

**Interreg**



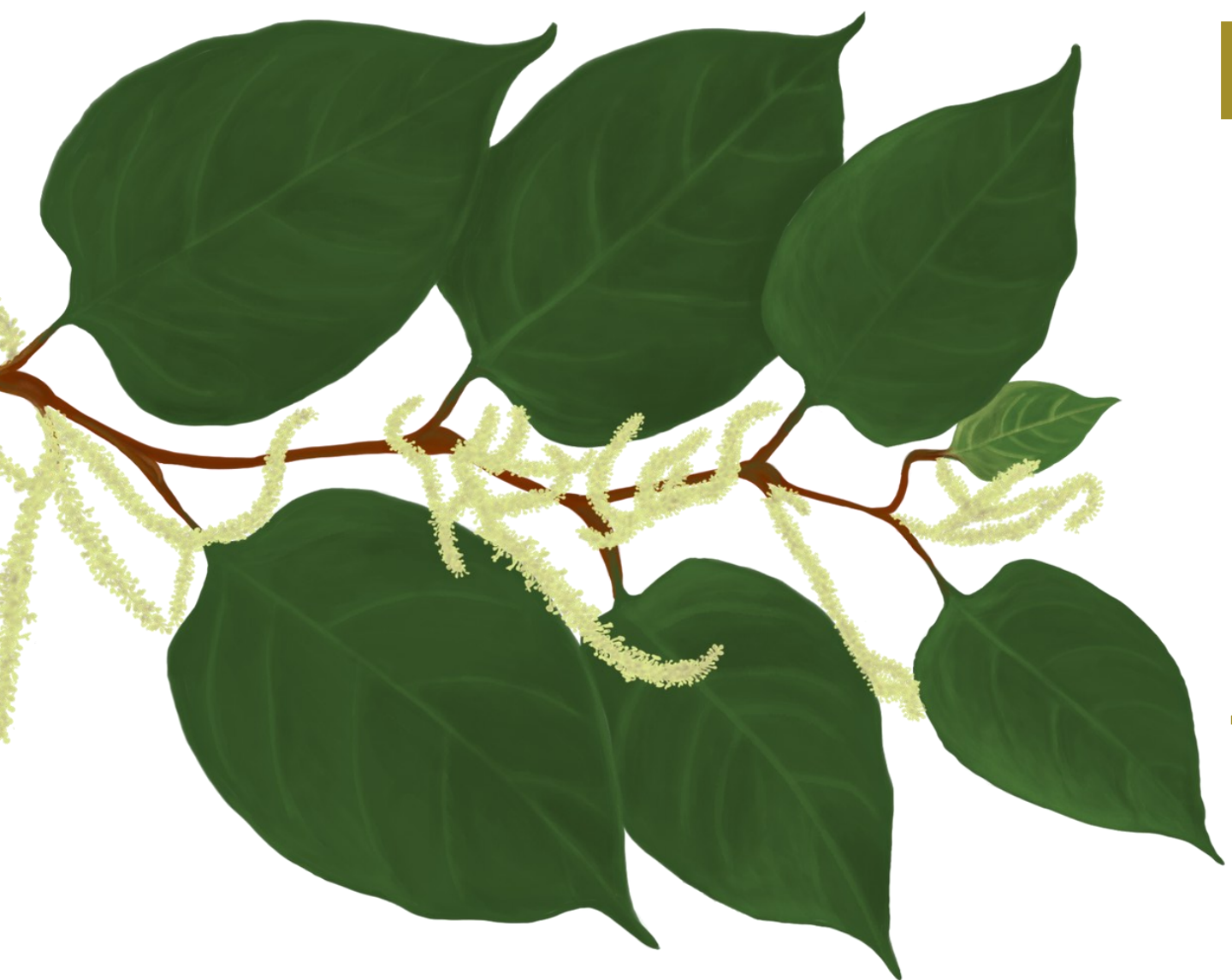
**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

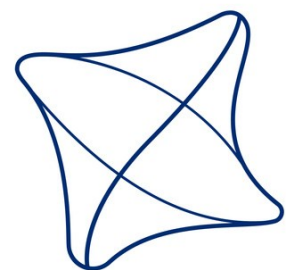
**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**



# **Energetický potenciál invazní biomasy: charakteristika a možnosti využití křídlatky v termochemických procesech**

**HERBATHECA**  
o.z. registrovaný sociální podnik



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE**

## Slovensko – Česko

# Obsah

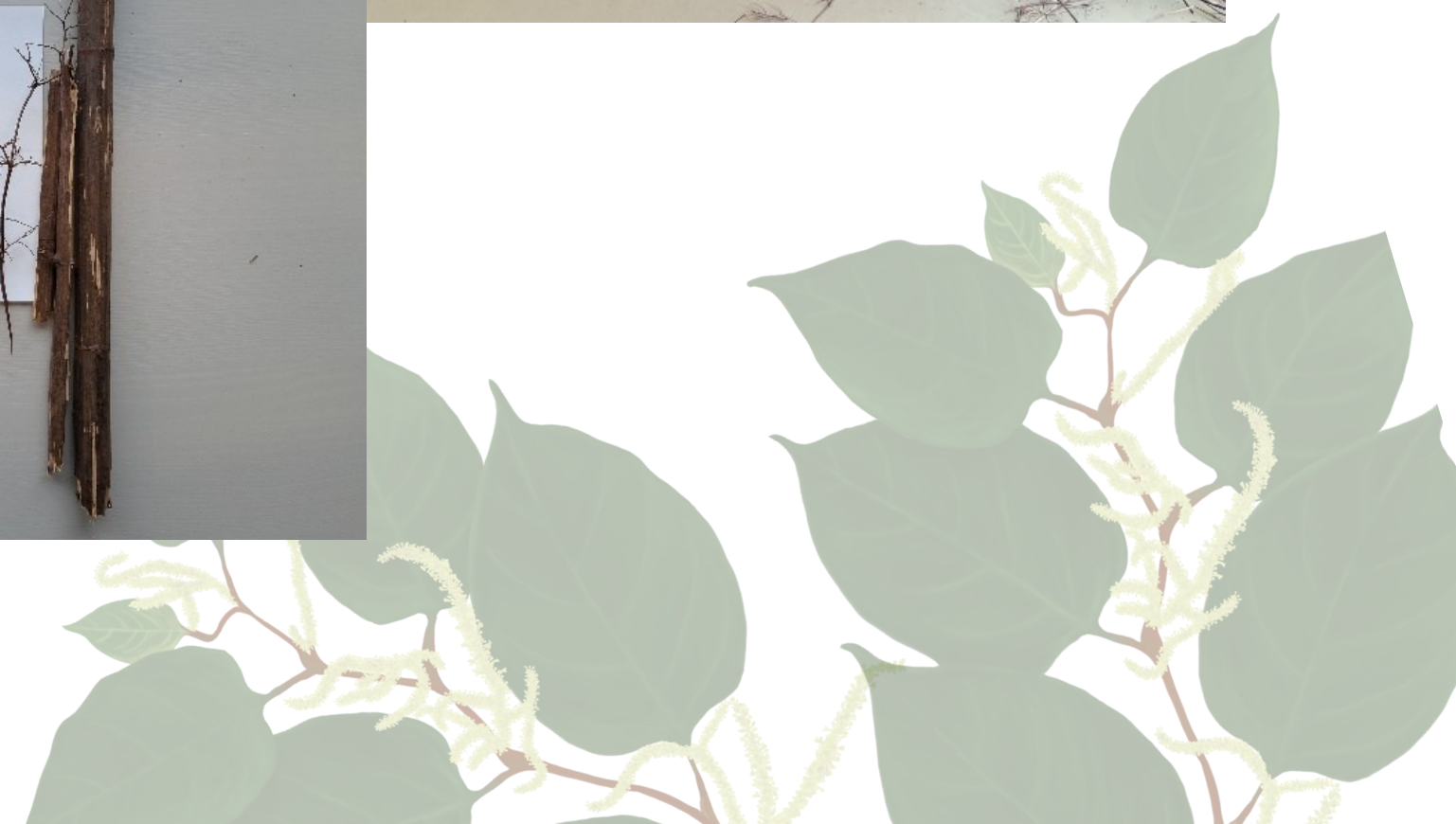
- Příprava a zpracování vstupního materiálu
  - Drcení a mletí
  - Stanovení obsahu vlhkosti
- Měření fyzikálně-chemických parametrů
  - Termogravimetrická analýza
  - Stanovení výhřevnosti a spalného tepla
  - Elementární analýza
  - Teplota tavitelnosti popela
- Shrnutí



Slovensko – Česko

## Příprava vstupního materiálu – zpracování křídlatky

- Zpracování křídlatky
  - Vstupní analýza vlhkosti materiálu
  - Drcení
  - Sušení
  - Výstupní analýza vlhkosti materiálu



Slovensko – Česko

## Příprava vstupního materiálu – zpracování křídlatky

- Zpracování křídlatky
  - Vstupní analýza vlhkosti materiálu
  - Drcení
  - Sušení
  - Výstupní analýza vlhkosti materiálu



Slovensko – Česko

## Příprava vstupního materiálu – zpracování křídlatky

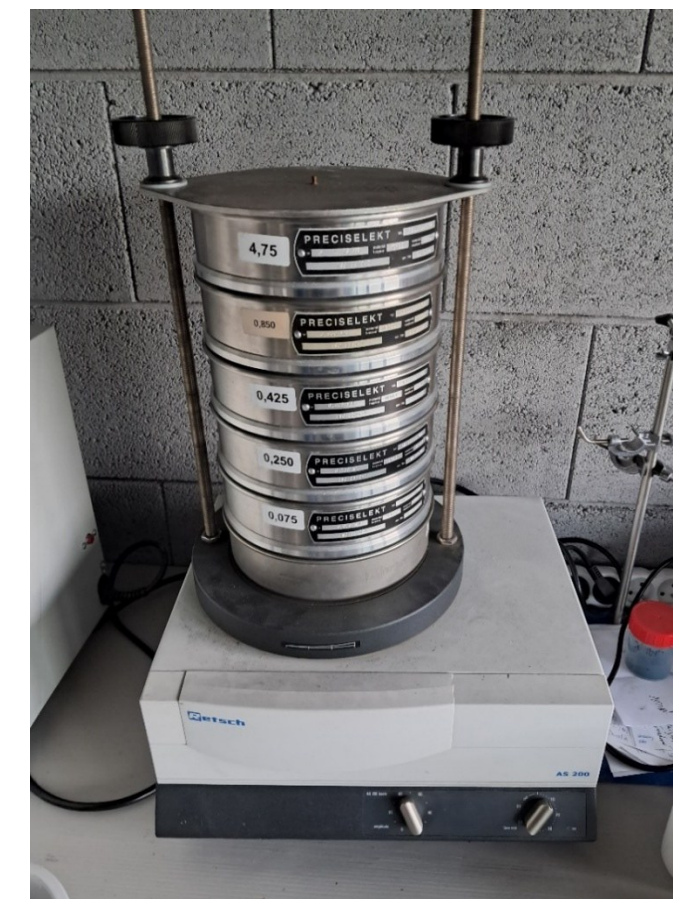
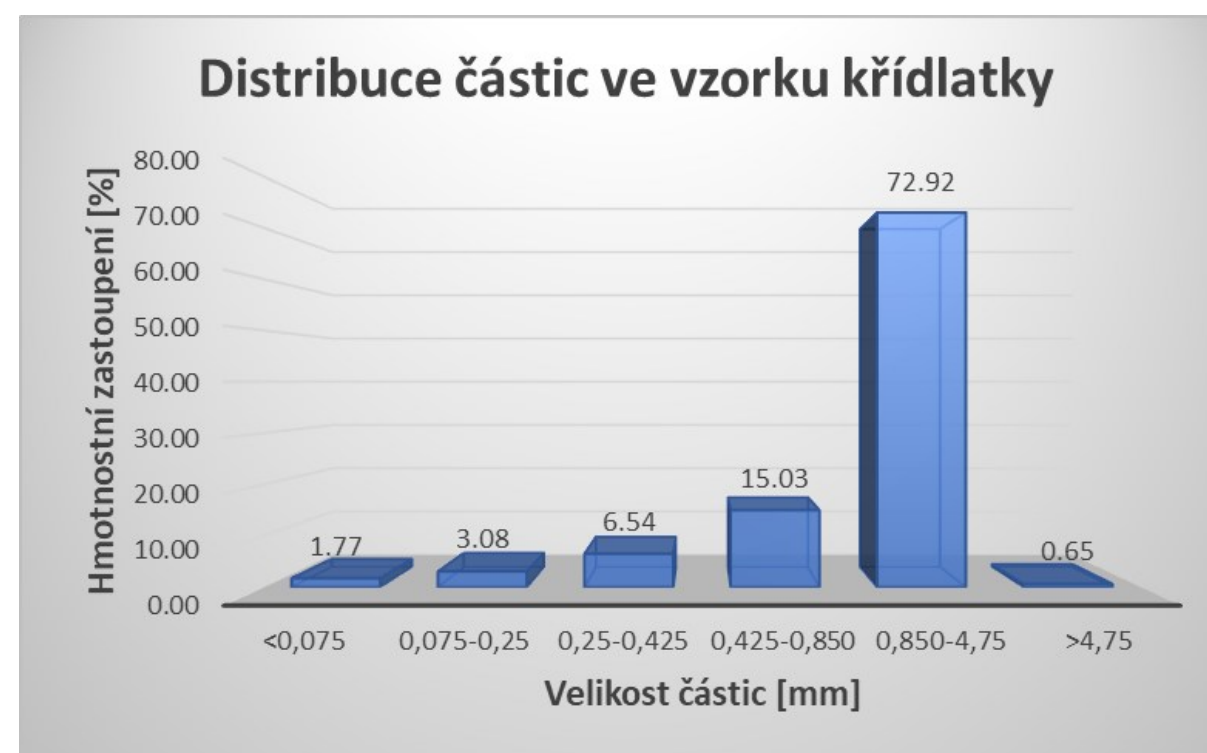
- Zpracování křídlatky
  - Vstupní analýza vlhkosti materiálu
  - Drcení
  - Sušení
  - Výstupní analýza vlhkosti materiálu



Slovensko – Česko

## Příprava vstupního materiálu – zpracování křídlatky

- Zpracování křídlatky
  - Vstupní analýza vlhkosti materiálu
  - Drcení
  - Sušení
  - Výstupní analýza vlhkosti materiálu
- Sítová analýza – distribuce částic
  - < 70% v rozsahu 0,85 – 4,75 mm
  - 15 % v rozsahu 0,425 – 0,85 mm



Slovensko – Česko

## Příprava vstupního materiálu – zpracování křídlatky

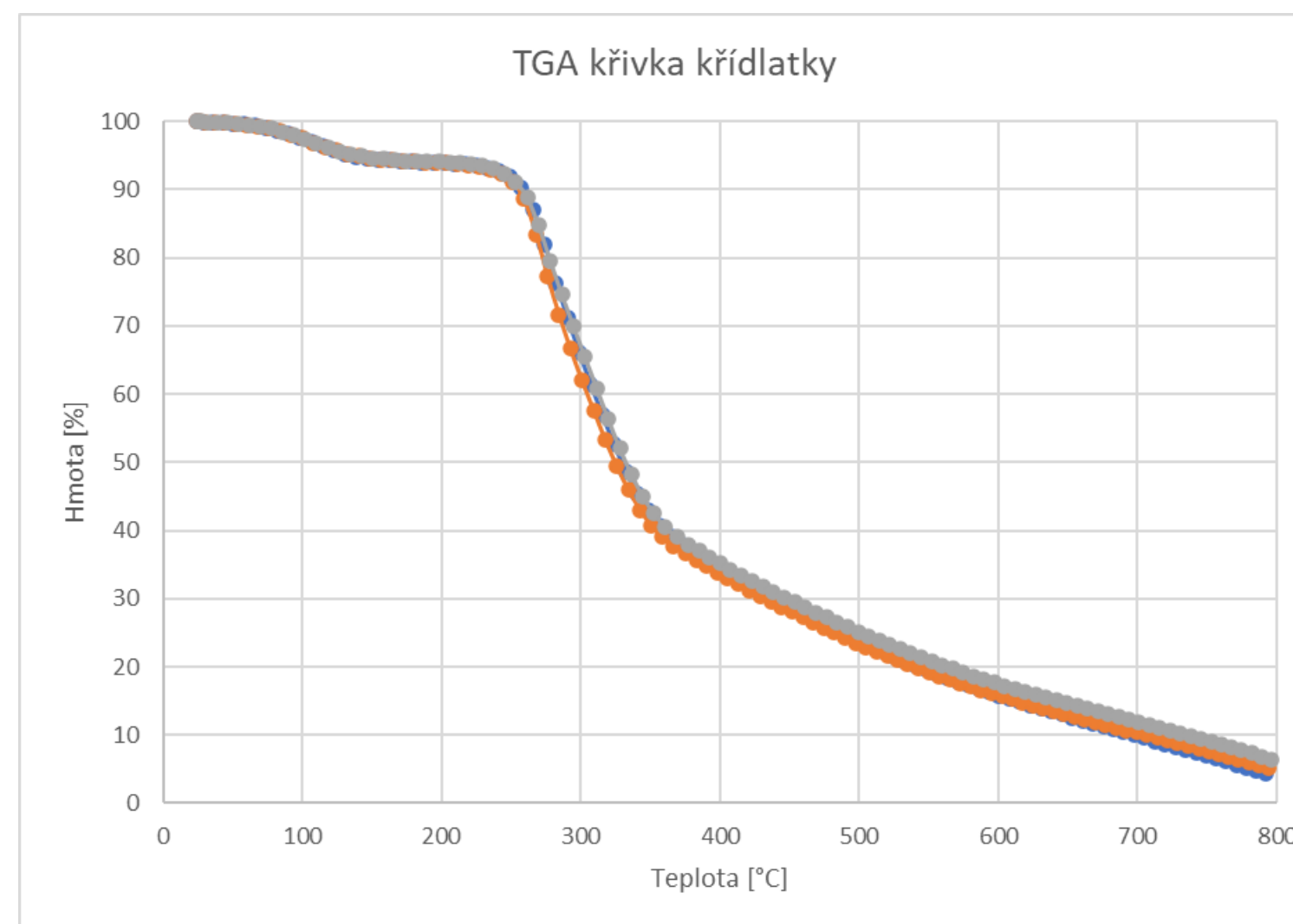
- Zpracování křídlatky
  - Vstupní analýza vlhkosti materiálu
  - Drcení
  - Sušení
  - Výstupní analýza vlhkosti materiálu
- Sítová analýza – distribuce částic
  - < 70% v rozsahu 0,85 – 4,75 mm
  - 15 % v rozsahu 0,425 – 0,85 mm
- Příprava vzorku pro další analýzy
  - Jemné mletí



Slovensko – Česko

# Termogravimetrická analýza vzorku

- LECO TGA701
- Stanovení
  - TGA křivky – 10°C/min, vzduch
  - Obsah vlhkosti
  - Obsah prchavé a neprchavé hořlaviny
  - Obsah popele



## Termogravimetrická analýza vzorku

- LECO TGA701
- Stanovení
  - Obsahu vlhkosti
  - Obsah prchavé a neprchavé hořlaviny
  - Obsah popele
  - TGA křivka
- Dřevní pelety – Enplus A1
  - Obsah vlhkosti  $\leq 10$  hm%
  - Obsah popela (v sušině)  $\leq 0,7$  hm%
  - Obsah prchavé hořlaviny obvykle 75 – 85 hm%
  - Obsah neprchavé hořlaviny 15 – 25 hm%

označení vzorku	původní stav vzorku					bezvodý vzorek			
	W(r) (hm. %)	A(r) (hm. %)	Ĉ(r) (hm. %)	V(r) (hm. %)	FC(r) (hm. %)	A(d) (hm. %)	Ĉ(d) (hm. %)	V(d) (hm. %)	FC(d) (hm. %)
Křídlatka	5,41	1,83	92,8	74,42	18,34	1,9	98,1	78,7	19,4

*W – množství vlhkosti, A – popel, Ĉ – celková hořlavina, V – prchavá hořlavina, FC – neprchavá hořlavina.*



Slovensko – Česko

## Stanovení výhřevnosti a spalného tepla

- Poloautomatický kalorimetr - Leco AC600
- Dřevní pelety – Enplus A1
  - Spalné teplo – 19 – 19,5 MJ/kg
  - Výhřevnost – 17,8 – 18,3 MJ/kg



označení vzorku	spalné teplo (r) (kJ·kg <sup>-1</sup> )	spalné teplo (d) (kJ·kg <sup>-1</sup> )	za konstantního objemu (ČSN ISO 1928)		za konstantního tlaku (ČSN ISO 1928)	
			výhřevnost (r) (kJ·kg <sup>-1</sup> )	výhřevnost (d) (kJ·kg <sup>-1</sup> )	Výhřevnost (r) (kJ·kg <sup>-1</sup> )	výhřevnost (d) (kJ·kg <sup>-1</sup> )
křídlatka	18954	20038	17708	18852	17636	18784

(r) – vzorek v původním stavu, označení (d) – bezvodý vzorek.



Slovensko – Česko

## Elementární analýza

- Elementární analyzátor CHNS 628 (LECO)
- Ionový chromatograf - ECO IC
- Typické složení lignocelulóзовé biomasy



označení vzorku	původní stav vzorku					bezvodý vzorek				
	C(r)	H(r)	N(r)	S(r)	O(r)	C(d)	H(d)	N(d)	S(d)	O(r)
	hmotnostní %					hmotnostní %				
křídlatka	47,69	6,05	0,31	0,06	38,65	50,42	5,76	0,33	0,06	41,5

označení (r) – vzorek v původním stavu, označení (d) – bezvodý vzorek,  
C – uhlík, H – vodík, N – dusík, S – síra, O – kyslík.



Slovensko – Česko

# Stanovení teplot tavitelnosti popela

- Stanovení v dusíkové atmosféře
- Nejistota měření +/- 20°C
- Pelety dřevěné
  - Teplota deformace – cca 1000 °C
  - Teplota tečení – cca 1400 °C



	ST [°C]	DT [°C]	HT [°C]	FT [°C]
<b>Popis vzorku</b>	<b>teplota kulovitého tvaru</b>	<b>teplota deformace</b>	<b>teplota polokulovitého tvaru</b>	<b>teplota tečení</b>
<b>Popel křídlatky</b>	nestanoveno	780	790	970
<b>Nejistota měření [°C]</b>	20	20	20	20



## Závěr

- Bylo provedeno zpracování vstupní křídlatky – drcení, sušení a mletí jako příprava pro další testování
- Byla provedena analýza fyzikálně-chemických vlastností křídlatky klíčových pro posouzení vhodného energetického využití
- Z výsledků analýz bylo potvrzeno, že křídlatka má potenciál stát se vhodnou surovinou pro energetické využití



**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**



**Děkuji za pozornost**



**Interreg**



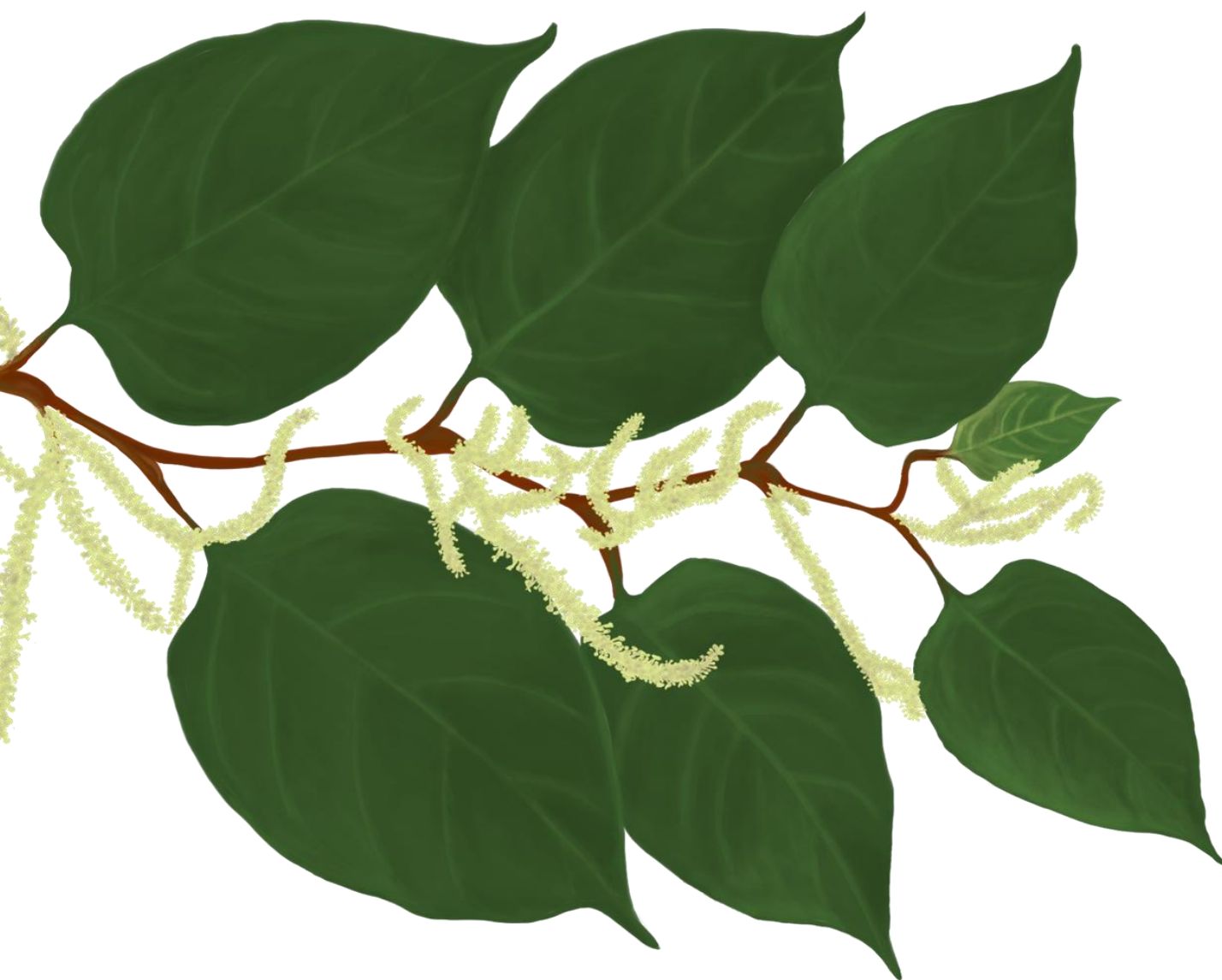
**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

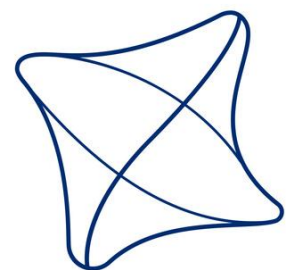
**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**



# Technologické využití invazní rostliny křídlatky (Fallopia) pro výrobu energie

**HERBATHECA**  
o.z. registrovaný sociálny podnik



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE**



## Obsah

1. Představení výzkumné skupiny Sypké hmoty centra ENET
2. Zpracování křídlatky japonské - peletizace
3. Mechanicko – fyzikální vlastnosti pelet a vstupních materiálů
4. Závěr





# Výzkumné skupiny



## POKROČILÉ NANOTECHNOLOGIE

prof. Ing. Daniela Plachá, Ph.D.

# nanotechnologie, nanomateriály,  
nanokompozity, nanočástice,  
nanovlákná

CEET-CNT



## MATERIÁLOVĚ ENVIRON- MENTÁLNÍ LABORATOŘ

prof. RNDr. Radek Zbořil, Ph.D.

# 2D materiály, heterogenní katalýza,  
solární energie, čištění vod, atomární  
inženýrství, biomedicína

CEET-CNT



## EBEAM

prof. Mark Hermann Rummeli

# nanomateriály, výroba  
elektronovým paprskem, pokročilá  
mikroskopie, aditivní výroba,  
charakterizace in situ

CEET-IET



## TERMOCHEMICKÁ A VODÍKOVÁ KONVERZE

Ing. Najser Jan, Ph.D.

# zplyňování odpadů, pyrolýza,  
alternativní paliva, vodík, spalování

CEET-CENET



## VEDLEJŠÍ ENERGETICKÉ PRODUKTY

prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.

# organické markery, znečištění  
ovzduší, dopad na životní prostředí,  
termické procesy, spalování

CEET-CENET



## SYPKÉ HMOTY

Ing. Lucie Jezerská, Ph.D.

# sypký materiál, prášky,  
procesní zpracování,  
DEM simulace, doprava

CEET-CENET



## MODERNÍ SYSTÉMY VYTÁPĚNÍ

Ing. Jiří Horák, Ph. D.

# zdroj tepelné energie, kotel,  
prachové částice, účinnost, emise  
znečišťujících látek

CEET-VEC



## INOVACE A BEZPEČNOST

doc. Dr. Ing. Tadeáš Ochodek

# vodík, zplyňování biomasy,  
technologie, energetika, bezpečnost

CEET-VEC



## ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ

prof. Ing. Jozef Vlček, Ph.D.

# energetické využití odpadů, tuhé  
alternativní palivo, energie z odpadu,  
emise, energetická bilance

CEET-IET



## BIOCHEMICKÉ PROCESY

Ing. Jiří Rusín, Ph.D.

# bioodpad, aerobní a anaerobní  
fermentace, bioplyn,  
biomethan, biovodík

CEET-IET



## PRŮMYSLOVÁ CHEMIE

Ing. Pavel Leštinský, Ph.D.

# chemické a procesní inženýrství,  
pyrolýza, katalýza, chemická recyklace,  
chemická technologie

CEET-IET



## HETEROGENNÍ KATALÝZA

Ing. Kateřina Pacultová, Ph.D.

# heterogenní katalýza, teplotně  
programované techniky, mechanismus  
reakce, čištění odpadních plynů,  
laboratorní a poloprovozní testování

CEET-IET



## HETEROGENNÍ FOTOKATALÝZA

prof. Ing. Kamila Kočí, Ph.D.

# fotokatalytické procesy, redukce  
CO<sub>2</sub>, generace vodíku, rozklad N<sub>2</sub>O,  
pokročilé oxidační procesy

CEET-IET



## PŘÍPRAVA MATERIÁLŮ A ZHODNOCOVÁNÍ ODPADŮ

Ing. Lenka Matějová, Ph.D.

# nanostrukturované foto/katalyzátory  
a sorbenty, přírodní látky s přidanou hodnotou,  
zelené vysokotlaké technologie, mikrovlny,  
degradace organických těkavých látek

CEET-IET



## ÚPRAVA A ANALÝZA VOD

Mgr. Martina Vráblová, Ph.D.

# odpadní vody, adsorpce,  
bioremediace, mikropolutanty,  
stopová analýza

CEET-IET



## TECHNOLOGIE PRO OCHRANU PROSTŘEDÍ

Ing. Karel Borovec, Ph.D.

# emise, účinnost, nejlepší  
dostupná technologie, tuhá  
alternativní paliva, CO<sub>2</sub>

CEET-VEC



## INTELIGENTNÍ SÍTĚ

Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.

# solární energie, větrná energie,  
akumulace energie, vodíkové  
technologie, elektromobilita

CEET-CENET



## APLIKACE PRO PRŮMYSL A MUNICIPALITY

Zdeněk Neufinger, MBA

# energetický management,  
projektová inženýrská činnost, studie  
proveditelnosti, energetická koncepce,  
analýza nákladů a přínosů

CEET-VEC

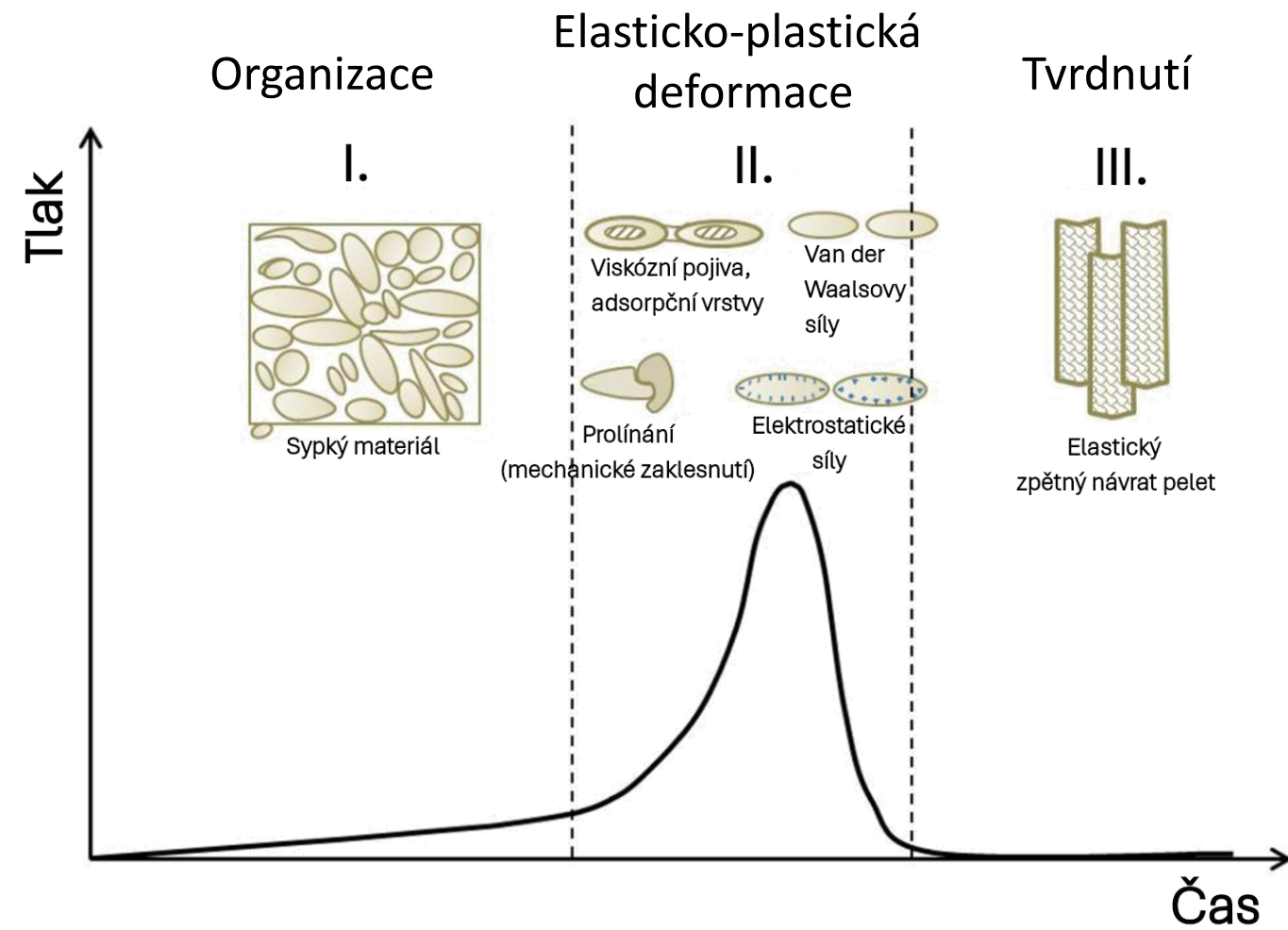
## Zpracování křídlatky

- Křídlatka je invazní rostlina s velkým potenciálem jako biopalivo
- Peletizace zvyšuje energetickou a objemovou hustotu, mechanickou stabilitu a snižuje prašnost
- Cíl: testování peletizace a provedení mechanicko-fyzikálních měření
- Porovnání s dřevními pilinami a peletami

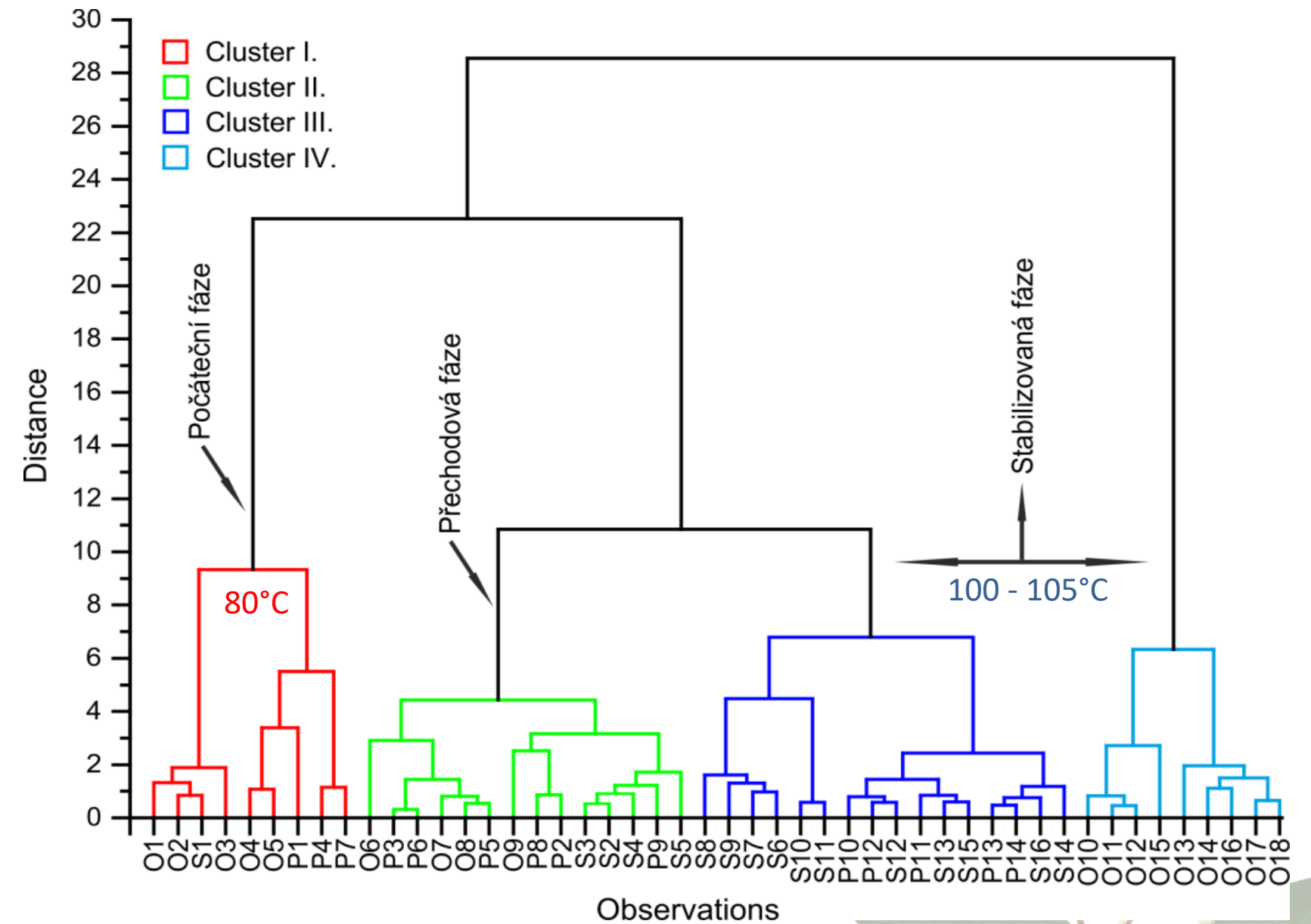


Slovensko – Česko

# Peletizace



Dendrogram



Počáteční fáze – mírné navýšení teploty, částice se přeskupují. ↓ H, D a ↑ Mp, WI.

Přejchodová fáze – nastává plastifikace ligninu (Tg). Vyšší hodnoty parametrů, ale značná fluktuace.

Závěrečná fáze, Stabilizovaná fáze – teplota osciluje kolem stabilní hodnoty, jiná pro jednotlivé materiály. Parametry jsou již obdobného charakteru.

Slovensko – Česko

## Peletizace

- Proces peletizace: sypký materiál se mechanicky zhutňuje do pelet
- Optimální vlhkost materiálu: 14%
- Použitý peletovací lis: STILER 7,5 kW
- Matrice s průměrem otvorů 6 mm
- Cílem: zvýšení mechanické stability, homogenity, čímž se usnadňuje manipulace, transport, skladování



### 3. Mechanicko-fyzikální měření

- mechanicko-fyzikální vlastnosti materiálu (pelet) představují zásadní determinanty jejich chování při manipulaci, skladování, technologickém využití
- mají přímý vliv na spolehlivost provozu dopravních a zpracovatelských zařízení, určují kvalitu paliva
- cílem: kvantifikovat vybrané fyzikální charakteristiky, jež slouží jako ukazatele kvality, stability a mechanické integrity a celkové aplikační vhodnosti
- v rámci měření proběhlo systematické srovnání křídlatky v nadrceném stavu, či ve formě pelet s dřevními pilinami a s komerčně vyráběnými dřevními peletami



Slovensko – Česko

## Tvrдость pelet

- stanovena testerem KAHL Pellet-Härtetester 12–24 V DC, vybaveného motorem pohánějícím přitlačný šroub
- princip: aktivací přístroje docházelo k postupnému zvyšování tlaku prostřednictvím elektricky poháněného mechanismu, který přenášel zatížení přes pružinový systém na peletu. Tento tlak se zvyšoval až do okamžiku, kdy došlo k destrukci (prasknutí) vzorku
- hodnota síly potřebné k porušení pelety byla odečtena přímo ze stupnice přístroje v jednotkách kilogramů

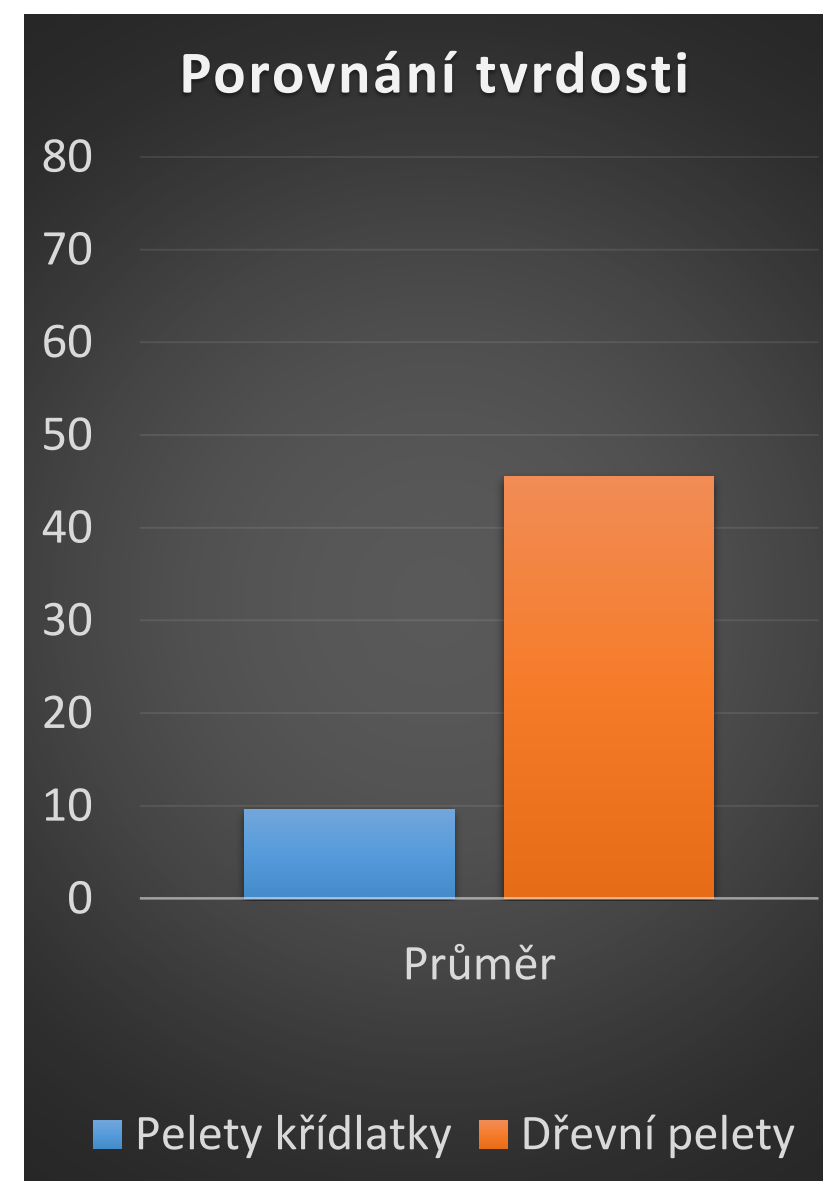
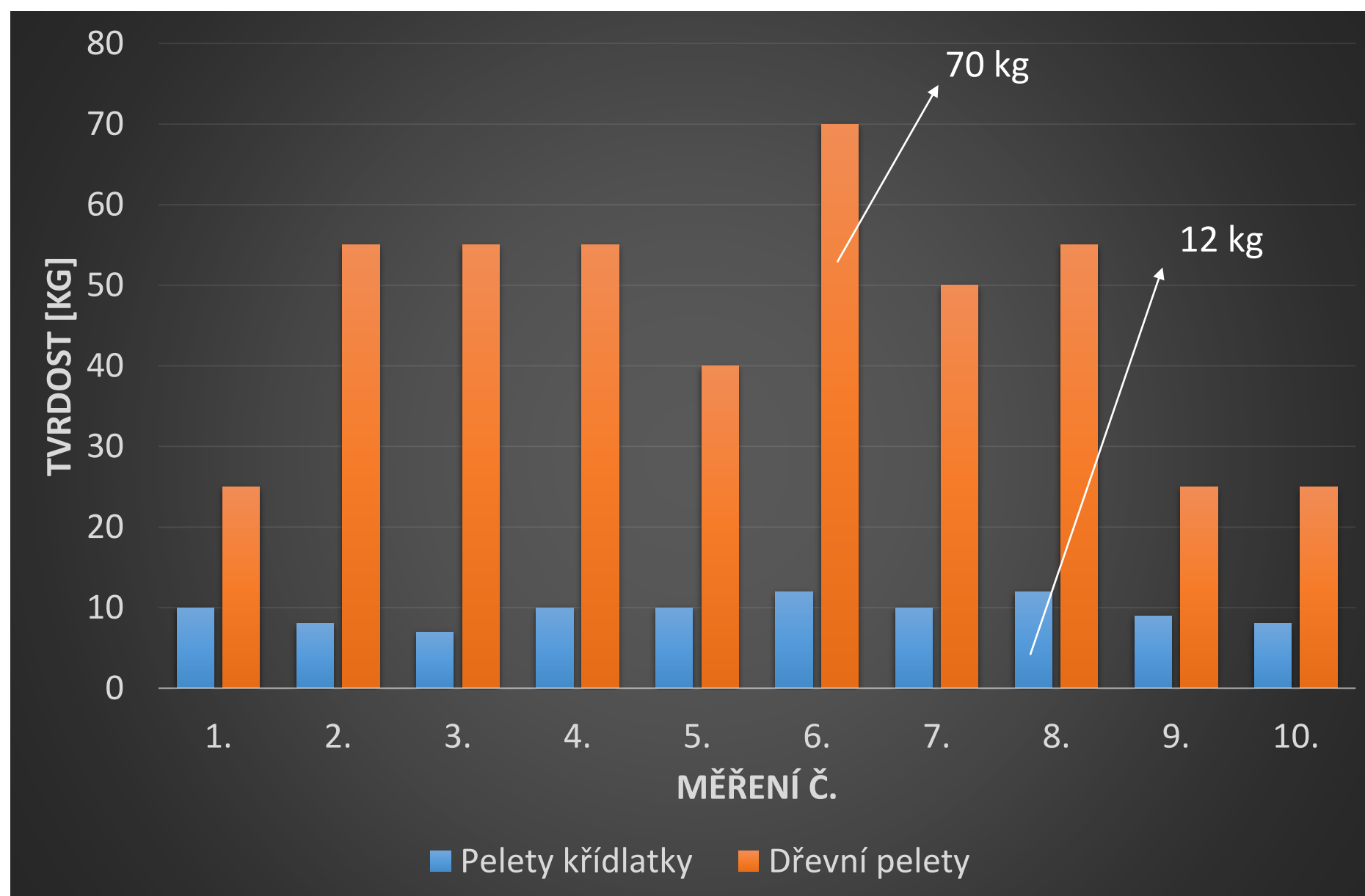


KAHL Pellet-Härtetester 12–24 V



Slovensko – Česko

# Tvrdość pelet



- Nižší tvrdost křídlatky znamená větší náchylnost k mechanickému poškození během manipulace a transportu.
- Vhodné proto přidavek smrkových pilin např. 10-30%, případně sušený odpad z papírenského kalu.

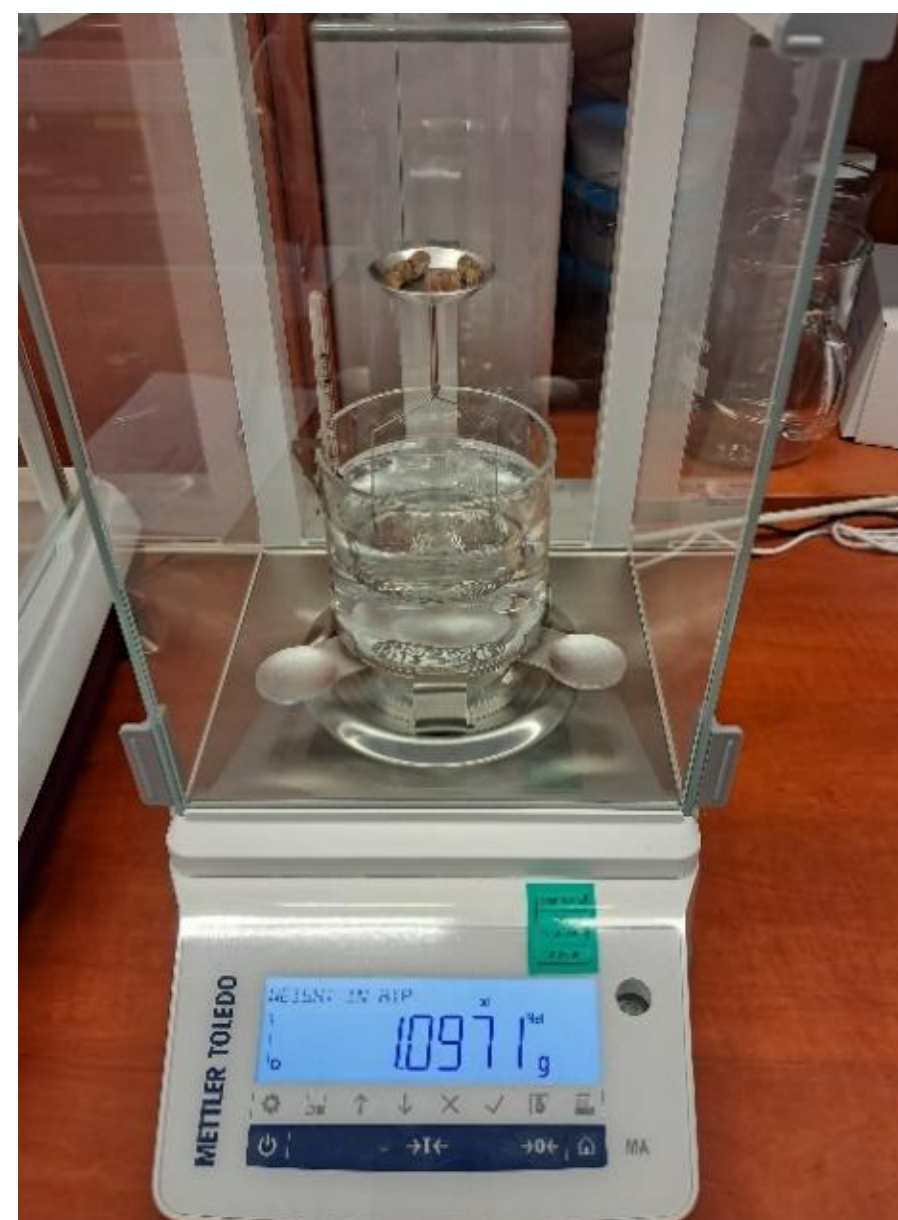
Slovensko – Česko

## Měrná hustota

- stanovena za použití přístroje Mettler Toledo ML\_DNY-43
- funguje na principu Archimédova zákona, kdy se zjišťoval rozdíl mezi peletami zváženými na vzduchu ( $m_1$ ) a ponořenými do kádinky s destilovanou vodou ( $m_2$ ).

$$\rho_s = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_L$$

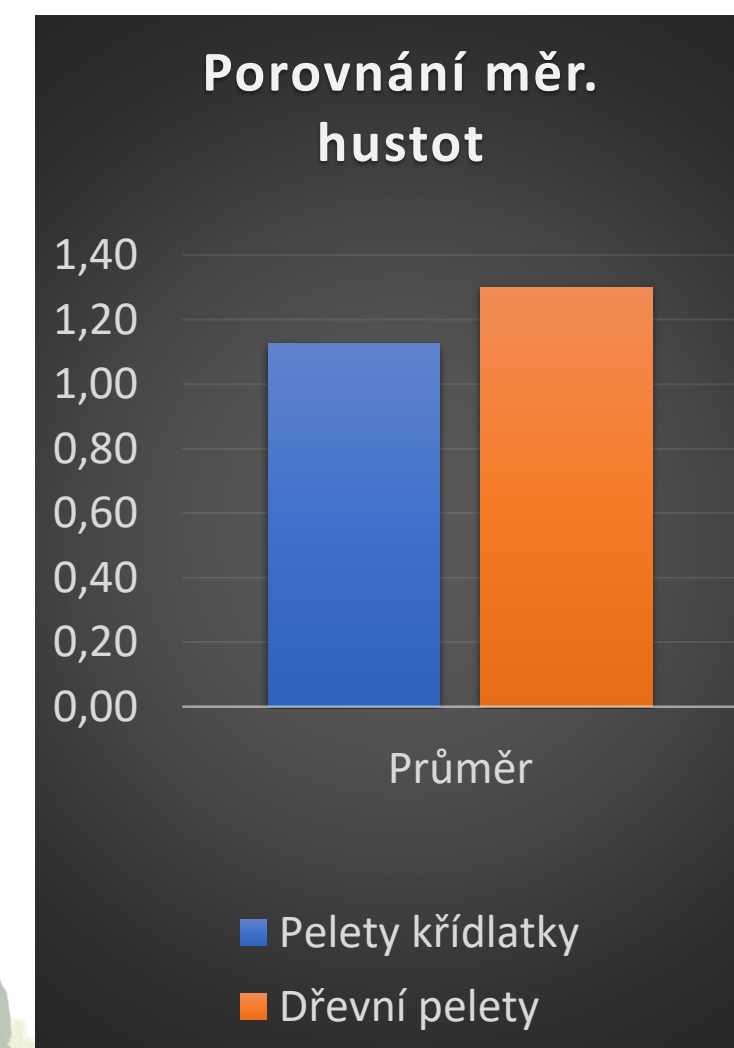
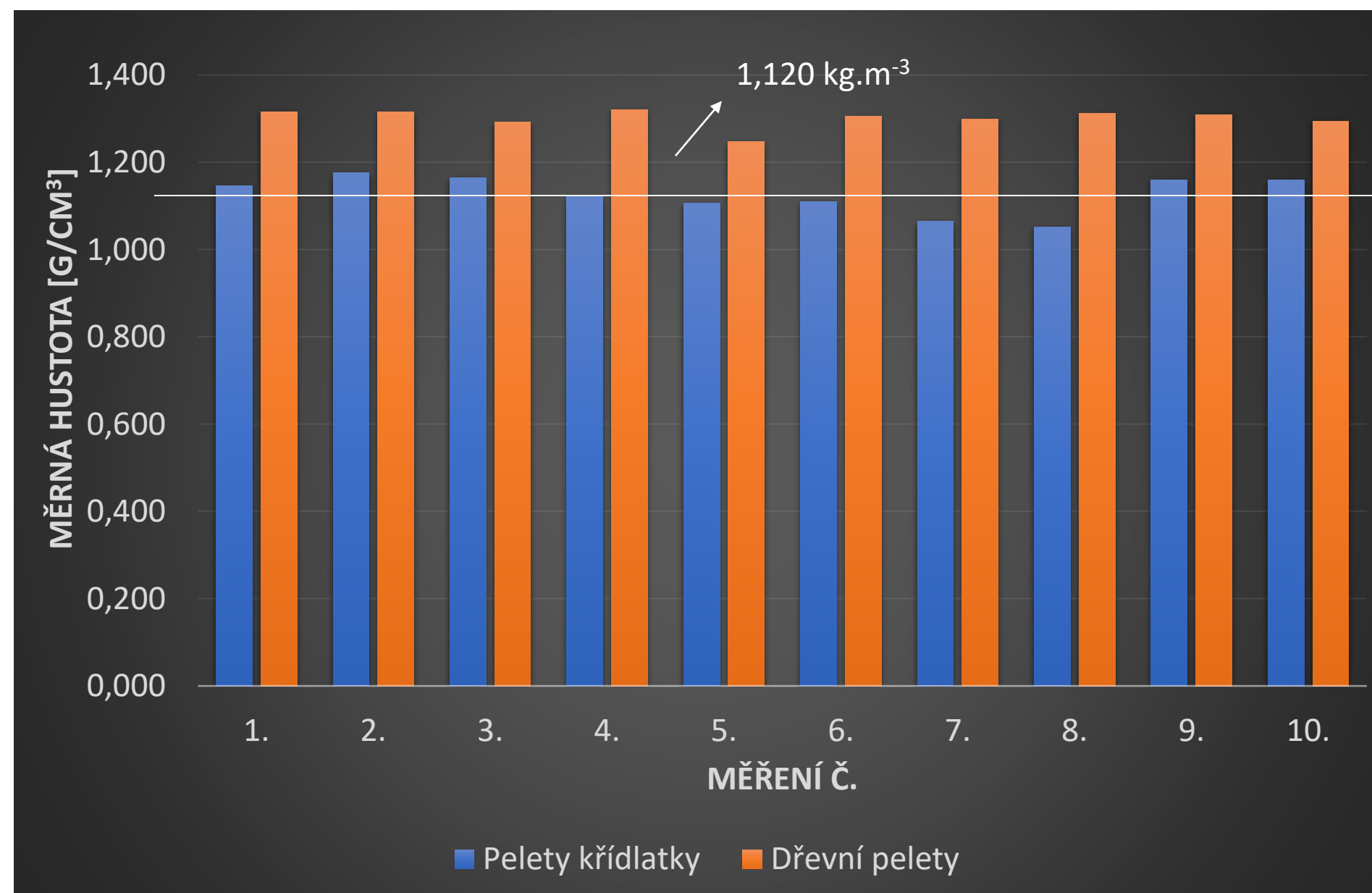
$\rho_L$  hustota použité kapaliny ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )



Mettler Toledo ML\_DNY-43

Slovensko – Česko

# Měrná hustota



- Rozdíl  $0,17 \text{ g.cm}^{-3}$  – dřevní pelety mají vyšší kompaktnost
- Hodnoty poukazují na relativně dostatečnou kvalitu

## Sypná hustota

- vyjadňuje hmotnosť jednotkového objemu volně sypaného materiálu
- charakterizuje materiál ve stavu, v jakém se s ním manipuluje při dopravě, skladování a zásobování a je vyjádřena následujícím vztahem:

kde:

$$\rho_{syp} = \frac{m_v}{V_v} \text{ [g/ml]}$$

$\rho_{syp}$ ...sypná hustota [g/ml]

$m_v$ ...hmotnost vzorku [g]

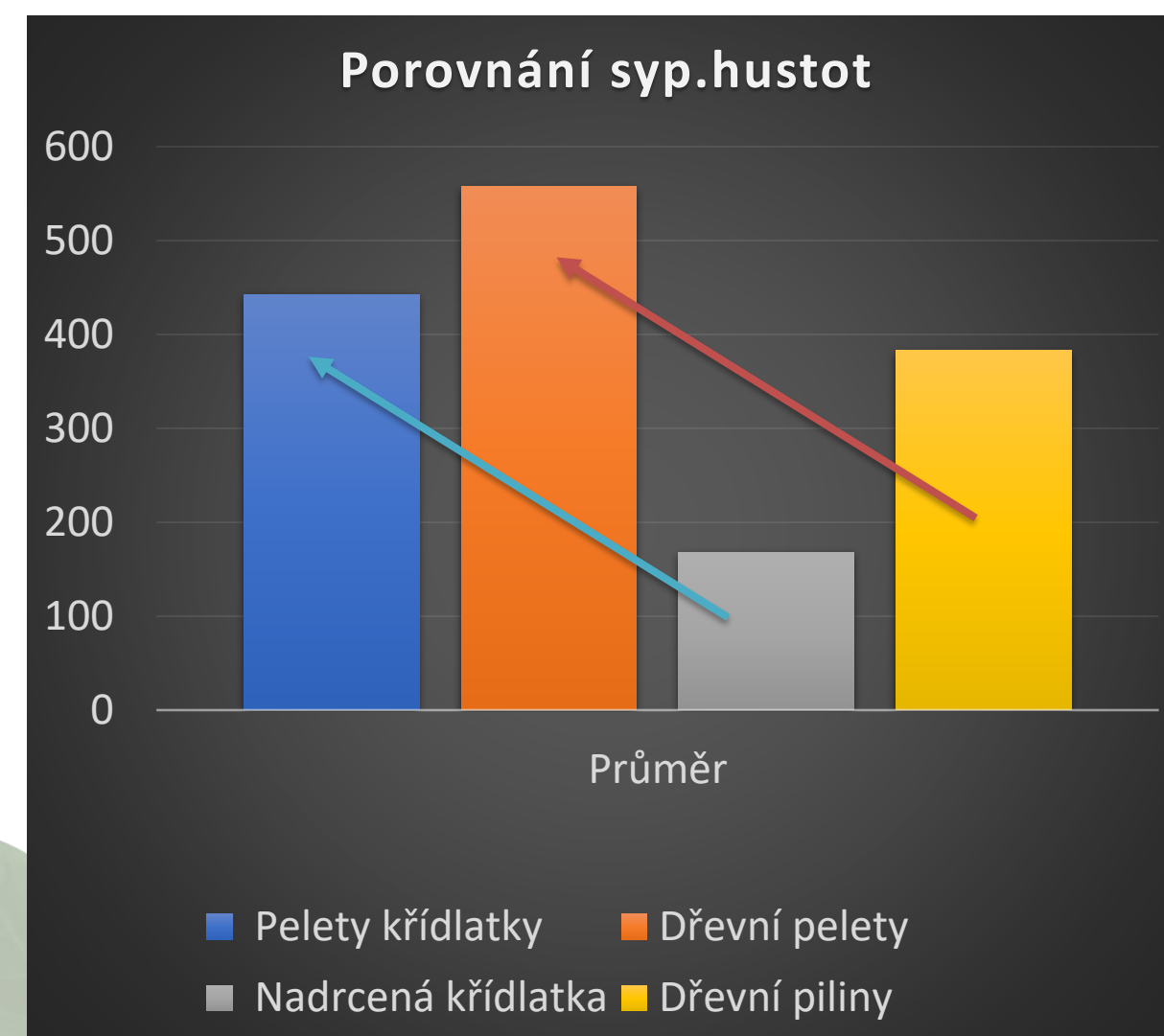
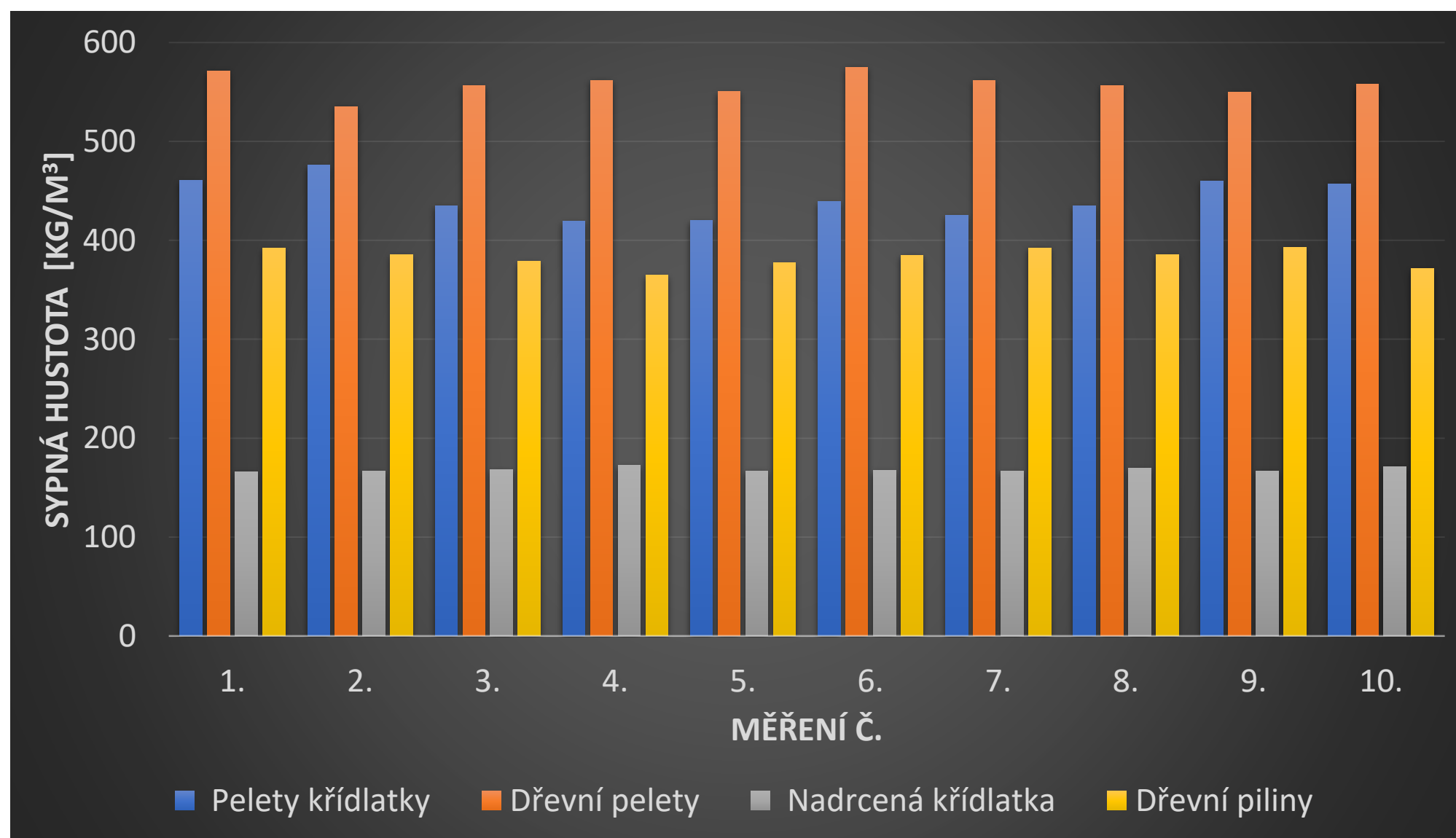
$V_v$ ...objem vzorku [ml]

- vs setřesná hustota



Slovensko – Česko

# Sypná hustota



- Dochází k navýšení sypné hustoty
- Celkově snadnější manipulovatelnost

Slovensko – Česko

## Mechanická odolnost (PDI – Pellet Durability Index)

- stanovena za pomoci testeru HOLMEN NHP 100
- důležitým parametrem pro hodnocení výsledné kvality pelet a je stanoven tímto vzorcem:

$$\text{PDI} = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 [\%]$$

Kde:

PDI...Pellet Durability Index (index trvanlivosti pelet)

$m_1$ ...počáteční hmotnost pelet [g]

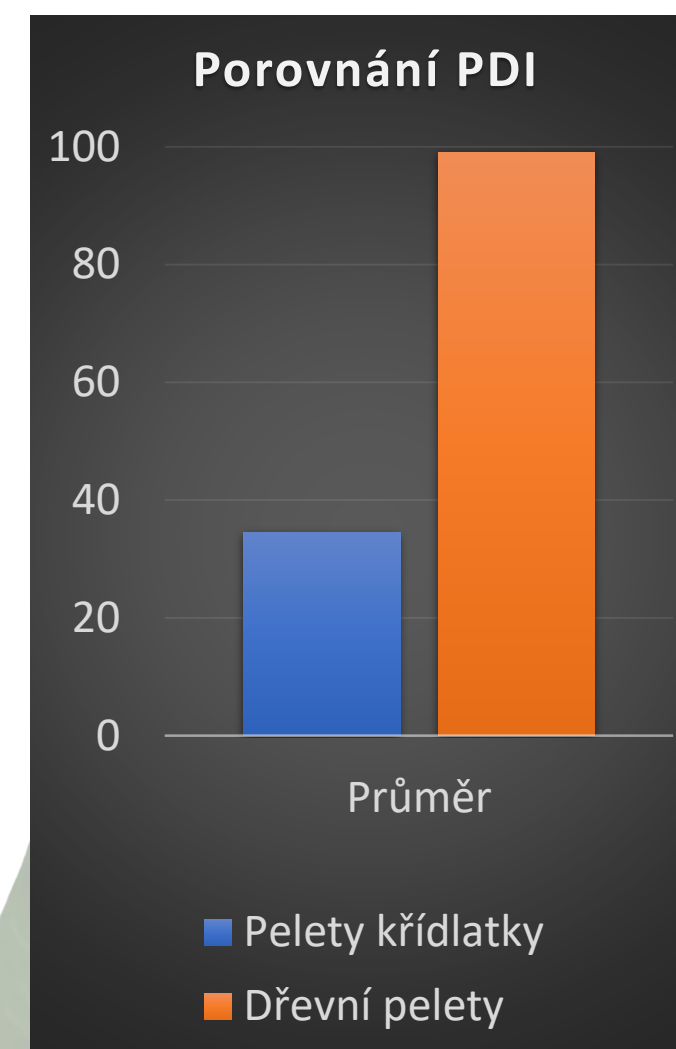
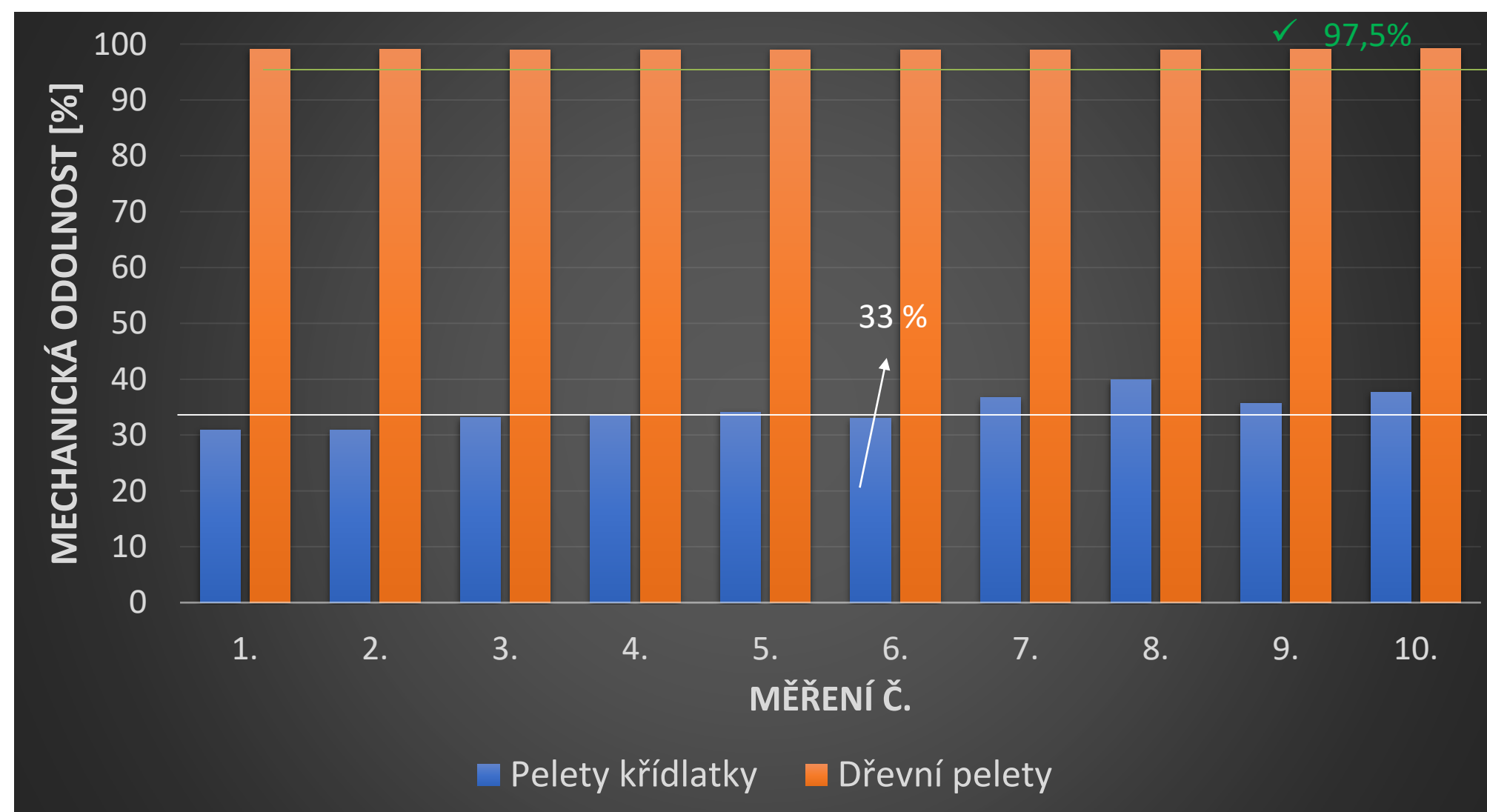
$m_2$ ...hmotnost celistvých pelet po testu [g]



HOLMEN NHP 100



# Mechanická odolnost



- Normativně splněno pouze pro dřevní pelety
- Pelety z křídlatky japonské vyžadují šetrnější manipulaci, případně úpravu směsi pro vyšší hodnoty mechanické odolnosti.

Slovensko – Česko

## Sypný úhel nadrceného materiálu a pelet

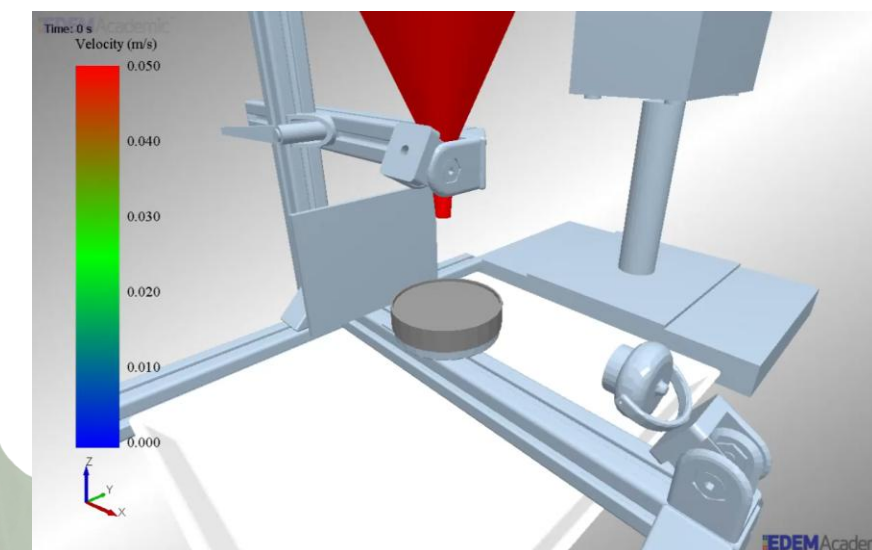
- sypným úhlem je charakterizována tokovost materiálu
- jedná o úhel, který svírá vodorovná rovina a povrchová přímka sypného kužele



Režim toku	Sypný úhel [°]	Hausner Ratio [-]	Carr's Index [%]
Volně tekoucí	25 – 30	1,00 – 1,11	1 – 10
Lehce tekoucí	31 – 35	1,12 – 1,18	10 – 15
Tekoucí	36 – 40	1,19 – 1,25	16 – 20
Volně sypný	41 – 45	1,26 – 1,34	21 – 25
Kohezivní	46 – 55	1,35 – 1,45	26 – 31
Velmi kohezivní	56 – 65	1,46 – 1,59	32 – 37
Extrémně kohezivní	> 66	>1,6	>38

$$HR = \frac{\rho_t}{\rho_b} [-]$$

$$CI = \frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t} \cdot 100 [%]$$

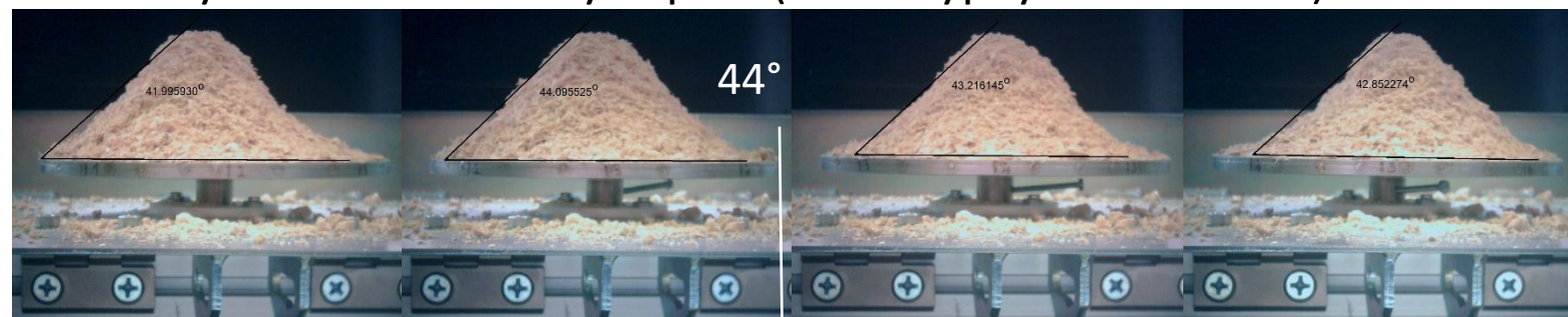


Stanovení sypného úhlu,  
přístroj Zenegero

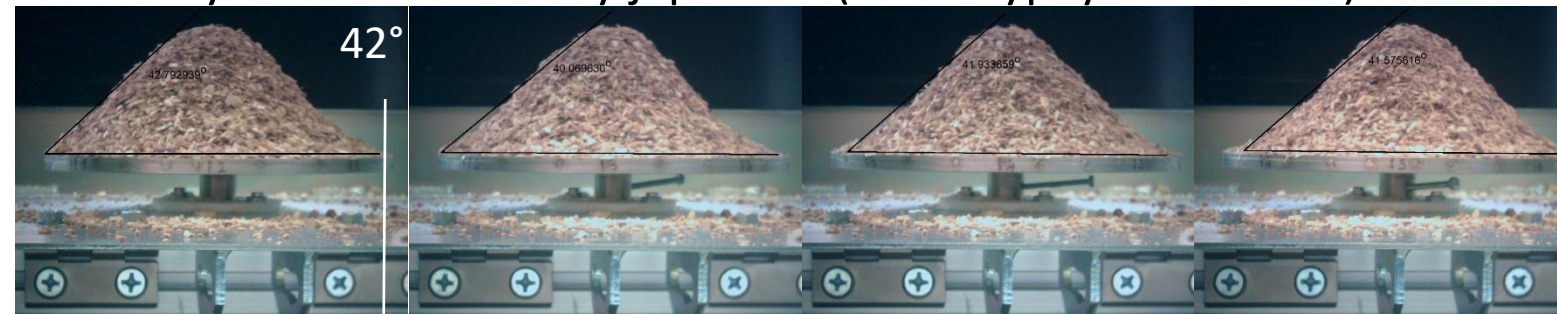
Slovensko – Česko

# Sypný úhel nadrceného materiálu a pelet

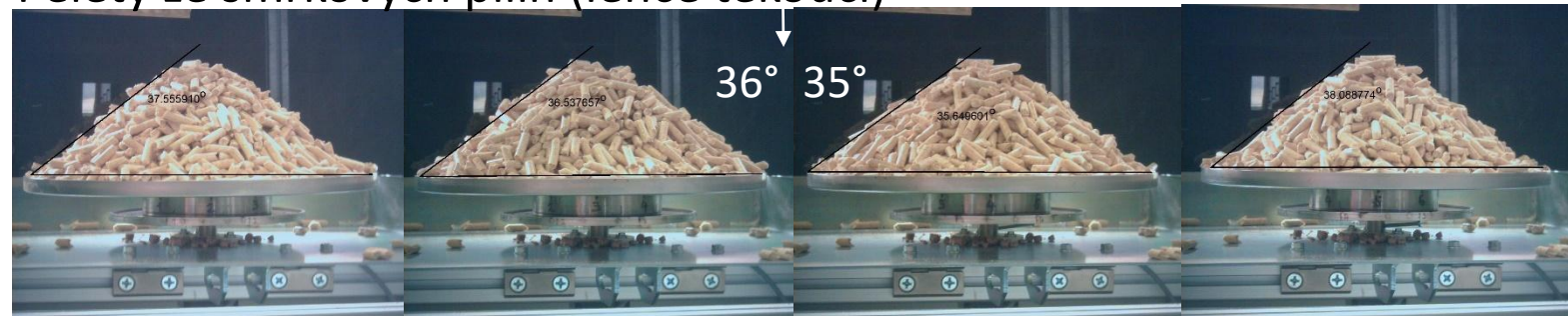
Nadrcený materiál smrkových pilin (volně sypký až kohezivní)



Nadrcený materiál křídlatky japonské (volně sypký režim toku)



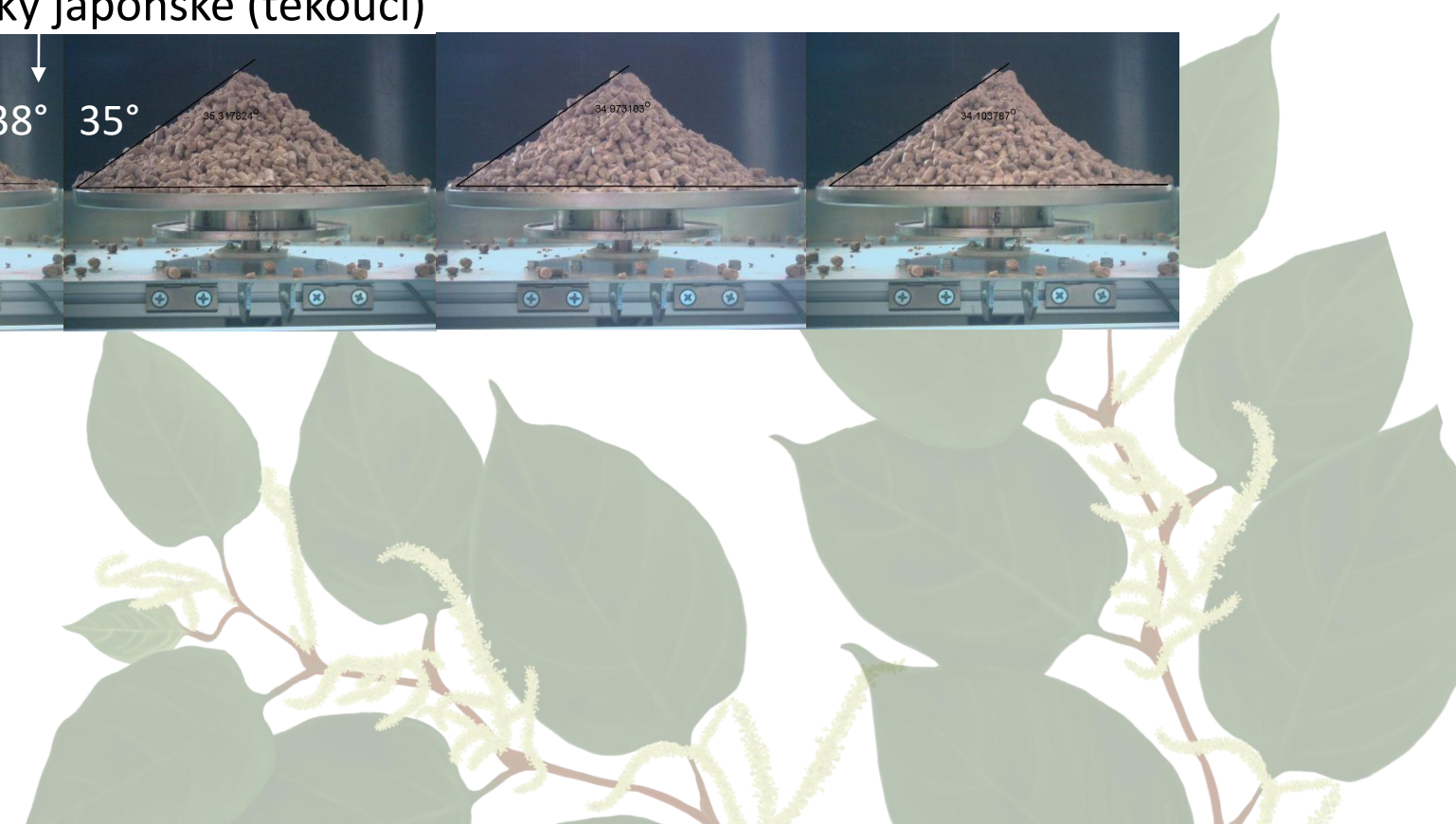
Pelety ze smrkových pilin (lehce tekoucí)



Pelety z křídlatky japonské (tekoucí)

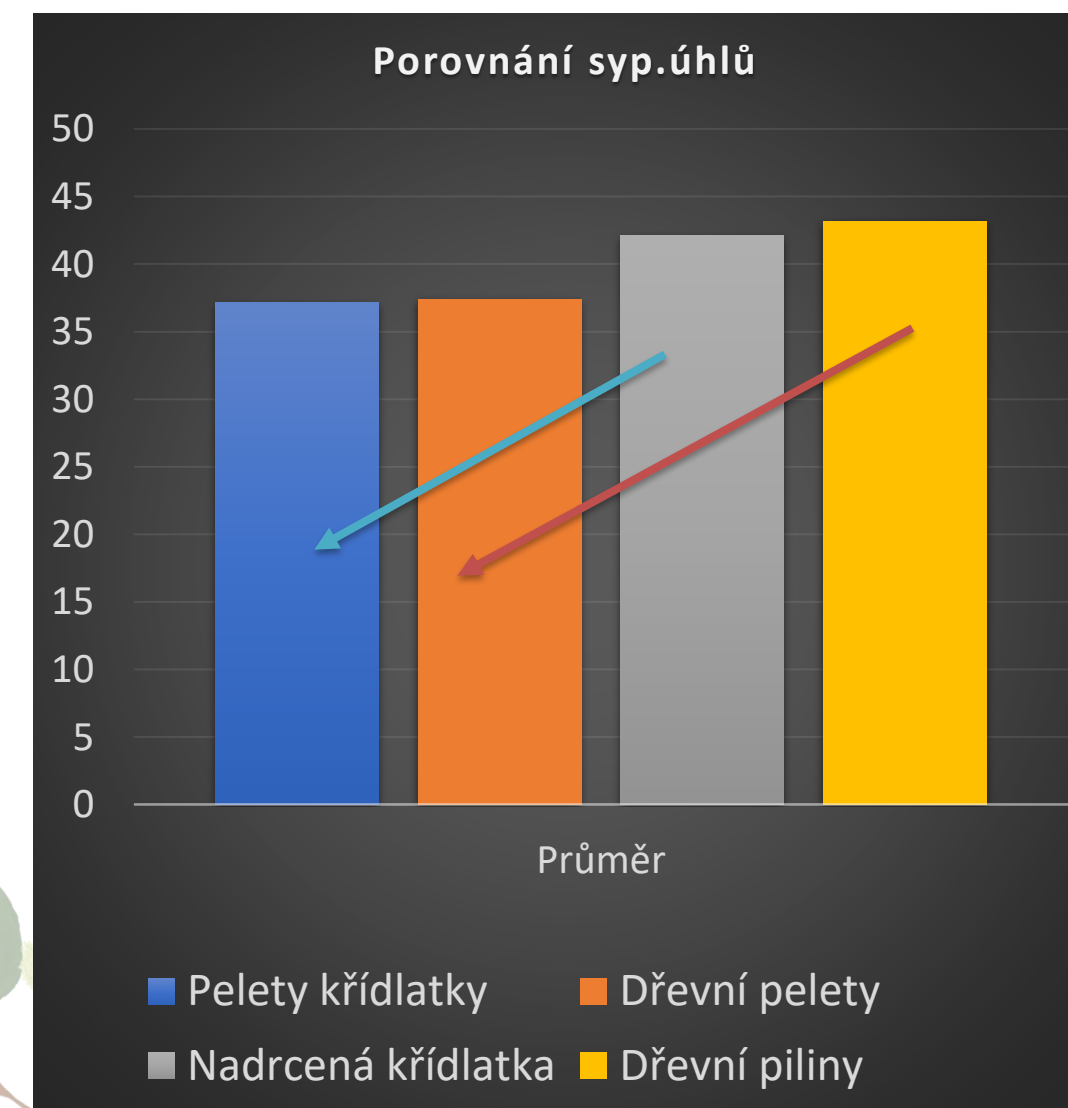
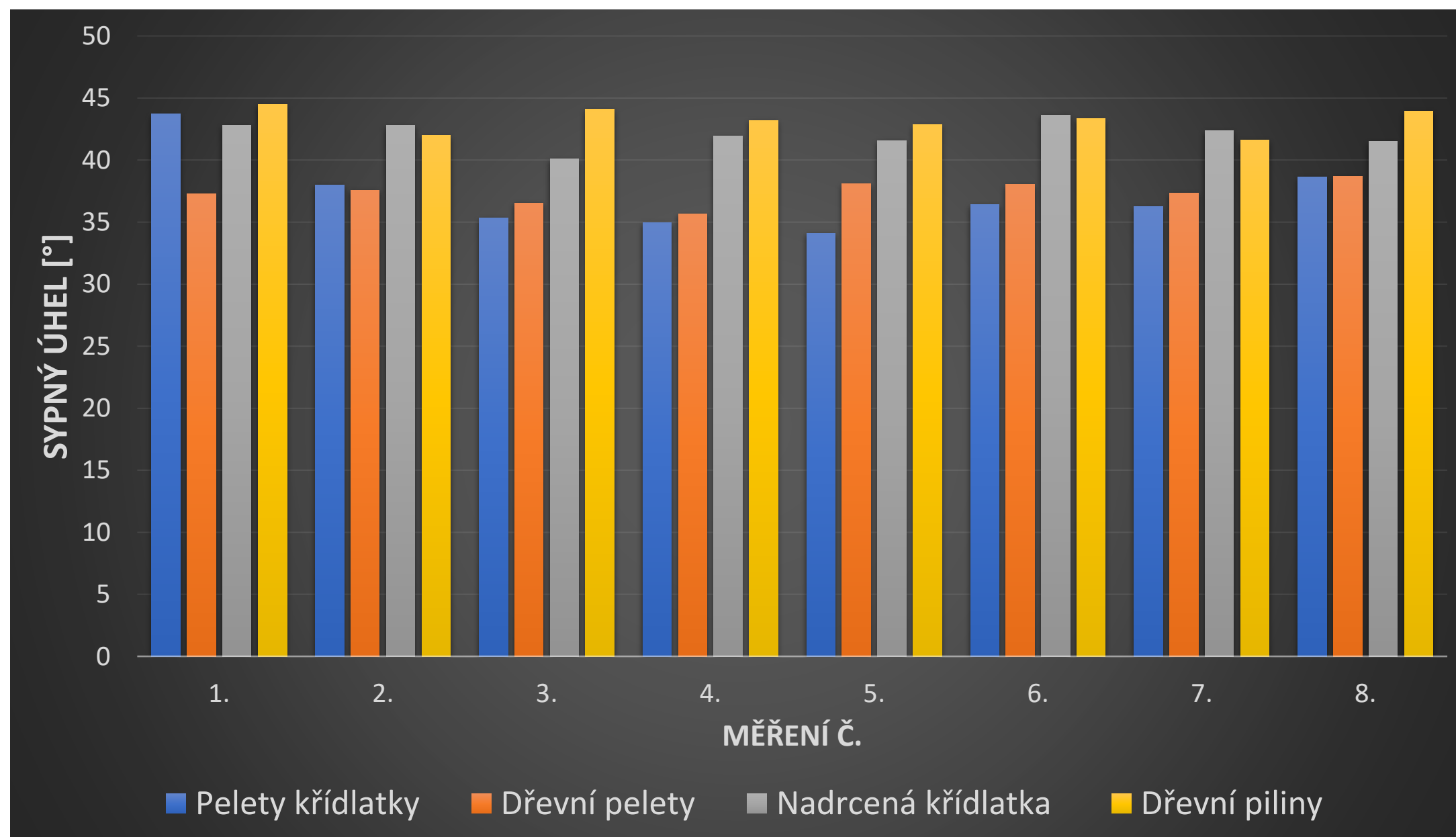


- Snížení hodnot sypkých úhlů po peletizaci – lepší tokovost



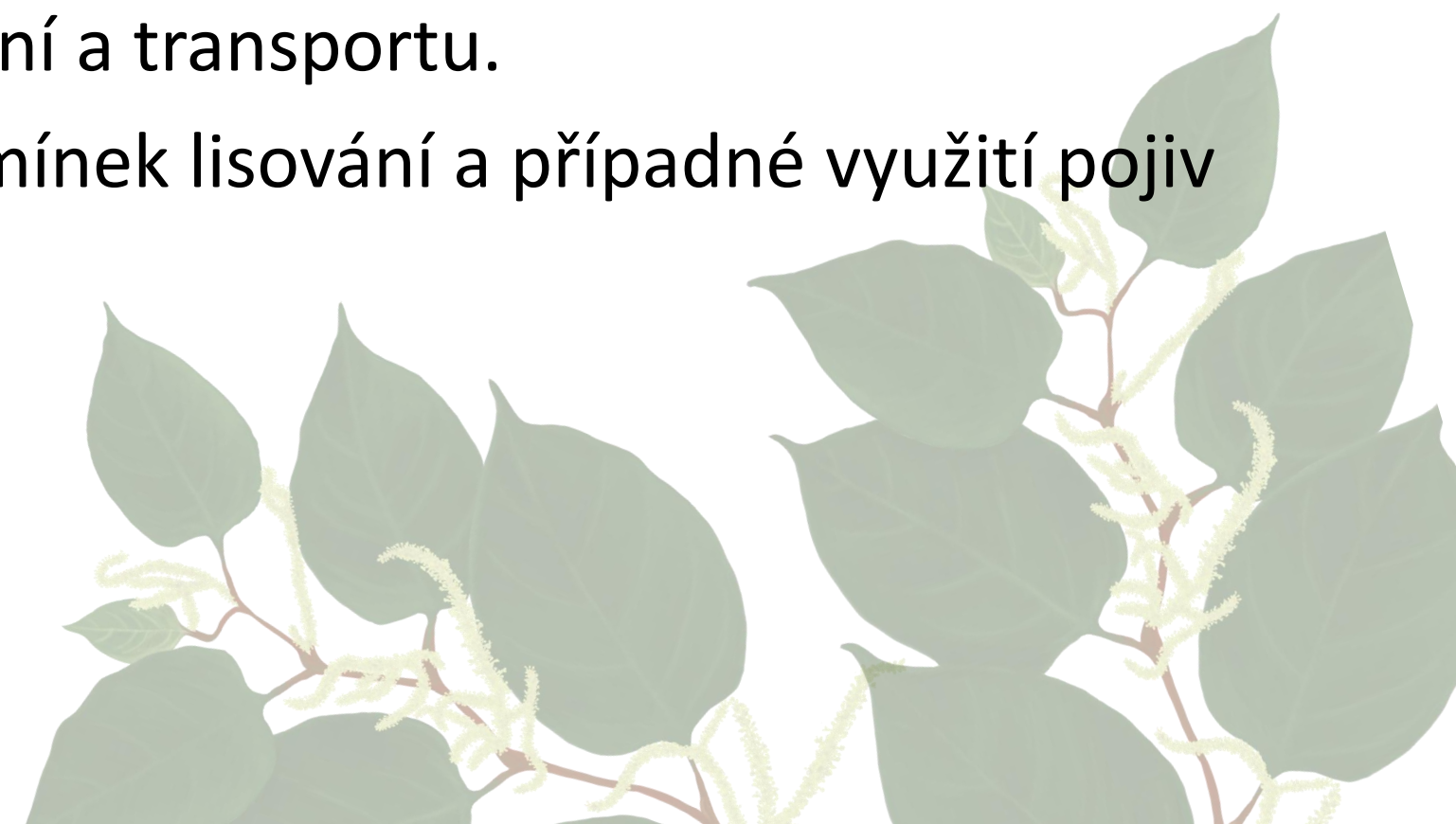
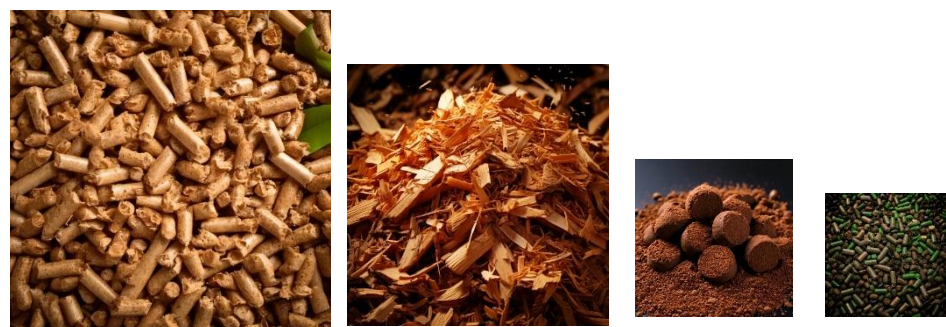
Slovensko – Česko

# Sypný úhel nadrceného materiálu a pelet



## Závěr

- Peletizace výrazně zlepšuje fyzikální vlastnosti biomasy z křídlatky.
- Oproti nadrcené surovině vykazují pelety vyšší měrnou hustotu a nižší sypný úhel, což usnadňuje jejich manipulaci a dopravu.
- Ve srovnání s dřevními peletami mají však pelety z křídlatky nižší mechanickou odolnost a tvrdost, což může omezovat jejich dlouhodobou stabilitu při skladování a transportu.
- Pro širší využití je žádoucí optimalizace technologických podmínek lisování a případné využití pojiv ke zvýšení pevnosti vyrobených pelet.



**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

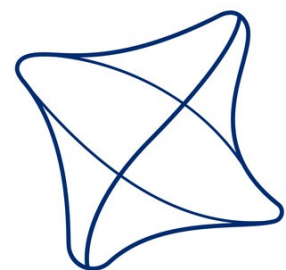
**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**



# **Energetické využití křídlatky metodou zplyňování: Produkce syntézního plynu pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla**

**HERBATHECA**  
o.z. registrovaný sociální podnik



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINĚ**

## Zplyňování biomasy křídlatky a hodnocení kvality syntézního plynu

V rámci výzkumu byla provedena série experimentů zaměřených na ověření procesu zplyňování pelet z křídlatky a na posouzení kvality vznikajícího syntézního plynu. Zkoušky byly realizovány na zplyňovací jednotce, která je součástí infrastruktury Centra ENET.

### Výzkum se zaměřil na:

- složení a energetickou hodnotu syntézního plynu,
- Složení a obsah dehtových látek,
- účinnost systému čištění syntézního plynu
- vyhodnocení hmotnostní a energetické bilance procesu.

Získané poznatky poskytují podklad pro posouzení vhodnosti křídlatky jako alternativního biopaliva využitelného v decentralizovaných energetických a vodíkových systémech.

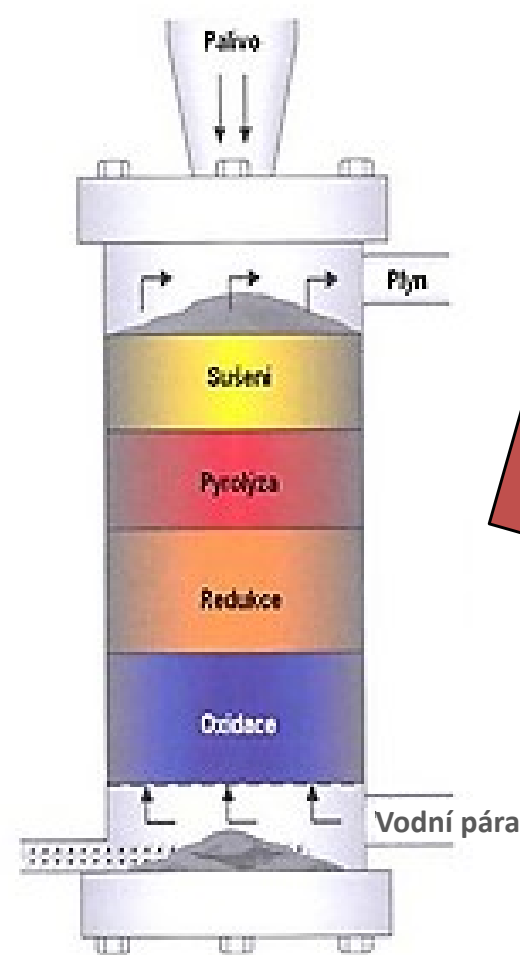


## Experimentální zařízení a nastavené parametry procesu

- Jedná se o protiproudý aloterní zplyňovač s pevným ložem.
- Ohřev reaktoru zajišťují tři hořáky s celkovým výkonem 50–100 kW.
- Zplyňovací medium: vodní pára přehřátá na 150–200 °C.
- Poměr pára/palivo = 1/1.
- Dávkování paliva: 20 kg/h.
- Zplyňovací teplota udržována na 950 °C.

### Základní parametry technologie

Položka	Jednotka	Hodnota
Množství zpracovávaného paliva	kg/h	20–60
Povolený obsah vlhkosti v palivu	% <sub>mass</sub>	max. 20
Výkon hořáku	kW	50–100
Pára – teplota	°C	200
Pára – tlak	bar	4.5
Pára – průtok	kg/h	4,1 – 8,1
Chladicí voda – průtok	l/min	16–25
Chladicí voda – chladicí výkon	kW	25–50



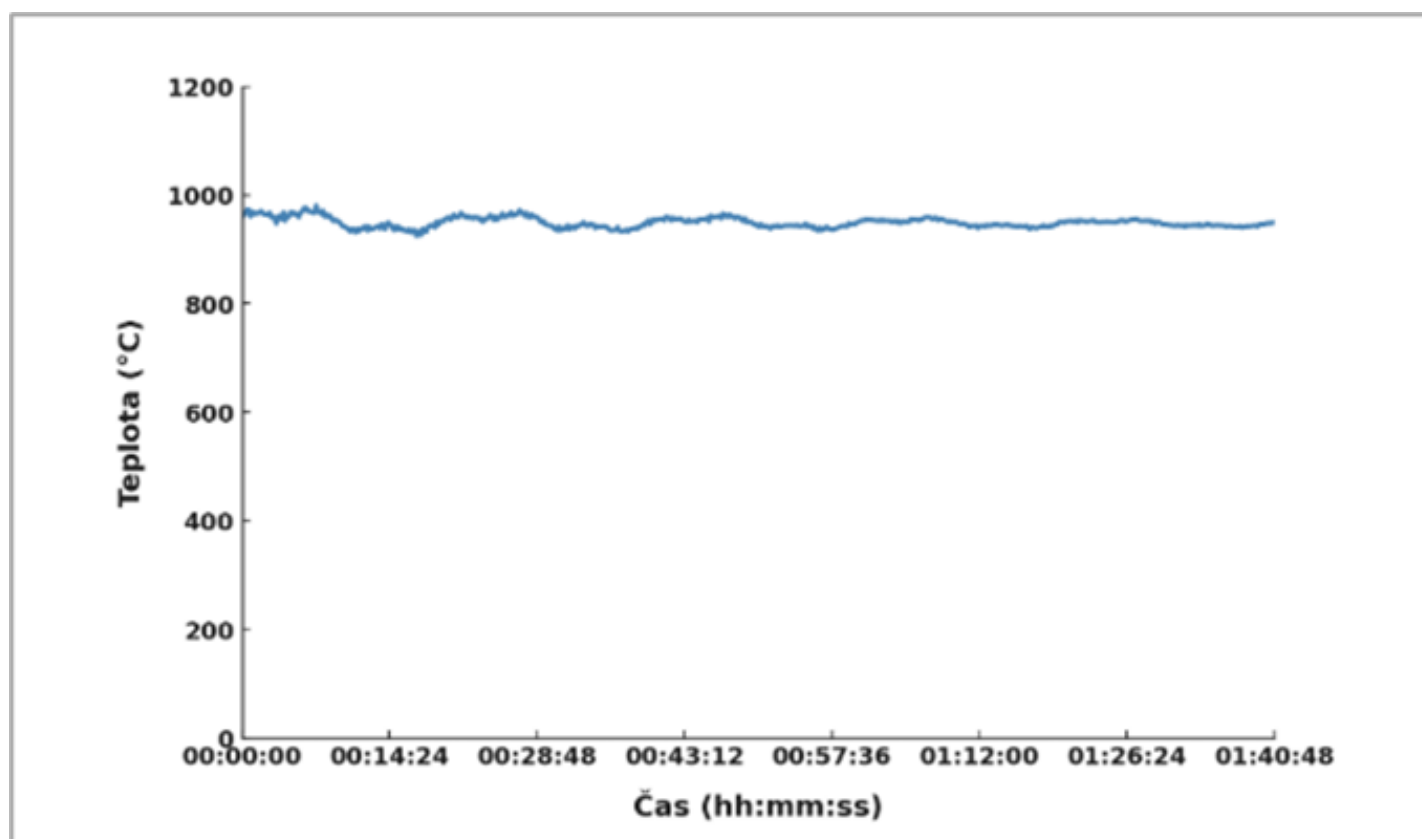
Reaktor s pevným  
ložem:  
protiproudý.



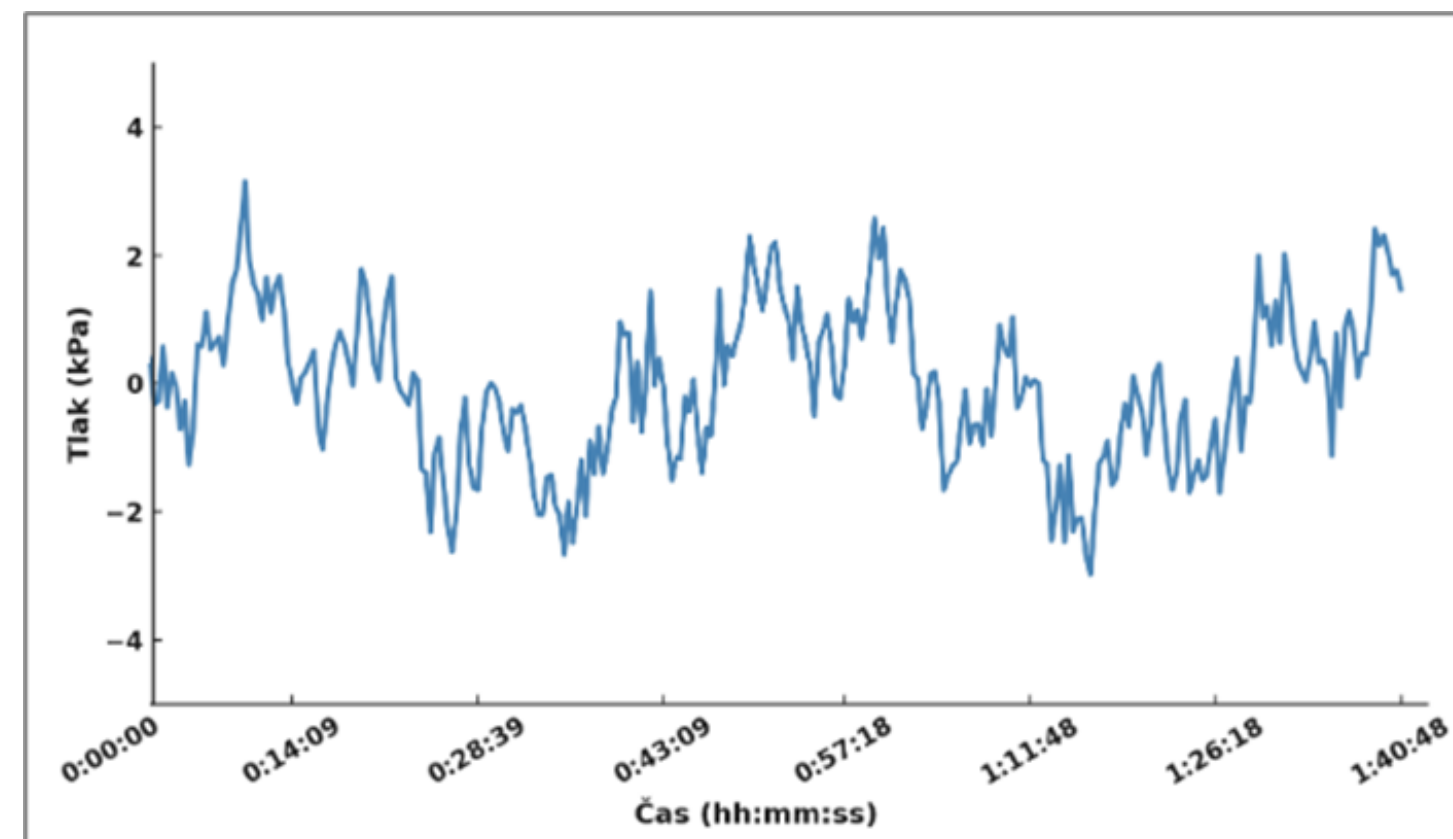
## Stabilita procesu při experimentech

## Průběh teploty a tlaku během zplyňování

- Po úvodní fázi náběhu se systém ustálil na teplotě okolo 950 °C.
- Teplota byla po celou dobu experimentu stabilní, s drobnými oscilacemi při dávkování paliva.
- Tlak v reaktoru se pohyboval v rozmezí  $-4$  až  $+4$  kPa, bez výrazných výkyvů či nestability.
- Naměřené hodnoty potvrzují rovnovážný a stabilní průběh procesu po dosažení provozního režimu.



Teplota v reaktoru v průběhu zplyňování



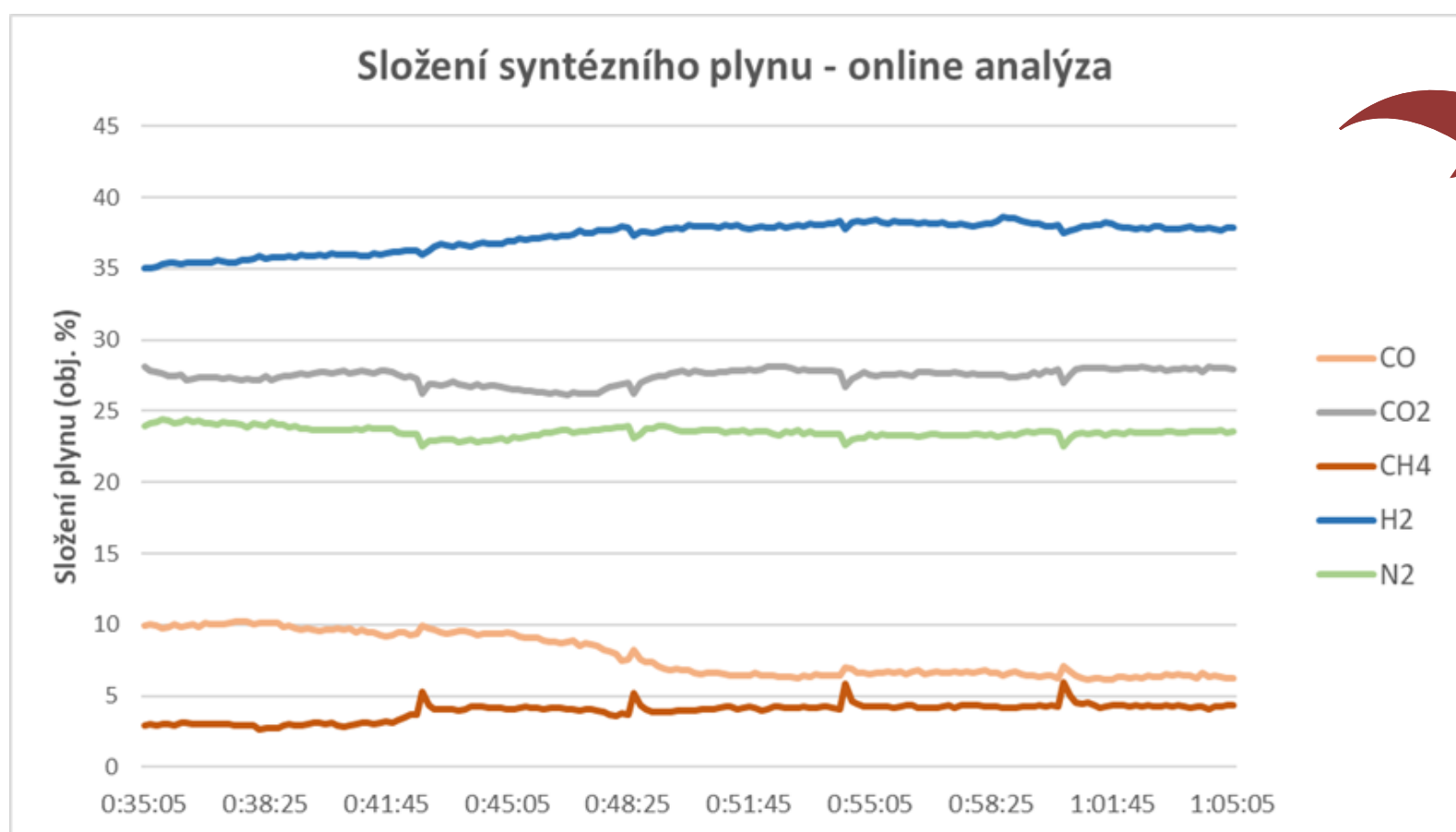
Tlak v reaktoru v průběhu zplyňování

Slovensko – Česko

# Složení syntézního plynu

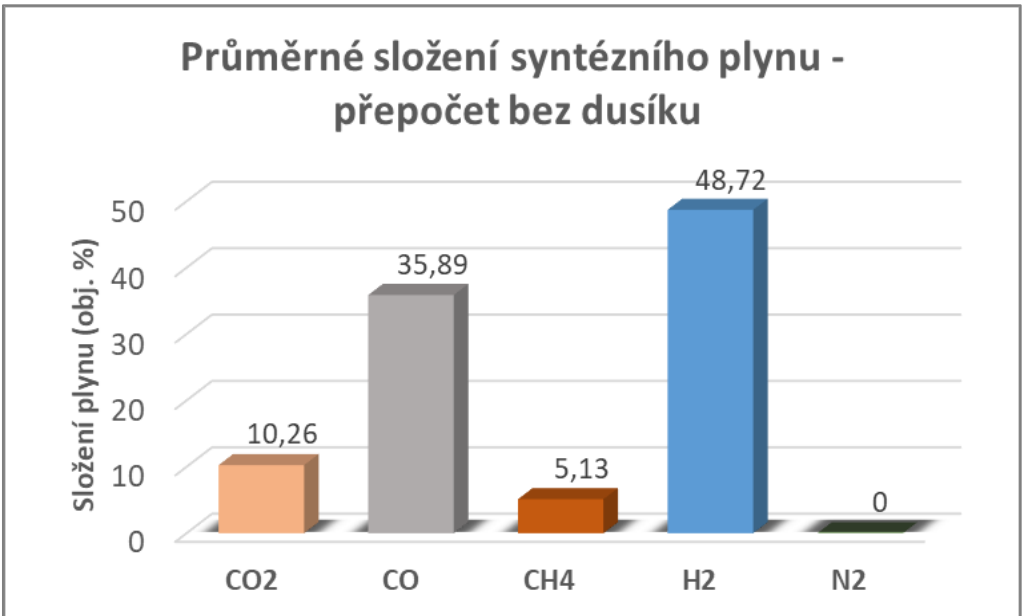
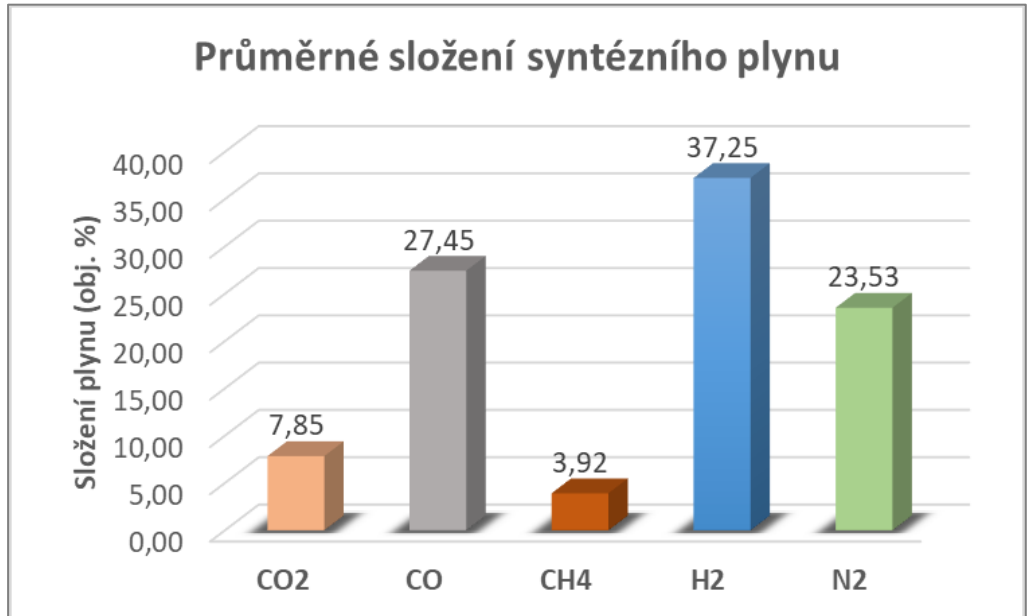
Po ustálení provozu bylo dosaženo stabilního složení syntézního plynu s převahou vodíku a oxidu uhličitého. Krátkodobé odchylky v průběhu experimentu odpovídaly běžným změnám dávkování paliva a přívodu páry.

- Výsledky on-line i laboratorní analýzy GC/MS prokázaly dobrou shodu.
- Plyn obsahoval především H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>, s podílem inertního N<sub>2</sub>.
- Výsledný plyn je vhodný pro kogenerační výrobu energie i další chemické využití (např. syntéza paliv nebo separace vodíku).



GC/MS

Přepočet bez N<sub>2</sub>



## Energetické parametry syntézního plynu

Energetické parametry byly stanoveny výpočtem dle ISO 6976 z objemových podílů hlavních hořlavých složek (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>).

Syntézní plyn (včetně dusíku)

Výhřevnost: 6,33 MJ/m<sup>3</sup>

Spalné teplo: 7,52 MJ/m<sup>3</sup>

Syntézní plyn (bez dusíku)

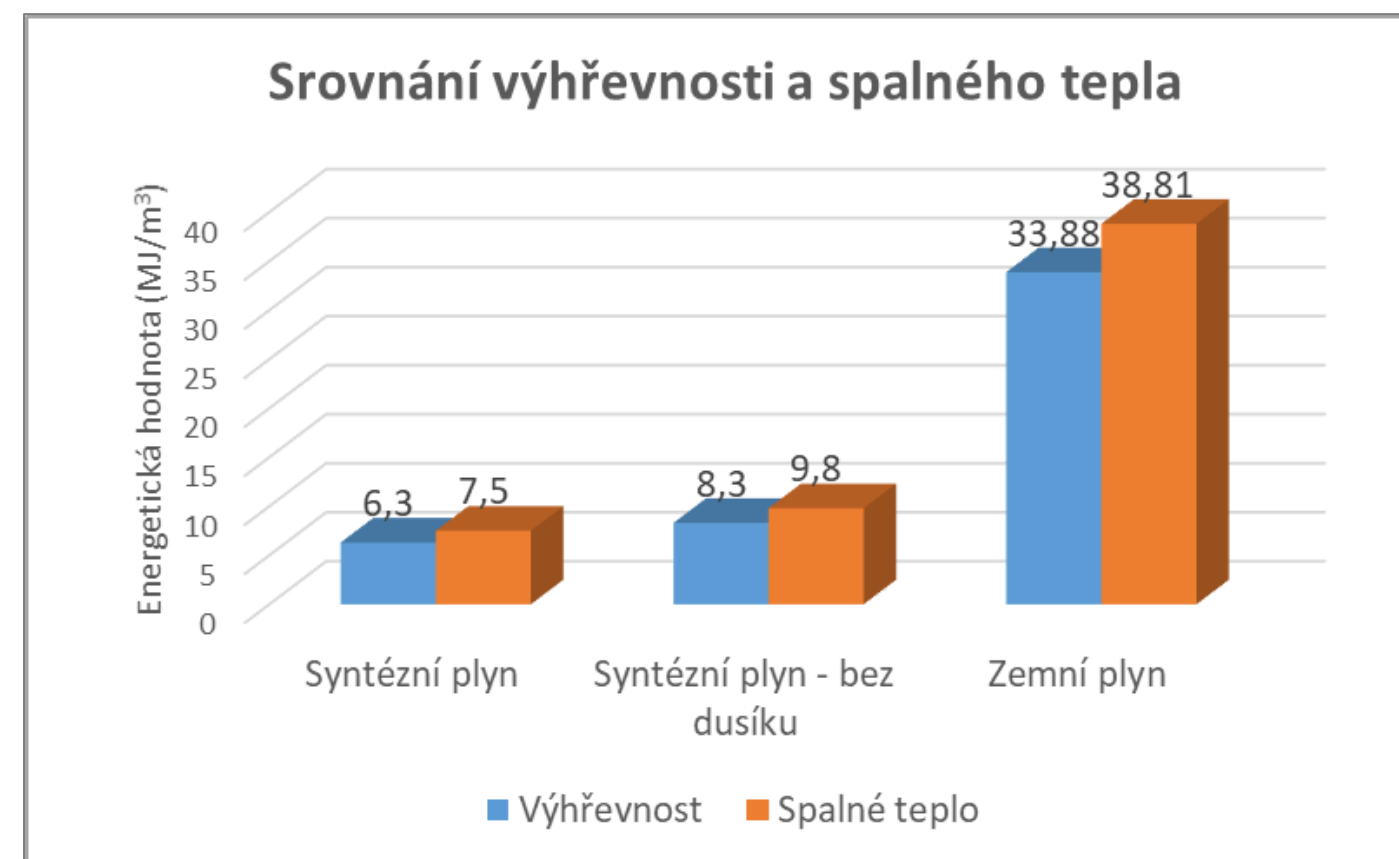
Výhřevnost: 8,31 MJ/m<sup>3</sup>

Spalné teplo: 9,83 MJ/m<sup>3</sup>

Pro srovnání:

Zemní plyn má výhřevnost **33,88 MJ/m<sup>3</sup>**  
a spalné teplo **38,81 MJ/m<sup>3</sup>**.

- Nižší energetická hodnota syntézního plynu je způsobena vyšším podílem inertních složek (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) a nižším obsahem uhlovodíkových komponent.
- I přes nižší výhřevnost se jedná o plyn střední výhřevnosti, který je energeticky dobře využitelný, například v kogeneračních jednotkách pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, nebo jako palivo pro spalovací turbíny či plynové motory.

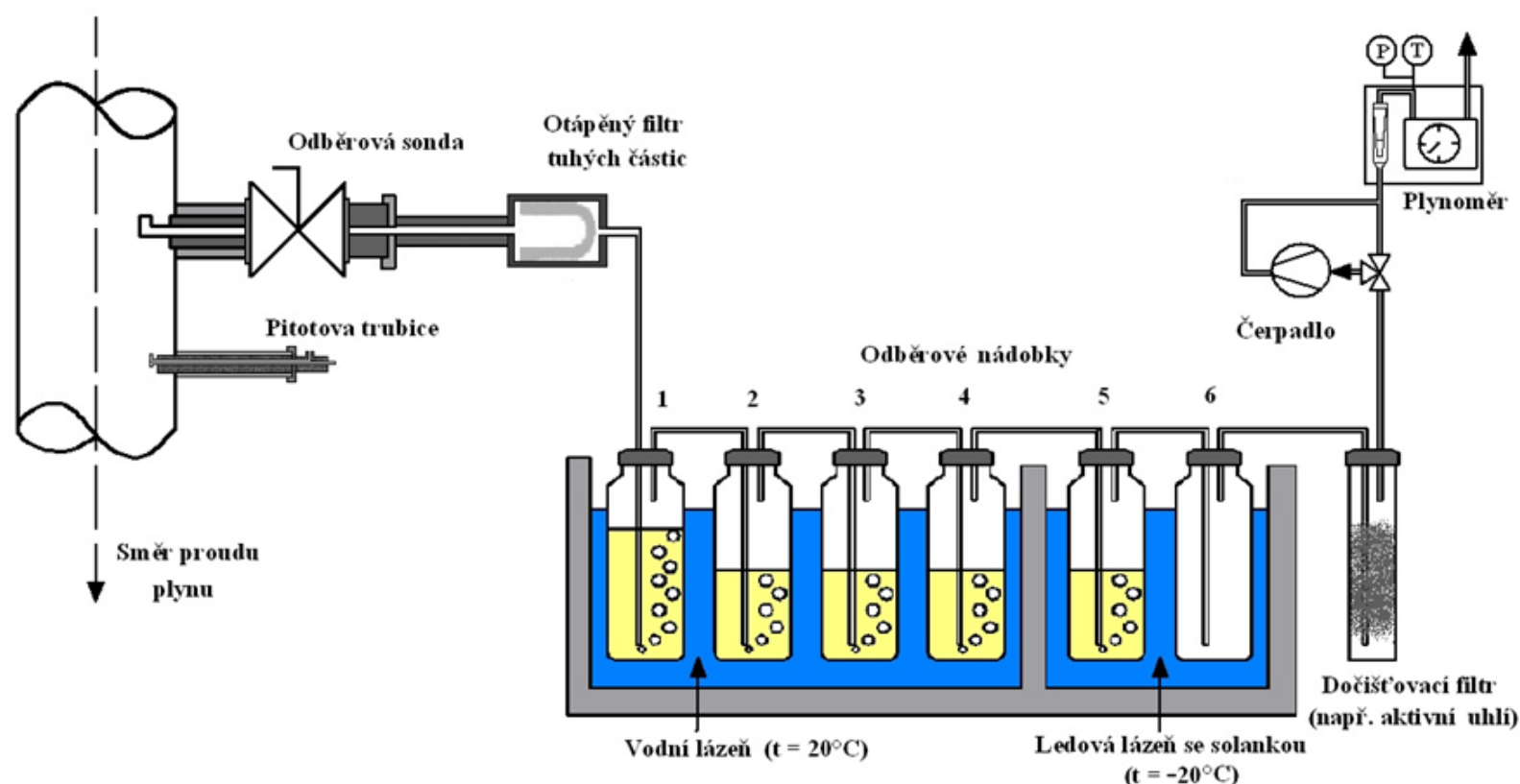


## Obsah a složení dehtu v syntézním plynu

Stanovení obsahu dehtu provedeno dle metodiky Tar Protocol (CEN/TS 15439). Odběr vzorku byl prováděn bezprostředně za zplyňovacím reaktorem – pro zajištění reprezentativního složení.

### Aparatura zahrnovala:

- vyhřívaný filtr pro zachycení pevných částic,
- sérii promývacích nádob s isopropylalkoholem v chladicí lázni,
- filtr s aktivním uhlím pro zachycení těkavých látek.



Celkové množství dehtu stanoveno gravimetricky ( $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{n}}$ ).  
Chemické složení bylo určeno metodou GC/MS z extraktu.

### Hlavní zjištěné složky dehtové frakce:

- fenoly ( $\approx 416 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{n}}$ )
- methylofenoly, naftaleny, dibenzofurany
- fluoreny a polyaromatické uhlovodíky (PAH)

Celkový obsah dehtů:  $\approx 2\,799 \text{ mg}/\text{m}^3_{\text{n}}$



**Hodnota odpovídající běžnému rozmezí v  
syntézním plynu z biomasy.**

## Účinnost odstranění dehtů ze syntézního plynu

Vyhodnocení provedeno opakovaným odběrem dle Tar Protocol (CEN/TS 15439):

- 1. odběr: za zplyňovacím reaktorem (před čištěním)
- 2. odběr: za směšovacím chladičem a absorpční kolonou (po čištění)

Čisticí systém tvořily dvě části:

- směšovací (souproudý) chladič – rychlé ochlazení plynu vodní mlhou (sprchou)
- absorpční kolona s Raschigovými kroužky – absorpce dehtových par v kapalině

Vyčištěný syntézní plyn splňuje požadavky pro použití v plynových motorech a kogeneračních jednotkách. Systém kombinující ochlazení a absorpci prokázal vysokou stabilitu a reprodukovatelnost při kontinuálním provozu.

Naměřené koncentrace dehtů:

Před čištěním: 2 799 mg/m<sup>3</sup><sub>n</sub>



Po čištění: 83 mg/m<sup>3</sup><sub>n</sub>

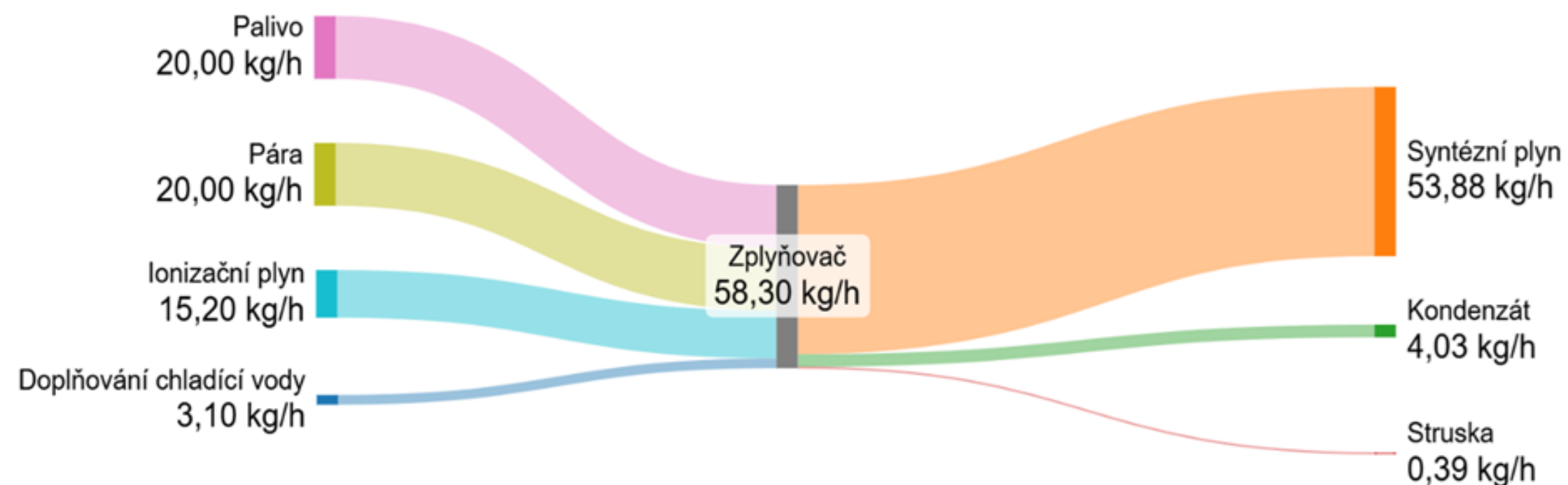


Celková účinnost odstranění dehtů:  
> 97 %

## Hmotnostní bilance procesu

Materiálová bilance dokumentuje rozložení hlavních hmotnostních toků při alotermním zplyňování pelet z křídlatky. Celková bilance vstupů a výstupů vykazuje velmi dobrou uzavřenost a potvrzuje efektivní přeměnu biomasy na plynné produkty.

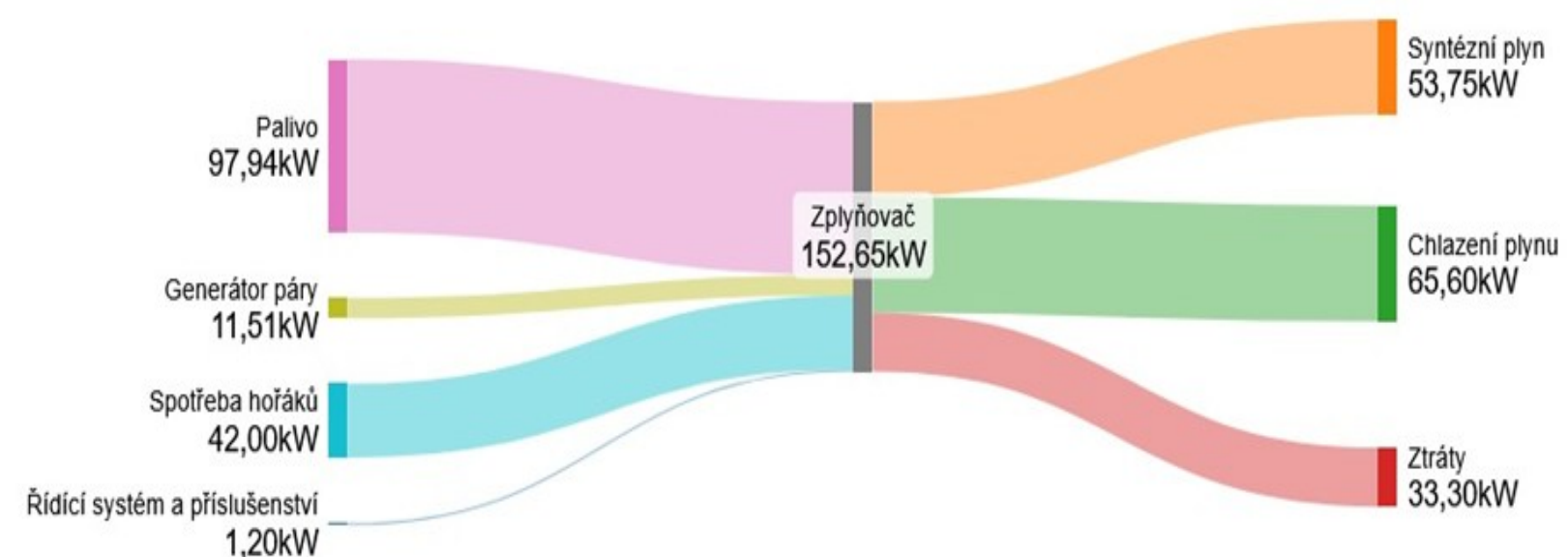
- Hlavní výstup tvoří syntézní plyn, představující přibližně **97 %** vstupní hmoty.
- Nízký podíl kondenzátu a strusky dokládá čistý a stabilní průběh reakce.
- Rovnovážné nastavení procesu umožnilo dosažení ustáleného provozního režimu bez výrazných ztrát.
- Výsledky bilance potvrzují správné nastavení parametrů a funkční stabilitu zplyňovací jednotky.



## Energetická bilance procesu

Energetická bilance znázorňuje rozložení hlavních energetických toků v procesu aloterního zplyňování pelet z křídlatky. Vyhodnocení prokázalo dobrou uzavřenost bilance a vysokou účinnost přeměny vstupní energie na chemickou energii syntézního plynu.

- Celkový vstup energie: **152,65 kWh**
- Hlavní výstup – chemická energie syntézního plynu: **53,75 kWh**
- Energie odváděná chladicí vodou: **65,60 kWh**
- Tepelné ztráty systému: **33,3 kWh**
- Přibližně jedna třetina přivedené energie byly přeměněny na využitelný plyn.
- Odpadní teplo z chlazení představuje potenciál pro energetickou rekuperaci.



## Chemické složení strusky

Struska vzniklá po zplyňování křídlatky byla analyzována metodou rentgenové fluorescenční spektrometrie (XRF). Cílem bylo určit hlavní oxidační složky a posoudit chemický charakter anorganického zbytku. Výsledky jsou vyjádřeny v hmotnostních % oxidů.

### Hlavní výsledky analýzy:

- **SiO<sub>2</sub> – 58,4 %** → dominantní složka, silikátová matrice
- **K<sub>2</sub>O – 15,3 %, CaO – 10,2 %, MgO – 4,1 %, Na<sub>2</sub>O – 1,2 %** → přítomnost alkalických a zásaditých oxidů
- **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,9 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 2,5 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,8 %**
- Stopové množství **TiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, MnO**

### Závěry:

- Struska má silikátově-alkalický charakter, typický pro bylinné a travní biomasy.
- Vyšší obsah alkalických oxidů může vést ke snížení teploty tavení a spékání strusky.
- Zásadité složky (CaO, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) přispívají k tvorbě stabilních minerálních fází.
- Celkově se jedná chemicky stabilní a neagresivní materiál s potenciálem využití jako minerální příměs ve stavebních kompozitech nebo zásypových směsích.



Slovensko – Česko

# Návrh kombinované výroby elektrické energie a tepla

Způsob zplyňování zásadně ovlivňuje energetickou bilanci celého systému i výslednou účinnost následné kogenerace. Zatímco aloterní proces vyžaduje externí dodávku tepla, autoterní zplyňování využívá část paliva pro vlastní ohřev a je energeticky soběstačné.

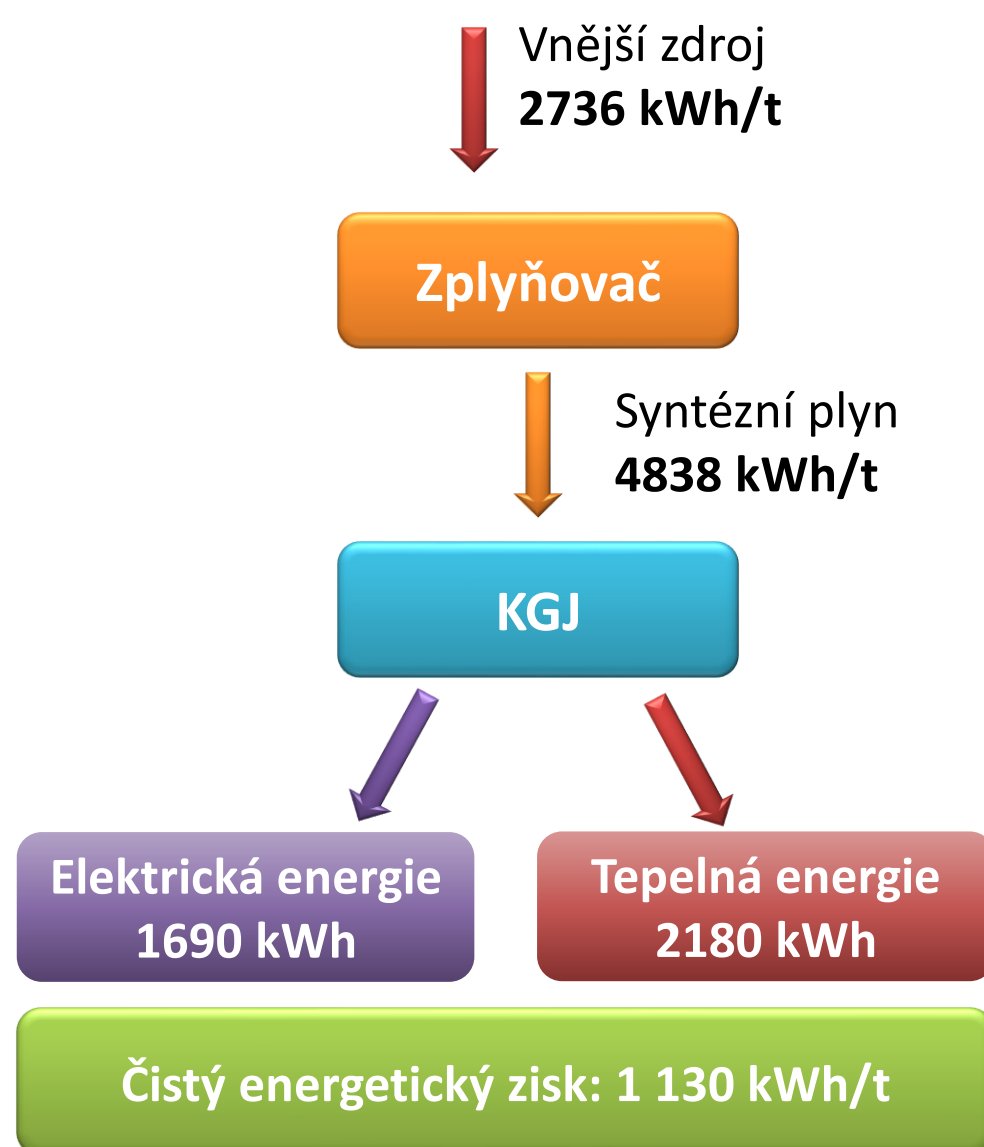
## Aloterní zplyňování (konfigurace ENET)

- ❑ Vzniklý syntézní plyn je vysoké kvality, vhodný pro kogeneraci i chemické využití
- ❑ Hlavní nevýhodou je vysoká energetická náročnost externího ohřevu, která snižuje čistý energetický zisk systému

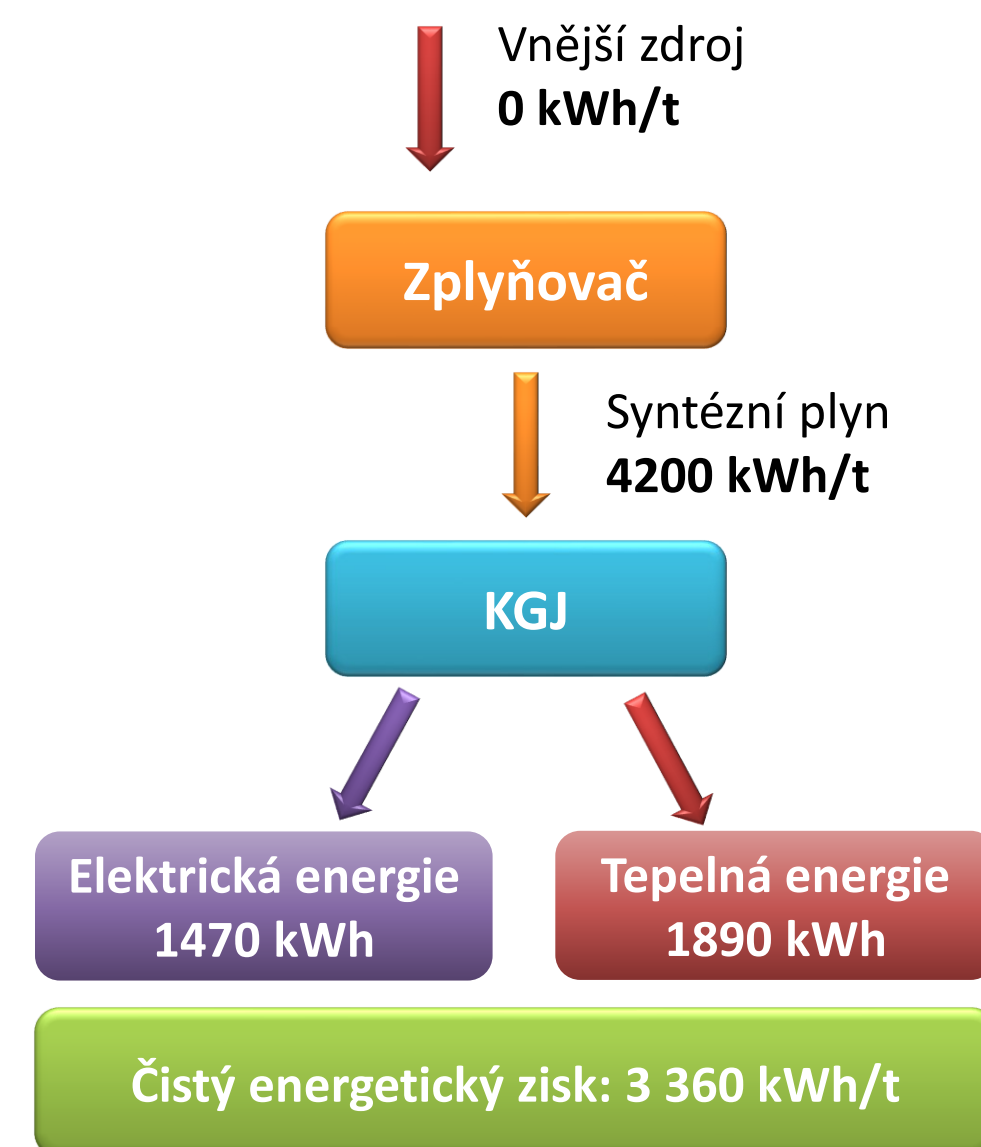
## Autoterní zplyňování (teoretická konfigurace)

- ❑ Vzniklý plyn má mírně nižší výhřevnost (nižší obsah H<sub>2</sub>), ale celkově vyšší energetickou účinnost systému
- ❑ Technologie je vhodná pro kogenerační výrobu elektřiny a tepla, zejména v decentralizovaných nebo komunitních aplikacích

### Aloterní zplyňování (konfigurace ENET)



### Autoterní zplyňování (teoretická konfigurace)



## Závěry

- Proces aloterního zplyňování pelet z křídlatky prokázal stabilní a rovnovážný průběh při teplotě kolem 950 °C, bez výraznějších tlakových výkyvů během experimentu.
- Výsledný syntézní plyn vykazoval stabilní složení s převahou vodíku a oxidu uhelnatého, přičemž jeho výhřevnost dosahovala 8,3 MJ/m<sup>3</sup>, což odpovídá plynu střední energetické úrovně.
- Obsah dehtových látek byl po čištění výrazně snížen z původních 2 800 mg/m<sup>3</sup><sub>n</sub> na 83 mg/m<sup>3</sup><sub>n</sub>, účinnost odstranění vyšší než 97 %.
- Hmotnostní bilance potvrdila, že hlavním produktem procesu byl syntézní plyn tvořící přibližně 97 % hmotnostního výstupu.
- Energetické vyhodnocení ukázalo, že zhruba jedna třetina celkové přivedené energie byly přeměněny na chemickou energii plynu, což dokládá vysokou účinnost procesu.
- Vzniklá struska měla silikátově-alkalický charakter a prokázala chemickou stabilitu i potenciál pro materiálové využití.
- Navržené řešení kombinované výroby elektřiny a tepla ukázalo, že zatímco aloterní zplyňování zajišťuje vyšší kvalitu plynu, autoterní varianta dosahuje vyšší celkové energetické účinnosti a představuje vhodnější variantu pro energetické využití křídlatky.

**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**



**Děkuji za pozornost**



**Interreg**



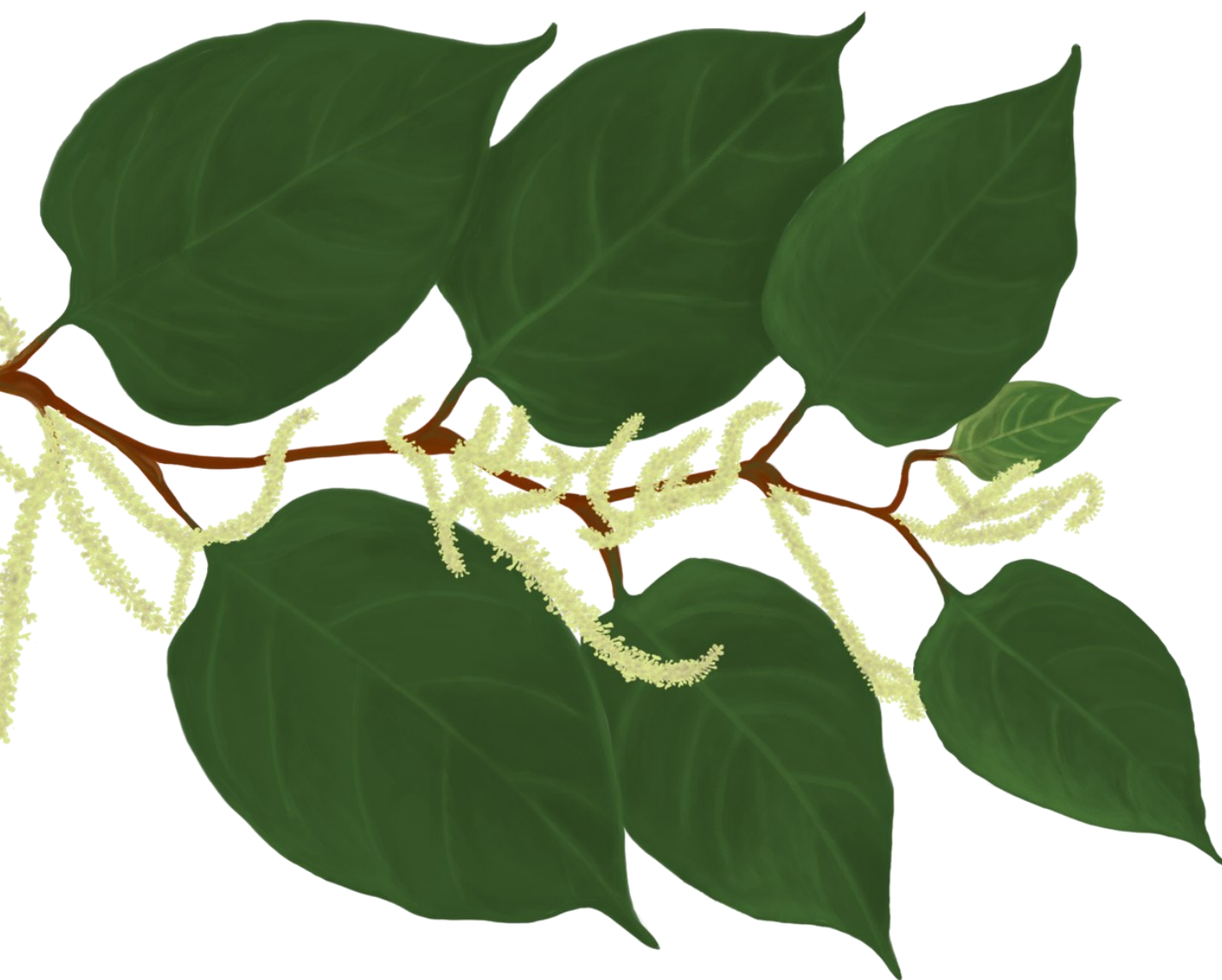
**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

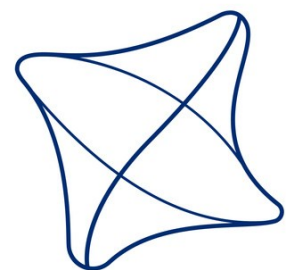
**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**



# **Termochemická konverze: Efektivní využití energie z alternativních paliv a biomasy**

**HERBATHECA**  
o.z. registrovaný sociálny podnik



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE**

## Slovensko – Česko

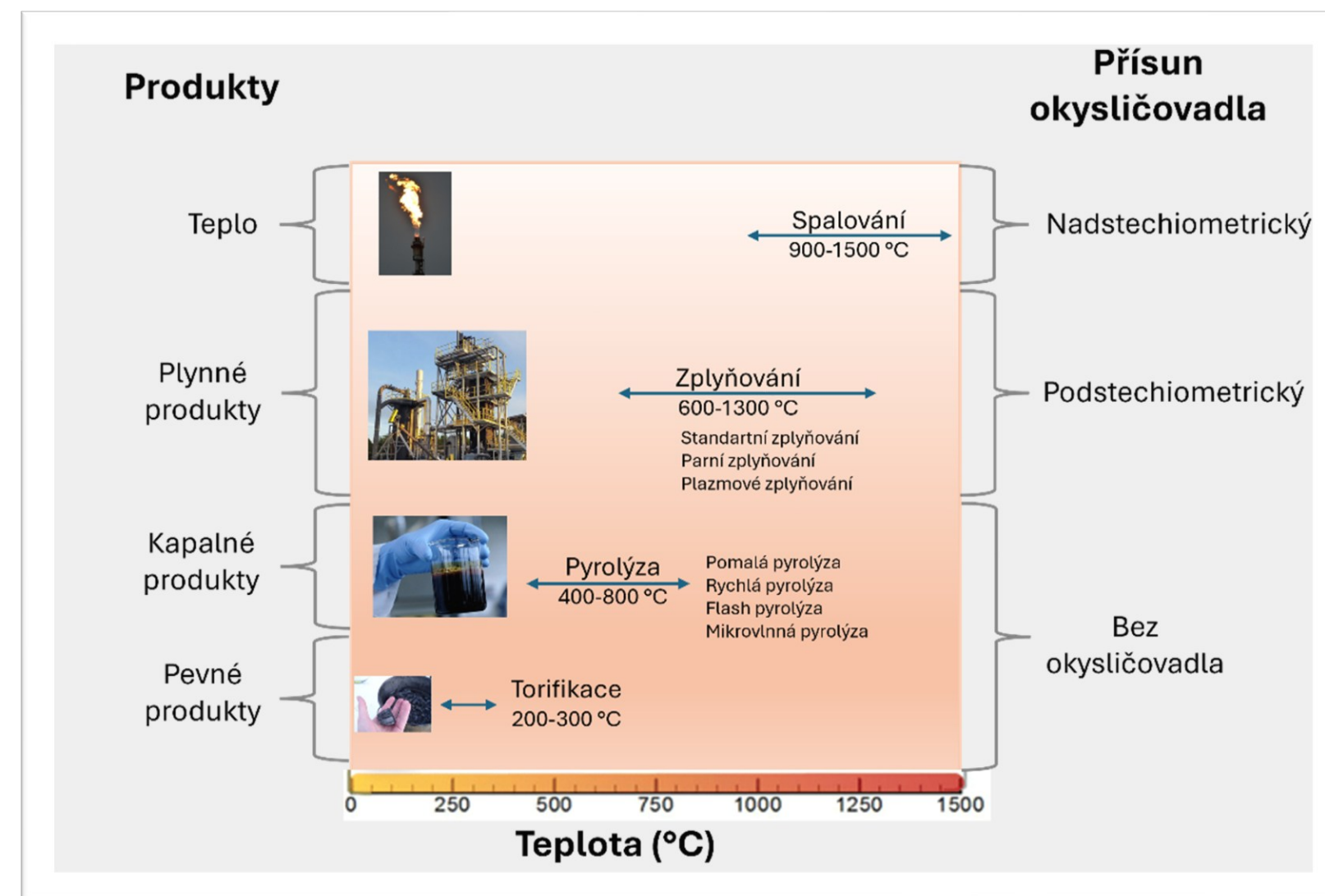
# Přehled termochemických procesů

### Základní metody přeměny pevných paliv

- Spalování – úplná oxidace za přítomnosti kyslíku, produkce tepla.
- Pyrolýza – termický rozklad bez přístupu kyslíku, produkce pyrolýzního oleje, plynu a tuhého zbytku.
- Zplyňování – parciální oxidace s tvorbou syntézního plynu ( $H_2$ ,  $CO$ ), vhodného pro energetické i chemické využití.

### Porovnání klíčových parametrů

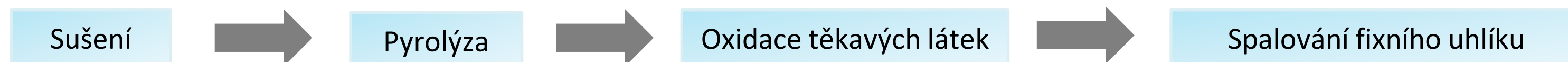
Proces	Teplota	Medium	Hl. produkty
Spalování	900–1500 °C	Vzduch/ $O_2$	Teplo
Pyrolýza	400–800 °C	Bez kyslíku	Pyrolýzní olej, plyn, biochar
Zplyňování	600–1300 °C	Pára, $O_2$ , vzduch	Syntézní plyn ( $H_2$ , $CO$ )



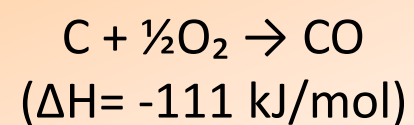
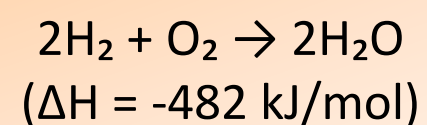
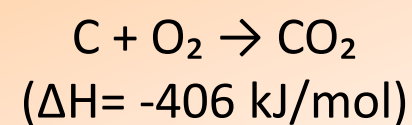
## Slovensko – Česko

## Spalování – proces, technologie a provozní výzvy

## Fáze spalování tuhých paliv



## Typické reakce při spalování

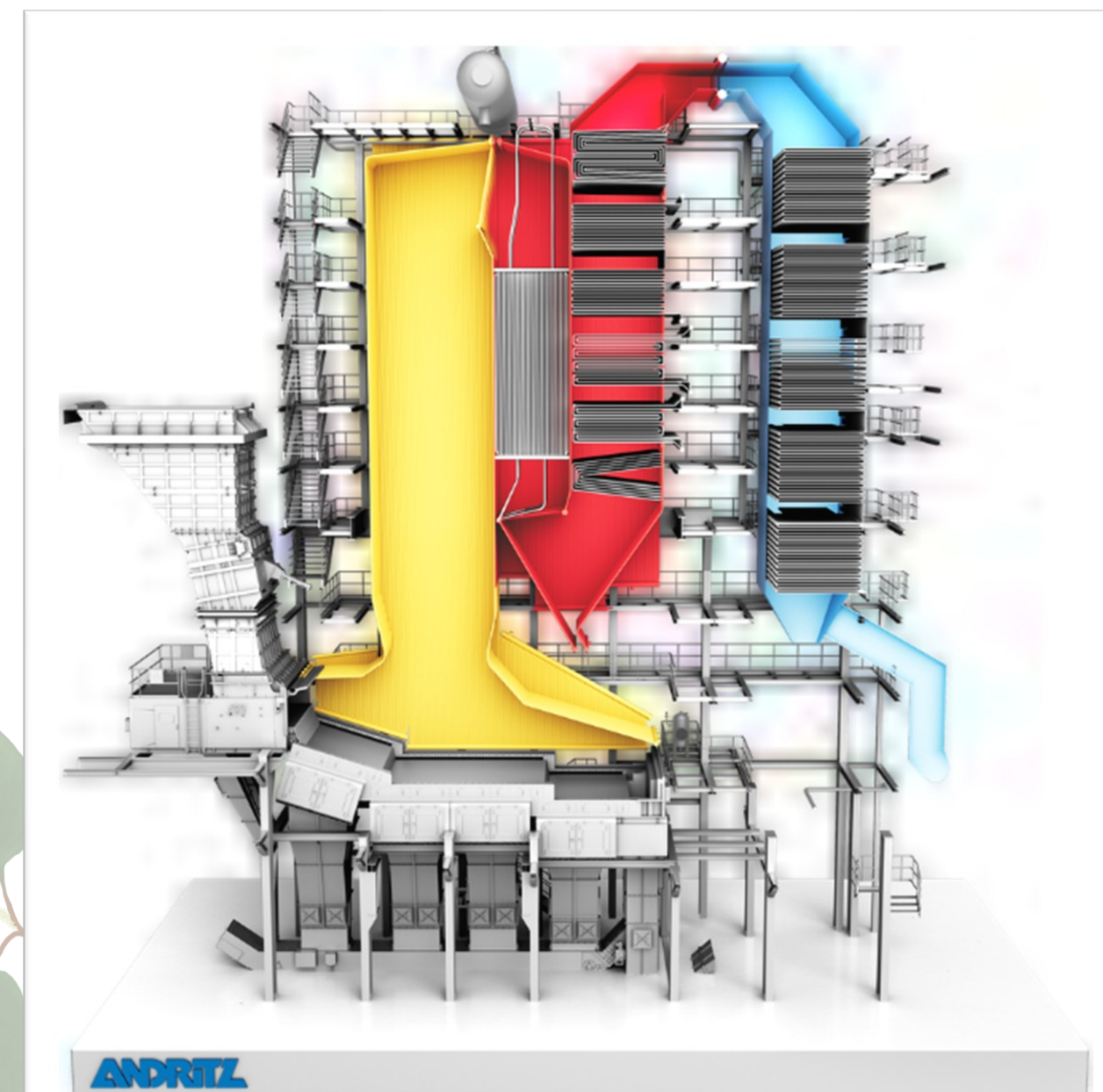


## Technologie spalování

- Roštové kotle – spolehlivé, vhodné i pro heterogenní paliva.
- Fluidní lože (BFB, CFB) – nižší teploty, lepší promíchání, nižší emise  $\text{NO}_x$ .
- Rotační pece – pro sypká nebo problematická paliva.

## Ekologická a technologická opatření

- Odsiřování, filtrace spalin, mokré vypírky – snižování emisí.
- Oxyfuel spalování – možnost následného zachycení  $\text{CO}_2$ .



## Roštové kotle

- Roštové kotle patří mezi tradiční a nejrozšířenější technologie spalování tuhých paliv.
- Principem jejich činnosti je postupný posun paliva po roštu, kde probíhají jednotlivé fáze spalovacího procesu
- Hlavní výhodou roštových kotlů je jejich schopnost spalovat širokou škálu paliv, včetně paliv s vyšším obsahem vlhkosti a popela

### Pevný rošt

- Tradiční konstrukce kotle, kde palivo leží přímo na pevném roštu.
- Často používán v kotlích na tuhá paliva.
- Nízké náklady na údržbu a jednoduchá konstrukce.
- Vyžaduje časté čištění pro zajištění optimálního spalování.

### Mechanický pohyblivý rošt

- Rošt je vybaven mechanickým systémem pro pohyb jednotlivých částí.
- Zajišťuje efektivnější prohořívání paliva a usnadňuje odstraňování popela.
- Vhodný pro kotle, které spalují paliva s různými vlastnostmi.
- Méně časté čištění než u pevného roštu.

### Šikmý rošt

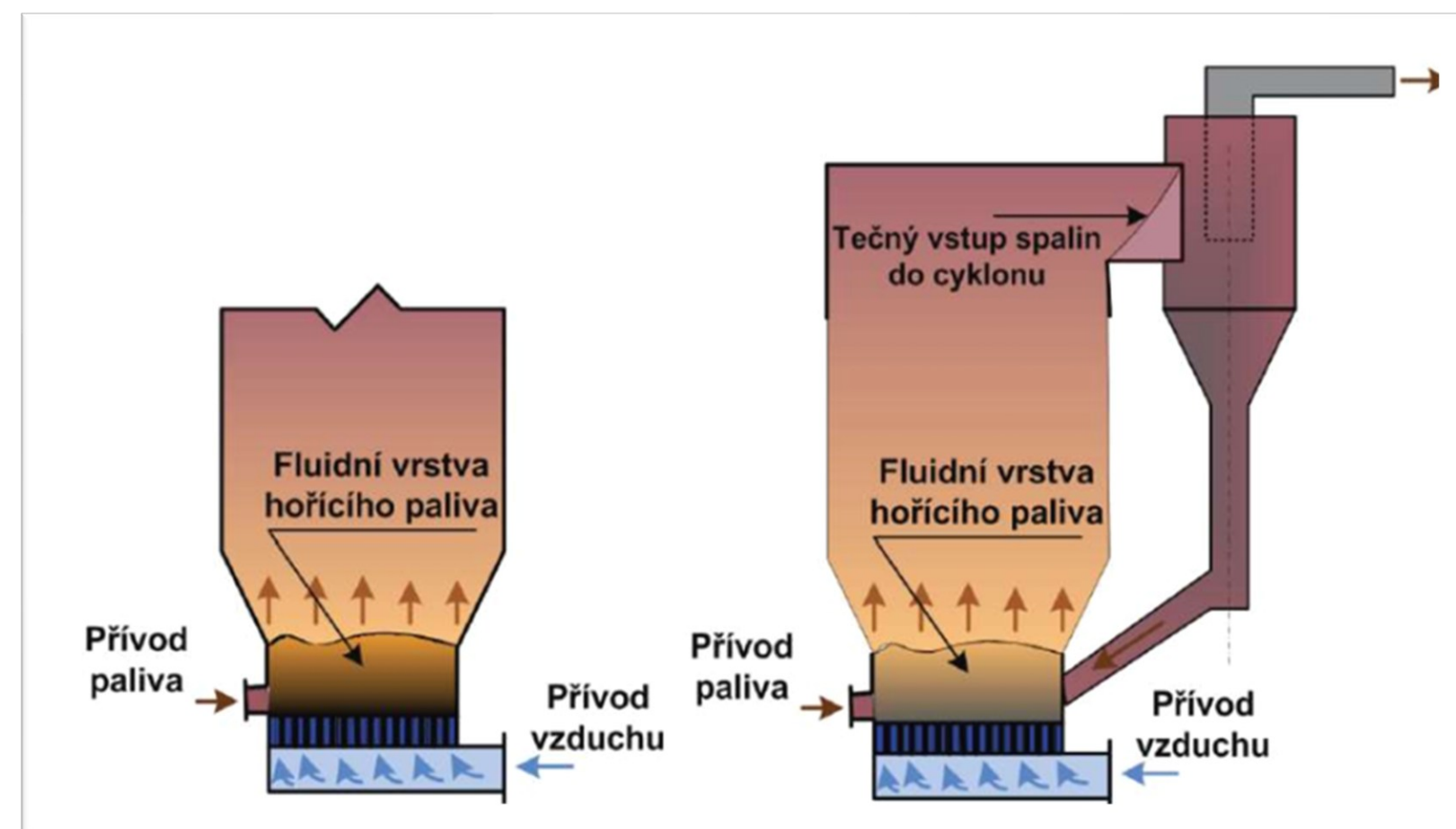
- Rošt je umístěn pod úhlem, což umožňuje skluz paliva směrem k popelníku.
- Zlepšuje pohyb paliva a podporuje efektivní spalování.
- Vhodný pro kotle s automatickým podáváním paliva.
- Snižuje tvorbu popela a zlepšuje účinnost kotle.

## Kotle s fluidní vrstvou

- Nejmodernější technologii spalování tuhých paliv.
- Umožňuje dosáhnout vysoké účinnosti a nízké produkce emisí.
- Tento typ kotlů pracuje na principu fluidace, kdy jsou jemné částice paliva nadnášeny proudem vzduchu a dochází k jejich intenzivnímu promíchání.
- Tento proces zajišťuje rovnoměrné rozložení teploty, vysokou rychlost reakce a optimální přenos tepla.

## Typy fluidních kotlů:

- Bublající fluidní vrstva (BFB) – Vzduch proudí pod nízkým tlakem a nadnáší palivo, čímž dochází ke stabilnímu a kontrolovanému spalování.
- Cirkulující fluidní vrstva (CFB) – Umožňuje vyšší rychlost proudění částic a lepší využití paliva, přičemž popel je recirkulován zpět do spalovacího prostoru pro maximální účinnost.



## Rotační pece

- Rotační pec je válcová nádoba nakloněná pod mírným úhlem, která se otáčí kolem své osy.
- Využívá se pro tepelnou úpravu sypkých nebo pastovitých materiálů – např. při výrobě cementu, vápna nebo při spalování odpadů.
- Délka pece může být desítky metrů, průměr často přesahuje 2–5 m.
- Teplo je do pece přiváděno zpravidla spalováním paliva na vstupní straně, procesy probíhají ve vysokoteplotním prostředí (až 1450 °C).
- Materiál se v peci pohybuje díky rotaci a sklonu, čímž se zajišťuje rovnoměrné zahřívání.
- Typickým příkladem jsou cementářské rotační pece, které pracují v souvislém režimu.



# Pyrolýza – princip, typy a speciální metody

## Definice a charakteristika procesu

- Termochemický rozklad organických materiálů bez přístupu kyslíku.
- Probíhá v teplotním rozmezí 300–800 °C.
- Výstupem jsou tři frakce: pyrolýzní olej, syntézní plyn a tuhý zbytek.

### Hlavní typy pyrolýzy

Pomalá pyrolýza

Rychlá pyrolýza

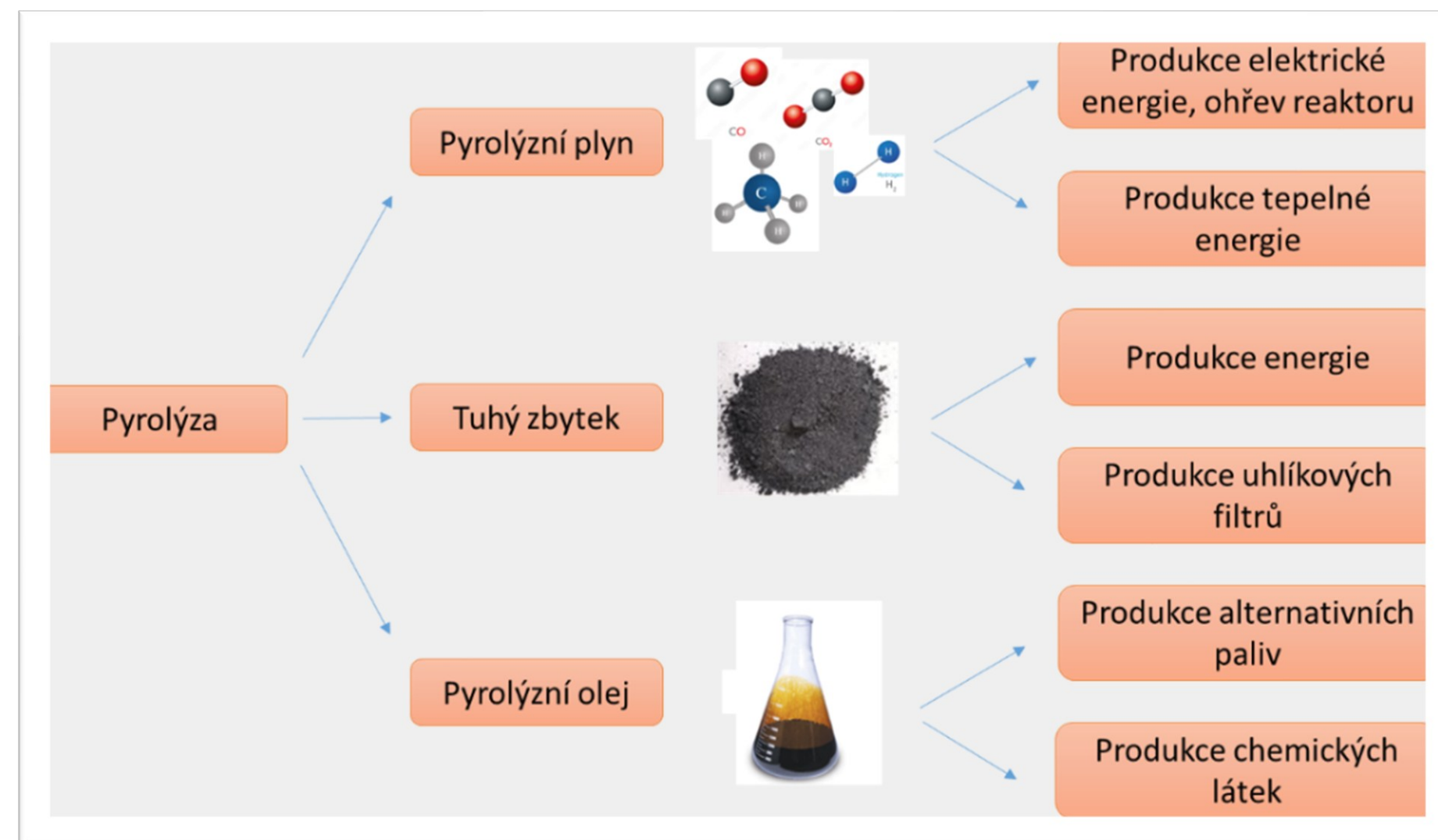
Flash pyrolýza

### Speciální typy pyrolýzy

Vakuová pyrolýza

Plazmová pyrolýza

Mikrovlnná pyrolýza

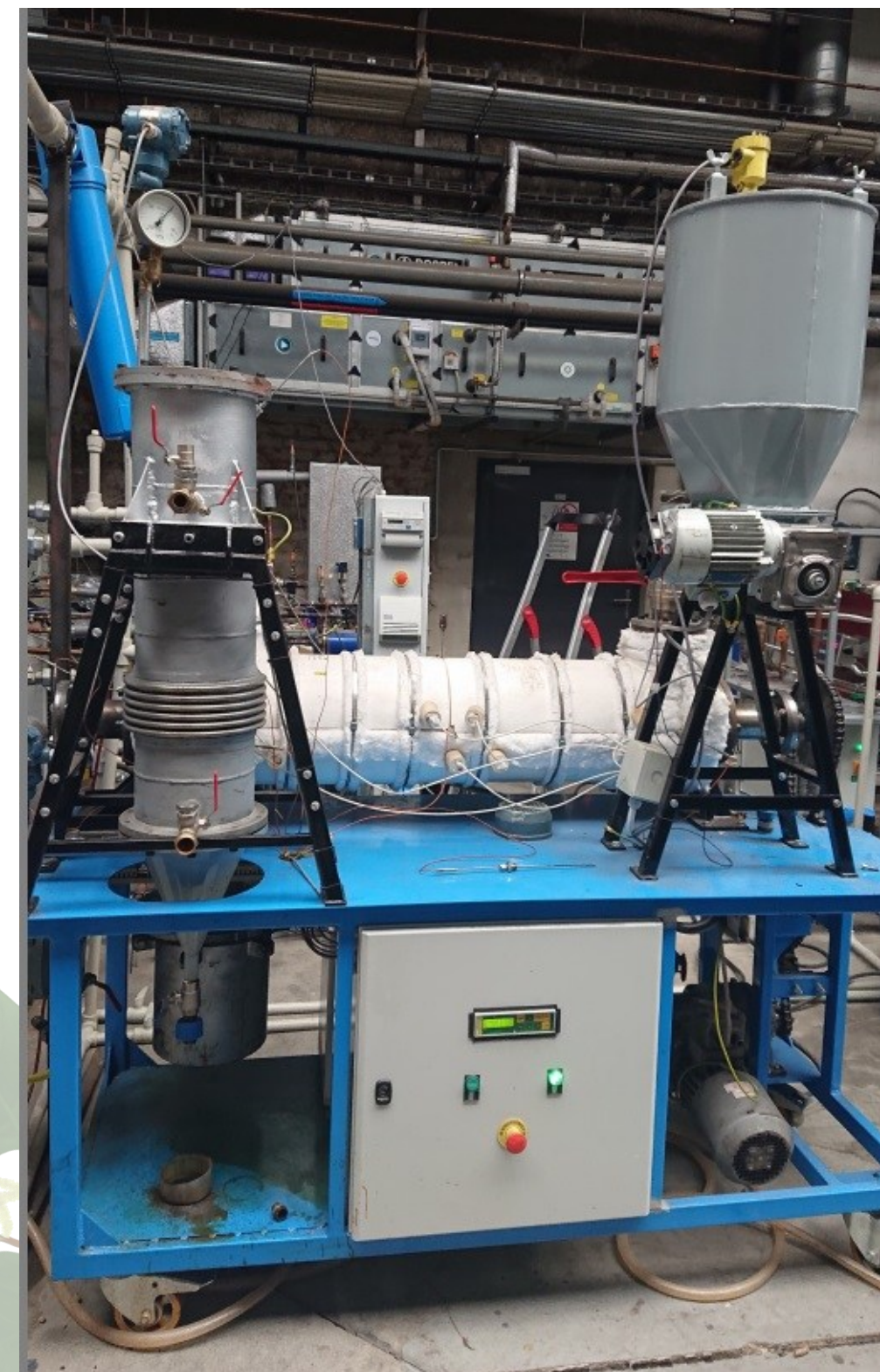
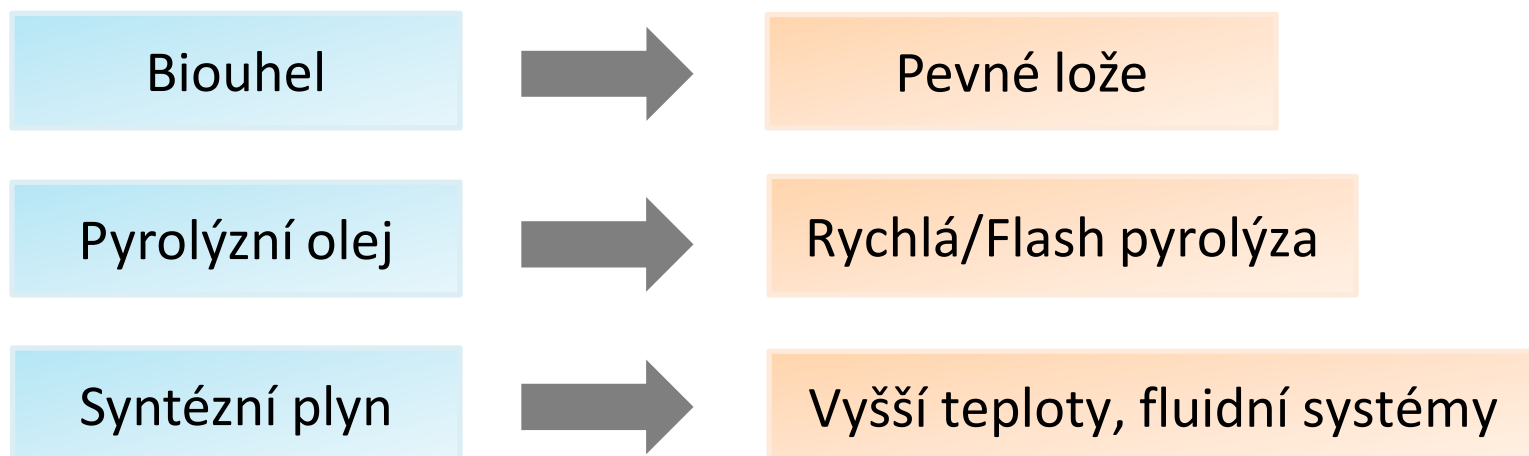


## Pyrolýzní reaktory – typy a konstrukční řešení

### Základní typy pyrolýzních reaktorů

- Pevné lože (Fixed-bed pyrolyzer) – jednoduché zařízení s dlouhou dobou zdržení, vhodné pro produkci biouhlu (biochar).
- Bublající fluidní lože (Bubbling fluidized-bed) – rovnoměrný ohřev, dobré promíchávání, vysoká výtěžnost kapalné fáze.
- Cirkulační fluidní lože (CFB) – vysoká účinnost přenosu tepla, kontinuální provoz, ideální pro rychlou pyrolýzu.
- Reaktor pro ultrarychlou pyrolýzu (Flash pyrolýza) – extrémně krátká doba zdržení (ms), výtěžnost oleje až 90 %, intenzivní ohřev.

### Výběr reaktoru závisí na cílovém produktu



## Zplyňování – princip, reakce a syntézní plyn

## Zplyňování – definice a odlišení od pyrolýzy

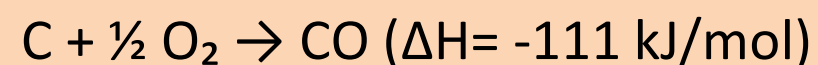
- Zplyňování je termochemická konverze pevných nebo kapalných paliv na směs hořlavých plynů (syntézní plyn) pomocí podstechiometrického množství okysličovadla (vzduch, O<sub>2</sub>, vodní pára).
- Na rozdíl od pyrolýzy zahrnuje částečnou oxidaci, přičemž výsledkem je energeticky využitelný syntézní plyn.
- Probíhá při teplotách 700–1400 °C.

## Fáze zplyňování

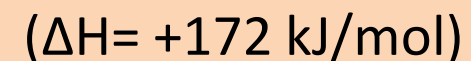
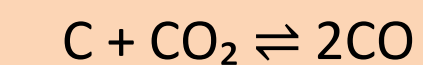


## Klíčové chemické reakce zplyňování

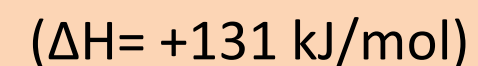
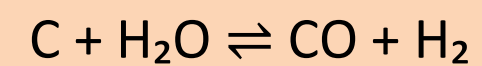
## Oxidace uhlíku



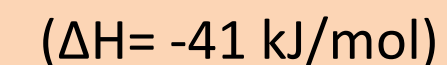
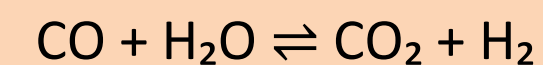
## Boudouardova reakce



## Reakce uhlíku s vodní parou



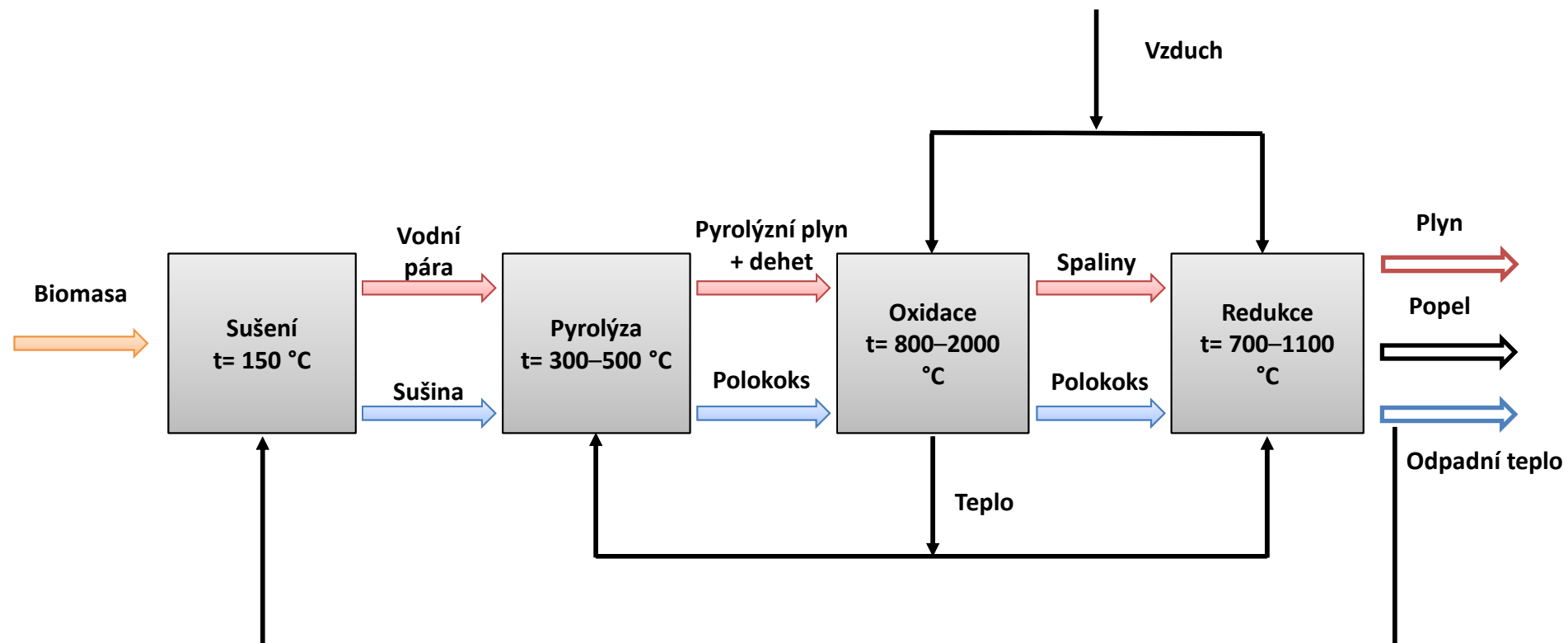
## Reakce „water-gas shift“



## Zplyňování – princip, reakce a syntézní plyn

### Typické složení syntézního plynu

- Oxid uhelnatý (CO).
- Vodík (H<sub>2</sub>).
- Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>).
- Dále: CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O a stopová množství dalších plynů (např. H<sub>2</sub>S).



### Faktory ovlivňující kvalitu syntézního plynu

- Teplota zplyňování.
- Typ použitého paliva (biomasa, uhlí, TAP).
- Druh činidla (pára, vzduch, O<sub>2</sub>).
- Tlak a vlhkost vstupního materiálu.

### Možnosti využití

- Energetické – palivo pro motory, turbíny a plynové kotle.
- Chemické – výroba vodíku, methanolu, syntetických uhlovodíků, Fischer–Tropsch syntéza).



# Zplyňování – princip, reakce a syntézní plyn

## Typy zplyňovacích reaktorů

- Reaktory s pevným ložem – jednoduché provedení, nižší investiční nároky, vhodné pro menší provoz.
- Reaktory s fluidním ložem (BFB, CFB) – intenzivní promíchávání, rovnoměrná teplota, vyšší výtěžnost plynu.
- Reaktory s unášivým proudem (Entrained flow) – velmi vysoké teploty (1200–2000 °C), jemně mleté palivo, minimální obsah dehtů.

## Vliv zplyňovacího média na kvalitu plynu

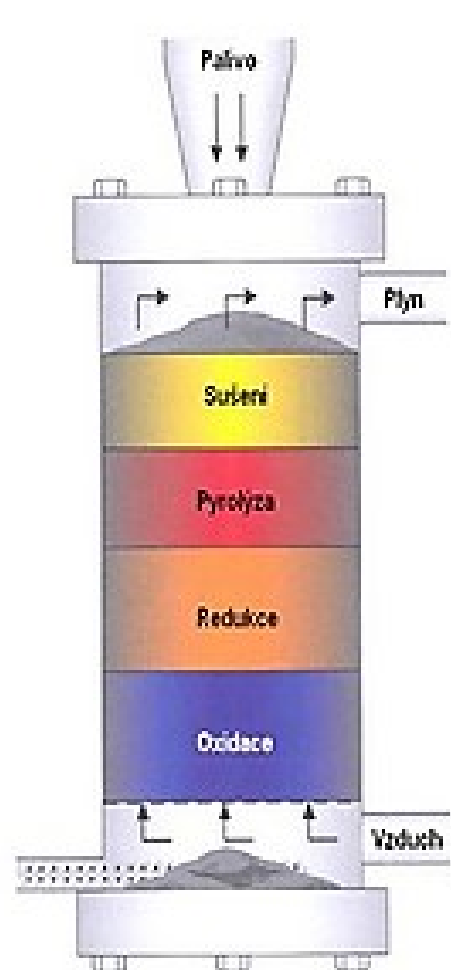
- Vzduch – levné, ale vede k ředění plynu dusíkem → nižší výhřevnost.
- Kyslík (O<sub>2</sub>) – vyšší výhřevnost a čistší plyn, vyšší náklady.
- Pára (H<sub>2</sub>O) – podporuje tvorbu H<sub>2</sub>, vhodné pro výrobu plynu s vyšším poměrem H<sub>2</sub>/CO.
- Lambda (λ) 0,2-0,4 → optimalizace reakční teploty a kvality plynu.

## Nečistoty v syntézním plynu a jejich odstranění

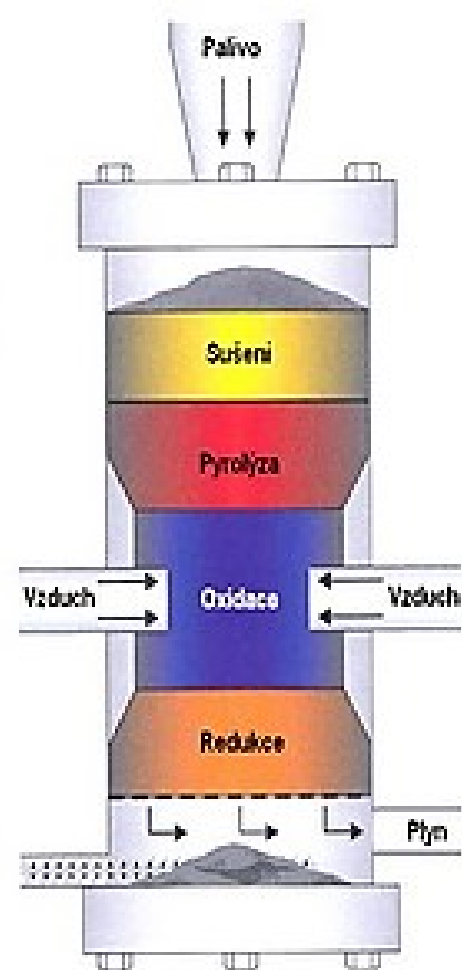
- Dehty, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, HCl, částice – nepříznivě ovlivňují katalýzy a zařízení.
- Technologie čištění – mokré vypírky, adsorpce, filtrace s aktivními sorbenty.



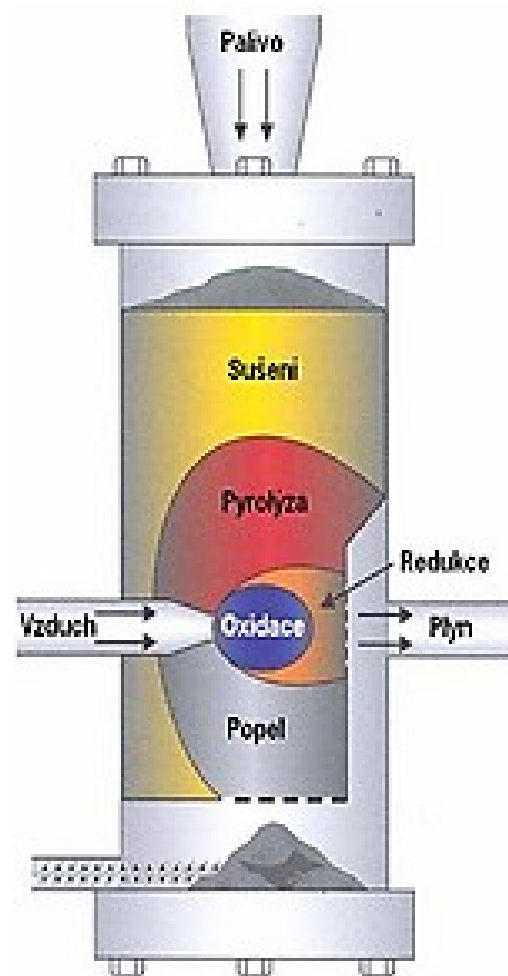
## Slovensko – Česko



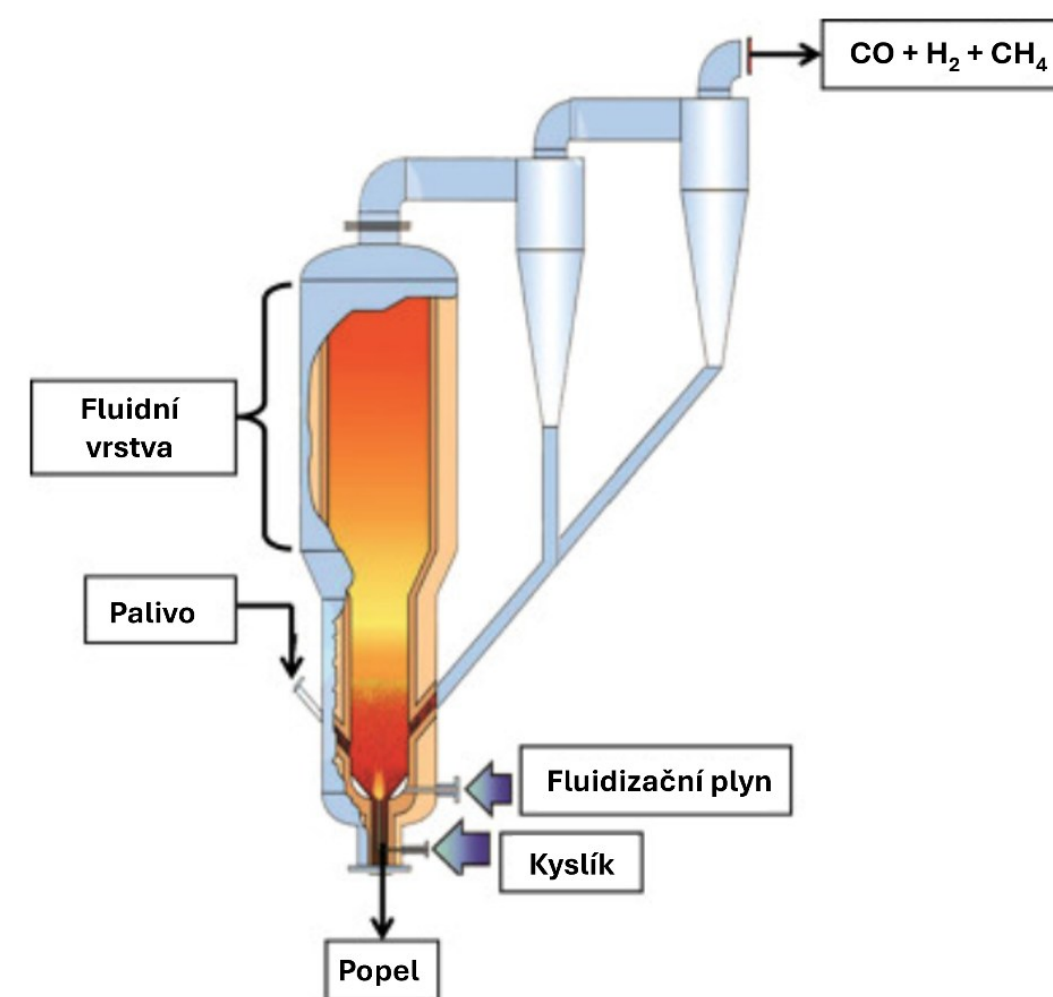
Reaktor s pevným  
ložem:  
protiproudý.



Reaktor s pevným  
ložem:  
soproudý.



Reaktor s pevným  
ložem:  
s křížovým tokem.



Reaktor s cirkulujícím  
fluidním ložem



**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**



**Děkuji za pozornost**



**Interreg**



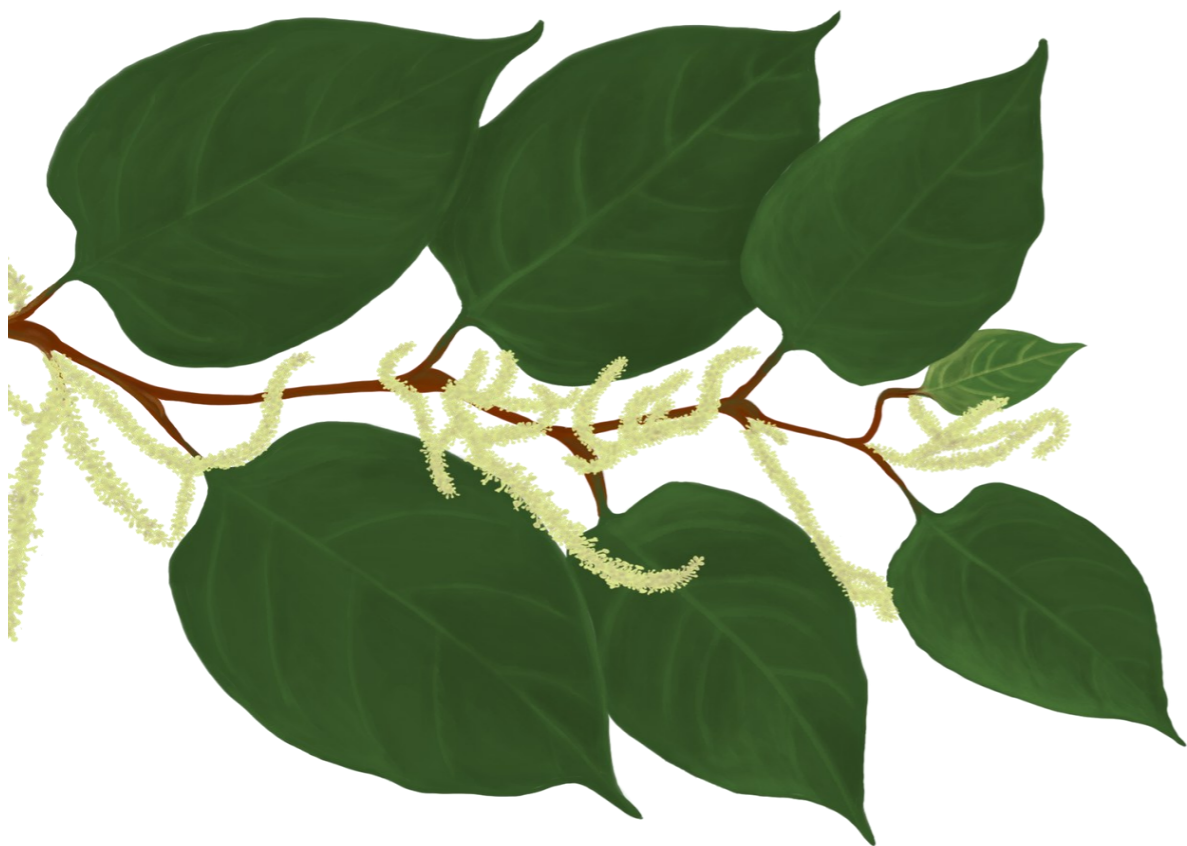
**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA

CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

CENTRUM  
ENET

**Slovensko – Česko**

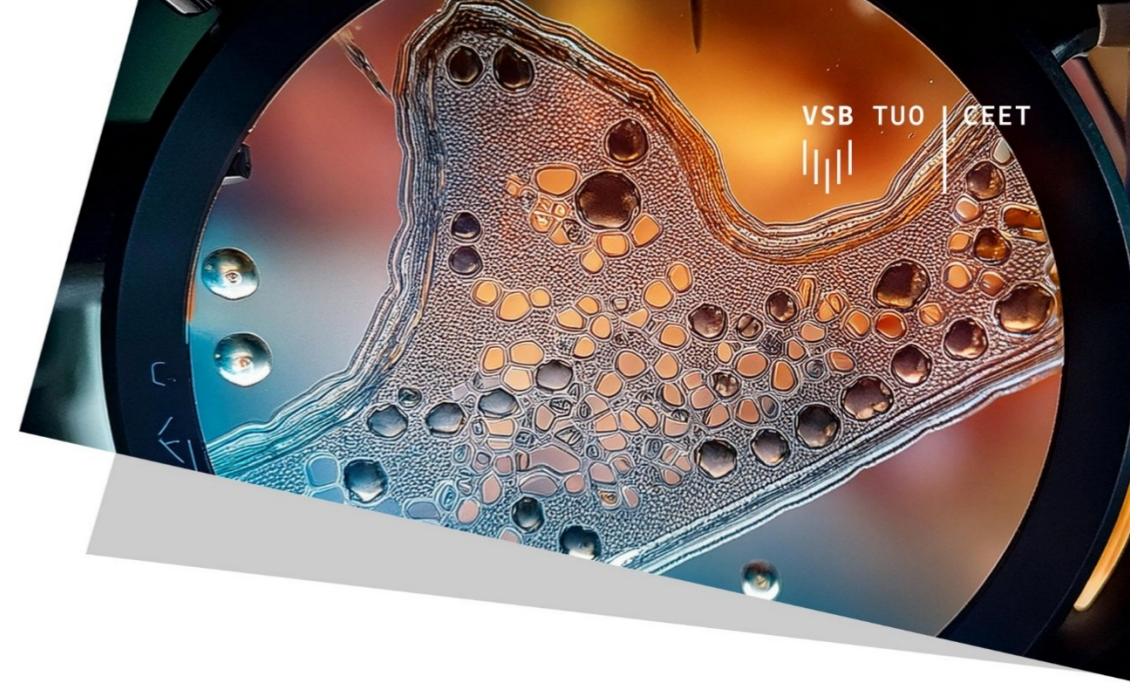


# **CEETe: Cesta k udržitelné energetice – Inovační polygon pro budoucnost**

**HERBATHECA**  
o.z. registrovaný sociálny podnik



ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE



# WE ARE CREATING THE ENERGY FUTURE



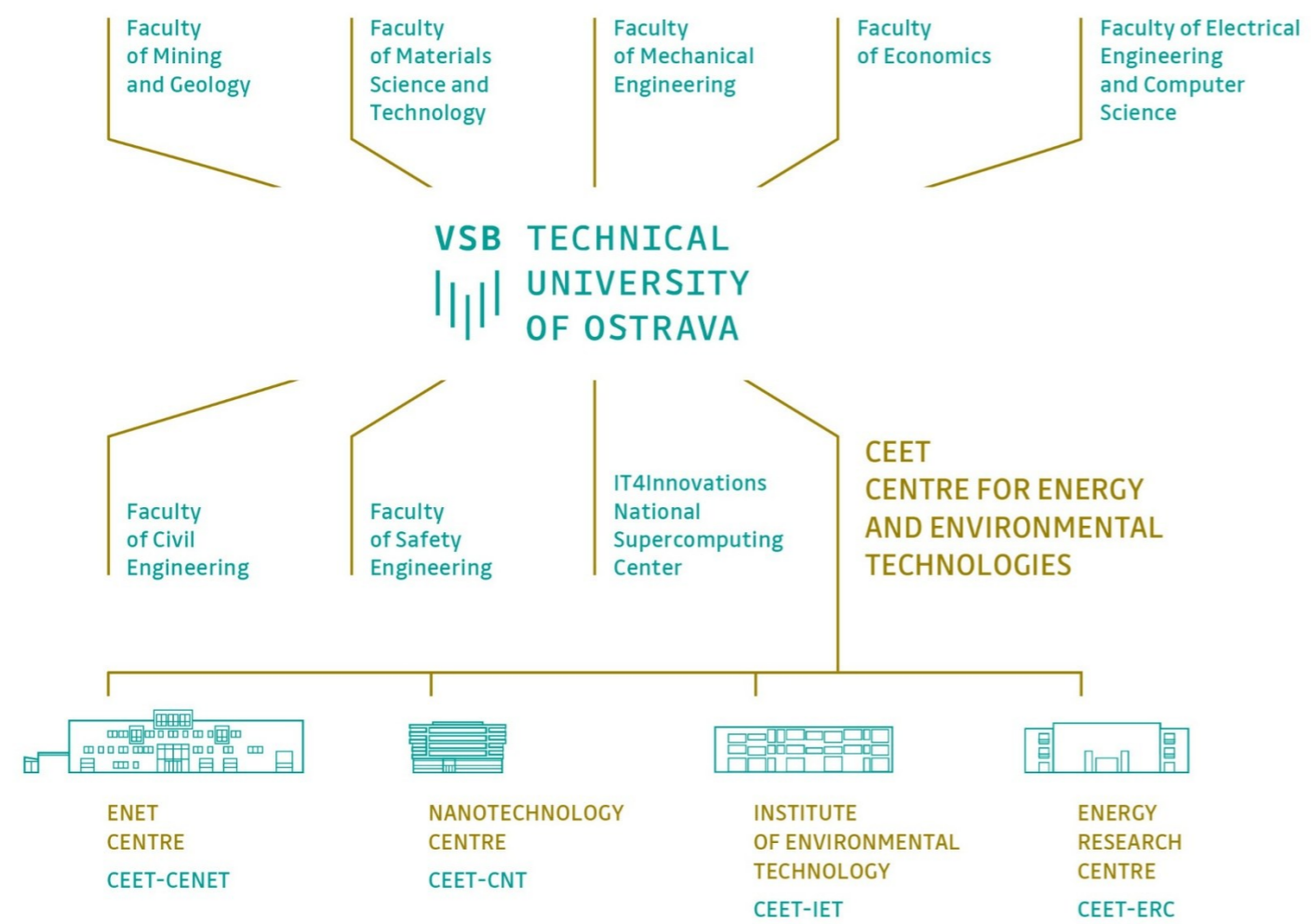
CEET was established on 1 January 2021 through the merger of four university institutes: the Nanotechnology Centre, the Energy Research Centre, the ENET Centre and the Institute of Environmental Technology.

CEET is a university research institute within VSB – Technical University of Ostrava (VSB-TUO), dedicated to research and development in low-carbon and sustainable energy and

environmental technologies, aligned with the principles of the circular economy.

Thanks to the tradition and cooperation with the public and industrial sector, domestic and foreign universities and research organizations, we deliver practical innovations and solutions in many fields at the national and international level.

# STRUCTURE OF CEET

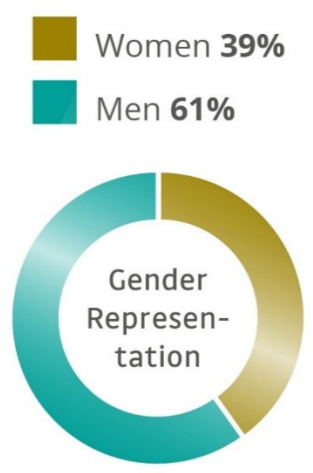


## STAFF

Age Category	Employee Type	Number of Employees	FTE
Under 29 years	Academic Staff	19	18,3
30-39 years	R&D	187	118,5
40-49 years	Others	111	100,7
50-59 years			
60-69 years			
Over 70 years			

More than 64% of CEET employees are academic and research staff. The remaining 36% are classified as other employees supporting research and operations.

**Total number of Employees is to 317**, corresponding to an average full-time equivalent (FTE) of 237.51.



# VISION

# MISSION

# STRATEGY



**MATERIALS FOR ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES**



**ENERGY UTILIZATION OF SECONDARY RAW MATERIALS AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES**



**ENERGY STORAGE, TRANSFORMATION AND MANAGEMENT**



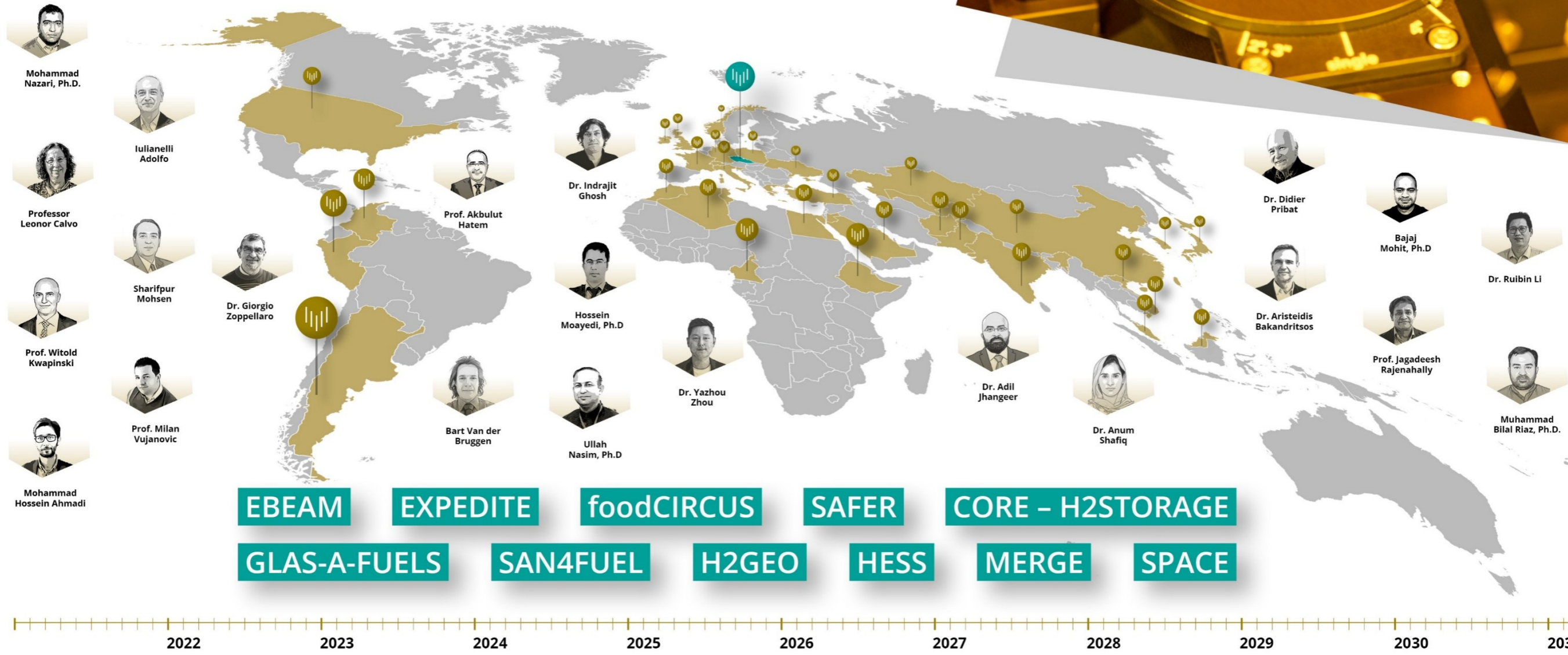
**ENVIRONMENTAL ASPECTS AND TECHNOLOGIES**



## RESEARCH AREAS

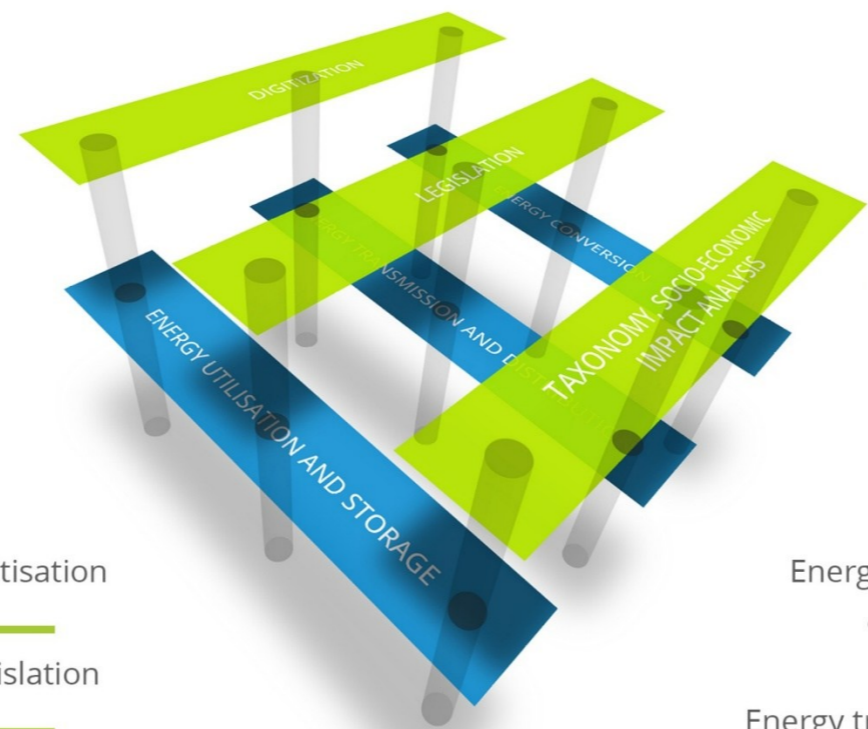


# INTERNATIONAL PROJECTS AND SCIENTISTS



# NATIONAL CENTRE FOR ENERGY

We connect excellent research with leading industrial players in the sustainable energy sector.

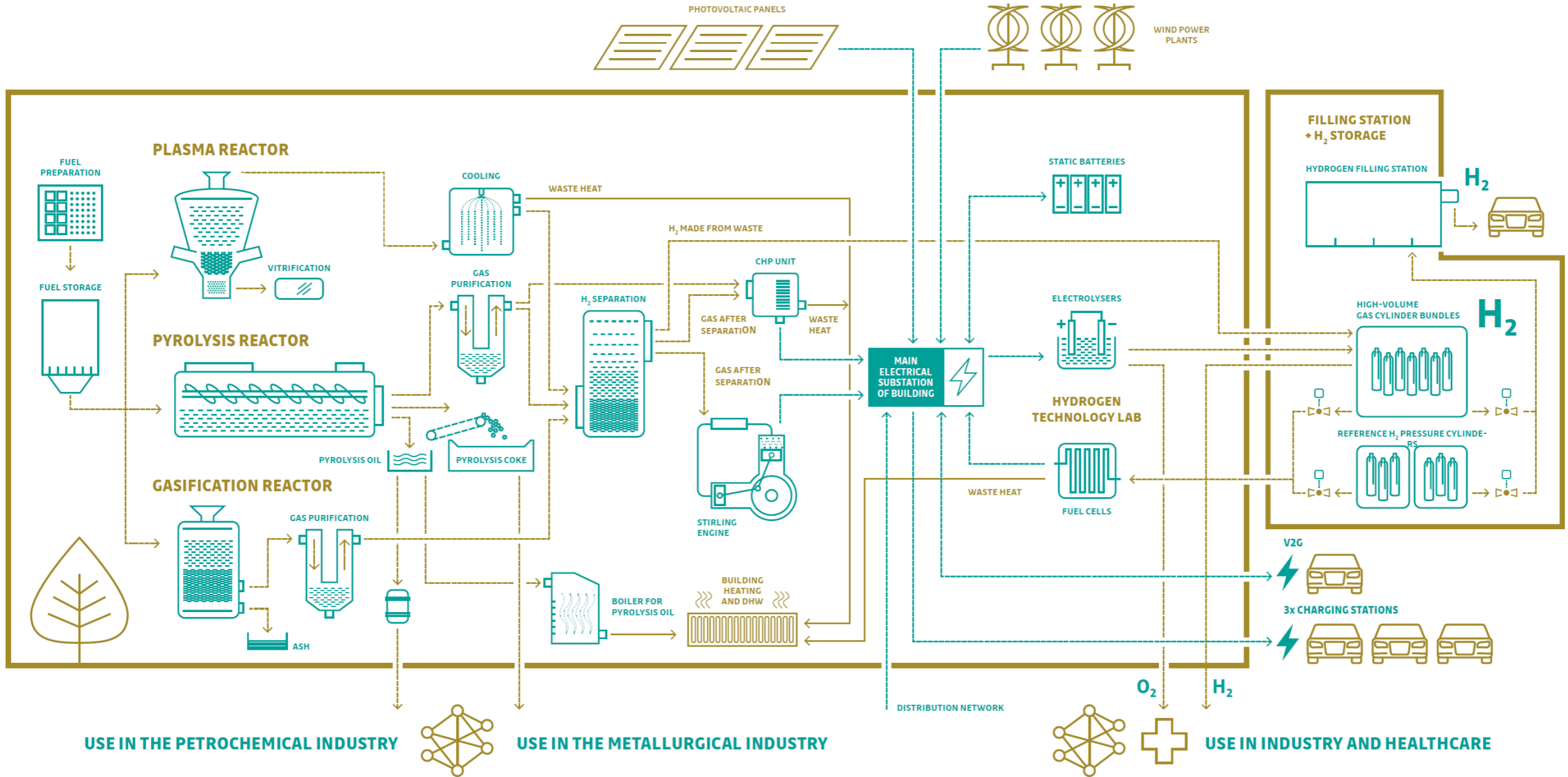


Digitisation  
 Legislation  
 Taxonomy and socio-economic impact analysis

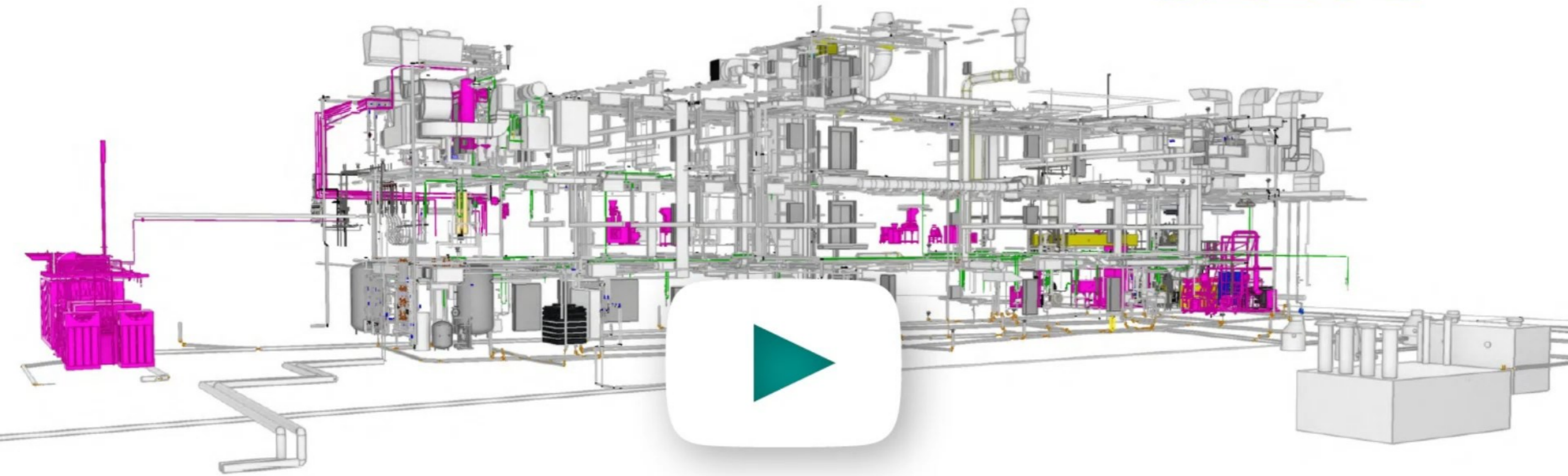
Energy utilisation and storage  
 Energy transmission and distribution  
 Energy conversion



# CENTRE FOR ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES – EXPLORER (CEETe)



# CEETe





VSB TECHNICAL  
UNIVERSITY  
OF OSTRAVA

CENTRE FOR ENERGY  
AND ENVIRONMENTAL  
TECHNOLOGIES

  
CEET

Ing Matěj Šponiar  
matej.Sponiar@vsb.cz

<http://>

# CEETe ONLINE VIRTUAL TOUR



**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**



**Děkuji za pozornost**

