

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



Fakulta životního
prostředí

Testování vhodnosti rostlin pro vertikální zahradu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Bakalant: Dalibor Nosek

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

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

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

Garantující pracoviště: Katedra aplikované ekologie

Jazyk práce: Český

Název práce: Testování vhodnosti rostlin pro vertikální zahrady

Cíle práce:

1. Posoudit životaschopnost rostlin pěstovaných v odlišných kontrolovaných podmínkách: odlišná zvlaha (šedá voda x pitná voda) a rozdílný typ substrátu s přídavkem 4 % biocharu x bez něj)
2. Vybrat nejvhodnější druhy rostlin pro vertikální zahrady zavlažované pitnou vodou
3. Vybrat nejvhodnější druhy rostlin pro vertikální zahrady zavlažované šedou vodou
4. Vyhodnotit efekt přídavku 4 % biocharu na růst rostlin

Metodika: Práce bude experimentálního charakteru, kdy bude sledován růst a přezimování rostlin v nádobách umístěných v kontrolovaných podmínkách. Část rostlin bude zalévána pitnou vodou a část vodou šedou. Zároveň bude substrát poloviny rostlin obohacen o 4 % biochar. Na základě dosažených výsledků budou navrženy nejvhodnější druhy rostlin pro vertikální zahrady.

Doporučený rozsah práce: 30 stran, 2 grafy

Klíčová slova: biochar, nádobový experiment, odolnost rostlin, šedá voda

Doporučené zdroje informací:

1. 1 Jingchun Tang, Wenying Zhu, Rai Kookana, Arata Katayama, (2013). Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering* (653-659).
2. 2. Ali El-Naggar, Sang Soo Lee, Jorg Rinklebe, Muhammad Farooq, Hocheol Song, Ajit K. Sarmah, Andrew R. Zimmerman, Mahtab Ahmad, Sabry M. Shaheen, Yong Sik Ok. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 2019 (536-554).
3. 3. Michael Oteng – Peprah, Mike Agbesi Acheampong, Nanne K. deVries. Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception – a Review. (2018).
4. 4. Yeh.Y.P. Green Wall – The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect. National Chung – Hsing University (2012).
5. 5. M.B. Sushmitha, H.N. Chanakya and Himanshu Kumar Khuntia. Efficient Grey Water Treatment and Reuse Options for India – A Review (2017).

Předběžný termín obhajoby: 2019/2020

Konzultant: Ing. Kateřina Alžběta Stehlíková

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce.....	12
3	Vertikální zahrady.....	13
	Druhy vertikálních zahrad	13
	Historie vertikálních zahrad.....	16
	Benefity vertikálních zahrad	16
	Příklady použití v praxi	21
4	Hnojiva.....	23
	Dopad použití hnojiv	23
5	Biochar	25
	Vlastnosti biocharu.....	25
	Motivace k užívání biocharu	26
6	Šedá voda.....	29
	Charakteristika šedých vod	29
	Složení šedé vody	30
	6.1.1 Chemická kontaminace	31
	6.1.2 Biologická charakteristika a vlastnosti.....	32
	Způsoby čištění	33
	6.1.3 Filtrace.....	33
	6.1.4 Biologické rotující kontaktry	34
	6.1.5 Sekvenční dávkový reaktor	36
	6.1.6 Membránový bioreaktor	36
	Motivace k užívání šedých vod	37
7	Metodika	39
	Popis testovaných rostlin.....	41

7.1.1	<i>Hedera helix</i> L – břečťan popínavý	41
7.1.2	<i>Festuca ovina</i> – kostřava ovčí (L.).....	42
	Zpracování dat a statistická analýza	44
8	Výsledky.....	45
	Výsledky <i>Festuca ovina</i> (kostřava ovčí).....	45
8.1.1	Výška rostliny – <i>Festuca ovina</i>	45
8.1.2	Počet listů – <i>Festuca ovina</i>	48
	Výsledky <i>Hedera helix</i> (břečťan popínavý).....	51
8.1.3	Výška rostliny <i>Hedera helix</i>	51
8.1.4	Počet listů – <i>Hedera helix</i>	55
9	Diskuse	59
10	Závěr.....	62
11	Literatura.....	63
12	Seznam použitých zkratk a pojmů.....	72
13	Samostatné přílohy	I

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Kateřiny Berchové Ph.D. a odborného konzultanta Ing. Kateřiny Alžběty Stehlíkové. Uvedl jsem veškeré literární zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne

.....

Poděkování

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu doc. Ing. Kateřině Berchové Ph.D. za veškeré rady a komentáře, trpělivost a ochotu při realizaci experimentu při zpracování bakalářské práce. Dále děkuji mému odbornému konzultantovi, Ing. Kateřině Alžbětě Stehlíkové, za rady a ochotu pomoci. Dále chci poděkovat Ing. Martině Kadlecové a Ing. Martinovi Vojíkovi za pomoc s experimentem a odborné rady. Nakonec bych chtěl poděkovat Mgr. Jiřímu Kozákovi za jazykovou úpravu a kolegovi Martinovi Slepíčkovi za kolegiálnost a výbornou spolupráci.

Abstrakt

Během posledního desetiletí dochází k výraznému uplatnění vertikálních ozeleněných stěn v urbanistickém plánu měst vzhledem ke klimatickým změnám. Zároveň vyvstává otázka, zda je možné použití šedých vod pro zavlažování rostlin, jako reakce na nedostatek vody či neochotu plýtvat pitnou vodou. V tomto nádobovém experimentu, který probíhal v kontrolovaných podmínkách experimentálního skleníku České zemědělské Univerzity v Praze, bylo testováno celkem 140 rostlin. Polovina byla zasazena do keramického kameniva smíchaného s jemně drceným biocharu (4 %) a druhá část byla testována bez přidání biocharu. Po 4 měsících, kdy se rostliny plně etablovaly, se u poloviny rostlin vyměnila závlaha pitnou vodou za vodu šedou. Experiment byl proveden v úplných znárodněných blocích a jednotlivé treatmenty byly aplikovány ve faktoriálním designu. Byl sledován růst rostlin a každý měsíc docházelo k přeměření (počet listů, délka nadzemní části, počet výhonů). Na základě zjištěných výsledků bylo možné vyhodnotit růst rostlin za výše popsaných podmínek. Výsledky práce ukázaly, které rostliny jsou vhodné pro pěstování ve vertikální zahradě, které reagují na zalévání šedou vodou a zároveň zda nějakou roli hraje také biochar, o kterém se v poslední době často hovoří jako o produktu, který dokáže zlepšit půdní vlastnosti a růst rostlin. Experiment probíhal od září 2019 do března 2020. Výsledky prezentované v bakalářské práci jsou dílčí výsledky celého experimentu, který bude pokračovat.

Klíčová slova: Vertikální zahrady, šedá voda, biochar, nádobový experiment, odolnost rostlin, klimatické změny.

Abstract

Over the last decade, there has been a significant application of vertical green walls in urban planning due to climate change. At the same time, the question arises as to whether it is possible to use grey water for irrigation of plants in response to water scarcity or unwillingness to waste drinking water. A total of 140 plants were tested in this container experiment, which was conducted under controlled conditions of the experimental greenhouse of the Czech University of Life Sciences in Prague. Half were embedded in ceramic aggregate mixed with finely crushed biochar (4 %) and the other part was tested without the addition of biochar. After 4 months, when the plants were fully established, water was replaced by grey water for half of the plants. The experiment was performed in complete randomized blocks and individual treatments were applied in factorial design. Plant growth was monitored and measured monthly (number of leaves, length of above-ground part, number of shoots). Based on the results it was possible to evaluate the growth of plants under the conditions described above. The results of the work have shown which plants are suitable for cultivation in a vertical garden, which respond to watering with grey water, and whether a role has also been played by the biochar, which is often mentioned recently, as a product that can improve soil properties and growth plant. The experiment ran from September 2019 to March 2020. The results presented in the thesis are partial results of the whole experiment, which will continue.

Key words: Vertical gardens, grey water, biochar, pot experiment, plant resistance, climate change.

1 Úvod

V důsledku klimatické změny se zvyšuje frekvence mimořádných klimatických událostí. Zvyšuje se frekvence i doba trvání extrémních klimatických jevů jako je sucho a obecně se také zvyšuje počet horkých dnů. Tyto jevy jsou globálním problémem a mají za následek nedostatek vody (Nátr, 2006). Zásoby nejsou neomezené, a proto se v některých evropských zemích již dnes využívají vody odpadní. Především využívání šedé vody je vhodnou alternativou namísto použití vody pitné k závlahám. Šedá voda, po správném zpracování a úpravě, může být využívána na zavlažování rostlin. Šedé vody tvoří až polovinu vyprodukovaných odpadních vod z domácností v České republice (viz. příloha 3). Mnoho hotelů, administrativních budov, nebo třeba škol, jsou budovány s decentralizovaným odváděním odpadních vod a s možností využívání odpadních a šedých vod (British Standard, 2010, BSI).

Klimatické změny mají vliv na všechny formy života a výrazně ovlivňují městské prostředí, z kterých se stávají betonové pouště. Řešením tohoto problému jsou vertikální zahrady. Nejedná se pouze o estetický prvek, ale o systém, který je velmi užitečný při oživení atmosféry ve městech. Mají schopnost čistit vzduch, snižovat vnitřní i venkovní teplotu, čímž zlepšují kvalitu života (Yeh, 2012). Dále účinně zadržují dešťovou vodu a poskytují útočiště volně žijícím živočichům a ostatním organismům (Thompson, Sorvig, 2000).

Rychlý průmyslový rozvoj a lidská činnost způsobily zhoršení kvality a úrodnost půdy. Roste zájem o rehabilitaci půd s nízkou plodností za účelem zvýšení produkce plodin. Biochar je produkt, který se vyrábí tepelným rozkladem biomasy v podmínkách s omezeným přístupem kyslíku (pyrolýza) a v posledních letech se mu věnuje pozornost při sanaci půdy. Prokázalo se, že biochar je účinný při zlepšování půdních vlastností a zvyšování biomasy rostlin (Tang et al. 2013). Rovněž bylo dokázáno, že může dokonce zvýšit odolnost plodin vůči chorobám a dokáže pomoci při zadržování vody v půdě (Tang et al. 2013).

Ve své bakalářské práci popisují nádobový experiment, který probíhal v kontrolovaných podmínkách experimentálního skleníku České zemědělské univerzity v Praze. Bylo testováno, které rostliny jsou vhodné pro výsadbu do vertikálních zahrad a zároveň jsou vhodné pro zalévání šedou vodou a zda biochar zlepšuje vlastnosti substrátu a rostliny vykazují lepší růstové vlastnosti než v substrátu inertním.

2 Cíl práce

Cílem mé bakalářské práce je posoudit životaschopnost testovaných rostlin v experimentálních podmínkách. Testovaly se rozdíly v růstu rostlin (sedm různých druhů), které byly zavlažovány odlišnou závlahou (šedá voda, čistá voda) a pěstovány v rozdílném substrátu (biochar ve směsi s inertním substrátem, inertní substrát). Hlavním cílem experimentu je vybrat druhy rostlin, které jsou vhodné pro vertikální zahrady, zda přidání biocharu do substrátu zlepší růst rostlin a zda je možné využít na závlahu šedé vody. Zodpovězeny byly následující otázky:

1. Liší se růst rostlin v odlišných substrátech?
2. Liší se růst rostlin zavlažovaných šedou a pitnou vodou?
3. Liší se růst rostlin v kombinaci obou výše zmíněných podmínek pěstování?

3 Vertikální zahrady

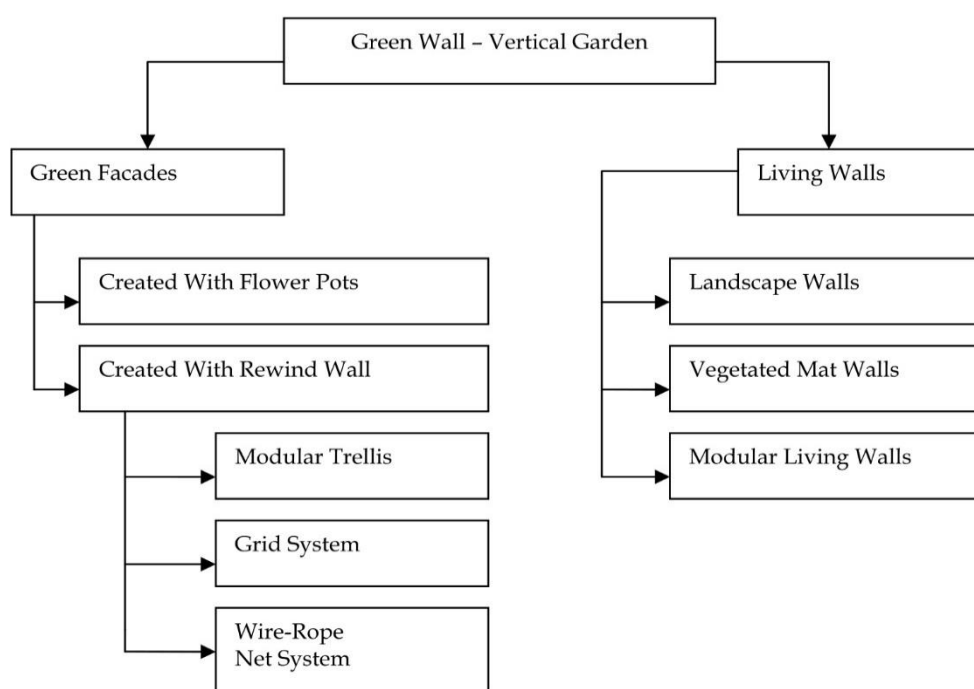
Vertikální zahrady je termín, který se používá k označení všech forem zelených stěn s rostoucí vegetací (Green Roof Organization, 2008). Vertikální zahrady nejsou pouze estetický prvek, ale jsou také velmi užitečné při oživení atmosféry ve městech. Vertikální zahrady zlepšují kvalitu vzduchu, snižují vnitřní i venkovní teplotu, čímž zlepšují kvalitu života všech obyvatel (Yeh, 2012). Mají schopnost zadržovat dešťovou vodu a poskytují útočiště volně žijícím živočichům a ostatním organismům (Thompson, Sorvig, 2000). Vertikální zahrady bývají často finančně, ale i technologicky náročné, proto se objevují pouze na určitých místech a na určitých typech budov, jako jsou administrativní budovy, kanceláře, veřejné instituce. Svým vzhledem reprezentují a poutají velkou pozornost kolemjdoucích. Zeleň na budovách v lidech vyvolává pocit, že majitel budovy má ekologické myšlení. Firmy a instituce často sídlí ve velkých městech, a proto je zde největší výskyt vertikálních zahrad. (Čermáková, Mužíková, 2009)

Druhy vertikálních zahrad

Vertikální zahrady se mohou rozdělovat na dvě základní skupiny, a to na zelené fasády (Green Facades) a na obytné zdi (Living Walls). Zelené fasády (Green Facades) se dále dělí na vertikální zahrady skládající se z popínavých rostlin, které rostou přímo na zdi, nebo na vertikální zahrady se speciálně navrženou nosnou konstrukcí, kde je nezbytný zavlažovací systém, plastové nádoby, nebo geotextilie (Sharp, 2007; Green roof organization, 2008). Dále se mohou rozdělovat podle toho, jak jsou konstruovány. Mezi tři nejčastěji používané systémy se řadí modulární panelový systém, mřížkový systém a drátový síťový systém.

V případě modulárního panelového systému je stavebním prvkem tuhý, lehký trojrozměrný panel vyrobený z galvanizovaného a svařovaného ocelového drátu. Tento systém je navržen tak, aby držel zelenou stěnu od povrchu zdi a aby se rostlinný materiál nepřipevňoval k budově. Poskytuje rostlinám možnost růstu s více podpěrami pro úponky a pomáhá udržovat integritu budovy. Panely lze stavět a spojovat tak, aby pokrývaly velké plochy, nebo je možné je různě tvarovat. Jsou vyráběny z recyklované oceli a jsou recyklovatelné (Green Roof Organization, 2008).

Dalším technickým řešením jsou mřížkové a síťové systémy. Mřížky se používají na zelených fasádách, které jsou navrženy tak, aby podporovaly rychlejší pěstování popínavých rostlin s hustějším olistěním. Drátěné sítě se často používají k podpoře pomaleji rostoucích rostlin, které potřebují podporu, kterou tyto systémy poskytují v krátkých intervalech. Pro oba tyto systémy se používají také vysoce pevné ocelové kabely, kotvy a další doplňkové vybavení. Dají se přizpůsobit různým velikostem a různě je tvarovat (Green roof organization, 2008; Yeh, 2012).



Obr. 1: Dělení vertikálních zahrad (Green roof organization 2008; Yeh, 2012)

Ozeleněné zdi (Living Walls)

Ozeleněné zdi se také nazývají bio stěny, nebo vertikální zahrady. Jedná se o systémy obytných stěn skládající se z předem vegetovaných panelů, vertikálních modulů, nebo předem vysazených rostlin. Tyto panely mohou být vyrobeny z plastu, expandovaného polystyrenu, syntetické tkaniny, hlíny, kovu a betonu. Podporují

velkou rozmanitost a hustotu rostlinných druhů. Obytné zdi potřebují více ochrany než zelené fasády kvůli své rozmanitosti a hustotě vegetace. Obytné zdi se skládají především ze tří částí: kovový rám, vrstva PVC a vrstva vzduchu (nepotřebují zeminu). Velká druhová rozmanitost se může skládat ze směsi vegetace, trvalých druhů rostlin, nízkých keřů, kapradin atd. Daří se jim v různých klimatických podmínkách, ovšem je dobré druhy vybírat, podle stávajících podmínek, aby byla údržba systému snadná. Používá se automatizovaný zavlažovací a vyživovací systém, který údržbu ještě více usnadňuje (Green roof organization, 2008; Yeh, 2012).

Krajinné zdi (Landscape Walls)

Tyto zdi jsou vývojem krajinných bermů (úzké terasy podél břehů, používají se také jako cesty a mají zpevňující funkci). Slouží jako strategický nástroj v živé architektuře. Krajinné stěny jsou typicky skloněné a mají primární funkci redukovat šum. Další funkcí těchto prvků je stabilizovat svah. Obvykle jsou strukturovány z formy stohovacího materiálu vyrobeného z plastu, nebo betonu s prostorem pro pěstování rostlin (Green roof organization, 2008).

Zateplené matné stěny (Vegetated mat walls)

Jedná se o jedinečnou formu vertikálních zahrad propagovanou Patrickem Blancem, který se považuje za zakladatele těchto významných urbanistických prvků. Skládají se ze dvou vrstev syntetické textilie s kapsami, které fyzicky podporují rostliny a růstová média. Stěny jsou podepřeny rámem a opírají se o nepromokavou membránu proti zdi kvůli vysokému obsahu vlhkosti. Živiny jsou primárně distribuovány prostřednictvím zavlažovacího systému, který cykluje vodu stále dokola z horní části směrem dolů. (Green roof organization, 2008).

Modulární obytné zdi (Modular living walls)

Modulární systém obytných stěn vznikl řadou technologických inovací a vychází ze systému obytných zdí (Living walls). Tyto modulární systémy se skládají ze čtvercových nebo obdélníkových panelů, které drží rostoucí média a podporují rostlinný materiál (Green roof organization, 2008).

Historie vertikálních zahrad

Za první vertikální zahradu by se dala považovat stavba která vznikla před 2500 lety v Babylonu. Král Nebuchadnezar II. nechal postavit Babylonské závěsné zahrady, které se považují za zázrak starověkého světa a předchůdce moderních vertikálních zahrad (Ashmawy, 2006; Green Roof Organization, 2008; Hamilton, 2009).

Před 2000 lety v oblasti Středomoří byly paláce pokryté vinnou révou a daly by se považovat za první formu vertikálních zahrad v Evropě. Vinná réva poskytovala stín pro fasády a uvnitř budov byl chlad. Plody ovšem byly nedotčené a mohli být plnohodnotně využity. Před pěti sty lety byly ve střední Evropě velmi populární popínavé rostliny, jako třeba růže, které zdobily hrady. Ve 20. letech 20. století se ve Velké Británii a v Severní Americe začaly hojně objevovat na rodinných domech a zahradách popínavé rostliny (Köhler, 2008).

Benefity vertikálních zahrad

Vertikální zahrady poskytují ekonomické i ekologické přínosy a také mají určitou estetickou hodnotu, která je důležitá pro duševní pohodu obyvatel. Přínosy se mění s tím, jak jsou budovy stavěné. Rostliny jsou jedním z nejrychlejších a nejefektivnějších činitelů, které se používají pro nápravu negativního vnímání zastavěné oblasti. Zlepšují veřejný profil budov a výrazně zlepší vizuální vnímání města. Ukázalo se, že aplikace vertikálních zahrad zvyšuje hodnotu nemovitostí a také se považuje za dramatické zvýšení vybavenosti dané budovy (Green Roof Organization, 2008).

Ochrana budovy - vertikální zahrady mají vliv na ochranu budov jako takovou. Ochrana nám vzniká tím, že se snižují teplotní výkyvy obvodového pláště dané budovy. Snižuje se kolísání teplot, snižuje se expanze a kontrakce stavebního materiálu, a tím pádem se prodlužuje životnost budovy. Zelené stěny chrání plášť budovy před ultrafialovými paprsky a kyselým deštěm. Omezuje se praskání a karbonizace budovy a zvyšuje se její odolnost (Köhler, 2008).

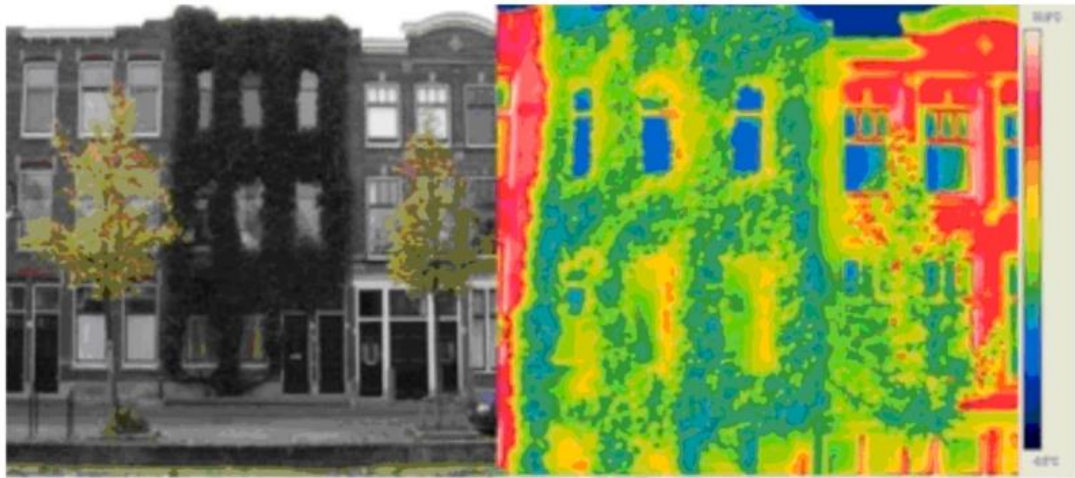
Snížení hluku ve městech - zemina a rostliny, které se používají na výsadbu rostlin ve vertikálních zahradách, mají funkci absorpce hluku. Z tohoto důvodu se začaly hojně používat, především na budovách, které jsou položeny u vysoce frekventovaných silnic, nebo rušných ulicích. Snížení hluku je vnímáno, jak na budovách, tak v blízkém okolí. Zelené stěny poskytují tlumič hluku a dokáží jej snížit až o 40 dB. Uvádí se, že vertikální zahrady nesnižují pouze hluk, ale také vnější vibrace (Dunnett, Kingsbury, 2008).

Úspora vody - jednou z největších výhod vertikálních zahrad je to, jak hospodaří s vodou. Zalévání je velmi efektivní, protože se provádí pomocí zavlažovacího systému, nebo hydroponického systému. Veškerá voda se shromažďuje na dně zahrady ve speciální vaně, odkud je odčerpávána. Tuto vodu lze alternativně recyklovat a vrátit ji zpět do systému. To znamená, že prakticky veškerou vodu spotřebují rostliny a nedochází k téměř žádnému plýtvání s vodou. Vertikální zahrady, které jsou zavlažovány dešťovou vodou, nejsou ohroženy znečišťujícími látkami, které se mohou nacházet v šedých odpadních vodách (Timur, Karaca, 2013).

Zlepšují kvalitu ovzduší a snižují hladinu CO₂ - vertikální zahrady nabízejí řešení při snižování stávajících skleníkových plynů a jiných těkavých organických sloučenin ve znečištěných městech. Rostliny fungují jako bio-čističky a mohou hrát významnou roli při zlepšování kvality ovzduší ve městech. Za pomoci řady biochemických procesů odstraňují a ničí kontaminanty přenášené vzduchem. Při kombinaci s fotosyntézou, při které jako vedlejší produkt vzniká kyslík, je snadné porozumět, proč se rostliny dají používat jako bio-čističe ve městech. Uvádí se, že jedna čtvereční stopa vegetativní zdi dokáže filtrovat vzduch zhruba pro 100 čtverečních stop kancelářské plochy (Dunnett, Kingsbury, 2008). Další výhodou těchto bio-čističů je to, že odebírají oxid uhličitý ze vzduchu a nahrazují jej tolik potřebným kyslíkem. Pomáhají přefiltrovat znečišťující látky ze vzduchu, to znamená, že vzduch, který dýcháme, je mnohem čistší a zdravější. Studie, kterou provedla (Loh, 2008) ukazuje, že v oblasti, kde se nachází vertikální zahrady, jsou výrazně nižší koncentrace toxinů (Timur, Karaca, 2013).

Prevence proti prachu a škodlivým mikroorganismům - rostliny snižují rychlost větru a také preventivně působí proti prachu ve vlhkém prostředí, který se vytvořil u jejich kořenů a listů. Pomocí mízy a šťávy, kterou rostliny produkují, se zbavují škodlivých mikroorganismů. Bylo prokázáno, že zlepšení kvality vzduchu, v souvislosti s působením rostlin, snižuje sucho v krku a podráždění o 24 % a působí také jako prevence proti kašli, protože snižuje četnost kašle o 30 %. Rostliny čistí kancelářský vzduch tím, že absorbují znečišťující látky do listů a přenášejí toxiny ke svým kořenům, kde se stávají potravou pro rostliny. S čistšími kancelářskými budovami jsou lidé méně nemocní a pokoje s rostlinami obsahují o 50 až 60 % méně plísní a bakterií ve vzduchu než místnosti bez rostlin (Fjeld et al. 1998; Wolf, 2002).

Působí jako přirozená izolace pro horký a studený vzduch a šetří energii budov - vertikální zahrady nepřímo snižují požadavky na klimatizaci a spotřebu energie městských budov. Vegetace na stěnách může v létě pomoci při chlazení budov a v zimě je izolovat. V zimě nabízejí rostliny určitý stupeň izolace zachycením vrstvy vzduchu a snížením konvekčních tepelných ztrát. Byl zaznamenán izolační účinek až 30 % i když takto vysoké procento je pravděpodobné pouze tehdy, když teploty klesají k bodu mrazu. Úspora energie je méně významná u dobře izolovaných budov, jako jsou budovy s cihlovými zdmi. V létě způsobují horké stěny vysoké teploty i uvnitř budov, což zvyšuje poptávku po chladicích systémech a spotřebovává se více energie. Povrchová teplota stěny, která se pokryje rostlinami snižuje teplotu stěny až o 15 ° F, tedy zhruba o 9,4 ° C, což vede k významným úsporám klimatizace (Baumann, 1986; Johnston, Newton, 2004). Vertikální zahrady také pomáhají zmírňovat efekt tepelných ostrovů (Urban Heat Island Effect) Městský tepelný ostrov (UHI) je efekt, kde centrální oblast města je výrazně teplejší než okolní venkovní oblast. Tento jev je pozorován zejména v nočních hodinách v zimních měsících. Aby se zabránilo záměně s globálním oteplováním, vědci tento jev nazývají „Urban Heat Island Effect“. Existuje několik důvodů, které mohou vysvětlit (UHI), ale hlavním důvodem je nadměrný rozvoj měst. Zelené stěny jsou zdaleka nejpopulárnějším způsobem chlazení městských částí. Rostliny tento efekt výrazně snižují absorbováním velkého množství tepla a procesem odpařování (Yeh, 2012).



Obr. 2: Teplotní rozdíly mezi zdí pokrytou vegetací a holou fasádou (Ottele, 2010; Timur, Karaca, 2013)

Rostliny jsou méně náchylné na choroby a škůdce - rostliny rostoucí svisle jsou méně přístupné a mnoho škůdců se k nim nemůže dostat. Díky tomuto jevu vzniká velmi málo problémů se škůdci napadajícími naše rostliny, tím pádem se nemusí používat tolik chemikálií, pesticidů a insekticidů na jejich hubení. Vzduch kolem svislých zahrad velmi dobře cirkuluje, takže je mnohem menší riziko, že rostliny budou napadeny plísní, nebo chorobami. Určitý vliv má také dostatek slunečního svitu (Timur, Karaca, 2013)

Rostliny ve vertikálních zahradách snižují úroveň stresu - je prokázáno, že vertikální zahrady v administrativních budovách mají regenerační účinek. Odkloní mysl pracovníků od sebe a od znepokojivých myšlenek a vyvolávají meditační stav. Pomáhají zmírňovat fyziologické a psychologické tlaky městského života tím, že poskytují duchovní a fyzické spojení s přírodou. Krása zelené zdi pokrývající beton a ocel může uvolnit naši mysl a fyzická únava je výrazně snížena. Přítomnost rostlin v kanceláři nejen snižuje stres, ale také pomáhá zvyšovat produktivitu pracovníků (Peck et al. 1999). Účastníci studie Texas A&M university také uvedli, že se cítí více pozorní, když jsou přítomny rostliny. Účastníci výzkumu, kteří pracovali v prostředí

s rostlinami, byli o 12 % produktivnější a méně stresovaní než ti, kteří pracovali v prostředí bez rostlin. (Fjeld et al. 1998).



Obr. 3: Most ve Francii před aplikací systému zelených stěn a po aplikaci (Timur, Karaca, 2013)

Vertikální zahrady zvyšují hodnotu budov - rostliny jsou jedním z nejrychlejších a nejefektivnějších činitelů pro nápravu negativního vnímání městské oblasti. Zlepšují veřejný profil budov a výrazně zlepšují i vizuální stránku budovy. Ukázalo se, že aplikace vertikálních zahrad výrazně zvyšuje hodnoty nemovitostí. Veřejnost k nim má velice pozitivní vztah a přeměňuje je z nevýrazných šedivých staveb na oblíbená a rozpoznatelná místa. Americká a Britská studie ukazuje, že zelené rostliny na budovách mohou zvýšit hodnotu nemovitosti o 6 až 15 % (Peck et al. 1999).

Poskytuje útočiště volně žijícím živočichům - přírodní stanoviště pro divokou zvěř mizí znepokojivým tempem a stává se obrovskou hrozbou. V současné době jsou vertikální zahrady jedním z řešení, které pomáhá obnovovat stanoviště pro volně žijící živočichy. Důležitý je pečlivý výběr a výsadba rostlin. Zelené stěny mohou být navrženy tak, aby poskytovaly ideální podmínky pro přežití ptáků, motýlů, včel a ostatních organismů. Mohou poskytovat vodu, zdroje potravy, ochranu a místo, kde mohou chovat potomky (Johnston, Newton, 2004).

Vhodné rostliny pro vertikální zahrady - pro vertikální zahrady lze použít mnoho druhů rostlin. Například na vertikální zahradě muzea Caixa, které bylo navrženo Patrickem Blancem, bylo použito 15 000 rostlin z téměř 150 různých druhů. Z popínavých druhů bych sem zařadil druhy jako: *Hedera helix* a *Parthenocissus quinquefolia*, tyto druhy nevyžadují zvláštní podporu, podpora je nutná pouze na velmi hladkých stěnách (Johnston, Newton, 2004). Některé popínavé rostliny (Twining climbers plants), potřebují podpořit. Pro některé druhy budou stačit tenké ocelové dráty, nebo dřevěné lišty. Jiné budou potřebovat síť nebo dřevěnou mříž. Do této skupiny bych zařadil například: *Polygonum bauldschianicum* a *Lonicera periclymenum* (Johnston, Newton, 2004). Další skupinou mohou být popínavé keře. Nejsou samopopínavé, ale můžeme jim pomáhat mřížkovou strukturou se širokými oky, nebo vázáním na zeď. Mezi tyto druhy se dají zařadit: *Jasminum nodiflorum* a *Rosa canina* (Johnston, Newton, 2004).

Příklady použití v praxi

Turecká města zahájila aplikaci vertikálních zahrad jako nový trend. S vertikálními zahradami se můžeme hojně setkat ve městech jako jsou Istanbul, Antalya, Balikesir. Z evropských měst jsou vertikální zahrady hojně zastoupeny v Německu ve městech jako Hamburg, nebo Düsseldorf. V České republice je krásnou ukázkou vertikální zahrady budova ČSOB v Praze u metra Radlická. Na obr. 4 vidíme příklad vertikální zahrady s použitím různých druhů rostlin, další příklady vertikálních zahrad můžeme vidět v přílohách 4 a 5 (Timur, Karaca, 2013).



Obr. 4: Příklad outdoorové vertikální zahrady (dostupné z: <https://gsky.com/2017/03/20/6-beautiful-vertical-gardens-ideas/>).

4 Hnojiva

Produkt, kterým dodáváme do půdy a rostlinám potřebné živiny, všeobecně nazýváme hnojivo. Kdyby se nepoužívala hnojiva, nebylo by možné uživit celou lidskou populaci. Hnojiva se dělí na hnojiva primární a sekundární. Hnojiva primární obsahují živiny, které jsou obsaženy v různých formách; dále je dělíme na statková (kejda, hnůj, hnojůvka) a na hnojiva z průmyslové výroby, koncentrované organické a anorganické sloučeniny (obsahují zejména fosfor, draslík, dusík). Tato průmyslově vyrobená hnojiva obsahují buď jeden hlavní výživový prvek (hnojiva draselná, hnojiva dusíkatá, hnojiva fosforečná), nebo se jedná o směs dvou a více živin (složená hnojiva NPK). V půdě se nachází více než 100 prvků, ale jen 16 z toho je považováno za nezbytné pro růst a výživu rostlin. Každý z těchto nezbytných prvků má určitý význam pro reprodukci a pro vývojový cyklus rostliny. Tyto základní elementy se dále dají dělit na hlavní živiny - fosfor, draslík, dusík, a na druhotné živiny kam řadíme hořčík, vápník, síru, mikroživiny a základní neminerální živiny. Průmyslová hnojiva se také nazývají hnojiva umělá, syntetická (Stehlík, 1993; Lal, Dekker, 2002).

Dopad použití hnojiv

Umělá, průmyslově vyrobená hnojiva jsou v současné době nezbytně nutná, především v dobách rychle rostoucí populace. Je potřeba zvýšená produkce všech plodin. Uvádí se, že hnojiva pomohou nasýtit až skoro 60 % populace. Užívání hnojiv má své ekologické dopady, jak pozitivní, tak negativní. Nejdůležitějším faktorem pro růst veškerých plodin je voda. Uvádí se, že čím menší podíl hnojiva se užije, tím větší podíl vody plodina potřebuje, aby vyrostla. Jeden z největších producentů hnojiv na světě (společnost YARA) provedl výzkum, z něhož vyplynulo, že na vypěstování 1kg pšenice je zapotřebí 600 l vody bez jakéhokoliv užití hnojiva. Při správné kombinaci hnojiv a aplikaci živin do půdy v určitém poměru je potřeba k vypěstování stejného množství pšeničných zrn, pouze 380 l vody.

Dále tato studie společnosti Yara poukazuje na to, že 70 % veškeré spotřebované vody je použito v oblasti zemědělství, přitom nedostatek vody je dlouhodobým globálním problémem a správné užívání hnojiv může vést k omezení spotřeby vody. Výroba hnojiv je spojena s produkcí skleníkových plynů. Při výrobě průmyslových hnojiv se vylučují především oxid uhličitý a oxid dusný. Společně s dalšími sloučeninami plynů napomáhají skleníkovému efektu, který vede ke globálnímu oteplování. Největším producentem průmyslových hnojiv je dlouhodobě Čína (Yara, 2017). S tímto problémem by mohl pomoci biochar, který díky svým vlastnostem dokáže zlepšovat vlastnosti půdy, a navíc se jedná o organický materiál, více o biocharu se dočtete v následující kapitole.

5 Biochar

Biochar je produkt, který se vyrábí tepelným rozkladem biomasy v podmínkách s omezeným přístupem kyslíku (pyrolýza) a v posledních letech se mu věnuje pozornost při sanaci půdy a likvidaci odpadu. Prokázalo se, že aplikace biocharu v zemědělství je účinný nástroj pro zlepšování vlastností půdy a zvyšování biomasy rostlin. Rovněž bylo dokázáno, že může zvýšit odolnost plodin vůči chorobám a v poslední době je používán k sanaci půdy pomocí polutantů těžkých kovů a organických látek (Tang et al. 2013).

Vlastnosti biocharu

Charakteristiky biocharu jsou ovlivněny hlavně teplotou a biomasou při výrobě. Vyšší teplota často vede ke zvětšení plochy a karbonizované frakci, což vede k vysoké sorpční schopnosti znečišťujících látek. Ukázalo se však, že aplikace biocharu v půdě vede ke snížené účinnosti pesticidů (Tang et al. 2013).

Biochar je látka, která má přímo schopnost zadržovat makronutrienty, jako je například N (Gul, Whalen, 2016; Lin et al. 2017; Randolph et al. 2017; Yue et al. 2017; Zhang et al. 2017). To lze přičíst obsahu živin samotného Biocharu (Glaser et al. 2002; Shepherd et al. 2017). Biochar může působit jako organické hnojivo poskytováním půdních živin, které byly přítomny v prekurzorové biomase (Lehmann et al. 2003; Gul, Whalen, 2016). Použití biocharu má však mnoho dalších výhod pro cyklování živin rostlin, jako je zvýšení retence a účinnosti využití snížení vyluhování, čímž se zlepšuje úrodnost půdy (Laird et al. 2010; Laghari et al. 2015; Randolph et al. 2017 uvedli, že aplikace biocharu na písčité půdy s nízkou plodností zvýšila celkový obsah C o 7-11 %, K o 32-42 %, P o 68-70 %, a Ca o 69-75 % ve srovnání s nulovou aplikací. Ostatní parametry plodnosti, jako jsou fyzikální vlastnosti půdy a růst plodin vykázal významná zlepšení, což potvrzuje lepší přísun živin. Má však minimální vliv na pH půdy v kyselých půdách a může mírně snižovat pH v alkalických půdách (Laghari et al. 2015). Aplikace biocharu na půdy s nízkou plodností může podstatně zvýšit produkci plodin (Laghari et al. 2015; Zhang et al. 2017). Nárůst produktivity plodin při aplikaci je nejčastěji pozorován u půd chudých na živiny a u degradovaných půdách (Van Zwieten et al. 2010; Zhang et al. 2012; Laghari et al. 2015). zatímco jeho účinnost

není vždy významná v úrodných, nebo zdravých půdách (Van Zwieten et al. 2010; Hussain et al. 2017).

Jeffery et al. (2015) provedli v Nizozemsku dva oddělené polní experimenty, aby prozkoumali vliv aplikace biocharu na půdní hydrologické vlastnosti v půdě s 90 % obsahem písku. Uvádí, že aplikace biocharu neovlivnila zadržování vody, stabilitu kameniva a nasycenou hydraulickou vodivost. I když použitý biochar byl vysoce porézní, s 99 % vnitřních pórů připojených k povrchu, byl vysoce hydrofobní, a tak někdy bránil pronikání vody (Jeffery et al. 2015). Při dlouhodobém polním experimentu na jižním pobřeží západní Austrálie v půdě s nízkou plodností (David, 2015) pozměnil půdu dvěma druhy biocharu (biochar vyrobený převážně z pšeničné slámy a biochar vyrobený z kuřecího hnoje). Tyto biochary nepodporovaly úrodnost půdy ani produktivitu rostlin. Dále (Kloss et al. 2014) uvedli, že biochar neměl významný vliv a většinou inhiboval růst plodin. To bylo způsobeno značnou imobilizací N a snížením dostupnosti mikronutrientů v půdě a následně koncentrací mikronutrientů v rostlinné tkáni (Deenik et al. 2011) uvedli, že růst kukuřice byl potlačen v kyselém Ultisolu v důsledku toxických účinků těžkých sloučenin přítomných v BC. V přehledu dříve publikovaných článků (Spokas et al. 2012) shromáždili výsledky z 25 zemí o agronomickém dopadu biocharu na zvýšení/snížení výnosů. Uvádí se, že téměř 50 % studií zjistilo krátkodobý pozitivní účinek na produktivitu plodin. 30 % nezjistilo žádný významný rozdíl a 20 % uvedlo negativní dopady na výnosy plodin po aplikaci. Ve většině případů byl však zaznamenán nárůst produktivity plodin v degradovaných, nebo zvětralých půdách, zatímco většina negativních, nebo neutrálních vlivů biocharu na výnosy plodin byla hlášena na úrodných půdách (Ell-Naggar et al. 2019).

Motivace k užívání biocharu

Úrodná půda je půda, která má dostatečnou schopnost poskytovat základní živiny a vodu pro růst rostlin, aniž by měla toxické prvky, které by mohly bránit rozvoji rostlin (Voltr, 2012; Havlin et al. 2014). Úrodnost půdy je obvykle řízena fyzikálními, chemickými a biologickými charakteristikami půd (Igalavithana et al. 2015) a je rozhodující pro udržení a udržení zemědělské homeostázy. Nízká úrodnost půdy je běžným problémem v mnoha regionech po celém světě (FAO, 2011). Například půdy

ve vyprahlých a polosuchých oblastech mají často nízkou schopnost zadržovat vodu a potýkají se s problémem zásobování živin pro většinu zemědělských rostlin (Khalifa, Yousef, 2015). Tropické regiony také čelí obtížím při udržování udržitelné rostlinné produkce. Esenciální rostlinné živiny jsou snadno odplaveny z ornice silnými dešti a relativně vysoké teploty a množství rozkladačů mohou vést ke zvýšení mineralizace části půdní organické hmoty (Bruun et al. 2015; Nyssen et al. 2015).

Snížení obsahu půdní organické hmoty, negativně ovlivňuje stav úrodnosti půdy zejména snížením agregační stability a schopnosti půdy zadržovat vodu a živiny (Annabi et al. 2011). Antropické činnosti, včetně intenzivních zemědělských postupů, rychlé industrializace, mohou také zhoršovat degradaci půdy. Degradace půdy vede k podmínkám, které ohrožují funkci a produktivitu půdy (Rajkovich, 2012), včetně zasolení, desertifikace, eroze, vyčerpání živin atd (FAO, 2011). Organizace spojených národů pro výživu a zemědělství (FAO) klasifikovala 25 % celosvětové zemědělské půdy jako „vysoce degradované“, 44 % jako „mírně degradované“ a přibližně 10 % jako „zotavené z degradace“ (Bindraban et al. 2012). Degradace obvykle způsobuje, že půda má nízkou úrodnost, a tím omezuje produkci potravin (Smith et al. 2015). Obnovení a rehabilitace nízké úrodnosti nebo degradované půdy jsou proto neustále zdůrazňovány jako důležité pro potravinovou bezpečnost lidstva.

Od počátku zelené revoluce v 60. letech 20. století bylo používání anorganických hnojiv hlavním prostředkem ke zvýšení produktivity v zemědělství. Závislost na anorganickém hnojivu však není udržitelnou možností z hlediska udržitelnosti úrodnosti půdy a dlouhodobých výnosů plodin (Usman et al. 2015). Intenzivní zemědělské postupy, které se spoléhají na anorganická hnojiva, mohou ohrozit kvalitu půdy. Proto roste poptávka po udržitelných, ekologických a ekonomických úpravách půdy, které mohou udržovat nebo zvyšovat kvalitu půdy a jejich produktů, bez negativních vedlejších účinků (Shaheen, Rinklebe, 2015). Tyto úpravy půdy by měly být biologicky rozložitelné a měly by pokud možno pocházet z obnovitelných zdrojů.

Rychlý průmyslový rozvoj a lidská činnost způsobily zhoršení kvality a úrodnosti půdy. Roste zájem o rehabilitaci půd s nízkou plodností za účelem zvýšení výnosu a udržitelnosti plodin. Biochar, uhlíkatý materiál záměrně vyráběný z biomasy, je široce používán jako doplněk ke zlepšení úrodnosti půdy udržováním živin a případně zlepšením biologické dostupnosti živin. Nejedná se však o produkt s jednotnými vlastnostmi, takže při aplikaci biocharu se musí brát v úvahu typ půdy a cílová plodina. V tomto ohledu mnoho nedávných studií vyhodnotilo několik modifikačních metod, aby se maximalizovala účinnost biocharu (Tang et al. 2013).

Vzhledem ke svým vlastnostem je biochar široce použitelný pro řešení enviromentálních problémů, včetně nakládání s odpady, výroby energie a zmírňování klimatických změn (El Naggari et al. 2018). Například zapracování biocharu do půdy může zlepšit její fyzikálně-chemické vlastnosti (velikost pórů, strukturu půdy, objemovou hustotu, hydraulickou vodivost, zadržování vody v půdě atd.), a zvyšují biologickou dostupnost živin v půdě (Gul, Whalen, 2016). Vzhledem, k vysoké chemické stabilitě má biochar velký potenciál ke zvýšení sekvestrace uhlíku v půdě, čímž se snižuje koncentrace skleníkových plynů v atmosféře.

Aplikace biocharu by mohla zlepšit degradované a nízko plodné půdy, a tím zvýšit produktivitu plodin, proto o něj roste zájem v rozvojových zemích. (Randolph et al. 2017). Některé studie však uvádějí, že aplikace biocharu nebyla dostatečně účinná k rehabilitaci degradovaných půd a k obnovení jejich optimální produktivity plodin např. (Schmidt et al. 2015).

6 Šedá voda

Odpadní vody, ve kterých nejsou obsaženy fekálie ani moč, nazýváme vody šedé. V některých evropských zemích je využívání odpadních vod, a především vody šedé, již dnes zcela automatické, jelikož ceny vody stále stoupají a zdroje nejsou neomezené. Šedé vody tvoří až polovinu vyprodukovaných odpadních vod z domácností a v České republice se tato problematika řeší stále častěji. Na trhu přibývá firem, které se decentralizovaným odváděním odpadních vod zabývají, krásným příkladem toho, jak to může fungovat, je koncepce DESAR.

V dnešní době je mnoho hotelů, administrativních budov, nebo třeba škol, které jsou budovány s možností využívání odpadních a šedých vod. Standartně se dnes takto projektují budovy nízkoenergetické, neboli pasivní. Jednou z hlavních výhod šedých vod je především to, že jsou často znečištěny pouze minimálně a následná úprava a čištění není tolik náročná. Na zřetel se bere i teplo, které je v nich obsažené, protože se jedná o vody především ze sprch a koupelen, teplo však může být i na škodu z důvodu možného výskytu bakterií. Existují systémy, například BREEAM, LEED, který hodnotí budovy po jejich ekologické stránce a vyhodnocují jejich vliv na životní prostředí například. Pro majitele a projektanty budov je to známka jakési prestiže a mohou dát všem najevo, že využívají inovativní metody, díky kterým minimalizují produkci odpadů a redukují spotřebu vody (British Standard, 2010, BSI).

Charakteristika šedých vod

Jedná se hlavně o vody splaškové, které jsou odváděny z koupelen, umyvadel, sprch, van, nebo dřezů. Hlavní výhodou šedých vod je především to, že bývají znečištěny pouze minimálně a úprava nebývá tak náročná, jako třeba u vod žlutých, které jsou tvořeny močí a obsahují velké množství nutrientů a mohou obsahovat velké množství znečišťujících a zdraví nebezpečných látek. Po úpravě a recyklaci šedých vod vzniká voda bílá, která je vhodná na zalévání zahrad, nebo na splachování záchodů. Složení a pH je rozmanité a výrazně se liší podle toho, kde voda byla vyprodukována. U vod, které byly použity při praní prádla bývá pH většinou v rozmezí od 9 do 10. Vody používané v kuchyni mají pH o něco nižší, a to v rozmezí od 5 do 8,5. Další výhodou u šedých vod může být jejich teplota, která se pohybuje

od 18 do 40 °C. Teplota se liší podle místa vzniku, stejně tak jako mikrobiologický obsah šedé vody. Některé kombinace vyšší teploty a vzniku šedé vody indikují zvýšené riziko rychlejšího rozvoje mikroorganismů, jako jsou například parazitičtí červi helminti, nebo bakterie *Escherichia coli*. Vody, které pocházejí ze sprch a umyvadel jsou nízkou zátěží, kdežto vody z kuchyní obsahují více organický látek a látky nerozpuštěné. Díky těmto faktorům lze šedou vodu rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny řadíme vodu, která je vhodná pro následnou recyklaci a patří sem vody z koupelen (vana, sprcha, umyvadlo). Druhá skupina, do které patří vody z kuchyní (dřez, myčka nádobí), je pro recyklaci použitelná pouze podmíněně. Specifické hodnoty jsou různé a každý zdroj se liší, zajímají nás hlavně hodnoty BSK5, CHSK a pH (British Standard, 2010, BSI).

Dělení šedé vody:

- šedé vody z kuchyní a myček
- šedé vody z praček
- šedé vody z umyvadel, van a sprch
- neseparované šedé vody

Složení šedé vody

Tato odpadní voda dostala své jméno dle svého charakteristického zbarvení. Šedá voda neobsahuje moč ani fekálie a je produkována zejména z praček, umyvadel, sprch, van, dřezů, a proto obsahuje malé množství základních nutričních prvků jako je třeba dusík a má typicky našedlou barvu. Po úpravě šedých vod, kterou například používá pan P. Dvořák z projektu SWAMP, vzniká voda bílá, kterou lze využívat pro provozní účely. Nadměrná produkce vzniká v administrativních budovách, hotelech, školách, restauracích, bazénech a wellness. Průměrná spotřeba vody na jednu osobu je ve tříhvězdičkovém hotelu 150 l na den. V hotelu pětihvězdičkovém už 1000 l na jednu osobu na den. Spotřeba v hotelových zařízeních je ovlivněna přítomností wellness

a fitness center, bazénů, saun a způsobem hospodaření kuchyně. Z hlediska složení (tab.1) CHSK a BSK₅ je v poměru 4:1, což znamená, že je zde větší podíl složitě rozložitelných org. látek. V běžných komunálních vodách je obvykle poměr CHSK a BSK₅ 2:1. Platí především pro odtoky z koupelen a tam, kde se používají osobní hygienické přípravky, šampony, mýdla. Komunální šedé vody mají pH většinou 7-8, šedé vody z praček bývají zásaditější (pH 9-10). Šedá voda, která je produkována v kuchyních a myčkách, bývá obvykle kyselá (pH 6-7,5). Teplota z koupelen a praček se pohybuje od 18 do 40 °C, a to především proto, že k hygienickým účelům je využívána voda teplá (British Standard BS Part 1, 2010. BSI; British Standard BS Part 2, 2010. BSI).

Tab. 1: Základní hodnoty v šedých vodách (mg/l) (Plotěný, 2011; ASIO.cz)

Hodnoty BSK ₅ , CHSK, pH v šedých vodách				
Zdroj šedé vody	Pračky	Vany, sprchy, umyvadla	Kuchyně, myčky	Neseparovaná šedá voda
BSK ₅ [mg/l]	45-682	19-200	669-756	41-194
CHSK [mg/l]	375	64-8000	26-1600	49-623
pH	9,2-10	5-8,6	6,3-7,4	6,1-8,4

Z tabulky lze vyčíst kolísání hodnot, které je pro šedé vody charakteristické a je spojené s odlišným stylem života. Nejméně znečištěné a zatížené jsou vody z mytí a ze sprch, naopak vody z kuchyní díky zbytkům jídla obsahují větší počet organických a nerozpuštěných látek, jsou tedy značně zatížené. Z těchto poznatků můžeme usoudit, že použitelná je voda z oblasti koupelen a umýváren, podmíněně použitelná je voda kuchyňská (Palmquist, Hanaeus, 2005).

6.1.1 Chemická kontaminace

Pokud chceme identifikovat různé chemické složky v šedé vodě, je důležité rozumět zdrojům kontaminace. Významné chemické složky v šedé vodě pocházejí z chemikálií, které jsou používány pro čisticí účely, vaření a mytí. Hodnota pH v šedé vodě do značné míry závisí na pH a zásaditosti v přívodu vody a obvykle bývá v rozmezí 5-9. Šedá voda, která pochází z praček bude obecně vykazovat vyšší pH

kvůli přítomnosti alkalických materiálů používaných v detergentech. Hlavními chemickými složkami, které se vyskytují v šedé vodě, jsou povrchově aktivní látky. Tyto povrchově aktivní látky slouží jako hlavní účinná čisticí látka ve většině čisticích prostředků a mohou být buď kationtové, nebo aniontové povahy, přičemž většina pracích a čisticích produktů je aniontová (Jakobi, Lohr, 1987). Kationtové povrchově aktivní látky jsou obecně založeny na solích a tvoří zdroj amonia v šedé vodě. Mezi další složky, které se nacházejí v šedé vodě, patří také dusičnany a fosfáty, které jsou údajně z amonných a kationtových povrchově aktivních látek a dezinfekčních prostředků které se používají pro praní prádla (Eriksson et al. 2002). Další látkou, kterou lze nalézt ve značné míře, je sodík, který pochází z vaření a konzervace v kuchyních. Mýdla na bázi sodíku také přispívají k významnému množství sodíku v šedých vodách. Kuchyňský odpad je primárním zdrojem dusíku v šedé vodě. Konvenční parametry odpadních vod, jako je biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅) a chemický oxygendemand (COD), vždy vykazují nadřazenost CHSK oproti BSK₅. Biologická rozložitelnost šedé vody je určena poměry BSK₅ / COD. Tento poměr určuje, s jakou bakterií a biokompaktem se nachází anorganické látky v šedé vodě. (Halalsheh et al. 2008) uvádí, že téměř polovina organické hmoty v šedé vodě je biologicky rozložitelná. Studie, která proběhla v roce 2010 v Dánsku a kterou provedl (Le-Minh et al. 2010), poukazuje na přítomnost antibiotik v šedé vodě, což může vést k proliferaci rezistentních kmenů bakterií. Další výzkum odhalil přítomnost benzenu a nitrofenolu v šedé vodě ve značné koncentraci (Revit et al. 2011; Peprah et al. 2018).

6.1.2 Biologická charakteristika a vlastnosti

Šedá voda obsahuje mikroorganismy, jako jsou bakterie, prvoci či jiné druhy parazitických organismů, např. helminti. Nevhodné zacházení s potravinami v kuchyni a přímá manipulace s kontaminovanými potravinami byla identifikována jako zdroj enterosolventních bakterií, jako je salmonela (Ottoson, Stenstrom, 2003; Maimon et al. 2014). Běžná je také fekální kontaminace, která je do značné míry spojena se špatnou osobní hygienou, nebo mytím plen. Detekována byla patogenní *Escherichia coli* (O'Toole et al. 2012). V této studii obsahovalo 18 % vzorků enterální viry, 7 % enterovirus a 11 % *E. coli*. Nejběžnějšími ukazateli pro hodnocení fekální

kontaminace jsou právě bakterie *Escherichia coli*. Studie provedené (Ottoson, Stenstrom, 2003) Odhalily velké množství patogenů souvisejících s exkrementy ve spojitosti s šedou vodou. Další studie také poukazují na výskyt patogenů v šedých vodách (Peprah, et al. 2018).

Způsoby čištění

6.1.3 Filtrace

Jedním ze způsobů čištění je filtrace. Ve filtračních systémech fyzikální i biologické procesy odstraňují pevné látky. Většinou se jedná pouze o fyzické odstranění pevných znečišťujících látek. Filtrační zařízení se většinou skládají z usazovacích a filtračních membrán ve formě písku, šterku a jemného pletiva (Gross et al. 2007) studovali výkon filtračního systému v souvislosti s šedou vodou pomocí oblázků o tloušťce 2 cm umístěných nad vypouštěcí otvory. (Dalahmeh et al. 2012) také studovali výkon filtračního systému s použitím borovicové kůry, aktivního uhlí, polyuretanové pěny a písku jako filtračního média v úpravě vody. Hrubší výkon filtračního systému s následnou pomalou pískovou filtrací s hydraulickým retenčním časem 8 a 24 hodin studoval (Finley et al. 2009). (Parjane, Sane, 2011) použili kokosové skořápky, hrubé piliny, dřevěné uhlí, cihly a písek jako filtrační materiály k posouzení účinnosti čištění šedé vody. Všechny tyto studie poukazují na různorodost možností v oblasti filtrace šedých vod. Účinnost filtrace je uvedena v tab. 2 (Peprah et al. 2018).

Tab. 2: Účinnost čištění vybraných systémů (Peprah et al. 2018)

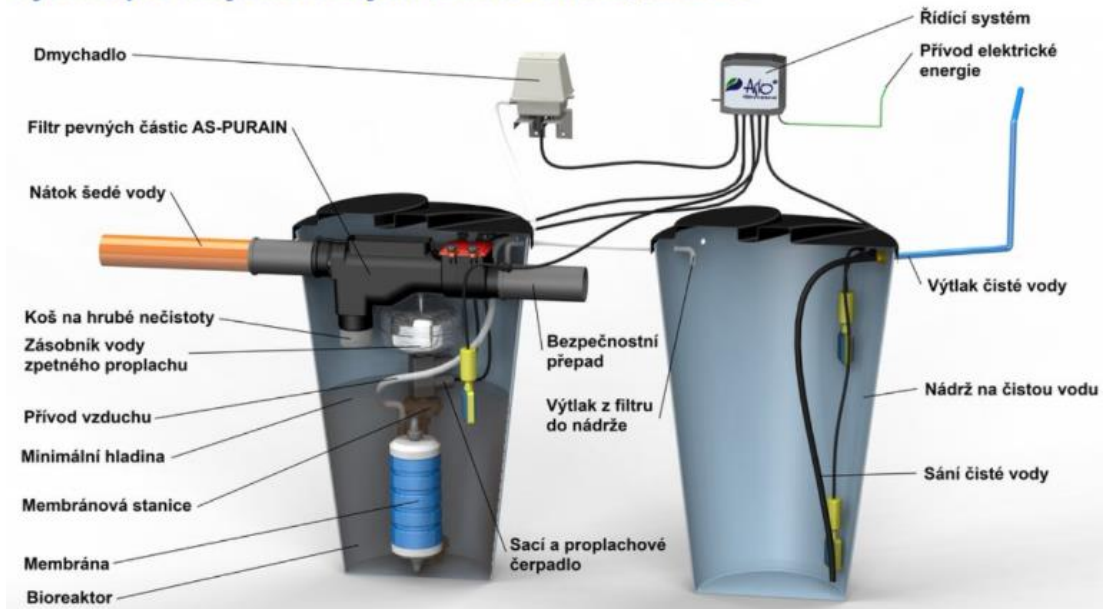
Parameter	Filtration ^a	Wetlands ^b	SBR ^c	RBC ^d	MBR ^e	UASB ^f
Turbidity (NTU)	–	–	–	–	98–99%	–
EC (uS/m)	–	–	–	–	–	–
TSS (mg/L)	53–93%	90–98%	–	9–12%	Up to 100%	–
TDS (mg/L)	–	–	–	–	–	–
BOD ₅ (mg/L)	89–98%	Up to 99%	90–98%	27–53%	93–97%	Up to 67%
COD (mg/L)	37–94%	81–82%	90–98%	21–61%	86–99%	38–79%
Cl (mg/L)	–	92–94%	–	–	–	–
Oil and grease (mg/L)	Up to 97%	Up to 95.45	–	–	–	83.7%
Nitrate (mg/L)	17–73%	–	–	–	6–72%	–
T. Nitrate (mg/L)	5–98%	26–82	80%	–	52–63%	24 to 58%
T. Phosp (mg/L)	Up to 100%	Up to 71%	–	–	Up to 19%	10 to 39%
FC (CFU)	–	–	–	88.5–99.9%	Up to 99%	–
<i>E. coli</i> (CFU)	Up to 100%	–	–	88.5–99.9%	–	–
Ca (mg/L)	Up to 100%	–	–	–	–	–
Mg (mg/L)	Up to 100%	–	–	–	–	–
Na (mg/L)	47%	–	–	–	–	–

6.1.4 Biologické rotující kontakty

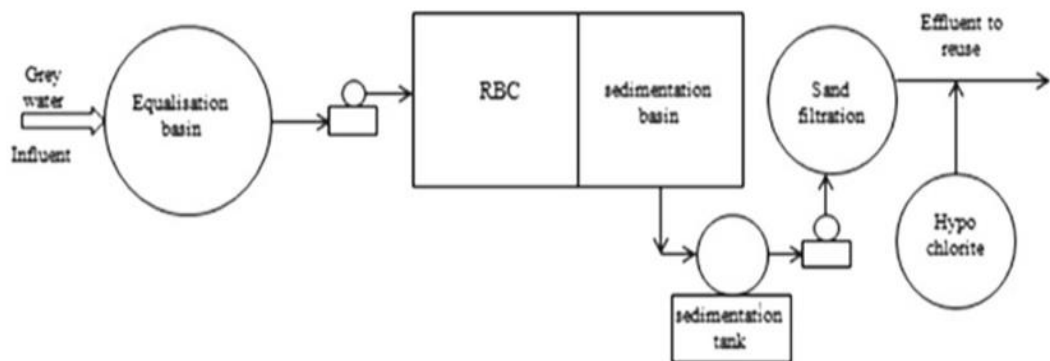
Rotující biologické kontakty (RBC) jsou zařízení s pevným ložem sestávající z rotujících disků, které jsou umístěny na hřídeli. Jsou částečně ponořeny do vody a otáčejí se. Dochází ke střídavému kontaktu biofilmu s vodou a se vzduchem. Mikroby, které provádí ošetření, jsou alternativně vystaveny atmosféře a umožňují aeraci a asimilaci rozpuštěných organických polutantů a živin pro degradaci. (Pathan et al. 2011) studoval výkon rotujících biologických kontaktů na šedé vodě v Pákistánu. Rotující biologický kontaktor byl vyroben z plastových fólií a disků z tvarovaného plastu. Šedá voda byla v systému udržována po stanovenou dobu, zatímco rotující disky byly ponořeny až z 40 % v šedé vodě. (Friedler et al. 2011) studovali potenciál rotujících biologických kontaktů odstraňovat indikátorové bakterie, fekální kolimorfnní bakterie, heterotrofní bakterie a specifické patogeny (*Pseudomonasaeruginosas*, *Staphylococcus aureus*). Studie dospěla k závěru, že rotující biologické kontakty odstranily až 88,5 - 99,9 % ze všech čtyř skupin bakterií. (Gilboa, Friedler, 2008) studovali výkonost RBC při odstraňování fekálních koliformů, (*Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*) v šedé vodě za použití

RBC a následné sedimentaci studie dospěla k závěru, že systém odstraní až 99 % všech těchto mikroorganismů, které byly v šedé vodě (Peprah et al. 2018).

Systém pro recyklaci šedých vod AS-GW/AQUALOOP



Obr. 5: Systém pro recyklaci šedých vod (PEF ČZU) (Hnátková, Dvořák. Projekt SWAMP – září 2019 – Dekonta a.s.)



Obr. 6: Schéma biologického rotujícího kontaktoru (M.B. Sushmitha et al. 2017)

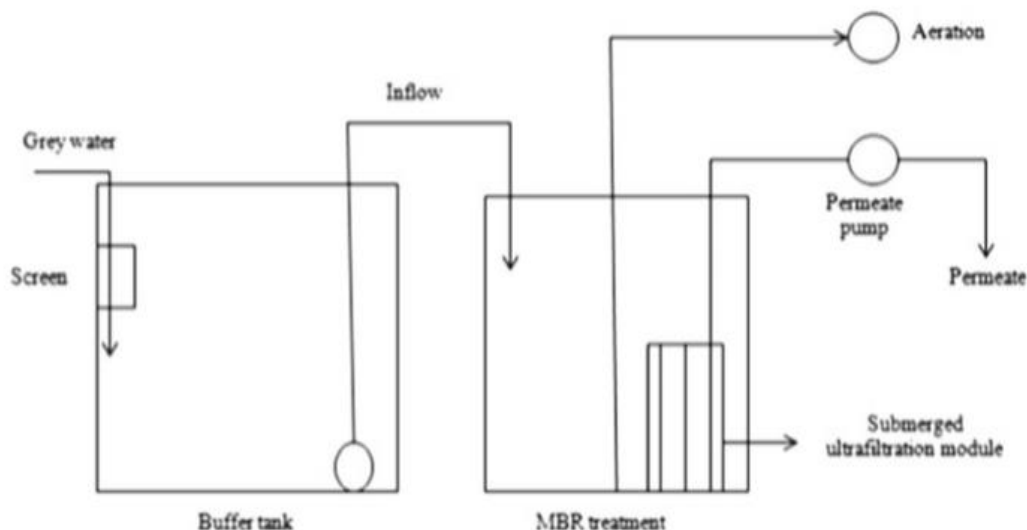
6.1.5 Sekvenční dávkový reaktor

Jedná se o typ procesu, při kterém dochází k čištění aktivovaného kalu. Celý proces zpracování je rozdělen do částí a probíhá v reaktorové nádrži. Biologické zpracování a sekundární čištění se provádí v jedné nádrži pomocí časově řízené frekvence. (Lamine et al. 2007) provedli úpravu šedé vody pomocí sekvenčně dávkového reaktoru (SBR) ve studentském domě. Tato studie hodnotila výkonnost čištění změnou hydraulických retenčních časů (HRT) a byl odhalen částečný vliv nitrifikace. Podobná studie, kterou provedli (Scheumann, Kraume, 2009) se zabývala odstraněním COD, NH₄-N, TN pomocí SBR se změnou hydraulicky retenčních časů. V této studii však také došlo k nitrifikaci. (Krishnan et al. 2008) zkoumali čištění šedé vody v Malajsií v místních domech pomocí SBR. Sekvenční dávkový reaktor byl také použit v Nizozemsku k ošetření šedé vody z 32 domů. Studii provedli (Hernandez Leal et al. 2010) a účinky odstraňování pomocí SBR byly pro BOD₅ až do 98 %, pro COD až do 80 %, TN až do 99 %. Pro NH₄-N bylo zjištěno, že změna hydraulických retenčních časů je omezujícím faktorem ve výkonu SBR, protože rozdílné HRT vedou k různým kvalitám efluentu. Účinnost tohoto systému je uvedena v tab. 2 (Peprah et al. 2018).

6.1.6 Membránový bioreaktor

Membránový bioreaktor (MBR) je selektivní integrovaný proces s biologickým využitím úpravy šedé vody. K dosažení účinného čištění se praktikuje kombinace biologických, mikrofiltračních a ultrafiltračních systémů. Jedná se o ideální zařízení, které díky své kompaktní velikosti lze použít pro úpravu šedé vody a opětovně jej využívat v urbanizovaných oblastech. (Atanasova et al. 2017) studovali výkonnost čištění šedé vody za pomoci membránového bioreaktoru v hotelu ve Španělsku. Účinnost odstranění CHSK se pohybovala od 80 do 95 %. Koncentrace CHSK v testovaném vzorku zde byla 30 mg / l. Odstraňování amoniaku a TN bylo průměrně na vysoké úrovni od 80,5 do 85,1 %. (Merz et al. 2007) zjišťovali účinnost systému MBR s ultrafiltrační membránou při čištění šedé vodě, která pocházela ze sportovního komplexu v Maroku. (Huelgas, Funamizu, 2010) studovali úpravu šedé vody systémem MBR a využívali zde měnícího se tlaku. (Jong et al. 2010) také použili MBR k ošetření šedé vody v Jižní Koreji. Významnou roli zde hrál mikrofiltr

o velikosti 0,45 μm . Využitím těchto systému se dá dosáhnout dobrého odtoku, který splňuje standardy pro opětovné použití. Účinnost tohoto systému je uvedena v tab. 2 (Peprah et al. 2018).



Obr. 7: Schéma membránového biologického reaktoru (M.B. Sushmitha et al. 2017)

Motivace k užívání šedých vod

V současné době žije na planetě Zemi přes 7,5 miliard lidí, tento počet se však den ode dne stále zvyšuje. Bohužel jen malá část populace přemýšlí nad ochranou životního prostředí a všech složek životního prostředí, jako jsou například ochrana půdy, ovzduší, vody, nebo rostlinných ekosystémů. Ovšem všechny tyto globální problémy se týkají celé populace a dá se na nich pracovat pouze celosvětovým úsilím. Tání ledovců, rozšiřování pouští, degradace úrodné zeminy, nebo vysychání některých jezer a řek. Jsou to sice přírodní problémy, ale lidé na nich mají zcela jistě svůj podíl. Všechny tyto události zapadají do koloběhu ničení naší planety Země. Globální problémy mohou dosáhnout až zcela katastrofických rozměrů (Hlaváček, 2004).

Základním problémem je neustálé snižování zásob pitné vody a nepřetržitě zvyšování spotřeby této životadárné suroviny. Jednoduše řečeno, s narůstající lidskou populací roste produkce potravin a tím i spotřeba vody sladké. Další oblastí, kde

dochází k enormnímu využívání vod, je průmysl. Především v Asii dochází k nekontrolovatelnému vývoji, se kterým je spojena zvýšená spotřeba vody a bohužel i zvýšené riziko chemického znečištění (Hlaváček, 2004; UNEP, 2009).

Globálně se uvádí, že dospělý člověk potřebuje k přežití 3 litry vody denně. Musí se brát ale v potaz, že voda je bezpochyby neodmyslitelnou součástí každodenní lidské činnosti jako je například, vaření, osobní hygiena, nebo úklid domácnosti. Ve vyspělých západních státech se za posledních dvě století průměrná spotřeba vody na osobu zvýšila na 300 litrů za den. V některých zemích, jako je například Madagaskar, se uvádí průměrná denní spotřeba 5 litrů. U nás za rok 2018 podle údajů z Českého statistického úřadu průměrně jeden občan spotřebuje 89,2 litrů vody denně (Český statistický úřad, dostupné z: <https://www.czso.cz/>).

V České republice se voda používá nepřetržitě každý den. V důsledku používání a lidské činnosti nám vznikají vody odpadní. V minulosti tato voda neměla využití, ale dnes je tomu jinak. Čištění a znovuvyužití odpadních vod je v současnosti jednou z metod, jak bojovat se suchem a s nedostatkem vodních zdrojů. Podle zákona č.254/2001 Sb. je odpadní voda definována jako voda, která v důsledku lidské činnosti ztratí, změní, nebo jakkoliv zhorší svou kvalitu a jakost a následně může ohrozit kvalitu podzemních i povrchových vod. Odpadní vody jsou produkovány především v domácnostech, v zemědělství, v průmyslu, ve zdravotnictví, na stavbách a řadíme sem veškerou vodu, která odtéká odpadní stokovou sítí. Charakteristika a složení znečišťujících látek se mění dle původu. Dělí se do dvou skupin, na látky pevné a na látky rozpuštěné a dále na látky organické a na látky anorganické (Dohányos et al. 1998).

7 Metodika

Cílem experimentu bylo vyhodnotit možnosti růstu rostlin za různých podmínek pěstování a zjistit, které rostliny jsou vhodné pro zalévání šedou vodou, zároveň jsou vhodné i do vertikálních zahrad a zda nějakou roli hraje také biochar, o kterém se v poslední době často hovoří, jako o produktu, který dokáže zlepšit půdní vlastnosti a růst rostlin.

Nádobový experiment probíhal od září 2019 do března 2020 v kontrolovaných podmínkách experimentálního skleníku České zemědělské Univerzity v Praze. Na začátku experimentu bylo vybráno 7 druhů rostlin, které plní dekorativní funkci a zároveň mají předpoklady pro přežití v podmínkách vertikálních zahrad (například nejsou náchylné na choroby a škůdce, dokáží si poradit se znečištěným prostředím, jsou schopny přežívat i v nádobách, kde mají menší prostor pro rozvoj kořenového systému aj.). Jednalo se o tyto druhy: kostřava ovčí (*Festuca ovina*), břečťan popínavý (*Hedera helix*), pažitka pobřežní (*Alium schoenoprasum*), dlužicha americká (*Heuchera americana*), metlice trsnatá (*Deschampsia cespitosa*), barvínek menší (*Vinca minor*), rozchodníkovec velký (*Hilotelephium maximum*). Všechny rostliny byly před vysazením přeměřeny, zváženy, byl zjištěn počet listů a výhonů a byl zhodnocen stav, v jakém rostlina je, například jestli kořenuje, či nikoliv.

Rostliny byly následně vysazeny do květináčů plněných keramickým kamenivem. Tento substrát byl vybrán z důvodu, že neobsahuje živiny ani organické látky, které by mohly růst rostlin ovlivňovat. Celkem bylo vysazeno 140 rostlin, rozdělených do 5 úplných znáhodněných bloků. Polovina rostlin byla zasazena do keramického kameniva smíchaného s navlhčeným jemně drceným biocharem (4 %), který jsme získali z Ústavu Akademie věd ČR, a druhá část byla pěstována bez přidání biocharu. Následně byl k rostlinám zaveden zavlažovací systém, který pravidelně v určitých intervalech pouštěl do květináčů vodu. Jedna rostlina průměrně spotřebovala 2,1 litrů vody týdně. Po 4 měsících se u poloviny rostlin vyměnila závlaha pitnou vodou za vodu šedou. K veškeré práci byly použity jednorázové gumové rukavice a roušky, především s manipulací se šedou vodou. Podrobná tabulka rozdělení rostlin dle závlahy a obsahu biocharu je uvedena v příloze 6. Složení šedé

vody je popsáno v kapitole 6. a podrobný rozbor biocharu je uveden v přílohách 7, 8, 9.

Jednou týdně byly rostliny vyživovány hnojivem HOAGLAND (150 ml – 200 ml na jednu rostlinu, zředěno v poměru 1:4 s vodou). Návod na přípravu a obsah prvků je popsán v příloze 10. Dále se sledoval stav rostlin a jednou za měsíc docházelo k přeměření (počet listů, délka nadzemní části, počet výhonů).

Celý experiment probíhal za plně kontrolovaných podmínek. Rostliny byly vysazeny do květináčů o rozměrech 19x19cm a o objemu 4 litry. Každý květináč byl zaznamenán do plánku rozmístění. Ke každému vzorku bylo přiděleno číslo. Místnost byla klimatizována a k dispozici byl termostat na regulaci teploty. Nezbytné osvětlení bylo umístěno těsně nad rostlinami, aby prostředí bylo co nejvíce optimální k růstu a vývoji. Plánek rozmístění naleznete v příloze 6.



Obr. 8: Fotografie pracoviště

V experimentu bylo použito sedm různých druhů rostlin (viz. výše), ale pro zpracování v této práci byly z důvodu velkého objemu dat vybrány pouze dva druhy, a to *Festuca ovina* a *Hedera helix*. Druhy byly vybrány z důvodu velmi odlišných ekologických a biologických vlastností. Bylo provedeno srovnání růstu v podmínkách experimentu.

Popis testovaných rostlin

7.1.1 *Hedera helix* L – břečťan popínavý

Stonek větvený, až 20 m dlouhý, plazivý nebo popínavý; mladé větve a listy hvězdovitě chlupaté [chlupy s 6-10(-12) paprsky]. Listy dlanité (3-)5 laločné, 4-8(-12) cm v průměru, na bázi srdčité, dl. řapíkaté, celokrajné, tmavozelené, kolem žilnatiny obvykle bělavé, řapík 6-12 cm dl.; listy kvetoucích větví vejčité kosníkovité až šir. kopinaté, 4-10 cm dl., špičaté až zašpičatělé, na bázi klínovité, celokrajné. Květy zelenavě žluté; květní stopky chlupaté, až 2 cm dl. Kalich vyvinut v podobě krátkých zoubků; korunní lístky vejčité, špičaté, slabě dužnaté, vně hnědé, na vnitřní straně zelené, 3-4 mm dl., rozprostřené až dolů ohnuté; nitky 2-3 mm dl., prašníky vejcovité; semeník se žláznatým terčem, šir. kuželovitý, hvězdovitě chlupatý. Bobule kulovité, 7-10(-12) mm v průměru, v době zralosti modročerné. Semena ledvinovitá, 4-5 mm dl. (Slavík, Hejný, 2003).

Ekologie

Břečťan popínavý se běžně vyskytuje ve smíšených listnatých lesích (javorové habřiny, dubohabřiny, bučiny, lipové javořiny), nebo na zarostlých sutích, skalách a zdech. Vyskytuje se převážně na humózních, živinami bohatých, slabě kyselých až neutrálních půdách. Optimálně ve společenském svazu s *Carpinion betuli* a podsvazu s *Cephalanthero-fagenion* což je diagnostický druh (Slavík, Hejný, 2003).

Rozšíření

V Evropě je to hlavně na sever po Jižní Skandinávii, na východ po Ukrajinu a Litvu, dále pak Malá Asie, Arménie, Kavkaz, Irák, Izrael, Libanon. V České republice je hojný v termofytiku a mezofytiku zvláště pak na bazických substrátech, místy pravděpodobně jeho výskyt chybí, jako například v některých částech Českomoravské vrchoviny a Jihočeské pahorkatiny. Těžiště jeho rozšíření je pak v planárním a kolinním stupni. Hojnost výskytu všeobecně klesá s vyššími polohami (v Podkrkonoší do 600 m). Z oblasti oreofytika je znám jediný údaj (Krkonoše, mezi Bedřichovem a Mísečkami, cca 800 m, z roku 1969). Rozšíření v České republice je jen z části původní, druh totiž běžně zplaňuje (Slavík, Hejný, 2003).

Význam

Běžně pěstován v zahradách, parcích a na hřbitovech. Nenáročná, mrazuvzdorná dřevina odolná k imisím, vhodná ke krytí zdí nebo jako náhrada trávníků. Množství kultivarů, odlišných vzrůstem, tvarem listů, barvou listů. Některé kultivary se uplatňují také jako rostliny skleníkové a pokojové.

Poznámka: Vykvétají pouze velmi staré popínavé exempláře, které se v přírodě vyskytují jen vzácně.

Variabilita: Způsob růstu, velikost, tvar a zbarvení listů a délka řapíku jsou velice variabilní i u jedné rostliny. V kultuře bylo podle těchto znaků vyšlechtěno nepřehledné množství kultivarů (Slavík, Hejný, 2003).

7.1.2 *Festuca ovina* – kostřava ovčí (L.)

Festuca ovina (kostřava ovčí) je hustě trsnatá, vytrvalá tráva s vnitropochevními výběžky. Stébla bývají vysoká 20-60 cm, tenká a nahoře drsná. Listové pochvy pouze u báze srostlé (výjimečně až do 1/3). Listy zelené až sivé barvy, někdy i ojíňené, niťovité až jemně štětinovité v průměru 0,3-0,9 mm, na špičce drsné, obvykle 5-7 žilné, na průřezu oblé, se sklerenchymatickým pletivem tvořícím souvislý prstenec. Lata 2-12 cm dlouhá, větveno i větévky drsné. Pluchy osinaté, někdy

chlupaté, osina zdělí čtvrtiny až třetiny pluchy. Kvete od května do července (botany.cz, dostupné z: <https://botany.cz/cs/festuca-ovina/>).

Ekologie

Kostráva ovčí je typickým druhem světlých lesů, najdeme ji i v lesních lemech, na pastvinách nebo písčínách. Kostravy jsou velice tolerantním druhem jak k suchu, tak k nízkým teplotám, snáší i polostín. Dobře prosperují v propustných půdách na slunném stanovišti. Množí se výsevem v jarním a podzimním období (botany.cz, dostupné z: <https://botany.cz/cs/festuca-ovina/>).

Rozšíření

Vyskytuje se v celé Evropě vyjma pár středomořských oblastí, a také na většině území Asie, avšak mimo tropické části. Přirozeně se vyskytuje v chladnějších oblastech mírného pásma. Její výskyt je běžný v Severní a Jižní Americe, stejně tak na Novém Zélandu. V České republice ji najdeme na stanovištích od nížin po podhůří v roztroušeném až hojném počtu (botany.cz, dostupné z: <https://botany.cz/cs/festuca-ovina/>).

Zpracování dat a statistická analýza

Data o měřených charakteristikách rostlin byla sbírána od září 2019 do března 2020. Z nasbíraných dat se zjišťoval rozdíl mezi počátečním stavem a konečným stavem. K vyhodnocení výsledků byla použita dvoufaktorová ANOVA, která se používá pro porovnání více než dvou průměrů. Byla provedena statistická analýza celkem 56 rostlin, kde jako závislá proměnná byl použit rozdíl počátečních a konečných hodnot růstových charakteristik, tedy počet listů, délka nadzemní části, počet výhonů. Jako nezávislé proměnné (faktory) byly použity typ zálivky (water – tap water × grey water), substrát (inert × inert+biochar) a blok. Nebyl prokázán statisticky významný vliv bloku na žádnou ze závislých proměnných, tudíž byl blok z modelů odstraněn. Závislá proměnná (počet listů, délka nadzemní části, počet výhonů) byly standardizovány ($y+100$) a transformovány pomocí $\log(x)$ pro přiblížení proměnné normálnímu rozdělení. Test normality dat byl proveden pomocí Shapiro-Wilkova testu. Pro každou závislou proměnnou byla spočítána dvoufaktorová ANOVA s faktory zálivka + substrát + zálivka*substrát. Závěry ohledně testovaných hypotéz byly provedeny na hladině významnosti $\alpha = 0.05$. Testy byly provedeny v programu Statistica®13.5.017.

Byly testovány následující nulové hypotézy:

1. Liší se růst rostlin v odlišných substrátech?
2. Liší se růst rostlin zavlažovaných šedou a pitnou vodou?
3. Liší se růst rostlin v kombinaci obou výše zmíněných podmínek pěstování?

8 Výsledky

Výsledky *Festuca ovina* (kostřava ovčí)

8.1.1 Výška rostliny – *Festuca ovina*

Předpoklad, že je výška rostlin ovlivněna typem použitého substrátu, bloku a zálivkou byl testován pomocí modelu ANOVA. Samotnému testování předcházela test normality dat (Shapiro Wilkův test), který ukázal narušení jejich normality, nicméně po transformaci rozdílů výšek pomocí logaritmické transformace bylo dosaženo rozdělení blízké normálnímu ($W = 0,36$; $p = 0,061$). Následně byla použita parametrická ANOVA.

Test bloku - z výsledků ANOVA vyplývá, že blok nemá statisticky významný vliv na tuto růstovou charakteristiku ($F_{5,12} = 0,59$, $p = 0,7$), proto byl z konečného modelu odstraněn.

Test vlivu faktorů substrátu a typu zálivky - z výsledků dvoufaktorové ANOVA je patrné, že typ substrátu má statisticky významný vliv na výšku rostlin ($F_{1,16} = 17,749$, $p = 0,00066$), naproti tomu vliv zálivky a interakce mezi zálivkou a substrátem není statisticky významný ($F_{1,16} = 0,736$, $p = 0,4038$; $F_{1,16} = 2,318$, $p = 0,1474$). Kompletní výsledky analýzy pomocí dvoufaktorové ANOVA jsou uvedeny v tab.3. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 3. Výsledky dvoufaktoriální ANOVY vlivu zálivky (water) a substrátu (substrate) na výšku rostlin *F. ovina*.

Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1	34,1991	1726,57	0
Water	1	0,01457	0,736	0,403753
Substrate	1	0,35156	17,749	0,00066
Water*substrate	1	0,04592	2,318	0,147377
Error	16	0,01981		

V tab. 4 vidíme rozdíly měření mezi počátečním stavem výšek a konečným stavem výšek. Z tabulky lze vyčíst, že všechny vzorky za sledované období vyrostly alespoň o 8 cm a u žádného vzorku tedy nebyl zaznamenán pokles v délce nadzemní části.

Tab. 4: Rozdíl mezi počátečním stavem a konečným stavem výšek *Festuca o.*

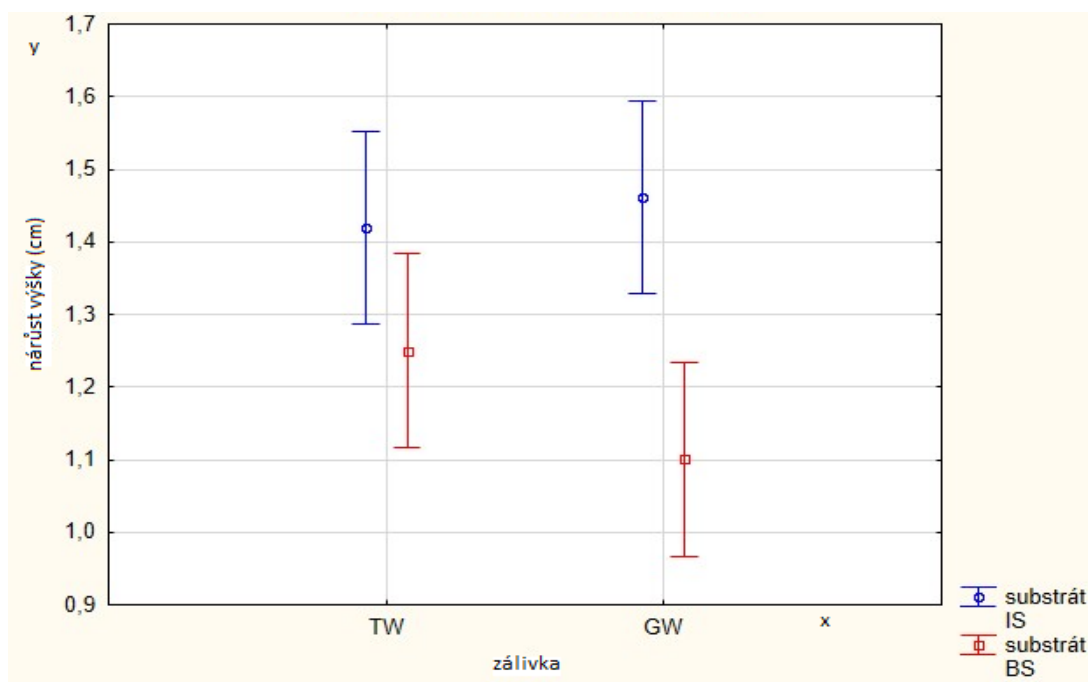
číslo vzorku	Druh	voda	substrát	počáteční stav (cm)	konečný stav (cm)	rozdíl (cm)	blok	LEGENDA
1	Festuca o	TW	IS	15	39,9	24,9	3	TW = čistá voda
2	Festuca o	GW	IS	15	48,5	33,5	2	GW = šedá voda
3	Festuca o	GW	IS	15	42	27	4	IS = inertní substrát
4	Festuca o	GW	IS	15	39,5	24,5	4	BS = IS + biochar
5	Festuca o	TW	IS	15	44,3	29,3	3	
6	Festuca o	GW	IS	15	51,5	36,5	6	
7	Festuca o	TW	IS	15	47,3	32,3	1	
8	Festuca o	TW	IS	15	41,5	26,5	5	
9	Festuca o	TW	IS	15	35	20	1	
10	Festuca o	GW	IS	15	40	25	2	
11B	Festuca o	GW	BS	15	24,5	9,5	4	
12B	Festuca o	TW	BS	15	37,9	22,9	3	
13B	Festuca o	GW	BS	15	40	25	6	
14B	Festuca o	TW	BS	15	30	15	1	
15B	Festuca o	GW	BS	15	29,5	14,5	4	
16B	Festuca o	TW	BS	15	37,7	22,7	1	
17B	Festuca o	TW	BS	15	39	24	5	
18B	Festuca o	TW	BS	15	24,5	9,5	3	
19B	Festuca o	GW	BS	15	23	8	2	
20B	Festuca o	GW	BS	15	26,5	11,5	2	

Vyhodnocení průměrných rozdílů výšek rostlin - z nasbíraných dat vyplývá, že rostliny rostoucí pouze v inertním substrátu mají vyšší přírůstky než rostliny pěstované v inertním substrátu s přidavkem biocharu. V tab. 5 jsou uvedené průměrné rozdíly výšek pro jednotlivé substráty a typ zálivky. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 5: Průměrné rozdíly výšek rostlin *F. ovina* u jednotlivých výběrů (IS - inertní substrát, BS – inertní substrát + biochar, TW – čistá voda, GW – šedá voda)

Cell No.	substrát	průměrný rozdíl	směrodatná odchylka	dolní hranice - 95,00 %	horní hranice +95,00 %	počet vzorků
1	IS	27,95	1,5661888	24,40704	31,49296	10
2	BS	16,26	2,131312	11,43864	21,08136	10
1	TW	22,71	2,101716	17,9559	27,46441	10
2	GW	21,5	3,176301	14,31471	28,68529	10

Na obr. 9 jsou vidět průměrné hodnoty jednotlivých výběrů po zlogaritmování (osa y). Kromě samotných průměrů je znázorněn i interval hodnot, ve kterém se dá očekávat průměrná hodnota při vyšším počtu pozorování. Na ose x je vyznačeno, které hodnoty se týkají čisté a šedé vody. Jak je vidět, rostlinám zaléváným čistou vodou (TW) se překrývají intervaly očekávaného průměru. Naopak u rostlin zaléváných šedou vodou (GW) s přidavkem biocharu (BS) jsou výraznější rozdíly mezi substráty a intervaly se vůbec nepřekrývají.



Obr. 9: Průměrné hodnoty jednotlivých výběrů (horní a spodní hranice označují maximum a minimum, kruh či čtverec uvnitř značí průměr; hodnoty na ose y jsou logaritmičsky transformovány).

IS - inertní substrát, BS – inertní substrát + biochar, TW – čistá voda, GW – šedá voda

8.1.2 Počet listů – *Festuca ovina*

Předpoklad, že je počet listů ovlivněn použitým substrátem, blokem a závlivkou byl testován pomocí modelu ANOVA. Samotnému testování předcházela test normality dat (Shapiro Wilkův test), který neprokázal narušení normality dat ($W = 0,97101$; $p = 0,77602$). Následně byla použita parametrická ANOVA.

Test bloku - výsledky analýzy (jednofaktorová ANOVA) neprokázaly statisticky průkazný vliv bloku na počet vytvořených listů. Z výsledků je patrné, že blok nemá statisticky významný vliv na tuto růstovou charakteristiku ($F_{5,12} = 0,57$, $p = 0,71$). Protože blok nemá vliv na počet listů rostliny, byl z konečného modelu odstraněn. V tab. 6 je uveden kompletní výsledek analýzy. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 6: Test bloku

Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1858,7	1	1858,7	0
Block	10,81	5	0,5786	0,715966
Error	52,317	14		

Vliv faktorů substrátu a typu zálivky - z výsledků dvoufaktorové ANOVA je patrné, že typ substrátu nemá statisticky významný vliv na počet listů ($F_{5,12} = 3,9198$, $p = 0,0651$), a zároveň bylo prokázáno, že ani vliv zálivky a interakce mezi zálivkou a substrátem není statisticky významný. Kompletní výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 7. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 7: Vliv faktorů substrátu a zálivky na počet listů *F. ovina*

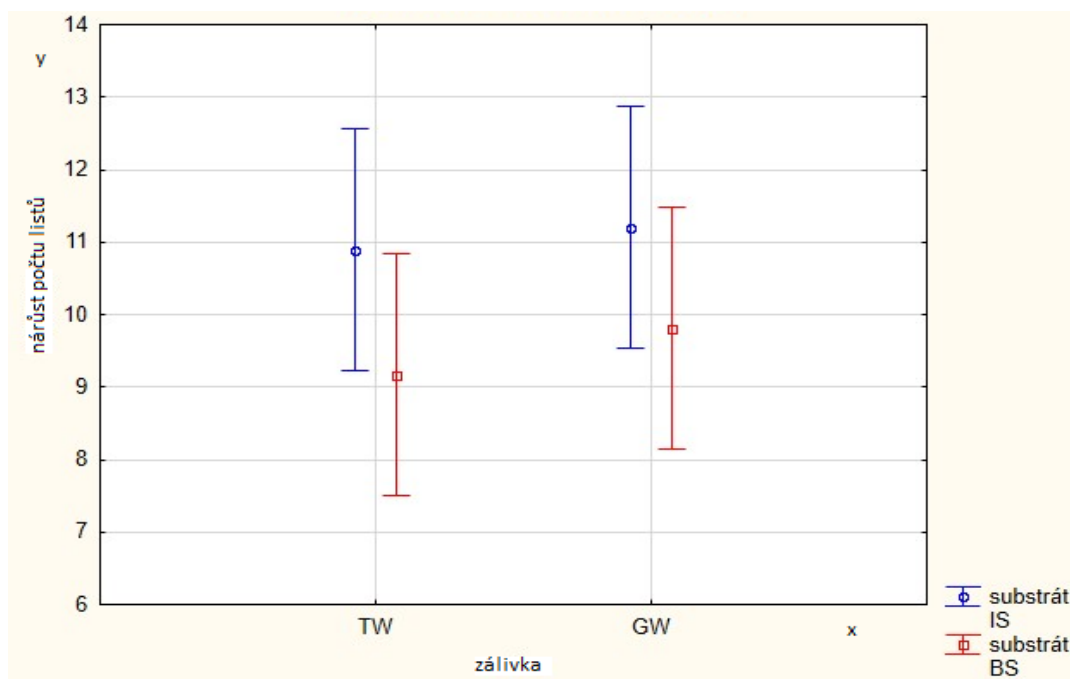
Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1	2108,873	679,1347	0
Water	1	1,131	0,3643	0,554595
Substrate	1	12,172	3,9198	0,065187
Water*Substrate	1	0,14	0,0451	0,834419
Error	16	3,105		

V tab. 8 vidíme rozdíly měření mezi počátečním stavem počtu listů a konečným stavem počtu listů. Z tabulky lze vyčíst, že 8 z 20 vzorků zaznamenaly pokles v počtu listů a 12 vzorků z 20 zaznamenaly nárůst v počtu listů.

Tab. 8: Rozdíl mezi počátečním a konečným stavem počtu listů *Festuca o.*

číslo vzorku	druh	water	substrát	počáteční stav	konečný stav	rozdíl	blok	LEGENDA
1	Festuca ovina	TW	IS	60	110	50	3	TW = čistá voda
2	Festuca ovina	GW	IS	80	120	40	2	GW = šedá voda
3	Festuca ovina	GW	IS	75	90	15	4	IS = inertní substrát
4	Festuca ovina	GW	IS	60	52	-8	4	BS = IS + biochar
5	Festuca ovina	TW	IS	75	99	24	3	
6	Festuca ovina	GW	IS	50	85	35	6	
7	Festuca ovina	TW	IS	80	83	3	1	
8	Festuca ovina	TW	IS	60	90	30	5	
9	Festuca ovina	TW	IS	50	41	-9	1	
10	Festuca ovina	GW	IS	75	125	50	2	
11B	Festuca ovina	GW	BS	50	52	2	4	
12B	Festuca ovina	TW	BS	115	70	-45	3	
13B	Festuca ovina	GW	BS	56	40	-16	6	
14B	Festuca ovina	TW	BS	43	45	2	1	
15B	Festuca ovina	GW	BS	80	55	-25	4	
16B	Festuca ovina	TW	BS	70	65	-5	1	
17B	Festuca ovina	TW	BS	90	30	-60	5	
18B	Festuca ovina	TW	BS	80	130	50	3	
19B	Festuca ovina	GW	BS	70	30	-40	2	
20B	Festuca ovina	GW	BS	50	129	79	2	

Na obr. 10 jsou vidět průměrné hodnoty jednotlivých výběrů (osa y). Kromě samotných průměrů je znázorněn i interval hodnot, ve kterém se dá očekávat průměrná hodnota při vyšším počtu pozorování. Na ose x je vyznačeno, které hodnoty se týkají čisté a šedé vody. Bylo zjištěno, že rostliny zalévané šedou vodou (GW) s přídavkem biocharu (BS) rostly hůře, než rostliny zalévané čistou vodou (TW) v kombinaci s inertním substrátem (IS). Vliv typu zálivky není však významný.



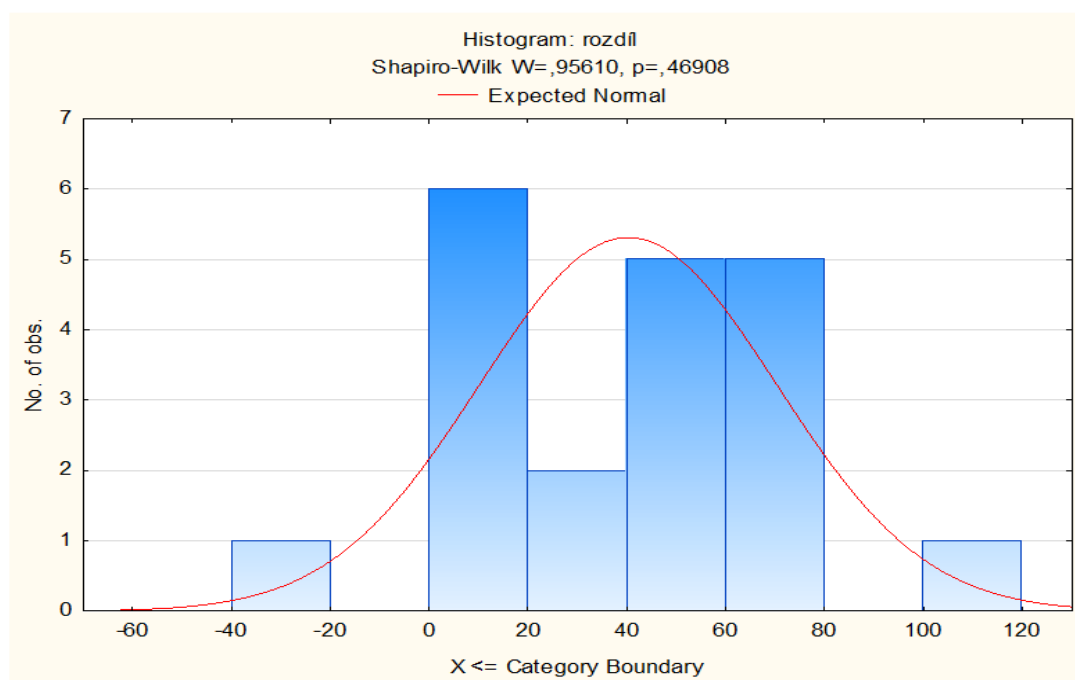
Obr. 10: Průměrné hodnoty počtu listů jednotlivých výběrů (horní a spodní hranice označují maximum a minimum, kruh či čtverec uvnitř značí průměr)

IS - inertní substrát, BS – inertní substrát + biochar, TW – čistá voda, GW – šedá voda

Výsledky *Hedera helix* (břečťan popínavý)

8.1.3 Výška rostliny *Hedera helix*

Předpoklad, že je výška rostlin ovlivněna typem použitého substrátu, bloku a zálivkou byl testován pomocí modelu ANOVA. Samotnému testování předcházela test normality dat (Shapiro Wilkův test), který ukázal narušení normality, nicméně po transformaci rozdílů výšek pomocí logaritmické transformace bylo dosaženo rozdělení blízké normálnímu ($W = 0,956$; $p = 0,469$). Následně byla použita parametrická ANOVA. Rozdělení dat po transformaci můžeme vidět na obr. 11.



Obr. 11: Histogram rozdílů výšek rostlin *H. helix*

Test bloku - vliv bloku na rozdíly výšek byl testován pomocí ANOVA. Z výsledků je patrné, že blok nemá statisticky významný vliv na tuto růstovou charakteristiku ($F_{5,12} = 2,608$, $p = 0,072$). Protože blok nemá vliv na výšku rostliny,

byl z konečného modelu odstraněn. Kompletní výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 9. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 9: Test bloku

Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1	25515,4	40,229	0,000018
Block	5	1654,22	2,60814	0,072112
Error	14	634,25		

Vliv faktorů substrátu a typu zálivky - z výsledků analýzy pomocí dvoufaktorové ANOVA je patrné, že typ substrátu má statisticky významný vliv na výšku rostlin ($F_{5,12} = 0,002$, $p = 0,961122$), naproti tomu vliv zálivky a interakce mezi zálivkou a substrátem není statisticky významný. Kompletní výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 10. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 10. Výsledky dvoufaktoriální ANOVY vlivu zálivky a substrátu na výšku rostlin *H. helix*.

Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1	91,27316	7392,28	0
Water	1	0,00078	0,063	0,805095
Substrater	1	0,00003	0,002	0,961122
Water*Substrate	1	0,00184	0,149	0,704775
Error	16	0,01235		

V tab. 11 vidíme rozdíly měření mezi počátečním stavem výšek a konečným stavem výšek. Z tabulky lze vyčíst, že všechny vzorky za sledované období vyrostly alespoň o 8 cm a u žádného vzorku tak tedy nebyl zaznamenán pokles v délce nadzemní části.

Tab. 11: Rozdíl mezi počátečním stavem a konečným stavem výšek *Hedera h.*

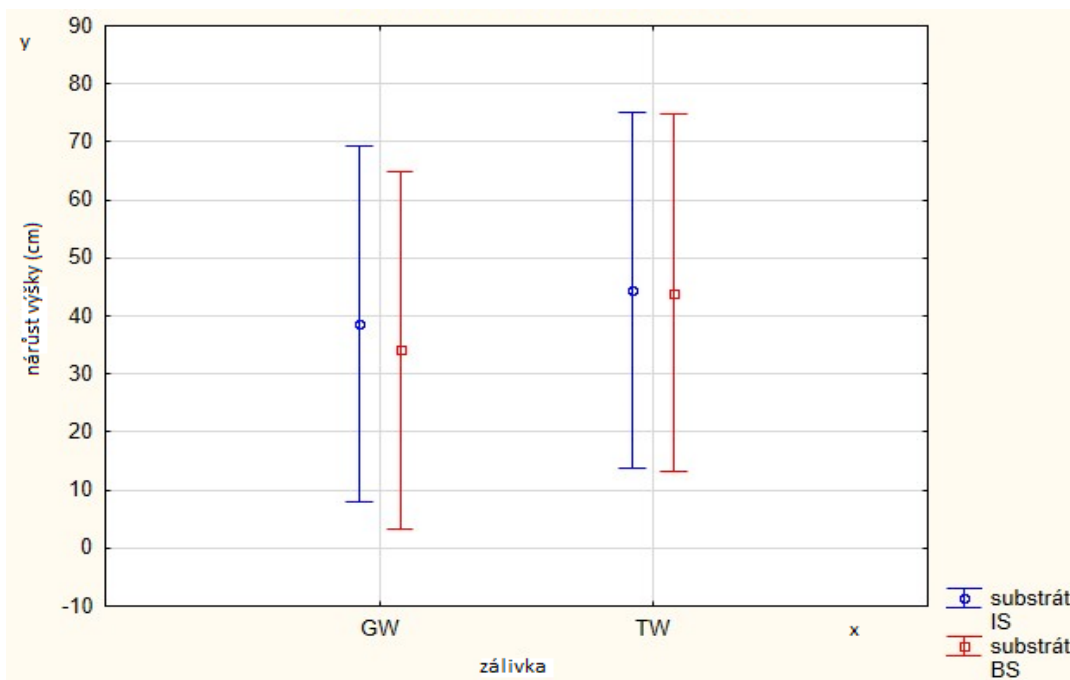
číslo vzorku	Druh	voda	substrát	počáteční stav (cm)	konečný stav (cm)	rozdíl	blok	LEGENDA
21	Hedera helix	GW	IS	56	104	48	6	TW= čistá voda
22	Hedera helix	GW	IS	42,8	99	56,2	2	GW = šedá voda
23	Hedera helix	TW	IS	87	190	103	3	IS = inertní substrát
24	Hedera helix	TW	IS	12,1	29,2	17,1	1	BS = IS+ biochar
25	Hedera helix	GW	IS	21,4	34,5	13,1	4	
26	Hedera helix	TW	IS	42,2	11,5	-30,7	5	
27	Hedera helix	GW	IS	38,1	89	50,9	2	
28	Hedera helix	TW	IS	56	125	69	3	
29	Hedera helix	GW	IS	47,3	72	24,7	4	
30	Hedera helix	TW	IS	37,4	101	63,6	1	
31B	Hedera helix	GW	BS	51	90	39	4	
32B	Hedera helix	GW	BS	65	113	48	4	
33B	Hedera helix	TW	BS	56	123	67	3	
34B	Hedera helix	TW	BS	64	81	17	5	
35B	Hedera helix	TW	BS	57	110	53	1	
36B	Hedera helix	TW	BS	55	118	63	1	
37B	Hedera helix	GW	BS	46	59,5	13,5	2	
38B	Hedera helix	GW	BS	41	105	64	6	
39B	Hedera helix	GW	BS	32	38	6	2	
40B	Hedera helix	TW	BS	39	58,9	19,9	3	

Tab. 12: Průměrné rozdíly výšek rostlin *H. helix* (IS - inertní substrát, BS – inertní substrát + biochar, TW – čistá voda, GW – šedá voda)

Cell No.	voda/substrát	průměrný rozdíl	směrodatná odchylka	dolní hranice - 95,00 %	horní hranice +95,00 %	počet vzorků
1	GW	36,34	10,2449	14,62265	58,05735	10
2	TW	44,19	10,2449	22,47265	65,90735	10
1	IS	41,49	10,2449	19,77265	63,20735	10
2	BS	39,04	10,2449	17,32265	60,75735	10

Na obr. 12 jsou vidět průměrné hodnoty jednotlivých výběrů (osa y). Kromě samotných průměrů je znázorněn i interval hodnot, ve kterém se dá očekávat průměrná hodnota při vyšším počtu pozorování. Na ose x je vyznačeno, které hodnoty se týkají čisté a šedé vody. Jak je vidět, rostliny zalévané šedou vodou (GW), rostly hůře, než

rostliny zalévané čistou vodou (TW). Co se týče substrátu, rozdíl jsou pouze minimální, lépe se však dařilo rostlinám rostoucím pouze v inertním substrátu (IS) než rostlinám, které rostly v biocharu (BS). Vlivy jednotlivých faktorů nejsou podle výsledků významné. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.



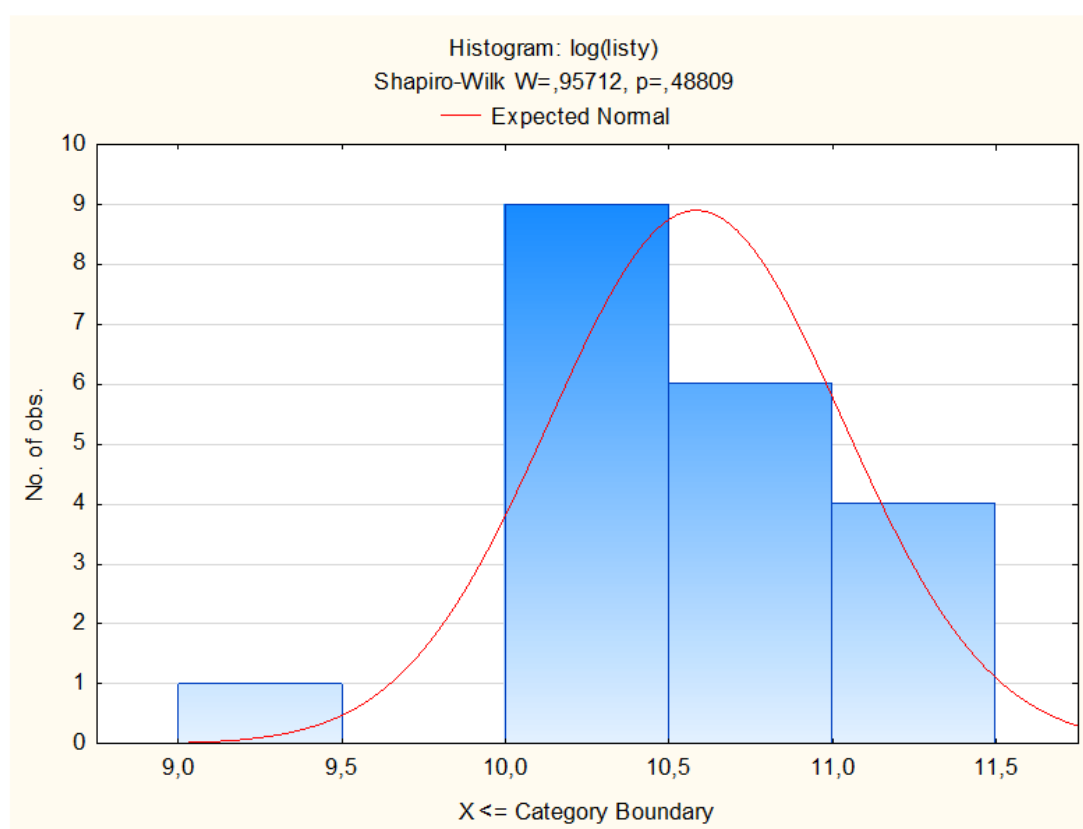
Obr. 12: Průměrné hodnoty jednotlivých výběrů (horní a spodní hranice označují maximum a minimum, kruh či čtverec uvnitř značí průměr; hodnoty na ose y jsou logaritmičsky transformovány).

IS - inertní substrát, BS – inertní substrát + biochar, TW – čistá voda, GW – šedá voda

8.1.4

Počet listů – *Hedera helix*

Předpoklad, že je počet listů ovlivněn použitým substrátem, blokem a zálivkou, byl testován pomocí modelu ANOVA. Samotnému testování předcházela test normality dat (Shapiro Wilkův test), který neprokázal narušení normality ($W = 0,95712$; $p = 0,48809$). Následně byla použita parametrická ANOVA. Histogram počtu vytvořených listů je zobrazen na obr. 13.



Obr. 13: Histogram počtu dosažených listů *H. helix*

Test bloku - vliv bloku na rozdíly výšek byl testován pomocí ANOVA. Z výsledků je patrné, že blok nemá statisticky významný vliv na tuto růstovou charakteristiku ($F_{5,12} = 2,22$, $p = 0,109788$). Protože blok nemá vliv na výšku rostliny, byl z konečného modelu odstraněn. Kompletní výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 13. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 13: Test bloku

Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1	1996,243	131131,33	0
Block	5	0,338	2,22	0,109788
Error	14	0,152		

Vliv faktorů substrátu a typu zálivky - z výsledků dvoufaktorové ANOVA je patrné, že typ substrátu nemá statisticky významný vliv na počet listů rostlin ($F_{5,12} = 0,005$, $p = 0,946169$), ani vliv zálivky a interakce mezi zálivkou a substrátem není statisticky významný. Kompletní výsledky analýzy jsou uvedeny v tab. 14. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 14: Vliv faktorů

Effect	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1	2240,182	9881,101	0
Water	1	0,003	0,015	0,903395
Substrate	1	0,001	0,005	0,946169
Water*Substrate	1	0,186	0,82	0,378682
Error	16	0,227		

V tab. 15 vidíme rozdíly měření mezi počátečním stavem počtu listů a konečným stavem počtu listů. Z tabulky lze vyčíst, že 8 z 20 vzorků zaznamenaly pokles v počtu listů a 12 vzorků z 20 zaznamenaly nárůst v počtu listů.

Tab. 15: Rozdíl mezi počátečním a konečným stavem počtu listů *Hedera h.*

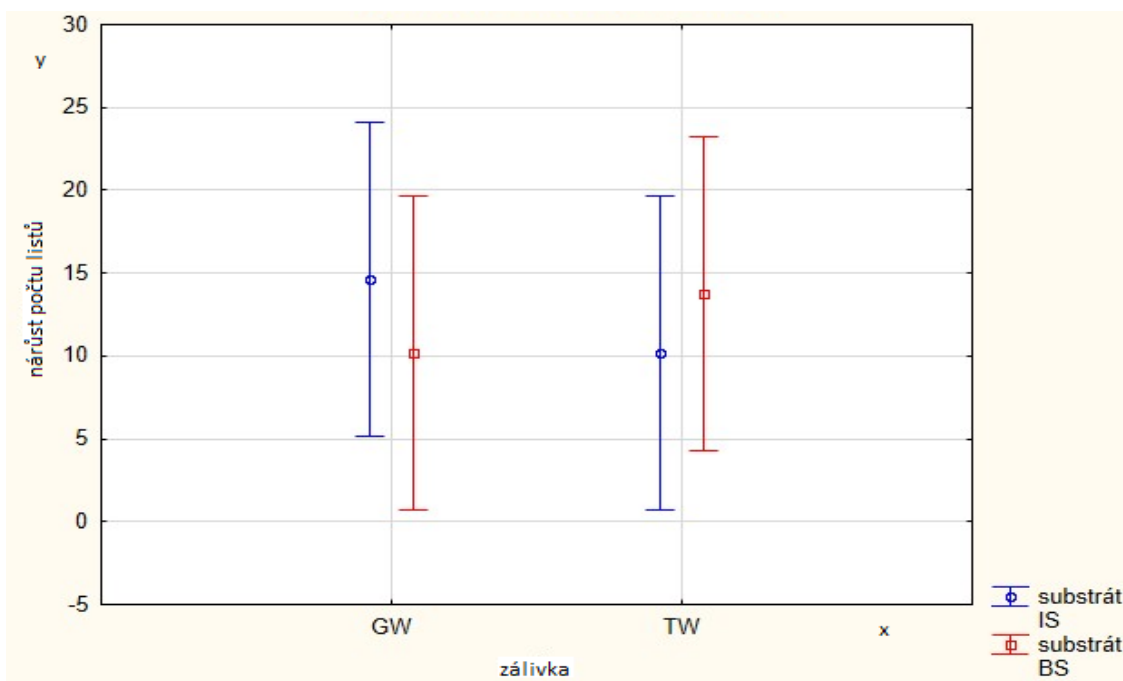
číslo vzorku	druh	water	substrát	počáteční stav	konečný stav	rozdíl	blok	LEGENDA
21	Hedera helix	GW	IS	27	40	13	6	TW = čistá voda
22	Hedera helix	GW	IS	24	52	28	2	GW = šedá voda
23	Hedera helix	TW	IS	23	46	23	3	IS = inertní substrát
24	Hedera helix	TW	IS	7	14	7	1	BS = IS + biochar
25	Hedera helix	GW	IS	6	14	8	4	
26	Hedera helix	TW	IS	15	4	-11	5	
27	Hedera helix	GW	IS	19	29	10	2	
28	Hedera helix	TW	IS	16	36	20	3	
29	Hedera helix	GW	IS	13	27	14	4	
30	Hedera helix	TW	IS	12	24	12	1	
31B	Hedera helix	GW	BS	15	33	18	4	
32B	Hedera helix	GW	BS	22	30	8	4	
33B	Hedera helix	TW	BS	42	65	23	3	
34B	Hedera helix	TW	BS	23	26	3	5	
35B	Hedera helix	TW	BS	24	50	26	1	
36B	Hedera helix	TW	BS	14	23	9	1	
37B	Hedera helix	GW	BS	12	14	2	2	
38B	Hedera helix	GW	BS	16	34	18	6	
39B	Hedera helix	GW	BS	11	16	5	2	
40B	Hedera helix	TW	BS	13	21	8	3	

Průměrné rozdíly v počtu listů - v tabulce 16 jsou uvedené průměrné rozdíly v počtu listů pro jednotlivé substráty a typ zálivky. Z výsledků je patrné, že typ substrátu ani typ zálivky nemají významný vliv na tuto růstovou charakteristiku. Význam jednotlivých ukazatelů je uveden v kapitole 12.

Tab. 16: Průměrné rozdíly v počtu listů (IS - inertní substrát, BS – inertní substrát + biochar, TW – čistá voda, GW – šedá voda)

Cell No.	voda	substrát	průměrný rozdíl	směrodatná odchylka	dolní hranice - 95,00 %	horní hranice +95,00 %	Počet
1	GW	IS	14,6	4,468781	5,126608	24,07339	5
2	GW	BS	10,2	4,468781	0,726608	19,67339	5
3	TW	IS	10,2	4,468781	0,726608	19,67339	5
4	TW	BS	13,8	4,468781	4,326608	23,27339	5

Na obr. 14 jsou vidět průměrné hodnoty jednotlivých výběrů (osa y). Kromě samotných průměrů je znázorněn i interval hodnot, ve kterém se dá očekávat průměrná hodnota při vyšším počtu pozorování. Na ose x je vyznačeno, které hodnoty se týkají čisté a šedé vody. Bylo zjištěno, že rostliny zalévané šedou vodou (GW) v kombinaci s inertním substrátem (IS) rostly lépe, než rostliny zalévané šedou vodou (GW) v kombinaci s biocharem. Co se týče vody čisté (TW), tam je to přesně naopak. Rostliny zalévané čistou vodou (TW) v kombinaci s biocharem (BS), rostly lépe než, rostliny zalévané čistou vodou (TW) v kombinaci s inertním substrátem (IS).



Obr. 14: Průměrné hodnoty jednotlivých výběrů (horní a spodní hranice označují maximum a minimum, kruh či čtverec uvnitř značí průměr)

IS - inertní substrát, BS – inertní substrát + biochar, TW – čistá voda, GW – šedá voda

9 Diskuse

Cílem mé bakalářské práce bylo posoudit životaschopnost testovaných rostlin v odlišných kontrolovaných podmínkách. Testovaly se rostliny s odlišnou závlahou (šedá voda, čistá voda) a s rozdílným typem substrátu (biochar, inertní substrát s přidávkem biocharu). Dalším úkolem bylo vybrat rostliny, které jsou vhodné pro zalévání šedou vodou a rostliny, které jsou vhodné pro vertikální zahrady a v poslední řadě vyhodnotit vliv biocharu na růst rostlin. Pokud budeme vycházet z výsledků, ke kterým jsem se dopracoval nasbíranými daty a následnou statistickou analýzou, lze usoudit, že *Festuca ovina* i *Hedera helix* by se daly považovat za poměrně odolné rostliny, které jsou schopny růstu v horších životních podmínkách a dokážou si poradit se znečištěným prostředím. Jsou schopny přežít i v nádobách, kde mají menší prostor k rozvoji kořenového systému.

Co se týče zálivky, tak byly zaznamenány pouze drobné rozdíly mezi rostlinami, které byly zalévány šedou a čistou vodou (pouze v řádech destin až setin %). Z tohoto zjištění lze usoudit, že *Festuca ovina* i *Hedera helix* jsou vhodné pro zalévání šedou vodou a šedá voda tyto rostliny nijak významně neovlivňuje po růstové stránce. Nebyl zaznamenán nijak významný úbytek biomasy ani nadzemní části testovaných rostlin.

Rozdíly mezi inertním substrátem a biocharem byly také minimální, spíše by se mohlo zdát, že zde aplikace biocharu byla spíš na škodu než k užítku. Blahodárné účinky biocharu, o kterých píše například (Laghari et al. 2015) ve své studii se nepotvrdily. U některých vzorků došlo k úbytku biomasy a ke ztrátám délky nadzemní části. Ovšem poznatek, který uvedl ve své studii (Hussain et al. 2017), že účinnost biocharu není vždy významná v úrodných, nebo zdravých půdách, by se mohl v tomto případě považovat za akceptovatelný.

V úvahu se musí brát fakt, že je důležité, jaký typ biocharu je v experimentu použit. Roli může hrát výroba, zda byl biochar vyroben mikrovlnovým zahříváním, nebo zda byl připraven v zahřívacích pecích. Důležitý je taky výchozí materiál, z kterého byl biochar připraven. Mohou se lišit účinky biocharu připraveného ze dřeva, z kukuřice, nebo třeba rýžových slupek. Určitý vliv může mít i oblast, ze které výchozí materiál pro výrobu pochází. Více o těchto určitých faktorech ve své diplomové práci pojednává Zuzana Dvořáková z Masarykovy Univerzity v Brně. (Dvořáková, 2017). Je možné, že kdybychom v tomto experimentu použili jiný druh biocharu, dosáhli bychom jiných výsledků.

David Řezníček, rovněž z Masarykovy Univerzity v Brně, ve své diplomové práci pojednává o vlivu biocharu na růst vybraných zemědělských plodin. V této práci je mimo jiné zmíněn potenciál biocharu zlepšovat půdní vlastnosti a schopnost účinně absorbovat oxid uhličitý, což se jeví jako jedna z vedlejších pozitivních vlastností v souvislosti s klimatickými změnami. Pro nádobový experiment byla jako hlavní rostlina vybrán ječmen setý (*Hordeum vulgare*). Pozitivní vliv biocharu byl prokázán pouze v případě se současnou aplikací minerálního dusíku. (Řezníček, 2020). Tento pokus je z části podobný tomu našemu, experiment probíhal v nádobách za kontrolovaných podmínek a bylo zde použito hnojivo na dusíkaté bázi.

Studie, kterou provedl (Pinto et al. 2010), se zabývá skleníkovým experimentem, který vznikl za účelem zkoumání účinků šedé vody na růst rostlin řepy obecné (*Beta vulgaris*). Pokus byl rozdělen do tří treatmentů, T0 – 100 % zavlažování pitnou vodou, T1 – 100 % zavlažování šedou vodou, T2 – střídavé zavlažování 1:1 pitnou a šedou vodou. Výsledky ukázaly, že zavlažování šedou vodou nemělo po sklizni rostlin žádný významný vliv na celkový obsah dusíku (N) v půdě, ani na celkový obsah fosforu (P) v půdě. Významně se však lišila hodnota pH půdy a elektrická vodivost půdy (EC). Jiné významné rozdíly nebyly zaznamenány. Rostliny, zalévané šedou vodou, měly stejnou spotřebu vody, stejný podíl suché biomasy, i počet listů. Výsledky T2 ukázaly, že střídavé zavlažování řepy obecné (*Beta vulgaris*) mělo pH půdy a elektrickou vodivost půdy (EC) na úrovni podobné hladinám zavlažování 100 % pitnou vodou (T0). Toto zjištění by mohlo snížit některá zdravotní rizika půdy spojená s opětovným použitím šedé vody.

Závěry zkoumání tohoto skleníkového experimentu, které provedl (Pinto et al. 2010), jsou z části shodné s výsledky našeho nádobového experimentu. Druh zálivky neměl statisticky významný vliv na růst rostlin, na podíl biomasy, ani na spotřebu vody.

Výsledky, ke kterým jsem došel, jsou neprůkazné a rozdíly mezi jednotlivými treatmenty jsou opravdu minimální, daly by se považovat spíše za náhodné. Na základě sběru dat a v porovnání s odbornými zdroji lze vyvodit, že přídavek biocharu do interního substrátu nemá pozitivní efekt na růst a rozvoj rostlin. Zajímavým zjištěním je také, že kombinace šedé vody (GW) a biocharu (BS) prokazuje nejhorší růstové hodnoty – otázkou je proč?

Dále je potřeba zmínit, že pokus pokračuje dál a postupem času bychom se mohli dopracovat k jiným výsledkům. Doposud byly rostliny pod plnou a pravidelnou závlahou a účinek biocharu se může pozitivně projevit až ve chvíli, kdy se rostliny dostanou do stresové situace a budou trpět nedostatkem vláhy. Touto teorií, kdy se rostliny budou stresovat suchem se budu zabývat v další části pokusu.

10 Závěr

Autor práce z dosažených výsledků usuzuje, že výsledky, ke kterým došel, jsou neprůkazné a rozdíly mezi jednotlivými treatmenty jsou minimální a daly by se považovat spíše za náhodné. Doloženou statistickou analýzou lze vyvodit, že testované rostliny *Festuca ovina* i *Hedera helix*, které se dají považovat za druhy dobře se adaptující na stresové růstové podmínky, jako například nedostatek závlahy, stísněné prostředí pro růst kořenového systému a schopnost tvořit přírůstky biomasy i při zálivce šedou vodou, jsou vhodnými adepty na aplikaci do vegetačních ozeleněných stěn.

V případě hodnocení vlivu zálivky na růst rostlin čistou vodou a šedou vodou, byly zaznamenány pouze drobné rozdíly mezi oběma druhy rostlin, a to v rozmezí desetin až setin %. Z tohoto zjištění lze usoudit, že *Festuca ovina* i *Hedera helix* jsou vhodné pro zalévání šedou vodou a šedá voda tyto rostliny nijak významně neovlivňuje po růstové stránce. Z tohoto zjištění lze usoudit, že rostliny *Festuca ovina* i *Hedera helix*, jsou díky svým vlastnostem vhodné pro vertikální zahrady.

Rozdíly v přírůstku biomasy pro oba druhy rostlin pěstovaných v intertním substrátu a v substrátu s 4% podílem biocharů byly také minimální, a to ve výši desetin až setin %. Na základě sběru dat a v porovnání s literárními zdroji lze vyvodit, že přidavek biocharu do interního substrátu nemá pozitivní efekt na růst a rozvoj rostlin. V některých případech byl zaznamenán úbytek biomasy a ztráta nadzemní části.

Jestliže v současné době je aktuálním požadavkem snížení množství pitné vody na závlahu, zároveň způsob ozelenění budov ve městech a fungování urbanistických celků podle principů smart cities, pak lze tento projekt dále rozvíjet a testovat další druhy rostlin. Určitě se jedná o příslib do budoucna, jak snížit spotřebu pitné vody a stále narůstající teplotu ve městech. Z tohoto hlediska jsou vegetační stěny vhodným řešením.

11 Literatura

1. Annabi M., Le Bissonnais Y., Le Villio-Poitrenaud M., Houot S., 2011: Improvement of soil aggregate stability by reported applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 144, 382–389.
2. Atanasova N., Dalmau., Comas J., Poch M., Rodriguez-Roda I., Buttiglieri G., 2017: Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities.
3. Baumann I.R., 1986: The Constructural Importance of Climbing Plants.
4. BERANOVÁ, Kubačák A., Kubačáková M., 2010: Dějiny zemědělství v Čechách a na Moravě. Praha: Libri, 2010. ISBN.
5. Bindraban P.S., van der Velde M., Ye L., van den Berg M., Materechera S., Innocent Kiba D., Tamene L., Vala Ragnarsdottir K., Jongschaap R., Hoogmoed M., 2012: Assessing the impact of soil degradation on food production.
6. botany.cz, dostupné z: <https://botany.cz/cs/festuca-ovina/>
7. British Standard BS 8525-1:2010. Greywater systems – Part 1: Code of practice. UK: BSI, 2010.
8. British standard BS 8525-1:2010. Greywater systems – Part 2: Domestic greywater treatment equipment – Requirments and test methods. UK: BSI, 2010.
9. Bruun T.B., Elberling B., Neergaard A.D., Magid J., 2015: Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. 272-283.
10. Čermáková B., Mužíková R., 2009: Ozeleněné střechy. Nakladatelství Grada. ISBN.
11. Český statistický úřad [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/>.
12. Dalahmeh, Pell M., Vinneras B., Hylander L.D., Oborn I., Johnsson H., 2012: Efficient of bark, activated charcoal, foam and sand filters in reducing pollutants from greywater.

13. David J.M., 2015: Biochar and compost increase crop yields but the effect is short term on sandplain soils of Western Australia.
14. Deenik J.L., Diarra A., Uehara G., Campbell S., Sumiyoshi Y., Antal M.J., 2011: Charcoal ash and volatile matter effects on soil properties and plant growth in an acid Ultisol.
15. Dohányos M., Koller J., Strnadová N., 1998: Čištění odpadních vod. Vydavatelství VŠCHT. ISBN.
16. Dunnett N., Kingsbury N., 2008: Planting green roofs and living walls ISBN.
17. Dvořáková Z., 2017: Biouhel – prostředek pro remediace a zvýšení kvality půd, diplomová práce. Dostupné z: (<https://theses.cz/id/boj13i/?isslhret=biochar%3B;zpet=%2Fvyhledavani%2F%3Fsearch%3Dbiochar%26start%3D2>).
18. El-Naggar A., Lee S. S., Rinklebe J., Farooq M., Song H., Ajit K., Sarmah, Zimmerman A. R., Ahmad M., Shaheen S. M., Ok Y. S., 2019: Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* 2019 (536-554).
19. FAO - (The Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2011: The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)—Managing Systems at Risk; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy. Earthscan, London, UK. Dostupné online: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>.
20. Finley S., Barrington D., Lyew., 2009: Reuse of domestic greywater for the irrigation of food crops.
21. Fjeldt., Veiersted B., Sandvik L., Riise G., Levy F., 1998: The Effect of Indoor Foliage Plants on Health and Discomfort Symptoms among Office Workers.
22. Friedler E., Yardeni A., Gilboa Y., Alfiya Y., 2011: Disinfection of greywater effluent and regrowth potential of selected bacteria.
23. Gilboa Y., Friedler E., 2008: UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms.
24. Glaser B., Lehmann J., Zech W., 2002: Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal— a review. *Biol. Fertil. Soils* 35, 219–230.

25. Green Roof Organization, 2008: Introduction to Green Walls Technology, Benefits and Design September 2008 (dostupné z: https://greenscreen.com/docs/Education/greenscreen_Introduction%20to%20Green%20Walls.pdf).
26. Gross A., 2008: Reliability of small scale greywater treatment systems and the impact of its effluent on soil properties.
27. Gross A., Shmueli, Ronen O., Z. & E. Raveh., 2007: Recycled vertical flow constructed wetland (RFCW) a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. 916-923.
28. Gul S., Whalen J.K., 2016: Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils – review paper. *Soil Biol. Biochem.* 103, 1-15.
29. Halalsheh, Dalahmeh M., Sayed S., Suleiman M., Shareef W., Mansour M., Safi M., 2008: Grey Water Characteristics and treatment options for rural areas in Jordan.
30. Havlin J.L., Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D., 2014: *Soil Fertility and Nutrient Management: An Introduction to Nutrient Management*, 8th edition. Pearson, Upper Saddle River, NJ 505.
31. Hernandez L., Temmink L., H. Zeeman G., Buisman C., 2010: Comparison of three systems for biological greywater treatment.
32. Hlaváček J., 2004: Mezinárodní spolupráce při ochraně vod, *Mezinárodní politika*, roč. XXVIII., č. 7, 2004.
33. Hnátková T., Dvořák P., 2019: Projekt SWAMP – Dekonta a.s. (PREZENTACE).
34. <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100053094.html>
35. http://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2016_ifa_reetz.pdf.
36. Huelgas A. & Funamizu N., 2010: Flat-plate submerged membrane bioreactor for the treatment of higher-load greywater.
37. Hussain M., Farooq M., Nawaz A., Al-Sadi A.M., Solaiman Z.M., Alghamdi S.S., Ammara U., Ok Y.S., Siddique K.H., 2017: Biochar for crop production: potential benefits and risks. *J. Soils Sediments* 17, 685–716.
38. Igalavithana A.D., Ok Y.S., Usman A.R., Al-Wabel M.I., Oleszczuk P., Lee S.S. 2015: The Effects of Biochar Amendment on Soil Fertility. *Agricultural*

- and Environmental Applications of Biochar. Advances and Barriers. Soil Science of America.
39. Jakobi G., Löhr A., 1987: Detergents and textile washing: principles and practise. ISBN.
 40. Jeffery S., Meinders M.B., Stoof C.R., Bezemer T.M., van de Voorde, T.F., Mommer, L., Groenigen J.W., 2015: Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma* 251, 47–54.
 41. Johnston J., Newton J., 2004: Building Green “A guide to using plants on roofs, walls and pavements”, Greater London Authority. London ISBN.
 42. Jong J., Lee J., Kim J., Hyun K., Hwang T., Park J., Choung Y., 2010: The study of pathogenic microbial communities in greywater using membrane bioreactor.
 43. KADRNOŽKA J., 2008: Globální oteplování Země: příčiny, průběh, důsledky, řešení. Vyd. 1. Brno: VUTIUM, ©2008. 467 s. ISBN 978-80-214-3498-1.
 44. Khalifa N., Yousef L.F., 2015: A short report on changes of quality indicators for a sandy textured soil after treatment with biochar produced from fronds of date palm. *Energy Procedia* 74, 960-965.
 45. Kloss S., Zehetner F., Wimmer B., Buecker J., Rempt F., Soja G., 2014: Biochar application to temperate soils: effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions.
 46. Köhler M., 2008: Green facades a view back and some visions.
 47. Krishnan V., Ahmad D., Jeru J.B., 2008: Influence of COD:N:P ratio on dark greywater treatment using a sequencing batch reactor.
 48. Laghari M., Mirjat M.S., Hu Z., Fazal S., Xiao B., Hu M., Chen Z., Guo D., 2015: Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. *Catena* 135, 313–320.
 49. Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R., Karlen D., 2010: Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158, 436–442.
 50. Lal R., 2002: Encyclopedia of soil science. New York: Marcel Dekker, c2002, ISBN 08-247-0634-X.

51. Lamine M., Bousselmi L., Ghrabi A., 2007: Biological treatment of greywater using sequencing batch reactor.
52. Lehmann J., da Silva J.P., Steiner C., Nehls T., Zech W., Glaser B., 2003: Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the central Amazon Basin: fertilizer, manure and charcoal amendments.
53. Le Minh, Khan S.J., Drewes J.E., Stuetz R.M., 2010: Fate of antibiotics during municipal water recycling treatment processes.
54. Lin Z., Liu Q., Liu G., Cowie, A.L., Bei, Q., Liu, B.I.U., Wang, X., Ma, J., Zhu, J., Xie, Z., 2017: Effects of different biochars on *Pinus elliotti* growth, N use efficiency, Soil N₂O and CH₄ emissions and C storage in a subtropical area of China. *Pedosphere* 27, 248-261.
55. Loh S., 2008: LIVING WALLS A WAY TO GREEN THE BUILT ENVIROMENT.
56. Maimon A., Fiedler E., Gross A., 2014: Parameters affecting greywater quality and its safety for reuse.
57. Merz C., Scheumann R., El Hamouri B., Kraume M., 2007: Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisuer club.
58. Naučný slovník zemědělský. Díl 2., E-J. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1968. ISBN.
59. Nátr L., 2006: Země jako skleník Academia ISBN.
60. Nyssen J., Frankl A., Zenebe A., Poesen J., Deckers J., 2015: Environmental conservation for food production and sustainable livelihood in Tropical Africa. *Land Degrad.*
61. Oteng M., Peprah, Acheampong M.A., deVries N. K., 2018: Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception – a Review. (2018).
62. O'Toole J., Sinclair M., Malawaraarachchi M., Hamilton A., Barker, Leder K., 2012: Microbial quality assessment of household greywater.
63. Ottelé M., 2010: Vertical greened surfaces and the potential to reduce air pollution and the improvment of the insulation value of buildings.

64. Ottoson J., Stenstrom T.A., 2003: Faecal contamination of greywater and associated microbial risks.
65. PALMQUIST H., HANAEUS J., 2005: Hazardous substances in separately collected grey – and blackwater from ordinary Swedish households (2005): *Sci. Tot. Env.*, 348, pp. 151-163.
66. Parjane & Sane., 2011: Performance of greywater treatment plant by economical way for Indian rural development.
67. Pathan R.B., Mahar K., Ansari., 2011: Preliminary study of greywater treatment through rotating biological contactor Mehran Univ Res.
68. Peck S.W., Callaghan C., et al., 1999: GREENBACKS FROM GREEN ROOFS: FORGING A NEW INDUSTRY IN CANADA.
69. Pinto U., Maheshwari B.L., Grewal H.S., 2010: Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties.
70. Plotěný K., 2011: Dělení vod, bílé a šedé vody – nové poznatky a možnosti využití, sborník semináře Vodohospodářské chut'ovky Brno, ASIO, spol. s.r.o. s 21-21 (ASIO.cz).
71. Pretel J., 2012: Klimatické změny a jejich dopady na život lidí [online]. In: Ostrava, 2012, s. 40 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: projekty.osu.cz/./wp./3.1.Klimatickézměny-a-jejich-dopady-na-život-lidí.pdf.
72. Rajkovich S., Enders A., Hanley K., Hyland C., Zimmerman A.R., Lehmann J., 2012: Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biol. Fertil. Soils* 48, 271–284.
73. Randolph, Bansode P., Hassan R.R., Rehrah O.A., Ravella D., Reddy R., Watts M.R., Novak D.W., Ahmedna J. M., 2017: Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters. *J. Environ. Manag.* 192, 271-280.
74. Revit, Eriksson D.M., Donner E., 2011: The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads.
75. Řezníček D., 2020: Vliv aplikovaného biouhlu na biologickou aktivitu půdy a růst vybrané zemědělské plodiny.

76. Scheumann R. & Kraume M., 2009: Influence of hydraulic retention time on the operation of a submerged membrane sequencing batch reactor (SM-SBR) for the treatment of greywater.
77. Schmidt H.P., Pandit B.H., Martinsen V., Cornelissen G., Conte P., Kammann C.I., 2015: Fourfold increase in pumpkin yield in response to low-dosage root zone application of urine-enhanced biochar to a fertile tropical soil.
78. Shaheen S.M., Rinklebe J., 2015: Impact of emerging and low cost alternative amendments on the (im)mobilization and phytoavailability of Cd and Pb in a contaminated floodplain soil.
79. Sharp. R., 2007: 6 Things You Need to Know About Green Walls (dostupné z <https://www.bdcnetwork.com/6-things-you-need-know-about-green-walls>).
80. Shepherd J.G., Buss W., Sohi S.P., Heal K.V., 2017: Bioavailability of phosphorus, other nutrients and potentially toxic elements from marginal biomass. derived biochar assessed in barely (*Hordeum vulgare*) growth experiments.
81. Slavík B., Hejný S., 2003: Květena České republiky Academia.
82. Smith P., House J.I., Bustamante M., Sobocká J., Harper R., Pan G., West P.C., Clark J.M., Adhya T., Rumpel C., Paustian K., Kuikman P., Cotrufo M.F., Elliott J.A., McDowell R., Griffiths R.I., Asakawa S., Bondeau A., Jain A.K., Meersmans J., Pugh T.A.M., 2015: Global change pressures on soils from land use and management. *Glob. Chang. Biol.* 22, 1008–1028.
83. Spokas K.A., Cantrell K.B., Novak J.M., Archer D.W., Ippolito J.A., Collins H.P., Boateng A.A., Lima A.A., Lamb M.C., McAloon A.J., Lentz R.D., Nichols K.A., 2012: Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 41, 973–989.
84. Sutanto S. J., Vitolo C., Di Napoli C., D'Andrea M., Van Lanen H. A., 2020: Heatwaves, droughts, and fires: Exploring compound and cascading dry hazards at the pan-European scale.
85. Sushmitha M.B., H.N. Chanakya and Himanshu Kumar Khuntia., 2017: Efficient Grey Water Treatment and Reuse Options for India – A Review (2017).

86. Tang J., Zhu W., Kookana R., Katayama A., 2013: Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil. *Journal of Bioscience and Bioengineering* (653-659).
87. Thompson J.W., Solvig. K., 2000: *Sustainable Landscape Construction: A Guide to Green Building Outdoors*, Washington D.C: Island Press.
88. Timur Ö.B., Karaca E., 2013: *Vertical Gardens*
89. Travis M.J., Wiel-Shafran A., Weisbrod N., Adar E., Gross A., 2010; *Greywater reuse for irrigation: effect on soil properties.*
90. UNEP, 2009: *UNEP Year Book 2009*, Nairobi, UNEP, on-line verze (http://hqweb.unep.org/publications/UNEPeBooks/UNEP_YearBook2009_ebook.pdf).
91. Usman A.R., Ahmad M., El-Mahrouky M., Al-Omran A., Ok Y.S., Sallam A.S., ElNaggar A.H., Al-Wabel M.I., 2015: Chemically modified biochar produced from conocarpus waste increases NO₃ removal from aqueous solutions. *Environ. Geochem. Health* 38, 511–521.
92. Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan K.Y., Downie A., Rust J., Joseph S., Cowie A., 2010: Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327, 235–246.
93. Voltr V., 2012: Concept of soil fertility and soil productivity: evaluation of agricultural sites in the Czech Republic. *Arch. Agron. Soil Sci.* 58, 5243-5251.
94. Wolf K.L., 2002: *Retail and Urban Nature: Creating a Consumer Habitat*, at the People/Plant Symposium, Amsterdam.
95. Yara, 2017: *Yara fertilizer industry handbook* [online]. Dosupné z: https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2017/fertilizer-industry-handbook_2017_slides_only.pdf/.
96. Yeh.Y.P., 2012: *Green Wall – The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect*. National Chung – Hsing University (2012).
97. Ye Y., Ding Y., Jiang Q., Wang F., Sun J., Zhu C., 2017: The role of receptor-like protein kinases (RLKs) in abiotic stress response in plants. *Plant Cell Reports* 36:235–242. Available from <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2084-x>.

98. Yue Y., Cui L., Lin Q., Li G., Zhao X., 2017: Efficient of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. *Chemosphere* 173, 551–556.
99. Zhang A., Liu Y., Pan G., Hussain Q., Zheng J., Zhang X., 2012: Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic.
100. Zhang R., Zhang Y., Song L., Song X., Hänninen H., Wu J., 2017: Biochar enhances nut quality of *Torreya grandis* and soil fertility under simulated nitrogen deposition. *For. Ecol. Manag.* 391, 321–329.

12 Seznam použitých zkratek a pojmů

PVC = Polyvinylchlorid (druh plastu)

dB = Decibel (jednotka pro měření intenzity zvuku)

UHI = Urban Heat Island (Městský tepelný ostrov)

BC = Biochar

FAO = Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organizace pro výživu a zemědělství)

RBC = Rotující biologické kontakty

HRT = Hydraulické retenční časy

MBR = Membránový bioreaktor

SBR = Sekvenční dávkový reaktor

GW = Grey water (šedá voda)

TW = Tap water (voda z kohoutku/čistá voda)

IS = Inertní substrát

BS = Biochar + inertní substrát

ANOVA = Analysis of variance (Analýza rozptylu)

P hodnota = Dosažená hladina významnosti

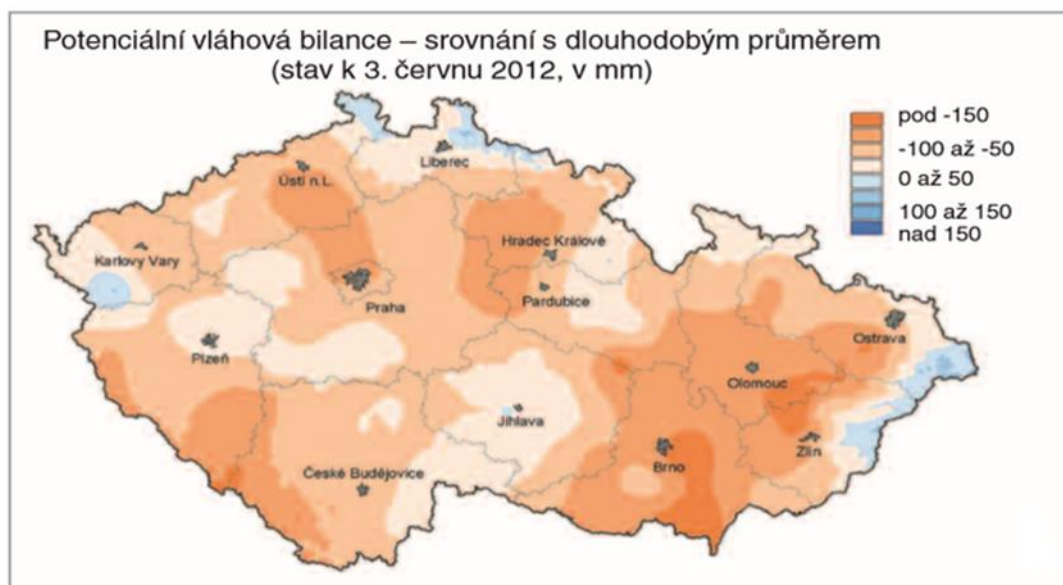
DF = Stupně volnosti

DESAR = Koncepce decentralizovaného odvádění odpadních vod

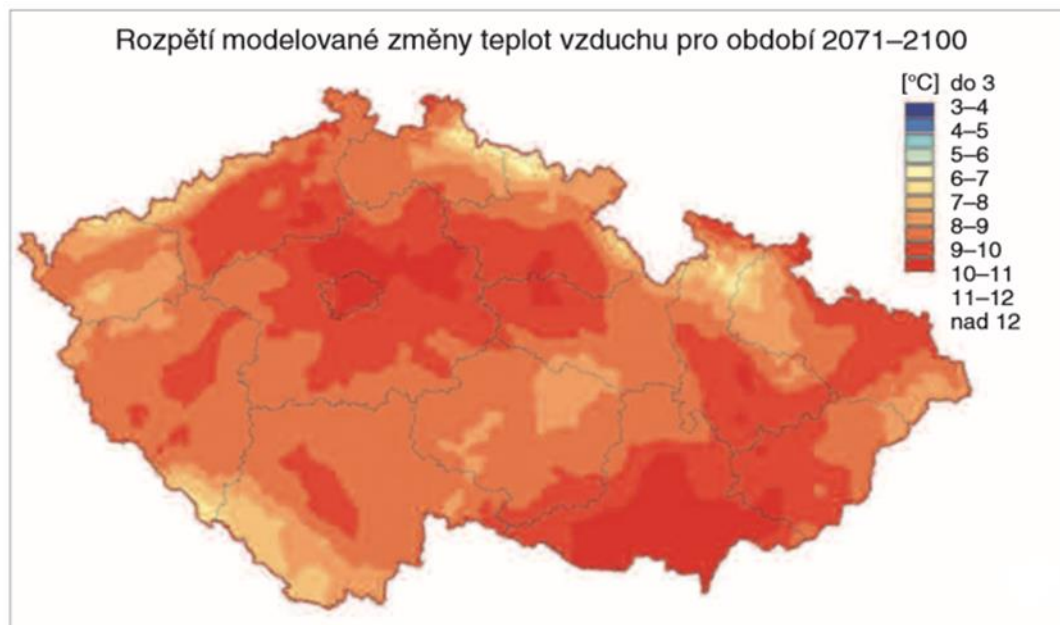
Electical conductivity (EC) = Elektrická vodivost půdy

13 Samostatné přílohy

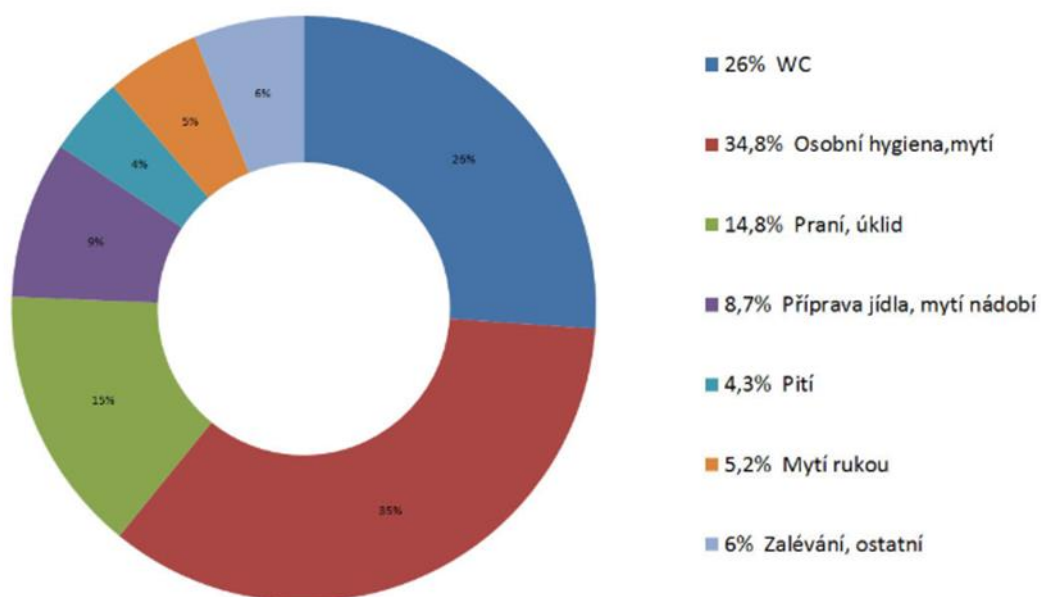
Příloha 1: Potencionální vláhová bilance v důsledku klimatických změn (Rožnovský, 2014, dostupné z ziva.avcr.cz)



Příloha 2: Potencionální změny teplot vzduchu (Rožnovský, 2014, dostupné z ziva.avcr.cz)



Příloha 3: Průměrná spotřeba vody v domácnosti (SCVK.cz, dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>)



Příloha 4: Příklad vertikálních zahrad letiště Istanbul (vlevo), letiště Antalya (vpravo), (Timur, Karaca, 2013), (<http://www.aktasplant.com> 2013)



Příloha 5: BHV Homme Paříž (vlevo), Pacha THE Driver Londýn (vpravo), (Timur, Karaca, 2013) (<http://retailsquare.blogspot.com> 2013)



Příloha 6: Plánek rozmístění rostlin

Blok 1	9	85	105	45	65	24	129	TW	LEGENDA <i>Festuca ovina</i> <i>Hedera helix</i> <i>Alium schoenoprasum</i> <i>Heuchera americana</i> <i>Deschampsia cespitosa</i> <i>Vinca minor</i> <i>Hilotelephium maximum</i> TW = čistá voda GW = šedá voda B = biochar
	36B	14B	91B	119B	51B	139B	75B	TW	
	123	64	30	7	84	104	44	TW	
	97B	56B	71B	35B	16B	131B	118B	TW	
Blok 2	110	125	10	89	22	63	50	GW	
	96B	120B	53B	132B	80B	37B	19B	GW	
	128	2	88	109	47	62	27	GW	
	78B	39B	111B	20B	99B	52B	140B	GW	
Blok 3	40B	18B	100B	117B	54B	138B	79B	TW	
	1	87	103	41	69	28	127	TW	
	83	43	70	23	5	126	108	TW	
	136B	73B	33B	12B	93B	113B	55B	TW	
Blok 4	86	107	49	130	67	25	4	GW	
	112B	135B	11B	92B	31B	72B	59B	GW	
	68	29	102	3	82	48	121	GW	
	134B	15B	95B	74B	60B	114B	32B	GW	
Blok 5	122	66	26	8	90	101	46	TW	
	17B	98B	116B	57B	76B	133B	34B	TW	
Blok 6	106	6	81	124	42	21	61	GW	
	94B	115B	13B	77B	38B	137B	58B	GW	

Příloha 7: Základní rozbor biocharu (Ing. Kadlecová ČZU, 2019)

vlastnost, veličina	jednotka vzorek	EBC standard		ÚKZÚZ Pomocná půdní	ČSN 46 5735 Průmyslové komposty
		základní	prémium		
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_{Hg}	g·cm ⁻³	0,346	-	-	-
skeletální hustota, ρ_{He}	g·cm ⁻³	1,95	-	-	-
porozita, ϵ	-	0,823	-	-	-
specifický povrch, S_{BET}	m ² /g	564	deklarace, nejlépe > 150	-	-
specifický povrch mesopóří, S_{meso}	m ² /g	258	-	-	-
specifický celkový objem póří, V_{tot}	mm ³ _{tot} /g	443	-	-	-
specifický objem mikropóří, V_{micro}	mm ³ _{micro} /g	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
prechavá 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, S1 ^d	% hm.	0,231	-	-	-
obsah spalitelné síry, S2 ^d	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 8: Rozbor biocharu (živiny, těžké kovy a PAH), (Ing. Kadlecová ČZU, 2019)

složka	jednotka	vzorek	EBC standard		ÚKZÚZ	ČSN 46 5735 Průmyslové komposty
			základní	prémium	Pomocná půdní látka	
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				
fluoranthren	mg/kg	< 0,05				
pyren	mg/kg	< 0,1				
benzo(a)anthracen	mg/kg	< 0,05				
chrysen	mg/kg	< 0,005				
benzo(b)fluoranthren	mg/kg	< 0,05				
benzo(k)fluoranthren	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 9: XRF analýza biocharu (Ing. Kadlecová ČZU, 2019)

vlastnost, složka	jednotka	vzorek
Al ₂ O ₃	hm. %	5,36
CaO	hm. %	41,1
Fe ₂ O ₃	hm. %	5,44
K ₂ O	hm. %	8,19
MgO	hm. %	5,84
MnO	hm. %	2,01
Na ₂ O	hm. %	2,45
P ₂ O ₅	hm. %	2,50
SiO ₂	hm. %	17,7
TiO ₂	hm. %	2,91
suma	hm. %	93,5

Příloha 10: Složení HOAGLAND (Ing. Kadlecová ČZU, 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. (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O

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

Jednotlivé složky byly naváženy na laboratorních vahách a rozpuštěny pomocí destilované vody. Následně bylo naměřeno ze zásobních roztoků vypočítané množství k celkovému požadovanému množství hnojiva 40 l (zásoby na 8 týdnů) dle předepsaných vzorců. u makroelementu.