

**Interreg**



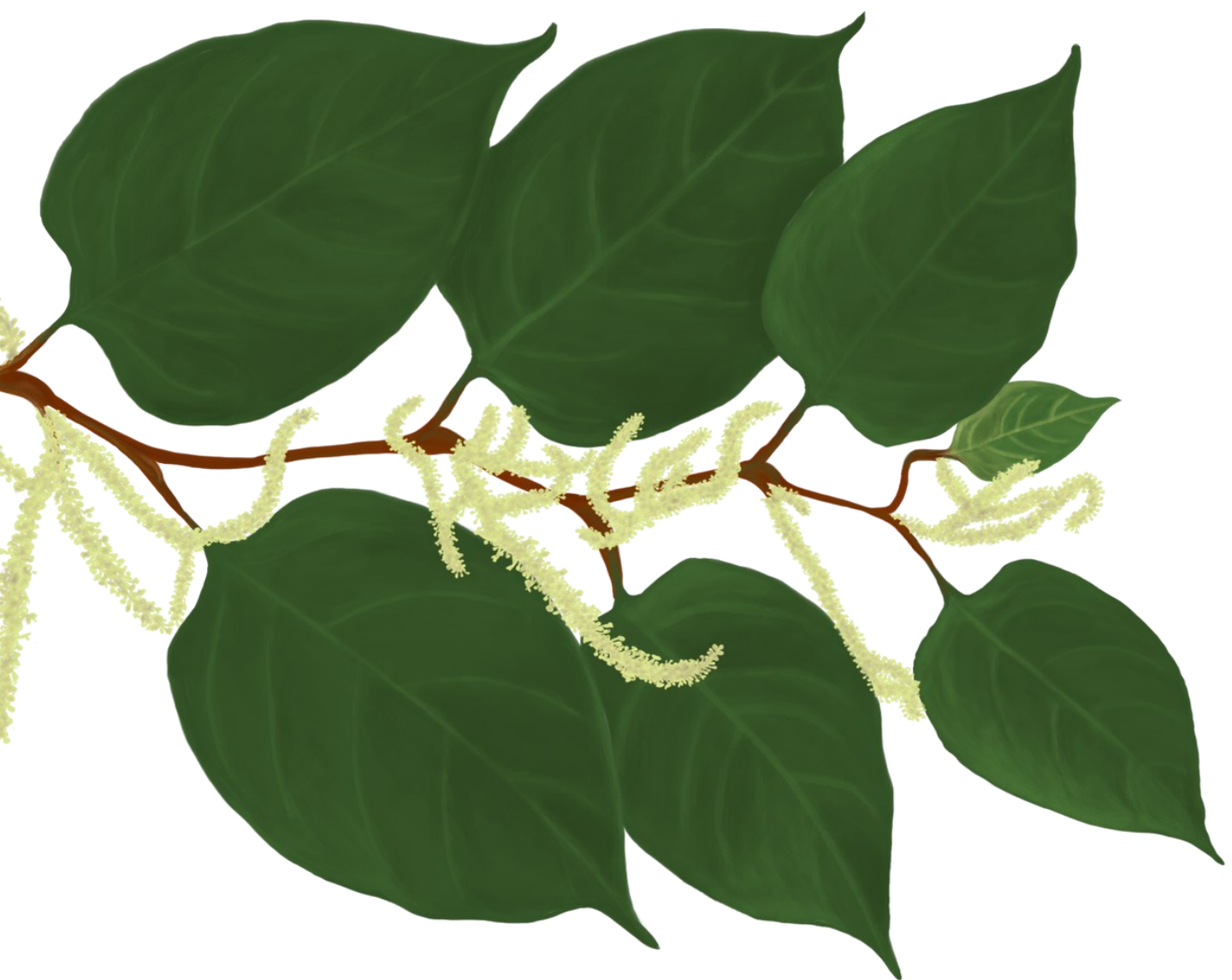
**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

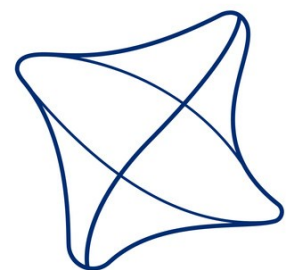
**CENTRUM  
ENET**



# Krídlatka ako palivo: Výzvy a potenciál pre energetické využitie

doc. Ing. Peter Ďurčanský, PhD.

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



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE**

Slovensko – Česko

## Pohánkovec japonský alebo krídatka japonská (*Fallopia japonica*)

- rýchlo sa rozrastajúca invazívna rastlina dosahujúca výšku okolo 2 metrov
- vytvárajúca takmer nepriestupné porasty.
- na Slovensku je podľa zákona inváznou rastlinou



## Pohánkovec japonský alebo krídlatka japonská (*Fallopia japonica*)

- V Ázii a Severnej Amerike sa mladé výhonky tejto rastliny bežne konzumujú.
- Krídlatka japonská je bohatým zdrojom polyfenolu resveratrol, ktorý má pozitívne protirakovinové účinky
- patrí k druhom často využívaným v tradičnej čínskej medicíne
- má duté stonky s výraznými vyvýšenými uzlami, ktoré mu dodávajú vzhľad bambusu, hoci nie je príbuzný bambusu.
- Úspech tohto druhu sa čiastočne pripisuje jeho tolerancii voči veľmi širokej škále podmienok vrátane sucha, rôznych typov pôdy, premenlivého pH pôdy, a vysokej slanosti
- Rýchly rast a prispôsobivosť rastliny naznačujú možné energetické využitie



Slovensko – Česko

**Pohánkovec japonský alebo krídlatka japonská (*Fallopia japonica*)**

Odhadovaná ročná produkcia

*N. Papamatthaiakis et al.*

**Table 2**

Estimated annual yield productivity including dry matter content (w-%), fresh weight yield (t·ha<sup>-1</sup>), and dry matter yield (t·ha<sup>-1</sup>) of giant knotweed and Virginia mallow, as well as the harvested part from each crop. (Fertilization 100–11–11 N-P-K kg ha<sup>-1</sup>, except on \*: not fertilized). e: early harvest (April, May, June), l: late harvest (July, August, September). Standard errors are presented in parenthesis.

Species	Dry matter content	Fresh weight yield	Dry matter yield	Harvested parts of the crop
Giant knotweed	20.8	70.2	14.64 (1.74)	Stems, leaves (l)
	27.2	88.72	24.15 (2.83)	Stems, leaves (l)
	36.6	75.5	27.67 (3.40)	Stems, leaves (l)
	31.6	41.67	15.27	Stems (l)
	87.3	8.83	7.71 (1.31)	Stems (e)
	64.3*	8.42*	5.41* (0.35)	Stems (e)
	15.9	109.7	17.5	Stems, leaves (e)
Virginia mallow	37.9	59.44	22.6	Stems, leaves (l)
	84	7.69	6.46 (0.81)	Stems (e)
	81*	10.1*	8.2* (0.40)	Stems (e)
	37	45.2	16.72	Stems, leaves (l)

**Krídlatka**



**Vlákeň dvojdomá**



Slovensko – Česko

Pohánkovec japonský alebo krídlatka japonská (*Fallopia japonica*)

Vlastnosti materiálu

Table 3

Measured bulk density ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) and moisture content (w-%), both acquired results with the oven dry method and by using the moisture analyzer, of raw, pretreated, and hammered material of giant knotweed and Virginia mallow.

Type of material	Properties	Giant knotweed	Virginia mallow
Raw material	Moisture content	14.75	14.95
	Oven dry method (moisture analyzer)	13.24	15.09
Pretreated material	Bulk density	132.43	115.25
	Moisture content	11.74, 10.45 <sup>1</sup>	11.38, 10.32 <sup>1</sup>
	Oven dry method (moisture analyzer)	8.58, 8.56 <sup>1</sup>	10.26, 9.21 <sup>1</sup>
Hammered material	Moisture content	9.88	8.68
	Oven dry method (moisture analyzer)	10.37	8.6

<sup>1</sup> Second measurement performed 14 days after the first measurement.

Krídlatka



Vlákeň dvojpohlavná



Slovensko – Česko

Pohánkovec japonský alebo krídlatka japonská (*Fallopia japonica*)

Spracovanie - pelety

- Možné dodržať priemer pelety
- Vzhľadom na vlákna v materiáli sú pelety skôr dlhé
- Hustota peliet takmer na limite
- Nižšia mechanická odolnosť peliet

Table 4

Physical and chemical properties of giant knotweed and Virginia mallow pellets in comparison with the ISO and ENplus standards. Standard errors are presented in parenthesis.

Properties	Giant knotweed	Virginia mallow	ISO <sup>1</sup>	ENplus <sup>2</sup>
Diameter (mm)	8.13	8.15	8 ± 1	8 ± 1
Length (mm)	29.14 (2.48x10 <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	21.29 (3.00 x10 <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	3.15 < L < 40	3.15 < L < 40
Moisture content (w-%) - Oven dry method (moisture analyzer)	6.35 (0.043)	5.92 (0.052)	≤ 12	≤ 10
Net calorific value (MJ·kg <sup>-1</sup> )	19.97 <sup>3</sup> (0.12)	19.68 <sup>3</sup> (0.16) 17.2 <sup>4</sup> (0.020)	≥ 14.5	≥ 16.5
Ash (w-% dry)	17.47 <sup>4</sup> (0.024)	1.5	≤ 6	≤ 2
Bulk density (kg·m <sup>-3</sup> as received)	677.71	2.19	≥ 600	600 ≤ BD ≤ 750
Mechanical durability (w-% as received)	96.73	725.18	≥ 97.5	≥ 97.5
Sulfur (S) (w-% dry)	0.033	0.024	≤ 0.2	≤ 0.05
Chlorine (Cl) (w-% dry)	0.008	0.01	≤ 0.1	≤ 0.03
Arsenic (As) (mg·kg <sup>-1</sup> )	<LOD <sup>5</sup>	<LOD <sup>5</sup>	≤ 1	≤ 1
Cadmium (Cd) (mg·kg <sup>-1</sup> )	0.2	0.1	≤ 0.5	≤ 0.5
Chromium (Cr) (mg·kg <sup>-1</sup> )	1.1	1	≤ 50	≤ 10
Copper (Cu) (mg·kg <sup>-1</sup> )	3.5	3.5	≤ 20	≤ 10
Lead (Pb) (mg·kg <sup>-1</sup> )	<LOD <sup>5</sup>	<LOD <sup>5</sup>	≤ 10	≤ 10
Mercury (Hg) (mg·kg <sup>-1</sup> )	<LOD <sup>5</sup>	<LOD <sup>5</sup>	≤ 0.1	≤ 0.1
Nickel (Ni) (mg·kg <sup>-1</sup> )	1	0.6	≤ 10	≤ 10
Zinc (Zn) (mg·kg <sup>-1</sup> )	7.4	6.2	≤ 100	≤ 100

<sup>1</sup> ISO 17225-6:2014, quality class A

<sup>2</sup> ENplus Handbook V3.0 2015, pellet quality class ENplus B

<sup>3</sup> Moisture content 5 w-%

<sup>4</sup> Moisture content 10 w-%

<sup>5</sup> Limit of detection, below this limit the element cannot be detected

Krídlatka



Vlákeň dvojdomá



Source: Nikolaos Papamatthaiakis, Antti Laine, Antti Haapala, Risto Ikonen, Suvi Kuittinen, Ari Pappinen, Marja Kolström, Blas Mola-Yudego, New energy crop alternatives for Northern Europe: Yield, chemical and physical properties of Giant knotweed (*Fallopia sachalinensis* var. 'Igniscum') and Virginia mallow (*Sida hermaphrodita*), Fuel, Volume 304, 2021, 121349, ISSN 0016-2361,

## Slovensko – Česko

Pohánkovec japonský alebo krídlatka japonská (*Fallopia japonica*)

## Chemická analýza

- Dominantné zastúpenie Ca, K, Mg, P

Table 5

Analysis of the chemical elements of the studied energy crops.

Chemical element	Giant knotweed		Virginia mallow	
	mg·l <sup>-1</sup>	mg·kg <sup>-1</sup>	mg·l <sup>-1</sup>	mg·kg <sup>-1</sup>
Aluminium (Al)	0.208	18	0.325	31.6
Antimony (Sb)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Boron (B)	0.032	2.8	0.035	3.4
Bromine (Br)		<10		<10
Calcium (Ca)	61.695	5336.9	35.045	3409
Cobalt (Co)	<LOD	<LOD	0.0003	<LOD
Fluorine (F)		<10		<10
Iron (Fe)	0.425	36.7	0.439	42.7
Lithium (Li)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Magnesium (Mg)	8.052	696.5	7.611	740.4
Manganese (Mn)	0.345	29.8	0.094	9.1
Molybdenum (Mo)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Sodium (Na)	0.818	70.7	0.532	51.7
Phosphorus (P)	3.442	297.8	2.211	215.1
Potassium (K)	39.26	3396.5	23.09	2246.4
Selenium (Se)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Silicon (Si)	0.477	41.3	0.675	65.7
Titanium (Ti)	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
Vanadium (V)	0.019	1,6	0.024	2.3

## Krídlatka



## Vlákeň dvojdomá



Slovensko – Česko

Pohánkovec japonský alebo krídlatka japonská (*Fallopia japonica*)

Analýza spaľovania

Emissions of Sosnowsky's hogweed, giant knotweed, and pine biofuel.

Plant Species	CO <sub>2</sub> %	CO ppm	NO <sub>x</sub> ppm	CxHy ppm
Sosnowsky's hogweed	4.59	1778.44	121.31	92.45
Giant knotweed	5.51	915.3	67.4	66
Pine	4.70	187.50	43.31	9.33



(a)



(b)

Produced pellet and briquette samples: (a) giant knotweed; (b) Sosnowsky's hogweed.

Krídlatka



Boľševník



- Proces horenia bol úplný, zvýšená úroveň CO bola z dôvodu nerovnomerného horenia vzoriek.

Slovensko – Česko

Pohánkovec japonský alebo krídlatka japonská (*Fallopia japonica*)

Analýza spaľovania – vlastnosti popola

Ash fusibility parameters.

Parameter	Sosnowsky's Hogweed	Giant Knotweed	Pine
	Values		
SST, °C	1316 ± 28.28	1207 ± 9.90	849 ± 8.60
DT, °C	1435 ± 9.90	1446 ± 11.31	1497 ± 10.76
HT, °C	1451 ± 1.41	1501 ± 7.07	1523 ± 6.94
FT, °C	1467 ± 4.24	1502 ± 8.49	1531 ± 3.66

- Popol má podobné vlastnosti ako zo smrekových peliet
- Vzhľadom na nerovnomernosť horenia je zvýšené riziko tvorby usadenín



(a)



(b)

Produced pellet and briquette samples: (a) giant knotweed; (b) Sosnowsky's hogweed.

Krídlatka



Boľševník



Slovensko – Česko

# Spaľovanie krídlatky

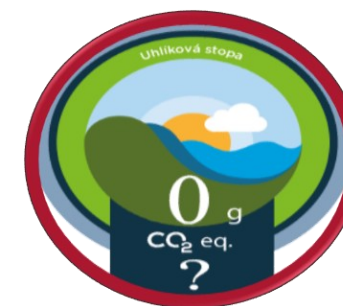
Optimalizácia podmienok  
spaľovania



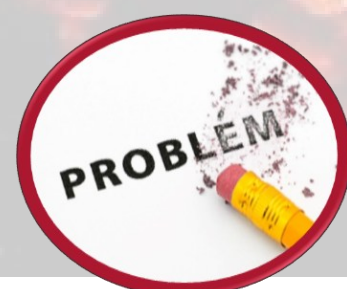
Reálna prevádzka



Neutrálna uhlíková stopa



Problematické spaľovanie



Zostatková fytomasa



## Spaľovanie krídlatky

- Spaľovanie samotnej krídlatky produkuje určité množstvo emisií

### Vhodné riešenia:

- Krídlatka ako aditívum do iných druhov rastlinných palív – peliet/brikiet
- Spaľovanie zmesi krídlatka + fytomasa
- Aditíva na úpravu vlastností paliva a popola



## Fytomasa v energetike všeobecne



### Čo je fytomasa?

- Biomasa v podobe rastlín = fytomasa



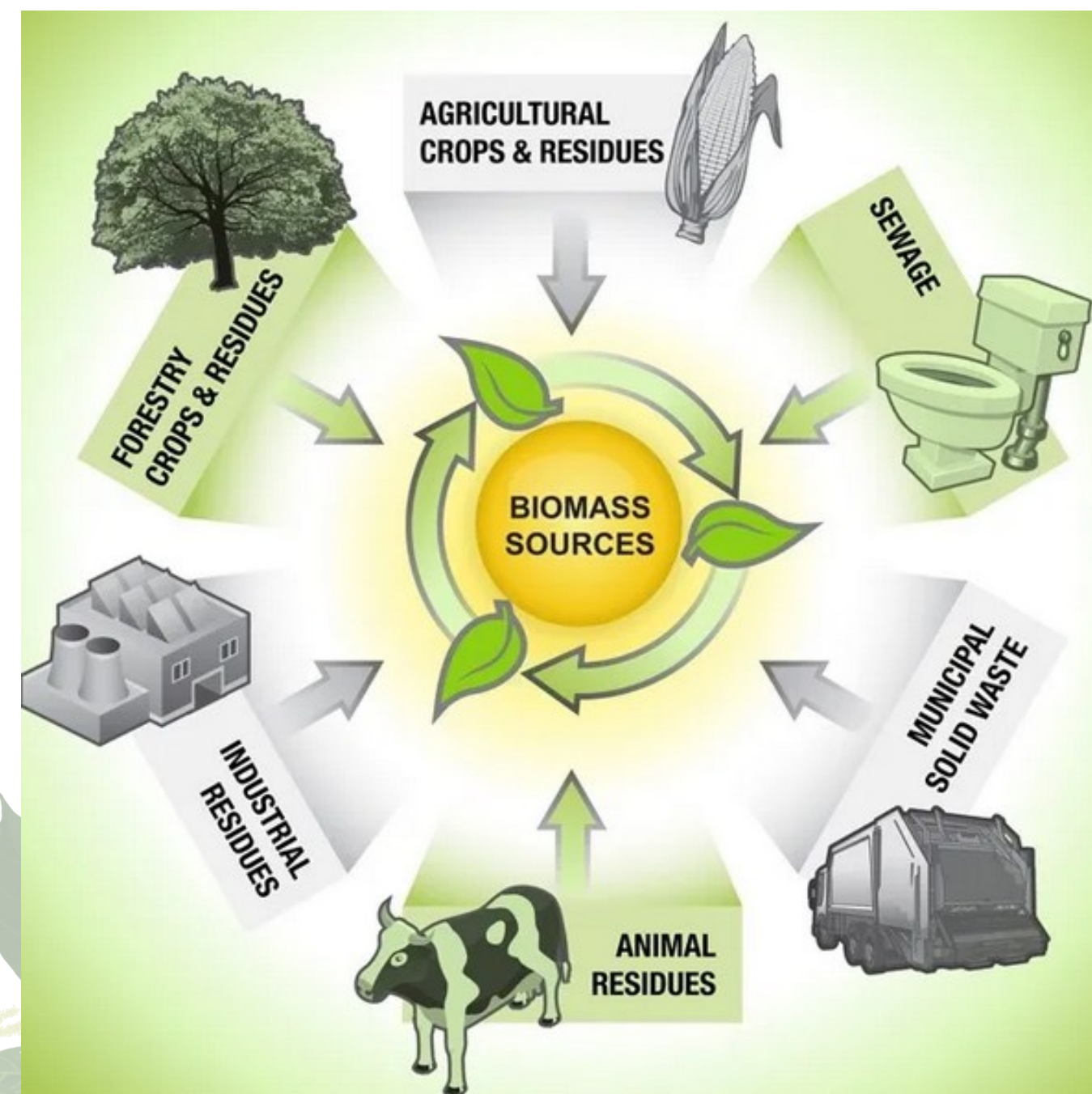
### Spracovanie paliva

- Slama (balíky, kúsky, drvená)
- Pelety/ Brikety
- Obilie



### Vplyvy na jej energetické vlastnosti

- Zloženie paliva
- Vplyv pôdy, hnojenia a času zberu

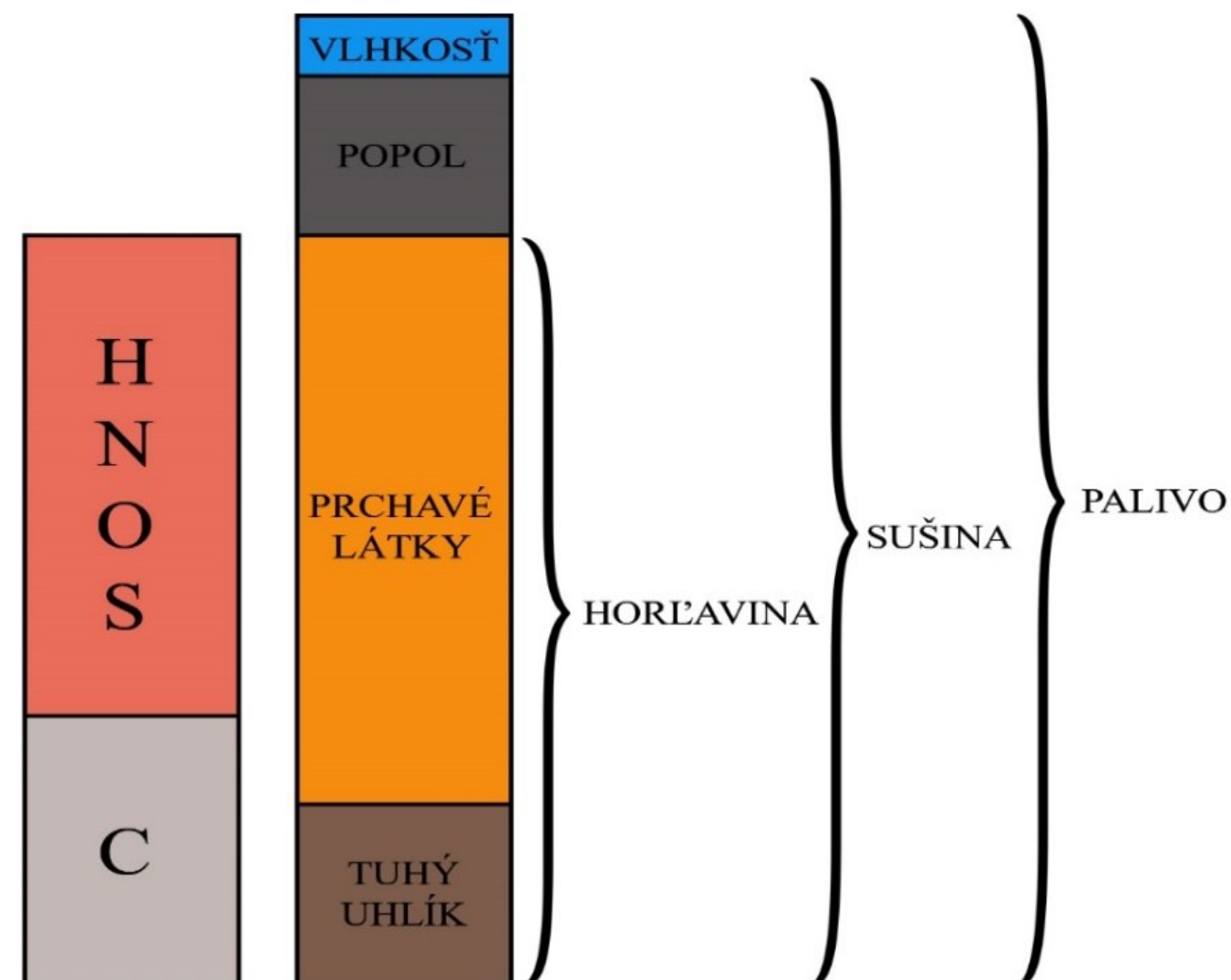


Slovensko – Česko

Porovnanie s vybranými palivami

- Obsah popola fytohmasy môže dosahovať hodnotu až 12 %.

Biomasa	Obsah prvkov v popole (% hm)					
	Ca	K	Mg	Na	P	Si
drevo (smrek)	26 – 38	4,9 – 6,3	2,2 – 3,6	0,3 – 0,5	0,8 – 1,9	4 – 11
kôra (smrek)	24 – 36	3,5 – 5	2,4 – 5,6	0,5 – 0,7	1 – 1,9	7 – 17
slama (pšenica, raž)	4,5 – 8	10 – 16	1,1 – 2,7	0,2 – 1	0,2 – 6,7	16 – 30
zrno (pšenica, triticales)	3 – 7	11 – 18	1,2 – 2,6	0,2 – 0,5	4,5 – 6,8	16 – 26



# Problémy pri spaľovaní



Spekanie popola



Korózia (výmenníky)

## Ďalšie problémy

Kvalita  
spaľovania

Účinnosť  
spaľovania

Náklady na  
zariadenia

Pracovné  
zaťaženie

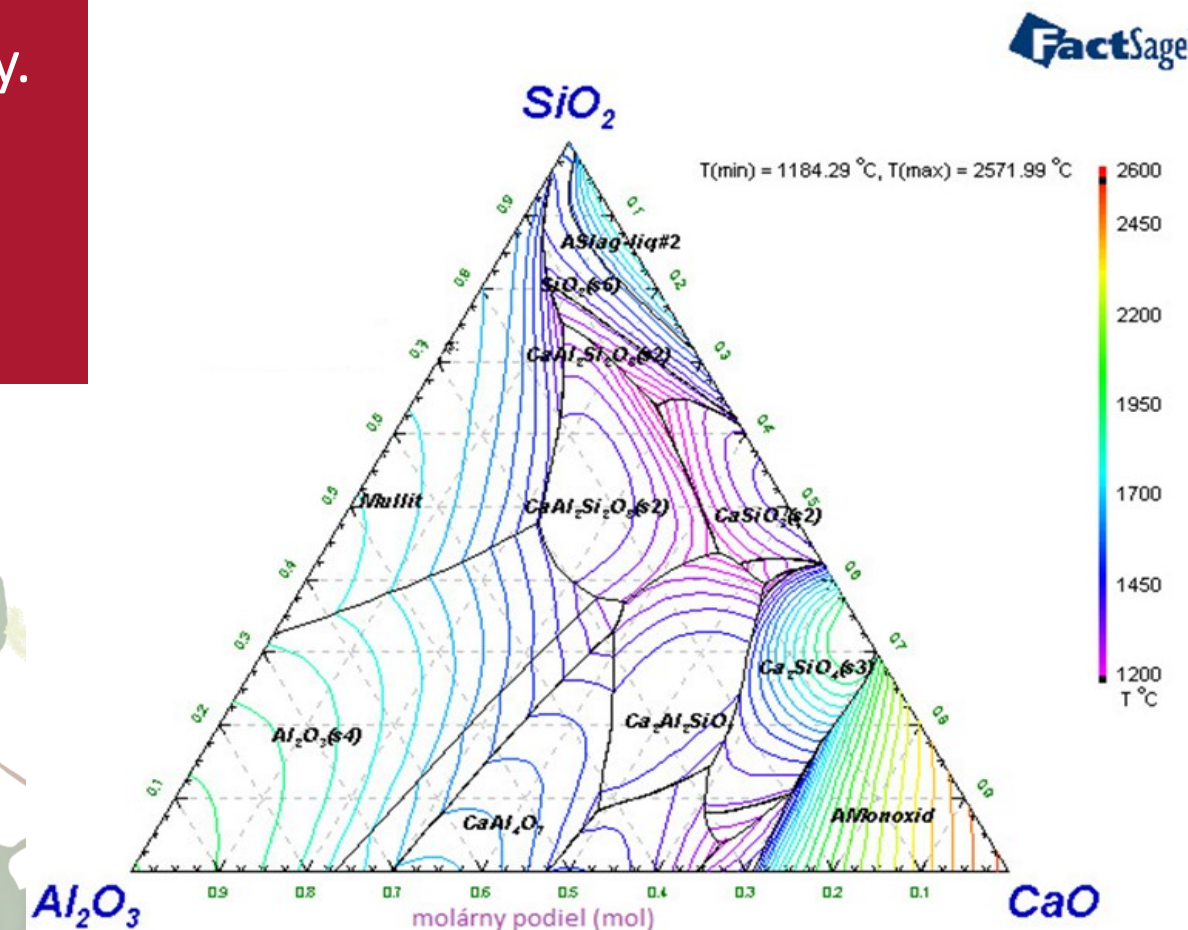
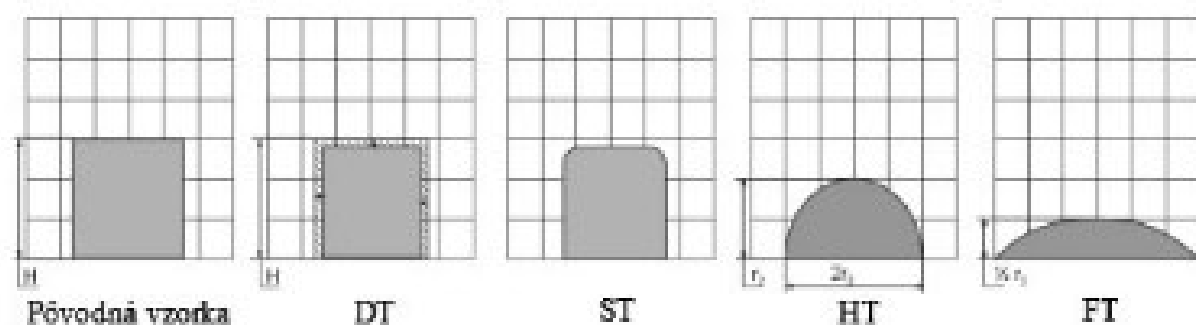
Použité materiály

# Teplota tavitelnosti popola

- Teplota deformácie, mäknutia, tavenia, tečenia
- Teplota tavitelnosti popola závislá od chemického zloženia: Mg a Ca ↑, ale napr. K a chloridy ↓
- $Al_2O_3$  a  $SiO_2$  ↑

## Predikcia vlastností:

- Fázový diagram, taviace krivky.
- Matematický model.



## Teploty tavitelnosti popola

Vzorka	Teploty v °C			
	deformácie DT	mäknutia ST	tavenia HT	tečenia FT
Jačmenná slama	659	783	923	1118
Pšeničná slama	612	767	1044	1257
Repková slama	633	665	1452	1460
Kukuričná slama	796	886	1036	1059
Pšeničné zrno	612	727	772	792
Marhuľové drevo	1035	1328	1421	1439
Hnedé uhlie	1260	1280	1360	1500
Krídlatka	1446	1207	1501	1467

## Slovensko – Česko

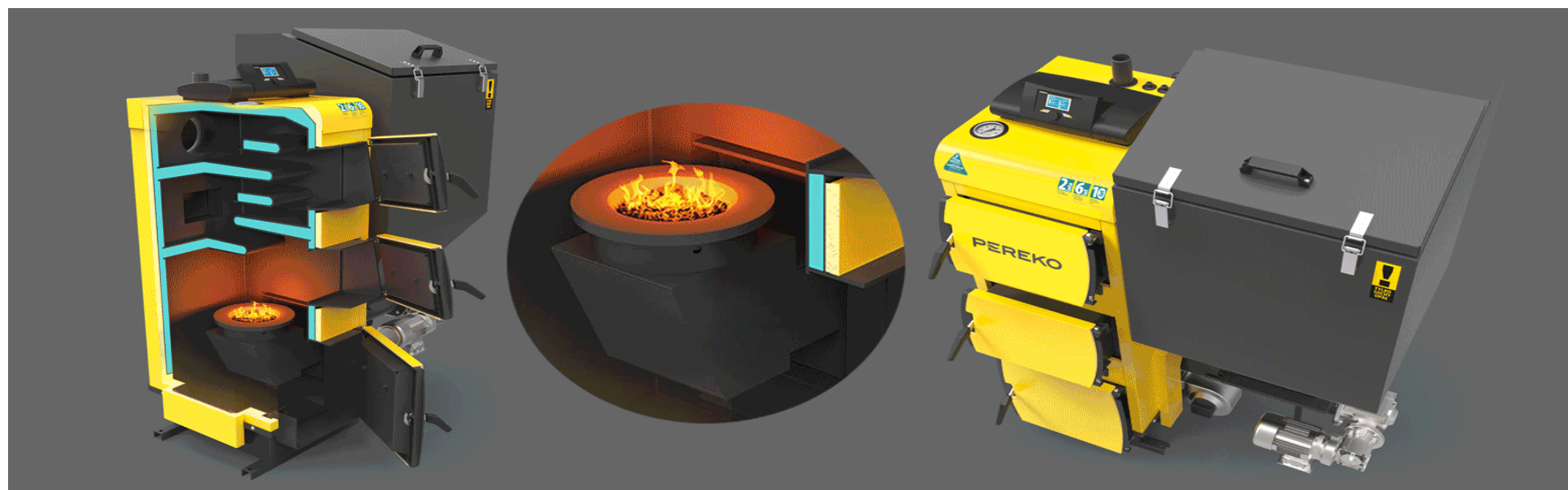
### Spaľovacie zariadenia vhodné na spaľovanie fytomasy

#### Horáky

- **Miskový** (miskový s horizontálnym prísunom paliva).
- **Valcový horák** (valcový s rotačnou spaľovacou komorou).
- **Retortový horák.**
- **Cigaretový horák.**

#### Rošty

- **Pevný rošt.**
- **Rošt s občasným premiestňovaním paliva.**
- **Pohyblivý rošt.**



Slovensko – Česko

Aditíva na úpravu bodu tavitelnosti popola

Table 1. Review of additives reported in the literature (references [6-45])

Suspected effects	Additives	Main components
Chemical adsorption and interaction	kaolin, halloysite, cat litter, emathlite, clay minerals, clay sludge illite detergent zeolites ammonia sulfate, aluminum sulfate, iron sulfate, ammonia phosphate, phosphoric acid DCP limestone, lime, marble sludge sewage sludge, paper sludge, peat ash, coal fly ash dolomite, bauxite, quartz, titanium oxide	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$ , $Al_4(OH)_8/Si_4O_{10} \cdot 10H_2O$ Mixture of aluminum silicates (i.e $Al_2Si_4O_{10}$ , $Al_2Si_4O_{10}$ ), silica and alumina one explain $KAl_2Si_3AlO_{10} \cdot (OH)_2$ $Na_x [(AlO_2)_x (SiO_2)_y] \cdot zH_2O$ $(NH_4)_2SO_4$ , $Al_2(SO_4)_3$ , $Fe_2(SO_4)_3$ $(NH_4)_3PO_4$ , $H_3PO_4$ , $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ $CaCO_3$ , $CaO$ $Al_xSi_yO_z$ $CaMg(CO_3)_2$ , $SiO_2$ , $Al_2O_3$ , $TiO_2$ ,
Physical adsorption	kaolin, zeolite, halloysite clay minerals clay sludge, sewage sludge, paper sludge lime, limestone, dolomite, calcined dolomite bauxite, gibbsite	$Al_2O_2 \cdot (SiO_2)_2 \cdot (H_2O)_2$ , $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ , aluminum silicates with different Al/Si ratios (i.e $Al_2Si_4O_{10}$ , $Al_2Si_4O_{10}$ ) Mixture of aluminum silicates (i.e $Al_2Si_4O_{10}$ , $Al_2Si_4O_{10}$ ), detergent zeolites $CaCO_3$ , $CaO$ , $CaMg(CO_3)_2$ , $CaO \cdot MgO$ $Al_2O_3$ , $Al(OH)_3$
Dilution effect and inert elements enrichment	bauxite, lime, limestone, silicon oxide, marble sludge,	$Al_2O_3$ , $CaCO_3$ , $CaO$ $SiO_2$ , $CaCO_3$
Restraining and powdering effects	lime, limestone	$CaCO_3$ , $CaO$



Slovensko – Česko

Regulácia krídlatky v zahraničí



SOLARIZE, DON'T COMPOST

Knotweed plant material that is cut or excavated during management must be properly contained and disposed of to prevent unintentional spread to new locations.

1. Place all plant material in a 3mm+ black garbage bag
2. Place closed bags in full sun and allow them to decompose for *at least two weeks*
3. Check the plant material inside. If it's liquified and decomposed, it can be disposed of in the waste stream.

**BE PATIENT!**

Systematic herbicides require time to take effect. Plants may not show visible signs of decline for 2-3 weeks after treatment. Do not cut, remove, or disturb plants until they are brown and dry. Additional applications will not increase effectiveness and may lead to environmental contamination.



HERBICIDE APPLICATION TECHNIQUES

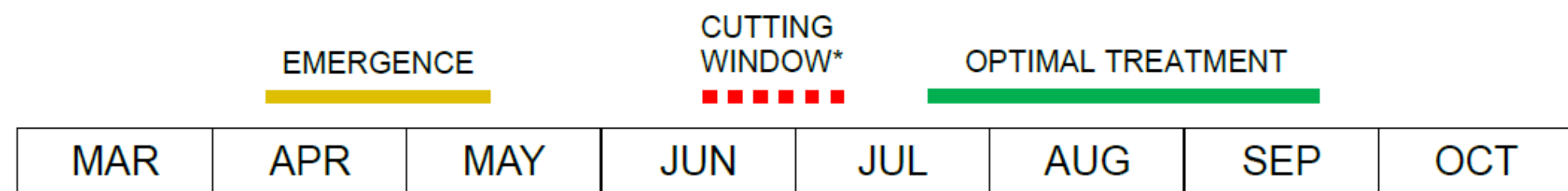
**Stem Injection**

The stem injection technique utilizes a specialized tool to deliver a small dose of concentrated herbicide (100%) directly inside the hollow knotweed stem. It is very effective and significantly decreases the potential for off-target impacts but is time and resource intensive. It is most effective on larger stems and is the best option for chemical control at sensitive sites. A draw-off style injection tool is included with this kit.



**Foliar Spray**

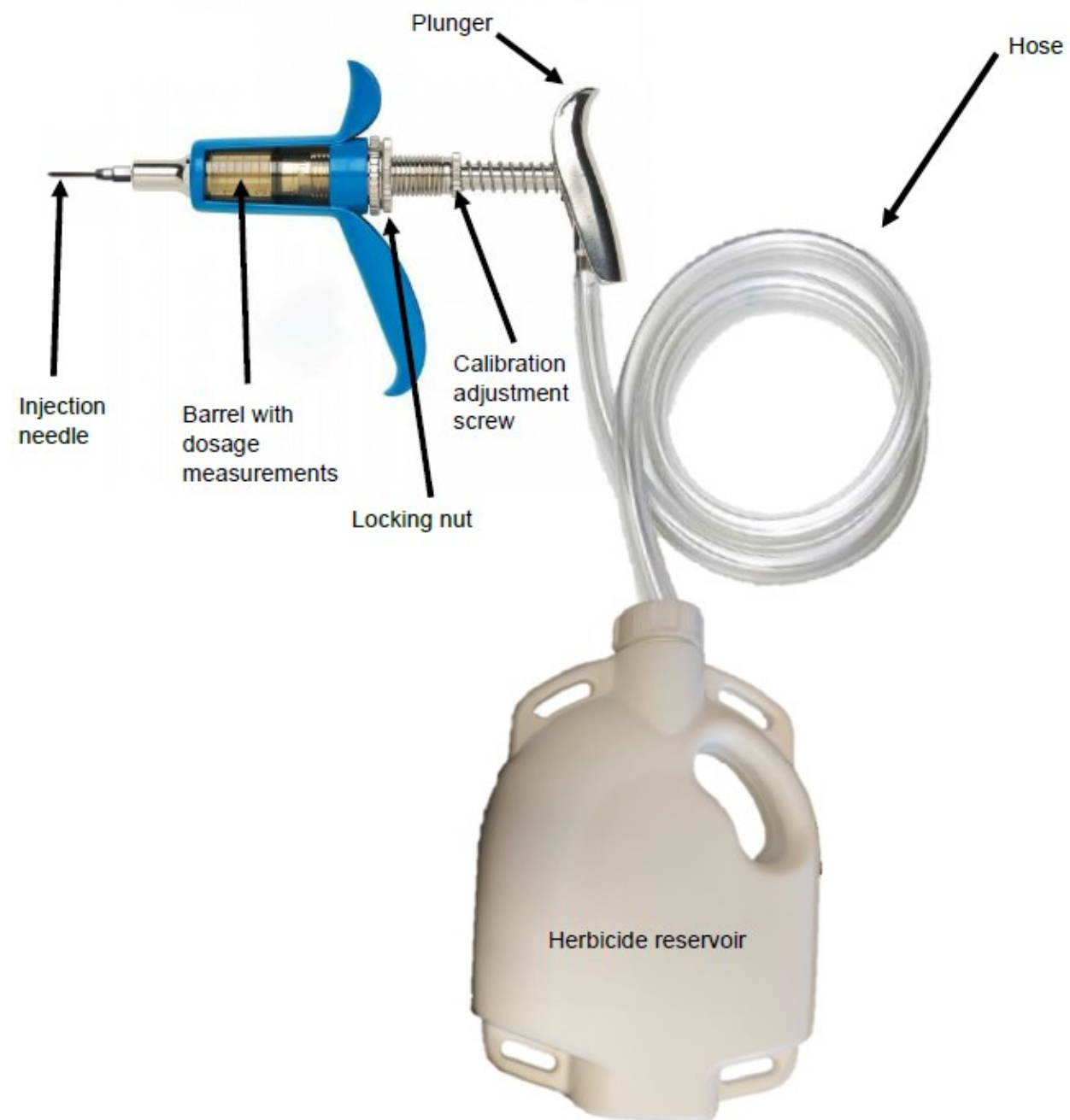
The foliar spray technique utilizes a hand-held or backpack sprayer to deliver a diluted solution of herbicide to knotweed's foliage. It is useful for covering large and dense infestations, or for plants too small to inject. While it is quick and efficient, this method presents a higher potential for off-target impacts via herbicide spray drift. Foliar spray treatments should be performed under favorable environmental conditions (i.e. low wind).



\* Cutting for follow up foliar spray during optimal treatment window

## Slovensko – Česko

### Regulácia krídatky v zahraničí



**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**



**Ďakujem za pozornosť**

doc. Ing. Peter Ďurčanský, PhD.

**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

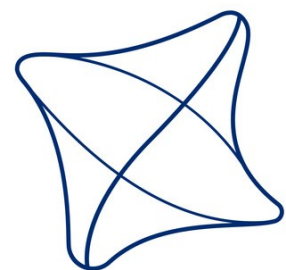
**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**



# **Optimalizácia spaľovania biomasy krídlatky v laboratórnych podmienkach**

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



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE**

Slovensko – Česko

## Spaľovacie skúšky krídlatky japonskej

Zdroj tepla: kotol s automatickým  
podávaním

Palivo: krídlatka japonská

Forma: štiepka

Veľkosť frakcie: 3 – 8 cm

Vlhkosť: 7 %

Výhrevnosť: 18,53 MJ/kg

Doba merania: 30 min

Merané veličiny:

Plynné emisie: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

Tuhé znečisťujúce látky

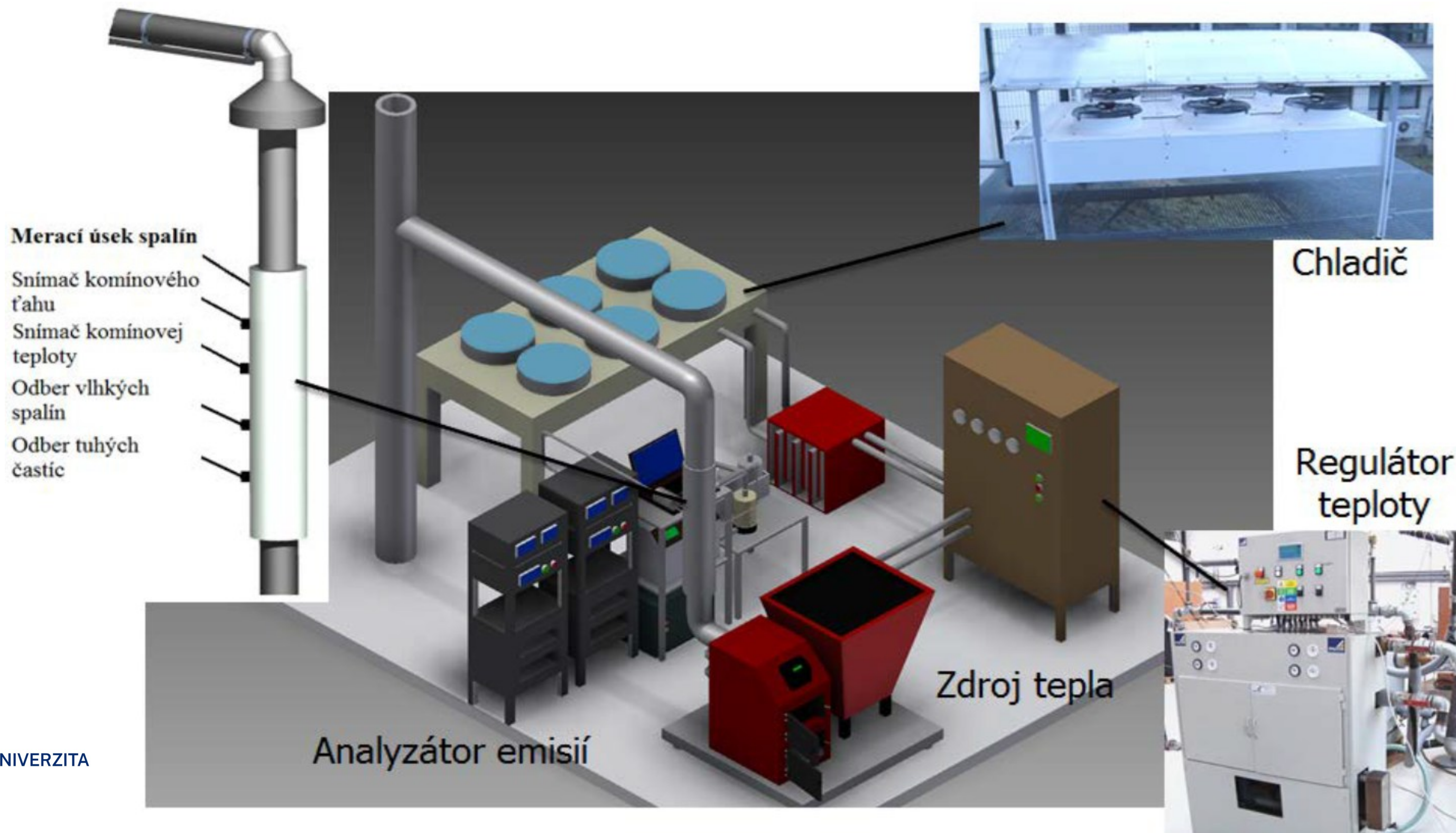
Výkon zdroja tepla

Účinnosť zdroja tepla



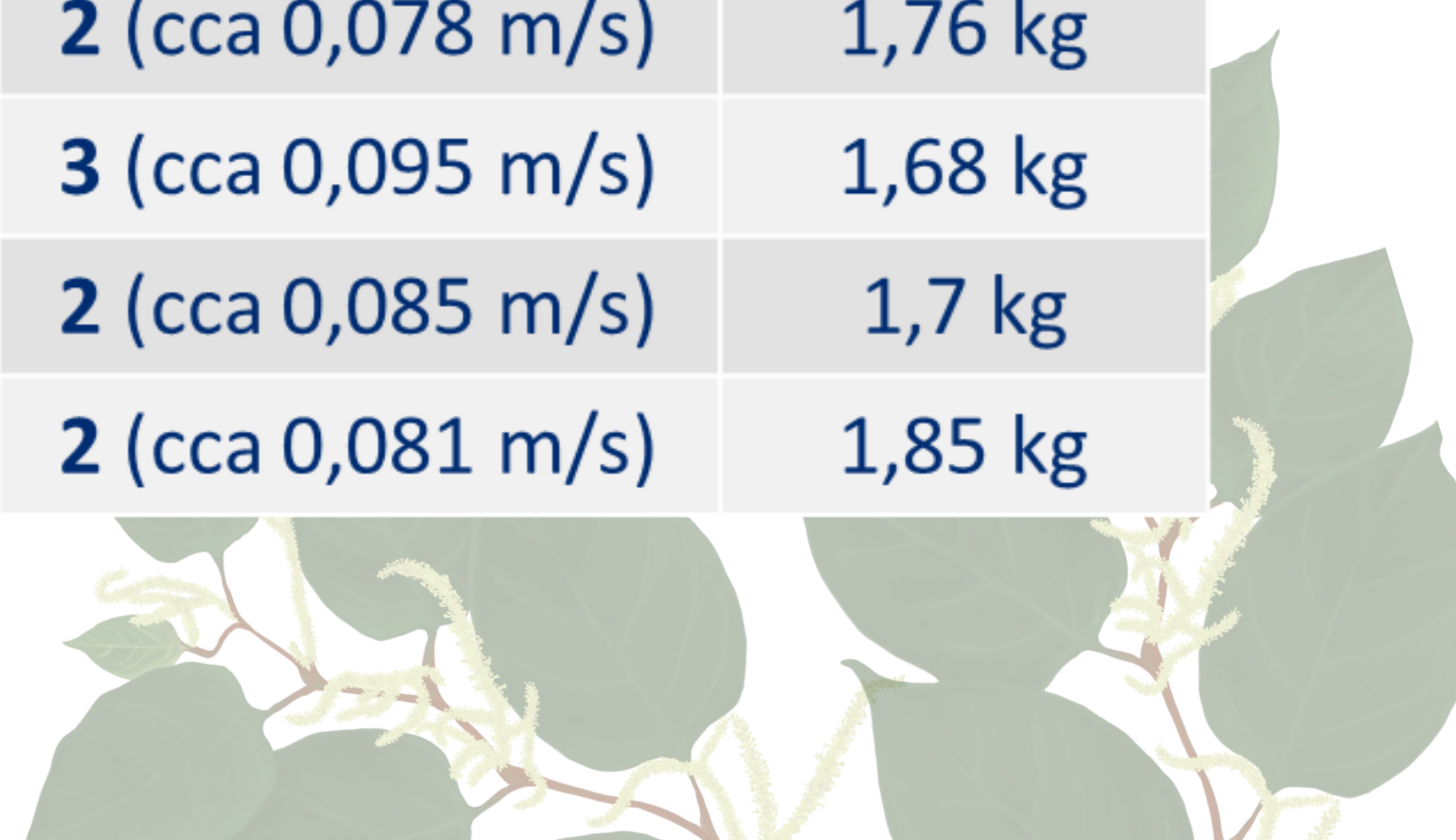
Slovensko – Česko

Experimentálne zariadenie na meranie emisných a výkonových parametrov ZT



## Nastavenie parametrov spaľovacích podmienok merania emisií malého zdroja tepla

Poradie merania	Nastavenie podávača	Nastavenie ventilátora	Hmotnosť paliva
Meranie č. 1	Podávanie 40 s / státie 5 s	<b>1</b> (cca 0,058 m/s)	1,2 kg
Meranie č. 2	Podávanie 40 s / státie 10 s	<b>1</b> (cca 0,057 m/s)	1,3 kg
Meranie č. 3	Kontinuálne podávanie	<b>2</b> (cca 0,078 m/s)	1,76 kg
Meranie č. 4	Kontinuálne podávanie	<b>3</b> (cca 0,095 m/s)	1,68 kg
Meranie č. 5	Podávanie 40 s / státie 10 s	<b>2</b> (cca 0,085 m/s)	1,7 kg
Meranie č. 6	Podávanie 40 s / státie 5 s	<b>2</b> (cca 0,081 m/s)	1,85 kg



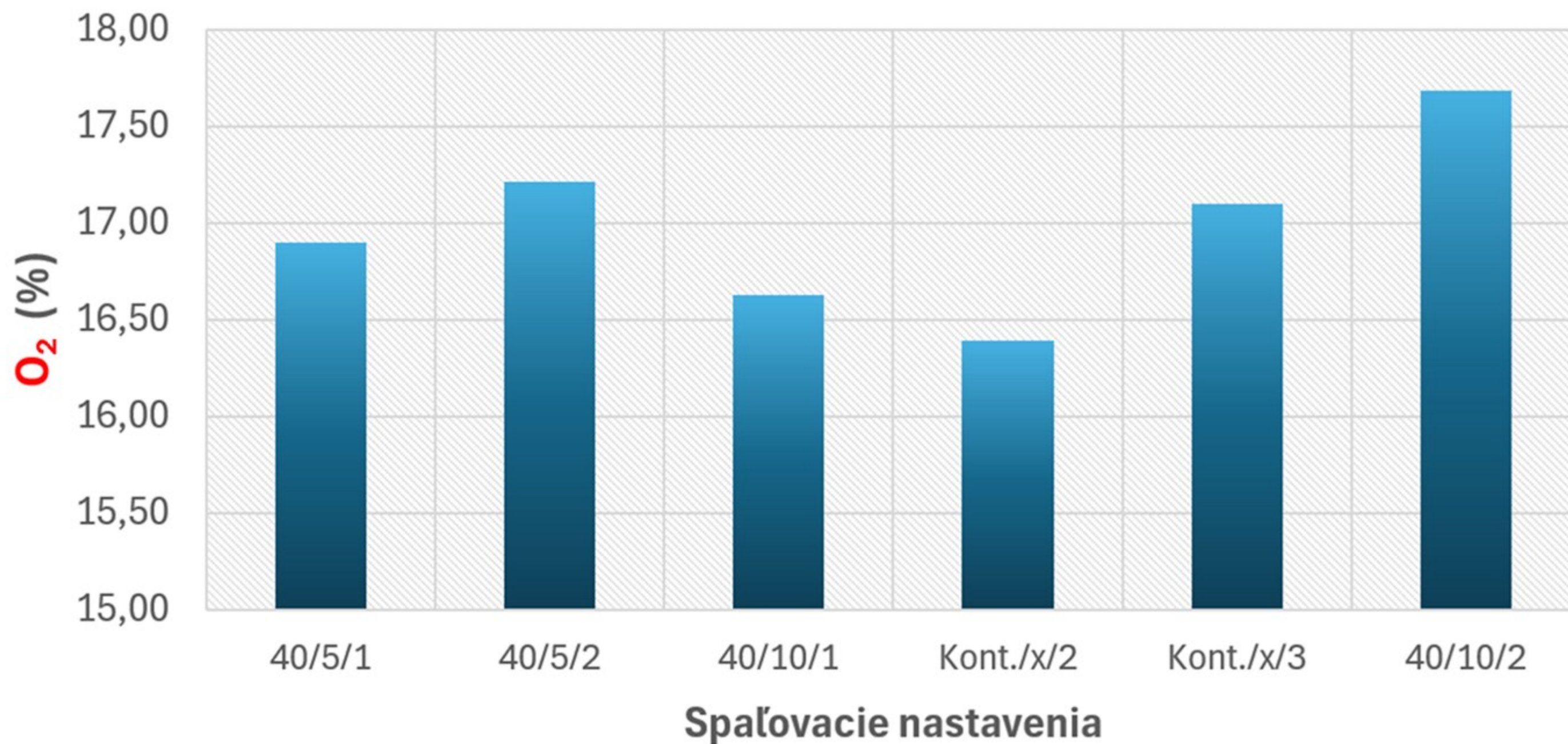


Slovensko – Česko



Slovensko – Česko

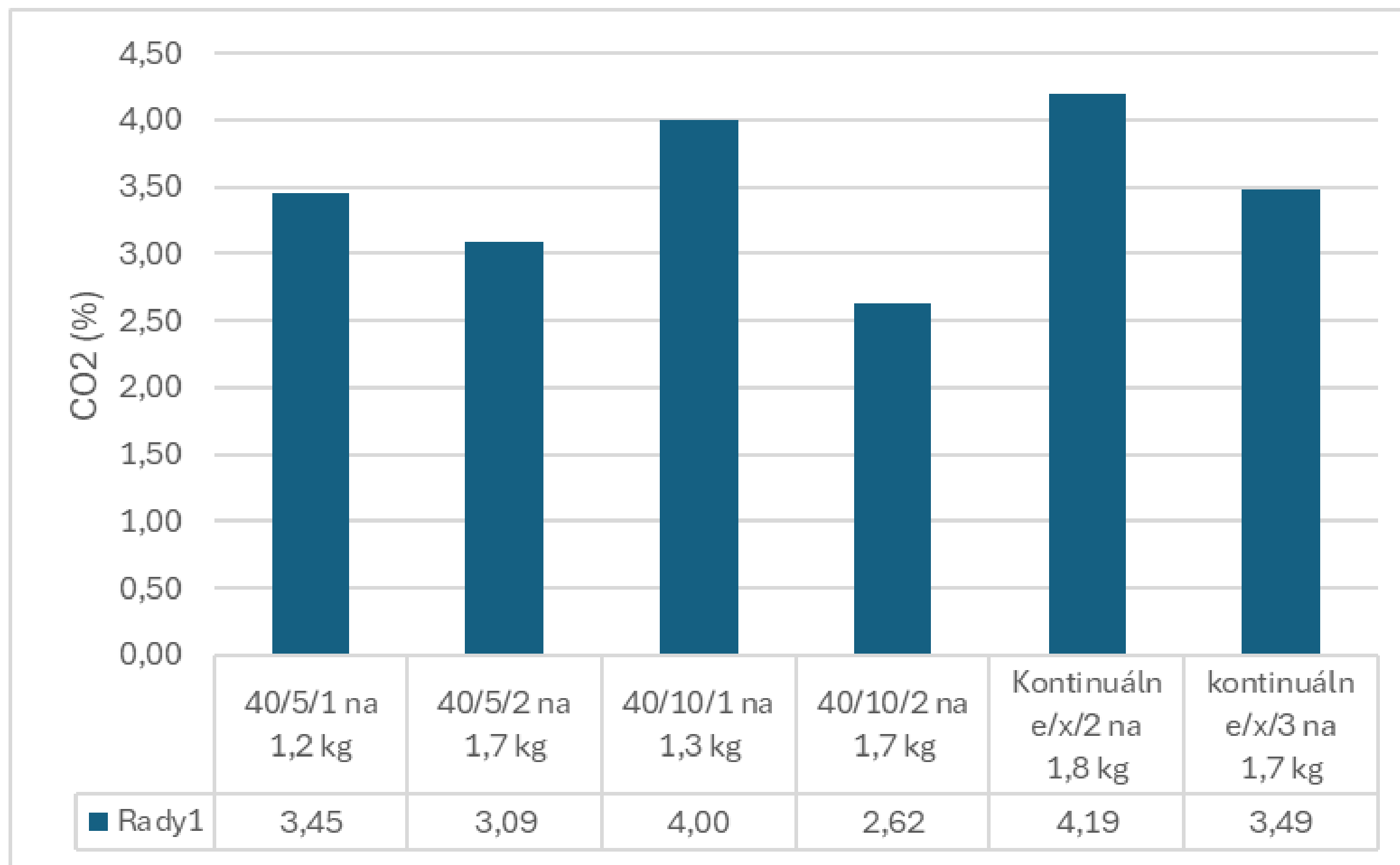
## Koncentrácia **kyslíka (O<sub>2</sub>)**





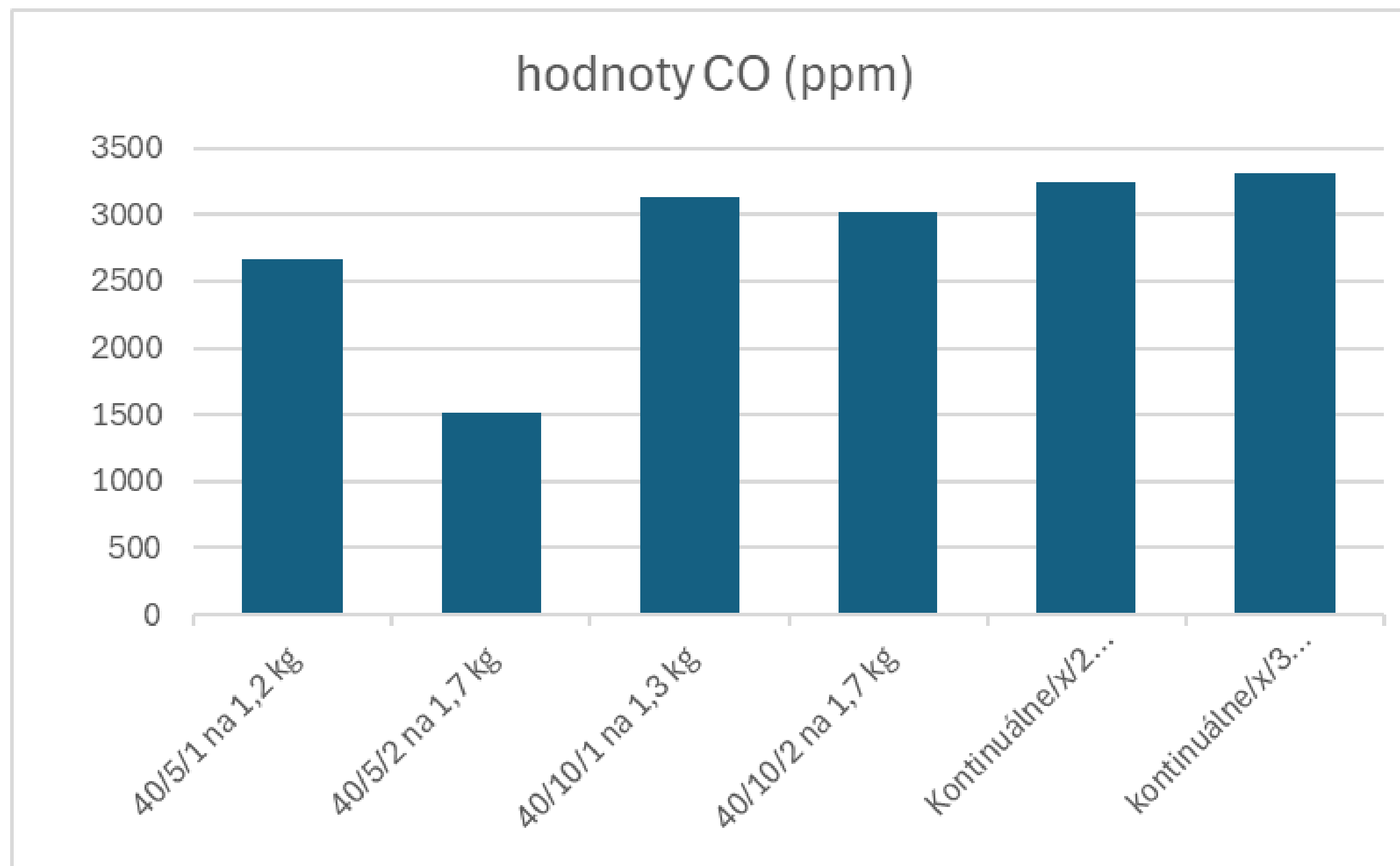
Slovensko – Česko

## Koncentrace CO2 (%)



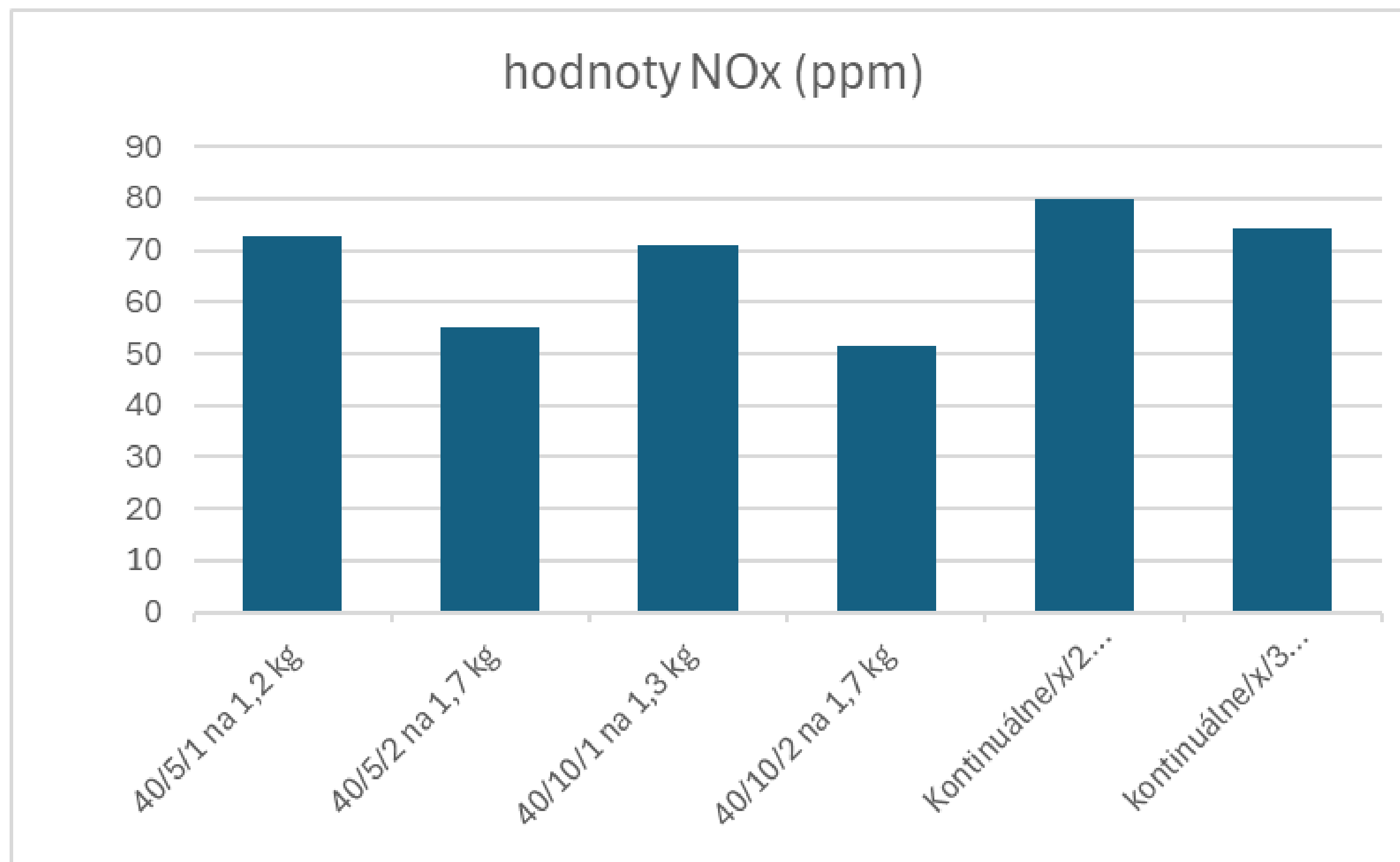


## Slovensko – Česko



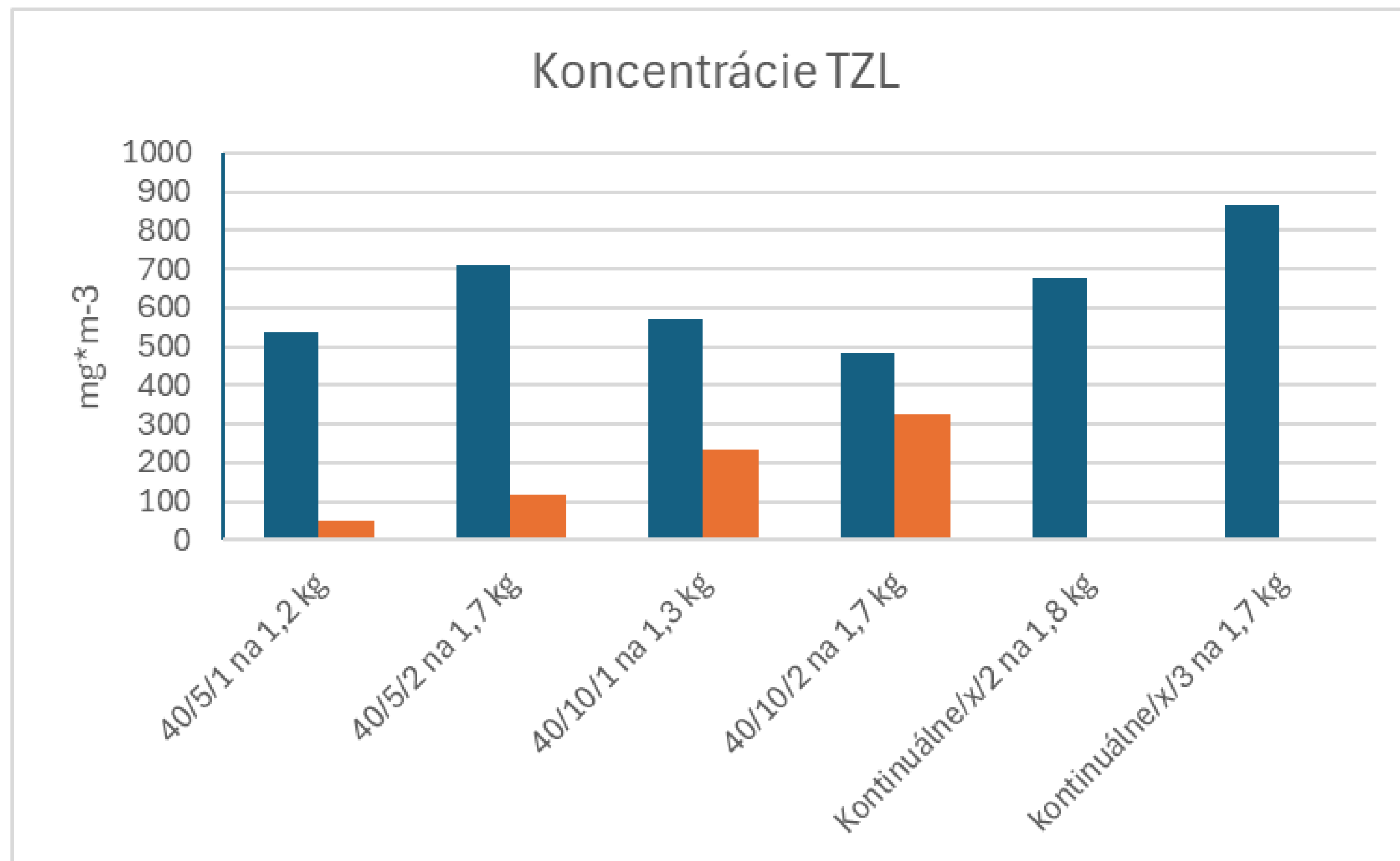


## Slovensko – Česko





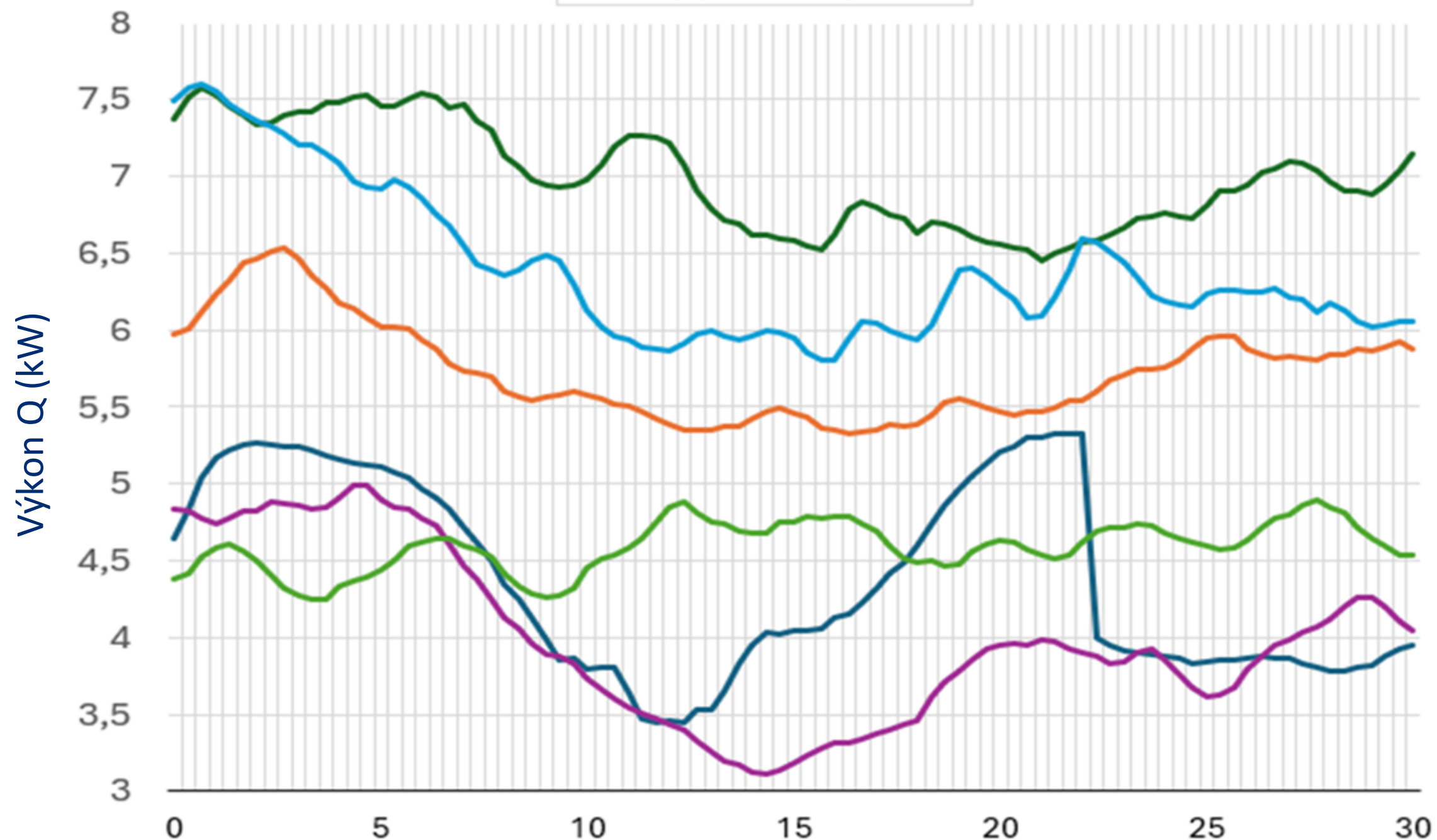
## Slovensko – Česko





### Slovensko – Česko

Časový prebeh výkonov



40/5/1 na 1,2 kg  
40/10/2 na 1,7 kg

40/5/2 na 1,7 kg  
Kontinuálne/x/2 na 1,8 kg

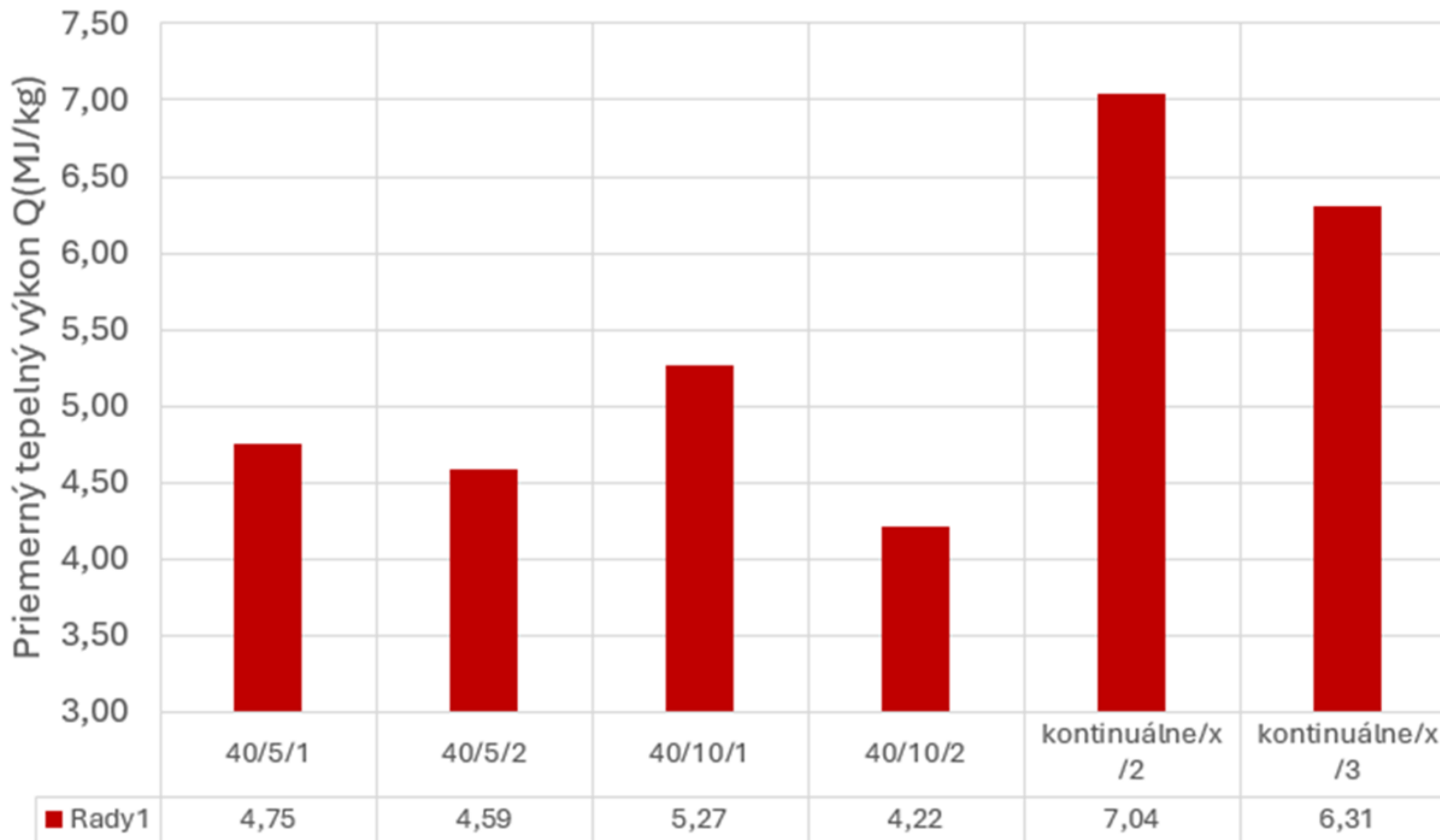
40/10/1 na 1,3 kg  
kontinuálne/x/3 na 1,7 kg





### Slovensko – Česko

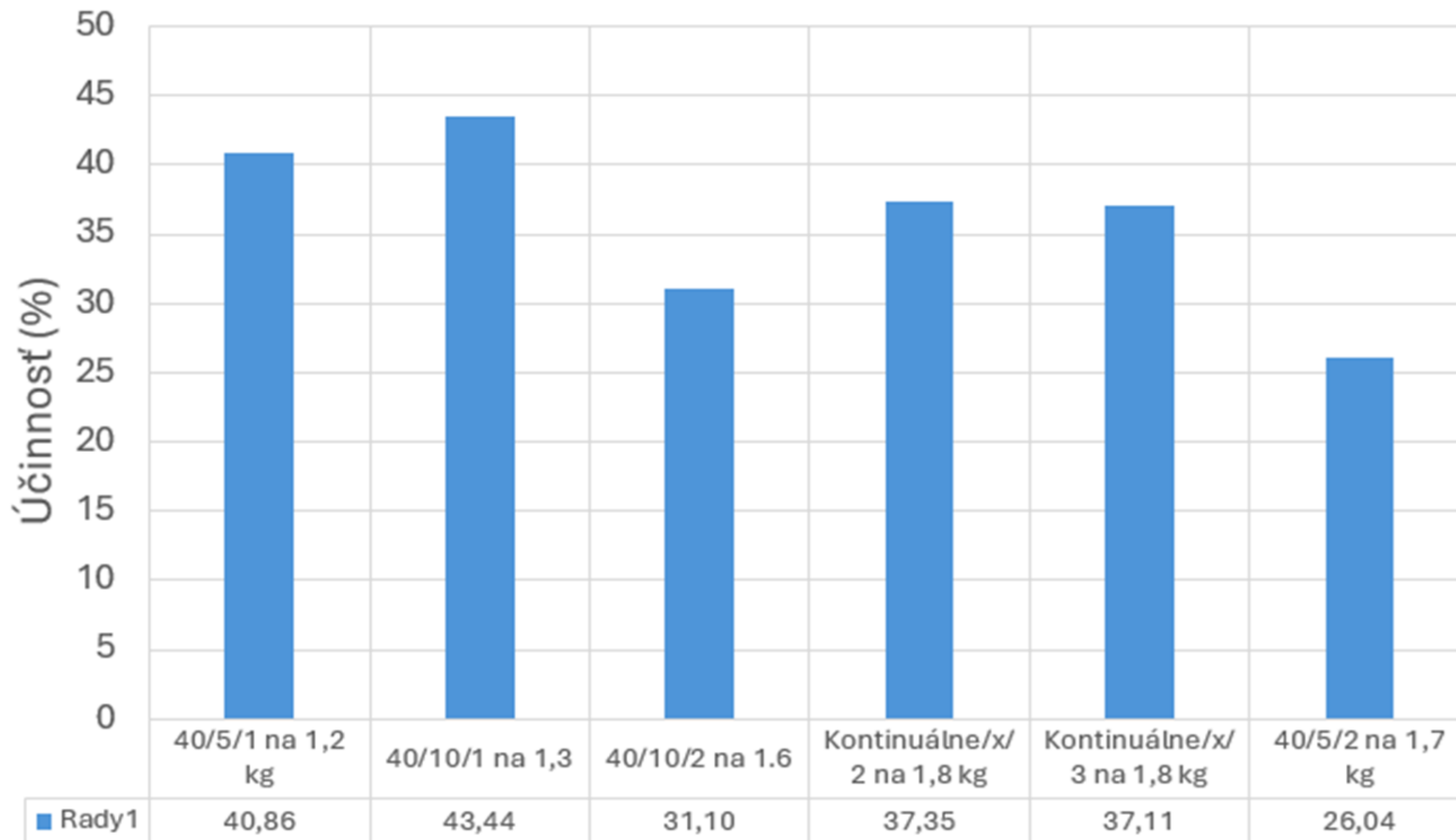
### Priemerný tepelný výkon





## Slovensko – Česko

### Priemerná účinnosť



## Porovnanie tepelných výkonov a účinností ZT

Podávanie (s)	Prestávka (s)	Ventilátor (-)	Rýchlosť (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Hmotnosť (kg)	Tepelný výkon (kW)	Účinnosť (%)
40	5	1	0,058	1,2	4,75	41
40	5	2	0,057	1,7	4,59	26
40	10	1	0,078	1,3	5,27	43
Kontinuálne	x	2	0,095	1,8	7,04	37
Kontinuálne	x	3	0,085	1,7	6,31	37
40	10	2	0,081	1,7	4,22	31

## Záver

- Napriek obmedzeným možnostiam nastavenia spaľovania krídatky japonskej vo forme štiepky v malom zdroji tepla sú dosiahnuté výsledky obstožné a porovnateľné so spaľovaním iných druhov fytoomas v neupravenej forme.
- Vzhľadom na výkon a účinnosť bol najvhodnejším nastavením spaľovacích podmienok zdroja tepla kontinuálne podávanie s nastavením ventilátora 2.
- Vzhľadom na tvorbu plynných emisií bol najvhodnejším nastavením spaľovacích podmienok zdroja tepla 40/5/2.
- Vhodnejším spôsobom spaľovania krídatky japonskej vo forme štiepky sa javí spaľovanie vo veľkých zdrojoch tepla pre centrálnu zásobovanie teplom, ktoré sú zabezpečené technológiami na zníženie emisií.
- Ďalšou alternatívou spaľovania krídatky japonskej v malom zdroji tepla je možnosť spaľovania vo forme peliet, ktoré sú kompaktným palivom a ich spaľovaním sa tvorí menej emisií TZL.

**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

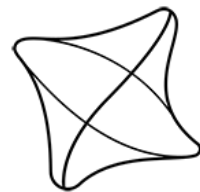
**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**



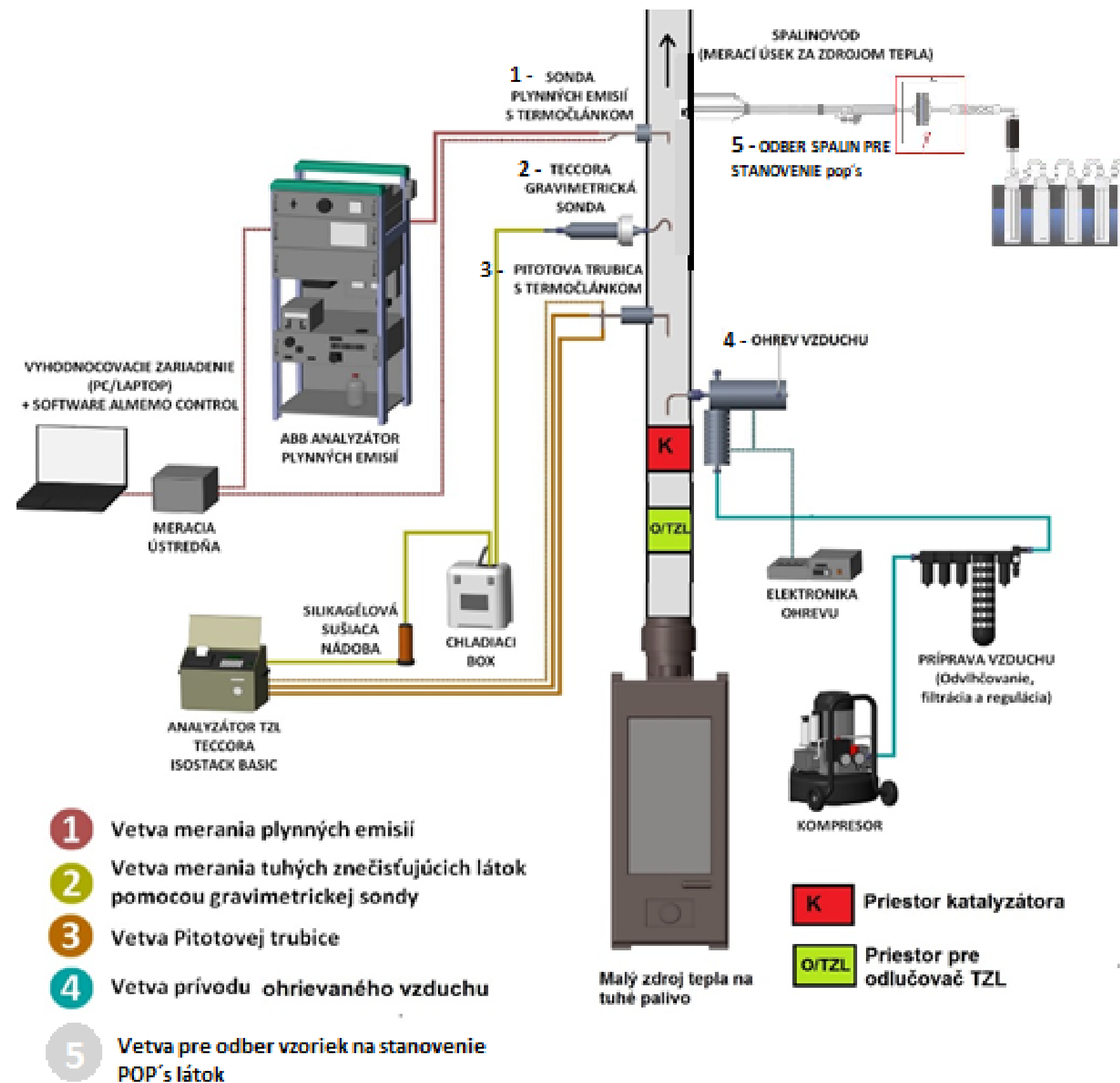
**Ďakujem za pozornosť  
Ing. Patrik Nemec, PhD**



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE**  
Výskumné centrum  
UNIZA



### Slovensko – Česko



**Interreg**



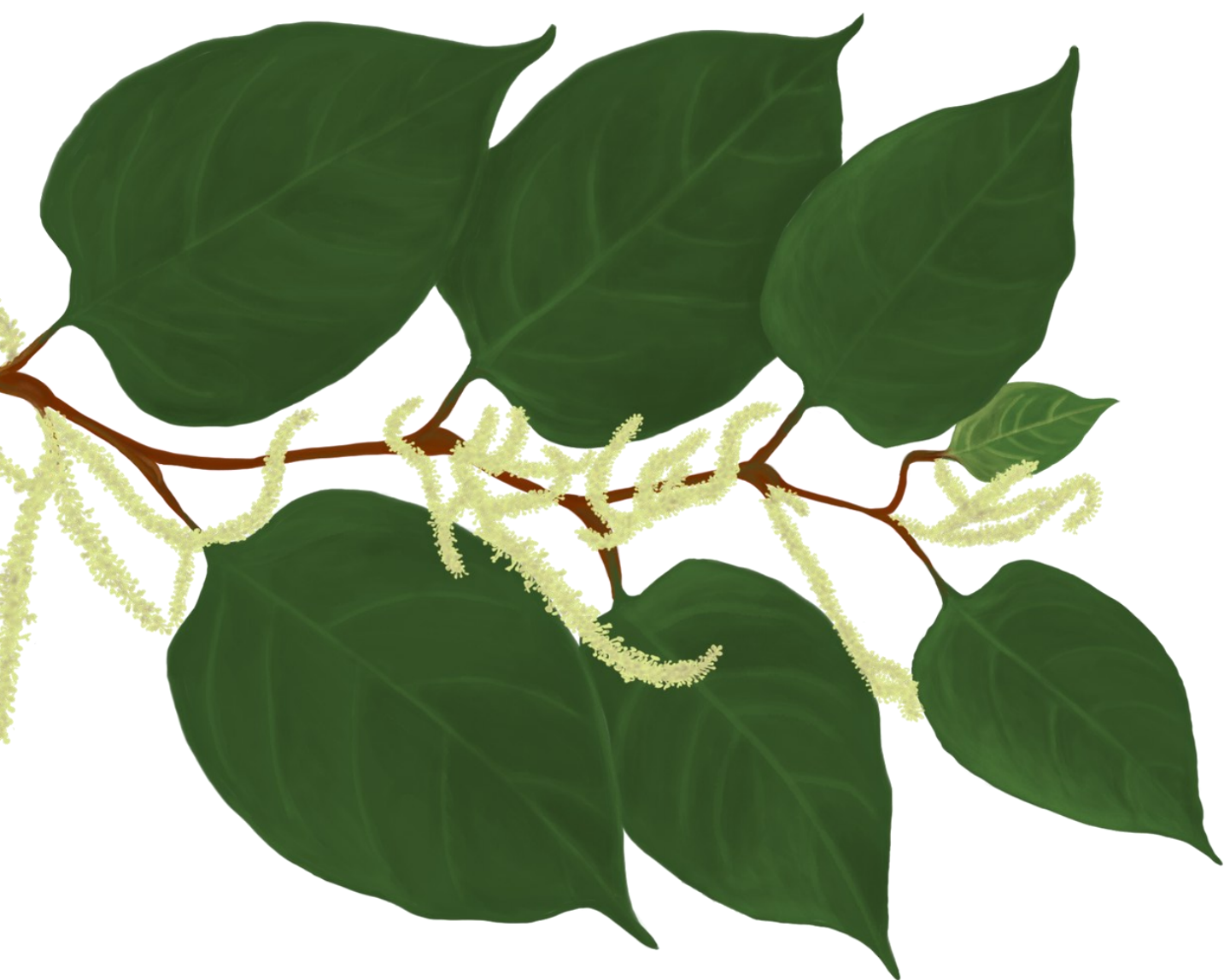
**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**

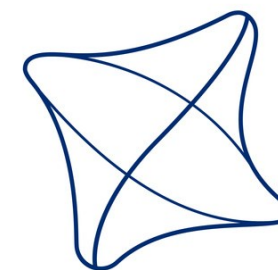


# **Zušľachťovanie biomasy: Peletovanie a briketovanie krídlatky**

**Alexander Čaja**

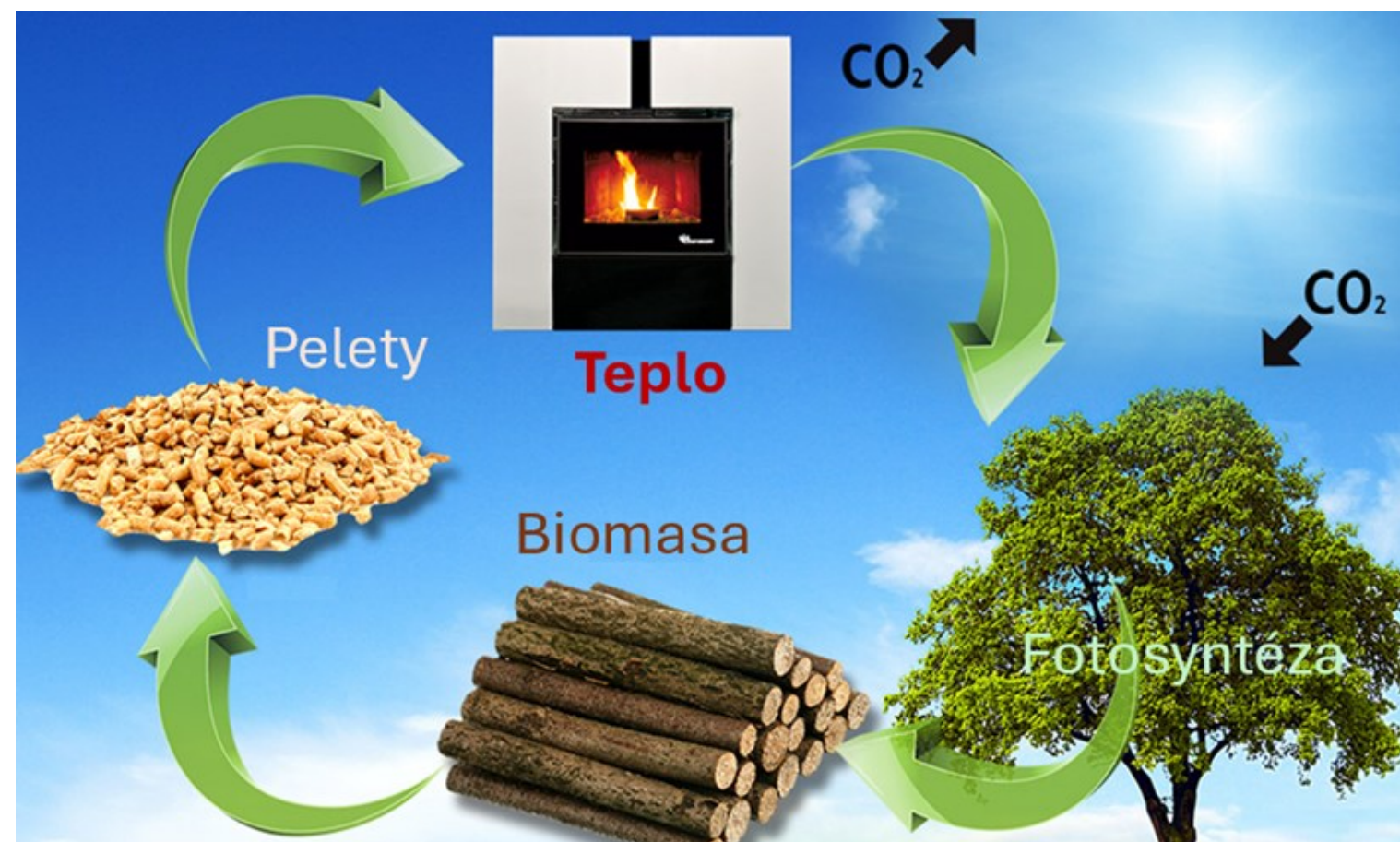
[alexander.caja@fstroj.uniza.sk](mailto:alexander.caja@fstroj.uniza.sk)

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



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE**

## Využitie biomasy



Najrozšírenejším typom obnoviteľného paliva je **biomasa**. Medzi najčastejšie využívané biologické materiály patria drevo, rôzne rastliny a poľnohospodárske zvyšky. Býva organického pôvodu, pričom sa rozlišuje rastlinná biomasa (napr. rýchlorastúce dreviny, energetické plodiny) a živočíšna biomasa. Príkladom palív z biomasy môžu byť rýchlorastúce dreviny a invázne rastliny, ktoré sú z ekologického hľadiska nežiadúce a preto podliehajú regulácii alebo odstraňovaniu. Medzi takéto rastliny patrí aj **krídlatka japonská**.

## Slovensko – Česko

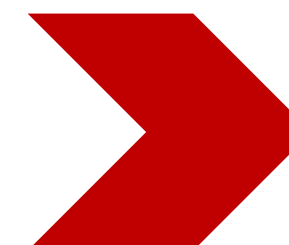
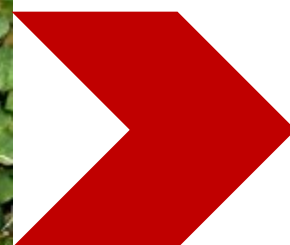
## Zber krídlatky japonskej

Výroba alternatívneho tuhého paliva z krídlatky japonskej začína plánovaním **zberu biomasy**, pričom dôraz musí byť kladený na minimalizáciu vplyvu vonkajších environmentálnych faktorov na kvalitu získanej suroviny. Vhodný čas zberu je v období vegetačného útlmu rastliny, kedy rastlina nemá aktívnu zelenú hmotu, a zároveň počas stabilného slnečného počasia bez zrážok minimálne po dobu dvoch týždňov. Tento časový rámec zabezpečí, že stonky rastlín budú dostatočne suché a vhodné na spracovanie bez potreby dodatočného sušenia, čím sa eliminujú energetické náklady a zabezpečí prirodzená znížená vlhkosť biomasy. Po zbere sa krídlatka prevezie na miesto prvotného spracovania.



## Slovensko – Česko

## Príprava paliva



Palivo musí byť pred spaľovaním dôkladne pripravené, čo zahŕňa najmä jeho sušenie a drvenie. Znížením vlhkosti a zjemnením štruktúry sa zlepší jeho horenie, ktoré je rovnomernejšie a znižuje sa riziko neúplného spaľovania, ktoré by mohlo viesť k zvýšenej tvorbe emisií.

**Sušenie:** vzdušné (odležané v laboratóriu) dosušenie alebo teplovzdušná sušiareň na požadovanú vlhkosť

**Drvenie:** mechanická fragmentácia prostredníctvom drviacich zariadení (štiepkovač, kladivkový mlyn); môže byť viacstupňová vzhľadom na požadovanú veľkosť

Slovensko – Česko

Ukážka drviaceho zariadenia



## Slovensko – Česko

## Úprava vstupnej suroviny

- **Triedenie**: odstránenie cudzích predmetov
- **Preosievanie**: triedenie cez sitá vzhľadom na ďalšie spracovanie krídlatky (peletovanie, briketovanie) z dôvodu zabezpečenia rovnomernej zrnitosti vstupnej suroviny
- **Dovlhčovanie** vstupnej suroviny (10 až 15%), napr. v miešacom zariadení na vytvorenie tenkého filmu vlhkosti na povrchu suroviny
- **Pridávanie aditív** na zvýšenie obsahu lignínu (zlepšenie pevnosti peliet) a teploty tavitelnosti popola (obmedzenie tvorby spekancov a aglomerátov) alebo miešanie a spoluspaľovanie s drevným materiálom, ktorý obsahuje vyššie množstvo lignínu

## Vstupná surovina



## Pelety

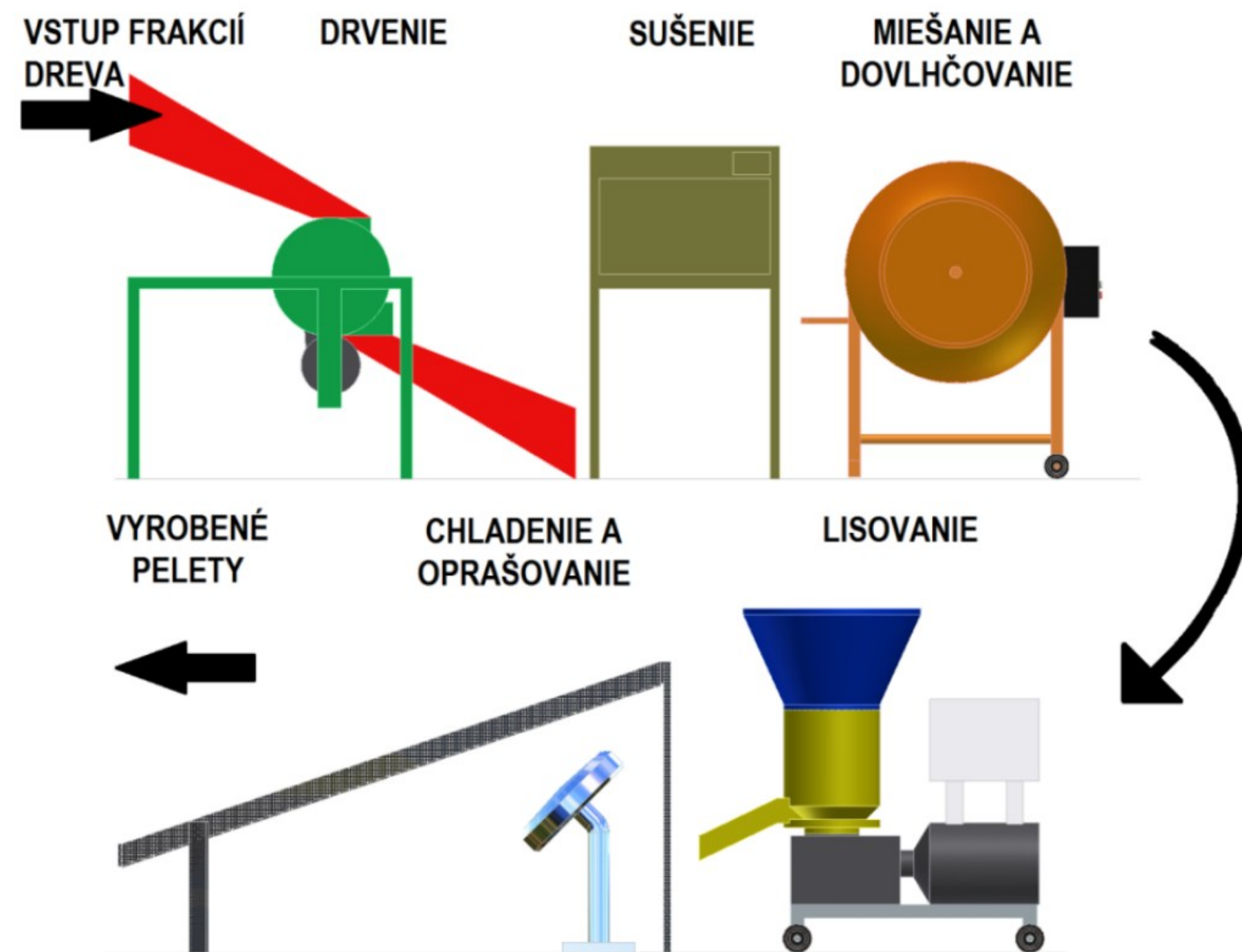


Lisovanie

## Slovensko – Česko

## Peletovanie

- Materiál prvýkrát vstupuje do peletizéra a prichádza do styku s lisovacou kladkou.
- Časť materiálu je pretlačená otvormi v matrici.
- Vzhľadom na určitú vzájomnú vzdialenosť matrice a lisovacej kladky vzniká vrstva stlačeného materiálu.
- Pri dobrých vlastnostiach suroviny je optimálne teplo a tlak vyvíjaný trením materiálu v otvore matrice.
- Z peletizéra vychádzajú husté lesklé pelety, ktoré sú po ochladení pripravené na použitie.



## Slovensko – Česko

## Chladienie a skladovanie výliskov

- Teplé pelety privádzané do chladiaceho zariadenia, kde by sa mali ochladiť približne na izbovú teplotu alebo tesne nad ňu.
- **Chladienie** zvyšuje pevnosť a životnosť peliet, čím sa znižuje produkcia prachu a odrolu počas prepravy a manipulácie.
- **Skladovanie peliet:** dôležité pre zachovanie kvalitatívnych parametrov peliet (pelety nemôžu namoknúť, alebo podtiecť vodou, pretože by sa rozpadli).



## Slovensko – Česko

## Možnosti zvýšenia pevnosti výliskov

- závisí predovšetkým od pevnosti pevných častíc lisovaného materiálu a pevnosti väzieb medzi nimi (väzbovej schopnosti)
- rôzne spôsoby: voľba vhodných technologických podmienok procesu zhutňovania, mechanická úpravou materiálu mletím na jemnejšiu frakciu, prípadne použitie spojív (aditív)
- rozdelenie aditív:
  - matricový typ spojív (napr. vosk, suchý škrob, suchý cukor, íl),
  - filmový typ spojív (napr. škrob, bentonit, živice, lignosulfonáty, algináty),
  - chemické spojivá (napr. hydroxid vápenatý).

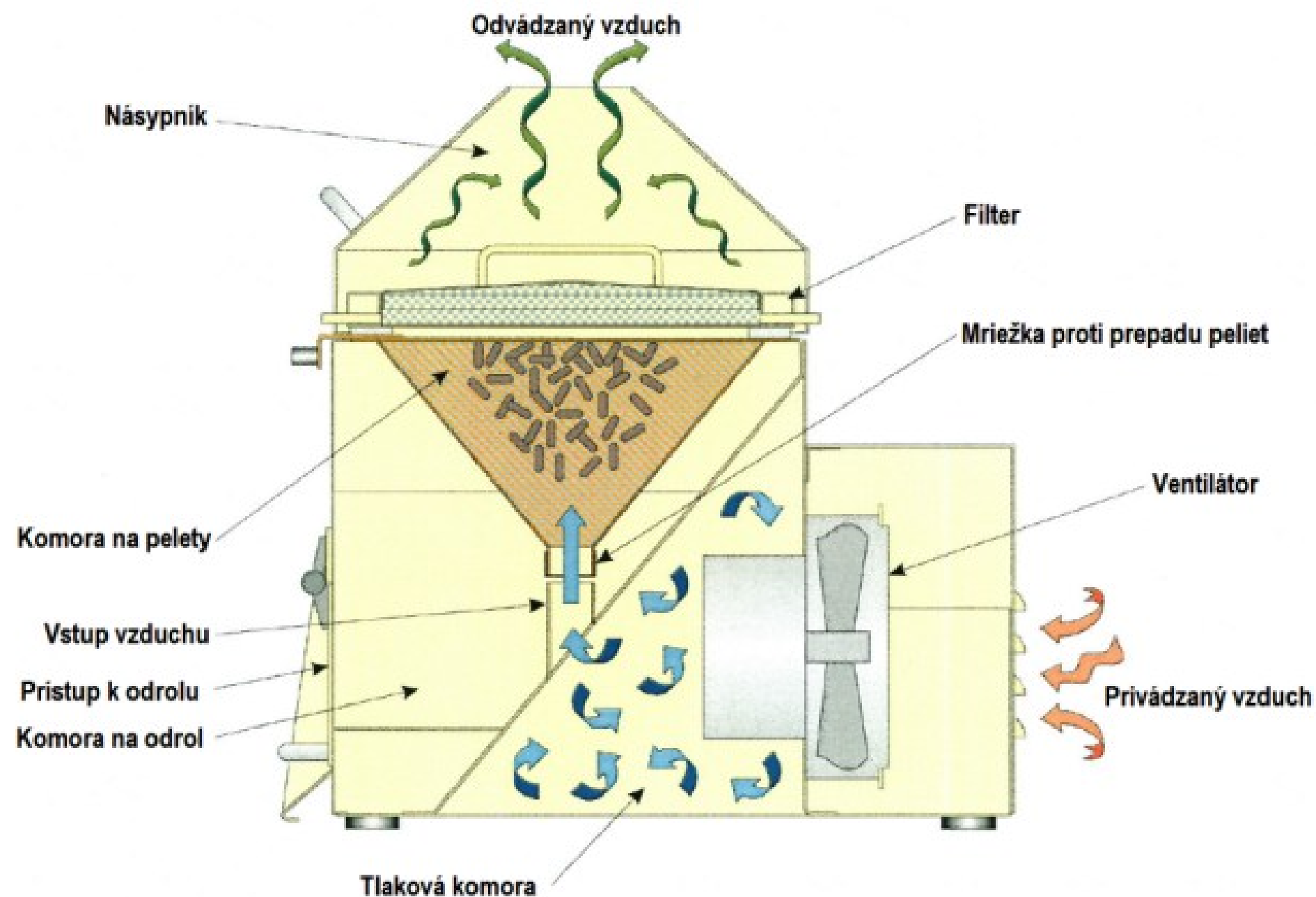
Ukázkový vplyv pridania melasy do smrekových pilín (značne sa zvýši pevnosť výliskov v tlaku a prudko poklesne ich oter):



## Slovensko – Česko

## Meranie pevnosti peliet

- Skúšobné vzorky podrobené riadeným nárazom vzájomnými zrážkami peliet a zrážkami so stenou v skúšobnom zariadení LignoTester.
- 2 testy: F – test (oderuvzdornosť 30 s) a DU – test (oderuvzdornosť 60 s).

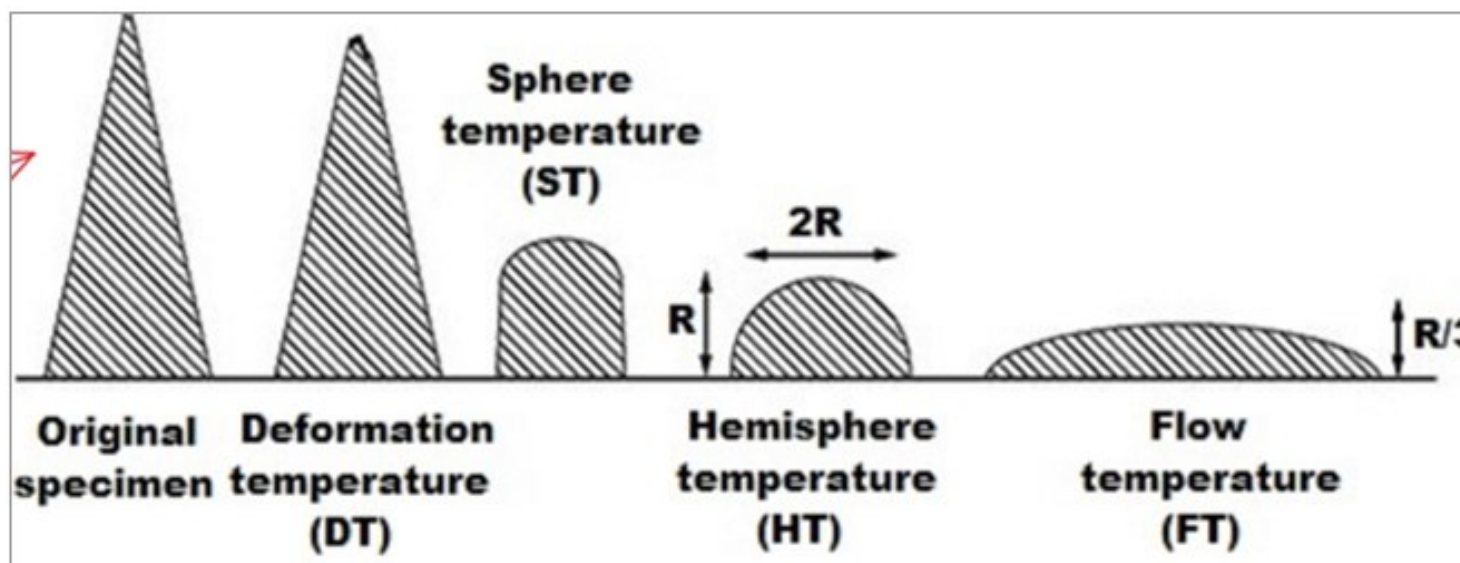


Slovensko – Česko

Meranie teploty tavitelnosti popola

Pozorujú sa nasledovné teploty:

- Teplota deformácie popola (DT)
- Teplota mäknutia popola (ST)
- Teplota tavenia popola (HT)
- Teplota tečenia popola (FT)



a)



b)



c)

Analyzátor  
LECO AF 700



## Slovensko – Česko

## Rozdelenie peliet z hľadiska kvality

- Pelety **typu A1** musia byť vyrobené len z čistého dreva alebo neošetrených drevených zvyškov. Požadovaný obsah popola nesmie presiahnuť 0,7 % a teplota deformácie popola nesmie byť nižšia ako 1 200 °C.
- Pelety **typu A2** okrem kmeňového dreva môže obsahovať aj neošetrené drevené zvyšky a zvyšky po ťažbe vrátane (ihličia a lístia) aj kôru ktorá zvyšuje množstvo popola. Pri spaľovaní peliet typu A2 vzniká väčšie množstvo popola a môže dochádzať ku spekaniu popola.
- Pelety **typu B** môžu obsahovať akúkoľvek drevenú biomasu, aj chemicky ošetrené drevené zvyšky, ale nesmú obsahovať ťažké kovy a halogénové organické látky.

**norma STN EN 14961-2**

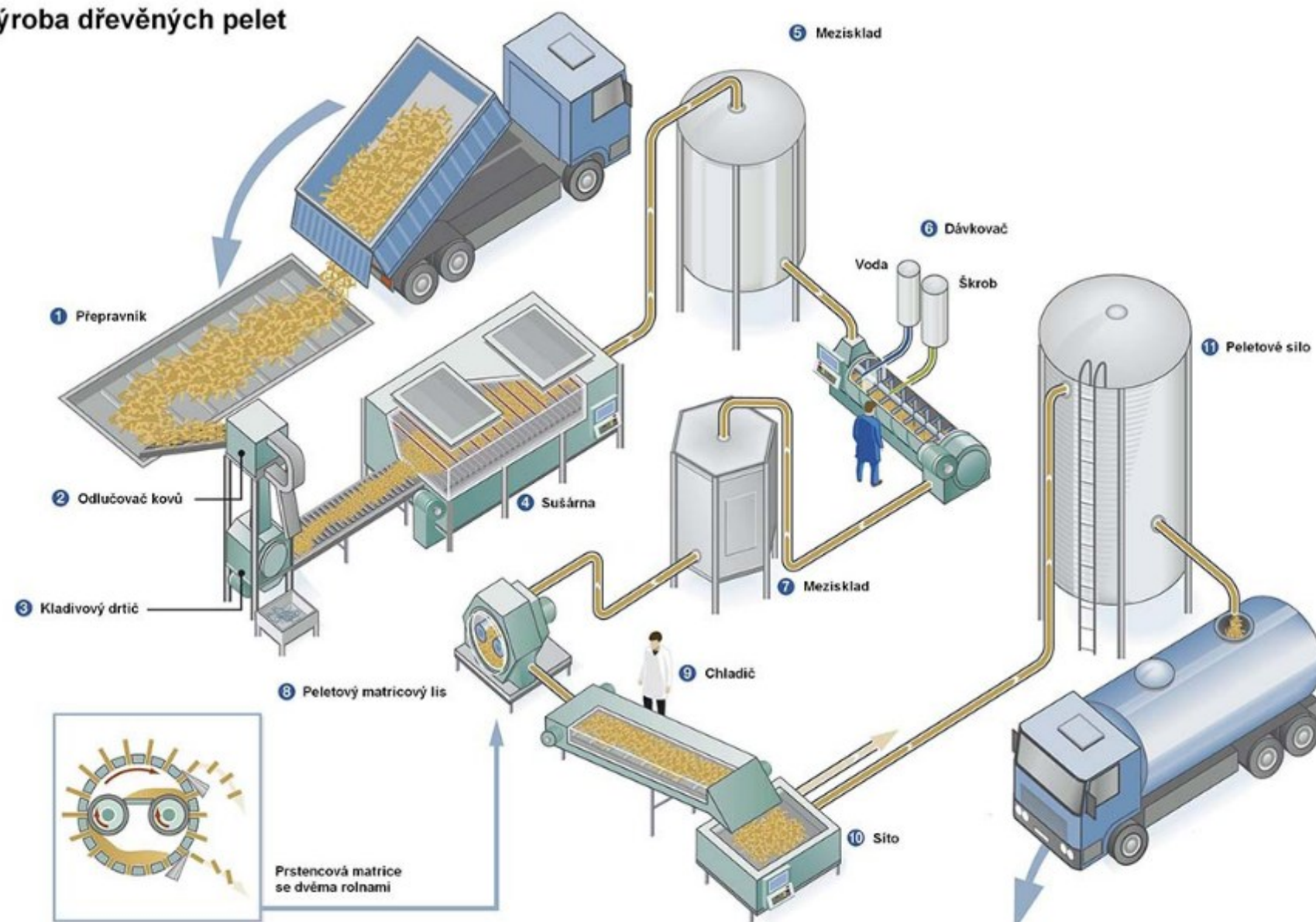


## Slovensko – Česko

## Peletovacie linky

- Výroba peliet väčších množstiev
- Automatizované

Výroba dřevěných pelet

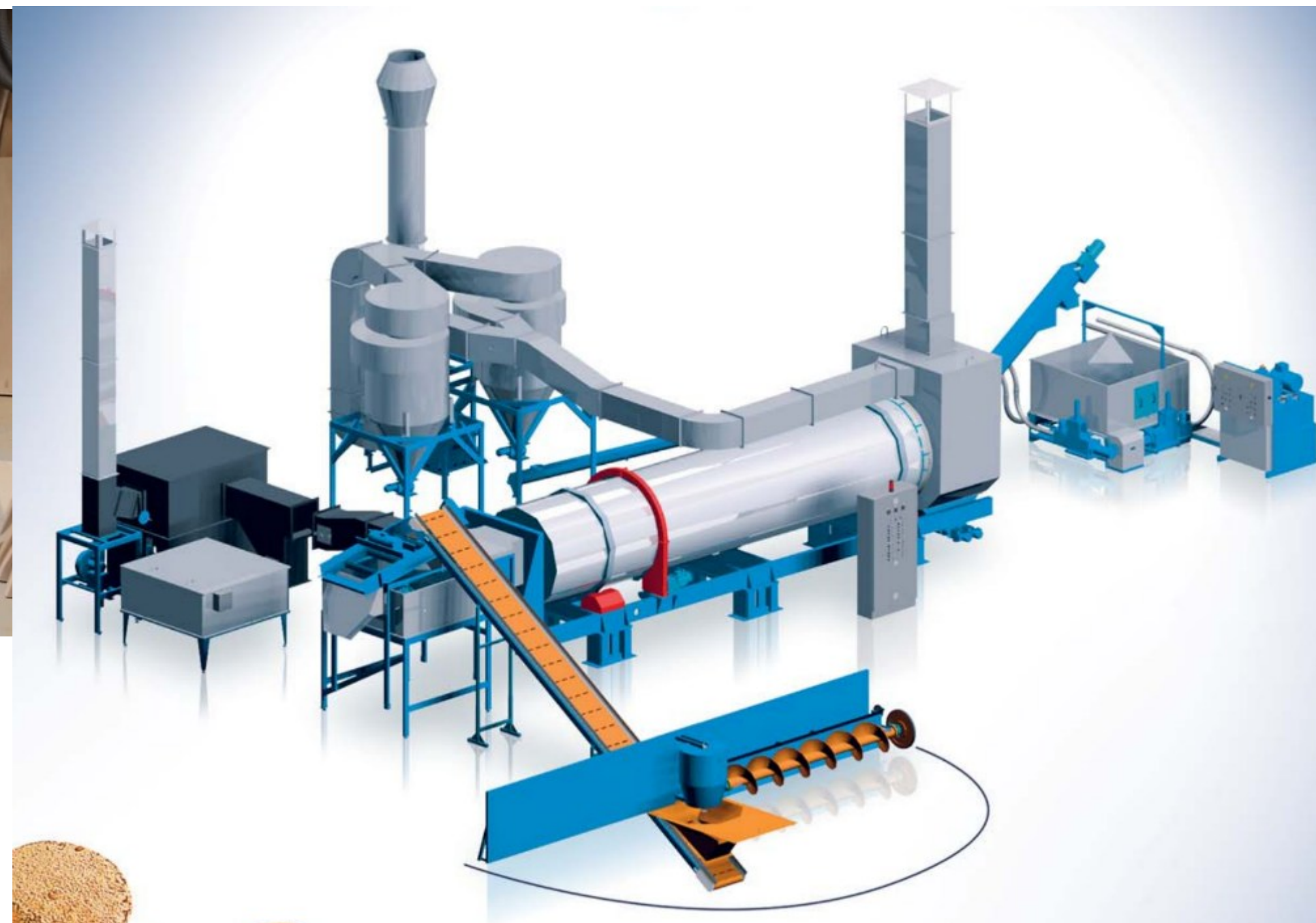


## Slovensko – Česko

## Brikety

- Majú identické vlastnosti ako pelety, avšak majú väčšie rozmery, sú hlavne určené pre kotly s manuálnym prikladaním.





**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**Slovensko – Česko**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**



**Děkuji za pozornost**

Ing. Alexander Čaja, PhD.



**+421 415 132 863**

**[alexander.caja@fstroj.uniza.sk](mailto:alexander.caja@fstroj.uniza.sk)**

**Interreg**



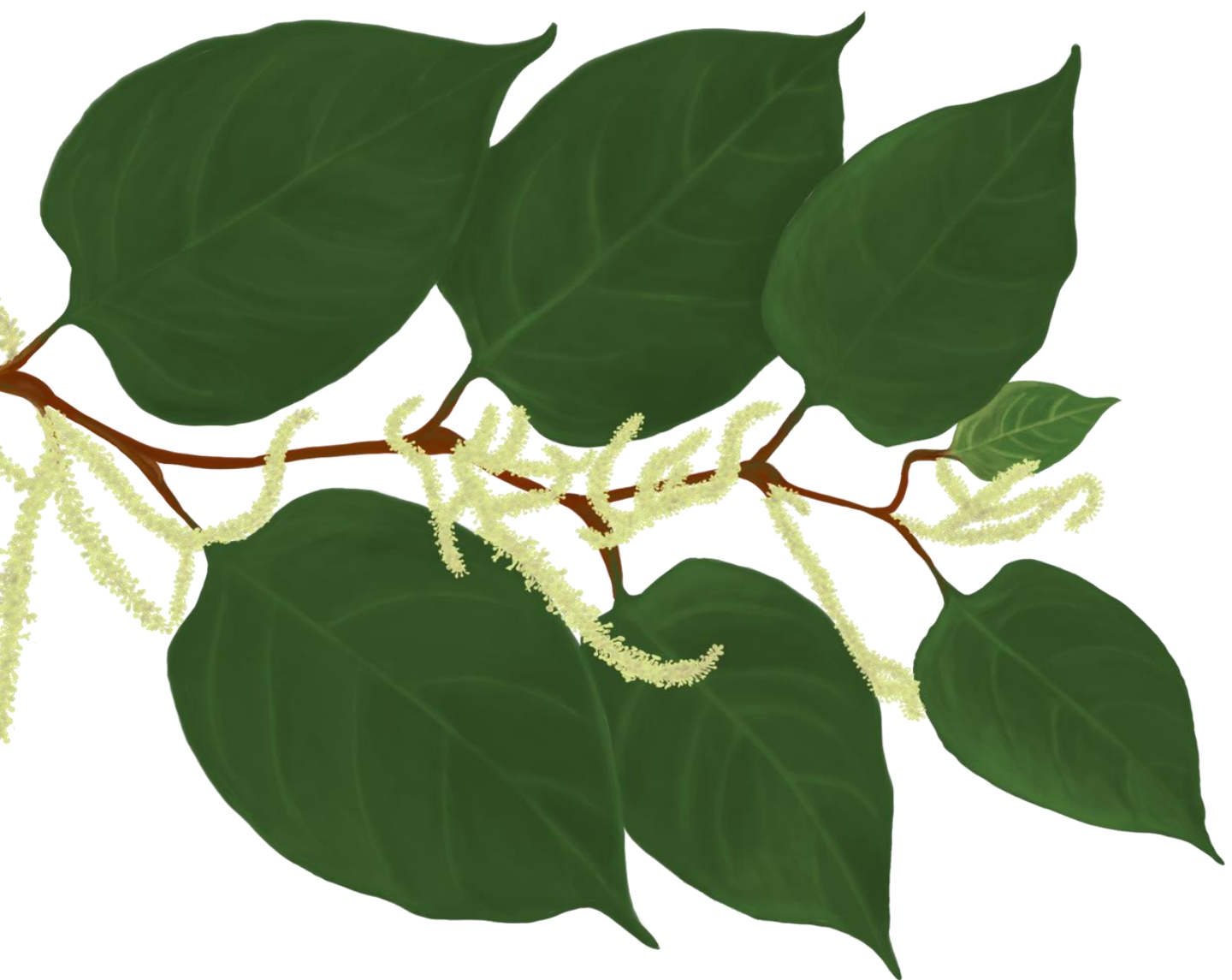
**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

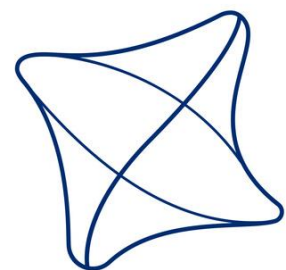
**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**



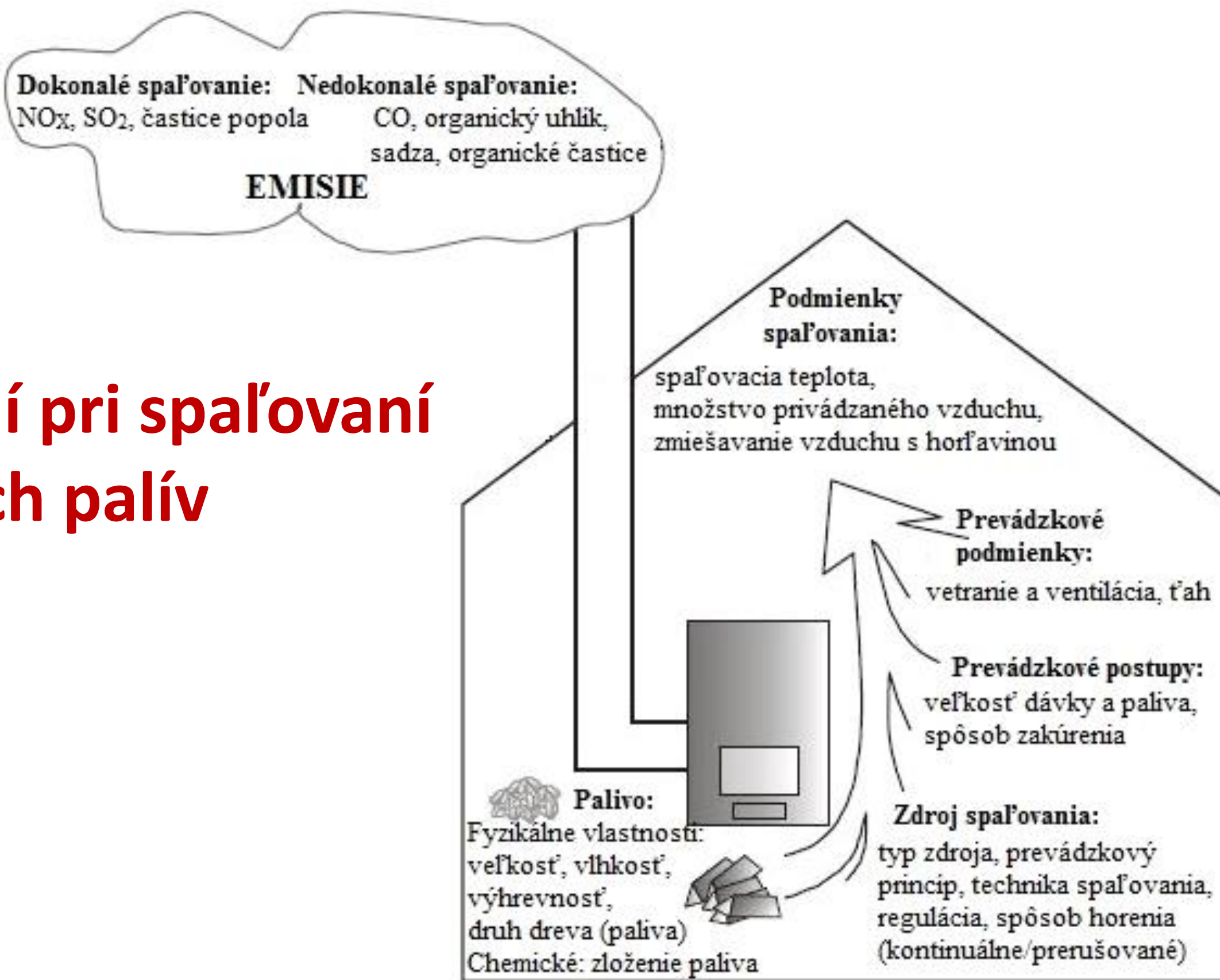
# Znižovanie produkcie emisií pri spaľovaní inváznych rastlín

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

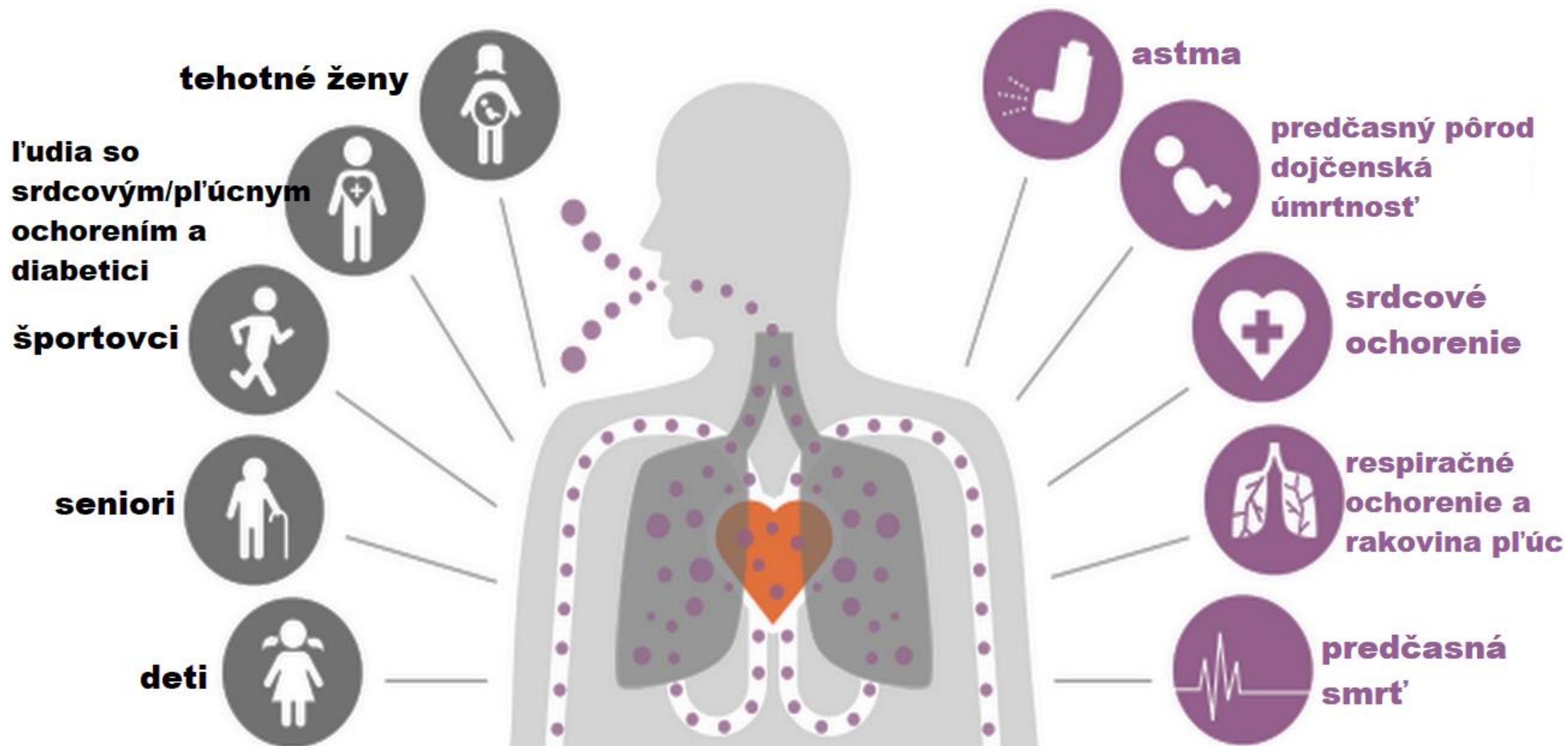


**ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE**

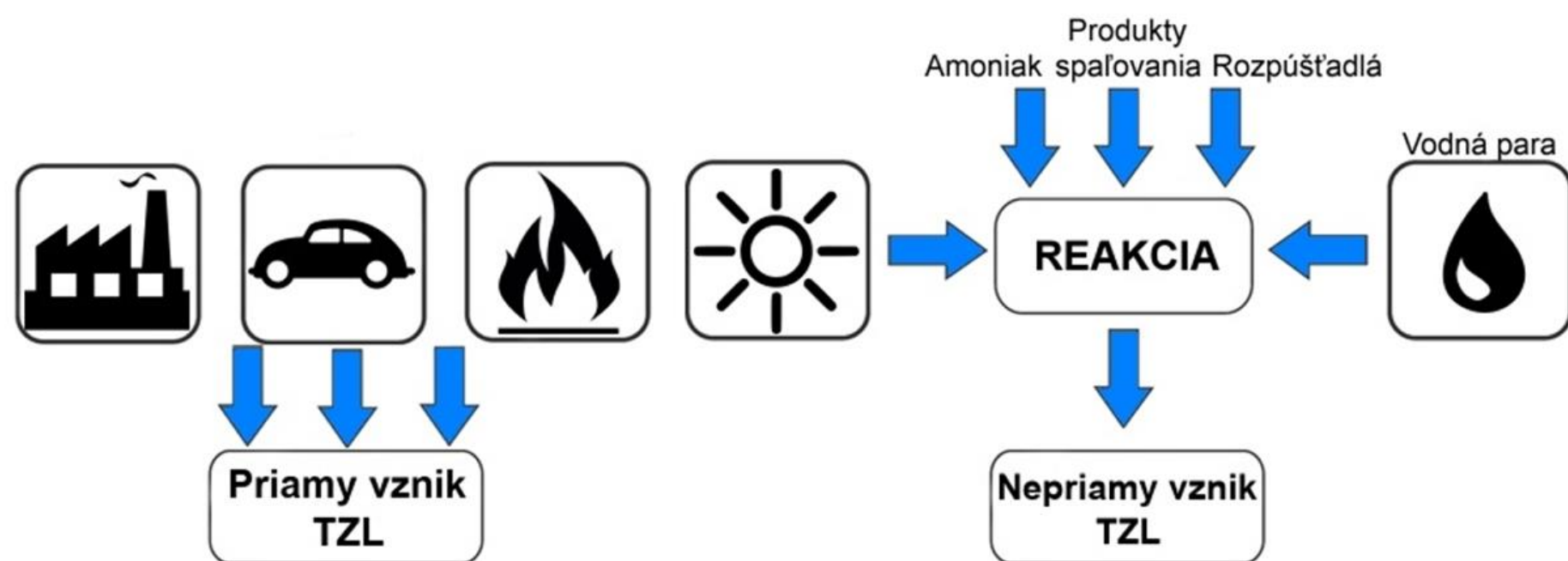
# Tvorba emisií pri spaľovaní tuhých palív



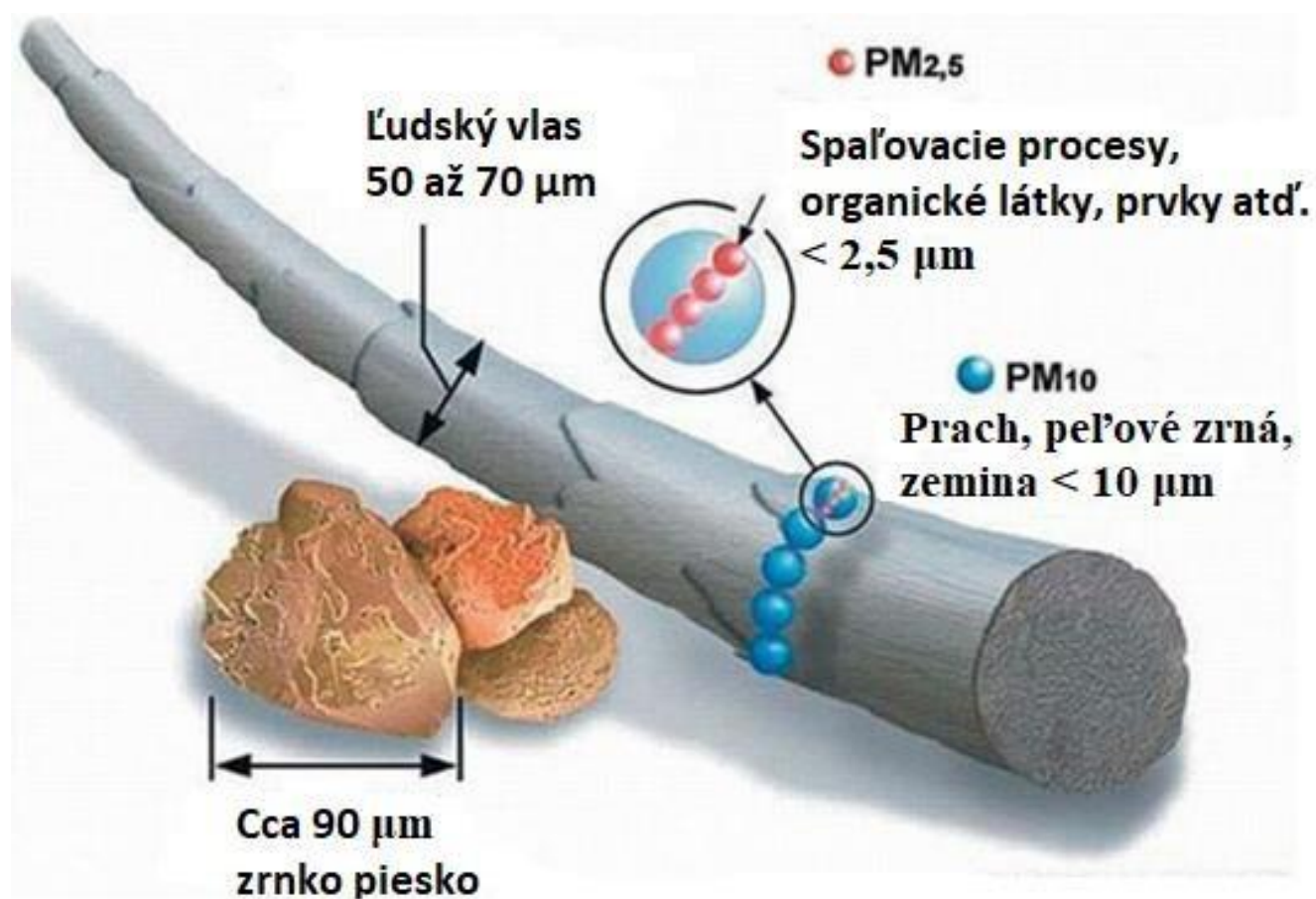
# Vplyv emisií na kvalitu života



### Slovensko – Česko



## Tuhé znečisťujúce látky



Legislatívne požiadavky (Zákony SR a príslušné Vyhlášky, nariadenia komisie EU, požiadavky na Ecodesign kotlov a pod.).

## Legislatívne požiadavky

### Zákon 146/2023 o ochrane ovzdušia a o zmene a doplnení niektorých zákonov

Vyhlášky MinŽP, STN

#### Zoznam hlavných znečisťujúcich látok:

- PM10 a PM2,5 / olovo, ortuť, arzén, kadmium, nikel;
- oxid siričitý, oxidy dusíka (hlavne oxid dusičitý, oxid uhoľnatý);
- ozón;
- benzén;

#### Ďalšie sledované látky:

- Sb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Tl (obsah v TZL);
- dioxíny, furány – hlavne dibenzo(b,e)(1,4)dioxín, dibenzofurán (**pre priemysel**);
- PAH - hlavne **Benzo(a)pyrén**, Benzo(b)fluorantén, Benzo(k)fluorantén, Indeno(1,2,3-cd)pyrén.

## Možnosti zachytávania TZL

- Primárne *optimalizáciou prúdenia vzduchu a spalín v spaľovacej komore*



### Malé zdroje tepla

*Nie sú monitorované, ani vybavené odlučovačmi alebo filtrami TZL*

- Sekundárne použitím *odlučovačov*



**Veľké zdroje tepla**  
*Sú monitorované*



## Princípy sekundárneho odlučovania TZL

- **Zotrvačný princíp** – využíva zotrvačnú silu k zníženiu rýchlosti častíc v spalinách.
- **Gravitačný princíp** – využíva príťažlivú silu založenú na rozdielnej hustote prúdiacej častice a okolitého vzduchu.
- **Odstredivý princíp** – využíva odstredivú silu rotujúcich častíc vo valci.
- **Elektrický princíp** – využíva pôsobenie elektrostatickej príťažlivej sily na častice ku stene odlučovača nabitou opačnou polaritou.
- **Difúzny princíp** – využíva pôsobenie molekulárnych síl na difúziu častíc do prostredia s menšou koncentráciou



Slovensko – Česko

# Porovnanie odlučovačov

Typ odlučovača	Zachytiteľná veľkosť častice [ $\mu\text{m}$ ]	Účinnosť odlučovania [%]	Výhody odlučovača	Nevýhody odlučovača
Separáčna komora (využívaná skôr ako predodlučovač)	> 20	< 50	nízka tlaková strata, nenáročná obsluha, suché zbieranie a odstraňovanie,	nízka účinnosť, neodseparovanie jemných častíc, na lepkavé častice nevhodné,
Cyklón (využívaný skôr ako predodlučovač)	5 – 25	50 – 90	jednoduchá konštrukcia, bez pohyblivých častí, minimálna údržba, nízke investície a náklady na prevádzku, stabilné tlakové straty,	nízka odlučivosť pri malých časticiach, možné technické poruchy spôsobené abrazivitou častíc,
Multicyklón	5	75 – 89	jednoduchá konštrukcia, stabilné tlakové straty, efektívne odlučovanie veľkých častíc,	nízka odlučivosť pri malých časticiach, možné technické poruchy spôsobené abrazivitou, lepkavosťou a vysokými koncentraciami častíc,
Mokrý odlučovač:				
Sprchový	>10	<80	schopnosť odstraňovať pevné a plynné emisie, relatívne ľahká údržba, relatívne vysoká odlučivosť,	korózne a erózne problémy, vysoké tlakové straty, slabá odlučivosť pre častice <1 $\mu\text{m}$ , problémy so zamrzaním,
Vírový	>2,5	<80		
Zotrvačný	>2,5	<80		
Prúdový	>0,5	<95		
Elektrostatický odlučovač	<1	95 – 99+	separácia jemných častíc, nízka tlaková strata a spotreba energie, jednoduchá údržba, prevádzka pri vysokých teplotách až do 700°C	vysoké investičné náklady, citlivé na kolísavú prachovú záťaž a tok častíc, relatívne vysoké nároky na priestor,
Filter	>0	>99	veľmi vysoká účinnosť, relatívne jednoduchá prevádzka, žiadne problémy s koróziou	vysoké náklady na údržbu, krátka životnosť filtrov, vlhkostné a chemické vplyvy, obchádzka počas zlyhania

## Slovensko – Česko



## Elektrostatické odlučovanie pre malé zdroje tepla – súčasný stav

prototyp elektrostatického odlučovača Applied Plasma Physics  
*odlúčivosť 54-99%*

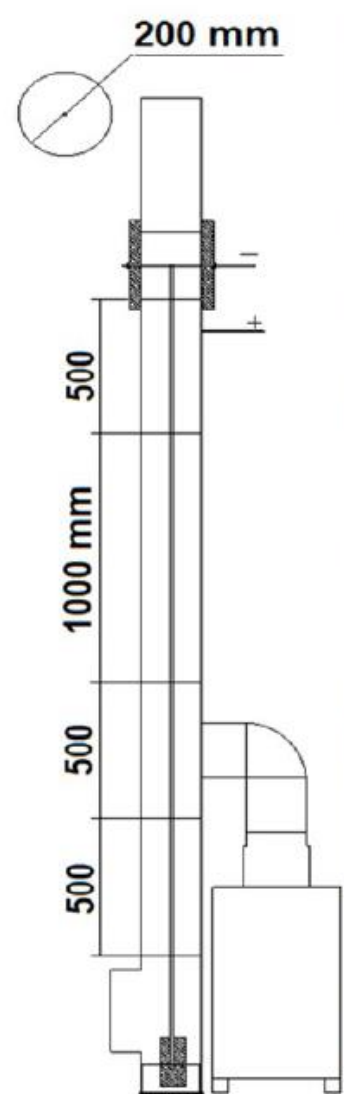


Elektrostatický odlučovač spoločnosti Spartherm Feuerungstechnik GmbH  
*odlúčivosť 60-80%*

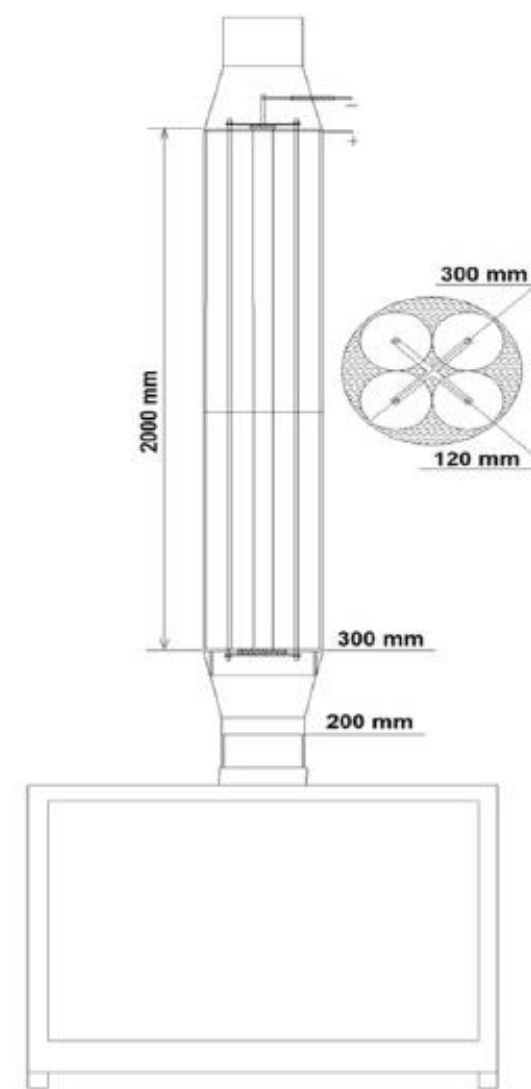


system od spoločnosti Kutzner und Weber Gmb  
*odlúčivosť do 90%*

# Elektrostatické odlučovanie pre malé zdroje tepla - UNIZA



jednorúrovňový elektrostatický odlučovač  
účinnosť 66%



štvorrúrovňový elektrostatický odlučovač  
účinnosť 85%

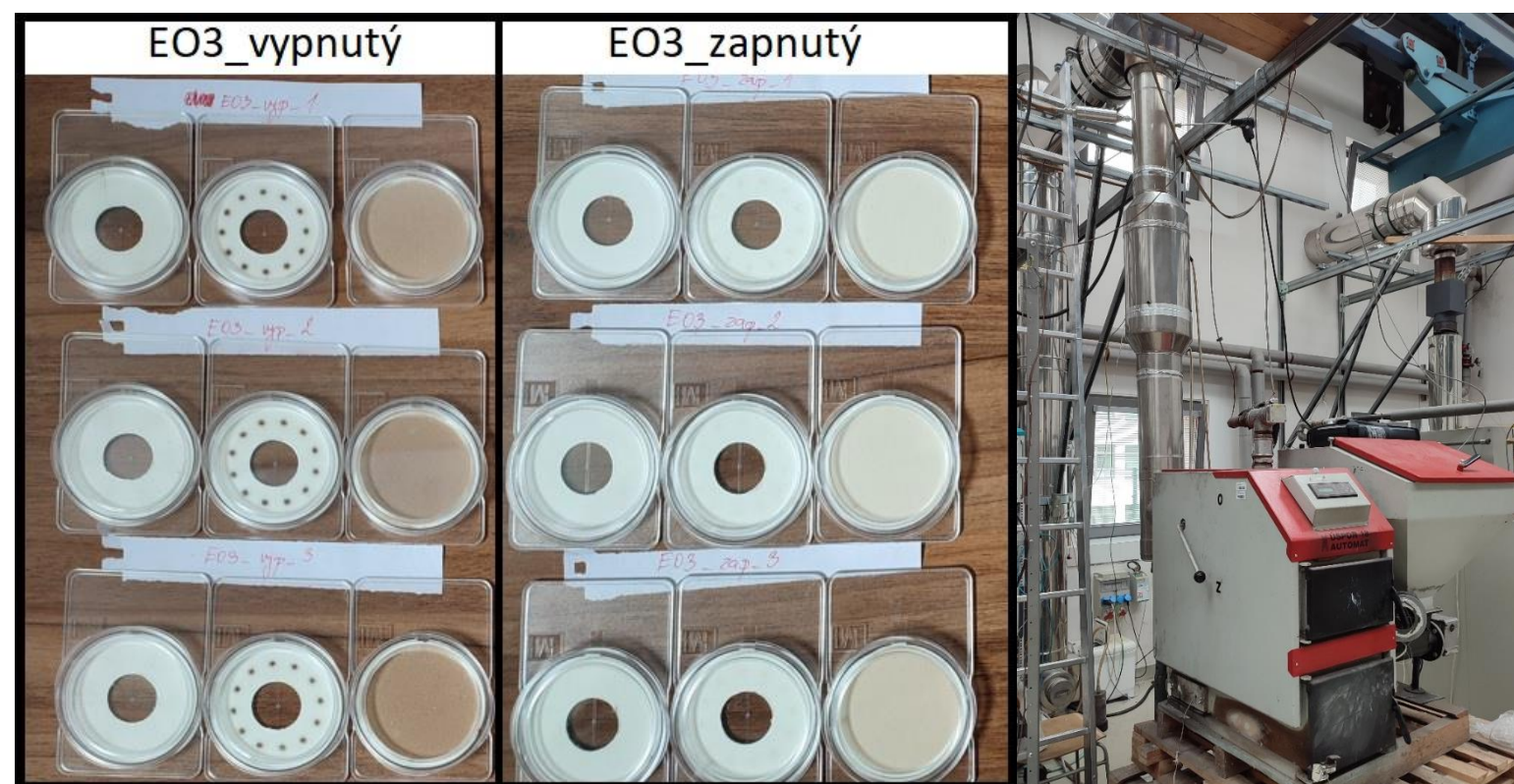
Slovensko – Česko

# Elektrostatické odlučovanie



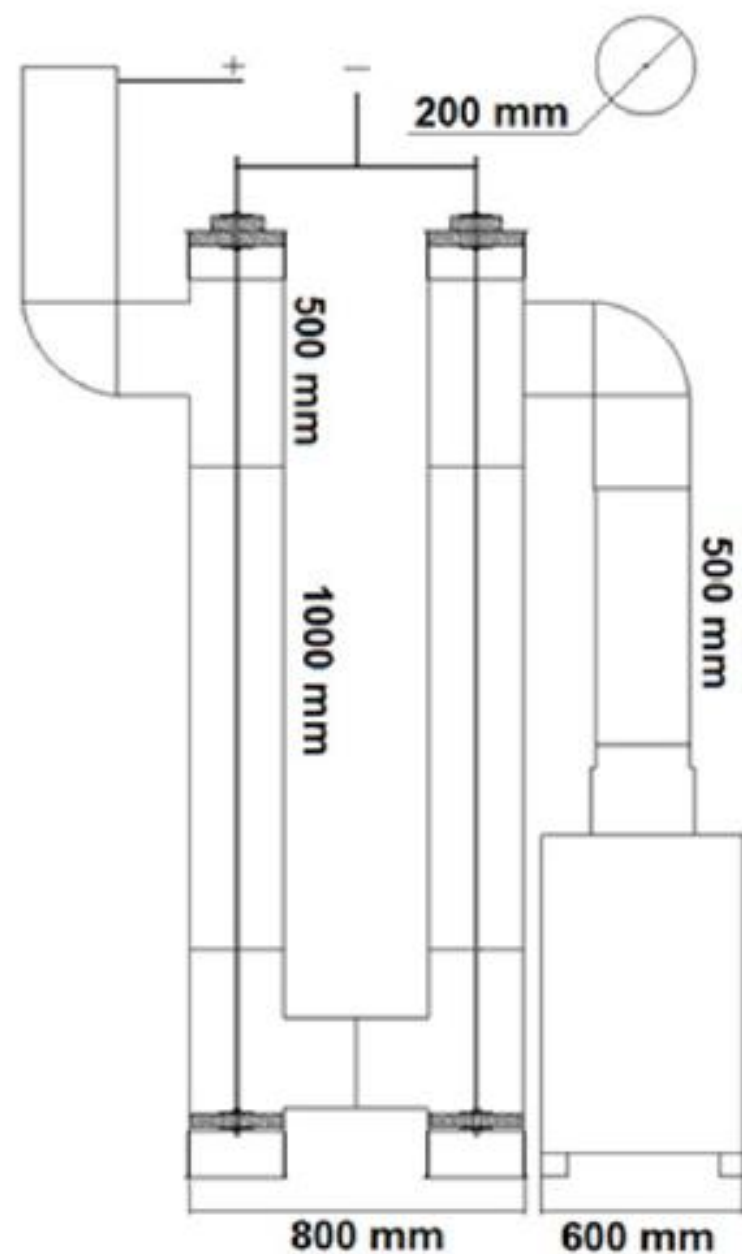
## pre malé zdroje tepla : UNIZA

implementácia hrotových elektród do 4 rúrového EO



účinnosť počas prvých 12 hodín 89-90%; po 32 hodinách klesla na 82%

Slovensko – Česko



## Elektrostatické odlučovanie pre malé zdroje tepla - UNIZA

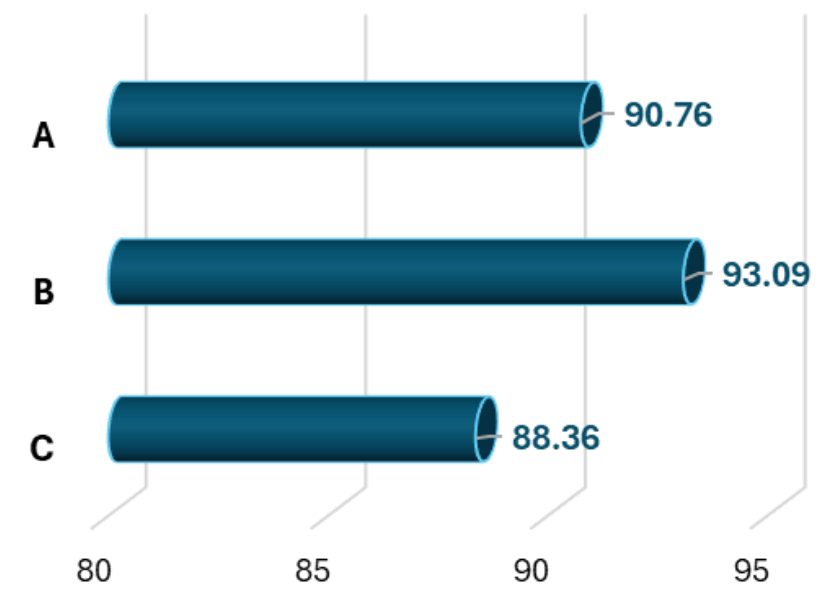
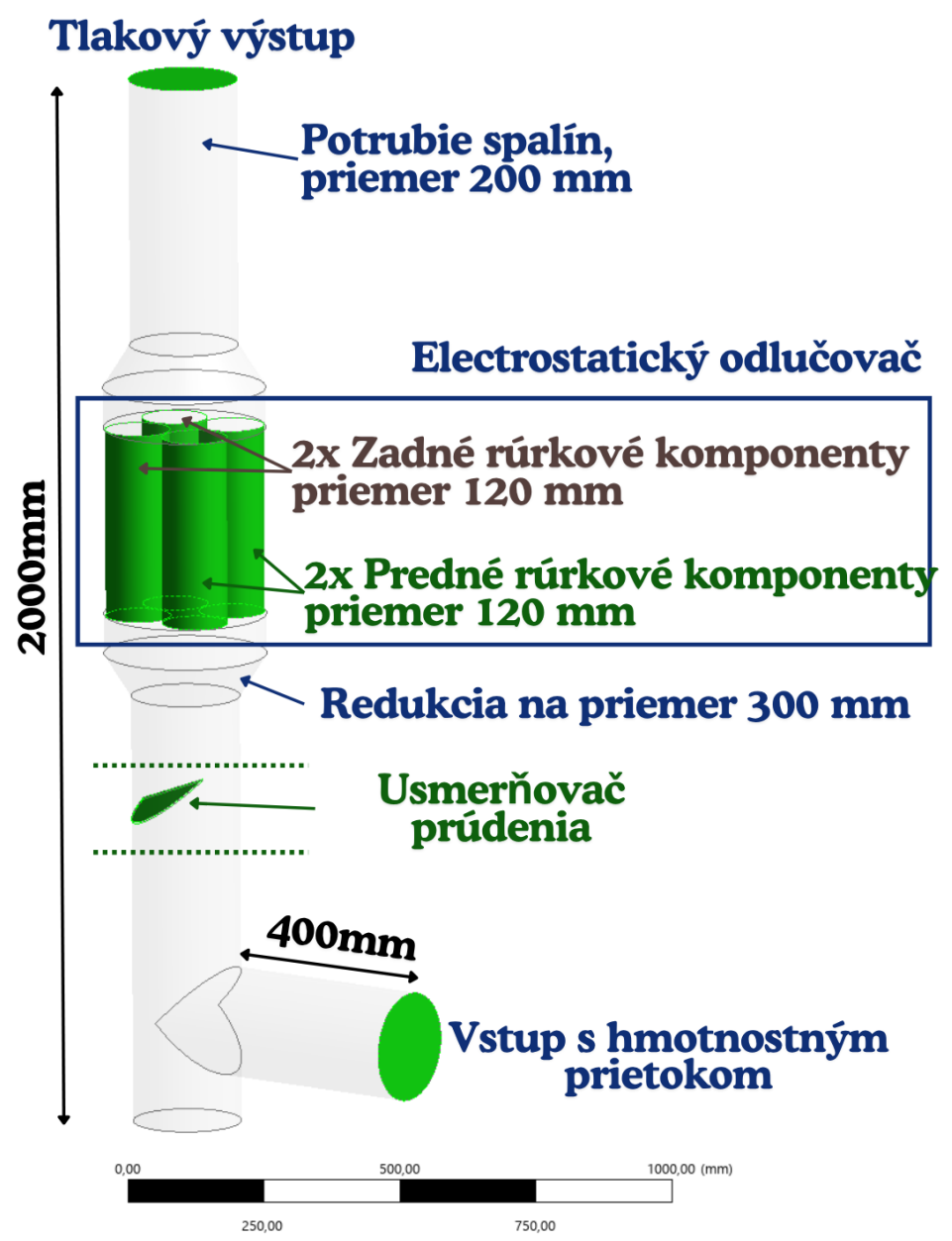
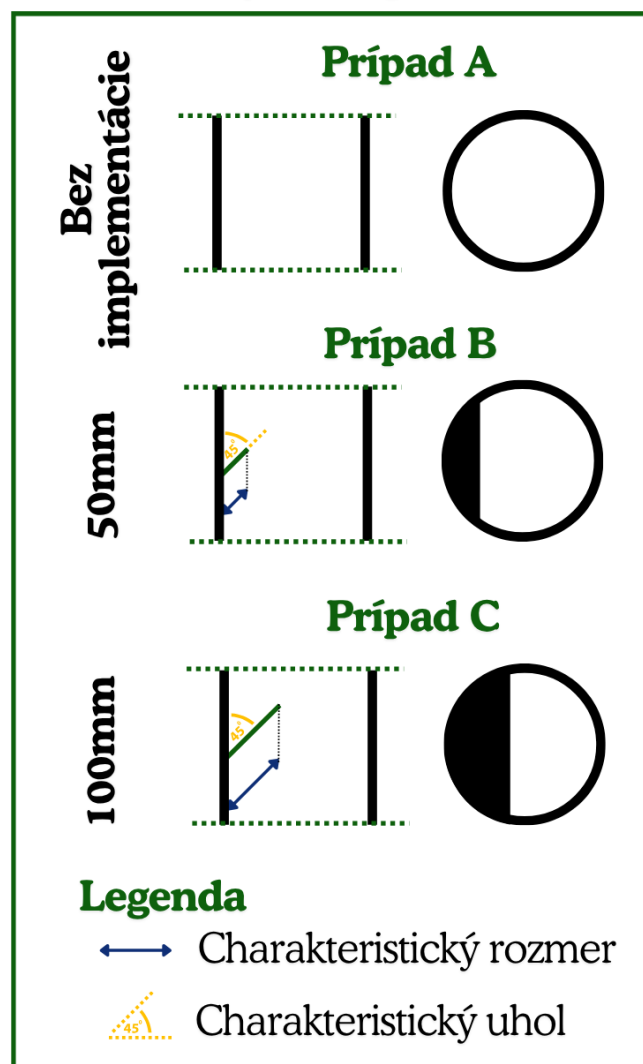
U – trubicový elektrostatický odlučovač  
účinnosť 71%



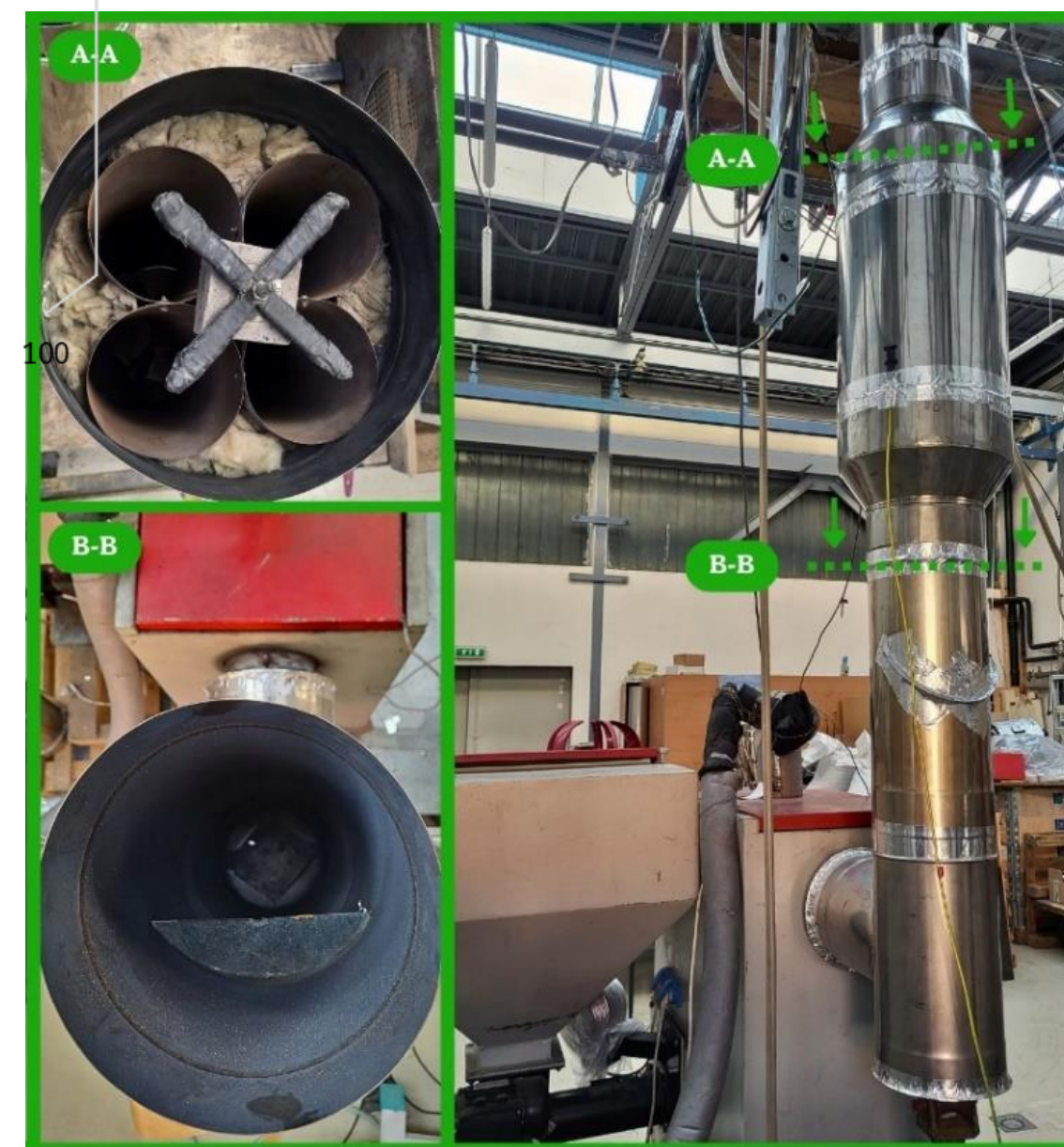
Slovensko – Česko

# Elektrostatické odlučovanie pre malé zdroje tepla – UNIZA

Usmerňovač prúdenia:  
Varianty konfigurácie

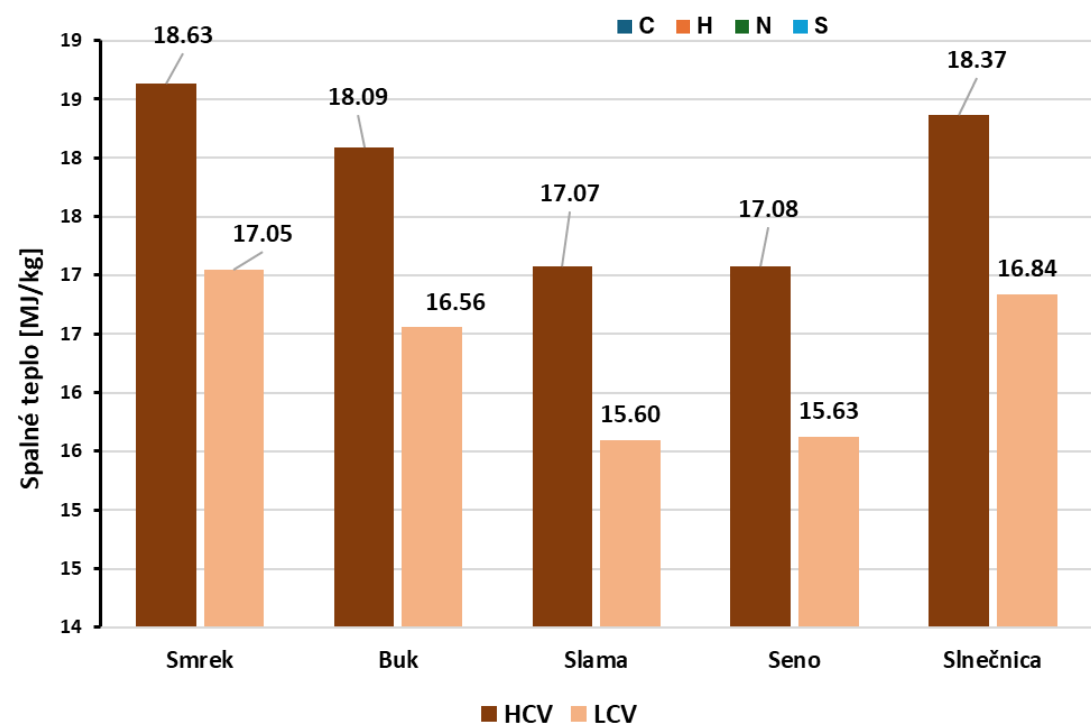
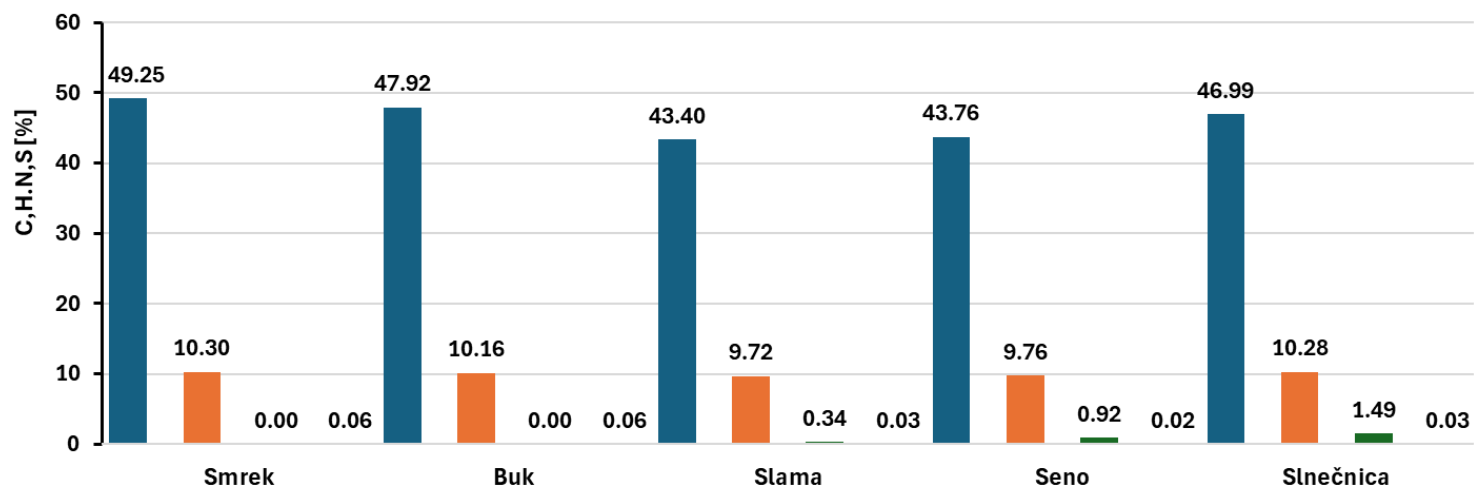


dosiahnuté účinnosti [%]



menšia verzia 4 rúrového EO s usmerňovačom spalín  
projekt 09I03-03-V04-00529 (Nikola Čajová Kantová)

Slovensko – Česko



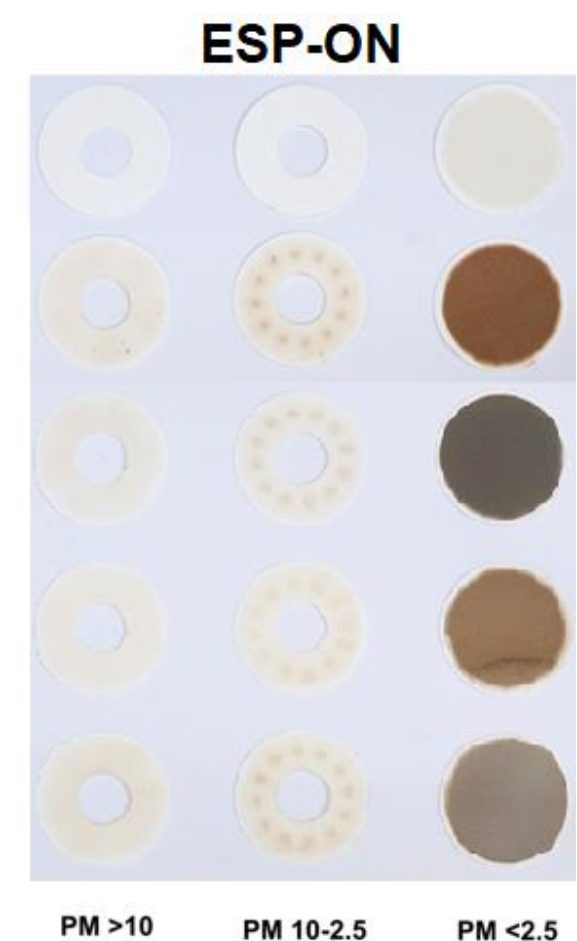
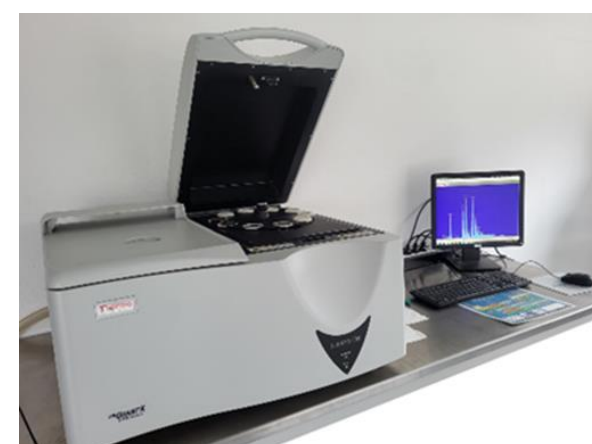
	Smrek	Buk	Slama	Seno	Slečnica
ESP-OFF [mg.m <sup>-3</sup> ]	32.4	76.3	368.3	672.4	395.5
ESP-ON [mg.m <sup>-3</sup> ]	2.4	14.6	56.1	125.4	51.3
ESP účinnosť [%]	92.7	80.9	84.8	81.4	87.0

projekt 09I03-03-V04-00529 (Nikola Čajová Kantová)



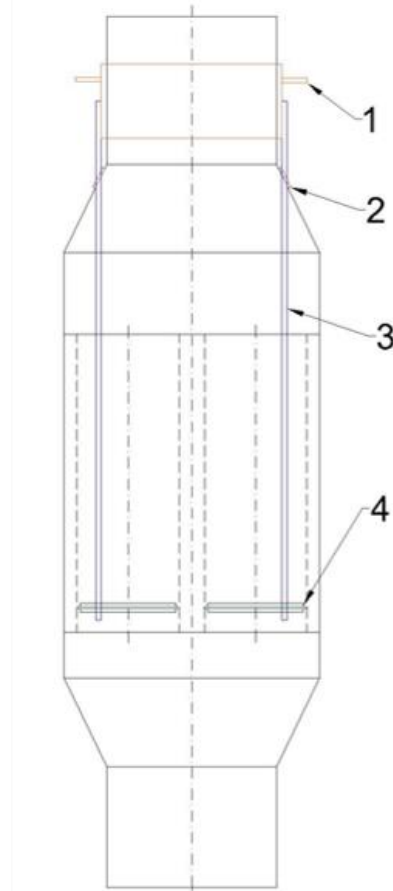
ŽILINSKÁ UNIVERZITA  
V ŽILINE

# Elektrostatické odlučovanie pre malé zdroje tepla - UNIZA

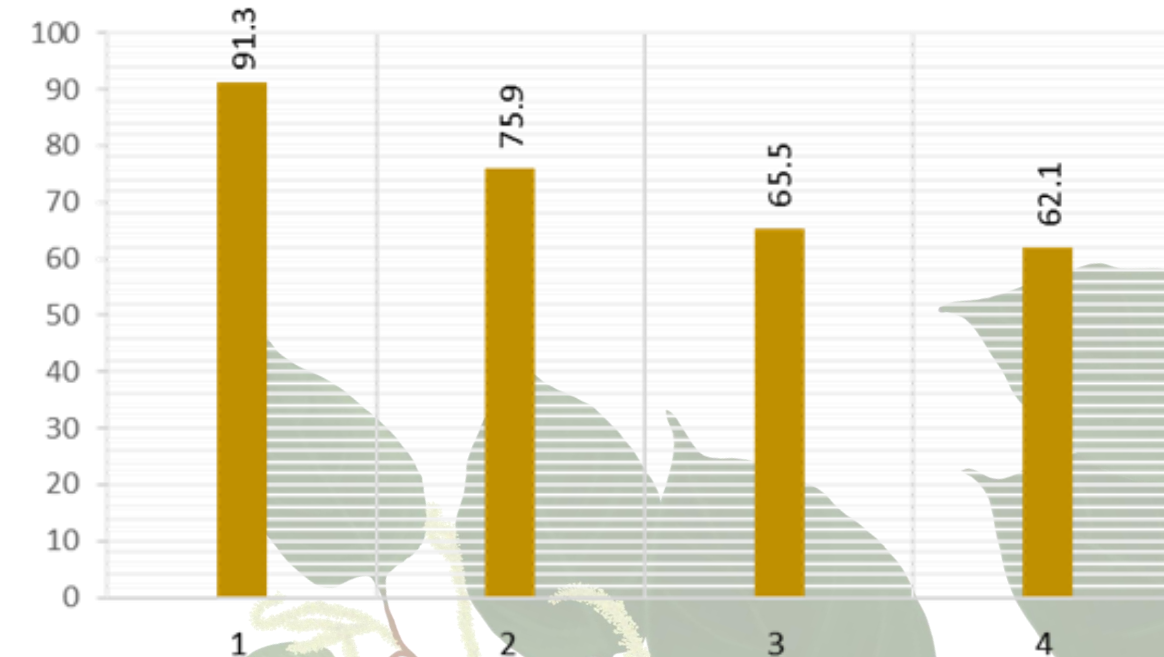


Slovensko – Česko

# Elektrostatické odlučovanie UNIZA: merania s krídlatkou



spaľovaná štiepka z krídlatky v teplovodnom kotle  
so 4 rúrovým elektrostatickým odlučovačom



potrebné čistenie

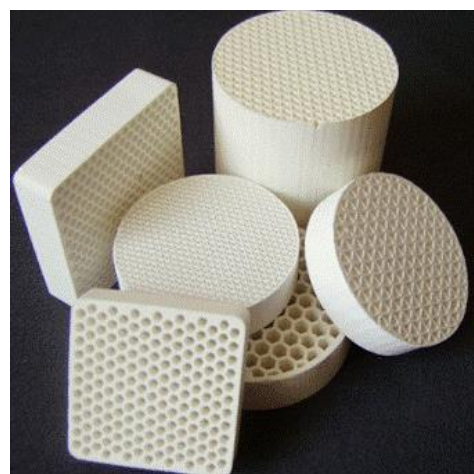


dosiahnutá účinnosť [%] počas 1-4 meraní

## Použitie katalyzátorov na redukciiu emisií – súčasný stav

- na redukciiu obsahu **CO**, **PAH** a boli používané pre účely katalýzy ako aktívne látky hlavne Pt a Pd (či už samostatne alebo aj spoločne), prípadne Pt/Pd v kombinácii s oxidmi prvkov (CuO, MnO ...);
- boli sledované účinnosti katalyzátorov na rôznych typoch nosičov (drôtené - tzv. sitá alebo monolity);
- najčastejšia pracovná teplota v priestore katalyzátora bola teplota 250 – 280 °C.

### Používané formy katalyzátorov – vo vedeckých prácach



Monolit



Metal



Ceramic



*Pd  
katalyzátor  
s keramickou  
nosnou mriežkou*

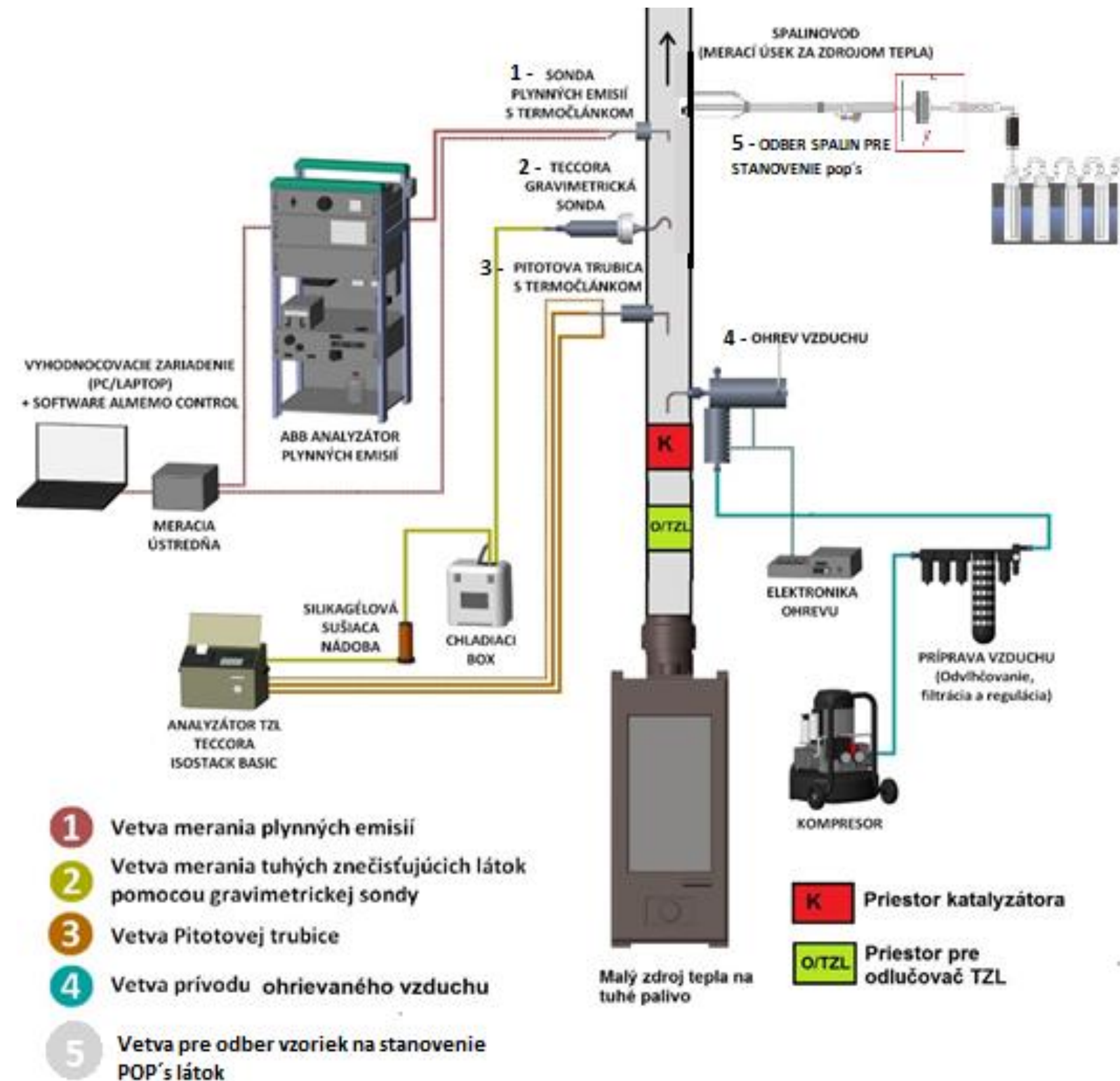


*Pt katalyzátor  
s kovovou nosnou  
mriežkou*



Slovensko – Česko

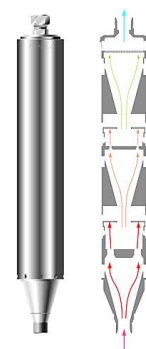
# Implementácia katalyzátorov do procesu sekundárneho dočisťovania spalín v spalinovode



# Techniky odberu a analýzy vzoriek

## Pevné vzorky

EDXRF – toxické prvky v zachytených TZL  
z filtrov (Pb, Hg, As, Cd, Ni, ...)



## Plynné vzorky

- Analyzátor plynných emisií ABB – CO, NO<sub>x</sub>
- Odber spalín pre stanovenie PCDD/F a PAH a následnou extrakciou do vhodného rozpúšťadla
- \* napr. odberná aparátúra KALMAN System s radiacou jednotkou KS-408 zabezpečujúcou izokinetický odber spalín



## Plynné → kvapalné vzorky

Po absorpcii spalín v org. rozpúšťadle (acetón + n-hexán 1:1) a následne analyzované pomocou GC/MS



Slovensko – Česko

## Príprava katalyzátora

- KOD (kantlový odporový drôt) – Ni – Pt – Ag;
- KOD – Ni – Pd – Ag;

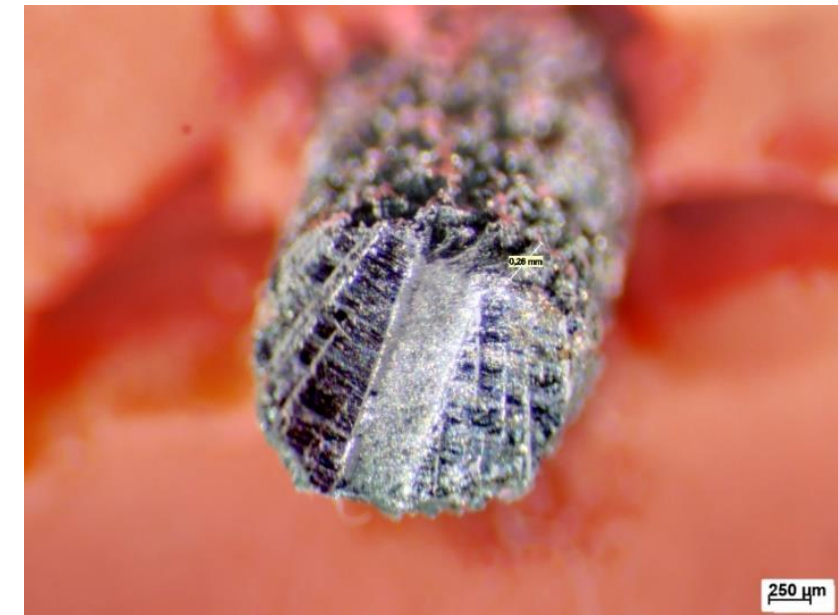
**Nosič – kanthal odporový drôt (zloženie - Cr 22%, Al 5,8%, Fe zvyšok)**

Ni povlak - chloridový kúpeľ: roztok  $\text{NiCl}_2$  (obsah Ni – 70 ÷ 90 g/L),  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (cc 40 g/L – ako tlmivý roztok – pH cc 3,8) vo vode, teplota cc 55 °C, hustota prúdu 15 A/dm<sup>2</sup>, napätie 3 ÷ 12 V;

Pt povlak : 53,2 g  $\text{PtCl}_2$  ; 222 g 1,3-diaminopropane; 106 g  $\text{K}_3\text{PO}_4$  ; 86,5 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  / 1 L vody (pH cc 12); teplota kúpeľa cc 40 ÷ 65 °C, hustota prúdu 30 ÷ 50 A/dm<sup>2</sup>, napätie 3 ÷ 12 V;

Pd povlak : 12,5 g  $\text{PdCl}_2$  , 12,5 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , 110 g EDTA-2Na / 1 L vody (pH cc 5); teplota kúpeľa – cc 65°C, hustota prúdu 0,62 ÷ 4,9 A/dm<sup>2</sup>, napätie 3 ÷ 12 V;

Ag povlak :  $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$  (obsah Ag 35 ÷ 45 g/L);  $\text{Sb}^{3+}$  (cc 1 ÷ 3 g/L); teplota kúpeľa 18 ÷ 30 °C, pH cc 12; hustota prúdu 0,5 ÷ 4 A/dm<sup>2</sup>; napätie 3 ÷ 4 V;



**Interreg**



**Spolufinancovaný  
Európskou úniou**

**VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA**

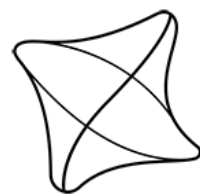
**CENTRUM ENERGETICKÝCH  
A ENVIRONMENTÁLNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**CENTRUM  
ENET**

**Slovensko – Česko**



**Ďakujem za pozornosť  
Nikola Čajová  
Kantová**



**ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE**  
Výskumné centrum  
UNIZA

**[nikola.cajovakantova@uniza.sk](mailto:nikola.cajovakantova@uniza.sk)**