

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí



**Zhodnocení vlivu biocharu, šedé vody a nízkých
teplot na růst rostlin pěstovaných ve
vertikálních zahradách**

Bakalářská práce

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

Konzultant práce: Ing. Martina Kadlecová

Bakalant: Eva Zemanová



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autorka práce:	Eva Zemanová
Studijní program:	Krajinářství
Obor:	Územní technická a správní služba
Vedoucí práce:	doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra aplikované ekologie
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Zhodnocení vlivu biocharu, šedé vody a nízkých teplot na růst rostlin pěstovaných ve vertikálních zahradách
Název anglicky:	Evaluation of the influence of biochar, gray water and low temperatures on the growth of plants grown in vertical gardens
Cíle práce:	Cílem práce je zhodnotit vliv biocharu a zavlažování šedou vodou na růst rostlin ve vertikální zahradě a posoudit jaké druhy rostlin jsou vhodné pro toto využití. Zhodnocen bude růst rostlin, přezimování a celková vitalita výsadby.
Metodika:	Ve vertikální zahradě je použito 120 rostlin ze 6 druhů. U rostlin bude v rámci práce zhodnocena celková prosperita, schopnost růstu za různých podmínek (umístění v rámci vertikální konstrukce, závlaha šedou vodou, přidání biocharu coby půdního aditiva). Dále bude zhodnoceno jak rostliny přezimovaly. Data budou statisticky analyzována. Bude vyhodnocena možnost využití jednotlivých druhů.
Doporučený rozsah práce:	40 stran, 3 grafy
Klíčová slova:	biochar, zavlažování šedou vodou, odolnost rostlin, vertikální zahrady
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none">1. BURIAN, Samuel. Vertikální zahrady střizlivým pohledem. SZUZ [online]. 20192. Jan Holan, 2013, Biouhel3. Lotfi YA. Vertical greening As a strategy for urban sustainable development incairo: perceptions and aesthetic preferences of architects and residents. Cario: Aast; 2014.4. Sharp, 2007; Green roof organization, 2008
Předběžný termín obhajoby:	2021/22 LS - FZP

Elektronicky schváleno: 27. 1. 2022
prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 1. 2. 2022
prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zhodnocení vlivu biocharu, šedé vody a nízkých teplot na růst rostlin pěstovaných ve vertikálních zahradách vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne:

Poděkování

Chtěla bych poděkovat doc. Ing. Kateřině Berchové, Ph.D. za odborné vedení mé práce a konzultantce Ing. Martině Kadlecové, která mně vše podrobně ukázala a obě mi věnovaly svůj čas.

Abstrakt

V posledních dekádách dochází ke stále vyššímu uplatnění vertikálních zahrad a živých zelených stěn, zejména v městských zástavbách. V souvislosti s jejich tvorbou je nutné vybrat vhodné druhy cévnatých rostlin, které toto extrémní prostředí budou tolerovat a zároveň s sebou ponese i estetickou hodnotu. Zásadní otázkou vedle druhového spektra vysazených rostlin je i substrát, jehož vlastnosti musí být přizpůsobeny použití ve vertikálních zahradách. Měl by být lehký a mít vysoké absorpční schopnosti. Proto se do substrátů používají půdní aditiva, jako je např. biochar. Dalším aspektem práce je způsob hospodaření s vodou v urbánním prostředí, kde je možné využít k závlaze vertikálních zahrad čištěné odpadní vody.

Bakalářská práce se věnuje zhodnocení vlivu biocharu na růst rostlin a zavlažování bílou vodou (tedy přečištěnou šedou odpadní vodou) ve vertikálních zahradách. Hlavním cílem práce je posoudit, zda zasazení ve 4 % biocharu a zavlažování rostlin šedou vodou je pro vybrané rostliny vhodné a zda prosperují. Práce dále hodnotí vliv nízkých teplot na schopnost přezimování rostlin.

Výsledky práce ukázaly, že vhodnými druhy pro pěstování ve vertikálních zahradách a lépe prosperujících v substrátu s přídavkem biocharu jsou rostliny *Deschampsia cespitosa*, *Hedera helix*, *Festuca ovina*, *Hylotelephium maximum* a *Heuchera americana*. *Vinca minor* nepřežil.

Klíčová slova

biochar, odolnost rostlin, vertikální zahrady, zavlažování šedou vodou.

Abstract

In recent decades, there has been an increasing use of vertical gardens and living green walls, especially in urban developments. In connection with their creation, it is necessary to select suitable types of vascular plants that will tolerate this extreme environment and at the same time carry aesthetic value with them. In addition to the species spectrum of planted plants, a fundamental issue is also the substrate, the properties of which must be adapted to use in vertical gardens. It should be light and have high absorption capabilities. Therefore, soil additives such as biochar are used in substrates. Another aspect of the work is the method of water management in an urban environment, where it is possible to use treated wastewater to irrigate vertical gardens.

The bachelor's thesis is devoted to the evaluation of the effect of biochar on plant growth and irrigation with white water (i.e., purified gray wastewater) in vertical gardens. The main goal of the work is to assess whether planting in 4% biochar and watering the plants with gray water is suitable for the selected plants and whether they thrive. The work also evaluates the effect of low temperatures on the ability of plants to overwinter.

The results of the work showed that plants *Deschampsia cespitosa*, *Hedera helix*, *Festuca ovina*, *Hylotelephium maximum* and *Heuchera americana*. *Vinca minor* did not survive) are suitable species for growing in vertical gardens and thrive better in a substrate with the addition of biochar.

Keywords

biochar, plant resistance, vertical gardens, gray water irrigation.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	3
3. Literární rešerše	4
3.1 Vertikální zahrady	4
3.1.1 Přínosy vertikálních zahrad.....	5
3.1.2 Instalace a údržba vertikální zahrady	5
3.1.3 Druhy vertikálních zahrad.....	8
4. Substrát	11
4.1. Biochar	12
5. Hnojiva.....	13
6. Střídavé teploty a vymrzání	14
6.1 Vymrzání a přezimování rostlin ve VZ	14
7. Šedá vody a její využití.....	15
7.1 Recyklace vod.....	15
8. Metodika	16
8.1 Použité rostliny pro výzkum	19
9. Výsledky práce.....	23
9.1 Porovnání vitality.....	23
9.2 Medián hodnot vitality rostlin.....	34
10. Diskuse.....	40
11. Závěr.....	41
12. Přehled literatury	42
12.1 Seznam obrázků.....	44
12.2 Seznam grafů.....	45
12.3 Seznam tabulek.....	46
12.4 Seznam příloh.....	46
13. Přílohy.....	47
13.1 Vertikální zahrada před PEF	53

1.Úvod

V současné společnosti se klimatické změny dostávají na první místo v problematice životního prostředí; přetrvávající dlouhá sucha a globální oteplování vedou k diskusi o nutnosti snižování emisí CO₂ (oxid uhličitý). Je zřejmé, že negativní změny klimatu nezapříčinil jen oxid uhličitý. Zejména ve městech a jejich blízkém okolí jsou problémem rozšiřující se betonové a asfaltové plochy, nad jejichž povrchem je vyšší teplota než v zeleni. Vznikají tak jakési tepelné „ostrovy“. V těchto místech navíc nedochází k vsakování dešťových srážek, ale k jejich rychlému odtoku do kanalizace. Proto tyto plochy nejen, že zhoršují mikroklima ve městech (vedra, nízká vlhkost vzduchu), ale v případě přívalových dešťů přispívají také k lokálním povodním, protože se velký objem napršené vody nestihne zasakovat a snadno překročí kapacitu kanalizační sítě.

Prostředků, jak zlepšit klima ve městech je několik, a ne všechny jsou vždy a všude použitelné. Patří sem např. výsadba alejí a parků nebo zakládání jezírek, kašen apod., což je samozřejmě determinováno místními podmínkami. Dalšími možnostmi je budování zpevněných ploch z porézních nebo dutých materiálů (šterk, zatravnovací dlažba), budování zasakovacích pásů, suchých poldrů atd.

Jedním ze způsobů zlepšování mikroklimatu v městské zástavbě je budování zelených střech a zelených vertikálních stěn. S touto variantou je důležité počítat při projektování nových staveb a hledat technická řešení pro již existující zástavbu (Burian, 2019).

Velkou roli hraje ve vertikálních zahradách substrát a jeho složení. Bez ohledu na typ konstrukce je substrátu vždy omezené množství a o to více záleží na jeho fyzikálně-chemických parametrech (Burian, 2019). Dalším důležitým faktorem je zálivka, jejíž četnost a složení musí respektovat jak druhy pěstovaných rostlin, tak i složení substrátu, aby nedocházelo k vysychání, přemokření, vymrznutí apod.

Ve své bakalářské práci popisuji zhodnocení vlivu biocharu, zavlažování bílou odpadní vodou a nízkých teplot na růst rostlin pěstovaných ve vertikální zahradě, který probíhal na České zemědělské univerzitě v Praze. Testováno bylo šest druhů rostlin, které jsou vhodné pro výsadbu do vertikálních zahrad a zároveň zda jsou vhodné pro zavlažování šedou vodou. Rostliny byly sledovány dva roky a průběžně byl hodnocen jejich růst a přežívání. Hlavní otázkou práce bylo, jak biochar v kombinaci se zálivkou bílou odpadní vodou ovlivní růst a vitalitu rostlin.

Pro zadaný výzkum byly použity rostliny: *Vinca minor*, *Deschampsia cespitosa*, *Hedera helix*, *Festuca ovina*, *Hylotelephium maximum* a *Heuchera americana*.

2. Cíle práce

Cílem práce je zhodnotit vliv obsahu biocharu v substrátu a zavlažování šedou vodou na růst rostlin ve vertikální zahradě a posoudit, jaké druhy rostlin jsou vhodné pro toto využití. Zhodnocen bude růst rostlin, přezimování a celková vitalita výsadby.

Zaměřila jsem se především na tyto 4 výzkumné otázky:

- zhodnotit vliv 4 % biocharu v substrátu na růst rostlin ve vertikální zahradě
- posoudit, jaké druhy rostlin jsou vhodné pro závlahu šedou vodou
- vyhodnotit odolnost rostlin proti vymrzání
- navrhnout vhodné druhy pro pěstování ve vertikálních zahradách

3.Literární rešerše

3.1 Vertikální zahrady

Vertikální zahrady jsou uměle vytvořené biotopy, které buď částečně nebo úplně pokrývají fasády budov nebo jiné vertikální konstrukce (obr.1). Existují různé typy a techniky. Lze je použít venku k zakrytí budov vnějších zdí, plotů, balkonů nebo jiných vertikálních struktur jako zelený plášť a lze je použít v interiéru jako stěnu prostoru. Vertikální zahrady by mohly být nástrojem k proměně vzhledu města do živé krajiny (Loh, Susan, 2008).

Některé druhy rostlin jsou vhodné a prosperují na stinné straně vertikály a jiné na slunné straně, kde jim nevadí ostré sluneční záření. Na stěnách pokrytých zelení klesá intenzita světla směrem dolů. Čerstvý vzduch mají všechny rostliny rády, tam kde stojí vzduch rostliny se vyskytují nemoci a shromažďují se tam škůdci. Rostliny by měly být zasazeny do kvalitního substrátu. Doporučuje se průběžná péče a přísun živin v podobě hnojiv, zvláště v případě nově zasazených rostlin (Staffler, 2020).



obr. 1 Vertikální zahrada v Brně zdroj: zahradaweb.cz ©2022

3.1.1 Přínosy vertikálních zahrad

Vertikální zahrady mají obecně příznivé dopady na životní prostředí, kdy díky zasazeným rostlinám čistí vzduch a prokazatelně snižují koncentraci škodlivých látek – každý m² zeleně eliminuje z ovzduší nejméně 300 g oxidu uhličitého za rok.

V interiérových prostorech jsou vertikální zahrady využívány převážně ke zvlhčení vzduchu ve vytápěných prostorách, absorpci hluku díky narušení rovného prostoru, ochlazení a osvěžení přehřátých prostor. A samozřejmě je zelená stěna skvělým estetickým prvkem jak v exteriéru, tak v interiéru (Gardners, 2022).

3.1.2 Instalace a údržba vertikální zahrady

Jelikož je vertikální zahrada vyvýšenou konstrukcí, je třeba zajistit její stabilitu pomocí zdi, či jinou metodou zapečetění (obr. 2,3,4). Na zeď či do země se připevní nosná konstrukce nebo se do prostoru umístí samonosná konstrukce v požadované velikosti a do konstrukce se umístí moduly osázené rostlinami. Údržba je pak velmi náročná. Vertikální zahradu je možné napojit na automatické zavlažování s časovačem (Gardners, 2022).



obr. 2 Vertikální zahrada před PEF ČZU dřevěná konstrukce s plastovými rourami, kde jsou vyříznuty díry a zasazené rostliny (foto: autor)



obr. 3 Vertikální zahrada s časovačem, kde je zapojeno dávkování šedou vodou (foto: autor)



obr. 4 Pohled ze stinné strany PEF ČZU (foto: autor)

3.1.3 Druhy vertikálních zahrad

Vertikální zahrady se rozdělují na dvě různé skupiny, kde se velké míře vysazují druhy popínavých rostlin, jedná se o vnitřní a vnější vertikální zahrady (obr. 5,6,7). V tomto provedení zahrad se nelze obejít od dokonalého zavlažovacího systému, v kterém se používají nosné konstrukce, speciálně přizpůsobené k tomuto účelu, dále se dají použít nádoby z plastu a geotextilní materiály. Dle jednotlivých konstrukcí dochází k rozdělení na různé systémy. Nejčastěji se používají modulární panelový, drátový síťový a mřížkový systém (Sharp, 2007).



obr. 5 Vnitřní vertikální zahrada – obraz zdroj: Ekolist.cz ©2022



obr. 6 Vnitřní vertikální zahrada – stěna zdroj: Ekolist.cz ©2022



obr. 7 Vnější vertikální zahrada zdroj: Ekolist.cz ©2022

Zelené stěny

Jsou typem stěn, ve kterých jsou popínavé rostliny nebo kaskádová vegetace. Mohou být ukotveny ke stávajícím stěnám nebo postaveny jako samostatně stojící konstrukce.

Systémy zelených stěn jsou:

Modulární Trellis panel

Mřížkový systém a drátěný – lanový systém

Tyto stěny nazýváme biostěny. Systémy obývacích stěn se skládají z vegetačních panelů, vertikálních modulů nebo osázených příkrývek. Tyto panely se vyrábějí z plastu, pěnového polystyrenu, syntetické tkaniny, betonu, hlíny a kovu. Živé stěny potřebují větší ochranu než zelené fasády kvůli své rozmanitosti a hustotě vegetace. Obývací stěny se skládají z několika částí: kovový rám, vrstva PVC a vzduchová vrstva (nepotřebují zeminu). Tento systém hlavně podporuje trvalé květiny a kapradiny (Gonchar, 2009).

Dobré podmínky pro růst rostlin je systém s boxy. Převážně se jedná o nádoby z plastu, které jsou vyplněné substrátem, ve kterém jsou otvory pro výsadbu v horní části. Jednou z výhod nádob jsou možnost většího objemu substrátu a u některých vzniká příležitost k rozrůstání a množení rostlin. Mohou se rozrůstat do míst, kde vedlejší

rostlina uhynula. Při použití boxů je nutné počítat s vyšší hmotností boxů stejně jako u policového systému a tomuto se musí od začátku přizpůsobit statika stavby (Burian, 2019).

Další ze způsobů je kazetový systém. Kazety, které jsou naplněny substrátem, který umožňuje rostlinám vyrůstání přímo z plochy. Proti vypadnutí substrátu z kazet je třeba, aby vršek kazety byl zakryt vhodným materiálem ať už textilní tkaninou, sítí nebo mřížkami. Povrch se volí dle jednotlivých vlastností substrátu. Souvislý povrch (textilie) je určen pro sypký substrát, kde v textilií jsou jednotlivé otvory pro rostliny. Při použití vláknitých substrátů (minerální vlna, rašeliník) může být otevřený povrch a v tomto případě je možno překrýt mřížkou. Jakmile se použije vhodný substrát a „otevřený“ povrch, mohou se rostliny rozrůstat, rozmnožovat a eventuálně zaplnit prostor, kde došlo k úhynu jiné rostliny. Takto se dá vytvořit souvislý porost. Při použití této technologie se mohou vyrábět a používat kazety o relativně menší hmotnosti, tudíž nedochází k přílišnému zatěžování stavby (Burian, 2019).

4. Substrát

Substrát musí splňovat několik podmínek. S ohledem na konstrukci stěny musí být dostatečně lehký a vzdušný, ale zároveň v něm musí být rostliny schopny pevně zakořenit. Substrát musí být schopen zajistit rostlinám dostatečnou výživu a udržet optimální vlhkost. Substráty lze obecně rozdělit na minerální a organické.

Mezi minerální substráty řadíme např. vypalovaný jíl (keramzit, liapor), pemzu (vyvřelá láva), antuku (rozdrcené cihly a střešní tašky), zeolit, perlit (vulkanické sklo). Výhodou minerálního substrátu je chemická stálost, nízká objemová hmotnost, absence půdních plísní a škůdců, Mezi nevýhody patří absence živin, což vede k nutnosti kontinuálního přihnojování zálivkou (jedná se vlastně o hydroponické pěstování). V zimě je problém se zálivkou jako takovou. Závlahový systém musí být s ohledem na mraz vypořádaný a minerální substrát nemá takovou nasákovost, aby rostlinám stačila k přežití pouze srážková voda. Z tohoto důvodu je čistě minerální substrát vhodný pouze pro interiérové konstrukce.

Organický substrát tvoří různé druhy zemin, rašelina, kůra, kompost apod. Jeho hlavní výhodou je obsah základních živin (N, P, K) i většiny mikroprvků, např. Mg, Fe, Ca, které se postupně uvolňují a jsou rostlinami optimálně přijímány. Mezi nevýhody patří vyšší hmotnost, sléhavost a riziko zárodků hub a plísní, larev a vajíček škodlivého hmyzu (Burian, 2019).

4.1 Biochar

Neboli biouhel (obr.8) je produktem rozkladu biomasy vlivem dostatečně vysoké teploty (300 až 600 stupňů) za malého nebo žádného přístupu vzduchu – v posledním případě se proces označuje jako pyrolýza. K zuhelnatění může samozřejmě dojít i za teplot vyšších, zuhelnatět mohou i jiné organické látky umělého původu. Obecný pojem zahrnující všechny takto zuhelnatělé látky je uhel (anglicky char). Ten se svou strukturou i dalšími vlastnostmi značně liší od uhlí (anglicky coal), tedy někdejší biomasy, která prošla nesrovnatelně pomalejší přeměnou v různých hloubkách pevniny. Biouhel má obsah živin (fosforu, alkálií) téměř stejný jako původní biomasa, až na snížený obsah dusíku. Živiny se z něj uvolňují pomalu, nevyplavují se. Uhlík v něm vázaný má dobu setrvání v půdě v řádu staletí až tisíciletí. Tvorbou a aplikací biouhlu lze nejen velmi zlepšit vlastnosti půd, ale též bezpečně uložit obrovská množství uhlíku, zachyceného předtím fotosyntézou z ovzduší. Během staletí tak půjde vrátit složení ovzduší a pH oceánů zpět k hodnotám, které panovaly až do novověku. Podmínkou ovšem je, že emise z fosilních paliv, v první řadě z uhlí, během nejbližších desetiletí zcela ustanou (Hollan, Klusák, 2013).



obr. 8 Biochar zdroj: Hollan, Klusák, 2009.

5. Hnojiva

Jedním z důležitých úkolů je mít dostatečné množství živin, které se musí rostlinám dodávat. Ani jeden ze způsobů realizací vertikálních zahrad neumožňuje využít objem substrátu zajišťující dostatečný a dlouhodobý přísun živin, potřebných pro bezproblémový a plynulý růst rostlin. Vzhledem k maximálnímu možnému objemu substrátu je průběžné doplňování živin bezpodmínečně nutné. Nepřetržité dodávání živin je nutné u bez substrátových systémů, kde se jedná bezmála o hydroponický princip. Funkčnost systému je nemožná bez zavlažování závlahovou vodou, které musí být přebytek. Jakmile je nosná textilie, voda odtéká pryč. Jakmile závlahová voda proteče vertikálními zahradami dojde ke změně chemického složení vody, a proto se toto u více systémů znovu nepoužívá. Vzhledem ke skutečnosti, že tato voda by musela být složitě upravována, ve většině případů se odpouští do kanalizačního řadu a s touto vodou odchází i nevyužité živiny rostlinami (Burian, 1995).

Živiny dodáváme do rostlinám prostřednictvím hnojiv.

Hnojiva se dělí na organická (hnůj, kompost, močůvka, zelené hnojení) a minerální hnojiva. Tato hnojiva vyráběná průmyslovým způsobem mají jeden hlavní výživový prvek nebo obsahují různé směsi, složené ze dvou a více živin (Stehlík, 1993; Lal, Dekker, 2002). Nejdůležitějšími živinami jsou dusík, fosfor a draslík a další biogenní sekundární prvky, mezi které patří síra, hořčík a vápník.

6. Střídavé teploty a vysychání

Ve vertikální zahradě je zabudován automatický závlahový systém, který zamezuje vysychání substrátu. Dešťová voda je pro zalévání rostlin vhodnější. Ve vertikální zahradě je zabudováno čidlo vlhkosti, které je napojeno na řídicí jednotku. Čidlo je doplněno kontrolou teploty, které brání tomu, aby se zavlažování spustilo, pokud by teploty v panelu klesaly pod bod mrazu (MŽP ČR ©2022).

6.1 Vymrzání a přezimování rostlin ve vertikální zahradě

Vymrzávání a rozmrazování, jsou hlavním faktorem, který přispívá k uvolňování živin při fyzikálním narušení půdních agregátů. V důsledku tohoto procesu po rozmrazení mikrobiální aktivita prudce stoupá a vede, spolu s vysokým obsahem vody, k úbytku živin. Popsané účinky způsobují pouze krátkodobé změny v půdní mikroflóře (Sharma et al., 2006).

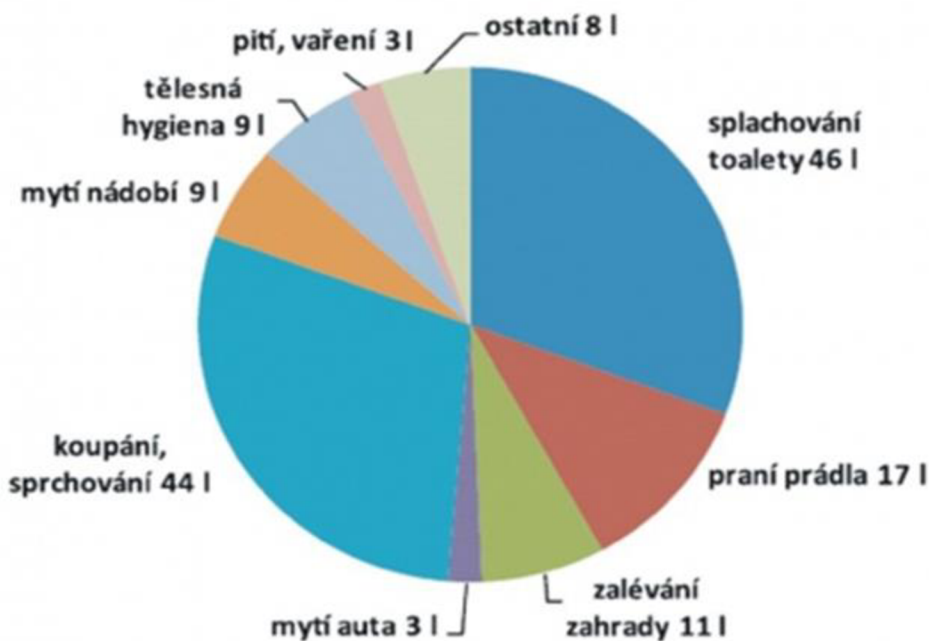
7. Šedá voda a její využití

Šedá voda je splašková odpadní voda neobsahující moč ani fekálie. Jde o vodu, která odtéká z vany a sprchy a z umyvadla na mytí rukou (obr.9). Speciální druh šedé vody je z kuchyní a praní prádla. Úprava šedé vody spočívá v odstranění tuků, filtraci a dezinfekci. Nejčastěji obsahuje čisticí prostředky různých druhů a soli. (Ráček, 2016).

Čištěním šedé vody vznikne tzv. bílá voda vhodná pro další využití v budově jako je splachování, mytí podlah nebo zalévání zahrad a květin. Tak můžeme podstatně snížit spotřebu pitné vody (Ráček, 2016).

7.1 Recyklace vod

Recyklování vody v současné době je jedním ze způsobů, jak ušetřit vodu na zavlažování rostlin a také na technické účely. Nejeekonomičtěji a relativně snadno se dá recyklovat lehká šedá voda (hlavně odpad koupelen) na tzv. bílou vodu, která se používá na splachování toalet, mytí podlah, závlahu apod. Jedná se o užitkovou/provozní vodu. Tímto způsobem recyklace se dá omezit spotřeba pitné vody až o 50 %, kde návratnost investice je do 10 let. V současnosti na recyklaci šedé vody jsou používány již ověřené, nákladově nenáročné technologie, které lze zautomatizovat, ovládat a kontrolovat dálkově. Další investicí na využití šedých vod je směřování k recyklaci a rekuperaci tepla z odpadních vod, kde se dají použít k předehřátí teplé vody. Návratnost investice je nejrychlejší a nejvíce efektivní, když spotřeba užitkové vody je větší. Tyto investice a úpravy je nejlépe načasovat do přestavby nebo rekonstrukce budovy, nebo přímo do projektu nové stavby. Recyklace tepla a vody ve stavbě zvyšuje jeho užitnou hodnotu, jednak úsporami na teple a spotřebě pitné vody. V současné době je také brán velký zřetel na udržitelnost a ekologii (Ráček, 2016).



Produkce vody (obr. 9) v domácnosti splachování toalety, pití, vaření, tělesná hygiena, mytí nádobí, koupání a sprchování, mytí auta, zalévání zahrady, praní prádla a ostatní.

obr. 9 Využití vody v domě zdroj: asio.cz ©2022

8. Metodika

Pokus probíhal ve venkovní vertikální stěně před PEF ČZU. Vertikální stěna byla založena 19. 5. 2020, první měření se uskutečnilo dne 12. 4. 2021 a poslední 31.12.2022. Konstrukce vertikální zahrady je tvořena 12 plastovými moduly upevněnými na dřevěné konstrukci. Každý modul je tvořen plastovou uzavřenou rourou o průměru 17 cm a délce 4 m, naplněnou substrátem. Substrát tvoří keramzit zrnitosti 1-3 mm, s přídavkem kompostu a zahradní zeminy. Tato směs je v 6 modulech obohacena 4 % biocharu. Ve svrchní části každé roury je 10 otvorů o průměru 15 cm, ve kterých jsou zasazeny jednotlivé rostliny. Na každou rostlinu tak vychází

cca 9 l substrátu. Roury neobsahují přepážky, tzn., že kořeny rostlin mohou libovolně prorůst substrátem. Do každého modulu je zavedena hadice s kapači pro zavlažování jednotlivých rostlin. K zavlažování rostlin se používá šedá voda z PEF. Voda je dvoufázově čištěna na bílou vodu, ředěna dešťovou vodou a následně využita k zálivce. Každý modul obsahuje dvě odtokové trubky pro odvod přebytečné vody. Zavlažování je řízeno časovačem, propojeným s čidly půdní vlhkosti a deště, tak, aby se substrát nepřemokřil. Konstrukce je orientována v ose východ-západ, tzn., že 6 modulů je směrem na sever a 6 směrem na jih.

Ve vertikální zahradě bylo testováno 6 druhů rostlin (*Vinca minor*, *Deschampsia cespitosa*, *Hedera helix*, *Festuca ovina*, *Hylotelephium maximum*, *Heuchera americana*). U rostlin byla zhodnocena celková prosperita, schopnost růstu za různých podmínek (umístění v rámci vertikální konstrukce, závlaha šedou vodou, přidání biocharu). Dále bylo vyhodnoceno, jak rostliny přezimovaly. Data byla statisticky analyzována. Byla vyhodnocena možnost využití jednotlivých druhů.

Tento experiment byl prováděn z důvodu zjištění, zda bílá voda (upravená šedá voda) je vhodná pro zavlažování rostlin ve vertikální zahradě a zda biochar zlepšuje vlastnosti pěstebního substrátu.

V průběhu pokusu byla čtyřikrát v intervalu půl roku zhodnocena celková vitalita každé rostliny, a to podle následující stupnice.

Stupně hodnocení vitality:

1. prosperita
2. přírůstek biomasy
3. stagnace
4. úbytek biomasy
5. úhyn

Popis abiotických podmínek v letním a v zimním období

Pro rostliny je nezbytným faktorem teplo. Přílišné rozpětí, ať velmi nízké nebo vysoké teploty jsou pro ně nebezpečné. Na vývoj rostlin má vliv ekologický faktor světla. Každá rostlina potřebuje jiné světelné podmínky. Délka denního světla za 24 hodin se označuje pojmem fotoperioda. Během této doby dochází k fotosyntéze rostlin. Dle zkracování nebo prodlužování fotoperiody dochází u rostlin k řízení kvetení, růstu a opadu listů, klíčení apod. Teplotní tolerance se u rostlin sezónně velmi mění a velké množství rostlinných druhů má k nízkým teplotám vyšší toleranci (mrazy apod.) mimo své vegetační období. V průběhu vegetačního období jsou mrazy pro rostliny velmi nebezpečné, proto dochází k vydání meteorologické výstrahy ČHMÚ (ČHMÚ©2022).

.

Teploty naměřené v Klementině v Praze:

Naměřené průměrné teploty v roce 2021: 8,7 °C

Naměřené průměrné teploty v roce 2022: 10 °C

Rozdíl mezi průměrnými teplotami v letech 2021 a 2022 tedy činí 1,3 °C.

Územní srážky v roce 2021 a 2022:

Naměřené srážky v roce 2021 byly 627 mm

Naměřené srážky v roce 2022 byly 618 mm

V roce 2022 bylo územních srážek o 9 mm méně než v roce 2021.

Zdroj: ČHMÚ©2022

8.1 Použité rostliny pro výzkum

Stručná charakteristika vybraných druhů:

Vinca minor (obr.10) - barvínek menší, list je stálezelený, květ jednoduchý, doba kvetení je březen-červen, nenáročná půdopokryvná rostlina má evropský původ, mrazuvzdorná rostlina, dobře snáší stín i polostín a daří se mu i na slunných stanovištích.

Deschampsia cespitosa (obr.11) - metlice trsnatá, list jednoduchý – celistvý, stálezelený, plod hnědý, doba kvetení červen-říjen, velmi odolná travina, která roste na vlhkých půdách, ale snáší i sucho, roste na slunci i ve stínu, je mrazuvzdorná, má husté trsy.

Hedera helix (obr.12) – břečťan popínavý, list jednoduchý – celistvý, stálezelený, květ zelený, doba kvetení září-říjen, popínavý, patří k nenáročným stálezeleným rostlinám, vyhovují mu severněji orientovaná, mírně přistíněná stanoviště, ale nevadí mu ani slunečnější pozice. Břečťan prospívá téměř ve všech zahradních zeminách. Je vhodný do středně těžké i humózní zeminy.

Festuca ovina (obr.13) - kostřava ovčí, stálezelená, barva plodu hnědá, je mrazuvzdorná, a to až do -35 °C, nehodí se do stínu, rozmnožuje se výhradně semeny.

Hylotelephium maximum (obr.14) – rozchodníkovec velký, list jednoduchý celistvý, květ žlutobílý, doba kvetení červenec-srpen, v ČR se vyskytuje roztroušeně až lokálně velmi hojně, od nížin do podhůří, rozchodníkovec patří mezi sukulentní rostliny.

Heuchera americana (obr.15) – dlužicha americká, list červený, květ růžovo-bílý, doba kvetení červen-srpen, mrazuvzdorná rostlina, v létě nesmíme zapomenout na pravidelné zalévání, na podzim lze záливku snížit na minimum. Rostlinu můžeme během vegetačního období pravidelně přihnojovat.

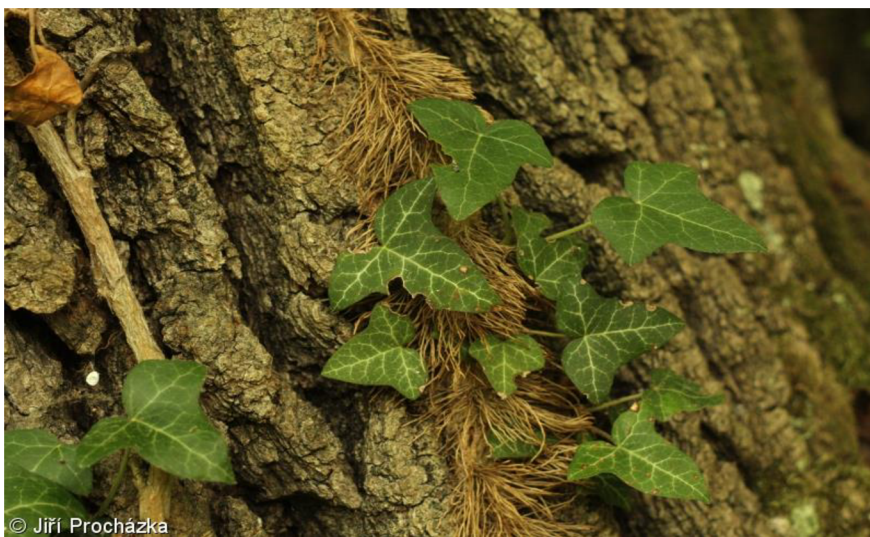
Obrázky rostlin použitých pro výzkum.



obr. 10 *Vinca minor* – barvínek menší, zdroj: Pladias, ©2022



obr. 11 *Deschampsia cespitosa* – metlice trsnatá, zdroj: Pladias, ©2022



obr. 12 *Hedera helix* – břečťan popínavý, zdroj: Pladias, ©2022



obr. 13 *Festuca ovina* – kostřava ovčí, zdroj: Pladias, ©2022



obr. 14: *Hylotelephium maximum* – rozchodníkovec velký, zdroj: Pladias, ©2022



obr. 15 *Heuchera americana* – dlužicha americká, zdroj: Pladias, ©2022

9. Výsledky práce

Výsledky práce, tedy zhodnocení vlivu 4 % biocharu, šedé vody a nízkých teplot na růst rostlin pěstovaných ve vertikální zahradě ukázaly, že každá rostlina utrpěla větší či menší ztráty. Vitalita rostlin (známka) byla určována číselným hodnocením 1 – výborně až 5 nedostatečně. Každá rostlina má číselný kód a rostlina, která je zasazená v biocharu je označena písmenem B. SS – slunečná strana vertikály, ST – stinná strana vertikály. U grafů je znázorněná vitalita barevně i s měsícem a rokem měření.

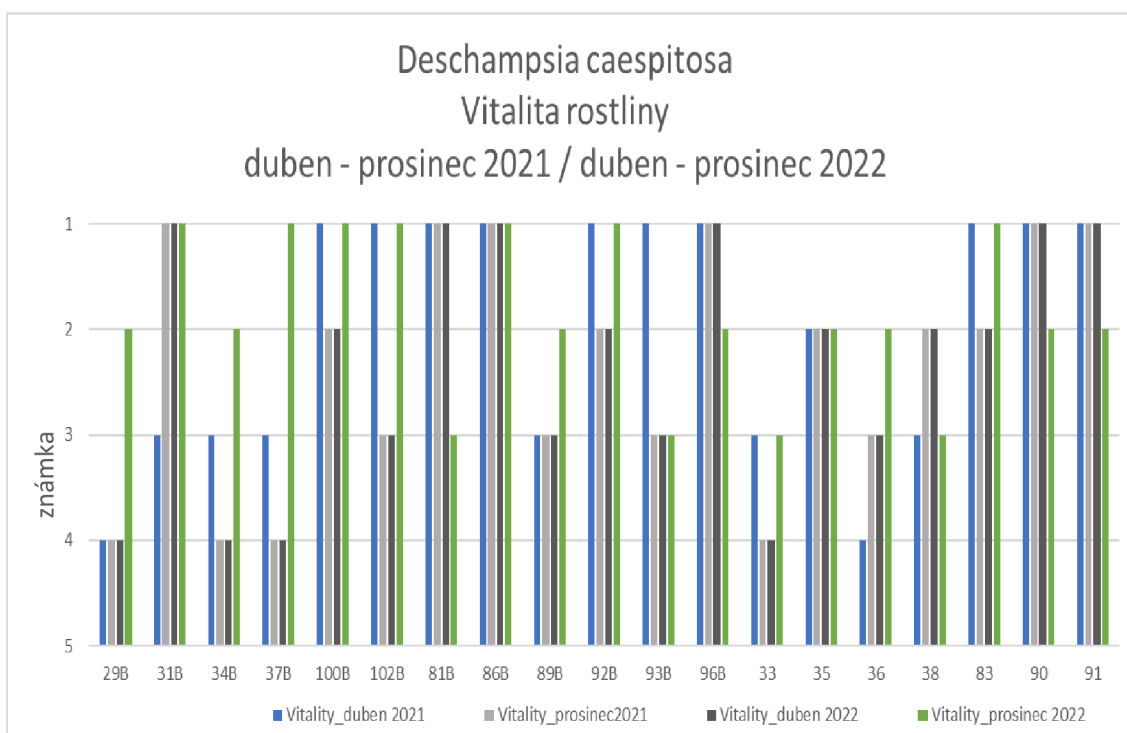
Modrá barva znamená vitalitu duben 2021, šedá prosinec 2021, černá duben 2022 a zelená prosinec 2022.

9.1 Porovnání vitality rostlin zasazených v biocharu a bez biocharu

Tab. 1 rostlina *Deschampsia caespitosa* Metlice trsnatá

SS – slunečná strana ST – stinná strana B – biochar

Druh	Umístění	Biochar	Číselný kód	Vitality_ duben 2021	Vitality_ prosinec 2021	Vitality_ duben 2022	Vitality_ prosinec 2022
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ano	29B	4	4	4	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ano	31B	3	1	1	1
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ano	34B	3	4	4	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ano	37B	3	4	4	1
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ano	100B	1	2	2	1
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ano	102B	1	3	3	1
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ano	81B	1	1	1	3
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ano	86B	1	1	1	1
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ano	89B	3	3	3	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ano	92B	1	2	2	1
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ano	93B	1	3	3	3
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ano	96B	1	1	1	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ne	33	3	4	4	3
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ne	35	2	2	2	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ne	36	4	3	3	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ne	38	3	2	2	3
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ne	83	1	2	2	1
<i>Deschampsia caespitosa</i>	ST	ne	90	1	1	1	2
<i>Deschampsia caespitosa</i>	SS	ne	91	1	1	1	2



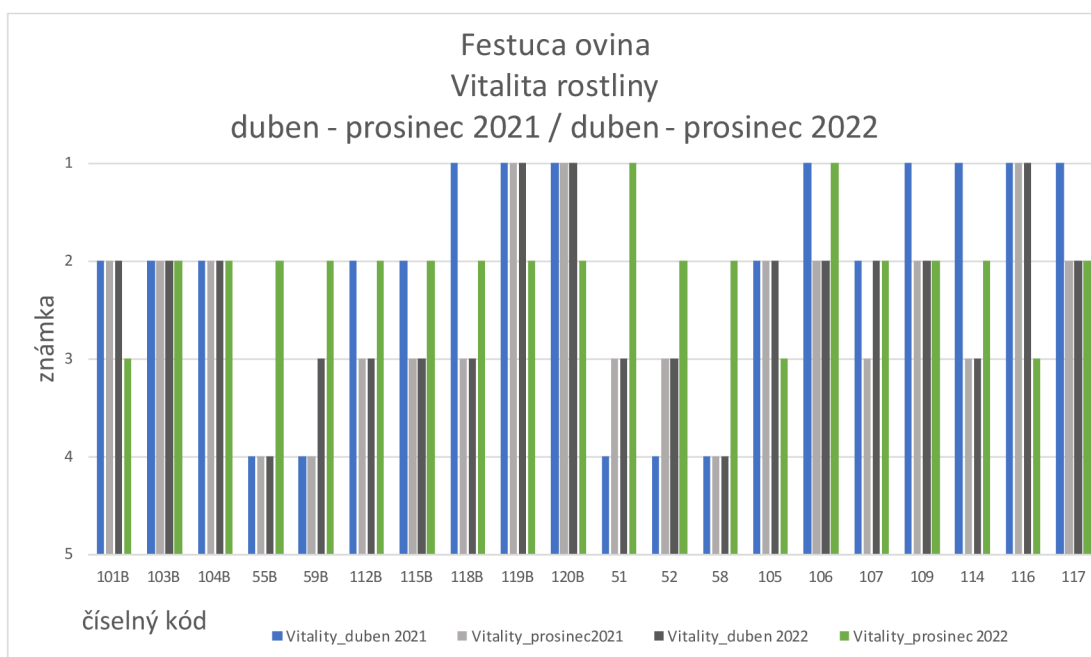
číselný kód

Graf. č.1 – porovnání vitality rostliny *Deschampsia caespitosa* Metlice trsnatá zasazená v biocharu a bez biocharu na slunné a stinné strany vertikální zahrady

Tab. 2 rostlina *Festuca ovina* Kostřava ovčí

SS – slunečná strana ST – stinná strana B – biochar

Druh	Umístění	Biochar	Číselný kód	Vitality_ duben 2021	Vitality_ prosinec 2021	Vitality_ duben 2022	Vitality_ prosinec 2022
Festuca ovina	SS	ano	101B	2	2	2	3
Festuca ovina	SS	ano	103B	2	2	2	2
Festuca ovina	SS	ano	104B	2	2	2	2
Festuca ovina	ST	ano	55B	4	4	4	2
Festuca ovina	ST	ano	59B	4	4	3	2
Festuca ovina	SS	ano	112B	2	3	3	2
Festuca ovina	SS	ano	115B	2	3	3	2
Festuca ovina	ST	ano	118B	1	3	3	2
Festuca ovina	ST	ano	119B	1	1	1	2
Festuca ovina	ST	ano	120B	1	1	1	2
Festuca ovina	ST	ne	51	4	3	3	1
Festuca ovina	ST	ne	52	4	3	3	2
Festuca ovina	ST	ne	58	4	4	4	2
Festuca ovina	SS	ne	105	2	2	2	3
Festuca ovina	SS	ne	106	1	2	2	1
Festuca ovina	SS	ne	107	2	3	2	2
Festuca ovina	SS	ne	109	1	2	2	2
Festuca ovina	ST	ne	114	1	3	3	2
Festuca ovina	SS	ne	116	1	1	1	3
Festuca ovina	ST	ne	117	1	2	2	2

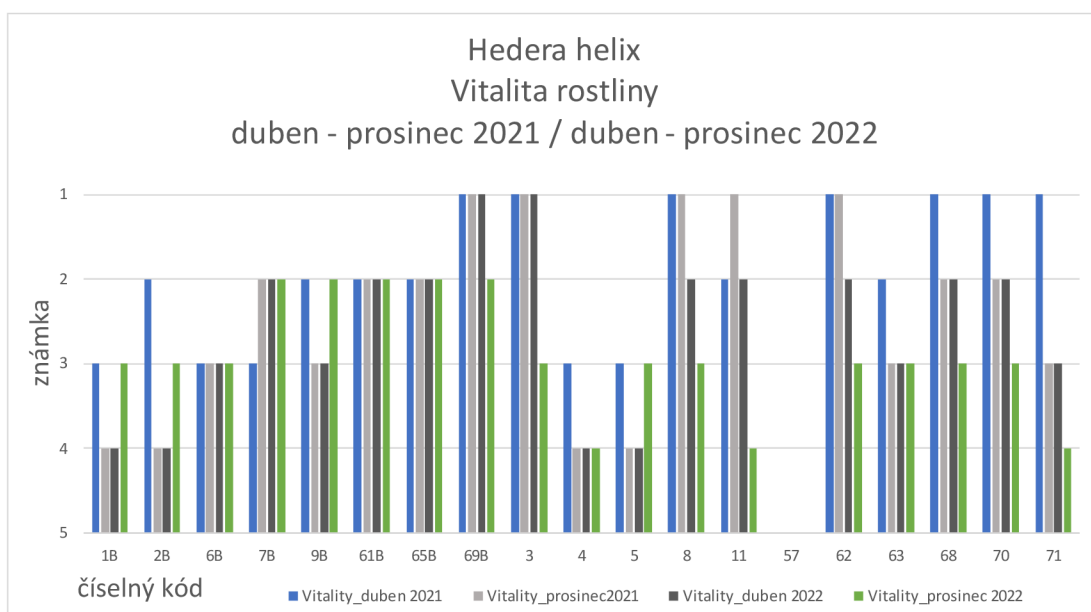


Graf. č.2 – porovnání vitality rostliny *Festuca ovina* Kostřava ovčí zasazená v biocharu a bez biocharu na slunné a stinné strany vertikální zahrady

Tab. 3 *Hedera helix* Břečťan popínavý zdroj: autor

SS – slunečná strana ST – stinná strana B – biochar

Druh	Umístění	Biochar	Číselný kód	Vitality_ duben 2021	Vitality_ prosinec 2021	Vitality_ duben 2022	Vitality_ prosinec 2022
Hedera helix	ST	ano	1B	3	4	4	3
Hedera helix	ST	ano	2B	2	4	4	3
Hedera helix	SS	ano	6B	3	3	3	3
Hedera helix	ST	ano	7B	3	2	2	2
Hedera helix	ST	ano	9B	2	3	3	2
Hedera helix	SS	ano	61B	2	2	2	2
Hedera helix	ST	ano	65B	2	2	2	2
Hedera helix	ST	ano	69B	1	1	1	2
Hedera helix	ST	ne	3	1	1	1	3
Hedera helix	SS	ne	4	3	4	4	4
Hedera helix	SS	ne	5	3	4	4	3
Hedera helix	ST	ne	8	1	1	2	3
Hedera helix	SS	ne	11	2	1	2	4
Hedera helix	SS	ne	57	5			
Hedera helix	SS	ne	62	1	1	2	3
Hedera helix	SS	ne	63	2	3	3	3
Hedera helix	ST	ne	68	1	2	2	3
Hedera helix	ST	ne	70	1	2	2	3
Hedera helix	ST	ne	71	1	3	3	4

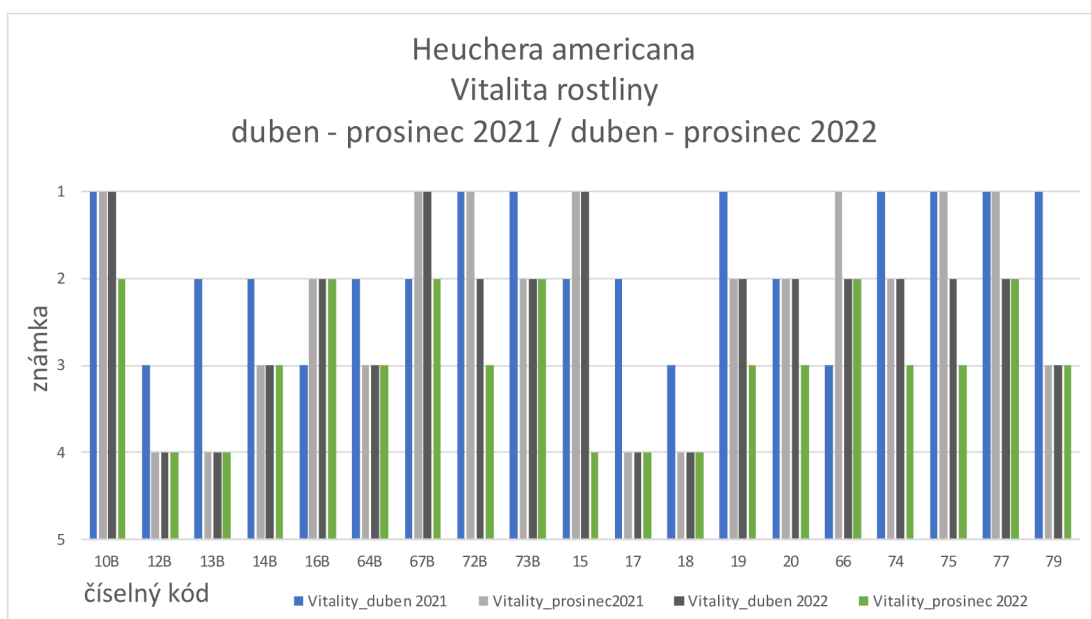


Graf. č.3 – porovnání vitality rostliny *Hedera helix* Břečťan popínavý zasazená v biocharu a bez biocharu na slunné a stinné strany vertikální zahrady

Tab. 4 *Heuchera americana* Dlužicha americká

SS – slunečná strana ST – stinná strana B – biochar

Druh	Umístění	Biochar	Číselný kód	Vitality_ duben 2021	Vitality_ prosinec 2021	Vitality_ duben 2022	Vitality_ prosinec 2022
Heuchera americana	ST	ano	10B	1	1	1	2
Heuchera americana	SS	ano	12B	3	4	4	4
Heuchera americana	SS	ano	13B	2	4	4	4
Heuchera americana	ST	ano	14B	2	3	3	3
Heuchera americana	SS	ano	16B	3	2	2	2
Heuchera americana	SS	ano	64B	2	3	3	3
Heuchera americana	SS	ano	67B	2	1	1	2
Heuchera americana	ST	ano	72B	1	1	2	3
Heuchera americana	ST	ano	73B	1	2	2	2
Heuchera americana	SS	ne	15	2	1	1	4
Heuchera americana	ST	ne	17	2	4	4	4
Heuchera americana	SS	ne	18	3	4	4	4
Heuchera americana	ST	ne	19	1	2	2	3
Heuchera americana	ST	ne	20	2	2	2	3
Heuchera americana	SS	ne	66	3	1	2	2
Heuchera americana	ST	ne	74	1	2	2	3
Heuchera americana	SS	ne	75	1	1	2	3
Heuchera americana	ST	ne	77	1	1	2	2
Heuchera americana	ST	ne	79	1	3	3	3

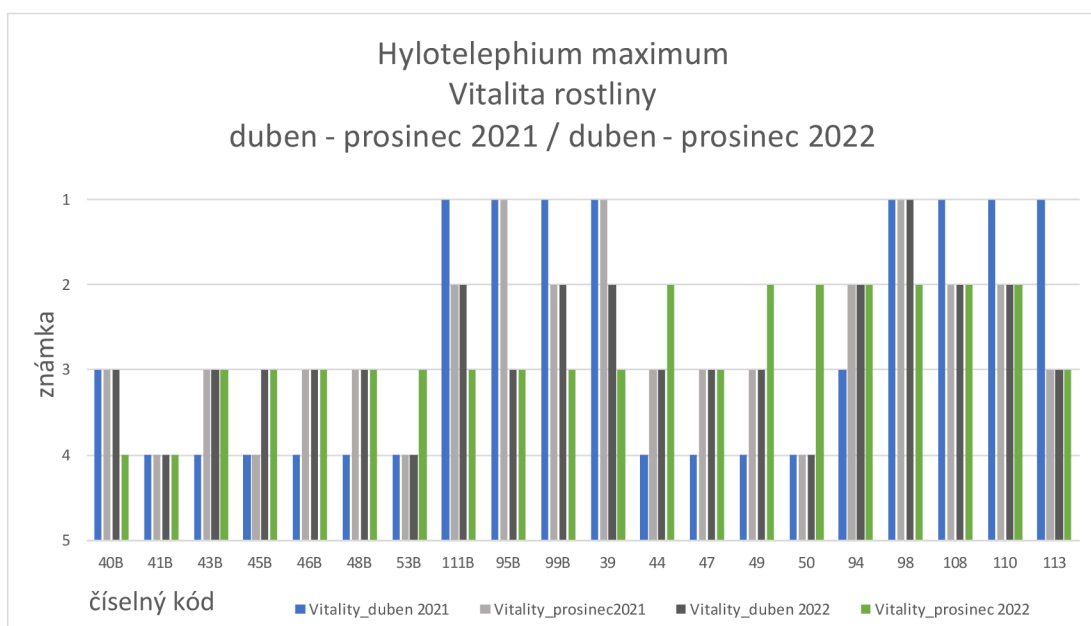


Graf. č.4 – porovnání vitality rostliny *Heuchera americana* Dlužicha americká zasazená v biocharu a bez biocharu na slunné a stinné strany vertikální zahrady

Tab.5 *Hylotelephium maximum* Rozchodníkovec

SS – slunečná strana ST – stinná strana B – biochar

Druh	Umístění	Biochar	Číselný kód	Vitality_ duben 2021	Vitality_ prosinec 2021	Vitality_ duben 2022	Vitality_ prosinec 2022
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ano	40B	3	3	3	4
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ano	41B	4	4	4	4
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ano	43B	4	3	3	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ano	45B	4	4	3	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ano	46B	4	3	3	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ano	48B	4	3	3	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ano	53B	4	4	4	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ano	111B	1	2	2	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ano	95B	1	1	3	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ano	99B	1	2	2	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ne	39	1	1	2	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ne	44	4	3	3	2
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ne	47	4	3	3	3
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ne	49	4	3	3	2
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ne	50	4	4	4	2
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ne	94	3	2	2	2
<i>Hylotelephium maximum</i>	SS	ne	98	1	1	1	2
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ne	108	1	2	2	2
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ne	110	1	2	2	2
<i>Hylotelephium maximum</i>	ST	ne	113	1	3	3	3

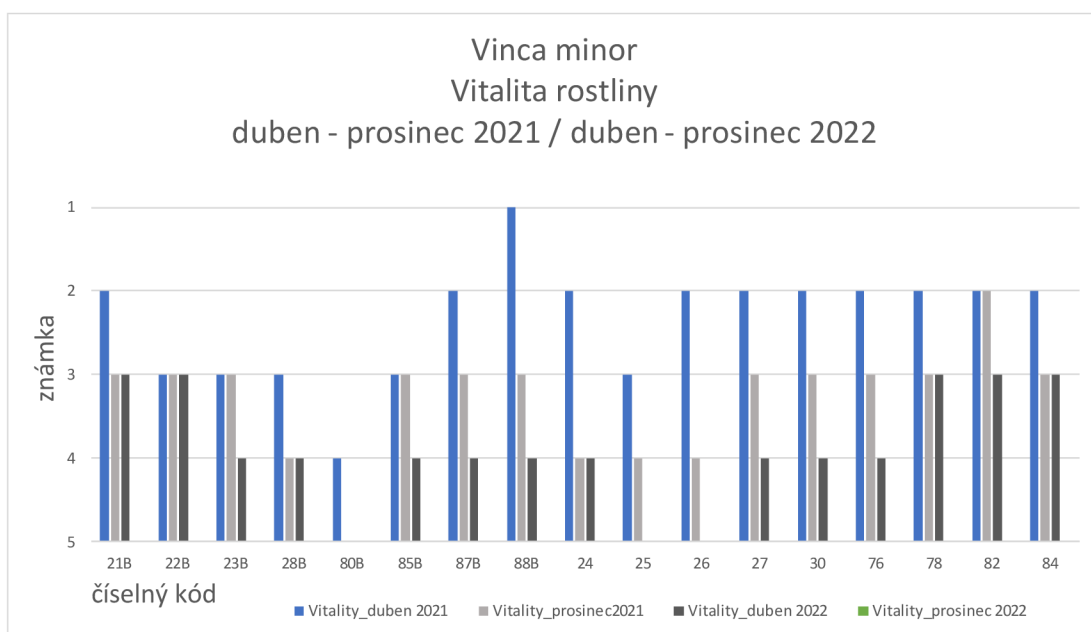


Graf. č.5 – porovnání vitality rostliny *Hylotelephium maximum* Rozchodníkovec zasazená v biocharu a bez biocharu na slunné a stinné strany vertikální zahrady

Tab. 6 *Vinca minor* Barvínek menší

SS – slunečná strana ST – stinná strana B – bichar

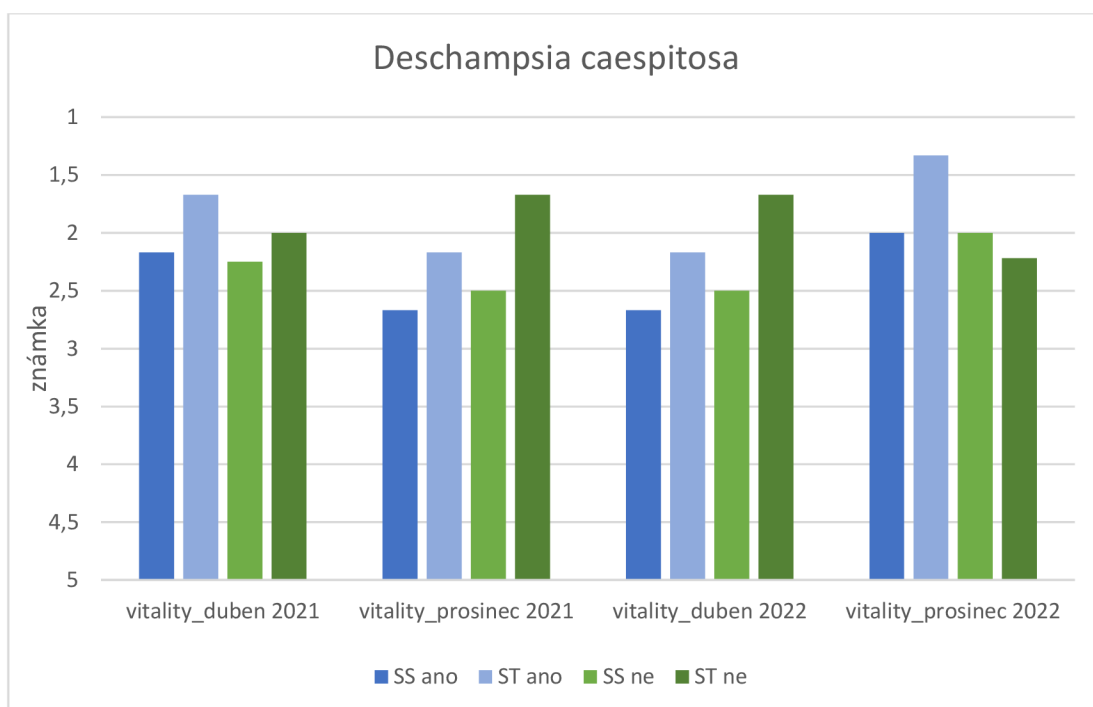
Druh	Umístění	Biochar	Číselný kód	Vitality_duben 2021	Vitality_prosinec 2021	Vitality_duben 2022	Vitality_prosinec 2022
Vinca minor	SS	ano	21B	2	3	3	5
Vinca minor	ST	ano	22B	3	3	3	5
Vinca minor	SS	ano	23B	3	3	4	5
Vinca minor	ST	ano	28B	3	4	4	5
Vinca minor	SS	ano	80B	4	5	5	5
Vinca minor	ST	ano	85B	3	3	4	5
Vinca minor	ST	ano	87B	2	3	4	5
Vinca minor	ST	ano	88B	1	3	4	5
Vinca minor	SS	ne	24	2	4	4	5
Vinca minor	SS	ne	25	3	4	5	5
Vinca minor	ST	ne	26	2	4	5	5
Vinca minor	ST	ne	27	2	3	4	5
Vinca minor	ST	ne	30	2	3	4	5
Vinca minor	SS	ne	76	2	3	4	5
Vinca minor	SS	ne	78	2	3	3	5
Vinca minor	ST	ne	82	2	2	3	5
Vinca minor	ST	ne	84	2	3	3	5



Graf. č.6 – porovnání vitality rostliny *Vinca minor* Barvínek menší zasazená v biocharu a bez biocharu na slunné a stinné strany vertikální zahrady

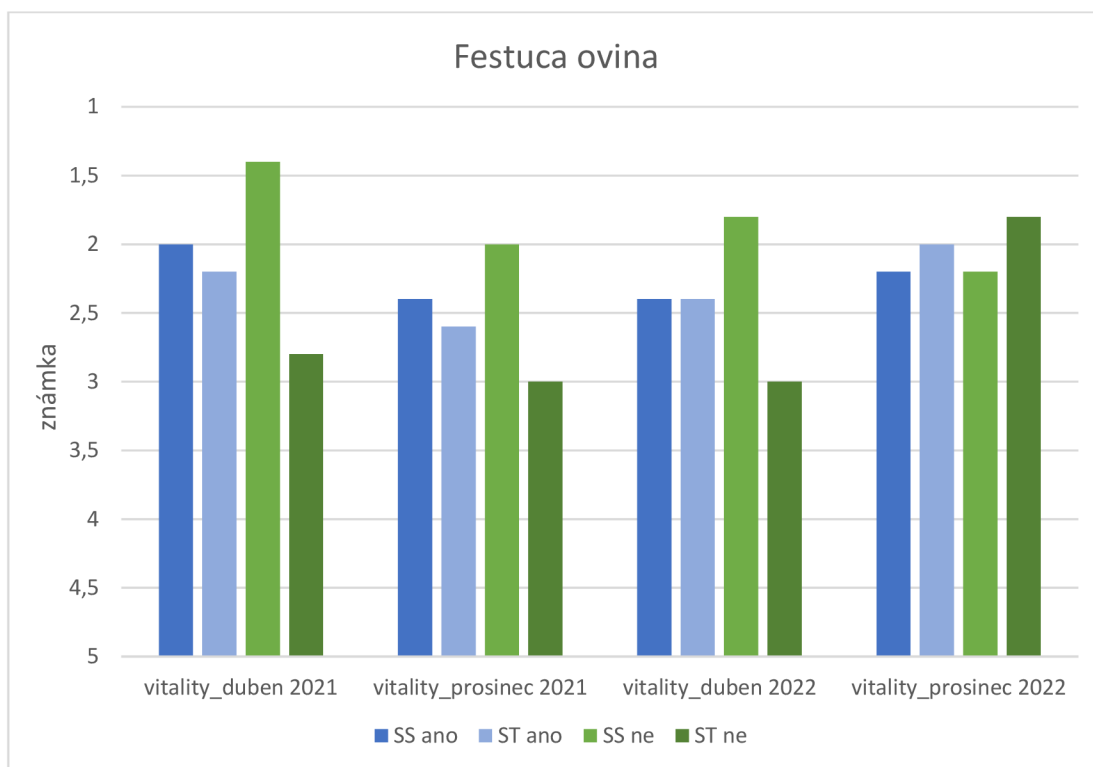
9.2 Medián hodnot vitality rostlin

U grafů je znázorněný medián hodnot vitality rostlin barevně i s měsícem a rokem. Znamka byla určována číselným hodnocením 1 – výborně až 5 nedostatečně.



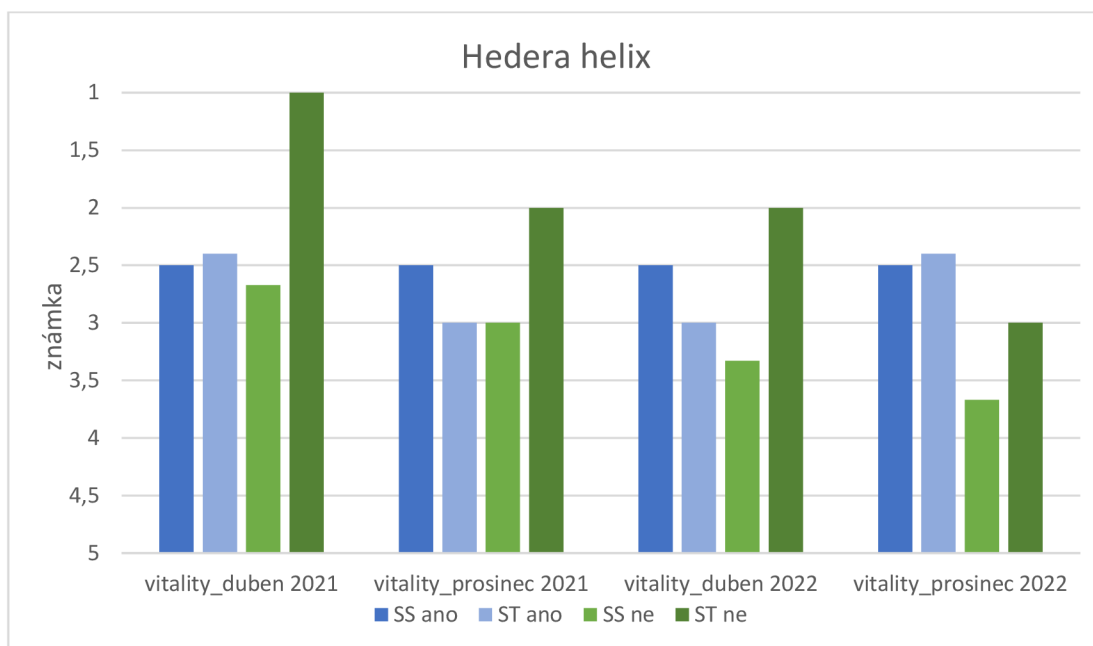
Graf. 7 - medián hodnot vitality rostliny *Deschampsia caespitosa*

Na grafu jsou znázorněny 4 sloupce. Tmavě modrý zobrazuje vitalitu na slunečné straně vertikální zahrady a zasazenou rostlinu v bicharu, světle modrá zobrazuje vitalitu na stinné straně a zasazenou rostlinu v biocharu, světle zelená zobrazuje vitalitu na slunečné straně a zasazenou rostlinu bez biocharu a tmavě zelená zobrazuje vitalitu na stinné straně zasazenou rostlinu bez biocharu.



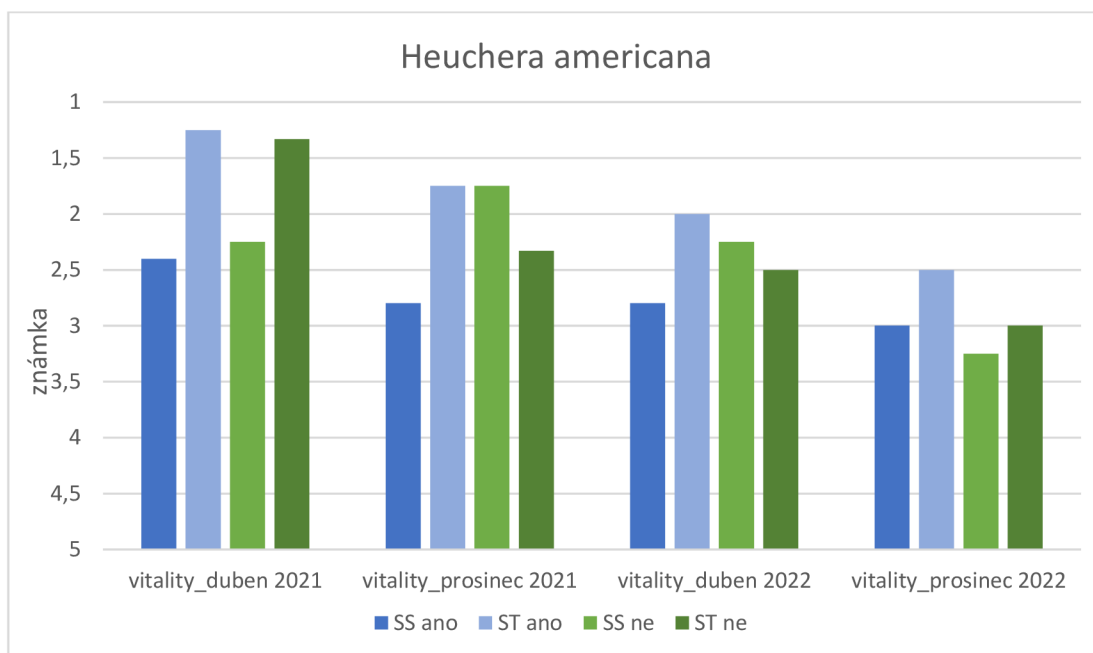
Graf. 8 – medián hodnot vitality rostliny *Festuca ovina*

Na grafu jsou znázorněny 4 sloupce. Tmavě modrý zobrazuje vitalitu na slunečné straně vertikální zahrady a zasazenou rostlinu v bicharu, světle modrá zobrazuje vitalitu na stinné straně a zasazenou rostlinu v biocharu, světle zelená zobrazuje vitalitu na slunečné straně a zasazenou rostlinu bez biocharu a tmavě zelená zobrazuje vitalitu na stinné straně zasazenou rostlinu bez biocharu.



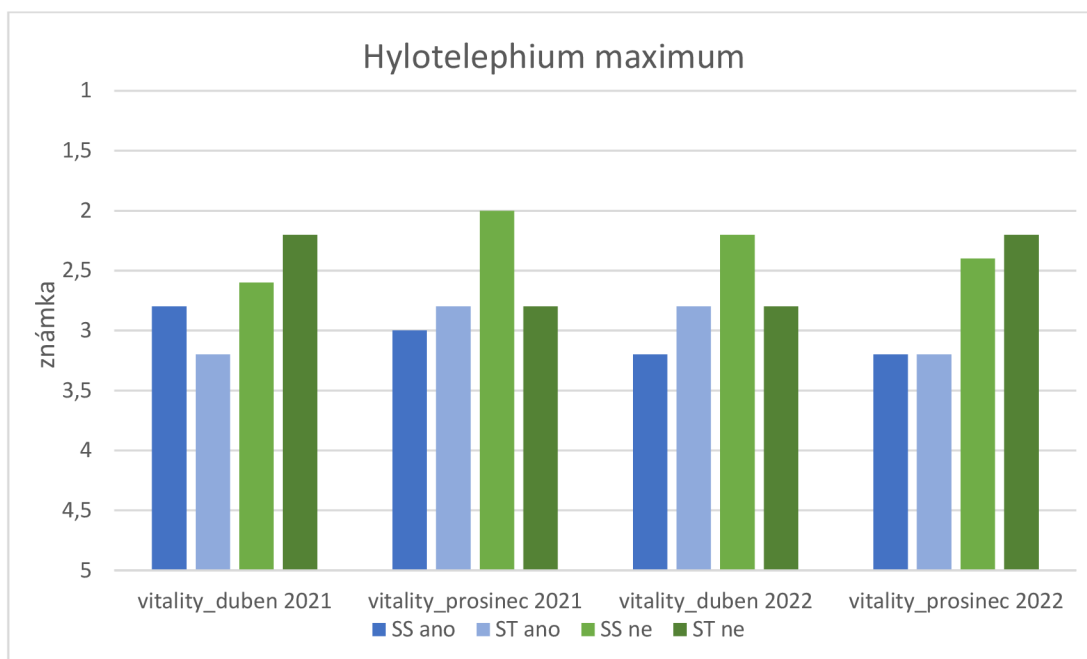
Graf. 9 – medián hodnot vitality rostliny *Hedera helix*

Na grafu jsou znázorněny 4 sloupce. Tmavě modrý zobrazuje vitalitu na slunečné straně vertikální zahrady a zasazenou rostlinu v bicharu, světle modrá zobrazuje vitalitu na stinné straně a zasazenou rostlinu v biocharu, světle zelená zobrazuje vitalitu na slunečné straně a zasazenou rostlinu bez biocharu a tmavě zelená zobrazuje vitalitu na stinné straně zasazenou rostlinu bez biocharu.



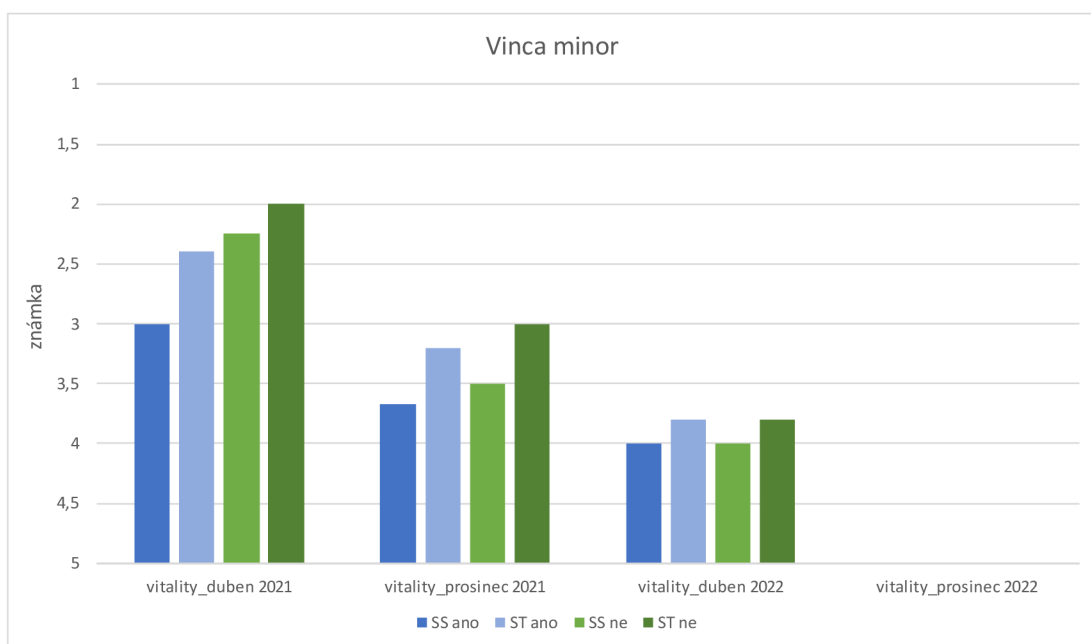
Graf. 10 – medián hodnot vitality rostliny *Heuchera americana*

Na grafech jsou znázorněny 4 sloupce. Tmavě modrý zobrazuje vitalitu na slunečné straně vertikální zahrady a zasazenou rostlinu v bicharu, světle modrá zobrazuje vitalitu na stinné straně a zasazenou rostlinu v biocharu, světle zelená zobrazuje vitalitu na slunečné straně a zasazenou rostlinu bez biocharu a tmavě zelená zobrazuje vitalitu na stinné straně zasazenou rostlinu bez biocharu.



Graf. 11 – medián hodnot vitality rostliny *Hylotelephium maximum*

Na grafu jsou znázorněny 4 sloupce. Tmavě modrý zobrazuje vitalitu na slunečné straně vertikální zahrady a zasazenou rostlinu v bicharu, světle modrá zobrazuje vitalitu na stinné straně a zasazenou rostlinu v biocharu, světle zelená zobrazuje vitalitu na slunečné straně a zasazenou rostlinu bez biocharu a tmavě zelená zobrazuje vitalitu na stinné straně zasazenou rostlinu bez biocharu.



Graf. 12 – medián hodnot vitality rostliny *Vinca minor*

Na grafu jsou znázorněny 4 sloupce. Tmavě modrý zobrazuje vitalitu na slunečné straně vertikální zahrady a zasazenou rostlinu v bicharu, světle modrá zobrazuje vitalitu na stinné straně a zasazenou rostlinu v biocharu, světle zelená zobrazuje vitalitu na slunečné straně a zasazenou rostlinu bez biocharu a tmavě zelená zobrazuje vitalitu na stinné straně zasazenou rostlinu bez biocharu.

10. Diskuse

Z šesti testovaných druhů rostlin jeden vůbec nepřežil ve sledovaném období, a to *Vinca minor* – barvínek menší. Nejednalo se o náhlý úhyn, způsobený např. mrazem nebo jiným stresujícím faktorem, ale o postupné chřadnutí, které je z grafu patrné od samého počátku měření. V případě této rostliny si položíme otázku, zda je vhodná pro modulární vertikální konstrukci. Jedná se sice o rostlinu nenáročnou, faktem ale je, že jí vyhovuje vlhká humózní půda, která by neměla úplně vyschnout (Pladias, 2022). Tato podmínka v daném objemu substrátu nebyla splněna a růst rostliny nezlepšil ani přidavek biocharu. Zde bych hledala příčinu neúspěchu.

Heuchera americana zpočátku prosperovala, poté se propadla do stagnace. Příčina by mohla být podobná jako v případě barvínku menšího. Přestože je *Heuchera americana* nenáročnou rostlinou, prosperující ve stínu i na slunci, vyžaduje vlhkou půdu s obsahem humusu. Zajímavé je, že při porovnávání vhodnosti rostlin pro vertikální stěny, prováděném v rámci bakalářské práce na ČZU (Majer, 2020), měla nejvyšší úhyn a to 14 %. Nicméně rostlina přežívá a dalšími výsledky může překvapit. Nejlepších výsledků dosáhly jednoznačně *Festuca ovina* a *Deschampsia caespitosa*. Tyto rostliny se již dříve ve vertikální stěně osvědčily (Majer, 2020).

Hedera helix a *Hylotelephium maximum* si vedly o něco hůře, ale přesto se jeví jako vhodné pro použití do vertikálních zahrad.

Vliv šedé vody na prosperitu rostlin lze v našem případě těžko prokázat. Obecně se soudí, že rostliny snášejí zálivku šedou vodou dobře. Potvrzeno to máme pouze u *Hedera helix* a *Festuca ovina* (Nosek, 2020). Nemyslím, že příčinou úhynu *Vinca minor* a stagnace *Heuchera americana* je šedá voda, ale připustit tuto možnost musím.

Dále se nepotvrdila očekávání ohledně rozdílů vitality na slunečné a stinné části konstrukce a to přesto, že některé rostliny jako např. *Hedera helix*, preferují stinná místa. Příčinou může být to, že modulární konstrukce je velmi vzdušná a není ještě

plně obrostlá rostlinami. Pojmy „slunečná“ a „stinná“ strana jsou proto diskutabilní. Rozdíly v oslunění a proudění vzduchu zde nejsou takové, jako by byly u severní nebo jižní stěny nějaké budovy. Zvláště v létě, kdy je slunce vysoko, nejsou rozdíly v oslunění velké. I když břečťan prosperoval nejlépe na stinné straně bez biocharu, netroufám si učinit závěr z pouhých čtyř měření.

Vliv obsahu biocharu na vitalitu rostlin se neprokázal ani pozitivně ani negativně. Může to být krátkým trváním pokusu a po delší době se rozdíly mohou projevit. Otázkou ale je, zda je přídavek 4 % biocharu do substrátu dostatečný proto, aby se změny projevíly.

11. Závěr

Účelem mé práce bylo určit vhodnost rostlin pro vertikální zahrady zavlažované šedou vodou a jejich přežití při nízkých teplotách v zimním období. Dále jsem sledovala vliv přídavku biocharu do pěstebního substrátu. Dle získaných dat jsem rozdělila rostliny do těchto skupin:

1) *Festuca ovina* – kostřava ovčí, *Deschampsia caespitosa* – metlice trsnatá.

Rostliny ideální pro vertikální konstrukci, odolné k zalévání šedou vodou, plně mrazuvzdorné. Vliv biocharu a umístění na konstrukci se neprojevily.

2) *Hedera helix* – břečťan popínavý, *Hylotelephium maximum* – rozchodníkovec velký.

Rostliny vhodné pro vertikální konstrukci, odolné k zalévání šedou vodou. Vliv biocharu a umístění na konstrukci se projevil u břečťanu, který nejlépe prosperoval na stinné straně bez biocharu. Rozdíl však není příliš výrazný a je brzy činit v tomto ohledu závěry.

3) *Heuchera americana* – dlužicha americká

Po počáteční prosperitě rostlina víceméně stagnuje. Pro posouzení, zda je rostlina vhodná pro vertikální zahradu, není ještě dostatek výsledků.

4) *Vinca minor* – barvínek menší

Rostlina uhynula, není vhodná pro vertikální zahrady modulárního typu.

K posouzení vlivu přídavku biocharu do substrátu navrhuji provést pokus, kde bude obsah biocharu výrazně vyšší a to 20-40 %.

Posouzení vlivu umístění rostlin v konstrukci na vitalitu bude možné, až bude konstrukce více zarostlá.

12. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Aldaya, Maite M., et al., 2020: Šedá vodní stopa jako ukazatel pro difúzní znečištění dusíkem: případ Navarra, Španělsko. *Věda Celkového Prostředí*, 698: 134338
- ASIO, ©2011: Čištění a úprava vody (online). Brno: ASIO, 2011 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <<https://www.asio.cz/>>
- ASIO, ©2011: Energie šedých vod. (online). Brno: ASIO, [cit. 2022-01-27]. Dostupné z: <<https://www.asio.cz/cz/energiesedych-vod>>
- Burian, S., 2019: Vertikální zahrady střízlivým pohledem (online) [cit. 2022-01-20]. Dostupné z: <<https://www.szuz.cz/hlavni-menu/inspirace/zelene-strechy/vertikalni-zahrady-strizlivym-pohledem/>>
- Co je to šedá voda? Voda v domě.cz (online). Brno: Voda v domě.cz, 2022, [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: <<https://www.vodavdome.cz/co-je-to-seda-voda/>>
- Český hydrometeorologický ústav, ©2022 dostupné z <<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>>
- Český hydrometeorologický ústav, ©2022 dostupné z <<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>>

- Dolnicar, S., Schäfer, A., I., 2006: Veřejné vnímání odsolené versus recyklované vody v Austrálii.
- Ekolist.cz (online). 15. Praha 7: Ekolist.cz, 2022 [cit. 2022-02-13]. ISSN 1802-9019
- GARDNERS: Vertikální zahrady: Co je to vertikální zahrada? Gardners (online). Praha: GARDNERS, 2022, [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <<https://www.gardners.cz/vertikalni-zahrady/>>
- Gonchar, J., Vertical and verdant, living wall systems sprout on two buildings, in Paris and Vancouver (online). Architectural Record, McGraw-Hill Construction, 2009. Dostupné z: <<https://www.architecturalrecord.com/articles/6665-vertical-and-verdant>>
- Hollan, J., Klusák, V., 2013: Biouhel, naše stéblo naděje (online). Brno: Masarykova Univerzity v Brně, [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <<https://amper.ped.muni.cz/gw/uhel/>>
- Lal, R., 2002: Encyclopedia of soil science. New York: Marcel Dekker, c2002, ISBN 08-247-0634-X.
- Loh, S., 2008: Obývací stěny—cesta k zelené zastavěného prostředí. Prostředí, Design Guide, 1-7.
- Majer, J., 2020: Testování vhodnosti rostlin pro vertikální zahrady. Praha 2020. Bakalářská práce. ČZU Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, vedoucí doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.
- MŽP ČR ©2022 ČSN 75 9010 <<http://www.pocitamesvodou.cz/>>
- Mekonnen, M., Hoekstra, A., Y., 2015: Globální šedé vodní stopy vody a úroveň znečištění související s antropogenní zátíží dusíkem k čerstvé vodě. Environmental science & technology, 49.21: 12860-12868
- Nosek, D., 2020: Testování vhodnosti rostlin pro vertikální zahrady. Praha 2020. Bakalářská práce. ČZU Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, vedoucí doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.
- PLADIAS, 2014: Databáze české flóry a vegetace (online). České Budějovice: Pladias, [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <<https://pladias.cz/>>
- Prodanovic, V., et al. 2017: zelené stěny pro greywater opětovné použití: Pochopení role médií na odstraňování znečišťujících látek. Ekologické Inženýrství, 102: 625-635

- Raček, J., 2016: Metodika návrhu systému využití šedých vod ve vybraných objektech (online). Brno, [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <<http://hdl.handle.net/11012/69165>>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Jaroslav Raclavský
- 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>>)
- Sharma, K.; Sharma, S. D., 2006: Chemical composition and in sacco degradability of some fodder tree leaves, shrub leaves and herbaceous plants. Indian J. Anim. Sci., 76 (7): 538-541
- Staffler, M., 2020: Vertikální zahrada: zelené nápady pro malé zahrádky, balkony a terasy. Přeložil Lea SMRČKOVÁ. Praha: Vašut, 2020. ISBN 978-80-7541-178-5
- Tůmová, K., 2019: Uživatelé šedé vody: motivace a zkušenosti. Brno. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Fakulta sociálních studií, Katedra environmentálních studií, Vedoucí práce Tomáš Chabada.

12.1 Seznam obrázků:

Obrázek 1: Vertikální zahrada v Brně zdroj: <http://zahradaweb.cz>

Obrázek 2: Vertikální zahrada před PEF ČZU dřevěná konstrukce s plastovými rourami, kde jsou vyvrtané díry a zasazené rostliny zdroj: autor

Obrázek 3: Vertikální zahrada s časovačem, kde je zapojeno dávkování šedou vodou zdroj: autor

Obrázek 4: Pohled ze stinné strany PEF ČZU zdroj: autor

Obrázek 5: Vnitřní vertikální zahrada – obraz zdroj: Ekolist.cz

Obrázek 6: Vnitřní vertikální zahrada – stěna zdroj: Ekolist.cz

Obrázek 7: Vnější vertikální zahrada zdroj: Ekolist.cz

Obrázek 8: Biochar zdroj: www.ftz.czu.cz

Obrázek 9: Využití vody v domě zdroj: asio.cz

Obrázek 10: *Vinca minor* – Barvínek menší, zdroj: <https://pladias.cz>

Obrázek 11: *Deschampsia cespitosa*-Metlice trsnatá, zdroj: <https://pladias.cz>

Obrázek 12: *Hedera helix* – Břečťan popínavý, zdroj: <https://pladias.cz>

Obrázek 13: *Festuca ovina* – Kostřava ovčí, zdroj: <https://pladias.cz>

Obrázek 14: *Hylotelephium maximum* – Rozchodníkovec, zdroj: <https://pladias.cz>

Obrázek 15: *Heuchera americana* – Dlužicha americká, zdroj: <https://pladias.cz>

12.2 Seznam grafů:

Graf. č.1 – porovnání vitality rostliny *Deschampsia caespitosa*

Graf. č.2 – porovnání vitality rostliny *Festuca ovina*

Graf. č.3 – porovnání vitality rostliny *Hedera helix*

Graf. č.4 – porovnání vitality rostliny *Heuchera americana*

Graf. č.5 – porovnání vitality rostliny *Hylotelephium maximum*

Graf. č.6 – porovnání vitality rostliny *Vinca minor*

Graf. č.7 – medián hodnot vitality rostliny *Deschampsia caespitosa*

Graf. č.8 – – medián hodnot vitality rostliny *Festuca ovina*

Graf. č.9 – medián hodnot vitality rostliny *Hedera helix*

Graf. č.10 – – medián hodnot vitality rostliny *Heuchera americana*

Graf. č.11 – – medián hodnot vitality rostliny *Hylotelephium maximum*

Graf. č.12 – – medián hodnot vitality rostliny *Vinca minor*

Seznam tabulek:

Tab. 1 - rostlina *Deschampsia caespitosa* Metlice trsnatá

Tab. 2 - rostlina *Festuca ovina* Kostřava ovčí

Tab. 3 – rostlina *Hedera helix* Břečťan popínavý

Tab. 4 – rostlina *Heuchera americana* Dlužicha americká

Tab. 5 – rostlina *Hylotelephium maximum* Rozchodníkovec

Tab. 6 - rostlina *Vinca minor* Barvínek menší

12.3 Seznam příloh:

Příloha 1: rostlina *Hedera helix*

Příloha 2: rostlina *Heuchera americana*

Příloha 3: rostlina *Hylotelephium maximum*

Příloha 4: rostlina *Festuca ovina*

Příloha 5: rostlina *Vinca minor*

Příloha 6: rostlina *Deschampsia caespitosa*

Příloha 7: Konstrukce stinná

Příloha 8: Konstrukce slunná

13. Přílohy

Založení venkovní vertikální stěny – před PEF 19. 5. 2020

Hedera helix číslo vzorku	Délka nadzemní	Počet výhonů	Počet listů	Poznámka
1	10,6; 18; 23; 9,2	3	15	
2	29,7; 4,4	2	13	
3	29,4; 30,5; 7,1; 8,3	4	29	
4	6,4; 22,1	2	10	
5	19,5; 7,1	2	18	
6	9,2; 18,5	2	10	
7	17,7	1	16	
8	20,5; 12; 19,2	3	23	
9	38,1; 26,5; 13,2	3	32	
10	20,4; 15,1; 24,6	3	27	
11	20,1; 18,3	2	18	
12	10,1; 10,4	2	11	
13	15,2; 19,9	2	22	
14	18,2	1	10	
15	8,2; 6,4; 23,5	3	26	
16	22; 21,7; 9,2	3	24	
17	16,6; 28,5	2	17	
18	4,9; 36,3	2	13	
19	8,7; 24,2	2	25	
20	19,7	1	19	
21	6,9; 27,1; 19,6	3	20	Sušina 2,35 g
22	30,2; 18,3	2	18	Sušina 1,79 g
23	5,4; 28,2; 36,3	3	36	Sušina 1,38 g

Příloha 1: rostlina *Hedera helix*

Heurecha america číslo vzorku	Délka výhonů	Počet výhonů	Počet listů	Poznámka
21	14,2; 10,3	2	18	
22	17,5; 19,2; 8,6	3	24	
23	13,4; 11,9; 14,8	3	14	
24	8,7; 13,2; 13,5	3	15	
25	24,2; 11,5; 5,9	3	17	
26	17,3; 10,5; 12,1; 11,5	4	21	
27		2	11	
28	16,5; 17,9	2	9	
29	8,1; 15,2; 11,6	3	14	
30	7,9; 18,2; 19,9	3	18	
31	18,4; 17,5	2	18	
32	14,7; 18,9; 13,1	3	20	
33	20,2; 8,1; 19,5	3	14	
34	20,3; 14,2	2	19	
35	16,9; 14,1; 14,2	3	15	
36		1	7	
37	15,9; 19,1; 11,2; 6,6	4	17	
38	18,3; 12,9; 18,1	3	13	
39	17,6; 21,2; 11,5	3	13	
40	12,3; 10,9; 11,2; 6,7	4	26	
41	13,2; 8,5; 12,5	3	12	Sušina 2,14 g
42		2	11	Sušina 1,8 g
43	16,1; 22,6; 17,7; 16,7	4	17	Sušina 3,73 g

Příloha 2: rostlina *Heuchera americana*

Hylotelephium maximum číslo vzorku	Délka výhonů	Počet výhonů	Počet listů	Poznámka
81	13,2; 10,6; 13,5	3	57	
82	10,6; 13,1	2	38	
83	11,1; 12,3	2	34	
84	11,2; 11,5; 12,6	3	52	
85	10,7; 11,6; 13,4	3	51	
86	11,9; 13,3	2	44	
87	9,2; 13,8	2	31	
88	13,9	1	24	
89	8,7; 13,1; 11,5	3	49	
90	12,9	1	18	
91	11,8	1	16	
92	9,1; 10,7; 9,3	3	38	
93	9,3; 9,5; 12,1	3	43	
94	6,3; 9; 13,5	3	45	
95	8,7; 8,9; 3,1	3	34	
96	14,7	1	29	
97	5,9; 7,1	2	31	
98	15,7; 13,5	2	44	
99	8,3; 7,1	2	28	
100	14,5; 11,9	2	43	
101	11,8; 12,1	2	32	Sušina 0,62 g
102	11,3; 15,4	2	34	Sušina 0,50 g
103	13,1; 12,7; 9,5	3	49	Sušina 0,59 g

Příloha 3: rostlina *Hylotelephium maximum*

Festuca ovina číslo vzorku	Délka nadzemní	Počet výhonů	Počet listů	Poznámka
101	38,2	37		
102	39,1	35		
103	30,3	37		
104	30,1	41		
105	45	36		
106	43	39		
107	42	49		
108	35,5	36		
109	38,7	31		
110	34	38		
111	31	36		
112	25,2	46		
113	35,6	39		
114	44,1	38		
115	34,5	36		
116	35,9	36		
117	43,5	41		
118	27	36		
119	34,2	34		
120	33,9	44		
121	37,1	45		Sušina 2,35 g
122	26,6	40		Sušina 1,79 g
123	36,6	33		Sušina 1,38 g

Příloha 4: rostlina *Festuca ovina*

Vinca minor číslo vzorku	Délka nejdelšího výhonu	Počet výhonů	Počet listů	Poznámka
41	18,1	15	86	
42	20,2	18	110	
43	20,8	15	91	
44	16,3	17	88	
45	16,4	24	105	
46	11,5	21	120	
47	15,8	14	46	
48	15,9	27	120	
49	22	26	105	
50	20,9	19	92	
51	15,9	18	85	
52	25,8	33	112	
53	13,2	24	105	
54	15,8	20	91	
55	13,4	17	93	
56	16,9	19	98	
57	14,3	17	91	
58	13,2	24	102	
59	14,2	18	94	
60	11,2	15	84	
61	18,7	15	98	Sušina 155 g
62	15,8	18	105	Sušina 1,88 g
63	20,4	14	89	Sušina 1,86 g

Příloha 5: rostlina *Vinca minor*

Deschampsia caespitosa číslo vzorku	Délka nadzemní	Počet výhonů	Počet listů	Poznámka
61	20,1	32		
62	29	39		
63	30,1	32		
64	26,6	32		
65	19,7	31		
66	31,5	36		
67	33	34		
68	22,5	32		
69	26,6	30		
70	34,7	37		
71	31,2	33		
72	24,2	29		
73	23,4	28		
74	26,0	31		
75	19,2	27		
76	19,5	34		
77	25,6	27		
78	24,9	30		
79	23,1	29		
80	24,9	33		
81	23,6	31		Sušina 1,34 g
82	23,4	38		Sušina 2,66 g
83	36,1	36		Sušina 1,89 g

Příloha 6: rostlina *Deschampsia caespitosa*

13.1 Vertikální zahrada před PEF ČZU

1.	34	43	120	88	65	7	31	55	119	85
2.	44	84	74	19	97	113	51	68	38	20
3.	9	118	46	28	2	72	87	22	69	92
4.	71	3	26	114	58	27	70	82	110	50
5.	96	111	14	48	73	100	10	102	59	40
6.	8	30	117	90	17	79	108	52	35	77

Příloha 7: Konstrukce stinná

1.	86	104	54	23	16	64	89	101	53	37
2.	11	25	62	60	116	91	4	66	83	56
3.	93	67	29	99	61	12	32	41	103	13
4.	49	106	98	63	24	47	105	36	5	78
5.	21	42	115	1	95	80	45	6	112	81
6.	76	39	57	107	75	15	94	109	33	18

Příloha 8: Konstrukce slunná