jsou pro výrobu metanolu plánovány ve vhodných lokalitách především velkokapacitní jednotky. Pro ty je ovšem třeba mít k dispozici i spolehlivou velkokapacitní výrobu syntézního plynu. Ta je ovšem, jak již bylo řečeno výše, investičně náročná; při výrobě metanolu je podíl investic připadající na výrobu syntézního plynu větší než 50 % z celkových investičních nákladů na výrobu metanolu v závislosti na kapacitě výroby obou uvedených komodit. S ohledem na tuto skutečnost je proto pochopitelné, velká pozornost je proto zaměřena na snížení nákladů spojených s výrobou syntézního plynu. Při výrobě syntézního plynu jsou využívány nové poznatky a postupy získané, resp. vypracované v posledních letech.

Z technologií výroby syntézního plynu se uplatňuje především parní reformování, u kterého byla ovšem realizována různá zdokonalení, týkající se lepší výměny tepla v reformovacím reaktoru s využitím tepla vyráběného syntézního plynu. Tyto systémy nejen zlepšují ekonomiku výroby syntézního plynu, ale současně také významně snižují exhalace oxidů dusíku do atmosféry. S výhodou jsou tyto reaktory používány v rámci kombinovaného reformování, kdy je za ně zařazen jako druhý reaktor reaktor autotermního reformování. Tato technologie dvoustupňového reformování je vhodná pro velkokapacitní jednotky pro výrobu metanolu, u kterých není použití jednostupňového reformování z ekonomických důvodů vhodné. Samotné autotermní reformování představuje další úspornou variantu výroby syntézního plynu. Hlavní úspory se ovšem očekávají od realizace keramických membránových reaktorů umožňujících levné autotermní reformování zemního plynu vzduchem.

Firma Haldor Topsøe považuje za reálné vyrábět v jedné lince autotermního reformování takové množství syntézního plynu, které umožní výrobu až 10 tis. t metanolu denně. Kombinované reformování zemního plynu bylo použito ve výrobě metanolu s roční kapacitou 830 tis. t metanolu, která je v provozu od roku 1997 v Tjeldbergodden v Norsku.

Novou koncepci výroby metanolu s využitím kombinovaného reformování vyvinula firma ICI. Pro její proces LCM (Leading Concept Metanol) je charakteristické, že v prvním stupni parního reformování se trubky tohoto reaktoru ohřívají syntézním plynem z druhého stupně reformování asi na 700 °C. Plyn vystupující při cca 700 °C z prvního reaktoru obsahuje ještě vysoký podíl metanu. Syntéza metanolu podle postupu LCM byla ověřena na demonstrační jednotce (kapacita 164 t/den) na pokusné základně v Melbourne v Austrálii.

Původně se předpokládalo, že technologie LCM bude určena především pro výroby o menší kapacitě v odlehlých oblastech pro krytí místní spotřeby. V tomto případě odpadá náročná doprava metanolu z velkokapacitních výroben do větších vzdáleností. V současné době se situace mění a technologie LCM bude použita i pro velkokapacitní výroby metanolu; firma oznámila, že se společně s firmou Metanex Corp. podílí v Kataru na realizaci výroby metanolu s denní kapacitou 2 950 t metanolu, která bude uvedena do provozu v roce 2006. Firma Metanex Corp. oznámila, že společně s firmou Syntec Inc. připravuje výstavbu dalších dvou velkokapacitních výroben metanolu (3 tis. t metanolu/ den) v Chile a v Austrálii, ve kterých bude použit společně vyvinutý reformovací reaktor AGHR (Advanced Gas Heated Reformer).

Zvětšující se kapacity jednotek výroby metanolu i syntézního plynu samozřejmě umožňují poměrně výrazně snížit investiční náklady na výrobu metanolu. V letošním roce firma BP oznámila, že společně s firmou Metanex Corp. uvedla na Trinidadu do provozu výrobu metanolu s denní kapacitou 2 500 t metanolu a že na Trinidadu obě firmy společně staví další výrobu metanolu s dosud největší výrobní kapacitou 5 000 t metanolu/den.

Pokroky byly dosaženy nejen ve vývoji technologií výroby syntézního plynu, ale i při vývoji technologie vlastní výroby metanolu. V této souvislosti je třeba zmínit především vývoj technologie LPMEOHTM (Liquid Phase Metanol Technology), který úspěšně realizovala firma Air Products and Chemicals, Inc. Ta přenesla výrobu metanolu ze syntézního plynu z plynné fáze (na pevném loži katalyzátoru) do kapalné fáze, a to do již popsaného reaktoru pracujícího se suspenzí katalyzátoru. Technologie LPMEOHTM umožňuje vyrábět metanol ze syntézního plynu s různým molárním poměrem H<sub>2</sub>/CO, přičemž koncentrace CO v syntézním plynu může být až 50%, aniž by to ovlivnilo aktivitu katalyzátoru. V suspenzi katalyzátoru je dosahováno vysokých konverzí syntézního plynu, protože po celé délce reaktoru je stejná teplota; tato konstrukce reaktoru v podstatě umožňuje vést vysoce exotermní reakci jako izotermní proces. Desaktivace katalyzátoru

je velmi pomalá a katalyzátor v reaktoru se může vyměňovat on-line. To umožňuje dlouhodobou kontinuální práci jednotky.

Hlavní výhodou procesu, je vedle vysokého prosazení, i kvalita vyráběného metanolu. Klasická syntéza metanolu v plynné fázi ze syntézního plynu bohatého na vodík poskytuje produkt obsahující 4–20 % hm. vody. Metanol z reaktoru pracujícího se suspenzí katalyzátoru má výrazně menší obsah vody a to max. 1 % hm.

Variace nové technologie jsou obdivuhodné. Jestliže se do “slurry” reaktoru přidá ke katalyzátoru pro syntézu metanolu i dehydratační katalyzátor, lze přímo vyrábět dimetyleter. Nově byl vyvinut katalyzátor, který umožňuje konverzi syntézního plyn na dimetyleter a výševroucí kyslíkaté sloučeniny (např. dimetoxymetan), které jsou kapalné, mají vysoké cetanové číslo a osvědčují se jako aditiva motorové nafty; tato aditiva, např. Cetaner<sup>TM</sup> výrazně redukuje jak emise NO<sub>x</sub>, tak i kouřivost vznětových motorů.

Závěrem této kapitoly je možno konstatovat, že velkokapacitní jednotky pro výrobu metanolu otevírají cestu pro jeho následné využití k výrobě motorových paliv a petrochemikálií, především etylenu a propylenu. Velkokapacitní výroba metanolu bude důležitá také pro praktické aplikace palivových článků; metanol bude pravděpodobně palivem první generace elektromobilů.

#### 4.4. Battery value chain

Díky rozmachu obnovitelných zdrojů energie je v současné době důležité pro stabilitu energetické sítě zvýšit kapacitu skladování elektrické energie. Proto je výroba baterií v Evropě dnes velké téma. Evropská komise zdůraznila dlouhodobé skladování energie jako klíčové pro přechod k uhlíkové neutralitě. Evropský průmysl baterií ale potřebuje řadu surovin. Evropská unie proto klade velký důraz na projekty takzvaného **bateriového řetězce (Battery value chain)**. Globální poptávka po surovinách potřebných pro výrobu baterií by měla následujících 10 let neustále růst. Nejvíce by měla růst poptávka po lithiu. Důvodem je, že lithium-iontové články (dnes nejvíce používaný druh baterií) používají jako klíčovou součást lithium. Tradiční lithium-iontové baterie mají grafitovou anodu, katodu z oxidů kovů a kapalinu zvanou elektrolyt. Kapitola je věnována především problematice lithiových baterií a souvisejících aktivit, které by mohly pozitivně zasáhnout Karlovarský kraj. Text nejprve krátce zhodnotí surovinovou stránku věci, tedy výskyt lithiových rud ve světě a v ČR, poté bude popsán potenciál ČR, resp. kraje v celkovém kontextu lithiového byznysu.

##### 4.4.1. Výskyt lithiových rud ve světě a v ČR

Výskyt a typ lithiových rud ve světě a v ČR je patrný z následujících obrázků a tabulek.



## Výskyt lithia

### Minerály s obsahem lithia

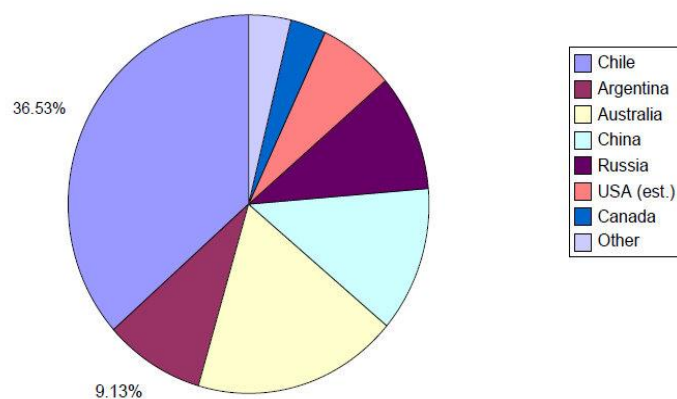
- ≈ 145 minerálů, obsahujících lithium jako hlavní komponentu
- ≈ 20 minerálů s obsahem větším než 2% Li

minerál	vzorec	teor.obsah Li [%]	hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]
lepidolit	$\text{KLi}_{1,5}\text{Al}_{1,5}(\text{SiAlO}_{10})(\text{F,OH})_2$	5,9	2,85
spodumen	$\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$	8,1	3,20
amblygonit	$\text{LiAl}(\text{PO}_4)(\text{F,OH})$	10,1	3,10
petalit	$(\text{Li,Na})(\text{AlSi}_4\text{O}_{10})$	4,9	2,43
<b>cinvaldit</b>	$\text{KLiFeAl}(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{F,OH})$	1.6	3,10



Obr. 62: Nejvýznamnější lithiové rudy a obsah lithia

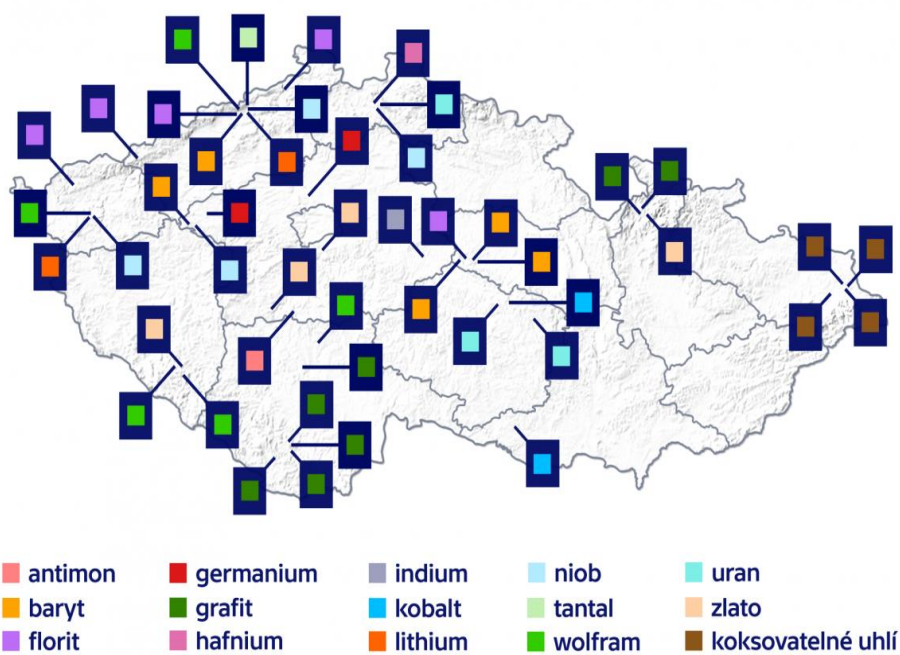
### Global Lithium Production (Metal Equivalent)



Obr. 63: Hlavní světoví producenti lithia (rok 2016)

[Zdroj: [The Top Lithium Producing Countries In The World - WorldAtlas](#)]

## Ložiska potenciálních zdrojů kritických nerostných surovin EU




Zdroj: Česká geologická služba

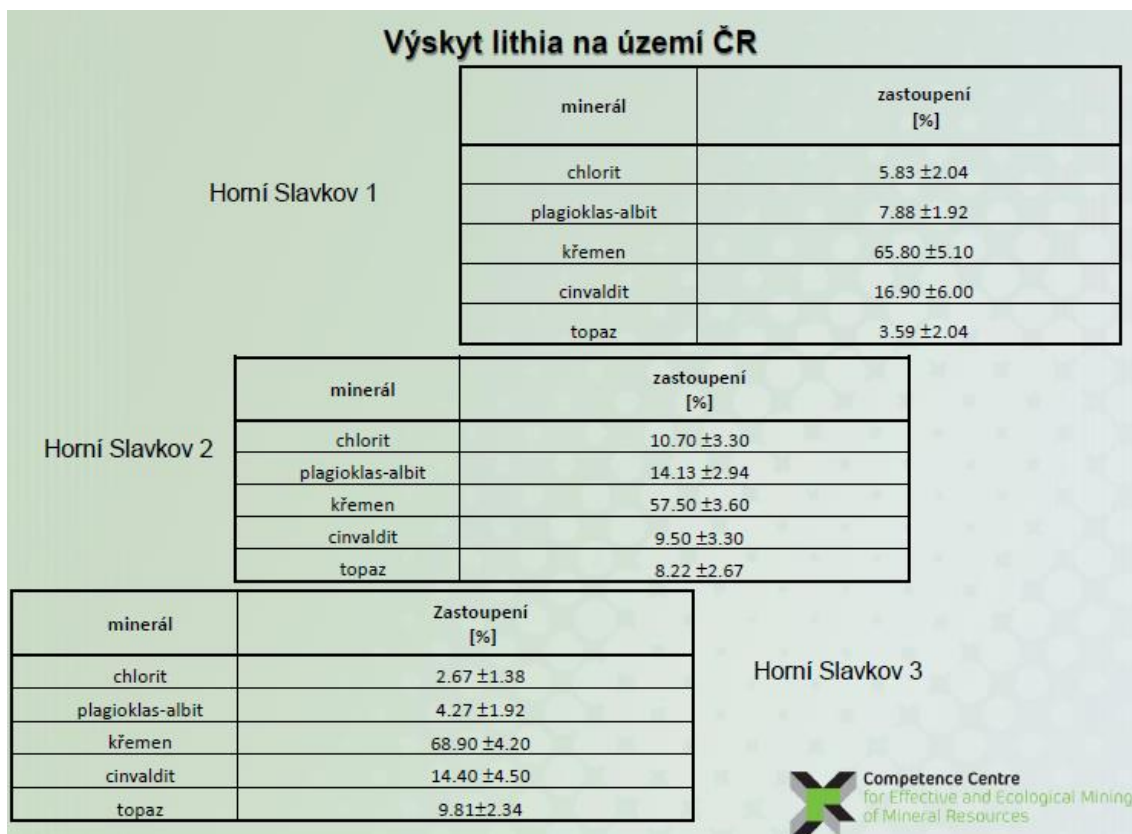
**Obr. 64:** Výskyt kovových rud v ČR

[Zdroj: <http://www.geology.cz/extranet/publikace/online/surovinove-zdroje/surovinove-zdroje-ceske-republiky-2020.pdf>]

- **Cínovec**
  - celkové evidované zásoby(tis.t): W-23,1; Sn-123,8; Li -151,8
  - ✓ Cínovec - jih
  - ✓ Cínovec - východ
  - ✓ Cínovec - starý závod
  - ✓ Cínovec - sever (netěžen)
  - ✓ Cínovec – odkaliště
- **Krásno - Horní Slavkov**
  - celkové evidované zásoby (tis.t): W-9,1; Sn-72,0; Li-43,3
  - ✓ Krásno
  - ✓ Horní Slavkov
  - ✓ Horní Slavkov odkaliště



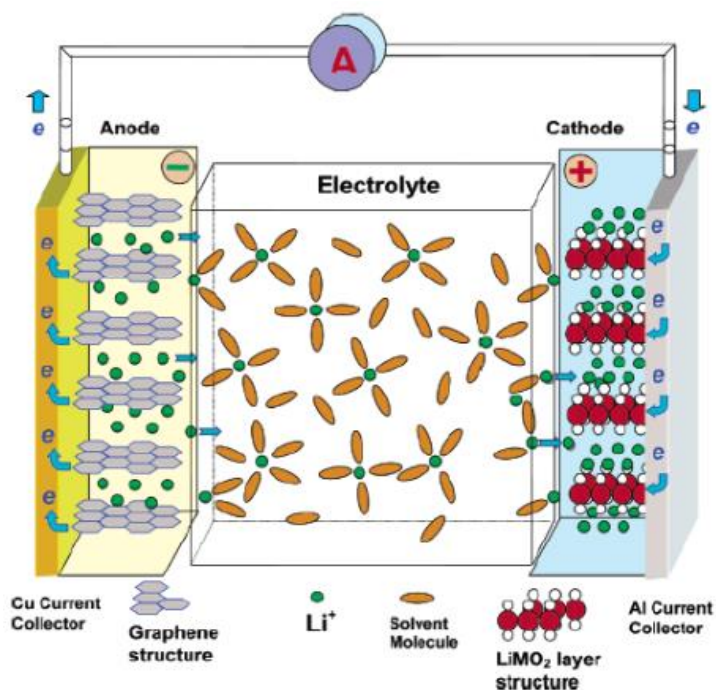
**Obr. 65:** Odhadované zásoby lithia v ČR



**Obr. 66:** Výskyt lithia v lokalitě Horní Slavkov

#### 4.4.2. Co je lithiová baterie?

Lithium-iontové baterie se dodávají v řadě typů a mají různé použití. Existuje více typů lithium-iontových baterií, ale u všech je zásadním prvkem pro jejich výrobu lithium. Na obrázku (obr. 67) je zobrazeno zjednodušené schéma článku, naznačující oddělení elektronu od neutrálního prvku a následující separované proudění uvolněných elektronů (elektrický proud) a lithiových kationtů.

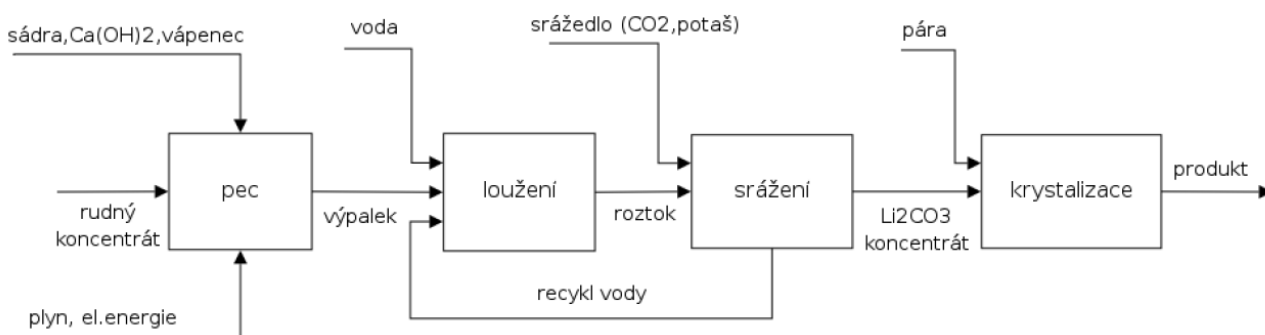


**Obr. 67:** Schéma lithium-iontového článku

#### 4.4.3. Technologie

Získávání koncentráту se předpokládá magnetickou separací (na místě těžby), kdy velká zrna jsou na rozplavovacích sítích odstraněna, stejně tak jako je surovina zbavena biologických zbytků. Následně je surovina rozplavena na suspenzi, která přechází přes permanentní magnet k odstranění ořezů či úlomků železitého charakteru. Suspenze je tím připravena pro následné vysoko intenzivní magnetické separace. Nemagnetický podíl je odvodněn a zbaven jílových podílů v hydrocyklonech. Oddělený písek je pak volně ložen a připraven k odvozu. Technologie úpravy vlastní pískové suroviny bude navržena na základě požadavků potencionálních odběratelů pískové suroviny (sklářský a hutní průmysl). Úprava písku významně zvyšuje hodnotu vstupní suroviny. Oddělené lithné slídy mají primární využití pro extrakci zájmových prvků (primárně lithia), ale i kovů rubidia a dalších prvků. Z koncentráту lze chemickou separací získat koncentrát  $\text{Li}_2\text{CO}_3 - \text{Rb}_2\text{CO}_3 - \text{K}_2\text{CO}_3$ .

Pro získání vlastního koncentráту jsou navrženy 2 procesy, jejichž obecné schéma je zobrazeno na obr. 68:



**Obr. 68:** Schéma výroby uhličitanu lithného

[Zdroj: Ing. Petr Záruba, SUAS]

#### **4.4.3.1. Sádrový proces**

Tepelný rozklad rudy působením směsi sádry a hydroxidu vápenatého při teplotách 940–960 °C. Lithium přechází do roztoku jako  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  a následně probíhá srážení na  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  pomocí  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  či  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

#### **4.4.3.2. Vápencový proces**

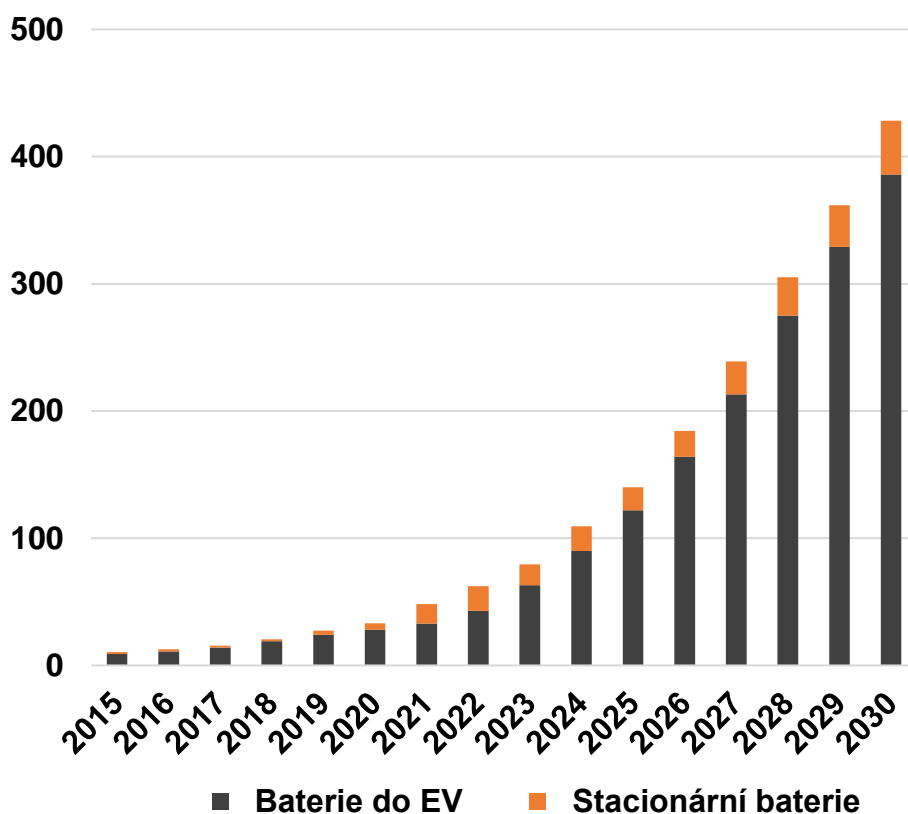
Tepelný rozklad působením vápence při 820–830 °C. Lithium přechází do roztoku jako  $\text{LiOH}$  a působením  $\text{CO}_2$  vzniká  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ . Následným rozkladem uvolněný  $\text{CO}_2$  se využívá opět ke srážení uhličitánů.

#### **4.4.4. Sumarizace situace kolem lithium iontových článků**

Následující body charakterizují situaci a potenciál bateriového segmentu pro ČR:

- Evropský trh s bateriemi vzroste do roku 2030 více než desetinásobně oproti dnešku
- Kvůli přísnějším emisním limitům pro evropské automobilky poroste poptávka zejména po bateriích do elektromobilů
- EU se stane po Číně druhý největší světový trh pro baterie, v roce 2030 dosáhne očekávaná roční poptávka po bateriích téměř 400 GWh, což odpovídá roční produkci zhruba 20 velkých výroben baterií tzv. gigafactory
- Vznikají nové celoevropské projekty (např. Northvolt, Freyr), zároveň v Evropě navyšují své investice asijské firmy (LG, Samsung, SK Innovation)
- ČR představuje vhodný region pro výstavbu bateriových výroben i navazujícího průmyslu kvůli centrální poloze v rámci Evropy a velkému podílu automobilového průmyslu
- Bateriová výroba je energeticky intenzivní, v rámci ČR ji lze lokalizovat do řady brownfieldů navíc do oblastech uhelného útlumu (s možnou dodatečnou podporou)
- S ohledem na ohlášené ambiciózní plány evropských automobilek na produkci baterií vzniká v poslední době řada bateriových výroben
- Státy se usilují přilákat investice do bateriového řetězce významnými pobídkami
- V Evropě může uspět lokální výroba baterií díky potřebě automobilek mít větší kontrolu nad výrobou baterií i provozní návaznost na lokální výrobu baterií
- Evropské státy se snaží zmírnit vysoké logistické náklady na dopravu z Asie
- Připravuje se přísnější regulace na ekologickou udržitelnost výroby baterií (vč. např. těžby materiálů)

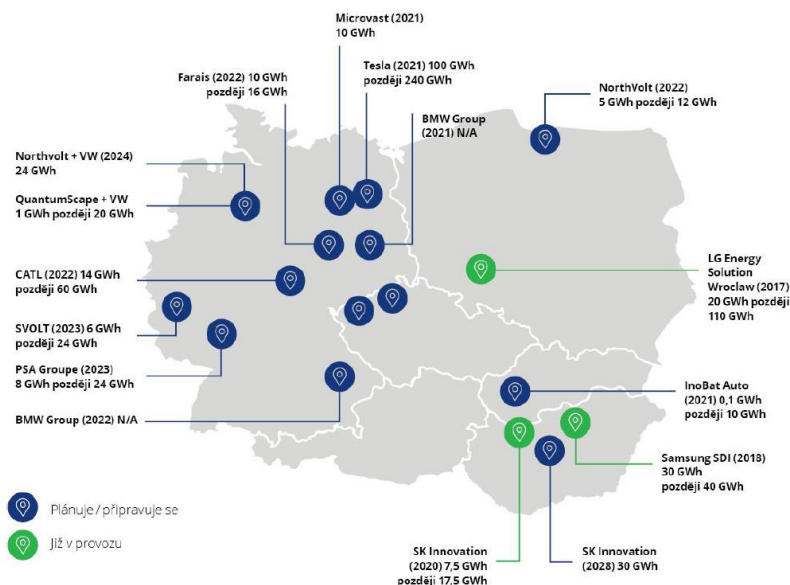
- Evropský bateriový hodnotový řetězec se etabluje, ale navzdory připravovaným projektům není pokryta očekávaná poptávka, zároveň se více zdůrazňuje environmentální aspekt výroby
- Těžba a zpracování lithia v ČR je významným strategickým prvkem k zajištění nezávislosti EU na dovozu suroviny ze třetích zemí a povede k posílení energetické bezpečnosti
- EU si dále klade za cíl stát se významným světovým hráčem ve výrobě baterií a tím dosáhnout „strategické autonomie“, z čehož může ČR dlouhodobě profitovat
- Na úrovni EU vznikají iniciativy jako EBA (European battery alliance) nebo EIT Raw Materials, které podporují udržitelný rozvoj evropského odvětví nerostů, kovů a materiálů – část alokovaných prostředků může být použito pro aktivity v ČR
- Konflikt na Ukrajině a současná geopolitická situace vyvolává nutnost brzkého dosažení soběstačnosti EU ve strategických materiálech



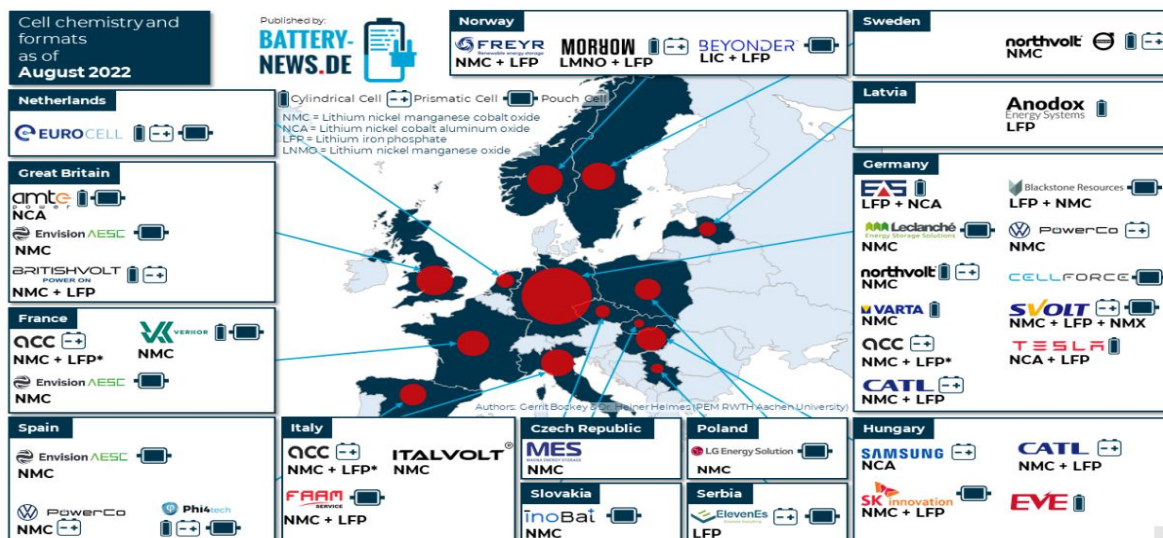
**Obr. 69:** Skutečnost a předpoklad výroby bateriových článků v EU (v GWh)

#### 4.4.5. Stávající a plánované bateriové aktivity v EU

Jako dokumentace nebývalého rozmachu bateriového průmyslu jsou dále bez komentáře uvedeny následující obrázky.

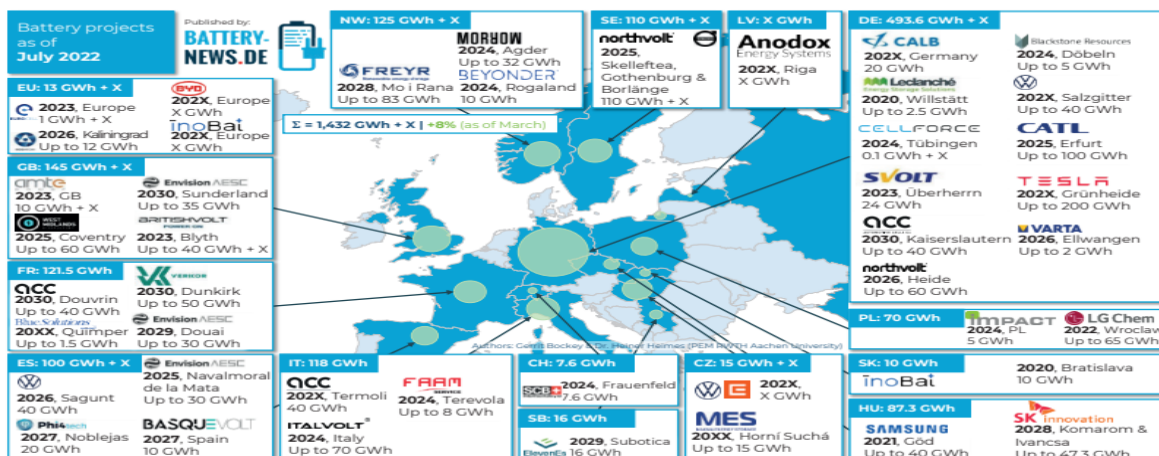


Obr. 70: Bateriové aktivity v EU



Obr. 71: Výroba Li baterií v Evropě podle typu

# BATTERY CELL MANUFACTURERS



Source: [www.battery-atlas.eu](http://www.battery-atlas.eu); abstract, no claim of completeness

Obr. 72: Výrobci baterií v Evropě

## 4.4.6. Lithiová energetika – potenciál pro průmysl a bateriový řetězec

Lithiové baterie nepředstavují pouze těžbu a výrobu uhličitanu lithného, ale celý obchodně technologický řetězec zahrnující:

- Těžbu a zpracování surovin
- Výrobu aktivních materiálů (uhličitan lithný)
- Výrobu článků lithium iontových článků
- Integraci baterií do pohonných souborů
- Automobilovou výrobu
- Post-využití bateriových článků (využití pro stacionární skladování el. energie)
- Recyklaci (výstavba recyklačních linek)
- Systém dobíjecích stanic
- Softwarové služby související s elektro mobilitou

### 4.4.6.1. Gigafactory – velká továrna na výrobu baterií

V rámci úsilí o snížení závislosti na dovozu bateriových článků z Asie má Evropa podle některých nejnovějších předpovědí do roku 2035 postavit až 35 Gigafactories. Získání lithia ve spojení s vybudováním Gigafactory je pro ČR unikátní příležitostí chemické výroby. Mít v ČR továrnu na baterie je pro ČR logický krok, protože naše ekonomika je silně závislá na automobilovém průmyslu a trh elektrických vozidel představuje téměř 80 % poptávky po lithium-iontových bateriích. V Gigafactory by se měly vyrábět baterie o kapacitě desítek gigawatthodin, což by postačovalo k saturaci potřeb automobilového průmyslu.

V České republice bylo vybráno několik možných lokalit pro stavbu nové Gigafactory. Kombinace projektů těžby a zpracování lithných slídek a výroba baterií přímo v Karlovarském kraji nabízí unikátní možnost průmyslové výroby, která bude mít svůj dodavatelský řetězec přímo v jednom místě. To kromě přidané hodnoty celého řetězce a zvýšení zaměstnanosti navíc může



snížit dopravní zátěž v Karlovarském kraji, protože se suroviny nebudou ve velkém vozit mimo kraj.

Projekt těžby a výroby lithia na Cínovci vytvoří odhadem cca 1 000 pracovních míst a v plánované Gigafactory vznikne dalších cca 3 000 pracovních míst. Zároveň bude nová továrna potřebovat zaměstnance s vyšším vzděláním, což pro Karlovarský kraj znamená příležitost pro rozvoj školství.

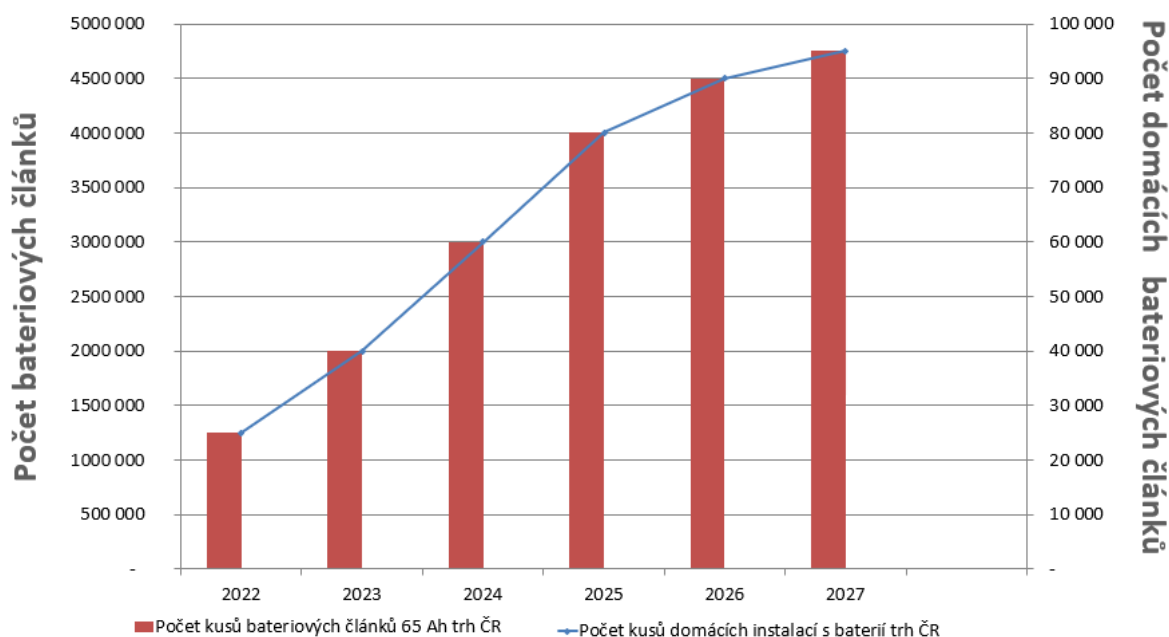
#### 4.4.6.2. Malá továrna na výrobu baterií

Projekt Gigafactory pro automobilový průmysl bude velmi investičně náročný a bude vyžadovat dlouhou přípravu.

V rámci projektů bateriového řetězce ovšem není nutné věnovat veškerou pozornost pouze Gigafactory. Jako alternativu lze rovněž uvažovat menší výrobu baterií pro jiný než automobilový průmysl nebo pro domy.

V roce 2022 bylo v ČR realizováno cca 25 000 domácích solárních instalací (90 % s bateriovým úložištěm). Karlovarský kraj má možnost v rámci projektů bateriového řetězce zaměřit se na výrobu těchto baterií, přičemž nebude vystaven tak velkému konkurenčnímu tlaku jako v případě Gigafactory a přitom může využít všechny výše zmíněné výhody realizace chemického bateriového průmyslu v Karlovarském kraji.

Tento projekt malé továrny by neměl být vnímán jako konkurence Gigafactory, protože cílí na jiné odběratele. Postavení malé továrny na baterie je investičně méně náročné, takže může být tento projekt realizován rychleji. V konečném důsledku může existence již fungující továrny na baterie v Karlovarském kraji naopak být důvodem postavit vlastní Gigafactory v Karlovarském kraji, protože zde již bude zázemí a odborníci pro toto průmyslové odvětví.



Obr. 73: Potenciál domovních instalací s bateriovým článkem

#### 4.4.6.3. Nelithiové baterie

Průmysl lithium-iontových baterií se neustále mění. Společnosti a vědci po celém světě vytvářejí nové baterie, které buď fungují vedle lithium-iontových baterií, nebo je nahrazují. Je nutné upozornit, že většina predikcí odhaduje nedostatek lithia pro pokrytí poptávky po bateriích v následujících letech. Proto se hledají další varianty konfigurace baterií. V rámci **Battery value chain** je vhodné nezaměřovat se tedy pouze na Lithium a baterie na jeho bázi, ale také na baterie postavené na jiné chemii. Bateriový průmysl postavený také na nelithiové chemii by Karlovarskému kraji mohl přinést konkurenční výhodu v bateriovém průmyslu a případné spojení lithiový+nelithiový bateriový průmysl by ještě více zvýšil potenciál tohoto odvětví v kraji. Že se touto problematikou seriózně zabývají i velcí hráči, ukazuje následující obrázek (obr. 74) publikovaný BASF.

	Cycle Duration	Pros	Cons	General Comment
V-RFB	4 - 8h	Technology advancement ongoing	V price fluctuating, toxicity of V <sup>V+</sup>	Emerging technology
Li-Ion (NMC)	min - 6h	Driven by automotive industry, economy of scales	Co critical raw material	Market leader and benchmark in ESS
Li-Ion (LFP)	min - 6h	Cheap and abundant raw materials	Lower ED and voltage than Li-Ion (NMC)	Expected to become most cost competitive Li-Ion technology in future
Pb-Acid	min - h	Established, safe, sustainable	Low energy density, little SoC usage	Not seen as competitive technology for ESS in the future
Supercaps	s - min	Power density (10 <sup>4</sup> Wh/kg), cycle life (10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup> )	Self discharge (up to 40%), high costs	Different market: "Power boost", very short storage times
Pumped Hydro	h - day	Mature, long lifetime (>20y)	Environmental concerns, landscape limitations	Different market: "Very large" scale storage
Flywheels	min	Mature, long lifetime (>20y)	Self-discharge during idling, low energy density	Different market: "few minutes", not seen in utility markets
Compressed Air	h	Research state, long lifetime (>25y)	Low RTE (60-70%)	No established market

BASF internal assessment based on various public sources



**Obr. 74:** Bateriový průmysl – příklad

[Zdroj: firemní informace BASF]

Důležitým představitelem nelithiových baterií je sodíkovo-sírový akumulátor (zkracováno NaS) je akumulátor, kde je anodou čistý sodík a katodou síra, obojí v tekuté formě. Elektrolyt má podobu membrány z oxidu hlinitého. Baterie NAS hrají důležitou roli ve všech energetických sítích i v aplikacích mimo síť. Nabízejí výhody různým segmentům energetického trhu. Technologie NAS<sup>®</sup> Battery byla ověřena více než 15 lety nasazení u zákazníků po celém světě. Za tuto dobu bylo realizováno více než 200 projektů s celkovým výkonem přesahujícím 580 MW a 4,0 Kontejnerová baterie se skládá ze šesti modulů se 192 články. Keramická trubice z beta-oxidu hlinitého funguje jako elektrolyt, který umožňuje průchod pouze iontů sodíku. Při vybíjení se sodík oxiduje a síra se redukuje za vzniku polysulfidu (Na<sub>2</sub>SX). Krok nabíjení znovu získává kovový sodík a elementární síru Kompaktní tvar umožňuje snadnou přepravu a rychlou instalaci u zákazníka. Jeden kontejner má výkon 250 kW (špičkový výkon) / 1,45 MWh. Stohováním kontejnerů lze celkovou energii systému snadno zvýšit na libovolné požadované množství.

#### 4.4.7. Recyklace baterií

Vzhledem k již zmíněnému nedostatku lithia pro pokrytí poptávky po bateriích v následných letech, bude recyklace nevyhnutelnou součástí bateriového řetězce. Až lithium-iontová baterie dosáhne konce své životnosti, bude baterie nejprve recyklována mechanickou metodu, při které vznikne materiál obsahující lithium a další kovy. Lithium a další kovy budou následně separovány pro opětovné použití. Podle studie Evropské federace pro dopravu a životní prostředí by více než pětina lithia a také přes 60 % kobaltu potřebného k výrobě baterie mohla v roce 2035 pocházet z recyklace. Pokud by recyklační linka byla umístěna v Karlovarském kraji, mohl by Karlovarský kraj hrát velmi významnou roli v rámci ČR v klíčové bateriové chemii, k čemuž má všechny předpoklady.

#### 4.4.8. Situace v ČR – potenciál a přínosy pro dotčené regiony

- Případný bateriový průmysl samotný má potenciál vytvořit kolem 1000 pracovních míst, přičemž na většinu z nich mají kvalifikaci zaměstnanci „uhelných“ provozů, které budou postupně zanikat
- Vzhledem k plánované výši tržeb dojde k navýšení HDP a nepřímo také příjmové stránky dotčených regionů
- Dotčené obce získají podíl z poplatků za vydobyté nerosty
- Těžba a zpracování lithia se řadí mezi úspěšné transformační projekty v rámci uhelných regionů Evropy, což přinese nárůst pozitivního vnímání kraje různými evropskými institucemi

##### 4.4.8.1. Projekt – „Cínovec“

V následujícím textu je krátce heslovitě představen projekt spojovaný s těžební lokalitou Cínovec v Ústeckém kraji. Uvedené informace mohou být v některých směrech motivační pro Karlovarský kraj, a to vzhledem k výskytu lithiových surovin na území kraje.

- Na Cínovci se těží od 14. století, ale v 80. letech 20.století byly v dolu identifikovány významné zásoby nerostů, ze kterých lze získat cín, wolfram a lithium
- Z průzkumů vyplývá, že v lokalitě může být až 3 % světových známých zásob lithia (z toho 2/3 leží na české straně a zbytek německé straně)
- Plánovaná roční produkce 2,2 mil t rudy, ze které se vyrobí přibližně 25,000 t požadované formy lithia (pro více než 30GWh vyrobených baterií, což odpovídá asi 400,000 až 800,000 elektromobilů – podle technologie a velikosti baterie)
- Projekt je ve stádiu studie proveditelnosti s dokončením
- Rozhodnutí o výstavbě plánované na konec 2023; začátek produkce na 2026; plná produkce od 2028

- Investice přibližně Kč 12-14 mld. Kč podle výsledků finální studie proveditelnosti
- Celkem 1000 zaměstnanců (40 % důl, 60 % zpracovatelský závod) - 3směnný provoz

Z uvedených skutečností lze sumarizovat:

- Evropa se během několika let stane druhým největším světovým trhem pro baterie, přičemž hlavním spotřebitelským oborem bude automobilový průmysl
- K zásobování rychle rostoucího bateriového trhu a k dosažení soběstačnosti ve strategických materiálech je v Evropě rozvíjena řada projektů s podporou institucí a iniciativ na úrovni EU i členských států
- Lithium je jedním z klíčových materiálů pro bateriový průmysl
- Česká republika má mnoho komparativních výhod k umístění a rozvoji bateriového průmyslu a návazných odvětví
- Záměrem je rozvíjet celý bateriový, surovinový a energetický řetězec komplexně, a tak maximalizovat přínosy pro Českou republiku a dotčené regiony
- Ústecký kraj je regionem, s nímž se počítá pro umístění velké části tohoto řetězce
- Nedílnou součástí tohoto rozvojového komplexu bude těžba lithia na Cínovci, jednoho z nejbohatších evropských ložisek
- Těžba a zpracování lithia bude probíhat podle nejvyšších technologických standardů s maximální šetrností k životnímu prostředí
- Tento projekt vytvoří nejméně 1000 nových pracovních míst a významně přispěje k rozvoji kraje

#### 4.4.9. Závěr a doporučení

Pro Karlovarský kraj lze v oblasti bateriového průmyslu dát následující doporučení:

1. Organizačně i technicky podpořit výstavbu bateriové recyklační linky. Pokud by recyklační linka byla umístěna v Karlovarském kraji, mohl by Karlovarský kraj hrát velmi významnou roli v rámci ČR v klíčové bateriové chemii, k čemuž má všechny předpoklady.
2. Organizačně a technicky podpořit kombinaci projektů těžby a zpracování lithných slúd a výroba baterií přímo v Karlovarském kraji. Toto propojení nabízí unikátní možnost průmyslové výroby, která bude mít svůj dodavatelský řetězec přímo v jednom místě. To kromě přidané hodnoty celého řetězce a zvýšení zaměstnanosti navíc může snížit dopravní zátěž v Karlovarském kraji, protože se suroviny nebudou ve velkém vozit mimo kraj.
3. Karlovarský kraj má možnost v rámci projektů bateriového řetězce zaměřit se na výrobu těchto baterií, přičemž nebude vystaven tak velkému konkurenčnímu tlaku jako v případě Gigafactory a přitom může využít všechny výše zmíněné výhody realizace chemického bateriového průmyslu v Karlovarském kraji.
4. Využít lokální naleziště lithia v Karlovarském kraji

## **4.5. Podpora technologií OZE**

Tato kapitola se věnuje problematice přechodu na obnovitelné zdroje energie, výrobě a spotřebě elektrické energie a tepla v Karlovarském kraji v souvislosti s rozvojem chemického průmyslu.

Oblast energetiky přímo souvisí s průmyslem a jeho budoucím rozvojem. Týká se zejména energeticky náročných odvětví, která jsou ovšem pro Karlovarský kraj klíčová – chemický, keramický, sklářský apod. Pokud pro budoucí průmysl v Karlovarském kraji nebude k dispozici cenově dostupná a spolehlivá dodávka energií, bude to velká překážka v jeho rozvoji.

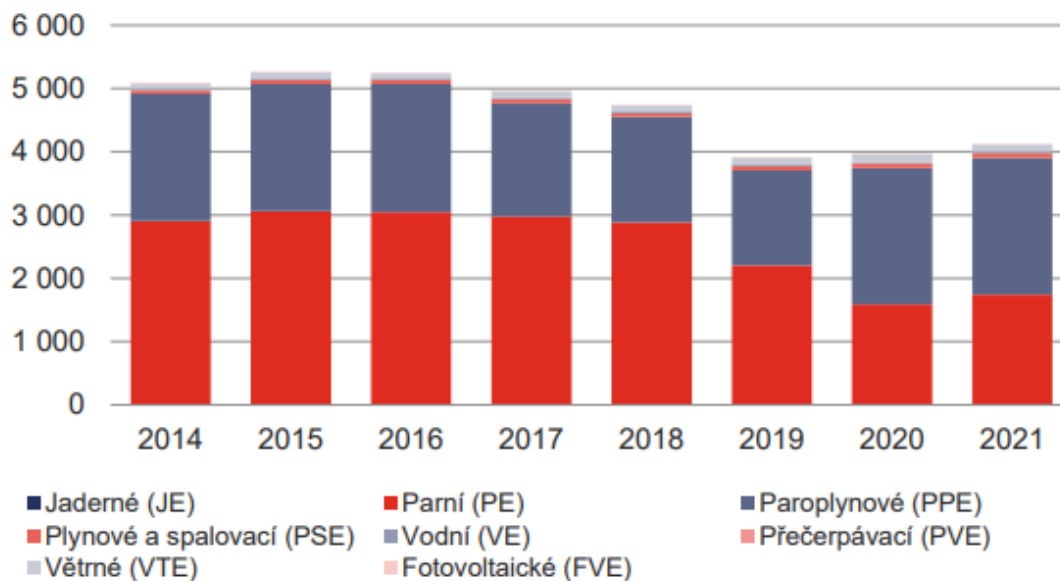
Chemický průmysl je také významný konzument tepla, ale může být i významný producent tepla. Producentem tepla jsou chemické procesy buď přímo (odpadní nízko-potenciální teplo) nebo nepřímo (výroba paliv, které jsou následně použity k výrobě tepla).

### **4.5.1. Elektrická energie**

Přechod energetiky na OZE a dekarbonizace je pro chemický průmysl velkou výzvou především z pohledu spolehlivosti dodávek elektrické energie. Chemické procesy vyžadují stabilní a zaručenou dodávku elektrické energie pro zajištění spolehlivosti a bezpečnosti technologie. U elektrické energie se v následujících letech změní kromě výrobní základny i výrazně struktura spotřeby. To především v souvislosti s přechodem na vodíkové hospodářství, jak bylo ukázáno výše.

Karlovarský kraj je dnes významným výrobcem elektrické energie. Značná část této elektřiny je spotřebována lokálním průmyslem. Mnohé zdroje elektrické energie zde byly v minulosti postaveny právě pro zásobování lokálního těžkého průmyslu. V roce 2021 bylo dle poslední výroční zprávy ERU za rok 2021 (pozn. Zpráva za rok 2022 není ještě v době vypracování této studie k dispozici) v celé ČR vyrobeno 84 907 GWh elektrické energie a z toho v Karlovarském kraji 4 124 GWh elektrické energie. Výroba elektrické energie v karlovarském kraji tedy představuje necelých 5% celkové výroby elektrické energie v ČR.

### Výroba elektřiny brutto (GWh)

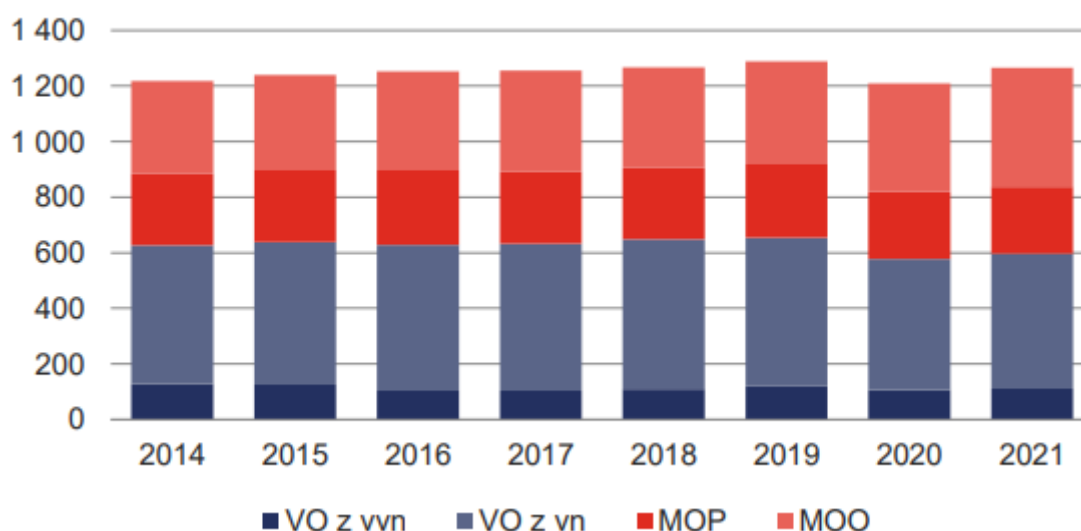


**Obr. 75:** Výroba elektřiny brutto (GWh)

[Zdroj: ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR PRO ROK 2021]

Spotřeba elektřiny v Karlovarském kraji byla dle výroční zprávy ERU 1 266 GWh. Z toho je patrné, že Karlovarský kraj je dnes významně přebytkový v bilanci elektrické energie. Z této spotřeby elektrické energie bylo 111 GWh dodáno velkoobděratelům na úrovni VVN a 485 GWh bylo dodáno velkoobděratelům na úrovni VN. 241 GWh bylo dodáno průmyslovým maloodběratelům (MOP). Zbytek tvoří tzv. maloodběr ostatní (MOO).

### Spotřeba elektřiny netto (GWh)



**Obr. 76:** Spotřeba elektřiny netto (GWh)

[Zdroj: Roční zpráva o provozu teplotních soustav ČR za rok 2021]

Z výše uvedených čísel je patrné, že velkoodběr a odběr pro průmysl představuje významnou spotřebu elektrické energie. Jak bylo popsáno v kapitolách výše v souvislosti s dekarbonizací energetiky lze očekávat zvýšenou spotřebu elektrické energie v průmyslu. Souvisí to především s nahrazováním zemního plynu (viz kapitola 4.1.5) a se zaváděním vodíkového hospodářství a vodíkové chemie (viz kapitola 4.1.6). Dále lze očekávat, že nově instalované chemické technologie se stanou dodatečnými významnými odběrateli elektrické energie, což ještě zvýší spotřebu elektrické energie v průmyslu Karlovarského kraje. Z hlediska bilance elektrické energie v Karlovarském kraji je také nutné upozornit, že 43% vyrobené elektrické energie v Karlovarském kraji (1748 GWh) bylo z uhlí.

#### 4.5.2. Teplo

V kapitole o energii musíme, kromě elektrické energie zařadit také teplo, které je mnohdy neprávem opomíjeno. Chemický průmysl je ovšem velkým konzumentem, ale také producentem tepla. Technologické teplo je v chemickém průmyslu potřeba především pro procesy destilace, sušení, desorpce, udržování reakčních podmínek, odpařování atd. Bilance výroby tepla v Karlovarském kraji (dle zprávy ERU o provozu Teplárenství za rok 2021) je uvedena v následující tabulce 20.

**Tab. 19:** Celkový instalovaný výkon

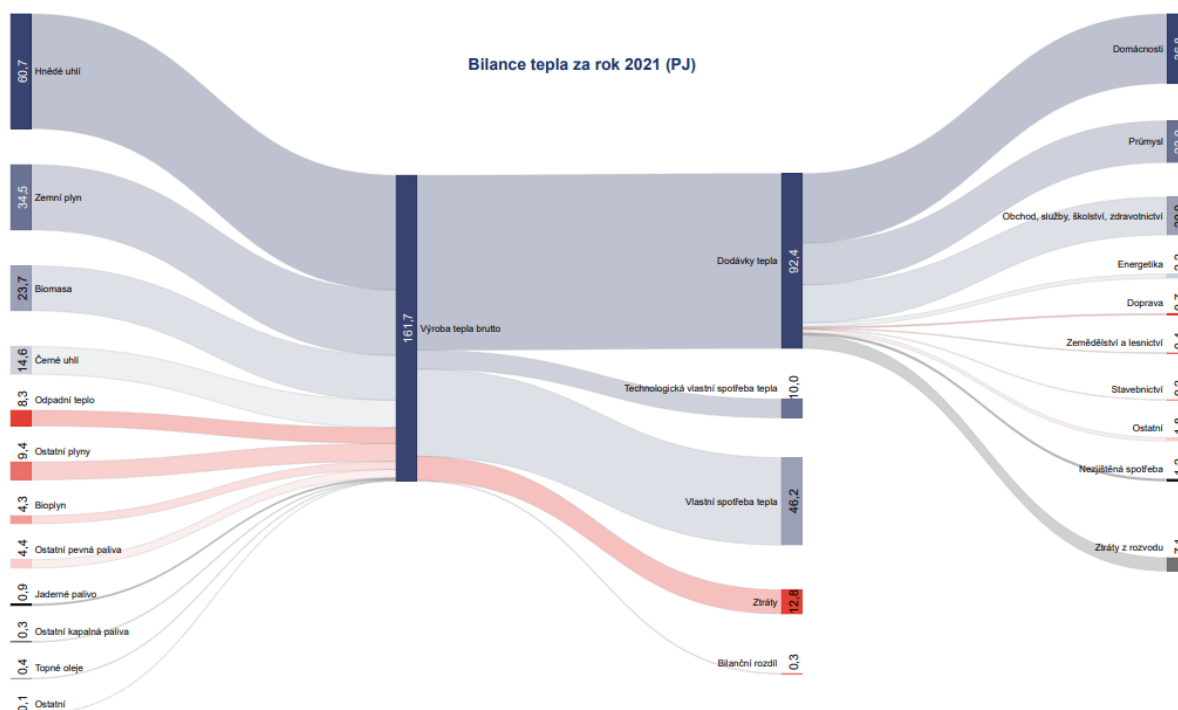


	<b>Celkem</b>
<b>Celkový instalovaný výkon [MW<sub>e</sub>]</b>	<b>2 834,3</b>
<b>Výroba tepla brutto [TJ]</b>	<b>8 275,0</b>
<b>Dodávky tepla podle paliv [TJ]</b>	<b>3 503,6</b>
Biomasa	349,0
Bioplyn	5,9
Elektrická energie	0,0
Energie prostředí (tepelné čerpadlo)	5,2
Energie Slunce (solární kolektor)	0,1
Hnědé uhlí	1 960,9
Ostatní pevná paliva	0,8
Ostatní plyny	0,0
Ostatní	0,0
Topné oleje	0,0
Zemní plyn	1 181,6
<b>Spotřeba tepla podle sektorů [TJ]*</b>	<b>2 960,4</b>
<b>Průmysl</b>	<b>186,6</b>
Energetika	119,2
Doprava	14,3

Stavebnictví	14,4
Zemědělství a lesnictví	6,6
Domácnosti	1 740,8
Obchod, služby, školství, zdravotnictví	724,7
Ostatní	153,8

[Zdroj: Roční zpráva o provozu teplárenských soustav ČR za rok 2021]

Z tabulky je patrné, že pouze 42 % vyrobeného tepla je určeno pro dodávky v rámci teplárenství. Zbytek spotřeby tepla tvoří vlastní spotřeba a technologická vlastní spotřeba. Pro lepší představu o spotřebě tepla je zde uvedeno rozdělení výroby a spotřeby tepla pro ČR (pro jednotlivé kraje není k dispozici).



**Obr. 77:** Bilance tepla za rok 2021

[Zdroj: Roční zpráva o provozu teplárenských soustav ČR za rok 2021]

Z hlediska bilance průmyslové výroby tepla v Karlovarském kraji je také nutné upozornit, že 56 % dodávaného tepla v Karlovarském kraji bylo z uhlí a 34 % dodávaného tepla v Karlovarském kraji bylo ze zemního plynu. Tedy cca 90 % dodávaného tepla je fosilního původu. Se stupňujícím se tlakem na dekarbonizaci lze očekávat odstavování těchto zdrojů.

#### 4.5.3. Závěry a doporučení

Problematika OZE je extrémně rozsáhlá, v této studii jsou zpracovány vybrané oblasti významné pro chemický průmysl v Karlovarském kraji. Téma OZE se tak objevuje v celé studii, zároveň se nepřímo dotýká i dalších sektorů a průmyslu v kraji.



## *Elektrická energie*

Jak bylo uvedeno dříve, z hlediska bilance elektrické energie, pocházelo v Karlovarském kraji 43 % vyrobené elektrické energie z uhlí. Vzhledem k tlaku na odstavení uhelných zdrojů lze očekávat jejich postupný útlum. Kombinace všeho výše zmíněného zásadním způsobem změni bilanci elektrické energie v Karlovarském kraji. Z výše uvedeného zřejmé, že podpora chemického průmyslu se neobejde bez souběžné podpory a rozvoje energetiky v Karlovarském kraji. Karlovarský kraj se může z přebytečného stát po odstavení fosilních zdrojů energeticky deficitní, což by mohlo limitovat rozvoj průmyslu v regionu. Bez zajištění zdrojů energie také nelze uvažovat o zavádění vodíku nebo nahrazování zemního plynu, což sníží možnosti kraje při rozvoji nových technologií. Také přechod bioplynových stanic z výroben elektřiny na výrobní plynu může negativně ovlivnit energetickou bilanci. Proto se doporučuje, aby s projekty rozvoje chemického průmyslu v Karlovarském kraji byly souběžně realizovány projekty nových zdrojů elektrické energie, které zajistí dostatečné a spolehlivé zásobování elektrickou energií.

## *Teplota*

Jak bylo uvedeno dříve, je cca 90 % dodávaného tepla v Karlovarském kraji fosilního původu. Se stupňujícím se tlakem na dekarbonizaci lze očekávat odstavení těchto zdrojů. To představuje pro Karlovarský kraj do budoucna velkou výzvu, což by měla reflektovat také samostatná studie pro oblast energetiky. Je zde riziko, že pokud se tento potenciální problém nevyřeší včas, tak dojde k přesunu výroby tepla z monitorovaných centrálních výroben do lokálních nekontrolovaných výroben a místo dekarbonizace a ekologizace výroby tepla dojde jen k přenesení a „zamaskování“ emisí. Pozitivně se v budoucí bilanci výroby tepla může projevit využití vodíku, bioplynu nebo instalace chemických technologií produkujících přebytek tepla. Některé chemické technologie produkují nízko-potenciální teplo, které by mohlo v budoucnu nahradit výrobu primárního tepla z fosilních paliv a zajistit tak budoucí dodávky tepla v Karlovarském kraji. Z výše uvedeného je zřejmé, že oblast teplárenství a obecně výroby tepla nesmí být v rámci budoucích projektů rozvoje chemického průmyslu opomíjena.

## **5. Naznačení možností, jak popsané trendy uplatnit u hlavních průmyslových společností**

Studie navrhuje témata, která mohou být významná pro využití potenciálu kraje jako celku a dále témata, která mohou být předmětem zájmu dvou nejvýznamnějších chemických, resp. energeticko-chemických podniků v kraji. Příkladem jsou dva klíčové podniky – chemicko-energetická společnost SUAS a chemická společnost SYNTHOMER. Principy, uvedené v případových studiích, je možné využít pro každý podnik, aktivní v oblasti chemického průmyslu, s tím, že výrazný potenciál úspor očekáváme u středních a velkých podniků, vzhledem k tomu že využívají energeticky náročné technologie, u kterých lze očekávat potenciál úspor. Zde formulovaná doporučení nejsou tedy využitelná jen pro společnosti SYNTHOMER a SUAS, ale pro každý podnik, který má zájem o realizaci chemických výrob v Karlovarském kraji.

Oddíl je doplněn krátkou informací o chemickém (tedy nikoli energetickém) zpracování uhlí, jehož využití je v současné i výhledové politické situaci znovu pokládáno za atraktivní téma. Kapitola 5 je zpracována jako dvě případové studie. V první se pojednává o třech významných tématech – vodíku, bioplynu a zpracování odpadních plastových substrátů, ve druhé o zelené chemii. V každé

podkapitole je provedena momentální technická analýza problému vždy zakončená podkapitolou: relevance pro Karlovarský kraj.

## **5.1. Případová studie I**

V dalším textu jsou jen velmi stručně naznačeny možnosti aplikace výše uvedených informací pro oblast vodíku, bioplynu a cirkulární ekonomiky z hlediska významu pro Karlovarský kraj.

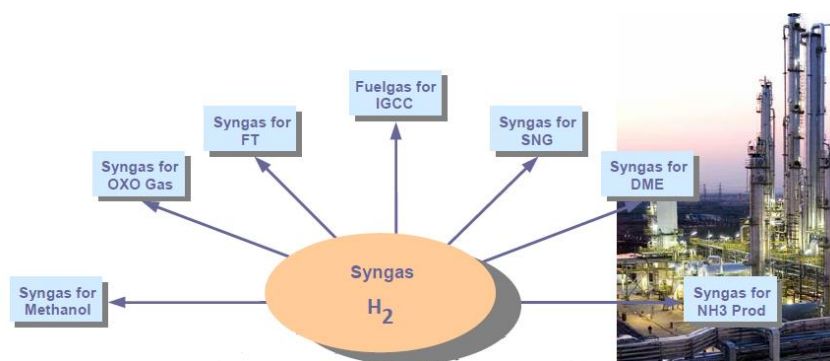
### **5.1.1. Vodíkové technologie aplikovatelné v Karlovarském kraji**

Podrobný popis současné a výhledové situace kolem vodíku je uveden v kapitole 4.1. Na tomto místě lze krátce rekapitulovat aplikační možnosti vodíku, resp. syntézního plynu, který je obvyklým mezistupněm pro separaci vodíku, pokud k jeho výrobě vycházíme s obvyklých, tedy uhlíkových surovin – uhlí, ropy, zemního plynu, biomasy nebo odpadních (plastových) substrátů. Posledně uvedená myšlenka představuje dnes zdůrazňovaný význam syntézního plynu, totiž tu možnost jej vyrábět jako univerzální surovinový základ z různých typů surovin nebo jejich kombinace.

Pojmem „syntézní plyn“ se označuje plyn s obsahem CO a H<sub>2</sub>, který se získává různými postupy, které používají různé výchozí uhlíkaté suroviny. V současné době se průmyslově využívají především tři zdroje, a to zemní plyn, destilační zbytky ze zpracování ropy, nebo uhlí. S ohledem na budoucí předpokládaný postupný pokles využívání fosilních zdrojů probíhá také intenzivní vývoj technologií pro získání syntézních plynů z obnovitelných zdrojů. Jelikož syntézní plyny, jak už jejich název sám napovídá, jsou meziproduktem pro následné syntézy dalších látek, především pak jejich následné použití definuje požadavky na složení a čistotu plynu.

#### **5.1.1.1. Vodíkové technologie – potenciál možností pro společnost SUAS**

SUAS má potenciál k rozvoji vodíkových technologií. SUAS má dlouholeté zkušenosti s výrobou a čištěním syntézních vodíkových plynů jako vedlejších produktů základní energetické výroby. Syntézní plyn produkovaný v palivovém kombinátu ve Vřesové byl ze 45 % obj. vodík. Proto může v oblasti vodíku nabídnout SUAS praktické zkušenosti v průmyslovém měřítku. SUAS má potenciál zaměřit se na výrobu a následné využití vodíku, zejména modrého a zeleného. Jako jedna z možností výroby zeleného vodíku se jeví využití elektrolýzy při využití ekologicky vyrobené elektřiny. Takto získaný zelený vodík, lze následně využít jako ekologické palivo, či jako surovina pro chemické zpracování. Rovněž lze uvažovat o jeho využití jako částečná náhrada zemního plynu v plynárenské soustavě. Vodík je velmi důležitá chemická surovina, která je nutná pro celou řadu chemických výrob. Zelený vodík lze využívat jako náhradu klasických paliv (ropa, zemní plyn) nebo pro náhradu vodíku již dnes vyráběného ze zemního plynu. Hlavní technologie využívající vodík, ať již ve formě čistého vodíku nebo ve formě syntézního plynu (tedy vodíku ve směsi s oxidem uhelnatým) jsou na obrázku 78.



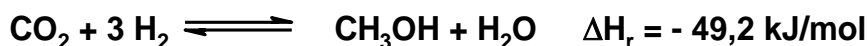
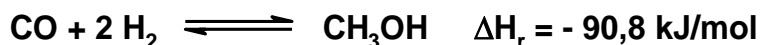
**Obr. 78:** Využití vodíku pro chemické syntézy

[Zdroj: Rectisol® Wash Units: Acid Gas Removal for Polygeneration Concepts downstream Gasification; Ulvi Kerestecioğlu, Thomas Haberle; GTC Conference, Washington DC, 2010]

Pro chemický podnik v podmínkách ČR, kde je relativně velká spotřeba metanolu (MTBE, FAME) resp. uhlovodíkových surovin jako komponenty motorových paliv, je možno doporučit orientovat se na metanol, Fischer Tropschovu syntézu uhlovodíků a na metanizaci

### Výroba metanolu

Metanol se vyrábí ze syntézního plynu s vhodným poměrem CO/H<sub>2</sub>, přičemž roli hraje také obsah CO<sub>2</sub>. Konverze v reaktoru se pohybuje od 50 do 80 % a přebytečný plyn se recykluje. Syntéza metanolu probíhá hydrogenací CO ale také hydrogenací CO<sub>2</sub>. Zároveň v systému na použitých katalyzátorech dochází k ustálení rovnováhy mezi CO a CO<sub>2</sub>. Celkové zabarvení procesu je exotermní a teplota v loži katalyzátoru stoupá.



Původní technologie na Cu-ZnO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalyzátoru pracovala při teplotách 300–450 °C a tlacích 25–35 MPa. Nové technologie pracují Cu-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalyzátorem při teplotách 220–280 °C a tlacích do 10 MPa. Nový katalytický systém byl již dlouho znám, ale prosadil se teprve potom, co byly k dispozici technologie na čištění syntézního plynu, protože nový systém je citlivý na sírné sloučeniny jako je sirovodík (H<sub>2</sub>S) nebo karbonyl sulfid (COS) Sírné látky se nevratně adsorbují na aktivní povrch mědi, mění elektronovou hustotu ve svém okolí a činí tak povrch neaktivní. Starý katalytický systém byl díky práci při vysoké teplotě odolný. Dnešní norma na obsah H<sub>2</sub>S a COS do syntézy metanolu je 0,1 ppm. Z tohoto důvodu se také plyn z POX těžkých zbytků příliš nepoužívá, protože obsahuje 0,7 až 1,5 % H<sub>2</sub>S a stovky ppm COS a jejich odsíření na nízké hodnoty je náročné.

Problémovou skupinou látek v syntézním plynu jsou halogenidy, a to především chloridy. Tyto látky nemění přímo katalytické vlastnosti, ale tvoří chloridy mědi a zinku, které mají výrazně nižší bod tání (426 °C CuCl oproti 1085 °C kovová měď). To vede k postupné sintraci kovové složky, poklesu jejího volného povrchu a tím i k poklesu aktivity katalyzátoru. Obsah halogenidů je normován pod 1 ppb.

Další nežádoucí nečistoty v syntézním plynu jsou karbonyly železa ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ) a niklu ( $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ). Tyto látky vznikají v přítomnosti CO za nízkých teplot při kontaktu s nevhodnými konstrukčními materiály. Při podmínkách syntézy metanolu se rozkládají a železo a nikl se ukládají v katalyzátoru. S ohledem na to, že tyto dva kovy jsou aktivní pro Fischerův-Tropschův proces a mají k dispozici i reakční komponenty ( $\text{H}_2/\text{CO}$ ), tak produkují látky, které metanol znečišťují. Nad to, karbonyly se také rozkládají přímo na kovové složce a vytvářejí tak neaktivní slitiny, které ve výsledku snižují aktivitu katalyzátoru a tím jeho životnost. Nově je pohlíženo na metanol jako na základní látku pro rozvoj následných petrochemických výrob – zejména metanol na bázi  $\text{CO}_2$  – v rámci celosvětového trendu tzv. LCT – low carbon technologies)

### **Uhlovodíky vyráběné Fischer Tropschovou syntézou**

Fischer – Tropschova syntéza (FTS), tj. syntéza uhlovodíků ze syntézního plynu ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), je příkladem heterogenní povrchově katalyzované hydrogenace CO vodíkem. Výsledkem reakce je bez ohledu na použité reakční podmínky a katalyzátor široká škála produktů od C1 uhlovodíků až po vysokomolekulární „vosky“.

Pokud se jako základní kritérium řízení průběhu FTS zvolí charakter kapalných produktů, je možné tento charakter určovat volbou reakční teploty a katalyzátoru. FTS lze potom rozdělit na tzv. nízkoteplotní FTS (LT-FTS), která probíhá při teplotách 200–240 °C a tlacích 20–45 bar, a tzv. vysokoteplotní FTS (HT-FTS), která je uskutečňována při teplotách 300–350 °C a tlacích 20–40 bar. Hlavními produkty LT-FTS jsou v závislosti na katalyzátoru a ostatních reakčních podmínkách uhlovodíky s bodem varu >100 °C, přičemž většina má bod varu >350 °C, tzn. C7-C100 uhlovodíky, zejména lineární parafíny s dlouhým řetězcem a nízké olefiny, vhodné pro výrobu diesellových frakcí. Naopak v případě HT-FTS je bod varu většiny vznikajících uhlovodíků <100 °C, tzn., vedle olefinů a kyslíkatých látek především C1-C7 alkany, což jsou uhlovodíky benzinových frakcí. S ohledem na rafinérské či rafinérsko-petrochemické zpracování produktů FTS je výhodnější LT-FTS, protože umožňuje maximalizovat výtěžky motorové nafty při následném zpracování primárních FTS produktů. Naproti tomu HT-FTS je výhodná pro čistě petrochemické zpracování primárních FTS produktů na lehké olefiny.

Hydrogenace CO vodíkem je katalyzována kovy VIII. skupiny s následujícím pořadím aktivity:  $\text{Ru} > \text{Fe} > \text{Co} > \text{Rh} > \text{Ni} > \text{Ir} > \text{Pt} > \text{Pd}$ . Nikl vykazuje však vysokou selektivitu na metan. Vzhledem k vysoké ceně a nízkým zásobám Ru, jsou nejčastěji pro FT proces používány železo a kobalt. Tyto katalyzátory se používají v dispergované kovové formě nanesené na amorfních nosičích v koncentracích cca 5–20 hm. %. Jejich aktivita závisí na typu nosiče, výběru vhodného způsobu deposice prekurzorů kovových kationtů, způsobu kalcinace a redukce kationtových částic a použití kovových promotorů (vzácných kovů) pro usnadnění redukce Co a Fe na malé, vysoce dispergované a stabilní kovové částice. FTS je silně exotermní reakcí, klíčovým problémem, který je tedy nutné řešit při její praktické aplikaci, je odvod reakčního tepla. V poslední době proto doznává zásadní změny jak v oblasti vedení procesu, tak i konstrukce reaktorů. Nízkoteplotní FTS obecně využívá dva typy reaktorového uspořádání: reaktor s pevným ložem a na reaktor se suspendovaným katalyzátorem (typ SBCR); vysokoteplotní FTS používá reaktor s fluidním ložem katalyzátoru.

### **Metanizace – především výroba biometanu**

Tento proces bývá používán jako finální krok, přičemž se CO a  $\text{CO}_2$  konvertují na metan. Jelikož jsou tyto reakce svou povahou hydrogenace, a tedy silně exotermní, používá se tento postup pro zbytkové koncentrace do 1 %. Jako katalyzátor se používá nikl nanesený na směsné oxidy ( $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{MgO}$ ). Metanizace probíhá obvykle se vstupní teplotou 300 °C, přičemž adiabatický nárůst

teploty je do 100 °C. Pokud jsou v plynu sírné sloučeniny, tak jejich depozice v katalyzátoru podporuje vznik tetrakarbonyl niklu ( $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ), který je velmi toxický a vzniká především při nižších teplotách (při nájedzu a odstavení). Podobně v přítomnosti CO vzniká i pentakarbonyl železa ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ), který kromě toho, že je toxický a způsobuje korozi zařízení, se také při podmínkách metanizace rozkládá a pokrývá niklový povrch katalyzátoru a činí ho tak neaktivní. Z tohoto důvodu se zařízení pro metanizaci (reaktor, rekuperační výměník, trubky...) dělají z nerezové oceli s nízkým obsahem železa. Význam metanizace poklesl se zavedením adsorpčních procesů jako je PSA (Pressure Swing Adsorption). Ale výrazně narostl v souvislosti s možnou konverzí odpadního oxidu uhličitého na metan v nově navrhovaných nízkoemisních energetických cyklech. Toto též v souvislosti s nebyvalým rozvojem bioplynových stanic u nás.

### **5.1.2. Výroba a využití syntézního plynu z biomasy v Karlovarském kraji – návrh projektu**

#### **Zplyňování biomasy na syntézní plyn**

Popis projektu: Princip této inovativní technologie spočívá v termickém rozkladu vhodné předupravené odpadní biomasy (dřevo, sláma, mláto, čistírenské kaly kaly) za vysokých teplot a v přeměně syntézního plynu vzniklého během zplyňování odpadních surovin. Výstupem je syntézní plyn, který je po přečištění dále veden do katalytické jednotky pro výrobu kapalných uhlovodíků procesem Fischer-Tropschovy syntézy nebo pro výrobu metanolu. Touto technologií je možné okamžitě vyrobit alternativní mezi-produkty vhodné pro výrobu pokročilých alternativních paliv (motorová nafta, automobilový benzin, kerosin, CNG, LPG) a současně produkty pro výrobu základních chemikálií s vysokou čistotou (ethylen, propylen aj.).

Tato technologie je plně kompatibilní se stávajícím výrobním komplexem společnosti SUAS. Projekt má ambice podpořit cirkulární ekonomiku v regionu ve smyslu efektivního využití odpadních surovinových zdrojů a splnit legislativní požadavky EU o obnovitelných zdrojích energie v dopravě. Hlavní výhody z hlediska vlivů na životní prostředí u této technologie jsou následující, úspora emisí  $\text{CO}_2$  vnášených do ovzduší o 50 % ve srovnání s tradičním zpracováním fosilních materiálů, objemová redukce do kapalné formy se značnou chemickou stálostí a vysokou čistotou.

Komplexní řešení projektu technologie zpracování odpadní biomasy a následné konverze syntézního plynu za vzniku kapalných produktů představuje v konečné fázi nejen uvedení pokročilých biopaliv s nulovými emisemi na trh, ale zároveň podporuje energetiku zvýšením efektivity celého procesu díky akumulaci a následnému využití procesního tepla jako zdroje obnovitelné energie. V souvislosti s transformací území, lze doporučit výstavbu technologie zplyňování v oblasti, která je ve vlastnictví skupiny SUAS.

Nepřetržitý provoz technologie jako celku umožní vytvoření nových pracovních míst v místě provozování v počtu 50-60 osob. S očekávaným zvýšením zájmu trhu o pokročilá alternativní paliva a další prémiové chemikálie se očekává postupné navyšování zaměstnanosti v následujících letech.

### **5.1.3. Bioplyn a jeho využití v Karlovarském kraji**

V kapitole je podán základní popis současné situace kolem bioplynu v Karlovarském kraji včetně možností jeho chemického využití a relevance pro společnost SUAS.

### 5.1.3.1. Výroba bioplynu v kraji

Přehled bioplynových stanic v Karlovarském kraji je uveden v tabulce 21. Údaje do tabulky byly převzaty z webu (<https://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic.html>). Jsou zde evidovány pouze bioplynové stanice, které využívají bioplyn ke kogenerační výrobě el. energie a tepla. Malé bioplynové stanice, kde se bioplyn pouze spaluje s cílem získávání tepla, na tomto serveru evidovány nejsou.

**Tab. 20:** Přehled současné provozovaných bioplynových stanic v Karlovarském kraji

název BPS	typ stanice	instalovaný el. výkon (kW)	instalovaný tep. výkon (kW)	rok udělení licence
Klest	zemědělská	1200	1251	2012
ČOV Cheb	ČOV	123	182	2007
Okrouhlá u Chebu	zemědělská	999	1059	2012
Skládka Tisová	skládková	300	370	2004
ČOV Sokolov	ČOV			1995
Horní Slavkov	zemědělská	550	542	2013
Otročín	zemědělská	364	438	2008
Žalmanov	skládková	570		2004
Karlovy Vary	ČOV			1995
Chotěnov (Mar. Lázně)	ČOV	34	60	2007
Žlutice	zemědělská	750	696	2009
Pšov	zemědělská	550	630	2013
Skládka Chodov	skládková	200		2002

Jedná se celkem o 13 bioplynových stanic; z toho 4 stanice jsou provozovány na ČOV a jako substrát využívají čistírenský kal; 3 stanice zpracovávají skládkový plyn ze skládek odpadu a zbývajících 6 stanic jsou stanice využívající k výrobě bioplynu různé zemědělské suroviny.

### 5.1.3.2. Možnosti intenzifikace výroby bioplynu

Všechny bioplynové stanice uvedené v tabulce 1 využívají bioplyn ke kogenerační výrobě el. energie a tepla. Tento způsob využití je finančně podporován ERU formou různých bonusů dle typu

používaných surovin. Energetická účinnost výroby el. energie se ve většině případů pohybuje mezi 30 a 35 %, zbytek energie představuje produkované teplo, které částečně odchází se spalinami do ovzduší (5–10 % z celkové energie obsažené v bioplynu) a zbylé teplo je možné využít k různým účelům. Část tepla se používá k ohřevu bioreaktorů, které v mezofilním režimu provozu pracují při teplotě 40–45 °C. Zbytek tepla pak slouží k otopu v zimních měsících případně k jiným účelům. Využití tepla je však na mnohých bioplynových stanicích problematické (zejména v letních měsících, kdy je velká část tepla mařena odváděním do ovzduší). Z toho důvodu se ERU rozhodl ukončit finanční podporu výroby el. energie z bioplynu. Většina bioplynových stanic v kraji byla uvedena do provozu v letech 2004 až 2013 a dané technologie jsou amortizovány. Jejich provozovatelé zvažují možnosti dalšího provozu za podmínek, které by byly pro ně ekonomicky přijatelné.

Jednou z možností zvýšení finančního profitu je zpracování surovin, které jsou k dispozici za nulovou nebo negativní cenu. Takové suroviny představuje např. biologicky rozložitelný odpad, který je v současné době většinou kompostován nebo skládkován. Podobně je možné využít také gastro odpad případně další podobné druhy odpadů z potravinářských provozů.

Další možností je pak změna portfolia vyráběných produktů, kde je místo el. energie a tepla (problematické uplatnění na trhu) nabízen jako produkt biometan, který je možné rozvádět v distribučních sítích zemního plynu a prodávat za srovnatelnou cenu. Vývoj cen zemního plynu v roce 2022 vedl k vysokému zvýšení ekonomického profitu z prodeje biometanu. Nabízí se tak alternativa pro další provoz bioplynových stanic v kraji, který by byl pouze částečně orientován k výrobě el. energie pro vlastní spotřebu zařízení bioplynové stanice a tepla využitelného pro ohřev bioreaktoru. Větší část produkovaného bioplynu by pak byla upravována na kvalitu bioplynu a prodávána do rozvodných sítí zemního plynu.

Změna režimu provozu bioplynových stanic však představuje značné nároky na investiční prostředky a má proto smysl pouze u větších stanic typu zemědělských stanic, příp. stanic provozovaných na skládkách odpadů. Pro jejich převod do režimu výroby biometanu je rozhodující také vzdálenost plynovodních distribučních sítí, na které může být dané produkční místo biometanu připojeno.

### **5.1.3.3. Zajištění potřebných surovin**

Zvýšení produkce bioplynu se neobejde bez zajištění potřebného množství surovin vhodných pro jeho výrobu. V současné době představuje portfolio používaných surovin v KK především čistírenské kalý, různé druhotné zemědělské suroviny (biomasa, zvířecí exkrementy) a organický podíl odpadů deponovaných na skládkách odpadů. Produkce čistírenských kalů je limitována znečištěním odpadních vod a nelze zde předpokládat významný nárůst, pokud nedojde k intenzifikaci provozů ČOV. Navíc jsou bioplynové stanice instalované na ČOV v KK malého výkonu a jejich intenzifikace bude ekonomicky náročná s dlouhou dobou návratnosti vynaložené investice. Reálnou možnost však představuje zvýšení množství biomasy používané k výrobě bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích. Tyto stanice jsou v KK větších výkonů a jejich konverze na výrobu biometanu již dává ekonomický smysl. Pro zpracování na biometan se zde nabízí suroviny, které dnes končí na skládkách komunálního odpadu (tzv. biologicky rozložitelný odpad, který představují především rostlinné zbytky, ev. některé druhy potravinářských odpadů). Ve velkých městech je sběr bioodpadu již organizován, avšak tento druh odpadu většinou končí v kompostárnách, kde je přeměněn na CO<sub>2</sub> a biologicky nerozložitelný zbytek využíván jako hnojivo v zahradnictví a v zemědělství. V anaerobním prostřední metanizačních reaktorů je možné

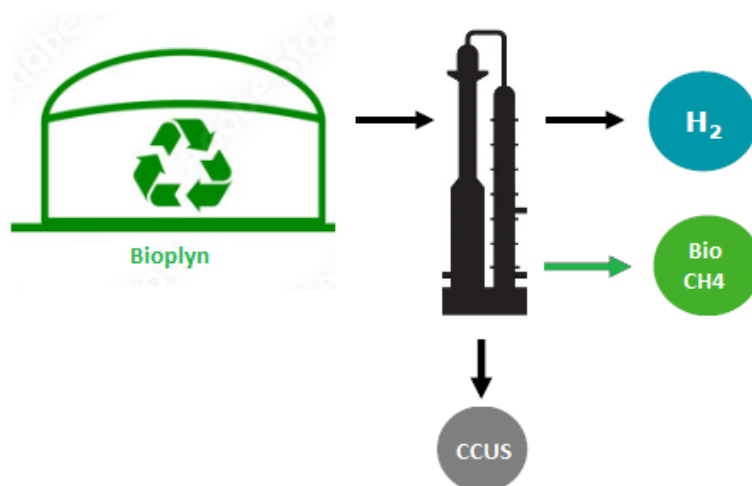
bez problémů tento odpad přeměnit na bioplyn a ten následně využít k výrobě biometanu. Další potenciální zdroj suroviny vhodné pro výrobu bioplynu představuje gastro odpad, případně odpad z různých potravinářských výroby. Tyto odpady dnes většinou rovněž končí na skládkách odpadů.

Odhaduje se, že produkce biologicky rozložitelného odpadu v ČR dosahuje asi 180 kg na obyvatele ročně. Z toho lze dle počtu obyvatel KK (284 tis. obyvatel) odhadnout produkci tohoto druhu odpadu v kraji na cca 51 tis. tun za rok. To představuje navýšení množství vhodných surovin o 8,5 tis. tun ročně pro každou z 6 zemědělských bioplynových stanic v KK. Intenzifikaci (zvýšení výroby bioplynu) ve stávajícím zařízení je možné provést např. přechodem z mezofilního způsobu výroby bioplynu (při teplotě 40–45 °C) na termofilní způsob (50–55 °C). Zvýšením teploty se urychlí průběh rozkladných reakcí a také částečně zvýší podíl substrátu, který se přemění na bioplyn. Zvýšení teploty v bioreaktoru však vyžaduje provedení některých technologických úprav. Je třeba tepelně zaizolovat pláště bioreaktorů, aby se omezily ztráty tepla do okolí a také instalovat zařízení na chlazení bioplynu, protože ten obsahuje při teplotě v reaktoru 55 °C značný podíl vodní páry, která po ochlazení plynu masivně kondenzuje.

Další možností zvýšení produkce bioplynu a biometanu je zvýšení výkonu bioplynové stanice přístavbou dalších bioreaktorů. Je to však poměrně dlouho trvající proces (2–3 roky) vyžadující velké investiční prostředky. Počítá se však s podpůrnými programy financovanými z prostředků EU.

#### 5.1.3.4. Bioplyn a jeho použití – potenciální význam pro společnost SUAS

Je známo, že společnost SUAS provozuje vlastní bioplynovou stanici. V budoucnu může být zajímavé nevyužívat bioplyn nejen k výrobě elektrické energie, ale také z něj vyrábět zelený vodík nebo bio-metan (jako ekologickou náhradu zemního plynu) nebo bio-metanol. Schéma využití bioplynu je uvedeno na obrázku 79.



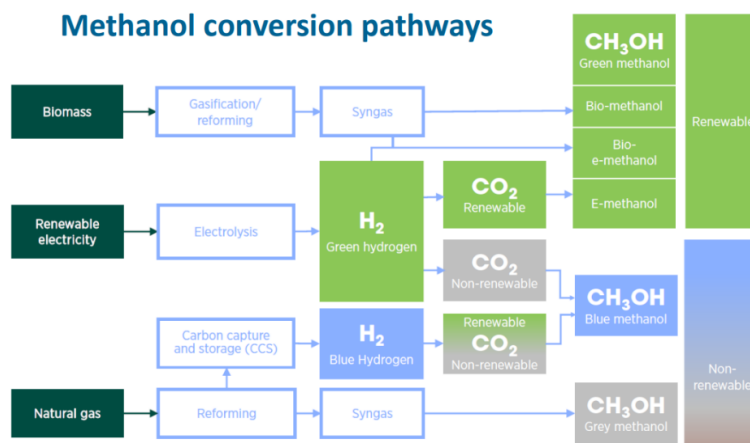
**Obr. 79:** Možnosti využití bioplynu

[Zdroj: SUAS]

Zelený vodík získaný z bioplynu má stejně široké možnosti využití jako vodík vyrobený elektrolýzou, pokud je získán ve srovnatelné čistotě, jaká je charakteristická pro vysoce čistý vodík z elektrolýzy vody. Bio-metan lze přímo použít jako náhradu zemního plynu, bez dalších úprav plynárenské soustavy tím, že se k biometanu obvykle přidává malé množství vyššího nasyceného uhlovodíku pro zachování požadovaných vlastností zemního plynu, např. Wobbeho čísla.



Samozřejmě lze takto získaný bio-metan využít všude tam, kde se dnes využívá zemní plyn (např. CNG). Velmi atraktivní je výroba metanolu (MEOH), který dnes ve světě s výrobou 45 mil. tun/rok představuje zcela zásadní velkokapacitní chemikálii v ČR dnes nevyráběnou. Získaný metanol lze využít jako surovinu pro chemický průmysl nebo jako náhradní palivo. Využití metanolu jako paliva je jedna z cest uchování energie.



**Obr. 80:** Výroba metanolu

[Zdroj: (převzato z veřejných zdrojů)]

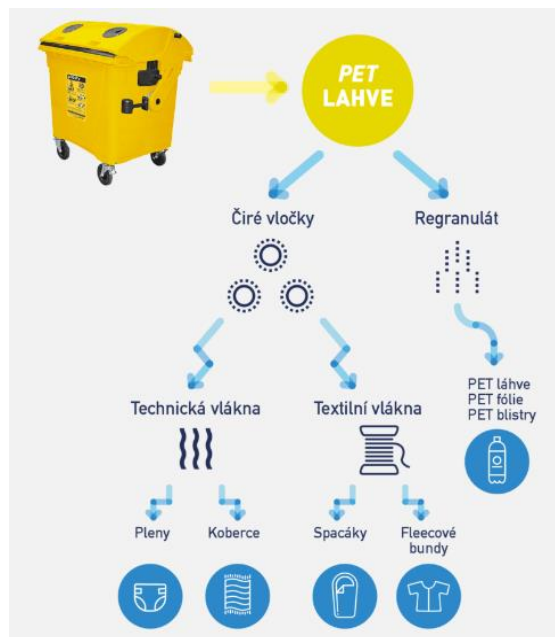
#### 5.1.4. Závěry a doporučení v oblasti bioplynu

Pro oblast intenzifikace a dalšího rozvoje bioplynu a jeho částečné transformace na biometan lze dát následující obecná, plošně platná doporučení:

1. Pro příslušné krajské orgány – směřování organizační a finanční podpory relevantní pro oblast bioplynu
2. Pro stávající výrobce s podporou kraje – zabývat se a plánovat kroky k transformaci bioplynu na biometan s cílem produkovat lokálně biometan pro lokální průmyslové podniky (např. pro keramická a sklářský atp.)

#### 5.1.5. Cirkulární ekonomika a zpracování odpadů – potenciál pro a.s. SUAS

Zpracování odpadů představuje velmi širokou škálu technologií. Podrobně je stav techniky ve světě popsán v kapitole 4.2. V následujícím textu je krátce popsán potenciál cirkulární ekonomiky v kraji, resp. ve společnosti SUAS. Dokončením linky ve společnosti na zpracování odpadů a jejich materiálové využití lze vyřešit odpadové hospodářství v kraji. Výhodou linky SUAS je, že odděluje přímo využitelné části odpadu (kovy, bioodpad, plasty atd.) před jeho dalším zpracováním. Vytríděný odpad lze cíleně využít jako zdroj surovin. Na obr. 81 je příklad využití recyklovaných PET lahví jako zdroj plastu pro nové výrobky. Podobným způsobem lze využít i další materiály získané tříděním komunálního odpadu.



**Obr. 81:** Recyklace PET lahví

Příkladem procesu (pro ČR jako významného výrobce pneumatik) mimořádně důležitého je postup využívající pyrolýzu při recyklaci odpadních pneumatik (viz obr. 82). Zde může SUAS uplatnit své zkušenosti, neboť se v odstavené tlakové plynárně termickým procesem některé odpady likvidovaly a SUAS tak má s touto technologií bohaté zkušenosti.



**Obr. 82:** Pyrolýza pneumatik

[Zdroj: <https://www.just-auto.com/news/continental-to-use-pyrolysis-to-recycle-more-tyre-content>]

Z obrázku 82 je patrné, že pyrolýza má několik zajímavých produktů. Získaný uhlík lze přímo recyklovat. Pyrolýzní plyn a kapalné frakce jsou zajímavé chemické produkty, které lze dále opět využít v chemickém průmyslu a představují tak možnost propojování výrobních řetězců v rámci ČR.

### **5.1.6. Odpadní plasty v Karlovarském kraji – doporučené projekty**

#### **Projekt: Výstavba a modernizace třídících linek pro získání využitelných odpadních plastů**

Cílem projektu je implementace pokročilých technologií pro třídění komunálních i průmyslových odpadů (směsný komunální i směsný plastový komunální/industriální odpad) jako stupně nezbytné předúpravy těchto materiálových toků vzhledem k jejich následnému využití technologiemi v chemickém průmyslu. Doporučujeme modernizaci existujících třídících linek tak, aby umožňovaly chemickou recyklaci. Dnešní linka v SUAS má velký potenciál pro tuto modernizaci.

Tyto technologie jsou součástí širšího řetězce obecně nazvaného chemickým využitím odpadů. Implementací a vybudováním celého technologického řetězce chemického využití odpadů na území Karlovarského kraje by došlo ke vzniku důležitého schématu „waste to chemicals“ v průmyslově relevantním měřítku na území ČR. Toto využití odpadů představuje výrobu produktů s vysokou přidanou hodnotou, jelikož se jedná o chemikálie pro další využití bez omezení vzhledem k jejich virgin-like kvalitě. V případě konkrétních základních chemikálií (např. monomerů pro výrobu polymerů) se dokonce jedná o prémiové komodity jen díky parametru „vyrobeno z odpadů“ či „chemicky recyklováno“.

#### **Projekt: Termická depolymerace/ pyrolýza vytříděných odpadních plastů**

Cílem projektu je implementace termické depolymerace odpadních plastů (směsný/vytříděný plastový komunální/industriální odpad) jako stupně konverze těchto materiálových proudů na kapalné a plynné produkty určené pro následné petrochemické zpracování s cílem výroby virgin-like monomerů (ethylen, propylen, butadien, styren). Implementací a vybudováním celého technologického řetězce chemické recyklace plastů na území Karlovarského kraje ve spojení s petrochemickým komplexem např. ORLEN Unipetrol (spolupráce uhelných regionů) by došlo ke vzniku prvního schématu „chemical recycling“ v průmyslově relevantním měřítku na území EU. Jelikož se v současné chvíli jedná o komodity (recyklovaný PE, PP, PS kvality tzv. virgin materiálu), u níž celosvětově převažuje poptávka nad nabídkou, je klíčová nejen implementace konceptu v Karlovarském kraji, ale i rychlost, s jakou se celý koncept chemických recyklací podaří účinně a udržitelně implementovat. Přínosem bude vybudování zcela nového, komplexního, chemicko-technologického odvětví na pomezí chemického průmyslu a odpadového hospodářství, které je schopno produkovat chemikálie s vysokou přidanou hodnotou a přímo tak přispět k řešení globálního (plastový odpad v životním prostředí) i lokálních (recyklační cíle pro ČR dle EK) problémů s plastovými odpady.

#### **Projekt: Výroba syntézního plynu**

SUAS by měla navázat na dříve využívanou technologii zplyňování uhlí. Původní technologie zplyňování uhlí (tlakové zplyňování v generátorech Lurgi) je již zastaralá. Přesto je možno navázat na tuto technologii a využít know-how SUAS a odbornost jejich pracovníků. Namísto zplyňování hnědého uhlí na energoplyn pro výrobu elektrické energie a tepla se nabízí například využití syntézního plynu (z moderního zplyňování uhlí, biomasy či odpadních plastů, které již neprodukuje

environmentálně problematické karbochemické produkty) na výrobu metanolu jako výchozí univerzální petrochemické suroviny. Metanol by byl dodáván pro chemické zpracování, tj. byl by použit pro výrobu alkenů pro plasty a recyklovatelných polyolefinů procesem „*Metanol-to-Propene (MTP)*“, případně pro výrobu dalších chemikálií.

Současně se předpokládá záchyt oxidu uhličitého, vznikajícího při zplyňování. Pro konverzi oxidu uhličitého a úpravu složení syntézního plynu lze využít například technologii „*Power-to-Gas*“ (předpokládá využití „zelený vodík“). Tímto způsobem by byl uhlík prakticky úplně transformován na recyklovatelné plasty s možností dlouhodobého využití. Tímto by přítomný uhlík přestal být využíván jako zdroj energie, ale transformoval by se na velmi cenné suroviny. Následně by to umožnilo druhotně využít tyto suroviny v souladu s filozofií cirkulární ekonomiky.

### **Projekt: Pyrolýza odpadních pneumatik**

SUAS má veškeré zařízení potřebné pro instalaci pyrolýzní jednotky ve Vřesové. Kapaliny vznikající při pyrolýze pneumatik by bylo možné použít jako surovinu pro petrochemii. Uhlík je možné recyklovat. Při tomto procesu zůstane téměř veškerý uhlík zachycen v produktech a nebude emitován do atmosféry. Klíčová je u implementace tohoto konceptu v Karlovarském kraji rychlost, s jakou se podaří realizovat. Výsledkem by mohlo být vytvoření až 100 odborných pracovních míst, aniž by se zvyšovaly emise CO<sub>2</sub> v Karlovarském kraji.

## **5.2. Případová studie II**

V dalším textu jsou jen velmi stručně naznačeny možnosti využití současných poznatků pro další rozvoj Karlovarského kraje v oblasti tzv. zelené chemie, to je v produkci bioproduktů, resp. malotonážních produktů s vysokou přidanou hodnotou. Obecné informace z oblasti tzv. zelené chemie jsou podány v kapitole 4.3. pojednávající podrobněji o chemii biomasy. V této kapitole jsou stručně zmíněny chemikálie potenciálně významné pro chemickou společnost Synthomer působící v Karlovarském kraji.

### **5.2.1. Biomasa a zelená chemie-význam pro Karlovarský kraj a spol. Synthomer**

Společnost Synthomer je předním evropským výrobcem esterů kyseliny akrylové. V dalším textu jsou jen jako výčet s krátkým komentářem zmíněny alternativní cesty k těmto základním chemikáliím, anebo jsou naznačeny některé možnosti substitučních látek.

#### **Alkoholy**

Základní složkou akrylátů jsou nižší a vyšší alkoholy, dnes jako produkty petrochemických syntéz. Základní alkoholy lze vyrábět též ze syntézních plynů získaných zplyňováním biomasy.

**Bio-metanol:** syntéza zeleného metanolu je popsána na několika místech studie

**Bio-etanol:** tradiční fermentační technologie vycházející z polysacharidických (nepotravinových) substrátů. Z biotechnologického zpracování biomasy na paliva jsou vypracované a průmyslově realizované výroba etanolu a anaerobní odbourávání biologických odpadů na bioplyn. Jejich význam jako doplňkového energetického zdroje vzrostl zejména po roce 1973 (ropná krize).

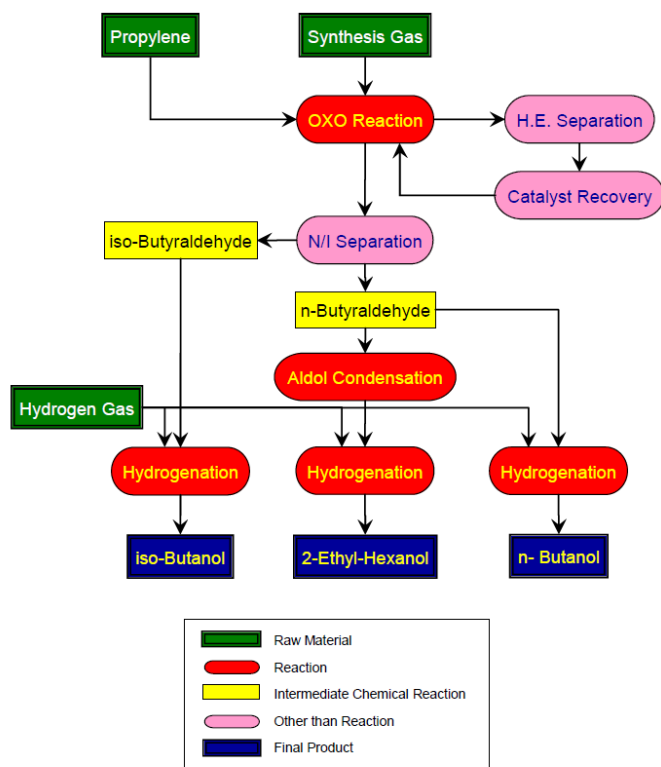
Zejména se to dotýká etanolu jako komponenty motorových paliv, který lze bez přehánění označit jako "palivo krizových období" (války, přebytky zemědělských produktů v 30. letech, ropné krize atd.). Pokroky ve vývoji biotechnologií vytvářejí předpoklady k tomu, aby si etanol své postavení udržel natrvalo. Půjde především o intenzifikaci starých a hledání nových způsobů hydrolyzy výchozích polysacharidových surovin. Z nových postupů se za nejvýznamnější opět považuje biotechnologická metoda – enzymatická hydrolyza. Obecně se zdůrazňuje, že je třeba se orientovat na ty polysacharidové suroviny, jejichž získání vyžaduje minimální energetické vstupy (hnojiva, technika, ekologie, doprava apod.) a které jsou součástí stávajícího potravinového řetězce.

Surovinou pro etanol jsou plodiny, které poskytují polysacharidy na základě D-glukózy, v našem klimatickém pásmu např. cukrová řepa, brambory, čirok a topinambur. Pracuje se na zdokonalování klasického kvašení, např. vyhledáváním termofilních kmenů rodu *Saccharomyces*, umožňujících rychlejší práci při vyšších teplotách.

Zejména v Brazílii a v zemích s nadbytkem cukernatých plodin se používá nebo propaguje přísada 10 % etanolu do benzinů (gasohol, v EU jako E10) nebo používání samotného etanolu v motorech. Význam může nabýt i rozvoj zelené chemie na základě fermentačního etanolu a z něj dehydratací získaného etylenu. Nedostatkem těchto koncepcí je zábor orné půdy na úkor potravin a krmiv. V roce 2018 se bioetanolu na světě vyrobilo 60,4 Mtoe, z čehož na Severní Ameriku připadá 56 %.

**Bio-butanol:** Lze vyrábět tzv. acetonbutanolovým kvašením. Výhodou acetonbutanolového kvašení je možnost zkvasit cukry C5 i C6, a tak rozšířit surovinovou základnu na celulózy a hemicelulózy z lignocelulózy. Pracuje se na enzymové hydrolyze lignocelulózy působením enzymů z rodu *Trichoderma* a zkvašování hydrolyzátu bakterií *Clostridium Acetobutylicum*. Vedlejším produktem je lignin, jako palivo nebo chemická surovina pro chemii fenolů. Z 1 tuny slámy nebo kukuřičných oklasků obsahujících asi 40 % hm. celulózy, 30 % hm. hemicelulóz a až 30 % hm. ligninu, se získává asi 0,14 t aceton-butanolové směsi s 65 % n-butanolu. Z 1 t ligninu lze získat např. hydrogenačním krakováním 0,350 t topných olejů, 0,140 t benzenu, 0,200 t fenolu a 0,140 t plynů (proces lignit – HRI). Acetonbutanol se navrhuje zejména ve Francii, jako přísada do automobilových benzinů, které obsahují metanol, na potlačování odměšování metanolu působením vody.

**Vyšší alkoholy:** Lze vyrábět ve třech krocích ze zeleného syntetického plynu. V prvním kroku se již naznačenými metodami vyrobí základní alkeny (propen, buten dimerací etylenu, okten dimerací butenů apod.). Ve druhém kroku se bio-alkoholy podrobí exosyntéze, což je reakce alkenu se syntetickým plynem (zeleným) za vzniku aldehydů, které se v posledním kroku hydrogenují vodíkem z elektrolýzy vody na požadované alkoholy. Varianty postupu jsou naznačeny na obrázku.

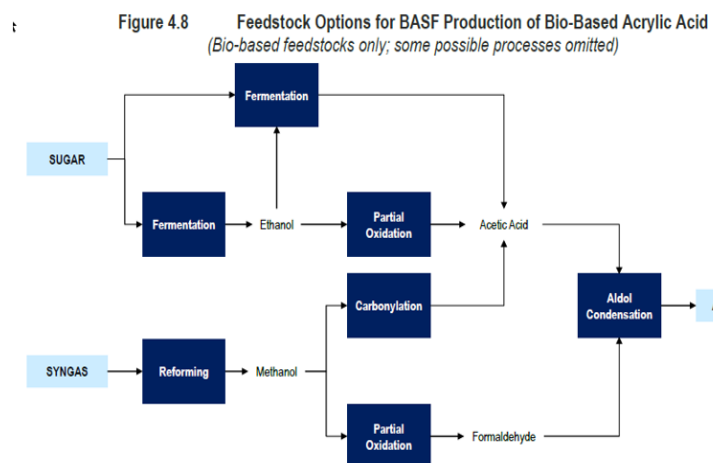


Copyright © 2017 Mitsubishi Chemical Corporation.

**Obr. 83:** Schéma výroby „zelených“ alkoholů

### Kyselina akrylová – nové výrobní cesty

Na následujícím obrázku je popsána syntéza kyseliny akrylové z biomasy, resp. Sacharidických surovin. Postup zahrnuje výrobu etanolu fermentací přírodních sacharidů na bioetanol a jeho následující oxidaci na kyselinu octovou. Druhou reakční cestou je výroba formaldehydu z biometanolu se bio-synplynu. Finálním krokem je aldolová kondenzace obou složek za vzniku kyseliny akrylové, v tomto případě bio-akrylové. Postup je naznačen na obrázku.



Biomass Gasification of Syngas – [Lindes CHOREN CARBO-V/ Staged Gasification](#)

**Obr. 84:** Výroba bio akrylové kyseliny

Přehled dalších alternativních syntézních cest ke kyselině akrylové na bázi biomasy je uveden v převzatém obrázku 85.



**Obr. 85:** Alternativní a bio-based technologie výroby akrylové kyseliny

### 5.2.2. Nové „bio“ a alternativní produkty – potenciální význam pro a.s. Synthomer

Pro Synthomer lze navrhnout zabývat se novými typy esterů:

- isoamyl akrylát
- dibutyl itakonát
- dietyl itakonát
- 2-oktyl akrylát

Pro tyto výrobky by bylo vhodné najít zdroj surovin – tzn. kyselina itakonová, isoamylalkohol a bio-2-oktanol.

### **Kyselina Itakonová**

Kyselina itakonová je organická bezbarvá látka, která má dvě karboxylové skupiny a nenasycenou dvojnou vazbu. Vzhledem ke strukturní podobnosti s kyselinou akrylovou se tato kyselina považuje jako alternativa pro výrobu polyakrylátů a polymetakrylátů. Zatím existuje velmi málo výrobců esterů kyseliny itakonové, přičemž výroba je pouze vsádková.

### **Výroba kyseliny itakonové**

Hlavní produkce kyseliny itakonové se nachází v Číně cca. 41 400 MT za rok celosvětově se uvádí roční kapacity 80 000 MT za rok. Kyselina itakonové se vyrábí fermentací biomasy pomocí přítomnosti bakterie *aspergillus terreus*. Technologický postup výroby fermentací je patentován firmou Covestro (dříve DSM). Jako atraktivní vstupní surovinou do fermentace mohou být agroodpady se zbytky melasy a buničiny z papíren, ale samozřejmě ideální surovinou je melasa s vysokým obsahem cukru.

### **Bio - Isoamylalkohol**

Isoamylalkohol vzniká během fermentace při výrobě kvasného lihu tedy jako vedlejší produkt a je obsažen v destilačním zbytku zvaného „fusel oil“

Fuselový olej (Fusel oil) je kapalná směs vyšších alkoholů, které vznikají během fermentace coby nežádoucí produkt, typicky při výrobě whiskey, rumu a dalších destilátů. Typický fuselový olej obsahuje 2-methyl-1-butanol neboli aktivní amylalkohol (cca 12 % hm.), isoamylalkohol (cca 55 % hm.), 1-propanol (cca 1 % hm.) a isobutylalkohol (cca 7 % hm.). Další látky přítomné ve fuselovém oleji jsou nižší alkoholy, z nichž je nejvýznamněji zastoupen ethanol (cca 8 % hm.). Dále může fuselový olej obsahovat významné množství vody, a to až 15 % hm. Fuselový olej je čirá kapalina s nepříjemným zápachem, může být dráždivá při vdechování či kontaktu s kůží, hořlavá. Bod varu se pohybuje mezi 128–132 °C, nicméně v závislosti na složení se bod varu může odchylovat. Jedná se o látku dobře, avšak nedokonale rozpustnou ve vodě. Protože isoamylalkohol vzniká již během fermentace, je tedy ve fuselovém oleji zastoupen a jeho chemická přeměna není nutná. Pro získávání isoamylalkoholu z fuselového oleje je potřeba ho tedy odseparovat.

Pro získání isoamylalkoholu je potřeba fuselový olej zbavit nežádoucích složek. Hlavní nežádoucí složkou v systému je voda. Tu lze ze systému odstranit za pomoci destilace coby destilát, společně s ethanolem. Protože je však fuselový olej ve vodě rozpustný dobře, ale ne dokonale, a protože jednotlivé alkoholy tvoří s vodou azeotropy, je vhodné s tímto pro vyšší výtěžnost isoamylalkoholu počítat. Mezi výrobci fuselového oleje dominují státy Jižní Ameriky, Spojené státy a Indie, kde se pojí výroba fuselového oleje převážně s výrobou bioethanolu. V Evropě není velkovýroba natolik rozšířená, proto je dodavatelů méně. U výrobců ethanolu či lihu v České republice nebyl nalezen fuselový olej v jejich prodejní nabídce.

### **Bio -2 – Oktanol**

V současné době je trend výroby bio 2-oktanolu z ricinového oleje. Ricinový olej (castor oil) je látka přírodního původu, jež se získává z rostliny skočce obecného. Hlavní složky tvořící ricinový olej jsou kyseliny ricinolejová (která tvoří zhruba 90 % všech mastných kyselin v ricinovém oleji), olejová a linolová (zbývajících 10 %, ricinový olej může navíc obsahovat další mastné kyseliny, např. stearovou nebo palmitovou), všechny ve formě triglyceridových molekul. Hustota ricinového oleje se pohybuje na hodnotě 961 kg/m<sup>3</sup> při 25 °C a normální bod varu je při 313 °C.



Jako nejvýhodnější způsob zpracování ricinového oleje (resp. jeho hlavní složky, kyseliny ricinolejové) je zmydelňování za vzniku ricinoleátu sodného a glycerolu. Ricinoleát je následně alkalicky štěpen na kratší řetězce, 2-oktanol a kyselinu sebakovou. Během reakce vzniká postranní produkt, kyselina sebaková, zároveň se štěpením triglyceridů vzniká glycerol, který se za vyšších teplot (nad 280 °C) začíná rozkládat na akrolein. Pro produkci 2-oktanolu je výhodné oddělit glycerol od ricinového oleje v přípravném kroku, což zamezí vzniku akroleinu a pozitivně působí na výtěžek reakce.

### 5.2.3. Malotonážní produkty – potenciál pro a.s. Synthomer

Dle dostupných informací vytypoval Synthomer následující látky, jejichž výrobu by bylo možné v kraji uvažovat, neboť vycházejí z technologických a surovinových možností již nyní částečně využívaných (uveden jen výčet).

- 2-Diethylaminoethylmetakrylát (DEAEMA)
- Isopropylalkohol
- N-methylmetakrylamid (N-MMA)
- Isodecylmetakrylát (IDMA)
- 2-Hydroxyethylmetakrylát (HEMA)
- 2-Hydroxyethylakrylát (2-HEA)
- Butylmetakrylát
- Maleinanhydrid
- Dibutylmaleát
- Ethylacetát
- Sipomer BCA

### 5.2.4. Zelené a malotonážní produkty v Karlovarském kraji – doporučené aktivity

Dle dostupných informací společnost Synthomer zahájila proces certifikace ISCC (International Sustainability and Carbon Certification) a ISCC+, tato certifikace zavádí standard pro využívání suroviny původem z biomasy nebo tzv. „cirkulárních“ surovin (chemická přeměna odpadu na vstupní surovinu) v celém výrobně-obchodním procesu s cílem snížit co nejvíce uhlíkovou stopu. Je zde tedy velký tlak ze strany vlastníka Synthomeru, využívat co nejvíce surovin s bio původem anebo cirkulární suroviny, ale i tzv. zelenou energii.

Doporučením pro Karlovarský kraj je zde realizace vhodné instalace pilotní jednotky s kapacitou do 1000 tun ročně pro zahájení výroby malotonážních bio – nebo cirkulární produktů, které by našly uplatnění v kraji. Příkladem by mohla být výroba itakonátů, kyseliny bio-akrylové, bio-2-oktyl akrylátu či isoamylakrylátu, o které má Synthomer velký zájem. Tato pilotní jednotka by nemusela sloužit pouze pro rozvoj technologie bio-akrylátů, ale i pro možnost ověření technologie výroby oxo-alkoholů nebo jiných bio-petrochemických produktů.

Pro další rozvoj malotonážních zelených produktů se doporučuje oslovit všechny chemické firmy v kraji pro účast na výstavbě jedné nebo více pilotních jednotek, které by sloužily jako:

- a) ověření výroby existujících procesů s implementací bio-suroviny

- b) výzkum a rozvoj výroby dalších možných procesů
- c) ideální nástroj pro praxi studentů ze středních a vysokých škol nejen chemických oborů (elektro, měření a regulace, řídicí systémy)

### **5.3. Energetické úspory obecně – stručná charakteristika**

Oblast energetiky, resp. energetických úspor související s chemickými výrobami nebyla původně pro studii navrhována. Její potřeba vyplynula z následných jednání a je proto ve stručnosti do studie zahrnuta. V následujícím textu jsou uvedena některá známá fakta z oblasti energetických úspor. Informace lze využít při revizi potenciálu energetických úspor kraje.

#### **Energie a chemické technologie**

Chemické technologii je již vlastní vysoká energetická spotřeba. Ceny energií, včetně surovin reprezentují přibližně 8 % z přidané hodnoty. Při velké tonáži technologií tyto údaje představují mnohem větší částku. Například při výrobě dusíkatých hnojiv ceny energií představují přibližně 70 % z přidané hodnoty. To vede k maximální snaze po energetických úsporách, kde se uplatňují některé univerzální principy použitelné v průmyslových i neprůmyslových sektorech a které je možno specificky uvažovat dle charakteru sledovaných regionů.

#### **Využití odpadních paliv**

Vždy je snahou minimalizovat tvorbu vedlejších produktů nebo prodat vedlejší produkty jako chemikálie. Pokud to není možné, pak se vedlejší produkty zhodnocují jako palivo. Nárůst spalování vedlejších produktů ve formě plynů a kapalin je jednou ze základních komponentů zvýšení energetické účinnosti v chemické technologii. Příkladem je využití odpadních paliv spalováním odpadního vzduchu z reaktoru výroby akrylonitrilu na výrobu vysokotlaké páry.

#### **Zlepšení energetické účinnosti**

Energetický management v podstatě spojuje ekonomiku se souborem speciálních technických pravidel. Ušetření milionů kilowatthodin nebo gigajoulů je jedinou spojnicí při jejich přeměně na finance nebo na poměr ušetřených prostředků k investovaným prostředkům. Na otázku, kde je v procesu třeba se zaměřit na zlepšení, je nejčastější odpověď, že na těch místech výrobní jednotky, v nichž byly zjištěny největší energetické ztráty.

Zlepšení efektivnosti podporují dva rozdílné faktory: technologický progres, který má dlouhodobý charakter a cena optimalizace, která má krátkodobý charakter odrážející pohyb cen. Dlouhodobý trend se pohybuje v rozsahu od 2 do 3 % zlepšení za rok. Zavedení biotechnologií do chemické technologie umožnilo posun k nižším teplotám a tlakům.

Je charakteristické, že největší ztráty, které se vyskytují v chemických procesech jsou ve spalovacím procesu. Jedna třetina pracovní energie zemního plynu se ztratí při jeho spalování s neprohřátým vzduchem. Při spalování se doporučuje předehřívát vzduch nebo spalovat palivo při vysokém tlaku v plynové turbíně. Tak se to provádí při pyrolýze uhlovodíků na etylen. Energetická účinnost se zlepšuje snížením ztrát pracovní energie při spalování.

Odpadní teplo se velmi snadno projevuje a dá se jednoduše stanovit. Zejména v páře je teplo snadno měřitelné z rozdílu teplot na vstupním a výstupním místě systému. Ztrátu pracovního

potenciálu nebo nadbytek využití práce je velmi těžko zaregistrovat. Ke ztrátám pracovního potenciálu nejčastěji dochází v:

- malých nízko účinných turbínách,
- obrovských čerpadlech běžících na minimální otáčky,
- převinutých motorech s nízkou účinností,
- rozdílech teplot vyšších, než jsou optimální pro získání energie,
- práci s odpadními vodami obsahujícími organické škodliviny,
- poklesu tlaku v kontrolních ventilech.

## **Kogenerace**

Kogenerace je moderní technologie výroby tepla a elektrické energie. Je založena na principu sdružené výroby tepla a elektrické energie. V jednom zařízení – kogenerační jednotce – se současně vyrábí elektřina a teplo. Palivem je zpravidla zemní plyn, ale úspěšně se využívá i bioplyn, propan a případně jiná paliva. Důležitou předností kogenerace je právě proces sdružené výroby. Díky tomu je možné vyrobit elektřinu a teplo při nižších nákladech, a tedy levněji než při klasickém způsobu výroby energie. Velmi perspektivní je využití bioplynu na čistírnách odpadních vod, zemědělství a skládkách.

Kromě kogeneračních jednotek na bázi plynových spalovacích motorů, může proces kombinované výroby elektřiny a tepla probíhat i prostřednictvím jiných technologií. Rozšířené je zejména uplatnění turbín, které se však využívají především při vyšších výkonech. Méně známé jsou možnosti využití organického Rankinova cyklu nebo parního motoru (např. Stirlingova). V obou případech je velmi zajímavá i možnost využití biomasy jako paliva. Kogenerace je moderní technologie výroby tepla a elektrické energie. Uplatní se všude tam, kde je potřebná elektřina, teplá voda a kde se vytápí, od zemědělských a potravinářských podniků, administrativních budov, plováren atd. Základní výhoda kogenerace spočívá v technologickém postupu, který umožňuje až 40% úspory vstupního paliva, a tedy získat i elektrickou energii i teplo podstatně laciněji

Uvedená 40 % úspora paliva se projeví v ceně získané elektrické energie a tepla. Právě proto se kogenerace rychle rozšiřuje. Návratnost investic je rychlá. Stává se součástí moderního, efektivního a ekonomicky výhodného energetického hospodaření s výrazně pozitivním vlivem na životní prostředí. V kogeneraci se dá vyrobit jen ohraničené množství elektřiny jako vedlejší produkt. Ve velkých provozech je spotřeba elektrické energie běžně daleko vyšší, než může poskytnout jednoduchý parní cyklus. Mnoho návrhů na realizaci parního systému neprošlo, protože nedaly odpověď na otázku, jak zvýšit poměr elektrické energie jako vedlejšího produktu k procesnímu teplu. Jedním z nejjednodušších řešení je omezení turbíny používané k získání elektrické energie velikostí, při které se může dosáhnout nejvyšší efektivity. Další cestou je zvětšit poměr elektřina/teplo je zvýšením tlaku parního systému. Zvýšení tlaku z 4,2 na 10,1 MPa téměř zdvojnásobí množství elektrické energie při daném množství páry.

### **Plynová turbína v kombinovaném cyklu**

Velkou předností plynové turbíny v kogeneraci je, že umožňuje získat větší poměr elektrická energie / teplo. Tento poměr bývá běžně vyšší než 0,8 a dá se zvýšit, pokud se zvětší velikost turbíny. Poměr elektrická energie / teplo bývá větší v aero systémech, ve kterých se spaliny z proudových motorů vedou do turbíny, která vyrábí elektrickou energii. Chlazení spalin má výhodu v tom, že v nich zůstává méně tepla. Tím se získá vyšší poměr elektrická energie / teplo. Nejvýkonnější stroje

patřící mezi nejlepší svého druhu, dosahují teplotní rozdíl o 100 °C vyšší. Kogenerační plynová turbína se vyznačuje nízkými investičními náklady. Nepřítomnost teplosměnných ploch v jednotlivých částech cyklu plynové turbíny vyžaduje pouze základní investiční náklady.

### **Trigenerace**

Trigenerace přináší další možnosti uplatnění výhod kombinované výroby elektrické energie, tepla a chladu. V současnosti už je princip kogenerace, její výhody a ekonomická opodstatněnost v odborné veřejnosti dostatečně známa. Velké množství firem přijalo kogeneraci jako součást svého uvažování už ve fázi přípravy projektů energetických zdrojů. Využití "trigenerace" je však i v evropských podmínkách poměrně novou věcí. Přitom se však nejedná o žádný převratný fyzikální princip, ale o spojení kogenerační jednotky a absorpční chladicí jednotky. Účelem maximálního využití kogeneračních jednotek je zúžitkování části tepla na výrobu chladu. Slovo trigenerace lze interpretovat jako kombinovaná výroba elektrické energie, tepla a chladu. Při zásobování energiemi objektů jako jsou banky, hotely, obchodní centra, sportovní haly, nemocnice apod., přibývá kromě požadavků na elektřinu a teplo i potřeba chladu potřebného pro klimatizaci těchto objektů. Chladicí zařízení průmyslově vyráběná pro výrobu chladu jsou podle principu činnosti dvoje, a to:

- Kompresorové chladicí zařízení, kde pohon kompresoru zajišťuje nejčastěji elektromotor.
- Sorpční chladicí zařízení, kde pohon může být: pára, plyn, resp. teplo ve formě teplé vody (např. z kogeneračních jednotek).

Základním principem sorpčních oběhů je nahrazení komprese tepelným pochodem, ve kterém se chladivo za nízkého tlaku pohlcuje vhodnou látkou (absorbentem). Následně se chladivo dopravuje do dalšího výměníku. Ten pracuje za vyššího tlaku. V něm se chladivo přívodem tepla znovu z roztoku varem uvolňuje (vypuzuje). Výsledkem je chladivo s vyšším tlakem, který odpovídá podmínkám kondenzace. Pochod v kondenzátoru a výparníku je většinou stejný jako při parním oběhu. Možnosti využití kogeneračních jednotek jsou skutečně široké. V následujícím je uveden popis základních provozních možností kogeneračních jednotek v jednotlivých typech provozu.

### **Typy provozů:**

- průmyslová energetika
- komunální kotelny (centrální zásobování teplem (CZT))
- bytové domy
- nemocnice
- hotely
- plovárny
- rodinné domy
- zemědělství a čističky odpadních vod
- administrativní a obchodní centra

### ***Průmyslová energetika:***

Využití v průmyslové energetice je široké. Vyrobena elektřina se využívá k pokrytí vlastní spotřeby podniku. Jelikož průmyslové komplexy jsou zpravidla odběrateli elektrické energie ve složených sazbách, nasazení kogenerace umožňuje kromě snížení množství odebrané elektrické práce ze sítě i snížení dohodnutých a naměřených maxim. Především v kombinaci s dalšími opatřeními dosahují kogenerační jednotky výrazné úspory v oblasti pokrytí spotřeby elektřiny.

Podmínkou dosažení skutečně efektivního provozu kogeneračních jednotek v průmyslových podnicích je využití tepla. Kromě možností využít teplo pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody se teplo z kombinované výroby využívá i na pokrytí potřeby tepla v technologii. V případě požadavku provozu lze dosáhnout výstupní teploty z kogenerační jednotky až 130 °C. Kogenerační jednotky vyšších výkonů (od několika set kW výkonu) mohou produkovat i páru. Je samozřejmé, že v kombinaci s absorpčním chlazením je možné vyrábět i chlad.

### ***Komunální kotelny (CZT):***

Zásobování budov teplem a teplou vodou je jedna z nejperspektivnějších oblastí rozvoje kombinované výroby v České republice. Platí to především o systémech centrálního zásobování teplem (CZT). Vzhledem k celoroční výrobě tepla především na přípravu teplé užitkové vody, dosahují kogenerační jednotky vysoké celoroční využití. Kogenerační jednotky lze v komunálních kotelnách efektivně využívat několika způsoby:

1. Kogenerační jednotky se využívají k pokrytí spotřeby tepla s maximálním celoročním využitím (zpravidla výroba tepla na ohřev a vytápění:  $TUV = \text{teplo užitkové vody}$ ) a vyrobená elektřina se částečně spotřebuje v kotelně a zbytek se dodává do veřejné sítě.
2. Minimální variantou využití kogeneračních jednotek, využívaných především v objektech s malou spotřebou elektřiny (jako jsou právě komunální kotelny), je dimenzování výkonu jednotek tak, aby výroba elektřiny pokryla vlastní spotřebu kotelny a vyrobené teplo se využije ve vlastním systému CZT.
3. Jinou možností je výroba elektřiny v době špičkového zatížení sítě, její prodej do veřejné sítě s využitím vyrobeného tepla ve vlastním systému CZT.

### ***Bytové domy:***

Ekonomicky mimořádně výhodné je využívání kogenerace v bytových domech. Teplo produkované kogeneračními jednotkami se využívá na ohřev teplé užitkové vody a vytápění. Výhodnost nasazení kogenerace v takových projektech však spočívá především ve využití elektřiny. Při nasazení kogeneračních jednotek je totiž možné dodávat vyrobenou elektřinu přímo do bytů. Tím se jednak snižují náklady obyvatel na elektřinu a mohou tedy šetřit a na druhé straně se výrazně zvyšuje ekonomický přínos vlastní kogenerace, protože prodej elektřiny do bytů je podstatně výhodnější než prodej do sítě energetického podniku.

### ***Nemocnice:***

Nemocnice jsou dalším zařízením, kde využití kogenerace umožňuje dosahovat výrazné úspory. Především díky celoroční potřebě tepla (TUV) je možné dosáhnout velkou celoroční provozní výtěžnost kogeneračních jednotek. Vyrobená elektřina se využívá k pokrytí vlastní spotřeby. Kogenerační jednotky mohou pracovat i v ostrovním provozu (bez připojení do veřejné sítě rozvodu elektřiny), což je umožňuje využívat i jako záložní zdroj elektrické energie. V takovém případě je možné využít i kogenerační jednotky dvoupalivové (kromě zemního plynu i např. topné oleje), aby byla dodržena zásada nezávislé palivové základny.

### ***Hotely:***

V hotelech se kogenerace svým výkonem dimenzuje zpravidla na pokrytí spotřeby TUV. Rovněž je možné vyrobené teplo využít v klimatizaci ve spojení s absorpčním chladičem. Vyrobená elektřina se spotřebovává v hotelech. Kogenerační jednotky často umožňují změnu odběrní sazby elektřiny. Jelikož hotel je využíváním kogenerace schopen vyrobit velkou část elektřiny sám, je

možné přejít z dvousložkových sazeb (kdy se platí zvlášť za odebranou práci a zvlášť za výkon) do jednosložkových sazeb (platí se jen za odebranou práci). Pro hotely je důležitá schopnost kogeneračních jednotek pracovat v režimu náhradního zdroje elektrické energie. Výpadky elektřiny především v horských oblastech zneprůjemňují pobyt klientům hotelů a způsobují hotelům ztráty. Kogenerační jednotky mohou v takovém případě zásobovat hotel elektřinou i po výpadku veřejné sítě.

### ***Plovárny:***

Plovárny patří jednoznačně k nejvýhodnějším provozům z hlediska uplatnění kombinované výroby. Celoroční a poměrně stabilní potřeba tepla na ohřev bazénové vody a teplé užitkové vody umožňuje dosahovat vysokou míru využitelnosti kogeneračních jednotek. Správně dimenzovaná kogenerační jednotka může na plovárně pracovat na plný výkon prakticky nonstop. Tím se dosahuje maximální efektivnosti provozu. Vyrobená elektřina se využívá k pokrytí vlastní spotřeby objektu, která je u plovárny vzhledem k používané technologii také poměrně rovnoměrná. Jen malé přebytky se dodávají do sítě. I v tomto případě se dosažené úspory dají zvýšit změnou dvousložkové sazby za odběr elektřiny na jednosložkovou.

### ***Rodinné domy:***

Využití kogenerace v rodinných domech je na Slovensku a v Čechách jen v počátečním stádiu. Pro nevýhodný poměr výkonu a ceny kogeneračních jednotek nejmenších výkonů, nejsou tyto jednotky zatím v nabídce. Přesto se však kogenerační jednotky v rodinných domech využívají. Je to především v případech, kdy je dům budován v prostoru, kde energetický rozvodný podnik nemůže garantovat požadovaný příkon a vznesl požadavek na vybudování nové trafostanice a rozvodů. V takovém případě je kogenerační jednotka úspornějším řešením a dokáže pokrýt potřebu elektřiny v domě. Pro spolehlivý chod jednotky je potřebné zajistit odvod tepla. Je ideální, pokud je součástí objektu i bazén, ohřevem, kterého se zajišťuje odvod tepla. Pro dosažení spolehlivosti se využívá i nouzový chladič, aby se kogenerační jednotka nepřehřívala v době, kdy není zajištěna spotřeba tepla (především v létě).

### ***Zemědělství a čističky odpadních vod:***

V těchto provozech je především zajímavá možnost využití bioplynu jako paliva pro kogenerační jednotky. V takových provozech je velmi důležité zajistit kvalitu plynu. Jeho znečištění způsobuje poruchy zařízení, a tím nižší provozní spolehlivost. Při dodržení kvalitativních požadavků na plyn však dosahují kogenerační jednotky spalující bioplyn vysoké úspory. Vyrobené teplo se využívá na ohřev TUV, vytápění a v technologii výroby bioplynu. Elektřina se využívá přímo ve vlastním provozu, případně se přebytky dodávají do veřejné sítě.

### ***Administrativní a obchodní centra:***

Moderní administrativní a obchodní centra jsou dnes budována jako inteligentní budovy s vysokou úrovní řízení. Energetické nároky na takové budovy jsou vysoké. Samozřejmostí je zabezpečení proti výpadku dodávky elektrické energie ale také klimatizace. Mnohé tyto nároky vytvářejí prostor pro aplikování kogenerace a trigenerace s využitím vyrobeného chladu v klimatizaci. Základním palivem pro kogenerační jednotky je zemní plyn. Kromě zemního plynu mohou kogenerační jednotky spalovat i jiná paliva. Možná je i kombinace dvou plynů (například zemní plyn a bioplyn).

Alternativní paliva: LPG (propan + butan), bioplyn, skládkový plyn, dřevoplyn

## Kogenerace z biomasy

Kombinovanou výrobu elektřiny a tepla je možné realizovat i s využitím biomasy (tab. 22). V této oblasti je možné využít několik technologií a několik druhů paliv na bázi biomasy. Kromě kogeneračních jednotek na bázi plynových spalovacích motorů se v provozech využívajících páru objevují i nové možnosti výroby elektřiny. Doba přináší renesanci parního stroje. Princip jeho uplatnění spočívá v nahrazení redukce tlaku páry škrcením v redukčním ventilu za expanzí v proudových nebo objemových strojích s výrobou elektrické energie. Kromě známých a běžně využívaných parních turbín se na trhu objevily i motory pohánějící elektrické generátory.

**Tab. 21:** Využití biomasy při kogeneraci

Technologie	Palivo
Kogenerační jednotky s plynovým motorem	bioplyn
	skládkový plyn
	dřevoplyn
Parní kotel s parní turbínou	dřevo, sláma
Parní kotel s parním motorem	dřevo, sláma
Kotel s ORC (organický Rankinův cyklus)	dřevo, sláma
Spalovací turbína	dřevoplyn

Parní stroj lze využít všude tam, kde se tlakově redukuje plynné médium, sytá nebo přehřátá pára, spaliny, vzduch nebo jiné neagresivní plyny se vstupními parametry: tlak 2,0 MPa a teplota 240 °C. Na trhu je k dispozici několik parních motorů. Jsou dodávány na základovém rámu přímo spojené s elektrickým generátorem včetně řídicího systému, který je jednodušší aplikací systému používaného u parních turbín.

Základním a nejčastějším procesem energetického využití biomasy je spalování. Tento proces byl první a dlouho jediným způsobem využití biomasy, který člověk využíval. Dlouho však probíhal na velmi primitivní úrovni s velmi malým energetickým zhodnocením paliva. Až moderní technologie přinesly progresivní způsoby spalování s vysokým využitím energetické hodnoty biomasy. Tyto technologie jsou velmi podobné těm, které se využívají na spalování uhlí s vysokou účinností spalování.

Nejčastěji je takto zpracovávané dřevo ve formě polen, štěpky a v poslední době velmi populárních briket a pelet. Kromě dřeva v jeho různých podobách je možné využít i další druhy biomasy, především slámu obilovin a olejnin, tekutiny z energetických rostlin a podobně. Mezi rozhodující kritéria při výběru paliva při přímém spalování biomasy se řadí především energetická hodnota vyjádřená výhřevností a dostupnost v daném regionu. K dispozici jsou následující procesy.

### Biochemické procesy:

#### *Fermentace (alkoholové kvašení)*

Výsledným produktem fermentace (alkoholové kvašení) je etanol, resp. metanol, butanol. Jde o vysoce kvalitní palivo, které se využívá jako náhrada za benzin ve spalovacích motorech. Jako vstupní surovina se využívají rostliny s obsahem cukrů a škrobu-obiloviny, cukrová řepa, cukrová třtina, brambory, kukuřice a ovoce.

### **Anaerobní vyhnívání (metanové kvašení)**

Produktem anaerobního vyhnívání je bioplyn-směs metanu, oxidu uhličitého a stopových množství dalších plynů. Celý proces vyhnívání probíhá bez přístupu vzduchu prostřednictvím bakterií ve fermentačních reaktorech. Bioplyn nachází široké uplatnění v energetice. Kromě běžného spalování a produkce tepla je mimořádně výhodné jeho využití pro pohon kogeneračních jednotek na výrobu elektřiny a tepla. Bioplyn je možné produkovat z exkrementů zvířat v zemědělství, z fytomasy (tráva, siláž apod.), z kalu z čistíren odpadních vod.

K procesu vyhnívání dochází i na skládkách komunálního odpadu, kde se postupně také uvolňuje bioplyn – tzv. skládkový plyn. Vzhledem k podmínkám jeho tvorby má horší parametry než bioplyn vznikající při řízeném vyhnívání ve fermentorech, ale i tak je jej možné využít pro energetické účely.

### **Rekuperace tepla, energetické bilance a síť tepelných výměníků**

Cílem rekuperace tepla je mít jistotu, že se z energie získá maximální množství práce, přičemž co nejméně energie se ztratí do okolí. Energetická bilance poskytuje sumární množství energie všech zdrojů a všech energetických výstupů v jednotlivých operacích, probíhajících v procesech nebo v celé výrobní jednotce. Potřebné teplo se získává spalováním propanu. Energetická bilance je minimálně tak důležitá, jako materiálová bilance, abychom pochopili, jak proces pracuje. Energetická bilance patří mezi základní nástroje chemického inženýrství. Pokud se energetická bilance začlení do počítačového programu, stává se základem navrhování procesu. Na základě modelu se dají provést operační změny, jakými jsou systémová konfigurace a procesní alternativy.

### **Kotle na využití odpadního tepla**

Na mnoha jednotkách chemických procesů patří parní systém do integrovaného systému. Rekuperace odpadního tepla pro výrobu páry umožňuje využít teplo v kterékoli části jednotky díky parnímu systému. Mnoho typů kotlů na rekuperaci odpadního tepla je vhodných a adaptovatelných na jednotlivé procesy. Na druhé straně existuje zase mnoho procesů, v nichž se kotle na odpadní teplo neuplatnily díky nedostatečné pozornosti věnované návrhu jednotlivých částí kotlů a kvalitě napájecí vody. Vysoké koeficienty prostupu tepla vroucí vody závisí na čistotě povrchů. Spalovny a plynové turbíny jsou také vybaveny kotli na odpadní teplo.

### **Výměna tepla mezi produktem a surovinou**

Výměna tepla se běžně používá k ochlazení produktů tepelného procesu. Získané teplo se využívá na předehřátí výchozí suroviny jedoucí do procesu. Umožňuje se tím přirozená stabilizace integrovaného procesu. Výměna tepla mezi produkty a surovinou se běžně používá v chemických reaktorech a při destilacích.

### **Předehřívání vzduchu při spalování**

Výměna tepla mezi spaliny (odplyny, kouřovými plyny) a vzduchem potřebným ke spalování, jakož i mezi surovinou a produkty patří mezi velmi důležité charakteristiky procesů. Spalování s nepředehřátým vzduchem je spojeno s velkými ztrátami. Výměnný proces tepla probíhá v zařízení známém jako Langstromův nebo rotační kolový regenerátor. Regenerátor s cihlovou



výplní se používá v metalurgických pecích. Jako teplosměnné médium může posloužit cirkulující horký olej nebo voda (kapalné oběžné kolo) nebo teplosměnných had.

### **Tepelná čerpadla**

Využití tepelných čerpadel umožňuje přídavný kompresor, který zvyšuje teplotu média, ze kterého máme získat odpadní teplo. Je to velmi účinné na malých jednotkách, kde existuje několik možností pro výměnu tepla. Na velkých zařízeních umožňuje detailní analýza běžně více alternativních řešení využití odpadního tepla. Rozbor systému palivo/pára z hlediska energetického využití umožnil zavedení tepelných čerpadel zejména v jednoduchých systémech pro využití odpadního tepla.

#### **5.3.1. Možná doporučení pro chemické podniky Karlovarského kraje**

Zvýše uvedených obecných informací lze pro chemické podniky kraje doporučit soustředit se na následující oblasti:

- Instalace kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET)
- Instalace kompresoroven a rozvodů stlačeného vzduchu
- Instalace vzduchotechnických a chladících zařízení
- Osvětlovací technika - instalace moderních LED svítidel s chytrým řízením
- Instalace OZE – Fotovoltaické elektrárny s/bez bateriového uložení
- Zavedení centrálního dispečinku a MaR, případně energetického managementu

Uvedená doporučení je možné aplikovat v principu u každého podniku, aktivního v oblasti chemického průmyslu, s tím, že výrazný potenciál úspor očekáváme u středních a velkých podniků.

#### **5.3.2. Využití moderních energetických systémů v Karlovarském kraji – doporučené projekty**

Pro neprůmyslové objekty v kraji, především pro ty, které jsou v jeho majetku a podléhají jeho řídicím normám zpracovat studie vlivu využití moderních energetických systémů na úspory energií. Studie se zaměřují především na využití:

- Tepelných čerpadel
- Budováním kogeneračních jednotek s plynovým motorem pro výrobu elektrické energie
- Využití třígeneračních aparátů pro produkci chladu
- Monitoring tepelných úniků s využitím dronů a infračervených kamer schopných detekovat úniky tepla
- Modernizace a digitalizace regulačních topných soustav – zaměření na energeticky náročné podniky

Stejně jako v předcházející podkapitole, uvedená doporučení je možné aplikovat v principu u každého podniku, aktivního v oblasti chemického průmyslu, s tím, že výrazný potenciál úspor očekáváme u středních a velkých podniků.

### 5.3.3. Využití moderních energetických systémů – možná doporučení pro Synthomer

Společnost Synthomer je držitelem certifikátu ISO 50001 a tudíž se zavazuje každoročně pravidelně snižovat spotřebu elektrické energie a zamezení plýtvání energií.

Pro Synthomer lze navrhnout následná opatření k dosažení energetické udržitelnosti:

- **Instalace solárních panelů** na střechy nebo brownfieldy uvnitř areálu – např. zemník, kde je problém se životním prostředím, jelikož je klasifikován jako Smíšené plochy nezastavěného území (SN). V minulosti zde byl skládkován bioodpad z B-ČOV.
- **Digitalizace regulace topného systému** – optimalizace topné soustavy pro vytápění areálu Synthomer.
- **Revitalizace budov** – zateplení, výměna plastových oken a následná instalace tepelných čerpadel
- **Možnosti současného Energo centra**, které používá zemní plyn pro generaci páry. Synthomer uvažuje o možnosti kogenerace spojené s instalací vhodné kondenzační turbíny. V současnosti probíhají předběžné výpočty a scénáře. Jako další možnosti se jeví nahradit zemní plyn propanem, kde probíhá studie proveditelnosti.
- **Náhrada stávajících jednotek pro likvidaci vedlejších a vedlejších látek z technologie** s využitím moderních technologií pro rekuperaci tepla nebo s využitím kogeneračních jednotek či tepelných čerpadel. Současná technologie pro zpracování vedlejších proudů z technologie výroby monomerů a disperzí postavena před 40. resp. 30. lety na principu termální oxidace pomocí zemního plynu. Tato technologie je energeticky náročná a již neefektivní, díky modernizace těchto jednotek dojde ke snížení zhruba 20 tis. tun CO<sub>2</sub> ročně a zároveň se sníží závislost na zemním plynu.
- **Vodní hospodářství** – optimalizace a intenzifikace vodního hospodářství s cílem snížení spotřeby vody pro průmyslové účely. Jako jedna z možností se jeví uzavřený okruh, kdy by se voda na výstupu z ČOV dala zpětně použít pro technologii – např. pro chladicí okruhy nebo výrobu demí vody. Dalším možnou úsporou vody se jeví náhrada chladicích věží (snížení odparu vody do okolního prostředí).
- **Opatření proti tepelným únikům** na výrobním zařízení – monitoring výrobních jednotek infračervenou kamerou s cílem zjistit poškození tepelných izolací a následně tyto místa nově zaizolovat.

### 5.3.4. Zdroje

Azcan, N.; Demirel, E. Obtaining 2 – Octanol, 2-Octanone, and Sebacic Acid from Castor Oil by Microwave-Induced Alkali Fusion. *Indian Engineering and Chemical Research* 2008, 47, 1774–1778.

Báleš, V.; Timár, P.; Hrivnák, M. Separation 2-methylbutan-1-ol and 3-methylbutan-1-ol from Fusel Oil. *Journal of International Scientific Publications* 2021, 9, 20–26.

Bruson, H. A.; Lloyd, C. W. Process For Manufacturing Sebacic Acid. US Patent 2182056, Dec 05, 1939.

Castor oil. Sigma Aldrich. <https://www.sigmaaldrich.com/CZ/en/product/sigma/259853> (accessed Oct 30, 2022).

Castor oil. Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Castor\\_oil](https://en.wikipedia.org/wiki/Castor_oil) (accessed Oct 30, 2022).

de Jesús Mendoza-Pedroza, J.; Sánchez-Ramírez, E.; Segovia-Hernández, J. G.; Hernández, S.; Orjuela, A. Recovery of alcohol industry wastes: Revaluation of fusel oil through intensified process. *Chemical Engineering and Processing: Process intensification* 2021, 163, 108–120.

Ferreira, M. C.; Meirelles, A. J. A.; Batista, E. A. C. Study of the Fusel Oil Distillation Process. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013, 52, 2336–2351.

Fusel Oil; SDS No. 000001616 [Online]; Green Plains, Inc, Oct 03, 2021. [https://gpreinc.com/wp-content/uploads/2021/03/SDS\\_Fusel-Oil\\_2021-03.pdf](https://gpreinc.com/wp-content/uploads/2021/03/SDS_Fusel-Oil_2021-03.pdf) (accessed Nov 29, 2022).

Xu, H.; Zhou, Q.; Wang, J. Treatment of Sebacic Acid Industrial Wastewater by Extraction Process Using Castor Oil Acid as Extractant. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 2013, 21 (9), 967–973.

Yu, S.; Cui, J.; Wang, X.; Zhong, C.; Li, Y.; Yao, J. Preparation of Sebacic Acid via Alkali Fusion of Castor Oil and its Several Derivatives. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2020, 97, 663–670.

Yu, S.; Cui, J.; Zhong, C.; Meng, J.; Xue, T. Green Process without Thinning Agents for Preparing Sebacic Acid via Solid-Phase Cleavage. *ACS Omega* 2019, 4, 6697–6702.

#### 5.4. Chemické využití uhlí bez doprovodné tvorby oxidu uhličitého

Tato kapitola se věnuje chemickému nikoli energetickému využití uhlí, které představuje významné nerostné bohatství Karlovarského kraje.

##### 5.4.1. Uhlí jako minerální uhlíková surovina

Uhlí společně s ropou a zemním plynem patří do triády minerálních uhlíkových surovin. Z těchto surovin je nejméně čisté, zejména lignit a hnědé uhlí (tab. 23).

**Tab. 22:** Složení a výhřevnost uhlí

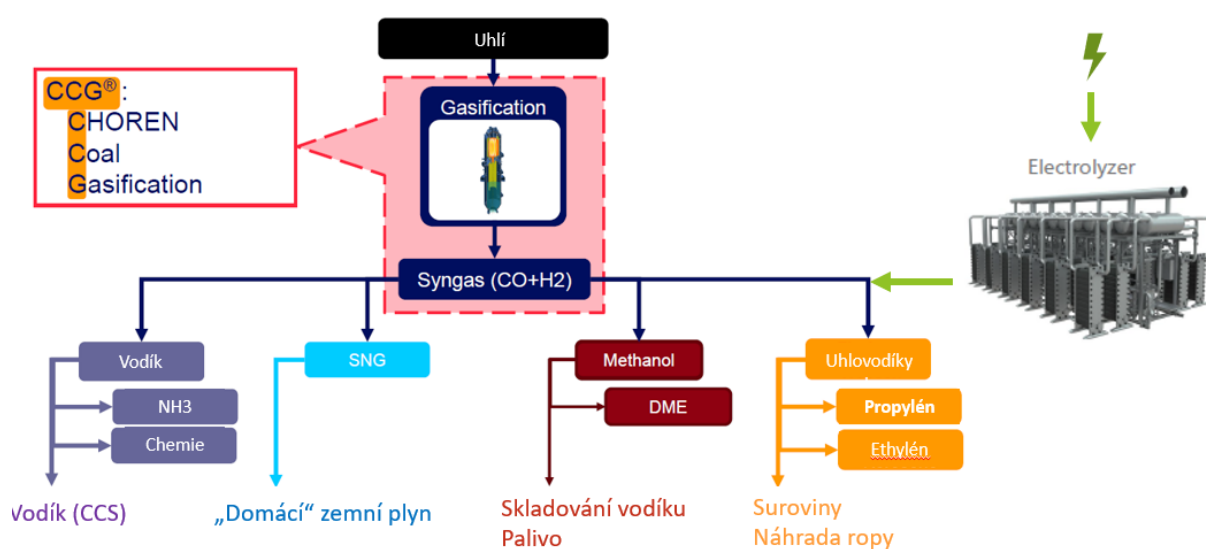
	C	O	H	N	H <sub>2</sub> O	Výhřevnost
	(% hm.)	(% hm.)	(% hm.)	(% hm.)	(% hm.)	(MJ·kg <sup>-1</sup> )
Lignit	<65	19–33	<6	<1	>30	14,7 – 17,0
Hnědé uhlí	65–69	10–19	<6	<1	>30	17,0 – 24,4
Černé uhlí	69–92	2–10	<5	<1	>5	24,4 – 32,6
Antracit	86–98	<2	<3	<1	>2	>32,6

Má tuhé skupenství. Poměr (H/C)<sub>at</sub> ≤ 1 je u uhlí významně nižší než u ropy a ropných frakcí (=1,5-2,0) nebo zemního plynu (=4). Vodík je ale možné do reakční směsi tvořené z uhlí přidávat a tím nepříznivý poměr (H/C) změnit. Z uhlí lze různými technologiemi vyrobit v zásadě podobná paliva a stejné chemické produkty jako z ropy nebo zemního plynu. Chemické zpracování uhlí je zajímavé pro země, které ho mají zásoby a v případě geopolitických problémů s dodávkami ropy a zemního plynu nebo růstu jejich cen.

Moderní a udržitelné technologie zpracování uhlí na chemické produkty (*Clean Coal Technologies, CCT*) nevýhody uhlí jako chemické suroviny minimalizují.

Pokud nějaká země nebo region má k dispozici zásoby uhlí, pak významný aspekt jeho chemického využití spočívá ve strategické odolnosti průmyslu a národní ekonomiky založené na domácích surovinách proti možným problémům spojených s omezenou dostupností a cenovou volatilitou importovaných uhlíkových surovin. Ze stejných důvodů může být zajímavé chemicky zpracovávat uhlí i v ČR, řádově v jednotkách milionů tun ročně. V ČR se technologie chemického zpracování se opírají o určitou tradici v Litvínově, Vřesové a také o současnou výrobní praxi v DEZA, a.s. Valašském Meziříčí.

Protože chemické zpracování uhlí bylo předmětem intenzivní pozornosti již od začátku 20. století, existuje celá řada publikací o chemickém využití uhlí. Moderní technologie značně pokročily ve svém vývoji. Základní moderní technologické postupy chemického zpracování uhlí jsou obsaženy v obr. 86:



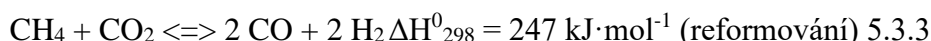
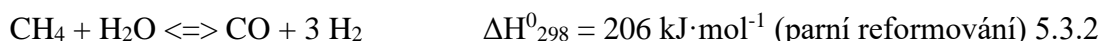
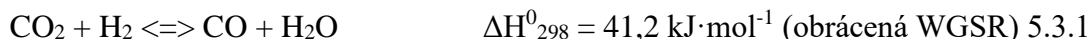
**Obr. 86:** Základní moderní postupy chemického zpracování uhlí

[zdroj: CHOREN entrained flow gasification –update of technology and projects. 2022 International Freiberg Conference.]

### 5.4.2. Technologie

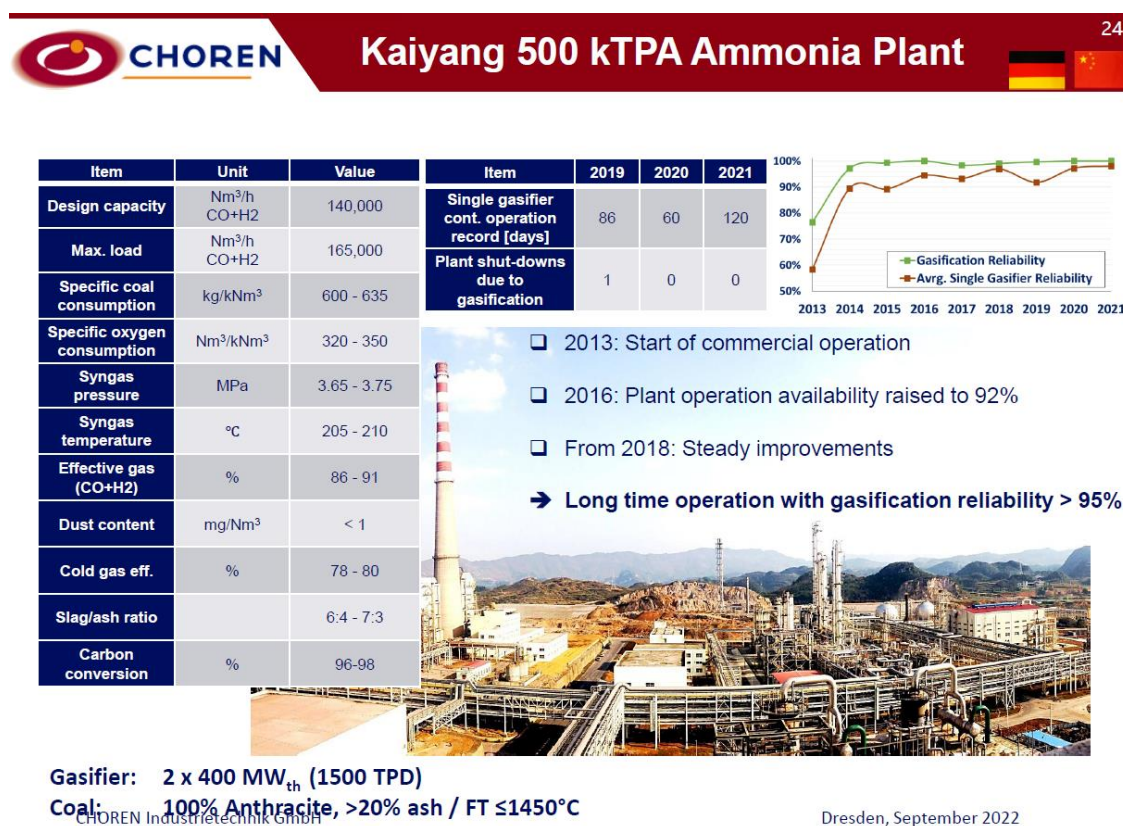
Technologie se rozlišují podle pohybu částic v zařízení – s nehybnou, pomalu se sunoucí, se stacionární nebo cirkulující fluidní vrstvou a hořákovým zplyňováním. S tím souvisí velikosti zpracovávaných částic uhlí (0,1-10 mm), teploty (500-1500 °C) a tlaku (0,1-7 MPa). Zplyňováním se velmi složité molekuly uhlí přemění na pouze několik základních plynných chemických sloučenin. Složení surového syntézního plynu se velice liší v závislosti na kvalitě suroviny, použité technologii a provozních podmínkách. Rozhodujícím produktem zplyňování uhlí je směs oxidu uhelnatého a vodíku, která se nazývá procesní plyn, ve kterém se pak poměr (H/C)<sub>at</sub> upravuje na hodnotu 2 a tento produkt se nazývá syntézní plyn. Z tohoto důvodu se u moderních technologií chemického využití uhlí doporučuje použití hořákových reaktorů a teplot až 1500 °C, protože poskytují plyn s vysokým výtěžkem, bez dehtu a s nízkým obsahem oxidu uhličitého a methanu.

Oxid uhličitý a metan lze konvertovat na složky syntézního plynu následujícími reakcemi:



Reakce jsou katalytické, endotermní, potřebné teplo je možné získat tepelnou výměnou ze surového syntézního plynu z generátoru.

Licensory technologií nepřímého zkapalňování jsou inženýrská skupina Air Liquides, do které v současné době patří i společnost Lurgi, Synfuels Americas / Synfuels China, Air Products, která v r. 2018 zakoupila práva na Shell Gasification Technology, Synthesys Energy Systems (SES), General Electric (GE) (technologie Chevron-Texaco) a Choren.



**Obr. 87:** Reference využití uhlí pro výrobu NH<sub>3</sub>

[zdroj: CHOREN entrained flow gasification –update of technology and projects. 2022 International Freiberg Conference.]

Je zřejmé, že mnoho světových společností dnes nabízí moderní a čisté technologie chemického využití uhlí.

### 5.4.3. Využití procesního plynu z uhlí

Existují následující základní způsoby chemického využití procesního, resp. syntézního plynu z uhlí, které vytvářejí základ technologií pro chemické využití uhlí bez emisí oxidu uhličitého:

- Syntézní plyn pro Fischer-Tropschovu (FT) syntézu

- Syntézní plyn pro výrobu methanolu jako platformy (meziprodukt) pro celou řadu specifických chemických syntéz, především *Methanol-to-Gasoline (MTG)* a *Methanol-to-Propylene (MTP)*.
- Zdroj šedého nebo modrého vodíku prostřednictvím WGSR.

Pro výrobu vodíku z uhlí nebo petrokoxsu lze uvést následující reference:

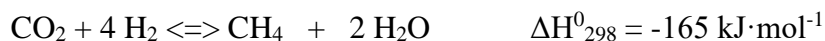
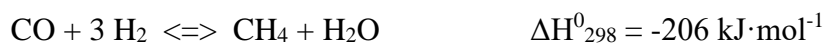
- *Coffeyville Gasification Plant*, Kansas, USA – zplyňuje se petrokoks ze sousední rafinerie a vyrábí se vodík ( $200 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ) pro syntézu amoniaku a následně dusíkatých hnojiv. Od r. 2013 je oxid uhličitý jako vedlejší produkt využíván pro terciární metodu těžby ropy (*Enhanced Oil Recovery, EOR*) v ropných polích *North Burbank Unit* v *Osage County*, Oklahoma, které firma vlastní. Na místo těžby ropy se oxid uhličitý dopravuje plynovodem.
- *Sinopec, Quilu*, Čína – zplyňuje se uhlí a koks. Produkce vodíku je  $100 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ , který se používá na výrobu dusíkatých hnojiv. Od r. 2021 se oxid uhličitý využívá pro *EOR*.
- *Latrobe Valley*, stát Victoria, Austrálie – jedná se o *Hydrogen Energy Supply Chain (HESC)* projekt podporovaný Japonskem. V současnosti je v provozu pilotní jednotka s kapacitou  $5 \text{ tis. t} \cdot \text{r}^{-1}$  vodíku. V roce 2030 je plánována výroba  $10 \text{ mil. t} \cdot \text{r}^{-1}$  vodíku (!), který by se následně zkapsalnil a transportoval do Japonska. Ukládat se bude  $120 \text{ mil. t} \cdot \text{r}^{-1}$  oxidu uhličitého!

Vodík a methanol kromě platform pro chemické zpracování jsou považovány za prostředek pro ukládání energie účinnější než bateriové systémy. Využitím vodíku a methanolu se zabývají samostatné kapitoly této studie.

Finální produkty chemické konverze uhlí mají větší hustotu energie než uhlí samotné. Složení produktů je pro jednotlivé technologie specifické. Velice výhodné je, že kapalné frakce konverze uhlí lze dále zpracovávat existujícími standardními rafinérskými procesy – hydrogenační rafinací, hydrokrakováním nebo katalytickým krakováním.

Pro energetické účely lze procesní plyn využít

- Pro integrované, vysoce účinné systémy výroby elektrické energie a tepla (*Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC*), k dosažení vyšší účinnosti též ve spojení s využitím vysokoteplotních palivových článků (*Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC* nebo *Solid Oxide Fuel Cell, SOFC*). S následným zachycením, uložením nebo ještě lépe využitím oxidu uhličitého pro chemické účely (*CCSU*) splňuje tento postup požadavek čisté uhelné technologie.
- Pro výrobu syntetického zemního plynu (*Synthetic Natural Gas, SNG*) katalytickou methanizací



Obě reakce jsou výrazně exotermní. Použití takto získaného methanu pro chemické účely nedává smysl, má ale význam energetický, případně pro bezpečné uchování vodíku a musí být spojeno s účelným využitím reakčního tepla. Pro výrobu syntetického zemního plynu (*SNG*) z uhlí lze uvést tyto reference:

- *Grant Plains Synfuel Plant, Beulah*, Severní Dakota, USA – závod je v provozu od r. 1988, Zpracovává  $18 \text{ tis. t} \cdot \text{d}^{-1}$  ( $6,48 \text{ mil. t} \cdot \text{r}^{-1}$ ) lignitu zplyňováním kyslíkem. Syntézní plyn, který obsahuje  $1,3 \text{ tis. t} \cdot \text{d}^{-1}$  vodíku se konvertuje na syntetický methan, který se plynovodem dopravuje k dalšímu zpracování. Část oxidu uhličitého se od r. 2000 čerpá  $328 \text{ km}$  dlouhým

plynovodem do ropného pole *Saskatchewan*, Kanada, pro EOR. Investice do výstavby závodu byla 2,1 mld. US\$ (1988).

- *Hainan Dongfang Henghe Energy Development Co.*, Čína – zpracovává se uhelný odpad s produkcí 2 mld.  $\text{Nm}^3 \cdot \text{r}^{-1}$  SNG. Plánovaný CAPEX byl 1,6 mld. US\$. Doba na realizaci mezi podepsáním dodavatelského kontraktu a uvedením jednotky do provozu byla pouze 39 měsíců, tj. shodná s podobně velkými projekty v ropném průmyslu.

Většina licensorů technologií na chemické a energetické využití uhlí nabízí komplexní portfolio těchto technologií, které umožní investorům realizovat konverzi uhlí až na finální produkt a ve spojení se inženýrskými firmami i realizaci nebo spolupráci na realizaci projektů. Licensoři také disponují referencemi pro nabízené technologie. Např. společnost Shell uváděla v r. 2015 celkem 29 referencí, z toho 22 v Číně, na jednotky související se zplyňováním uhlí a zaměřené na všechny produkty diskutované v předcházejícím textu. Technologicky, inženýrsky, stavebně, ani provozně nepředstavuje tedy realizace komplexu na chemické využití uhlí problém. V této souvislosti je důležité uvést „*DOE Gasification Systems Program*“, USA, který vyvíjí inovativní modulární koncept na konverzi různých typů uhlí na čistý syntézní plyn určený pro výrobu energií, vodíku, chemikálií a motorových paliv.

#### 5.4.4. Zachycování a využití oxidu uhličitého ze zpracování uhlí

K zachycování oxidu uhličitého z procesního plynu vzniklého nepřímým zkapalněním uhlí, spalín vzniklých spalováním těchto plynů pro výrobu elektrické energie a tepla (IGCC) nebo přímým energetickým využitím uhlí je možné využít následující technologie:

- Absorpcí v podchlazeném methanolu, procesem *Rectisol*, který se používá např. v Sasol nebo SUAS.
- Chemisorbcí alkalickým roztokem, např. čpavkem, organickými aminy (*SaskPower Boundary Dam Power Plant, Estevan, Saskatchewan, NRG Energy – Petra Nova Power Plant, Thompson, Texas*), nebo pomocí vysokoteplotní karbonátové smyčky v reaktoru s fluidní vrstvou oxidu vápenatého.
- Adsorpcí, např. pomocí adsorpčního kola technologií *VeloxoTherm, Inventis*.

Vhodná technologie zachycování oxidu uhličitého závisí na místě záchyty, tj. technologických podmínkách.

Oxid uhličitý se na místo uskladnění nebo využití dopravuje ve stlačené formě potrubím nebo zkapalněný v cisternách. Ukládáním oxidu uhličitého do akviferových hornin, případně využitím pro terciární metody těžby ropy s cílem zvýšit výtěžek z ložisek (EOR) se zabývají MND, a.s.

#### 5.4.5. Specifické použití uhlí

Kromě již uvedených významných chemických komodit existuje celá řada důležitých produktů založených na uhlíku, jehož zdrojem může být uhlí:

- Přípravky na zušlechtnění půdy na bázi huminových a fulvinových kyselin, tzv. umělá zemina – *TKI Hümas*, Turecko.
- Aktivované uhlí, využívané pro filtraci vody, čištění plynů, čištění komponent používaných k výrobě léků a jako alternativa aminů při zachycování oxidu uhličitého.
- Uhlíkové elektrody pro využití v průmyslu a v bateriích.
- Uhlíková pěna a keramika jako konstrukční materiály.

- Grafen vyráběný konverzí bitumenózního uhlí elektrochemickými metodami na nano-uhlík a z něj uhlíkaté nano-trubice a nano-textilie.
- Uhlíková vlákna používána např. jako plnivo do plastů. Vyrábějí se z uhelných dehtů, které obsahují prekurzory těchto vláken a představují levnější surovinu než používaná polyakrylonitrilová vlákna vyráběná z ropy. Uhlíkové komposity představují náhradu energeticky náročných materiálů, jakými jsou ocel, hliník, beton, sklo a keramika.
- Pro získávání kovů: Výzkumně a poloprovozně se získáváním kovů zabývá VŠCHT Praha.

#### **5.4.6. Integrace chemického zpracování uhlí se zpracováním biomasy a tuhého komunálního odpadu**

Zplyňování na syntézní plyn se považuje za výhodný postup koprocesování fosilních surovin (uhlí, ropné zbytky), biomasy a využitelných antropogenních odpadů. Proces zplyňování je totiž relativně flexibilní a nároky na kvalitu surovin jsou nižší než u jiných technologií. Uhlí může být komplementárním uhlíkovým zdrojem pro vodíkové technologie nebo technologie založené na biomase. Obě tyto suroviny mají nulový, resp. nízký obsah uhlíku, přičemž chemické produkty jsou většinou složené z uhlíku, vodíku a kyslíku obsahují málo. Přítomnost uhlí v těchto směsích je s ohledem na vysoký obsah uhlíku v něm zásadní pro výtěžek a kvalitu procesního plynu.

Koprocesování uhlí a biomasy, odpadních plastů a tuhých komunálních odpadů zplyňováním je předmětem intenzivního výzkumu. Technologie zplyňování může být vyprojektována na jakoukoliv pevnou surovinu obsahující uhlík.

#### **5.4.7. Integrace petrochemického průmyslu s chemickým zpracováním uhlí**

Existuje obecná shoda, že z hlediska technologické a produktové integrace zpracování uhlí do chemického průmyslu představuje nejvýhodnější technologií nepřímé zkapalnění uhlí přes syntézní plyn, doplněné zpracováním oxidu uhličitého, který těmito technologiemi vzniká v nízkých množstvích. Technologie používané pro čištění procesního plynu jsou podobné nebo dokonce shodné jako v rafinérském průmyslu.

Kapalné produkty, které vznikají při chemickém zpracování uhlí, je možné následně zpracovat hydrogenační rafinací, hydrokrakováním, rektifikací a stabilizací, tj. standardními rafinérskými procesy, přičemž všechny uvedené operace je možné realizovat v již existujících rafinériích.

#### **5.4.8. Integrace produktů z chemického zpracování uhlí v podmínkách ČR**

Jedná se o dva související, ale obsahově rozdílné problémy – jednak o integraci výstupů z chemického zpracování uhlí jako poloproduktů pro další zpracování (chemická integrace) a jednak o přepravu poloproduktů (logistická integrace).

Z pohledu chemické integrace:

- Syntézní plyn se v rafinérském a petrochemickém průmyslu využívá jako zdroj vodíku.
- „Modrý“ vodík z uhlí by mohl nahradit „šedý“ vodík vyráběný ze zemního plynu nebo ropných zbytků.
- Vodík z uhlí lze využít i pro výrobu amoniaku nebo methanolu a následné produkty z něj.
- Využití syntetického zemního plynu (SNG) pro chemické výroby jako náhrady za zemní plyn.
- Syntetická paliva z FT-syntézy představují velmi kvalitní alternativní surovinu ke klasické ropě.



- Methanol je obecně nejatraktivnějším produktem chemického zpracování uhlí, protože má mnohostranné petrochemické využití. Lze jej využít k výrobě recyklovatelných polyolefinů, a zejména v budoucnu velmi žádaného polypropylenu.
- Sulfan, resp. síra se používá k výrobě kyseliny sírové, podobně jako síra z ropných rafinérií.
- Amoniak má mnohostranné chemické využití, ale jeho přímá produkce z odpadních vod vznikajících při zpracování uhlí je relativně malá.
- Chemické zpracování popela je zajímavé s ohledem na obsah různých kovů a fyzikálně chemické vlastnosti popela a představuje nový rozvojový směr, ve kterém se v současnosti angažuje i VŠCHT Praha, jak již bylo uvedeno.

Logistika všech rozhodujících produktů z chemického zpracování uhlí je technicky a organizačně zvládnutelná a nepředstavuje problém.

Pro ČR existuje více možných řešení, jak existující zásoby uhlí chemicky využít, od legislativně a investičně náročné výstavby nového komplexu na zelené louce, až po maximální využití výrobních prostředků již v ČR existujících.

#### 5.4.9. Využití uhlí v Karlovarském kraji

Důvody pro rozvoj regionálního průmyslu spojeného s využitím uhlí obecně a chemickým využitím speciálně vychází z následujících argumentů:

- Uhlí je jediná uhlíková surovina, kterou Karlovarský kraj disponuje v průmyslovém množství.
- Uhlí je možno zpracovávat technologiemi, při kterých nevzniká nebo jen minimálně oxid uhličitý.
- Využití uhlí má synergický efekt pro rozvoj technologií na využití obnovitelných surovin a obnovitelných zdrojů energie.
- Management obou klíčových chemických podniků Karlovarského kraje, tj. SUAS a SYNTHOMER, podporuje rozvoj technologií a použití produktů z chemického zpracování uhlí.
- Chemickým využitím uhlí, bez emisí oxidu uhličitého a dalších škodlivých látek, dojde ke změně odborného a společenské povědomí, že uhlí je výhradně energetická surovina používaná pro spalování vzduchem a za tvorby velkého množství emisí oxidu uhličitého.

Možnosti budoucího chemického zpracování uhlí v Karlovarském kraji úzce souvisí s platnými zákony týkajícími se těžby a hornictví, základními strategickými záměry ČR v oblasti surovin, energetiky a klimatu, včetně vývoje limitů těžby, a závěry Uhelné komise týkajícími se ukončení energetického využití uhlí, kde má zástupce i Karlovarský kraj.

V Karlovarském kraji jsou k dispozici zajímavé zásoby hnědého uhlí. Jako hnědé uhlí je označována surovina se spalným teplem na bezvodé a bezpopelové fázi 17-27 MJ·kg<sup>-1</sup>. Základní údaje týkající se zásob a těžby hnědého uhlí v ČR podle údajů České geologické služby obsahuje tab. 27.

**Tab. 27:** Zásoby a těžba hnědého uhlí v ČR

Rok	2016	2017	2018	2019	2020
Počet ložisek	51	52	52	52	52
Z toho těžených	10	10	10	10	10
Zásoby celkem (mt)	8729	8673	8633	8595	8565
Vytěžitelné (mt)	714	682	647	613	586

Těžba (mt)	38,6	39,3	39,2	37,4	29,5
Dovoz (mt)	0,210	0,331	0,340	0,246	0,183
Vývoz (mt)	0,921	0,987	0,918	0,728	0,549

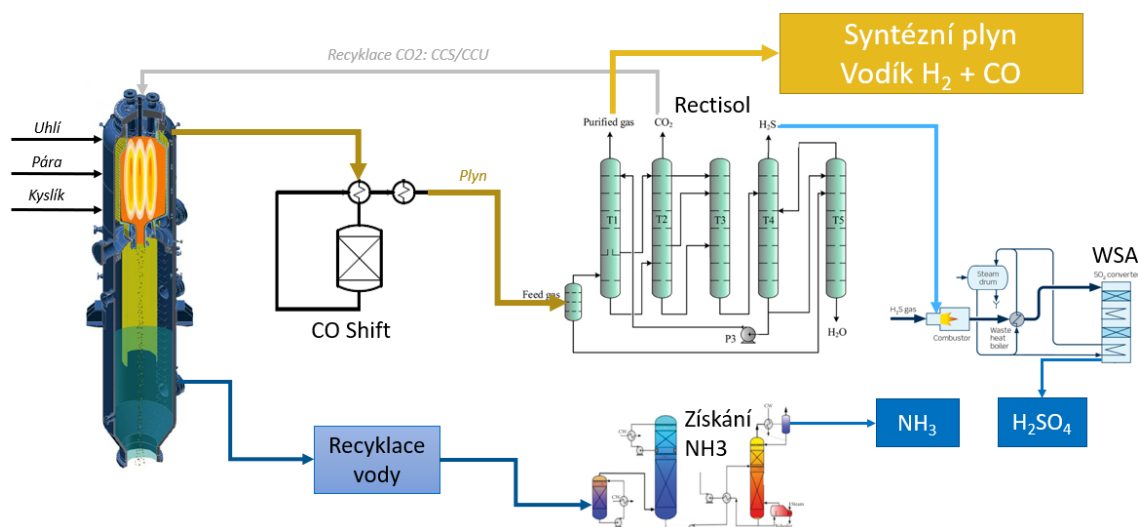
Na základě „Bilance zásob výhradních ložisek nerostů bylo v Sokolovské pánvi k 1.1.2015 k dispozici 131 mt vytěžitelných zásob. Sokolovská pánev má dvě hlavní souslojí (Antonín a Josef). Jde o slabě až středně prouhelněné energetické uhlí s nižším obsahem síry (kolem 1 % hm.) a vyšším obsahem vody proti uhlí severočeské pánve. Od roku 2001 probíhá těžba jen na východě střední části pánve povrchově ve velkolomu Alberov –Velkolom Jiří.

Chebská pánev má přes 1,7 mld. t geologických zásob slabě prouhelněného hnědého uhlí (výhřevnost kolem 10 MJ·kg<sup>-1</sup>). **Opětovná těžba uhlí v této pánvi je však zatím vyloučena, protože naprostá většina zásob je vázána ochranou zdrojů minerálních vod Františkových Lázní.**

První část výrobního zařízení pro zpracování hnědého uhlí na Sokolovsku byla uvedena do provozu v roce 1965 (drtírna uhlí), v roce 1966 tlaková plynárna. Dnešní Sokolovská uhelná, a.s. byla založena v roce 1994, V roce 1996 byla ukončena výroba svítíplynu a nahrazena produkcí energoplynu. V roce 2009 byla uvedena do provozu unikátní technologie štěpení vedlejších chemických produktů v hořákovém reaktoru, která umožnila jejich zpracování na energoplyn. V červnu 2020 byla výroba energoplynu zastavena z důvodu vysokých cen emisních povolenek. V současné době se s ohledem na cenu i bilanci zemního plynu připravuje obnovení částečného provozu v druhé polovině 2023.

Z hlediska dalšího využití zásob hnědého uhlí by pro Karlovarský kraj bylo nejracionálnější využít know-how s využívanou technologií zplyňování uhlí v SUAS.

Možnou modifikaci technologického schématu zplyňování uhlí a zpracování syntézního plynu v SUAS obsahuje obr. 88. Uvažuje se využití lidského a technického potenciálu, ale i instalaci moderní technologie, která umožní instalovat rovněž systém CCU a nebude již produkovat enviromentální diskutabilní karbochemické produkty. Toto moderní řešení by mohlo umožnit využít uhlí pomocí čisté technologie.



**Obr. 88:** Schéma chemického využití uhlí

[zdroj: SUAS]

Pokud by zpracování uhlí bylo spojeno se zpracováním biomasy, odpadních plastů, použitých pneumatik a organických odpadů tak, by část metanolu a návazné chemie měla charakter bio – a recirkulovaného metanolu.

Dále by bylo vhodné se soustředit na možné využití a úpravu popela ze zpracování uhlí jako zdroje strategických kovů nebo suroviny pro výrobu stavebních materiálů. V této souvislosti by bylo možné posoudit i možné přepracování existujících úložišť popílku. Chemické a stavební využití popela by bylo důležité pro posouzení ekonomické výhodnosti zpracování uhlí ve srovnání s jinými fosilními surovinami.

Protože problematika čistých technologií na bázi uhlí se v současnosti velmi rychle rozvíjí, je důležité, aby orgány Karlovarského kraje zodpovědné za strategický rozvoj sledovaly na pravidelné bázi vývoj v chemického využití uhlí ve spolupráci s výzkumně-vzdělávacími (VŠCHT Praha, VÚHU Most, ORLEN UniCRE Litvínov) a výrobními organizacemi (SUAS), které mají přístup k nejnovějším informacím i účastí na akcích zabývajících se touto problematikou.

#### 5.4.10. Závěry a doporučení

Uhlí je jediná uhlíková surovina, kterou ČR (též v Karlovarském kraji) v racionálním množství disponuje. Využití uhlíkatou fosilní surovinou je v zásadě možné dvěma cestami:

1. energetickou – spalení, obvykle ve vzduchové atmosféře. Tento proces je spojený s uvolněním oxidu uhličitého, který může být vypuštěn do atmosféry (nevýhoda: emise oxidu uhličitého jsou sledovány a vláda ČR se je dlouhodobě snaží omezovat), nebo dlouhodobě zachycen v podzemních geologických formacích (nevýhoda: investičně drahý proces, v ČR je vhodných formací omezené množství), nebo dále chemicky konvertován (zachycený oxid uhličitý je možné využít v rafinérských procesech, které jsme ve studii podrobně popsali).
2. chemickou – konverze uhlí na jiné chemické látky. Chemická konverze uhlí se vhodně doplňuje s rozvojem vodíkových technologií, vzájemnou kombinací technologií je možné

vyrábět širokou škálu hodnotných chemických látek, nebo ekvivalentů ropných paliv. Obě skupiny látek mají výhodu obecně nízké uhlíkové stopy.

Jako závěry a doporučení pro delší budoucnost je možné konstatovat:

1. Uhlí je surovina bohatá na uhlík – obdobně jako ropa nebo zemní plyn. Spalování uhlí za účelem výroby tepla (a následně elektrické energie) je *de facto* projevem nehospodárnosti a neprozřetelnosti do budoucna.
2. Uhlí může být doplňkovým uhlíkovým zdrojem pro technologie vodíkové nebo technologie založené na biomase. Obě uvedené skupiny technologií pracují se surovinami s nulovým, resp. nízkým obsahem uhlíku. Oproti tomu chemické produkty jsou vesměs uhlíkově bohatší (např. PE, PP, PET, PS), vodíku a kyslíku obsahují málo. Vzniklý uhlíkový deficit je možné saturovat pomocí uhlíku, který je v uhlí bohatě obsažen.
3. Uhlík z uhlí je možno získávat technologiemi, při kterých nevzniká nebo jen minimálně vzniká oxid uhličitý, jehož tvorbu lze eliminovat až na nulový obsah spojením s rozvojem výroby obnovitelných surovin a obnovitelných zdrojů energie.
4. Společenské povědomí (i u odborné veřejnosti) opustí tradiční nesprávné paradigma, že uhlí je toliko energetická surovina používaná pro spalování vzduchem a za tvorby velkého množství emisí oxidu uhličitého.

## 6. Závěry a základní doporučení

Uvedená studie je zaměřena na možnosti dalšího rozvoje chemického průmyslu a s ním propojených navazujících sektorů včetně energetického s prioritním zaměřením pro Karlovarský kraj. Principem sestavení studie je v první části popis základních oblastí a jejich priority platné obecně, ve druhé části jsou pak ve formě případových studií naznačeny možnosti implementace těchto priorit do prostředí Karlovarského kraje. Případové studie uvádějí podrobněji řadu doporučení a jejich zdůvodnění. V této závěrečné kapitole jsou znovu uvedeny náměty, které jsou, dle názoru zpracovatelů studie, pro Karlovarský kraj nejdůležitější.

1. Sledovat a připomínkovat další vývoj iniciativy EU z ledna 2023 „Přechodová transformace pro chemický průmysl“ (Transition Pathway for the Chemical Industry).  
Odpovědný: centrální úřady státní správy (MPO, MŽP).  
Termín: průběžně.
2. Nalézt a aplikovat formy – organizační a technické - k zapojení kraje do vodíkové koncepce ČR, koordinovat „vodíkovou koncepci“ s dalšími kraji, které spadají do útlumu těžby uhlí (Moravskoslezský, Ústecký).  
Odpovědný: Karlovarský kraj.  
Termín: začátek aktivit ve 2023, průběžně.
3. Vyhledávat možné přeshraniční partnery pro rozvoj vodíkových technologií (tzv. „Vodíková údolí“).  
Odpovědný: Karlovarský kraj.  
Termín: začátek aktivit do konce roku 2023.

4. Usilovat o zapojení kraje do segmentu bateriových technologií včetně bateriové recyklace  
Odpovědný: Karlovarský kraj.  
Termín: začátek aktivit do konce roku 2023.
5. Podporovat rozvoj chemie syntézního plynu a navazujících aplikací  
Odpovědný: dotčené subjekty v Karlovarském kraji.  
Termín: průběžně.
6. Podporovat rozvoj produkce a následného chemického využití bioplynu  
Odpovědný: dotčené subjekty v Karlovarském kraji.  
Termín: průběžně.
7. Věnovat se možnostem moderních energetických technologií využitelných pro menší/lokální aplikace (např. budovy a zařízení v majetku či správě kraje)  
Odpovědný: obce s rozšířenou působností, na území Karlovarského kraje  
Termín: průběžně, se začátkem aktivit do poloviny roku 2023.
8. Podporovat podniky kraje zavádějící využití biomasy a využitelných odpadů pro své výroby  
Odpovědný: obce s rozšířenou působností, na území Karlovarského kraje, Karlovarský kraj.  
Termín: průběžně, se začátkem aktivit do poloviny roku 2023.
9. Sledovat možnosti využití hnědého uhlí ve spojení s neemisními dopady jeho zpracování  
Odpovědný: dotčené subjekty v Karlovarském kraji.  
Termín: průběžně, se začátkem aktivit do poloviny roku 2023.
10. Intenzivně usilovat o získání vysoké školy technologického zaměření zaměřené na profilové technologie kraje  
Odpovědný: Karlovarský kraj.  
Termín: průběžně, se začátkem aktivit do poloviny roku 2023. Očekávané získání vysoké školy do konce roku 2026.