

Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT v Brně

Národní plán obnovy: registrační číslo projektu NPO_VUT_MSMT-2143/2024-25



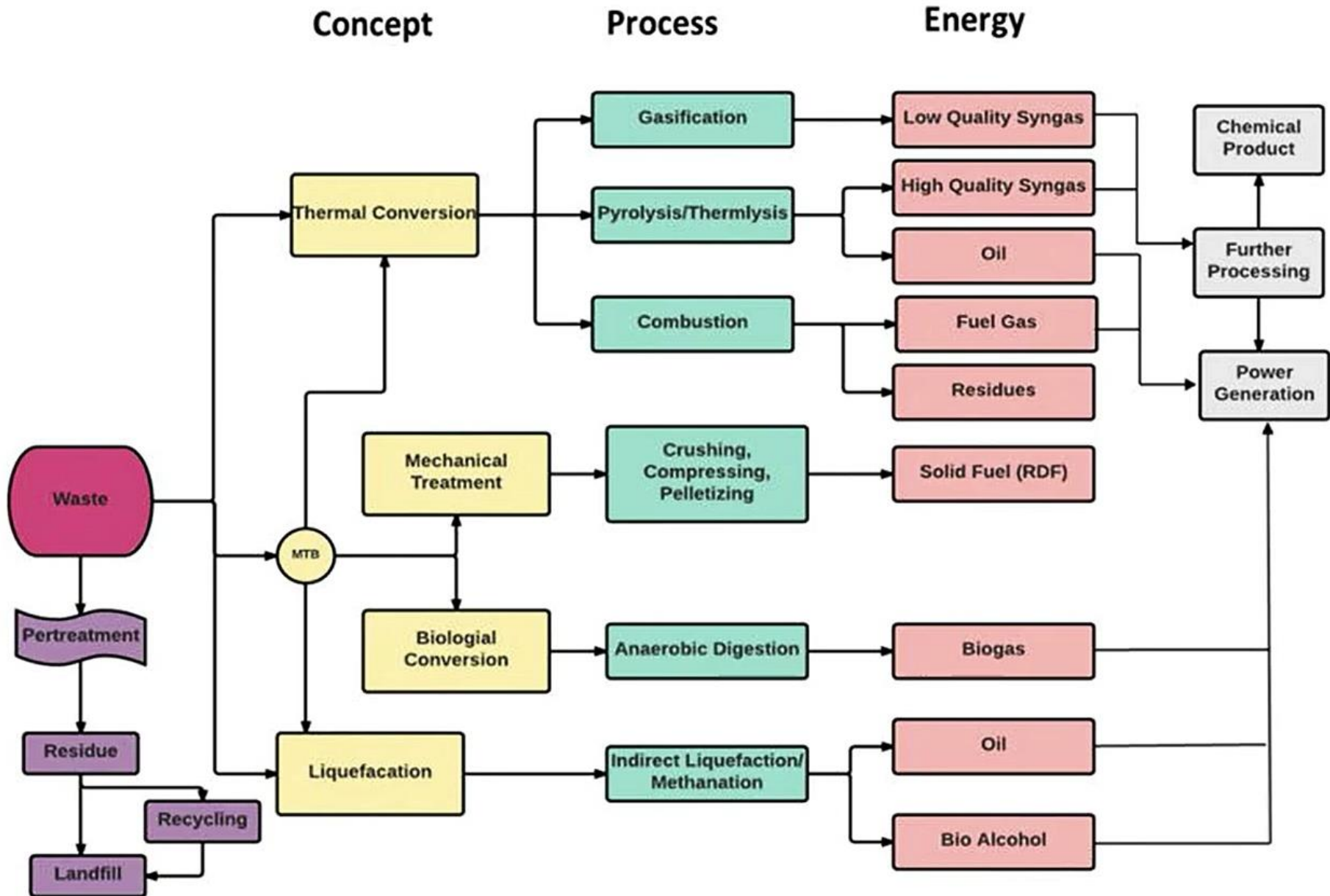
Tento předmět vznikl za podpory projektu Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT s reg.č. NPO_VUT-MSMT-2143/2024-5

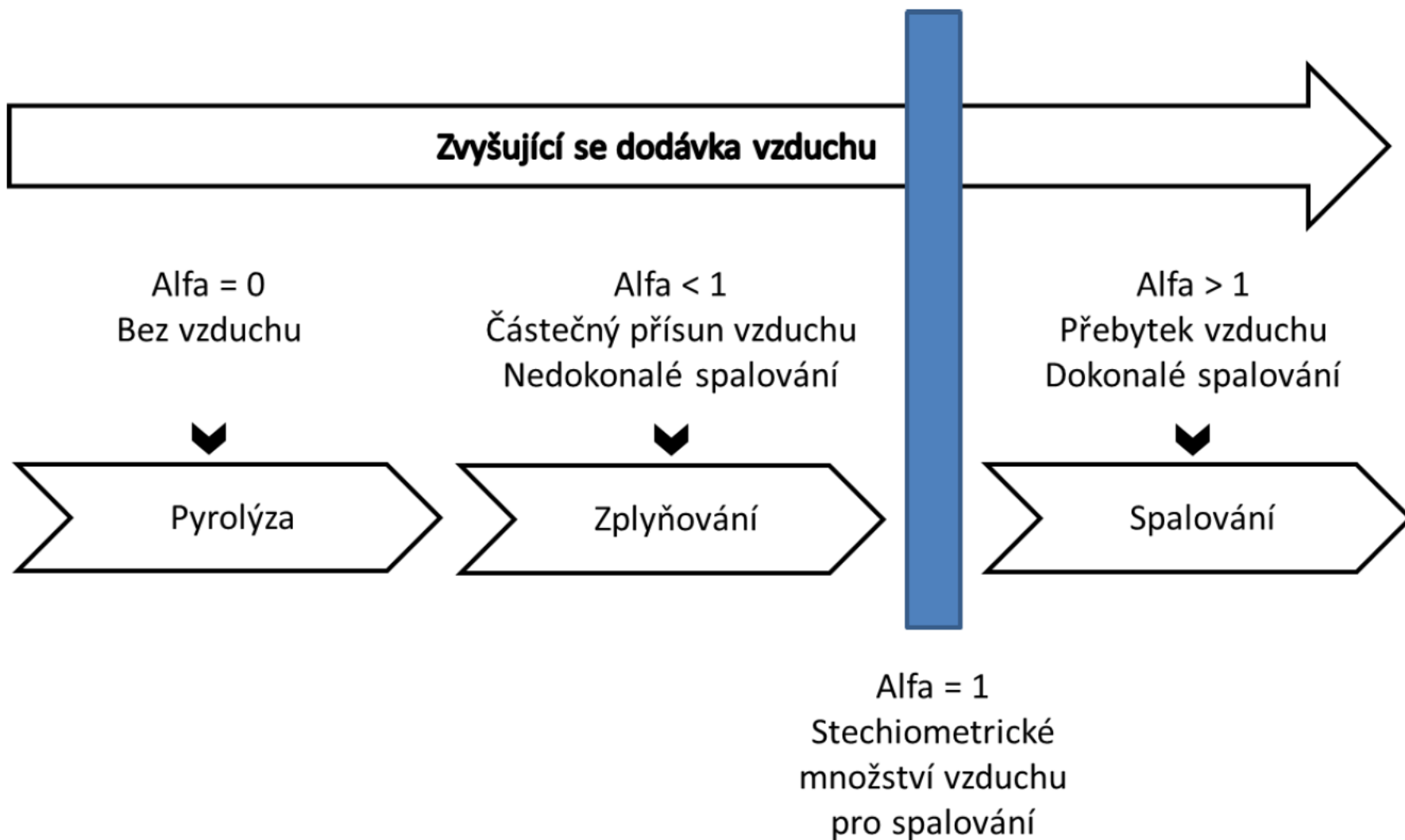
Termické zpracování plastového odpadu



Tento předmět vznikl za podpory projektu
Akcelerace zelených dovedností a
udržitelnosti na VUT s reg. č. NPO_VUT-
MSMT-2143/2024-5

Silvestr Figalla 2023





Energetické využití odpadu- spalování

- V EU zákaz spalování odpadu → odpady lze energeticky využívat v ZEVO
- Ve formě TAP v teplárnách a cementárnách
- Jako komunální zbytkový odpad v ZEVO
- Motivací je odstranění odpadu i zisk energie
- Energetické využití = recyklace energie
- Současná redukce objemu, zápachu
- Jednotná forma odpadu – využitelná struska
- Prospěšnost ZEVO je však v porovnání s recyklací sporná
- Účinnost zisku energie musí být min 65 % jinak není ZEVO

Spalování vs. recyklace

- Nevýhodnost spalování je patrná z rozdílu energetické náročnosti výroby plastů a jejich výhřevnosti
- Výroba papíru 2,4-7x náročnější než energetický zisk u plastů dle typu 10-26x
- Celkově je využito 17-22 % energie „uložené“ v odpadu
- Přítomnost spalovny „brání“ rozvoji recyklace
- Recyklace energie je technologie 19. století
- V ČR je technicky možné recyklovat cca polovinu spalovaného odpadu – rozhoduje ekonomické hledisko

Spalovna Komunálního Odpadu Brno

- První organizovaný svoz KO v roce 1835
- Vývoz za hradby města (ulice Výsypní, Rumiště)
- 1855- svoz organizuje Město Brno, zákaz vylévání splašků, fekálií na ulici a zakládání hnojišť a skládek v ulicích
- Motivace hlavně hygienická, současný rozvoj kanalizace a vodovodů, 1901 poslední epidemie tyfu, 1906 cholery v Brně
- 1904 je SAKO první spalovna KO v Rakousku-Uhersku, podle vzoru spalovny v Kolíně nad Rýnem (Prusko)
- Popelnatost 41 % – dnes 25 %, emise: „ malé množství dýmu“
- Od prvopočátku jako ZEVO – elektrárna 220 kWh/11h denně
- Spuštěna do provozu 1904 – několikrát modernizovaná
- Původní kapacita 53 t odpadu denně – dnes 868 t





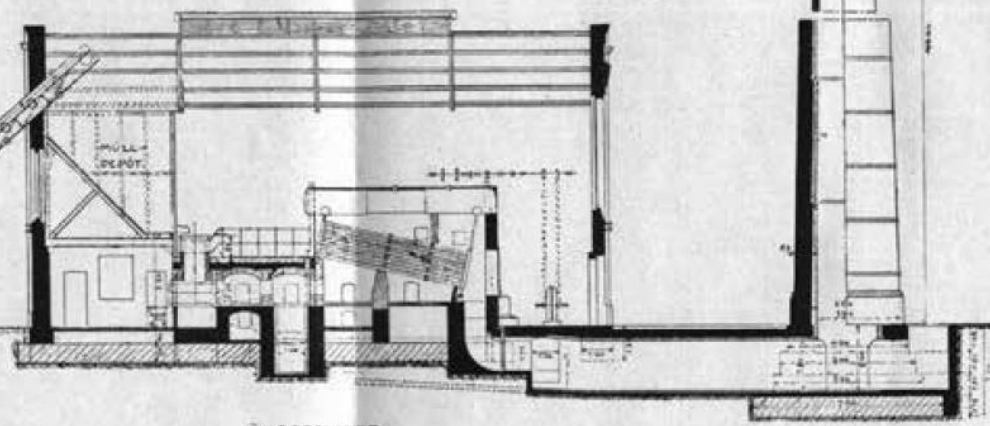
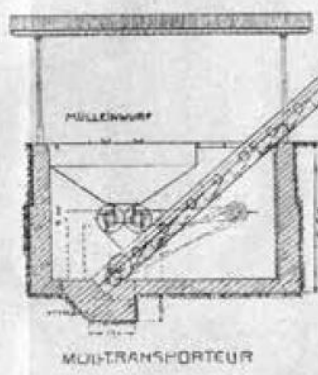
**Udržuj
čisté město,
špina škodí
Tvému zdraví**



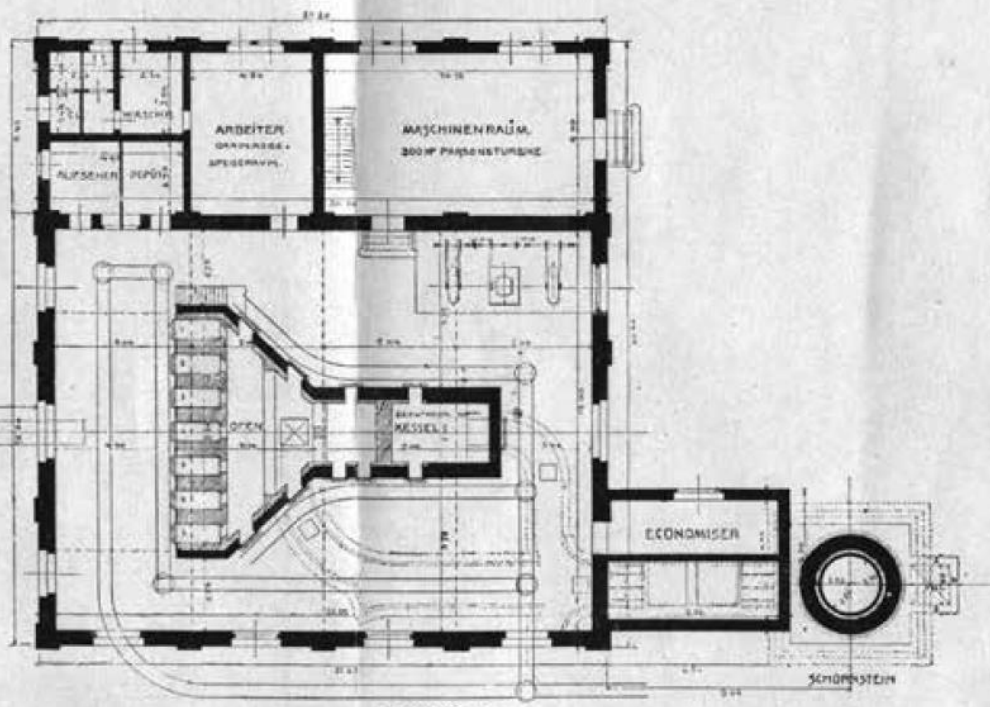
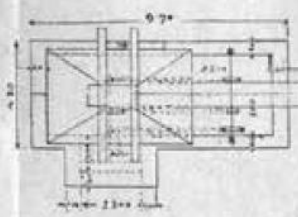
KEHRICHT VERBRENNUNGS - ANLAGE

FÜR 52500 Kg MÜLL IN
24 STUNDEN

FÜR DIE STADT
BRÜNN.



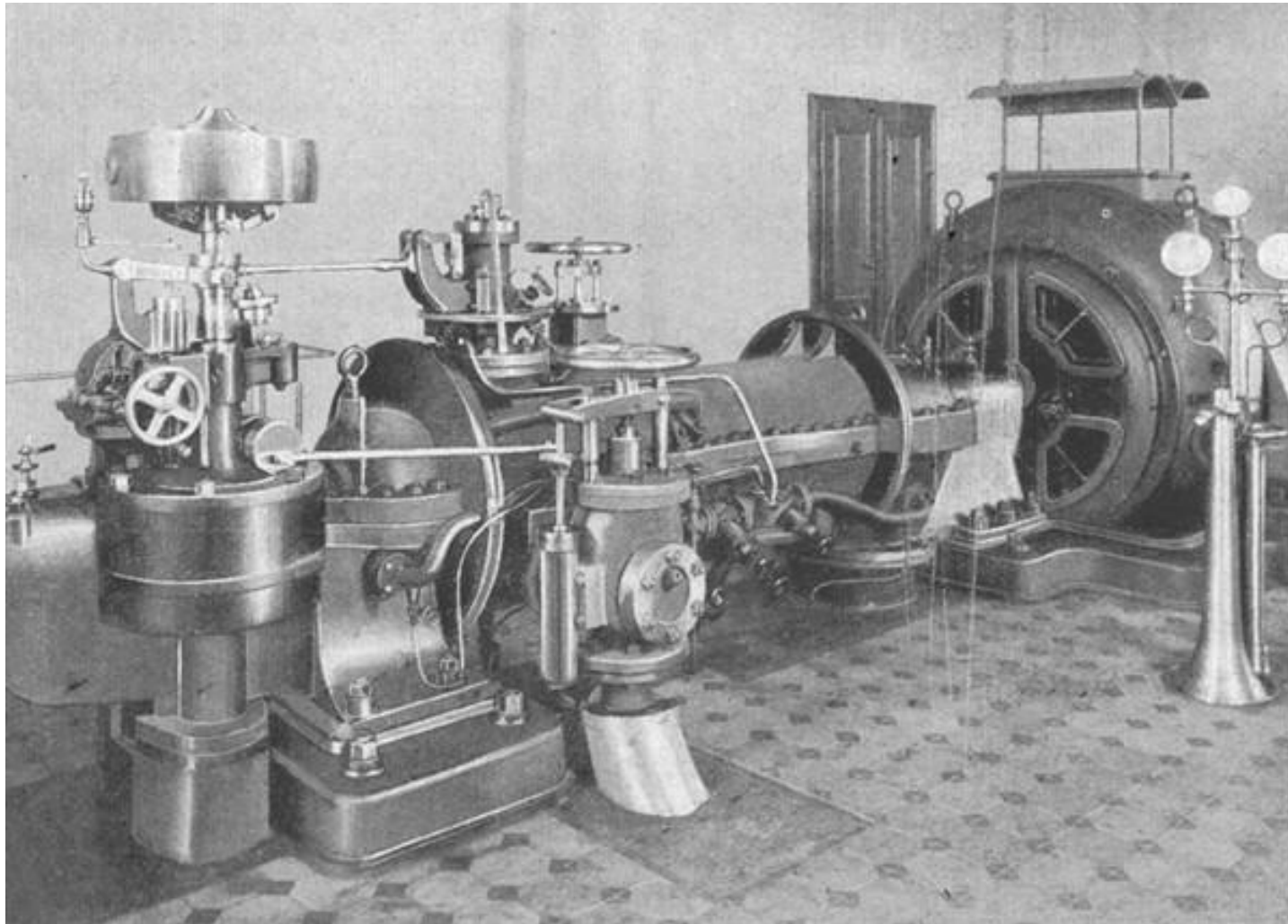
LÄNGSSCHNITT.



GRUNDRISS.

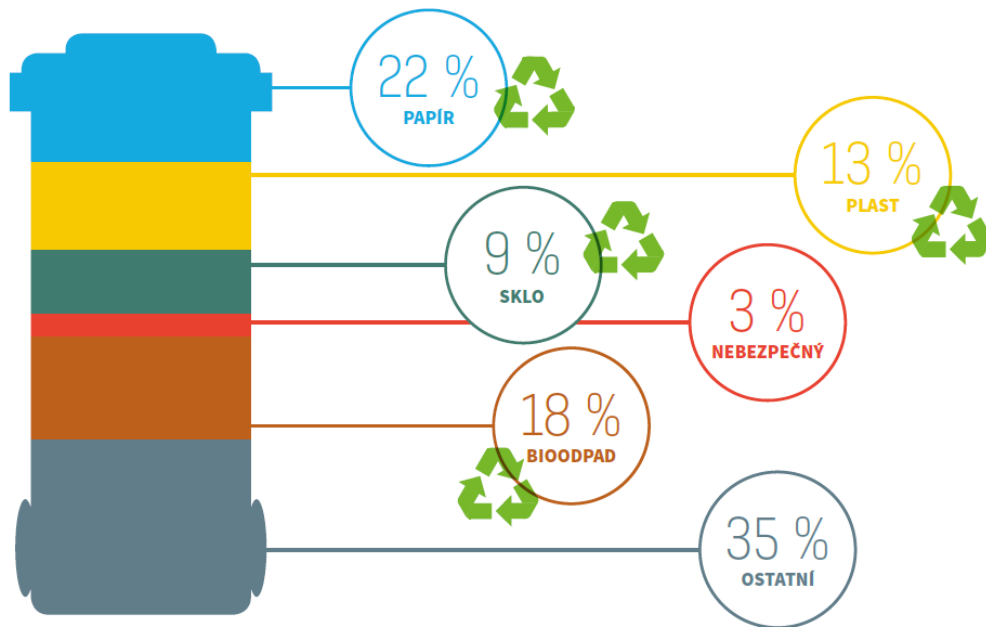
Vyrobená elektrická energie

- Původně cca 70 Wh/kg odpadu
- Dnešní SAKO 750 Wh respektive 2500 Wh tepelné energie



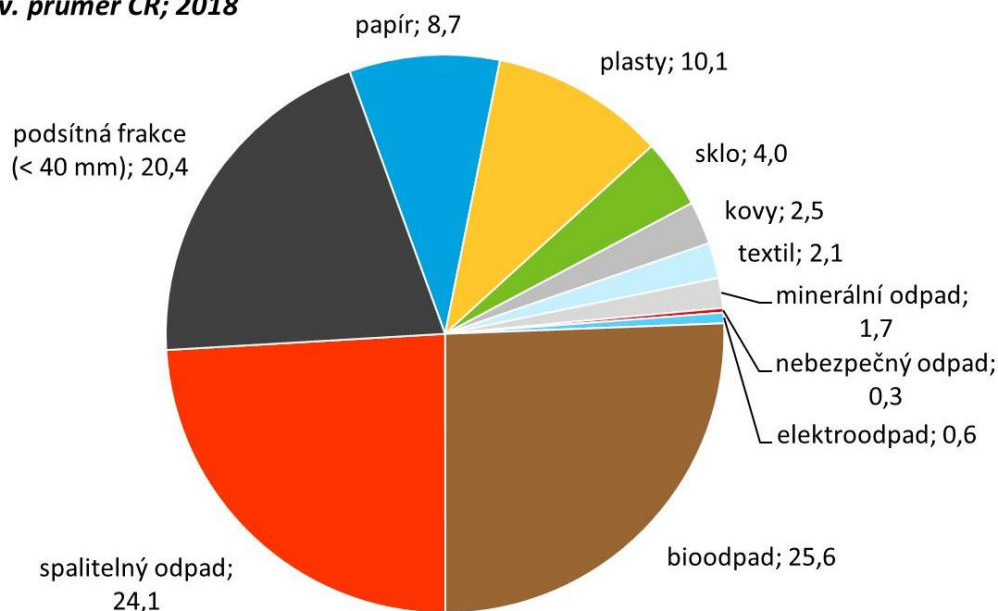
- Spalovna je několikrát modernizována a rozšířena
- Provoz je nerentabilní, ukončen v roce 1941
- V roce 1945 vybombardována a zaniká
- V Brně je budován nový systém svozu a likvidace odpadu
- Velké množství skládek na periferii
- Vznik skládky v Černovicích – likvidace původního „pralesa“, zavezeno sutí při poválečné obnově města
- V roce 1967 rozbor městského odpadu: obsah plastů po zaokrouhlení na kg byl 0 kg/t
- V roce 1975 obsah plastů 1,7 %
- Celková produkce odpadu cca 300kg na osobu za rok

Co vše najdeme v „běžné“ české popelnici



- Výhřevnost SKO 8-12 MJ/kg
- Podobná hnědému uhlí
- Redukce objemu odpadu cca 10x
- Redukce hmotnosti 4x

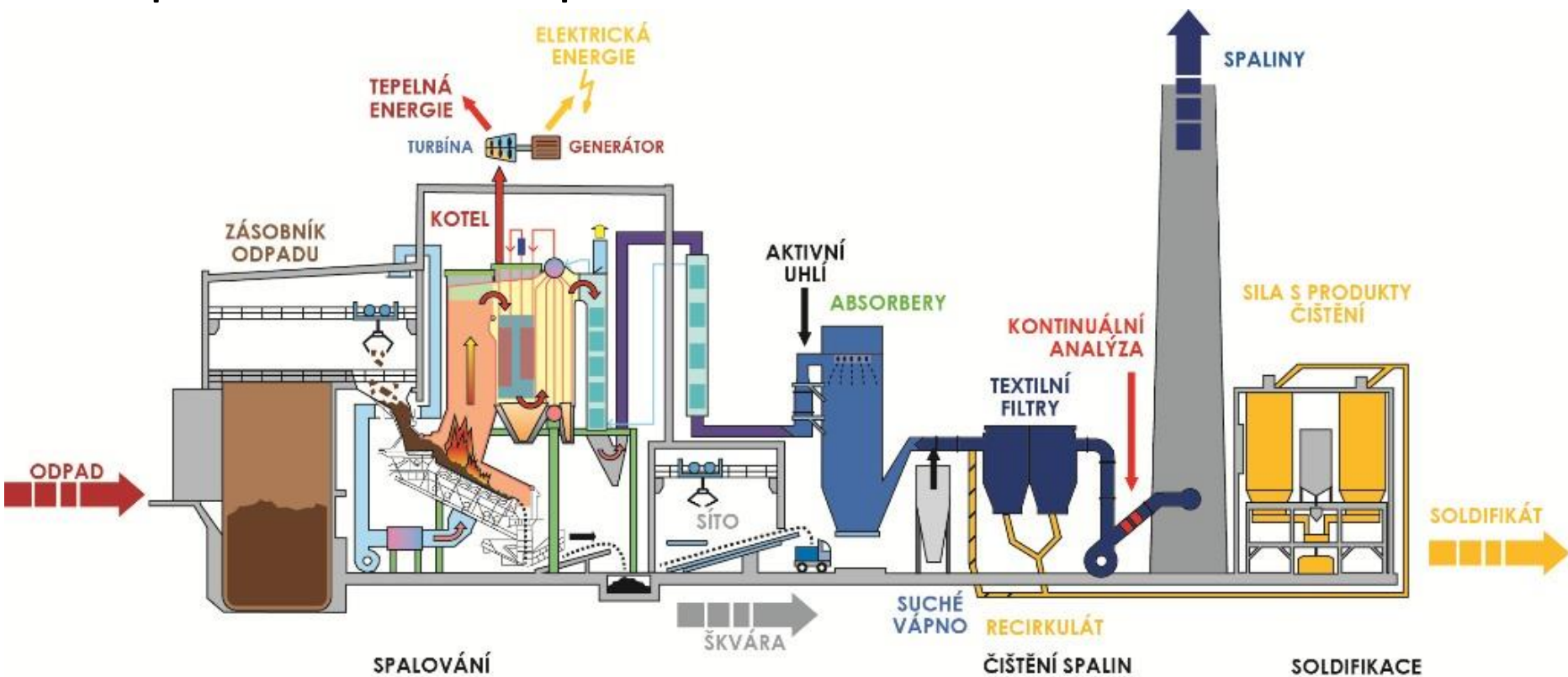
skladba SKO: v. průměr ČR; 2018 [% hm.]



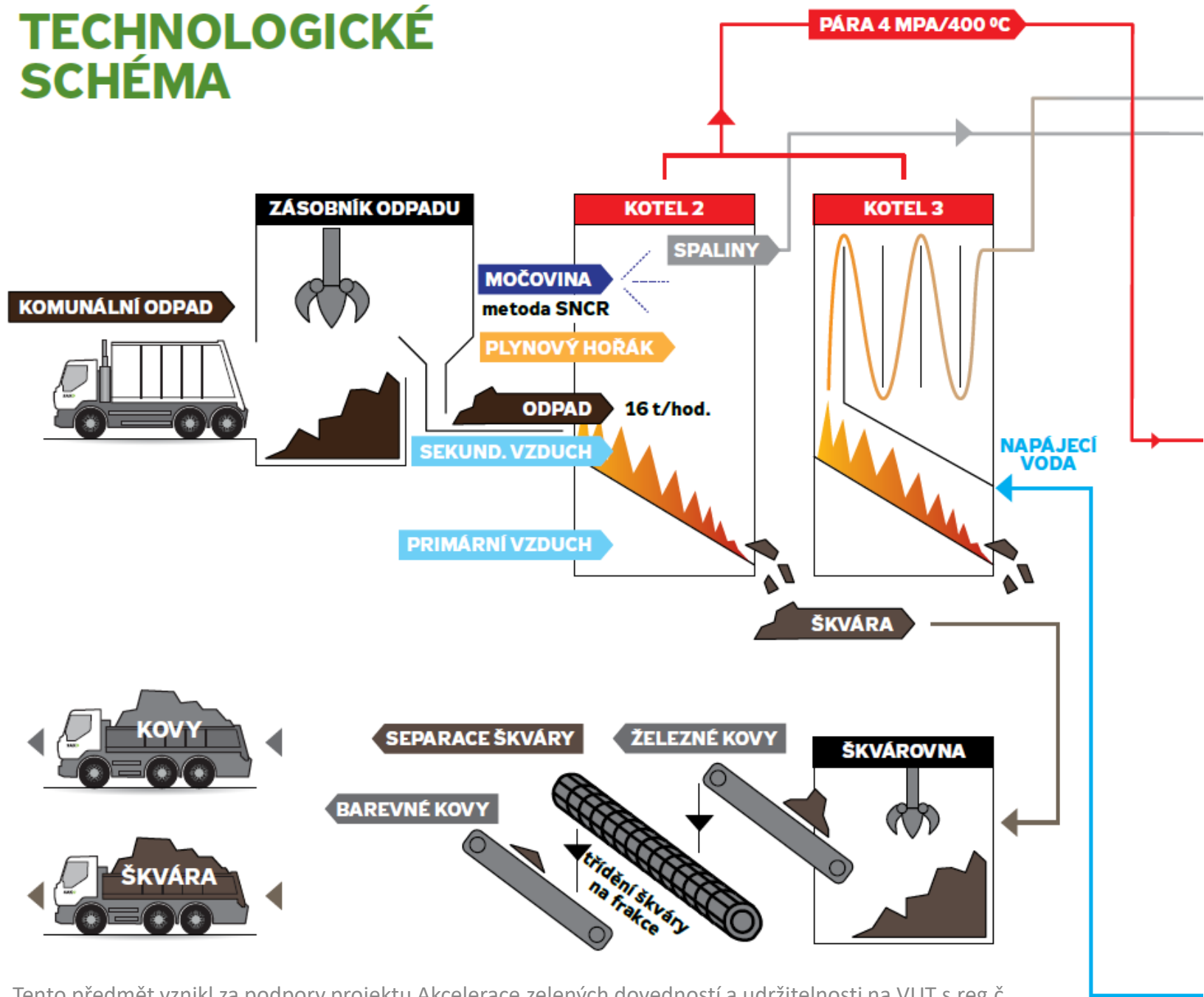
Tento předmět vznikl za podpory projektu Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT s reg.č. NPO_VUT-MSMT-2143/2024-5

Moderní spalovna v Brně

- V Brněnský odpad skládkován 1943-1989
- 1989 spuštěna nová spalovna –SAKO
- 2009 rekonstrukce kotlů i čištění spalin do dnešní podoby
- Kapacita 250 kt odpadu za rok

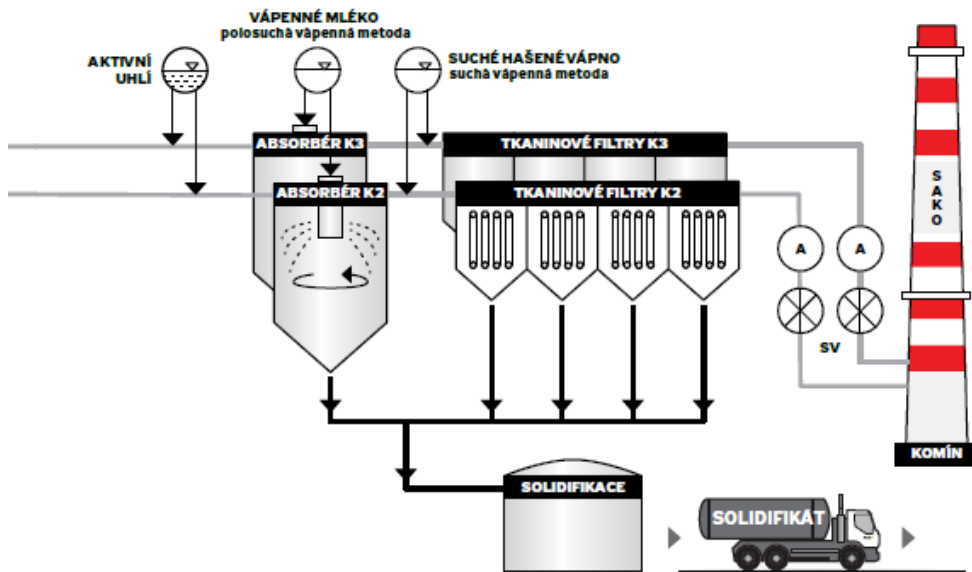


TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA

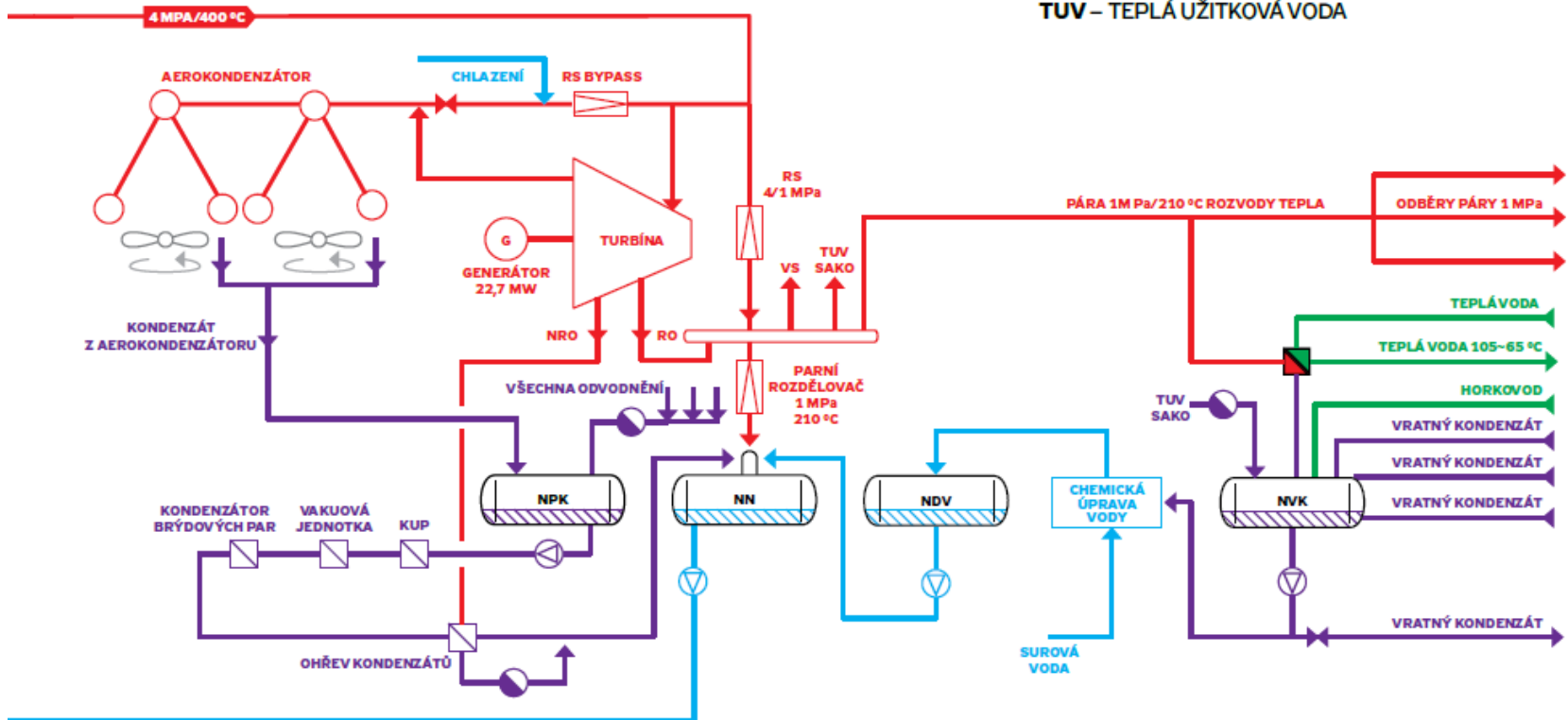


Tento předmět vznikl za podpory projektu Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT s reg.č.

NPO_VUT-MSMT-2143/2024-5



- NVK** – NÁDRŽ VRATNÝCH KONDENZÁTŮ
- NDV** – NÁDRŽ DEMINERALIZOVANÉ VODY
- NN** – NAPÁJECÍ NÁDRŽ
- NPK** – NÁDRŽ PROVOZNÍCH KONDENZÁTŮ
- RO** – REGULOVANÝ ODBĚR
- NRO** – NEREGULOVANÝ ODBĚR
- KUP** – KONDENZÁTOR UC PÁVKOVÝCH PAR
- RS** – REDUKČNÍ STANICE
- SV** – SPALINOVÝ VENTILÁTOR
- A** – ANALYZÁTORY
- VS** – VLASTNÍ TECHNOL. SPOTŘEBA
- TUV** – TEPLÁ UŽITKOVÁ VODA



Postup čištění spalin

- 5 stupňů čištění
- Redukce NO_x nástřikem močoviny do prostoru kotle
- Nástřik vápenného mléka odstranění kyselých plynů jako SO_2 , HCl , HF ,
- Aktivní uhlí – odstranění stopových organických polutantů jako PAH, dioxiny, BTX
- Suchá absorpce kyselých plynů pomocí $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Filtrace popílku na tkaninových filtrech



Porovnání emisních limitů zařízení pro energetické využívání odpadů ZEVO SAKO, Brno a.s. za rok 2022

Látka	Vyhláška č. 415/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů	Integrované povolení (IP)	Validované hodnoty zjišťované kontinuálním měřením [mg/m ³]			Dosažená úroveň emisního limitu dle IP [%]
	Emisní limity Denní průměr [mg/m ³]	Emisní limity Denní průměr [mg/m ³]	K2 průměrná denní hodnota	K3 průměrná denní hodnota	průměr K2 + K3	
TZL	10	8	0,2	0,1	0,2	1,9
TOC	10	8	1,1	0,0	0,55	6,9
SO _x jako SO ₂	50	50	20,6	22,8	21,7	43,4
NO jako NO ₂	200	200	164,5	171,7	168,1	84,1
NH ₃	50	50	0,6	0,6	0,6	1,2
CO	50	50	6,3	3,0	4,7	9,3
HCl	10	10	4,4	4,9	4,7	46,5
HF	1	0,8	0,0	0,1	0,1	6,3

Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované jednorázovým autorizovaným měřením

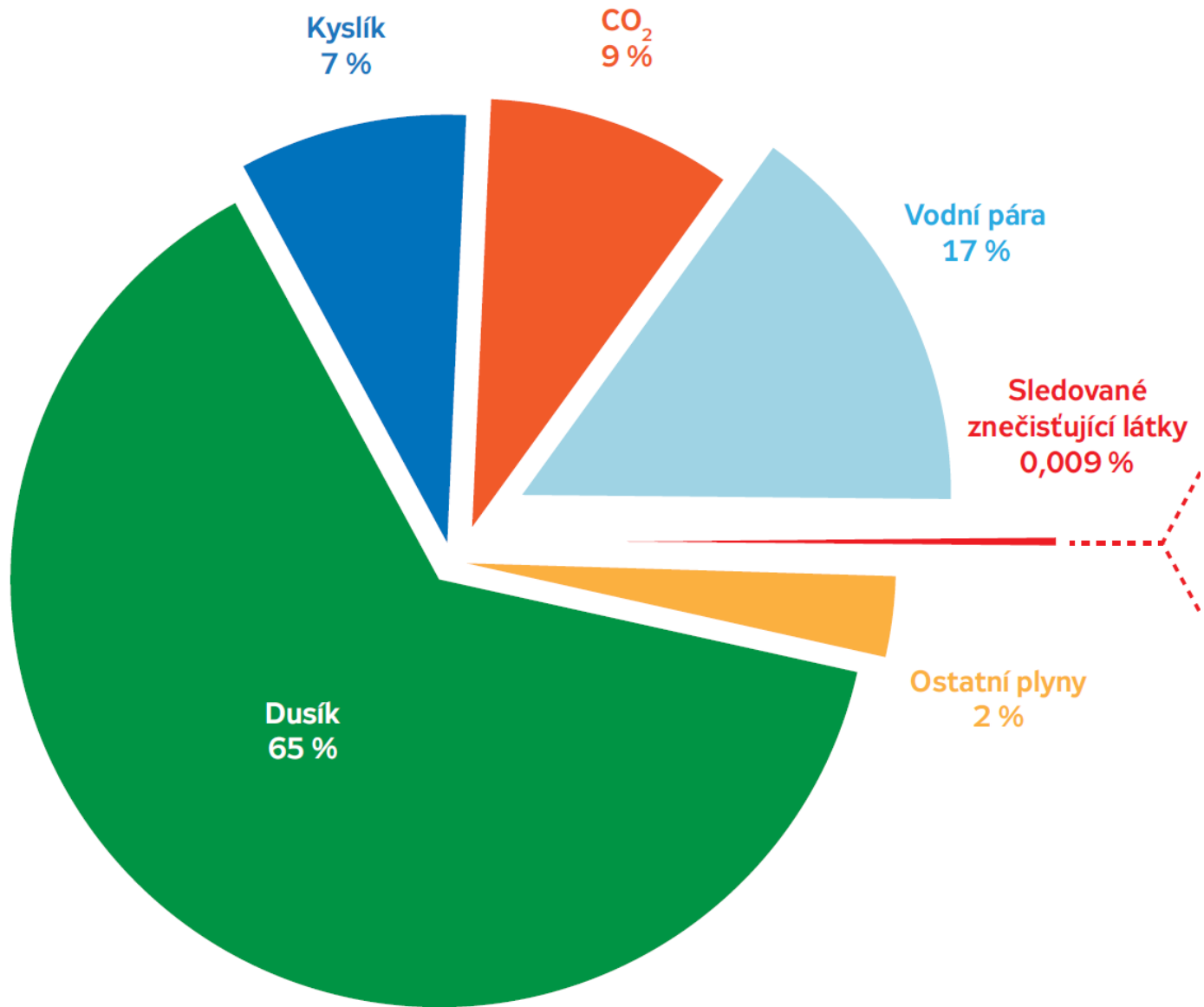
PCDD/PCDF (ng/m ³)	0,1	0,08	0,0056	0,0034	0,0045	5,6
Hg	0,05	0,05	0,00034	0,00024	0,0003	0,6
Cd, Tl	0,05	0,04	0,00006	0,000055	0,00006	0,1
Ostatní těžké kovy - Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,5	0,4	0,0105	0,0121	0,0113	2,8

Emisní zátěž od energetických zdrojů

Σ emise (g/GJ)

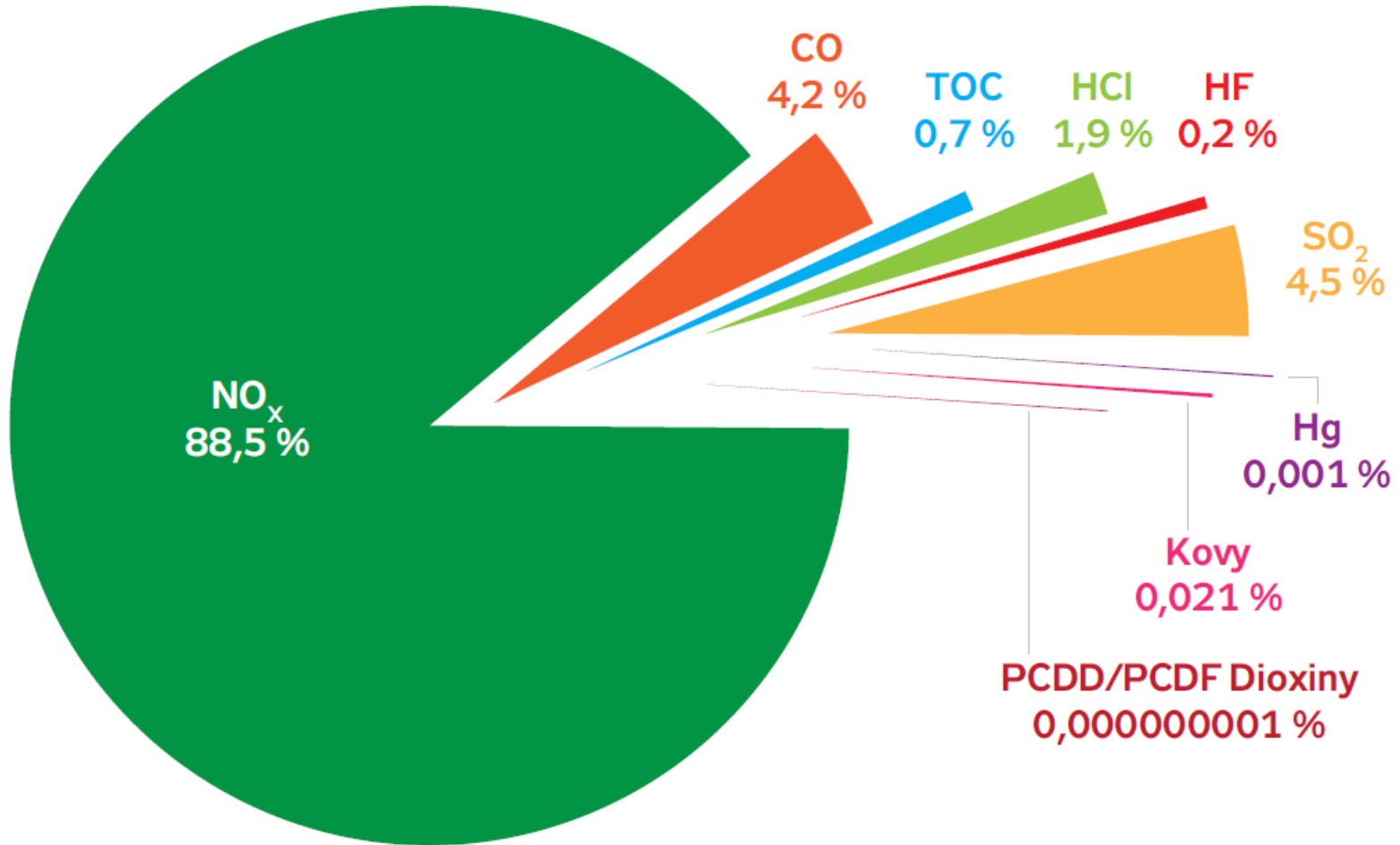
EMISE BP	KOTELNA BIOMASA	ZEVO	EMISE ELEKTRINA	KOTELNA ZP	KOTELNA HU
428	1 375	93	1 009	59	5 358

SLOŽENÍ SPALIN



SLOŽENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK

(výstup z autorizovaného měření kotle K3)



Co je to TAP –tuhé alternativní palivo

- Směs hořlavých odpadů – zejména plasty a papír, guma, netříditelné směsi plastů, kompozity, dřevo, piliny, výměty z třídění odpadů, textil a drcený rozměrný odpad, bez BRKO
- Vhodné sypné vlastnosti a známá výhřevnost





Tento předmět vznikl za podpory projektu
Akcelerace zelených dovedností a
udržitelosti na VUT s reg. č. NPO_VUT-

MSMT-2143/2024-5

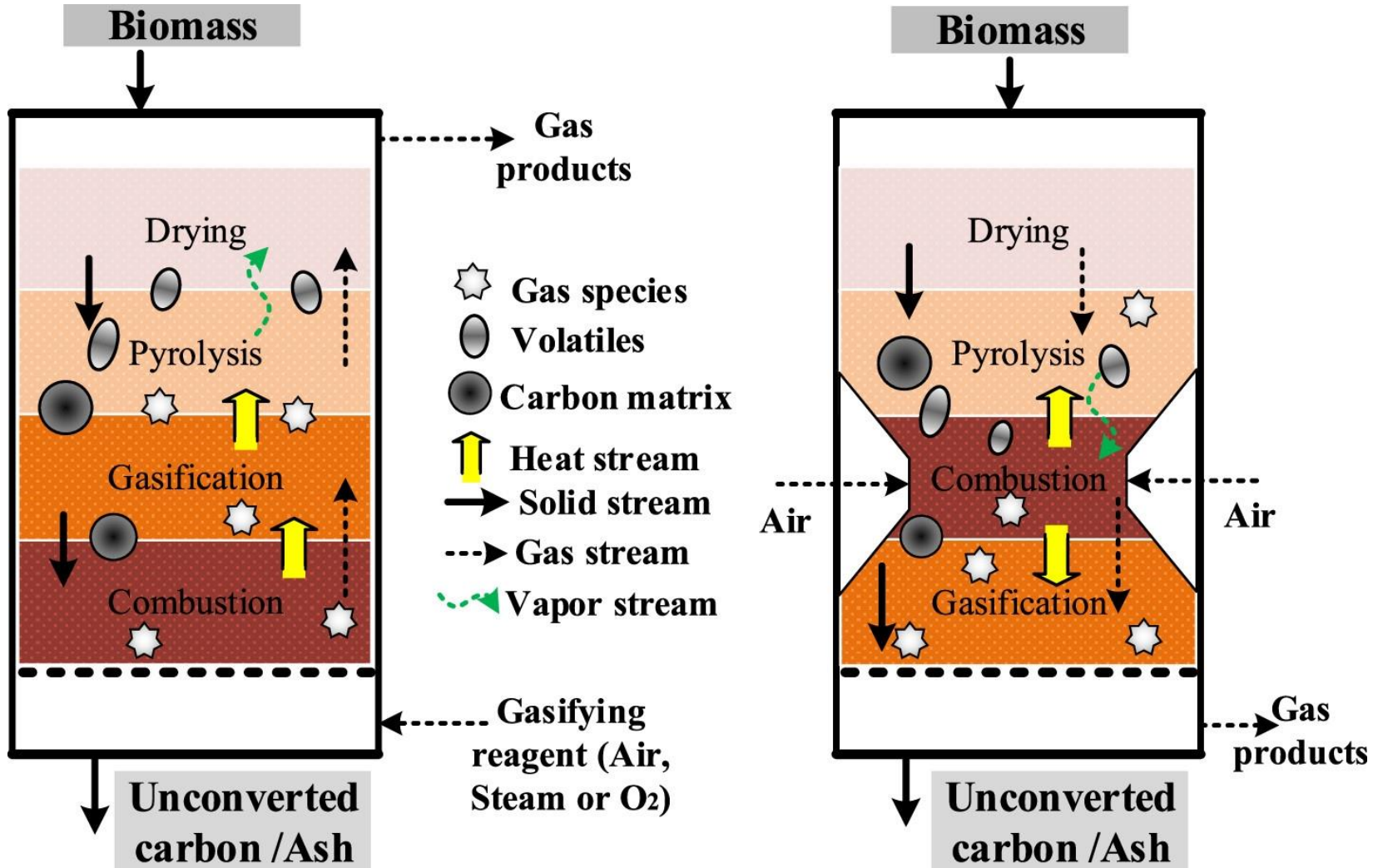
Ukazatele	Četnost analýz	Jednotka	Optimální rozmezí	Mezní hodnota
obsah vody	dodávka	hm. %	0 - 10	max. 12 - 15
obsah popela	dodávka	hm. %	0 - 15	max. 15 - 20
výhřevnost	dodávka	MJ/kg	20 - 26	min. 18, max. 32
chlór	dodávka	hm. %	0 - 0,3	max. 0,5 - 1,0
síra	dodávka	hm. %	0 - 0,5	max. 1,5 - 2
thalium	dodávka	mg/kg		max. 10
rtuť	dodávka	mg/kg		max. 2
olovo	dodávka	hm. %		max. 0,05 - 2,0
zinek	dodávka	hm. %	0 - 0,2	max. 1,0
hliník	dodávka	hm. %	0 - 0,5	max. 1,0
PCB	1x ročně	mg/kg		max. 30
měrná hmotnost		kg/m ³	100 - 250	200
2 D			3 D	
< 5 mm max. 5 %; > 25 mm max. 15 %; > 40 mm 0 %			max. 5 mm	

Dnes i přimíchávání biomasy (ozelenění TAP), důraz na malé množství chloru ve spalinách (PVC na vstupu)

Zplyňování odpadů - gasifikace

- Nedokonalé spalování v podstechiometrickém množství kyslíku
- Většinou autotermní proces, nebo plazmový ohřev
- Hlavním produktem je **syntézní plyn, syngas** tj. směs CO, H₂, CO₂, a CH₄
- Výhodou je využitelnost směsi plynů jak ve formě paliva tak jako základních surovin pro organickou syntézu
- Nerecykluje se pouze energie, ale také chemický potenciál
- Vedlejším produktem struska (často jako vitrifikát)
- Množství strusky menší než u spalování

Zplyňovací zařízení



(a) Updraft gasifier

(b) Downdraft gasifier

Výroba syntézního plynu- historie

- Dříve běžný způsob výroby plynu pro domácnosti zplynováním uhlí, časté otravy oxidem uhelnatým
- Za 2. sv války výroba motorových paliv z uhlí a pohon aut dřevoplynem – generátor přímo v autě

Namontujeme Vám řadu let nejosvědčenější 30212
GENERÁTOR na spln. dřevěného uhlí a proto

JEZDĚTE DŘEVĚNÝM UHLÍM
místo drahým
benzínem

ÚSPORA - 70%

JOS. PEJSEK A SPOL. PATENT
TOVARNA O.P. 5156/33

NAFTOVÝCH MOTORŮ BRONS KRALUPY

Telefon č. 17. - Dodáme Vám teč **komprově pace** na výrobu dřevěného uhlí.

VÍTKOVICKÉ ŽELEZÁRNY

dobávají

GENERÁTORY NA DŘEVNÝ PLYN pro motorová vozidla.

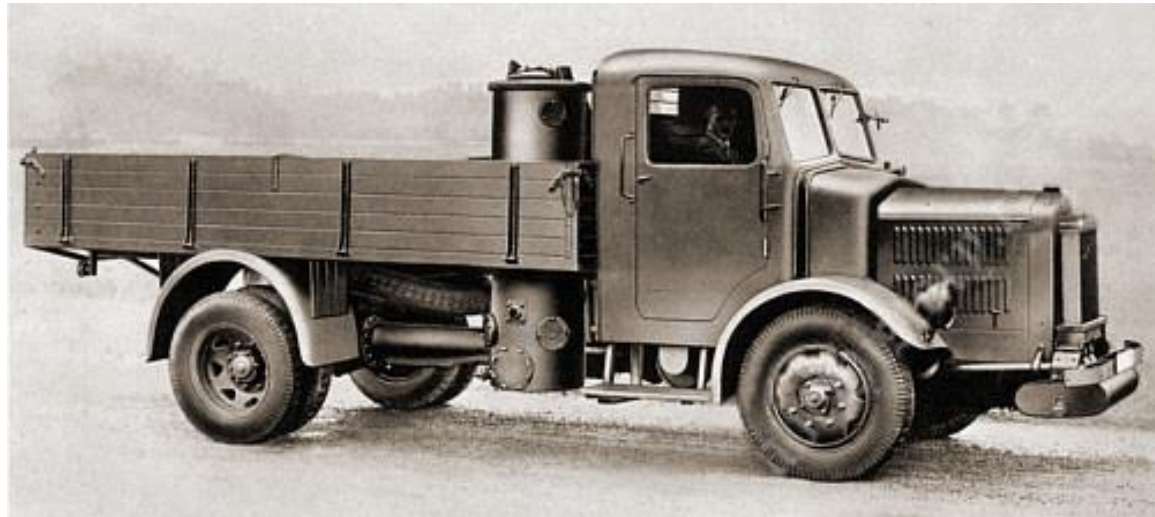
Úspora: až 80% proti pohonu benzínem! Kromě toho osvobození od daně na 3 roky ve smyslu zákona č. 77 ze dne 12. dubna 1935, § 60.

Palivo: nejlépe bukové dřevo nebo jeho směs s jinými druhy dřeva.

Vysoká rentabilita: průměrná spotřeba 2,5 kg dřeva = 1 litr lihobenzinové směsi. Čistý, dehtu prostý plyn. Hodí se obzvláště pro nákladní auta, autobusy, motorové vozy pro dráhy.

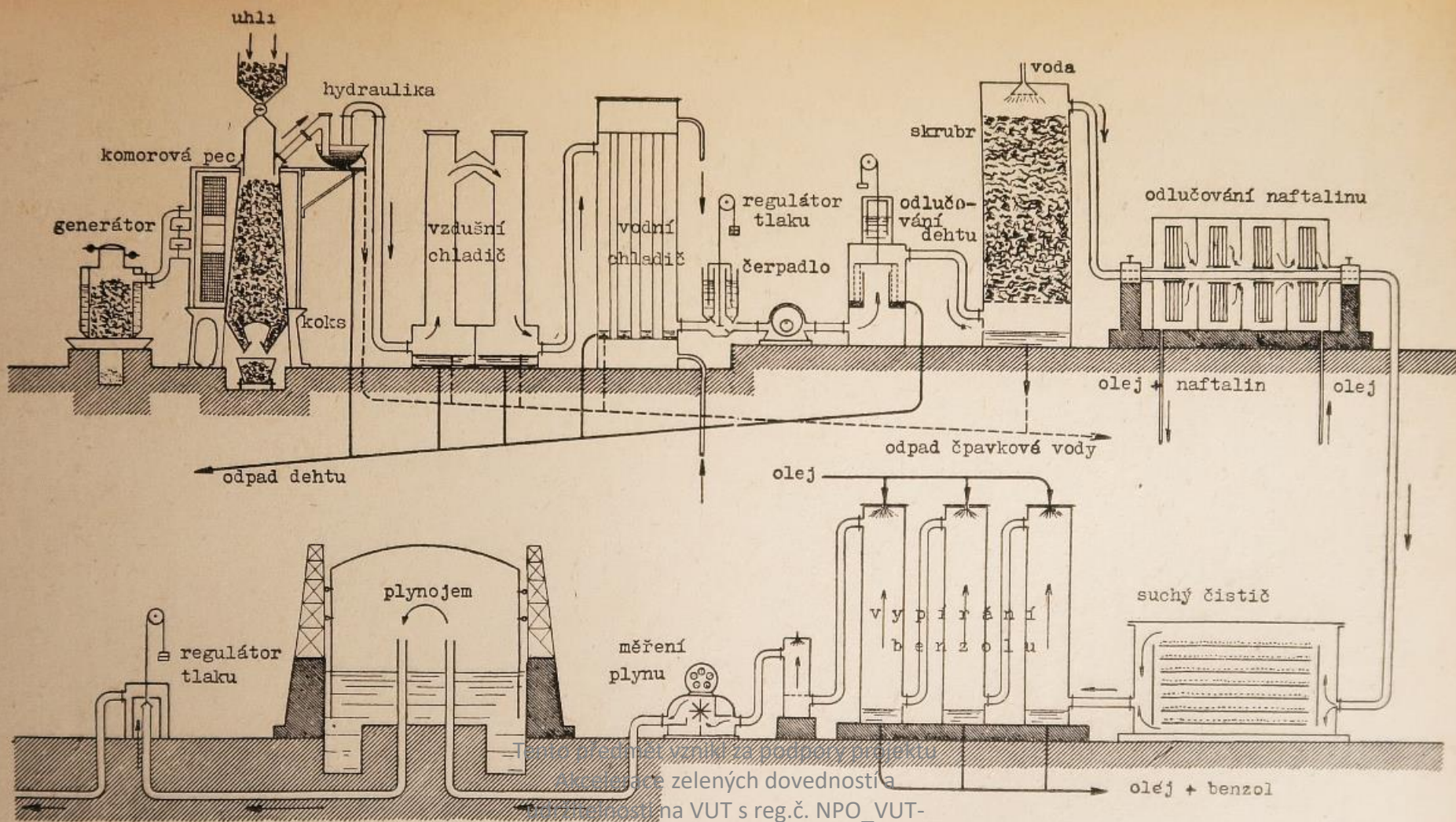
KOLA A KLÍČE PRO AUTA, GARÁŽE, HYDRAUL. ZVEDÁKY A KOMPRESORY.

Ústřední ředitelství a ústřední prodejní kancelář: **MORAVSKÁ OSTRAVA 10.**
Pražská kancelář: **PRAHA II., Bredovská 9.**



Tento předmět vznikl za podpory projektu Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT s reg.č. NPO_VUT-MSMT-2143/2024-5

Je téměř všeobecně známo, že přímé spalování uhlí jest neekonomické a znamená plýtvání energií v uhlí utajenou. Vhodná úprava topenišť, praní a sušení uhlí, topení uhlím práškovitým místo kusovým, znamenají sice dokonalejší zužitkování uhlí, lépe jest však převést palivo tuhé v plynné, a sice proto, že paliva plynná mají četné přednosti před palivy ostatními, tuhými a kapalnými.



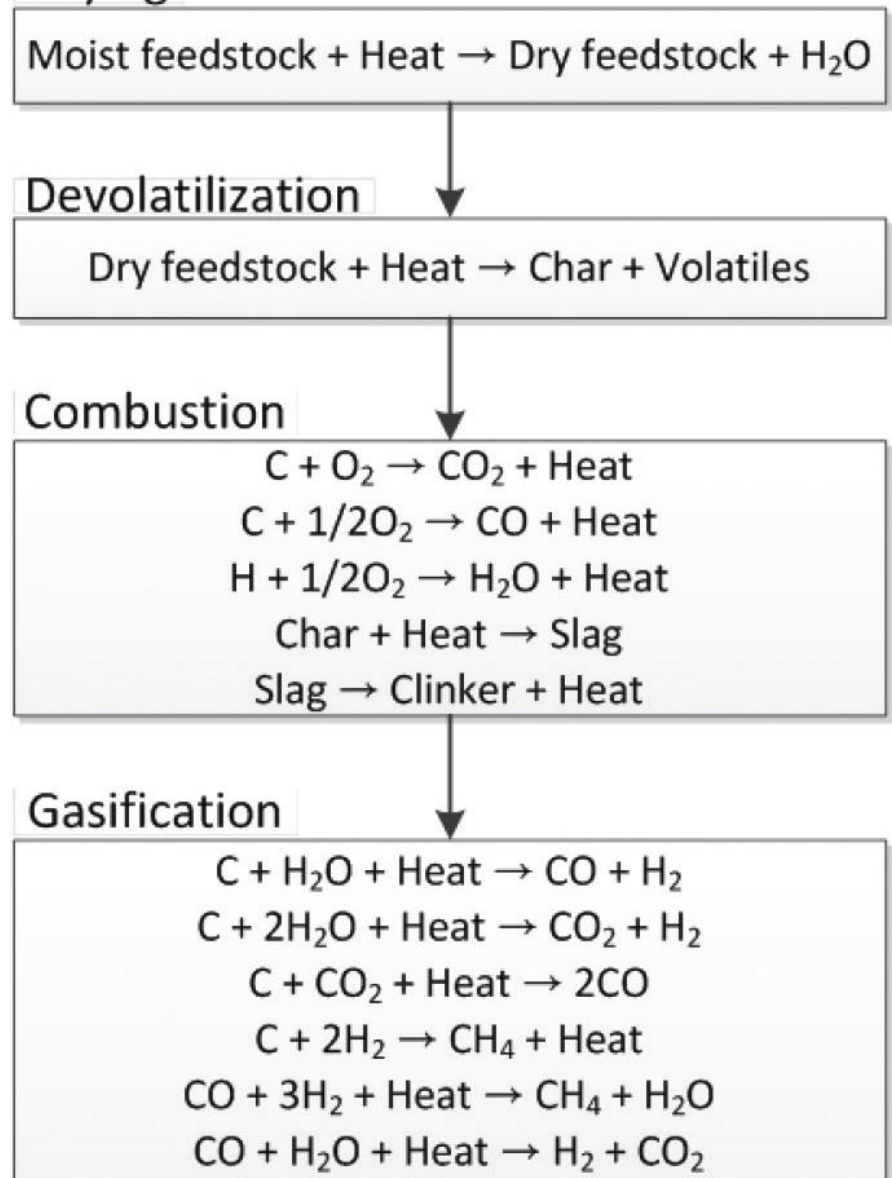
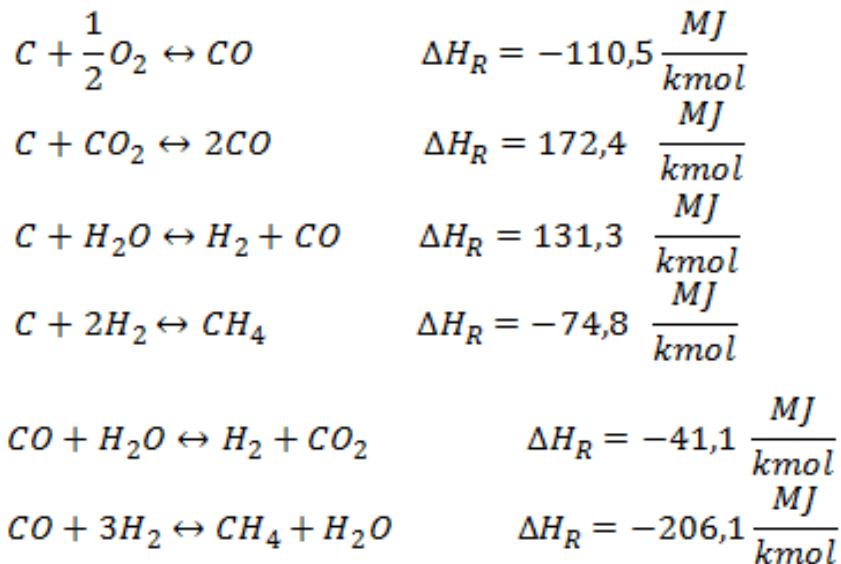
Projekt vznikl za podpory projektu
Aktivity zelených dovedností a
inovativnosti na VUT s reg.č. NPO_VUT-



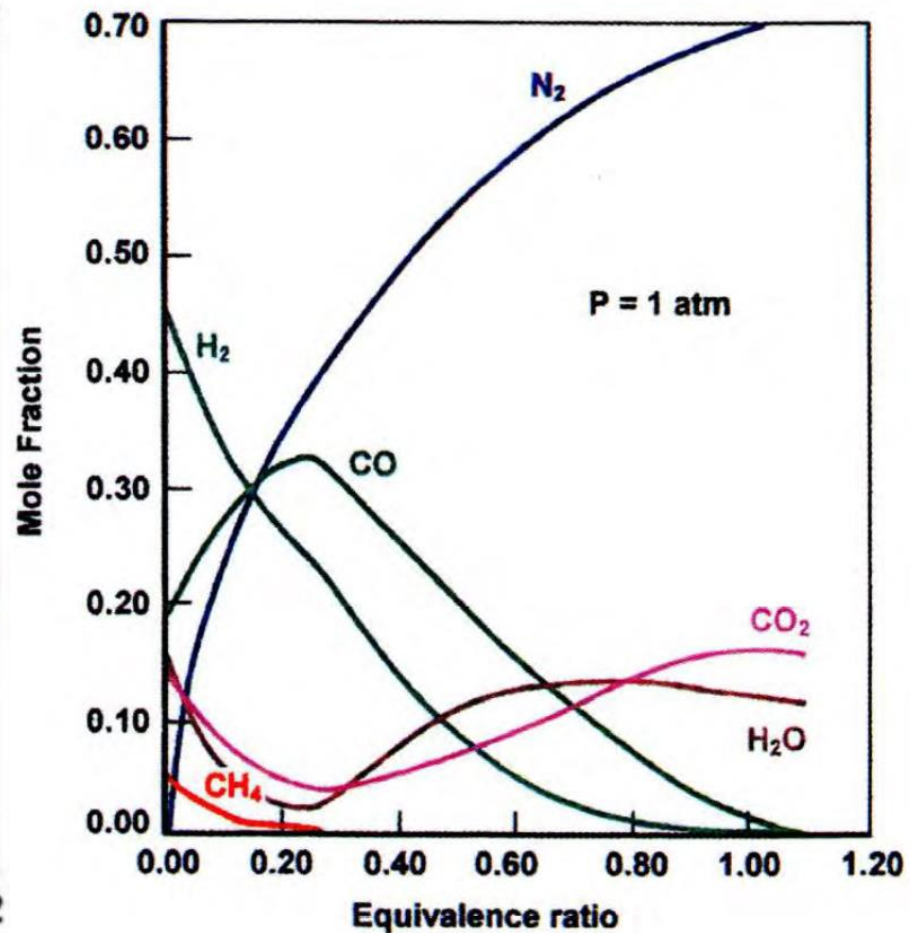
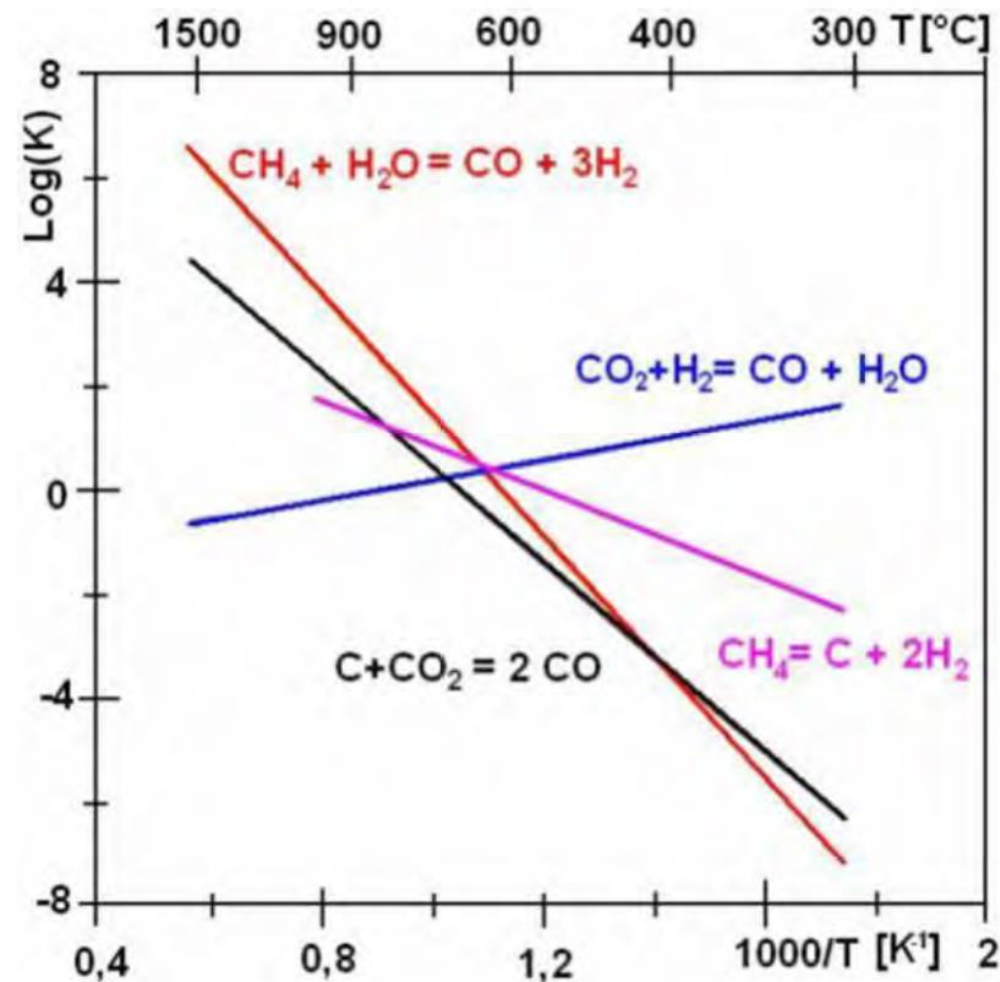
Tento předmět vznikl za podpory projektu
AKČE leace a jených davečnost
udržitelnost na VUT s reg. č. NPO 1/17
MSMT-2143/2024-5

Chemické děje při zplyňování

Name of reaction	Reaction
Incomplete oxidation	$C + 0.5O_2 \rightarrow CO$
Oxidation	$C + O_2 \rightarrow CO_2$
Water gas	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
Boudouard	$C + CO_2 \rightarrow 2CO$
Shift	$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$
Hydrogasification	$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$
Methanation	$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$
Ammonia formation	$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$
Hydrogen sulfide	$H_2 + S \rightarrow H_2S$



Složení plynů – teplota a obsah vzduchu



Využití syntézního plynu

- Jako palivo pro pohon plynové turbíny a el. generátoru
- Jako zdroje surovin
- Izolace vodíku
- Výroba uhlovodíků, methanolu, ethanolu procesem tzv.

Fischer-Tropschovy sytézy

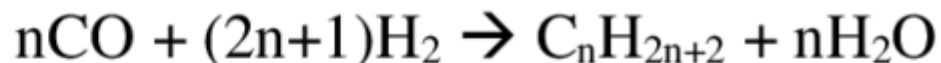
- Metoda vyvinuta ve 20. letech 20 stol. Chemiky Franzem Fischerem a Hansem Tropschem pro účely využití uhlí pro přípravu uhlovodíků (motorových paliv)

Fischer-Tropschova syntéza

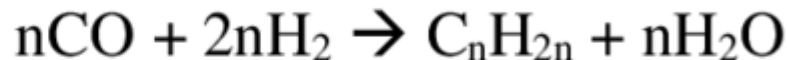
- Katalytická konverze H_2 a CO na uhlovodíky a vodu
- Reakční podmínky: 200-350 °C, 5-20 MPa , pevný katalyzátor na bázi Fe, Co, Ni, Ru, Pt

Main Reaction

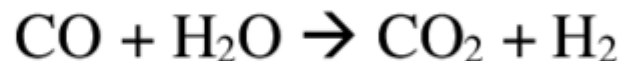
Paraffin Formation



Olefin Formation



WGSR



Side Reaction

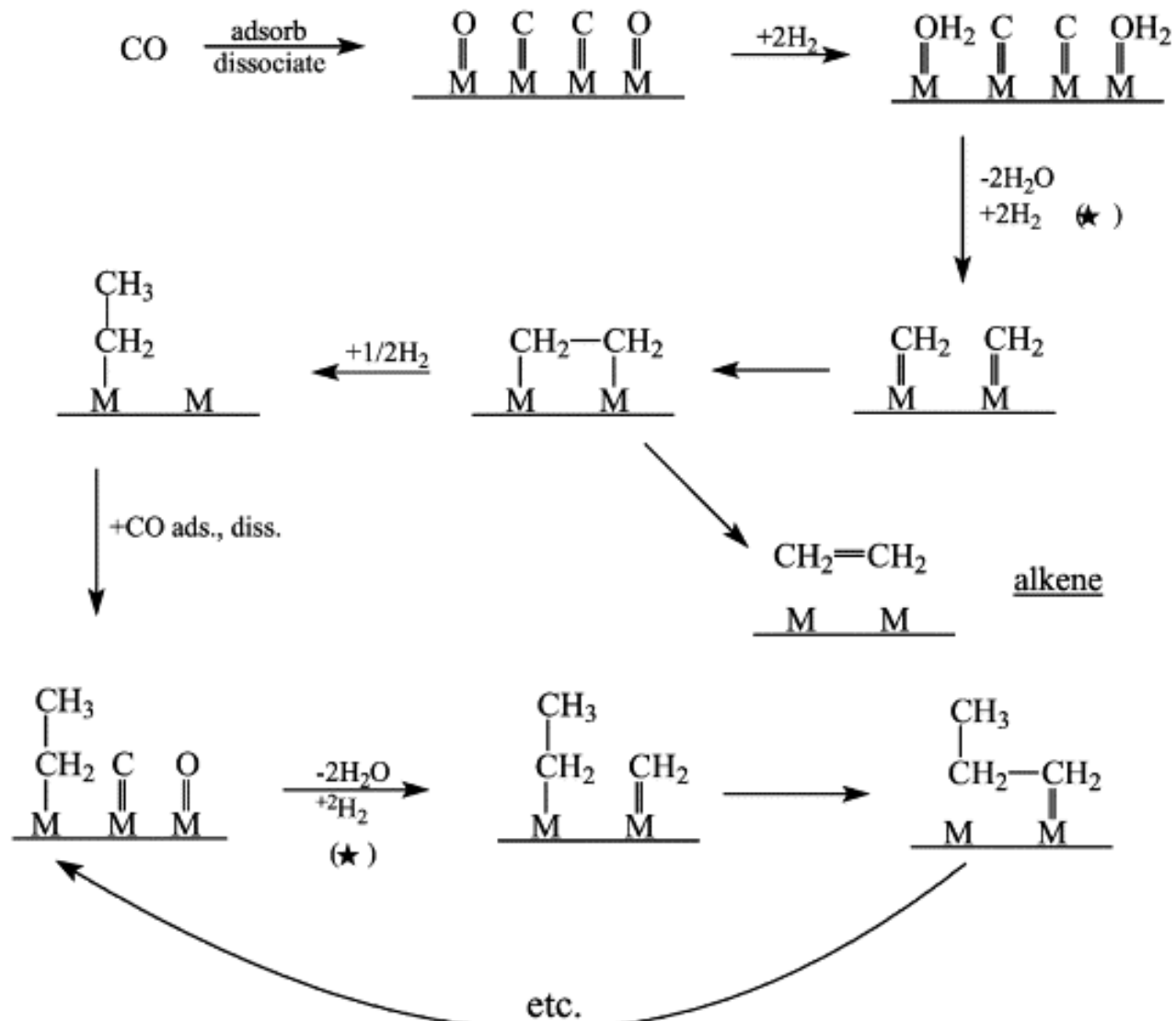
Alcohol Formation



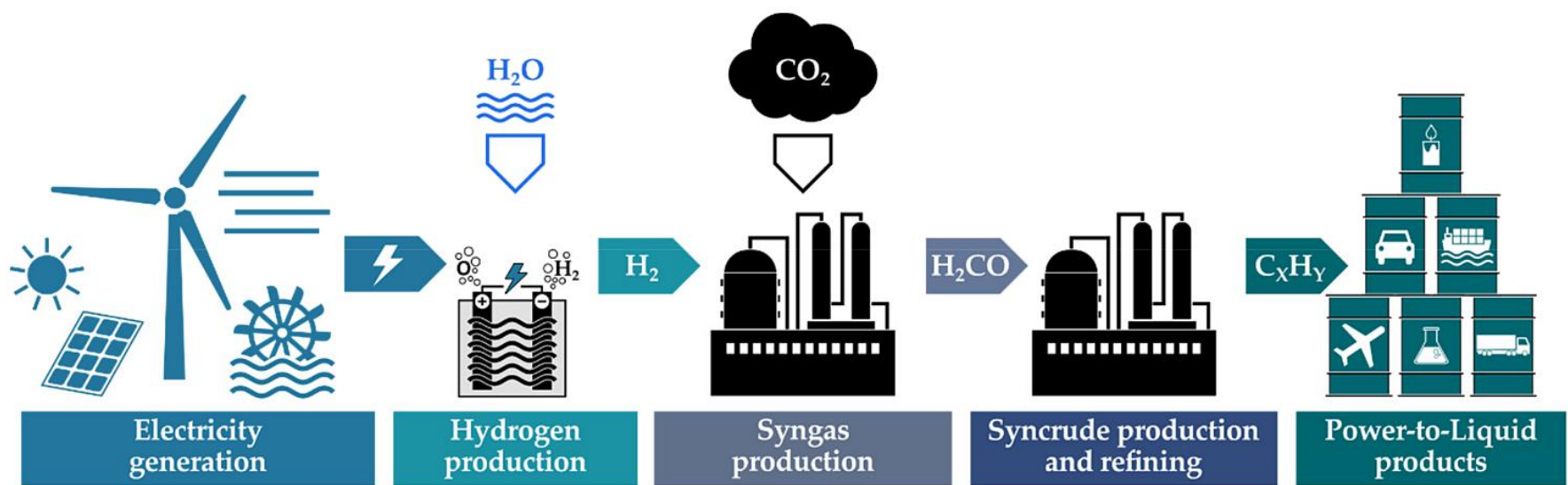
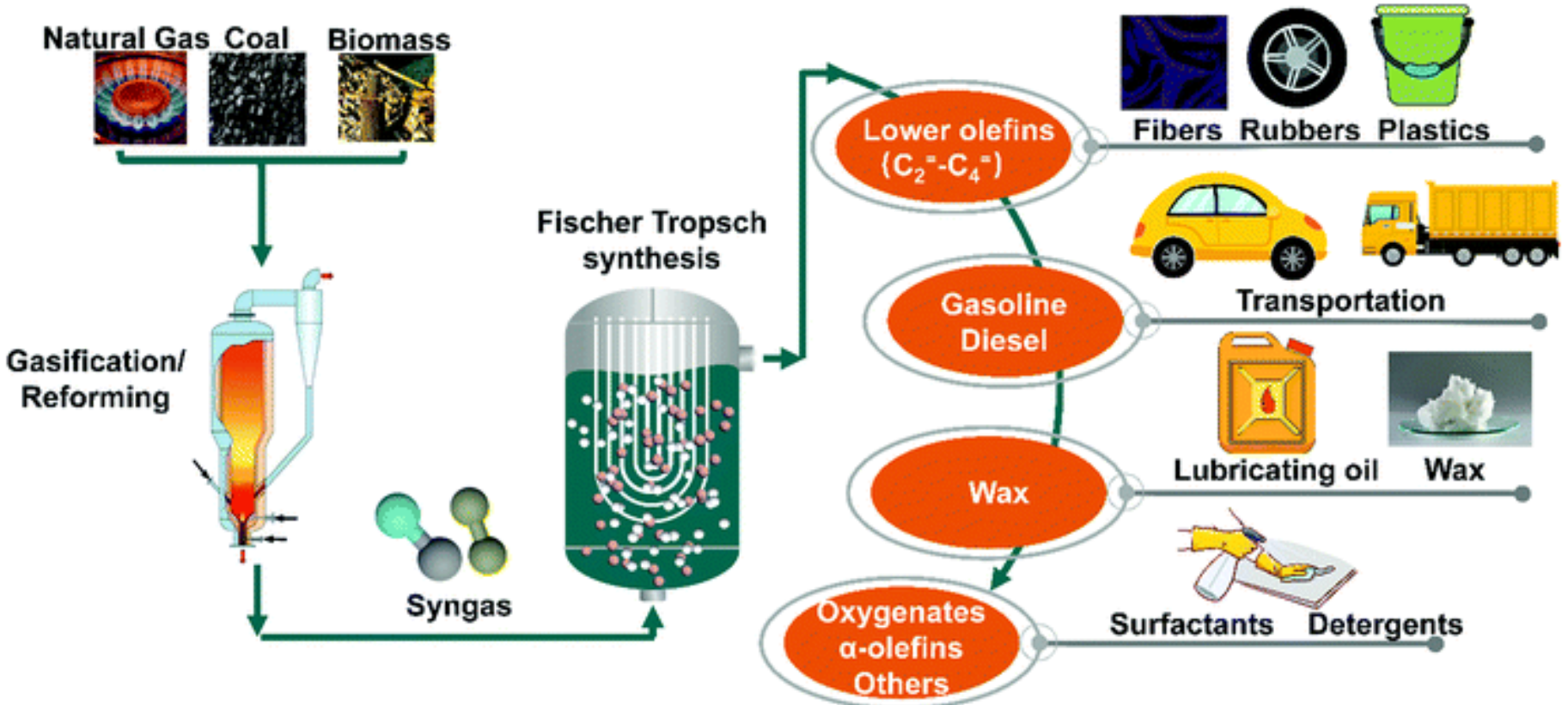
Boudard Reaction



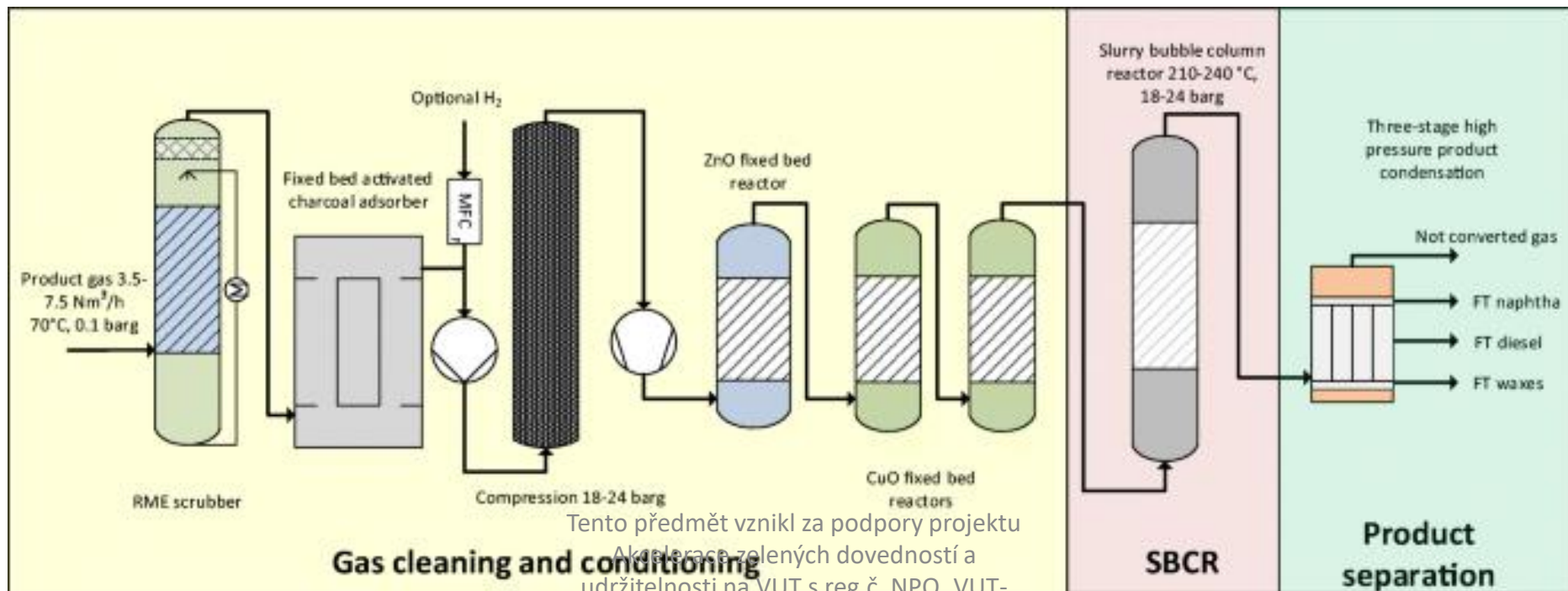
Katalýza F-T



(* rate controlling)

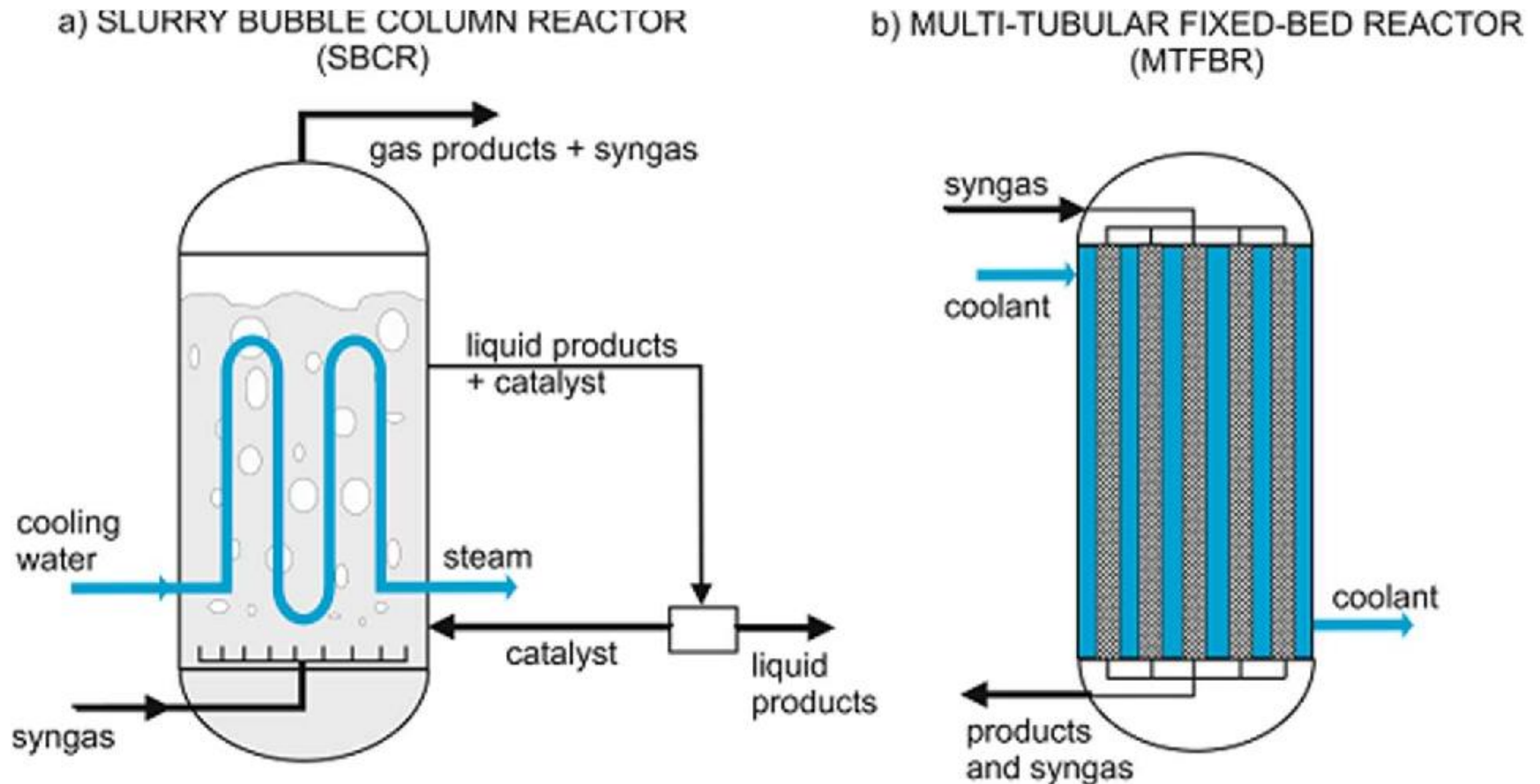


- Je potřebné dobré čištění syntézního plynu
- Odstranění Cl_2 , HCl , SO_2 , H_2S , NH_3 jako podmínka správné funkce katalyzátoru
- U přepracování odpadu nejnáročnější část
- Komprese a chlazení čištěného plynu
- Vstup do F-T reaktoru
- Separace produktů

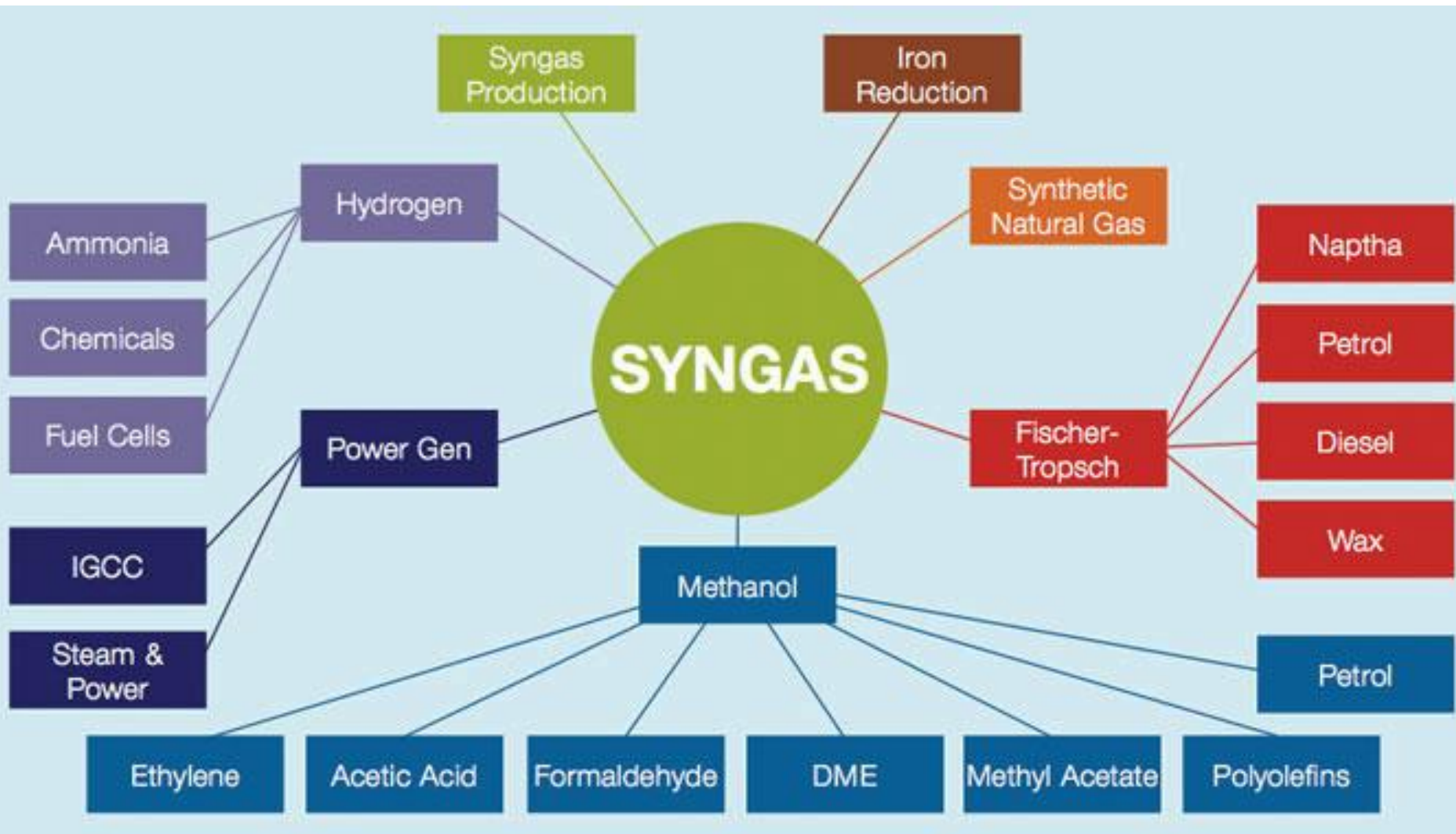


Tento předmět vznikl za podpory projektu
 Akcelerace zelených dovedností a
 udržitelnosti na VUT s reg. č. NPO_VUT-

Reaktory na F-T syntézu



/ used industrial reactors for low temperature FTS: a) slurry bubble column reactor; b) multi-tubular fixed-bed reactor



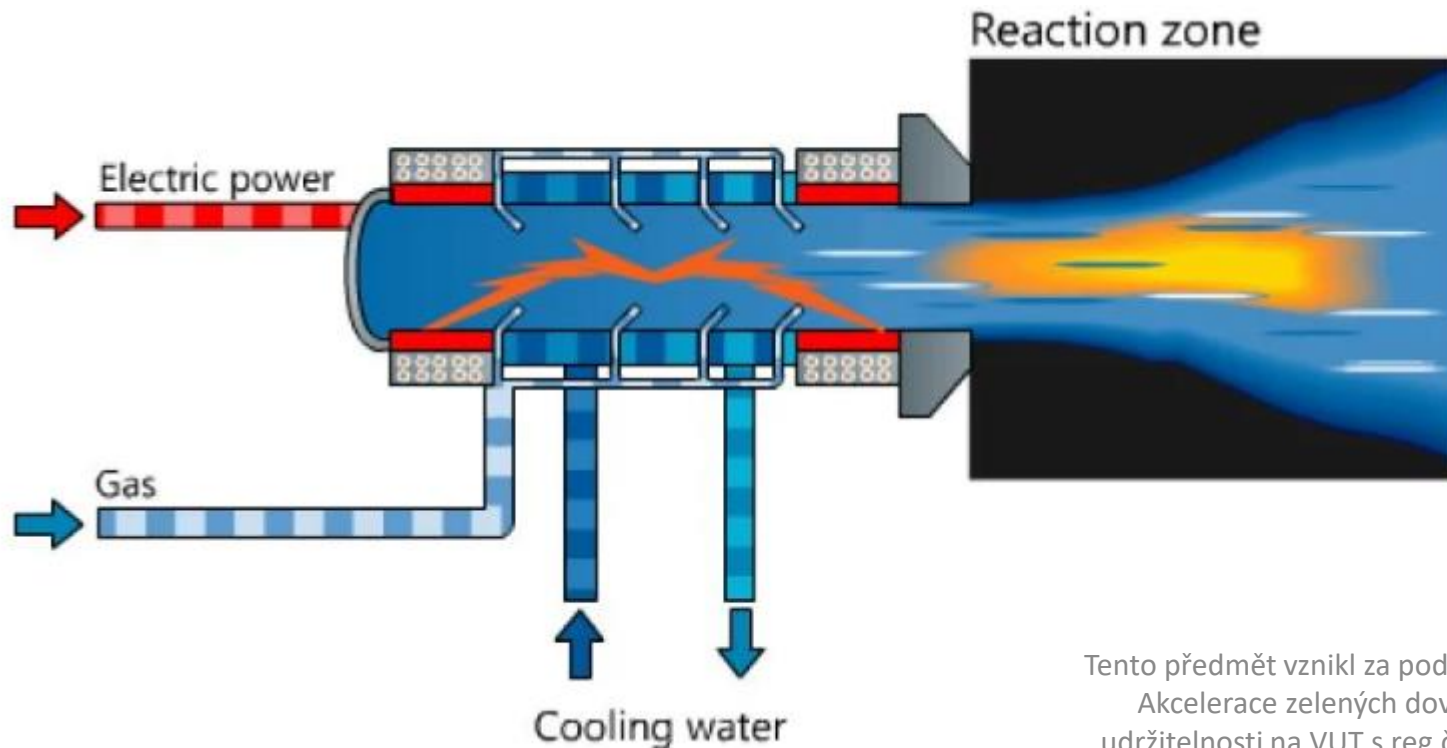
Plasmové zplyňování

- Vysokoteplotní metoda, produktem je čistější syngas
- Lepší využití materiálu, méně strusky
- Struska ve formě vitrifikátu (5-8 % objemu, 10-20% hm)
- Nevýhodou je potřeba elektrické energie jako zdroj tepla
- Zdrojem plasmy je plazmatron – plazmový hořák



Plasmatron

- Pracovním plynem je vzduch, vodní pára nebo směs
- Obdobné jako řezání kovů plasmou
- Teplota plasmatu ve styku s odpadem cca 4000 °C



Tento předmět vznikl za podpory projektu
Akcelerace zelených dovedností a
udržitelnosti na VUT s reg.č. NPO_VUT-
MSMT-2143/2024-5

FEED HANDLING

PLASMA GASIFICATION, SLAG & METAL RECOVERY

GAS COOLING

COARSE PARTICULATE REMOVAL

FINE PARTICULATE & HEAVY METALS REMOVAL

SULPHUR REMOVAL

Municipal Solid Waste:
1000 tpd

Moisture Content:
25%

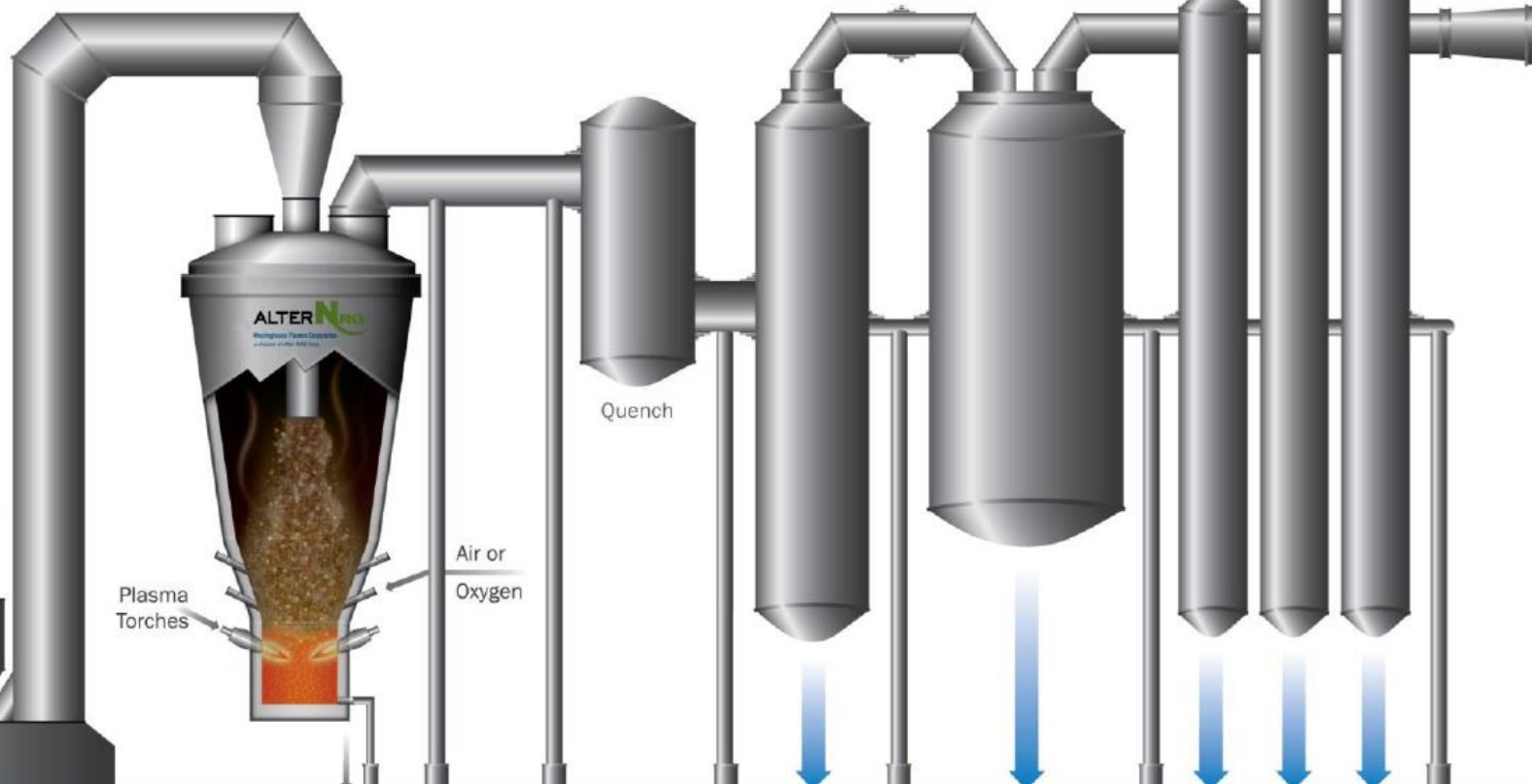
Inorganic Material:
21%

Other Inputs:

Flux Material:
141 tpd

Coke:
40 tpd

Total: 1181 tpd



No metal content in this waste source

Slag: 250 tpd

**For Sale to Market
i.e. Aggregate**

Coarse Particulate Matter: 20 tpd

Landfill for disposal or recycle back into gasifier

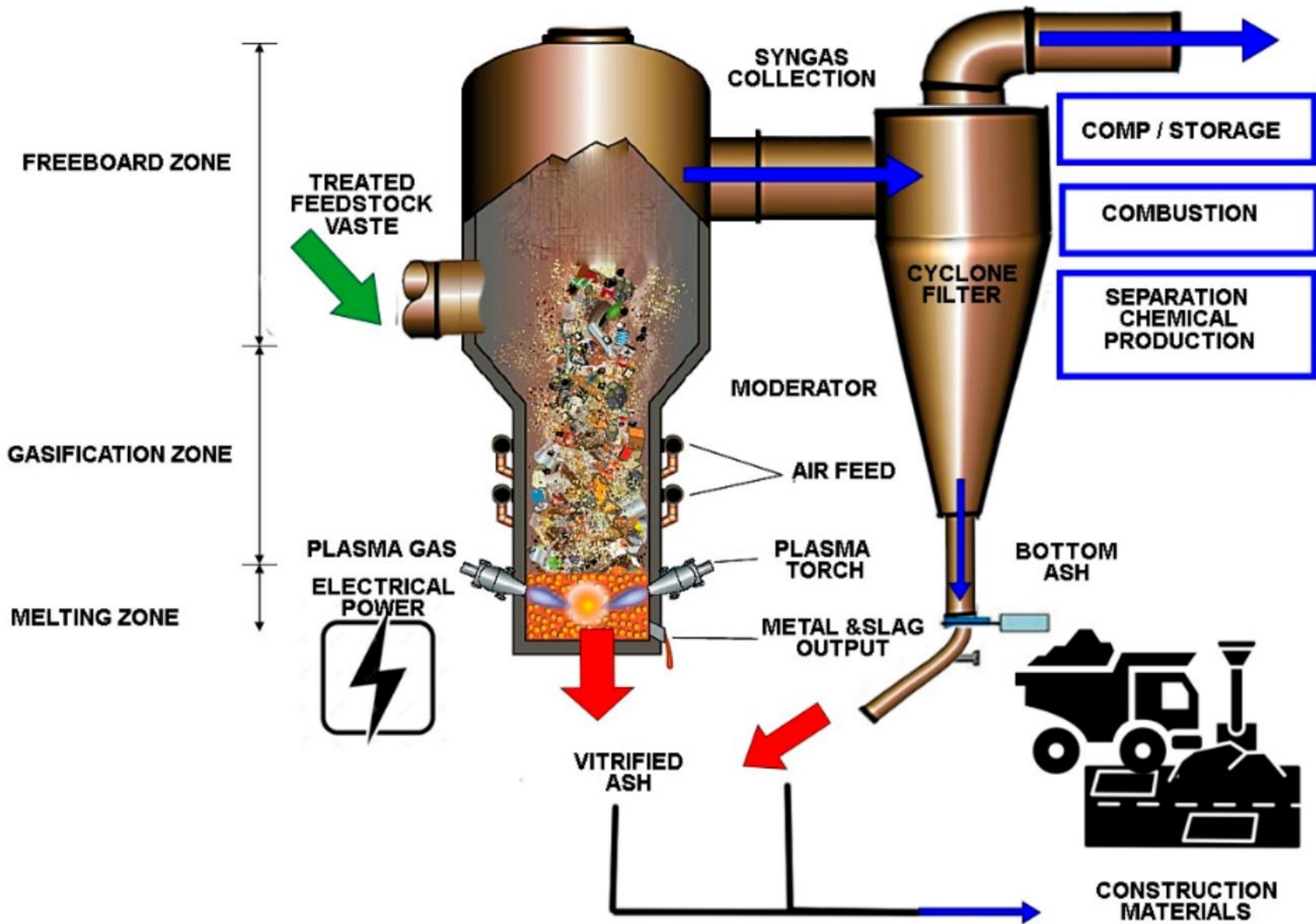
Fine Particulate Matter & Heavy Metals Removed: 20 tpd

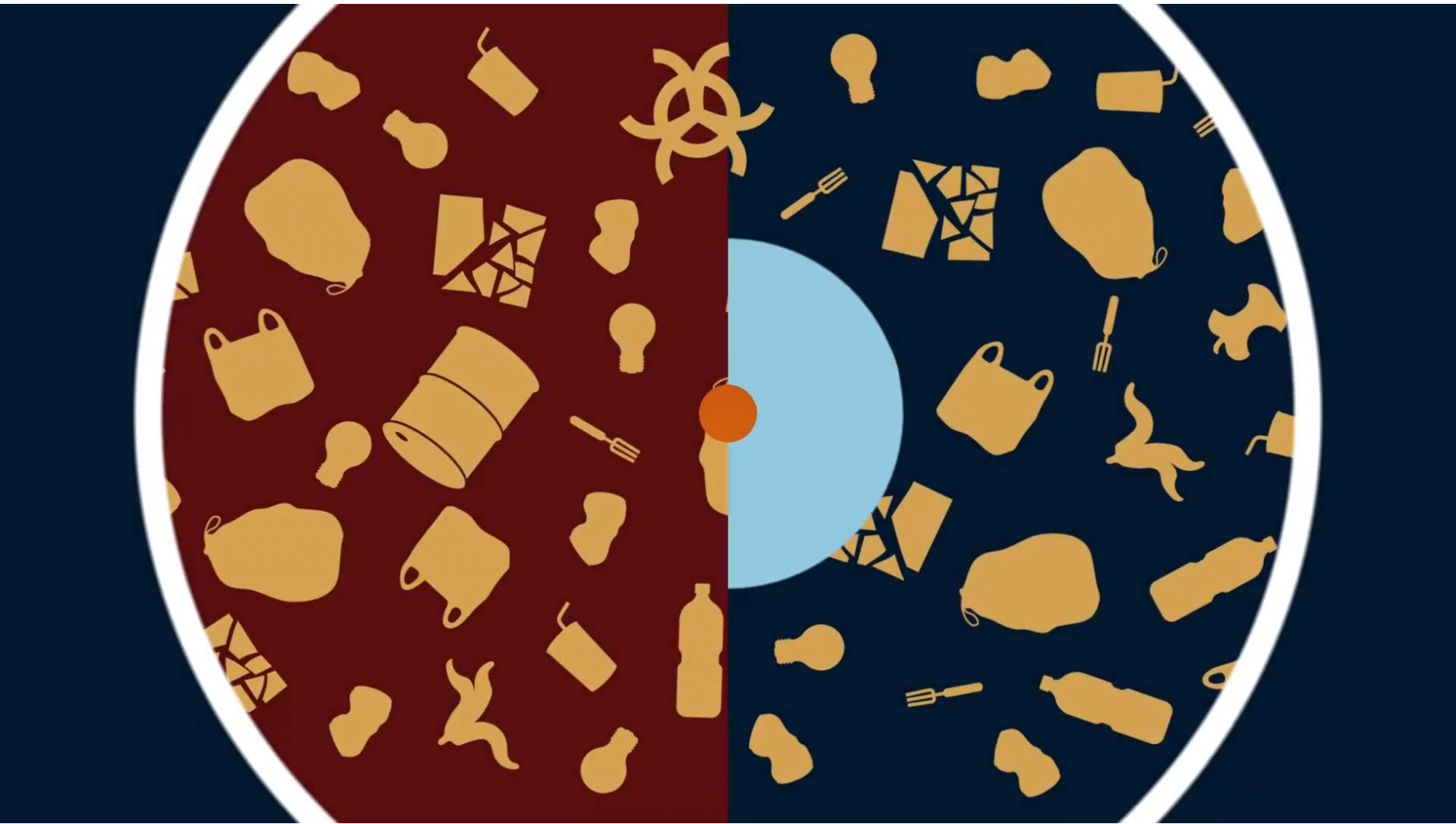
Cd: 0.5-10 kg/d
Cr: 20-200 kg/d
Pb: 80-800 kg/d
Hg: 0.1-1.3 kg/d

Sludge to Landfill

Sulphur Removed: 0.1-1 tpd

For Sale to Market





Pyrolýza

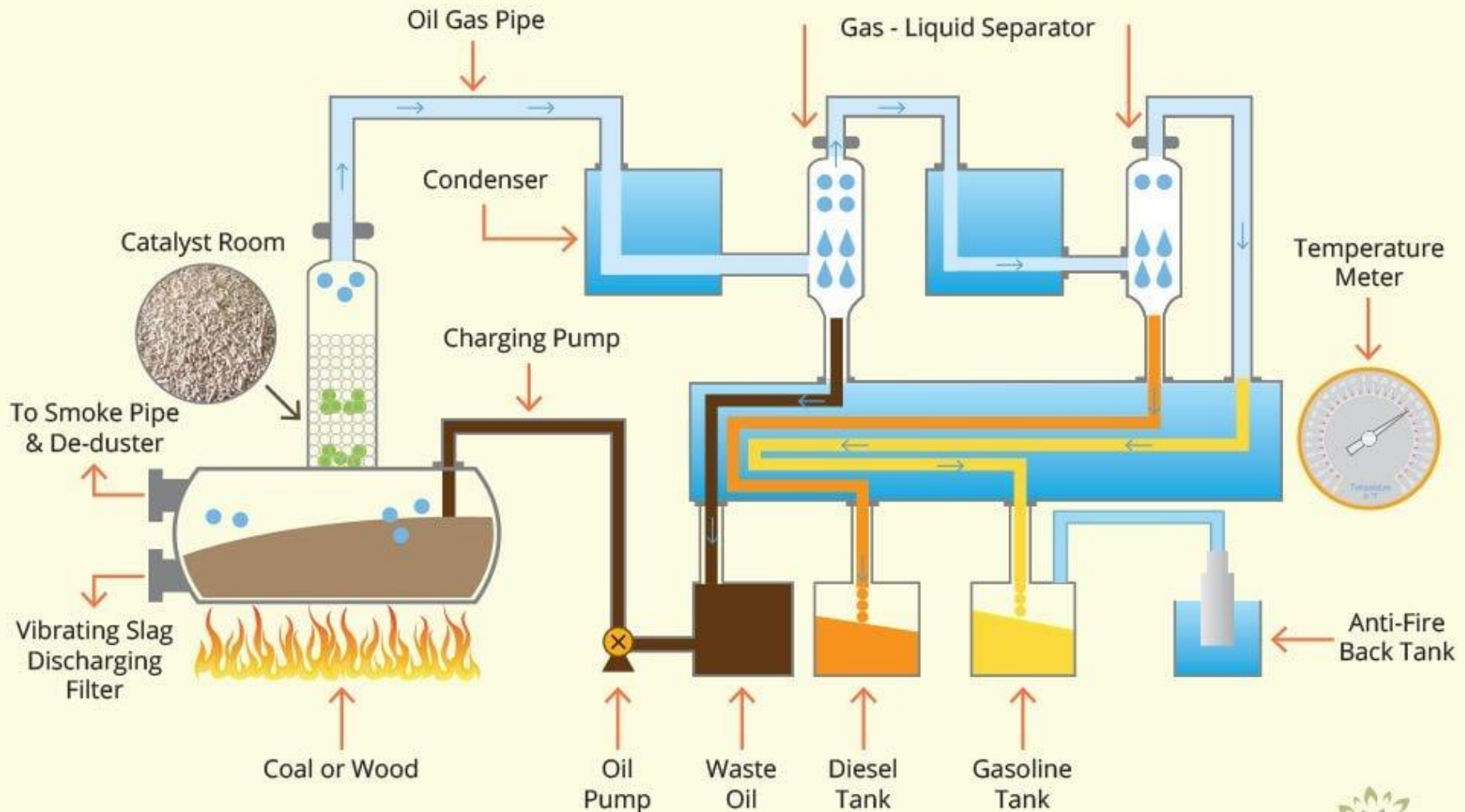
- Technologie minulého tisíciletí – výroba dřevěného uhlí
- Termická degradace bez přístupu kyslíku
- Obvykle 400- 900 °C
- Produktem je **pyrolýzní plyn, pyrolýzní olej a koks**
- Složení plynu závislé na podmínkách, hlavně vodík, methan a krátké uhlovodíky
- Čistější plyn než spaliny u spalování co do obsahu dioxinů
- Vyžaduje vnější ohřev, často vystačí spalování pyr. plynu
- Zařízením je pyrolýzní reaktor – retorta
- Separace plynu, kapaliny a pevného podílu
- Rafinace oleje destilací na frakce, odsíření (jako paliva)
- Pyrolýzní koks jako palivo – hlavně uhlík a anorganika

Pyrolýzní produkty

- Složení silně závislé na teplotě a vstupním materiálu
- Uhlovodíky z větší části aromáty, nenasycené sločeniny

Surovina	PE		PVC		PET	
Teplota [°C]	500°C	600°C	500°C	600°C	500°C	600°C
Produkty pyrolýzy a jejich výtěžek [% hm. na vstupní surovinu]						
plynné produkty	8	45	24	24	45	63
kapalné frakce	50	40	50	68	37	28
zbytek (char)	42	15	26	8	18	9

Plastic Pyrolysis Process



Rozkladné produkty - plasty

Original Material	Pyrolysis Chemistry
Polyvinylchloride	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{Cl} \end{array} \right) + \text{H}_2 + \text{Heat} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCl} + \text{C}$
Polypropylene	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right) + \text{H}_2 + \text{Heat} \rightarrow 2\text{CH}_4 + \text{C}$
Polystyrene	$\left(\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right) + \text{H}_2 + \text{Heat} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{C}_6\text{H}_6 + \text{C}$
Polyethylene	$(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-) + \text{Heat} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{C}$
Cellulose	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + \text{Heat} \rightarrow 5\text{CO} + 5\text{H}_2 + \text{C}$

Feed stock	Gas (Vol%)	Temperature (°C)			
		750	850	950	1050
Wood	CO	33.27	36.61	39.42	43.11
	H ₂	44.13	45.96	43.28	40.04
	CO ₂	13.29	9.26	9.44	8.57
	CH ₄	6.93	6.10	5.93	6.53
	C ₂ -C ₄	2.38	2.07	1.94	1.76







Tento předmět vznikl za podpory projektu Akcelerace zelených dovedností a udržitelnosti na VUT s reg.č. NPO_VUT-MSMT-2143/2024-5