

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie



**Využití biomasy invazivního bolševníku velkolepého pomocí procesu
anaerobní digesce**

Use of biomass of the invasive plant giant hogweed via the process of anaerobic
digestion

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Bc. Ing. Tatiana Alexiou Ivanova, Ph.D.

Konzultanti: Ing. Kseniia Paramonova, Ing. Viktoriia Chubur

Bakalant: Tetiana Liashko

Praha 2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tetiana Liashko

Aplikovaná ekologie

Název práce

Využití biomasy invazivního bolševníku velkolepého pomocí procesu anaerobní digesce

Název anglicky

Use of biomass of the invasive plant giant hogweed via the process of anaerobic digestion

Cíle práce

Cílem práce je prozkoumat biomasu invazivního bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*) jako vstupní surovinu vhodnou pro anaerobní kodigesci – stanovit produkci bioplynu a zanalyzovat jeho kvalitu. Popsat vliv nebezpečné fototoxické látky rostliny na průběh anaerobní kodigesce a na výtěžnost produkovaného bioplynu. Zhodnotit možnost využití rostliny pro produkci bioplynu jako součást metody likvidace tohoto invazivního druhu.

Metodika

V rešeršní části práce bude popsána invazivní rostlina bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum*); pozornost bude věnována problematice a dopadům šíření invazivní rostliny v České republice a po cele Evropě, včetně výzkumných poznatků o doposud používaných metodách likvidace.

Budou stručně popsány i jednotlivé fáze anaerobní digesce, výstupní produkty (bioplyn a digestát), parametry procesu a příklady aplikace s jinými rostlinami.

Experimentální část práce bude realizována cestou založení laboratorních vsázkových (tzv. batch) testů hodnotících produkci bioplynu ze studované biomasy. Testy budou realizovány jako kodigesce s odpady živočišného původu v bioreaktorech o objemu 2 l v anaerobních podmínkách (včetně kontrolního vzorku). Množství vyprodukovaného bioplynu bude měřeno metodou vytěšňování vodního sloupce. Kvalitní složení bioplynu bude stanoveno pomocí analyzátoru plynu. Během procesu anaerobní digesce budou u vzorků sledovány parametry jako teplota, pH, TS, VS, oxidačně-redukční potenciál (pravidelný odběr vzorků bude probíhat každé 3-4 dny).

Doporučený rozsah práce

20-30 stran + přílohy

Klíčová slova

Heracleum mantegazzianum, bioplyn, batch test

Doporučené zdroje informací

- Anibaba Q., Dyderski M., Jagodziński A., 2022: Predicted range shifts of invasive giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum*) in Europe. *Science of the Total Environment* 825: 1-9.
- Dubrovskis V., Adamovics A., Plume I., Kotelenecs V., Zabarovskis E., 2011: Biogas production from greater burdock, largeleaf lupin and sosnovsky cow parsnip. *Engineering for rural development*: 388-392.
- Chubur V., Chernysh Y., Ferchau E., Zaffar N., 2022: Effect of phosphogypsum addition on methane yield in biogas and digestate properties during anaerobic digestion. *Journal of Engineering Sciences* 9: 11-18.
- Meerbeek K., Appels L., Dewil R., Calmeyn A., Lemmens P., Muys B., Hermy M., 2015: Biomass of invasive plant species as a potential feedstock for bioenergy production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 9: 273–282.
- Meiramkulova K., Bayanov A., Ivanova T., Havrland B., Kára J., Hanzlíková I., 2018: Effect of different compositions on anaerobic co-digestion of cattle manure and agro-industrial by-products. *Agronomy Research* 16: 176-183.
- Pyšek P., Cock M., Nentwig W., Ravn P., 2007: Ecology and management of giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum*). CABI Wallingford, UK, 324 p.
- Tanke A., Müller J., Mol F., 2019: Seed viability of *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) is quickly reduced at temperatures prevailing in biogas plants. *Agronomy* 9: 332.
-

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Bc. Ing. Tatiana Alexiou Ivanova, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra udržitelných technologií

Konzultant

Kseniia Paramonova

Viktoriia Chubur

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2023

prof. Ing. Jan Banout, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Využití biomasy invazivního bolševníku velkolepého pomocí procesu anaerobní digesce“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

.....

(podpis autora práce)

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu bakalářské práce paní doc. Bc. Ing. Tatianě Alexiou Ivanové, Ph.D., za cenné rady a odborné vedení bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat konzultantům Ing. Ksenii Paramonové a Ing. Viktorii Chubur za jejich pomoc při realizaci experimentu, za trpělivost a čas, který mi věnovaly. V neposlední řadě tímto děkuji také Dr. Yelizavetě Chernysh za její odborné konzultace a velice ochotný přístup.

Abstrakt

Cílem mé bakalářské práce je studie biomasy invazního bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*) jako vstupní suroviny pro anaerobní kodigestci, stanovení produkce bioplynu, analýza jeho kvality a zhodnocení možnosti využití této rostliny pro produkci bioplynu jako součást metody likvidace. V rešeršní části se bakalářská práce soustředila na popis invazní rostliny bolševníku velkolepého, na jeho historii, základní charakteristiky, využití, metody likvidace a problematiku šíření v České republice a po celé Evropě. Byly také stručně popsány jednotlivé fáze anaerobní digesce, výstupní produkty (bioplyn a digestát), parametry procesu a příklady aplikace s jinými rostlinami pro výrobu bioplynu. Experimentální část práce byla realizována cestou založení laboratorních vsázkových (tzv. batch) testů hodnotících produkci bioplynu z biomasy bolševníku velkolepého. Testy byly provedeny jako kodigestce s odpady živočišného původu (inokulum) v bioreaktorech o objemu 2 l v anaerobních podmínkách při mezofilní teplotě (37 °C) a nastavené vlhkosti 90 % v termofilní komoře. Množství vyprodukovaného bioplynu bylo měřeno metodou vytěšňování vodního sloupce. Kvalitní složení bioplynu bylo stanoveno pomocí analyzátoru plynu. Pravidelný odběr vzorků o objemu 10 ml probíhal každé 2 dny a během procesu anaerobní digesce byly u vzorků sledovány parametry jako teplota, pH, TS, VS, oxidačně-redukční potenciál.

Výsledky experimentů ukázaly, že produkce bioplynu ve vzorku s obsahem bolševníku byla šestkrát vyšší (9195 ml) než v kontrolním vzorku z inokula (1515 ml), což svědčí o vhodnosti využití a likvidace bolševníku cestou anaerobní digesce.

Klíčová slova: *Heracleum mantegazzianum*, bioplyn, batch test

Abstract

The objective of the thesis was to study the biomass of the invasive giant hogweed (*Heracleum mantegazzianum*) as an input feedstock for anaerobic codigestion, including determination of biogas production and analysis of its quality, and evaluation of a possibility to use the plant for biogas production as a component of the plant's disposal. In the literature review part, the thesis focused on the description of the invasive plant giant hogweed, its history, basic characteristics, utilizations, disposal methods and problematic of its spreading in the Czech Republic and within Europe. The individual phases of anaerobic digestion were briefly described, as well as output products (biogas and digestate), parameters of the process and examples of other plants' application for the biogas production. The experimental part was realized by establishment of laboratory batch tests for the evaluation of biogas production from the giant hogweed biomass. The tests were performed as codigestions with the waste of animal origin (inoculum) in bioreactors with a volume of 2 liters in anaerobic conditions at mesophilic temperature (37 °C) and 90% humidity in a thermophilic chamber. The amount of produced biogas was measured using the water column method. The composition quality of biogas was determined using a gas analyzer. Regular sampling took place every 2 days with a volume of 10 milliliters, and during the process of anaerobic digestion, the samples were monitored for parameters such as temperature, pH, TS, VS, oxidation-reduction potential.

The results of the experiments showed that the production of biogas in the sample containing hogweed was six times higher (9,195 ml) than in the control sample from the inoculum (1,515 ml), which verifies the suitability of use and disposal of hogweed through anaerobic digestion.

Keywords: *Heracleum mantegazzianum*, biogas, batch test

Obsah

1. Úvod a cíl práce	9
1.1 Úvod.....	9
1.2 Cíl.....	10
2. Literární rešerše	11
2.1 Charakteristika bolševníku velkolepého	11
2.1.1 Přednost bolševníku velkolepého proti původním druhům	13
2.1.2 Introdukce druhu <i>Heracleum mantegazzinum</i> a jeho rozšíření v Evropě.....	14
2.2 Problematika	15
2.2.1 Vliv na lidské zdraví	17
2.3 Metody likvidace bolševníku velkolepého	18
2.4 Využití jako surovina	20
2.5 Anaerobní digesce.....	21
2.5.1 Klíčové podmínky pro proces anaerobní digesce	23
2.6 Rostliny využívané k produkce bioplynu	24
3. Metodika	26
3.1 Materiál	26
3.2 Stanovení sušiny a organické sušiny.....	27
3.3 Vlastnosti surovin	29
3.4 Nasazení testů anaerobní kodigesce.....	30
3.5 Stanovení produkce bioplynu	31
3.6 Stanovení pH.....	32
3.7 Stanovení ORP	32
3.8 Zpracování dat	32
4. Výsledky	33
5. Diskuse.....	36
6. Závěr	39
7. Přehled literatury a použitých zdrojů.....	41

1. Úvod a cíl práce

1.1 Úvod

V dnešní době stále zůstává problém, který se týká neobnovitelných zdrojů energie, jako jsou zemní plyn, uhlí a ropa. Ty se udržují na hlavní pozici nejpoužívanějších zdrojů energie pro celosvětovou populaci, ale jsou vyčerpatelné a redukční, proto je nutné zkoumat a využívat obnovitelné, ekologicky šetrné a udržitelné zdroje energie. Jedním z obnovitelných zdrojů energie je biomasa, kterou je možné transformovat v podobu bioplynu pomocí procesu anaerobní digesce. Technologie anaerobní digesce je vhodnou aplikací původně přírodních rozkladných procesů, jež probíhají bez přístupu kyslíku. V současné době je dle údajů na stránkách České bioplynové asociace v České republice již 554 bioplynových stanic, které aktivně využívají energii z biomasy a vyrábí elektřinu a teplo. Na základě toho rychle roste poptávka po vhodných substrátech pro efektivnější výrobu. Kromě tradičních využívaných rostlin pokračuje hledání alternativních možností, které budou zvyšovat produkci a kvalitu bioplynu.

Tato bakalářská práce je zaměřena na stanovení možnosti využití biomasy bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*) jako vstupní suroviny vhodné pro kofermentaci pro výrobu bioplynu v souvislosti s možností eradikace (likvidace) tohoto invazního druhu. K produkci bioplynu dochází během anaerobní digesce, kde je organická hmota rozkládána několika skupinami mikroorganismů za anaerobních podmínek, zatímco konečný produkt – metan je produkován metanogenními bakteriemi. Proces anaerobní digesce se skládá ze čtyř fází: hydrolyzní, acidogenní, acetogenní, metanogenní. Anaerobní digesce je prováděna vždy celou řadou skupin mikroorganismů. Rozklad je obvykle prováděn všemi skupinami ve směsi, kde produkt jedné skupiny mikroorganismů je substrátem pro skupinu jinou. Produkce bioplynu je vždy složitý proces. Vstupní suroviny používané v bioreaktorech hrají důležitou roli a mohou významně ovlivnit produkci bioplynu.

1.2 Cíl

Cílem této práce je prozkoumat vhodnost biomasy invazního bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*) jako vstupní suroviny pro anaerobní kodigesci – stanovit produkci bioplynu a zanalyzovat jeho kvalitu. A to za účelem posouzení možnosti využití rostliny pro produkci bioplynu jako součást metody likvidace tohoto invazního druhu.

2. Literární rešerše

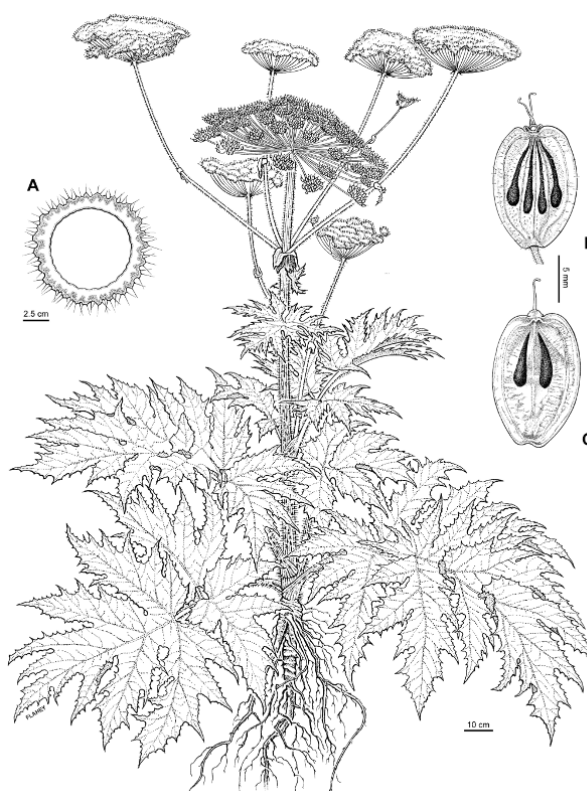
2.1 Charakteristika bolševníku velkolepého

Bolševník velkolepý (*Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier, anglicky giant hogweed) pochází z oblasti centrální Asie, přesněji ze západní části Kavkazu. Rod *Heracleum* (čeleď *Apiaceae* – miříkovité) čítá kolem 65 druhů a je rozšířen v mírných oblastech Evropy, Asie, Afriky a Severní Ameriky. V Evropě jsou nejrozšířenější druhy *H. mantegazzianum*, *H. sosnowskyi* a *H. persicum*, nejvýznamnější vlastností všech tří druhů je jejich velikost – patří mezi největší evropské byliny (Jahodová et al. 2007).

H. mantegazzianum je ve svém původním prostředí rostlina vyskytující se na lesních okrajích a mýtinách, obvykle podél potoků, v horských oblastech s ročními srážkami 1 000–2 000 mm, vyznačujícími se mírným kontinentálním klimatem s horkými léty a chladnými zimami (Otte et al. 2007). Tento druh je dobrým kolonizátorem otevřených a holých půd a těží z narušení prostředí způsobeného člověkem. Husté populace se nacházejí na plantážích v původních a introdukovaných areálech (Müllerová et al. 2005). Podle německé studie Thiele et al. (2007) jsou nejčastějšími typy stanovišť liniové stavby podél dopravních cest (krajnice silnic, okraje železnic) a tekoucí vody. Tato stanoviště mohou být zcela otevřená nebo částečně zastíněná stromořadím, jednotlivými stromy nebo keři. *H. mantegazzianum* lze často nalézt na okrajích cest, lesů a pastvin. Vhodnými biotopy jsou ruderalní místa (tj. místa, která byla v poslední době silně narušena lidskou činností), např. pískovny, stanoviště bohaté na živiny, skládky. Dává přednost čerstvé a vlhké až vlhké úrodné a bohaté na živiny půdě, a to zejména dusíkaté a humózní (Mikulka et al. 2020).

H. mantegazzianum je monokarpická rostlina (odumírá po vykvetení a dozrání semen), která vyrůstá ze světle žlutého nebo hnědého rozvětveného kořenového systému hlubokého 40–60 cm, který v dospělosti dosahuje v koruně průměru 15 cm (Bhownik et al. 2015). Druh přetrvává ve formě vegetativní růžice několik let a poté kvete (jakmile rostlina nashromáždí dostatek zdrojů pro reprodukci). Kvetoucí lodyha může dosáhnout výšky 4–5 m a průměru 5–10 cm v dolní části stonku, který je červenofialově tečkovaný až zcela červenofialově zbarvený. Listy jsou střídavě nebo zpeřené laločnaté a hrubě zubaté, jak je zachyceno na obrázku 1 (Park, 2004), a mohou dosahovat délky až 3 m a šířky kolem 1,7 m. Horní listy jsou následně menší, s horním

povrchem lysým a spodním pýřitým. Listové čepele *H. mantegazzianum* jsou rozděleny na tři- nebo více hluboce laločnaté části (Bhowmik et al. 2015). Květenství bílé nebo narůžovělé barvy je složené okolíky čtyř řádů, jejich průměr dosahuje až 80 cm. Hlavní pupek je hermafrodit, pupečníci vyšších řádů dospívají později a mohou být pouze mužští (EPPO, 2009). Semena klíčí časně na jaře po přerušení dormance chladnými a vlhkými podmínkami podzimu a zimy s teplotami v rozmezí 1–6 °C (Moravcová et al. 2007).



Obrázek 1 Bolševník velkolepý (Park, 2004)

V České republice jsou první listy růžice patrné obvykle koncem února nebo v březnu (často začínají růst pod sněhovou pokrývkou). Prodlužování stonků je patrné koncem května a vrchol kvetení nastává koncem června a začátkem července. První pravý list se vyvine v dubnu, je malý a téměř kulatý. Postupně ho nahrazují stále větší listy, pátý nebo šestý má dospělou formu. Ke kvetení dochází převážně v druhém roce po vyklíčení od června do srpna. Za nepříznivých podmínek, jako jsou pastva, sekání nebo nedostatek živin, se ale kvetení odkládá, dokud se nenashromáždí dostatečné zásoby (Pergl et al. 2006). Květy *H. mantegazzianum* jsou opylované hmyzem, ale i také samoopylením, když se samičí a samčí fáze kvetení na jedné rostlině i v jednom

okolíku překrývají (Perglová et al. 2007). Z toho plyne, že jediná rostlina je schopna založit novou populaci.

Samoopylení bylo identifikováno jako výhodné u některých kolonizujících druhů a vede k urychlenému šíření (Rejmanek et al. 2005). Jenom jedna rostlina je schopna produkovat kolem 20 000 semen. Po dozrání jsou semena uvolněna z mateřské rostliny a uložena v půdní semenné bance (semena mohou zůstat v půdě po dlouhou dobu bez poškození, což umožňuje semenům vyčkat na optimální podmínky tvoření semenáčků), která je důležitou složkou pro vývoj populace. Největší část (95 %) semen se nachází v horní vrstvě půdy v hloubce do 5 cm, menší část semen je v hlubších vrstvách 6–10 cm a 11–15 cm. Část semen zetlí během zimy a část je prázdná nebo mrtvá, přesto pokud jde o hustý porost, na jaře bude na 1 m² přes 2 000 živých semen (Moravcová et al. 2007).

Maximálních hodnot hustoty 20 jedinců/m² bylo dosaženo u populací starších jednoho roku v České republice. V Německu obdobná studie uváděla až 31 jedinců/m² (Pergl et al. 2007).

2.1.1 Přednost bolševníku velkolepého proti původním druhům

Bolševník velkolepý je úspěšný invazní druh kvůli tomu, že má více předností oproti původním druhům rostlin:

- Rané jarní klíčení před primární vegetací dává převahu.
- Rychlý růst listových růžic a jejich schopnost vytvářet hustou vegetaci a stínit jiné rostlinné druhy.
- Schopnost při nepříznivých podmínkách oddálit kvetení na následující rok, pokud nevyprodukuje dostatečné množství zásobního materiálu.
- Nízká úmrtnost dospělých rostlin.
- Samosprašnost a vysoká produkce semen umožňuje už jenom jednomu jedinci zahájit invazi.
- Přezívání semen v půdě déle dvou let.
- Velký počet semen v půdní bance.
- Intenzivní klíčivost semen.
- Úspěšné ukončení životního cyklu díky začátku kvetení brzy ve vegetační sezoně, což umožňuje produkovat zralá semena (Nielsen et al. 2005).

2.1.2 Introdukce druhu *Heracleum mantegazzianum* a jeho rozšíření v Evropě

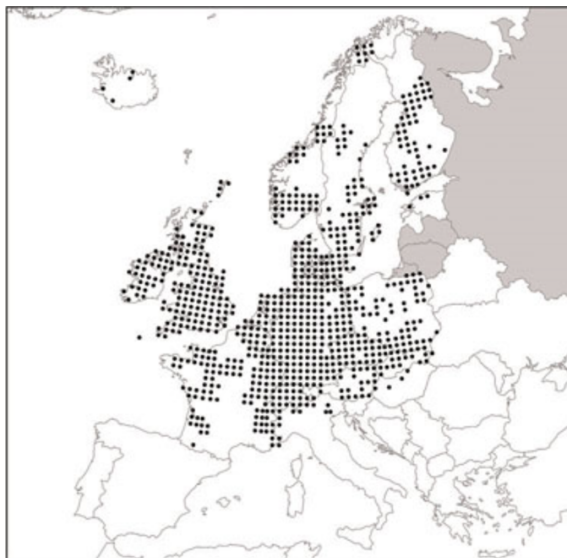
První známý záznam o bolševníku obrovském v Evropě pochází z Anglie z roku 1817, kdy se objevil na seznamu semen Kew Botanic Gardens v Londýně pod jménem *Heracleum giganteum*. Je velmi pravděpodobné, že rostlinou představenou pod tímto názvem byla *H. mantegazzianum*, protože to byl začátek šíření tohoto druhu v Evropě. V roce 1828 byla zaznamenána první naturalizovaná populace *H. mantegazzianum*, divoce rostoucí v Cambridgeshire v Anglii (Jahodová et al. 2007). K rychlému rozšíření a zvýšení početnosti *H. mantegazzianum* přispěla radikální změna využití krajiny a antropogenní disturbance po 2. světové válce zejména v západní části České republiky, kam byl druh původně zavlečen (Müllerová et al. 2005). Brzy poté se rostlina začala rychle šířit po Evropě. V pořadí podle data zavedení následovalo Spojené království Nizozemí, Švýcarsko, Německo, Irsko, Dánsko (Nielsen et al. 2005). Hlavním mechanismem introdukce do Evropy byla okrasná kuriozita. Semena byla vysazována v botanických zahradách a na pozemcích významných panství. Tato móda pokračovala po většinu 19. století, poté začala upadat, a nakonec skončila poté, co se koncem 20. století v západoevropské literatuře objevilo varování před nebezpečím této rostliny (Nielsen et al. 2005).

V České republice pochází nejstarší záznamy o pěstování bolševníku velkolepého z oblasti Slavkovského lesa exaktně ze zámeckého parku v Lázních Kynžvart z roku 1862 (Perglová et al. 2007). Výskyt na státním území není rovnoměrný, lze rozlišit oblasti s početnými lokalitami a rozsáhlými porosty jako v západních Čechách (což je způsobeno historicky), ojediněle až roztroušeně se však objevuje i v jiných regionech. Intenzita výskytu klesá obecně ve směru západ – východ a z mezofytika do termofytika. V teplejších oblastech a ve východní části státu je bolševník velkolepý méně zastoupený (Slavík, 1997).

Co se týče tempa šíření, v České republice byla pozorována fronta populací *H. mantegazzianum* postupující průměrnou rychlostí přibližně 10 m² za rok, přičemž celková plocha se každým rokem zvětšuje o cca 1 200 m². Počet hostitelských lokalit se během fáze rychlé invaze zdvojnásobil každých 14 let (Pyšek et al. 2007).

H. mantegazzianum je nejrozšířenější z velkých invazních bolševníků v Evropě (ukázáno na obrázku 2). Jeho rozšíření v Evropě je jasně vychýleno směrem ke střední a severní části kontinentu a tento druh se v jižní Evropě prakticky nevyskytuje. Takový

vzorec rozšíření lze vysvětlit faktory určujícími jeho rozšíření v České republice (Pyšek et al. 1998), kde nejvýrazněji ovlivňují početnost tohoto druhu lednové teploty a hustota lidské populace. Konkrétně, šíření *H. mantegazzianum* bylo rychlé v oblastech s vysokou hustotou lidské populace a omezené v teplejších oblastech s relativně vysokou průměrnou lednovou teplotou (Pyšek et al. 1998). Posouzení relativní důležitosti těchto faktorů ukazuje, že vliv hustoty obyvatelstva je silnější, než vliv teploty.



Obrazek 2 Rozšíření *H. mantegazzianum* v jeho invazním areálu v Evropě (Nielsen et al. 2005).

2.2 Problematika

Proces invaze rostlin úzce souvisí s faktory prostředí, které do značné míry ovlivňuje násilné šíření cizích druhů z jejich přirozených stanovišť do nových oblastí. Člověk svou činností způsobuje šíření nových nepůvodních druhů, jež se k nám dostávají prostřednictvím prvotní migrace, dopravou a obchodováním. Právě kvůli těmto faktorům dochází k přenosu nových druhů navzdory nepříznivým podmínkám prostředí. Jedním z nejtypičtějšých biotopů tohoto druhu jsou okraje cest a příkopy, kde se semena lepí na pneumatiky projíždějících aut a mohou cestovat daleko od místa svého původu (Pyšek et al. 2007). Byly také použity jiné antropogenní mechanismy šíření, jako jsou přeprava semen s půdou nebo přemístění semen, jež ulpěla na oděvu či v srsti dobytka (zoochorie). Důležitým faktorem pro šíření na krátké vzdálenosti je

vítr, a to zejména v zimě, kdy semena rozfoukává přes zmrzlé sněhové povrchy (Nielsen et al. 2005).

Bolševník velkolepý je rostlina, která je dnes jedním ze 100 nejinvaznějších rostlinných druhů rostoucích v Evropě (Pergl et al. 2008). Podle Akademie věd České republiky (AV ČR, 2021) invazní druhy jsou organismy, které lidé úmyslně, nebo neúmyslně zavedli mimo jejich původní místo výskytu. Bolševník velkolepý spolu s ostatními invazními druhy tak působí problémy, jako je potlačování původní diverzity, má negativní vliv na lidské zdraví a přináší ekonomické škody (Nielsen et al. 2005). Bylo hlášeno, že *H. mantegazzianum* snižuje druhovou diverzitu invazních společenstev; porosty se 70–100 % pokryvností snižují druhovou bohatost o 50–60 % v závislosti na měřítku (Hejda et al. 2009). *H. mantegazzianum* je invazní neofyt, který tvoří metapopulace a je zařazen do druhové skupiny BL1 (neofytní byliny s největší mírou škodlivosti) černého a šedého seznamu České republiky (Pergl et al. 2016). Nařízení Evropského parlamentu jsou nyní implementována do legislativy České republiky a Rady o prevenci a regulaci invazních druhů, jde zejména o novelu zákona o ochraně přírody a krajiny č. 114/1992 Sb. (AV ČR, 2021).

Máme-li zabránit šíření invazních druhů do nových území, musíme problematice invazních druhů plně porozumět a pomoci nám mohou aktuálně vydávané metodické příručky, informační systémy a databáze. Je několik možností, jak eliminovat dopady a invazní procesy druhů do země. Jednou z těchto možností je včasná prevence, která může omezit nebo zcela zabránit šíření konkrétního invazního druhu. Prevence se soustředila především na druhy, které získaly status invazních rostlin v sousedních zemích (Eliáš, 2009). Preventivní opatření také zahrnují klasifikaci nepůvodních druhů do bílého, černého a šedého seznamu podle stupně invazivity rostlin. Současná opatření ke snížení hrozby představované IAS (Invasive alien species – Invazní cizí druhy) zahrnují: prevenci, včasnou detekci, hodnocení a řízení (Park, 2004).

Aby se šíření invazních bolševníků co nejúčinněji zabránilo, je třeba věnovat zvláštní pozornost vhodným stanovištím a plochám, kam se mohou semena snadno dostat. Preventivní přístup závisí na včasné identifikaci hrozícího narušení a na rychlém přijetí vhodných opatření. Obsahuje následující fáze:

- Vypracování strategie a pokynů pro účinnou kontrolu bolševníku.
- Identifikace zdroje semen, možné cesty zavedení a přístupné oblasti.
- Identifikace stanovišť nejzranitelnějších vůči invazi.

- Zvyšovat povědomí veřejnosti o těchto druzích.
- Studie zaměřené na sledování šíření bolševníku, zejména lokalizace nově se objevujících populací.
- Kontrolní zásah tam, kde selhávají preventivní opatření.
- Následné monitorování postižených oblastí (Nielsen et al. 2005).

Metoda se musí vybírat tak, aby co nejlépe vyhovovala stanovišti, jeho velikosti, a fázi růstu rostlin. Některé způsoby ovládní se nejlépe používají na malých plochách, jiné naopak na velkých. Jedním z nejdůležitějších faktorů pro likvidaci je dovednost pracovníků odlišovat bolševník od některých původních druhů čeledi miříkovitých na začátku vegetační sezony, aby nebyly zbytečně vynaloženy náklady na kontrolu a nesprávnou likvidaci původních druhů. Zásah se doporučuje u většiny invazních druhů, a to zejména tam, kde hrozí, že invaze může mít nepříznivé následky. Některé druhy – s minimálním dopadem – jsou tolerovány. Další rizika jsou významná a měla by být řešena plošně.

2.2.1 Vliv na lidské zdraví

Ve vědecké literatuře můžeme najít odborné informace o případech spojených s vážnými popáleninami po kontaktu kůže s *H. mantegazzianum* včetně informací o průběhu léčby těchto popálenin.

Kontakt pokožky s rostlinou a vystavení slunečnímu záření, konkrétně ultrafialovému, může způsobit fytofotodermatitidu (Kraus, 2017). Fytofotodermatitis bullosa odpovídá popáleninám stupně I–II (Jermendy et Visolyi, 2022). Hlavními fytotoxickými látky u druhů *Heracleum* jsou lineární furanokumariny nebo psoraleny, hlavně 5-methoxypsoralen a 8-methoxypsoralen (Bhownik et al. 2015). Analýza ukázala, že koncentrace furokumarinů je maximální v plodech, střední v listech a minimální ve stonku. Psoralen byl nejrozšířenější látkou v listech a byly pozorovány sezónní vrcholy s maximální koncentrací v červnu, střední v srpnu a minimální v listopadu (Baker et al. 2017).

Také bylo zjištěno, že toxická šťáva, kterou vylučuje bolševník velkolepý má karcinogenní (rakovino tvorné) a teratogenní (zasahující do vývoje embrya) účinky (Uhříček et Pocová, 2015).

Vdechnutí může rovněž vyvolat obstrukční plicní příznaky a kontakt s očima může mít za následek oslepnutí (Pfurtscheller et Trop, 2014).

2.3 Metody likvidace bolševníku velkolepého

Snížovat množství bolševníku velkolepého můžeme pomocí mechanické, chemické a biologické regulace. Pokud se tedy zaměříme na klasické metody likvidace invazních druhů, máme k dispozici mechanické a chemické metody. Mechanická metoda zahrnuje ruční odstraňování nepůvodních druhů vytrháváním, vykopáváním, sekáním a vypalováním vegetačního krytu, čímž se omezuje tvorba nových květů, květenství, plodů, semen a urychluje odumírání jedinců. Řezání kořene nebo celé rostliny využívá vyčerpání živin, aby se zabránilo hromadění energie pro kvetení a reprodukci. Včasná a opakovaně prováděná metoda je účinná, ale pracná (Nielsen et al. 2005). Úprava výsledné biomasy je zásadní pro většinu kontrolních opatření.

Invazní druhy jsou likvidovány především chemickou metodou, organickými a anorganickými chemikáliemi (herbicidy), tak i bolševník lze regulovat chemicky (Eliáš, 2009). Početné experimenty prokázaly citlivost invazního bolševníku k systémovým herbicidům obsahujícím účinné látky, jako jsou glyfosát nebo triclopyr (Nielsen et al. 2005). Obecně jsou herbicidy anorganické a organické chemické sloučeniny používané k regulaci nežádoucí vegetace. Anorganické herbicidy se používají hlavně pro úplné zničení plevelů, organické – pro selektivní (Lozovitsky, 2010). Podle charakteru účinku na rostliny se herbicidy dělí do dvou hlavních skupin, a to kontinuální, které působí na všechny druhy rostlin, a selektivní (výběrová), které působí pouze na některé druhy rostlin, zatímco pro jiné jsou relativně bezpečné. Podle vnějších znaků působení na rostliny a způsobu aplikace se všechny herbicidy dělí do tří podskupin: a) kontaktní působení, b) systémové působení; c) působení na kořenový systém rostlin nebo naklíčených semen. Herbicidy kontaktního účinku zahrnují látky, jež ovlivňují listy a stonky rostlin v přímém kontaktu s přípravkem. Zároveň dochází k narušení normálních životních procesů rostliny a k jejímu odumření. Při použití těchto herbicidů je ale často pozorován následný růst nových klíčků. Systémové herbicidy zahrnují látky schopné procházet cévami rostlinného systému. Takový přípravek, který se dostává na listy a kořeny rostlin, se rychle šíří do všech orgánů, což vede k jejich smrti. Třetí skupinu tvoří herbicidy, které se zavádějí do půdy za účelem ničení semen, naklíčených semen a kořenového systému rostlin (Lozovitsky, 2010). Herbicid je považován za efektivní a laciný prostředek kontroly a ničení nežádoucích rostlin. Přípravky obsahující triclopyr nemají nepříznivý vliv na klíčení trav a jsou vhodné pro hubení mnoha širokolistých rostlin, včetně bolševníku velkolepého. Dnes

jsou však přípravky s glyfosátem schválené ve všech evropských zemích jako jediné k odstraňování bolševníku velkolepého (Nielsen et al. 2005). Při výběru vhodného herbicidu by se neměly zohledňovat pouze ekonomické aspekty, ale také možná omezení zákonů a místních předpisů, a to zejména v blízkosti vody. Dalším aspektem ovlivňujícím výběr herbicidu je jeho eventuální vliv na vodní rostliny a živočichy, životní prostředí a lidské zdraví (Pergl et Perglová, 2022).

Mezi biologické prostředky ochrany původních druhů patří tzv. „metoda nepřítelů“, kdy přirození nepřátelé (patogeny, predátoři) napadají invazní druhy a udržují jejich populace nízké. Účinnost kontrolní metody závisí na regenerační schopnosti daného druhu. Podle Pyšek et al. (2007) bylo publikováno devět studií, zabývajících se regenerační schopností *H. mantegazzianum*, které používaly různé typy zásahů (odstranování okolíků, listů, celých rostlin nad zemí, přesekávání kořenů v různé hloubce atd.). Zhodnocení vlivu těchto zásahů na vegetativní růst a regeneraci, plodnost, kvalitu semen, mortalitu a případné opakované kvetení, ale i jejich načasování v průběhu vegetační sezony ukázaly, že z hlediska účinnosti a efektivity zásahů je klíčové načasování zásahů, životní stadium a měřítko, na kterém zásah probíhá. Velice účinným nechemickým a levným způsobem likvidace je pastva koz, ovcí nebo skotu, a to i na rozlehlých porostech, zejména v případě pastvy sazenic, tedy od začátku vegetačního období (Uhríček et Pocová, 2015). Obří rostliny bolševníku jsou nejčastěji rozpoznávány, když jsou zralé a kvetoucí. Jeho regenerační schopnost je vysoká, jediným zásahem způsobujícím okamžitou smrt rostliny je přeseknutí kořene v hloubce cca 15 cm pod zemí. Pouhé odstranění nadzemní biomasy většinou jen oddaluje dobu nutnou k vykvetení. Pokud je biomasa odstraněna příliš brzy, rostlina během velmi krátké doby obnoví nadzemní orgány a znovu vykvete. Pečlivé sledování regenerujících rostlin a opakování zásahů je proto nezbytné. Pokud jsou opakovaně odstraňovány květy, je třeba vzít v potaz, že i nezralá semena na useknutých a na místě zanechaných okolících jsou schopna v průběhu sezóny dozrát a posléze i vyklíčit (Pyšek et al. 2007). Poslední částí jakékoli kontrolní metody je zasadit trávy nebo jiné rostliny, které budou konkurovat bolševníku, a snížit erozi půdy.

Každá rostlinná invaze je jedinečná a vyžaduje přizpůsobenou reakci. Herbicidy jsou však obecně nákladově efektivnější a přinášejí výsledky rychleji než jiné metody boje proti invazním druhům, jako jsou mechanické odstraňování, vypalování nebo vysazování biologického predátora. Používání herbicidů proti

invazním rostlinám však není bez kontroverze, a to zejména ve vodním prostředí. I při aplikaci v malých množstvích a pokud možno přímo na cílové rostliny mohou herbicidy stále poškodit okolní necílovou vegetaci (EPPO 2009).

Na mezinárodní úrovni je povědomí o invazních druzích předmětem Bernské úmluvy 1979 (Česká republika přistoupila k úmluvě v roce 1998) a Úmluvy o biologické rozmanitosti z roku 1993. Vzdělávání a osvěta prochází dlouhou cestou při řešení problému odstraňování invazních rostlin, jenž leží na bedrech vlastníka, správce nebo uživatele pozemku (Ondeková et Renčo, 2017).

2.4 Využití jako surovina

Podle Meerbeek et al. (2015) se *H. mantegazzianum* hodí jako surovina pro výrobu bioplynu, podobně jako současné zemědělské plodiny (Meerbeek et al. 2015). Použití bioplynových stanic pro likvidaci nahromaděné biomasy může přinést další využití a snížit náklady. Zavádění velkého množství semen do bioplynové stanice je však riskantní: je třeba zabránit nové dráze šíření semen přes fermentační zbytky.

Digestát (odpad z procesu anaerobní digesce) je složen ze směsi částečně degradované organické hmoty, anorganických látek a mikrobiální biomasy se zvýšeným obsahem vlhkosti (Wang et Lee, 2021). Digestát může být použit na farmě jako hnojivo pro rostliny a plodiny. Roopnarain et al. (2023) uvádí, že digestát po procesu anaerobní digesce má obrovský potenciál pro využitelnost kvůli velkému množství mikroorganismů. Jelikož digestát může být znovu použit jako hnojivo, přispívá to k vytvoření udržitelného potravinového systému. Další variantu představuje zvýšení výkonu anaerobních systémů recyklací digestátu v rámci systému pro opětovné použití.

Biomasa bolševníku může být použita jako vstupní surovina pro produkci biobutanolu, a to pomocí předúpravy – hydrolýzy, protože cukry, které obsahuje bolševník před předúpravou, špatně konzumují mikroorganismy Clostridia během fermentace (Mežule et al. 2012).

H. mantegazzianum je známý jako bohatý zdroj kumarinů, jež jsou vysoce hodnotné sekundární metabolity mající široké spektrum farmakologických vlastností (Jakubská-Busse et al. 2013). Walasek et al. (2015) provedli výzkum pomocí vysokoúčinné protiproudé chromatografie (HPLC) pro rychlý screening, identifikaci, separaci a purifikaci kumarinů z nepolárního extraktu z plodů *H.*

mantegazzianum pro analýzu bioaktivních metabolitů. Izolované sloučeniny (pimpinellin, imperatorin a felopterin) byly hodnoceny na jejich antibakteriální a antifungální aktivitu. Ve výsledku vykazovaly všechny sloučeniny dobrou, střední nebo mírnou inhibiční aktivitu grampozitivních bakterií a kvasinek.

Skalicka-Woźniak et al. (2017) zkoumali metodou GC-MS složení esenciálních olejů získaných z *H. mantegazzianum*, jež se vyznačují alifatickými alkoholy a estery. Hlavními složkami byly n-oktylacetát (19,92 %), n-hexyl-2-methylbutanoát (10,84 %) a n-oktanol (10,13 %). N-oktylacetát izolovaný z éterického oleje vykazoval silnou antifungální aktivitu vůči všem testovaným mikroorganismům s hodnotami MIC v rozmezí 0,10–0,38 mg/ml, což je srovnatelné s hodnotami ketokonazolu a flukonazolu (0,13 a 0,20 mg/ml). Toto pozorování činí z n-oktylacetátu možného kandidáta na nový konzervační prostředek v potravinách a také jako přírodní fungicid, avšak je nutné vyhodnotit cytotoxicitu této látky.

Donedávna byl bolševník velkolepý také oblíbenou rostlinou u včelařů jako medonosný. Díky vysokému obsahu cukru v míze se dobře hodí i na siláž nebo seno (Uhříček et Pocová, 2015).

2.5 Anaerobní digesce

V dnešní době zůstává a narůstá problém s odpadem, a to včetně odpadu organického. Na národní i mezinárodní úrovni se zvyšuje množství pevného odpadu, což vede ke globálnímu oteplování a nepříznivému vlivu na životní prostředí. Vzhledem k rostoucímu zájmu o nakládání s odpady se po celém světě hromadí skládky odpadu kvůli nedostatku půdy. Zvyšování produkce odpadů souvisí také s nárůstem počtu obyvatel a průmyslových odvětví, jejichž odpady je třeba třídít a zpracovávat, aby se získala užitečná energie (Jalil et al. 2019).

Anaerobní digesce je komplexní biologický fermentační proces probíhající za nepřítomnosti kyslíku a způsobený symbiotickou asociací různých typů bakterií s konečnými produkty, jimiž jsou především metan a oxid uhličitý (Jalil et al. 2019). Produkty vytvořené jednou skupinou bakterií slouží jako substráty pro další skupinu. Anaerobní digesce pevných odpadů se stává každým dnem populárnější jako způsob nakládání s pevnými odpady, protože produkuje bioplyn, který lze použít pro ohřev v páře, vaření a výrobu elektřiny. Jak uvádí Ward et al. (2008), výroba bioplynu prostřednictvím procesu anaerobní digesce má řadu výhod oproti jiným formám

zpracování odpadu: produkuje méně kalů z biomasy (oproti aerobnímu čištění), minimální emise zápachu, úspěšnost při zpracování mokrých odpadů, vyrobený digestát.

Anaerobní digesce může probíhat při psychrofilních nebo termofilních teplotách, ale většina reaktorů pracuje při mezofilních teplotách v rozmezí od 35–40 °C (Dohányos, 2008). Chae et al. (2008) zjistily, že malé změny teploty jenom na několik stupňů snižují rychlost produkce bioplynu. Nejstabilnější a méně citlivé bakterie na teplotní výkyvy při mezofilních podmínkách, zvládnou změnu teploty o 2–3 °C (Žídek, 2004).

Pro růst metanogenních bakterií je závažným limitujícím faktorem hodnota pH. Zpravidla je potřeba udržovat hodnotu pH v neutrálním rozmezí mezi 6,5–7,5, hodnoty pH pod 6 a nad 8 fungování mikroorganismů jsou silně inhibovaná (Žídek, 2004).

Běžný proces anaerobní digesce je sérií čtyř metabolických procesů, jmenovitě hydrolýzy, acidogeneze, acetogeneze a methanogeneze (Seadi et al. 2008).

Hydrolýza je obvykle relativně pomalý krok, který může omezit rychlost celkového procesu anaerobní digesce, zejména při použití pevných bio-odpadů jako substrátu. V tomto jejím kroku jsou velké proteinové makromolekuly, tuky a uhlohydrátové polymery (jako jsou škrob, celulóza, hemicelulóza, pektin a lignin) rozloženy nebo depolymerovány hydrolýzou extracelulárními enzymy vylučovanými fermentačními mikroorganismy na aminokyseliny, glycerol, dlouhý řetězec mastné kyseliny a cukry před tím, než je vychtají acidogenní bakterie. Rychlost hydrolýzy závisí na pH, teplotě, složení, velikosti částic substrátu a koncentraci meziproductů (Boullagui et al. 2005).

V kroku acidogeneze jsou produkty hydrolýzy přeměněny fermentativními bakteriemi na metanogenní substráty. Jednoduché cukry, aminokyseliny a mastné kyseliny se rozkládají na acetát, oxid uhličitý a vodík (70 %) a také na těkavé mastné kyseliny a alkoholy (30 %) (Seadi et al. 2008).

V kroku acetogeneze probíhá oxidace produktu acidogeneze, tyto fermentační produkty jsou transformovány acetogenními bakteriemi na kyselinu octovou, oxid uhličitý a vodík. Plynný vodík produkovaný v kroku acetogeneze může inhibovat metabolismus acetogenních bakterií, pokud není spotřebován bakteriemi produkujícími metan, jež fungují jako lapače vodíku za účelem tvorby metanu. V této fázi ještě reprezentovány minoritní skupiny organismů, které produkují vedle kyseliny octové a vodíku rovněž sulfan a dusík (Žídek, 2004).

Během poslední fázi metanogeneze se vodík přeměňuje na metan. Acetogeneze a metanogeneze obvykle probíhají paralelně, jako symbióza dvou skupin organismů.

Metan je zde tvořen metanogenními bakteriemi. Kyselina mravenčí, kyselina octová, methanol, oxid uhelnatý, oxid uhličitý a vodík jsou těmito bakteriemi na metan metabolizovány. Vzhledem k tomu, že metanogenní bakterie rostou pomalu a jsou extrémně citlivé na změny prostředí a mohou asimilovat pouze úzké pole relativně jednoduchých substrátů, jsou klíčové pro proces anaerobní digesce (Jalil et al. 2019). Podle specifiky substrátu je lze rozdělit pouze na hydrogenotrofní, nebo pouze na acetotrofní (Žídek, 2004).

Pro aktivace procesu anaerobní digesce se využívá inokulum. Rozšířenou surovinou pro anaerobní digesce je zvířecí hnůj a kejda, které mají díky svým vlastnostem některé výhody:

- Přírozený obsah anaerobních bakterií.
- Vysoký obsah vody, která působí jako rozpouštědlo pro ostatní kosubstráty a zajišťuje správné promíchání a proudění biomasy.
- Nízká cena.
- Vysoká dostupnost – sbírány jako zbytky z chovu zvířat (Seadi et al. 2008).

2.5.1 Klíčové podmínky pro proces anaerobní digesce

Účinnost anaerobní digesce je ovlivňována některými kritickými parametry, proto je klíčové zajistit vhodné podmínky pro anaerobní mikroorganismy. Jejich růst a aktivita jsou významně ovlivněny podmínkami, jako jsou vyloučení kyslíku, konstantní teplota, hodnota pH, přísun živin, intenzita míchání a také přítomnost a množství inhibitorů (Seadi et al. 2008). Je však známo, že různé sloučeniny, jako jsou těžké kovy, soli, amoniak, sulfidy, dusičnany a fenolické sloučeniny, inhibují anaerobní trávení (Nielsen et al. 2020). Metanogenní bakterie jsou náročné anaerobní organismy, takže je třeba přísně zamezit přítomnosti kyslíku v procesu trávení (Seadi et al. 2008).

Pro anaerobní digesce je rozhodující teplotní stabilita. V praxi se provozní teplota volí s ohledem na použitou surovinu a potřebnou procesní teplotu obvykle zajišťují systémy podlahového nebo stěnového vytápění uvnitř fermentoru (Seadi et al. 2008). Důvod nadměrného míchání s negativním účinkem není jasný, ale bylo prokázáno, že tvorba anaerobních granulí má velký vliv na anaerobní fermentace. Bylo

postulováno, že bakterie oxidující propionát a metanogenní archaea žijí v těsné blízkosti granul (de Bok et al., 2004). Nadměrné míchání může narušit strukturu granulí, snížit rychlost oxidace mastných kyselin, což může vést k nestabilitě v bioreaktoru (McMahon et al., 2001). Hodnota pH je mírou kyselosti roztoku, která působí na růst metanogenních mikroorganismů a ovlivňuje disociaci některých sloučenin důležitých pro proces anaerobní digesce, jako jsou amoniak, sulfid a organické kyseliny (Seadi et al. 2008).

2.6 Rostliny využívané k produkce bioplynu

Kukuřice setá (*Zea mays*) je jednou z nejrozšířenějších plodin pro využití v procesu produkce bioplynu. Kukuřice je celosvětově pěstovaná základní potravinová plodina až 5 m vysoká, jež má významnou adaptabilitu na širší rozsah prostředí a také vykazuje vysokou zdatnost v širším spektru podmínek prostředí (Feng et al. 2022).

Slunečnice topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) je vytrvalá bylina s fotosyntézou C₄, a původem ze Severní Ameriky, dorůstá do výšky 2,5–3,0 m. Podle Johanssona a kol. (2015), je slunečnice topinambur ideální plodinou pro výrobu bioplynu, a to díky vysoké produkci biomasy a nízkým zemědělským technickým nárokům. Kromě toho dobře roste na chudých pozemcích a je odolná vůči drsným klimatickým podmínkám, jako jsou mráz nebo sucho, a také vůči škůdcům a chorobám rostlin (Yang et al. 2015). Výnos sušiny nadzemních částí topinamburu se pohybuje mezi 4 až 30 t. ha⁻¹ a 4 až 15 t. ha⁻¹ hlíz v závislosti na genotypu, klimatických podmínkách, typu půdy a věku porostu (Kintl et al. 2022).

Ozdobnice čínská (*Miscanthus sinensis*) je vytrvalá rychle rostoucí rostlina původem z Asie, která dosahuje průměrné výšky 3,0–4,0 m. Produkuje masivní nadzemní biomasu s vysokým obsahem celulózy a ligninu. Chemické složení a struktura buněčných stěn hrají důležitou roli v kvalitě biomasy pro proces anaerobní kodigesce (Weijde et al. 2015).

Travní porosty jsou významné ve světovém zemědělství, tvoří 69 % zemědělské půdy. Jejich využití se zaměřuje na výživu zvířat, k přímému zkrmování (siláž, siláž se zvýšeným obsahem sušiny, seno) nebo pastvu (Míchal et al. 2016). Běžným způsobem využití travních porostů jako suroviny pro bioplyn je siláž. Specifická metanová výtěžnost travní siláže z trvalých travních porostů se vyznačuje širokým rozpětím závislým mimo jiné na intenzitě hospodaření a rostlinném společenstvu

(Auburger et al. 2017). Hojně používané trvalé travní porosty nevyžadují hnojení kvůli přítomnosti luskovin a jejich schopnosti vázat vzdušný dusík pomocí mikroorganismů. Předností těchto porostů jsou snížené roční náklady na setí a možnost využití siláže ke skladování sena (Vaněk et al. 2007).

3. Metodika

V experimentální části této bakalářské práce byla zkoumána biomasa bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*). Experiment se prováděl v laboratoři udržitelných technologií (na Fakultě tropického zemědělství ČZU v Praze). Výzkum byl zaměřen na analýzu kvantity výnosu bioplynu a jeho kvalitu prostřednictvím anaerobní kodigesce v laboratorních podmínkách. Metodický postup experimentu se opíral o metodiku podle standardu Sdružení německých inženýrů 4630 „Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests“ (německy Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2016).

3.1 Materiál

Listy bolševníku (obrázek 3) byly nasbírány 9. května 2022 roku. Sběr biomasy byl prováděn ručně za dodržení bezpečnostních opatření, aby nedošlo ke kontaktu s pokožkou. Vlhkost biomasy byla hned po sběru stanovena prostřednictvím laboratorní sušárny MEMMERT UFE 500 (obrázek 4) a činila 88,26 %. Listy bolševníku byly sklizeny v růstové fázi 13 (3. pravý list (zpeřený) rozvinutý), která byla definována podle univerzální BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry) škály a kódována pomocí jednotného dvoumístného kódu fenologicky podobných růstových stadií všech dvouděložných rostlinných druhů (Meier, 2001). Sklizená biomasa byla následně vysušená při pokojové teplotě.

K vyhledání vhodné lokality byla využita dostupná pro veřejnost online Databáze výskytu druhů (zpracovaná Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR (AOPK ČR)). Dle AOPK (2022) byl nalezen malý pozemek s houštinami *H. mantegazzianum* v Praze 5 – Zličín.



Obrázek 3 Růstová fáze bolševníku velkolepého při sběru

Pro aktivace procesu anaerobní kodigesce bylo využito inokulum (inokulum 1), získané z bioplynové stanice okresu Jihlava města Telč. Vstupními surovinami pro inokulum 1 byly travní senáž, kukuřičná siláž, hovězí hnůj a hovězí kejda. Inokulum (očkovací kal) – je mikrobiální biomasa, která se přidává na začátku fermentací za účelem urychlení procesu anaerobní kodigesce (VDI, 2016).

Pro aktivace druhého pokusu bylo použito inokulum (inokulum 2), jež bylo získáno z bioplynové stanice Cítov. Bioplynová stanice Cítov je zemědělská bioplynová stanice, nacházející se v okrese Mělník České republiky. Inokulum 2 se skládalo z kuřecích výkalů, kukuřičné siláže a podestýlky pro slepice.

Zemědělské bioplynové stanice přispívají k udržitelnému zemědělství a snižují množství organického odpadu, protože využívají statková hnojiva (močůvku, kejdu, chlévský hnůj) a zbytky rostlinné biomasy (např. kukuřičnou siláž) pro energetické využití (Bačík, 2008).

3.2 Stanovení sušiny a organické sušiny

Obsah sušiny (anglicky total solids – TS) a organické sušiny (anglicky volatile solids – VS) substrátu a inokula před samotným pokusem byly stanoveny v laboratoři biopaliv (na Fakultě tropického zemědělství ČZU v Praze) s použitím laboratorní sušárny (obrázek 4) a muflové peci (obrázek 5).



Obrázek 4 Laboratorní sušárna
MEMMERT UFE 500



Obrázek 5 Muflová pec LAC LH 06/13

Celkem byly připraveny 2 vzorky a 3 opakování pro každé inokulum (tj. 3 vzorky každého inokula a 3 vzorky suchých listů bolševníku velkolepého pro každý experiment). Navážky se prováděly za použití laboratorní váhy KERN KB (viz obrázek 6).



Obrázek 6 Laboratorní váhy KERN KB

Postup byl následující. Pomocí porcelánového hmoždíře byla biomasa bolševníku rozmělněna. Všechny vzorky materiálů byly vysušeny v laboratorní sušárně (obrázek 4) při nastavené teplotě 105 °C. Sušení vzorků do konstantní hmotnosti trvalo 24 hodin v případě inokulů, a 2 hodiny pro listy bolševníku.

Obsah sušiny byl spočítán podle vzorce (VDI, 2016):

$$TS [\%] = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

kde je

m_1 = hmotnost hliníkové misky v g;

m_2 = hmotnost vzorku před vysušením včetně hmotnosti misky v g;

m_3 = hmotnost vzorku po vysušení včetně hmotnosti misky v g.

Pro stanovení organické sušiny byly vzorky po sušení použity pro vyžihání v muflové peci LAC zobrazené na obrázku 5. Vyžihání probíhalo při nastavené teplotě 550 °C po dobu 3 hodin do konstantní hmotnosti vzorků. Po uplynutí času při vysoké teplotě 550 °C došlo v muflové peci k vyžihání organických látek a zbytek popelovin každého vzorku byl poté opakovaně zvážen na laboratorních vahách. Určení podílu organické sušiny ve vzorcích bylo stanoven podle vzorce (VDI, 2016):

$$VS [\%] = \frac{(m_3 - m_1) - (m_4 - m_1)}{m_2 - m_1} \times 100$$

kde je

m_1 = hmotnost hliníkové misky v g;

m_2 = hmotnost vzorku před vysušením včetně hmotnosti misky v g;

m_3 = hmotnost vzorku po vysušení včetně hmotnosti misky v g;

m_4 = hmotnost vzorku po žihání včetně hmotnosti misky v g.

3.3 Vlastnosti surovin

Výsledky získané z výše uvedených měření jsou zobrazeny v tabulce 1.

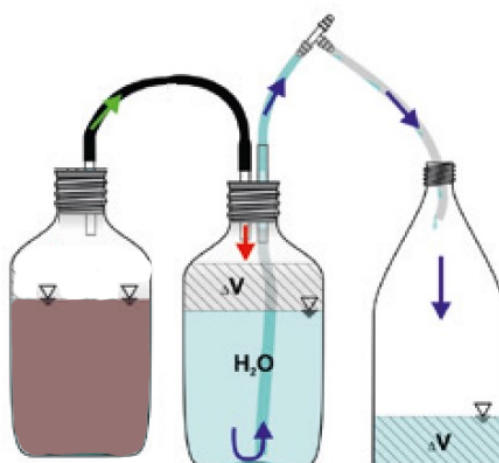
Tabulka 1 Parametry vstupních surovin

Surovina	TS (%)	VS (%)	pH
Bolševník velkolepý	94,44	80,44	5,47
Inokulum 1	8,34	5,65	7, 68
Inokulum 2	6,78	3,89	7, 68

Na základě těchto výsledků byly zvoleny podíly pro plnění materiálů do bioreaktoru.

3.4 Nasazení testů anaerobní kodigesce

Pokusy byly realizovány v laboratoři udržitelných technologií. Pro stanovení produkce bioplynu v testovaných vzorcích byl použit anaerobní batch test (tzv. vsázkový test), který byl založený dle metodiky VDI (2016). Vsázkový test – je nespojitý test, při kterém jsou organické substráty podrobeny fermentaci za definovaných anaerobních podmínek a při němž lze získat informace týkající se fermentace, inhibice a výtěžku plynu (VDI, 2016). Nasazení testů bylo zrealizováno do skleněných tmavých hermeticky uzavřených lahví o objemu 2 l. Substrát z bolševníku byl dávkován po 25 g k 900 g inokula. Následně byl obsah lahví postupně doplněn destilovanou vodou do sumárního objemu 2 l. Poté byly hermeticky uzavřené lahve se substrátem spojeny pomocí silikonových hadiček s lahví obsahující destilovanou vodou, která je spojena s prázdnou lahví. Schéma bioreaktoru je zobrazeno na obrázku 7.



Obrázek 7 Schéma bioreaktoru (Drosg, 2013)

3.5 Stanovení produkce bioplynu

Pro experiment byla použita klimatická komora KKP 115 TOP+ (viz obrázek 8), která poskytuje podmínky pro životně důležité funkce nezbytných ekologických a trofických skupin organismů.



Obrázek 8 Klimatická komora KKP 115 TOP+

V klimatické komoře byly vytvořeny mezofilní podmínky s nastavenou teplotou 37 °C bez přístupu světla a s vlhkostí vzduchu 90 %. Před dávkováním testovaného materiálu musí být inokulum předběžně stabilizováno na stejnou teplotu (37 °C), v níž je experiment prováděn.

Pro měření objemu vyprodukovaného bioplynu byl použit princip založený na měření množství kapaliny vytlačené plynem. Přítomnost sirovodíku (H_2S) v bioplynu byla determinována analyzátozem plynu Lonn-2000A. Po celou dobu laboratorního experimentu bylo povinně dodržováno míchání každého vzorku ručním třepáním jedenkrát denně. Jednou za dva dny byl proveden odběr 10 ml z každého vzorku pro měření klíčových parametrů jako pH, ORP (oxidačně-redukční potenciál) a také TS a VS, který byly stanovení podle metodiky popsané v kapitole 3.2.

3.6 Stanovení pH

K určení hodnoty pH testovaných vzorků byl použit pH-metr HANNA HI 5222 s elektrodou HI 1131B. Měření probíhala automaticky po ponoření elektrody do zvoleného vzorku. Před každým měřením a po něm je nutné elektrodu opláchnout destilovanou vodou.

3.7 Stanovení ORP

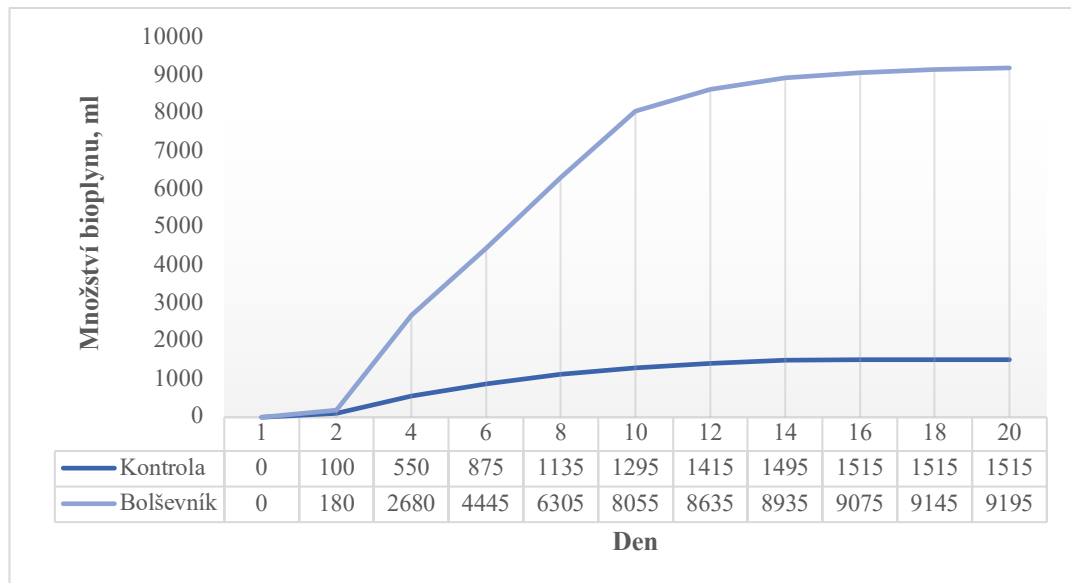
Ke stanovení ukazatele ORP pro testovaných vzorků bylo použito zařízení HANNA HI 5222 s ORP elektrodou X/HI 3131B. Měření probíhala automaticky po ponoření elektrody do zvoleného vzorku. Před a po každém měření bylo nutné elektrodu opláchnout destilovanou vodou.

3.8 Zpracování dat

Pro zpracování dat a tvorbu grafů byl využit program Excel společnosti Microsoft; licence byla poskytnuta Českou zemědělskou univerzitou v Praze.

4. Výsledky

Obrázek 9 ukazuje kumulativní produkci bioplynu v ml u testovaných vzorků během celého období fermentace (tzn. 20 dnů monitorování v případě druhého experimentu). Na základě uvedených výsledků můžeme pozorovat, že celková produkce bioplynu byla 9195 ml u vzorku s přidaným bolševníkem, oproti 1515 ml u kontrolního vzorku (čisté inokulum 2).



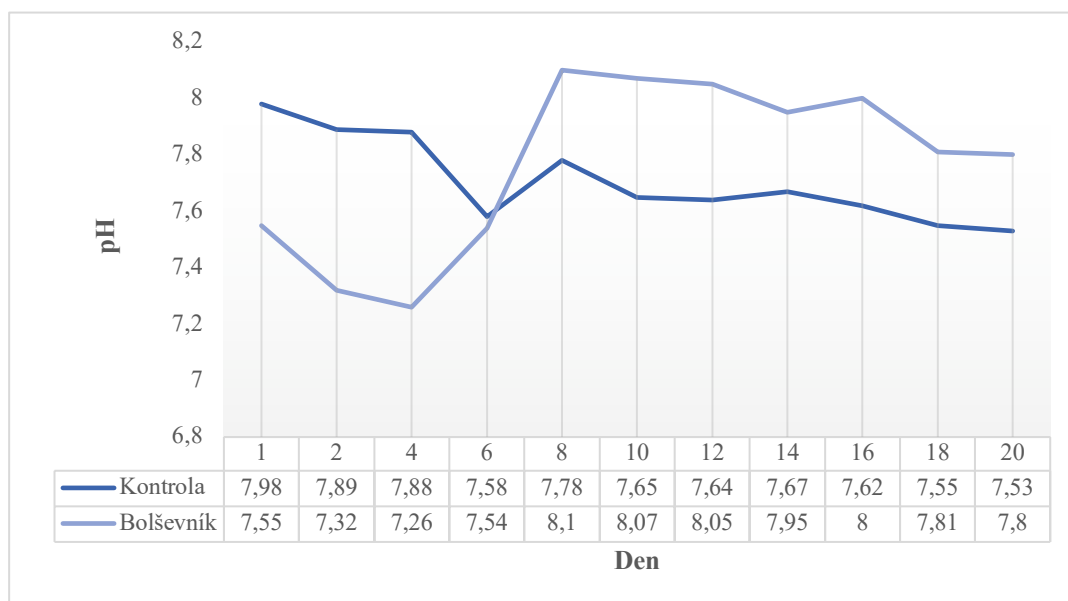
* Kontrola – kontrolní vzorek (inokulum 2); Bolševník – směsný vzorek s přidavkem bolševníku velkolepého.

Obrázek 9 Produkce bioplynu v testovaných vzorcích

V případě prvního experimentu s inokulem 1, během 22 dnů pozorování k produkci bioplynu nedošlo, proto většina výsledků pochází ze druhého experimentu.

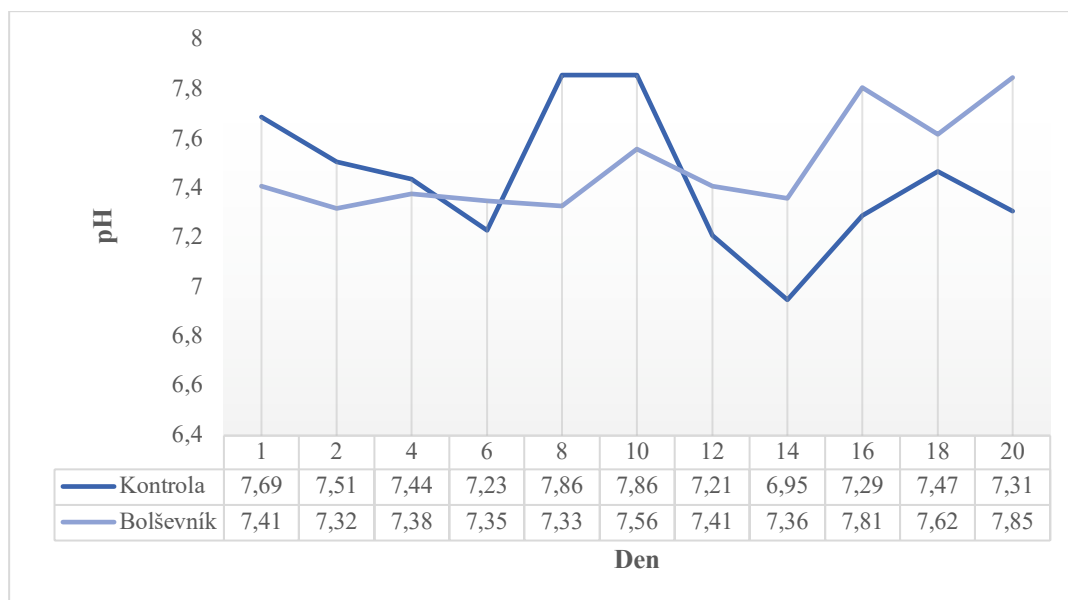
Na obrázcích 10 a 11 můžeme sledovat hodnoty pH při anaerobních podmínkách, které se u testovaných vzorků nachází na alkalické straně. S přidáním do vzorků bolševníku (s původním pH 5,47) hodnota pH vzorů okamžitě klesla během prvních dnů experimentu. Obrázek 10 ale ukazuje, že na 6. den oba vzorky dosáhly stabilizace pH: 7,54 (vzorek s přidavkem bolševníku) a 7,58 (kontrolní vzorek), poté následoval nárůst. V případě kontrolního vzorku to může svědčit o rychlém rozvoji hydrolytické fáze anaerobní fermentace se štěpením organických sloučenin na jednodušší. Co se týče vzorku s bolševníkem, předpokládáme, že toto poměrně vysoké

pH by mohlo být ovlivněno složením vypouštěných plynů, například přítomností amoniaku.



Obrázek 10 Hodnoty pH testovaných vzorků (inokulum 2)

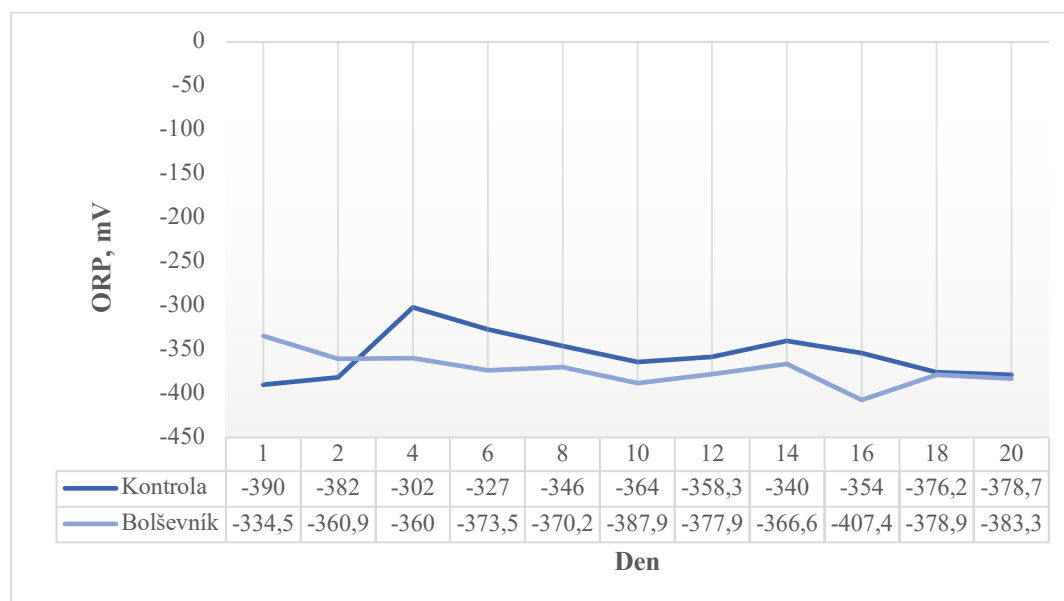
Obrázek 11 prezentuje hodnoty pH neúspěšného pokusu s inokulem 1.



Obrázek 11 Hodnoty pH testovaných vzorků (inokulum 1)

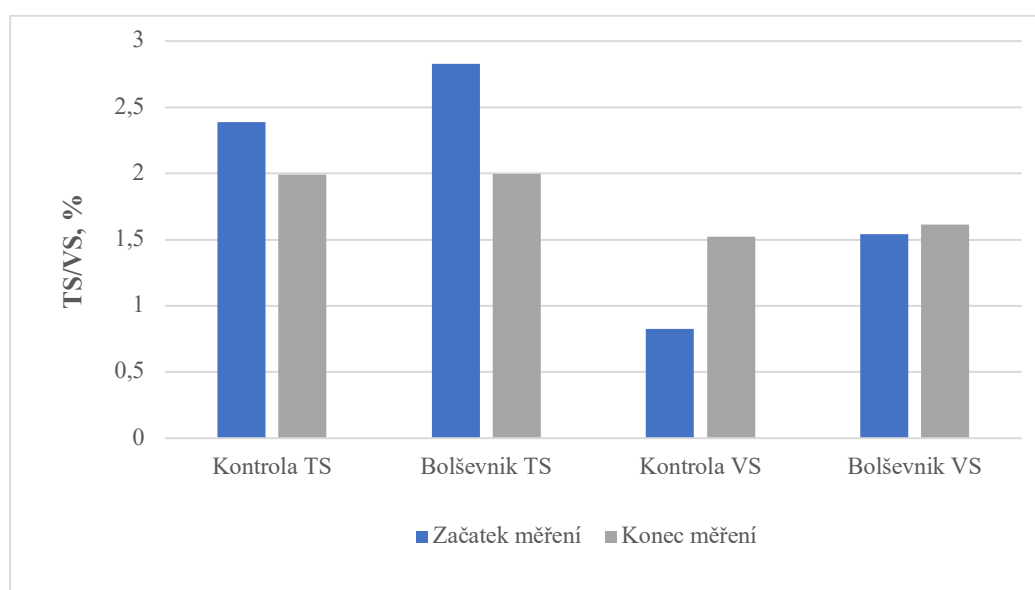
Během druhého experimentu se oxidačně-redukční potenciál vzorku s bolševníkem postupně v procesu fermentace zvyšoval a na 16. den nabyl vrcholové hodnoty -407,4 mV (viz. obrázek 12), což svědčí o dosažení stabilní anaerobiózy.

Hodnoty ORP nižší než -100 mV, znamenají, že v testovaných vzorcích se nevyskytuje žádný zdroj kyslíku (Tesařová, 2010).



Obrázek 12 Oxidačně-redukční potenciál vzorků

Jak je patrné z obrázku 13 v testovaných vzorcích s inokulem 2 došlo k výraznému snížení obsahu sušiny, což odpovídá procesu anaerobní fermentace, v důsledku kterého probíhá rozklad organických látek. Při porovnání obsahu sušiny při prvním odběru a odběru posledním došlo k poklesu obsahu sušiny o 29,5 % u vzorku s bolševníkem a 16,6 % u kontrolního vzorku.



Obrázek 13 Obsah sušiny a organické sušiny u testovaných vzorků

5. Diskuse

Záměrem této bakalářské práce bylo prozkoumat biomasu invazivního bolševníku velkolepého (*Heracleum mantegazzianum*) jako vstupní suroviny pro anaerobní kodigesci – stanovit produkci bioplynu a zanalyzovat jeho kvalitu.

V průběhu výzkumu výroby bioplynu v anaerobních podmínkách bylo provedeno několik laboratorních experimentů. Při prvním experimentu s inokulem 1, kde vstupními surovinami pro inokulum byly travní senáž, kukuřičná siláž, hovězí hnůj a hovězí kejda produkce bioplynu po dobu 22 dnů nezačala a proces byl následně dokončen. Možným důvodem nenastartování pokusu s kravským inokulem je krmivo použité k výživě zvířat, které by mohlo obsahovat antibiotika nebo velké množství podestýlky (Moller et al. 2004a, b). Z toho vyplývá, že inokulum bylo pravděpodobně přetíženo celulózou, která je pro bakterie uvnitř bioreaktoru poměrně obtížně stravitelná. Jak ukázal výzkum Ward et al. (2008), při použití inokula od různých hospodářských zvířat se potenciál výroby bioplynu, hlavně metanu, výrazně liší. Největší množství metanu $0,356 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ bylo získáno pomocí inokula od selat, nižší hodnota $0,148 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ byla získána od dojného skotu. Hnůj často obsahuje odolnou organickou vlákninu, která je obtížně anaerobně rozložitelná. Předúprava hnoje ke snížení velikosti vláknitých částic může zlepšit produkci metanu až o 20 % (Angelidaki et Ahring, 2000).

Na základě výsledků, získaných během 20denního laboratorního experimentu se ukázalo, že výtěžnost bioplynu z bolševníku velkolepého s kuřecím inokulem činí $0,30 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$. Zároveň je důležité zmínit, že v produkovaném bioplynu na bázi bolševníku byla od 3. dne experimentu zaznamenána přítomnost sirovodíku (H_2S) v množství 100–250 ppm, což naznačuje, že tento bioplyn musí následně při energetickém využití projít procesem odsíření. Jak uvádí Okoro et Sun (2019) prezenze H_2S v bioplynu negativně ovlivňuje lidské zdraví a životnost spalovacího zařízení. Tyto negativní dopady se odrážejí v potenciálně fatálních a korozivních následcích hlášených při vdechování bioplynu obsahujícího H_2S a jeho použití jako kotelního biopaliva.

Jednou z důležitých otázek zůstává: Jaká jsou rizika používání semen bolševníku pro výrobu bioplynu tudíž využití digestátu jako hnojivo? Studie Tanke et al. (2019) se zabývala problémem přežívání semen *H. mantegazzianum* v běžných podmínkách ve fermentorech bioplynu. Bylo zjištěno, že většina semen ztrácí

životaschopnost rychleji při anaerobní fermentaci než pouze v podmínkách horké vodní lázně. Také Meerbeek et al. (2015) konstatovali, že riziko další invaze je díky procesu anaerobní fermentace minimalizováno. Při sklizni a přepravě je však třeba opatrnosti, aby se zabránilo šíření nových semen. Bioplynové stanice jsou proto možným způsobem likvidace biomasy vzniklé v důsledku kontrolních opatření.

Co se týče výtěžku bioplynu z jiných rostlin, Feng et al. (2022) provedli výzkum vlivu přídatku kukuřičné slámy do bioreaktoru ve množství 3 % a ve srovnání se skupinou čistého kuřecího hnoje se produkci metanu zvýšila o 18 %. V důsledku šlechtitelského programu se vyvinula řada odrůd kukuřice vhodných ke zpracování na bioplyn. Výnosy biomasy těchto odrůd jsou vysoké – až 20 t. ha⁻¹ sušiny (Seppälä et al. 2013). Podle Meerbeek et al. (2015) průměrný roční výnos sušiny *H. mantegazzianum* činí 6 t. ha⁻¹.

Produktivita slunečnice topinamburu je vzhledem k výrobě bioplynu také poměrně vysoká. Podle Kays et Nottingham (2008) se dá z nepracovaných nadzemních částí rostlin dosáhnout výnosu biomasy mezi 4–30 t. ha⁻¹ a 4–15 t. ha⁻¹ hlíz, vhodných k produkci 0,42–0,52 m³. kg⁻¹ bioplynu.

Podle výzkumu Prčika et al. (2022) bylo zjištěno, že z biomasy ozdobnice čínské je možné získat 109 m³ bioplynu na t sušiny (tj. 0,109 m³. kg⁻¹). Průměrný výnos sušiny ozdobnice tvoří kolem 20 t. ha⁻¹ a ve srovnání s kukuřičnou siláží vyprodukuje ozdobnice o 49 % méně bioplynu. Zda-li porovnáme výše zmíněné výnosy bioplynu z ozdobnice (Prčika et al, 2022) a slunečnice topinambur (Kays et Nottingham, 2008), výtěžek z ozdobnice je skoro 21 až 26 % nižší.

Huanyun et al. (2013) provedli experiment s použitím *Tithonia diversifolia* pro výrobu bioplynu za mezofilních podmínek. V důsledku bylo prokázáno, že *T. diversifolia* může být použita jako fermentační materiál a 6% koncentrace může zajistit nejlepší produkci bioplynu. *T. diversifolia* je stejně jako bolševník velkolepý rostlinou invazní, široce rostoucí v provincii Yunnan v Číně, která tvoří husté monospecifické skupiny a má vážné škodlivé dopady na zemědělskou produkci.

Řízená anaerobní digesce organického materiálu je obecně pro životní prostředí prospěšná dvěma způsoby:

- Udržením rozkladných procesů v utěsněném prostředí je zabraňováno pronikání potenciálně škodlivého metanu do atmosféry a následné spalování plynu uvolňuje uhlík – neutrální oxid uhličitý zpět do uhlíkového cyklu.

- Energie získaná spalováním metanu může nahradit fosilní paliva, čímž se sníží produkce oxidu uhličitého, který není součástí nedávného uhlíkového cyklu (Ward et al. 2008).

6. Závěr

Rostliny z rodu *Heracleum* jsou invazní a široce rozšířené. Představují potenciální riziko pro veřejné zdraví a mohou způsobit ekologické škody. Je proto velmi důležité prozkoumat potenciální využití jejich biomasy jako alternativní zdroj pro energetické účely. Výroba bioplynu pomocí anaerobní kodigesce organické hmoty je nejen efektivním způsobem získávání energie ze živočišné či rostlinné biomasy, ale také ekologickým řešením pro likvidaci biologických zbytků ze zemědělského sektoru.

V rámci praktické části této bakalářské práce byly s využitím biomasy bolševníku velkolepého realizovány dva pokusy batch testů v anaerobních podmínkách, během kterých se řídilo metodikou VDI 4630 a byly sledovány následující parametry: množství produkovaného bioplynu, pH, ORP, TS, VS a obsah H_2S v bioplynu. V průběhu úspěšného druhého experimentu byla ze substrátu s přídavkem bolševníku velkolepého získána výtěžnost bioplynu $0,30 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ sušiny, což je o něco nižší a skoro srovnatelný výnos s výnosem bioplynu z perspektivní a běžně využívané slunečnice topinambur, a dokonce třikrát vyšší v porovnání s výnosem bioplynu z ozdobnice čínské. V tomto případě je výstupní objem bioplynu z bolševníku významný. Důležité je ale zdůraznit, že v rámci experimentu nebylo prozkoumáno komponentní složení bioplynu na nečistoty jako CO_2 , NH_3 a nebylo stanoveno množství metanu.

Výsledky experimentů prokázaly úspěšnost kodigesci bolševníku s inokulum 2 na bázi kuřecích výkalů, zatímco v případě pokusu s inokulem 1 na bázi hovězích výkalů k úspěšné produkci bioplynu nedošlo.

Závěrem lze říci, že v dnešní době probíhá velké množství výzkumů zaměřených na posouzení invazivity nových bioenergetických plodin, aby se zabránilo jejich zavlečení. Byla ale věnována malá pozornost potenciálu invazivních druhů, které jsou již v životním prostředí přítomné, jako zdroji biomasy pro bioenergii. Doporučením po ukončení této pilotní studie je, že má význam další zkoumání využití biomasy bolševníku velkolepého pro užitok a likvidaci. Zajímavým nápadem pro další výzkum se jeví například použití odpadní vody z čistíren odpadních vod (ČOV) jako inokula k biomase z bolševníku, a to kvůli přítomnosti širokého mikrobiálního společenství (Meerbeek et al. 2015). Je důležité zdůraznit, že sklizeň biomasy

invazních rostlin musí vést k vyčerpání rostlinných rezerv, ale kontrola a eradikace těchto druhů musí zůstat hlavním cílem.

7. Přehled literatury a použitých zdrojů

Akademie věd České republiky 2021: Invazní druhy: riziko pro krajinu i kvalitu života lidí. AVex 1: 4.

Angelidaki I., Ahring B.K., 2000: Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. *Water Science and Technology* 41: 189–194.

Autburger S., Petig E., Bahrs E., 2017: Assessment of grassland as biogas feedstock in terms of production costs and greenhouse gas emissions in exemplary federal states of Germany. *Biomass and Bioenergy* 101: 44-52.

Baker B., Bedford J., Kanitkar S., 2017: Keeping pace with the media; Giant Hogweed burns — A case series and comprehensive review. *Burns* 5: 933-938.

Boullagui H., Touhami Y., Cheikh R., Hamdi M., 2005: Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry* 40: 989-995.

Bhownik P., Chandran R., 2015: Biology, ecology, distribution and current status of *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier. *Journal Crop and Weed* 11: 1-17.

De Bok F.A.M., Plugge, C.M., Stams A.J.M., 2004: Interspecies electron transfer in methanogenic propionate degrading consortia. *Water Research* 38: 1368–1375.

Drosg B., 2013: Process monitoring in biogas plants. *IEA Bioenergy*: 1-38.

Eliáš P., 2009: Biotické invázie a manažment invázných druhov. *Nitra*: 187.

EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2009: Data sheet on Invasive Alien Plants: *Heracleum mantegazzianum*, *Heracleum sosnowskyi*

and *Heracleum persicum*. European and Mediterranean Plant Protection Organization. Bulletin 39: 489–499.

Flanagan K., Blankenship K., Houk L., 2021: Botanical Briefs: Phytophotodermatitis Caused by Giant Hogweed (*Heracleum mantegazzianum*). Close encounters with the environment 5: 251-253.

Feng L., Lin X., Li X., 2022: Combined anaerobic digestion of chicken manure and corn straw: study on methanogenic potential and microbial diversity. Journal of Microbiology 72: 1-11.

Hejda M., Pyšek P., Jarošík V., 2009: Impact of invasive plants on the species richness, diversity and composition of invaded communities. Journal of Ecology 97: 393–403.

Huanyun D., Rui X., Jianchang L., Yage Y., Qiuxia W., Hadi N., 2013: Biogas Yield Potential Research of *Tithonia diversifolia* in Mesophilic Anaerobic Fermentation in China. Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering 7: 522-525.

Chae J., Jang A., Yim K., Kim S., 2008: The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. Bioresource Technology 99: 1–6.

Jahodová Š., Trybush S., Pyšek P., Wade M., Karp A., 2007: Invasive species of *Heracleum* in Europe: an insight into genetic relationships and invasion history. Diversity and Distributions 13: 99–114.

Jakubska-Busse A., Sliwinski M., Kobyłka M., 2013: Identification of bioactive components of essential oils in *Heracleum sosnowskyi* and *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae). Archives of Biological Sciences, 65: 877–883.

Jalil A., Karmaker S., Basar S., Hoque S., 2019: Anaerobic digestion of vegetable wastes for biogas production in single. *International journal of waste resources* 9: 369.

Jermendy G., Visolyi G. 2022. Phytophotodermatitis bullosa in an elderly patient. *Advances in dermatology and allergology* 3: 611-612.

Johansson E., Prade T., Angelidaki I., Svensson S., Newson W., Gunnarsson I., Hovmalm H., 2015: Economically viable components from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in a biorefinery concept. *International Journal of Molecular Sciences* 16: 8997–9016.

Kintl A., Vítěz T., Huňady I., Brtnický M., Novák D., Lochman J., Vítězová M., Hammerschmiedt T., Holátko J., Elbl J., 2022: Anaerobic fermentation of silage from the above-ground biomass of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and Maize (*Zea mays* L.) as a new and promising input raw material for biogas production. *Applied sciences* 12: 1-15.

Kays S.J. et Nottingham S.F., 2008: *Biology and Chemistry of Jerusalem artichoke: Helianthus tuberosus* L. CRC Press, Boca Raton, 498 s.

Koenraad M., Appels L., Dewil R., Calmeyn A., Lemmens P., Muys B., Hermy M., 2015: Biomass of invasive plant species as a potential feedstock for bioenergy production. *Biofuels Bioprod. Bioref.* 9: 273–282.

Lozovitsky P., 2010: *Osnovi zemlerobstva i rostlinne vyroby*. Kievskaya narodna univerzita Tarase Ševčenko, Kiev, 265 s. (v ukrajinštině)

McMahon K., Stroot P., Mackie R., Raskin L., 2001: Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions – II: Microbial population dynamics. *Water Research* 35: 1817–1827.

Meier U., 2001: *Growth Stages of Mono and Dicotyledonous Plants*. BBCH Monograph: 103 s.

Mežule L., Tihomirova K., Nescerecka A., Juhna T., 2012: Biobutanol production from agricultural waste: a simple approach for pre-treatment and hydrolysis. *Latvian Journal of Chemistry* 4: 407–414.

Mikulka J., Štrobach J., 2020: Biologie a regulace vytrvalých plevelu na zemědělské půdě. *Výzkumný ústav rostlinné výroby*: 1-73.

Míchal P., Švehla P., Plachý V., Tlustoš P., 2016: Anaerobic digestion of grass: the effect of temperature applied during the storage of substrate on the methane production. *Environmental Technology* 38: 1-9.

Moller H., Sommer S., Ahring B., 2004a: Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *Journal of Environmental Quality* 33: 27–36.

Moller H., Sommer S., Ahring B., 2004b: Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass & Bioenergy* 26: 485–495.

Moravcová L., Pyšek P., Krinke L., Pergl J., Perglová I., Thompson K., 2007: Seed germination, dispersal and seed bank in *Heracleum mantegazzianum* (chapter 5). *CAB International*: 74–91.

Müllerová J., Pyšek P., Jarošík V., Pergl J., 2005: Aerial photographs as a tool for assessing the regional dynamics of the invasive plant species *Heracleum mantegazzianum*. *Journal Application Ecology* 42: 1042–1053.

Naja K., 2017: *Giant Hogweed Control Methods Guide*. NYSDEC Division of Lands & Forests, Forest Health: 1-11.

Nielsen B., Maneein S., Farid M., Milledge J., 2020: The Effects of Halogenated Compounds on the Anaerobic Digestion of Macroalgae. *Fermentation* 6: 1-22.

Nielsen C., Ravn H.P., Cock M., Nentwig W., 2005: The Giant Hogweed best practice manual. Guidelines for the management and control of an invasive Alien weed in Europe. Forest and Landscape Denmark: 1-44.

Nielsen C., Ravn H.P., Nentwig W., Wade M., 2005: Bolševník velkolepý: Praktická příručka o biologii a kontrole invazního druhu. Forest & Landscape Denmark, Hoersholm: 1-44.

Okoro V., Sun Z., 2019: Desulphurisation of biogas: A systematic qualitative and economic-based quantitative review of alternative strategies. ChemEngineering 76: 1-29.

Ondeková J., Renčo M., 2017: The Impact of Invasive Plants on Biodiversity. Životné prostredí 51: 52-55.

Otte A., Eckstein R., Thiele J., 2007: Heracleum mantegazzianum in its primary distribution range of the Western Greater Caucasus. Ecology and management of giant hogweed (Heracleum mantegazzianum). CAB International: 20–41.

Park K., 2004: Assessment and management of invasive alien predators. Ecology and Society 9: 2.

Pergl J., Perglová I., 2022: Zásady regulace pro bolševník velkolepý (Heracleum mantegazzianum) v České republice. Ministerstvo životního prostředí: 1-28.

Pergl J., Sádlo J., Petrušek A., Laštůvka Z., Musil J., Perglová I., Šanda R., Šefrová H., Šíma J., Vohralík V., Pyšek P., 2016: Black, Grey and Watch Lists of alien species in the Czech Republic based on environmental impacts and management strategy. NeoBita 28: 1-37.

Perglová I., Pergl J., Pyšek P., 2007: Reproductive strategy of Heracleum mantegazzianum (chapter 4). CABI International: 1-55.

Pfurtscheller K., Trop M., 2014: Phototoxic Plant Burns: Report of a Case and Review of Topical Wound Treatment in Children. *Pediatric dermatology* 31: 156-159.

Prčík M., Kotrla M., Giertl T., Pauková Ž., Hauptvogel M., Ernst D., Gadus J., Fehér A., 2022: Evaluation of selected *Miscanthus* genotypes for biogas production as a possible solution of regional bioenergy. *Journal of Central European Agriculture* 23: 888-897.

Pyšek P., Müllerová J., Jarošík V., 2007: Historical dynamics of *Heracleum mantegazzianum* invasion at regional and local scales. *Ecology and Management of Giant Hogweed (Heracleum mantegazzianum)*. CAB International: 42–54.

Pyšek P., Kopecký M., Jarošík V., Kotková P., 1998: The role of human density and climate in the spread of *Heracleum mantegazzianum* in the Central European landscape. *Diversity and Distributions* 4: 9–16.

Rejmánek M., Richardson D.M., Higgins S.I., Pitcairn M.J., Grotkopp E., 2005: *Ecology of invasive plants: state of the art*. Island Press: 104–161.

Roopnarain A., Akindolire M., Rama H., Ndaba B., 2023: Casting Light on the Micro-Organisms in Digestate: Diversity and Untapped Potential. *Fermentation* 9: 1-25.

Sadi T., Rutz D., Prassl H., Köttner M., Finsterwalder T., Volk S., Janssen R., 2008: More about anaerobic digestion (AD). *Biogas handbook*. University of Southern Denmark: 16-28.

Skalicka-Woźniak K., Grzegorzczak A., Świątek Ł., Walasek M., Widelski J., Rajtar B., Polz-Dacewicz M., Malm A., Elansary H., 2017: Biological activity and safety profile of the essential oil from fruits of *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier (Apiaceae). *Food and chemical toxicology* 109: 820-826.

Seppälä M., Pyykkönen V., Väisänen A., Rintala J., 2013: Biomethane production from maize and liquid cow manure - Effect of share of maize, post methanation potential and digestate characteristics. *Fuel* 107: 209-216.

Slavík B., 1997: Květena České republiky, díl 5. Academia, Praha, 560 s.

Tanke A., Müller J., Mol F., 2019: Seed viability of *Heracleum mantegazzianum* (Apiaceae) is quickly reduced at temperatures prevailing in biogas plants. *Agronomy* 9: 332.

Tesařová M., 2010: Biologické zpracování odpadů. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 129 s.

Uhříček P., Pcová L., 2015: Metodiky likvidace invazních druhů rostlin. *Karlovarský kraj* 1: 36-37.

Vaněk V., Balík J., Pavlíková D., Tlustoš P., 2007: Výživa polních a zahradních plodin. ProfiPress, Praha, 167 s.

VDI (Verlag des Vereins Deutscher Ingenieure), 2016: Fermentation of Organic Materials: Characterisation of the Substrate, Sampling, Collection of Material Data, Fermentation Tests. Düsseldorf, 92 s.

Walasek M., Grzegorzczak A., Malm A., Skalicka-Woźniak K., 2015: Bioactivity-guided isolation of antimicrobial coumarins from *Heracleum mantegazzianum* Sommier & Levier (Apiaceae) fruits by high-performance counter-current chromatography. *Food Chemistry* 186: 133-138.

Wang W. et Lee D., 2021: Valorization of anaerobic digestion digestate: A prospect review. *Bioresource technology* 323: 1-15.

Ward A., Hobbs P., Holliman P., Jones D., 2008: Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology* 99: 7928-7940.

Weijde T., Kiesel A., Iqbal Y., Muylle H., Dolstra O., Visser R., Lewandowski I., Trindade L., 2015: Evaluation of Miscanthus sinensis biomass quality as feedstock for conversion into different bioenergy products. GCB Bioenergy 9: 176-190.

Yang L., He S., Corcadden K., Udenigwe C., 2015: The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. Biotechnology reports 5: 77-88.

Židek M., 2004: Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentatoru. Energie z biomasy III (seminář): 43-50.

Internetové zdroje:

AOPK ČR, ©2022: Databáze výskytu druhů (online) [2022.12.14], dostupné z <https://portal.nature.cz/publik_syst/nd_nalez-public.php?idTaxon=37354>.

Bačík O., ©2008: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu (online) [cit. 2023.01.27], dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stance-technologie-celonarodniho-vyznamu>>.

Dohányos M., ©2008: Anaerobní reaktor není černou skřínkou – teoretické základy anaerobní fermentace (online) [cit. 2023.02.10], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>.

Seznam zdrojů obrázků:

Obrázek 1: Bolševník velkolepý (Park, 2004).

Obrázek 2: Rozšíření *H. mantegazzinum* v jeho invazním areálu v Evropě (Nielsen et al. 2005).

Obrázek 7: Schéma bioreaktoru (Drosg, 2013).