

Interreg



Spolufinancovaný
Európskou úniou

Slovensko – Česko

Program Interreg VI-A Slovensko - Česko

BIOERA

Postupy eradikácie invázných rastlín s energetickým využitím

ISBN: 978-80-975289-1-1

*Manažment, eradikácia a energetické zhodnotenie
inváznej krídlatky japonskej (Reynoutria japonica / Fallopia japonica)*

Projekt BIOERA – 403201DXT7 | Priorita 1.1 Životné prostredie

Spolufinancované z EFRR: 399 938,90 € | Doba realizácie: 03/2024 – 02/2026

Partneri: Žilinská univerzita v Žiline (UNIZA) | VŠB-TUO | OZ HERBATHECA

Realizačné územie:

Žilinský kraj (Slovenská republika) | Moravskosliezsky kraj (Česká republika)

Obdobie realizácie: 2024 – 2026

Spracovateľ:

Žilinská univerzita v Žiline (UNIZA), Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava,
a HERBATHECA

autori: Holubčík Michal, Mikeska Marcel, Vráb František a kol.

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

CENTRUM ENERGETICKÝCH
A ENVIRONMENTÁLNÝCH
TECHNOLÓGIÍ

CENTRUM
ENET



ŽILINSKÁ UNIVERZITA
V ŽILINE

HERBATHECA
o.z. registrovaný sociálny podnik

Bezplatná publikácia

Výhradnú zodpovednosť za obsah tejto publikácie nesú jej autori a nedá sa stotožniť s oficiálnym stanoviskom Európskej únie.

ABSTRAKT

Táto príručka predkladá výsledky komplexného výskumu a metodických postupov zameraných na elimináciu a energetické zhodnotenie invázných taxónov *Fallopia japonica*, *F. sachalinensis* a *F. × bohemica* v regióne severného Slovenska a východného Česka. Predkladané výsledky sú spoločným úsilím troch projektových partnerov v rámci projektu BIOERA (403201DXT7), zameraného na podporu biodiverzity prostredníctvom eradikácie invázných rastlín a ich následného energetického využitia. Projekt bol realizovaný v období 03/2024 – 02/2026 a spolufinancovaný Európskou úniou z EFRR v rámci programu Interreg VI-A Slovensko – Česko.

Prvý tematický celok sa venuje ekologickému manažmentu krídlatky – jej biológii, mechanizmom šírenia, deštruktívnym vplyvom na ekosystémy a infraštruktúru, ako aj legislatívnym povinnosťam samospráv. Výsledky terénneho výskumu realizovaného v rokoch 2024 – 2026 potvrdzujú, že región Kysúc, územia pozdĺž toku rieky Váh a Orava, neudržiavané zóny okolo železníc a priemyselných areálov v okolí Žiliny, povodia riek Morávka, Ostravica a Odra, okolie obce Kobeřice a ostravsko-karvinská panva sa stali najviac zamorenými oblasťami. Stratégia včasnej detekcie a rýchlej reakcie (EDRR) zvyšuje úspešnosť eliminácie na 92 %, zatiaľ čo pri zanedbaných porastoch klesá pod 40 %. Ekonomická analýza preukázala návratnosť investície (ROI) na úrovni 1:12 pri preventívnom monitoringu.

Druhý tematický celok pokrýva technologické spracovanie biomasy: optimálne termíny zberu, prípravné operácie vrátane sušenia, drvenia a mletia, peletizáciu a zušľachťovanie paliva. Experimentálne výsledky dokumentujú viacstupňový technologický reťazec od zberu po finálne palivo.

Tretí tematický celok analyzuje možnosti využitia krídlatky v termochemických procesoch na získavanie energie – spaľovanie a splyňovanie – a prezentuje výsledky experimentálneho výskumu.

Kľúčové slová: *Fallopia japonica*, krídlatka japonská, invázný druh, eradikácia, biomasa, pelety, splyňovanie, spaľovanie, energetické zhodnotenie, INTERREG, Žilinský kraj, Moravskoslezský kraj

1. ÚVOD A KONTEXT PROJEKTU

V ostatných dekádach sa na území Slovenskej republiky a Českej republiky výrazne šíria nepôvodné invázne rastliny, ktoré negatívne zasahujú do prirodzených ekosystémov. Jednou z najagresívnejších je krídlatka japonská (*Fallopia japonica*, syn. *Reynoutria japonica*), ktorá patrí medzi druhy schopné vytvárať husté monokultúrne porasty (monocenózy), vytláčať pôvodnú vegetáciu a výrazne meniť krajinný charakter. Na naše územie bola dovezená pôvodne ako okrasná alebo medonosná rastlina, najčastejšie z východnej Ázie, a postupne sa rozšírila do voľnej krajiny najmä prostredníctvom výsadiieb v parkoch a záhradách.

Popularita obnoviteľných zdrojov energie rastie, pričom biomasa tvorí približne 75 % z ich celkového podielu. Nutnosť eradikácie invázných rastlín otvára možnosti ich energetického využitia, ktoré prináša pridanú hodnotu oproti ich samotnej likvidácii. Priemerné vlastnosti krídlatky po vysušení na vlhkosť 8 - 10 % sú nasledovné: obsah popola 3 - 6 %, výhrevnosť 15 - 18 MJ·kg⁻¹ a spaľovacie teplo 16 - 20 MJ·kg⁻¹.

1.1 Ciele projektu

Projekt bol realizovaný v rámci programu Interreg VI-A Slovensko – Česko a vytýčil si tri vzájomne prepojené strategické ciele, ktoré tvoria základ projektu BIOERA (403201DXT7) – Podpora biodiverzity eradikáciou invázných rastlín s energetickým využitím

- Identifikácia: Presné mapovanie distribučných uzlov krídlatky v Žilinskom a Moravskosliezskom kraji s využitím moderných nástrojov (GIS, UAV multispektrálne snímanie).
- Eradikácia: Definovanie optimálnych postupov kombinujúcich mechanické oslabenie a selektívnu chemickú injektáž vrátane vypracovania metodického rámca pre samosprávy.
- Valorizácia: Identifikácia možností využitia biomasy zo študovanej inváznej rastliny pre energetiku pomocou technológií spaľovania a splyňovania.

1.2 Štruktúra dokumentu

Príručka je členená do nasledujúcich tematických celkov:

- Kapitola 2: Krídlatka ako globálny invázny fenomén – biológia, ekológia, vplyvy a legislatíva
- Kapitola 3: Mapovanie a monitoring výskytu – metodika, výsledky terénneho výskumu
- Kapitola 4: Metódy eradikácie a obmedzenia šírenia – mechanické, chemické a biologické prístupy
- Kapitola 5: Zber, manipulácia a transport biomasy – sezónne optimum, prevencia šírenia
- Kapitola 6: Prípravné práce na biomase – sušenie, drvenie, mletie, skladovanie
- Kapitola 7: Lisovanie a zušľachťovanie paliva – peletizácia, briketovanie, kontrola kvality
- Kapitola 8: Energetické vlastnosti biomasy – palivové charakteristiky, elementárna analýza
- Kapitola 9: Energetické využitie I – spaľovanie, emisie, výkon, účinnosť
- Kapitola 10: Energetické využitie II – splyňovanie, syntézny plyn, bilancia

- Kapitola 11: Záver, odporúčania a perspektívy
- Príloha A: Checklist pre stavebný dozor
- Príloha B: Manuál pre obce
- Príloha C: Zoznam použitej literatúry

Autorský podiel: Projektoví partneri sa na tvorbe dokumentu podieľali podľa svojej odbornej špecializácie. Za obsah kapitol 2 až 5 a 11 zodpovedá OZ HERBATHECA. Technologickú prípravu, vlastnosti a spaľovanie biomasy (kapitoly 6, 7, 9 a relevantnú časť kapitoly 8) odborne zastrešuje Žilinská univerzita v Žiline (UNIZA). Problematiku splyňovania (kapitola 10) a zostávajúcu časť kapitoly 8 garantuje Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB-TUO).

2. KRÍDLATKA AKO GLOBÁLNY INVÁZNY FENOMÉN

2.1 Morfológická a biologická charakteristika

Krídlatka japonská (*Fallopia japonica*), spolu so svojimi príbuznými druhmi krídlatkou sachalínskou (*Fallopia sachalinensis*) a ich krížencom krídlatkou českou (*Fallopia x bohémica*), predstavuje v podmienkach strednej Európy jeden z najagresívnejších invázných taxónov. Táto trváca rastlina z čeľade stavikrvovité (Polygonaceae) bola do Európy dovezená v 19. storočí ako okrasná a medonosná rastlina, no vďaka absencii prirodzených predátorov a patogénov sa nekontrolovane rozšírila.

Na území Slovenska sa vyskytujú tri základné druhy:

- Krídlatka japonská (*Fallopia japonica*) – najrozšírenejší druh, výška 2–4 m, dutá článkovaná stonka
- Krídlatka česká (*Fallopia x bohémica*) – hybridný druh, biologicky najagresívnejší
- Krídlatka sachalínska (*Fallopia sachalinensis*) – s väčšími listami, srdcovitá báza



Obrázok 1 Porovnanie listov: Krídlatka japonská, česká a sachalínska

Kľúčové identifikačné znaky:

- Stonka: Dutá, článkovaná, pripomínajúca bambus, často s červenkastými škvrnami. Dosahuje výšku 2 až 4 metre pri dennom prírastku až 10 cm v máji a júni.

- Listy: Široko vajcovité až trojuholníkové, na báze uťaté (pri k. japonskej) alebo srdcovité (pri k. sachalínskej). Plôška listu môže dosahovať plochu väčšiu ako 1 m².
- Kvetenstvo: Drobné biele až krémové kvety usporiadané v bohatých metlinách, kvitnúce v neskorom lete (august – september). Kvety sú bohatým zdrojom nektáru.
- Koreňový systém: Mohutné podzemné oddenky (rizómy) siahajúce do hĺbky 2–3 m a do šírky 7 m. Až 2/3 celkovej biomasy rastliny sa nachádzajú pod zemou.

Extrémna ekologická plasticita umožňuje krídatke prosperovať v širokom spektre podmienok – od brehových porastov riek až po suché ruderálne stanovištia, priemyselné areály a trhliny v betónových konštrukciách. Jej rastový cyklus je nastavený na totálnu dominanciu; skoro na jar čerpá energiu z masívnych podzemných zásob, čím zatieni akúkoľvek pôvodnú vegetáciu skôr, než tá stihne začať vegetačné obdobie.

2.2 Mechanizmy invázneho úspechu a šírenia

Úspech krídlatky nespočíva v produkcii semien (ktoré sú v našich podmienkach často sterilné), ale v jej fenomenálnej vegetatívnej regenerácii. Rizómový systém je hlavným nástrojom šírenia a prežívania.

2.2.1 Rizómový systém – neviditeľný nepriateľ

Až 2/3 celkovej biomasy rastliny sa nachádzajú pod zemou. Rizómy plnia funkciu zásobárne živín a orgánu šírenia:

- Laterálna expanzia: Jeden trs dokáže prostredníctvom rizómov obsadiť plochu v okruhu 20 metrov, pričom vytvára husté monokultúry, pod ktorými nič iné neprežije.
- Hĺbkový dosah: Koreňový systém bežne preniká do hĺbky 2 až 3 metrov, čo znemožňuje jednoduché mechanické odstránenie (vykopanie).
- Fragmentácia: Stačí nepatrný úlomok rizómu s hmotnosťou pod 1 gram (cca 0,7 g), aby v priebehu jednej sezóny vznikol nový, vitálny jedinec. Toto je najkritickejší faktor pri manipulácii s biomasou.

2.2.2 Vektory prenosu v krajine

Šírenie prebieha najmä pozdĺž riečnych koridorov (Váh, Kysuca, Orava, Morávka, Ostravica a Odra). Počas povodní dochádza k vymieľaniu brehov a odplavovaniu fragmentov rizómov po prúde, kde sa zachytávajú na nových stanovištiach.

Sekundárnym, no čoraz významnejším faktorom je antropogénna činnosť. Identifikované boli nasledujúce antropogénne vektory:

- Nelegálne skládky bioodpadu zo záhrad – najčastejší zdroj nových ohnísk v obciach
- Prevoz kontaminovanej zeminu pri výstavbe diaľnic, priemyselných parkov a líniových stavieb
- Pohyb stavebnej techniky z infikovaných lokalít bez dekontaminácie
- Sadenie rastlín z kontaminovaného substrátu (nursery trade)
- Pohyb osôb cez infikované lokality (záhradkári, turisti, cyklisti)

2.3 Deštruktívny vplyv na ekosystémy a infraštruktúru

2.3.1 Degradácia biodiverzity

V miestach výskytu krídlatky dochádza k vytvoreniu tzv. zelenej púšte. Hustý zápoj listov neprepúšťa svetlo k pôde, čím dochádza k lokálnemu vyhynutiu pôvodných druhov rastlín – pokles druhovej diverzity o 70–95 % je dokumentovaný po troch rokoch stabilnej invázie (Shannonov index).

Kaskádový efekt postihuje celý potravný reťazec: hmyz stráca zdroj potravy a kryt, čo znižuje populácie drobných stavovcov. Navyše, listy krídlatky obsahujú alelopatické látky, ktoré po opade menia chemické zloženie pôdy v prospech vlastného druhu – tzv. chemické preteky.

2.3.2 Ohrozenie technických diel a infraštruktúry

Krídlatka nie je len estetickým problémom; je to biologický faktor degradácie infraštruktúry s preukázateľnými ekonomickými nákladmi:

- Narušenie statiky: Silné rizómy dokážu vyvinúť tlak až 400 kPa, čím zväčšujú mikrotrhliny v betónových základoch, oporných múroch a dilatačných škárach mostov. Dokumentované prípady penetrácie betónu hrúbky 10 cm.
- Poškodenie vozoviek: Na cyklotrasách a chodníkoch spôsobuje tzv. asfaltové pľuzgiere – mladé výhonky dokážu prerásť aj cez vrstvu asfaltu, čo vedie k jeho dezintegrácii. Ročné náklady na opravu v Žilinskom kraji sú odhadované na státisíce eur.
- Hydrologické riziká: V zime nadzemná časť krídlatky odumiera, pričom zostáva holá pôda náchylná na eróziu. Pri zvýšenom prietoku vody dochádza k rýchlejšiemu podomieliu brehov než pri pôvodných vrbovo-jelšových porastoch s jemným koreňovým systémom.
- Zhoršenie protipovodňovej ochrany: Odumretá biomasa krídlatky blokuje prietochý profil riečnych korýt, čo zvyšuje riziko lokálnych záplav. Fž

Penetračná sila



Poškodenie konštrukcie



Ničenie infraštruktúry



Obrázok 2 Devastujúci vplyv krídlatky japonskej na stavby

2.4 Právne aspekty a legislatívny rámec

2.4.1 Zákon č. 150/2019 Z. z. (SR)

Zákon č. 150/2019 Z. z. o prevencii a manažmente inváziých nepôvodných druhov definuje krídlatku ako druh vzbudzujúci obavy Slovenskej republiky (Species of Union Concern). Z legislatívy vyplývajú jasné povinnosti pre vlastníkov a správcov pozemkov:

- Povinnosť odstraňovania: Obec, ako vlastník verejných priestranstiev, je povinná invázne druhy na svojom území likvidovať na vlastné náklady spôsobmi určenými Štátnou ochranou prírody (ŠOP SR).
- Sankčný mechanizmus: Nečinnosť môže viesť k pokutám od Slovenskej inšpekcie životného prostredia. Pre právnické osoby môžu pokuty dosiahnuť tisíce eur za každý prípad zistenia porušenia.
- Metodika likvidácie: Zákon zakazuje neodbornú manipuláciu (napr. len kosenie bez zberu), ktorá môže šírenie urýchliť. Odporúča sa kombinácia mechanickej a chemickej kontroly.
- Povinnosť oznamovať: Vlastník pozemku je povinný oznamovať výskyt inváziých druhov príslušnému orgánu štátnej správy ochrany prírody.

2.4.2 Česká legislativa

Na území České republiky je invázně druhy vrátane krídlatky reguluje zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny a nadvazující predpisy. Zákon č. 326/2004 Sb. o rostlinolékařské péči obsahuje ustanovenia o povinnosti odstraňovania škodlivých organizmov. Nariadenie EÚ č. 1143/2014 o invázných nepôvodných druhoch je priamo účinné v oboch krajinách.

2.4.3 Nariadenie EÚ č. 1143/2014

Krídlatka (*Reynoutria japonica*, *R. sachalinensis* a *R. x bohemica*) je zaradená na Zoznam invázných nepôvodných druhov vzbudzujúcich obavy Únie. Z tohto zaradenia vyplývajú povinnosti pre všetky členské štáty: monitoring, prevencia ďalšieho šírenia, riadenie existujúcich populácií a v prípade nových nálezov – opatrenia na rýchle odstránenie.

ADÔLEŽITÉ PRE PRAX: Prítomnosť krídlatky v blízkosti stavieb by mala byť pre obecných architektov a stavebné úrady varovným signálom, vyžadujúcim špecifické opatrenia pri zakladaní stavieb, aby sa predišlo budúcim sanačným nákladom, ktoré často prevyšujú hodnotu samotného pozemku.

2.5 Význam medziobecnej spolupráce

Keďže rieky nerešpektujú katastrálne hranice, snaha jednej obce o likvidáciu krídlatky je odsúdená na neúspech, ak obec „nad prúdom“ problém ignoruje. Efektívny manažment si vyžaduje:

- Komplexný prístup v rámci celého povodia riek Váh, Kysuca a Orava
- Koordináciu na úrovni mikroregiónov a krajov
- Cezhraničnú spoluprácu medzi SR a ČR (ako model)
- Dlhodobý monitoring minimálne 3–5 rokov po poslednom pozorovanom výskyte
- Zdieľanie databáz lokalít a metodík medzi samosprávami

3. MAPOVANIE A MONITORING VÝSKYTU

3.1 Metodika terénneho mapovania

Efektívny manažment začína presnou identifikáciou ohnisk. Projekt využíval kombinovaný prístup terénneho prieskumu a moderných technológií, čo umožnilo prejsť od reaktívneho riešenia (odstraňovanie dospelých porastov) k proaktívnemu (eliminácia šírenia).

3.1.1 GIS analýza a prediktívne modelovanie

Integrácia dát o riečnej sieti a líniovej infraštruktúre (cesty, železnice) v prostredí Geografických informačných systémov (GIS) tvorila základ analytického prístupu. Riečne systémy fungujú ako hydrochórne vektory, kde fragmenty rizómov prenesené povodňami osídľujú nové náplavy.

- Buffer zóny: Pri mapovaní sa stanovujú ochranné pásma 50–100 m od brehovej čiary ako prioritné oblasti monitoringu.
- Vrstvy infraštruktúry: Mapovanie sa zameriavalo na miesta s narušeným pôdnym krytom – staveniská, skládky zeminy, miesta výkopových prác.
- Historické letecké snímky: Komparácia ortofotomáp z rokov 2000–2023 umožnila rekonštrukciu dynamiky šírenia.
- Satelitné dáta Sentinel-2: Využívané na regionálne prehľady a sledovanie dynamiky veľkoplošných ohnisk pomocou NDVI indexu.

3.1.2 Fytcenologické zápisy a kvantifikácia

Pre objektívne posúdenie dopadu invázie sa na vybraných lokalitách realizovali fytcenologické zápisy na plochách 10 m². Sledované parametre:

- Pokryvnosť (v %): Krídlatka v kulminačnej fáze dosahuje 90–100 % pokryvnosť, čím dochádza k úplnému zatieneniu pôvodnej vegetácie.
- Druhovú diverzitu (Shannonov index H'): Porovnanie invázných a kontrolných lokalít preukazuje pokles diverzity až o 70–80 % už po troch rokoch stabilnej invázie.
- Výška porastu a hustota stoniek na m²: Korelácia s vekom porastu a efektivitou predchádzajúcich zásahov.
- Prítomnosť pôvodných druhov: Hodnotenie zachovanosti prirodzených biocenóz v okolí invázie.

3.1.3 Digitálny monitoring – UAV a diaľkový prieskum Zeme

Využitie dronov (UAV) vybavených multispektrálnymi senzormi umožňuje identifikáciu krídlatky na základe jej špecifickej spektrálnej signatúry. Tento prístup je obzvlášť cenný v ťažko dostupných riečnych nivách.

- UAV monitoring: Rozlíšenie v centimetroch umožňuje detegovať aj jednotlivé stonky v ťažko dostupných nivách riek. Výhoda: rýchlosť skenovania (1 ha za < 30 min), nevýhoda: cena zariadenia a potreba licencie.
- Multispektrálne snímanie: Identifikácia krídlatky na základe rozdielov v absorpcii červeného a blízkeho infračerveného žiarenia (NIR) v porovnaní s okolitou vegetáciou.

- Termálne zobrazovanie: Krídlatka vykazuje špecifický teplotný podpis v dôsledku odlišnej transpirácie.

3.2 Systém včasnej detekcie a rýchlej odpovede (EDRR)

Systém Early Detection and Rapid Response je najefektívnejšou stratégiou boja s inváznym druhom. Základným princípom je intervencia ešte pred tým, ako druh dosiahne reprodukčný potenciál schopný odolať eradikácii.

Vek porastu	Rozloha rizómovej siete	Úspešnosť 1. zásahu	Potrebný počet sezón
< 1 rok	do 2 m ²	92 %	2–3
1–3 roky	2–20 m ²	65–75 %	3–4
3–5 rokov	20–100 m ²	40–55 %	4–5
> 5 rokov	> 100 m ²	< 40 %	5–7+

Tabuľka 3.1: Závislosť úspešnosti eradikácie od veku porastu (zdroj: HERBATHECA, 2025)

Fenologická plasticita: Dokumentovanie zmien v čase kvitnutia a prírastku biomasy v závislosti od klimatických podmienok ukazuje, že krídlatka predlžuje svoje vegetačné obdobie. V teplejších rokoch dochádza k lignifikácii stoniek neskôr, čo ovplyvňuje termín aplikácie herbicídov – optimálne v čase kvitnutia, kedy rastlina sťahuje asimiláty do koreňov.

HERBATHECA <small>s.r.o., registrovaný sociálny podnik</small>		Formulár na monitorovanie výskytu krídlatky japonskej (Fallopia japonica)
Položka	Údaj	
Meno a Priezvisko:		
Kontakt (e-mail/telefón):		
Organizácia/Institúcia (ak relevantná):		
Dátum pozorovania:		
Obec/Mesto:		
Katastrálne územie:		
Presná lokalita	(napr. názov ulice, vodného toku, blízky orientačný bod):	
GPS súradnice	N: E: (najlepšie v tvare WGS84, napr. 48.7306, 18.8019):	
Typ prostredia (Vyberte jednu alebo viac možností):	<input type="checkbox"/> Brehový porast (vodný tok) <input type="checkbox"/> Okraj cesty/chodníka <input type="checkbox"/> Záhrada/Súkromný pozemok <input type="checkbox"/> Zanedbaná plocha <input type="checkbox"/> Intravilán (v obci/meste) <input type="checkbox"/> Extravilán (mimo obce) <input type="checkbox"/> Iné:	
Vlastníctvo/Správa pozemku (ak je známe):	<input type="checkbox"/> Súkromné <input type="checkbox"/> Obec/Mesto <input type="checkbox"/> Štát (napr. správca vodného toku) <input type="checkbox"/> Neznáme	
Približná plocha porastu krídlatky:	<input type="checkbox"/> Malé ohnisko (do 10 m ²) <input type="checkbox"/> Stredná plocha (10-50 m ²) <input type="checkbox"/> Rozsiahly porast (nad 50 m ²) <input type="checkbox"/> Dĺžka (pre líniové porasty): m	
Hustota porastu:	<input type="checkbox"/> Ojedinelé jedince <input type="checkbox"/> Roztrúsený porast <input type="checkbox"/> Hustý súvislý porast	
Vývojové štádium rastlín (Vyberte jednu možnosť):	<input type="checkbox"/> Len mladé výhonky (jar) <input type="checkbox"/> Listy, plný rast (leto) <input type="checkbox"/> Kvitnúce <input type="checkbox"/> Plodiae/so semenami <input type="checkbox"/> Zasychajúce/suché (jeseň/zima)	
Výška porastu (odhad):	Približne metrov	
Šírenie v okolí	<input type="checkbox"/> Podzemky (vegetatívne) <input type="checkbox"/> Voda (fragmenty) <input type="checkbox"/> Človek (odvoz odpadu, zemina) <input type="checkbox"/> Nejasné	
Spríevodné druhy:	Aké iné invázne alebo pôvodné rastliny sa nachádzajú v bezprostrednej blízkosti?	
Fotografie sú k dispozícii?	<input type="checkbox"/> Áno <input type="checkbox"/> Nie	
Počet fotografií:	názvy súvorov pre identifikáciu	
Poznámka k fotkám	(napr. záber na celú plochu, detail stonky/listu, okolie):	

Obrázok 3 Vzor formulára na systematické mapovanie a monitoring výskytu krídlatky japonskej v teréne.

3.3 Rozšírenie v Žilinskom a Moravskosliezskom kraji

Výskum z rokov 2024–2026 potvrdzuje alarmujúci stav v regióne severného Slovenska a príslušného pohraničia. Región sa stal epicentrom šírenia v rámci strednej Európy.



Obrázok 4 Mapa rozšírenia krídlatky japonskej so zvýraznením výskytu v Žilinskom a Moravskosliezskom kraji.

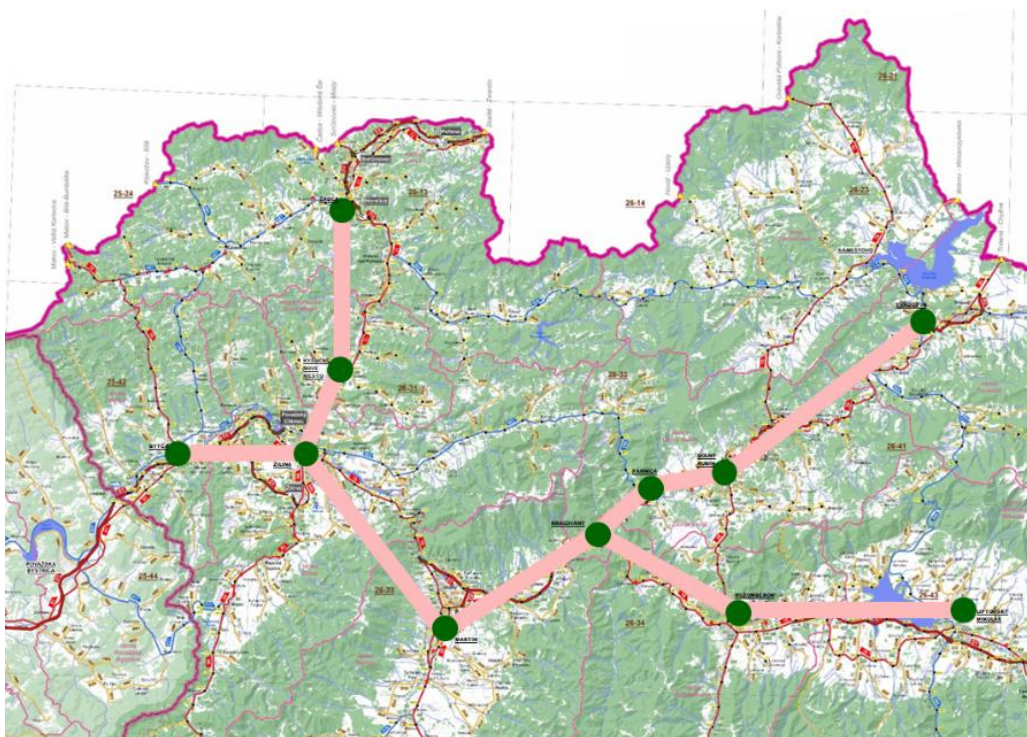
Lokalita / Parameter	Dom. vektor	Intenzita invázie	Plocha (ha)	Stav manažmentu
Žilina (Sútok Váhu a Kysuce)	Hydrochória	Kritická	> 45	Aktívna sanácia
Martin (Turiec)	Urbanizácia	Vysoká	18–22	Monitoring
Ružomberok (Váh)	Priemysel	Stredná	8–12	Lokálne zásahy
Čadca (Kysuca)	Cezhraničný	Vysoká	25–30	Koord. ČR/PL
Kysucké Beskydy	Klimatický posun	Nástupná	< 5	Sledovanie

Tabuľka 3.2: Prehľad invázy ohnísk v Žilinskom kraji (HERBATHECA, 2025)

Žilina funguje ako centrálny distribučný uzol. Tlak sa šíri z troch smerov:

- Považský koridor (Váh): Šírenie po prúde smerom na Bytču, Trenčín a ďalej do Trnavského kraja.
- Kysucký koridor: Prepojenie s Moravskosliezskym krajom (ČR), kde je rieka Kysuca hlavným transportným médiom cezhraničného šírenia.
- Oravský koridor: Postupný prienik do chladnejších oblastí – zaznamenaný je posun krídlatky do nadmorských výšok nad 700 m n. m.

Klimatická adaptácia: Vplyv miernejších zím (pokles počtu mrazových dní) umožňuje prežívanie rizómov aj v plytších pôdnych vrstvách, ktoré v minulosti premrzali. Teplota pôdy pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ bola historicky limitujúcim faktorom, ktorý sa v dôsledku klimatickej zmeny stáva menej účinný.



Obrázok 5 Mapa monitorovaných lokalít a hlavných trás šírenia krídlatky v rámci Žilinského kraja.

3.4 Dlhodobý monitoring a vyhodnocovanie účinnosti

Eradikácia krídlatky nie je jednorazový akt, ale proces. Vyhodnocovanie úspešnosti musí prebiehať v cykle minimálne 3 až 5 rokov po poslednom vizuálnom výskyte, keďže rizómy môžu zostať v dormantnom stave niekoľko sezón.

3.4.1 Kľúčové indikátory úspešnosti (KPI)

- Redukcia hustoty stoniek: Cieľom je medziročný pokles počtu výhonkov na m^2 . Úspešný projekt vykazuje po 3 rokoch pokles o viac ako 80 %.
- Vitalita biomasy: Sledovanie morfológických zmien. Po aplikácii herbicídov alebo intenzívnom kosení dochádza k nanizmu (trpasličí vzrast) – výška rastlín klesá z pôvodných 3 m pod 0,5 m.
- Rekolonizácia pôvodnými druhmi: Indikátor dlhodobého úspechu eradikácie – návrat chránených a typických druhov riečnych brehov.
- Výskyt dormantných výhonkov: Kontrola okruhu 10–20 m od pôvodného ohniska. Rizómy sa môžu aktivovať pri mechanickom narušení pôdy.

3.4.2 Ekonomické vyhodnotenie (ROI analýza)

Investícia do prevencie a včasného monitoringu je signifikantne nižšia než sanácia rozvinutých porastov. Dáta z roku 2025 ukazujú, že 1 € investované do monitoringu v Žilinskom kraji ušetrí v

horizonte 10 rokov približne 12 € v nákladoch na odstraňovanie následkov (poškodenie protipovodňových hrádzí, oprava infraštruktúry, strata biodiverzity).

Scenár	Investícia/ha/rok	Náklady na sanáciu (10 r.)	ROI
Preventívny monitoring	250–400 €	~3 000 €	1 : 12
Včasný zásah (< 2 roky)	800–1 500 €	~8 000 €	1 : 7
Reaktívna sanácia (> 5 rokov)	3 000–8 000 €	~25 000 €	1 : 3
Bez zásahu (ekologická škoda)	0 €	> 50 000 €	negatívne

Tabuľka 3.3: ROI analýza rôznych prístupov k manažmentu krídlatky (HERBATHECA, 2025)

4. METÓDY ERADIKÁCIE A OBMEDZENIA ŠÍRENIA

Potlačenie krídatky japonskej a jej hybridov predstavuje jednu z najväčších výziev v súčasnom manažmente krajiny. Vzhľadom na jej extrémnu regeneračnú schopnosť a hlboký koreňový systém, ktorý môže siahť až do hĺbky 3 metrov a šírky 7 metrov, je bežná údržba zelene nepostačujúca.

4.1 Princípy eradikácie a biologické súvislosti

Úspešná eradikácia nie je jednorazový úkon, ale strategický proces. Krídatka disponuje tzv. apikálnou dominanciou. Ak sa odstráni len nadzemná časť, spiace púčiky na rizómoch sa aktivujú a rastlina reaguje ešte agresívnejším rastom – takzvaný kompenzačný rast.

Základné piliere úspešnej eradikácie:

- **Kontinuita a vytrvalosť:** Eradikácia musí byť plánovaná ako 5-ročný cyklus. Prvé tri roky sú zamerané na elimináciu hlavnej biomasy, zvyšné dva roky na monitoring a likvidáciu „spiacich“ výhonkov.
- **Fyziologické načasovanie:** Zásahy musia rešpektovať sezónnu dynamiku rastliny. Najcitlivejšia je v období kvitnutia (august – september), kedy dochádza k masívnemu transportu asimilátov z listov do koreňov.
- **Integrovaný manažment (IPM):** Kombinácia mechanických, chemických a environmentálnych metód zvyšuje úspešnosť na viac ako 90 % pri dôslednom dodržiavaní postupov.
- **Dokumentácia:** Vedenie záznamu o každom zásahu (dátum, metóda, rozloha, použité prípravky) je nevyhnutné pre vyhodnotenie efektivity a pre právne účely.

4.2 Mechanické opatrenia

4.2.1 Intenzívne a nízke kosenie (mulčovanie)

Cieľom nie je rastlinu odstrániť, ale vyhladovať – opakovaným odstraňovaním nadzemnej biomasy postupne vyčerpávať zásoby v rizómoch. Každé nové vyrašenie núti rastlinu čerpať energiu z podzemných rezerv.

- **Frekvencia:** Minimálne 6 až 10-krát za sezónu. Kľúčové je kosenie vždy pred tým, než výhonok dosiahne výšku 30 cm a začne fotosyntetizovať.
- **Mechanizmus:** Ak sa výhonok odreže skôr, než stihne začať fotosyntetizovať, zásoby v koreňoch sa postupne vyčerpávajú. Po 3–5 rokoch intenzívneho kosenia dochádza k výraznému oslabeniu porastu.
- **Riziko:** Pri kosení nesmie dôjsť k rozptylu úlomkov stoniek do okolia – každý fragment s dĺžkou nad 1 cm môže zakoreniť a vytvoriť nové ohnisko. Vždy používať záchytné siete alebo krovinoz s vakom.
- **Obmedzenia:** V blízkosti vodných tokov je táto metóda riziková bez záchytných sietí. V chránených územiach môže byť jedinou povolených metódou.

4.2.2 Prekrývanie (Shading/Smothering)

Ide o metódu vhodnú pre menšie izolované ohniská. Postup:

- Porast sa skosí tesne pri zemi.
- Plocha sa prekryje silnou, UV stabilnou geotextíliou alebo čiernou fóliou (hrúbka min. 2 mm).
- Fólia musí presahovať okraj porastu o aspoň 2 metre, aby sa zabránilo „obchádzaniu“ bariéry výhonkami.
- Okraje fólie sa fixujú záťažnými vreami alebo sponami zarazenými do pôdy.
- Pravidelná kontrola celistvosti fólie a odstraňovanie výhonkov, ktoré prerastajú cez okraj.

Doba zakrytia: Minimálne 3–4 roky. Nevýhodou je vizuálny dopad na krajinu a nutnosť pravidelnej kontroly.

4.2.3 Hĺbkový výkop a separácia

Najrýchlejšia, ale najdrahšia metóda. Vyžaduje odstránenie zeminy do hĺbky min. 2–3 metre. Vyťažený materiál sa považuje za nebezpečný odpad a musí byť buď preosiaty (oddelenie rizómov) alebo deponovaný na riadených skládkach. Rizómy sa následne devitalizujú termicky (> 60 °C, 48 hod.) alebo likvidujú spaľovaním.

✓*Táto metóda je ekonomicky odôvodnená len pri plánovaných stavebných prácach, kde sa zemina musí vyťažiť z iných dôvodov.*

4.3 Chemické opatrenia

Chemická kontrola je v súčasnosti najefektívnejším nástrojom pri veľkoplošných inváziách. Používajú sa neselektívne listové herbicídy s účinnou látkou glyfosát alebo triklopyr.

4.3.1 Metódy aplikácie

- Plošný postrek: Aplikuje sa na plne vyvinutú listovú plochu (výška > 1,5 m, pred kvitnutím alebo v čase kvitnutia). Nevýhodou je riziko poškodenia okolitej vegetácie (drift). Optimálne pri suchom bezvetrovom počasí.
- Injektáž do stoniek (Stem Injection): Vysoko selektívna metóda. Do každej stonky sa vo výške cca 10 cm (medzi 1. a 2. kolienko) vstrekuje 1–2 ml koncentrovaného roztoku herbicídu. Výhoda: možnosť aplikácie za veterného počasia a v blízkosti vody. Účinnosť: takmer 100 % na zasiahnutú rastlinu.
- Metóda Cut and Fill: Zrezanie stonky a okamžité (do 10 sekúnd) potretie reznej rany herbicídom. Vhodná pri nižšej hustote porastu.
- Herbicídna injektáž do pôdy: Aplikácia herbicídu priamo do koreňovej zóny – experimentálna metóda s vysokou efektivitou, ale rizikom kontaminácie podzemných vôd.

Fáza	Časové obdobie	Aktivita	Poznámka
1. Prípravná	Máj – Jún	Prvé kosenie pred dosiahnutím plnej výšky na oslabenie zásob v koreňoch.	Výška < 50 cm
2. Likvidačná	August – September	Chemický postrek systémovým herbicídum na regenerovanú listovú plochu.	Pred mrazmi
3. Sanitárna	Celoročne	Odborná likvidácia biomasy (spálenie alebo hĺbkové uloženie).	Reg. predpisy
4. Kontrolná	Nasl. 3–5 rokov	Monitoring lokality a bodová eliminácia zostávajúcich výhonkov.	Min. 1x/mesiac

Tabuľka 4.1: Odporúčaný harmonogram chemického zásahu (IPM prístup)



Obrázok 6 Prehľad metód likvidácie krídatky japonskej: od injekčáže a postreku herbicídum cez mechanické kosenie až po zatienenie nepriepustnou fóliou.

4.4 Inovatívne a biologické metódy

V rámci hľadania ekologicky prijateľných riešení sa do praxe dostávajú nové postupy, ktoré môžu doplniť konvenčné metódy:

- **Pastva:** Ovce a kozy ochotne konzumujú mladé výhonky krídatky. Pastva nevedie k úplnej eradikácii, ale k efektívnemu potlačeniu šírenia a oslabeniu porastu v kombinácii s inými metódami. Vhodné najmä pre plochy bez chemického ošetrenia (chránené oblasti, brehové porasty).
- **Biologický boj (Biocontrol):** Využitie prirodzeného nepriateľa z pôvodného domova krídatky – mery japonskej (*Aphalara itadori*). Tento hmyz sa živí šťavami rastliny, čím ju oslabuje. V EÚ prebiehajú monitorované testy (UK, Holandsko). V SR nie je zatiaľ schválený na komerčné použitie.
- **Elektrocutánná likvidácia:** Nová technológia, ktorá pomocou vysokonapäťových elektród (aplikátor Rootwave Pro) znehodnotí vnútro rastliny a časti rizómov priamo v pôde. Bez chemikálií, účinok do 6 hodín. Vhodné pre malé ohniská a citlivé lokality.
- **Mykorízne bariéry:** Výskumná metóda využívajúca húb, ktoré inhibujú rast krídatky a zároveň podporujú rast pôvodnej vegetácie.

4.5 Prevencia reinvázie

Bez prísnej prevencie je každá snaha o likvidáciu dočasná. Krídatka sa šíri najmä činnosťou človeka, preto je nutné zaviesť systémové opatrenia:

4.5.1 Protokol nakladania s odpadom

Odpad z krídlatky (stonky, korene) sa nesmie vyvážať na bežné skládky bioodpadu ani domáce kompostoviská. Povolené metódy likvidácie:

- Spaľovanie na mieste: Najbezpečnejšia metóda, eliminuje riziko šírenia.
- Hĺbkové pochovanie: Uloženie do jám hlbších ako 5 metrov a prekrytie inertným materiálom (betón, fólia).
- Termická devitalizácia: Kompostovanie pri teplote > 60 °C po dobu min. 48 hodín (priemyselné kompostiská).
- Odvoz na riadenú skládku s povolením pre biologický odpad – nutná deklarácia obsahu invázných druhov.

4.5.2 Dekontaminácia techniky

Stavebné a poľnohospodárske stroje pracujúce v infikovaných oblastiach sú hlavným vektorom šírenia. Povinné opatrenia:

- Čistenie podvozkov a kolies vysokotlakovým zariadením (WAP, min. 120 bar) pred opustením lokality.
- Zákaz presunu ornice z oblastí s výskytom invázných druhov bez dekontaminácie.
- Vedenie dekontaminačného protokolu (dátum, zariadenie, lokalita) pre prípadné právne nároky.

4.6 Odporúčaný postup pre samosprávy (Algoritmus zásahu)

Pre efektívne vynaloženie obecných prostriedkov sa odporúča nasledovný postup:

- Mapovanie: Identifikácia všetkých ohnísk na území obce a určenie vlastníctva pozemkov. Odlíšenie verejných a súkromných pozemkov.
- Prioritizácia: Prvotný zásah v blízkosti vodných tokov (riziko šírenia prúdom vody), dopravných koridorov a strategickej infraštruktúry.
- Realizácia Kombinovaným modelom: Rok 1: Jún (kosenie, výška < 30 cm) + August (chemický postrek). Rok 2: Opakovanie postreku na oslabené výhonky (nižšia koncentrácia). Roky 3–5: Bodová likvidácia a obnova pôvodnej vegetácie (vysádzanie vŕby, jelše).
- Dokumentácia a reporting: Fotografická dokumentácia pred a po zásahu, zápis do obecnej databázy, reporting pre ŠOP SR.
- Pooperačný monitoring: Pravidelné kontroly vo vegetačnom období (min. 1× mesačne od apríla do októbra) počas minimálne 5 rokov.



Obrázok 7 Vizúálne porovnanie lokality pred a po úspešnej eradikácii invázneho porastu krídlatky.

⚠ Podľa platnej legislatívy SR je vlastník, správca alebo užívateľ pozemku povinný odstraňovať invázne nepôvodné druhy zo svojho pozemku. Pri zanedbaní tejto povinnosti hrozia vysoké sankcie od Slovenskej inšpekcie životného prostredia.

5. ZBER, MANIPULÁCIA A TRANSPORT BIOMASY

Efektívny manažment biomasy krídlatky japonskej vyžaduje synergiu medzi biologickými cyklami rastliny a technickými možnosťami spracovania. Vzhľadom na jej extrémnu regeneračnú schopnosť musí byť každá operácia navrhnutá tak, aby eliminovala riziko sekundárnej invázie.

5.1 Optimálne termíny zberu biomasy

Časovanie zberu nie je len otázkou logistiky, ale predovšetkým otázkou chemického zloženia a energetickej hustoty. Krídlatka sa počas roka dynamicky mení z hľadiska obsahu sekundárnych metabolitov aj vlhkosti. Pre každé využitie existuje iné optimálne okno zberu.

5.1.1 Jarný zber (apríl – máj): Nutraceutiká a mladé výhonky

V tomto období rastlina investuje energiu z podzemkov do prudkého rastu. Stonky sú krehké, šťavnaté, pripomínajúce rebarboru.

- **Kľúčové zložky:** Vysoká koncentrácia piceidu (glykozylovaná forma resveratrolu) a vitamínu C. Obsah piceidu môže dosahovať 7–10 mg/g sušiny.
- **Spracovanie:** Vyžaduje okamžité chladenie (do 4 °C) alebo lyofilizáciu (mrazenie vo vákuu), aby sa zabránilo enzymatickej degradácii bioaktívnych látok.
- **Potenciál:** Priame konzumné využitie (kuchyňa – namiesto rebarbory), výroba džúsov, fermentovaných nápojov. Ročný výnos čerstvých výhonkov: 8–15 t/ha.

5.1.2 Letný zber (jún – august): Kozmetika a biomasa

Rastlina dosahuje maximálnu listovú plochu. Listy sú bohaté na chlorofyl a flavonoidy. V kozmetike sa využívajú extrakty na upokojenie pleti a anti-aging produkty (inhibítory tyrozinázy).

- **Technologická poznámka:** V tomto období je objem biomasy najväčší (max. výška 3–4 m), čo kladie vysoké nároky na prepravnú kapacitu. Vlhkosť biomasy je však vysoká (> 70 %), čo zvyšuje náklady na sušenie.
- **Využitie:** Extrakcia chlorofylu, flavonoidov; výroba zelených farbív; zdroj vitamínov a antioxidantov.

5.1.3 Jesenný zber (september – október): Farmaceutické maximum

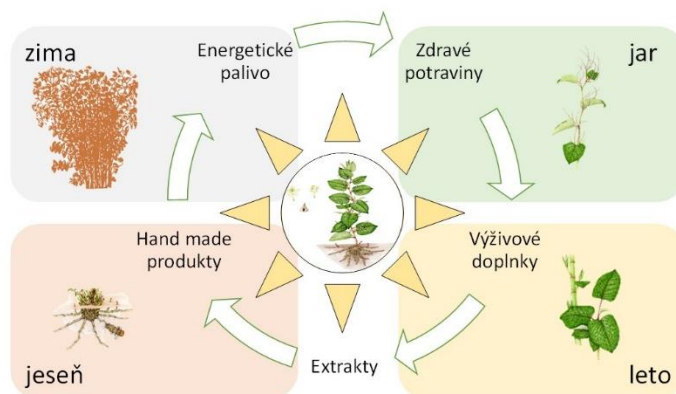
Pre farmaceutický priemysel ide o kritické obdobie. Rastlina sťahuje živiny a ochranné látky do koreňového systému, aby prežila zimu.

- **Resveratrol:** Koncentrácia v podzemkoch stúpa o 20–30 % oproti letnému obdobiu. Maximálne hodnoty resveratrolu (až 3–4 mg/g sušiny koreňov) sa dosahujú v priebehu septembra–októbra.
- **Metóda zberu:** Vyžaduje hĺbkovú mechanickú extrakciu (vykopávanie) do hĺbky až 1,5 m, kde sa nachádzajú najstaršie a na účinné látky najbohatšie časti rizómov.
- **Ekonomický potenciál:** Cena resveratrolu na farmaceutickom trhu: 200–500 €/kg čistej látky. Obsah v suchých koreňoch: 1–3 %.

5.1.4 Zimný zber (november – marec): Energetické využitie

Nadzemná časť rastliny odumiera a prirodzene vysychá na koreni (tzv. standing drying – sušenie na stojato).

- Výhoda: Vlhkosť biomasy klesá pod 25 %, čo dramaticky znižuje náklady na umelé sušenie pred peletovaním.
- Kvalita paliva: Zimná biomasa má nižší obsah dusíka a síry, čo zlepšuje emisné parametre pri spaľovaní. Nižší obsah draslíka znižuje riziko spekania popola.
- Logistika: Zimné zbery sú jednoduchšie z hľadiska manažmentu – eliminuje sa riziko rozšírenia živého materiálu počas transportu.



Obrázok 8 Možnosti využitia biomasy krídlatky v rámci jej celoročného životného cyklu.

5.2 Postupy zberu a prevencia šírenia

Manipulácia s krídlatkou je legislatívne upravená, nakoľko ide o invázny druh. Každý krok musí byť v súlade s princípom nulového úniku.

5.2.1 Bariérová ochrana pri kosení

Pri mechanickom kosení dochádza k fragmentácii stoniek. Ak sa kosenie vykonáva v blízkosti vodných tokov, je nevyhnutné použiť záchytné siete alebo norné steny, ktoré zabránia splaveniu úlomkov. Voda je primárnym vektorom šírenia krídlatky na nové lokality.

5.2.2 Devitalizácia a sterilizácia

Proces devitalizácie musí byť nezvratný. Existujú tri hlavné metódy:

- Termická devitalizácia: Vystavenie biomasy teplote nad 60 °C po dobu minimálne 48 hodín (pri priemyselnom kompostovaní) alebo krátkodobý ohrev nad 100 °C (par, horúci vzduch).
- Mechanická deštrukcia: Mletie na frakciu pod 0,5 mm fyzicky ničí bunkovú štruktúru púčikov na rizónoch a znemožňuje regeneráciu.
- Silážovanie: Uloženie do anaeróbného prostredia (silážne vaky), kde nízke pH (kyselina mliečna, pH < 4) zlikviduje klíčivosť do 3–4 týždňov.

5.3 Transport a logistika

Transport je najrizikovejším článkom reťazca. Podľa štatistík vzniká veľké percento nových ohnísk pozdĺž cestných komunikácií práve kvôli neodbornému transportu. Zásadné požiadavky:

Parameter	Štandardný transport (iná biomasa)	Bezpečný transport (Krídlatka)
Typ vozidla	Otvorený valník, traktor	Uzavretý kontajner / Zaplachtovanie min. 2 vrstvami plachty
Balenie	Voľne ložené	Big-bagy (1 t), utesnené kontajnery alebo vakuované balíky
Čistenie vozidla	Bežné umytie	Vysokotlaková dekontaminácia (WAP, min. 120 bar) pred výjazdom z lokality
Dokumentácia	Dodací list	Protokol o nakladaní s inváznym druhom (dátum, lokalita, metóda zberu, cieľ)
Odpad z čistenia	Bežný odpad	Likvidácia splachov v uzavretom systéme, nie do vodného toku

Tabuľka 5.1: Porovnanie štandardného a bezpečného transportu biomasy krídlatky

⚠ Pri prevoze sušeného mletého materiálu (prášku) hrozí riziko prašnosti a alergických reakcií u personálu. Vyžaduje sa použitie respirátorov triedy FFP2/FFP3 a ochranných okuliarov.

5.4 Municipálny model zberu a spracovania

Samosprávy by mali pristupovať ku krídlatke ako k surovinovému zdroju, nie ako k odpadu. Navrhovaný municipálny model:

- Pasportizácia lokalít: Identifikácia plôch a odhad výnosu biomasy (t/ha). GIS databáza obnovovaná min. 1× ročne.
- Sezónne plánovanie: Zimný zber pre energetiku, jesenný pre farmáciu, jarný pre potravinárstvo/kozmetiku.
- Mobilné spracovateľské jednotky: Prenájom mobilných drvičov spracujúcich biomasu priamo v mieste výskytu. Eliminuje riziko úniku počas transportu živého materiálu.
- Lokálne energetické využitie: Premena drviny na brikety/pelety pre obecné kotelne.

6. PRÍPRAVNÉ PRÁCE NA BIOMASE – SUŠENIE A DRVENIE

6.1 Sušenie biomasy

Obsah vody vo vstupnej biomase je jeden z rozhodujúcich parametrov kvality paliva. Vysoká vlhkosť znižuje využiteľnú výhrevnosť paliva, zhoršuje stabilitu spaľovania a znižuje dosiahnuteľný výkon zariadenia. Zároveň zvyšuje nároky na dopravu a skladovanie.

Z fyzikálneho hľadiska platí: energia uvoľnená spaľovaním sa musí najprv minúť na ohrev vody v palive a jej odparenie. Vyparenie 1 kg vody vyžaduje rádovo okolo 2,3–2,5 MJ tepla (bez započítania ohrevu vody a pary na teplotu spalín). Preto mokré palivo nielen má nižšiu využiteľnú energiu na kilogram, ale zároveň ochladzuje spaľovací priestor a zhoršuje podmienky pre úplné dohorenie plynných zložiek.

Praktický príklad poklesu výhrevnosti s vlhkosťou (orientačne pre kusové drevo a porovnanie s krídlatkou):

Vlhkosť paliva (%)	Výhrevnosť dreva (MJ/kg)	Výhrevnosť krídlatky (est. MJ/kg)	Pokles výkonu kotla
0 % (úplne suché)	~18,5	~19,5	referencia
10 %	~16,4	~17,4	-11 %
20 %	~14,3	~15,2	-23 %
30 %	~12,2	~13,0	-34 %
50 %	~8,0	~8,5	-56 %

Tabuľka 6.1: Závislosť výhrevnosti od vlhkosti biomasy (Jandačka, 2007; UNIZA, 2025)

6.1.1 Typy vlhkosti v biomase

Biomasa sa radí medzi kapilárno-pórovité-koloidné materiály. Z hľadiska analytického vyjadrenia rozoznávame:

- Voľná voda (hrubá): Nachádza sa na povrchu paliva a v makrokapilárach (lumenoch buniek). Odparuje sa zo vzorky pri voľnom sušení na vzduchu. Ľahko odstrániteľná prirodzeným sušením.
- Kapilárne viazaná voda: Nachádza sa v mikrokapilárach bunčných stien a v medzifibrilárnych priestoroch. Zisťuje sa sušením pri teplote do cca 120 °C. Jej odstraňovanie si vyžaduje tepelnú energiu.

Bod nasýtenia vlákien (Fiber Saturation Point – FSP): Pri dreve sa uvádza okolo 25–30 % vlhkosti (na suchej báze). Nad touto hodnotou je prítomná aj voľná voda a sušenie býva „ľahšie“, pod touto hodnotou sa odstraňuje najmä viazaná voda a sušenie sa spomaľuje.

6.1.2 Cieľové parametre vlhkosti pre rôzne technológie

Typ zariadenia/aplikácie	Cieľová vlhkosť	Poznámka
Automatické kotly na štiepku	M20–M35 (20–35 %)	Závisí od konkrétneho zariadenia
Peletovací lis – vstupný materiál	10–15 %	Pred lisovaním
Hotové drevné / kridl. pelety	≤ 10 %	Podľa STN EN ISO 17225
Splyňovanie – vstupný materiál	< 20 %	Pre stabilný proces

Tabuľka 6.2: Cieľové hodnoty vlhkosti pre rôzne aplikácie

6.1.3 Prirodzené sušenie

Prirodzené sušenie (bez externého zdroja tepla) využíva slnečné žiarenie, vietor a vhodné usporiadanie materiálu. Je energeticky a prevádzkovo jednoduché, ale výrazne závisí od počasia, sezóny, tvaru hromady, prekrytia a frakcie.

Hlavné zásady správneho prirodzeného sušenia:

- Sušiť skôr kusový materiál pred štiepkovaním, ak je to možné – nižšie riziko degradácie než pri dlhom skladovaní už naštiepkovaného materiálu.
- Podporiť ventiláciu a odtok vody: vhodný podklad (rošty, palety), oddelenie od zeme, orientácia na vietor a slnko, obmedzenie kapilárneho navlhnutia od podkladu.
- Použiť priedušné prekrytie (nie nepriedušnú fóliu) – chráni pred dažďom, ale umožňuje odvod vlhkosti.
- Skracovať dobu skladovania štiepky, najmä pri vyššej vlhkosti a v teplom období, kvôli stratám sušiny a riziku samovoľného zahrievania (biologická aktivita mikroorganizmov).
- Neklásť biomasu na blato – jemné minerálne častičky a pôda sa ľahko zamiešajú do paliva, rastie obsah popola a opotrebenie techniky.

Medzi limity prirodzeného sušenia patrí: veľká závislosť od počasia a sezóny, horšia predikovateľnosť finálnej vlhkosti, potreba priestoru a disciplíny v sklade, riziko nehomogénnej vlhkosti v šarži.

Samovoľné zahrievanie: Typické rizikové faktory sú vyššia vlhkosť, jemná frakcia, teplé obdobie a veľké zhutnené kopy. Okrem strát sušiny je to aj bezpečnostná téma – pri prevádzkach je vhodné sledovať teplotu vo vnútri kopy, ak sa materiál skladuje dlhšie.



Obrázok 9 Prirodzené sušenie krídlatky japonskej

6.1.4 Nútené sušenie

Nútené sušenie využíva privádzaný teplý vzduch, spaliny alebo paru a riadené prúdenie cez vrstvu biomasy. Používa sa najmä vtedy, keď je potrebné dosiahnuť stabilnú cieľovú vlhkosť, skrátiť čas sušenia alebo zabezpečiť kontinuálnu výrobu.

V peletovacích prevádzkach sa sušenie typicky zavádza, ak má vstupná surovina vyššiu vlhkosť než 10–15 %. Druhy sušiarňí:

- Pásovú sušiarne: Vstupný materiál je na páse rozložený do tenkej vrstvy a pomaly prechádzajú sušiarňou prefukovanou horúcim vzduchom (do 120 °C). Jemná teplotná regulácia, vhodné pre citlivé suroviny.
- Bubnové sušiarne: Rotujúci bubon, do ktorého sa vháňajú spaliny z kotla. Bežnejšie a lacnejšie. Dôležité dodržiavanie teplotného limitu (do 200 °C), aby nedošlo k strate výhrevnosti suroviny.
- Podlahové sušiarne s roštom: Štiepka je rozložená na podlahe s roštmi, cez ktoré sa privádza teplý vzduch zdola. Vhodné pre väčšie zásoby pri využití odpadného tepla (kogenerácia).

6.1.5 Odporúčaný postup sušenia pre obecnú prax

1. Krok 1: Definovať koncové použitie a cieľovú vlhkosť podľa konkrétneho zariadenia (kotelňa, peletáreň).
2. Krok 2: Vstupná kontrola každej dodávky – pôvod, frakcia, vlhkosť, prímеси.
3. Krok 3: Voľba metódy sušenia – prirodzené ak je čas a priestor, nútené ak treba rýchlo alebo pre peletovanie.
4. Krok 4: Realizácia sušenia s monitorovaním teploty a vlhkosti.
5. Krok 5: Kontrola kvality – minimálne 2–3 odbery z rôznych miest pri nehomogénnej dávke.
6. Krok 6: Homogenizácia a uvoľnenie do prevádzky – premiešanie pred použitím v kotolni alebo pred lisovaním.

6.2 Drvenie a mletie biomasy

Po zbere a doprave na výskumné pracovisko bola biomasa krídlatky najprv prirodzene sušená na vzduchu. Mechanická úprava následne prebiehala v troch stupňoch: drvenie, nožové mletie a vibračné mletie (pre účely analýz).



Obrázok 10 Spôsoby drvenia krídlatky japonskej

6.2.1 Primárne drvenie – štiepkovanie

Drvenie predstavuje prvý stupeň mechanickej úpravy biomasy. Jeho cieľom je rozdelenie celistvých častí rastliny na menšiu, lepšie manipulovateľnú frakciu. Drvenie znižuje objemnosť materiálu (redukcia až 1:8) a pripravuje ho pre následné jemnejšie spracovanie.

V rámci výskumu bol pre prvý stupeň použitý elektrický drvič Einhell RLH 2540 FB, ktorý efektívne rozdelil celistvé časti vysušenej krídlatky na menšiu frakciu. Biomasa krídlatky je mäkká a dutá, a preto sa pri prechode drtičom relatívne ľahko rozruší.

Typy drviacich zariadení:

- Elektrické drviče: Vhodné pre materiály s nižšou objemovou hmotnosťou a menej presnými požiadavkami na výstupnú frakciu. Výhoda: jednoduchá konštrukcia, dostupnosť.
- Kladivové drviče: Vhodné pre intenzívnejšie rozmrvenie suchej biomasy, vyšší výkon. U vláknitých materiálov môžu vytvárať menej homogénne čiastočky.
- Valcové drviče: Využívajú tlakové pôsobenie medzi pracovnými valcami. Pre dlhé vláknité časti rastlín nie sú vždy optimálne ako prvý stupeň úpravy.

6.2.2 Sekundárne nožové mletie

Po prvom stupni drvenia nasledovalo nožové mletie, ktorého cieľom bolo ďalšie zmenšenie veľkosti častí a dosiahnutie rovnomernejšej frakcie biomasy. V rámci výskumu bol použitý rýchlobežný nožový mlyn DP 11-240/350, ktorý umožnil materiál zjemniť a rozdeliť na rovnomernejšie frakcie o veľkosti častí ≤ 6 mm.

Táto veľkosť frakcie sa ukázala ako vhodná pre ďalšie experimentálne práce a prípravu paliva pre peletizáciu a splyňovanie. Nožové mletie pomáha znižovať heterogenitu materiálu – líši sa stonky, listy aj jemnejšie časti rastliny.

Pre prax platí: optimálna výstupná veľkosť častí sa môže líšiť podľa konkrétnej aplikácie:

- Pre peletizáciu: cieľová frakcia 1–4 mm, jemná a dobre stlačiteľná
- Pre splyňovanie: dôležitá uniformita, typicky 5–20 mm
- Pre spaľovanie v kotle: závisí od typu horáka, typicky 20–50 mm
- Pre laboratórne analýzy: čo najjemnejšia, < 1 mm

6.2.3 Vibračné mletie a príprava laboratórných vzoriek

Vibračné mlyny sa používajú najmä na rýchle jemné domletie materiálu na analytickú jemnosť a na prípravu vzoriek pre laboratórne analýzy. Pri spracovaní sušenej vláknovej biomasy sa na primárne drvenie a znižovanie veľkosti častí spravidla využívajú rezacie alebo nožové mlyny.

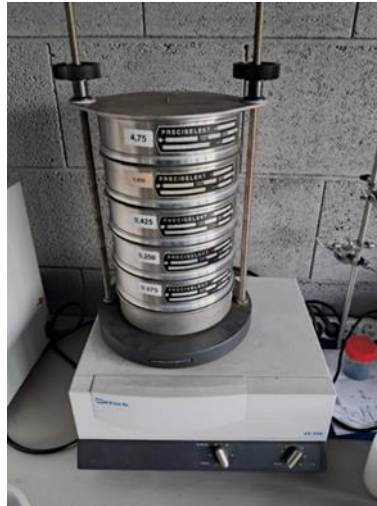
Po mechanickom spracovaní biomasy bola zo všetkých frakcií pripravená reprezentatívna vzorka pomocou kvartácie. Výsledkom vibračného mletia bol materiál o veľmi jemnej zrnitosti prakticky práškového charakteru, použitý pre:

- Kalorimetrické stanovenie výhrevnosti a spalného tepla
- Elementárnu analýzu C, H, N, S
- Termogravimetrickú analýzu (TGA) – vlhkosť, prchavé látky, popol
- Stanovenie teploty tavitelnosti popola

6.2.4 Výsledky sitovej analýzy

V rámci výskumu bola po drvení a mletí krídlatky vykonaná sitová analýza za účelom hodnotenia veľkosti a distribúcie častí pomocou analytického sitovacieho stroja Retsch AS 200 s vybranými analytickými sitami.

Výsledky ukázali, že väčšina materiálu bola upravená na frakciu o veľkosti 0,850–4,75 mm, ktorá predstavovala 72,92 % celkovej hmotnosti vzorky. Tento výsledok je priaznivý pre peletizáciu, pretože potvrdil prevahu frakcie dostatočne jemnej pre zhutnenie materiálu bez extrémneho podielu prachových zložky.



Obrázok 11 Sitová analýza distribúcie častíc krídlatky

6.3 Skladovanie biomasy

Skladovanie biomasy je dôležitým krokom pre zachovanie jej kvality ako paliva. U krídlatky to platí dvojnásobne – je to bylinná biomasa, ktorá môže pri nevhodnom skladovaní rýchlo podliehať biologickej degradácii.

- Krátkodobé skladovanie: Skladovací priestor musí byť suchý, dobre vetraný a chránený pred priamymi zrážkami a dlhodobým pôsobením priameho slnečného žiarenia.
- Dlhodobé skladovanie: Ideálne sú kryté sklady s možnosťou kontroly vlhkosti. Pravidelný monitoring teploty a vlhkosti. Zvýšená pozornosť pri bylinných biomasách – riziko zhutňovania materiálu a zhoršenia prievzdušnosti.
- Špeciálne požiadavky pre krídlatku: Je nevyhnutné zabrániť nekontrolovanému šíreniu rastlinného materiálu mimo miesta spracovania. Uprednostňovanie uzavretých systémov skladovania a transportu.

⚠ Pri skladovaní štiepky z krídlatky platí rovnaký princíp: čistota skladu = stabilita technológie. Pôda a piesok zvyšujú popol a opotrebenie techniky.

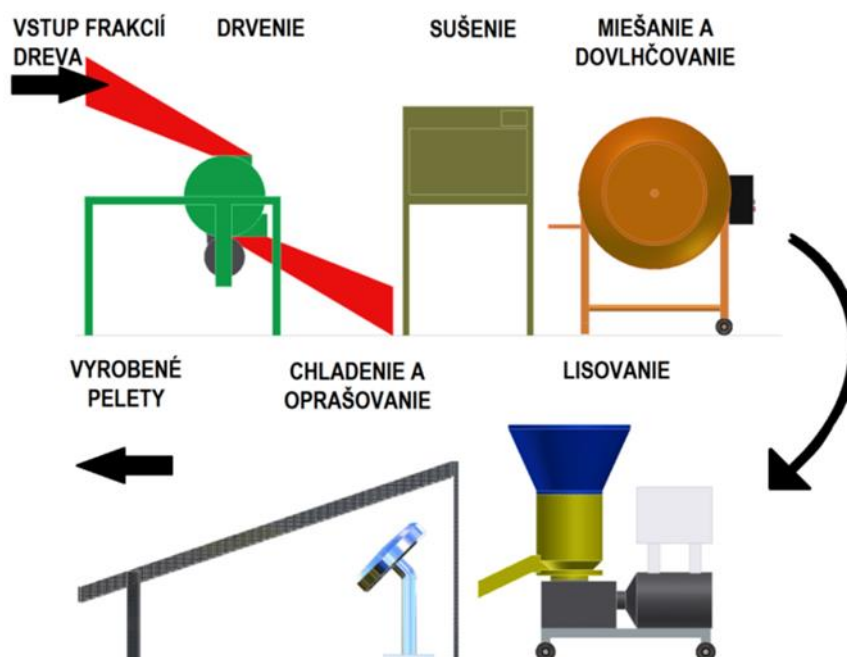
7. LISOVANIE A ZUŠĽACHŤOVANIE PALIVA

7.1 Zmysel a výhody peletizácie

Peletizácia je proces, pri ktorom sa sypká biomasa mechanicky zhutňuje do štandardizovaných valcových peliet. Zmyslom lisovania (zhutňovania) je zvýšiť objemovú energetickú hustotu paliva – koľko energie sa zmestí do 1 m³. Voľné piliny alebo štiepka majú nízku sypnú hustotu a zle sa dávkujú, prepravujú a skladujú.

Peletizácia prináša tieto výhody:

- Zvýšenie objemovej hustoty: Pelety majú sypnú hustotu 550–700 kg·m⁻³ oproti 80–150 kg·m⁻³ voľnej štiepky. Rovnaké množstvo energie zaberá 4–6× menší objem.
- Vyššia homogenita: Pravidelný tvar, podobný rozmer a lepšie tokové vlastnosti umožňujú presné automatické dávkovanie do kotlov.
- Lepšia manipulácia: Pelety sa dobre dopravujú šnekovými dopravníkmi a pneumatickými systémami, čo je kľúčové pre automatizáciu.
- Zníženie vlhkosti: Peletizačný proces pri správnych podmienkach ďalej znižuje vlhkosť paliva.
- Štandardizácia: Pelety za určitých okolností môžu spĺňať parametre porovnateľné s komerčne dostupnými drevnými peletami, čo umožňuje obchodovanie a záruky kvality.



Obrázok 12 Znáozornenie procesu výroby peliet

7.2 Príprava vstupného materiálu

Kvalita vstupného materiálu rozhoduje o stabilite peletizačného procesu, energetickej náročnosti lisovania aj o výslednej kvalite peliet.

7.2.1 Veľkosť častôčiek

Pre peletizáciu je požadovaná jemná a relatívne homogénna frakcia. Pri peletách s priemerom 6–8 mm má byť maximálny rozmer spracovanej piliny/štiepky približne 3–3,5 mm. Veľkosť vstupných častôčiek by nemala presiahnuť 1/5 priemeru výslednej pelety.

Príliš hrubé častôčky môžu narušovať súdržnosť peliet a zhoršovať stabilitu procesu, zatiaľ čo nadmerne jemný podiel môže zvyšovať prašnosť a zhoršovať tokové vlastnosti v zásobníkoch.

7.2.2 Vlhkosť vstupného materiálu

Obsah vody výrazne ovplyvňuje plasticitu biomasy pri lisovaní. V rámci experimentálneho overenia bolo zistené, že pre peletizáciu krídlatky je vhodná vlhkosť približne 14 %. Tejto hodnoty bolo dosahované riadeným zvlhčením nadrveného materiálu vodou a homogénnym premiesením.

Stav vlhkosti	Efekt na peletizáciu	Riešenie
Príliš nízka (< 8 %)	Rastie trenie v matrici, praskanie peliet, vyšší odrol	Kondicionovanie vodou / parou
Optimálna (10–15 %)	Stabilný proces, pevné pelety, nízky odrol	Udržiavanie stavu
Príliš vysoká (> 18 %)	Mäkké pelety, deformácia, zanášanie matrice	Dosušenie materiálu

Tabuľka 7.1: Vplyv vlhkosti na peletizačný proces

7.2.3 Kondicionovanie pred lisovaním

Kondicionovanie je krok, ktorého cieľom je zlepšiť spracovateľnosť materiálu v matrici. Najčastejšie ide o napaarovanie vstupného materiálu horúcou parou alebo pridanie vody rozprašovaním a intenzívne premiesenie.

Cieľom je vytvoriť tenký film vlhkosti na povrchu častôčiek. Tento film môže znížiť odpor toku materiálu v kanálikoch matrice, znížiť trenie a špičkové zaťaženie lisu a zároveň podporiť tvorbu pevnejších väzieb medzi častôčkami.

✓ Kondicionovanie NIE JE náhrada sušenia. Ak je materiál celkovo príliš vlhký, kondicionovanie situáciu nezachráni – pelety sa budú deformovať a drobiť.

7.3 Technológia peletizačného procesu

7.3.1 Typy lisov

Peleta vzniká na pretláčacom matricovom lise. Podľa tvaru matrice rozoznávame dva základné typy:

- Doskové (ploché) lisy: Základ tvorí horizontálne uložená plochá kruhová matrica, po ktorej sa odvaľujú dve až štyri valce. V minulosti využívané na granulované krmivá, vhodné pre menšie linky.
- Prstencové lisy: Konštrukčne zložitejšie, ale výkonnejšie. Matrica má tvar prstenca a rotuje. Dve alebo tri valce sa otáčajú vo vnútri prstenca. Používané v priemyselných linkách pre vyšší výkon a stabilnejšiu prevádzku.

V rámci experimentálneho overenia bol použitý peletovací lis vybavený rotačnou maticou s otvormi o priemere 6 mm. Počas procesu dvojica prítlačných valcov vtlačala pripravený materiál do otvorov matrice, kde dochádzalo k jeho zhutneniu.



Obrázok 13 Peletovací lis

7.3.2 Teplota pri peletizácii

Teplota je pri peletizácii zásadná, pretože ovplyvňuje trenie v kanáliku, viskoelastické správanie lignocelulóзовých polymérov a výslednú mechanickú odolnosť. Teplo vzniká najmä trením medzi materiálom a stenou lisovacieho kanálika. Podľa literatúry (Stelte et al., 2012):

- Teplota matrice pri ustálenej prevádzke: $\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Teplota pelety pri výstupe z matrice: $\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Lignín v biomase pôsobí ako prirodzené spojivo – pri zvýšenej teplote dochádza k jeho plastifikácii a vytvoreniu súdržných väzieb v peletách. U bylinných biomás (vrátane krídlatky) je obsah lignínu nižší než u drevnej biomasy, čo môže ovplyvniť mechanickú pevnosť peliet.



Obrázok 14 Termografická analýza teploty peliet pri lisovaní

7.3.3 Aditíva pri peletizácii

Aditíva sa používajú, keď je surovina horšie peletovateľná alebo keď je požadovaná vyššia mechanická odolnosť. Štyri hlavné kategórie:

- Aditíva na báze kremičitanov hliníka (kaolín, halloyzit, zeolit): Znižujú emisie škodlivých častíc a spekanie popola počas spaľovania. Kaolín viaže alkalické zlúčeniny v popole, čím vytvára zlúčeniny s vyššou teplotou tavenia.
- Aditíva na báze síry (síran amónny, síran hlinitý): Znižujú tvorbu chloridov alkalických kovov. Po pridaní vzrastajú koncentrácie oxidov síry v spalinách, ale klesajú oxidy dusíka.
- Aditíva na báze vápnika (vápno, vápenec): Reagujú s HCl a oxidmi síry. Efektívne pri redukcii vzniku trosky v spaľovacích systémoch.
- Aditíva na báze fosforu (kyselina fosforečná): Fosfor reaguje s draslíkom za vzniku fosfátov s vyššou teplotou tavenia. Vhodné pre palivá s vysokým podielom kremíka a draslíka.

⚠ Pre komunálne projekty je vhodné uprednostniť technologické riešenia (správna vlhkosť, frakcia, vhodná matrica) pred chemickými zásahmi, pokiaľ na to nie je konkrétny technologický dôvod.

7.4 Hodnotenie kvality vyrobených peliet z krídlatky

Po dokončení peletizácie boli výsledné pelety z krídlatky podrobené sérii mechanicko-fyzikálnych skúšok. Hodnotené boli: sypná hustota, merná hustota, tvrdosť, mechanická odolnosť (index PDI), voďoodolnosť (Wettability Index) a sypný uhol.

7.4.1 Vodeodolnosť (Wettability Index – WI)

Vodeodolnosť peliet bola hodnotená pomocou ukazovateľa Wettability Index, ktorý vyjadruje mieru nasiakavosti peliet pri krátkodobom kontakte s vodou. Každá peleta bola ponorená na 30 sekúnd do destilovanej vody pri teplote 27 °C a merala sa zmena hmotnosti.

Každý typ peliet bol meraný desaťkrát. Výsledky:

Parameter	Pelety z krídlatky	Drevné pelety (ref.)
WI – priemer (%)	26,0 %	61,92 %
Smerodajná odchýlka	nižšia	vyššia
Interpretácia	Vyššia odolnosť voči navlhnutiu	Vyššia nasiakavosť

Tabuľka 7.2: Výsledky merania Wettability Index VŠB-TUO

Pelety z krídlatky absorbovali počas skúšky výrazne menšie množstvo vody – ich priemerná nasiakavosť bola menej ako polovičná. To naznačuje vyššiu odolnosť voči zmáčaniu, čo je výhodné pri skladovaní.

7.4.2 Tvrdosť peliet

Tvrdosť peliet bola stanovená pomocou zariadenia KAHL Pellet-Härtetester 12–24 V DC. Priemerné výsledky študovaných peliet sú zhrnuté v tabuľke nižšie.

Parameter	Pelety z krídlatky	Drevné pelety (ref.)
Tvrdosť – priemer (kg)	9,6 kg	45,5 kg
Pomer	referencia	4,7× vyššia
Dôsledok pre prax	Šetrnejšia manipulácia nutná	Odolné voči bežnej manipulácii

Tabuľka 7.3: Výsledky merania tvrdosti peliet VŠB-TUO

Nižšia tvrdosť peliet z krídlatky znamená vyššiu pravdepodobnosť poškodenia počas manipulácie, transportu alebo skladovania. V prevádzkovej praxi sa tento jav môže prejavovať vyššou tvorbou drobných častíc a zvýšenou prašnosťou. To naznačuje potrebu šetrnejšej manipulácie alebo optimalizácie technologických podmienok výroby.

7.4.3 Merná hustota peliet

Merná hustota bola stanovená experimentálne pomocou zariadenia Mettler Toledo ML_DNY-43 na princípe Archimédovho zákona.

Materiál	Merná hustota ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Hodnotenie
Pelety z krídlatky	1,13 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Dostatočná kompaktnosť (> 1,0)
Drevné pelety (referencia)	1,30 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Vyššia kompaktnosť
Rozdiel	-0,17 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Nižšia u krídlatky o ~13 %

Tabuľka 7.4: Merná hustota peliet VŠB-TUO

Napriek nižšej kompaktnosti v zrovnaní s drevnými peletami, pelety z krídlatky dosahujú hustotu > 1 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, čo potvrdzuje ich dostatočnú kompaktnosť pre praktické energetické využitie.

7.5 Briketovanie

Briketovanie je zhutňovanie biomasy tlakom do väčšieho produktu než sú pelety (typicky prierez 50–100 mm). Brikety sa používajú tam, kde nie je nutné jemné automatické dávkovanie alebo pri ručnom prikladaní. Z hľadiska princípu je briketovanie analogické peletizácii:

- Požiadavka na relatívne stabilnú vlhkosť a frakciu (spravidla menej prísne než pelety)
- Citlivosť na prímеси (minerálne častice, kov)
- Kvalita brikiet sa posudzuje pevnosťou, drobivosťou a stabilitou tvaru – pádovým testom, vizuálnou kontrolou.

Pre obecnú prax: briketovanie môže byť ekonomicky výhodnejšie než peletizácia pri menších objemoch biomasy, keďže technológia je jednoduchšia a lacnejšia. Nevýhodou je horšia automatizovateľnosť dávkovania.

8. ENERGETICKÉ VLASTNOSTI BIOMASY KRÍDLATKY

8.1 Základné palivové charakteristiky

Biomasa je z hľadiska energetického využitia veľmi rôznorodá skupina palív. Jej správanie pri spaľovaní alebo pri iných termochemických procesoch závisí od pôvodu (drevná biomasa vs. fytomasa), podmienok zberu a skladovania, miery znečistenia inertnými prísadami a spôsobu mechanickej úpravy.

Základné vlastnosti sledované pri biomase:

- Energetické vlastnosti: spalné teplo, výhrevnosť
- Fyzikálne vlastnosti: vlhkosť, sypná/objemová hustota, homogenita frakcie
- Chemické a termické vlastnosti: obsah popola, prchavých látok, pevného uhlíka, elementárne zloženie C, H, N, S, tavitelnosť popola

8.2 Výhrevnosť a spalné teplo krídlatky

Na stanovenie spálneho tepla bol použitý kalorimeter LECO AC500 vybavený kalorimetrickou bombou. Merania prebiehali v kontrolovanom prostredí. Pre každú frakciu bolo vykonaných 3–5 meraní.



Obrázok 15 Kalorimeter LECO AC 500 na stanovenie spaľovacieho tepla

Typ vzorky / frakcia	Vlhkosť (%)	Spalné teplo (MJ/kg)	Výhrevnosť (MJ/kg)
Mix pilín a väčších kusov (Vz.1–5)	2,53–3,79	18,33–19,76	priemer 17,71
Väčšie kusy (Vz.6–9)	3,47–3,79	15,89–18,24	priemer 15,86
Pilinový prach (Vz.10–12)	3,75	17,63–19,51	priemer 17,42
Smreková štiepka (ref.)	3,42	19,32	17,77
Drevné pelety (lit.)	8	19,5	17,5
Slama (lit.)	10	15,5	~15,0

Tabuľka 8.1: Výhrevnosť rôznych frakcií biomasy krídlatky (UNIZA, 2025)

Výsledky potvrdili, že biomasa krídlatky japonskej dosahuje výhrevnosť porovnateľnú so smrekovou štiepkou a drevnými peletami. Jemná frakcia (prach) vykazovala vyrovnanejšiu vlhkosť a tým aj stabilnejšie hodnoty výhrevnosti. Priemerná výhrevnosť krídlatky japonskej je $17,71 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

8.3 Elementárne zloženie (C, H, N, S)

Elementárna analýza stanovuje podiel uhlíka, vodíka, dusíka a síry. Meranie prebiehalo spaľovaním vzorky pri vysokej teplote pomocou prístrojov LECO CHN 626 a LECO 628 S.



Obrázok 16 Elementárny analyzátor na stanovenie C, H, N, S

Parameter	Krídlatka japonská	Smreková štiepka	Slama	Relevancia
Uhlík C (%)	$46,0 \pm 2,4$	50,05	38,7	Nositeľ energie
Vodík H (%)	$5,76 \pm 0,38$	5,90	3,6	Nositeľ energie
Dusík N (%)	0 (nedetekované)	0,2	0,64	Tvorba NO _x
Síra S (%)	$0,058 \pm 0,065$	0,37	0,19	Tvorba SO ₂ , korózia
Popol A (%)	$4,77 \pm 1,43$	0,5	6,0	Odpad, spekanie

Tabuľka 8.2: Porovnanie elementárneho zloženia rôznych typov biomasy (UNIZA, 2025; lit.)

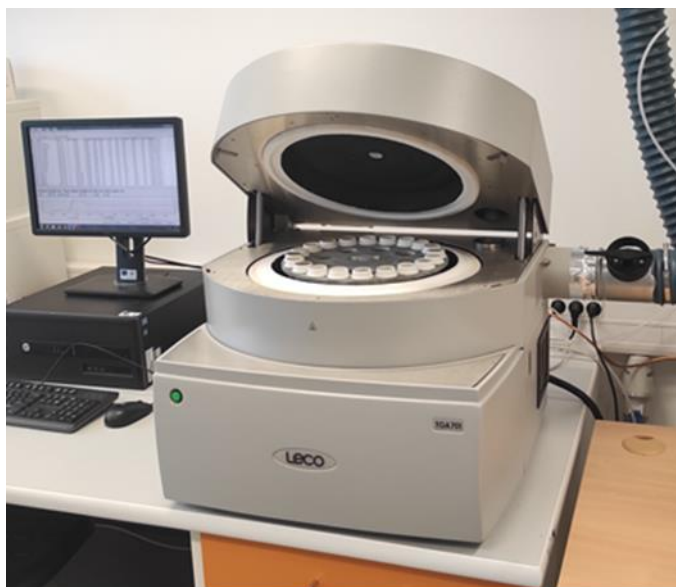
Kľúčové zistenia z elementárnej analýzy:

- Obsah uhlíka (46,0 %) je nižší než u smrekovej štiepky (50,05 %), ale vyšší než u slamy (38,7 %).
- Obsah dusíka je nulový, čo je priaznivé z hľadiska tvorby NO_x pri spaľovaní.
- Obsah síry (0,058 %) je výrazne nižší než u smrekovej štiepky (0,37 %), čo je prekvapivý výsledok naznačujúci nízke riziko korózie a tvorby SO₂.

- Obsah popola (4,77 %) je výrazne vyšší než u smrekovej štiepky (0,5 %), čo je typické pre bylinné biomasy. Vyšší popol zvyšuje nároky na čistenie kotla a zvyšuje riziko spekania, najmä pri alkalickom zložení popola.

8.4 Termogravimetrická analýza (TGA)

TGA bola vykonaná pomocou prístroja LECO TGA 701. Výsledky termogravimetrickej analýzy sú znázornené v nasledujúcej tabuľke.



Obrázok 17 Termogravimetrický analyzátor na stanovenie obsahu prchavej horľaviny, pevného uhlíka a popola

Prvok	Priemer (%)	Smerodajná odchýlka	RSD (%)
Vlhkosť	6,12	0,673	11
Prchavé látky	72,7	2,55	3,51
Popol	4,47	1,33	29,8
Stanovený uhlík (fixed carbon)	16,7	1,09	6,5
Suché prchavé látky	77,4	2,45	3,17
Suchý popol	4,77	1,43	30

Tabuľka 8.3: Výsledky termogravimetrickej analýzy krídlatky japonskej (UNIZA, 2025)

Vysoký podiel prchavej horľaviny (72,7 %) je typický pre bylinné biomasy a znamená rýchle uvoľňovanie plynov v prvej fáze horenia. Pevný uhlík (16,7 %) dohorieva pomalšie a vyžaduje dostatočný prívod sekundárneho vzduchu. Kolísavý obsah popola (RSD 29,8 %) poukazuje na nerovnomerné zloženie materiálu v rôznych vzorkách.

8.5 Popol – zloženie a prevádzkové implikácie

Zloženie popola krídlatky japonskej má silikátovo-alkalický charakter, typický pre bylinné biomasy. Z analýzy strusky zo splyňovania:

Zložka	Obsah (hm. %)	Prevádzkový dopad
SiO ₂ (oxid kremičitý)	58,4 %	Tvorba silikátových nánosov pri spaľovaní
K ₂ O (oxid draselný)	15,3 %	Nízka teplota tavenia, spekanie roštu
CaO (oxid vápenatý)	10,2 %	Stabilizačný efekt
MgO (oxid horečnatý)	4,1 %	Nízky vplyv
P ₂ O ₅ (oxid fosforečný)	2,5 %	Reakcie s K pri spaľovaní
Fe ₂ O ₃ (oxid železitý)	1,8 %	Nízky vplyv
Na ₂ O, Al ₂ O ₃ , ostatné	~7,7 %	Rôzne vplyvy

Tabuľka 8.4: Chemické zloženie strusky/popola z krídlatky (UNIZA, 2025)

Kľúčové prevádzkové implikácie vysokého obsahu draslíka (K₂O = 15,3 %):

- Nízka teplota začiatku tavenia popola – riziko spekania roštu, spaľovacej komory a výmenníka tepla.
- Alkalické zlúčeniny draslíka (KCl, K₂SO₄) sú korozívne pre kovové časti kotla pri vyšších teplotách.
- Odporúčanie: Miešať biomasu krídlatky s drevenou biomasou (nízky K) v pomere max. 30:70. Používať aditíva na báze kremičitanov hliníka (kaolín).

8.6 Teplota tavitelnosti popola

Teplota tavitelnosti popola je kľúčovým parametrom pre navrhovanie spaľovacích zariadení. Sledujú sa štyri charakteristické teploty:

- DT (Deformation Temperature – začiatok deformácie skúšobného telieska)
- ST (Softening Temperature – mäknutie)
- HT (Hemispherical Temperature – hemisferická teplota)
- FT (Flow Temperature – tečenie)

Bylinné biomasy s vysokým obsahom draslíka a kremíka majú typicky nižšie teploty tavitelnosti popola (DT: 900–1100 °C) v porovnaní s drevenou biomasou (DT: > 1200 °C). To je nutné zohľadniť pri výbere spaľovacieho zariadenia a nastavení prevádzkových teplôt.

9. ENERGETICKÉ VYUŽITIE I – SPAĽOVANIE

9.1 Spaľovanie biomasy – základy

Spaľovanie je chemická reakcia, pri ktorej sa palivo spája s kyslíkom obsiahnutým vo vzduchu za vzniku tepla, oxidu uhličitého, vodnej pary a ďalších produktov horenia – nazývaných spalinami. Efektivita tohto procesu výrazne závisí od kvality paliva, množstva a rozloženia prívodu vzduchu, ako aj od typu spaľovacieho zariadenia.

Spaľovanie alternatívnych tuhých palív (ATP) v malých zdrojoch tepla prináša potenciál pre znižovanie závislosti na fosílnych palivách, ale prináša aj viaceré výzvy:

- Zvýšená produkcia TZL a škodlivých plynov – spaľovanie nehomogénnych palív vedie k nedokonalému horeniu.
- Nízka účinnosť spaľovacieho zariadenia – alternatívne palivá majú nepredvídateľné zloženie.
- Zdravotné riziká spojené s emisiami – PM_{2,5}, CO, NO_x a VOC.
- Prevádzkové komplikácie – zanášanie výmenníkov, spekanie roštu, upchávanie dávkovačov.

9.2 Emisné látky pri spaľovaní biomasy

9.2.1 Oxid uhoľnatý (CO)

Bezfarebný, toxický plyn bez zápachu a chuti, vznikajúci pri neúplnom spaľovaní uhlíka v dôsledku nedostatočného prívodu kyslíka alebo nestabilných teplotných podmienok. Výhrevnosť CO je približne 12,6 MJ·m⁻³, no jeho prítomnosť v ovzduší je nežiaduca kvôli neurotoxickým a dusivým účinkom na ľudský organizmus.

9.2.2 Oxidy dusíka (NO_x)

Skupina plynných zlúčenín dusíka a kyslíka, vznikajúcich pri vysokých spaľovacích teplotách. Prispievajú k tvorbe fotochemického smogu a kyslých dažďov. Rozlišujeme tri typy:

- Termické NO_x: pri teplotách > 1 000 °C oxidáciou atmosférického dusíka.
- Palivové NO_x: oxidáciou dusíkatých zlúčenín v palive – dominantné pri spaľovaní biomasy.
- Rýchle NO_x (prompt NO_x): v plameňovom fronte pri spaľovaní uhľovodíkov.

9.2.3 Tuhé znečisťujúce látky (TZL / PM₁₀, PM_{2,5})

Mikroskopické pevné častice vznikajú ako produkt mechanickej dezintegrácie paliva a nedokonalého spaľovania. Majú vysoký vplyv na zdravie – prenikajú hlboko do dýchacích ciest a môžu byť nositeľmi ďalších toxických látok (ťažké kovy, dioxíny).

9.2.4 Emisné limity podľa STN EN 303-5

Menovitý výkon (kW)	CO Trieda 1 (mg/m ³)	CO Trieda 2 (mg/m ³)	CO Trieda 3 (mg/m ³)	TZL (mg/m ³)
do 50 (ručné dáv.)	25 000	8 000	5 000	200
50–150 (ručné dáv.)	12 500	5 000	2 500	180
do 50 (auto. dáv.)	15 000	5 000	3 000	200
50–150 (auto. dáv.)	12 500	4 500	2 500	180

Tabuľka 9.1: Emisné limity CO a TZL pre malé kotly (STN EN 303-5)

9.3 Metodika experimentálnych meraní

Merania prebiehali so zohľadnením typických podmienok prevádzky kotlov na biomasu v domácnostiach. Každé z meraní trvalo 30 minút.

Meranie	Podávanie (s)	Prestávka (s)	Ventilátor	Prietok (m ³ /s)	Skupina
1	40	5	1	0,058	Bez odlučovača
2	40	10	1	0,057	Bez odlučovača
3	Kontinuálne	–	2	0,078	Bez odlučovača
4	Kontinuálne	–	3	0,095	Bez odlučovača
5	40	10	2	0,085	Bez odlučovača
6	40	5	2	0,081	Bez odlučovača
7	40	10	1	0,059	S odlučovačom
8	40	10	2	0,084	S odlučovačom
9	Kontinuálne	–	2	0,080	S odlučovačom
10	Kontinuálne	–	3	0,099	S odlučovačom

Tabuľka 9.2: Plán experimentálnych meraní spaľovania ATP z krídlatky

Plynné emisie boli merané pomocou analyzátora spalín ABB AO2020. Všetky hodnoty boli prepočítané pre referenčný obsah kyslíka (O₂) 10 % v súlade s normou STN EN 303-5. Meranie TZL prebiehalo pomocou zariadenia Tecora Isostack Basic metódou izokinetického odberu v súlade s normou STN EN 16510-1.

9.4 Výsledky meraní plynných emisií

Výsledky merania CO:

Meranie	Hmotnosť paliva (kg)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/m ³ pri 10% O ₂)	NOx (mg/m ³ pri 10% O ₂)
1 (40s/5s/vent.1)	1,2	16,9	3,82	9 994	438
2 (40s/5s/vent.2)	1,8	17,22	3,09	10 904	328
3 (kont./vent.2)	1,7	16,63	4,0	8 807	357
4 (kont./vent.3)	1,8	16,39	4,19	10 942	323
5 (kont./vent.3)	1,8	17,1	3,49	14 053	326
6 (40s/10s/vent.2)	1,3	17,68	2,62	13 367	338

Tabuľka 9.3: Výsledky merania plynných emisií bez elektrostatického odľučovača (UNIZA, 2025)

Interpretácia výsledkov CO:

- Hodnoty CO (8 807 – 14 053 mg·m⁻³) výrazne prekračujú emisné limity pre všetky triedy STN EN 303-5. Pre porovnanie: drevná štiepka dosahuje 628–952 mg·m⁻³.
- Najnižšia hodnota CO (8 807 mg·m⁻³) bola dosiahnutá pri prerušovanom dávkovaní (40s/10s) a najnižšom nastavení ventilátora (1), čo zodpovedá prietoku ~0,078 m³/s.
- Zvýšenie rýchlosti ventilátora z nastavenia 1 na nastavenie 2 zvýšilo CO z 8 807 na 13 367 mg·m⁻³. Naznačuje spaľovanie s nadbytkom vzduchu, ktorý ochladzuje spaľovací priestor.

Interpretácia výsledkov NOx:

- Hodnoty NOx (323–438 mg·m⁻³) sú výrazne vyššie než pri drevnej štiepke.

9.5 Výsledky merania tuhých znečisťujúcich látok (TZL)

Meranie	Dávkovanie	Ventilátor	TZL bez odľučovača (mg/m ³)	TZL s odľučovačom (mg/m ³)
1	40s/5s	1	536	–
2	40s/5s	2	710	–
3	40s/10s	1	572	–
4	Kontinuálne	2	678	–
5	Kontinuálne	3	863	–
6	40s/10s	2	486	–
7	40s/10s	1	–	50
8	40s/10s	2	–	234
9	Kontinuálne	2	–	117
10	Kontinuálne	3	–	327

Tabuľka 9.4: Výsledky merania TZL pri spaľovaní ATP z krídlatky (UNIZA, 2025)

Kľúčové závery z merania TZL:

- Bez odlučovača: TZL 486–863 mg·m⁻³ – výrazne nad emisnými limitmi STN EN 303-5 (150–200 mg·m⁻³). Pre porovnanie: drevná štiepka dosahuje 50 mg·m⁻³, slama 65 mg·m⁻³.
- S elektrostatickým odlučovačom: TZL klesajú na 50–327 mg·m⁻³ – zníženie o viac ako 70 %. Najlepší výsledok (50 mg·m⁻³) pri prerušovanom dávkovaní a nízkej intenzite ventilátora.
- Záver: Spaľovanie ATP z krídlatky si vyžaduje použitie odlučovača TZL ako nevyhnutné technologické opatrenie.

9.6 Tepelný výkon a účinnosť spaľovania

Meranie	Hmotnosť (kg)	Tepelný výkon (kW)	Účinnosť (%)
1 (40s/5s/vent.1)	1,2	4,75	41
2 (40s/5s/vent.2)	1,7	4,59	26
3 (40s/10s/vent.1)	1,3	5,27	43
4 (kont./vent.2)	1,8	7,04	37
5 (kont./vent.3)	1,7	6,31	37
6 (40s/10s/vent.2)	1,7	4,22	31

Tabuľka 9.5: Tepelný výkon a účinnosť spaľovania bez odlučovača (UNIZA, 2025)

Tepelný výkon sa pohyboval v rozmedzí 4,2 – 7,0 kW. Najvyšší výkon bol dosiahnutý pri kontinuálnom dávkovaní a intenzívnejšom prívode vzduchu. Účinnosť spaľovania kolísala medzi 26–43 %, čo je výrazne nižšie než pri štandardných drevných biomasách (80–90 %). Nižšie účinnosti sú spojené s vyššou produkciou CO a TZL – energia „uniká“ v nespálených zložkách.

✓ *Záver: ATP z krídlatky japonskej je použiteľné ako palivo, ale jeho spaľovanie si vyžaduje optimalizáciu kotla (prerušované dávkovanie, nižší prívod vzduchu) a elektrostatický odlučovač TZL. Bez týchto opatrení emisie prekračujú platné limity STN EN 303-5.*

10. ENERGETICKÉ VYUŽITIE II – SPLYŇOVANIE

10.1 Princíp a výhody splyňovania

Splyňovanie biomasy predstavuje pokročilú technológiu termochemickej premeny pevného paliva na energeticky využiteľný plyn. Na rozdiel od priameho spaľovania, pri ktorom dochádza k úplnej oxidácii paliva na oxid uhličitý a vodu, prebieha pri splyňovaní iba čiastočná oxidácia biomasy pri obmedzenom prístupe kyslíka alebo iného oxidačného činidla. Výsledkom procesu je vznik horľavej plynnej zmesi označovanej ako syntézny plyn (syngas).

Syntézny plyn je zmes niekoľkých horľavých plynov, najmä oxidu uhoľnatého (CO), vodíka (H₂) a metánu (CH₄), doplnená oxidom uhličitým, vodnou parou a prípadne dusíkom. Tento plyn je možné využiť ako energetické médium napríklad na výrobu tepla a elektriny v kogeneračných jednotkách.

Technológia splyňovania umožňuje spracovanie širokého spektra biomasy, napríklad drevnej štiepky, peliet, poľnohospodárskych zvyškov alebo rôznych druhov bylinnej biomasy. Vďaka tomu predstavuje flexibilné riešenie pre energetické využitie lokálne dostupných zdrojov.

Splyňovanie je vo všeobecnosti považované za technológiu vhodnú najmä pre decentralizované energetické systémy. V porovnaní s priamym spaľovaním je však tento proces citlivejší na kvalitu paliva a stabilitu prevádzky, a preto si vyžaduje dôkladný návrh aj kontrolu technologických podmienok.

Výhody splyňovania oproti priamemu spaľovaniu:

- Možnosť využitia syntézneho plynu v kogeneračných jednotkách pre kombinovanú výrobu tepla a elektriny.
- Nižšie emisie tuhých látok – popol ostáva v reaktore ako struska.
- Možnosť čistenia syntézneho plynu pred spaľovaním – flexibilnejšie riadenie emisií.
- Vhodné pre decentralizovanú energetiku malých obcí a priemyselných areálov.

10.2 Príprava paliva pre splyňovanie

Požiadavky na vlastnosti paliva závisia od typu splyňovacieho zariadenia. Pre účely experimentálneho splyňovacieho zariadenia, ktoré je súčasťou infraštruktúry VŠB-TUO, bolo potrebné použiť palivo vo forme peliet.

Použitie peliet ako vstupného paliva bolo dané najmä požiadavkami na stabilné dávkovanie, homogénne zloženie a reprodukovateľné procesné podmienky. Experimentálna splyňovacia jednotka využíva šnekové dávkovanie paliva a pracuje v režime aloterného splyňovania, kde je stabilita prietoku a rovnomernosť paliva kľúčová pre udržanie teplotného profilu a reakčných podmienok v reaktore. Pelety zároveň vykazujú výrazne vyššiu sypnú hustotu a lepšie tokové vlastnosti v porovnaní s nadrcenou biomasou, čo minimalizuje riziko tvorby klenieb v zásobníkoch a zabezpečuje plynulý chod zariadenia.

Požiadavky na vstupné palivo použité v provedenom výskume

- Vlhkosť: < 20 % (optimálne 15 %)

V experimentálnych podmienkach bola požadovaná vlhkosť paliva do 20 %, pričom namerané hodnoty sa pohybovali v rozmedzí 10–12 %. Tento rozsah je z hľadiska splyňovania vhodný, keďže vyššia vlhkosť zhoršuje tepelnú bilanciu procesu a vedie k poklesu teploty v reaktore, čo môže nepriaznivo ovplyvniť kvalitu plynu. Naopak veľmi nízka vlhkosť môže negatívne ovplyvniť mechanické vlastnosti peliet a ich správanie pri dávkovaní.

- Frakcia: rovnomerná, typicky 5–20 mm (resp. pelety $\varnothing \sim 6$ mm)

Veľkosť a homogenita častíc sú kľúčové pre stabilný priebeh splyňovania. V prípade peliet je zabezpečená jednotná geometria (typicky priemer 6 mm), čo umožňuje presné dávkovanie pomocou šnekového dopravníka a rovnomerný priebeh reakcií v reaktore. Nehomogénna alebo príliš jemná frakcia by mohla viesť k nestabilnému prúdeniu plynov a kolísaniu reakčných podmienok.

10.3 Priebeh experimentálneho splyňovania

Po počiatočnej fáze nábehu systému, ktorá zahŕňala postupné zahrievanie reaktora na požadovanú prevádzkovú teplotu, došlo k ustáleniu procesných podmienok. Po dosiahnutí teploty približne 950 °C a zavedení paliva do reaktora sa systém postupne stabilizoval, pričom prechod do ustáleného režimu bol pozorovaný približne po niekoľkých desiatkach minút prevádzky. V tejto fáze sa teplotný profil reaktora vyznačoval len miernymi osciláciami, ktoré sú typické pre dynamicky riadené termochemické procesy.

Stabilný teplotný režim je kľúčový pre správny priebeh redukčných reakcií, ktoré determinujú konečné zloženie syntézneho plynu. Kolísanie teploty môže viesť k zmene rovnováhy medzi jednotlivými reakčnými mechanizmami, najmä medzi tvorbou CO, H₂ a CO₂, a tým ovplyvniť výhrevnosť plynu aj tvorbu vedľajších produktov, ako sú dehty.

Z hľadiska tlakových pomerov bol proces realizovaný za takmer atmosférických podmienok, pričom tlak v reaktore kolísal v rozmedzí približne ± 5 kPa. Tieto mierne tlakové fluktuácie súvisia najmä so zmenami objemového toku plynov, dávkovaním paliva a dynamikou reakcií v reaktore. Napriek týmto osciláciám bol proces z hľadiska tlaku považovaný za stabilný, bez výskytu nežiaducich výkyvov, ktoré by mohli ohroziť bezpečnosť alebo kontinuitu prevádzky.

Dávkovanie paliva bolo realizované kontinuálne pomocou šnekového dopravníka s reguláciou otáčok, čo umožnilo presné riadenie hmotnostného toku biomasy do reaktora. Súčasne s palivom bola do reakčného priestoru privádzaná vodná para ako splyňovacie médium. Pomer para/palivo bol nastavený na hodnotu 1 : 1.

Samotný proces splyňovania prebiehal typicky po dobu približne dvoch hodín, pričom počas tejto doby bola spracovaná celá vsádzka paliva. Ukončenie procesu bolo indikované poklesom koncentrácií hlavných horľavých zložiek syntézneho plynu (CO, H₂) a súčasným nárastom podielu inertného dusíka, čo signalizovalo vyčerpanie reaktívnej zložky paliva.



Obrázok 18 Splyňovacia jednotka VŠB-TUO

Parametre procesu splyňovania:

- teplota splyňovania: 950 °C
- dávkovanie paliva: 20 kg/h
- množstvo oxidačného média – pomer para/palivo: 1 : 1
- tlak: ± 5 kPa

Hlavné chemické reakcie pri splyňovaní:

- Reakcia vodného plynu: $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ ($\Delta H = +131$ kJ/mol)
- Boudouardova reakcia: $C + CO_2 \rightarrow 2 CO$ ($\Delta H = +172$ kJ/mol)
- Reakcia posunu vodného plynu: $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ ($\Delta H = -41$ kJ/mol)
- Metanizácia: $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$ ($\Delta H = -74$ kJ/mol)

10.4 Zloženie syntézneho plynu

Zloženie syntézneho plynu bolo sledované kombináciou kontinuálnej online analýzy a detailnej laboratórnej analýzy pomocou plynovej chromatografie s hmotnostnou detekciou (GC/MS). Online analýza umožnila sledovať okamžité zmeny koncentrácií jednotlivých plynných zložiek v reálnom čase, zatiaľ čo GC/MS poskytla presnejšie kvantitatívne údaje a umožnila stanoviť reprezentatívne priemerné zloženie plynu v ustálenom režime.

V experimentálnom zariadení bol ako ionizačné a transportné médium použitý dusík, ktorý neparticipuje na chemických reakciách splyňovania. Jeho prítomnosť však významne ovplyvňuje interpretáciu výsledkov, pretože znižuje relatívne koncentrácie aktívnych plynných zložiek a zároveň

vedie k zníženiu objemovej výhrevnosti syntézneho plynu. Z tohto dôvodu bol vykonaný aj prepočet zloženia syntézneho plynu bez započítania dusíka, ktorý umožňuje lepšie posúdiť skutočné chemické zloženie reakčného produktu.

Zložka plynu	Obsah s N ₂ (obj. %)	Obsah bez N ₂ (obj. %)	Energetická hodnota
Vodík (H ₂)	~30–40	~40–50	10,79 MJ/m ³
Oxid uhoľnatý (CO)	~25–30	~30–40	12,63 MJ/m ³
Metán (CH ₄)	~3–6	~4–7	35,88 MJ/m ³
Oxid uhličitý (CO ₂)	~5–10	~5–15	inertný
Dusík (N ₂) – nosný plyn	~20–30	0 (prepočet)	inertný

Tabuľka 10.1: Zloženie syntézneho plynu zo splyňovania krídlatky VŠB-TUO

Zistené zloženie syntézneho plynu zodpovedá typickému produktu vznikajúcemu pri parnom splyňovaní lignocelulózovej biomasy. Charakteristický je vysoký podiel vodíka, stredný podiel oxidu uhoľnatého a relatívne vyšší obsah CO. Takýto plyn možno zaradiť medzi plyny strednej výhrevnosti, vhodné pre energetické využitie v kogeneračných jednotkách alebo ako medziprodukt pre ďalšie chemické konverzie (napr. výroba vodíka alebo syntetických palív).

10.5 Výhrevnosť syntézneho plynu

Výhrevnosť syntézneho plynu predstavuje jeden z najdôležitejších parametrov pri hodnotení energetického potenciálu procesu splyňovania. Tento parameter udáva množstvo energie, ktoré je možné získať spaľovaním jednotky objemu plynu, a priamo tak ovplyvňuje možnosti jeho následného energetického využitia.

V rámci vykonaných experimentov bola výhrevnosť syntézneho plynu stanovená na základe jeho nameraného zloženia. Najskôr boli analyzované objemové koncentrácie jednotlivých zložiek plynu a následne bola výhrevnosť vypočítaná pomocou známych hodnôt spalného tepla jednotlivých plynných komponentov.

Výsledky výpočtu ukázali, že výhrevnosť produkovaného syntézneho plynu dosahovala hodnotu približne 6,3 MJ·m⁻³, zatiaľ čo spalné teplo predstavovalo približne 7,5 MJ·m⁻³. Po prepočte na plyn bez prítomnosti dusíka vzrástla výhrevnosť až na 8,3 MJ·m⁻³.

Parameter	Hodnota	Porovnanie
Výhrevnosť (s N ₂)	~6,3 MJ/m ³	~18 % zemného plynu
Spalné teplo (s N ₂)	~7,5 MJ/m ³	~19 % zemného plynu
Výhrevnosť (bez N ₂)	~8,3 MJ/m ³	~24 % zemného plynu
Spalné teplo (bez N ₂)	~9,8 MJ/m ³	~25 % zemného plynu
Výhrevnosť zemného plynu (ref.)	~33,88 MJ/m ³	referencia

Parameter	Hodnota	Porovnanie
Spalné teplo zemného plynu (ref.)	~38,81 MJ/m ³	referencia

Tabuľka 10.2: Výhrevnosť syntézneho plynu VŠB-TUO

Tieto hodnoty zodpovedajú syntéznemu plynu strednej výhrevnosti. Pre porovnanie možno uviesť, že výhrevnosť zemného plynu sa bežne pohybuje okolo 35–40 MJ·m⁻³. Napriek tomu, že syntézny plyn dosahuje nižšie hodnoty, jeho energetický obsah je dostatočný pre využitie v rôznych energetických aplikáciách, napríklad v kogeneračných jednotkách.

10.6 Obsah dechtov a ich odstraňovanie

Jednou z hlavných technologických výziev pri splyňovaní biomasy sú dechtové látky – komplexná zmes organických zlúčenín. Tieto látky môžu spôsobovať zanášanie potrubí, tvorbu usadenín a poškodenie zariadení, pričom negatívne ovplyvňujú aj nadväzujúce technológie, ako sú kogeneračné jednotky, spaľovacie motory alebo turbíny.

Výsledky merania obsahu dechtov (Tar Protocol):

Parameter	Hodnota	Hodnotenie
Koncentrácia dechtov pred čistením	2 834 mg/m _N ³	Vysoká (typická pre biomasu)
Koncentrácia dechtov po čistení	~85 mg/m _N ³	Výrazné zníženie
Účinnosť odstraňovania	> 97 %	Veľmi dobrý výsledok

Tabuľka 10.3: Výsledky merania obsahu dechtov VŠB-TUO

Identifikované hlavné zložky dechtov: fenol (421,2 mg/m_N³), naftalen (368,9 mg/m_N³), metylfenoly (327,4 mg/m_N³), inden + indan (283,4 mg/m_N³), dibenzofurany (265,6 mg/m_N³). Použitý systém čistenia plynu dosahuje účinnosť > 97 %, čo je vynikajúci výsledok z hľadiska prevádzkovej spoľahlivosti.

10.7 Chemické zloženie tuhého zvyšku

Pri splyňovaní biomasy vzniká popri syntéznom plyne aj pevný zvyšok označovaný ako struska alebo popol. Tento materiál predstavuje koncentrovanú zmes minerálnych látok obsiahnutých vo vstupnej biomase. Chemické zloženie strusky môže poskytovať dôležité informácie o správaní anorganických zložiek biomasy počas procesu splyňovania. Tieto zložky môžu ovplyvňovať napríklad tvorbu nápekov alebo strusky v reaktore a tým aj dlhodobú prevádzkovú stabilitu zariadenia.

Vzorky strusky vzniknuté počas experimentov boli preto podrobené chemickej analýze, ktorá umožnila stanoviť zastúpenie jednotlivých oxidov. Výsledky analýzy ukázali, že struska mala výrazne silikátovo-alkalický charakter, čo je typické pre popoly vznikajúce pri spracovaní bylinných biomás.

Dominantnou zložkou bol oxid kremičitý (SiO_2), ktorého koncentrácia dosahovala približne 58,4 %. Ďalšie významné zložky predstavovali oxid vápenatý (CaO – 10,2 %), oxid draselný (K_2O – 15,3 %) a oxid horečnatý (MgO – 4,1 %). V menších koncentráciách boli prítomné aj ďalšie oxidy, napríklad oxid fosforečný (P_2O_5 – 2,5 %) a oxid železitý (Fe_2O_3 – 1,8 %).

Z hľadiska technologickej prevádzky je kľúčové zastúpenie kremičitých a alkalických zložiek, pričom vyšší obsah alkalických prvkov (najmä K a Na) podporuje vznik nízkotavitelných zlúčenín, čo môže viesť k spékaniu popola a tvorbe aglomerátov.

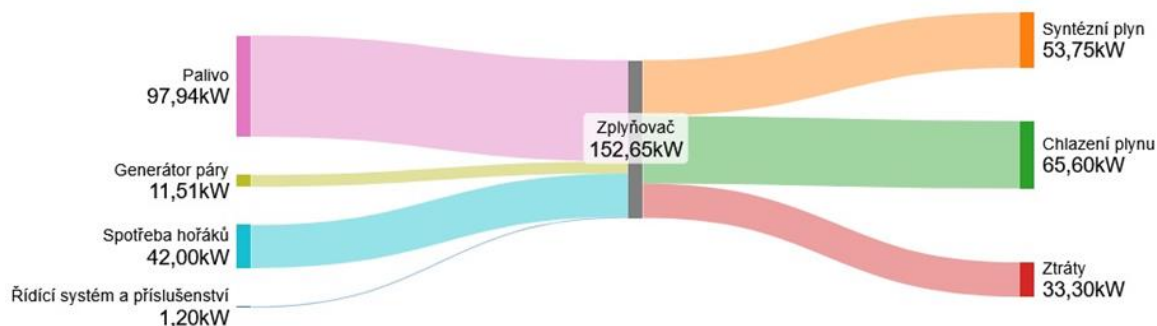
10.8 Materiálová a energetická bilancia splyňovania

Pre komplexné posúdenie efektivity splyňovacieho procesu bola stanovená materiálová a energetická bilancia experimentu. Výsledky ukázali, že dominantným produktom procesu bol syntézny plyn s produkciou približne 54 kg/h, ktorý predstavoval hlavný výstup splyňovacieho procesu. Množstvo pevného zvyšku vo forme trosky bolo relatívne malé a tvorilo menej ako 1 % hmotnosti vstupného paliva, zatiaľ čo kondenzát predstavoval približne 7 %.



Obrázok 19 Materiálová bilancia splyňovacieho procesu krídlatky

Energetická bilancia bola stanovená na základe výhrevnosti vstupného paliva a energie viazanej v produkovanom syntéznom plyne. Výpočty ukázali, že približne jedna tretina celkového energetického vstupu bola prevedená do chemickej energie syntézneho plynu. Zvyšná časť energie bola stratená najmä vo forme tepelnej energie odvádzanej chladiacim systémom pri chladení plynu, ako aj tepelnými stratami do okolitého prostredia.



Obrázok 20 Energetická bilancia splyňovacieho procesu krídlatky

Celkové zhodnotenie materiálovej a energetickej bilancie ukazuje, že proces splyňovania prebiehal stabilne s dominantnou produkciou syntézneho plynu a nízkym podielom tuhých zvyškov, čo naznačuje dobrý stupeň konverzie paliva. Z energetického hľadiska bola časť energie efektívne prevedená do syntézneho plynu, avšak významné straty vznikali vo forme odpadového tepla. To poukazuje na potenciál ďalšej optimalizácie procesu a zvýšenia jeho účinnosti.

11. ZÁVER, ODPORÚČANIA A PERSPEKTÍVY

11.1 Zhrnutie hlavných zistení projektu

Projekt komplexne zmapoval, analyzoval a metodicky rozpracoval problematiku krídlatky japonskej v cezhraničnom regióne Žilinský kraj (SR) – Moravskosliezsky kraj (ČR) za obdobie 2024 – 2026 a zhodnotil možnosti využitia v energetických procesoch spaľovania a splyňovania.

11.1.1 Ekologický manažment

- Invázia krídlatky dosiahla kritickú úroveň v okolí Žiliny (uzol Váhu a Kysuce). Celková odhadovaná plocha výskytu v Žilinskom kraji: > 120 ha v intenzívnych ohniskách.
- Stratégia EDRR zvyšuje úspešnosť eliminácie na 92 % (vs. < 40 % pri zanedbaných porastoch).
- ROI preventívneho monitoringu: 1:12 v horizonte 10 rokov. Toto číslo je kľúčovým argumentom pre presvedčenie samospráv.
- Zaznamenaný klimatický posun druhu do vyšších nadmorských výšok (> 700 m) a predĺžovanie vegetačného obdobia.

11.1.2 Technológia spracovania biomasy

- Biomasa krídlatky je technologicky spracovateľná celým reťazcom: sušenie – drvenie – mletie – peletizácia.
- Optimálna vlhkosť pre peletizáciu: 14 %. Výsledné pelety majú mernú hustotu $1,13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a WI = 26 % (lepšia vodeodolnosť než drevné pelety).
- Nižšia tvrdosť peliet krídlatky si vyžaduje šetrnejšiu manipuláciu v porovnaní s normovanými smrekovými peletami.

11.1.3 Energetické využitie

- Výhrevnosť biomasy krídlatky: priemer $17,71 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (porovnateľná so smrekovou štiepkou $17,77 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).
- Spaľovanie si vyžaduje elektrostatický odlučovač TZL (zníženie TZL o > 70 %) a optimalizáciu dávkovania.
- Krídlatka predstavuje vhodnú surovinu pre energetické využitie formou splyňovania, s potenciálom pre produkciu syntézneho plynu využiteľného v kogeneračných jednotkách.
- Parametre syntézneho plynu sú závislé od typu zariadenia a prevádzkových podmienok; v danom prípade bola dosiahnutá výhrevnosť približne $6,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ($8,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ bez N_2), čo predstavuje približne 18–25 % výhrevnosti zemného plynu.
- Pred energetickým využitím je nevyhnutné zabezpečiť účinné čistenie syntézneho plynu; požadovaná úroveň čistenia závisí od konkrétnej nadväzujúcej technológie (napr. kogeneračné jednotky, motory, turbíny).
- Vysoká účinnosť odstraňovania dechtov (> 97 %) je výsledkom optimalizovanej konštrukcie zariadenia a pokročilého systému čistenia na VŠB-TUO; pri iných splyňovacích technológiách nemusí byť takáto úroveň čistenia dosiahnutá.
- Kritická výzva: vyšší obsah popola (4,77 %) a jeho alkalický charakter (K_2O 15,3 %) zvyšujú sklon k spekaniu a tvorbe nánosov, ktoré môžu viesť k zanášaniu reaktora, potrubných trás a

nadväzujúcich zariadení; preto si prevádzka vyžaduje vhodné konštrukčné a prevádzkové nastavenie technológie.

11.2 Odporúčania pre prax

11.2.1 Pre samosprávy a komunálnu energetiku

7. Implementovať EDRR systém: Vytvoriť a pravidelne aktualizovať GIS databázu ohnisk. Realizovať monitoring min. 2× ročne (jar, jeseň) aspoň počas 5 rokov.
8. Surovinové zhodnotenie: Zbierať biomasu v zime pre energetiku (vlhkosť < 25 %). V jesennom období realizovať ručný zber rizómov pre farmaceutický trh.
9. Prevencia: Implementovať povinný checklist pre stavebný dozor pri všetkých líniových stavbách v regióne. Zabezpečiť dekontaminačnú stanicu na každom stavenisku v infikovanej oblasti.
10. Sociálne podnikanie: Zapojiť sociálne podniky do zberu a primárneho spracovania biomasy. Vytvoriť pracovné príležitosti pre znevýhodnené skupiny.
11. Cezhraničná koordinácia: Pokračovať v koordinácii manažmentu v rámci celého povodia Váhu a Kysuce, nie len v rámci administratívnych hraníc.

11.2.2 Pre energetické využitie

12. Spaľovanie: Vždy používať elektrostatický odlučovač TZL. Optimalizovať dávkovanie (prerušované, < 40 s/10 s pauza). Zvážiť miešanie s drevenou biomasou (30:70) pre lepší výkon.
13. Peletizácia: Dodržiavať vlhkosť 14 % pred lisovaním. Jemný dvojstupňový drviaci proces. Šetrnejšia manipulácia s hotovými peletami (nižšia tvrdosť).
14. Splyňovanie: Vhodné pre obecné kogeneračné jednotky. Nevyhnutné predčistenie syngas pred spaľovaním. Sledovanie chemického zloženia strusky kvôli managementu alkalického popola.

11.3 Perspektívy a ďalší výskum

Biomasa krídlatky japonskej predstavuje ekologickú záťaž, ktorá môže byť transformovaná na ekonomickú príležitosť. Identifikované perspektívne smery rozvoja:

- Farmaceutické využitie: Extrakcia resveratrolu z jesenných koreňov (koncentrácia stúpa o 20–30 %). Cena resveratrolu na farmaceutickom trhu: 200–500 €/kg. Potenciál pre sociálne podniky v regióne.
- Kozmetický priemysel: Extrakty z letných listov (chlorofyl, flavonoidy). Vývoj produktov pre anti-aging a upokojujúce prípravky.
- Komunálna energetika: Systémy pelety + kotol pre menšie obce. Kogenerácia (teplo + elektrina) na báze splyňovania pre stredné obce (> 3 000 obyvateľov).
- Biologická kontrola: Monitorované testy s merou japonskou (Aphalara itadori) v podmienkach EÚ. Perspektívne pre strednú Európu po získaní schválenia.
- Bioplastika a biotextil: Výskumná fáza – stonky krídlatky ako zdroj lignocelulózových vlákien pre nové materiály.

Projekt preukázal, že invázna krídlatka japonská nie je len ekologickým problémom, ale aj potenciálnym zdrojom. Kľúčom k úspechu je systémový prístup: koordinácia manažmentu na úrovni povodí, technologická inovatívnosť a sociálna inklúzia pri zbere a spracovaní biomasy.

PRÍLOHA A: CHECKLIST PRE STAVEBNÝ DOZOR

Tento checklist slúži ako záväzná metodická pomôcka pre starostov, obecných architektov a pracovníkov technických služieb pri realizácii akýchkoľvek stavebných prác v oblastiach výskytu krídlatky japonskej, v súlade so zákonom č. 150/2019 Z. z.

A.1 Predprojektová a predstavebná príprava

- Bola vykonaná pasportizácia a mapovanie výskytu krídlatky v okolí 20 metrov od plánovanej stavby?
- Disponuje zhotoviteľ metódikou likvidácie schválenu Štátnou ochranou prírody (ŠOP SR)?
- Sú zemné práce plánované tak, aby nekolidovali s obdobím maximálnej vitality rizómov (apríl–september) bez predchádzajúceho chemického ošetrovania?
- Bol vypracovaný plán nakladania s kontaminovanou zemínou a biomasou?
- Je zabezpečená dekontaminačná stanica pre výjazd strojov zo staveniska?

A.2 Opatrenia počas realizácie (Zemné práce)

- Sú v blízkosti vodných tokov osadené záchytné siete alebo norné steny proti splaveniu fragmentov stoniek?
- Pri úplnom odstraňovaní – bola zemina vyťažená do hĺbky minimálne 2–3 metre?
- Je kontaminovaná zemina oddelená od čistej ornice a označená ako nebezpečný odpad?
- Boli pod asfaltové vrstvy alebo základy použité UV stabilné geotextílie (min. 2 mm) s presahom 2 m od okraja výskytu?
- Je vedená denná kniha prác v infikovanej oblasti (dátum, rozsah prác, spracovateľ, metóda)?

A.3 Logistika a nakladanie s odpadom

- Je prepravovaná biomas a zemina v uzavretých kontajneroch alebo bezpečne zaplachtovaná?
- Je na výjazde zo staveniska zriadené miesto na vysokotlakové čistenie (WAP, min. 120 bar) podvozkov a kolies strojov?
- Je zabezpečené spaľovanie biomasy na mieste alebo odvoz na riadenú skládku (NIE do obecného kompostoviska)?
- Je vedená evidencia o naložení s odpadom (druh, množstvo, cieľové miesto)?

A.4 Pooperačný monitoring

- Je v pláne údržby stavby zakotvený monitoring okolia (10–20 m) po dobu minimálne 3–5 rokov?
- Bol personál poučený o identifikácii dormantných výhonkov (nanizmus – výška < 50 cm, deformovaný tvar)?
- Je stanovený zodpovedný pracovník za dlhodobý monitoring lokality?

- Sú výsledky monitoringu zaznamenávané a reportované na ŠOP SR alebo obecný úrad?

PRÍLOHA B: MANUÁL PRE OBCE – MANAŽMENT KRÍDLATKY

Tento dokument slúži ako stručná a praktická metodická pomôcka pre starostov, obecných architektov a pracovníkov technických služieb pri riešení invázie krídlatky v súlade so zákonom č. 150/2019 Z. z.

B.1 Legislatívne minimum a zodpovednosť

- Povinnosť vlastníka: Obec je ako vlastník alebo správca verejných priestranstiev povinná odstraňovať krídlatku na vlastné náklady spôsobmi určenými ŠOP SR.
- Sankčné riziká: Nečinnosť môže viesť k pokutám pre právnické osoby vo výške tisícov eur od Slovenskej inšpekcie životného prostredia.
- Zákaz neodbornej manipulácie: Zákon zakazuje postupy (napr. nepravidelné kosenie bez zberu), ktoré by mohli šírenie urýchliť.
- Medziobecná spolupráca: Zákon podporuje medziobecnú koordináciu v rámci povodí.

B.2 Strategický algoritmus zásahu – 5-ročný cyklus

Rok	Mesiac	Aktivita	Metóda
1	Máj–Jún	Prípravné kosenie	Kosenie na výšku < 30 cm, 6–10× za sezónu
1	August–September	Chemický zásah	Injektáž do stoniek alebo postrek glyfosátom
2	Jún	Kontrolné kosenie	Oslabené výhonky, nižšia koncentrácia herbicídu
2	August	Chemický dozásah	Bodová aplikácia na prerastajúce výhonky
3–5	Celý rok	Monitoring a bodová likvidácia	Mesačné kontroly, okamžitá likvidácia nálezov
5+	Celý rok	Obnova vegetácie	Výsadba vrb, jelše, inej pôvodnej vegetácie

Tabuľka B.1: 5-ročný cyklus eradikácie krídlatky pre obecnú prax

B.3 Odporúčané metódy odstraňovania

- Chemická kontrola (najefektívnejšia pri veľkoplošných inváziách): Injektáž do stoniek – vysoká selektivita, vhodná v blízkosti vody. Plošný postrek – pri väčších plochách bez vodných tokov v okolí.
- Intenzívne kosenie: Frekvencia 6–10× za sezónu. Cieľ: vyhladovať rizómy, kým výhonky nedosiahnu 30 cm. Nutný zber a likvidácia pokosenej biomasy.
- Kombinovaný model (ODPORÚČANÝ): Jún (kosenie) + August (postrek). Efektívnosť > 85 % pri správnom vykonaní.

B.4 Prevencia šírenia a logistika

- Princíp nulového úniku: Stačí úlomok podzemku 0,7 g na vznik nového ohniska.
- Bezpečný transport: Biomasa sa musí prevážať v uzavretých kontajneroch alebo pod zaplachtovaním.
- Dekontaminácia: Stroje (traktory, kosačky) musia byť po zásahu vyčistené vysokotlakovým zariadením (WAP).
- Evidencia: viesť záznamy o každom zásahu pre prípadnú kontrolu inšpekciou.

B.5 Ekonomické a environmentálne benefity

- Ochrana infraštruktúry: Včasná likvidácia chráni statiku mostov, oporných múrov a cyklotras.
- Návravnosť investície (ROI): 1 € investovaný do včasného monitoringu ušetrí ~12 € v horizonte 10 rokov.
- Surovinový potenciál: Krídlatka nie je len odpad, ale zdroj resveratrolu (farmácia) a energetickej biomasy (pelety, brikety pre obecné kotelne). Priemerná výhrevnosť: 17,71 MJ·kg⁻¹.

PRÍLOHA C: ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

Normy a legislatíva

- STN EN ISO 18134-1:2015. Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Časť 1: Referenčná metóda.
- STN EN ISO 17225-2:2015. Tuhé biopalivá. Špecifikácie a triedy palív. Časť 2: Triedené drevné pelety.
- STN EN ISO 17831-1:2015. Tuhé biopalivá. Stanovenie mechanickej odolnosti peliet a brikiet. Časť 1: Pelety.
- STN EN ISO 17828:2016. Tuhé biopalivá. Stanovenie sypnej hustoty.
- STN EN ISO 18847. Tuhé biopalivá. Stanovenie hustoty čiastočky (peliet a brikiet).
- STN EN ISO 18125. Tuhé biopalivá. Stanovenie spalného tepla.
- STN EN 303-5. Kotly na tuhé palivo. Ručne a automaticky plnené kotly menovitého výkonu do 500 kW.
- STN EN 16510-1. Spotrebiče na tuhé palivo. Meranie emisií.
- Zákon č. 150/2019 Z. z. o prevencii a manažmente invázných nepôvodných druhov.
- Nariadenie EÚ č. 1143/2014 o prevencii a manažmente introdukcie a šírenia invázných nepôvodných druhov.

Odborná literatúra – Energetika a biomasa

- JANDAČKA, J.; MALCHO, M.; MIKULÍK, M. 2007. Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy. Mojš: Jozef Bulejčík. ISBN 978-80-969595-3-2.
- JANDAČKA, J.; HOLUBČÍK, M.; PATSCH, M.; VANTÚCH, M. 2016. Moderné zdroje tepla na vykurovanie. Žilina: Žilinská univerzita. ISBN 978-80-554-1230-6.
- HOLUBČÍK, M. 2020. Vlastnosti palív a spaľovanie biomasy. Žilina: Žilinská univerzita.
- OBERBERGER, I.; THEK, G. 2010. The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets. London: Earthscan. ISBN 978-1-84971-150-5.
- STELTE, W. et al. 2012. Pelletizing properties of torrefied biomass. Biomass and Bioenergy.
- KALYAN, N.; MOREY, R. V. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. Biomass and Bioenergy, 33(3), 337–359.
- LYČKA, Z. 2011. Energetická náročnosť výroby pelet z biomasy. Biom.cz [online].
- PATSCH, M.; ĎURČANSKÝ, P.; ČAJA, A.; PILÁT, P. 2022. Palivá pre spaľovanie v energetických strojoch a zariadeniach. Žilina: ŽU. ISBN 978-80-973466-9-0.

Odborná literatúra – Ekológia a biológia krídlatky

- ŠTÁTNA OCHRANA PRÍRODY SR. Rod pohánkovec Fallopia japonica (Houtt.) Ronse Decr. [PDF online]. Dostupné z: <https://invaznedruhy.sopsr.sk/>
- KAŠPAR, J.; ŠÍMA, J. 2003. Proč se na našem území likviduje křídlatka. Ekolist.cz [online].
- OBČIANSKE ZDRUŽENIE TATRY. 2011. Invázne druhy rastlín a legislatíva. Enviroportal.sk [online].

Výskumné správy a projektová dokumentácia

- HERBATHECA. 2023–2026. Výskumné správy projektu INTERREG SK–CZ. Interné dokumenty projektu. Žilina: OZ HERBATHECA / UNIZA.
- UNIZA – Katedra energetickej techniky. 2025. Experimentálne výsledky spaľovania a splyňovania ATP z krídlatky japonskej. Interné laboratórne správy.
- BERNÁŇAKOVÁ, A. 2017. Vplyv obsahu kôry v dendromase na výrobu a vlastnosti drevných peliet. Diplomová práca. UNIZA, SJF.
- HOLUBČÍK, M.; JANDAČKA, J. 2015. Výkonové a emisné parametre teplovodného kotla na spaľovanie biomasy. ASB.sk [online].

Medzinárodné zdroje

- VASSILIOV, S. V. et al. 2010. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89, 913–933.
- WERTHNER, J. et al. 2000. Combustion of agricultural residues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 26, 1–27.
- LEONI, E. et al. 2021. Wood Fuel Procurement to Bioenergy Facilities: Analysis of Moisture Content Variability. *Processes*, 9(2), 359.
- BOMAN, C. et al. 2012. Combustion of biomass pellets – a review of emission factors. *Energy & Fuels*.
- MANI, S.; TABIL, L. G.; SOKHANSANJ, S. 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets. *Biomass and Bioenergy*, 30(7), 648–654.