



Article

BIOUHLIE AKO PRÍDAVOK DO SUBSTRÁTOV PRE ZELENÉ STRECHY

Veronika KVORKOVÁ¹

BIOCHAR AS A ADDITION IN GREEN ROOF SUBSTRATES



¹ Materiálovotechnologická fakulta STU v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika

✉ Email: veronika.kvorkova@stuba.sk

ORCID iD: 0000-0003-4539-5635

<https://orcid.org/0000-0003-4539-5635>

Competing interests : The author declare no competing interests.

Publisher's Note: Slovak Society for Environment stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations. Copyright: © 2023 by the authors.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) This license allows reusers to distribute, remix, adapt, and build upon the material in any medium or format, so long as attribution is given to the creator. The license allows for commercial use.

Review text in the conference proceeding: Contributions published in proceedings were reviewed by members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.

Slovak Society for the Environment (Slovenská spoločnosť pre životné prostredie) Bratislava, Slovak Republic

ABSTRAKT

Výrazné klimatické zmeny, ktorých dopad sa stále výraznejšie prejavuje najmä v mestách, zvyšuje záujem o rozširovanie zelených plôch v mestských oblastiach. Zelené strechymôžu predstavovať efektívne riešenie na zmierňovanie efektu mestského tepelného ostrova a znižovanie energetickej náročnosti budov, čím výrazne prispievajú k udržateľnej výstavbe. Avšak podmienky na strechách nie sú pre rast rastlín ideálne. Riešením môže byť použitie biouhlia ako prídavku do substrátu, ktorý vďaka svojim vlastnostiam vytvára lepšie podmienky pre rast vegetácie.

Kľúčové slová: biouhlie, zelené strechy, substrát

ABSTRACT

Significant climate change, the impact of which is increasingly visible in cities, is intensifying interest in the expansion of green spaces in urban areas. Green roofs can represent an effective solution for



reducing the urban heat island effect and lowering building energy demand, thus contributing significantly to sustainable urban development. However, rooftop conditions are not naturally conducive to plant growth. The solution could involve adding biochar to the substrate, as its properties improve the growth conditions for vegetation.

Keywords: *biochar, green roofs, substrate*

ÚVOD

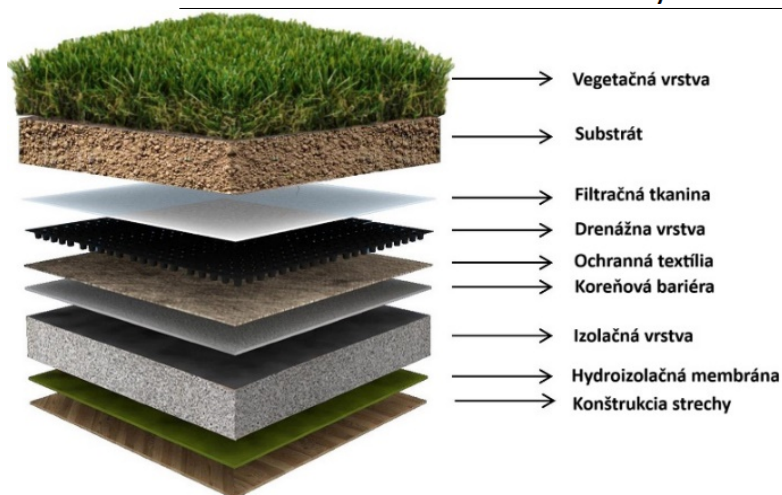
Mestské oblasti sa vplyvom rýchlej urbanizácie za posledné dve storočia výrazne rozšírili. Očakáva sa, že do roku 2050 bude viac než dve tretiny svetovej populácie žiť práve v husto osídlených mestách či predmestiach. S nárastom urbanizácie však prichádzajú aj viaceré environmentálne problémy. Uzavretejšie mestské oblasti, umelá infraštruktúra, stavby, rozsiahle neporézne povrchy a veľká energetická spotreba budov vedie k fenoménu známemu ako mestský tepelný ostrov. Tento jav je spájaný s metropolitnými oblasťami, ktoré sú výrazne teplejšie ako okolité vidiecke oblasti a prispievajú k strate biodiverzity, fragmentácii rieka taktiež k zvyšovaniu dažďového odtoku. Obzvlášť významný je podiel nepriepustných povrchov, ktoré môžu spôsobovať až 40 % straty zrážkovej vody vo forme odtoku. Práve materiály, ktoré sa v mestách bežne používajú (napr. asfalt, betón) teplo nielen absorbujú, ale ho aj akumulujú.[5] V dôsledku toho sú v mestských aglomeráciách vyššie teploty, čo značne zvyšuje spotrebu energie na chladenie klimatizáciami a prispieva k znečisteniu ovzdušia a emisiám skleníkových plynov. Tento fenomén ďalej spôsobuje vyššiu zrážkovú činnosť nad mestskými oblasťami, čím zvyšuje riziko záplav, častejší výskyt hmly a v zimnom období zintenzívňuje prítomnosť smogu. Práve strecha na budove zohráva kľúčovú úlohu v efektívnosti využívania tepelného hospodárstva celej stavby. Slniečne žiarenie, ktoré strecha absorbuje, môže podstatne zvýšiť tepelný výkon v interiéri. V prípade jasnej oblohy dokáže strecha prijať slnečné žiarenie do úrovne 1 kW/m² (solárna konštanta), pričom sa zvyčajne absorbuje 20 % až 95 % z tohto množstva. Toto absorbované teplo sa potom prenáša do interiéru budovy a spôsobuje zvýšenie vnútornej teploty. [11] Zelené strechy predstavujú riešenie, ktoré dokáže zmierniť negatívne dopady urbanizácie a podporiť udržateľnosť mestského prostredia.[5]

Zelená strecha, známa pod pojmi ako vegetačná strecha, strešná záhrada, alebo živá strecha, predstavuje výstavbu vegetačnej vrstvy na vrchu budovy, ktorá umožňuje pridať zelenú plochu do oblastí, ktoré by inak boli nevyužitú. Strechy s vrstvou vegetácie vysadenou na hydroizolačnom systéme, prinášajú množstvo výhod, ako je tienenie, znižovanie teploty okolitého vzduchu, udržiavanie nižšej teploty na povrchu strechy či fungujú aj ako prirodzená filtrácia, ktorá zachytáva prach a zlepšuje kvalitu ovzdušia. Vďaka týmto vlastnostiam môžu zelené strechy výrazne prispieť k zlepšeniu kvality života v mestskom prostredí. [1,15]

Vo všeobecnosti prostredie na strechách budov nevytvára pre rastliny najvhodnejšie podmienky, a to kvôli extrémnym teplotám, vysokým rýchlostiam vetra a stresu spôsobenému suchom. Preto je kľúčové zvoliť vhodný substrát, ktorý v týchto náročných podmienkach dokáže efektívne podporovať rast vegetácie. Správny substrát nielenže zabezpečuje potrebné živiny a vodu, ale tiež zlepšuje retenčné schopnosti a stabilitu rastlín. [19] Jeden zo spôsobov ako významne zlepšiť vlastnosti substrátu a podporiť tak aj rast vegetácie je zvoliť vhodné aditívum napr. biouhlie.

KONŠTRUKCIA ZELENÝCH STRIECH

Zelené strechy sa vo všeobecnosti skladajú z niekoľkých hlavných častí: koreňovej bariéry, hydroizolačnej membrány, drenážnych fólií, filtračných membrán a rastového substrátu s rastlinami (obr.1). [13]



Obr. 1 Schematické znázornenie zelenej strechy a jej častí [13]

V posledných desaťročiach bolo zaznamenaných množstvo spôsobov využitia zelených striech. Možno ich rozdeliť do troch základných skupín podľa typu rastlín a intenzity údržby:

- **Extenzívne**- sú považované najefektívnejšie a ekonomicky dostupné vegetačné strechy, ktoré prispievajú k udržateľnosti v stavebnom priemysle a plnia prevažne environmentálnu a estetickú funkciu. Bežne sa vyskytujú na obytných budovách, predovšetkým v mestských oblastiach s obmedzeným priestorom, kde prispievajú k zlepšeniu biodiverzity. Tento typ striech má tenkú a plytkú vrstvu pôdy/substrátu (< 20 cm), na ktorej sú osadené drobné rastliny, trávy, byliny, sukulentné rastliny a machy, ktoré si vyžadujú minimálnu údržbu a nepotrebujú stály zavlažovací systém.
- **Polointenzívne** - sú osadené trávami, menšími rastlinami alebo kompaktnými kríkmi. V porovnaní s extenzívnymi zelenými strechami si vyžadujú miernu údržbu a občasné zavlažovanie. Rastliny sa vysádzajú priamo do vegetačných panelov.
- **Intenzívne** - sú charakteristické väčšou vrstvou pôdy/substrátu (1 m a viac). Tento typ zelených striech tak umožňuje pestovanie väčších rastlín, vrátane veľkých kríkov, trávnatých porastov, kvetinových záhonov a dokonca aj stromov. V závislosti od dostupného priestoru môžu mať podobné využitie ako tradičná záhrada alebo park. Avšak vyžadujú si pravidelnú starostlivosť a zavlažovanie, sú finančne náročnejšie. [29]



Obr. 2 Typy zelených striech extenzívna (vľavo) intenzívna (vpravo)[6]

PRÍNOSY ZELENÝCH STRIECH

Medzi kľúčové prínosy zelených striech patrí najmä zmiernenie efektu tepelného ostrova a retencia vody. Pre ich dosiahnutie je rozhodujúca evapotranspirácia zo zelenej strešnej vegetácie a



substrátu, ako aj retenčný účinok. Klimatické zmeny zhoršujú mikroklimu, čo si vyžaduje prispôbenie dizajnu a funkcie zelených striech tak, aby sa dokázali efektívne prispôsobiť týmto podmienkam. Nezavlažované extenzívne zelené strechy majú značný potenciál prispieť k udržateľnosti. Nepotrebnú stály zavlažovací systém, čím nielen šetrí vodné zdroje, ale tiež pomáhajú šetriť energiu a znižovať náklady na ich údržbu. Základom zelenej strechy je aj vhodne zvolená vegetácia a typy substrátov, ktoré závisia od klímy a flóry v danej lokalite. Zmiešané rastlinné spoločenstvá vykazujú väčšiu odolnosť voči extrémnym klimatickým podmienkam a zvyšujú mestskú biodiverzitu efektívnejšie ako monokultúry. Z tohto dôvodu je vhodnejšie vybrať rôzne dreviny a trávy, aby sa v zelených strechách vytvorili zmiešané rastlinné spoločenstvá nenáročné na údržbu. Vhodne zvolený substrát by mal byť ľahký, dobre odvodnený, bohatý na živiny, pričom by mal zároveň zabezpečovať aj fyzickú oporu pre rast rastlín. [28]

Prínos pre životné prostredie

Zelené strechy prispievajú k prirodzenej filtrácii vzduchu. Dokážu zachytiť až 4 % ťažkých kovov obsiahnutých v mestskom prachu v porovnaní s tradičnými strechami. Slúžia ako prirodzené bariéry čím znižujú hladinu vonkajšieho hluku o 8–10 dB. [10] Rastliny osadené na horizontálnych či vertikálnych povrchoch slúžia ako ochrana pred slnkom, čím znižujú efekt tepelného ostrova, ktorý zvyšuje teplotu v meste (okolité prostredie dokážu ochladiť až o 4 °C) [20] a vďaka fotosyntéze rastlín regulujú emisie CO₂ v atmosfére. Taktiež slúžia ako porézne povrchy, ktoré regulujú odtok dažďovej vody (odvodňovací systém zo strechy dokážete zadržať 39 % –100 % zrážkovej vody) čo má pozitívny vplyv na evapotranspiračný proces, ktorý v sebe zahŕňa výpar zo zemského povrchu a transpiráciu. Okrem toho evapotranspirácia substrátov a rastlín osadených na strechách budov, znižuje povrchovú teplotu počas leta a v zime spomaľuje prenos tepla. [23,1]

Úspora financií

Zelené strechy môžu prispieť k zníženiu spotreby energie budov o 0,7 % v porovnaní s konvenčnými strechami, čo súvisí s prestupom tepla do budovy. V zime absorbuje teplo a v lete chráni pred vysokými teplotami. Povrch strechy chráni pred vonkajšími vplyvmi ako sú kyslé dažde, UV žiarenie a teplotné výkyvy čím predlžujú jej životnosť. [22]

Výhody pre komunitu

Implementácia zelených striech do zastavaných oblastí zvyšuje atraktivitu mestských komunit. Tieto strechy vytvárajú príjemné prostredie na relaxáciu a spojenie s prírodou, čo má pozitívny vplyv na pohodu obyvateľov. Prítomnosť zelene znižuje stres, podporuje zdravie a môže tiež prispieť k zvýšeniu produktivity obyvateľov, ktorí žijú alebo pracujú v ich okolí. [1]

BIOUHLIE

Biouhlie, pevný zvyšok získaný pyrolýzou biomasy, je materiál, ktorý nachádza široké uplatnenie v manažmente životného prostredia pre svoju adsorpčnú kapacitu a možnosti využitia ako prírodného hnojiva. Biouhlie môže byť vyrobené z rôznych druhov biomasy a jeho vlastnosti sú závislé od vstupnej suroviny a podmienok pyrolýzy (teplota, rýchlosť ohrevu, čas ohrevu). V závislosti od zvolených podmienok prípravy je možné upraviť nielen množstvo výsledného produktu, ale aj jeho fyzikálne, chemické a mechanické vlastnosti akými sú napr. povrchová plocha, poréznosť, adsorpčné vlastnosti a obsah uhlíka. [30]

Medzi potenciálne vhodné suroviny, ktoré sú pri určitých podmienkach spracovania ideálne pre požadované vlastnosti biouhlia, zahŕňajú najmä rôzne druhy drevnej biomasy s vysokým obsahom lignínu ako sú napr. škrupiny z orechov, drevené piliny a lesné odpadové materiály. [7] Aj vďaka rozmanitosti prírody a produkcii ľudskej populácie vieme získať rôzne druhy biomasy. Na základe spoločných špecifických vlastností sa biomasa rozdeľuje podľa výrobného odvetvia na:



- **poľnohospodársku biomasu** (obilná, repková, kukuričná slama, konopa, živočíšne exkrementy, odpady zo sadov a vinogradov a účelovo pestované energetické plodiny (napr. vŕba, topoľ, láskavec, štiavec);
- **lesnú biomasu** (palivové drevo, konáre, pne, korene, kôra, štiepka, rýchlorastúce dreviny);
- **odpady z drevospracujúceho priemyslu** (odrezky, hobliny, piliny);
- **komunálny a priemyselný odpad** (tuhý spáliteľný odpad, biologicky rozložiteľný odpad, skládkový plyn, kalový plyn). [8]

Napriek tomu, že rôzne štúdie preukázali potenciálnu vhodnosť niektorých druhov vstupných surovín, stále nepoznáme univerzálne zloženie biomasy, ktoré by bolo vhodné na jeho výrobu so všestranným použitím. [7]

Výroba biouhlia – pyrolýza

Pyrolýza patrí do skupiny termických procesov, cieľom ktorých je tepelné pôsobenie na organické látky za účelom prekročenia medze ich chemickej stability. Podľa chemickej povahy prebiehajúcich dejov rozlišujeme dva základné typy termických procesov – oxidačné a redukčné. Pyrolýza patrí k redukčným procesom, kde je obsah kyslíka v reakčnom priestore podstechiometrický až nulový. Vytvorenie prostredia bez obsahu kyslíka zabezpečí, že pri zahrievaní biomasy nebude prebiehať spaľovanie a umožňuje ohriať biomasu na teplotu nad hranicu jej tepelnej stability, čo vedie k tvorbe stabilnejších produktov. Produktmi sú plynné látky – pyrolýzny plyn, kvapalné látky – pyrolýzny olej/bio-olej a tuhé látky – pyrolýzny koks/biouhlie. Chemické zloženie jednotlivých produktov súvisí s reakčnými podmienkami, typom reaktora a použitou vstupnou surovinou. [24]

Pyrolýzou dochádza k chemickej deštrukcii látok obsahujúcich uhlík, proces prebieha pri teplotách 300 až 600 °C, bez prístupu kyslíka či iných splyňovacích látok. Dôležitým faktorom je aj čas pyrolýzy, podľa ktorého sa tento proces rozdeľuje na pomalú a rýchlu pyrolýzu. Technológia pomalej pyrolýzy produkuje väčšie množstvo zuhoľnateného zvyšku, kde sa využíva pozvoľný ohrev materiálu v teplotnom rozmedzí 400 až 500 °C. Doba ohrevu môže trvať od niekoľko minút až po niekoľko dní. Predĺženie doby ohrevu umožňuje, aby sa teplo dostalo až dovnútra biomasy čím sa zvýši účinnosť karbonizácie. Naopak technológia rýchlej pyrolýzy využíva rýchly ohrev biomasy a krátku dobu ohrevu v teplotnom rozmedzí 500 °C až 1000 °C, pričom produktmi sú prevažne plynné a kvapalné látky. Hlavné rozdiely medzi týmito metódami sú v množstve produkovaného biouhlia. Teplota pyrolýzy je najvýznamnejším faktorom, ktorý ovplyvňuje stabilitu, povrchovú štruktúru, pH a tiež hmotnostný výťažok výsledného produktu. Z tohto dôvodu je pre maximalizáciu výťažku preferované použitie pomalej pyrolýzy, ktorá umožňuje dosiahnuť vyšší podiel zuhoľnateného zvyšku. Biouhlie vyrobené pri nižších teplotách býva kyslé až neutrálne naopak vyššie teploty pyrolýzy spôsobujú zásaditý charakter výsledného produktu. [2,27]

Vyššie teploty pyrolýzy prispievajú tiež k odstraňovaniu prchavých organických zlúčenín prítomných vo vstupnej surovine čím dochádza k zvýšeniu obsahu uhlíka a zväčšeniu plochy povrchu (tvorba mikropórov). Zväčšenie plochy povrchu a objemu mikropórov zlepšuje jeho schopnosť adsorbovať organické látky. [21]

Vlastnosti biouhlia

Pri produkcii biouhlia je hlavným cieľom zmena jeho chemického zloženia v porovnaní so surovou biomasou. Ide predovšetkým o zvýšenie obsahu uhlíka oddelením funkčných skupín obsahujúcich kyslík a vodík. [25]

Fyzikálno-chemické vlastnosti výsledného produktu pyrolýzy sú do značnej miery regulované typom vstupnej suroviny a podmienkami pyrolýzy. Vyššia teplota môže viesť k väčšej aktivácii povrchu a zvýšeniu pórovitosti, kým rýchlosť ohrevu a čas pyrolýzy má vplyv na distribúciu pórov v produkte. [17,16] Podľa ďalších vlastností akými sú kationová výmenná kapacita, pH i funkčnej skupiny sa určuje vhodnosť použitia konkrétneho typu biouhlia pre vybrané účely. [17]



Využitie biouhlia

Vo všeobecnosti sa biouhlie používa na zlepšenie úrodnosti pôdy, zníženie emisií skleníkových plynov a úprave vôd. Vďaka vysokému obsahu organického uhlíka a značnej porézności predstavuje zaujímavé pôdne aditívum, ktoré prispieva k zlepšovaniu úrodnosti pôdy najmä zvýšenou retenciou hnojív. [9] Používa sa ako pôdne aditívum najmä v poľnohospodárstve či záhradníctve na zlepšenie vlastností pôdy a podporu rastu vegetácie, pričom množstvo pridaného biouhlia býva v rozmedzí od 2 % do 20 % obj. Organická hmota v pôde pomáha zadržiavať vodu a zároveň slúži ako zdroj živín pre rastliny. Navyše zvyšuje kationovú výmennú kapacitu pôdy, čím podporuje rast vegetácie a prispieva k druhovej rozmanitosti rastlín. Biouhlie má mimoriadne dlhý polčas rozpadu, v pôde podľa odhadov vydrží približne 1400 rokov, čo z neho robí potenciálne stabilnejšiu alternatívu k menej odolným organickým materiálom, ako sú kompost či kokosové vlákno, ktoré sú najčastejšie pridávané do substrátov pre zelené strechy. [5]

BIOUHLIE AKO PRÍDAVOK DO SUBSTRÁTOV PRE ZELENÉ STRECHY

Veľkou prekážkou implementácii zelených striech v mestách je ich objemová hmotnosť, pričom najväčšiu záťaž na statiku nosných konštrukcii a povrch strechy vytvára práve substrát. Prídavok biouhlia do extenzívnych strešných substrátov podporuje zvyšovanie množstva vody zadržanej substrátom a pritom celkovo znižuje jeho objemovú hmotnosť. Z tohto dôvodu sa pre zelené strechy volia ľahké substráty, ktoré sa zároveň vyznačujú vysokou schopnosťou retencie vody. [26]

Zelené strechy sú známe svojou schopnosťou znižovať množstvo odtekajúcej dažďovej vody, čo prispieva k nižšiemu riziku záplav, najmä po privalových zrážkach. Tento efekt spočíva v absorpcii vody substrátom a ďalšími prvkami zelených striech, vďaka čomu prispievajú k zníženiu celkového objemu odtekajúcej dažďovej vody a predlžujú jej postupné uvoľňovanie. Biouhlie predstavuje inovatívne aditívum do substrátov využívaných na zelených strechách a prispieva k zlepšeniu ich fyzikálnych, chemických vlastností a tiež podporuje rast vegetácie v náročných podmienkach strešného prostredia. Biouhlie však nie je homogénny materiál s rovnakými vlastnosťami, tie závisia predovšetkým od vlastností vstupnej suroviny, teploty, dĺžky ohrevu, ale aj od kombinácie s inými hnojivami, od pôdy, do ktorej sa aplikuje, od dĺžky jeho kontaktu s pôdnymi časticami, od aplikačnej dávky, ale i iných. Tenká vrstva substrátu vytvára zníženú zakoreňovaciu zónu pre rastliny, ktoré na strechách často čelia náročným podmienkam. Rastliny musia prekonať extrémne teplotné rozdiely, priame slnečné žiarenie alebo silný vietor. Prídanie biouhlia môže zvýšiť schopnosť zadržiavať vodu v substráte, znížiť objemovú hmotnosť (v porovnaní s pôdou) a tým podporiť rast rastlín. A to najmä vďaka vysokej kapacite zadržiavania vody, ktorá je daná veľkým špecifickým povrchom a poréznosťou biouhlia. To umožňuje rastlinám udržať si živiny v substráte a znížiť ich vyplavovanie dažďovou vodou. [13]

Prídanie biouhlia môže zlepšiť zásobovanie rastlín vodou, čo nielen umožňuje výber širšieho spektra rastlín, ale zároveň zvyšuje schopnosť substrátu zadržiavať dažďovú vodu. Aplikácia biouhlia získaného z odpadovej biomasy (mestská zeleň) v rozmedzí 0 až 40 % obj., do rastového substrátu má významný vplyv na výslednú objemovú hmotnosť a tiež na predĺženie času, pokiaľ rastliny trvalene zvädnú. Zvyšovanie podielu biouhlia v substráte výrazne zlepšuje schopnosť zadržiavať vodu, pričom 30 %-ný prídavok zvyšuje množstvo vody dostupnej pre rastliny o 16 % a predlžuje čas do trvalého vädnutia rastlín o 2 dni. Zvýšenie množstva prídavku na 40 % zlepšuje schopnosť substrátu zadržiavať dažďovú vodu o viac než 74 %. Navyše, tento podiel biouhlia môže znížiť objemovú hmotnosť substrátu o 38 % v porovnaní s čistým substrátom, čo je dôležité pre odľahčenie strešného systému. [5]

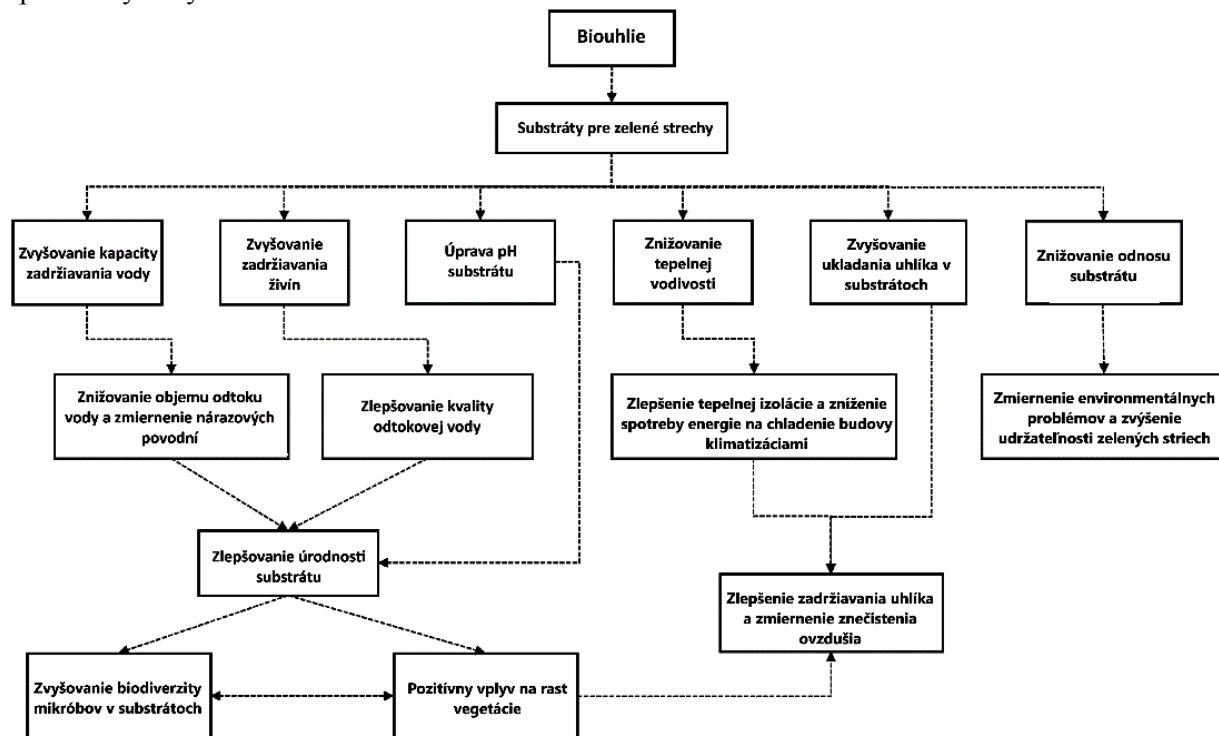
Začlenenie biouhlia zlepšuje pórovitosť substrátu a vedie k lepšiemu prevzdušneniu pôdy, pohybu vody a podpore vývoja koreňových systémov rastlín. [5] Preto by rastliny pestované na substrátoch obohatených o biouhliemali mať znížené požiadavky na zavlažovanie a tiež lepšiu toleranciu voči stresu zo sucha. Biouhlie môže pôsobiť aj ako hnojivo s pomalým uvoľňovaním živín



alebo iných mikronutrientov potrebných pre rast rastlín. Môže dodávať živiny rastlinám, pretože obsahuje vysoké koncentrácie Ca, K a Mg [13], a tiež má vplyv na fyzikálne vlastnosti substrátu tým, že zlepšuje stav živín v pôde a zmiernuje vyplavovanie živín. Už prídavkom 8 % obj. biouhlia do substrátu sa zadržiavanie dažďovej vody zvýši približne o 4 %, pričom celkový obsah dusíka a fosforu v odtekajúcej vode sa zníži o 79 % a 20 %. [3]

Podiel vzduchu a vody v substráte je dôležitý pre rast, vývoj a prežitie vegetácie. Preto je v tomto ohľade najdôležitejším fyzikálnym parametrom substrátu distribúcia častíc rôznej veľkosti, ktorá určuje množstvo vody, ktoré substrát dokáže zadržať. Veľkosť častíc určuje pórovitosť substrátu, pretože blokuje medzičasticové póry substrátu a zvyšuje jeho mikroporéznosť. Malé častice biouhlia zvyšujú zadržiavanie vody v pôde vďaka väčšej povrchovej ploche a značnej pórovitosti. Naopak veľké častice majú tendenciu zadržiavať vodu v pôde v menšej miere. Aj keď malé častice biouhlia prispievajú k lepšej homogenizácii so substrátom, v niektorých prípadoch sa preukázalo, že biouhlie relatívne veľkými časticami v kombinácii so špecifickými typmi pôdy arastlinných druhmi dosahuje lepšie výsledky a má tiež priaznivý vplyv na rozvoj vegetácie. [4] Substrát by mal obsahovať zmes menších a väčších častíc, pretože medzery medzi nimi podporujú rast koreňov, rozvoj mikrobiálnej aktivity, prúdenie vzduchu a priesak vody. Ideálny podiel pórov v substráte by mal byť približne 50 %, pričom voda by mala zaplniť polovicu týchto pórov a druhú polovicu by mal tvoriť vzduch. Ak je však vody priveľa, substrát sa stáva príliš ťažkým a premočeným, zatiaľ čo pri nadbytku vzduchu hrozí, že rastlinám bude chýbať potrebná vlhkosť, čo môže viesť k vysychaniu. [12]

Častice biouhlia sú tiež jemnejšie a ľahšie než bežné pôdy. Drobné častice majú tendenciu byť ľahšie odnášané vetrom alebo odplavované vodou, pokiaľ nie sú zmiešané s väčšími časticami substrátu. Keďže zelené strechy často čelia silnému vetru, riešením môže byť aplikácia biouhlia vo forme peliet a granúl, ktoré sú odolnejšie voči odnosu a jednoduchšie na manipuláciu. [14] Obrázok 3 poskytuje súhrn výhod aplikácie biouhlia ako prídavku do substrátov použitých na zelených strechách spomínaných vyššie v texte.



Obr. 3 Vývojový diagram znázorňujúci výhody biouhlia v zelených strechách [18]

Použitie biouhlia v substrátoch má aj nevýhodu, ktorou je jeho vyššia cena v porovnaní s bežne používanými aditívami, akými sú kompost či kokosové vlákno. Vyššia cena biouhlia vyplýva z jeho výrobného procesu, ktorý zahŕňa pyrolýzu biomasy pri vysokých teplotách, čo je energeticky



náročné. Napriek tomu má biouhlie významné dlhodobé prínosy – podrobnejšie popísané vyššie – ktoré prispievajú k dlhodobému zlepšeniu kvality substrátu. Tieto dlhodobé prínosy môžu byť kľúčové v mestských oblastiach, kde je dôležité znížiť environmentálnu záťaž a posilniť adaptabilitu mestského prostredia voči meniacej sa klíme. [18]

ZÁVER

Aplikácia biouhlia do substrátov na zelených strechách môže byť jedným zo spôsobov ako prispieť k udržateľnému rozvoju v mestských aglomeráciách. Biouhlie zlepšuje zadržiavanie vody, znižuje vyplavovanie živín a znižuje tiež odnos substrátu vetrom, čím prispieva k vytvoreniu odolnejších mestských ekosystémov. Hoci jeho súčasná cena môže brániť širšiemu využitiu v bežnej praxi, pokiaľ sa na jeho výrobu využívajú najmä odpadové materiály (napr. odpadová biomasa), jeho dostupnosť sa môže výrazne zvýšiť.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] ABASS, F., ISMAIL, L.H., WAHAB, I.A., ELGADI, A.A. 2020. A review of green roof: definition, history, evolution and functions, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering , 713 (1), 012048.
- [2] AYSU, T., KÜÇÜK, M. M. 2013. Biomass pyrolysis in a fixed-bed reactor: Effects of pyrolysis parameters on product yields and characterization of products. Energy, 64, pp. 1002-1025.
- [3] BECK, D. A., JOHNSON, G. R., SPOLEK, G. A. 2011. Amending greenroof soil with biochar to affect runoff water quantity and quality, Environmental Pollution, 159(8–9), pp. 2111-2118.
- [4] BILLAH, M. M., AHMAD, W., & ALI, M. 2019. Biochar particle size and Rhizobias strains effect on the uptake and efficiency of nitrogen in lentils, Journal of Plant Nutrition, 42(15), pp. 1709-1725.
- [5] CAO, C. FARRELL, C., KRISTIANSEN, P., RAYNER, J. 2014. Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants, Ecological Engineering. 71, pp. 368-374.
- [6] DAG SLOVAKIA, a.s. ©2024. Ekologické zelené strechy, < <https://www.zelenastrecha.eu/zelene-strechy.html> >
- [7] DEMIRBAS, A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. In Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 72(2), pp. 243-248.
- [8] ENVIRO PORTÁL. (Informačný portál rezortu MŽP SR) © 2005 – 2021, Biomasa,
- [9] < <https://old.enviroportal.sk/biomasa> >
- [10] HUSSAIN, M., FAROOQ, M., NAWAZ, A., AL-SADI, A.M., SOLAIMAN, Z.M., ALGHAMDI, S.S., AMMARA, U., OK, Y.S., SIDDIQUE, K.H.M. 2016. Biochar for crop production: potential benefits and risks, Soils Sediments, 17, pp. 685-716.
- [11] CHEN, X., HUANG, P., ZHOU, Z., GAO, C. 2015. A review of green roof performance towards management of roof runoff, The Journal of Applied Ecology, 26(8), pp. 2581-90.
- [12] KACHENCHART, B., PANPRAYUN, G. 2024. Selection of tropical plants for an extensive green roof with abilities of thermal performance, energy conservation, and greenhouse gas mitigation, Building and Environment, 265, 112029.
- [13] LATSHAW, K., FITZGERALD, J., SUTTON, R. 2009. Analysis of Green Roof Growing Media Porosity. In RURALS: Review of Undergraduate Research in Agricultural and Life Sciences, 4(1), pp. 1-9.
- [14] LEE, J., KWON, E. E. 2024. Biochar in green roofs, Journal of Building Engineering, 89, 109272.



- [15] LI, L., ZHANG, Y.J., NOVAK, A., YANG, Y., WANG, J. 2021. Role of Biochar in Improving Sandy Soil Water Retention and Resilience to Drought. *Water*, 13(4), 407.
- [16] LIU, C., LI, Y., LI, J. 2017. Geographic information system-based assessment of mitigating flashflood disaster from green roof systems, *Computers Environment and Urban Systems*, 64, pp. 321-331.
- [17] LIU, Y., LONAPPAN, L., BRAR, S.K., YANG, S. 2018. Impact of biochar amendment in agricultural soils on the sorption, desorption, and degradation of pesticides: A review, *Science of The Total Environment*, 645, pp. 60-70.
- [18] NDIRANGU S. M., LIU, Y., KAI XU, SONG S. 2019. Risk Evaluation of Pyrolyzed Biochar from Multiple Wastes, *Journal of Chemistry*, pp. 1-28.
- [19] NGUYEN, C., CHAU, H.-W., KUMAR, A., CHAKRABORTY, A., MUTTIL, N. 2024. Biochar Amendment in Green Roof Substrate: A Comprehensive Review of the Benefits, Performance and Challenges, *Applied Sciences*, 14, 7421.
- [20] OBERNDORFER, E., LUNDHOLM, J., BASS, B., COFFMAN, R. R., DOSHI, H., DUNNETT, N., GAFFIN, S., KÖHLER, M., LIU, K. K. Y., ROWE, B. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), pp. 823-833.
- [21] PERON, F., DE MARIA, M., SPINAZZÈ, F., & MAZZALI, U. 2015. An analysis of the urban heat island of Venice mainland, *Sustainable Cities and Society*, 19, pp. 300-309.
- [22] QIU, B., SHAO, Q., SHI, J., YANG, C., CHU, H. 2022. Application of biochar for the adsorption of organic pollutants from wastewater: Modification strategies, mechanisms and challenges, *Separation and Purification Technology*, 300, 121925.
- [23] SAILOR, D. J., ELLEY, T. B., GIBSON, M. 2011. Exploring the building energy impacts of green roof design decisions – a modeling study of buildings in four distinct climates. *Journal of Building Physics*, 35(4), pp. 372-391.
- [24] STOVIN, V., POĚ, S., DE-VILLE, S., BERRETTA, C. 2015. The influence of substrate and vegetation configuration on green roof hydrological performance, *Ecological Engineering*, 85, pp. 159-172.
- [25] TRIPATHI, M., SAHU, J.N., GANESAN, P. 2016. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, pp. 467-481.
- [26] WEBER, K., QUICKER, P. 2018. Properties of biochar, *Fuel*, 217, pp. 240-261.
- [27] WERDIN, J., CONN, R., FLETCHER, T. D., RAYNER, J. P., WILLIAMS, N. S., FARRELL, C. 2021. Biochar particle size and amendment rate are more important for water retention and weight of green roof substrates than differences in feedstock type, *Ecological Engineering*, 171, 106391.
- [28] WOOLLEY, S., HALLOWELL B. 2018. Biochar: An Overview, In *Biomass Controls*, LLC Center for Disease Control, pp. 32.
- [29] XU, Y., LIAO, Z., LIU, J., LIU, C., LI, Y. 2024. Unirrigated Extensive Green Roofs in Humid Subtropics – Plant Selection and Substrate Design for Low Maintenance and Climate Resilience, *Urban Forestry & Urban Greening*, 128554.
- [30] ZAHEDI, R., OMIDIFAR, R., BALAGHI, S. F., POUREZZAT, A. A., YOUSEFI, H., TAGHITAHOONEH, M., SHAGHAGHI, A., AHMADI, A. 2024. Heating, cooling and energy management of cold climate educational built environments using green roofs. *Urban Governance*. ISSN 2664-3286.
- [31] ZHAO, B., O'CONNOR, D., ZHANG, J., PENG, T., SHEN, Z., TSANG, D. C., HOU, D. 2017. Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar, *Journal of Cleaner Production*, 174, pp. 977-987.