

Interreg



Spolufinancovaný
Európskou úniou

Slovensko – Česko

Program Interreg VI-A Slovensko - Česko

BIOERA

Postupy eradikace invazních rostlin s energetickým využitím

ISBN: 978-80-975289-1-1

*Management, eradikace a energetické zhodnocení
invazní křídlatky japonské (Reynoutria japonica / Fallopia japonica)*

Projekt BIOERA – 403201DXT7 | Priorita 1.1 Životní prostředí

Spolufinancováno ERDF: 399 938,90 € | Období realizace: 03/2024 – 02/2026

Partneři: Žilinská univerzita v Žilině (UNIZA) | VŠB-TUO | OZ HERBATHECA

Realizační území:

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

Období realizace: 2024 – 2026

Zpracovatel:

Žilinská univerzita v Žilině (UNIZA), Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava,
a HERBATHECA

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

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA

CENTRUM ENERGETICKÝCH
A ENVIRONMENTÁLNÍCH
TECHNOLOGIÍ

CENTRUM
ENET



ŽILINSKÁ UNIVERZITA
V ŽILINĚ

HERBATHECA
o.z. registrovaný sociálny podnik

Bezplatná publikace

Výhradní zodpovědnost za obsah této publikace nesou její autoři a nelze jej ztotožňovat s oficiálním stanoviskem Evropské unie.

ABSTRAKT

Tato příručka předkládá výsledky komplexního výzkumu a metodických postupů zaměřených na eliminaci a energetické zhodnocení invazních taxonů *Fallopia japonica*, *F. sachalinensis* a *F. × bohemica* v regionu severního Slovenska a východního Česka. Předkládané výsledky jsou společným úsilím tří projektových partnerů v rámci projektu BIOERA (403201DXT7), zaměřeného na podporu biodiverzity prostřednictvím eradikace invazních rostlin a jejich následného energetického využití. Projekt byl realizován v období 03/2024–02/2026 a spolufinancován Evropskou unií z EFRR v rámci programu Interreg VI-A Slovensko–Česko.

První tematický celek se věnuje ekologickému managementu křídlatky – její biologii, mechanismům šíření, destruktivním vlivům na ekosystémy a infrastrukturu, stejně jako legislativním povinnostem samospráv. Výsledky terénního výzkumu realizovaného v letech 2024–2026 potvrzují, že region Kysuc, území podél toku řek Váh a Orava, neudržované zóny kolem železnic a průmyslových areálů v okolí Žiliny, povodí řek Morávka, Ostravice a Odra, okolí obce Kobeřice a ostravsko-karvinská pánev se staly nejvíce zamořenými oblastmi. Strategie včasné detekce a rychlé reakce (EDRR) zvyšuje úspěšnost eliminace na 92 %, zatímco u zanedbaných porostů klesá pod 40 %. Ekonomická analýza prokázala návratnost investice (ROI) na úrovni 1:12 při preventivním monitoringu.

Druhý tematický celek pokrývá technologické zpracování biomasy: optimální termíny sběru, přípravné operace včetně sušení, drcení a mletí, peletizaci a zušlechťování paliva. Experimentální výsledky dokumentují vícestupňový technologický řetězec od sklizně po finální palivo.

Třetí tematický celek analyzuje možnosti využití křídlatky v termochemických procesech pro získávání energie – spalování a zplyňování – a prezentuje výsledky experimentálního výzkumu.

Klíčová slova: *Fallopia japonica*, křídlatka japonská, invazní druh, eradikace, biomasa, pelety, zplyňování, spalování, energetické zhodnocení, INTERREG, Žilinský kraj, Moravskoslezský kraj

1. ÚVOD A KONTEXT PROJEKTU

V posledních dekádách se na území Slovenské republiky a České republiky výrazně šíří nepůvodní invazní rostliny, které negativně zasahují do přirozených ekosystémů. Jednou z nejagresivnějších je křídlatka japonská (*Fallopia japonica*, syn. *Reynoutria japonica*), která patří mezi druhy schopné vytvářet husté monokulturní porosty (monocenózy), vytlačovat původní vegetaci a výrazně měnit krajinný charakter. Na naše území byla dovezena původně jako okrasná nebo medonosná rostlina, nejčastěji z východní Asie, a postupně se rozšířila do volné krajiny zejména prostřednictvím výsadeb v parcích a zahradách.

Popularita obnovitelných zdrojů energie roste, přičemž biomasa tvoří přibližně 75 % jejich celkového podílu. Nutnost eradikace invazních rostlin otevírá možnosti jejich energetického využití, které přináší přidanou hodnotu oproti jejich samotné likvidaci. Průměrné vlastnosti křídlatky po vysušení na vlhkost 8–10 % jsou následující: obsah popela 3–6 %, výhřevnost 15–18 MJ·kg⁻¹ a spalné teplo 16–20 MJ·kg⁻¹.

1.1 Cíle projektu

Projekt byl realizován v rámci programu Interreg VI-A Slovensko – Česká republika a stanovil si tři vzájemně propojené strategické cíle, které tvoří základ projektu BIOERA (403201DXT7) – Podpora biodiverzity eradikací invazních rostlin s energetickým využitím

- Identifikace: Přesné mapování distribučních uzlů křídlatky v Žilinském a Moravskoslezském kraji s využitím moderních nástrojů (GIS, UAV multispektrální snímání).
- Eradikace: Definování optimálních postupů kombinujících mechanické oslabení a selektivní chemickou injektáž včetně vypracování metodického rámce pro samosprávy.
- Valorizace: Identifikace možností využití biomasy ze studované invazní rostliny pro energetiku pomocí technologií spalování a zplyňování.

1.2 Struktura dokumentu

Příručka je členěna do následujících tematických celků:

- Kapitola 2: Křídlatka jako globální invazivní fenomén – biologie, ekologie, vlivy a legislativa
- Kapitola 3: Mapování a monitoring výskytu – metodika, výsledky terénního výzkumu
- Kapitola 4: Metody eradikace a omezování šíření – mechanické, chemické a biologické přístupy
- Kapitola 5: Sběr, manipulace a transport biomasy – sezónní optimum, prevence šíření
- Kapitola 6: Přípravné práce s biomasou – sušení, drcení, mletí, skladování
- Kapitola 7: Lisování a zušlechťování paliva – peletizace, briketování, kontrola kvality
- Kapitola 8: Energetické vlastnosti biomasy – palivové charakteristiky, elementární analýza
- Kapitola 9: Energetické využití I – spalování, emise, výkon, účinnost
- Kapitola 10: Energetické využití II – Zplyňování, syntézní plyn, bilance
- Kapitola 11: Závěr, doporučení a perspektivy
- Příloha A: Checklist pro stavební dozor

- Příloha B: Manuál pro obce
- Příloha C: Seznam použité literatury

Autorský podíl: Projektoví partneři se na tvorbě dokumentu podíleli společně podle své odborné specializace. Za obsah kapitol 2 až 5 a 11 odpovídá OZ HERBATHECA. Technologickou přípravu, vlastní a spalování biomasy (kapitoly 6, 7, 9 a relevantní část kapitoly 8) odborně zastřešuje Žilinská univerzita v Žilině (UNIZA). Problematiku zplyňování (kapitola 10) a zbývající část kapitoly 8 garantuje Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB-TUO).

2. KŘÍDLATKA JAKO GLOBÁLNÍ INVAZNÍ FENOMÉN

2.1 Morfologická a biologická charakteristika

Křídlatka japonská (*Fallopia japonica*), spolu se svými příbuznými druhy křídlatkou sachalinskou (*Fallopia sachalinensis*) a jejich křížencem křídlatkou českou (*Fallopia x bohémica*), představuje v podmínkách střední Evropy jeden z nejagresivnějších invazních taxonů. Tato vytrvalá rostlina z čeledi rdesnovité (*Polygonaceae*) byla do Evropy dovezena v 19. století jako okrasná a medonosná rostlina, ale díky absenci přirozených predátorů a patogenů se nekontrolovaně rozšířila.

Na území Slovenska se vyskytují tři základní druhy:

- Křídlatka japonská (*Fallopia japonica*) – nejrozšířenější druh, výška 2–4 m, dutá článkovaná lodyha
- Křídlatka česká (*Fallopia x bohémica*) – hybridní druh, biologicky nejagresivnější
- Křídlatka sachalinská (*Fallopia sachalinensis*) – s většími listy, srdcovitou bází



Obrázek 1 Porovnání listů: křídlatka japonská, česká a sachalinská

Klíčové identifikační znaky:

- Lodyha: Dutá, článkovaná, připomínající bambus, často s načervenalými skvrnami. Dosahuje výšky 2 až 4 metry s denním přírůstkem až 10 cm v květnu a červnu.

- Listy: Široce vejčité až trojúhelníkové, u báze zkrácené (v případě Japonské říše) nebo srdcovité (v případě Sachalinského lesa). Povrch listu může dosáhnout plochy větší než 1 m².
- Květenství: Drobné bílé až krémové květy uspořádané v bohatých latách, kvetoucí na konci léta (srpen – září). Květy jsou bohatým zdrojem nektaru.
- Kořenový systém: Masivní podzemní oddenky dosahující hloubky 2–3 m a šířky 7 m. Až 2/3 celkové biomasy rostliny se nachází pod zemí.

Extrémní ekologická plasticita umožňuje křídlatce prosperovat v široké škále podmínek – od břehových řek přes suché ruderalní biotopy, průmyslové areály až po praskliny v betonových konstrukcích. Její růstový cyklus je nastaven na úplnou dominanci; na jaře čerpá energii z obrovských podzemních zásob, čímž zastíní jakoukoli původní vegetaci dříve, než stihne začít vegetační období.

2.2 Mechanismy invazního úspěchu a šíření

Úspěch křídlatky nespočívá ve tvorbě semen (která jsou v našich podmínkách často sterilní), ale v její mimořádné vegetativní regeneraci. Oddenkový systém (rhizomy) je hlavním nástrojem jejího šíření a přežívání.

2.2.1 Rhizomový systém – neviditelný nepřítel

Až 2/3 celkové biomasy rostliny se nachází pod zemí. Oddenky plní funkci rezervoáru živin a orgánu pro šíření:

- Laterální expanze: Jeden trs dokáže prostřednictvím oddenků obsadit plochu v okruhu 20 metrů, přičemž vytváří husté monokultury, pod kterými nic jiného nepřežije.
- Hloubkový dosah: Kořenový systém běžně proniká do hloubky 2 až 3 metrů, což znemožňuje jednoduché mechanické odstranění (vykopání).
- Fragmentace: Stačí nepatrný úlomek oddenku s hmotností pod 1 gram (cca 0,7 g), aby během jedné sezóny vznikl nový, vitální jedinec. Toto je nejkritičtější faktor při manipulaci s biomasou.

2.2.2 Přenosové vektory v krajině

Šíření probíhá zejména podél říčních koridorů (Váh, Kysuca, Orava, Morávka, Ostravice a Odra). Během povodní dochází k vymílání břehů a odplavování fragmentů oddenků po proudu, kde se zachytávají na nových stanovištích.

Sekundárním, avšak stále významnějším faktorem je antropogenní činnost. Identifikovány byly následující antropogenní vektory:

- Nelegální skládky bioodpadu ze zahrad – nejčastější zdroj nových ohnisek v obcích
- Převoz kontaminované zeminy při výstavbě dálnic, průmyslových parků a liniových staveb
- Pohyb stavební techniky z infikovaných lokalit bez dekontaminace
- Výsadba rostlin z kontaminovaného substrátu (nursery trade)
- Pohyb osob přes infikované lokality (zahrádkáři, turisté, cyklisté)

2.3 Destruktivní vliv na ekosystémy a infrastrukturu

2.3.1 Degradace biodiverzity

Na místech, kde se vyskytuje křídlatka, vzniká tzv. zelená poušť. Hustý zápoj listů nepropouští světlo k půdě, čímž dochází k lokálnímu vymizení původních druhů rostlin – pokles druhové diverzity o 70–95 % je dokumentován po třech letech stabilní invaze (Shannonův index).

Kaskádový efekt postihuje celý potravní řetězec: hmyz ztrácí zdroj potravy a úkryt, což snižuje populace drobných obratlovců. Navíc listy křídlatky obsahují alelopatické látky, které po opadu mění chemické složení půdy ve prospěch vlastního druhu – tzv. chemické „zvýhodnění“ (chemické soutěžení).

2.3.2 Ohrožení technických děl a infrastruktury

Křídlatka není jen estetický problém; je biologickým faktorem degradace infrastruktury s prokazatelnými ekonomickými náklady:

- **Narušení statiky:** Silné oddenky dokážou vyvinout tlak až 400 kPa, čím zvětšují mikrotrhliny v betonových základech, opěrných zdech a dilatačních spárách mostů. Dokumentovány jsou případy pronikání do betonu o tloušťce 10 cm.
- **Poškození vozovek:** Na cyklostezkách a chodnicích způsobuje tzv. asfaltové puchýře – mladé výhonky dokážou prorůst i vrstvou asfaltu, což vede k jeho rozpadu. Roční náklady na opravy v Žilinském kraji jsou odhadovány na statisíce eur.
- **Hydrologická rizika:** V zimě nadzemní část křídlatky odumírá, přičemž zůstává holá půda náchylná k erozi. Při zvýšeném průtoku vody dochází k rychlejšímu podemílání břehů než u původních vrbovo-olšových porostů s jemným kořenovým systémem.
- **Zhoršení protipovodňové ochrany:** Odumřelá biomasa křídlatky blokuje průtočný profil říčních koryt, což zvyšuje riziko lokálních záplav.

Penetrační síla



Poškodenie konštrukcie



Ničenie infraštruktúry



Obrázek 2 Devastující dopad křídlatky japonské na stavenišťě

2.4 Právní aspekty a legislativní rámec

2.4.1 Zákon č. 150/2019 Sb. (SR)

Zákon č. 150/2019 Sb. (SR) o prevenci a managementu invazních nepůvodních druhů definuje křídlatku jako druh vzbuzující obavy Slovenské republiky (Species of Union Concern). Z legislativy vyplývají jasné povinnosti pro vlastníky a správce pozemků:

- **Povinnost odstraňování:** Obec jako vlastník veřejných prostranství je povinna invazní druhy na svém území likvidovat na vlastní náklady způsoby stanovenými Státní ochranou přírody (ŠOP SR).
- **Sankční mechanismus:** Nečinnost může vést k pokutám od Slovenské inspekce životního prostředí. Pro právnické osoby mohou sankce dosahovat tisíců eur za každý zjištěný případ porušení.
- **Metodika likvidace:** Zákon zakazuje neodbornou manipulaci (např. pouhé kosení bez sběru), která může šíření urychlit. Doporučuje se kombinace mechanické a chemické kontroly.
- **Povinnost oznamování:** Vlastník pozemku je povinen oznamovat výskyt invazních druhů příslušnému orgánu státní správy ochrany přírody.

2.4.2 Česká legislativa

Na území České republiky jsou invazní druhy, včetně křídlatky, regulovány zákonem č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny a navazujícími předpisy. Zákon č. 326/2004 Sb. o rostlinolékařské péči obsahuje ustanovení o povinnosti odstraňování škodlivých organismů. Nařízení EU č. 1143/2014 o invazních nepůvodních druzích je přímo závazné v obou zemích.

2.4.3 Nařízení EU č. 1143/2014

Křídlatka (*Reynoutria japonica*, *R. sachalinensis* a *R. × bohemica*) je zařazena na Seznam invazních nepůvodních druhů vzbuzujících obavy Unie. Z tohoto zařazení vyplývají povinnosti pro všechny členské státy: monitoring, prevence dalšího šíření, řízení existujících populací a v případě nových nálezů opatření k rychlé eradikaci.

⚠ DŮLEŽITÉ PRO PRAXI: Přítomnost křídlatky v blízkosti staveb by měla být pro obecní architekty a stavební úřady varovným signálem, vyžadujícím specifická opatření při zakládání staveb, aby se předešlo budoucím sanačním nákladům, které často převyšují hodnotu samotného pozemku.

2.5 Význam meziměstské spolupráce

Protože řeky nerespektují katastrální hranice, snaha jedné obce o likvidaci křídlatky je odsouzena k neúspěchu, pokud obec „proti proudu“ problém ignoruje. Efektivní management vyžaduje:

- Komplexní přístup v rámci celého povodí řek Váh, Kysuca a Orava
- Koordinaci na úrovni mikroregionů a krajů
- Přeshraniční spolupráci mezi SR a ČR (jako model)
- Dlouhodobý monitoring minimálně 3–5 let po posledním pozorovaném výskytu
- Sdílení databází lokalit a metodik mezi samosprávami

3. MAPOVÁNÍ A MONITORING VÝSKYTU

3.1 Metodika terénního mapování

Efektivní management začíná přesnou identifikací ohnisek. Projekt využíval kombinovaný přístup terénního průzkumu a moderních technologií, což umožnilo přejít od reaktivního řešení (odstraňování dospělých porostů) k proaktivnímu (eliminace šíření).

3.1.1 GIS analýza a prediktivní modelování

Integrace dat o říční síti a liniové infrastruktury (silnice, železnice) v prostředí geografických informačních systémů (GIS) tvořila základ analytického přístupu. Říční systémy fungují jako hydrochorické vektory, kde fragmenty oddenků přenášené povodněmi osídlují nové náplavy.

- Buffer zóny: Při mapování se stanovují ochranná pásma 50–100 m od břehové čáry jako prioritní oblasti monitoringu.
- Vrstvy infrastruktury: Mapování se zaměřovalo na místa s narušeným půdním pokryvem – staveniště, skládky zeminy, místa výkopových prací.
- Historické letecké snímky: Komparace ortofotomap z let 2000–2023 umožnila rekonstrukci dynamiky šíření.
- Satelitní data Sentinel-2: Využívána pro regionální přehledy a sledování dynamiky velkoplošných ohnisek pomocí NDVI indexu.

3.1.2 Fytcenologické záznamy a kvantifikace

Pro objektivní posouzení dopadu invaze byly na vybraných lokalitách realizovány fytcenologické zápisy na plochách 10 m². Sledované parametry:

- Pokryvnost (v %): Křídlatka v kulminační fázi dosahuje 90–100 % pokryvnosti, čímž dochází k úplnému zastínění původní vegetace.
- Druhovú diverzita (Shannonův index H'): Porovnání invazních a kontrolních lokalit prokazuje pokles diverzity až o 70–80 % již po třech letech stabilní invaze.
- Výška porostu a hustota stonků na m²: Korelace s věkem porostu a efektivitou předchozích zásahů.
- Přítomnost původních druhů: Hodnocení zachovalosti přirozených biocenóz v okolí invaze.

3.1.3 Digitální monitoring – UAV a dálkový průzkum

Využití dronů (UAV) vybavených multispektrálními senzory umožňuje identifikaci křídlatky na základě její specifické spektrální signatury. Tento přístup je obzvláště cenný v těžko přístupných říčních nivách.

- UAV monitoring: Rozlišení v centimetrech umožňuje detekovat i jednotlivé stonky v obtížně přístupných nivách řek. Výhoda: rychlost skenování (1 ha za < 30 min), nevýhoda: cena zařízení a potřeba licence.
- Multispektrální snímání: Identifikace křídlatky na základě rozdílů v absorpci červeného a blízkého infračerveného záření (NIR) v porovnání s okolní vegetací.
- Termální zobrazování: Křídlatka vykazuje specifický teplotní podpis v důsledku odlišné transpirace.

3.2 Systém včasné detekce a rychlé reakce (EDRR)

Systém Early Detection and Rapid Response je neefektivnější strategií boje s invazním druhem. Základním principem je intervence ještě před tím, než druh dosáhne reprodukčního potenciálu schopného odolat eradikaci.

Věk růstu	Oblast sítě rhizomů	Úspěšnost prvního zásahu	Požadovaný počet sezón
< 1 rok	až do 2 m ²	92 %	2–3
1–3 roky	2-20 m ²	65–75 %	3–4
3–5 let	20–100 m ²	40–55 %	4–5
> 5 let	> 100 m ²	< 40 %	5–7+

Tabulka 3.1: Závislost úspěšnosti eradikace na stáří porostu (zdroj: HERBATHECA, 2025)

Fenologická plasticita: Dokumentace změn v době kvetení a růstu biomasy v závislosti na klimatických podmínkách ukazuje, že křídlatka prodlužuje svou vegetační sezónu. V teplejších letech dochází k lignifikaci stonků později, což ovlivňuje načasování aplikace herbicidu – optimálně v době kvetení, kdy rostlina stahuje asimiláty do kořenového systému.

HERBATHECA <small>s.r.o. registrovaný sociálny podnik</small>		Formulár na monitorovanie výskytu křídlatky japonskej (Fallopia japonica)	
Položka	Údaj		
Meno a Priezvisko:			
Kontakt (e-mail/telefón):			
Organizácia/Inštitúcia (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. 48.7386, 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 křídlatky:	<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"/> Plodiače/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):		

Obrázek 3 Vzorový formulář pro systematické mapování a monitorování výskytu křídlatky japonské v terénu.

3.3 Rozšíření v žilinských a moravsko-slezských regionech

Výzkum z let 2024–2026 potvrzuje znepokojivou situaci v oblasti severního Slovenska a přilehlé pohraniční oblasti. Region se stal epicentrem šíření ve střední Evropě.



Obrázek 4 Mapa rozšíření křídlatky japonské se zvýrazněním výskytu v Žilinském a Moravskoslezském kraji.

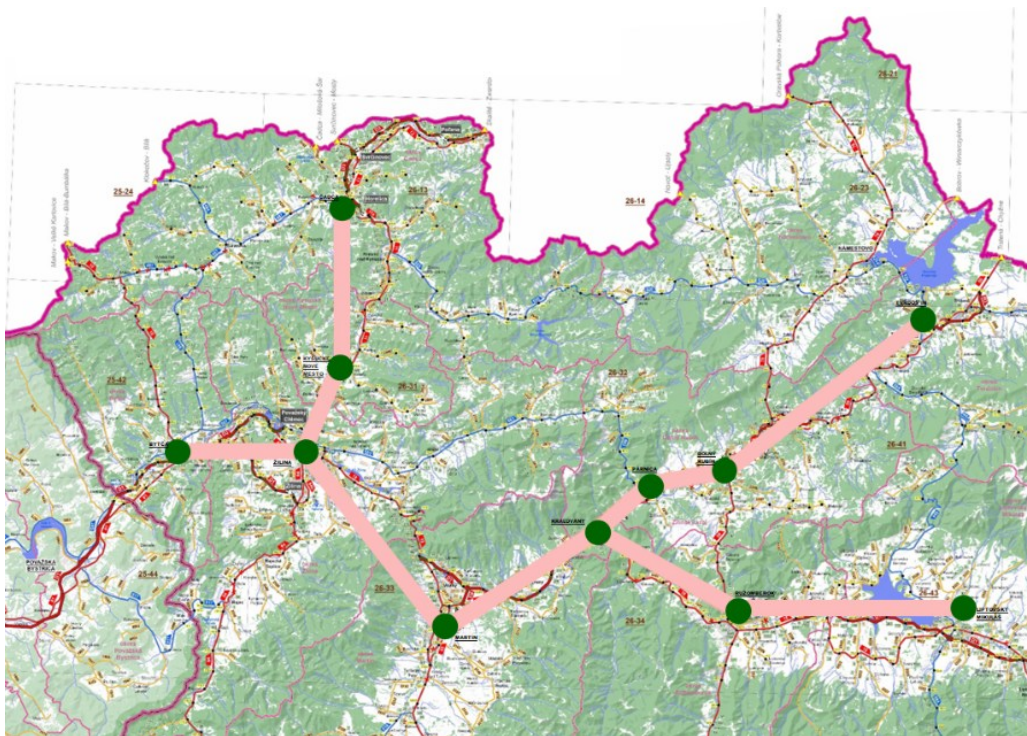
Umístění / Parametr	Katedrála. Vektor	Intenzita invaze	Plocha (ha)	Stav řízení
Žilina (soutok Váhu a Kysuce)	Hydrochórie	Kritická	> 45	Aktivní sanace
Martin (Turiec)	Urbanizace	Vysoká	18–22	Monitoring
Ružomberok (Váh)	Průmysl	Střední	8–12	Lokální zásahy
Čadca (Kysuca)	Přeshraniční	Vysoká	25–30	Koordinace ČR/PL
Kysucké Beskydy	Klimatický posun	Nástupní	< 5	Sledování

Tabulka 3.2: Přehled invazivních ohnisek v Žilinském kraji (HERBATHECA, 2025)

Žilina slouží jako centrální distribuční uzel. Tlak se rozšiřuje ze tří směrů:

- Považský koridor (Váh): Po proudu se šíří směrem k Bytči, Trenčínu a dále do oblasti Trnavy.
- Koridor Kysuce: Spojení s Moravskoslezským krajem (Česká republika), kde je řeka Kysuca hlavním vektorem přeshraničního šíření.
- Koridor Orava: Postupný průnik do chladnějších oblastí – byl zaznamenán posun křídlatky do výšek nad 700 m n. m.

Klimatická adaptace: Vliv mírnějších zim (pokles počtu mrazivých dnů) umožňuje přežívání oddenků i v mělkých půdních vrstvách, které v minulosti promrzaly. Teplota půdy pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ byla historicky limitujícím faktorem, který se v důsledku klimatické změny stává méně účinným.



Obrázek 5 Mapa monitorovaných lokalit a hlavních tras šíření křídlatky v rámci Žilinského kraje.

3.4 Dlouhodobý monitoring a vyhodnocení účinnosti

Eradikace křídlatky není jednorázový akt, ale proces. Vyhodnocování úspěšnosti musí probíhat v cyklu minimálně 3 až 5 let po posledním vizuálním výskytu, protože oddenky mohou zůstat v dormantním stavu několik sezón.

3.4.1 Klíčové indikátory úspěšnosti (KPI)

- Redukce hustoty stonků: Cílem je meziroční pokles počtu výhonů na m². Úspěšný projekt vykazuje po 3 letech pokles o více než 80 %.
- Vitalita biomasy: Sledování morfologických změn. Po aplikaci herbicidů nebo intenzivním kosení dochází k nanismu (zakrslému vzrůstu) – výška rostlin klesá z původních 3 m pod 0,5 m.
- Rekolonizace původními druhy: Indikátor dlouhodobého úspěchu eradikace – návrat chráněných a typických druhů říčních břehů.
- Výskyt dormantních výhonů: Kontrola okruhu 10–20 m od původního ohniska. Oddenky se mohou aktivovat při mechanickém narušení půdy.

3.4.2 Ekonomické hodnocení (ROI analýza)

Investice do prevence a včasného monitoringu je významně nižší než sanace rozvinutých porostů. Data z roku 2025 ukazují, že 1 € investovaný do monitoringu v Žilinském kraji ušetří v horizontu 10 let přibližně 12 € v nákladech na odstraňování následků (poškození protipovodňových hrází, oprava infrastruktury, ztráta biodiverzity).

Scénář	Investice/ha/rok	Náklady na sanaci (10 let)	ROI
Preventivní monitorování	250–400 €	~3 000 €	1 : 12
Včasný zásah (< 2 roky)	800-1 500 €	~8 000 €	1 : 7
Reaktivní sanace (> 5 let)	3 000–8 000 €	~25 000 €	1 : 3
Bez zásahu (ekologická škoda)	0 €	> 50 000 €	Negativní

Tabulka 3.3: ROI analýza různých přístupů k managementu křídlatky (HERBATHECA, 2025)

4. METODY ERADIKACE A OMEZOVÁNÍ ŠÍŘENÍ

Potlačení křídlatky japonské a jejích hybridů představuje jednu z největších výzev v současném managementu krajiny. Vzhledem k její extrémní regenerační schopnosti a hlubokému kořenovému systému, který může sahat až do hloubky 3 metrů a šířky 7 metrů, je běžná údržba zeleně nedostačující.

4.1 Principy eradikace a biologické souvislosti

Úspěšná eradikace není jednorázový úkon, ale strategický proces. Křídlatka disponuje tzv. apikální dominancí. Pokud se odstraní pouze nadzemní část, spící pupeny na oddencích se aktivují a rostlina reaguje ještě agresivnějším růstem – tzv. kompenzační růst.

Základní pilíře úspěšné eradikace:

- **Kontinuita a vytrvalost:** Eradikace musí být plánována jako 5letý cyklus. První tři roky jsou zaměřeny na eliminaci hlavní biomasy, zbylé dva roky na monitoring a likvidaci „spících“ výhonů.
- **Fyziologické načasování:** Zásahy musí respektovat sezónní dynamiku rostliny. Nejcitlivější je v období kvetení (srpen–září), kdy dochází k masivnímu transportu asimilátů z listů do kořenového systému.
- **Integrovaný management (IPM):** Kombinace mechanických, chemických a environmentálních metod zvyšuje úspěšnost na více než 90 % při důsledném dodržování postupů.
- **Dokumentace:** Vedení záznamů o každém zásahu (datum, metoda, rozsah, použité přípravky) je nezbytné pro vyhodnocení efektivity i pro právní účely.

4.2 Mechanická opatření

4.2.1 Intenzivní a nízké sečení (mulčování)

Cílem není rostlinu odstranit, ale vyhladovět – opakovaným odstraňováním nadzemní biomasy postupně vyčerpávat zásoby v oddencích. Každé nové vyrašení nutí rostlinu čerpat energii z podzemních rezerv.

- **Frekvence:** Minimálně 6 až 10× za sezónu. Klíčové je kosení vždy předtím, než výhonek dosáhne výšky 30 cm a začne fotosyntetizovat.
- **Mechanismus:** Pokud je výhonek odřezán dříve, než začne fotosyntetizovat, zásoby v kořenech se postupně vyčerpávají. Po 3–5 letech intenzivního kosení dochází k výraznému oslabení porostu.
- **Riziko:** Při kosení nesmí dojít k rozptýlu úlomků stonků do okolí – každý fragment delší než 1 cm může zakořenit a vytvořit nové ohnisko. Vždy používat zachytné sítě nebo křovinořez s vakem.
- **Omezení:** V blízkosti vodních toků je tato metoda riziková bez zachytných sítí. V chráněných územích může být jedinou povolenou metodou.

4.2.2 Překrývání (Shading/Smothering)

Jde o metodu vhodnou pro menší izolovaná ohniska. Postup:

- Porost se poseká těsně u země.
- Plocha se překryje silnou, UV stabilní geotextilií nebo černou fólií (tloušťka min. 2 mm).
- Fólie musí přesahovat okraj porostu alespoň o 2 metry, aby se zabránilo „obcházení“ bariéry výhonky.
- Okraje fólie se fixují zátěžovými prvky nebo sponami zatlučenými do půdy.
- Pravidelná kontrola celistvosti fólie a odstraňování výhonků, které prorůstají přes okraj.

Doba zakrytí: Minimálně 3–4 roky. Nevýhodou je vizuální dopad na krajinu a nutnost pravidelné kontroly.

4.2.3 Hloubkový výkop a separace

Nejrychlejší, ale zároveň nejdražší metoda. Vyžaduje odstranění zeminy do hloubky min. 2–3 metry. Vytěžený materiál je považován za nebezpečný odpad a musí být buď proset (oddělení oddenků), nebo uložen na řízených skládkách. Oddenky se následně devitalizují termicky (> 60 °C, 48 hodin) nebo likvidují spalováním.

✓ Tato metoda je ekonomicky odůvodněná pouze při plánovaných stavebních pracích, kde musí být zemina vytěžena z jiných důvodů.

4.3 Chemická opatření

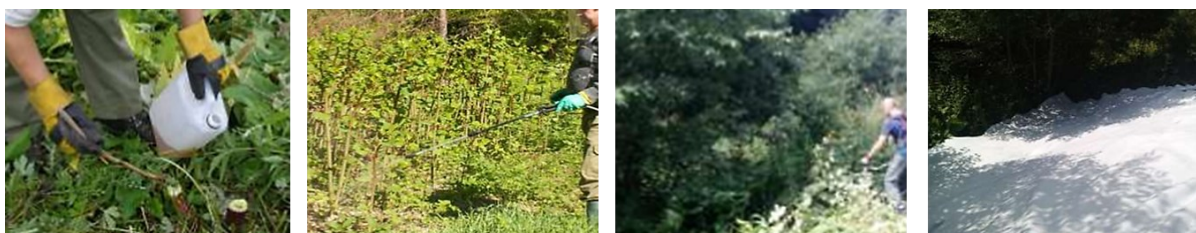
Chemická kontrola je v současnosti nejefektivnějším nástrojem při velkoplošných invazích. Používají se neselektivní listové herbicidy s účinnou látkou glyfosát nebo triklopyr.

4.3.1 Metody aplikace

- Plošný postřik: Aplikuje se na plně vyvinutou listovou plochu (výška > 1,5 m, před květem nebo v době květu). Nevýhodou je riziko poškození okolní vegetace (drift). Optimální při suchém bezvětrném počasí.
- Injektáž do stonků (stem injection): Vysoce selektivní metoda. Do každého stonku ve výšce cca 10 cm (mezi 1. a 2. kolénkem) se aplikuje 1–2 ml koncentrovaného roztoku herbicidu. Výhoda: možnost aplikace i za větrného počasí a v blízkosti vody. Účinnost: téměř 100 % na zasaženou rostlinu.
- Metoda cut and fill: Seříznutí stonku a okamžitě (do 10 sekund) potřetí řezné rány herbicidem. Vhodné při nižší hustotě porostu.
- Herbicidní injektáž do půdy: Aplikace herbicidu přímo do kořenové zóny – experimentální metoda s vysokou efektivitou, ale rizikem kontaminace podzemních vod.

Fáze	Časové období	Aktivita	Poznámka
1. Přípravná	Květen – červen	První kosení před dosažením plné výšky pro oslabení zásob v kořenech.	Výška < 50 cm
2. Likvidační	Srpen – září	Chemický postřik systémovým herbicidem na regenerovanou listovou plochu.	Před mrazy
3. Sanitární	Celoroční	Odborná likvidace biomasy (spálení nebo hluboké uložení)	Reg. předpisy
4. Kontrolní	Následně 3–5 let	Monitoring lokality a bodová eliminace zbývajících výhonů.	Minimálně 1x/měsíc

Tabulka 4.1: Doporučený harmonogram chemických intervencí (přístup IPM)



Obrázek 6 Přehled metod likvidace křídlatky japonské: od injezáže a postřiku herbicidem, přes mechanické sečení až po zastínění nepropustnou fólií.

4.4 Inovativní a biologické metody

V rámci hledání ekologicky přijatelných řešení se do praxe dostávají nové postupy, které mohou doplňovat konvenční metody:

- **Pastva:** Ovce a kozy ochotně konzumují mladé výhonky křídlatky. Pastva nevede k úplné eradikaci, ale k účinnému potlačení šíření a oslabení porostu v kombinaci s jinými metodami. Vhodné zejména pro plochy bez chemického ošetření (chráněná území, břehové porosty).
- **Biologický boj (biocontrol):** Využití přirozeného nepřitele z původního domova křídlatky – mery japonské (*Aphalara itadori*). Tento hmyz se živí rostlinnými šťávami, čímž rostlinu oslabuje. V EU probíhají monitorované testy (UK, Nizozemsko). V ČR není zatím schválen pro komerční použití.
- **Elektrocutánní likvidace:** Nová technologie, která pomocí vysokonapěťových elektrod (aplikátor Rootwave Pro) naruší vnitřní strukturu rostliny a části oddenků přímo v půdě. Bez chemikálií, účinek do 6 hodin. Vhodné pro malá ohniska a citlivé lokality.
- **Mykorhizní bariéry:** Výzkumná metoda využívající houby, které inhibují růst křídlatky a zároveň podporují růst původní vegetace.

4.5 Prevence reinvaze

Bez přísné prevence je jakékoli úsilí o jeho odstranění dočasné. Křídlatka se šíří především lidskou činností, proto je nutné zavést systémová opatření:

4.5.1. Protokol nakládání s odpady

Odpad z křídlatky (stonky, kořeny) se nesmí vyvážet na běžné skládky bioodpadu ani domácí kompostoviště. Povolené metody likvidace:

- Spalování na místě: Nejbezpečnější metoda, eliminuje riziko šíření.
- Hluboké uložení do země: Uložení do jam hlubších než 5 metrů a překrytí inertním materiálem (beton, fólie).
- Termická devitalizace: Kompostování při teplotě > 60 °C po dobu min. 48 hodin (průmyslová kompostoviště).
- Odvoz na řízenou skládku s povolením pro biologický odpad – nutná deklaráce obsahu invazních druhů.

4.5.2 Dekontaminace techniky

Stavební a zemědělské stroje pracující v zamořených oblastech představují hlavní vektor šíření. Povinná opatření:

- Čištění podvozků a kol vysokotlakým zařízením (WAP, min. 120 bar) před opuštěním lokality.
- Zákaz přesunu ornice z oblastí s výskytem invazních druhů bez předchozí dekontaminace.
- Vedení dekontaminačního protokolu (datum, zařízení, lokalita) pro případné právní nároky.

4.6 Doporučený postup pro samosprávy (Algoritmus zásahu)

Pro efektivní vynakládání obecních prostředků se doporučuje následující postup:

- Mapování: Identifikace všech ohnisek na území obce a určení vlastnictví pozemků. Rozlišení veřejných a soukromých pozemků.
- Prioritizace: Přednostní zásah v blízkosti vodních toků (riziko šíření proudem vody), dopravních koridorů a strategické infrastruktury.
- Realizace kombinovaným modelem:
 - Rok 1: červen (kosení, výška < 30 cm) + srpen (chemický postřik).
 - Rok 2: opakování postřiku na oslabené výhonky (nižší koncentrace).
 - Roky 3–5: bodová likvidace a obnova původní vegetace (výsadba vrby a olše).
- Dokumentace a reporting: Fotografická dokumentace před a po zásahu, zápis do obecní databáze, reporting pro ŠOP SR.
- Následný monitoring: Pravidelné kontroly ve vegetační sezóně (minimálně 1× měsíčně od dubna do října) po dobu alespoň 5 let.



Obrázek 7 Vizuelní srovnání lokality před a po úspěšné likvidaci invazního porostu.

⚠ Podle platné legislativy SR je vlastník, správce nebo uživatel pozemku povinen odstraňovat invazní nepůvodní druhy ze svého pozemku. Při zanedbání této povinnosti hrozí vysoké sankce od Slovenské inspekce životního prostředí.

5. SBĚR, MANIPULACE A TRANSPORT BIOMASY

Efektivní management biomasy křídlatky japonské vyžaduje synergii mezi biologickými cykly rostliny a technickými možnostmi zpracování. Vzhledem k její extrémní regenerační schopnosti musí být každá operace navržena tak, aby eliminovala riziko sekundární invaze.

5.1 Optimální termíny pro sběr biomasy

Načasování sklizně není jen otázkou logistiky, ale především otázkou chemického složení a energetické hustoty. Křídlatka se během roku dynamicky mění z hlediska obsahu sekundárních metabolitů i vlhkosti. Pro každé využití existuje jiné optimální okno sběru.

5.1.1 Jarní sběr (duben–květen): Nutraceutika a mladé výhonky

V tomto období rostlina investuje energii z oddenků do prudkého růstu. Stonky jsou křehké, šťavnaté, připomínající rebarboru.

- Klíčové složky: Vysoká koncentrace piceidu (glykosylovaná forma resveratrolu) a vitamínu C. Obsah piceidu může dosahovat 7–10 mg/g sušiny.
- Zpracování: Vyžaduje okamžité chlazení (do 4 °C) nebo lyofilizaci (sušení mrazem ve vakuu), aby se zabránilo enzymatické degradaci bioaktivních látek.
- Potenciál: Přímé konzumní využití (kuchyně – jako náhrada rebarbory), výroba džusů, fermentovaných nápojů. Roční výnos čerstvých výhonů: 8–15 t/ha.

5.1.2 Letní sběr (červen–srpen): Kosmetika a biomasa

Rostlina dosahuje maximální plochy listů. Listy jsou bohaté na chlorofyl a flavonoidy. V kosmetice se používají extrakty na zklidnění pokožky a anti-aging produkty (inhibitory tyrosinázy).

- Technologická poznámka: V tomto období je objem biomasy největší (maximální výška 3–4 m), což klade vysoké nároky na transportní kapacitu. Vlhkost biomasy je však vysoká (> 70%), což zvyšuje náklady na sušení.
- Využití: Extrakce chlorofylu, flavonoidů; výroba zelených barviv; zdroj vitamínů a antioxidantů.

5.1.3 Podzimní sběr (září – říjen): Farmaceutické maximum

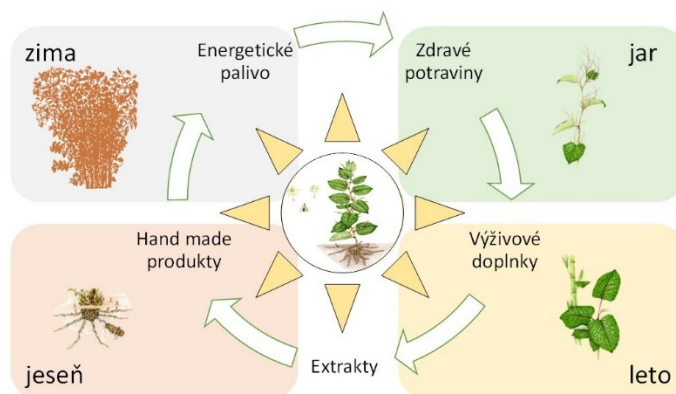
Pro farmaceutický průmysl jde o kritické období. Rostlina stahuje živiny a ochranné látky do kořenového systému, aby přežila zimu.

- Resveratrol: Koncentrace v oddencích stoupá o 20–30 % oproti letnímu období. Maximální hodnoty resveratrolu (až 3–4 mg/g sušiny kořenů) se dosahují v průběhu září–října.
- Metoda sklizně: Vyžaduje hloubkovou mechanickou extrakci (vykopávání) do hloubky až 1,5 m, kde se nacházejí nejstarší a na účinné látky nejbohatší části oddenků.
- Ekonomický potenciál: Cena resveratrolu na farmaceutickém trhu: 200–500 €/kg čisté látky. Obsah v suchých kořenech: 1–3 %.

5.1.4 Zimní sběr (listopad–březen): Energetické využití

Nadzemní část rostliny odumírá a přirozeně vysychá na kořeni (tzv. standing drying – sušení na stojato).

- Výhoda: Vlhkost biomasy klesá pod 25 %, což dramaticky snižuje náklady na umělé sušení před peletováním.
- Kvalita paliva: Zimní biomasa má nižší obsah dusíku a síry, což zlepšuje emisní parametry při spalování. Nižší obsah draslíku snižuje riziko spékání popela.
- Logistika: Zimní sklizně jsou jednodušší z hlediska managementu – eliminuje se riziko rozšíření živého materiálu během transportu.



Obrázek 8 Možnosti využití biomasy křídlatky během jejího celoročního životního cyklu.

5.2 Postupy sběru a prevence šíření

Manipulace s křídlatkou je legislativně upravena, jelikož jde o invazní druh. Každý krok musí být v souladu s principem nulového úniku.

5.2.1 Bariérová ochrana při kosení

Při mechanickém kosení dochází k fragmentaci stonků. Pokud se kosení provádí v blízkosti vodních toků, je nezbytné použít zachytňovací sítě nebo norné stěny, které zabrání splavení úlomků. Voda je primárním vektorem šíření křídlatky na nové lokality.

5.2.2 Devitalizace a sterilizace

Proces devitalizace musí být nevratný. Existují tři hlavní metody:

- Termická devitalizace: Vystavení biomasy teplotě nad 60 °C po dobu minimálně 48 hodin (při průmyslovém kompostování) nebo krátkodobý ohřev nad 100 °C (pára, horký vzduch).
- Mechanická destrukce: Mletí na frakci pod 0,5 mm fyzicky ničí buněčnou strukturu pupenů na oddencích a znemožňuje regeneraci.
- Silážování: Uložení do anaerobního prostředí (silážní vaky), kde nízké pH (kyselina mléčná, pH < 4) zlikviduje klíčivost do 3–4 týdnů.

5.3 Doprava a logistika

Doprava je nejrizikovějším článkem řetězce. Podle statistik vzniká velké procento nových ohnisek podél silničních komunikací právě kvůli neodbornému transportu. Zásadní požadavky:

Parametr	Standardní doprava (jiné biomasy)	Bezpečná doprava (křídlatka)
Typ vozidla	Otevřený valník, traktor	Uzavřený kontejner / Zaplachtování min. 2 vrstvami plachty
Balení	Volně ložené	Big-bagy (1 t), utěsněné kontejnery nebo vakuované balíky
Čištění vozidla	Běžné umytí	Vysokotlaková dekontaminace (WAP, min. 120 bar) před výjezdem z lokality
Dokumentace	Dodací list	Protokol o nakládání s invazním druhem (datum, lokalita, metoda sběru, cíl)
Odpad z čištění	Běžný odpad	Likvidace splachů v uzavřeném systému, ne do vodního toku

Tabulka 5.1: Porovnání standardního a bezpečného transportu biomasy křídlatky

⚠ Při převozu sušeného mletého materiálu (prášku) hrozí riziko prašnosti a alergických reakcí u personálu. Vyžaduje se použití respirátorů třídy FFP2/FFP3 a ochranných brýlí.

5.4 Municipální model sběru a zpracování

Samosprávy by měly přistupovat ke křídlatce jako k surovinovému zdroji, nikoli jako k odpadu. Navrhovaný municipální model:

- Pasportizace lokalit: Identifikace ploch a odhad výnosu biomasy (t/ha). GIS databáze obnovovaná min. 1× ročně.
- Sezónní plánování: Zimní sklizeň pro energetiku, podzimní pro farmacii, jarní pro potravinářství/kosmetiku.
- Mobilní zpracovatelské jednotky: Pronájem mobilních drtičů zpracovávajících biomasu přímo v místě výskytu. Eliminuje riziko úniku během transportu živého materiálu.
- Lokální energetické využití: Přeměna drtě na brikety/pelety pro obecní kotelny.

6. PŘÍPRAVNÉ PRÁCE NA BIOMASE – SUŠENÍ A DRCENÍ

6.1 Sušení biomasy

Obsah vody ve vstupní biomase je jeden z rozhodujících parametrů kvality paliva. Vysoká vlhkost snižuje využitelnou výhřevnost paliva, zhoršuje stabilitu spalování a snižuje dosažitelný výkon zařízení. Zároveň zvyšuje nároky na dopravu a skladování.

Z fyzikálního hlediska platí: energie uvolněná spalováním se musí nejprve spotřebovat na ohřev vody v palivu a její odpaření. Odpaření 1 kg vody vyžaduje řádově kolem 2,3–2,5 MJ tepla (bez započítání ohřevu vody a páry na teplotu spalin). Proto má mokré palivo nejen nižší využitelnou energii na kilogram, ale zároveň ochlazuje spalovací prostor a zhoršuje podmínky pro úplné dohoření plynných složek.

Praktický příklad poklesu výhřevnosti s vlhkostí (orientačně pro kusové dřevo a porovnání s křídlatkou):

Vlhkost paliva (%)	Výhřevnost dřeva (MJ/kg)	Výhřevnost křídlatky (MJ/kg)	Pokles výkonu kotle
0 % (úplně suché)	~18,5	~19,5	Reference
10 %	~16,4	~17,4	-11 %
20 %	~14,3	~15,2	-23 %
30 %	~12,2	~13,0	-34 %
50 %	~8,0	~8,5	-56 %

Tabulka 6.1: Závislost výhřevnosti na vlhkosti biomasy (Jandačka, 2007; UNIZA, 2025)

6.1.1 Typy vlhkosti v biomase

Biomasa se řadí mezi kapilárně-pórovité-koloidní materiály. Z hlediska analytického vyjádření rozlišujeme:

- Volná voda (hrubá): Nachází se na povrchu paliva a v makrokapilárách (lumenech buněk). Odpaňuje se ze vzorku při volném sušení na vzduchu. Snadno odstranitelná přirozeným sušením.
- Kapilárně vázaná voda: Nachází se v mikrokapilárách buněčných stěn a v mezifibrilárních prostorech. Zjišťuje se sušením při teplotě do cca 120 °C. Její odstraňování vyžaduje tepelnou energii.

Bod nasycení vláken (Fiber Saturation Point – FSP): U dřeva se uvádí kolem 25–30 % vlhkosti (na suché bázi). Nad touto hodnotou je přítomna i volná voda a sušení bývá „snazší“, pod touto hodnotou se odstraňuje zejména vázaná voda a sušení se zpomaluje.

6.1.2 Cílové parametry vlhkosti pro různé technologie

Typ zařízení/aplikace	Cílová vlhkost	Poznámka
Automatické kotle na dřevní štěpku	M20-M35 (20-35 %)	Závisí na konkrétním zařízení
Peletovací lis – vstupní materiál	10–15 %	Před lisováním
Hotové dřevní / křídlatkové pelety	≤ 10 %	Podle STN EN ISO 17225
Zplyňování – vstupní materiál	< 20 %	Pro stabilní proces

Tabulka 6.2: Cílové hodnoty vlhkosti pro různé aplikace

6.1.3 Přirozené vysychání

Přirozené sušení (bez externího zdroje tepla) využívá sluneční záření, vítr a vhodné uspořádání materiálu. Je energeticky a provozně jednoduché, ale výrazně závisí na počasí, sezóně, tvaru hromady, zakrytí a frakci.

Hlavní zásady správného přirozeného sušení:

- Sušit spíše kusový materiál před štěpkováním, pokud je to možné – nižší riziko degradace než při dlouhém skladování již naštěpkovaného materiálu.
- Podpořit ventilaci a odtok vody: vhodný podklad (rošty, palety), oddělení od země, orientace na vítr a slunce, omezení kapilárního navlhnutí od podkladu.
- Použít prodyšné zakrytí (ne neprodyšnou fólii) – chrání před deštěm, ale umožňuje odvod vlhkosti.
- Zkracovat dobu skladování štěpky, zejména při vyšší vlhkosti a v teplém období, kvůli ztrátám sušiny a riziku samovolného zahřívání (biologická aktivita mikroorganismů).
- Nepokládat biomasu na bláto – jemné minerální částice a půda se snadno zamíchají do paliva, roste obsah popela a opotřebení techniky.

Mezi limity přirozeného sušení patří: velká závislost na počasí a sezóně, horší predikovatelnost finální vlhkosti, potřeba prostoru a disciplíny ve skladu, riziko nehomogenní vlhkosti v šarži.

Samovolné zahřívání: Typické rizikové faktory jsou vyšší vlhkost, jemná frakce, teplé období a velké ztuhnuté hromady. Kromě ztrát sušiny je to i bezpečnostní téma – při provozech je vhodné sledovat teplotu uvnitř hromady, pokud se materiál skladuje déle.



Obrázek 9 Přirozené sušení křídlatky japonské

6.1.4 Nucené sušení

Nucené sušení využívá přiváděný teplý vzduch, spaliny nebo páru a řízené proudění přes vrstvu biomasy. Používá se zejména tehdy, když je nutné dosáhnout stabilní cílové vlhkosti, zkrátit dobu sušení nebo zajistit kontinuální výrobu.

V peletovacích provozech se sušení typicky zavádí, pokud má vstupní surovina vyšší vlhkost než 10–15 %. Druhy sušáren:

- Pásové sušárny: Vstupní materiál je na pásu rozložen do tenké vrstvy a pomalu prochází sušárnou profukovanou horkým vzduchem (do 120 °C). Jemná teplotní regulace, vhodné pro citlivé suroviny.
- Bubnové sušárny: Rotující buben, do kterého se vhánějí spaliny z kotle. Běžnější a levnější. Důležité dodržování teplotního limitu (do 200 °C), aby nedošlo ke ztrátě výhřevnosti suroviny.
- Podlahové sušárny s roštem: Štěpka je rozložena na podlaze s rošty, přes které se přivádí teplý vzduch zdola. Vhodné pro větší zásoby při využití odpadního tepla (kogenerace).

6.1.5 Doporučený postup sušení pro obecní praxi

1. Krok 1: Definovat koncové použití a cílovou vlhkost podle konkrétního zařízení (kotelna, peletárna).
2. Krok 2: Vstupní kontrola každé dodávky – původ, frakce, vlhkost, příměsi.
3. Krok 3: Volba metody sušení – přirozené, pokud je čas a prostor, nucené, pokud je potřeba rychlost nebo pro peletování.
4. Krok 4: Realizace sušení s monitorováním teploty a vlhkosti.
5. Krok 5: Kontrola kvality – minimálně 2–3 odběry z různých míst při nehomogenní dávce.
6. Krok 6: Homogenizace a uvolnění do provozu – promíchání před použitím v kotelně nebo před lisováním.

6.2 Drcení a mletí biomasy

Po sběru a dopravě na výzkumné pracoviště byla biomasa křídlatky nejprve přirozeně sušena na vzduchu. Mechanická úprava následně probíhala ve třech stupních: drcení, nožové mletí a vibrační mletí (pro účely analýz).



Obrázek 10 Způsoby drcení křídlatky japonské

6.2.1 Primární drcení – štěpkování

Drcení představuje první stupeň mechanické úpravy biomasy. Jeho cílem je rozdělení celistvých částí rostliny na menší, lépe manipulovatelnou frakci. Drcení snižuje objemnost materiálu (redukce až 1:8) a připravuje jej pro následné jemnější zpracování.

V rámci výzkumu byl pro první stupeň použit elektrický drtič Einhell RLH 2540 FB, který efektivně rozdělil celistvé části vysušené křídlatky na menší frakci. Biomasa křídlatky je měkká a dutá, a proto se při průchodu drtičem relativně snadno rozruší.

Typy drtičích zařízení:

- Elektrické drtiče: Vhodné pro materiály s nižší objemovou hmotností a méně přesnými požadavky na výstupní frakci. Výhoda: jednoduchá konstrukce, dostupnost.
- Kladivové drtiče: Vhodné pro intenzivnější rozmělnění suché biomasy, vyšší výkon. U vláknitých materiálů mohou vytvářet méně homogenní částice.
- Válcové drtiče: Využívají tlakové působení mezi pracovními válci. Pro dlouhé vláknité části rostlin nejsou vždy optimální jako první stupeň úpravy.

6.2.2 Sekundární nožové mletí

Po prvním stupni drcení následovalo nožové mletí, jehož cílem bylo další zmenšení velikosti částic a dosažení rovnoměrnější frakce biomasy. V rámci výzkumu byl použit rychloběžný nožový mlýn DP 11-240/350, který umožnil materiál zjemnit a rozdělit na rovnoměrnější frakce o velikosti částic ≤ 6 mm.

Tato velikost frakce se ukázala jako vhodná pro další experimentální práce a přípravu paliva pro peletizaci a zplyňování. Nožové mletí pomáhá snižovat heterogenitu materiálu – liší se stonky, listy i jemnější části rostliny.

Pro praxi platí: optimální výstupní velikost částic se může lišit podle konkrétní aplikace:

- Pro peletizaci: cílová frakce 1–4 mm, jemná a dobře stlačitelná
- Pro zplyňování: důležitá uniformita, typicky 5–20 mm
- Pro spalování v kotli: závisí na typu hořáku, typicky 20–50 mm
- Pro laboratorní analýzy: co nejjemnější, < 1 mm

6.2.3. Vibrační mletí a příprava laboratorních vzorků

Vibrační mlýny se používají zejména pro rychlé jemné domletí materiálu na analytickou jemnost a pro přípravu vzorků pro laboratorní analýzy. Při zpracování sušené vláknité biomasy se pro primární drcení a snižování velikosti částic zpravidla využívají řezací nebo nožové mlýny.

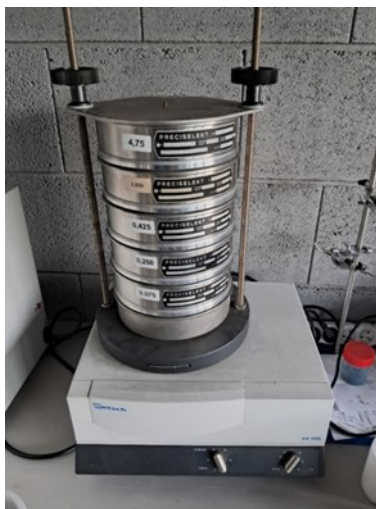
Po mechanickém zpracování biomasy byl ze všech frakcí připraven reprezentativní vzorek pomocí kvartace. Výsledkem vibračního mletí byl materiál o velmi jemné zrnitosti, prakticky práškového charakteru, použitý pro:

- Kalorimetrické stanovení výhřevnosti a spalného tepla
- Elementární analýzu C, H, N, S
- Termogravimetrickou analýzu (TGA) – vlhkost, prchavé látky, popel
- Stanovení teploty tavitelnosti popela

6.2.4 Výsledky síťové analýzy

V rámci výzkumu byla po drcení a mletí křídlatky provedena síťová analýza za účelem hodnocení velikosti a distribuce částic pomocí analytického síťovacího stroje Retsch AS 200 s vybranými analytickými sítěmi.

Výsledky ukázaly, že většina materiálu byla upravena na frakci o velikosti 0,850–4,75 mm, která představovala 72,92 % celkové hmotnosti vzorku. Tento výsledek je příznivý pro peletizaci, protože potvrdil převahu frakce dostatečně jemné pro zhutnění materiálu bez extrémního podílu prachové složky.



Obrázek 11 Sítová analýza distribuce částic křídlatky

6.3 Skladování biomasy

Skladování biomasy je důležitým krokem pro zachování její kvality jako paliva. U křídlatky to platí dvojnásobně – je to bylinná biomasa, která může při nevhodném skladování rychle podléhat biologické degradaci.

- Krátkodobé skladování: Skladovací prostor musí být suchý, dobře větraný a chráněný před přímými srážkami a dlouhodobým působením přímého slunečního záření.
- Dlouhodobé skladování: Ideální jsou kryté sklady s možností kontroly vlhkosti. Pravidelný monitoring teploty a vlhkosti. Zvýšená pozornost u bylinných biomas – riziko zhutňování materiálu a zhoršení provzdušnění.
- Speciální požadavky pro křídlatku: Je nezbytné zabránit nekontrolovanému šíření rostlinného materiálu mimo místo zpracování. Upřednostňování uzavřených systémů skladování a transportu.

⚠ Při skladování štěpky z křídlatky platí stejný princip: čistota skladu = stabilita technologie. Půda a písek zvyšují popel a opotřebení techniky.

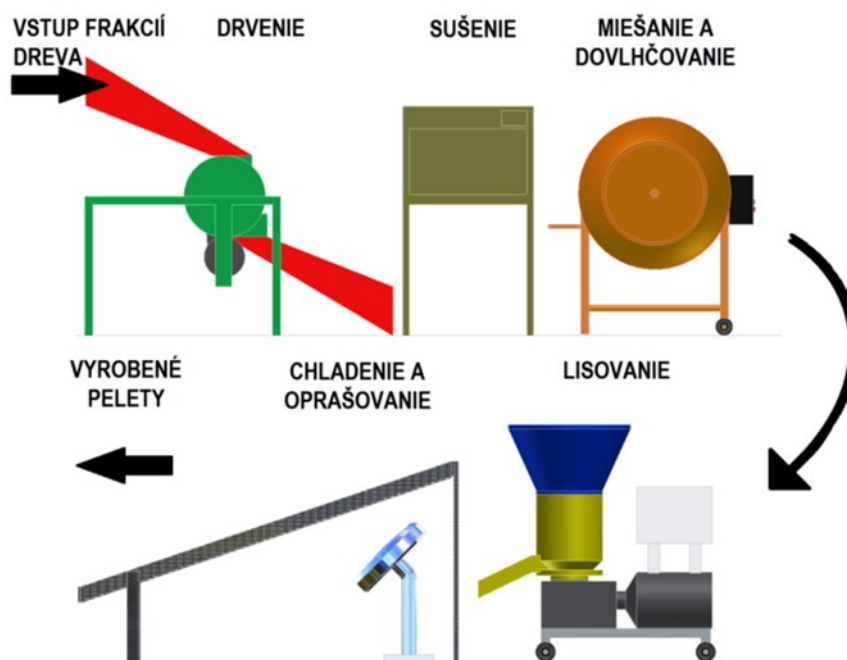
7. LISOVÁNÍ A ZUŠLECHŤOVÁNÍ PALIVA

7.1 Smysl a výhody peletizace

Peletizace je proces, při kterém se sypká biomasa mechanicky zhutňuje do standardizovaných válcových pelet. Smyslem lisování (zhuťování) je zvýšit objemovou energetickou hustotu paliva – kolik energie se vejde do 1 m³. Volné piliny nebo štěpka mají nízkou sypanou hustotu a špatně se dávkují, přepravují a skladují.

Peletizace přináší tyto výhody:

- Zvýšení objemové hustoty: Pelety mají sypanou hustotu 550–700 kg·m⁻³ oproti 80–150 kg·m⁻³ volné štěpky. Stejně množství energie zabírá 4–6× menší objem.
- Vyšší homogenita: Pravidelný tvar, podobný rozměr a lepší tokové vlastnosti umožňují přesné automatické dávkování do kotlů.
- Lepší manipulace: Pelety se dobře dopravují šnekovými dopravníky a pneumatickými systémy, což je klíčové pro automatizaci.
- Snížení vlhkosti: Peletizační proces při správných podmínkách dále snižuje vlhkost paliva.
- Standardizace: Pelety za určitých okolností mohou splňovat parametry porovnatelné s komerčně dostupnými dřevními peletami, což umožňuje obchodování a záruky kvality.



Obrázek 12 Znárodnění procesu výroby pelet

7.2 Příprava vstupního materiálu

Kvalita vstupního materiálu rozhoduje o stabilitě peletizačního procesu, energetické náročnosti lisování i o výsledné kvalitě pelet.

7.2.1 Velikost částic

Pro peletizaci je požadována jemná a relativně homogenní frakce. U pelet s průměrem 6–8 mm má být maximální rozměr zpracované piliny/štěpky přibližně 3–3,5 mm. Velikost vstupních částic by neměla přesáhnout 1/5 průměru výsledné pelety.

Příliš hrubé částice mohou narušovat soudržnost pelet a zhoršovat stabilitu procesu, zatímco nadměrně jemný podíl může zvyšovat prašnost a zhoršovat tokové vlastnosti v zásobnících.

7.2.2 Vlhkost vstupního materiálu

Obsah vody výrazně ovlivňuje plasticitu biomasy při lisování. V rámci experimentálního ověření bylo zjištěno, že pro peletizaci křídlatky je vhodná vlhkost přibližně 14 %. Této hodnoty bylo dosaženo řízeným zvlhčením nadrceného materiálu vodou a homogenním promícháním.

Stav vlhkosti	Vliv na peletování	Řešení
Příliš nízká (< 8 %)	Roste tření v matrici, praskání pelet, vyšší odrol	Kondicionování vodou / párou
Optimální (10-15 %)	Stabilní proces, pevné pelety, nízký odrol	Udržování stavu
Příliš vysoká (> 18 %)	Měkké pelety, deformace, zanášení matrice	Dosušení materiálu

Tabulka 7.1: Vliv vlhkosti na proces peletizace

7.2.3 Kondicionování před lisováním

Kondicionování je krok, jehož cílem je zlepšit zpracovatelnost materiálu v matrici. Nejčastěji jde o napařování vstupního materiálu horkou párou nebo přidání vody rozprašováním a intenzivní promíchání.

Cílem je vytvořit tenký film vlhkosti na povrchu částic. Tento film může snížit odpor toku materiálu v kanálcích matrice, snížit tření a špičkové zatížení lisu a zároveň podpořit tvorbu pevnějších vazeb mezi částicemi.

✓ Kondicionování NENÍ náhrada sušení. Pokud je materiál celkově příliš vlhký, kondicionování situaci nezachrání – pelety se budou deformovat a drobit.

7.3 Technologie peletizačního procesu

7.3.1 Typy lisů

Peleta vzniká na protlačovacím matricovém lisu. Podle tvaru matrice rozlišujeme dva základní typy:

- Diskové (ploché) lisu: Základ tvoří horizontálně uložená plochá kruhová matrice, po které se odvalují dva až čtyři válce. V minulosti využívané pro granulovaná krmiva, vhodné pro menší linky.
- Prstencové lisu: Konstrukčně složitější, ale výkonnější. Matrice má tvar prstence a rotuje. Dva nebo tři válce se otáčejí uvnitř prstence. Používané v průmyslových linkách pro vyšší výkon a stabilnější provoz.

V rámci experimentálního ověření byl použit peletovací lis vybavený rotační matricí s otvory o průměru 6 mm. Během procesu dvojice přítlačných válců vtlačovala připravený materiál do otvorů matrice, kde docházelo k jeho zhutnění.



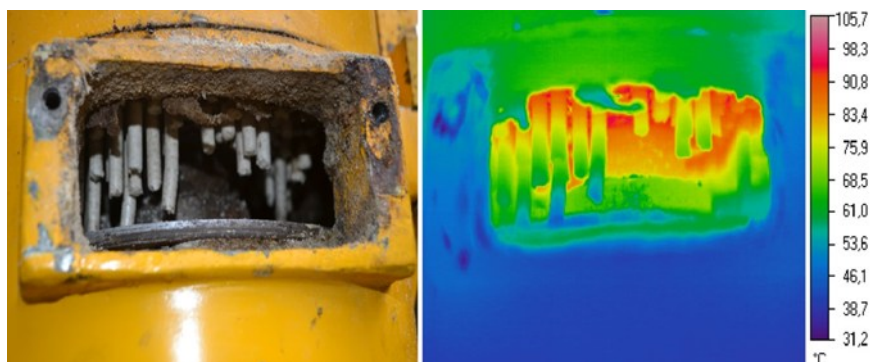
Obrázek 13 Peletizační lis

7.3.2 Teplota při peletizaci

Teplota je při peletizaci zásadní, protože ovlivňuje tření v kanálku, viskoelastické chování lignocelulóзовých polymerů a výslednou mechanickou odolnost. Teplo vzniká zejména třením mezi materiálem a stěnou lisovacího kanálku. Podle literatury (Stelte et al., 2012):

- Teplota matrice při ustáleném provozu: $\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Teplota pelety při výstupu z matrice: $\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Lignin v biomase působí jako přirozené pojivo – při zvýšené teplotě dochází k jeho plastifikaci a vytvoření soudržných vazeb v peletách. U bylinných biomas (včetně křídlatky) je obsah ligninu nižší než u dřevní biomasy, což může ovlivnit mechanickou pevnost pelet.



Obrázek 14 Termografická analýza teploty pelet při lisování

7.3.3 Aditiva při peletizaci

Aditiva se používají, když je surovina hůře peletovatelná nebo když je požadována vyšší mechanická odolnost. Čtyři hlavní kategorie:

- Aditiva na bázi křemičitanů hlinitých (kaolin, halloyzit, zeolit): Snižují emise škodlivých částic a spékání popela během spalování. Kaolin váže alkalické sloučeniny v popelu, čímž vytváří sloučeniny s vyšší teplotou tání.
- Aditiva na bázi síry (síran amonný, síran hlinitý): Snižují tvorbu chloridů alkalických kovů. Po přidání rostou koncentrace oxidů síry ve spalínách, ale klesají oxidy dusíku.
- Aditiva na bázi vápníku (vápno, vápenec): Reagují s HCl a oxidy síry. Efektivní při redukcí vzniku strusky ve spalovacích systémech.
- Aditiva na bázi fosforu (kyselina fosforečná): Fosfor reaguje s draslíkem za vzniku fosfátů s vyšší teplotou tání. Vhodné pro paliva s vysokým podílem křemíku a draslíku.

⚠ Pro komunální projekty je vhodné upřednostnit technologická řešení (správná vlhkost, frakce, vhodná matrice) před chemickými zásahy, pokud k tomu není konkrétní technologický důvod.

7.4 Hodnocení kvality vyrobených pelet z křídlatky

Po dokončení peletizace byly výsledné pelety z křídlatky podrobeny sérii mechanicko-fyzikálních zkoušek. Hodnoceny byly: sypaná hustota, měrná hustota, tvrdost, mechanická odolnost (index PDI), voděodolnost (Wettability Index) a sypaný úhel.

7.4.1 Voděodolnost (Wettability Index – WI)

Voděodolnost pelet byla hodnocena pomocí ukazatele Wettability Index, který vyjadřuje míru nasákavosti pelet při krátkodobém kontaktu s vodou. Každá peleta byla ponořena na 30 sekund do destilované vody při teplotě 27 °C a měřila se změna hmotnosti.

Každý typ pelet byl měřen desetkrát. Výsledky:

Parametr	Pelety křídlatky	Dřevní pelety (ref.)
WI – průměr (%)	26,0 %	61,92 %
Směrodatná odchylka	Nižší	Vyšší
Interpretace	Vyšší odolnost vůči navlhnutí	Vyšší nasákavost

Tabulka 7.2: Výsledky měření Wettability Index (VŠB-TUO)

Pelety z křídlatky absorbovaly během zkoušky výrazně menší množství vody – jejich průměrná nasákavost byla méně než poloviční. To naznačuje vyšší odolnost vůči zmáčení, což je výhodné při skladování.

7.4.2 Tvrdost pelet

Tvrdost pelet byla stanovena pomocí zařízení KAHL Pellet-Härtetester 12–24 V DC. Průměrné výsledky studovaných pelet jsou shrnuty v tabulce níže.

Parametr	Pelety křídlatky	Dřevní pelety (ref.)
Tvrdość – průměr (kg)	9,6 kg	45,5 kg
Poměr	Reference	4,7× vyšší
Důsledky pro praxi	Je nutná šetrnější manipulace	Odolné vůči běžné manipulaci

Tabulka 7.3: Výsledky měření tvrdosti pelet (VŠB-TUO)

Nižší tvrdost pelet z křídlatky znamená vyšší pravděpodobnost poškození během manipulace, transportu nebo skladování. V provozní praxi se tento jev může projevit vyšší tvorbou drobných částic a zvýšenou prašností. To naznačuje potřebu šetrnější manipulace nebo optimalizace technologických podmínek výroby.

7.4.3 Měrná hustota pelet

Měrná hustota byla stanovena experimentálně pomocí zařízení Mettler Toledo ML_DNY-43 na principu Archimédova zákona.

Materiál	Měrná hustota ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Hodnocení
Pelety křídlatky	1,13 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Dostatečná kompaktnost (> 1.0)
Dřevěné pelety (reference)	1,30 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Vyšší kompaktnost
Rozdíl	-0,17 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Nižší u křídlatky o ~13 %

Tabulka 7.4: Měrná hustota pelet (VŠB-TUO)

Navzdory nižší kompaktnosti ve srovnání s dřevními peletami dosahují pelety z křídlatky hustoty > 1 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, což potvrzuje jejich dostatečnou kompaktnost pro praktické energetické využití.

7.5 Briketování

Briketování je zhutňování biomasy tlakem do většího produktu, než jsou pelety (typicky průřez 50–100 mm). Brikety se používají tam, kde není nutné jemné automatické dávkování nebo při ručním přikládání. Z hlediska principu je briketování analogické peletizaci:

- Požadavek na relativně stabilní vlhkost a frakci (zpravidla méně přísné než u pelet)
- Citlivost na příměsi (minerální částice, kov)
- Kvalita briket se posuzuje pevností, drobivostí a stabilitou tvaru – pádovým testem, vizuální kontrolou.

Pro obecní praxi: briketování může být ekonomicky výhodnější než peletizace při menších objemech biomasy, jelikož technologie je jednodušší a levnější. Nevýhodou je horší automatizovatelnost dávkování.

8. ENERGETICKÉ VLASTNOSTI BIOMASY KŘÍDLATKY

8.1 Základní palivové charakteristiky

Biomasa je z hlediska energetického využití velmi různorodá skupina paliv. Její chování při spalování nebo při jiných termochemických procesech závisí na původu (dřevní biomasa vs. fytomasa), podmínkách sklizně a skladování, míře znečištění inertními příměsemi a způsobu mechanické úpravy.

Základní vlastnosti sledované u biomasy:

- Energetické vlastnosti: spalné teplo, výhřevnost
- Fyzikální vlastnosti: vlhkost, sypná/objemová hustota, homogenita frakce
- Chemické a termické vlastnosti: obsah popela, prchavých látek, fixního uhlíku, elementární složení C, H, N, S, tavitelnost popela

8.2 Výhřevnost a spalné teplo křídlatky

Pro stanovení spalného tepla byl použit kalorimetr LECO AC500 vybavený kalorimetrickou bombou. Měření probíhala v kontrolovaném prostředí. Pro každou frakci byla provedena 3–5 měření.



Obrázek 15 Kalorimetr LECO AC 500 pro stanovení spalného tepla

Typ vzorku / frakce	Vlhkost (%)	Spalné teplo (MJ/kg)	Výhřevnost (MJ/kg)
Směs pilin a větších kusů (Vz.1–5)	2,53–3,79	18,33–19,76	Průměr 17,71
Větší kusy (Vz.6–9)	3,47–3,79	15,89–18,24	Průměr 15,86
Pilinový prach (Vz.10–12)	3,75	17,63–19,51	Průměr 17,42
Smrková štěpka (ref.)	3,42	19,32	17,77
Dřevěné pelety (lit.)	8	19,5	17,5
Sláma (dosl.)	10	15,5	~15,0

Tabulka 8.1: Výhřevnost různých frakcí biomasy křídlatky (UNIZA, 2025)

Výsledky potvrdily, že biomasa křídlatky japonské dosahuje výhřevnosti porovnatelné se smrkovou štěpkou a dřevními peletami. Jemná frakce (prach) vykazovala vyrovnanější vlhkost a tím i stabilnější hodnoty výhřevnosti. Průměrná výhřevnost křídlatky japonské je $17,71 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

8.3 Elementární složení (C, H, N, S)

Elementární analýza stanovuje podíl uhlíku, vodíku, dusíku a síry. Měření probíhalo spalováním vzorku při vysoké teplotě pomocí přístrojů LECO CHN 626 a LECO 628 S.



Obrázek 16 Elementární analyzátor pro stanovení C, H, N, S

Parametr	Křídlatka japonská	Smrková štěpka	Sláma	Relevance
Uhlík C (%)	$46,0 \pm 2,4$	50,05	38,7	Nositel energie
Vodík H (%)	$5,76 \pm 0,38$	5,90	3,6	Nositel energie
Dusík N (%)	0 (nedetekované)	0,2	0,64	Tvorba NOx
Síra S (%)	$0,058 \pm 0,065$	0,37	0,19	Tvorba SO ₂ , koroze
Popel A (%)	$4,77 \pm 1,43$	0,5	6,0	Odpad, spékání

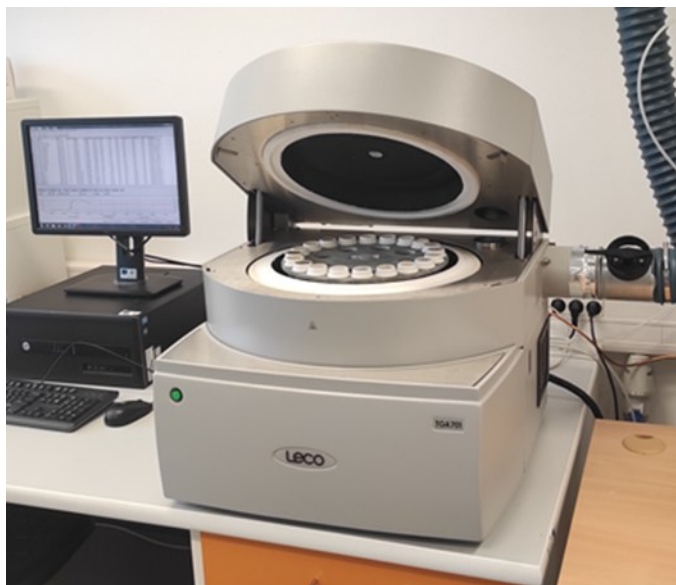
Tabulka 8.2: Porovnání elementárního složení různých typů biomasy (UNIZA, 2025; lit.)

Klíčová zjištění z elementární analýzy:

- Obsah uhlíku (46,0 %) je nižší než u smrkové štěpky (50,05 %), ale vyšší než u slámy (38,7 %).
- Obsah dusíku je nulový, což je příznivé z hlediska tvorby NOx při spalování.
- Obsah síry (0,058 %) je výrazně nižší než u smrkové štěpky (0,37 %), což je překvapivý výsledek naznačující nízké riziko koroze a tvorby SO₂.
- Obsah popela (4,77 %) je výrazně vyšší než u smrkové štěpky (0,5 %), což je typické pro bylinné biomasy. Vyšší popel zvyšuje nároky na čištění kotle a zvyšuje riziko spékání, zejména při alkalickém složení popela.

8.4 Termogravimetrická analýza (TGA)

TGA byla provedena pomocí přístroje LECO TGA 701. Výsledky termogravimetrické analýzy jsou znázorněny v následující tabulce.



Obrázek 17 Termogravimetrický analyzátor pro stanovení obsahu prchavé hořlaviny, pevného uhlíku a popela

Prvek	Průměr (%)	Směrodatná odchylka	RSD (%)
Vlhkost	6,12	0,673	11
Prchavé látky	72,7	2,55	3,51
Popel	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 popel	4,77	1,43	30

Tabulka 8.3: Výsledky termogravimetrické analýzy křídlatky japonské (UNIZA, 2025)

Vysoký podíl prchavé hořlaviny (72,7 %) je typický pro bylinné biomasy a znamená rychlé uvolňování plynů v první fázi hoření. Pevný uhlík (16,7 %) dohořívá pomaleji a vyžaduje dostatečný přívod sekundárního vzduchu. Kolísavý obsah popela (RSD 29,8 %) poukazuje na nerovnoměrné složení materiálu v různých vzorcích.

8.5 Popel – složení a provozní dopady

Složení popela křídlatky japonské má silikátově-alkalický charakter, typický pro bylinné biomasy. Z analýzy strusky ze zplyňování:

Složka	Obsah (hm. %)	Provozní dopad
SiO ₂ (křemík)	58,4 %	Tvorba silikátových nánosů při spalování
K ₂ O (oxid draselný)	15,3 %	Nízká teplota tavení, spékání roštu
CaO (oxid vápenatý)	10,2 %	Stabilizační efekt
MgO (oxid horečnatý)	4,1 %	Nízký vliv
P ₂ O ₅ (oxid fosforečný)	2,5 %	Reakce s K při spalování
Fe ₂ O ₃ (oxid železitý)	1,8 %	Nízký vliv
Na ₂ O, Al ₂ O ₃ , ostatní	~7,7 %	Různé vlivy

Tabulka 8.4: Chemické složení strusky/popela z křídlatky (UNIZA, 2025)

Klíčové provozní dopady vysokého obsahu draslíku (K₂O = 15,3 %):

- Nízká teplota začátku tavení popela – riziko spékání roštu, spalovací komory a výměníku tepla.
- Alkalické sloučeniny draslíku (KCl, K₂SO₄) jsou korozivní pro kovové části kotle při vyšších teplotách.
- Doporučení: Míchat biomasu křídlatky s dřevní biomasou (nízký K) v poměru max. 30:70. Používat aditiva na bázi křemičitanů hlinitých (kaolin).

8.6 Teplota tavitelnosti popela

Teplota tavitelnosti popela je klíčovým parametrem pro navrhování spalovacích zařízení. Sledují se čtyři charakteristické teploty:

- DT (Deformation Temperature – začátek deformace zkušebního tělíška)
- ST (Softening Temperature – měknutí)
- HT (Hemispherical Temperature – hemisférická teplota)
- FT (Flow Temperature – tečení)

Bylinné biomasy s vysokým obsahem draslíku a křemíku mají typicky nižší teploty tavitelnosti popela (DT: 900–1100 °C) ve srovnání s dřevní biomasou (DT: > 1200 °C). To je nutné zohlednit při výběru spalovacího zařízení a nastavení provozních teplot.

9. ENERGETICKÉ VYUŽITÍ I – SPALOVÁNÍ

9.1 Spalování biomasy – základy

Spalování je chemická reakce, při které se palivo spojuje s kyslíkem obsaženým ve vzduchu za vzniku tepla, oxidu uhličitého, vodní páry a dalších produktů hoření – nazývaných spalinami. Efektivita tohoto procesu výrazně závisí na kvalitě paliva, množství a rozložení přívodu vzduchu, jakož i na typu spalovacího zařízení.

Spalování alternativních tuhých paliv (ATP) v malých zdrojích tepla přináší potenciál pro snižování závislosti na fosilních palivech, ale přináší i více výzev:

- Zvýšená produkce TZL a škodlivých plynů – spalování nehomogenních paliv vede k nedokonalému hoření.
- Nízká účinnost spalovacího zařízení – alternativní paliva mají nepředvídatelné složení.
- Zdravotní rizika spojená s emisemi – PM_{2,5}, CO, NO_x a VOC.
- Provozní komplikace – zanášení výměníků, spékání roštu, ucpávání dávkovačů.

9.2 Emise ze spalování biomasy

9.2.1 Oxid uhelnatý (CO)

Bezbarvý, toxický plyn bez zápachu a chuti, vznikající při neúplném spalování uhlíku v důsledku nedostatečného přívodu kyslíku nebo nestabilních teplotních podmínek. Výhřevnost CO je přibližně 12,6 MJ·m⁻³, avšak jeho přítomnost v ovzduší je nežádoucí kvůli neurotoxickým a dusivým účinkům na lidský organismus.

9.2.2 Oxidy dusíku (NO_x)

Skupina plyných sloučenin dusíku a kyslíku, vznikajících při vysokých spalovacích teplotách. Přispívají k tvorbě fotochemického smogu a kyselých dešťů. Rozlišujeme tři typy:

- Termické NO_x: při teplotách > 1 000 °C oxidací atmosférického dusíku.
- Palivové NO_x: oxidací dusíkatých sloučenin v palivu – dominantní při spalování biomasy.
- Rychlé NO_x (prompt NO_x): v plamenném frontu při spalování uhlovodíků.

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

Mikroskopické pevné částice vznikající jako produkt mechanické dezintegrace paliva a nedokonalého spalování. Mají vysoký vliv na zdraví – pronikají hluboko do dýchacích cest a mohou být nositeli dalších toxických látek (těžké kovy, dioxiny).

9.2.4 Emisní limity podle STN EN 303-5

Jmenovitý výkon (kW)	CO třída 1 (mg/m ³)	CO třída 2 (mg/m ³)	CO třída 3 (mg/m ³)	TZL (mg/m ³)
do 50 (ruční dáv.)	25 000	8 000	5 000	200
50–150 (ruční 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

Tabulka 9.1: Emisní limity CO a TZL pro malé kotle (STN EN 303-5)

9.3 Metodika experimentálních měření

Měření probíhala se zohledněním typických podmínek provozu kotlů na biomasu v domácnostech. Každé z měření trvalo 30 minut.

Měření	Podávání(s)	Pauza(s)	Ventilátor	Průtok (m ³ /s)	Skupina
1	40	5	1	0,058	Bez odlučovače
2	40	10	1	0,057	Bez odlučovače
3	Kontinuální	–	2	0,078	Bez odlučovače
4	Kontinuální	–	3	0,095	Bez odlučovače
5	40	10	2	0,085	Bez odlučovače
6	40	5	2	0,081	Bez odlučovače
7	40	10	1	0,059	S odlučovačem
8	40	10	2	0,084	S odlučovačem
9	Kontinuální	–	2	0,080	S odlučovačem
10	Kontinuální	–	3	0,099	S odlučovačem

Tabulka 9.2: Plán experimentálních měření spalování ATP z křídlatky

Plynné emise byly měřeny pomocí analyzátoru spalin ABB AO2020. Všechny hodnoty byly přepočítány na referenční obsah kyslíku (O₂) 10 % v souladu s normou STN EN 303-5. Měření TZL probíhalo pomocí zařízení Tecora Isostack Basic metodou izokinetického odběru v souladu s normou STN EN 16510-1.

9.4. Výsledky měření plynných emisí

Výsledky měření CO:

Měření	Hmotnost paliva (kg)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO (mg/m ³ při 10 % O ₂)	NO _x (mg/m ³ při 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

Tabulka 9.3: Výsledky měření plynných emisí bez elektrostatického odlučovače (UNIZA, 2025)

Interpretace výsledků CO:

- Hodnoty CO (8 807 – 14 053 mg·m⁻³) výrazně překračují emisní limity pro všechny třídy STN EN 303-5. Pro srovnání: dřevní štěpka dosahuje 628–952 mg·m⁻³.
- Nejnižší hodnota CO (8 807 mg·m⁻³) byla dosažena při přerušovaném dávkování (40 s/10 s) a nejnižším nastavení ventilátoru (1), což odpovídá průtoku ~0,078 m³/s.
- Zvýšení rychlosti ventilátoru z nastavení 1 na nastavení 2 zvýšilo CO z 8 807 na 13 367 mg·m⁻³. Naznačuje spalování s přebytkem vzduchu, který ochlazuje spalovací prostor.

Interpretace výsledků NO_x:

- Hodnoty NO_x (323–438 mg·m⁻³) jsou výrazně vyšší než u dřevní štěpky.

9.5 Výsledky měření pevných znečišťujících látek (TZL)

Měření	Dávkování	Ventilátor	TZL bez odlučovačů (mg/m ³)	TZL s odlučovačem (mg/m ³)
1	40s/5s	1	536	–
2	40s/5s	2	710	–
3	40s/10s	1	572	–
4	Kontinuálně	2	678	–
5	Kontinuálně	3	863	–
6	40s/10s	2	486	–
7	40s/10s	1	–	50
8	40s/10s	2	–	234
9	Kontinuálně	2	–	117
10	Kontinuálně	3	–	327

Tabulka 9.4: Výsledky měření TZL při spalování ATP z křídlatky (UNIZA, 2025)

Klíčové závěry z měření TZL:

- Bez odlučovače: TZL 486–863 mg·m⁻³ – výrazně nad emisními limity STN EN 303-5 (150–200 mg·m⁻³). Pro srovnání: dřevní štěpka dosahuje 50 mg·m⁻³, sláma 65 mg·m⁻³.
- S elektrostatickým odlučovačem: TZL klesají na 50–327 mg·m⁻³ – snížení o více než 70 %. Nejlepší výsledek (50 mg·m⁻³) při přerušovaném dávkování a nízké intenzitě ventilátoru.
- Závěr: Spalování ATP z křídlatky vyžaduje použití odlučovače TZL jako nezbytné technologické opatření.

9.6 Tepelný výkon a účinnost spalování

Měření	Hmotnost (kg)	Tepelný výkon (kW)	Účinnost (%)
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./ventil.2)	1,8	7,04	37
5 (kont./ventil.3)	1,7	6,31	37
6 (40s/10s/vent.2)	1,7	4,22	31

Tabulka 9.5: Výstup tepla a účinnost spalování bez odlučovače (UNIZA, 2025)

Tepelný výkon se pohyboval v rozmezí 4,2 – 7,0 kW. Nejvyšší výkon byl dosažen při kontinuálním dávkování a intenzivnějším přívodu vzduchu. Účinnost spalování kolísala mezi 26–43 %, což je výrazně méně než u standardních dřevních biomas (80–90 %). Nižší účinnosti jsou spojeny s vyšší produkcí CO a TZL – energie „uniká“ v nespálených složkách.

✓ Závěr: ATP z křídlatky japonské je použitelné jako palivo, ale jeho spalování vyžaduje optimalizaci kotle (přerušované dávkování, nižší přívod vzduchu) a elektrostatický odlučovač TZL. Bez těchto opatření emise překračují platné limity STN EN 303-5.

10. ENERGETICKÉ VYUŽITÍ II – ZPLYŇOVÁNÍ

10.1 Princip a výhody zplyňování

Zplyňování biomasy představuje pokročilou technologii termochemické přeměny pevného paliva na energeticky využitelný plyn. Na rozdíl od přímého spalování, při kterém dochází k úplné oxidaci paliva na oxid uhličitý a vodu, probíhá při zplyňování pouze částečná oxidace biomasy při omezeném přístupu kyslíku nebo jiného oxidačního činidla. Výsledkem procesu je vznik hořlavé plyné směsi označované jako syntézní plyn (syngas).

Syntézní plyn je směs několika hořlavých plynů, zejména oxidu uhelnatého (CO), vodíku (H₂) a metanu (CH₄), doplněná oxidem uhličitým, vodní párou a případně dusíkem. Tento plyn je možné využít jako energetické médium například pro výrobu tepla a elektřiny v kogeneračních jednotkách.

Technologie zplyňování umožňuje zpracování širokého spektra biomasy, například dřevní štěpky, pelet, zemědělských zbytků nebo různých druhů bylinné biomasy. Díky tomu představuje flexibilní řešení pro energetické využití lokálně dostupných zdrojů.

Zplyňování je obecně považováno za technologii vhodnou zejména pro decentralizované energetické systémy. Ve srovnání s přímým spalováním je však tento proces citlivější na kvalitu paliva a stabilitu provozu, a proto vyžaduje důkladný návrh i kontrolu technologických podmínek.

Výhody zplyňování oproti přímému spalování:

- Možnost využití syntézního plynu v kogeneračních jednotkách pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny.
- • Nižší emise tuhých látek – popel zůstává v reaktoru jako struska.
- • Možnost čištění syntézního plynu před spalováním – flexibilnější řízení emisí.
- • Vhodné pro decentralizovanou energetiku malých obcí a průmyslových areálů.

10.2 Příprava paliva pro zplyňování

Požadavky na vlastnosti paliva závisí na typu zplyňovacího zařízení. Pro účely experimentálního zplyňovacího zařízení, které je součástí infrastruktury VŠB-TUO, bylo nutné použít palivo ve formě pelet.

Použití pelet jako vstupního paliva bylo dáno zejména požadavky na stabilní dávkování, homogenní složení a reprodukovatelné procesní podmínky. Experimentální zplyňovací jednotka využívá šnekové dávkování paliva a pracuje v režimu aloterního zplyňování, kde je stabilita průtoku a rovnoměrnost paliva klíčová pro udržení teplotního profilu a reakčních podmínek v reaktoru. Pelety zároveň vykazují výrazně vyšší sypanou hustotu a lepší tokové vlastnosti ve srovnání s nadrcenou biomasou, což minimalizuje riziko tvorby kleneb v zásobnících a zajišťuje plynulý chod zařízení.

Požadavky na vstupní palivo použité v provedeném výzkumu:

- Vlhkost: < 20 % (optimálně 15 %)

V experimentálních podmínkách byla požadována vlhkost paliva do 20 %, přičemž naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezí 10–12 %. Tento rozsah je z hlediska zplyňování vhodný, jelikož vyšší vlhkost zhoršuje tepelnou bilanci procesu a vede k poklesu teploty v reaktoru, což může nepříznivě ovlivnit kvalitu plynu. Naopak velmi nízká vlhkost může negativně ovlivnit mechanické vlastnosti pelet a jejich chování při dávkování.

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

Velikost a homogenita částic jsou klíčové pro stabilní průběh zplyňování. V případě pelet je zajištěna jednotná geometrie (typicky průměr 6 mm), což umožňuje přesné dávkování pomocí šnekového dopravníku a rovnoměrný průběh reakcí v reaktoru. Nehomogenní nebo příliš jemná frakce by mohla vést k nestabilnímu proudění plynů a kolísání reakčních podmínek.

10.3 Průběh experimentálního zplyňování

Po počáteční fázi náběhu systému, která zahrnovala postupné zahřívání reaktoru na požadovanou provozní teplotu, došlo k ustálení procesních podmínek. Po dosažení teploty přibližně 950 °C a zavedení paliva do reaktoru se systém postupně stabilizoval, přičemž přechod do ustáleného režimu byl pozorován přibližně po několika desítkách minut provozu. V této fázi se teplotní profil reaktoru vyznačoval jen mírnými oscilacemi, které jsou typické pro dynamicky řízené termochemické procesy.

Stabilní teplotní režim je klíčový pro správný průběh redukčních reakcí, které determinují konečné složení syntézního plynu. Kolísání teploty může vést ke změně rovnováhy mezi jednotlivými reakčními mechanismy, zejména mezi tvorbou CO, H₂ a CO₂, a tím ovlivnit výhřevnost plynu i tvorbu vedlejších produktů, jako jsou dehty.

Z hlediska tlakových poměrů byl proces realizován za téměř atmosférických podmínek, přičemž tlak v reaktoru kolísal v rozmezí přibližně ± 5 kPa. Tyto mírné tlakové fluktuace souvisejí zejména se změnami objemového toku plynů, dávkováním paliva a dynamikou reakcí v reaktoru. Navzdory těmto oscilacím byl proces z hlediska tlaku považován za stabilní, bez výskytu nežádoucích výkyvů, které by mohly ohrozit bezpečnost nebo kontinuitu provozu.

Dávkování paliva bylo realizováno kontinuálně pomocí šnekového dopravníku s regulací otáček, což umožnilo přesné řízení hmotnostního toku biomasy do reaktoru. Současně s palivem byla do reakčního prostoru přiváděna vodní pára jako zplyňovací médium. Poměr pára/palivo byl nastaven na hodnotu 1 : 1.

Samotný proces zplyňování probíhal typicky po dobu přibližně dvou hodin, přičemž během této doby byla zpracována celá vsázka paliva. Ukončení procesu bylo indikováno poklesem koncentrací hlavních hořlavých složek syntézního plynu (CO, H₂) a současným nárůstem podílu inertního dusíku, což signalizovalo vyčerpání reaktivní složky paliva.



Obrázek 18 Zplyňovací jednotka VŠB-TUO

Parametry procesu zplyňování:

- Teplota zplyňování: 950 °C
- Dávkování paliva: 20 kg/h
- Množství oxidačního média – poměr páry k palivu: 1:1
- Tlak: ± 5 kPa

Hlavní chemické reakce při zplyňování:

- Reakce vodního plynu: $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ ($\Delta H = +131$ kJ/mol)
- Boudouardova reakce: $C + CO_2 \rightarrow 2 CO$ ($\Delta H = +172$ kJ/mol)
- Reakce posunu vodního plynu: $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ ($\Delta H = -41$ kJ/mol)
- Metanizace: $C + 2H_2 \rightarrow CH_4$ ($\Delta H = -74$ kJ/mol)

10.4 Složení syntézního plynu

Složení syntézního plynu bylo sledováno kombinací kontinuální online analýzy a detailní laboratorní analýzy pomocí plynové chromatografie s hmotnostní detekcí (GC/MS). Online analýza umožnila sledovat okamžité změny koncentrací jednotlivých plynných složek v reálném čase, zatímco GC/MS poskytla přesnější kvantitativní údaje a umožnila stanovit reprezentativní průměrné složení plynu v ustáleném režimu.

V experimentálním zařízení byl jako ionizační a transportní médium použit dusík, který se nepodílí na chemických reakcích zplyňování. Jeho přítomnost však významně ovlivňuje interpretaci výsledků, protože snižuje relativní koncentrace aktivních plynných složek a zároveň vede ke snížení objemové

výhřevnosti syntézního plynu. Z tohoto důvodu byl proveden také přepočít složení syntézního plynu bez započítání dusíku, který umožňuje lépe posoudit skutečné chemické složení reakčního produktu.

Plynná složka	Obsah s N ₂ (vol. %)	Obsah bez N ₂ (sv. %)	Energetická hodnota
Vodík (H ₂)	~30–40	~40–50	10,79 MJ/m ³
Oxid uhelnatý (CO)	~25–30	~30–40	12,63 MJ/m ³
Metan (CH ₄)	~3–6	~4–7	35,88 MJ/m ³
Oxid uhličitý (CO ₂)	~5–10	~5–15	Inertní
Dusík (N ₂) – nosný plyn	~20–30	0 (přepočít)	Inertní

Tabulka 10.1: Složení syntézního plynu ze zplyňování křídlatky (VŠB-TUO)

Zjištěné složení syntézního plynu odpovídá typickému produktu vznikajícímu při parním zplyňování lignocelulóznové biomasy. Charakteristický je vysoký podíl vodíku, střední podíl oxidu uhelnatého a relativně vyšší obsah CO. Takový plyn lze zařadit mezi plyny střední výhřevnosti, vhodné pro energetické využití v kogeneračních jednotkách nebo jako meziproduct pro další chemické konverze (např. výroba vodíku nebo syntetických paliv).

10.5 Výhřevnost syntézního plynu

Výhřevnost syntézního plynu představuje jeden z nejdůležitějších parametrů při hodnocení energetického potenciálu procesu zplyňování. Tento parametr udává množství energie, které je možné získat spalováním jednotky objemu plynu, a přímo tak ovlivňuje možnosti jeho následného energetického využití.

V rámci provedených experimentů byla výhřevnost syntézního plynu stanovena na základě jeho naměřeného složení. Nejprve byly analyzovány objemové koncentrace jednotlivých složek plynu a následně byla výhřevnost vypočtena pomocí známých hodnot spalného tepla jednotlivých plynných komponentů.

Výsledky výpočtu ukázaly, že výhřevnost produkovaného syntézního plynu dosahovala hodnoty přibližně 6,3 MJ·m⁻³, zatímco spalné teplo představovalo přibližně 7,5 MJ·m⁻³. Po přepočtu na plyn bez přítomnosti dusíku vzrostla výhřevnost až na 8,3 MJ·m⁻³.

Parametr	Hodnota	Porovnání
Výhřevnost (s N ₂)	~6,3 MJ/m ³	~18 % zemního plynu
Spalné teplo (s N ₂)	~7,5 MJ/m ³	~19 % zemního plynu
Výhřevnost (bez N ₂)	~8,3 MJ/m ³	~24 % zemního plynu
Spalné teplo (bez N ₂)	~9,8 MJ/m ³	~25 % zemního plynu
Výhřevnost zemního plynu (ref.)	~33,88 MJ/m ³	Reference
Spalné teplo zemního plynu (ref.)	~38,81 MJ/m ³	Reference

Tabulka 10.2: Výhřevnost syntézního plynu (VŠB-TUO)

Tyto hodnoty odpovídají syntéznímu plynu střední výhřevnosti. Pro srovnání lze uvést, že výhřevnost zemního plynu se běžně pohybuje kolem 35–40 MJ·m⁻³. Přestože syntézní plyn dosahuje nižších hodnot, jeho energetický obsah je dostatečný pro využití v různých energetických aplikacích, například v kogeneračních jednotkách.

10.6 Obsah dehtů a jejich odstraňování

Jednou z hlavních technologických výzev při zplyňování biomasy jsou dehtové látky – komplexní směs organických sloučenin. Tyto látky mohou způsobovat zanášení potrubí, tvorbu usazenin a poškození zařízení, přičemž negativně ovlivňují i navazující technologie, jako jsou kogenerační jednotky, spalovací motory nebo turbíny.

Výsledky měření obsahu dehtů (Tar Protocol):

Parametr	Hodnota	Hodnocení
Koncentrace dehtu před čištěním	2 834 mg/mN ³	Vysoká (typické pro biomasu)
Koncentrace dehtu po čištění	~85 mg/mN ³	Výrazné snížení
Účinnost odstranění	> 97 %	Velmi dobrý výsledek

Tabulka 10.3: Výsledky měření obsahu dehtů (VŠB-TUO)

Identifikované hlavní složky dehtů: fenol (421,2 mg/mN³), naftalen (368,9 mg/mN³), methylfenoly (327,4 mg/mN³), inden + indan (283,4 mg/mN³), dibenzofurany (265,6 mg/mN³). Použitý systém čištění plynu dosahuje účinnosti > 97 %, což je vynikající výsledek z hlediska provozní spolehlivosti.

10.7 Chemické složení tuhého zbytku

Při zplyňování biomasy vzniká vedle syntézního plynu také pevný zbytek označovaný jako struska nebo popel. Tento materiál představuje koncentrovanou směs minerálních látek obsažených ve vstupní biomase. Chemické složení strusky může poskytovat důležité informace o chování anorganických složek biomasy během procesu zplyňování. Tyto složky mohou ovlivňovat například tvorbu nápeků nebo strusky v reaktoru a tím i dlouhodobou provozní stabilitu zařízení.

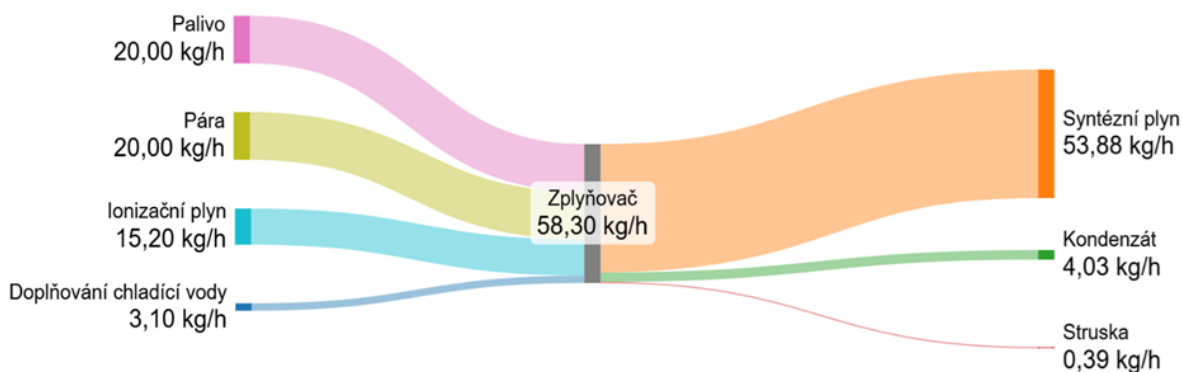
Vzorky strusky vzniklé během experimentů byly proto podrobeny chemické analýze, která umožnila stanovit zastoupení jednotlivých oxidů. Výsledky analýzy ukázaly, že struska měla výrazně silikátově-alkalický charakter, což je typické pro popely vznikající při zpracování bylinných biomas.

Dominantní složkou byl oxid křemičitý (SiO₂), jehož koncentrace dosahovala přibližně 58,4 %. Další významné složky představovaly oxid vápenatý (CaO – 10,2 %), oxid draselný (K₂O – 15,3 %) a oxid hořečnatý (MgO – 4,1 %). V menších koncentracích byly přítomny také další oxidy, například oxid fosforečný (P₂O₅ – 2,5 %) a oxid železitý (Fe₂O₃ – 1,8 %).

Z hlediska technologického provozu je klíčové zastoupení křemičitých a alkalických složek, přičemž vyšší obsah alkalických prvků (zejména K a Na) podporuje vznik nízkotavitelných sloučenin, což může vést ke spékání popela a tvorbě aglomerátů.

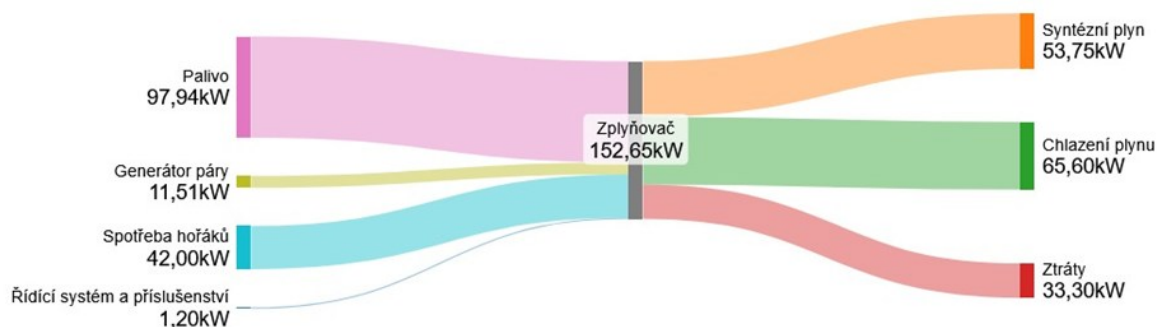
10.8 Materiálová a energetická bilance zplyňování

Pro komplexní posouzení efektivity zplyňovacího procesu byla stanovena materiálová a energetická bilance experimentu. Výsledky ukázaly, že dominantním produktem procesu byl syntézní plyn s produkcí přibližně 54 kg/h, který představoval hlavní výstup zplyňovacího procesu. Množství pevného zbytku ve formě strusky bylo relativně malé a tvořilo méně než 1 % hmotnosti vstupního paliva, zatímco kondenzát představoval přibližně 7 %.



Obrázek 19 Materiálová bilance procesu zplyňování křídlatky

Energetická bilance byla stanovena na základě výhřevnosti vstupního paliva a energie vázané v produkovaném syntézním plynu. Výpočty ukázaly, že přibližně jedna třetina celkového energetického vstupu byla převedena do chemické energie syntézního plynu. Zbývající část energie byla ztracena zejména ve formě tepelné energie odváděné chladicím systémem při chlazení plynu, jakož i tepelnými ztrátami do okolního prostředí.



Obrázek 20 Energetická bilance procesu zplyňování křídlatky

Celkové zhodnocení materiálové a energetické bilance ukazuje, že proces zplyňování probíhal stabilně s dominantní produkcí syntézního plynu a nízkým podílem tuhých zbytků, což naznačuje dobrý stupeň konverze paliva. Z energetického hlediska byla část energie efektivně převedena do syntézního plynu, avšak významné ztráty vznikaly ve formě odpadního tepla. To poukazuje na potenciál další optimalizace procesu a zvýšení jeho účinnosti.

11. ZÁVĚRY, DOPORUČENÍ A PERSPEKTIVY

11.1 Shrnutí hlavních zjištění projektu

Projekt komplexně zmapoval, analyzoval a metodicky rozpracoval problematiku křídlatky japonské v přeshraničním regionu Žilinský kraj (SR) – Moravskoslezský kraj (ČR) za období 2024–2026 a zhodnotil možnosti využití v energetických procesech spalování a zplyňování.

11.1.1 Ekologický management

- Invaze křídlatky dosáhla kritické úrovně v okolí Žiliny (uzel Váhu a Kysuce). Celková odhadovaná plocha výskytu v Žilinském kraji: > 120 ha v intenzivních ohniscích.
- Strategie EDRR zvyšuje úspěšnost eliminace na 92 % (vs. < 40 % u zanedbaných porostů).
- ROI preventivního monitoringu: 1:12 v horizontu 10 let. Toto číslo je klíčovým argumentem pro přesvědčení samospráv.
- Zaznamenán klimatický posun druhu do vyšších nadmořských výšek (> 700 m) a prodlužování vegetačního období.

11.1.2 Technologie zpracování biomasy

- Biomasa křídlatky je technologicky zpracovatelná celým řetězcem: sušení – drcení – mletí – peletizace.
- Optimální vlhkost pro peletizaci: 14 %. Výsledné pelety mají měrnou hustotu $1,13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a WI = 26 % (lepší voděodolnost než dřevní pelety).
- Nižší tvrdost pelet křídlatky vyžaduje šetrnější manipulaci ve srovnání s normovanými smrkovými peletami.

11.1.3 Energetické využití

- Výhřevnost biomasy křídlatky: průměr $17,71 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (porovnatelná se smrkovou štěpkou $17,77 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$).
- Spalování vyžaduje elektrostatický odlučovač TZL (snížení TZL o > 70 %) a optimalizaci dávkování.
- Křídlatka představuje vhodnou surovinu pro energetické využití formou zplyňování, s potenciálem pro produkci syntézního plynu využitelného v kogeneračních jednotkách.
- Parametry syntézního plynu jsou závislé na typu zařízení a provozních podmínkách; v daném případě byla dosažena výhřevnost přibližně $6,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ ($8,3 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ bez N_2), což představuje přibližně 18–25 % výhřevnosti zemního plynu.
- Před energetickým využitím je nezbytné zajistit účinné čištění syntézního plynu; požadovaná úroveň čištění závisí na konkrétní navazující technologii (např. kogenerační jednotky, motory, turbíny).
- Vysoká účinnost odstraňování dehtů (> 97 %) je výsledkem optimalizované konstrukce zařízení a pokročilého systému čištění na VŠB-TUO; u jiných zplyňovacích technologií nemusí být takové úrovně čištění dosaženo.
- Kritická výzva: vyšší obsah popela (4,77 %) a jeho alkalický charakter (K_2O 15,3 %) zvyšují sklon ke spékání a tvorbě nánosů, které mohou vést k zanášení reaktoru, potrubních tras a

navazujících zařízení; proto provoz vyžaduje vhodné konstrukční a provozní nastavení technologie.

11.2 Doporučení pro praxi

11.2.1 Pro samosprávy a komunitní energetiku

7. Implementovat EDRR systém: Vytvořit a pravidelně aktualizovat GIS databázi ohnisek. Realizovat monitoring min. 2× ročně (jaro, podzim) alespoň po dobu 5 let.
8. Surovinové zhodnocení: Sklízet biomasu v zimě pro energetiku (vlhkost < 25 %). V podzimním období realizovat ruční sběr oddenků pro farmaceutický trh.
9. Prevence: Implementovat povinný checklist pro stavební dozor při všech liniových stavbách v regionu. Zajistit dekontaminační stanice na každém staveništi v infikované oblasti.
10. Sociální podnikání: Zapojit sociální podniky do sběru a primárního zpracování biomasy. Vytvořit pracovní příležitosti pro znevýhodněné skupiny.
11. Přeshraniční koordinace: Pokračovat v koordinaci managementu v rámci celého povodí Váhu a Kysuce, nejen v rámci administrativních hranic.

11.2.2 Pro energetické využití

12. Spalování: Vždy používat elektrostatický odlučovač TZL. Optimalizovat dávkování (přerušované, < 40 s/10 s pauza). Zvážit míchání s dřevní biomasou (30:70) pro lepší výkon.
13. Peletizace: Dodržovat vlhkost 14 % před lisováním. Jemný dvoustupňový drticí proces. Šetrnější manipulace s hotovými peletami (nižší tvrdost).
14. Zplyňování: Vhodné pro obecní kogenerační jednotky. Nezbytné předčištění syngasu před spalováním. Sledování chemického složení strusky kvůli managementu alkalického popela.

11.3 Perspektivy a další výzkum

Biomasa křídlatky japonské představuje ekologickou zátěž, která může být transformována na ekonomickou příležitost. Identifikované perspektivní směry rozvoje:

- Farmaceutické využití: Extrakce resveratrolu z podzimních kořenů (koncentrace stoupá o 20–30 %). Cena resveratrolu na farmaceutickém trhu: 200–500 €/kg. Potenciál pro sociální podniky v regionu.
- Kosmetický průmysl: Extrakty z letních listů (chlorofyl, flavonoidy). Vývoj produktů pro anti-aging a zklidňující přípravky.
- Komunální energetika: Systémy pelety + kotel pro menší obce. Kogenerace (teplo + elektřina) na bázi zplyňování pro střední obce (> 3 000 obyvatel).
- Biologická kontrola: Monitorované testy s merou japonskou (*Aphalara itadori*) v podmínkách EU. Perspektivní pro střední Evropu po získání schválení.
- Bioplastika a biotextil: Výzkumná fáze – stonky křídlatky jako zdroj lignocelulózových vláken pro nové materiály.

Projekt prokázal, že invazní křídlatka japonská není jen ekologickým problémem, ale i potenciálním zdrojem. Klíčem k úspěchu je systémový přístup: koordinace managementu na úrovni povodí, technologická inovativnost a sociální inkluze při sběru a zpracování biomasy.

PŘÍLOHA A: CHECKLIST PRO STAVEBNÍ DOZOR

Tento checklist slouží jako závazná metodická pomůcka pro starosty, obecní architekty a pracovníky technických služeb při realizaci jakýchkoli stavebních prací v oblastech výskytu křídlatky japonské, v souladu se zákonem č. 150/2019 Sb. (SR)

A.1 Předprojektová a představební příprava

- Byla provedena pasportizace a mapování výskytu křídlatky v okolí 20 metrů od plánované stavby?
- Disponuje zhotovitel metodikou likvidace schválenou Státní ochranou přírody (ŠOP SR)?
- Jsou zemní práce plánovány tak, aby nekolidovaly s obdobím maximální vitality oddenků (duben–září) bez předchozího chemického ošetření?
- Byl vypracován plán nakládání s kontaminovanou zemínou a biomasou?
- Je zajištěna dekontaminační stanice pro výjezd strojů ze staveniště?

A.2 Opatření během realizace (zemní práce)

- Jsou v blízkosti vodních toků instalovány záchytné sítě nebo norné stěny proti splavení fragmentů stonků?
- Při úplném odstraňování – byla zemina vytěžena do hloubky minimálně 2–3 metry?
- Je kontaminovaná zemina oddělena od čisté ornice a označena jako nebezpečný odpad?
- Byly pod asfaltové vrstvy nebo základy použity UV stabilní geotextilie (min. 2 mm) s přesahem 2 m od okraje výskytu?
- Je vedena denní kniha prací v infikované oblasti (datum, rozsah prací, zpracovatel, metoda)?

A.3 Logistika a nakládání s odpadem

- Je přepravovaná biomasa a zemina v uzavřených kontejnerech nebo bezpečně zaplachtována?
- Je na výjezdu ze staveniště zřízeno místo pro vysokotlaké čištění (WAP, min. 120 bar) podvozků a kol strojů?
- Je zajištěno spalování biomasy na místě nebo odvoz na řízenou skládku (NE do obecního kompostoviště)?
- Je vedena evidence o nakládání s odpadem (druh, množství, cílové místo)?

A.4 Pooperační monitoring

- Je v plánu údržby stavby zakotven monitoring okolí (10–20 m) po dobu minimálně 3–5 let?
- Byl personál poučen o identifikaci dormantních výhonů (nanismus – výška < 50 cm, deformovaný tvar)?
- Je stanoven odpovědný pracovník za dlouhodobý monitoring lokality?
- Jsou výsledky monitoringu zaznamenávány a reportovány na ŠOP SR nebo obecní úřad?

PŘÍLOHA B: MANUÁL PRO OBCE – MANAGEMENT KŘÍDLATKY

Tento dokument slouží jako stručná a praktická metodická pomůcka pro starosty, obecní architekty a pracovníky technických služeb při řešení invaze křídlatky v souladu se zákonem č. 150/2019 Sb. (SR)

B.1 Legislativní minimum a odpovědnost

- Povinnost vlastníka: Obec je jako vlastník nebo správce veřejných prostranství povinna odstraňovat křídlatku na vlastní náklady způsoby určenými ŠOP SR.
- Sankční rizika: Nečinnost může vést k pokutám pro právnické osoby ve výši tisíců eur od Slovenské inspekce životního prostředí.
- Zákaz neodborné manipulace: Zákon zakazuje postupy (např. nepravidelné kosení bez sběru), které by mohly šíření urychlit.
- Meziobecní spolupráce: Zákon podporuje meziobecní koordinaci v rámci povodí.

B.2 Strategický algoritmus zásahu – 5letý cyklus

Rok	Měsíc	Aktivita	Metoda
1	Květen–červen	Přípravné kosení	Kosení na výšku < 30 cm, 6–10× za sezónu
1	Srpen–září	Chemický zásah	Injektáž do stonků nebo postřik glyfosátem
2	Červen	Kontrolní kosení	Oslabené výhonky, nižší koncentrace herbicidu
2	Srpen	Chemický dozásah	Bodová aplikace na prorůstající výhony
3–5	Celý rok	Monitoring a bodová likvidace	Měsíční kontroly, okamžitá likvidace nálezů
5+	Celý rok	Obnova vegetace	Výsadba vrby, olše, jiné původní vegetace

Tabulka B.1: 5letý cyklus eradikace křídlatky pro obecní praxi

B.3 Doporučené metody odstranění

- Chemická kontrola (nejefektivnější při velkoplošných invazích): Injektáž do stonků – vysoká selektivita, vhodná v blízkosti vody. Plošný postřik – u větších ploch bez vodních toků v okolí.
- Intenzivní kosení: Frekvence 6–10× za sezónu. Cíl: vyhladovět oddenky, dokud výhony nedosáhnou 30 cm. Nutný sběr a likvidace pokosené biomasy.
- Kombinovaný model (DOPORUČENÝ): Červen (kosení) + srpen (postřik). Efektivnost > 85 % při správném provedení.

B.4 Prevence šíření a logistika

- Princip nulového úniku: Stačí úlomek oddenku 0,7 g pro vznik nového ohniska.
- Bezpečný transport: Biomasa se musí převážet v uzavřených kontejnerech nebo pod zaplachtováním.
- Dekontaminace: Stroje (traktory, sekačky) musí být po zásahu vyčištěny vysokotlakým zařízením (WAP).
- Evidence: Vést záznamy o každém zásahu pro případnou kontrolu inspekcí.

B.5 Ekonomické a environmentální benefity

- Ochrana infrastruktury: Včasná likvidace chrání statiku mostů, opěrných zdí a cyklostezek.
- Návratnost investice (ROI): 1 € investovaný do včasného monitoringu ušetří ~12 € v horizontu 10 let.
- Surovinový potenciál: Křídlatka není jen odpad, ale zdroj resveratrolu (farmacie) a energetické biomasy (pelety, brikety pro obecní kotelny). Průměrná výhřevnost: 17,71 MJ·kg⁻¹.

PŘÍLOHA C: SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Normy a legislativa

- STN EN ISO 18134-1:2015. Tuhá biopaliva. Stanovení obsahu vlhkosti. Část 1: Referenční metoda.
- • STN EN ISO 17225-2:2015. Tuhá biopaliva. Specifikace a třídy paliv. Část 2: Tříděné dřevní pelety.
- • STN EN ISO 17831-1:2015. Tuhá biopaliva. Stanovení mechanické odolnosti pelet a briket. Část 1: Pelety.
- • STN EN ISO 17828:2016. Tuhá biopaliva. Stanovení sypné hustoty.
- • STN EN ISO 18847. Tuhá biopaliva. Stanovení hustoty částice (pelet a briket).
- • STN EN ISO 18125. Tuhá biopaliva. Stanovení spalného tepla.
- • STN EN 303-5. Kotle na tuhá paliva. Ručně a automaticky plněné kotle jmenovitého výkonu do 500 kW.
- • STN EN 16510-1. Spotřebiče na tuhá paliva. Měření emisí.
- • Zákon č. 150/2019 Sb. (SR) o prevenci a managementu invazních nepůvodních druhů.
- • Nařízení EU č. 1143/2014 o prevenci a managementu introdukce a šíření invazních nepůvodních druhů.

Odborná literatura – 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 literatura – Ekologie a biologie křídlatky

- 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 legislativa. Enviroportal.sk [online].

Výzkumné zprávy a projektová dokumentace

- 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].

Mezinárodní 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.