

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V
PRAZE**

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Bc. Josef Melnyk

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Obsah živin v rostlinách pěstovaných
v substrátu s obsahem biocharu**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce:
doc. Ing. Kateřina Berchová Ph.D.

Konzultant:
Ing. Martina Kadlecová

Vypracoval:
Bc. Josef Melnyk

Sušany 2022



Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Autor práce: Bc. Josef Melnyk
Studijní program: Regionální environmentální správa
Vedoucí práce: doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.
Garantující pracoviště: Katedra aplikované ekologie
Jazyk práce: Čeština
- Název práce: **Obsah živin v rostlinách pěstovaných v substrátu s obsahem biocharu**
- Název anglicky: **Nutrient content of plants grown in substrate containing biochar**
- Cíle práce:
1. Vyhodnotit, zda je obsah živin v nadzemní a podzemní biomase testovaných rostlin ovlivněn rozdílným typem substrátu (s přidavkem 4 % biocharu, substrát bez obsahu biocharu)
 2. Posoudit, zda se obsah živin v nadzemní a podzemní biomase liší dle druhu testované rostliny
 3. Vyhodnotit efekt přidavku 4 % biocharu na obsah živin v nadzemní a podzemní biomase testovaných rostlin
- Metodika: Práce navazuje na předchozí experiment, ze kterého byla získána potřebná biomasa rostlin na testování obsahu živin. Získaná usušená biomasa bude rozemleta a následně laboratorně testována (mineralizace, hmotnostní spektrometrie). Výsledky budou statisticky vyhodnoceny.
- Doporučený rozsah práce: 40 stran, 2 grafy
- Klíčová slova: biochar, mineralizace, obsah živin, okrasné rostliny, spektrometrie
- Doporučené zdroje informací:

1. LAHORI, A.H., GUO, Z.Y., ZHANG, Z.Q., LI, R.H., MAHAR, A., AWASTHI, M.K., SHEN, F., SIAL, T.A., KUMBHAR, F., WANG, P., JIANG, S.C. Use of biochar as an amendment for remediation of heavy metal-contaminated soils: Prospects and challenges. 2017. *Pedosphere*. 27(6): 991–1014. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60490-9.
2. LEE, J., AJIT, K.S., EILHANN, E.K. *Biochar from biomass and waste - Fundamentals and applications*. 2019. Elsevier. pp. 1–462. ISBN 978-0-12-811729-3. DOI: 10.1016/C2016-0-01974-5.
3. MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 1995. ISBN 0-12-473543-6.
4. PROCHÁZKA, S. *Fyziologie rostlin*. Praha: Academia, 1998. ISBN 80-200-0586-2.
5. RICHTER, R. -- HLUŠEK, J. *Výživa a hnojení rostlin. 1, Obecná část*. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1994. ISBN 80-7157-138-5.
6. WERNER, C., SCHMIDT, H.P., GERTEN, D., LUCHT, W., KAMMANN, C. Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5 °C. 2018. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044036. DOI: 10.1088/1748-9326/aabb0e.

Předběžný termín 2021/22 LS - FŽP
obhajoby:

Elektronicky schváleno: 4. 3.
2022
prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 12. 3.
2022
prof. RNDr. Vladimír Bejček,
CSc.
Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Obsah živin v rostlinách pěstovaných v substrátu s obsahem biocharu“ vypracoval samostatně pouze pod záštitou mé vedoucí práce doc. Ing. Kateřiny Berchové, Ph.D. a konzultantky Ing. Martiny Kadlecové, a uvedl jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou 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 vědom, že odevzdáním diplomové 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 Sušanech, dne

Podpis studenta

Poděkování autora

Rád bych touto cestou vyjádřil poděkování doc.Ing.Kateřině Berchové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady. Dále bych rád poděkoval Ing.Martině Kadlecové za vstřícnost, velkou trpělivost, inspirativní rady, množství poskytnutých konzultací, obdivuhodnou ochotu a pomoc při vytváření mé diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat Ing.Barboře Hankové za korekturu a stylistiku a mé rodině za podporu při tvorbě diplomové práce.

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je práce s hypotézami, že působení přidaného biocharu do půdního substrátu může ovlivňovat obsah živin ve zvolených druzích rostlin, dále posoudit, zda se liší příjem těchto živin v nadzemní a kořenové části a zda je tento rozdíl patrný dle zvoleného druhu rostliny.

Biochar je dlouhodobě zkoumaným produktem, který se obecně využívá v zemědělství pro sekvestraci uhlíku. Jeho další vlastnosti a použití jsou předmětem mnoha studií především v oblasti zemědělských plodin a vlivů na půdy různých podnebných pásem. V oblasti zkoumání okrasných rostlin a volby typu nepůdního substrátu však studie nejsou časté. Vzhledem ke změnám klimatickým i půdním, vlivem antropogenní činnosti, se stále častěji ve městech objevují „zelené“ projekty vertikálních zahrad. Takovéto zahrady potřebují nenáročné rostliny na údržbu, přizpůsobivé různým druhům substrátů, vlivům počasí a nedostatku vláhy či živin. Jednou z možných alternativ, jak doplnit živiny ve vertikálních zahradách, se ukázal biochar.

Tento experiment je výstupní částí experimentu předchozího, který byl započat již v roce 2019, kdy byly vysazeny okrasné rostliny v kontrolovaných podmínkách České zemědělské univerzity v Praze. Pro studii byly zvoleny rostliny, které dle svých vlastností odpovídají vhodným kandidátům – břečťan popínavý (*Hedera helix*), dlužicha americká (*Heuchera americana*), kostřava ovčí (*Festuca ovina*), metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*), rozchodníkovec velký (*Hylotelephium maximum*). Tyto rostliny byly vsazeny do kameninového substrátu liaporu a zalévány zálivkou v pravidelných intervalech. Bylo přidáno hnojivo Hoagland a biochar.

Po skončení experimentu byly rostliny mechanicky zpracovány, sušeny a poté rozemlety na velmi jemné částice (<1 mm). Poté byla sušina podrobena mineralizaci pomocí kyseliny dusičné a chloristé v roztoku s destilovanou vodou. Následně byly vzorky změřeny na spektrometru iCAP 7000 Series.

Výsledky ze spektrometrického měření byly vyhodnocovány ve statistickém programu Statistica 13 pomocí dvoufaktorové ANOVA.

Většina rostlin zaznamenala významně zvýšený podíl makroživin v nadzemní části po přidavku biocharu, kořenové části pak vykazovaly spíše klesající tendence. U mikroživin se trend nedá zcela určit, jelikož dle druhu reagovaly rostliny různým způsobem na jednotlivé složky, a to jak v nadzemní části, tak kořenové části. Lze však konstatovat, že většina druhů spíše akumuluje živiny do nadzemních částí a po přidání biocharu se obsah některých prvků může zvýšit (např. Ca, Mg, S).

Klíčová slova: biochar, mineralizace, nádobový experiment, obsah živin, okrasné rostliny, spektrometrie

Abstract

The subject of this thesis is to work with the hypotheses that the action of added biochar to the soil substrate can influence the nutrient content of selected plant species, to assess whether the uptake of these nutrients differs in the above-ground and root parts and whether this difference is noticeable according to the selected plant species.

Biochar is a long-researched product that is generally used in agriculture for carbon sequestration. Its other properties and uses have been the subject of many studies, particularly in the field of agricultural crops and the effects on soils of different climatic zones. However, studies on ornamental plants and the choice of non-soil substrate type are not frequent. Due to changes in climate and soil due to anthropogenic activities, 'green' vertical garden projects are becoming increasingly common in cities. Such gardens need low-maintenance plants, adaptable to different types of substrates, weather conditions and lack of moisture or nutrients. Biochar has emerged as one possible alternative to supplement nutrients in vertical gardens.

This experiment is an outgrowth of a previous experiment that started in 2019, when ornamental plants were planted under controlled conditions at the Czech University of Agriculture. The plants chosen for the study corresponded to suitable candidates according to their properties - climbing ivy (*Hedera helix*), American bluegrass (*Heuchera americana*), fescue (*Festuca ovina*), broom (*Deschampsia caespitosa*), and big stonecrop (*Hylotelephium maximum*). These plants were embedded in the stoneware substrate of the liapor and watered with irrigation at regular intervals. Hoagland fertilizer and biochar were added.

After the experiment, the plants were mechanically processed, dried and then ground to very fine particles (<1 mm). The dry matter was then subjected to mineralization with nitric and perchloric acid in distilled water solution. Subsequently, the samples were measured on an iCAP 7000 Series spectrometer.

The results from the spectrometric measurements were evaluated in Statistica 13 statistical software using two-factor ANOVA.

Most of the plants showed a significantly increased proportion of macronutrients in the above-ground part after the addition of biochar, while the root parts showed rather decreasing tendencies. The trend for micronutrients could not be fully determined, as the plants responded differently to each component, both in the aboveground and root parts, depending on the species. However, it can be concluded that most species tend to accumulate nutrients in the aboveground parts and the content of some elements may increase after the addition of biochar (e.g. Ca, Mg, S).

Keywords: biochar, mineralization, pot experiment, nutrient content, ornamental plants, spectrometry

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíle práce.....	12
3	Literární rešerše	13
3.1	Výživa rostlin	13
3.1.1	Příjem živin.....	13
3.1.2	Vnější a vnitřní faktory příjmu	16
3.1.3	Zdroj živin v půdách.....	17
3.1.4	Hydroponie	20
3.2	Charakteristika prvků.....	24
3.2.1	Makroživiny	25
3.2.2	Mikroživiny.....	29
3.2.3	Užitečné prvky.....	31
3.2.4	Cizorodé prvky.....	31
3.3	Biochar	32
3.3.1	Vlastnosti biocharu	33
3.3.2	Výroba biocharu	34
3.3.3	Studie působení biocharu na růst plodin.....	35
3.3.4	Aplikace s doplňkovými látkami	36
3.4	Spektrometrie	36
3.5	Chemická mineralizace.....	38
4	Metodika.....	39
4.1	Popis experimentu.....	39
4.1.1	Nádobový experiment.....	39
4.2	Stručná charakteristika vybraných druhů rostlin.....	40
4.2.1	Barvínek menší (<i>Vinca minor</i>).....	40
4.2.2	Břečťan popínavý (<i>Hedera helix</i>).....	40
4.2.3	Dlužicha americká (<i>Heuchera americana</i>)	41
4.2.4	Kostřava vlčí (<i>Festuca ovina</i>).....	42
4.2.5	Metlice trsnatá (<i>Deschampsia caespitosa</i>).....	43
4.2.6	Pažitka pobřežní (<i>Allium schoenoprasum</i>).....	44
4.2.7	Rozchodníkovec velký (<i>Hylotelephium maximum</i>)	45
4.3	Zpracování získané biomasy	46
4.3.1	Příprava vzorku	46
4.3.2	Atomová hmotnostní spektrometrie (ICP-OES).....	47
4.4	Analýza dat.....	47
4.4.1	Hodnocení a statistika dat	47

5	Výsledky práce	47
5.1	Metlice trsnatá (<i>Deschampsia caespitosa</i>).....	48
5.2	Dlužicha americká (<i>Heuchera americana</i>)	51
5.3	Rozchodníkovec velký (<i>Hylotelephium maximum</i>)	54
5.4	Břečťan popínavý (<i>Hedera helix</i>)	57
5.5	Kostřava očí (<i>Festuca ovina</i>)	60
6	Diskuse.....	63
7	Závěr	65
8	Literatura	66
8.1	Literární a internetové zdroje	66
8.2	Bakalářské a diplomové práce	74
8.3	Programy	75
8.4	Zdroje obrázků.....	75
9	Seznam obrázků, tabulek a grafů	77
9.1	Obrázky a grafy	77
9.2	Tabulky.....	78
10	Seznam příloh	79
11	Přílohy	80

1 Úvod

Výzkum a vývoj biocharu, tedy aplikace průmyslově zpracovaného dřevěného uhlí do půdy, se v posledním desetiletí výrazně rozšířil. Hlavním důvodem zájmu je dlouhá životnost v půdních složkách, přičemž u mnoha typů biocharu se odhaduje životnost na 100 až 1000 let. Stále více studií poukazuje na pozitivní vliv přidavku biocharu do půdy, jako např. zvýšení kationtové výměnné kapacity v půdách, které jsou chudé na organickou hmotu (Silber et al., 2010; Cornelissen et al., 2013; Obia et al., 2015). Naopak některé studie poukazují na negativní vliv u jílovitých půd, kde se zvyšuje vazba dusíku (Kammann et al., 2015; Haider et al., 2016). Studie od Grabera a Kookena (2015) popisuje velmi protichůdný výsledek přidavku. Poukazují zde na vliv biocharu při odstraňování těžkých kovů a negativních vlivů zemědělské produkce – přemíra některých prvků v půdě, na druhé straně však způsobuje také inaktivaci pesticidů aplikovaných do půdy.

Aplikace biocharu do zemědělských půd je velmi rozšířeným tématem a podmětem zkoumání mnoha experimentů. Z hlediska využitelnosti je však opomíjen fakt, že biochar lze také aplikovat do půd, či jiných druhů substrátů, pro pěstební systémy okrasných rostlin jako jsou např. vertikální zahrady.

Vzhledem k měnícím se podnebným podmínkám vlivem klimatických změn či vlivu člověka na ekosystémy se v posledních letech velmi řeší problém „betonových pouští“ (Nátr, 2006). Jde o jeden z problémů dnešních měst, které nemají systémy zavlažování zeleně či postrádají finance na jejich správné „pěstební podmínky“. Jedním z řešení této situace se staly vertikální zahrady, které jsou specifickou zelení s mnoha pozitivními vlivy, jako ochlazování a „čištění“ ovzduší nebo snížení hluchosti (Yeh, 2012). Zvolené rostliny bývají nenáročné na podnebné podmínky, jsou přizpůsobivé negativním vlivům zvýšených koncentrací emisních spadů a také jsou aplikovatelné na různé typy substrátů. Není tedy vždy nutné využívat zeminu (Gandy, 2010). Pro různé substráty je však také nutné zvolit správné přídatky hnojiv pro doplnění živin nutných pro prosperující růst rostlin. Absence prvků se může velmi negativně projevit na množství listů, vývoji kořenového systému, incidenci škůdců a chorob, ale také dochází k úplnému úhynu vertikálních zahrad – ekologické i ekonomické dopady (Richter, Hlušek, 1994).

Vzhledem k vysokému poločas rozpadu biocharu a různým vlivům, které mohou jeho vlastnosti vyvolat, vzniká velké riziko při jeho aplikaci do většího územního celku – např. na celé pole kukuřice (Silber et al., 2010). Experimenty provedené na menších polích nebo okrasných rostlinách mohou být bezpečnějším a méně finančně náročným způsobem, jak docílit výsledků studií vlivu biocharu na růst rostlin v různých substrátech a zároveň nedochází ke ztrátám zisku z plodin (Omer et al., 2017). Dnes již existuje mnoho studií, které porovnávají vlivy biocharu na různé zemědělské plodiny, ale jen velmi málo z nich se zabývá pěstováním okrasných rostlin. Provedený experiment by měl posunout vědomosti o těchto vlivech na vybrané druhy rostlin aplikovatelné nejen na vertikální zahrady.

2 Cíle práce

V práci byly stanoveny následující cíle:

1. Vyhodnotit, zda je obsah živin v nadzemní a podzemní biomase testovaných rostlin ovlivněn rozdílným typem substrátu (s přidavkem 4 % biocharu, substrát bez obsahu biocharu)
2. Posoudit, zda se obsah živin v nadzemní a podzemní biomase liší dle druhu testované rostliny
3. Vyhodnotit efekt přidavku 4 % biocharu na obsah živin v nadzemní a podzemní biomase testovaných rostlin a zhodnotit využití biocharu coby půdního aditiva substrátů pro vertikální a střešní zahrady.

3 Literární rešerše

3.1 Výživa rostlin

Význam výživy rostlin byl znám již od starověku, kdy si celé generace hospodářů uvědomovali potřebu kvalitní půdy. Především ve starém Řecku, se objevovali první výzkumy od světoznámých filozofů, kteří predikovali existenci částic (atomů – Demokritos), které ovlivňují celou řadu faktorů, nejen ve výživě rostlin (Marschner, 1995). Například podle Černého et. al. (2019) latinský básník Titus Carus prohlásil, že příroda se řídí zákony, kde vše vzniká, trvá a zaniká, tedy zjednodušeně řečeno se opět navrácí do své původní podoby, aby následně mohl opět vzniknout život. Věřil, že co se vrátí do půdy z ní zase vzejde v jiné podobě. Tuto myšlenku však v pozdějším století zamítl Aristoteles, který ve svém díle popsal, že rostliny žádnou látkovou výměnu nemají a vše, co potřebují, získají jen a pouze z půdy, kde je již vše hotové a připravené. V tomto duchu se až do konce 19. století nesla humusová teorie, kdy její největší propagátor Albrecht Daniel von Thaer hlásal: „Úrodnost půd závisí zcela na humusu v půdě, neboť humus je mimo vodu jedinou půdní látkou, která může být považována za zdroj rostlinné výživy“, tento názor byl v celé Evropě velmi dlouho rozšířeným mýtem (Marschner, 1995).

V dnešní době již naštěstí díky výzkumům víme, že výživa rostlin není jednosměrná a zcela vyhovující všem rostlinám, ale jedná se o velmi rozmanitý systém příjmu a výdeje. Díky moderním poznatkům můžeme dnes lépe pracovat s plodinami v zemědělství a regulovat výživu rostlin (Černý et al., 2019).

3.1.1 Příjem živin

Za příjem živin je považován především proces, při kterém živiny proudí z vnějšího prostředí do těla rostliny (Kubát et al., 2003). Minerální látky, jednoduché výchozí sloučeniny nebo konečné iontové produkty se stávají hlavním zdrojem živin pro rostliny, které se po ukončení svého životního cyklu mohou opět stát základními stavebními prvky a živinami pro další rostliny. Richter a Hlušek (1994) dodávají, že jde o jeden ze základních projevů koloběhu života, který zahrnuje proces kvalitativních změn, kdy se z odumřelého materiálu stává složka buňky, která je schopná dalších asimilačních procesů. Výsledkem toho je produkce nové hmoty.

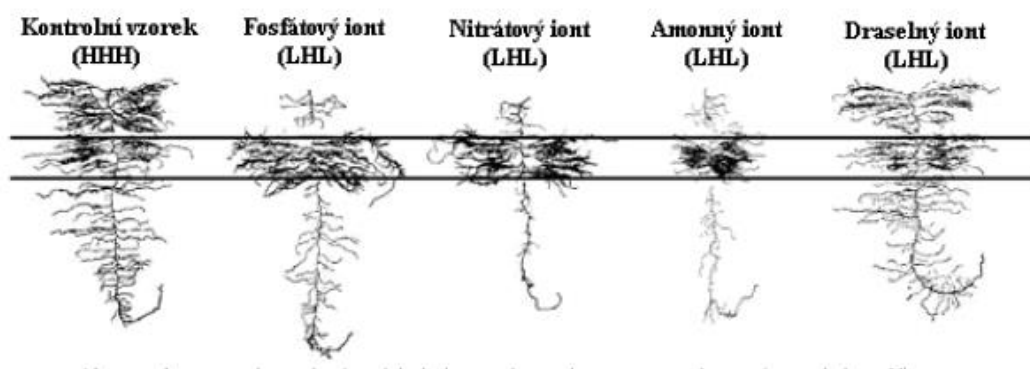
Jak zmiňuje Kubát et al. (2003), výživa rostliny se může odehrát na několika úrovních – listová (foliární) výživa, kdy rostlina přijímá živiny především z troposféry nebo kořenová půdním roztokem. První úroveň (listová) zajišťuje příjem převážně makrobiotických živin jako je oxid uhličitý (CO₂) a kyslík (O₂), částečně také vodík (H₂), kde tyto látky vstupují do rostliny přes kutikulu, listy, stonky či generativními orgány ve formě molekul. Takovým způsobem může přijmout i další látky jako dusík (N), fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg), železo (Fe) nebo i mikrobiotické živiny, a to nejčastěji ve formě rozpustných solí (Marschner, 1995). Při druhé úrovni rostlina přijímá půdní koloidy, které mineralizovali půdní mikroby a živočichové, pomocí absorpčního povrchu kořenového systému. Tímto způsobem také přijme většinu vody (Kubát et al., 2003). Votrubová (1997) dále doplňuje, že v půdním roztoku je vázáno jen velmi malé množství živin z jejich celkových zásob (jen <0,2 %), většina zásob, které rostliny k životu potřebují jsou v těžko rozpustných

organických a anorganických sloučeninách a v organických zbytcích. To tvoří rezervu živin, které se do těla dostávají pomalu pomocí difuze iontů solí a vody.

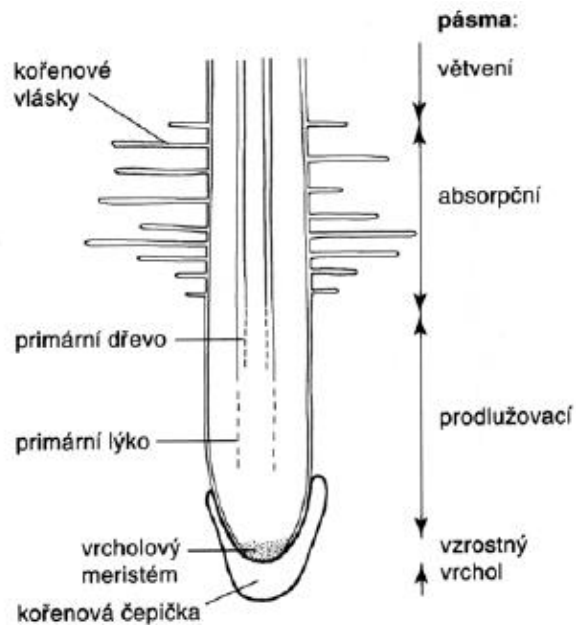
Rostlinné buňky potřebují k udržení života základní látky. Mezi tyto látky se neřadí pouze voda a světlo, ale také již zmiňované živiny, jimiž souhrnně nazýváme všechny elementární prvky. Tyto prvky se dělí na organické a anorganické (Kubát et al., 2003). Organická sloučenina je taková sloučenina, která zpravidla obsahuje uhlík (C), například oxid uhličitý získaný z atmosféry, a je zároveň součástí ostatních živých organismů či jejich produkce. Opakem je anorganická sloučenina, která uhlík neobsahuje, není součástí živého organismu a ani jím není nijak produkována – ty tvoří většinu půdního roztoku a nazýváme je obvykle souhrnným názvem minerální látky (Votrubová, 1997). Mezi takové, které rostlina potřebuje pro svou strukturu a regulaci se řadí například dusík (N) nebo draslík (K) (Procházka et al., 1998).

Většinu objemu rostlinné buňky však přesto tvoří voda, obvykle kolem 80-90 % z celkové hmotnosti rostliny (Procházka et al., 1998). Drew (1975) uvádí, že kořeny rostlin přijímají vodu a živiny z půdy prostřednictvím kořenových vlásků. Jak se z listů postupně ztrácí voda, proces transpirace a polarita molekul vody (která umožňuje vytvářet vodíkové vazby) přitahuje další vodu z kořenů nahoru přes tělo rostliny pomocí xylému (cévní systém) až do listů. Rostliny potřebují vodu k udržení buněčné struktury, k metabolickým funkcím, k přenosu živin a v neposlední řadě také k fotosyntéze (Votrubová, 1997).

Kořenové vlásky jsou jedním z nejdůležitějších orgánů pro příjem živin, ovlivňují celou řadu aspektů, jakým způsobem a v jaké kvalitě příjem probíhá (Drew, 1975). Ale také prostředí může zasáhnout do růstového procesu kořenových vlásků a tím například zpomalit transport (Marschner, 1995). Mnoho studií se zabývá prvky a sloučeninami, které nejvíce do růstu zasahují a jakým způsobem. Například zajímavé výsledky přinesla studie kořenového systému ječmene (Drew, 1975), kdy byl vystaven vyšším koncentracím celé řady iontů – amonných, fosfátových, nitrátových či draselných. V tomto případě byl systém nejvíce ovlivněn nitrátovým a amonným iontem, který fatálním způsobem narušil strukturu a množství kořenů. Pokus je znázorněn na Obr. 1.



Obr. 1: Prorůstání primárních a sekundárních bočních kořenů ječmene (*Hordeum vulgare*) v kultuře se středními částmi kořenů, vystavených 100x větší koncentraci fosfátových, nitrátových, amonných a draselných iontů srovnávaných s kořeny nad a pod (LHL). Kontrolní kořeny zásobovány vysokou koncentrací minerálních živin ve všech zónách (HHH). Zkratky: H-vysoký, L-nízký odkazují na horní, střední a spodní část kořenového systému U (Drew, 1975).



Obr. 2: Schématické uspořádání podélného řezu mladým kořenem s vyznačením růstových pásem (Kubát et al., 2003)



Obr. 3: Kořenový vlásek kukuřice – kořenová špička, hlavní kořen, kořenové vlásnění, klíčící rostlinka (Baláž, 2006)

Cesta živin v rostlině pomocí kořenového systému a rozvod živin do organismu rostliny se děje pomocí (Bahelková, 2021):

- Absorpce iontů z půdního roztoku – napřímo pomocí kořenů, ale koncentrace iontů je poměrně nízká
- Výměnnou absorpcí adsorbovaných živinných iontů – získává živinné ionty pomocí uvolňování H^+ a HCO_3^- , které podporují výměnu iontů s jílovými a humusovými částicemi
- Vylučováním H^+ iontů a organických kyselin – uvolnění živin vázaných v půdní zásobě. Zpřístupnění živin z chemických sloučenin se tvoří chelátové

komplexy. Chelatizace pak chrání kovy, aby nedocházelo k opětovným pevným vazbám a rostlina tak může snadněji přijímat kovy pomocí kořenů (Marschner, 1995; Procházka et al., 2003).

Cesta živin z půdy ke kořenům může probíhat buď kontaktní výměnou, kdy dojde mezi absorpčním povrchem kořenů a povrchem půdních koloidů k přímé výměně uvolněného H^+ z kořene rostliny za kation koloidu z půdy. Nebo pomocí objemového toku a difuzí (Kubát et al., 2003). Ten probíhá ve chvíli, když dojde ke konvenčnímu transportu vody z půdního roztoku do kořene rostliny. Velikost toku závisí na koncentraci iontů ve vodě, ale také na velikosti jejího toku jako rozpouštědla (Procházka et al., 1998).

V celém systému výměny iontů mezi pevnou fází půdy a půdním roztokem tedy dochází ke kontinuálnímu běhu látek, který představuje největší zdroj živin (Marschner, 1995). Množství přijatých živin ale také závisí na dalších faktorech, jako je chemický potenciál iontů v roztoku, kapacita půdy vázat ionty a uvolňovat je během růstové fáze rostliny, celkového množství iontů v půdě, ale také na její teplotě (Votrubová, 1997) a provzdušněnosti – ta je důležitá pro růst kořenových vlásků a jejich rychlosti vodivosti a koncentraci příjmu látek (Kubát et al., 2003) – stavba kořene a kořenových vlásků je znázorněna na Obr. 2 či Obr. 3, kde můžeme vidět přiblížený kořínek kukuřice. Zde jsou velmi dobře zachyceny kořenové vlásky.

3.1.2 Vnější a vnitřní faktory příjmu

Některé faktory ovlivňující příjem živin rostlinou jsou již zmíněny výše. Celou řadu faktorů lze ale ještě rozdělit na vnitřní a vnější, které také velmi významně přispívají k rychlejšímu příjmu, anebo naopak příjem zpomalují.

a) Vnitřní faktory – jsou dány geneticky a souvisejí tedy s druhem pěstované rostliny či plodiny. Hlavní znakem je příjmová kapacita druhu, ta je dána objemem kořenového systému a „rozvláštěním“ do prostotu půdního segmentu (Richter, Škarpa, 2013), a také vlastnostmi kořenů daného druhu (Kubát et al., 2003), který umožňuje například více přijímat fosfor, draslík nebo dusík oproti jinému druhu.

Richter a Hlušek (2003) uvádí, že dle nových studií bylo prokázáno, že novější výkonné odrůdy mají často menší příjmovou kapacitu než starší odrůdy, oproti nim ale mají lepší využitelnost přijatých živin. To však znamená, že tyto novější druhy potřebují větší přístupnost k živinám po většinu jejich vegetační doby (Votrubová, 1997).

b) K vnějším faktorům řadíme již zmíněné půdní reakce a biologické činnosti rostliny, ale také sorpční vlastnosti půdy, vzájemný účinek mezi jednotlivými živinami nebo vlivy klimatické (Pavlová, 2006). Vlivy klimatické jsou souhrnem faktorů jako je teplota, srážky, složení atmosféry (spad) a intenzita slunečního záření.

- Sorpce půdy – schopnost vázat živiny. Vysoká sorpční kapacita působí především pozitivně na dostatečný přísun kationů z půdy. Ovlivňuje míru vyplavování živin z půdy a také rovnoměrné zásobení živinami (Aiken, 2012).
- Teplota – ovlivňuje základní biologické procesy (fotosyntéza, transpirace, růst apod.) a biochemické reakce jako je aktivita enzymového systému. Také silně

ovlivňuje proces příjmu živin (například příjem fosforu se při nízkých teplotách kolem 10 °C velmi snižuje) (Procházka et al., 1998). Obecně lze říct (Richter, Hlušek, 1994), že u většiny prvků se při teplotách nižších, než je 10 °C příjem zhoršuje, existují ale výjimky jako je vápník či hořčík, který naopak v nižších teplotách aktivněji prostupuje do rostliny.

- Sluneční záření – osvětlení ovlivňuje velmi silně celou řadu fyziologických procesů v rostlině. Doba a intenzita osvětlení může pozitivně působit na příjem dusíku, fosforu či síry, také se zvyšuje tvorba cukrů, bílkovin a obsah nitrátů. Naopak pro příjem draslíku je lepší zastínění (Urban, 2012).
- Složení atmosféry – atmosféra a její složení ovlivňuje všechny živé organismy. Při příjmu živin rostlinou nejvíce zasahuje do růstu, ale také do půdní úrodnosti a nasycenosti (Trčková et al., 2003). Z atmosféry nejvíce vstupují plyny kyslík (O₂), oxid uhličitý (CO₂), vodík (H₂), ale také fluoran (HF), sulfan (H₂S) či oxidy dusíku (NO_x) – ty však ve zvýšené míře v ovzduší mohou působit spíše toxicky a buněčnou strukturu rostliny tak poškodit nebo zcela zničit (Horák et al., 2004). Velmi negativním atmosférickým jevem je spad tuhých částic – nečistot. Ten zhoršuje procesy oxgenní fotosyntézy a zvyšuje se nasycení cizorodými látkami jako je rtuť (Hg), olovo (Pb), zinek (Zn), nikl (Ni) apod. (Procházka et al., 1998). V silně kontaminovaném prostředí nelze pěstovat nezávadné rostlinné produkty, které by neohrožovaly lidské zdraví.
- Srážky – voda je jedním z nejdůležitějších faktorů, který je zdrojem živin, umožňuje difuzi a distribuci nezbytných látek v metabolismu rostliny. Při vyšší půdní nasycenosti se zvyšuje koncentrace vápníku (Ca²⁺) nebo hořčíku (Mg²⁺) (Richter, Kubát, 2003). Voda také ovlivňuje produkci sušiny (Richter, Hlušek, 1994). Pokud však zvolíme optimální výživu u zemědělsky pěstovaných produktů, můžeme tím pozitivně ovlivnit spotřebu vody, zvýšit produkci sušiny a zvýšit odolnost proti suchu (Richter, Škarpa, 2013), a tím napomoci například zemím, kde je zemědělství z hlediska kvality půd a dostupnosti vody velmi složité.

Pavlová (2006) dodává, že i mnoho dalších faktorů může ovlivnit kvalitu a rychlost příjmu minerálních látek jako je pH, struktura půdy, ale také střídání ročních období nebo jednorázový zásah do prostředí (průmysl, doprava, záplavy, dlouhodobá sucha, přehnojení apod.).

3.1.3 Zdroj živin v půdách

Organická část půdy, a tedy zdroj veškerých živin pro rostliny, je tvořena živou a neživou částí. Významem se obě varianty nedají srovnat (Dvořák, 2013), obě jsou stejně důležité, a především spolu navzájem kooperují, podílí se na většině rozkladných a dalších transformačních procesech. Jsou na sebe navzájem závislé (Krpeš, 2005) a tvoří tak ucelený systém půdních procesů.

Ze živé části půdy pokládáme za neaktivnější složku mikroedafon, který dělíme na fytoedafon (sinice, řasy, houby, bakterie včetně aktinomycet) a zooedafon (především heterotrofní prvoci) (Krpeš, 2005), které mají nezastupitelný podíl na rozkladu a transformaci organických látek.

Neživá část půdy je v základním rozdělení dvě skupiny – primární organickou hmotu a humusové látky (Vrba, Huleš, 2007). Obě skupiny mají rozdílné poslání a

uplatnění a vždy je tedy nutné rozlišovat, o kterou část se jedná. Nelze je zaměňovat, ani spojovat do jedné skupiny. V literatuře se často setkáme s tím, že u charakteristik půd není toto rozlišováno či je zcela opomenuta metoda stanovení, takové rozdělení má pak jen malou vypovídací hodnotu (Dvořák, 2013). Říct, zda je jedna či druhá složka pro rostliny důležitější, prakticky není možné, jelikož jsou stejně důležité, ale jejich funkce jsou značně rozdílné.

a) Primární organická hmota – Dle Jandáka et al. (2004) ji tvoří zejména směs odumřelých částí rostlin a mikroflóry, která je v půdě buď původní nebo uměle přidána pomocí organických hnojiv, ale také různé druhy proteinů, polysacharidů (celulóza, chitin aj.), molekuly organických látek, lignin a dalšího materiálu (vosk, terpenoidy, mastné kyseliny aj.), které jsou v různých fázích mineralizace či humifikace. Z této primární směsi mohou dále látky reagovat s již humifikovanými produkty, jakými jsou například fulvokyseliny, huminové kyseliny a jejich soli.

Převážná část primární organické hmoty v půdě je mineralizovaná, jen malá část zůstává v půdě a dále pak tvoří složky, která utvářejí humusové látky (Vrba, Huleš, 2007). Mineralizace je zjednodušeně řečeno exotermický proces, při kterém dochází ke „spalování“ směsi a jejímž produktem je v konečné fázi voda, oxid uhličitý (také siřičitý nebo dusičný, či čpavek) a minerální živiny, které se stávají primárním zdrojem živin pro rostliny (Schlaghamerský, 2013). Celý proces ovlivňuje mnoho vnějších půdních faktorů, které zde byly již uvedeny v podkapitole 3.1.2. Při tomto procesu se však netvoří humus.

Richter a Škarpa (2013) upozorňují, že při umělém zapravování organických látek do půdy musíme brát také v potaz podnebné podmínky, složení a druh půdy nebo druh pěstované plodiny či rostliny. I při takovémto procesu se však musí dbát na správně zvolený zdroj látek, například při urychlení mineralizace v půdě (zaorávka slámy s vysokým obsahem celulózy) může dojít k „poškození“ a naopak dojde ke zhoršení půdních vlastností a transportu látek (Kalinová et al., 2007).

Hlavním významem primární organické hmoty je zdroj živin pro půdní mikroflóru, čímž se zvyšuje aktivita, početnost a druhové zastoupení užitečného edafonu, a tím také můžeme docílit snížení obsahu patogenních organismů, rozkladu organických polutantů a celkové detoxikaci půdy (Krpěš, 2005). Po mineralizaci se pak stává jedním z hlavních zdrojů živin rostlin.

b) Humusové látky (humus) – jsou souborem organických látek ze zbytků rostlin, živočichů a mikroorganismů spojeným s minerálními látkami v různém stupni transformace (Vrba, Huleš, 2007). Na první pohled by se mohla zdát, že definice primárních organických látek a humusových látek je stejně, avšak proces jejich přeměn je zcela odlišný.

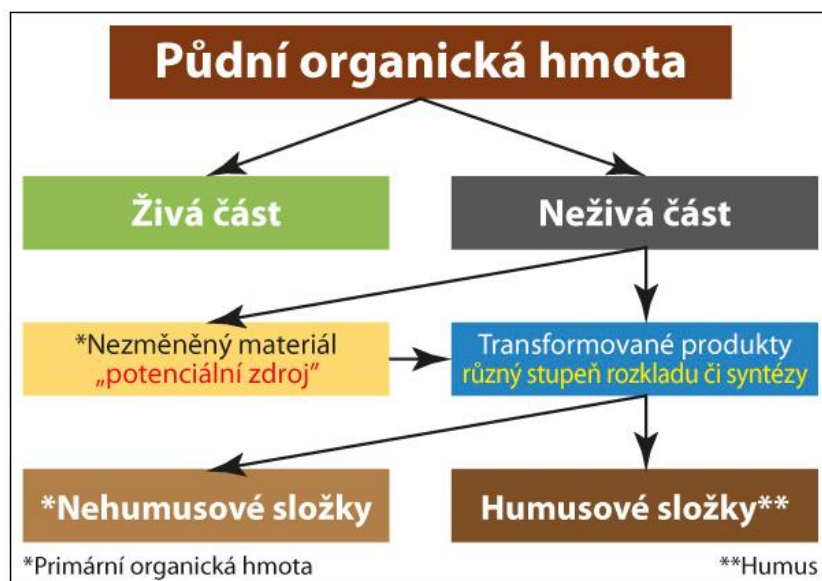
Na rozdíl od vzniku humusových látek rozkladem, jak mylně uvádí některé publikace, vznikají za pomoci humifikace – tedy velmi zjednodušeně řečeno syntézou (polymerací, kondenzací) jednoduchých organických látek, při které se zpracovává energie, a ta dává vzniknout vysokomolekulárním, tmavým látkám (Baldock et al., 1992; Černý et al., 2019). Na základě této jednodušší definice můžeme rozdělit dále na tři skupiny na základě jejich rozpustnosti v kyselinách či zásadách. Jsou to fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy (Vrba, Huleš, 2007). Jedná se o velmi

heterogenní, amorfní, vysokomolekulární polymery s aromatickými jádry, které mají nízké pH, mají vysokou iontovou sílu a jsou odolné vůči dalšímu mikrobiálnímu rozkladu. Obvykle mívá sytě žlutou až černou barvu (Baldock et al., 1992).

Jsou velmi stabilní půdní složkou, která má významné sorpční a vynikající ionto-výměnné vlastnosti. Díky tomu mohou na povrchu poutat ionty a vytvářet tak jejich přirozenou rezervu v půdě. To je nezastupitelná role v iontovém přenosu živin z půdy k rostlině, díky které jsou pro ni přijatelné (Kalinová et al., 2007). Přijatelnost těchto látek je ale závislá i na dalších faktorech – obvykle platí pravidlo, že čím větší obsah humusu v půdě, tím je umožněna lepší kationová výměna (Jandák et al., 2004; Kalinová et al., 2007). Pochopitelně spolu s obvyklými vlastnostmi půdy (pH, vlhkost, struktura apod.).

Kögel-Knabcher (2002) také uvádí, že pozitivní vlastností humusu je jeho významná sorpční schopnost, která napomáhá dlouhodobě stabilizovat pH půdy a také napomáhá ke zpomalení pohybu některých těžkých kovů a reziduí pesticidů. Obdobně významná je schopnost tvorby organo-minerálních komplexů (huminové kyseliny), které mají za důsledek stabilizaci a vysokou pórovitost půdy (Hudlíková, 2007).

Z výše uvedených popisů primárních organických látek a humusových látek můžeme vyvodit, že ačkoli mají velmi podobné vlastnosti, tak s ohledem na vnitřní strukturu makromolekul humusu, má jeho vliv v půdě dlouhodobější efekt (Černý et al., 2019; Kögel-Knabcher, 2002). Humus se vytváří i tisíce let a stejně tak dlouho může trvat jeho rozklad, naopak primární organické látky jsou velmi dynamickou složkou půdy, která se může měnit rychleji s ohledem na půdní podmínky pro mineralizaci (Jandák et al., 2004). Velmi zjednodušeně můžeme vidět tvorbu obou složek na Obr. 4. Využití obou těchto složek je proto důležité nejen pro zemědělství, ale celkovou udržitelnost a zachování živnosti půd, jelikož jedna bez druhé v krátké době ztrácí svou „sílu“ (Vrba, Huleš, 2007).



Obr. 4: Zjednodušené schéma rozdělení složek půdní organické hmoty (Černý et al., 2019)

3.1.4 Hydroponie

Hydroponie je metoda, která se zabývá pěstováním rostlin v roztoku vody a živin, a to bez použití půdy. Rostliny získávají veškeré potřebné živiny prostřednictvím živného roztoku, který je dodáván ke kořenům (Turner, 2008). Tato metoda může fungovat pro pěstování malých domácích zahrádek až po pěstování ve velkém měřítku – komerční sféra (příklady hydroponického pěstování můžeme vidět na Obr. 6, kde jsou vyobrazeny různé varianty, jedním z nich je zjednodušený systém pro menší zahrady, viz Obr. 8). Zvláště užitečné je pro domácnosti, které nemají žádný nebo jen nevelký přístup k venkovnímu prostoru a možnosti půdní výsadby, jako jsou obyvatelé měst (Resh, 2001).

Přestože růst rostlin zahrnuje mnoho metabolických procesů, rostliny rostou především díky třem hlavním požadavkům: světlo, voda a živiny (Adams, 2002). V případě hydroponického pěstování nám díky živinami nabitému vodnému roztoku odpadá starost o hydrataci, taktéž je přímou cestou ke kořenům rostliny jako vydatná výživa, a zároveň používáme umělé osvětlení napodobující sluneční záření (Adams, 2002; Heteša, Kočková, 1997).

Systém – v pěstebním systému jsou rostliny buď zavěšeny přímo v roztoku, nebo jsou pěstovány v nepůdním médiu (Dannehl et al. 2015; Li a kol 2020; Li et al. 2021; Maucieri, 2019; Resh, 2001):

- **Keramzit** (liapor nebo také expandovaný jííl) – jedním z nejčastěji využívaných substrátů, lze je využít opakovaně; vytváří se malé pelety (viz Obr. 5), které neobsahují žádné živiny. Příklad pěstování v tomto substrátu je vyobrazeno na Obr. 7.
- **Minerální vata** – tento druh materiálu je nejvyužívanějším substrátem v hydroponii. Je vhodná do všech typů hydroponického pěstování (obnovující i cirkulární). Její původ je sopečný a díky tomu je lehká, nekarcinogenní, tvoří strusky, a tedy i vlastní kapilární systém díky poréznosti. Nejvíce je používána pro rané stádium rostlin, ale může být ponechána po celou dobu vývoje rostliny.
- **Perlit** – sopečný kámen, je lehký, zadržuje málo vody, ale více vzduchu, je tedy schopný plout. Velmi podobné vlastnosti, jen s malými odchylkami, mají také dosti využívaný **vermikulit** nebo **pemza**.
- **Kokosové textilní vlákno** – 100 % přírodní materiál, který se vyrábí ze zbytků kokosových vláken; je obtížné ho přelít, prostředí je velmi bohaté na kationovou výměnu, ale především je využíváno pro svou schopnost na sebe „nalákat“ houbu *trichodermis* – tyto jedinečné organismy chrání kořeny rostliny a stimuluje jejich růst (ostatně o pozitivních vlivech některých hub již vzniklo několik vědeckých studií) (Soft Secrets, ©2012). Je to velmi využívaný a vhodný substrát dostupný v několika variantách, jako je například kokosová rašelina.
- **Písek** – velmi levná a dostupná verze substrátu, ale dle studií není zcela vhodný pro svou těžkost, nezadržuje dobře vodu a je nutné ho čistit
- **Štěrk** – má podobné vlastnosti jako písek, ale větší rozměry umožňují lepší průchod vody. Je nutné ale často rostliny zavlažovat, aby nedošlo k vyschnutí.

- **Lapides crescendi** (granulát z odpadního skla) – obvykle jsou vytvářeny malé pelety, které svou podstatou umožňují více prostoru pro vodu i vzduch; obsahují 0,5-5 % uhličitanu vápenatého, který se postupně uvolňuje do roztoku. Není vždy vhodný kandidát na substrát.
- **Rýžové lusky** – vedlejší produkt zemědělství, který nemá jiné využití a stává se z něj odpadní produkt; jako substrát se postupně rozkládá a tím rostlině umožňuje postupné odvodnění.
- **Celulózní vlákna** – získává se ze dřeva a velmi dobře si po dlouhou dobu zachová strukturu. Jde o velmi oblíbený organický substrát, a to i přesto, že novější výzkumy ukazují, že tento typ dřevitých vláken může škodlivě narušovat rostlinné fytohormony, které jsou důležité pro její růst.
- **Ovčí vlna** – je efektivní obnovitelný materiál, který dle studie, která srovnávala několik druhů substrátů, vyšel jako nejvýnosnější. Jeví se tedy jako velmi slibná verze pro budoucnost hydroponii.
- **Pěnový polystyren** – je velmi lehký a levný, má dobré odvodnění a používá se ve formě granulí, kde nehrozí vypouštění styrenu do organismu rostliny. Nikdy se nesmí používat pěnový polystyren, který může uvolňovat brom (zpomalovač hoření v polystyrenu) a stát se tak nebezpečný pro lidské zdraví.



Obr. 5: Liapor (frakce 8-16 mm) (Liapor.cz, nedatováno)

Dle způsobu, jakým dostávají kořeny živný roztok, se rozdělují systémy dále na aktivní (využívají čerpadla, provzdušňují roztok a živný roztok jde přímo do zóny kořenů) a pasivní (nemají žádné mechanické části, živiny se dostávají ke kořenům kapilárním nebo gravitačním způsobem či přímým zaplavením) (Adams, 2002; Kubát et al., 2003).

Mnoho druhů rostlin zvládá hydroponické pěstování velmi dobře (Adams, 2002). Jedním z největších adeptů pro tento druh výsadby jsou byliny, saláty, velké množství druhů zeleniny, ale také například jahody (Romer, 1993). Naopak je lepší se vyhnout rostlinám, které rostou do výšky a ztrácí stabilitu bez půdního pokryvu, jako je kukuřice nebo brambory.

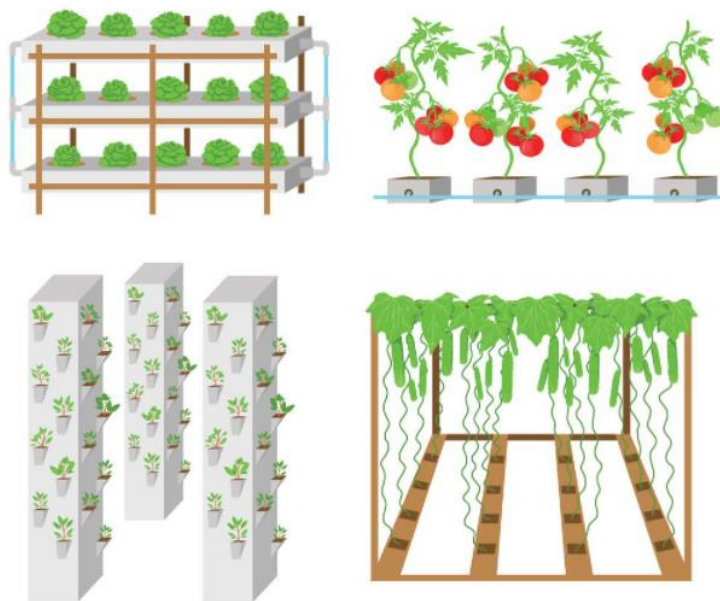
Výhody hydroponického pěstování (Adams, 2002; Diopan et al., 2009; Trees.com, ©2021):

- Prodloužené vegetační období – neohlíží se na roční období, jelikož máme pod kontrolou světlo, teplo i přísun živin
- Lepší růst a výnos – nejspíše způsobeno vyšší koncentrací kyslíku a kontrolovaným prostředím, kde nedochází k větším výkyvům (méně stresu pro růst)
- Vyšší hustota rostlin i kořenového systému – jelikož je dodáváno více živin napřímo, je možné pěstovat rostliny blíže u sebe, na rozdíl od půdního pěstování, kde platí přísná pravidla na rozestupy
- Můžeme pěstovat kdekoli – nevyžadujeme venkovní prostor
- Spotřeba vody je menší – rostlina je již ve vodném roztoku, tedy není nutné použít velké množství vody na závlivku půdy, aby se zajistilo, že se voda skutečně ke kořenům dostane; také nedochází k rychlému úniku do hlubších vrstev ani většímu vysychání (odpařování)
- Omezené množství škůdců (a tedy i použití pesticidů) – vzhledem ke kontrolovanému prostředí, většinou uzavřenému, nemají škůdci tolik šancí se k rostlině dostat – není nutné využívat pesticidy, nebo jen ve velmi omezené míře
- Snadná sklizeň – není nutné se ohýbat na zem, systémy mohou být umístěny na vyvýšených místech, tím je pěstování vhodné i pro lidi se sníženou pohyblivostí

Nevýhody hydroponického pěstování (Adams, 2002; Diopan et al., 2009; Resh, 2001; Trees.com, ©2021):

- Drahé vybavení – ve srovnání s tradičními pěstebními metodami jsou náklady na pořízení i výrazně větší
- Zranitelnost – při výpadku proudu dochází k zastavení systémů, závislých na elektřině – cirkulátory, světla, provzdušňovače, čerpadla apod. – při dlouhodobém výpadku dochází k poškození či úhynu
- Monitoring – systémy jsou závislé na pravidelných kontrolách živin, čistoty, pH, vodivosti aj. – v přírodě jsou tyto cykly samoregulovatelné
- Nemoci z vody – vyhneme se škůdcům, ale opakem jsou nemoci, které jsou přenášeny vodou (při cirkulaci pak dochází k velmi rychlému šíření infekcí). V extrémních případech dochází k fatálním následkům na úrodě.
- Rychlejší opotřebení kořenového systému – při klasickém pěstování chrání rostliny a její kořeny především půda, ta funguje jako „nárazník“ proti nemocem, nedostatku živin či vláh, nebo změny teplot. Při pěstování v roztoku kořeny nic nechrání a tím dochází ke škodám mnohem rychleji.

Hydroponie je stále ještě ve vývinu a je předmětem mnoho zkoumání a vědeckých studií. Ačkoli má řadu výhod, jako výnosnost či dostupnost, finanční a časová stránka značně neguje pozitivní stránky této metody (Heteša, Kočková, 1997; Turner, 2008).



Obr. 6: Různé varianty hydroponického pěstování (Istockphoto.com, ©2018)



Obr. 7: Pěstování v liaporu (Cannapedia.cz, ©2022)



Obr. 8: Systém vytvořený pro zahrady (Václavík, 2017)

3.2 Charakteristika prvků

Kubát et al. (2003) uvádí, že základní schopností všech rostlin je přetvářet anorganické látky na chemickou energii, kterou potřebují ke svému životnímu růstu. Těmto transformovaným látkám říkáme živiny (v literatuře často uváděno také jako element či nutrient). Vedle základních zdrojů těchto prvků jako je voda (H_2O – zdroj vodíku – H) a oxid uhličitý (CO_2 – zdroj uhlíku – C) potřebují i další prvky, které se za určitých podmínek a procesů stávají živinami nutné k zajištění základních životních funkcí rostliny (Marschner, 1995). Koloběh těchto základních látek v přírodě je znázorněn ve zjednodušené formě na Obr. 10. Tyto prvky pak můžeme rozdělit do čtyř skupin dle jejich důležitosti, množstevním zastoupení a dalších specifikací.

Některé literatury uvádějí pouze dvě základní skupiny, jakými jsou makroživiny a mikroživiny (Koštíř, 1960), v tomto rozložení jsou však často opomíjeny výjimky prvků, které rostlina zcela pro svůj životní cyklus nepotřebují či jí dokonce mohou ve větším množství uškodit.

Dle některých autorů jako je Mengel a Kirkby (1978) je nutné rozdělit biogenní prvky dle jejich fyziologických a biochemických vlastností, proto byly vytvořeny čtyři skupiny, které však zcela nezahrnují každý prvek (viz Obr. 9).

Skupina	Živina	Příjem	Biochemické funkce v rostlině
1	C, H, O, N, S	ve formách CO_2 , HCO_3^- H_2O , O_2 , NO_3^- , NH_4^+ SO_4^{2-} , SO_2	- hlavní složky organ. látek - základní prvky enzymatických procesů - zúčastňuje se oxidačně redukčních reakcí
2	P, B, Si	ve formách fosfátů, kys. borité, borátů, silikátů	- esterifikace nativních alkoholových skupin - fosfátové estery se zúčastňují přenosu energie
3	K, Na, Mg, Ca, Mn, Cl	v iontových formách z půdního roztoku	- vyznačují se nespecifickými funkcemi, které řídí osmotický potenciál - specifikují činnost enzymových proteinů - aktivují enzymy - vyrovnávají nedífušní a difúzní anionty
4	Fe, Cu, Zn, Mo	ve formách iontů nebo chelátů z půdních roztoků	- převládají v chelátových formách inkorporovaných do prostetických skupin - umožňují elektronový transport se změnami valence

Obr. 9: Možné rozdělení biogenních prvků (Mengel, Kirby, 1978).

Pro běžnou specifikaci a rozdělení nejdůležitějších biogenních prvků uvádíme jako základní skupiny:

- Makroživiny
- Mikroživiny
- Užitečné prvky
- Cizorodé prvky

3.2.1 Makroživiny

Tyto prvky mají nenahraditelné zastoupení, jelikož jsou brány jako základní stavební jednotky proteinů, lipidů, enzymů, vitamínů, nukleových kyseliny, hormonů, koenzymů či sacharidů, bez kterých by v zásadě rostlina dlouhodobě nemohla existovat (Richter, Hlušek, 1994). Zastoupení v těle rostlin se pohybují od desetin až po desítky procent. Řadí se sem uhlík (C), kyslík (O), vodík (H), dusík (N), fosfor (P), draslík (K), vápník (Ca), hořčík (Mg) a síra (S).

Fosfor – na Zemi se fosfor vyskytuje poměrně hojně, avšak pouze ve sloučeninách. V tomto složení jej také přijímají rostliny, a to ve formě fosfátového anionu (H_2PO_4^-) nebo hydrogenfosforečnanu (HPO_4^{2-}) (Jursík, 2002). Je velmi důležitým prvkem z hlediska stabilizace DNA a RNA (Pavlová, 2006), jelikož tvoří můstky podobně jako vodík, v tomto případě je nazýváme esterové. Významnou roli také zastává v udržování stálého pH v organismu a jako přenašeč energie ve formě ATP (adenosintrifosfát). Dle Tůmové (2014) je příjem fosforu závislý na okolní teplotě, obsahu kyslíku v půdě, světle a také na výskytu některých dalších iontech. Zabudování fosforu je velmi rychlé. V rostlině se uchovává ve vakuolách, kde se hromadí v jeho anorganické formě – polyfosfáty, které vznikají odštěpením vody z ortofosfátů.

Rostliny obvykle spotřebují velké množství fosforu již v počátcích růstu, kde se k zásobám dostává rostlina z fyтину, který je uchovaný v jejich semenech nebo z lehce přístupných forem sloučenin fosforu v půdě (Richter, Škarpa, 2013). Dobrý koloběh této živiny neovlivňuje pouze životní cyklus rostliny, ale celého potravního řetězce. Velká zásoba umožňuje optimální růst, jelikož se dostává do všech částí rostliny – kořenů, stébel i listů (Kalinová et al., 2007).

Jeho nedostatek se na první pohled obvykle neukáže, ale v dlouhodobém měřítku zpomaluje růst rostliny, nepříznivě působí na kořenový systém, a nakonec odumírají starší i nové listy. Pokud je hladina výrazně pod potřebnou hladinou, dochází k tzv. hyperchlorofylaci, což se projeví začernáním listů a stonků (Richter, Škarpa, 2013). Přebytek obvykle není zcela zaznamenán, a to z důvodu dobré schopnosti vázat fosfáty, avšak v dlouhodobějším měřítku se projeví předčasným zráním rostliny, a tedy menších výnosů. Nehledě na přehnojení půdy (Marschner, 1995), která má za následek upozadění příjmu jiných potřebných živin.

Draslík – se v přírodě vyskytuje pouze jako kation dusíku (K^+), který má vliv na protichůdný charakter v příjmu jiných živin (Jursík, 2002). Například při vysoké koncentraci draslíku v půdě se velmi snižuje příjem hořčíku, vápníku, zinku nebo manganu, naopak stimuluje příjem sloučenin dusíku, fosforu a síry.

Draslík je velmi pohyblivý prvek v organismu rostliny a dokáže se přenášet jak bazipetálně (tvoří se nebo postupuje směrem k bázi orgánu), tak akropetálně (opačný směr – k vrcholu), což se projevuje ve schopnosti dobrého průniku mezi buněčnými membránami. Nejvíce draslíku nalezneme v cytoplazmě rostliny (Kašpárková, 2014), v menším měřítku ve vakuolách, kde se nejčastěji kumuluje ve formě chloridu draselný (KCl) nebo dusičnanu draselný (KNO_3 - někdy používaný triviální název „ledek“).

Velmi důležité zastoupení má v procesu fotosyntézy a dýchání rostliny. Zvýšený výskyt draslíku v izolovaných chloroplastech má za následek až trojnásobný příjem CO_2 . Naopak zvýšený obsah v listech snižuje jeho příjem, což může mít za následek tzv. draslíkovou deficienci (Procházka et al., 1998). Navýšení má velký vliv na zvýšenou hydrofilnost koloidů, kdy buňky dokážou velmi dobře vázat a udržet vláhu, tím se stávají odolnějšími proti suchu nebo nízkým teplotám (Koštíř, 1960).

Nedostatek zvyšuje respiraci, a naopak snižuje příjem některých organických látek z půdy – omezí její celkový energetický stav. Také se omezují tvorby cukrů, omezuje se syntéza bílkovin a škrobu a stoupá obsah aminokyselin – to vše má za následek ztenčování buněčné stěny, je narušena stabilita pletiva, následně dochází k celkové snížení odolnosti rostliny, rychlejšímu rozkladu a náchylnosti k chorobám a škůdcům (Kašpárková, 2014). Kalinová et al. (2007) upozorňují na to, že nedostatek může mít za následek „bobtnání koloidů“, kdy jsou koloidy méně stabilní a tím dochází k ovlivnění vodního režimu – rostliny ztrácí schopnost zadržet vodu.

Vápník – je prakticky imobilní prvek, který v těle rostliny příliš necestuje, proto je nutný jeho neustálý přísun z vnějšího prostředí. Rostliny přijímají vápník ve formě Ca^{2+} (vápenatý kation neboli ionizovaný vápník) pomocí kořenového systému, jeho koncentrace je nižší než u draslíku a nejvíce jeho příjem ovlivňují dusičnany a chloridy (Jursík, 2002). Pro jeho absorpci jsou velmi důležité správné podmínky, působí na něj osvětlení i teplota, při nižší vlhkosti půdy je přijímána vyšší koncentrace vápníku, zatímco při zvýšené klesá a zvyšuje se naopak příjem draslíku (Richter, Škarpa, 2013).

Vápník má různorodý význam v metabolismu rostlin a sehrává mnoho důležitých úloh, např. je stavební látkou (pektát), která zpevňuje buněčné stěny, posiluje růst buněk, stabilizuje bílkoviny, ovlivňuje pozitivně stavbu a růst pletiva a jednou

z nejdůležitějších schopností vápníku je, že neutralizuje některé druhy organických kyselin (Pokorná, 2012). Tato schopnost je nezastupitelná, jelikož má detoxikační efekt a jiné prvky jí nedokážou nahradit.

Nároky na příjem se velmi liší dle druhu rostliny a je také ovlivněn snášenlivostí druhu k pH půdy. Např. pšenice (Kalinová et al., 2007) špatně snáší vyšší koncentrace pH a nepotřebuje tedy zvýšený příjem vápníku, naopak brambory, kterým nevádí vyšší pH zeminy, požaduje velké množství.

Nedostatek této živiny se na rostlinách projevuje špatným a pomalým růstem kořenových vlásků, rychle podléhají rozkladu a tvoří se na nich slizový povlak. Kořeny projevují symptomy mnohem rychleji než nadzemní části, později dochází k blednutí listů nebo k jejich „pokropení“ tečkami. Poté obvykle zhnědnou a odumírají (Kubát et al., 2003). Nadbytek se u rostliny příliš neprojevuje a v podstatě není škodlivý, až na výjimky (kalkofobní rostliny – např. vřesoviště), u kterých způsobí hnilobu či rostlinnou „žloutenku“ (Košťál, 1960). Větší význam při přehnojení má příjem jiných živin, kdy nadbytek narušuje pohyb železa, manganu či zinku.

Hořčík – hořčík se vyskytuje v přírodě pouze ve formě sloučeniny kationu hořčíku (Mg^{2+}) a patří k jednomu z nejvýznamnějších biogenních prvků pro rostliny, jelikož je součástí chlorofylu (zelený pigment chloroplastů). Během fotosyntézy pak absorbuje sluneční záření, které přemění na energii a využije jí k syntéze sacharidů z vody a CO_2 (Hudlíková, 2007). Přes jeho velký přínos v organismu ho rostliny přijímají méně než vápníku, je přijímán kořenovým systémem pasivně a pomocí půdního roztoku. I v tomto případě, stejně jako tomu bylo u vápníku, zde najdeme antagonistický vztah k některým dalším živným prvkům – draslík, vápník, vodík či amonium (Pavlová, 2006). Např. vysoký obsah draslíku v půdě velmi omezí příjem hořčíku.

V některých případech je při transportu závislý na vápníku, ale ve většině případů je roznášen ve formě chelátů. Neukládá se ve vakuolách, jeho pohyb je veden naopak ven z buňky, směrem k místům, kde se rozpadá chlorofyl (Procházka et al., 1998). Hořčík je účastníkem mnoha biochemických procesů a reakcí, pozitivně ovlivňuje proteosyntézu (z aminokyselin se tvoří bílkoviny) a rostliny potřebují neustálý příjem v průběhu celého života (Krpeš, 2005).

Nedostatek biogenních prvků se nazývá chloróza a v toto případě se projevuje jako abnormální výskyt pigmentace listů, které mají různorodě zářivé barvy od žluté po purpurové. Listy jsou obvykle velmi křehké, rozpadavé a předčasně opadávají (Procházka et al., 1998). Naopak ani při nedostatku se negativní dopad nedotýká květenství, přestože dochází ke snížení plodnosti, nebere na kvalitě. Nadbytek se projevuje u většiny rostlin toxicky, a to především kvůli porušení rovnováhy ionů, rozpadají se kořeny a zmenší se také nadzemní část rostliny (Trčková, Jandová, 2003).

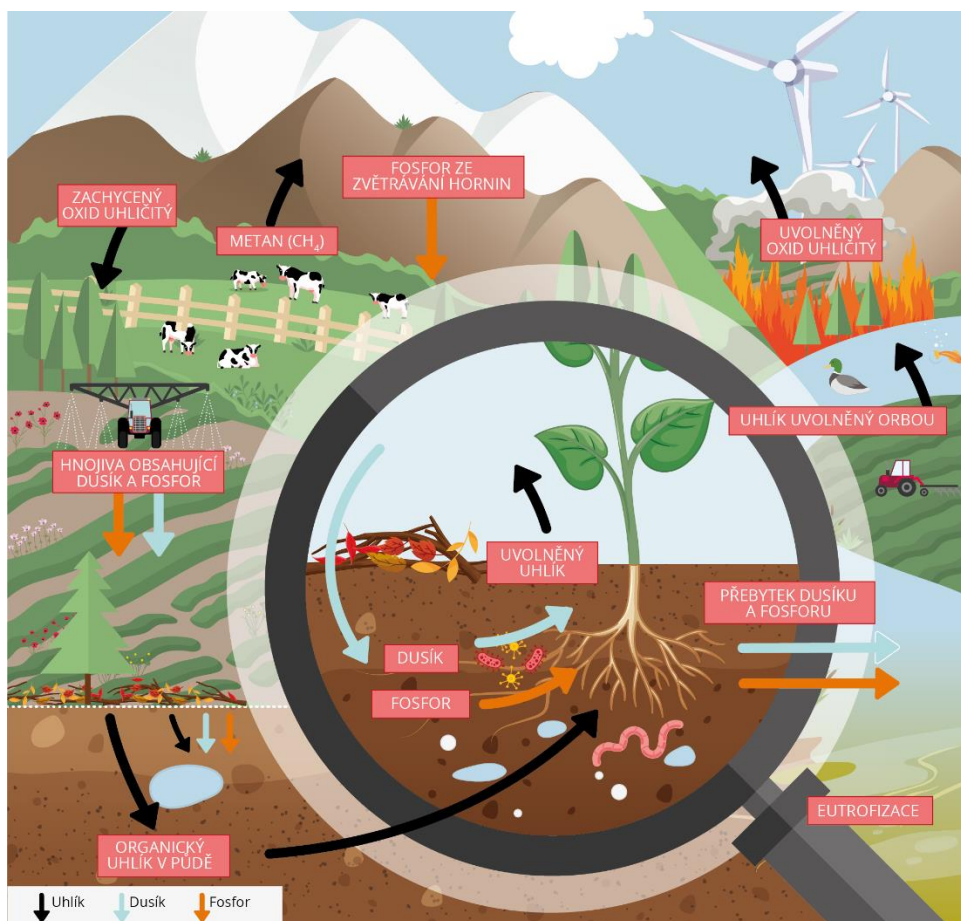
Síra – je nepostradatelný esenciální prvek, který se nachází ve všech tkáních živých organismů. Její příjem je pro rostlinu vysoce energeticky náročný, avšak nezbytný, jelikož je součástí aminokyselin, peptidů a vitamínů (Kocurková, 2018). Je přijímán ve formě síranového anionu (SO_4^{2-}) symportem (Jursík, 2002).

Rostliny mohou přijmout síru také jako oxid siřičitý (SO_2), pouze však v omezené míře, jelikož distribuce do organismu rostliny byla vedena přes stomaty (průduchy),

kteří nemají velkou kapacitu na příjem. Vlivem síranu mají rostliny větší hmotný podíl, naopak větší koncentrace oxidu siřičitého vedla k nekrotám a depresím (Richter, Škarpa, 2013). Tento oxid se ve větším množství vyskytuje v oblastech se zvýšeným průmyslem (Krpěš, 2005), v dlouhodobém měřítku, kdy jsou rostliny těmito vyššími koncentracím vystaveny dochází k redukci zeleně v důsledku rozpadu chloroplastových membrán.

Při nedostatku síry se snižuje obsah aminokyselin (Pavlová, 2006), které obsahují síru, naopak se zvyšují volné aminokyseliny, tím dochází především ke zvýšené akumulaci dusíku a různých forem nitrátů. Pokud nedostatek dosáhne kritické hranice, není to na první pohled zřejmé, rostliny se rozpadají na buněčné úrovni. První fyzickou známkou bývá žloutnutí listů (Kocurková, 2018). Naopak přebytek s sebou nese vyblednutí listů a následný úhyn.

Jak uvádí Parcell (2002), síra v rostlinách je důležitým faktorem také pro živočišnou říši, jelikož jsme závislí na příjmu právě v této redukované a organicky vázané formě, jako je např. cystein, v takovém uskupení pak vstupuje do bílkovin.



Obr. 10: Koloběh látek v přírodě (zjednodušené schéma) (Signály EEA, ©2019)

3.2.2 Mikroživiny

Mikroživiny mají zvláštní postavení mezi biogenními prvky, které rostliny potřebují pro svůj růst. Z hlediska nároků jsou ve značné míře nenahraditelné, pro některé druhy dokonce jejich nepřítomnost znamená jistý úhyn, avšak při zvýšeném množství v živném prostředí a v těle rostlin, vykazují toxické vlivy na buňky rostlin (Richter, Hlušek, 1994). Obsah těchto prvků se pohybuje pod desetiny, spíše v řádech tisícin % a někdy je těžké určit hranici přehnojení (Jandák, 2004). Do mikroživin řadíme železo (Fe), mangan (Mn), zinek (Zn), měď (Cu), bór (B), molybden (Mo) a kobalt (Co).

Železo – nejčastěji rostliny přijímají železo ve formě železitých kationů (Fe^{2+} a Fe^{3+}) nebo chelátů (Jursík, 2002). Absorpce z půdy probíhá pomocí kořenového systému aktivně a ty dále rozvádějí železo do reduktáz, které převádějí železo na cheláty (Kubát et al., 2003). Vzhledem k obtížné rozpustnosti ionů železa v půdě tak rostliny často vypouštějí vlastní organické látky (Koštíř, 1960), které s železem reagují a vytváří nové chelátové skupiny. Ty pak může využít rostlina také k navázání některých dalších těžkých kovů jako je měď či zinek.

Při nedostatku železa v organismu dochází k většímu vázání nitrátů, což je nevhodné především v zelenině, je také nezbytnou součástí mnoha systémů (enzymové, cytochromové) a jeho nedostatek má za následek narušení těchto procesů v rostlině (Kalinová et al., 2007). Doplnit železo ve formě chelátů je poměrně jednoduchý proces a lze tak velmi lehce zvrátit účinky deficitu. Zvláště pak v půdách, které jsou bohaté na vápník, se může železo velmi rychle vyvést z rostliny navázáním právě na vápenatý kation (Prášková, Němec, 1995-2013). Deficit železa obvykle způsobuje blednutí listů, na rozdíl od jiných živin působí především na mladší listy více než na starší a nedostatky jsou pozorovány spíše u dřevin než bylin či zeleniny (Pavlová, 2006).

Mangan – podobně jako u železa je mangan přijímán ve formě chelátů manganu či kationu manganu (Mg^{2+}) (Koštíř, 1960), má velmi nízkou míru transportu v organismu rostliny a podobně jako hořčík má schopnost aktivovat různé druhy enzymů (Trčková, Jandová, 2003). V ojedinělých případech ho dokonce může nahradit (Votrubová, 1997). Mangan má velmi významnou roli při fotosyntéze, kde napomáhá transportu elektronů.

Nároky na množství tohoto prvku se velmi liší v závislosti na druhu rostliny, její schopnosti mangan přijímat a také ukládat. Při nedostatku manganu se první projevy objeví na listech (vliv na chloroplasty v listech), které se zcela odbarví a objeví se „tečkování“, listy nakonec odpadají a rostlina hyne (Prášková, Němec, 1995-2013). K odstranění deficitu v půdě se nejčastěji používá síran manganatý (MnSO_4 – někdy se užívá triviální název manganatá skalice) (Pavlová, 2006). Jeho přebytek se však může projevit podobnými znaky – „tečkováním“ a odumíráním listů.

Mangan je také velmi důležitým prvkem pro živočichy a člověka. Při jeho nedostatku v těle může docházet k mnoha zdravotním problémům, např. může vyvolat cukrovku, hrozí rizika vzniku kardiovaskulárních chorob a negativně působí na cévní systém (Kováč, 2015). Jeho přebytek naopak napadá nervový systém a lidé tím postižení mají příznaky, které připomínají Parkinsonovu chorobu (Raglione et al., 2011).

Zinek – dostává se do organismu rostliny příjmem přes kořenový systém, obvykle ve formě kationu zinku (Zn^{2+}), jako chelát či jako hydroxid zinečnatý ($Zn(OH)_2$). Zinek se v rostlinách objevuje ve velmi malých koncentracích a jeho pohyb je nízký až imobilní (Košťál, 1960). Přesto, že se v organismu nevyskytuje ve větším množství, má zinek významný podíl na správné funkci chloroplastů, při regulaci nukleových kyselin v metabolismu a reguluje cukry (Prášková et al., 1995-2013).

Bahelková (2021) se ve své práci zmiňuje o tom, že nedostatek se projevuje hlavně u mladších rostlin, kdy se zkracují a zužují listy a získávají velmi bledě zelenou barvu. Kvůli průmyslovým emisím se ale spíše setkáváme s nadbytkem zinku v půdě. Po vstřebání vysokých koncentrací působí na rostlinu toxicky, kdy rostlina redukuje svůj růst, omezuje příjem železa a fluoru a nakonec hyne.

Bór – má zvláštní zastoupení mezi prvky tím, že jako jediný minerální prvek není přijímán rostlinou ve formě kationu, ale v různých formách anionů kyseliny borité (H_3BO_3) (Prášková, Němec, 1995-2013). Jeho přítomnost velmi ovlivňuje růst buněčných stěn a jejich pružnost, jelikož se váže na skupiny pektinů (polysacharidů), které jsou pro zmíněné stěny podstatné (Nielsen, 1997). Je to prvek, který se špatně přijímá v půdě, která vybočuje z pH 5-6 a velmi se podílí na transportu cukru v organismu.

Nedostatek bóru se projevuje tím, že snižuje růst pylových láček i kořenového systému, velmi lehce se doplňuje boraxem (Trčková, Jandová, 2003). Pro většinu rostlin jsou vyšší koncentrace toxické a příznaky jsou jasně viditelné – žloutnutí listů a následné hnití (Reháková, 1992). Zajímavostí je, že u člověka a zvíře dokáže bór působit velmi toxicky na jejich nervovou soustavu (Kristek et al., 2003), v některých případech bylo dokonce zaznamenáno trvalé poškození a následná mentální retardace.

Měď – podobně jako zinek má velmi důležité zastoupení v těle rostlin a v jejich procesech. Zejména se podílí na transportu elektronů (váže se na chloroplast), vyniká jako katalyzátor (váže se na bílkoviny jako tzv. „modrá bílkovina“) (Prášková et al., 1995-2013) a Reháková (1992) doplňuje, že velmi významně ovlivňuje syntézu a stabilitu chlorofylu. Některé druhy rostlin jej také využívají k fixaci dusíku.

Při jeho deficitu může být narušena syntéza enzymů DNA a RNA, onemocnění se však neprojeví ihned, nejdříve rostlina pouze usychá a mění barvu do sytě žlutých odstínů. Nakonec odumírají všechny části rostliny (Procházka et al., 1998). U mědi je pozorována velmi vysoká míra toxicity (Prášková et al., 1995-2013 při nadbytku (vstupuje lehce do ionů buněk), a to především po konzumaci rostlin zvířím či člověkem. Může vyvolat velmi závažná onemocnění (Havlenová, 2013), přesto k otravám nedochází často, jelikož měď vyvolává nepříjemnou chuť potravin.

Kobalt – kobalt je přijímán kořenovým systémem i tělem rostliny a má velmi podobné působení na organismu rostlin jako výše zmiňované kovové biogenní prvky. Především umí tvořit sloučeniny s organickými radikály, ovlivňuje stabilitu syntézy chlorofylu, aktivně působí na různé druhy enzymových systémů, fixuje elementární dusík a je také součástí vitamínů (Pavlová, 2006), které jsou důležité nejen pro rostlinu, ale také pro živočichy a člověka, který tuto rostlinu pozře. V tomto případě však vyvstává také riziko spojené s nadbytkem kobaltu, který může být toxický

(Prášková et al., 1995-2013) a při dlouhodobém vystavení vyšší koncentrace kobaltu (ať už v potravinách, parách či styku s kůží) způsobuje plicní fibrózy, kožní vyrážky, nevolnost a zvracení z požití či zhoršení funkce štítné žlázy (Horák et al., 2004).

Naopak je však nutné říct, že je mnohem podstatnější jeho nedostatek. Kobalt je důležitým prvkem v metabolismu dobytka (Hannis et al., 2009), který bez něj trpí chudokrevností a poruchami laktace, při dlouhodobém nedostatku dokonce úhynem. Pro člověka (Havlenová, 2013) je velkým přínosem ve formě vitamínů (B a B12).

3.2.3 Užitečné prvky

Mezi užitečné prvky řadíme takové, které nemají jednoznačný význam pro všechny druhy rostlin. Některé rostliny ho vyžadují a ty mají téměř roli hlavního biogenního prvku, pro další druh je naopak nedůležitý, a i s jeho dlouhodobým deficitem si rostlina poradí a projde celým svým vývojem bez újmy na kvalitě či kvantitě (Richter, Hlušek, 1994). U některých prvků je složité určit jejich přesné významy, jelikož jsou v půdách a v ovzduší velmi rozšířené (Jandák, 2004), je tedy snadné jejich pozitivní přínos zaměnit s jiným prvkem.

Nejdůležitějšími prvky v této řadě jsou jednoznačně sodík (Na), dále chlór (Cl), fluor (F), křemík (Si), jód (I), vanad (V), titan (Ti), selen (Se) a chrom (Cr).

3.2.4 Cizorodé prvky

Mezi tyto prvky řadíme především takové, které rostlina přijímá ze svého prostředí, avšak nedokáže je dále využít, tyto prvky pak působí převážně toxicky nejen na rostliny, ale také pro živočichy a člověka, pokud je přijmou ve formě stravy (Korfová, 2017). Vzhledem k tomu, že většina těchto prvků je silně rozšířená, je nutné jejich koncentrace v půdě hlídat, mohou totiž na organismus působit jako karcinogeny a mutagenní elementy (ukládají se v orgánech) (Horák et al., 2004). Rostliny dokážou tyto prvky uchovat v malé míře ve vakuolách nebo je imobilizovat pomocí jiných prvků. Tím rostlině neškodí, avšak je tu i nadále riziko přenosu (Richter, Hlušek, 1994).

Mezi cizorodé prvky řadíme většinu těžkých kovů a také některé mikroživiny (železo, měď, zinek či molybden), které však toxicky působí jen ve větších dávkách (Richter, Hlušek, 1994). Dále sem patří hliník (Al), kadmium (Cd), olovo (Pb), rtuť (Hg), nikl (Ni), arsen (As), beryllium (Be) a jiné – tyto prvky se dostávají do prostředí také vlivem antropogenní činnosti (zemědělství, průmysl, doprava) (Prášková et al., 1995-2013).

Olovo – některé rostliny přijmou olovo jako svou součást, která však není pohyblivá a nijak jejímu organismu neškodí (např. trávy). Běžně se vyskytuje v organismu většiny rostlin, ale pouze ve velmi omezené míře (Bahelková, 2021). Při větší akumulaci zakrňují listy, nejcitlivěji pak reaguje právě listová zelenina, snižuje příjem CO₂, omezuje příjem vody apod. (Kalinová et al., 2007). Otrava lidského organismu se projevuje nejhůře u dětí (Horák et al., 2004) a může mít silné následky po celý život (duševní vývoj a změny chování).

Nikl – nikl je prvek, který je po chemické stránce velmi podobný kobaltu, který je nezbytnou součástí lidského organismu a je cenný i pro rostliny. Přesto se nikl řadí mezi vysoce toxické. Obsah v rostlinách je velmi nízký a při jeho zvýšení dochází

k blokaci fotosyntézy a narušuje transpiraci. V lidském organismu může způsobovat rakovinu a v běžné praxi se setkáváme s alergií v kontaktu s kůží (Holeček, 2020).

Arsen – arsen se nejčastěji dostává do těl rostlin v oblastech rudných dolů, kališť a v blízkosti elektráren (spad exhalátů) (Reháková, 1992). U rostlin se nepříznivé účinky projevují zbarvením listů do fialových odstínů a zakrnělým růstem; u člověka a zvířat může způsobovat těžké střevní a zažívací potíže (Pechová, Vávrová pro MZe, nedatováno).

3.3 Biochar

Správný životní vývoj rostlin je v celém jeho rozsahu silně ovlivňován vnitřními i vnějšími podněty, stresem, škůdci, změnami teplot či výkyvem pH půdy a také složením živného podkladu, který se může v průběhu času měnit (koncentrace prvků se snižuje nebo zvyšuje) (Richter, Hlušek, 2003). Prostředí rostliny je také ovlivňováno antropogenní činností, která často vnáší do prostředí těžké kovy, které se běžně ve vyšších koncentracích nevyskytují (Marschner, 1995), např. těžební průmysl, chemický průmysl, ale i doprava. V případě, že některá z těchto vlastností neodpovídá naší představě o pěstování a zemědělství (pH, vláha, podnebná pásma či dostupnost živin), můžeme různými zásahy do přírody pozměnit strukturu půdy či jejích schopností (Martínek, 2020).

Hnojení je jedním z těchto zásahů, které mohou kvalitu půdy poznamenat jak v pozitivním směru (doplnění základních biogenních prvků při ztrátě či deficitu), tak také v negativním smyslu (přehnojení, toxicita, špatné hospodaření) (Prashar, Shah, 2016). V minulosti bylo běžné, že po několika letech pěstování jedné plodiny byla půda zcela vyčerpána a další roky nebyla schopna kvalitně nést životodárnou podporu plodinám. Dnes již víme, že je nutné půdu nezatěžovat, plodiny střídát, pravidelně kontrolovat koncentrace prvků a případně pomocí aplikací jiných sloučenin jejich množství snížit či zvýšit (Martínek, 2020). Velkou pozornost je také nutné soustředit na chemická hnojiva, která mohou dlouhodobě poškodit životní prostředí a její široké okolí (vyplavování chemických prvků do vodního podloží) (Prashar, Shah, 2016). Wu et al. (2012) dále poukazují na to, že jedním z dalších dlouhodobých problémů pro zemědělství jsou pesticidy, které svými nepříznivými účinky na ekosystémy ovlivňují i mikrobiologické vlastnosti půd. Při používání hnojiv a pesticidů po delší čas byl zaznamenán úbytek biodiverzity bakterií a mykorhiz, také půdní edafon se stává méně rozmanitý.

V současné době je velká snaha o užívání biohnojiv. Nejen, že mají vlastnosti, které potřebujeme k obnově chybějících biogenních prvků a úpravě dalších vlastností půdy, ale mají také mnohem nižší náklady na výrobu, aplikaci i formu likvidace, než je tomu u hnojiv chemicky vyráběných (Martínek, 2020). Velká pozornost je nyní věnována studiím biocharu (biouhlu) při aplikacích na různá stanoviště, druhy půdy a různorodé plodiny a rostliny, jak uvádí například studie na kukuřici, kterou zkoumal Gaskin (2010) nebo Oguntunde (2004). Je zde velký potenciál použití jako ekologické náhrady za průmyslová hnojiva pro zlepšení půdních vlastností. Zároveň i jako extraktor škodlivých látek a těžkých kovů z půdy (Martínek, 2020).

3.3.1 Vlastnosti biocharu

Biochar je ve své podstatě vysoce stabilní formou uhlíku (v půdě může dle odhadů setrvat až 5000 let), který se vyrábí za účelem aplikace do půdy jakožto prostředek pro zlepšení kvality půd a zdroj samotného uhlíku (Martínek, 2020). Skládá se také z dalších prvků jako je vodík, síra, kyslík či dusík. Je to černá, vysoce porézní stabilizovaná biomasa s nízkou hmotností a vyšším pH. A právě tyto fyzikální vlastnosti napomáhají k jeho funkci jako nástroje pro zlepšení půdních vlastností, které zároveň neškodí životnímu prostředí (Dvořáková, 2018). Má velmi dobré výsledky jako půdní doplněk pro stimulaci úrodnosti půdy (Ajema, 2018), zvyšuje její celkové pH, schopnost zadržovat vodu, zlepšuje průběh kationových výměn (Dvořáková, 2018), zachovává živné prvky v půdě a také vyvolává dobré prostředí pro různorodé druhy mikroorganismů, bakterií a hub. Zvyšuje provzdušnění půdy a snižuje její hustotu a utužení (tím napomáhá udržovat větší mezery v půdě a podporuje biodiverzitu půdního edafonu a jeho vzájemných kooperací). Napomáhá také rekultivovat silně degradovaná stanoviště (Martínek, 2020), např. po těžbě, jelikož ve srovnání s dalšími látkami přidávanými do půdy, má biochar schopnost silně adsorbovat kationy v půdě.

Jednou z velmi přínosných vlastností biocharu jsou její kapilární póry na povrchu. Čím menší jsou, tím déle dokáže zadržovat kapilární vodu v půdě – tato schopnost snižuje účinky sucha na produktivitu plodin v oblastech, která jsou právě dlouhodobým suchem postižená. Bylo potvrzeno na několika studiích, že biochar odstraňuje ve velkém množství omezení, která v půdě představují zábrany pro lepší růst rostlin, např. to uvádí Hariprasad a Dayananda (2013) či Lahori (2017), kteří provedli výzkum na odstranění těžkých kovů z půdy při aplikaci biocharu. Protože samotný biochar může obsahovat velké množství živin a některých mikroorganismů, jak ve své publikaci zmiňují Lee (2019) a Ajema (2018), kteří studovali zvýšení mikroedafonu v půdě, zadržuje také mnohem déle živné prvky a hnojiva (i z jiných zdrojů) v půdě a zabraňuje jejich vyplavování do vodních zdrojů (což může také zabránit kontaminaci nebezpečnými látkami jak uvádí Bouchalová (2018) ve své disertační práci).

Jak již bylo zmíněno, uhlíky mají vyšší pH a tím tedy dochází tzv. vápnicímu efektu, kdy snižuje kyselost půd a zlepšuje „zadržovací“ vlastnost půdy. Ve své publikaci o půdách v Amazonii to zmiňuje Lehmann (2007). Samotný proces uvolňování živin do půdy nemá na starosti pouze biochar – ten nejlépe funguje právě za pomoci přídatku hnojiv z jiných zdrojů, pomáhá je vstřebávat a následně funguje jako jakási „banka“ živin, kdy posléze postupně uvolňuje prvky do půdy. Tím nedochází k nadbytku živin v rostlinách a také jsou udržitelné po delší období než bez biocharu (Kammann et al., 2016). Jeho schopnost absorpce látek je také velmi významnou pro odstraňování škodlivin a toxických látek z půdy (Hariprasad, Dayananda, 2013, Lahori et al., 2017). Díky tomu se zmírňují dopady pesticidů a komplexních dusíkatých hnojiv na životní prostředí.

3.3.2 Výroba biocharu

Jako surovina pro výrobu biocharu je vhodná celá řada organických materiálů. Biochar lze vyrábět ze surovin, jako je tráva, kravský hnůj, dřevní štěpka, rýžové či ořechové slupky, pšeničná sláma, maniok, piliny, dřevní štěpky, kukuřičné klasy a další zemědělské a lesnické zbytky (Werner et al., 2018). V menší míře se také může vyrábět z komunálního odpadu (tento proces ale zatím nebyl předmětem větších průzkumů). Druh použité suroviny pak dává typické vlastnosti a obsah biogenních prvků v uhlících biocharu (Lee et al., 2019). Nejčastější složení biomasy, která se pro výrobu používá, jsou polymery celulózy a ligninu, mezi nimiž je celulóza převažující složkou kvůli výrobě biocharu ze zbytků rostlinného původu (Werner et al., 2018). Tyto procesy a vstupní suroviny nejen ovlivňují vlastnosti biocharu, ale také jeho konzistenci a strukturu (viz Obr. 11).

Proces výroby se zakládá na pyrolýzní technologii, která se může provádět na menších a levnějších pecích či ve větším (komerčním) měřítku na technologicky moderních pyrolýzních zařízeních (ačkoli je nákladnější, má také větší kapacitu zpracování a dokáže obsáhnout větší diverzitu spalovaného materiálu) (Ronsse et al., 2013). Pyrolýzní zpracování má několik stupňů. Nejprve se vstupní surovina rozdělí na malé části, které se poté vloží do pyrolýzní pece. Ta se zahřívá na teploty 350-700 °C bez přístupu kyslíku (či jen ve velmi malém množství), tento proces může trvat v závislosti na materiálu a teplotě od několika sekund až po hodiny (Ciceri et al., 2021). Výsledným produktem jsou „brikety“ biocharu, oleje, biolih a plyny (David et al., 2009).

Výroba biocharu se zaměřuje ještě na další stránku – množství uhlíku, který po vytvoření vzniká. V publikaci pro IEA Bioenergy uvedl Ciceri (2021), že při menších teplotách má větší zastoupení amorfního uhlíku než při vyšších. Procesy výroby tedy mohou výrazně ovlivnit kvalitu a výtěžnost konečného produktu (pomalý proces dává výtěžnost až 80 %, při rychlejších procesech může klesnout až na 20 %) jak píše Bruun (2012).



Obr. 11: Různé druhy biocharu dle použitého materiálu k výrobě (UC Davis Biochar Database, ©2022)

3.3.3 Studie působení biocharu na růst plodin

Studiemi biocharu se zabývá mnoho vědců, institucí i zemědělců, kteří neustále testují vlivy na různé druhy plodin, v různých podnebných pásmech a rozdílných typech půdy. Niže si uvedeme několik málo studií, kteří se tímto zajímavým, a do budoucna jistě prospěšným, produktem biologického hnojiva zabývají.

Pokus, který byl proveden na půdě kolumbijské savany (vysoké teploty, suchá stanoviště, nižší obsah biogenních prvků) se týkal aplikace 20 t/ha biocharu na podporu výnosu z kukuřice při nezměněných podmínkách. Mezi 2. a 4. rokem po aplikaci se zvýšil výnos z této plodiny v rozsahu 78-140 % (Oguntunde et al., 2004). Podobná studie byla provedena v tropickém pásmu na půdách ferrasolu, což jsou typické půdy pro tropická pásma, které jsou kyselé a obsahují vysoký podíl oxidů železa a hliníku. Přídavkem biocharu o dávce 90 g/kg byl výnos z fazolu obecného zvýšen z 50 % na 72 % (Rondon et al., 2007). Za zmínku také stojí pokus v lokalitách severního Laosu, kde po zanesení biocharu do půd chudé na fosfor se zvýšila výnosnost z rýže seté z 56 % na 74 % (Asai, 2009).

Příznivé účinky ale nemá pouze na výnosnost plodin, ale také na potlačení nepříznivých emisí skleníkových plynů v půdě jako např. snížení emise metanu (CH_4) a oxidu dusného (N_2O) na zemědělské půdě (Zhang et al., 2010). Rozsáhle byla studována prevence "difúzního znečištění vody" prostřednictvím sorpce amoniaku nebo zprostředkování dynamiky půdního roztoku obsahujícího dusičnany, fosfor a další živiny (van Zwieten et al., 2010). Aplikace biocharu do půdy může ovlivnit celou řadu půdních omezení, jako je vysoká dostupnost Al.

Důsledek na produktivitu rostlin závisí také na přidaném množství biocharu (Kammann et al., 2016). Doporučené aplikační dávky pro jakýkoli půdní doplněk by měly vycházet z rozsáhlých zemědělských studií a pokusů. V současné době není k dispozici dostatek údajů pro získání obecných doporučení, a kromě toho se materiály s obsahem biocharu mohou značně lišit svými vlastnostmi, takže charakter konkrétního materiálu (např. pH a obsah popela) ovlivňuje i aplikační dávku (van Zwieten et al., 2010).

Několik studií uvádí pozitivní vliv používání biocharu na výnosy plodin při dávkách 5-50 t/ha. Avšak pokusy, které byly provedeny (Rondon et al. 2007) vedly k poklesu výnosu plodin v půdě s nedostatkem živin doplněnou biocharem v dávce 165 t/ha. Další pokus provedený v USA (Gaskin et al., 2010) ukázal, že biochar z arašídových slupek a borových štěpků aplikovaný v dávkách 11 t/ha a 22 t/ha může snížit výnosy kukuřice pod úroveň výnosů dosažených na kontrolních pozemcích se standardním hospodařením s hnojivy.

Kontrola dávky aplikace biocharu je tedy nezbytná, aby se zabránilo negativnímu vlivu biocharu, zároveň je tedy nutné poznamenat, že ačkoli mnohé studie přinesly významné pozitivní výsledky, nesmíme opomíjet ani ty negativní (Lahori et al., 2017). Je nutné se z těchto nepodařených pokusů poučit a dále zkoumat vhodné složení a množství pro dané plodiny a půdy v rozličných podnebných pásmech.

3.3.4 Aplikace s doplňkovými látkami

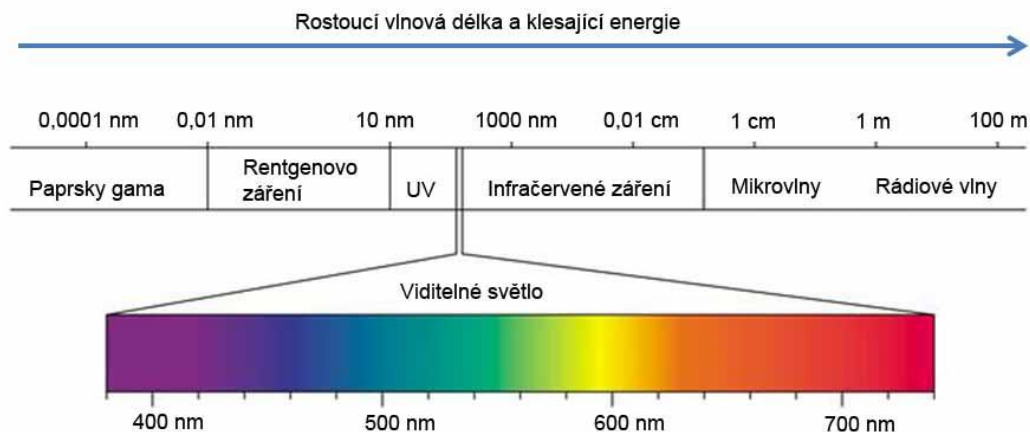
Jak již bylo uvedeno výše, biochar nejlépe působí na okolní prostředí ve spojení s dalšími přísadami v půdě, jako je hnůj, kompost nebo dusíkaté vápno. Jednou ze základních a nejužitečnějších vlastností je vázat živiny a chránit je před vyplavováním do okolní krajiny. Smíchání přísad s biocharem nám tedy může zajistit lepší účinnost od počátku aplikace do půdy (Dvořáková, 2018). Prozatím však není dostatek informací a studií, které by nám potvrzovali předpoklady, jaké kombinace organických doplňků a v jakých koncentracích jsou vhodné pro danou surovinu jak uvádí Winsley (2007) ve svém článku pro NZAS (The New Zealand Association of Scientists). Na druhou stranu bylo zjištěno, že pokud se smíchají biochar vyrobený z kompostovaného materiálu s čistým biocharem, mají ještě lepší vlastnosti. Také kombinace s tekutými hnojivy je velmi účinná (Kammann et al., 2016). Tyto studie však neměly velký rozsah a jejich hodnota tedy není zcela vypovídající.

Liu et al. (2012) udávají, že mezi výhody míchání různých druhů biocharů patří účinnější využití živin, zvýšený přísun biologicky fixovaného dusíku, snížení eutrofizace a zvýšení biomasy plodin (větší výnosnost).

3.4 Spektrometrie

Spektrometrie či spektrofotometrie je obecně analytická metoda, která měří chemické vlastnosti odebraného vzorku (Černohorský, 1997). Nejčastěji se těmito metodami měří koncentrace určité látky v roztoku, a to na základě pohlcování světla různých vlnových délek pomocí spektrofotometrů. Dle Komárka (2000) můžeme obecně konstatovat, že se jedná o ozařování vzorku roztoku světlem, kde je absorbováno molekulami. Množství záření, které nebylo absorbováno je pak měřeno detektorem ve spektrometru, na který tento „zbytek“ dopadá (Koplík, nedatováno). Množství absorbovaného záření následně určuje výši koncentrace látky v roztoku měřeného vzorku.

Jak uvádí např. Strolená a Anděl (2021), viditelné záření (vlnové délky 400-700 nm) je pouze malá část světelného spektra, které je nazýváno oblastí elektronových spekter neboli elektromagnetické spektrum (někdy také uváděno jako Maxwellova duha – zobrazeno na Obr. 12) (Černohorský, 1997). Další měřitelné oblasti jsou známy jako blízká ultrafialová oblast (200-400 nm) a blízká infračervená oblast (700-2000 nm). Většina laboratoří je schopna kvalitně měřit spektrální veličiny v rozmezí 200-1000 nm, kde se také nachází většina biologicky zajímavých látek. Tuto oblast měření nazýváme UV-VIS („ultraviolet-visible“) (Strolená, Anděl, 2021).



Obr. 12: Elektromagnetické spektrum (LabGuide.cz, ©2015)

Dle způsobu ionizace vzorků můžeme rozdělovat atomovou spektrometrii na tři základní skupiny:

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) – je určena pro stanovení kovů, metaloidů a několika druhů nekovů jako je bór, křemík či fosfor (Thompson, 1992). Lze měřit koncentrace látek, které byly mineralizovány kyselinami a jsou výsledkem rozkladu nebo také zředěné biologické tekutiny jako krev, moč či plazma (Dolníček, 2005).

Principem této metody je tzv. „zmlžení“ vzorku (Mestek, 2010) a následně vzniklý aerosol je vložen do plamene (plamenová AAS) či atomizátoru – grafitové trubice (elektrotermická AAS), kde se vzorek odpaří a tím naruší chemické vazby v molekulách. Těmi pak prochází fotony, které jsou absorbovány a pomocí logaritmu je následně propočítán úbytek světelné energie (absorbance) (Svízelová, 2018).

Atomová hmotnostní spektrometrie (ICP-MS) – mimořádně citlivá metoda stanovení prvků – nuklidová analýza prvků. Bývá nejčastěji využívána, jelikož umožňuje stanovení všech kovů, ale také fosforu, síry, jódu, bromu či chlóru (Dolníček, 2005). Nevýhodou této metody je nutnost vysokého zředění vzorku, nejlépe pouze kyselinou dusičnou (HNO_3) (Koplík, nedatováno).

Princip metody je podobný jako u AAS, avšak zde je vzorek veden proudem argonu do hořáku, ve kterém je pomocí střídavého vysokofrekvenčního magnetického pole udržována plazma, dosahující teplot až 10 000 K (Svízelová, 2018). Stejně jako u předchozí metody, je rozpouštědlo odpařeno a chemické vazby zaniknou. Atomy jsou poté přenášeny do přechodové komory spektrometru až k detektoru, kde se po celou dobu snižuje tlak sestupně. Atomy jsou vedeny tak, aby na povrch zesilovače dopadly ionty pouze o zvolené hmotnosti. Zesilovač poté umocní sílu elektrického výboje, který vzniká při dopadu atomů na jeho povrch a tato intenzita je měřena (Mermet, Poussel, 1995).

Atomová optická emisní spektrometrie (ICP-OES) – principiálně je metoda na stejné bázi jako ICP-MS. Za působení proudícího argonu, který vytéká z plazmové hadice, a za působení vysokého tlaku dochází k rozpadu chemických vazeb.

V případě této metody však na konci procesu měříme emitované světlo, které je vedeno skrz monochromátor (Strolená, Anděl, 2021). Ten rozděljuje světlo na jednotlivá spektra dle vlnových délek a fotony světla pak dopadají na detektor, který převede intenzitu světelného záření na elektrický signál (Mermet, Poussel, 1995).

Výhodou oproti předchozí metodě je, že dochází jen k poměrně velmi malému množství interferencí při měření (Koplík, nedatováno). Obě tyto metody umožňují multielementární analýzu prvků (velké množství prvků najednou), což velmi ulehčuje rozbor vzorků v kratším časovém rozmezí. Avšak jde o destruktivní metody, tedy v případě, že budeme chtít pokusy opakovat, je vždy nutné zajistit si více vzorků (Zbíral, 2020).

Zajímavostí, jak uvádí Koplík (nedatováno), je jejich využití při forenzní analýze biologického materiálu, povýstřelových zplodin, projektilů a dalších materiálů (sklo, dokumenty, potraviny apod.).

Základem všech uvedených metod je příprava vzorku k analýze a také slepého vzorku (blank), který slouží k porovnání koncentrací, aby nedocházelo k záměně skutečně naměřených dat a dat kontaminovaných dalším zpracováním (Zbíral, 2020). Před samotným měřením vzorků na spektrometrech je nutné látku nejprve mineralizovat (Bartoš et al., 2004).

3.5 Chemická mineralizace

Velmi důležitým prvkem před samotným měřením a analýzou je příprava použitelného vzorku (Schlaghamerský, 2013). Pro účely spektrometrie je vždy nutné pevné částice rozložit (rozpustit) vhodnou metodou, která povede ke zkapalnění vzorku (dále možno nechat odpařit) a k odstranění organické osnovy (matrice). Rozklad je možný několika způsoby, každý je vhodný pro jiný typ spektrometru či analyzované látky (Mader, Čurdová, 1997).

Rozklad na suché cestě – tento typ rozkladu lze definovat jako otevřený za přístupu normálního tlaku a vzduchu. Nejběžnějšími typy je tavení, žíhání, slinování a pražení, kde lze obecně říci, že jde o procesy spalování na popel (Mader, Čurdová, 1997). Obvykle se provádí za vyšších teplot (450-550 °C) a nárůst je pomalý, po dobu 12-24 h za přístupu vzdušného kyslíku (Polzerová, 2014).

Tento typ se nepoužívá pro stanovení těkavých prvků, jelikož dochází k velmi rychlé ztrátě analytů nutných k měření na spektrometrech. Je zde také nevýhoda časové náročnosti a možné kontaminace vzorku (Vávra, Losos, 2006). Naopak velkou výhodou je možnost rozkladu většího množství vzorků najednou a odpadají vyšší bezpečnostní rizika (exploze, chemické popáleniny) (Dolníček, 2005).

Rozklad na mokré cestě – může být buď primární metodou rozkladu či jako druhotný krok po suché cestě. Pro mokré rozklad se používá mnoho druhů minerálních kyselin a jejich sloučenin, je nutné vždy určit vhodnou kyselinu podle druhu materiálu, např. není vhodná pro stanovení halogenidů (Bartoš et al., 2004).

Vzorek s kyselinou se následně zahřívají na vyšší teploty za běžného přístupu vzduchu. Teplota má vliv na více faktorů – reakčnost, výtěžnost, ale i bezpečnost (exploze) (Dolníček, 2005). Metodu lze provádět jak v otevřeném, tak i uzavřeném systému. Ve většině případů se používá uzavřený systém a to z důvodu menší

spotřeby činidel, nedochází k úniku těkavých prvků a lze zamezit vnější kontaminaci (Polzerová, 2014).

Mikrovlnný rozklad – pro tento rozkladu se používá laboratorní mikrovlnná pec (Abu-Samra et al., 1975). Tato metoda je dnes velmi běžná, především proto, že zkracuje čas, ale její velkou výhodou je také velmi účinný rozklad organické matrice vzorku (Mestek, 2010), není nutné používat velké množství další činidel (kyselin), je univerzální pro velké množství druhů vzorků a patří také k nejbezpečnějším metodám (Koplík, 2020). Mezi prvními, kteří kdy tuto metodu využili byl Aziz et al. (1982) v roce 1985. Její nevýhodou je pouze dlouhá doba chlazení po ukončení mikrovlnného rozkladu a omezené množství, které můžeme vkládat do pece (Musilová, 2018).

Z ostatních metod můžeme zmínit ještě **enzymový rozklad**, který je vhodný např. ke vzorkování biologického materiálu nebo **rozklad pomocí UV záření**, který je vhodný pro tekutiny (Musilová, 2018).

V některých případech je také možno kombinovat vícero metod rozkladu (Dolníček, 2005), např. nejprve suchou metodou spálíme na popel a ten následně rozložíme pomocí kyseliny či jejich směsí na použitelný roztok (mokrý metoda).

4 Metodika

4.1 Popis experimentu

4.1.1 Nádobový experiment

Experiment probíhal od září 2019, kdy byly vysazeny první rostliny v kontrolovaných podmínkách skleníku České zemědělské univerzity v Praze, kde je místnost klimatizována, lze regulovat teplota a osvětlení bylo optimálně rozmístěno nad rostliny.

Vysazeno bylo celkem 7 druhů rostlin, které mají dobrý předpoklad růstu v menších nádobách a nejsou náchylné ke škůdcům a chorobám: kostřava ovčí, břečťan popínavý, pažitka pobřežní, dlužicha americká, metlice trsnatá, barvínek menší a rozchodníkovec velký; od každého druhu pak po 20 ks rostlin (dohromady bylo vysazeno 140 ks). Před vysazením byly všechny sazeničky kontrolovány, zváženy a byl zhodnocen jejich celkový stav (počet listů, kořenový systém, výhony).

Následně byly vloženy do nádob o objemu 4l, které byly naplněny keramickým kamenivem (liaporem). Substrát byl zvolen na základě jeho nulových hodnot v oblasti živin a dalších organických látek, které by mohly ovlivňovat růst rostliny a také výsledky experimentu. Tyto nádoby byly poté náhodně rozděleny na dvě části – první s přidavkem jemně drceného biocharu (přimíchány 4 % - složení uvedeno v Příloze 1-2) a druhá polovina byla vysazena bez přidavku.

V pravidelných intervalech byla k rostlinám dodávána voda pomocí závlahového systému (jedna rostlina spotřebovala v průměru 2,1 l vody/týden) a 1x za měsíc byly vyživovány směsnou zálivkou vody a hnojiva Hoagland (složení uvedeno v Příloze 3) v poměru 4:1 (jedna rostlina spotřebovala 150-200 ml zálivky/měsíc).

4.2 Stručná charakteristika vybraných druhů rostlin

4.2.1 Barvínek menší (*Vinca minor*)

Barvínek (Obr. 13) je plazivý jedovatý polokeř, který dorůstá výšky 5-20 cm a má 80 cm dlouhý, plazivý oddenek, ze kterého vyrůstají lodyhy. Je to stálezelená trvalka, která je původním druhem Evropy, ale časem se dostala i do zbytku světa. Řadí se do čeledi toješťovitých (Hroneš, 2009), kvete modrofialovými květy od dubna do září a svým plazivým rozrůstáním tvoří velké koberce kožovitých lesklých listů. Nejraději se vyskytuje na vlhkých, stinných a na živiny bohatých půdách, dokáže se ale také dobře přizpůsobit mrazu až do -20 °C (Hojgrová, 2021).

Zajímavostí barvínku je, že ačkoli je jedovatý, látky v něm obsažené se využívali v lékařství na snížení krevního tlaku nebo proti sraženinám (Hroneš, 2009), v současné době je využíván k výzkumu pro chemoterapii (látky z rostliny zastavují buněčné dělení) (Horáček, Mencl, 2006).



Obr. 13: Barvínek menší (*Vinca minor*) (Kovář, 2004).

4.2.2 Břečťan popínavý (*Hedera helix*)

Břečťan popínavý (Obr. 14) se řadí mezi další okrasné půdopokryvné rostliny, stejně jako barvínek menší je využíván k zazelenění větších ploch, např. hřbitovů či parků. Vyskytuje se téměř po celé Evropě a Asii (Metcalf, 2005).

Patří do čeledi aralkovitých jako stálezelená popínavá rostlina s hlubokým kořenovým systémem a přičepivými kořínky (díky nim zůstává přichycen na povrchu a může stoupat vzhůru), která dorůstá až do výšky 15 m, výjimečně i 20 m. Má kožovité, tmavě zelené listy a od května do listopadu kvete drobnými žlutozelenými květy. V období jara až zimy pak vyrůstají malé, tmavě modré až černé bobule, které slouží jako potrava pro ptactvo, pro člověka je však jedovatý (Korbelář, Endris, 1990). Této rostlině vyhovuje spíše stinné stanoviště či rozptýlené světlo lesních podrostů a skal, přímé slunce snášejí hůře a roste pak pomaleji. Preferuje propustné humózní půdy s vlhčím podložím, avšak břečťan se vyznačuje silnými kořeny, které dokážou proniknout do hlubších vrstev půdy, a proto se dobře vyrovná i s delším obdobím bez srážek. Je mrazuvzdorný až do -20 °C (Metcalf, 2005).

Břečťan je přes jeho jedovatost využíván také v lékařství pro své dezinfekční účinky či na popáleniny.



Obr. 14: Břečťan popínavý (*Hedera helix*) (Kovář, 2004).

4.2.3 Dlužicha americká (*Heuchera americana*)

Stálezelená trvalá rostlina z čeledi lomikamenovitých, která pochází z oblastí Severní Ameriky, kde obvykle roste ve skalních štěrbinách a vlhčích půdách lesů. Upoutá svými okrasnými zelenými listy a malými květy bílé barvy, které počínají rašit v období června až srpna, dorůstá až do výšky 40 cm a vyjímá se nejlépe na vlhčích stanovištích s plným osvětlením slunce. Má ráda především kyselější a dobře propustné půdy, které jsou bohaté na humus, ale nejsou podmáčené. Zvládne však i polostín a je mrazuvzdorná až do $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gerber et al., 2011).

Některé odrůdy dlužichy americké (Obr. 15) mají velmi barevné listy a jsou tak hojně využívány jako nenáročné dokreslení architektury parků a vertikálních zahrad, jako je například velmi oblíbená verze ‚palace purple‘ či ‚obsidian‘ s jejich velkými fialově krvavými listy (Bucharová, 2017).



Obr. 15: *Dlužicha americká (Heuchera americana)* (Krejčík, 2016).

4.2.4 Kostřava vlčí (*Festuca ovina*)

Velmi proměnlivý druh trsnaté trávy z čeledi lipnicovitých (Obr. 16), která má úzké zelené až modravé listy, kterými se odlišuje od ostatních druhů trav. Dorůstá až do výše 60 cm a její listy jsou zakončené malými osinami, rozkvétá v období května až července a zpravidla bývá opílovávána větrem (Prančl, 2011). Tato rostlina je světlomilná, ale zvládá i plný stín a silné poryvy větru díky svému hlubokému kořenovému systému. Nemá ráda mokrá stanoviště, její obvyklou domovinou jsou acidofilní půdy suchých pastvin, lesních mýtin, lemů a písčín, která nejsou příliš výživná (Deyl, Hísek, 2003. Najdeme ji převážně v Evropě a Asii, ale již byla zavlečena i do zbytku světa, především kvůli její teplotní houževnatosti, kdy dokáže zvládat teplé a suché oblasti stejně jako podhůří, až do teplot -35 °C (Prančl, 2011).

Tento druh je dosti variabilní a dodnes se rozlišuje několik variant s nedořešenou taxonomickou platností. Díky její dobré snášenlivosti kyselosti v půdě chudé na živiny je výbornou výsadbou pro střešní a vertikální zahrady (Pladias, ©2014-2022).



Obr. 16: Kostřava vlčí (*Festuca ovina*) (Prančl, 2011).

4.2.5 Metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*)

V současné době je jednou z nejvyhledávanějších divokých trvalých travin pro její houževnatost a přizpůsobivost v různých podnebných podmínkách. Metlice (Obr. 17) se řadí do čeledi lipnicovitých trav, vyznačuje se tmavozeleným zbarvením a hustými hrubými trsy, ve kterých dorůstá až do výšky 50 cm. Listy začínají rašit již koncem března, avšak díky její odolnosti je schopna v některých částech světa udržet stále zelený porost i celou zimu, až do počátku vegetativního růstu, kdy usychají. Dokáže obsadit i horské oblasti či nížiny, kdy snese teploty až do $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, také jí nevadí zamokřená nebo suchá stanoviště. Metlice se množí dělením trsů anebo výsevem semen (Chiapella, 2000).



Obr. 17: Metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*) (Michalcová, 2012).

4.2.6 Pažitka pobřežní (*Allium schoenoprasum*)

Pažitka (Obr. 18) je druh vytrvalé amarylkovité rostliny, která byla zavlečena do většiny částí světa. Roste v trsech, má jednoduché, přisedlé listy a začátkem května se objevují oboupohlavné nachové květy (vzácně i bílé či nažloutlé), které opět uvadají ke konci srpna. Dorůstá až do výšky 50 cm, plodem je tobolka a nejraději má vlhkou písčitou půdu, a proto jsou nejvhodnějšími místy k růstu pobřežní části, vlhké louky či zahrady (Deyl, Hísek, 2003). Variabilita tohoto druhu se mírně liší dle jejího výskytu, jelikož však vysokohorské rostliny mají od nížinných jen velmi malé rozdíly, někteří botanici taxonomickou hodnotu zanedbávají či zpochybňují. V každém případě se pažitka řadí mezi rostliny, které jsou velmi houževnaté – odolají jak vysokým mrazům, přímému slunci, tak růstu ve stínu (Štajner et al., 2004).

Pažitka má velké zastoupení ve většině domácností jako naťová zelenina pro její chuť a velké množství vitamínu C, ale také se ve velkém využívá jako okrasná rostlina, nebo jako významný prvek při včelařství (Pladias, ©2014-2022), jelikož je výborným dárceem nektaru a pylu.



Obr. 18: Pažitka pobřežní (*Allium schoenoprasum*) (Deml, 2006).

4.2.7 Rozchodníkovec velký (*Hylotelephium maximum*)

Rozchodníkovec velký (Obr. 19) je poměrně nenáročná trvalka z čeledi tlusticovitých, které nejvíce vyhovují sušší stanoviště jako skalky, sutě, světlé části lesů či jejich okrajů, častý výskyt je také na silikátovém podkladu (kyselé, štěrkovitého materiálu). Listy umí velmi dobře zadržovat vodu, a tedy přemíra vláhy způsobuje hnití stonků. Obvykle dorůstá výšky 30-60 cm a její květenství je chocholičnatá lata, obvykle žluté až žlutobílé barvy (Kubát, 2002). Hlavní destinace výskytu je Evropa, kde se vyskytuje hojně v jižnějších zemích, směrem k severu až po Skandinávii již spíše mírněji až vzácně. V minulosti se hojně využíval v lidové medicíně, dnes je spíše okrasnou rostlinou zahrad a parků, a je také velkým lákadlem pro různorodý hmyz a včelstva (Pladias, ©2014-2022). Hoskovec (2007) dodává, že zajímavostí této rostliny je, že je jedinou stravou housenky modráska rozchodníkovečného, který je v našich krajinách silně ohroženým druhem.



Obr. 19: Rozchodníkovec velký (*Hylotelephium maximum*) (Hoskovec, 2007).

4.3 Zpracování získané biomasy

V kontrolovaných podmínkách probíhal experiment od, již zmíněného, září 2019 do srpna 2020. Po uplynutí této doby růstu byly rostliny vyjmuty z nádob a všech 140 rostlin, které byly vysazeny se následně mechanicky oddělily na nadzemní a podzemní část. Tyto jednotlivé části musely být očištěny od nežádoucích příměsí a nečistot, a poté byly sušeny při teplotě 60 °C po dobu 24 hod.

Po usušení (60 °C / 24h) byly rostliny namlety (na částice o velikosti <1 mm), jak můžeme vidět na fotografiích v Příloze 10 a 12-14. K tomuto mletí byl v použit laboratorní mlýnek Pulverisette 15 (FRITSCH) (Příloha 11), který byl po každém namletí jednotlivého vzorku rozebrán a všechny jeho části řádně vyčištěny, aby nedošlo ke kontaminaci předchozím mletím. Vzorky byly vloženy do samostatných sáčků a popsány dle druhu rostliny, dle použití biocharu či bez použití a dle části rostliny (Příloha 12-14)). Od každého druhu rostliny byly nahodile zvoleny 4 vzorky namleté sušiny nadzemní a podzemní části s biocharem a bez biocharu. Celkem tedy 40 vzorků.

4.3.1 Příprava vzorku

Na laboratorní váhu Adventurer Pro (OHAUS) (Příloha 8) byl položen plastový kelímek, kvůli stabilizaci teflonové zkumavky, která do něj byla vložena. Do té, za pomoci papírového kornoutku (eliminace statického náboje, který by materiál zachytil po celé ploše zkumavky a ten by nedopadl na dno) byl vsypán vzorek namleté sušiny rostliny – vzorek vždy o hmotnosti 0,25 g s minimální odchylkou (max. 10 %).

Celkem bylo odváženo 42 vzorků – z toho 2 „blank“ vzorky, které obsahují roztok kyselin s destilovanou vodou.

Aby bylo možné provést spektrometrické měření, je nutné nejprve rozpustit pevný podíl namleté sušiny pomocí chemické mineralizace – rozklad biomasy pomocí reakčního činidla. Pro rozklad byly použity kyseliny dusičná (65% p.a.) a chloristá (68% p.a.), které se naředily v poměru 7:1. Rozkladem byl získán koncentrovaný roztok, který byl následně naředěn s destilovanou vodou v poměru 1:10. Do takto připravených zkumavek bylo pomocí automatické pipety vstříknuto reakční činidlo o objemu 5 ml, směs se následně řádně promíchala, aby došlo k co největší homogenizaci vzorku.

Takto připravené zkumavky se ponechaly louhovat 24 hod. pro vznik koloidního roztoku. Po uplynutí této doby byl doplněn o další 3 ml kyselinového činidla a vložena do mineralizační patrony, která se poté uloží do laboratorní mikrovlnky Multiwave Pro (Anton Paar), viz fotografie v Příloze 7, kde vzorek prochází mikrovlnným rozkladem (z koloidní směsi se stává skutečně homogenní směs). Tento proces trvá přibližně 1,5 hod. Po ukončení procesu rozkladu byla směs vrácena zpět do zkumavky a naředěna destilovanou vodou pro dosažení celkového objemu 10 ml (objem potřebný k dalšímu měření).

4.3.2 Atomová hmotnostní spektrometrie (ICP-OES)

Pro tento experiment byla zvolena spektrometrie ICP-OES, tedy optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem neboli hmotnostní atomová spektrometrie. Stanovení obsahu prvků probíhalo na spektrometru iCAP 7000 Series (Thermo Scientific), který je vyobrazen v Příloze 6.

4.4 Analýza dat

4.4.1 Hodnocení a statistika dat

Data byla vyhodnocena ve statistickém programu Statistica 13 (TIBCO, 2017) pomocí dvoufaktorové ANOVA. Test normality dat byl proveden pro obsah každého prvku pomocí Shapiro-Wilkova testu. Závislou proměnnou představoval hodnocený prvek (Ca, K, Mg, P, S, As, B, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn), vysvětlující proměnné byly biochar a typ biomasy (nadzemní část/kořenová část). Výstupní grafy byly vytvořeny v programu MS Excel. Testy byly hodnoceny na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Testováno bylo na základě těchto nulových hypotéz:

1. Přídavek biocharu nemá statisticky významný vliv na obsah živin v nadzemní a kořenové části testované rostliny.
2. Obsah prvků se statisticky významně neliší mezi nadzemní a kořenovou částí rostlin

5 Výsledky práce

Výsledky, které byly naměřené u jednotlivých druhů rostlin byly dále zprůměrovány a pro přehlednost zapsány do tabulek (Tab. 1-5).

Stanovit trend na všechny rostliny nelze, jelikož každý druh reaguje po přidavku biocharu rozdílným způsobem. Většina druhů reagovala pozitivně u makroživin, kdy byl v nadzemní části (dále jako n.č.) zaznamenán zvýšený obsah většiny prvků, u kořenové části (dále jako k.č.) pak spíše klesající tendence. U mikroživin se nedá zcela určit, jelikož dle druhu reagovaly rostliny různým způsobem na jednotlivé složky, a to jak v n.č., tak k.č. Lze však konstatovat, že většina druhů spíše uchovává své živiny v n.č. a nemá tendenci je přesouvat i s přidavkem biocharu. Rozdílný vliv byl zaznamenán nejvíce u rozchodníkovce, který měl často protichůdnou reakci oproti ostatním testovaným druhům. Výsledky analýz pro jednotlivé druhy a shrnutí výsledků jsou podrobně rozepsány níže.

5.1 Metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*)

Průměrné naměřené hodnoty makroprvků a mikroprvků a výsledky statistické analýzy jsou zobrazeny v Tab. 1. Statisticky významný vliv biocharu byl prokázán u Mg, S a Mn. Celková biomasa rostlin pěstovaných v substrátu s přidavkem biocharu má průměrně vyšší obsah těchto prvků.

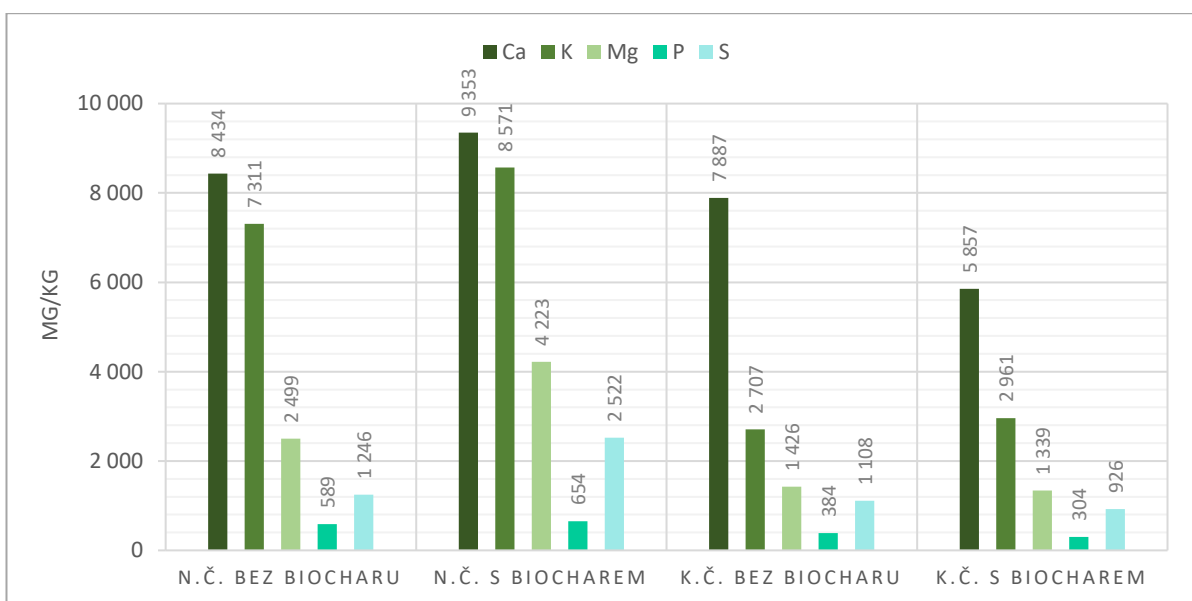
Statisticky významný rozdíl v průměrném obsahu prvků v n.č. a k.č. biomasy byl zjištěn u K ($F_{1,4}=39,13$; $p=0,003$), Mg ($F_{1,4}=89,82$; $p=0,001$), S ($F_{1,4}=18,73$; $p=0,012$), B ($F_{1,4}=769,7$; $p=0,000$), Co ($F_{1,4}=74,45$; $p=0,001$), Cu ($F_{1,4}=25,98$; $p=0,007$) a Fe ($F_{1,4}=50,57$; $p=0,002$).

Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
Ca	9 353,42 ± 355,42	8 433,96 ± 1 639,75	5 857,40 ± 2 221,39	7 887,11 ± 285,26	0,238	0,651
K	8 570,57 ± 851,59	7 310,55 ± 1 092,71	2 961,45 ± 250,69	2 706,62 ± 826,85	3,819	0,122
Mg	4 222,62 ± 292,87	2 498,88 ± 118,95	1 338,73 ± 57,61	1 425,80 ± 266,61	18,81	0,012*
P	654,35 ± 99,61	589,05 ± 174,14	304,09 ± 29,77	384,05 ± 89,65	0,429	0,548
S	2 522,25 ± 175,61	1 246,14 ± 132,68	926,26 ± 67,24	1 108,37 ± 327,93	0,1325	0,022*
Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
As	5,52 ± 0,34	2,10 ± 0,47	7,59 ± 6,54	7,18 ± 1,04	0,205	0,674
B	22,80 ± 0,10	29,46 ± 2,05	5,56 ± 1,63	7,47 ± 0,67	3,037	0,156
Co	0,24 ± 0,16	0,14 ± 0,14	2,62 ± 0,49	2,69 ± 0,17	0,09	0,75
Cu	7,84 ± 0,63	7,92 ± 2,51	20,17 ± 4,13	32,93 ± 5,46	3,07	0,158
Fe	405,74 ± 73,63	141,96 ± 106,67	3 852,29 ± 1 025,22	4 673,57 ± 436,88	0,94	0,388
Mn	184,08 ± 20,98	33,73 ± 3,65	82,16 ± 17,58	79,66 ± 11,59	24,36	0,008*
Ni	10,44 ± 1,79	5,25 ± 0,19	11,03 ± 4,78	9,13 ± 0,05	0,413	0,555
Pb	0,04 ± 0,03	74,57 ± 71,15	2,05 ± 0,86	3,97 ± 1,82	1,1045	0,364
Zn	65,54 ± 2,04	40,89 ± 2,72	48,64 ± 1,45	94,16 ± 64,45	0,104	0,763

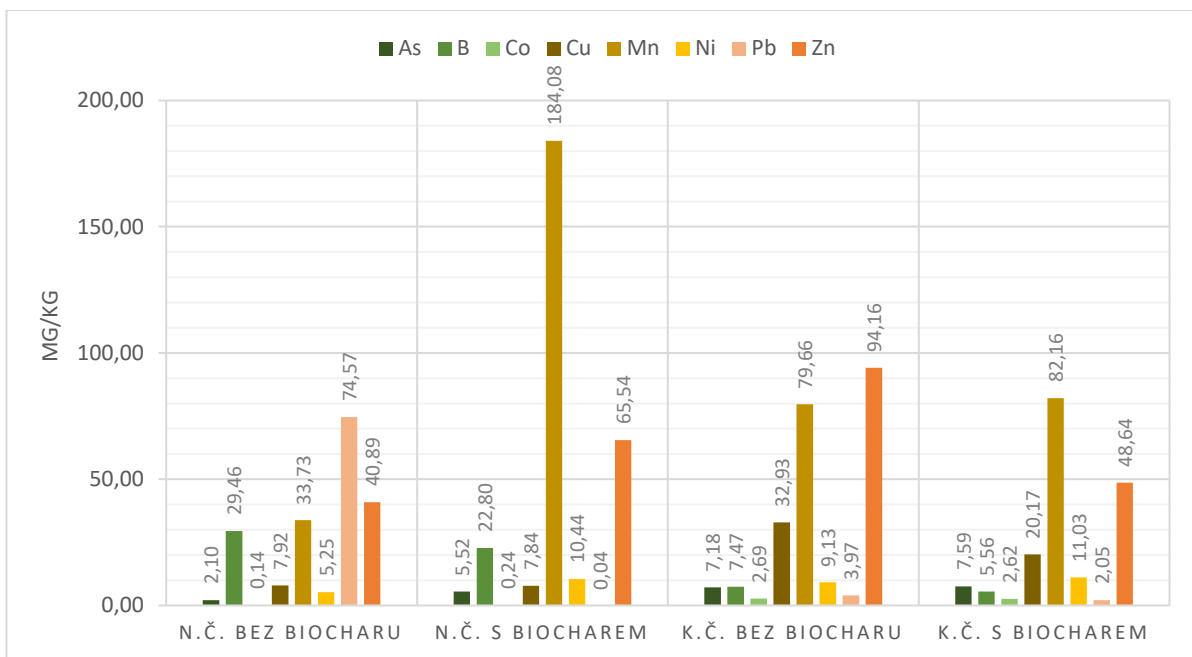
Tab. 1: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u metlice trsnaté včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4 a \pm SD$.

N.č. rostlin akumuluje více K, M, S a B oproti k.č. Opačného výsledku dosáhly prvky Co a Fe, které se akumulují více do k.č. I přes neprůkazné výsledky u Pb je vidět možný trend jeho akumulace v n.č. v závislosti na biocharu, n.č. rostlin pěstovaných bez přidavku biocharu vykazovala jeho vyšší obsah, naopak u n.č. rostlin pěstovaných v biocharu prakticky vymizel. Průměrné dosažené hodnoty jednotlivých prvků jsou pro přehlednost zobrazeny na Obr. 20 – 21.

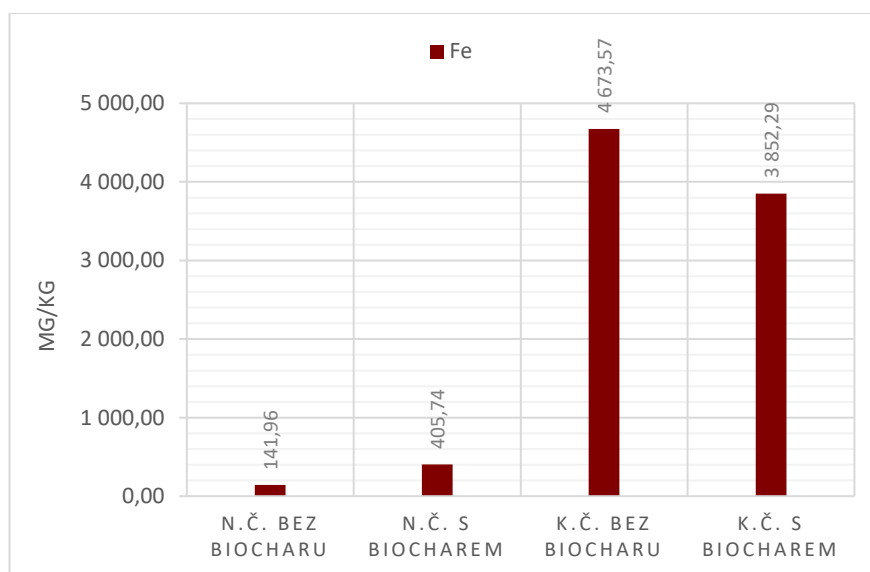
Pro Fe byl vytvořen samostatný graf z důvodu velmi vysokých hodnot, které by způsobily zkreslení a špatnou čitelnost výsledků měření v grafech s ostatními mikroprvky.



Obr. 20: Makroprvky – průměrný obsah u metlice trsnaté.



Obr. 21: Mikroprvky – průměrný obsah u metlice trsnaté.



Obr. 22: Fe – průměrný obsah železa u metlice trsnaté.

5.2 Dlužicha americká (*Heuchera americana*)

Průměrné naměřené hodnoty makroprvků a mikroprvků a výsledky statistické analýzy jsou zobrazeny v Tab. 2. Statisticky významný vliv biocharu byl prokázán u S a Mn. Celková biomasa rostlin pěstovaných v substrátu s přidavkem biocharu má průměrně vyšší obsah těchto prvků.

Statisticky významně vyšší obsah prvků v n.č. vyšel u Ca ($F_{1,4}=15,62$; $p=0,017$), K ($F_{1,4}=11,02$; $p=0,029$), Mg ($F_{1,4}=100,7$; $p=0,001$), P ($F_{1,4}=14,6$; $p=0,019$) a B ($F_{1,4}=56,17$; $p=0,002$). Statisticky nižší obsah se projevil u prvků As ($F_{1,4}=132,3$; $p=0,000$), Co ($F_{1,4}=25,91$; $p=0,007$) a Zn ($F_{1,4}=17$; $p=0,015$). U Fe byl zaznamenán významně vysoký nárůst v k.č. ($F_{1,4}=36,7$; $p=0,004$).

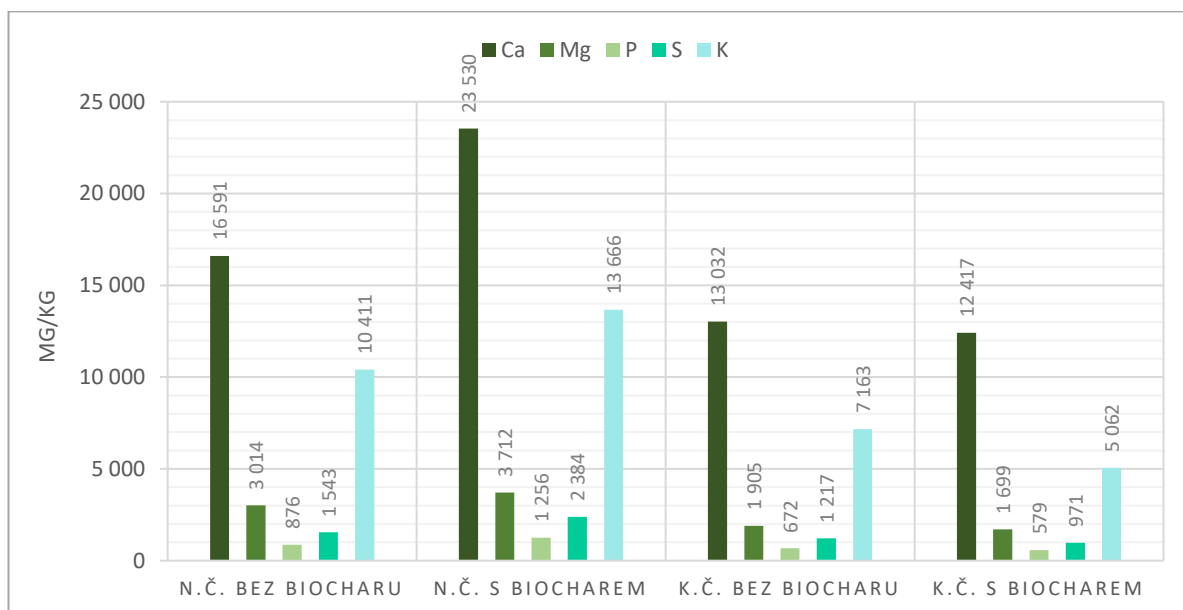
Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
Ca	23 530,14 ± 3341,12	16 590,78 ± 782,52	12 417,39 ± 1 313,85	13 031,54 ± 524,98	1,11	0,35
K	13 666,34 ± 3 374,07	10 410,75 ± 896,34	5 062,16 ± 274,74	7 163,33 ± 692,32	0,38	0,57
Mg	3 711,99 ± 218,24	3 013,53 ± 125,33	1 698,53 ± 135,90	1 905,20 ± 122,47	2,50	0,19
P	1 255,82 ± 216,12	875,67 ± 15,66	579,31 ± 73,52	672,22 ± 26,02	0,43	0,55
S	2 384,37 ± 838,56	1 542,65 ± 16,89	971,07 ± 91,55	1 217,28 ± 130,32	13,25	0,022*
Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
As	7,03 ± 0,00	1,11 ± 1,11	22,78 ± 3,55	29,73 ± 1,01	0,205	0,674
B	53,57 ± 3,64	43,61 ± 2,40	19,96 ± 5,88	22,28 ± 0,07	3,10	0,155
Co	0,10 ± 0,01	0,02 ± 0,02	1,34 ± 0,23	0,78 ± 0,31	0,09	0,78
Cu	4,47 ± 0,46	4,39 ± 1,94	30,21 ± 16,80	57,82 ± 34,69	0,30	0,158
Fe	232,60 ± 97,91	195,54 ± 86,20	2 387,59 ± 253,32	1 319,53 ± 465,70	0,94	0,388
Mn	35,64 ± 9,45	20,80 ± 4,96	62,07 ± 4,71	32,35 ± 6,78	24,36	0,008*
Ni	2,80 ± 0,68	2,39 ± 0,74	9,87 ± 4,82	8,88 ± 4,04	0,413	0,555
Pb	0,19 ± 0,08	1,28 ± 0,14	0,64 ± 0,26	0,62 ± 0,48	1,045	0,364
Zn	26,31 ± 2,48	34,05 ± 1,16	45,78 ± 10,63	60,33 ± 1,57	1,181	0,338

Tab. 2: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u dlužichy americké včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$.

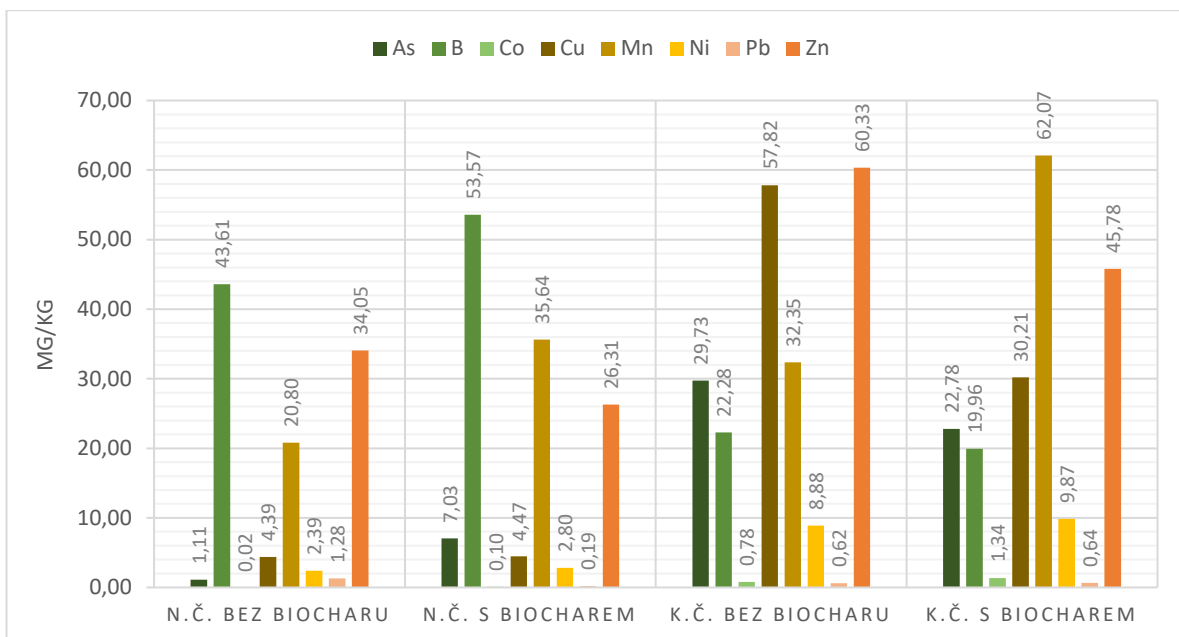
Na Obr. 23, kde jsou znázorněny makroprvky, je viditelně patrný nárůst v n.č. po přidavku biocharu u Ca (o 42 %) a K (o 31 %); po přidavku biocharu zde nebyl pokles prvků zaznamenán. Naopak je ale znatelný u k.č., především u K (42 %), ale i ostatní prvky se ukazují jako ztrátové po přidavku biocharu.

Mikroprvky u dlužichy, které jsou znázorněny na Obr. 24, se v n.č. zvyšovaly zejména u As (a to až o 533 %) a také u Co (400 %), kde není nárůst tak patrný na první pohled, vzhledem k malému výskytu v rostlině. Naopak pokles je viditelný u Zn. V k.č. je viditelný pokles opět u většiny zbylých prvků, nejvíce významný u Zn.

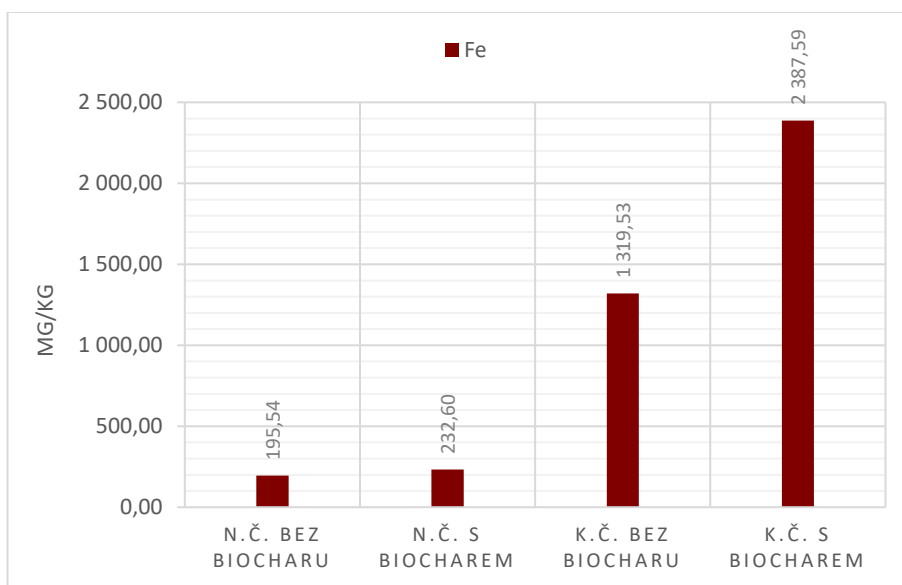
U Fe, znázorněno na Obr. 25, je n.č. poměrně vyrovnaná a přidavek biocharu neměl větší vliv. Větší rozdíl nastal v k.č., kde po přidavku stoupl obsah o 81 %.



Obr. 23: Makroprvky – průměrný obsah u dlužichy americké.



Obr. 24: Mikropvkky – průměrný obsah u dlužichy americké.



Obr. 25: Fe – průměrný obsah železa u dlužichy americké.

5.3 Rozchodníkovec velký (*Hylotelephium maximum*)

Průměrné naměřené hodnoty makroprvků a mikroprvků a výsledky statistické analýzy jsou zobrazeny v Tab. 3. Statisticky významný vliv biocharu byl prokázán pouze u Ni. Celková biomasa rostlin pěstovaných bez přídatku biocharu vykazuje jeho vyšší hodnoty.

Dle statistických výpočtů je významný rozdíl zaznamenán v n.č. u Ca ($F_{1,4} = 130,1$; $p = 0,000$), K ($F_{1,4} = 26,52$; $p = 0,007$), As ($F_{1,4} = 25,46$; $p = 0,007$), Co ($F_{1,4} = 20,30$; $p = 0,011$), Fe ($F_{1,4} = 22,49$; $p = 0,009$), Mn ($F_{1,4} = 10,79$; $p = 0,030$), Ni ($F_{1,4} = 42,22$; $p = 0,003$). V k.č. je nárůst významný pouze u B ($F_{1,4} = 19,56$; $p = 0,011$).

Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
Ca	19 193,91 ± 1 540,95	20 849,53 ± 455,53	8 052,71 ± 1 014,99	9 774,98 ± 427,16	0,00	0,974
K	7 524,30 ± 287,99	7 190,30 ± 329,25	5 849,07 ± 313,55	5 271,89 ± 444,20	0,12	0,745
Mg	1 990,22 ± 11,20	2 143,86 ± 229,92	1 893,15 ± 252,34	1 785,70 ± 9,85	0,018	0,899
P	799,27 ± 87,23	765,63 ± 213,19	905,44 ± 165,87	905,30 ± 92,51	0,584	0,487
S	1 937,34 ± 106,09	2 152,14 ± 226,38	1 749,45 ± 254,95	1 879,43 ± 181,85	0,045	0,803
Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
As	11,89 ± 4,89	19,14 ± 0,23	2,00 ± 0,29	3,30 ± 1,35	1,36	0,308
B	11,62 ± 0,75	12,24 ± 2,98	22,63 ± 2,58	22,02 ± 2,43	0,07	0,807
Co	0,30 ± 0,22	1,23 ± 0,22	0,00 ± 0,00	0,09 ± 0,02	7,07	0,056
Cu	11,29 ± 1,86	38,23 ± 16,00	1,38 ± 0,42	1,25 ± 1,24	2,804	0,169
Fe	464,88 ± 172,89	1756,69 ± 413,44	12,98 ± 1,26	67,00 ± 55,44	7,51	0,052
Mn	50,09 ± 14,25	45,20 ± 0,51	28,72 ± 4,35	17,32 ± 1,57	0,19	0,687
Ni	4,03 ± 1,46	10,98 ± 1,74	0,00 ± 0,00	0,17 ± 0,16	8,84	0,041*
Pb	0,59 ± 0,58	0,04 ± 0,03	1,19 ± 0,48	0,00 ± 0,00	0,702	0,449
Zn	41,89 ± 1,90	28,19 ± 8,64	27,15 ± 7,45	22,51 ± 3,98	0,547	0,500

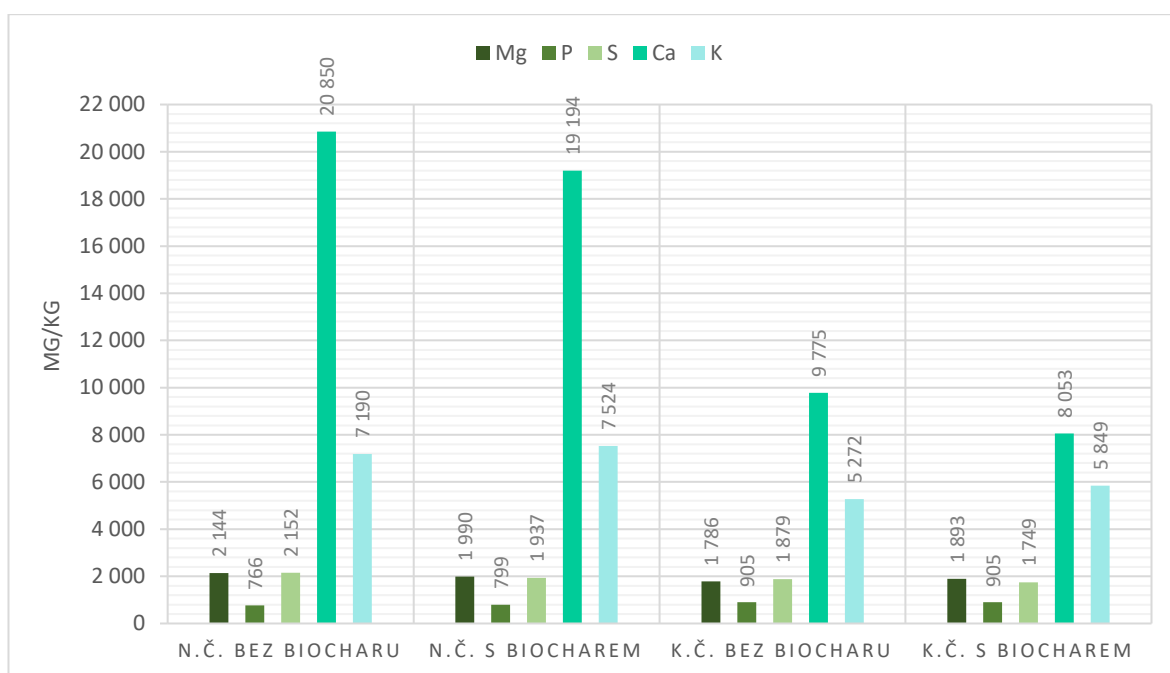
Tab. 3: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u rozchodníkovec velkého včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$.

Po přidavku biocharu je u rozchodníkovec jen málo viditelný rozdíl nárůstu či poklesu u n.č. i k.č., při bližším zkoumání je zřejmý spíše pokles všech makroprvků

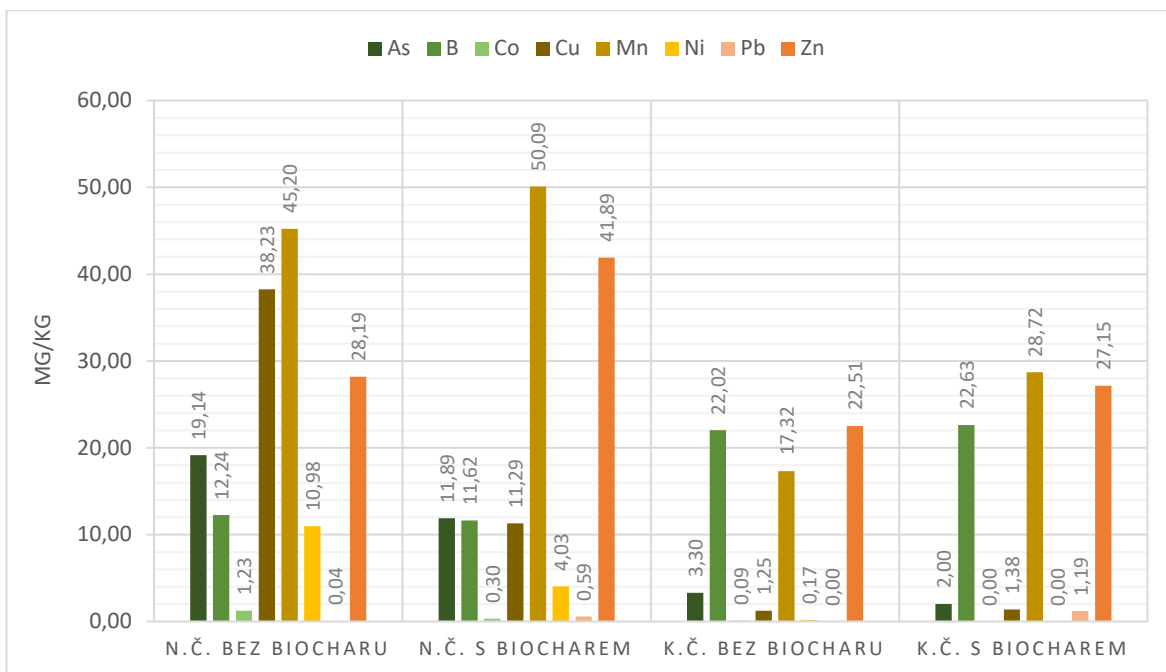
v obou biomasách. Žádný z prvků však nepřekročil 10% rozdíl. Tyto hodnoty vidíme na Obr. 26.

Změny jsou zřetelné o něco málo více u mikroprvků (Obr. 27). V n.č. je největší rozdíl zaznamenaný u Ni, kde je nárůst enormní – až o 966 % vyšší. Dále velký rozdíl viditelný také u Co, kde však není statisticky významný. Lze však usoudit, že s větším počtem vzorků by byl výsledek nakloněn k významnému nárůstu.

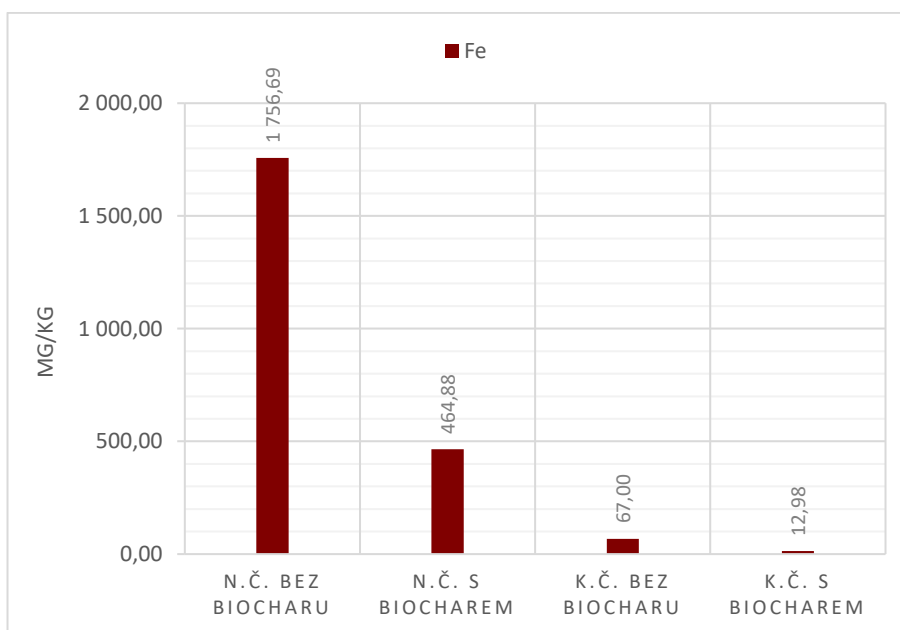
Na rozdíl od ostatních testovaných rostlin, je dle naměřených hodnot rozchodníkovec jediný, který převážnou část obsahu Fe ukládá ve své n.č (Obr. 28). Po přidavku biocharu rostlina ztrácí velké procento Fe, jak z n.č., pokles o celých 278 %, tak i k.č, pokles o 415 %. Podobně jako u Co by však byl vhodný test na více vzorcích rostlin.



Obr. 26: Makroprvky – průměrný obsah u rozchodníkovec velkého.



Obr. 27: Mikroprvky – průměrný obsah u rozchodníkove velkého.



Obr. 28: Fe – průměrný obsah železa u rozchodníkove velkého.

5.4 Břečťan popínavý (*Hedera helix*)

Průměrné naměřené hodnoty makroprvků a mikroprvků a výsledky statistické analýzy jsou zobrazeny v Tab. 4. Statisticky významný vliv biocharu byl prokázán pouze u Mn. Celková biomasa rostlin pěstovaných v biocharu vykazuje jeho vyšší hodnoty.

Průkazný rozdíl v obsahu prvků dle typu biomasy u břečťanu vyšel u B ($F_{1,4} = 137,7$; $p=0,000$). Zde je v n.č. významný nárůst. Naopak podstatně snížený obsah byl prokázán u Ca ($F_{1,4} = 11,63$; $p=0,027$), Co ($F_{1,4} = 14,97$; $p=0,018$), Cu ($F_{1,4} = 14,93$; $p=0,018$), Fe ($F_{1,4} = 17,44$; $p=0,014$), Mn ($F_{1,4} = 27,01$; $p=0,007$) a Ni ($F_{1,4} = 19,86$; $p=0,011$).

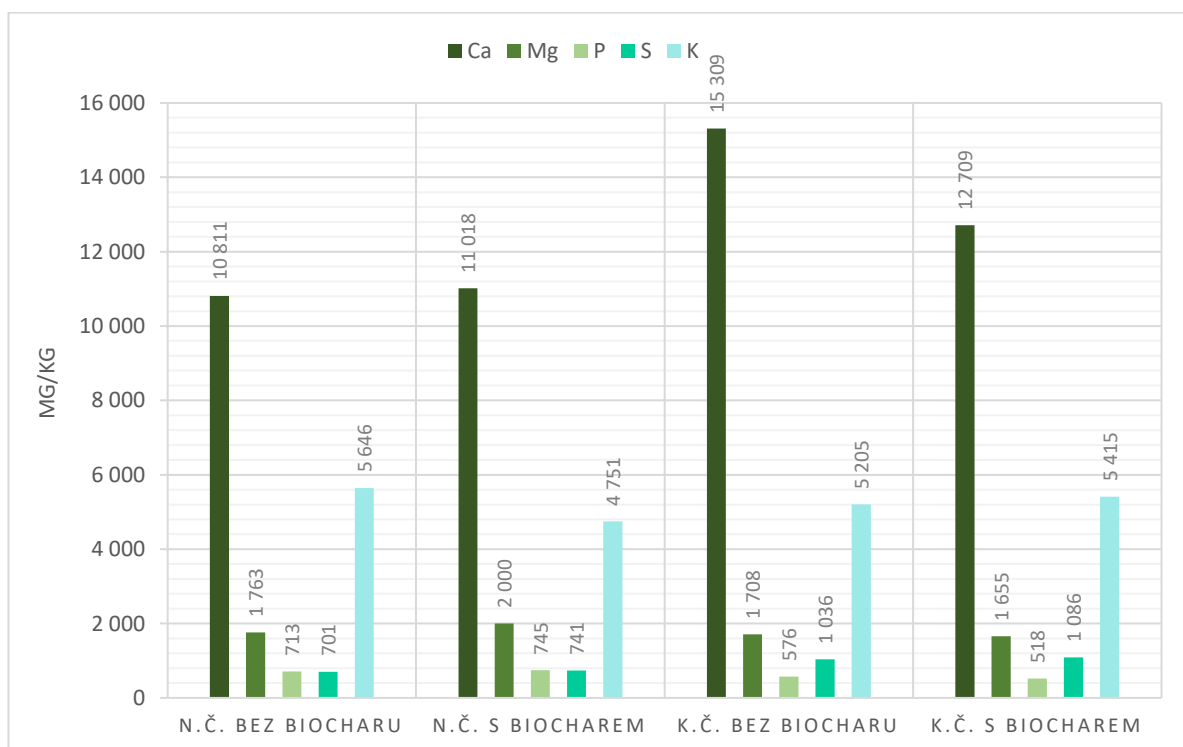
Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
Ca	11 017,95 ± 567,35	10 811,17 ± 33,70	12 708,54 ± 1 696,62	15 308,95 ± 300,82	1,39	0,197
K	4 750,82 ± 314,39	5 645,76 ± 762,30	5 414,72 ± 243,70	5 204,98 ± 558,48	1,161	0,342
Mg	2 000,10 ± 281,97	1 762,58 ± 68,33	1 655,04 ± 306,64	1 708,47 ± 11,61	0,475	0,529
P	745,14 ± 187,52	713,29 ± 29,30	518,37 ± 3,17	576,45 ± 25,62	0,22	0,663
S	740,81 ± 143,88	700,97 ± 54,12	1 085,55 ± 107,04	1 035,97 ± 159,98	0,002	0,97
Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
As	2,26 ± 1,84	0,55 ± 0,54	7,96 ± 1,04	10,52 ± 5,62	0,501	0,518
B	31,16 ± 2,19	27,47 ± 1,45	8,83 ± 0,22	10,78 ± 2,01	2,90	0,165
Co	0,04 ± 0,03	0,00 ± 0,00	1,34 ± 0,57	1,82 ± 0,57	0,42	0,554
Cu	1,16 ± 0,80	5,42 ± 0,54	14,25 ± 2,25	27,05 ± 8,64	0,90	0,396
Fe	91,11 ± 15,38	91,11 ± 6,72	2 152,26 ± 772,03	3 547,52 ± 1 072,21	1,11	0,351
Mn	51,82 ± 7,03	27,16 ± 7,56	64,69 ± 0,11	71,59 ± 3,84	8,20	0,046*
Ni	0,16 ± 0,16	0,53 ± 0,31	11,09 ± 4,26	11,38 ± 2,37	0,00	0,987
Pb	0,83 ± 0,25	0,05 ± 0,05	0,14 ± 0,13	0,21 ± 0,20	0,913	0,394
Zn	50,63 ± 24,10	28,11 ± 3,17	35,52 ± 9,80	44,28 ± 6,44	1,342	0,311

Tab. 4: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u břečťanu popínavého včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$, $DF = 1,4$).

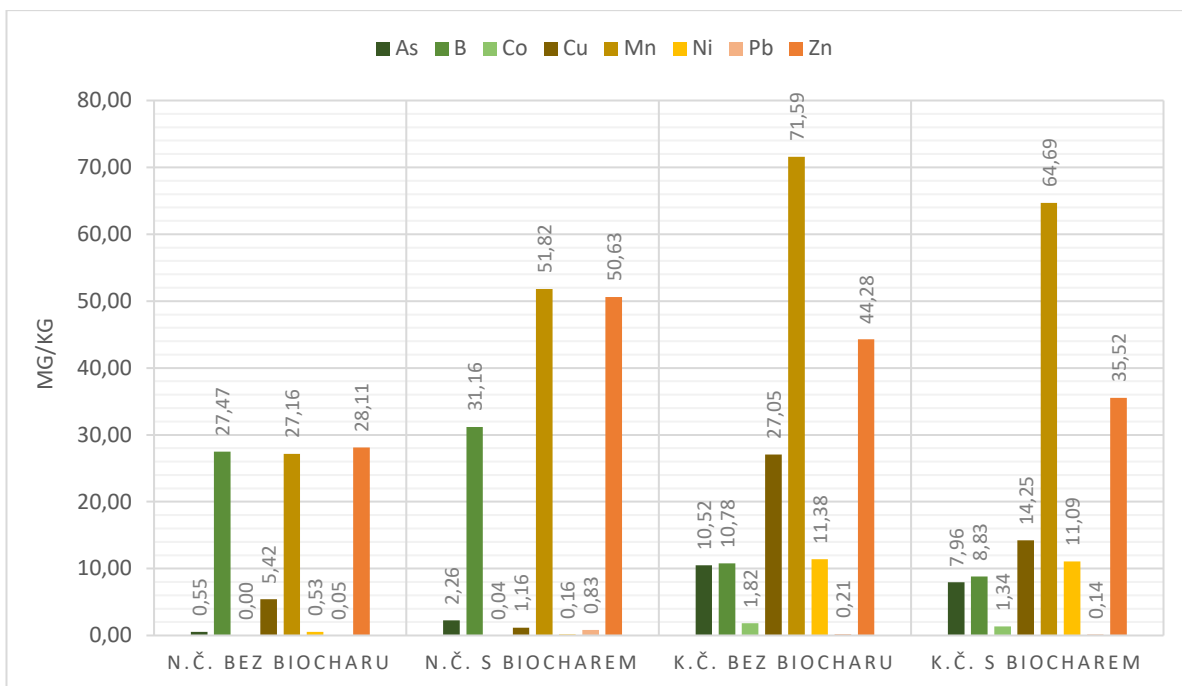
Z Obr. 29, kde máme uvedeny všechny měřené makroprvky, vidíme, že břečťan obsahuje nejvíce Ca. V n.č. pak dochází k jeho mírnému nárůstu, u k.č. naopak obsah klesá po přidavku biocharu.

U mikroživin je nárůst v n.č. u většiny uvedených prvků zobrazen na Obr. 30, nejvíce pak u Mn, mírný nárůst je zaznamenán také u B, naopak je tomu u Ni, Co a Cu (zde je pokles až o necelých 80 %).

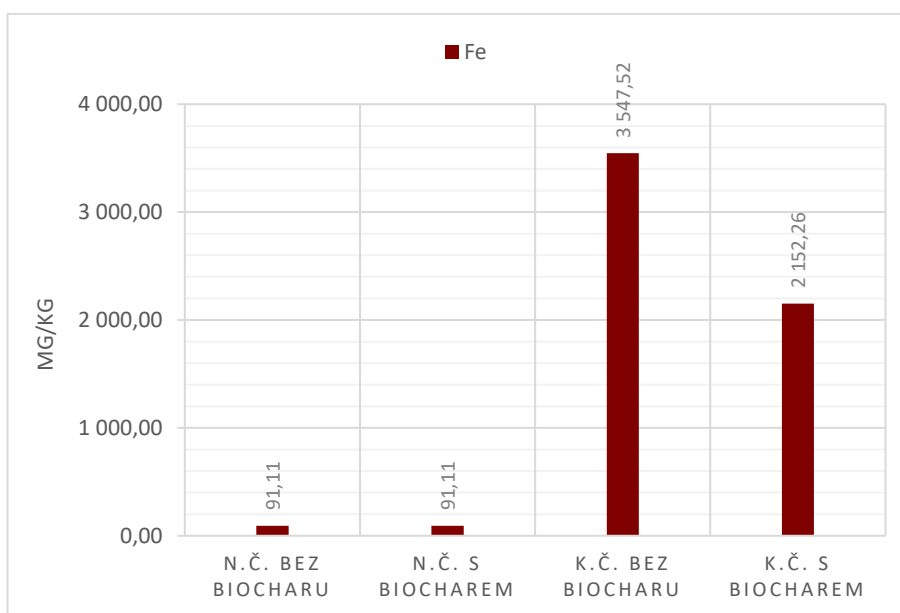
Na Obr. 31 vidíme, že u n.č. nedochází ke změně obsahu Fe, jejich hodnoty jsou téměř totožné. V k.č. pak vidíme snížení obsahu, po přidavku biocharu, a to o necelých 65 %.



Obr. 29: Makroprvky – průměrný obsah u břečťanu popínavého.



Obr. 30: Mikroprvky – průměrný obsah u břechtánu popínavého.



Obr. 31: Fe – průměrný obsah železa u břechtánu popínavého.

5.5 Kostřava očí (*Festuca ovina*)

Průměrné naměřené hodnoty makroprvků a mikroprvků a výsledky statistické analýzy jsou zobrazeny v Tab. 5. Statisticky významný vliv biocharu byl prokázán u Ca, Mg, S, As, Cu, Mn. Celková biomasa rostlin pěstovaných v biocharu vykazuje průměrně vyšší hodnoty Ca, Mg, S a Mn. Ostatní prvky naopak klesají.

Statistický významný rozdíl v obsahu prvků dle typu biomasy vyšel u K ($F_{1,4}=201$; $p=0,000$), Mg ($F_{1,4}=37,65$; $p=0,004$) a B ($F_{1,4}=55,33$; $p=0,002$), kde je v n.č. zaznamenán nárůst. Na druhé straně statisticky významný pokles je v n.č. zaznamenán u prvků – As ($F_{1,4}=19,12$; $p=0,012$), Co ($F_{1,4}=10,6$; $p=0,000$), Cu ($F_{1,4}=202,1$; $p=0,000$), Fe ($F_{1,4}=119,2$; $p=0,000$), Ni ($F_{1,4}=175,1$; $p=0,000$) a Pb ($F_{1,4}=13,12$; $p=0,022$).

Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
Ca	12 936,95 ± 2 447,07	5 939,22 ± 385,07	9 405,79 ± 155,10	11 725,27 ± 1 736,13	9,462	0,037*
K	5 007,11 ± 15,58	6 523,94 ± 295,58	1 422,22 ± 21,59	2 416,71 ± 454,11	0,90	0,39
Mg	4 081,07 ± 505,03	1 896,18 ± 51,14	1 055,38 ± 28,21	1 471,17 ± 240,34	21,39	0,010*
P	405,05 ± 37,48	397,61 ± 60,11	279,15 ± 4,40	420,40 ± 55,13	2,737	0,138
S	1 170,73 ± 2,21	770,02 ± 125,27	569,25 ± 30,23	998,01 ± 114,94	23,07	0,009*
Analyzovaný prvek	∅ obsah v n.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v n.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. s biocharem (mg/kg) ± SD	∅ obsah v k.č. bez biocharu (mg/kg) ± SD	Testovací statistika (F)	Dosažená hladina významnosti (p)
As	9,39 ± 2,22	3,16 ± 1,10	12,47 ± 1,45	20,52 ± 3,68	9,34	0,038*
B	78,36 ± 13,13	58,09 ± 9,89	5,46 ± 0,43	7,92 ± 1,73	1,89	0,242
Co	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,40 ± 0,04	2,59 ± 0,01	1,11	0,249
Cu	2,85 ± 1,06	2,78 ± 0,31	19,45 ± 1,93	33,68 ± 2,49	18,03	0,013*
Fe	47,95 ± 17,66	30,06 ± 0,08	4 183,35 ± 98,77	4 503,14 ± 228,20	2,00	0,247
Mn	141,22 ± 22,00	24,72 ± 3,84	72,69 ± 5,34	78,78 ± 14,06	20,72	0,011*
Ni	0,66 ± 0,53	0,96 ± 0,47	8,58 ± 0,89	9,22 ± 0,40	0,10	0,793
Pb	0,25 ± 0,25	0,12 ± 0,18	0,98 ± 0,52	2,19 ± 0,37	2,202	0,228
Zn	26,97 ± 2,54	25,90 ± 5,64	37,61 ± 0,78	89,44 ± 41,22	1,61	0,273

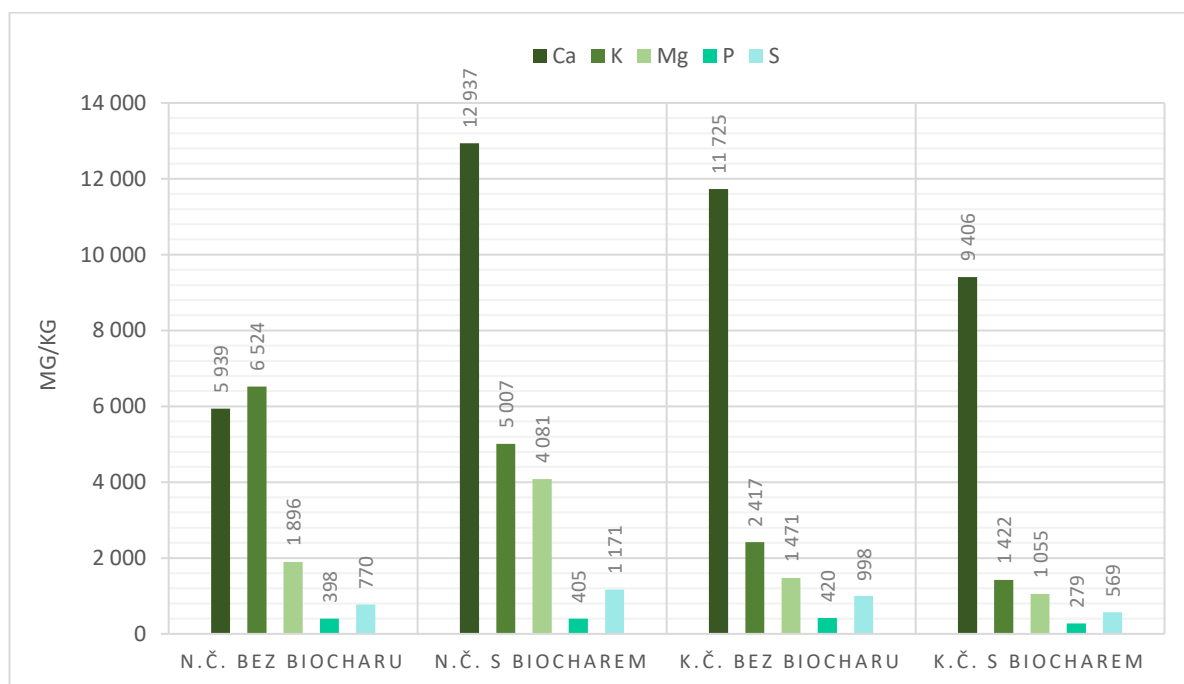
Tab. 5: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u kostřavy ovčí včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$.

U kostřavy je v n.č. viditelný nárůst všech makroprvků (Obr. 32), u některých enormní, jako např. Ca, u kterého se zvýšil obsah o 117 %, podobné výsledky má i

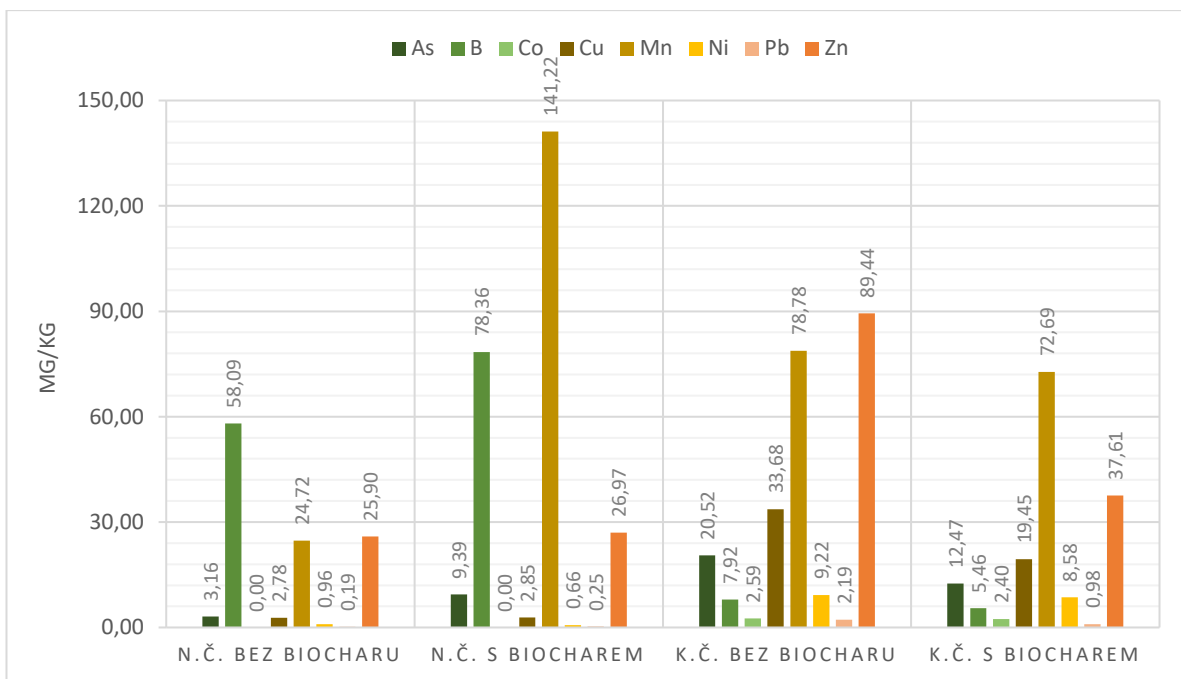
Mg. Jediný pokles v n.č. je zaznamenán u K. Na druhé straně u k.č. je evidentní pokles obsahu u všech prvků, nejvíce pak s poklesem o 75 % u S. I u ostatních je obsahová ztráta v rozmezí 25-50 %.

U mikroprvků v n.č., které jsou znázorněny na Obr. 33, byl po přidání biocharu největší nárůst zaznamenán u Mn a to o celých 471 %. Dále je pak velký nárůst u As. V k.č. je pokles u všech prvků, nejvíce viditelný je pokles u As a Cu.

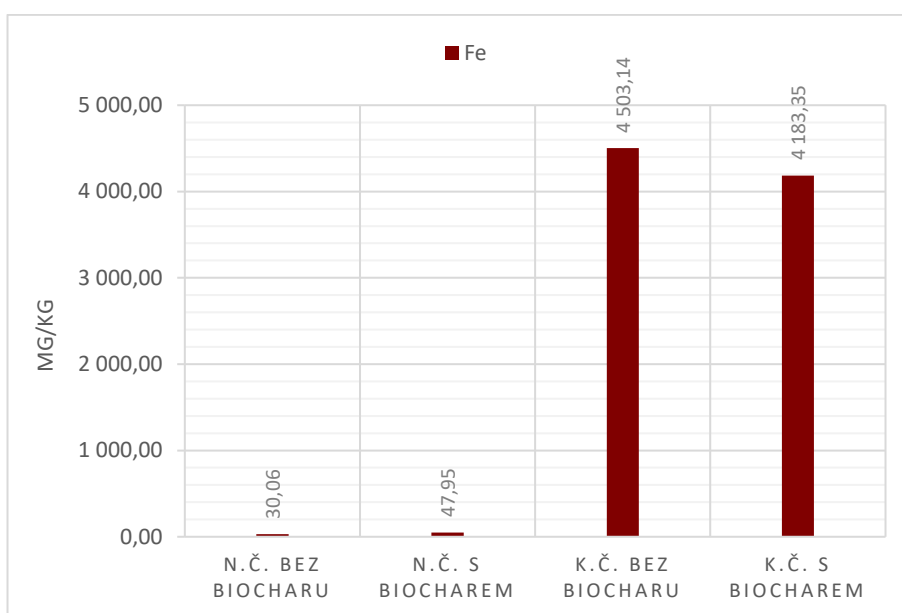
Fe (na Obr. 34) je u kostřavy, stejně jako u ostatních testovaných rostlin, obsažený ve většinovém množství v k.č. V k.č. i n.č. není žádný významný rozdíl po přidavku biocharu znatelný.



Obr. 32: Makroprvky – průměrný obsah u kostřavy ovčí.



Obr. 33: Mikroprvky – průměrný obsah u kostřavy ovčí.



Obr. 34: Fe – průměrný obsah železa u kostřavy ovčí.

6 Diskuse

Cílem mé diplomové práce bylo posoudit vliv 4% biocharu na příjem živin u vybraných rostlin a posoudit, zda se analyzované prvky více hromadí v nadzemní či podzemní biomase. Vliv biocharu na příjem makro a mikro živin v půdě a jeho schopnost odstraňování toxických látek a těžkých prvků z půdy, je předmětem mnoha studií. Bohužel se však většina experimentů týká pouze zemědělských plodin. Z tohoto důvodu by mohla tato diplomová práce přinést nové poznatky o vlivu biocharu na okrasné rostliny a rozšířit tak možnost jeho aplikace nejen v zemědělském prostředí.

Biochar použitý v této studii (Příloha 1-2) vykazoval zvýšený obsah K a Mg, což se odrazilo i na testovaných rostlinách (v n.č. byl detekován zvýšený obsah oproti rostlinám, které byly pěstovány bez přídavku biocharu), z čehož lze usuzovat, že složení biocharu by mohlo výrazně ovlivňovat přijaté živiny. Tuto skutečnost nám ale naopak nepotvrzují Zn, Cu a Ni, které se v biocharu rovněž vyskytovaly ve vysoké míře, avšak jejich nárůst se v rostlinách nepotvrdil, naopak byl u většiny zaznamenán jejich významný pokles.

Zvýšený příjem K zaznamenal Kraska et.al. (2016), který ve své publikaci uvádí, že biochar, který byl získán z pšeničné slámy za vyšších pyrolýzních teplot, zvýšil koncentraci K v rýži. Podobného výsledku bylo také dosaženo při studii fazolu obecného (Prapagdee a Tawinteung, 2017).

Příjem živin ovlivňuje i zemědělský či pěstební systém, typ substrátu, plodiny a klimatické podmínky. Jako příklad lze uvést studii Sadowska et.al. (2020), ve které byl zkoumán vliv odlišného množství a druhu biocharu (dle jeho způsobu výroby) na mátu pepřovou. Autoři uvádí, že biochar vytvořený při pyrolýzní teplotě 650 °C měl na mátu různý vliv z hlediska jeho množství přidaného do substrátu. Nejvíce však ovlivnil přísun Mg, který byl inhibován K a Ca, a jeho obsah tedy snížen. Naopak při vyšším množství biocharu se také zvýšil obsah K a S v rostlině. Vliv K na snížený obsah mnoha prvků v rostlinách popisuje i Richter a Škarpa (2013), kdy může docházet k inhibici Mg, Ca, Zn a Mn a naopak k podpoře přísunu P a S. V našem experimentu by tyto teze potvrzoval výsledek u dlužichy, kde dochází k významnému navýšení obsahu K v n.č. a k následnému snížení Zn a zvýšení obsahu P v n.č., také u metlice, kde se zvýšil v n.č. obsah S.

Naopak výsledky nepotvrdily inhibici Mg (u většiny rostlin byl zaznamenán jeho významný nárůst). Zvýšený příjem Mg potvrzují i Gao et.al (2016), kteří provedli pokus na fazolu obecném. Zde však mohla hrát roli vyšší koncentrace K v rostlinných pletivech, což by mohlo mít za následek antagonistickou interakci s Mg a jeho následným „vytlačení“ (Ohno a Grunes, 1985). Hodnota Mg může i po přidání biocharu poklesnout. Tento jev například zaznamenali Woldetsadik et.al. (2016), kteří studovali vliv biocharu na salát. Lze tak usuzovat, že na plodiny a okrasné rostliny může mít biochar různý vliv.

Tento protichůdný vliv K a Mg, s působením Ca, byl také popsán ve studii od Zemanové et.al. (2017), kdy biochar omezil příjem Ca a Mg ve špenátu až o 45 %, naopak K se zvýšil u většiny testovaných rostlin špenátu, velmi nekonzistentní vliv měl pak přídavek biocharu na příjem P a Fe. Podobné reakce zaznamenal také

Brantley et.al. (2016) ve své studii vlivu biocharu na kukuřici nebo Waqas et.al. (2017) při aplikaci do půdy s pěstovanou sójou. Z tohoto lze usuzovat, že na plodiny a okrasné rostliny může mít biochar různé vlivy.

Většina našich testovaných rostlin zaznamenala statisticky významně zvýšený podíl makroživin v n.č. po přidavku biocharu a vyvrací tak několik tezí, že se některé prvky navzájem konkurenčně vytlačují. Např., kromě již uvedených vlivů K na prvky, by měl i Ca ovlivňovat přísun K., což popisuje Pokorná (2012) a Košťál (1960), avšak v případě našeho experimentu se ani toto nepotvrdilo, jelikož u dlužichy a rozchodníkovce je zaznamenán stejně významný nárůst v n.č. u Ca, K i Mg. I v tomto případě může hrát roli druh rostliny.

U mikroživin pak můžeme pozorovat významný úbytek v celém rozsahu zkoumaných prvků v n.č. rostlin, a také u všech druhů rostlin obecně, po přidavku biocharu. Jediný B se vymyká tomuto trendu, jeho obsah v n.č. značně narůstá u všech rostlin kromě rozchodníkovce, kde obsah v n.č. klesá a ostatní mikroprvky naopak „posilují“.

Ve své práci se Kubát et al. (2003) a Richter a Škarpa (2013) zmiňují, že Fe by měl významně ovlivnit navýšení obsahu Zn a Cu, což se ani v jednom případě nepotvrdilo. Naopak vliv P na obsah Fe v n.č., o kterém se zmiňují také oba již uvedení autoři se prokazuje u dlužichy, kde se při konzistentním zvyšování P v n.č. snižoval obsah Fe, u ostatních rostlin je však toto neprůkazné. Podobný efekt na obsah Fe po aplikaci biocharu, kdy nebyl významně ovlivněn, je zmínka ve studii podzimního špenátu, kde byl částečně ovlivněn pouze příjem P, který však nebyl potvrzen u všech testovaných rostlin špenátu (Peng et.al., 2012). Pokud by se však dávka biocharu zvyšovala, obsah P by mohl také stoupat (Gonzaga et.al, 2017), ale jelikož je málo studií a informací o vlivu biocharu na zadržování fosfátů v půdě, lze usuzovat pouze z několika málo zdrojů. Podle Chintala et.al. (2014) je schopnost biocharu zvyšovat obsah P v rostlině také velmi závislá právě na daném druhu rostliny.

Rozdílný vliv byl také zaznamenán u Fe, kdy u jednoho druhu (nektarinka) byl snížený obsah (Sorrenti et.al., 2016) a u jiného (suché fazole) naopak nárůst Fe (Gao et.al., 2016). Z tohoto lze usuzovat, že obecný vliv biocharu na přírůstek těchto prvků je rozdílný z hlediska druhu rostliny, ale vzájemné ovlivňování nebylo prakticky zaznamenáno, jedním z potvrzených případů je příjem B, který zvyšuje akumulaci P v listech (Nielsen, 1997), což bylo potvrzeno na výsledcích dlužichy.

Biochar si získal značnou oblibu jakožto půdní doplněk vhodný k inhibici toxických látek a těžkých kovů v půdě. Studie mají však rozdílné trendy s ohledem na druhy zkoumaných plodin a rostlin. Ve studii zabývající se toxicitou vybraných prvků na lidský organismus (Natasha et.al., 2021) se autoři zmiňují, že během tříletého studia půdního substrátu po přidavku biocharu došlo ke snížení obsahu As, Cu, Ni a Zn až o 48 %. Některé studie však naznačují, že ačkoli v substrátu těžké kovy mizí, přijímají je ve větším měřítku vysazené rostliny, které je ukládají (Zhang et.al, 2019).

Z výsledků je patrné, že u kostřavy, břečťanu a dlužichy v jejich n.č. klesají obsahy cizorodých prvků (Ni, Pb, Zn), pouze rozchodníkovce zvýšil po přidavku obsah Ni v n.č. Ten také dle výsledků zvyšoval svůj obsah i u prvků, které ostatní rostliny snižovaly – As, Co, Fe, Mn a Ni. Rozchodníkovce je velmi odolná rostlina (Kubát,

2002), která obsahuje mimo jiné třísloviny (Ashok a Upadhyaya, 2012), které dokáží vázat těžké kovy a blokovat jejich toxicitu.

Z hlediska druhu rostliny je zde zajímavé pozorovat vliv biocharu na břečťan, který nezaznamenal žádný významný trend po přidavku biocharu a z tohoto hlediska lze usuzovat, že na něj má spíše neutrální vliv.

Podobné výsledky na příjem živin byly zaznamenány u metlice a kostřavy. Obě tyto rostliny se řadí do čeledi lipnicovitých trav. U obou jmenovaných rostlin se zvýšil obsah Mg a Mn po přidavku biocharu. V porovnání příjmu dle biomasy se statisticky významně zvýšil v n.č. obsah K, Mg a B, naopak u obou došlo ke snížení obsahu Co, Cu a Fe, také v n.č.

Jedním z dalších poznatků, které jsme mohli zjistit bylo, že ačkoli testované rostliny, které neměli k živinám a vláze tradiční přístup přes půdní substrát, ale pouze přes jeho „náhradu“, nevykazovaly žádné zhoršení jejich stavu. Např. Gholami et.al. (2019) vychází z výsledků své studie o biocharu a jeho vlivu na zadržování vláhy a potvrzuje, že přidavek biocharu má velmi pozitivní vliv na zadržení vláhy (a s ním i spojenou translokaci živin) v substrátech.

7 Závěr

Jelikož byl v tomto experimentu testován vliv biocharu na rostliny bez přidavku do půdního substrátu, ale pouze do liaporu, mohou být výsledky zcela rozdílné u ostatních studiích, které prováděli průzkum v běžných venkovních podmínkách. Avšak nejen studie plodin, které byly již provedeny či probíhají potvrzují, že biochar může mít velmi pozitivní vliv na příjem živin z půdy, ale také náš experiment tuto tezi podporuje.

U naměřených hodnot některých prvků bylo viditelné, že jejich statistická významnost je velmi hraniční. Z toho bychom mohli usuzovat, že pokud by byla provedena analýza více vzorků testované rostliny, mohl by být výsledek více znatelný – tedy by bylo prokázáno, že biochar měl vliv na obsah toho daného prvku či se jednalo pouze o chybu v měření.

Pokud budeme vycházet pouze z výsledků tohoto experimentu, lze říci, že všechny testované rostliny by byly vhodné k pěstování v nepůdních substrátech za přidavku biocharu. Bylo by však zajímavé se v dalších studiích zaměřit právě na rozdílný přístup rozchodníkovce a břečťanu k biocharu. Jak již bylo zmíněno výše, z hlediska přidavku biocharu se často jedná o vliv právě na daný druh plodiny či okrasné rostliny, na jejich schopnostech adaptace, náročnosti na živiny a jejich schopnostech je přijímat.

8 Literatura

8.1 Literární a internetové zdroje

1. ABU-SAMRA, A., MORRIS, J.S. and KOIRTYOHANN, S.R. *Wet ashing of some biological samples in a microwave oven*. Analytical chemistry, 1975. 47(8):1475-7. DOI: 10.1021/ac60358a013.
2. ADAMS, P. *Nutritional control in hydroponics*. In Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Athens: Embryo Publications, 2002, pp. 211–261.
3. *Advantages & Disadvantages of Hydroponics* [online]. Trees.com Staff, 2021 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://www.trees.com/gardening-and-landscaping/advantages-disadvantages-of-hydroponics>.
4. AIKEN, G. R., MCKNIGHT, D. M., WERSHAW, R. L. and MACCARTHY, P. *Humic Substances in soil, sediment, and water*. New York: J. Wiley, 1985. ISBN 0-471-88274-7.
5. AJEMA, L. *Effects of biochar application on beneficial soil organism review*. International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology, 2018. 5(5):9-18.
6. *Allium schoenoprasum – pažitka pobřežní* [online]. Pladias – databáze české flóry a vegetace © 2014–2022 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://pladias.cz/taxon/data/Allium%20schoenoprasum>.
7. ASAI, H., SAMSON, B.K., STEPHAN, H.M., SONGYIKHANGSUTHOR, K., HOMMA, K. and KYIONO, Y. *Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield*. Field Crops Research, 2009. 111(1-2):81-84
8. ASHOK, P.K. and UPADHYAYA, K. *Tannins are Astringent*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, roč. 1, čís. 3., 2012. ISSN 2278- 4136. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/264783867_Tannins_are_Astringent.
9. AZIZ, A., BROEKAERT, J.A.C. and LEIS, F. *Analysis of microamounts of biological samples by evaporation in a graphite furnace and inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy*. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 1982. 37(5) 369-379. DOI: 10.1016/0584-8547(82)80015-3.
10. BALDOCK, J. A., OADES, J. M., WATERS, A. G., PENG, X., VASALLO, A. M., and WILSON, M. A. *Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid – state ¹³C NMR spectroscopy*. Biogeochemistry, 1992. 16: 1-42.
11. BARTOŠ, M. a kol. *Analytická chemie I*. Univerzita Pardubice, fakulta chemicko-technologická, 2004. Pardubice.
12. BRANTLEY, K.E., SAVIN, M.C., BRYE, K.R. and LONGER, D.E. *Nutrient availability and corn growth in a poultry litter biochar-amended loam soil in a greenhouse experiment*. Soil Use and Management, 2016. 32: 279–288.
13. BRUUN, E. W., AMBUS, P., EGSGAARD, H. and HAUGGAARD-NIELSEN, H. *Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics*. Soil Biology & Biochemistry. 2012, 46. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.11.019.
14. BUCHAROVÁ, J. *Nejbarevnější trvalka dlužicha a její listy: Zdobí zahradu po celý rok*. iReceptář, 2017 [cit.2022-01-27]. Dostupné z:

<https://www.ireceptar.cz/zahrada/nejbarevnejsi-trvalka-dluzicha-jeji-listy-zdobi-zahradu-po-cely-rok.html>.

15. CICERI, G., LATORRE, M.H., MEDIBOYINA, M.K. and MURPHY, F. *Hydrothermal Carbonization (HTC) - Valorisation of organic waste and sludges for hydrochar production of biofertilizers*. IEA Bioenergy, 2021. ISBN, 978-1-910154-90-8.
16. CORNELISSEN, G., MARTINSEN, V., SHITUMBANUMA, V., ALLING, V., BREEDVELD, G.D., RUTHERFORD, D.W., SPARREVIK, M., HALE, S.E., OBIA, A. and MULDER, J. *Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia*. *Agronomy* 3, 2013, p. 256–274. DOI: 10.3390/agronomy3020256.
17. ČERNOHORSKÝ, T. *Atomová spektroskopie*. 1. vyd. Univerzita Pardubice, 1997, 218 s. ISBN 80-719-4114-X.
18. ČERNÝ, J., BALÍK, J., KULHÁNEK, M. a SEDLÁŘ, O. *Organická hmota v půdě a její obsah - složky a význam* [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019 [cit.2022-01-27]. Praha. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam>.
19. DANNEHL, D., SUHL, J., ULRICHS, C. and SCHMIDT, U. *Evaluation of substitutes for rock wool as growing substrate for hydroponic tomato production*. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2015. 88(1).
20. DEYL, M., HÍSEK, K. *Naše květiny*. Academia, 2003. ISBN 802-00-0940-X.
21. DIOPAN, V., RYANT, P., ADAM, V., BEKLOVÁ, M. a KIZEK, R. *Hydroponie – význam pro fytořediční technologie*. MZLU v Brně a VFU v Brně – Listy cukrovarnické a řepařské, 125, č. 7/8, 2009. Brno, s. 227-228.
22. DOLNÍČEK, Z. *Laboratorní metody výzkumu*. Katedra geologie - Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého, 2005. Olomouc.
23. DREW, M.C. *Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley*. Agricultural Research Council, Letcombe Laboratory. *New Phytologist*, 1975. London. 75: 479-490. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1975.tb01409.x.
24. *Festuca ovina – kostřava ovčí* [online]. Pladias – databáze české flóry a vegetace © 2014–2022 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://pladias.cz/taxon/overview/Festuca%20ovina>.
25. FRENKEL, O., JAISWAL, A.K., ELAD, Y., LEW, B., KAMMANN, C. and GRABER, E.R. *The effect of biochar on plant diseases: What should we learn while designing biochar substrates?* *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2017. 25:2, 105-113, DOI: 10.3846/16486897.2017.1307202.
26. GANDY, M. *The Ecological Facades of Patrick Blanc*. *Architectural Design*, 2010. 80(3), 28–33 s. DOI: 10.1002/ad.1071.
27. GAO, S., HOFFMAN-KRULL, K., BIDWELL, A.L. and DELUCA, T.H. *Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2016. 233: 43–54.
28. GASKIN, J.W., SPIER, R.A., HARRIS, K., DAS, K.C., LEE, R.D. and MORRIS, L.A. *Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient*

- status, and yield.* Agronomy Journal, 2010. 102:623-633. DOI: 10.2134/agronj2009.0083.
29. GERBER, C., DEETER, L., HYLTON, K. and STILWILL, B. *Preliminary Study of Sodium Chloride Tolerance of Rudbeckia fulgida var. speciosa 'Goldsturm', Heuchera americana 'Dale's Variety' and Aquilegia × cultorum 'Crimson Star' Grown in Greenhouse Conditions.* Journal of Environmental Horticulture, 2011. 29 (4): 223–228. doi: doi.org/10.24266/0738-2898-29.4.223.
 30. GHOLAMI, L., KARIMI, N. and KAVIAN, A. *Soil and water conservation using biochar and various soil moisture in laboratory conditions.* Elsevier, Catena, n.182, 2019. Sart. DOI: 10.1016/j.catena.2019.104151.
 31. GONZAGA, M.I.S., MACKOWIAK, C.L., COMERFORD, N.B., DA VEIGA MOLINE, E.F., SHIRLEY, J.P. and GUIMARAES, D.V. *Pyrolysis methods impact biosolids-derived biochar composition, maize growth and nutrition.* Soil and Tillage Research, 2017. 165: 59–65.
 32. GRABER, E. R., KOOKANA, R. S. *Biochar and retention/efficacy of pesticides.* Biochar for environmental management: science and technology. London: Earthscan Books Ltd, 2015. 655–678.
 33. HAIDER, G., STEFFENS, D., MÜLLER, C. and KAMMANN, C.I. *Standard extraction methods may underestimate nitrate stocks captured by field-aged biochar.* Journal of Environmental Quality, 2016. 45(4): 1196–1204. DOI: 10.2134/jeq2015.10.0529.
 34. HANNIS, S., BIDE, T. and MINKS, A. *Cobalt.* Keyworth, Nottingham: British Geological Survey, 2009.
 35. HARIPRASAD, N.V. and DAYANANDA, H.S. *Environmental impact due to agricultural runoff containing heavy metals—A review.* International Journal of Scientific and Research Publications, 2013. 3(5):1-6.
 36. HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E. *Hydrochemie.* Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1997. Brno. 106 s. ISBN 80-7157-289-6.
 37. HORÁČEK, P. a MENCL, J. *Barvínek menší* [online]. Dendrologie.cz, 2006 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://databaze.dendrologie.cz/index.php?menu=5&id=1992>.
 38. HORÁK J., LINHART I. a KLUSOŇ P. *Úvod do toxikologie a ekologie pro chemiky.* VŠCHT, 2004. Praha, p.83.
 39. HOSKOVEC, L. *Hylotelephium maximum L. - rozchodníkovec velký* [online]. Botany.cz, 2007 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/hylotelephium-maximum/>.
 40. HRONEŠ, M. *Barvínek menší* [online]. Natura Bohemica, 2009 [cit.2022-01-27]. Olomouc. Dostupné z: <https://www.naturabohemica.cz/vinca-minor/>.
 41. HŘIVNA, L., PECHKOVÁ, J. a BUREŠOVÁ, I. *Vliv aplikace bóru na výnos a technologickou kvalitu cukrové řepy.* Listy cukrovarnické a řepařské, 130, 2014. 126-130 (4). ISSN 1210-3306.
 42. *Hylotelephium maximum – rozchodníkovec velký* [online]. Pladias – databáze české flóry a vegetace © 2014–2022 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://pladias.cz/taxon/overview/Hylotelephium%20maximum>.
 43. CHIAPELLA, J. *The Deschampsia caespitosa complex in central and northern Europe: a morphological analysis.* Botanical Journal of the Linnean Society, 2000. 134(4), 495–512. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2000.tb00547.x.

44. CHINTALA, R., SCHUMACHER, T.E., MCDONALD, L.M., CLAY, D.E., MALO, D.D., PAPIERNIK, S.K., CLAY, S.A. and JULSON, J.L. *Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures*. Clean – Soil, Air, Water, 2014. 42: 626–634.
45. JANDÁK, J., PRAX, A. a POKORNÝ, E. *Půdoznalství*. Mendelova zemědělská a Lesnická univerzita v Brně, 2004. Brno. ISBN 80-7157-559-3.
46. JURSIK, F. *Anorganická chemie kovů*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 1. vyd., 2002. Praha. ISBN 80-7080-504-8.
47. KALINOVÁ, J., MOUDRÝ, J., KONVALINA, P. a MOUDRÝ, J. *Půdní úrodnost, výživa a hnojení rostlin v ekologickém zemědělství*. Jihočeská univerzita, 2007. České Budějovice, p. 41 s. ISBN 978-80-7394-029-4.
48. KAMMANN, C., GLASER, B. and SCHMIDT, H.P. *Combining biochar and organic amendments*. Biochar in European Soils and Agriculture, Science and Practice, 2016. New York: Routledge, pp. 136-164.
49. KAMMANN, C.I., SCHMIDT, H.P., MESSERSCHMIDT, N., LINSEN, S., STEFFENS, D., MÜLLER, C., KOYRO, H.W., CONTE, P. and STEPHEN, J. *Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar*. Scientific Reports, 2015. 5: 12. DOI: 10.1038/srep11080.
50. KÖGEL-KNABCHER, I. *The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter*. Soil Biol. Biochem., 2002. 34: 139-162.
51. *Kokosová vlákna* [online]. Soft Secrets, č.4. Discover Publisher BV Nizozemí, 2012 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://adoc.pub/5-600-kytek-zazdny-zahradnik-operace-dukla.html>.
52. KOMÁREK, J. *Atomová absorpční spektrometrie*. Masarykova univerzita v Brně, 2000. Brno. 85 s. ISBN 80-210-2500-X.
53. KOPLÍK, R. *Metody atomové spektroskopie*. VŠCHT Praha, nedatováno. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/koplikr>.
54. KOPLÍK, R. *Stanovení minerálních látek a stopových prvků*. VŠCHT Praha, 2020. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/koplikr>.
55. KORBELÁŘ, J. a ENDRIS, Z. *Naše rostliny v lékařství*. Avicenum, 1981. Praha. 504 str.
56. KOŠTÍŘ, J. *Obecná biochemie*. Státní nakladatelství technické literatury, 1960. Praha.
57. KRASKA, P., OLESZCZUK, P., ANDRUSZCZAK, S., KWIECIŃSKA-POPPE, E., RÓŻYŁO, K., PAŁYS, E., GIERASIMIUK, P. and MICHAŁOJĆ, F. *Effect of various biochar rates on winter rye yield and the concentration of available nutrients in the soil*. Plant, Soil and Environment, 2016. 62: 483–489.
58. KRPEŠ, V. *Ekologie rostlin*. Přírodovědecká fakulta - Ostravská univerzita, 2005. Ostrava.
59. KUBÁT, K. *Klíč ke květeně České republiky*. Academia, 2002. Praha, p. 928. ISBN 80-200-0836-5
60. KUBÁT, K., KALINA, T., KOVÁČ, J., KUBÁTOVÁ, D., PRACH, K. a URBAN, Z. *Botanika*. Scientia, 2003. Praha, p. 231. ISBN 80-7183-266-9.
61. LEE, J., SARMAH, A.K. and KWON, E.E. *Production and Formation of Biochar*. Biochar from biomass and waste - Fundamentals and applications, chap. 1. Elsevier, 2019. p. 1–462. DOI: 10.1016/C2016-0-01974-5.

62. LEHMANN, J., GAUNT, J. and RONDON, M. *Biochar sequestration in the terrestrial ecosystem—A review*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2006. 11:403-427.
63. LEHMANN, J., KERN, D.C., GLASER, B. and WOODS, W.I. *Amazonian Dark Earths: Origin Properties Management*. Springer Science & Business Media, 2007.
64. LI, J., SCHULZ, H., BRANDL, S., MIEHTKE, H., HUWE, B. and GLASER, B. *Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2012. 175(5):1-10.
65. LI, T., LALK, G.T., ARTHUR, J.D., JOHNSON, M.H. and BI, G. *Shoot Production and Mineral Nutrients of Five Microgreens as Affected by Hydroponic Substrate Type and Post-Emergent Fertilization*. Horticulturae, 2021. 7(6):129. DOI: 10.3390/horticulturae7060129.
66. LI, Y., XIAO, J., HU, J. and JEONG, B.R. *Method of Silicon Application Affects Quality of Strawberry Daughter Plants during Cutting Propagation in Hydroponic Substrate System*. Agronomy, 2020. 10(11):1753. DOI: 10.3390/agronomy10111753.
67. MADER, P. a ČURDOVÁ, E. *Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků*. Chemické listy, 91, 1997. p. 227-236.
68. MARSCHNER, H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press Limited, 1995. London, 889 pp. ISBN 0-12-473543-6.
69. MARTÍNEK, O. *Biouhel – staronový pomocník pro řešení aktuálních výzev?* [online]. Bureau Veritas Czech Republic, 2020 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://www.bureauveritas.cz>.
70. MAUCIERI, C., NICOLETTO, C., JUNGE, R., SCHMAUTZ, Z., SAMBO, P. and BORIN, M. *Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review*. Italian Journal of Agronomy, 2017. 13(1), pp. 1–11. DOI: 10.4081/ija.2017.1012.
71. MAYLAND, H.F. and WILKINSON, S.R. *Mineral nutrition. Cool-Season Forage Grasses*. Agronomy Monograph, 34, 1996. Madison, p. 165-191.
72. MENGEL, K. and KIRBY, E.A. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute Berne, 1978. Switzerland, 593 p.
73. MERMET, J.M. and POUSSSEL, E. *ICP Emission Spectrometers*. Analytical Figures of Merit, Appl. Spectrosc., 1995. 49(10), p. 12A-18A.
74. MESTEK, O. *Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem*. Pracovní text pro Podzemní výukové středisko JOSEF. VŠCHT, 2010. Praha, 34 s. (s. 1-8).
75. METCALFE, D.J. *Hedera helix L.* Journal of Ecology, 2005. 93: 632-648. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2005.01021.x.
76. NATASHA, N., SHAHID, M., KHALID, S., BIBI, I., MUHAMMAD, A.N., NIAZI, N.K., TACK, F.M.G., IPPOLITO, J.A. and RINKLEBE, J. *Influence of biochar on trace element uptake, toxicity and detoxification in plants and associated health risks: A critical review*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 2021. Coop. of Universities in Islamabad, Faisalabad, Toowoomba, Gent, Collins, Wuppertal and Seoul. DOI: 10.1080/10643389.2021.1894064.
77. NÁTR, L. *Země jako skleník – Proč se bát CO₂?* Academia – Edice Průhledy, 2006. Praha. ISBN 8020013628.

78. NIELSEN, F.H. Boron in human and animal nutrition. *Plant and Soil*, 1997. 193, 199–208. DOI: 10.1023/A:1004276311956.
79. OBIA, A., CORNELISSEN, G., MULDER, J. and DORSCH, P. Effect of soil pH increase by biochar on NO, N₂O and N₂ production during denitrification in acid soils. *Plos One*, 2015. 10 (9). DOI: 10.1371/journal.pone.0138781.
80. OGUNTUDE, P.G., FOSU, M., AJAYI, A.E. and VAN DE GIESEN, N. Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 2004. 39:295-299. DOI: 10.1002/jpln.200625185.
81. OHNO, T. and GRUNES, D.L. Potassium-magnesium interactions affecting nutrient uptake by wheat forage. *Soil Science Society of America Journal*, 1985. 49: 685–690.
82. PARCELL, S. Sulfur in human nutrition and applications in medicine. *Alternative Medicine Review: A Journal of Clinical Therapeutic*, 2002. 7(1), 22–44. ISSN 1089-5159.
83. PAVLOVÁ L. *Fyziologie rostlin*. Karolinum, 2006. Praha, p. 254.
84. PECHOVÁ A., VÁVROVÁ J. Stopové prvky [online], nedatováno, MZČR. Dostupné z www.: http://ciselniky.dasta.mzcr.cz/CD_DS4/hypertext/AJBYH.htm
85. PENG, F., HE, P.W., LUO, Y., LU, X., LIANG, Y., FU, J. Adsorption of phosphate by biomass char deriving from fast pyrolysis of biomass waste. *Clean – Soil, Air, Water*, 2012. 40: 493–498.
86. PRANČL, J. *Festuca ovina* L. – kostřava ovčí [online]. *Botany.cz*, 2011 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/festuca-ovina>.
87. PRAPAGDEE, S. and TAWINTEUNG, N. Effects of biochar on enhanced nutrient use efficiency of green bean, *Vigna radiata* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017. 24: 9460–9467.
88. PRASHAR, P. and SHAH, S. Impact of fertilizers and pesticides on soil microflora in agriculture sustainable agriculture reviews. *Sustainable Agriculture Reviews*, 2016. 19:331-362. DOI: 10.3390/microorganisms10010051.
89. PRÁŠKOVÁ L. a NĚMEC P. Bazální monitoring zemědělských půd: Obsah přístupných mikroelementů B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn - 1995–2013. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, 2016. Brno. Dostupné na: http://eagri.cz/public/web/file/521876/BMP_ME_naweb.pdf
90. PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREKULE, J., ŠEBÁNEK, J., GLOSER, J., HAVEL, L., NÁTR, L., PRÁŠIL, I., SLADKÝ, Z., ŠANTRŮČEK, J., TESAŘOVÁ, M. a VYSKOT, B. *Fyziologie rostlin*. Academia, 1998. Praha, p. 488. ISBN 80-200-0586-2.
91. RAGLIONE, L.M., SORBI, S. and NACMIAS, B. Osteoporosis and Parkinson's disease. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism* [online], 2011. Roč. 8, čís. 3, s. 16–18. Dostupné online: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3279061/pdf/ccmbm8_3p016.pdf.
92. REHÁKOVÁ M. *Bioorganická chemia*. Univerzita P.J. Šafaříka, 1992. Košice, p.146.
93. RESH, H.M. *Hydroponic food production - A definitive guidebook of soilless food-growing methods*. Woodbridge Press Publ. Co., 2001. Beaverton.
94. RICHTER, R. a HLUŠEK, J. *Půdní úrodnost*. ÚZPI, 2003. Praha, 44 s. ISBN 80-7271-130-X.
95. RICHTER, R. a HLUŠEK, J. *Výživa a hnojení rostlin (I. obecná část)*. VŠZ v Brně, 1994. Brno, 177 s. ISBN 80-7157-138-5.

96. RICHTER, R. a KUBÁT, J. *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. ÚZPI, 2003. Praha, 56 s. ISBN 80-7271-133-4.
97. RICHTER, R. a ŠKARPA, P. *Mimokořenová výživa u polních plodin*. Úroda LXI, 2013, č. 3: 67-68.
98. ROMER, J. *Hydroponic Crop Production*. Kangaroo Press P/L, 1993. Kenthurst.
99. RONDON, M., LEHMANN, J., RAMÍREZ, J. and HURTADO, M. *Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions*. *Biology and Fertility of Soils*, 2007. 43:699-708.
100. RONSSE, F., VAN HECKE, S., DICKINSON, D. and PRINS, W. *Production and characterization of slow pyrolysis biochar: Influence of feedstock type and pyrolysis conditions*. *GCB Bioenergy*, 2013. 5:104-115.
101. SADOWSKA, U., DOMAGAŁA-ŚWIATKIEWICZ, I. a ZABIŃSKI, A. *Biochar and Its Effects on Plant–Soil Macronutrient Cycling during a Three-Year Field Trial on Sandy Soil with Peppermint (*Mentha piperita* L.). Part I: Yield and Macro Element Content in Soil and Plant Biomass*. DME - FPAPÉ and DPBAB - FBAH, University of Agriculture in Kraków. *Agronomy*, 2020, 10, 1950. Kraków. DOI: 10.3390/agronomy10121950.
102. SCHLAGHAMERSKÝ, J. *Úvod do půdní biologie*. Ústav botaniky a zoologie PŘF MU, 2013. Brno, s. 32. Dostupné z: http://www.ekologiauk.sk/wp-content/uploads/2018/05/SkriptumPedobiologie_1-1.pdf
103. SILBER, A., LEVKOVITICH, I. and GRABER, E.R. *pH-dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar - agronomic implications*. *Environmental Science and Technology*, 2010. 44: 9318–9323. DOI: 10.1021/es101283d.
104. SORRENTI, G., VENTURA, M. and TOSELLI, M. *Effect of biochar on nutrient retention and nectarine tree performance: A three-year field trial*. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2016. 179: 336–346.
105. STROLENÁ, Z. a ANDĚL, L. *Využití metody ICP-OES pro stanovení kovů v tuhých palivech a vedlejších energetických produktech*. Zpravodaj Hnědé uhlí 4/2021. VÚHU, 2021. Most.
106. ŠTAJNER, D., ČANADANOVIĆ-BRUNET, J., and PAVLOVIČ, A. *Allium schoenoprasum L., as a natural antioxidant*. *Phytother. Res.*, 2004. 18: 522-524. DOI: 10.1002/ptr.1472.
107. THOMPSON, K.C. *Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. *Analytica Chimica Acta*, 262, 1992. Blackie, Glasgow and London, p. 380. ISBN 0-216-92912-1.
108. TRČKOVÁ, M. a JANDOVÁ, G. *Fyziologické aspekty listové výživy*. Výživa rostlin v trvale udržitelném zemědělství. MZLU, 2003. Brno, 160–163.
109. TURNER, B. *"How Hydroponics Works"* [online]. HowStuffWorks.com, 2008 [cit.2022-01-27]. Dostupné z: <https://home.howstuffworks.com/lawn-garden/professional-landscaping/hydroponics.htm>
110. URBAN, J. *Úrodnost půdy a výživa rostlin - Soil fertility and plant nutrition*. Zemědělec, 2012, p. 26.
111. VAN ZWIETEN, L., KIMBER, S., DOWNIE, A., MORRIS, S., PETTY, S. and RUST, J. *A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil*. *Australian Journal of Soil Research*, 2010. Glasgow. 48:569-57.

112. VÁVRA, V. a LOSOS, Z. *Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium*. Projekt FRVŠ č. 814/2006. Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta Masarykova univerzita, 2006. Brno. Dostupné z: <http://mineralogie.sci.muni.cz/index.htm>
113. VOTRUBOVÁ, O. *Anatomie rostlin*. Karolinum, 1997. Praha. ISBN 9788024632476.
114. VRBA, V. a HULEŠ, L. *Humus – půda – rostlina (11) - Humusové látky a stopové prvky*. Biom.cz [online], 2007. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-11-humusove-latky-a-stopove-prvky>. ISSN 1801-2655.
115. VRBA, V. a HULEŠ, L. *Humus – půda – rostlina (2) - Humus a půda*. Biom.cz [online], 2006. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>.
116. WAQAS, M., KIM, Y.H., KHAN, A.L., SHAHZAD, R., ASAF, S., HAMAYUN, M., KANG, S.M., KHAN, M.A. and LEE, I.J. *Additive effects due to biochar and endophyte application enable soybean to enhance nutrient uptake and modulate nutritional parameters*. Journal of Zhejiang University Science B, 2017. 18: 109–124.
117. WERNER, C., SCHMIDT, H.P., GERTEN, D., LUCHT, W. and KAMANN, C. *Biogeochemical potential of biomass pyrolysis systems for limiting global warming to 1.5 °C*. Environmental Research Letters, 2018. 13(4), 044036. doi.org/10.1088/1748-9326/aabb0e.
118. WINSLEY, P. *Biochar and bioenergy production for climate change mitigation*. New Zealand Science Review, 2007. Dostupné z: <https://scientists.org.nz/>.
119. WOLDETSADIK, D., DRESCHSEL, P., KERAITA, B., MARSCHNER, B., ITANNA, F. and GEBREKIDAN, H. *Effects of biochar and alkaline amendments on cadmium immobilization, selected nutrient and cadmium concentrations of lettuce (*Lactuca sativa*) in two contrasting soils*. SpringerPlus, 2016. 5: 397.
120. WU, F., GAI, Y., JIAO, Z., LIU, Y., MA, X. and AN, L. *The community structure of microbial in arable soil under different long-term fertilization regimes in the Loess Plateau of China*. African Journal of Microbiology Research, 2012. 6:6152-6164.
121. YEH, Y.P. *Green Wall – The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect* [online]. National Chung-Hsing University, 2012. Dostupné z: https://www.nodai.ac.jp/cip/iss/english/9th_iss/fullpaper/3-1-4nchu-yupengyeh.pdf
122. ZBÍRAL J. *JPP - zkoušení hnojiv = Postup č. 20070.3 - stanovení obsahu Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, V a Zn METODOU ICP-OES*. ÚKZÚZ, 2020. Brno. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/laboratore/dokumenty-a-publikace/jednotne-pracovni-postupy/>.
123. "ZEMANOVÁ, V., BŘENDOVÁ, K., PAVLÍKOVÁ, D., KUBÁTOVÁ, P. a TLUSTOŠ, P. *Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard*. Ústav experimentální botaniky, AV ČR a FAPPZ - ČZU v Praze. Plant Soil Environment, 2017. Praha. 63: 322–327. DOI: 0.17221/318/2017-PSE."

124. ZHANG, A., CUI, L., PAN, G., LI, L., HUSSAIN, Q. and ZHANG, X. *Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010. 139(4):469-475.
125. ZHAO, J., SHEN, X.J., DOMENE, X., ALCA-NIZ, J.M., LIAO, X. and PALET, C. *Comparison of biochars derived from different types of feedstock and their potential for heavy metal removal in multiple-metal solutions*. Scientific Reports, 2019. 9(1), 12. DOI: 10.1038/s41598-019-46234-4.

8.2 Bakalářské a diplomové práce

1. BAHELKOVÁ, M. *Distribuce prvků v rostlinných materiálech* [online]. Brno, 2021 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/i8q5j/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce doc. Mgr. Tomáš Vaculovič, Ph.D.
2. BOUCHALOVÁ, J. *Výzkum možností použití biouhlu pro dekontaminaci půd* [online]. Ostrava, 2018 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/133135>. Disertační práce. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta. Vedoucí práce prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.
3. DVOŘÁK, M. *Proč ztotožňování pojmu „humus“ a „půdní organická hmota“ v pedologii je zdrojem chybných závěrů?* [online]. České Budějovice, 2013. Dostupné z: <https://theses.cz/id/nbrnir/>. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. Vedoucí práce prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.
4. DVOŘÁKOVÁ, Z. *Biouhel - prostředek pro remediace a zvýšení kvality půd* [online]. Brno, 2018. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/ukxy0/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Bc. Lucie Bielská, Ph.D.
5. HAVLENOVÁ, V. *Toxické látky v potravinách* [online]. Brno, 2013 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/zcfsx/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Mgr. Jiří Šibor, Ph.D.
6. HOJGROVÁ, V. *Alkaloidy Vinca minor L. a jejich biologická aktivita VIII* [online]. Hradec Králové, 2021 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/20.500.11956/126045>. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Katedra farmaceutické botaniky. Vedoucí práce PharmDr. Jakub Chlebek, Ph.D..
7. HOLEČEK, J. *Nikl z pohledu léčebné výživy* [online]. Brno, 2020 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/p45wc/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Alena Mottlová, Ph.D.
8. HUDLÍKOVÁ, I. *Huminové látky jako koloidní transportní systém rostlinných živin* [online]. Brno, 2007 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/kbkmlq/>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce doc. Ing. Martina Klucáková, Ph.D.
9. KAŠPÁRKOVÁ, D. *Nutriční aspekty draslíku* [online]. Brno, 2014 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/xfisr5/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Marie Šubrtová.

10. KOCURKOVÁ, M. *Síra ve výživě člověka* [online]. Brno, 2018 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/uc9az/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce RNDr. Ondřej Zvěřina, Ph.D.
11. KORFOVÁ, M. *Význam stopových prvků ve výživě člověka* [online]. Brno, 2017 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/crome7/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Mgr. Petr Ptáček, Ph.D.
12. KOVÁČ, O. *Distribuce nanočástic z manganu v živočišných tkáních* [online]. Brno, 2015 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/3l2k9o/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Omar Šerý, Ph.D.
13. MUSILOVÁ, L. *Optimalizace postupu mineralizace organických pigmentů pro potřeby prvkové analýzy metodou FLAAS* [online]. Pardubice, 2018 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/prohlizeni.html>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce doc.Ing. Lenka Husáková, Ph.D.
14. POKORNÁ, V. *Vápník v potravinách a jeho význam pro výživu* [online]. České Budějovice, 2012 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/ol7llu/>. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce prof. Ing. Milan Pešek, CSc.
15. POLZEROVÁ, E. *Stanovení kovů v rostlinných olejích* [online]. Zlín, 2014 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/yr2x28/>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav technologie tuků, tenzidů a kosmetiky. Vedoucí práce Ing. Ondřej Rudolf.
16. SVÍZELOVÁ, M. *Multiprvková analýza kostí metodou OA-TOF-ICP-MS* [online]. Pardubice, 2018 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz/portal/studium/prohlizeni.html>. Diplomová práce. Univerzita Pardubice - Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce doc.Ing. Lenka Husáková, Ph.D.
17. TŮMOVÁ, B. *Fosfor ve výživě člověka* [online]. Brno, 2014 [cit.2022-01-06]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/adgjk5/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Veronika Suchodolová.

8.3 Programy

1. TIBCO. *TIBCO Statistica* ® [software] – In Computer program (13.3.0), June 2017. TIBCO Software Inc.

8.4 Zdroje obrázků

1. Obr. 1: DREW, M.C. *Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley*. Agricultural Research Council, Letcombe Laboratory. New Phytologist, 1975. London. 75: 479-490. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1975.tb01409.x.
2. Obr. 2: KUBÁT, K., KALINA, T., KOVÁČ, J., KUBÁTOVÁ, D., PRACH, K. a URBAN, Z. *Botanika*. Scientia, 2003. Praha, p. 231. ISBN 80-7183-266-9.

3. Obr. 3: BALÁŽ, M. *Kořenové vlásky - absorpční trichomy kořenů kukuřice (Zea mays)* [online]. Masarykova univerzita - Přírodovědecká fakulta, 2006. Brno. Dostupné z: https://www.sci.muni.cz/~anatomy/dermal_tissues/html/zea_1.htm.
4. Obr. 4: ČERNÝ, J., BALÍK, J., KULHÁNEK, M. a SEDLÁŘ, O. *Organická hmota v půdě a její obsah - složky a význam* [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. Praha. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam>.
5. Obr. 5: *Liapor - kamenivo pro stavební účely* [online]. Liapor.cz, nedatováno. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/produkty/kamenivo/pro-stavebni-ucely/>.
6. Obr. 6: *Hydroponické systémy růstu zeleniny ve vektoru* [online]. iStock, 2018. Dostupné z: <https://www.istockphoto.com/cs/vektor/hydroponick%C3%A9-syst%C3%A9my-r%C5%AFstu-zeleniny-ve-vektoru-gm1022416706-274496613>.
7. Obr. 7: *Hydroponie* [online]. Cannapedia, ©2022. Dostupné z: <https://www.cannapedia.cz/cs/slovník-konopných-pojmu/hydroponie>.
8. Obr. 8: VÁCLAVÍK, P. *Pěstování pro lenochy aneb Zasad' a zapomeň* [online]. Zahrádkářské poradna - Bylinky, 2017. <https://zahradkarskaporadna.cz/clanek-29313-pestovani-pro-lenochy-aneb-zasad-zapomen>.
9. Obr. 9: MENGEL, K. and KIRBY, E.A. *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute Berne, 1978. Switzerland, 593 p.
10. Obr. 10: *Koloběh živin v přírodě* [online]. Evropská agentura pro životní prostředí, 2019. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2019/infografika/kolobeh-zivin-v-prirode/view>.
11. Obr. 11: *Biochar* [online]. UC Davis Biochar Database, ©2022. Dostupné z: <http://biochar.ucdavis.edu/>.
12. Obr. 12: *Elektromagnetické spektrum* [online]. LabGuide, 2015. Dostupné z: <https://labguide.cz/fluorochromy/elektromagneticke-spektrum/>.
13. Obr. 13: KOVÁŘ, L. *Vinca minor L. – barvínek menší* [online]. Botany.cz, 2007. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/vinca-minor/>.
14. Obr. 14: KOVÁŘ, L. *Hedera helix L. – břečťan popínavý* [online]. Botany.cz, 2007. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/hedera-helix/>.
15. Obr. 15: KREJČÍK, S. *Heuchera americana L.* [online]. Meloidae.com, 2016. Dostupné z: <http://www.meloidae.com/cs/obrazky/39362/>.
16. Obr. 16: PRANČL, J. *Festuca ovina L. – kostřava ovčí* [online]. Botany.cz, 2011. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/festuca-ovina>.
17. Obr. 17: *Deschampsia caespitosa – metlice trsnatá* [online]. Pladias – databáze české flóry a vegetace © 2014–2022. Dostupné z: <https://pladias.cz/taxon/pictures/Deschampsia%20caespitosa.html>
18. Obr. 18: DEML, M. *Pažitka pobřežní - Allium schoenoprasum L.* [online]. BioLib.cz, 2006. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id16508/?taxonid=41997&type=1>.
19. Obr. 19: HOSKOVEC, L. *Hylotelephium maximum L. - rozchodníkovec velký* [online]. Botany.cz, 2007. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/hylotelephium-maximum/>.

9 Seznam obrázků, tabulek a grafů

9.1 Obrázky a grafy

Obr. 1: Prorůstání primárních a sekundárních bočních kořenů ječmene (*Hordeum vulgare*) v kultuře se středními částmi kořenů, vystavených 100x větší koncentraci fosfátových, nitrátových, amonných a draselných iontů srovnávaných s kořeny nad a pod (LHL). Kontrolní kořeny zásobovány vysokou koncentrací minerálních živin ve všech zónách (HHH). Zkratky: H-vysoký, L-nízký odkazují na horní, střední a spodní část kořenového systému U.

Obr. 2: Schématické uspořádání podélného řezu mladým kořenem s vyznačením růstových pásem.

Obr. 3: Kořenový vlásek kukuřice – kořenová špička, hlavní kořen, kořenové vlásnění, klíčící rostlinka.

Obr. 4: Zjednodušené schéma rozdělení složek půdní organické hmoty.

Obr. 5: Liapor (frakce 8-16 mm).

Obr. 6: Různé varianty hydroponického pěstování.

Obr. 7: Pěstování v liaporu.

Obr. 8: Systém vytvořený pro zahrady.

Obr. 9: Možné rozdělení biogenních prvků.

Obr. 10: Koloběh látek v přírodě (zjednodušené schéma).

Obr. 11: Různé druhy biocharu dle použitého materiálu k výrobě.

Obr. 12: Elektromagnetické spektrum.

Obr. 13: Barvínek menší (*Vinca minor*).

Obr. 14: Břečťan popínavý (*Hedera helix*).

Obr. 15: Dlužicha americká (*Heuchera americana*).

Obr. 16: Kostřava vlčí (*Festuca ovina*).

Obr. 17: Metlice trsnatá (*Deschampsia caespitosa*).

Obr. 18: Pažitka pobřežní (*Allium schoenoprasum*).

Obr. 19: Rozchodníkovec velký (*Hylotelephium maximum*).

Obr. 20: Makroprvky – průměrný obsah u metlice trsnaté.

Obr. 21: Mikroprvky – průměrný obsah u metlice trsnaté.

Obr. 22: Fe – průměrný obsah železa u metlice trsnaté.

Obr. 23: Makroprvky – průměrný obsah u dlužichy americké.

Obr. 24: Mikroprvky – průměrný obsah u dlužichy americké.

Obr. 25: Fe – průměrný obsah železa u dlužichy americké.

Obr. 26: Makroprvky – průměrný obsah u rozchodníkovce velkého.

Obr. 27: Mikroprvky – průměrný obsah u rozchodníkovce velkého.

Obr. 28: Fe – průměrný obsah železa u rozchodníkovce velkého.

Obr. 29: Makroprvky – průměrný obsah u břechťanu popínavého.

Obr. 30: Mikroprvky – průměrný obsah u břechťanu popínavého.

Obr. 31: Fe – průměrný obsah železa u břechťanu popínavého.

Obr. 32: Makroprvky – průměrný obsah u kostřavy ovčí.

Obr. 33: Mikroprvky – průměrný obsah u kostřavy ovčí.

Obr. 34: Fe – průměrný obsah železa u kostřavy ovčí.

9.2 Tabulky

Tab. 1: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u metlice trsnaté včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$, $a \pm SE$.

Tab. 2: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u dlužichy americké včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$, $a \pm SE$.

Tab. 3: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u rozchodníkovce velkého včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$, $a \pm SE$.

Tab. 4: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u břechťanu popínavého včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$, $a \pm SE$.

Tab. 5: Průměr naměřených hodnot makro a mikro prvků u kostřavy ovčí včetně výsledků statistických výpočtů (* značí statisticky průkazný rozdíl: $p < 0,05$), $DF = 1,4$, $a \pm SE$.

10 Seznam příloh

Příloha 1: Základní rozbor biocharu (Kadlecová, 2019).

Příloha 2: Rozbor biocharu (živiny, těžké kovy a PAH) (Kadlecová, 2019).

Příloha 3: Složení hnojiva HOAGLAND (Kadlecová, 2019).

Příloha 4: Tabulka naměřených vzorků a výsledků obsahu makroprvků v rostlině.

Příloha 5: Tabulka naměřených vzorků a výsledků obsahu mikroprvků v rostlině.

Příloha 6: Spektrometr iCAP 7000 Series (Thermo Scientific).

Příloha 7: Laboratorní mikrovlnka Multiwave Pro (Anton Paar).

Příloha 8: Laboratorní váha Adventurer Pro (OHAUS).

Příloha 9: Kořen rostliny před očištěním a namletím.

Příloha 10: Mletí vzorků.

Příloha 11: Laboratorní mlýnek Pulverisette 15 (FRITSCH).

Příloha 12: Namletý vzorek rostliny.

Příloha 13: Namletý a popsáný vzorek rostliny.

Příloha 14: Namleté vzorky v laboratoři.

11 Přílohy

vlastnost, veličina	jednotka vzorek	EBC standard		ÚKZÚZ	ČSN 46 5735 Průmyslové komposty
		základní	prémium	Pomocná půdň	
frakce > 5 mm	%	13,9	-	-	-
frakce 2 – 5 mm	%	26,3	-	-	-
frakce 0,5 – 2 mm	%	30,2	-	-	-
frakce < 0,5 mm	%	29,6	-	-	-
sypaná hmotnost	g dm ⁻³	163	deklarace	-	-
zdánlivá hustota, ρ_{H_0}	g cm ⁻³	0,346	-	-	-
skeletální hustota, ρ_{Hc}	g cm ⁻³	1,95	-	-	-
porozita, ε	-	0,823	-	-	-
specifický povrch, S_{BET}	m ² /g	564	deklarace, nejlépe > 150	-	-
specifický povrch mesopórů, S_{meso}	m ² /g	258	-	-	-
specifický celkový objem pórů, V_{tot}	mm ³ hg ⁻¹	443	-	-	-
specifický objem mikropórů, V_{micro}	mm ³ hg ⁻¹	162	-	-	-
specifický intruzní objem, V_{intr}	cm ³ /g	2,17	-	-	-
pH	-	11,2	deklarace	-	od 6,0 do 8,5
vodivost, EC	μS/cm	1400	deklarace	-	-
vlhkost, W	% hm.	0,00	deklarace	-	závisí na obsahu spalitelných látek
popel, A ^d	% hm.	10,6	deklarace	-	-
hořlavina, h ^d	% hm.	89,4	-	-	min. 25
prchavá hořlavina, V ^d	% hm.	1,30	deklarace	-	-
fixní uhlík, FC ^d	% hm.	88,1	-	-	-
spalné teplo, Q _s ^d	MJ.kg ⁻¹	28,2	-	-	-
výhřevnost, Q _v ^d	MJ.kg ⁻¹	28,0	-	-	-
obsah uhlíku, C ^d	% hm.	87,0	≥ 50%	-	-
obsah organického uhlíku, C _{org} ^d	% hm.	81,7	-	-	-
obsah vodíku, H ^d	% hm.	0,911	-	-	-
obsah dusíku, N ^d	% hm.	0,359	deklarace	-	min. 0,60
obsah kyslíku, O ^d	% hm.	0,908	-	-	-
H/C _{org}	-	0,133	H/C _{org} < 0,7	-	-
H/C	-	0,125	-	-	-
O/C	-	0,00783	O/C < 0,4	-	-
C/N	-	283	-	-	C/N ≤ 30
obsah celkové síry, S ^{1d}	% hm.	0,231	-	-	-
obsah spalitelné síry, S ^{2d}	mg.kg ⁻¹	2170	-	-	-
obsah chloru, Cl ^d	mg.kg ⁻¹	997	-	-	-
obsah fluoru, F ^d	mg.kg ⁻¹	289	-	-	-
Suma 12 PAH	mg kg ⁻¹	< 0,5	-	< 20	-
Suma 16 PAH	mg kg ⁻¹	< 0,5	< 12	< 4	-

Příloha 15: Základní rozbor biocharu (Kadlecová, 2019).

složka	jednotka	vzorek	EBC standard		ÚKZÚZ	ČSN 46 5735
			základní	prémium	Pomocná půdní látka	Průmyslové komposty
N ^d	mg/kg	3590	deklarace		-	min. 0,60
P	mg/kg	890	deklarace		-	-
K	mg/kg	3900	deklarace		-	-
Ca	mg/kg	16400	deklarace		-	-
Mg	mg/kg	2850	deklarace		-	-
As	mg/kg	<0,50	13	13	20	10
Cd	mg/kg	0,16	1,5	1	1	2
Cr	mg/kg	18,1	90	80	50	100
Cu	mg/kg	30,0	100	100	-	100
Hg	mg/kg	0,022	1	1	1	1,0
Mo	mg/kg	<0,50	-	-	-	5
Ni	mg/kg	21,0	50	30	-	50
Pb	mg/kg	8,30	150	120	10	100
Zn	mg/kg	429	400	400	-	300
naftalen	mg/kg	< 0,05				
acenaftthen	mg/kg	< 0,05				
acenaftylen	mg/kg	< 0,2				
fluoren	mg/kg	< 0,05				
fenanthren	mg/kg	< 0,05				
anthracen	mg/kg	< 0,005				
fluoranthen	mg/kg	< 0,05				
pyren	mg/kg	< 0,1				
benzo(a)anthracen	mg/kg	< 0,05				
chrysen	mg/kg	< 0,005				
benzo(b)fluoranthen	mg/kg	< 0,05				
benzo(k)fluoranthen	mg/kg	< 0,02				
benzo(a)pyren	mg/kg	< 0,05				
benzo(g,h,i)perylene	mg/kg	< 0,1				
dibenzo(a,h)anthracen	mg/kg	< 0,1				
indeno(1,2,3-c,d)pyren	mg/kg	< 0,1				

Příloha 16: Rozbor biocharu (živiny, těžké kovy a PAH) (Kadlecová, 2019).

1. Makroelementy, objem roztoku konečného roztoku 1000 ml, (300X)					
složení	Konečná koncentrace roztoku		Koncentrace zásobního roztoku		Celkové množství zásobního roztoku
	g/L	mmol/L	g/L	mmol/L	
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.945	4	283.5	1200	1L (Macro A)
KNO ₃	0.607	6	182.1	1800	
NH ₄ H ₂ PO ₄	0.115	1	34.5	300	1L (Macro B)
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.493	2	147.9	600	
2. Mikroelementy, (1000X)					
složení	Konečná koncentrace roztoku		Koncentrace zásobního roztoku		Celkové množství zásobního roztoku
	mg/L	μmol/L	mg/L	mmol/L	
H ₃ BO ₃	2.86	46.2	2860	46.2	1L
MnCl ₂ ·4H ₂ O	1.81	9.1	1810	9.1	
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.22	0.8	220	0.8	
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.08	0.3	80	0.3	
3. FeNa EDTA, (1000X)					
složení	Konečná koncentrace roztoku		Koncentrace zásobního roztoku		Celkové množství zásobního roztoku
	mg/L	μM	g	mM	
FeNa EDTA	36,71	100	18.35	100	500
4. (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O					
složení	Konečná koncentrace roztoku		Koncentrace zásobního roztoku		Celkové množství zásobního roztoku
	mg/L	μM	mg/L	mM	
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.18	1.0 μM for Mo	180	1.0	1L
		50nM	9	50 μM	1L

Příloha 17: Složení hnojiva HOAGLAND (Kadlecová, 2019).

BC	Část rostliny	Číslo vzorku rostliny	Druh rostliny	Naměřený vzorek (g)	Ca	K	Mg	P	S
					(mg/kg)				
N	n.č.	81,00	metlice	0,25	6 794,20	6 217,84	2 379,92	414,90	1 113,45
N	n.č.	87,00	metlice	0,27	10 073,71	8 403,26	2 617,83	763,19	1 378,83
A	n.č.	98,00	metlice	0,26	9 708,84	9 422,17	4 515,50	753,96	2 697,86
A	n.č.	99,00	metlice	0,26	8 997,99	7 718,97	3 929,75	554,73	2 346,64
N	k.č.	81,00	metlice	0,23	7 601,85	1 879,77	1 159,19	294,39	780,43
N	k.č.	87,00	metlice	0,24	8 172,38	3 533,47	1 692,42	473,71	1 436,30
A	k.č.	98,00	metlice	0,26	3 636,00	2 710,75	1 396,34	274,31	993,51
A	k.č.	99,00	metlice	0,25	8 078,79	3 212,15	1 281,12	333,86	859,02
N	n.č.	64,00	dlužicha	0,25	15 808,26	11 307,10	2 888,20	891,33	1 525,75
N	n.č.	62,00	dlužicha	0,24	17 373,30	9 514,40	3 138,86	860,01	1 559,55
A	n.č.	77,00	dlužicha	0,24	20 189,02	17 040,42	3 930,23	1 471,95	3 222,94
A	n.č.	76,00	dlužicha	0,24	26 871,27	10 292,26	3 493,74	1 039,70	1 545,80
N	k.č.	64,00	dlužicha	0,24	12 506,56	7 855,66	1 782,73	698,25	1 347,60
N	k.č.	62,00	dlužicha	0,25	13 556,52	6 471,01	2 027,68	646,20	1 086,96
A	k.č.	77,00	dlužicha	0,24	13 731,25	5 336,91	1 834,44	652,84	1 062,62
A	k.č.	76,00	dlužicha	0,24	11 103,53	4 787,42	1 562,63	505,79	879,51
N	n.č.	22,00	břečťan	0,25	10 844,87	6 408,07	1 694,24	742,59	755,09
N	n.č.	23,00	břečťan	0,24	10 777,46	4 883,45	1 830,91	683,99	646,85
A	n.č.	38,00	břečťan	0,26	11 585,30	5 065,21	2 282,07	932,67	884,70
A	n.č.	33,00	břečťan	0,24	10 450,60	4 436,43	1 718,12	557,61	596,92
N	k.č.	22,00	břečťan	0,25	15 008,13	5 763,46	1 696,85	602,08	1 195,95
N	k.č.	23,00	břečťan	0,24	15 609,78	4 646,49	1 720,08	550,82	875,98
A	k.č.	38,00	břečťan	0,25	11 011,92	5 171,01	1 348,39	515,20	978,51
A	k.č.	33,00	břečťan	0,25	14 405,16	5 658,43	1 961,68	521,55	1 192,60
N	n.č.	122,00	rozchodn.	0,25	20 422,37	6 746,10	2 134,00	673,11	1 970,28
N	n.č.	121,00	rozchodn.	0,25	21 276,70	7 634,51	2 153,72	858,15	2 334,00
A	n.č.	136,00	rozchodn.	0,24	20 208,91	7 210,74	2 242,56	633,40	2 192,29
A	n.č.	140,00	rozchodn.	0,24	18 178,92	7 837,85	1 737,88	965,15	1 682,38
N	k.č.	122,00	rozchodn.	0,25	9 319,45	4 942,63	1 555,77	692,10	1 653,04
N	k.č.	121,00	rozchodn.	0,24	10 230,51	5 601,14	2 015,62	1 118,50	2 105,81
A	k.č.	136,00	rozchodn.	0,25	9 593,66	5 561,07	1 881,95	818,21	1 855,55
A	k.č.	140,00	rozchodn.	0,26	6 511,76	6 137,07	1 904,36	992,68	1 643,35
N	n.č.	1,00	košťava	0,24	5 554,15	6 819,53	1 845,03	337,50	644,74
N	n.č.	3,00	košťava	0,24	6 324,29	6 228,35	1 947,32	457,73	895,30
A	n.č.	11,00	košťava	0,25	10 489,88	5 022,70	3 576,03	442,53	1 168,51
A	n.č.	18,00	košťava	0,25	15 384,02	4 991,52	4 586,10	367,57	1 172,94
N	k.č.	1,00	košťava	0,25	13 461,41	2 870,82	1 711,52	475,54	1 112,95
N	k.č.	3,00	košťava	0,24	9 989,14	1 962,59	1 230,83	365,27	883,07
A	k.č.	11,00	košťava	0,25	9 250,69	1 400,63	1 027,17	283,55	539,01
A	k.č.	18,00	košťava	0,26	9 560,89	1 443,81	1 083,59	274,74	599,48

Příloha 18: Tabulka naměřených vzorků a výsledků obsahu makroprvků v rostlině.

BC	Část r.	Číslo vz.r.	Druh r.	Vzorek (g)	As	B	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
					(mg/kg)								
N	n.č.	81,00	metlice	0,25	1,62	27,40	0,00	10,43	35,29	37,39	5,06	145,72	43,61
N	n.č.	87,00	metlice	0,27	2,57	31,52	0,29	5,40	248,64	30,08	5,44	3,41	38,17
A	n.č.	98,00	metlice	0,26	5,18	22,91	0,40	8,48	479,38	205,07	12,24	0,08	63,49
A	n.č.	99,00	metlice	0,26	5,87	22,69	0,07	7,21	332,10	163,10	8,65	0,00	67,58
N	k.č.	81,00	metlice	0,23	6,14	6,79	2,86	38,40	4 236,69	68,07	9,08	2,14	29,70
N	k.č.	87,00	metlice	0,24	8,22	8,14	2,52	27,47	5 110,46	91,25	9,18	5,79	158,61
A	k.č.	98,00	metlice	0,26	1,05	3,92	2,13	16,04	2 827,06	64,57	6,25	1,18	50,10
A	k.č.	99,00	metlice	0,25	14,14	7,19	3,12	24,30	4 877,52	99,75	15,82	2,92	47,18
N	n.č.	64,00	dlužicha	0,25	0,00	41,20	0,05	2,44	109,33	15,83	1,64	1,14	32,89
N	n.č.	62,00	dlužicha	0,24	2,23	46,01	0,00	6,34	281,74	25,77	3,14	1,43	35,22
A	n.č.	77,00	dlužicha	0,24	7,04	57,22	0,11	4,00	134,68	26,18	3,49	0,28	23,82
A	n.č.	76,00	dlužicha	0,24	7,03	49,92	0,09	4,93	330,51	45,10	2,11	0,10	28,79
N	k.č.	64,00	dlužicha	0,24	28,71	22,36	0,46	23,13	853,83	25,57	4,83	0,14	58,75
N	k.č.	62,00	dlužicha	0,25	30,74	22,21	1,09	92,52	1 785,24	39,14	12,92	1,10	61,90
A	k.č.	77,00	dlužicha	0,24	19,23	25,84	1,58	47,01	2 640,92	66,78	14,69	0,90	56,42
A	k.č.	76,00	dlužicha	0,24	26,33	14,08	1,11	13,41	2 134,27	57,36	5,05	0,38	35,15
N	n.č.	22,00	břečtan	0,25	1,09	26,01	0,00	4,88	97,83	19,60	0,85	0,00	24,93
N	n.č.	23,00	břečtan	0,24	0,00	28,92	0,00	5,96	84,39	34,73	0,21	0,10	31,29
A	n.č.	38,00	břečtan	0,26	4,11	33,35	0,00	0,35	75,72	44,79	0,33	0,58	74,73
A	n.č.	33,00	břečtan	0,24	0,41	28,96	0,07	1,96	106,49	58,86	0,00	1,09	26,52
N	k.č.	22,00	břečtan	0,25	16,14	12,80	2,40	35,69	4 619,73	75,44	13,76	0,41	50,73
N	k.č.	23,00	břečtan	0,24	4,89	8,76	1,24	18,40	2 475,30	67,75	9,01	0,00	37,84
A	k.č.	38,00	břečtan	0,25	9,00	8,60	1,92	16,50	2 924,30	64,81	15,35	0,00	25,72
A	k.č.	33,00	břečtan	0,25	6,92	9,06	0,77	11,99	1 380,23	64,57	6,83	0,28	45,33
N	n.č.	122,00	rozchodn.	0,25	4,66	24,46	0,11	2,49	122,44	18,89	0,33	0,00	18,52
N	n.č.	121,00	rozchodn.	0,25	1,94	19,58	0,07	0,00	11,56	15,75	0,00	0,00	26,49
A	n.č.	136,00	rozchodn.	0,24	1,71	25,22	0,00	0,96	14,24	33,07	0,00	1,68	34,60
A	n.č.	140,00	rozchodn.	0,24	2,29	20,05	0,00	1,80	11,72	24,36	0,00	0,70	19,70
N	k.č.	122,00	rozchodn.	0,25	18,91	9,26	1,46	22,23	2 170,14	44,69	9,24	0,08	19,54
N	k.č.	121,00	rozchodn.	0,24	19,37	15,22	1,00	54,24	1 343,24	45,72	12,72	0,00	36,84
A	k.č.	136,00	rozchodn.	0,25	16,79	12,37	0,52	13,16	637,78	64,35	5,50	1,17	43,79
A	k.č.	140,00	rozchodn.	0,26	6,99	10,87	0,08	9,42	291,98	35,84	2,56	0,00	39,99
N	n.č.	1,00	kostřava	0,24	2,06	67,98	0,00	2,47	29,97	20,87	0,48	0,37	31,55
N	n.č.	3,00	kostřava	0,24	4,26	48,19	0,00	3,09	30,15	28,56	1,44	0,00	20,25
A	n.č.	11,00	kostřava	0,25	7,17	65,22	0,00	3,91	65,61	119,22	1,20	0,51	24,43
A	n.č.	18,00	kostřava	0,25	11,62	91,50	0,00	1,79	30,29	163,22	0,12	0,00	29,51
N	k.č.	1,00	kostřava	0,25	24,20	9,65	2,58	31,19	4 731,34	92,84	8,81	2,57	130,67
N	k.č.	3,00	kostřava	0,24	16,84	6,18	2,59	36,17	4 274,93	64,72	9,63	1,81	48,22
A	k.č.	11,00	kostřava	0,25	11,01	5,89	2,36	17,52	4 084,57	67,35	9,48	0,45	38,39
A	k.č.	18,00	kostřava	0,26	13,93	5,03	2,44	21,38	4 282,13	78,04	7,68	1,50	36,82

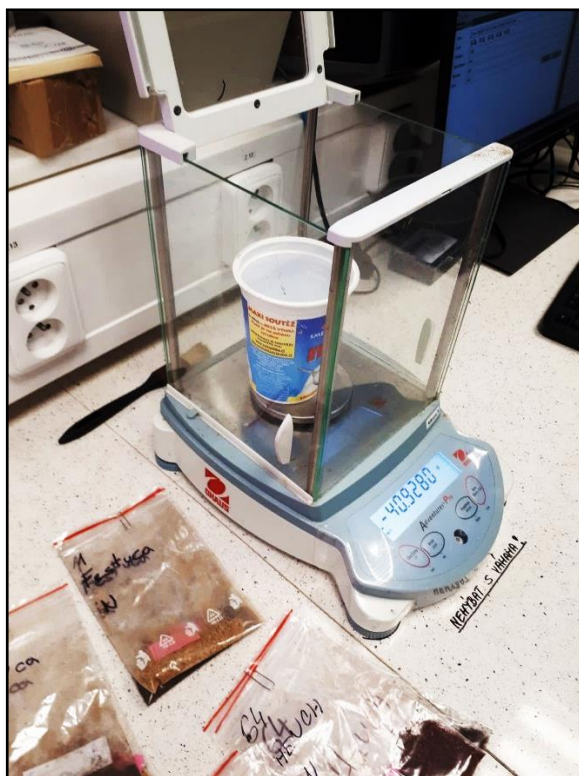
Příloha 19: Tabulka naměřených vzorků a výsledků obsahu mikroprvků v rostlině.



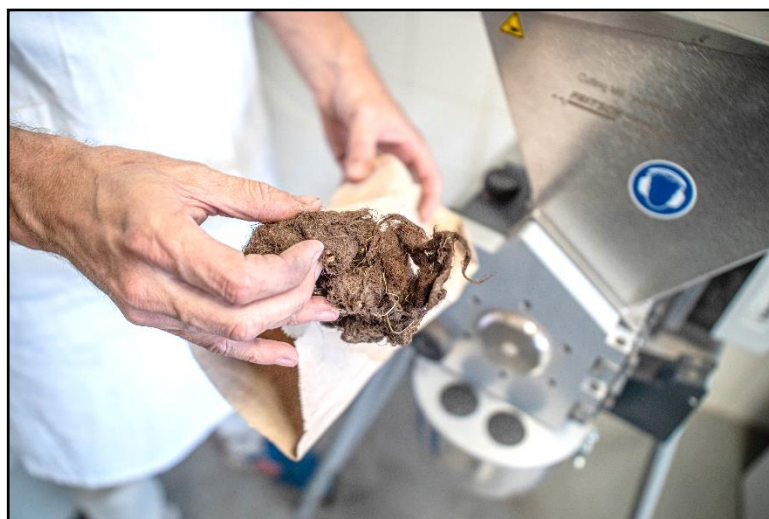
Příloha 20: Spektrometr iCAP 7000 Series (Thermo Scientific).



Příloha 21: Laboratorní mikrovlnka Multiwave Pro (Anton Paar).



Příloha 22: Laboratorní váha Adventurer Pro (OHAUS).



Příloha 23: Kořen rostliny před očištěním a namletím.



Příloha 24: Mletí vzorků.



Příloha 25: Laboratorní mlýnek Pulverisette 15 (FRITSCH).



Příloha 26: Namletý vzorek rostliny.



Příloha 27: Namletý a popsaný vzorek rostliny.



Příloha 28: Namleté vzorky v laboratoři.