

Substrát pro výsadbu lesních dřevin s využitím kalů z ČOV – jejich vlastnosti a použití

Certifikovaná metodika

zpracovaná v rámci řešení projektu CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024778 Optimalizace úpravy a zpracování kalů z čistíren odpadních vod při výrobě pěstebních substrátů a jejich bezpečné využití

Tým autorů metodiky a adresy řešitelských pracovišť:

Ing. Josef Janoušek, Ph.D.

Rašelina a.s. (Na pískách 488, 392 01 Soběslav)

Ing. Aleš Kučera, Ph.D.

Ing. Vlastimil Skoták

Doc. Ing. Valerie Vranová, Ph.D.

Ústav geologie a pedologie, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně
(Zemědělská 3, 613 00 Brno)

Jména oponentů, názvy a adresy jejich organizací:

Posudek pracovníka příslušného odborného orgánu státní správy vypracoval:

Ing. Jaroslav Kubišta, Ph.D. (*kubista.jaroslav@uhul.cz*); Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, Nábřežní 1326, 250 01 Brandýs nad Labem.

Posudek odborníka v daném oboru vypracoval:

Ing. Martin Dubský, Ph.D. (*dubsky@vukoz.cz*); Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i., Květnové náměstí 391, 252 43 Průhonice.

OBSAH

1. Cíl metodiky.....	2
2. Vlastní popis metodiky.....	2
2.1 Hlavní suroviny pro výrobu speciálních substrátů na bázi upravených kalů z ČOV.....	3
2.1.1 Rašelina	4
2.1.2 Kůrové a dřevní substráty	4
2.1.3 Biouhel	6
2.1.4 Glaukonit.....	8
2.2 Úprava kalů z ČOV – Řízené kompostování	10
2.3 Suroviny pro premixy na vstupu	11
2.4 Kompostovací procesy	13
2.5 Hodnocení premixu na konci kompostování.....	15
2.6 Zásady přípravy premixu	18
2.7 Výroba substrátů s použitím premixů a jejich vlastnosti	19
3. Testy toxicity pro výsledné substráty	21
4. Shrnutí zásad přípravy a použití substrátu	21
5. Srovnání novosti postupů	24
6. Popis uplatnění certifikované metodiky	24
7. Ekonomické aspekty	24
8. Seznam použité související literatury.....	25
9. Seznam publikací, které předcházely metodice	30
10. Dedikace.....	30
11. Přílohy	31

1. Cíl metodiky

Cílem metodiky je navrhnout technologické postupy při výrobě substrátů pro výsadbu lesních dřevin a dřevin rostoucích mimo les s využitím kalů z ČOV. Pro přípravu substrátů vybrat vhodné komponenty a postupy zpracování kalů s úpravou jejich mikrobiálních vlastností. Použitím dalších komponentů (biouhel, glaukonit) optimalizovat vlastnosti substrátů, upravit hodnotu pH a nutriční kompozici a použitím doplňkových komponentů (vláknitá rašelina, kompostovaná kůra, dřevní vlákno) případně optimalizovat hydrofyzikální vlastnosti substrátů.

2. Vlastní popis metodiky

Kaly z čištění komunálních odpadních vod jsou podle české legislativy (Vyhlášky č. 8/2021 Sb. katalog odpadů) zařazeny mezi odpady, pod katalogovým číslem 19 08 05, a to mezi odpady kategorie O – ostatní odpad. Kal vzniká jako nevyhnutelný odpad při čištění odpadních vod. Čištění je zpravidla navrženo tak, aby odstraňovalo nežádoucí a škodlivé složky z vody a koncentrovalo je v kalu. V kalu zůstává také přebytečná biomasa z biologického čištění, které je jednou z fází čistícího procesu. Tvorbě kalů nelze zabránit, pouze lze optimalizací technologie zmenšit jeho konečné množství. Odpadová politika EU potlačuje ukládání odpadů na skládky a podporuje předcházení vzniku odpadů, jejich minimalizaci a recyklaci. Ukládání kalů na skládky je v ČR zakázáno. Kaly jsou proto upravovány tak aby se před dalším použitím alespoň částečně eliminovaly nebezpečné složky, jež jsou v kalu obsaženy a poté jsou likvidovány převážně v zemědělství, prostým zaoráním do půdy. Znečišťující složky obsažené v kalech jsou zpravidla anorganického původu v podobě rizikových prvků rtuti, kadmia, arsenu, chromu, niklu, olova, mědi, zinku, molybdenu, dále kaly obsahují organické polutanty bakterie, viry, antibiotika, syntetické hormony atd. V kalech se nacházejí i další složitě analyzovatelné sloučeniny všeho druhu a nebezpečné látky jako polychlorované bifenyly, polycyklické aromatické uhlovodíky, hexachlorcyklohexan, organochlorid atd. Z dobře využitelných prvků kaly obsahují uhlík, dusík, fosfor, draslík, vápník a hořčík. Všechny tyto prvky jsou biogenní, tedy nezbytné pro růst rostlin, přičemž dusík, fosfor a draslík jsou základními prvky, obsaženými v průmyslově vyráběných zemědělských hnojivech.

Legislativně byla problematika využití kalů upravena vyhláškou 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Tato vyhláška obsahovala § 12 (přechodná ustanovení), ve kterých bylo definováno datum 1. 1. 2020 do kterého mělo být podle § 10 provedeno ověření technologie na úpravu kalů z hlediska účinnosti a § 5 předepisující přísnější mikrobiální kritéria pro aplikaci kalů na zemědělskou půdu, jež jsou konkrétně uvedena v příloze č. 4. vyhlášky. Protože se ukázalo, že subjekty provozující čistírny odpadních vod nedokázaly od vydání vyhlášky v roce 2016 do konce přechodného období k 1. 1. 2020 splnit ustanovení § 10 a § 5, byla vyhláška 437/2016 Sb. na poslední chvíli 14. 11. 2019 novelizována a přechodné období bylo prodlouženo do 31. 12. 2022. Problémem bylo zejména to, že bez vysoké investice a zásadní změny technologie na zpracování kalů tak, aby úprava

kalů splnila parametry uvedené ve vyhlášce, by nebylo podle předchozí legislativy po 31. 12. 2022 možné kaly na zemědělskou půdu ukládat. V současné době využití kalů z ČOV upravuje Vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, která stanovuje kritéria, za jakých lze kaly ukládat na zemědělskou půdu. (Vyhláška č. 445/2022 Sb. novelizovala vyhlášku č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, kdy se změnil §57 a §61 a příloha č. 38, s účinností od 1.1. 2023)

Z diskuse a legislativy, která se připravuje na úrovni EU a která tvoří směrnice pro české vyhlášky, je ale víceméně jasné, že do budoucna nebude možné kaly z ČOV používat v zemědělství při produkci potravin a zpracování kalů bude zásadně regulováno. Požadavkem je takové využití nebo zpracování kalů, které je přijatelné pro životní prostředí, udržitelné a ekonomicky únosné.

Z výše uvedených důvodů se v současnosti hledají nové směry ve zpracovávání kalů z ČOV a jejich nové využití. Jednou z možností je přesměrování části produkovaných kalů ze zemědělství, do lesnictví a veřejné zeleně, kde by byl využit hnojivý potenciál látek obsažených v kalu. Podmínkou je však zajištění a odzkoušení bezpečné úpravy kalů, aby kal mohl tvořit surovinu pro pěstební substráty a finální výrobek splnil podmínky pro registraci jako hnojivo, podle zákona o hnojivech.

2.1 Hlavní suroviny pro výrobu speciálních substrátů na bázi upravených kalů z ČOV

V následující kapitole jsou popsány suroviny, které byly využity ve výsledných substrátech pro výsadbu lesních dřevin s využitím kalů z ČOV. Tyto suroviny byly zvoleny kvůli jejich vlastnostem, popsaným v následujících podkapitolách. Přičemž hlavní myšlenkou při definování výsledných substrátů bylo snížení množství rašeliny v mixu a její nahrazení jinou surovinou, i když se jí zatím nelze zcela vyhnout. Používání rašeliny způsobuje devastaci rašelinišť na severní polokouli a nárůst skleníkových plynů v atmosféře (La Bella et al. 2021). Rašelina přirůstá – o 1 mm až 1 cm za rok, ale přesto ji nelze považovat za obnovitelný zdroj. Vzhledem k teplejšímu klimatu s rozkolísanými srážkami se dá očekávat spíše útlum v růstu rašeliničů. Také nevznikají nová rašeliniště. Obnova rašelinoformných procesů po plošné intenzivní těžbě je prakticky nemožná. V nejlepším případě vznikne přírodě blízký mokřad na rašelinném podkladu (Placková 2020). Z hlediska ochrany ovzduší jsou rašeliniště zdrojem velkého množství CO₂, metanu a dalších skleníkových plynů (Anthony a Silver 2021). Přitom metan uniká z vlhkých rašelinišť a CO₂ z vysušených. Vysoušení zvyšuje dlouhodobý efekt oteplování prostřednictvím pokračujících emisí CO₂. To má podle matematických modelů větší dlouhodobý vliv na atmosféru než krátkodobě působící metan (Günther et al. 2020, Morris 2021). Z těchto důvodů je patrná rostoucí poptávka po udržitelných a cenově přijatelných alternativách k rašelině (Nocentini et al. 2021), jako je například biouhel (BC), kompost (Zulfiqar et al. 2019) a dřevní vlákno (Barret et al. 2016).

2.1.1 Rašelina

Rašelina je koncentrovaný, částečně rozložený rostlinný materiál. Lze ji definovat jako nahromadění 100 % čistého organického materiálu, který obsahuje alespoň 65 % organické hmoty nebo méně než 35 % minerálního obsahu. Literární zdroje uvádí, že rašelina tvoří 2 % zemského povrchu, Huat et al. (2011) uvádí až 8 %. Složení rašeliny se liší podle místa původu, vliv má také zdroj organického materiálu, klima a vlhkost. Fyzikální vlastnosti rašeliny jsou do značné míry závislé na rozmístění pórů, které souvisí s distribucí velikosti částic. Jak velikost a struktura částic, tak výsledná pórovitost rašeliny jsou ovlivněny především stupněm rozkladu. S rostoucí mírou rozkladu se velikost organických částic zmenšuje, což má za následek menší póry a více suchého materiálu na jednotku objemu (Huat et al. 2011). Rašelinu lze využívat také jako sorbent pro zachycování rozpuštěných kovů z odpadních toků (Brown et al. 2000).

V lesnictví a zemědělství je rašelina tradičně využívána pro zlepšení vlastností substrátů a půdy. Zvyšuje schopnost půdy uchovávat vlhkost. Do půdy přidává humus a zlepšuje její strukturu. Rašelina je přirozeně poměrně kyselá (pH 3,5 až 4,5), takže na zvýšení pH se přidává vápenec. Lamhamedi et al. (2020) se zabývají problematikou kyselosti substrátů na bázi rašeliny používaných v lesních školkách. Kyselost omezuje minerální výživu a růst sazenic i aktivitu mikroorganismů. Posuzují použití granulovaného kalcitu jako krycího materiálu pro zvýšení pH. Vápenec je začleněn do substrátů na bázi rašeliny, aby neutralizoval kyselost substrátu, zvýšil pufrční kapacitu a poskytl vápník a hořčík. Fisher et al. (2006) vyvinuli kvantitativní model pro popis reakce vápence v rašelinových substrátech v průběhu času. Fyzikální kvalita rašelinových směsí částečně souvisí se schopností substrátu zajistit v kořenovém systému rostlin optimální poměr vody a vzduchu (Nkongolo a Caron 1999).

Rašelina má přirozeně nízký obsah živin, především draslíku a fosforu. Kromě minerálních hnojiv se testují i organické komponenty. De Tender et al. (2019) popisují při pokusech na salátu, že přidání chitinu do rašelinového substrátu stimuluje produkci mikrobiální chitinázy. Degradace chitinu vede k uvolňování živin a produkci malých chitinových oligomerů, které souvisí s podporou růstu rostlin a aktivací obranné reakce rostliny. Mandre et al. (2010) zkoumali účinky různých dávek (0,25; 0,5 a 1,0 kg m⁻²) dřevěného biouhlu (WA), rašelinového biouhlu (PA) a jejich směsi (MA) aplikovaných na rašelinový substrát na minerální složení a růst sazenic břízy. Rašelinový substrát byl chudý na živiny, kromě N. Substrát ošetřený WA měl vyšší koncentrace K, Mg, Mn, Fe, P, Zn, Cr a Pb, ale nižší koncentraci N ve srovnání s kontrolou. Substrát ošetřený PA měl vyšší koncentrace Ca, Mg, N a P. Koncentrace při ošetření MA byly mezi WA a PA. Byl zjištěn pozitivní vliv aplikace biouhlu na růst. Výšky a průměry kořenového krčku všech variant hnojených biouhlem ve většině případů převyšovaly kontrolní sazenice.

2.1.2 Kůrové a dřevní substráty

Další variantou, jak se vyhnout, nebo snížit potřebu využívání rašeliny jsou kůrové a dřevní substráty. Existují také ekonomické výhody, protože použití dřevních zbytků znamená nižší náklady ve srovnání s konvenčními materiály (Ingelmo et al. 1998). Využití může mít pozitivní

vliv na výsledný substrát i z dalších důvodů. Kebibeche et al. (2019) uvádějí, že přidavek dřevěných pilin do kompostu na bázi čistírenských kalů zvyšuje obsah dusíku, což vede k mírně alkalickému kompostu, který ovlivňuje klíčení semen snížením fytotoxicity v kombinaci s čistírenskými kaly. Během tohoto procesu co-kompostování dochází i k degradaci dalších látek, například aromatické uhlovodíky (Guo et al. 2020). Matematickým modelem kompostování kalů a dřevního odpadu se zabýval Golbaz et al. (2021).

Kůrové substráty jsou celosvětově velmi používané, ale nových studií na téma jejich výroby a využívání není mnoho. Ve spojených státech je kůrový substrát z borové kůry primární složkou kontejnerových substrátů (Altland et al. 2018). Fyzikální vlastnosti borové kůry se liší v závislosti na původu. Borová kůra může být zpracována kladivovým frézováním nebo mletím před nebo po zrání (odležení), podle doby zrání se kůra označuje jako čerstvá (≤ 1 měsíc), nebo vyzrálá, odleželá (≥ 6 měsíců). Čerstvá borová kůra se neustále fyzikálně a chemicky mění, a proto není zcela stabilní. Stáří kůry ovlivňuje fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti substrátu. Nedávná studie dospěla k závěru, že fyzikální vlastnosti se stabilizují po 6 měsících stárnutí (Kaderábek 2017). Harrelson et al. (2004) pěstovali skalník v čerstvé nebo odleželé (1 rok) borové kůře doplněné třemi dávkami hnojiv. Skalník byl menšího vzrůstu při pěstování v čerstvé borové kůře a rozdíly v růstu byly připisovány nižší kapacitě zadržování vody v čerstvé kůře ve srovnání se starou (odleželou). Naproti tomu Cobb a Keever (1984) porovnávali čerstvou a vyzrálou borovou kůru doplněnou hnojivem s řízeným uvolňováním dusíku na růst cesmíny japonské. Růst v čerstvé kůře se rovnal nebo převyšoval růst ve staré kůře. Tyto výsledky nejsou překvapivé, jelikož žádný substrát není vhodný pro všechny druhy rostlin (Lea-Cox a Smith, 1997). Každý substrát je třeba vytvořit s ohledem na přirozené stanovištní podmínky konkrétní rostliny.

Kromě toho se kůra běžně doplňuje pískem, aby se změnila fyzikální vlastnosti a zvýšila objemová hustota. S rostoucí velikostí částic se snižuje hydraulická vodivost (Altland et al. 2018). Do substrátů na bázi borové kůry se běžně přidává dolomit a mikroživinové hnojivo. Výsledky studie Shreckhise et al. (2019) naznačují, že doplnění borové kůry o dolomit a mikroživiny je nejlepším technologickým postupem pro snížení vyluhování fosforu. Postupy zpracování a skladování borové kůry mohou v konečném důsledku ovlivnit její fyzikální vlastnosti. Stáří borové kůry, zdroj a typ písku použitý jako minerální doplněk přitom patří mezi nejdůležitější faktory (Bilderback et al., 2000).

Guerrero et al. (2002) studovali použití borové kůry a kompostovaného čistírenského kalu k výrobě alternativních substrátů. Testovanými substráty byly borová kůra hnojená 1 a 4 g l⁻¹ NPK (15: 11 : 13) s pozvolným uvolňováním. Dále substrát, ve kterém bylo 15 % borové kůry nahrazeno kompostovaným čistírenským kalem. Všechny substráty se ukázaly jako vhodné pro pěstování borovice pinie v provozních podmínkách. Koncentrace dusičnanů a těžkých kovů ve výluzích byla nižší, než povoluje nařízení Evropské unie. Kompost z čistírenských kalů zvyšuje růst a výnos plodin (Smith et al 1992), ale je třeba volit vhodné postupy aplikace z důvodu přítomnosti polutantů, těžkých kovů a dalších látek. Kompostování kalů se zabývali například Riffaldi et al. (1986), Bevacqua a Mellano (1993), Kosobucki et al. (2000) a další. Četná literatura z nedávné doby se pak zaměřuje na konkrétní procesy při kompostování (Kebibeche et al. 2019).

2.1.3 Biouhel

Biouhel, nazývaný anglickým termínem „biochar“, je na uhlík bohatý produkt získaný tepelným rozkladem organického materiálu (pyrolýzou), například dřevní nebo rostlinné biomasy, ale i hnoje, či digestátu (Marchetti a Castelli 2013), bez přístupu vzduchu, za vysokých teplot (200–800 °C).

Využívání zuhelnatělé biomasy pro agronomické účely zmiňuje již v roce 1929 John Morley v časopise *The National Greenkeeper*. Popisuje pozitiva aplikace hnědého uhlí a následné zlepšení půdní struktury (Morley 1929). V šedesátých letech byla popsána území v Amazonii, kde spolupůsobení spálené biomasy a dalších organických materiálů vedlo k vytvoření velmi úrodných půd a ty nesou dnes již zažité označení terra preta (Sombroek 1966). V důsledku neustálého zvyšování koncentrace CO₂ v atmosféře se novodobě začalo uvažovat, že aplikací materiálu s vysokým obsahem uhlíku, jakým biouhel je, se část uhlíku bude dlouhodobě ukládat v půdě (Břendová a kol. 2015).

Biouhel je materiál, jenž obsahuje až 90 % uhlíku a skládá se z aromatických sloučenin charakterizovaných šesti atomy uhlíku. Toto aromatické uspořádání struktury biouhlu inhibuje rozklad v půdě, proto mikroorganismy takto složité sloučeniny dokážou využít jen s obtížemi (Rosa a kol. 2008). Náchylnost biouhlu na oxidativní změny v půdě lze měřit poměry kyslíku, vodíku a uhlíku (O:H, O:C, C:H). Tyto prvky jsou běžně stanovitelné elementární analýzou. Životnost biouhlu je odhadována na základě poměru kyslíku a uhlíku (0,008) obsaženého v tomto materiálu až na 51000 let (Spokas 2010).

Mikropóry hrají důležitou roli v adsorpci molekul na sorpční povrch biouhlu. Objem mikropórů se pohybuje v rozmezí 0,2–0,5 cm³.g⁻¹, makropórů 0,6–1,0 cm³.g⁻¹ (Lehmann 2009). Specifický povrch biouhlu je vyšší než u písčitých půd a je srovnatelný nebo vyšší než u minerálů. Proto přidávek biouhlu do půdy zvyšuje specifický povrch půd (Chan a kol. 2007). Na základě těchto vlastností bylo následně zjištěno, že biouhel má schopnost zadržovat vodu v půdách (Glaser a kol. 2002). Díky své schopnosti adsorpce může biouhel z vody odstranit těžké kovy, pesticidy, herbicidy a hormony. Může také snížit emise N₂O a CH₄ ze zemin (Kabelíková 2018). Biouhel má schopnost sorbovat léčiva, ale jeho účinnost není příliš velká. Celkové průměrné odstranění léčiv z vody ve studii Kabelíkové (2018) bylo kolem 35 % a např. u Ibuprofenu má účinnost ještě mnohem menší, a to v rozmezí od cca 0,2 do 30 %.

Břendová a kol. (2015) ve svém experimentu zjišťovali vlastnosti biouhlu v závislosti na finální teplotě pyrolýzy a původu vstupní biomasy. Pyrolyzována byla sláma pšenice, odkorněné dřevo topolu a celá rostlina kukuřice za 5 různých finálních teplot, při atmosférickém tlaku, době zdržení 30 minut a jako nosný plyn byl použit dusík. Bylo zjištěno, že se vzrůstající teplotou se lineárně snižuje výtěžek biouhlu a logaritmičtě se zvyšuje hodnota specifického povrchu. Nejvyšší hodnoty specifického povrchu vykazoval biouhel z biomasy dřevní směsi: až 556 m².g⁻¹. Naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny u biouhlu ze slámy pšenice. Jejich zjištění odpovídají výsledkům jiných autorů, kteří uvádějí, že specifický povrch biouhlu připraveného ze dřeva je vyšší než u biouhlu z travní biomasy.

Biouhel zlepšuje vlastnosti půdy a zvyšuje její úrodnost. Je ale potřeba přesně definovat podmínky přípravy biouhlu a jeho vlastnosti a následně popsat vhodnost tohoto materiálu pro dané typy půd (Břendová a kol. 2015). Zvýšený specifický povrch půdy za přítomnosti černého uhlí přispívá k vyšší kationové výměnné kapacitě (KVK), ta omezuje nebezpečí vyplavování

živin (Liang a kol. 2006). Biouhel obsahuje vysoká množství alkalických kovů (Ca, Mg, K), což přispívá k neutralizaci půdní kyselosti (Novak a kol. 2009). Všeobecně se udává, že hodnota pH se pohybuje v rozmezí 8,2–13.

Při přípravě substrátů se biouhel používá i jako náhrada rašeliny. Zulfiqar et al. (2019) se věnovali účinku přidání BC k substrátu na bázi rašeliny na růst *Syngonium podophyllum*. BC byl pyrolyzován z pšeničné slámy při 350 °C. Koncentrace dusíku, fosforu, draslíku a chlorofylu v listech a čistá rychlost fotosyntézy rostlin pěstovaných v substrátech upravených BC byly významně vyšší než u rostlin pěstovaných v kontrolním substrátu. Výsledky ukazují, že BC lze použít k nahrazení 20 % objemu rašeliny. Naproti tomu Sarauer, a Coleman (2019) dokázali, že použití biouhlu v rašelinovém substrátu nezlepšilo kvalitu sazenic douglasky, kromě mírného zvýšení mrazuvzdornosti. Sazenice pěstované bez biouhlu měly větší výšku a průměr ve srovnání se sazenicemi s biouhlem a měly vyšší růstový potenciál kořenů. Kvalitu sadby douglasky lze zlepšit úpravou biouhlu, pokud lze překonat negativní růstové dopady půdní reakce. Biouhel je v současnosti aktuální téma pro výzkum (vzniká velké množství nových studií) i praxi.

Další možností využití biouhlu se zabýval Ngo a kol. (2013) a ve své studii popisují směsi biouhlu s kompostem, vermikompostem a hnojem. Zjistili, že přítomnost biouhlu v těchto matricích chrání organickou hmotu před oxidací, a tak mění jejich náchylnost k biodegradaci, a tudíž podporuje ukládání uhlíku v těchto matricích.

Již v roce 1948 ve své disertační práci zmiňuje Tryon (1948) myšlenku, že by hnědé uhlí mělo mít schopnost poutat znečišťující látky v půdě. V tomto směru bylo napsáno mnoho publikací. Řada autorů potvrzuje hypotézu omezení mobility rizikových prvků. Například Gomez a kol. (2011) pozorovali v inkubačním experimentu průkazné snížení přijatelného kadmia a mědi a zvýšení pH po aplikaci biouhlu v průběhu 1–2 měsíců.

Naghipour a kol. (2019) vytvořili biouhel z borovicových šišek a pokusili se ho použít jako adsorbent k odstranění metoprololu (MTP) z odpadních vod. MTP je jedním z velmi významných mikropolutantů, který se špatně rozkládá. Zjistili, že adsorpce MTP na biouhel je optimální při pH = 8,5 a že se jedná o fyzikální, endotermickou a spontánní reakci. Podle výsledků studie je biouhel vyrobený z borovicových šišek účinným adsorbentem pro čištění odpadních vod s farmaceutiky obsahujícími betablokátory. Naghipour a kol. (2018) se zabývali výrobou biouhlu ze dřeva banánovníku a následně studiem adsorpce antibiotik cefalexinu z odpadních vod. Účinnost odstraňování byla vysoká, 88,5 %. Podobnou studii provedli i Rafatullah a kol. (2012), když testovali, zda biouhel vyrobený z pilin exotického dřeva meranti, lze využít na odstranění kadmia z kapalného roztoku odpadních vod. Výsledkem bylo, že toto dřevo může být alternativou adsorbentu využitého pro odstranění kadmia. Ghani a kol. (2013) řešili adsorpci metylenové modři (azobarvivo) na biouhel vyrobený z pilin kaučukovníku brazilského. Biouhel vyrobený z pilin je rychlým a velmi účinným adsorbentem s maximální adsorpční kapacitou 333,3 mg.g⁻¹.

2.1.4 Glaukonit

Glaukonit, jehož využití je v metodice popsáno, vznikl jako odpadní surovina z těžby glaukonitického pískovce. Glaukonit patří mezi silikáty – fylosilikáty, do skupiny dioktaedrických pravých slíd. Jeho chemický vzorec je $K(Fe,Al,Mg)_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$. Tvoří nepravidelná oválná nebo kulovitá zrna, většinou mikroskopických rozměrů, zelené či žlutozelené barvy, v některých pískovcích, slínovcích a vápencích, je tedy na rozdíl od ostatních slíd minerálem vázaným na prostředí sedimentárních hornin. Lesk je matný, zemitý. Štěpnost je dokonalá podle {001}, tvrdost 2 a hustota 2,40–2,95. Vryp má světle zelený. Složením se glaukonit podobá illitu, jedná se rovněž o mezivrstevně deficitní slídu. (Štelcl a Vávra 2013).

Glaukonit je běžným horninotvorným minerálem sedimentů mořského původu, vznikajících akumulací klastického materiálu v mělkých mořích při okraji kontinentů (Zimák a kol. 2020). Vzniká v mořských sedimentech za určitých podmínek z jiných minerálů, jako jsou biotit, amfiboly, pyroxeny nebo chlority a s postupnou diagenézí se mění jeho strukturní charakteristiky. Může také vznikat přeměnou jílovitých látek výkalů mořských živočichů (koprolitů). Přestože jeho obsah v hornině nepřesahuje několik desetin procenta, i toto množství se projeví v zelenavých odstínech pískovců (Chlupáč a kol. 2002).

Na území České republiky je glaukonit běžný v glaukonitových pískovcích, písčítých slínech a opukách české křídové pánve nebo v horninách příkrovů flyšového pásma Západních Karpat (Chlupáč a kol. 2002, Štelcl a Vávra 2013,). Výskyty glaukonitu ve světě jsou známé např. z Ightham – Anglie, Otago Peninsula – Nový Zéland (Štelcl a Vávra 2013). Dále v severní a západní Evropě, severní Americe (New Jersey, Delaware), jihovýchodní Brazílii, severní Africe, v Egyptě atd.

Oblastí našeho zájmu je jihovýchodní výběžek české křídové pánve, který zasahuje do okolí Blanska, kde byly rozpadavé glaukonitické pískovce těženy lomem u Dolní Lhoty, provozovaným nyní firmou Kalcit, s.r.o. V Blanenském prolomu v okolí obce Dolní Lhota vystupují sedimenty orlicko-žďárského vývoje české křídové pánve, reprezentované zde horninami perucko-korycanského a bělohorského souvrství (Nekovařík 1991). Nejstarším členem perucko-korycanského souvrství jsou perucké vrstvy, reprezentované jemnozrnnými tmavě hnědými pískovci a narůžovělými až tmavě šedými jílovci. Vyšší část tohoto souvrství budují korycanské vrstvy, tvořené ve spodní části nažloutlými nebo šedými křemennými pískovci. Jejich mocnost u Dolní Lhoty dosahuje 20 m (Kužvart a kol. 1983). V nadloží křemenných pískovců vystupují mořské šedozeleňé glaukonitické pískovce. V nejvyšší části korycanských vrstev se množství glaukonitu v pískovcích zvyšuje, současně s rostoucím podílem jílové a prachové složky. V nadloží perucko-korycanského souvrství vystupují sedimenty bělohorského souvrství: světle šedé a okrové siltovce nebo pískovce se spikulami („opuky“), případně až spongility, ve vrcholové partii lomu jsou odkryty vápnité glaukonitické pískovce s rohovci, tvořícími nodule i souvislejší vrstvy (ČGS 1998, Zimák a kol. 2020). Ve zbývající části profilu vystupuje glaukonitický křemenný pískovec.

Podle Zimák a kol. (2020) glaukonit v glaukonitickém křemenném pískovci tvoří šupinkovité agregáty, většinou anizometrické, někdy protáhle vejčité až téměř kulovité. Jejich rozměry jsou převážně od 0,05 do 0,5 mm, největší zjištěný agregát byl téměř kulovitý o průměru 1 mm. Větší agregáty mají často velmi členitý povrch s četnými jamkami, rýhami a hrbolky. Mají hedvábný lesk, a to díky drobným šupinkám glaukonitu tvořícím povrch

agregátu. Jde o relativně dobře strukturně uspořádaný glaukonit (tj. s jen malým podílem smektitových vrstev). V průběhu glaukonitizace (formování glaukonitu při halmyrolýze) vzniká posloupnost vývojových typů glaukonitu od počátečního glaukonitického smektitu (Gl-S) chudého na draslík (2–4 hm. % K_2O) až po „zralý“ uspořádaný glaukonit s méně než 10 % smektitových vrstev, a proto bohatý draslíkem (více než 7 hm. % K_2O) – např. Odom (1984), Melka – Šťastný (2014), Huggett (2013), Harding a kol. (2014), Essa a kol. (2016). V glaukonitech z různých lokalit v české křídové pánvi Al-bassam a kol. (2019) uvádí obsahy K_2O v rozpětí 6,2–8,4 hm. % (EDX, 5 analýz), jde tedy o vývojová stadia odpovídající neuspořádanému glaukonitu a glaukonitu s uspořádanou strukturou (Odom 1984). Z výsledků EDX a WDX analýz glaukonitu ve frakci 90–100 μm je zřejmé, že průměrný obsah K_2O je kolem 8 hm. %, a jde tedy o strukturně uspořádaný glaukonit (Zimák a kol. 2020).

Pokud by bylo možno z tuzemských odpadů s podílem glaukonitu vyrábět glaukonitový koncentrát, mohl by vzhledem ke své struktuře, chemickému složení i k charakteru povrchu jednotlivých zrn najít uplatnění ve farmaceutickém a kosmetickém průmyslu, v případě nesplnění některých parametrů vyžadovaných oběma odvětvími by mohl být využit v zemědělství například jako hnojivo a půdní kondicionér (Zimák a kol. 2020). Některé horniny české křídové pánve byly již v minulosti jako fosforečno-draselné hnojivo využívány – podle Svobody a kol. (1964) šlo o glaukonitovce, místy s koprolyty nebo fosfátovými konkrecemi, například na bázi svrchního turonu na Svitavsku (Zimák a kol. 2020).

Glaukonit je využíván jako hnojivo pod názvem greensand (zelené písky, horniny s glaukonitem). Bývá upravováno do formy peletek pro snadnější použití. Horniny s glaukonitem mohou být využívány i jako filtry pro odstranění železa, manganu a amoniaku, viz např. Galangashi a kol. (2020), nebo jako filtry na odstranění těžkých kovů, iontů Pb a Zn (Selim a kol. 2018). Působení glaukonitu a jeho účinky ať už jako filtru, hnojiva, případně jiného využití jsou neustále předmětem výzkumů. Naghipour a kol. (2018) studovali adsorpci Cr a NH_4^+ na glaukonitové písky a výsledky jejich výzkumu ukázaly, že by tento adsorpční proces mohl být účinnou metodou pro odstranění Cr i NH_4^+ .

Většina zemí využívá glaukonit kvůli jeho regionální a ekonomické dostupnosti. Podle Dooleyho (2006) je z hlediska hnojiv ložisko glaukonitu ekonomicky výhodné, pokud zkoumané vzorky obsahují nejméně 90 % glaukonitových pelet o velikosti frakce písku a jílovou základní hmotu v zastoupení 2–3 hm. % z celkové váhy. Glaukonitové sedimenty jsou nejčastěji studovány z hlediska mineralogie, petrografie a geochemie. Při jeho použití pro výrobu hnojiv je důležitý obsah draslíku, který je v rámci lokalit odlišný. Glaukonitové sedimenty pro těžbu za účelem využití na hnojiva by měly obsahovat nejméně 6 % hm draslíku (jako K_2O) (Franzosi a kol. 2014; Heckman - Tedrow 2004; Karimi a kol. 2011). Při tomto způsobu použití je velmi důležitý, zejména z hlediska lidského zdraví, i obsah těžkých kovů v glaukonitových sedimentech.

Problematikou využití glaukonitu jako hnojiva se zabývali např. Castro – Tourn (2003) v Argentině. Řešili výskyt hornin s glaukonitem v zemi a jejich dostupnost pro těžbu. Zjistili, že glaukonitové pískovce v Patagonii obsahují 4–6 hm. % K_2O .

Rudmin et al. (2017) se zabývali glaukonitovými horninami západní Sibíře, které obsahují 2,5–4,1 hm. % K_2O a rovněž by mohly být využity jako alternativní hnojivo. Rudmin et al. (2019) provedli studii glaukonitu jako alternativního hnojiva při pěstování pšenice (*Triticum turgidum*). Glaukonit obsahuje mnoho stopových prvků včetně Cu, Zn, Fe, Mn, B, Se, Co, Mo,

Cr, Vd, Y, které jsou nezbytnými mikroživinami pro růst rostlin. Glaukonitové horniny zlepšují strukturu půdy, pórovitost a propustnost díky jednotné struktuře. Vysoká sorpční kapacita glaukonitu zvyšuje schopnost zadržovat vlhkost v půdách. Přidání horniny s glaukonitem do půdy výrazně zvyšuje výnos zrna pšenice. Během vegetačního období pšenice prochází glaukonit zřetelnými strukturálními a chemickými změnami. Glaukonit zlepšuje fyzikálně-chemické vlastnosti půdy zvýšením koncentrací organického uhlíku, dusičnanů, amoniaku, K, P, Ca a Mg, což souvisí s jeho složitým chemickým složením a iontovou výměnou. Hodnota pH původně kyselé půdy se zvýšila z 6,0 na 6,7. Obsah K₂O v původním glaukonitu se během jednoho vegetačního období snížil asi o 24 %. Studie poukázala na to, že horniny s glaukonitem jsou jako hnojiva vhodné a šetrné k životnímu prostředí.

2.2 Úprava kalů z ČOV – Řízené kompostování

Výroba substrátů s využitím kalů z ČOV je plánována s místně i časově oddělenými dvěma fázemi. V první fázi jsou vytvořeny tzv. premixy, které v následné fázi představují jednu z hlavních surovin při výrobě vlastních substrátů.

Výroba premixů s obsahem kalů z ČOV je založena na kompostování nechemicky stabilizovaného čistírenského kalu ve směsi s níže uvedenými komponenty o frakci max. 30 mm při zajištění průběhu všech fází dle Sankeyho schématu upraveného pro kompostovací proces. Zásadní přitom je mineralizační fáze, při které za vysokých teplot dochází k selekci mikroflóry a redukci patogenních organismů, ale také k redukci klíčivosti obsažených semen. Při výrobě je zajištěna dostatečně dlouhá navazující fáze přeměny a syntézy (dohromady min. 12 týdnů) z důvodu optimálního uvolnění přístupných forem dusíku a k optimalizaci poměru C/N (12–20).

V průběhu kompostovacího procesu je premix dvakrát překopán, dle interních podmínek (zejména teploty a vlhkosti, při optimalizaci zejména vlhkostních podmínek na hodnoty 40–60 %). Na výstupu premix splňuje kritéria dle ČSN 465735 Průmyslové komposty, resp. vyhlášky č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

Postupy a suroviny pro přípravu premixů a následnou výrobu substrátů pro výsadbu lesních dřevin s využitím kalů z ČOV byly ověřeny v zařízení na zpracování odpadů v Hůrce u Temelína. Kaly pocházejí od společnosti ČEVAK – čistírna odpadních vod Hrdějovice (dále kal z ČOV). Technologie kompostování byla zvolena lichoběžníková překopávaná figura, kdy cyklus trval 3 měsíce. Byly ověřeny 3 varianty zakládek kompostovacích hromad, kde kal z ČOV byl řízeně kompostován se třemi různými organickými materiály v objemovém poměru kal : přídatná surovina 1:3:

Premix 1 – Kal z ČOV + Rašelina „Bílá“ – dále K+RB

Premix 2 – Kal z ČOV + Rašelina „černá“ – dále K+RČ

Premix 3 – Kal z ČOV + upravená kůra z jehličnatých stromů – dále K+DK

Modelové kompostování bylo realizováno ve dvou následných etapách. Kompostovací směs v první zakládce obsahovala ve třech variantách vždy dvě suroviny – kal ČOV a drcenou

kůru, bílou rašelinu nebo černou rašelinu. Cílem tohoto modelového kompostování bylo posouzení bioaktivní schopnosti samotného kalu.

V rámci druhé etapy byla každá zakládka (premix) obohacena o digestát (přídavek 10 % obj. zakládky) pro doplnění živin a nastartování kompostovacího procesu.

2.3 Suroviny pro premixy na vstupu

Pro zhodnocení procesu kompostování byly (září 2021) analyzovány jednotlivé zakládky a kal ČOV, byly vyhodnoceny mikrobiologické a chemické a vlastnosti a byl stanoven obsah rizikových látek (tab. 1–3).

Přítomnost a množství indikátorových organismů bylo sledováno mikrobiologickými rozbory. Všechna mikrobiologická stanovení se prováděla podle metodik uveřejněných v AHEM 1/2008 ((Matějů, 2010).

Základní vlastnosti surovin pro zakládku kompostů a výsledných premixů – kompostů (obsah spalitelných látek, poměr C/N, vlhkost, hodnota pH, obsah celkových živin a rizikových prvků) byly stanoveny podle metod popsanych v ČSN 46 5735. Elektrická vodivost byla stanovena ve vodném výluhu v poměru vzorek : vyluhovací činidlo 1 : 25.

Obsah rizikových prvků a látek a mikrobiologické rozbory byly stanoveny dle Vyhl. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu dle Vyhl. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

Tab. 1: Mikrobiologické charakteristiky premixů na počátku kompostovacího procesu

Označení premixu	Místo odběru*	Enterok KTJ/g sušiny	Ter. kol b KTJ/g sušiny	Salmonella	Salmonella důk P
K+RB	kompostárna_9/2021	<50	<50	negativní	negativní
K+RČ	kompostárna_9/2021	<50	<50	negativní	negativní
K+DK	kompostárna_9/2021	7 100	6 000	negativní	negativní
kal ČOV	kompostárna_9/2021	7900	8 100	negativní	negativní

Tab. 2: Kvalitativní chemické vlastnosti premixů na počátku kompostovacího procesu.

	EC 1:25	Ca	Mg	K	P	Sušina	pH	N- NH4	N- NO3	N celk	SL	C/N
	mS/cm	g/kg				%	(H2O)	mg/kg		%	%	
K+RB	0,04	2,45	0,32	0,37	0,33	63,81	4,4	291	3,75	1,11	95,0	42,8
K+RČ	0,16	4,75	0,97	1,57	0,79	36,27	4,4	221	19,3	1,72	81,7	23,8
K+DK	0,42	12,7	1,74	4,08	1,45	48,81	6,1	192	16,6	0,96	87,8	45,7
kal ČOV	1,83	24,2	6,99	3,06	25,9	26,53	6,8	6270	141	3,68	26,2	3,6

Pozn.: PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky (suma antracenu, benzo(a) antracenu, benzo(b) fluoranthenu, benzo(k) fluoranthenu, benzo(a) pyrenu, benzo(ghi) perylenu, fenantrenu, fluoranthenu, chrysenu, indeno(1,2,3-cd) pyrenu, naftalenu a pyrenu).

Tab. 3: Obsah rizikových látek v premixech na počátku kompostovacího procesu, PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky, PCB – polychlorované bifenyly (suma 7 kongenerů), AOX - halogenované organické sloučeniny, C10-C40 –stanovení uhlovodíků C10-C40.

Vzorek	PAU	PCB	AOX	C10– C40	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg										
K+RB	<0,50	<0,010	155	929	<0,50	0,16	<0,10	<2,50	5,75	5,92	0,051	3,54	3,87	<5,00	9,28
K+RČ	0,51	<0,010	157	595	8,60	1,36	0,38	<2,50	12,1	13,7	0,114	8,62	4,89	16,0	11,4
K+DK	4,34	<0,010	17	1720	1,18	0,34	1,14	2,79	9,28	13,5	0,069	8,58	5,57	<5,00	134
kal ČOV	8,52	<0,010	272	3210	<0,50	1,36	3,00	6,93	42,0	356	1,01	29,3	26,7	28,9	716

Pozn.: PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky (suma antracenu, benzo(a) antracenu, benzo(b) fluoranthenu, benzo(k) fluoranthenu, benzo(a) pyrenu, benzo(ghi) perylenu, fenantrenu, fluoranthenu, chrysenu, indeno(1,2,3-cd) pyrenu, naftalenu a pyrenu).

Z hlediska mikrobiologického se v premixu K+RB a K+RČ vyskytuje pouze zanedbatelné množství enterokoků i termotolerantních koliformních bakterií. Větší množství je patrné v premixu K+DK a v samotném kalu. Je předpoklad snížení obsahu bakterií během procesu, aby byly hodnoty v souladu s normou ČSN 46 5735 o kompostování.

Hodnota pH je důležitým faktorem surovinové skladby a může ovlivnit průběh primární fáze. Naměřené hodnoty pH u premixu K+RB a K+RČ jsou poměrně nízké. Obsah spalitelných látek, stejně jako i celkový dusík, splňují u všech vzorků požadavky normy ČSN 46 5735 o kompostování. Hodnoty dusičnanů a dalších prvků mají z hlediska normy ČSN 46 5735 o kompostování, pouze informativní charakter.

Obsahy rizikových prvků se u všech premixů pohybuje pod hodnotami nejvyššího přípustného množství. Výjimkou je samotný kal, u kterého hodnoty přesahují nejvyšší přípustné množství podle normy ČSN 46 5735 o kompostování. Dle Vyhlášky č. 153/2016 Sb. je v premixu K+DK zvýšená hodnota Cd. Poměrně vyšší jsou hodnoty PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky) u premixu K+DK a u kalu. Naproti tomu množství PCB (polychlorované bifenyly) je téměř nezatelné u všech zkoumaných vzorků. Ve vzorcích je velké zastoupení AOX (adsorbovatelné organicky vázané halogeny). Poměrně vysoké

je zastoupení uhlovodíků C10-C40 ve všech vzorcích dle zákona č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech i dle Vyhlášky č. 153/2016 Sb.

Vedle kalů z ČOV byla zakládka při druhém kompostování obohacena o digestát z bioplynové stanice BPS Jarošovice, který měl ve směsi zvýšit především přijatelné formy dusíku. Digestát je stabilizovaný materiál v kapalně podobě, který je výsledkem fermentačního procesu v bioplynové stanici. Takový produkt lze použít jako organominerální hnojivo nebo jako surovinu pro výrobu kompostu, popř. jako materiál pro rekultivaci stanovišť. Digestát z bioplynové stanice BPS Jarošovice byl zvolen z důvodu vyhovujících chemických (tab. 4), fyzikálních i mikrobiálních (tab. 5) vlastností a také z důvodu logistické dostupnosti. Digestát vznikl jako fermentační zbytek po anaerobním biozplyňování (digesci) kukuřičné siláže, travní senáže, hovězího hnoje a hovězí kejdy.

Tab. 4: Chemické vlastnosti digestátu z BPS Jarošovice.

Vlastnost:	Hodnota:
Sušina v %	min. 5,0
Spalitelné látky ve vzorku v %	min. 3,0
Celkový dusík jako N ve vzorku v %	min. 0,3
Celkový fosfor jako P ₂ O ₅ ve vzorku v %	min. 0,1
Celkový draslík jako K ₂ O ve vzorku v %	min. 0,2
Hodnota pH	6,5–9,0
Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity v mg/kg sušiny: kadmium 2, olovo 100, rtuť 1,0, arsen 20, chrom 100, nikl 50, měď 250, molybden 20, zinek 1200.	

Tab. 5 Biologické vlastnosti digestátu na vstupu do kompostovacího procesu.

Klasifikace vzorku: digestát, digestát - vstup

Název zkoušky	Jednotky	Výsledek	Limity	Nejistota měření	Metoda
Escherichia coli	KTJ/g	Tab.č.2			(AHEM 1/2008)
Salmonella sp. - průkaz		Tab.č.2			(AHEM 1/2008)
Enterokoky	KTJ/g	Tab.č.2			(AHEM 1/2008 kapit 2)

Tabulka č.2

Název zkoušky	Výsledek 1	Výsledek 2	Výsledek 3	Výsledek 4	Výsledek 5
Escherichia coli	1x10 ¹	<1x10 ¹	2x10 ¹	<1x10 ¹	1x10 ¹
Salmonella sp. - průkaz	neprokázána	neprokázána	neprokázána	neprokázána	neprokázána
Enterokoky	2x10 ¹	3x10 ¹	1x10 ¹	2x10 ¹	2x10 ¹

2.4 Kompostovací procesy

První kompostovací proces trval 3 měsíce (září–listopad 2021). Technologii kompostování byla zvolena klasická lichoběžníková překopávaná figura a během kompostování byly zakládky

dvakrát promíchány nakladačem (30.9. a 9.11.). Pravidelně byly monitorovány teploty uvnitř zakládek.

Druhý kompostovací proces také trval 3 měsíce (duben–červen 2022) se stejnou technologií kompostování. Před přípravou substrátů byl připravený kompost ještě 3 měsíce (červenec–září 2022) stabilizován na deponii.

K intenzivní 1. fázi hygienizace, kterou se zlikviduje většina patogenů, dochází již v zakládce během "zrání" premixu, při němž výrazně stoupá teplota materiálu. Teplotní režimy pro hygienizaci jsou uvedeny v tabulce 6, vlhkost se má pohybovat v rozmezí 40–60 %. Během 2. fáze dochází k dozrání, u něhož by se měla teplota stabilizovat na nižší než 40 °C za nižší vlhkosti. Dojde díky ní k zabránění opakovaným infekcím, zavlčení semen nebo kontaktu s nehygienizovaným materiálem (ČSN 46 5735).

Tab. 6 Teplotní režimy při hygienizaci během kompostování podle přílohy č. 27 k vyhlášce č. 273/2021 Sb. a ČSN 46 5735.

Teplotní režim	
teplotní limit	časový interval
≥ 70°C	souvisle po dobu min. 3 dny
≥ 65°C	souvisle po dobu min. 5 dní
≥ 60°C	souvisle po dobu min. 7 dní
≥ 55°C	souvisle po dobu min. 14 dní

Za předpokladu, že směs vstupních surovin obsahuje na základě analýzy vzorku odebraného před kompostovacím procesem méně než 10^5 KTJ na gram směsi pro mikroorganismus *Escherichia coli* nebo enterokoky, musí odpovídající medián výsledků rozborů 10 vzorků po úpravě vykazovat hodnotu pro negativní nálezy pro mikroorganismus *Escherichia coli* nebo enterokoky podle zvoleného indikátorového organismu. Účinnost je potvrzena pouze v tom případě, že zároveň mikrobiální parametry pro hotový kompost odpovídají parametrům podle právních předpisů. (ČSN 465735, příloha C).

Po ukončení kompostování byly provedeny validace účinnosti hygienizace zkouškou na indikační organismy. Zkouška poskytuje vysoký stupeň jistoty, že proces kompostování bude trvale poskytovat produkt odpovídající předem určené specifikaci nebo parametrům pro mikrobiologické ukazatele (ČSN 46 5735). Z každé zakládky byla dle platné metodiky v různých místech odebrána do uzavíratelných sterilních plastových krabiček pětice vzorků, která následně putovala do akreditované laboratoře. Vzorky byly uchovány v chladu, resp. analyzovány bezprostředně po odběru (max. do 7 dnů) bez jakéhokoli otevření nádob, aby nemohlo dojít k druhotné kontaminaci. Za indikátory mikrobiologické kontaminace jsou považovány bakterie rodu *Salmonella* spp. a *Escherichia coli*. Hodnocení se provádí dle limitů normy pro kompostování ČSN 46 5735, nebo případně dle odpadové vyhlášky č. 273/2021 Sb. přílohy č. 28 (tab. 7).

Tab. 7: Limitní hodnoty indikátorových mikroorganismů, podle Přílohy č. 28 k vyhlášce č. 273/2021 Sb.

Indikátorový mikroorganismus	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu		Limitní hodnota (nález KTJ*)
Salmonella spp.	nález v 50 g	5		negativní
Escherichia coli nebo Enterokoky**)	KTJ* v 1 gramu	5	4	$< 10^3$
			1	$< 5 \cdot 10^3$

*) KTJ – kolonie tvořící jednotku

***) Z odebraných 5 vzorků musí minimálně stanovený počet vyhovět předepsaným limitům mikrobiologické zkoušky

2.5 Hodnocení premixu na konci kompostování

Na konci prvního a druhého kompostovacího procesu byly v premixech stanoveny mikrobiologické (tab. 8) a chemické (tab. 9) vlastnosti a byl stanoven obsah rizikových látek (tab. 10) stejnými metodami jako u vstupních zakládek kompostů a kalu z ČOV. U výsledných premixů byly navíc stanoveny fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti (tab. 11 a 12).

Tab.8: Mikrobiologické charakteristiky premixů po ukončení prvního (I) a druhého (II) kompostovacího procesu u pěti testovaných vzorků A-E.

<i>Escherichia coli</i> (KTJ/g v pův. hmotě)	premix		
	K+RB	K+RČ	K+DK
A/I	$< 5 \times 10^1$	$4,1 \times 10^4$	$< 5 \times 10^1$
B	$< 5 \times 10^1$	$3,8 \times 10^4$	$< 5 \times 10^1$
C	$< 5 \times 10^1$	3×10^4	$< 5 \times 10^1$
D	$< 5 \times 10^1$	$3,5 \times 10^4$	$< 5 \times 10^1$
E	$< 5 \times 10^1$	$7,5 \times 10^3$	$< 5 \times 10^1$
A/II	$< 1 \times 10^1$	$< 1 \times 10^1$	1×10^1
B	$< 1 \times 10^1$	$< 1 \times 10^1$	1×10^1
C	$< 1 \times 10^1$	$< 1 \times 10^1$	1×10^1
D	$< 1 \times 10^1$	$< 1 \times 10^1$	1×10^1
E	$< 1 \times 10^1$	$< 1 \times 10^1$	$< 1 \times 10^1$

<i>Salmonella sp.</i>	K+RB	K+RČ	K+DK
A-E/I	negativní	negativní	negativní
A-E/II	negativní	negativní	negativní

Enterokoky	K+RB	K+RČ	K+DK
A/II	$9,5 \times 10^1$	$< 1 \times 10^1$	$1,9 \times 10^3$
B	3×10^1	3×10^1	$3,7 \times 10^3$
C	9×10^1	4×10^1	$5,1 \times 10^3$
D	1×10^2	2×10^1	$4,4 \times 10^3$
E	$1,1 \times 10^2$	$< 1 \times 10^1$	$3,8 \times 10^3$

Stanovené vlastnosti byly použity pro vyhodnocení kompostovacího procesu (porovnání premixu na počátku a na konci kompostovacího procesu) i pro porovnání a vyhodnocení obou kompostovacích procesů. Výsledné parametry premixů budou použita jako prvotní data pro hodnocení premixů vyrobených v rámci implementace výsledků projektu do praxe a pro navazující optimalizaci přípravu premixů a následné výroby substrátů.

Během kompostovacího procesu byly eliminovány mikrobiální populace *Escherichia coli* a *Salmonella* sp. a částečně enterokoků (Tab. 8). K hygienizaci, ke které došlo při kompostování kalů, lze považovat za dostatečnou. Z hlediska mikrobiálního splňují vzorky požadované hodnoty, mimo měření vzorku C-II, kde je dosaženo hraniční hodnoty pro enterokoky.

Srovnáme-li vstupní (tab. 2) a výstupní (tab. 9) měřené hodnoty u premixů č. 1–3, vidíme, že nedošlo k navýšení pH. Naopak se jeho hodnota mírně snížila u premixu K+DK u prvního kompostovacího procesu. Obsah spalitelných látek, stejně jako i celkový dusík, splňují u všech vzorků požadavky normy ČSN 46 5735 o kompostování. Obsah spalitelných látek se, oproti vstupním hodnotám u premixů mírně snížil.

Hodnoty dusičnanů a dalších prvků mají z hlediska ČSN 46 5735, pouze informativní charakter. V rámci porovnání prvního a druhého kompostovacího procesu je patrné výrazné snížení obsahu amonného dusíku a nárůst dusíku nitrátového, to je dáno stabilizací na deponii před použitím pro přípravu substrátu.

Komposty vyhovují z hlediska obsahu rizikových prvků zákonu o hnojivech, č. 156/1998 Sb., vyhlášce č. 474/2000 Sb. a ČSN 46 5735. Obsah rizikových prvků (tab. 10) byl u všech typů kompostů stanoven pod maximální hodnoty v mg sledované látky na kg vysušeného vzorku: 30 As, 2 Cd, 100 Cr, 150 Cu, 1,0 Hg, 50 Ni, 100 Pb a 600 Zn. Stanovené hodnoty byly výrazně nižší než výše uvedené limity, kromě zvýšeného obsahu Cu u premixu K+RB/II.

Hodnota PAU (polycyklické aromatické uhlovodíky) u premixu K+DK se snížila oproti vstupní hodnotě. U vzorku K+RB/II je hodnota PAU mírně zvýšená nad 3. Ve vzorcích je velké zastoupení AOX (adsorbovatelné organicky vázané halogeny). Poměrně vysoké je zastoupení uhlovodíků C10-C40 ve všech vzorcích dle zákona č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. U premixů došlo ke snížení jejich obsahu oproti počátečnímu stavu (tab. 3).

Tab. 9: Kvalitativní chemické vlastnosti premixů po ukončení prvního (I) a druhého (II) kompostovacího procesu, SL – obsah spalitelných látek.

Vzorek	EC 1:25	Ca	Mg	K	P	Suš.	pH (H ₂ O)	N-NH ₄	N-NO ₃	N celk	SL	C/N
	mS/cm	g/kg				%		mg/kg		%	%	
K+RB/I	1,13	11,2	3,24	1,75	4,39	36,85	4,3	5340	3290	1,64	63,6	19,4
K+RČ	0,85	9,9	3,01	1,8	8,07	38,87	5,0	3200	985	1,79	68,2	19,1
K+DK	1,16	14,3	3,22	2,82	7,59	36,37	4,6	454	2700	1,45	75,4	26,0
K+RB/II	1,12	13,5	4,01	4,47	8,47	36,91	4,7	865	3260	1,87	57,7	15,4
K+RČ	0,98	13,7	3,65	3,38	5,48	39,77	4,9	361	3780	1,79	53,7	15,0
K+DK	0,78	11,4	3,63	3,35	8,15	50,98	6,2	249	2800	1,24	40,9	16,5

Tab. 10: Obsah rizikových látek v premixech po ukončení prvního (I) a druhého (II) kompostovacího procesu

Vzorek	PAU	PCB	AOX	C10– C40	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg										
K+RB/I	0,74	<0,010	141	525	5,26	0,90	0,96	5,05	24,2	58,4	0,260	37,90	19,40	21,20	220
K+RČ	2,24	<0,010	196	1020	1,22	0,44	0,92	3,16	18,4	88,4	0,405	9,15	9,16	8,27	259
K+DK	1,43	<0,010	111	699	1,36	0,38	1,36	3,84	18,9	83,7	0,368	13,10	7,49	7,43	311
K+RB/II	3,35	<0,010	183	122	2,68	0,49	1,82	4,50	34,3	153	0,582	10,1	20,7	20,9	372
K+RČ	1,48	<0,010	161	248	5,47	0,93	1,27	5,86	36,7	97,1	0,448	17,1	25,1	30,9	264
K+DK	1,61	<0,010	107	839	3,17	0,79	1,81	6,68	40,5	102	0,421	8,44	29,4	27,5	334

Fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti pomocí standardních pedologických válečků o objemu 100 cm³. Z fyzikálních válečků byly stanoveny tyto veličiny: objemová hmotnost redukovaná (rd) – objemový podíl půdy ve stavu jejího přirozeného uložení po vysušení půdy při 105 °C; objemová vlhkost (Θ) – objemový podíl vody v daném čase; pórovitost (P) – objemový podíl prostoru mezi půdními částicemi; minimální vzdušná kapacita (AMKK) – objem nekapilárních pórů, které nebudou dlouhodobě zaplněny vodou, pokud přestane do půdy voda „přitékat“ z vnějších zdrojů.

Z hydrolimitů je uvedena plná vodní kapacita (PVK), vyjadřující schopnost půdy k maximálnímu nasycení (teoreticky je rovna pórovitosti); gravitační voda (GV), vyjadřující objem gravitačních (nekapilárních) pórů; maximální kapilární kapacita (MKK) – objem kapilárních a části semikapilárních pórů; retenční vodní kapacita (RVK) – objem kapilárních pórů; bod vadnutí (BV) jako obsah vody v půdě, při kterém rostliny přestávají být schopné překonat sací tlaky, kterými je voda v půdě poutána; lentokapilární bod (LB) – přerušuje se vodní sloupec v kapilárních pórech a ustává souvislé proudění vody v půdě; využitelná vodní kapacita (VVK) – množství vody, které může být po delší dobu v půdě poutáno nad hranicí BV a pod hranicí RVK; okamžitá zásoba využitelné vody (OZVV) – množství vody využitelné rostlinou v daném čase. Klasifikace hydrofyzikálních vlastností byla provedena podle Rejška (1999).

Po druhém kompostovacím procesu došlo k nevýrazným změnám ve vodovzdušných poměrech, které jsou typické vysokou retenční kapacitou v podobě hydrolimitů jak maximální vodní kapacity, tak i maximální kapilární kapacity, která se ve vazbě na dominantně organický charakter materiálu blíží hodnotám pórovitosti – jak vypočtené z hodnot specifické hmotnosti a objemové hmotnosti redukované, tak i měřené jako tzv. plné nasycení vodou, která by měla zaujímat právě volný prostor mezi pevnými částicemi. V tomto případě je u výsledného materiálu nezbytné kalkulovat s potenciálně vysokou vododržností při nízké provzdušněnosti za nasycení kapilárních pórů vodou. Při výrobě samotného substrátu využít vylehčující materiály, které zajistí dostatečnou makroporéznost (dostatečný obsah gravitačních pórů) – kůrový kompost, dřevní vlákno a biouhel.

Tab. 11 Fyzikální a hydrofyzikální vlastnosti premixů po ukončení prvního (I) a druhého (II) kompostovacího procesu.

označení premixu	Měrná hmotnost	Obsah sušiny S z jemnoz. I.	Objemová hmotnost redukováná	Pórovitost	Provzdušněnost	Minimální vzdušná kapacita
	rs (g/cm ³)	S jI. (%)	(rd) (g/cm ³)	P (%)	A (%)	A _{MKK} (%)
K+RB/I	1,43	90,89	0,27	81,28	38,72	2,22
K+RČ	1,47	90,47	0,33	77,77	22,95	8,51
K+DK	1,43	89,60	0,31	78,31	26,80	9,27
K+RB/II	0,72	88,68	0,38	70,50	8,99	0,00
K+RČ	0,68	92,50	0,51	64,81	8,07	0,00
K+DK	0,71	93,66	0,35	59,74	11,01	0,00

Tab. 12: Hydrolimity premixů po ukončení prvního (I) a druhého (II) kompostovacího procesu.

označení premixu	BV bod vadnutí Č.h.x3	Lentokapilární bod 33%	Bod snížené dostupnosti	Využitelná vodní kapacita do 20 cm
	BV (%)	LB (%)	BSD (%)	VVK (mm)
K+RB/I	13,14	27,61	35,07	87,72
K+RČ	16,70	30,07	36,96	81,03
K+DK	17,30	30,51	37,31	80,06
K+RB/II	23,27	34,78	40,70	69,71
K+RČ	20,52	32,89	39,26	74,96
K+DK	23,27	24,55	31,01	76,10

2.6 Zásady přípravy premixu

- Pro přípravu kompostů – premixů se používá stabilizovaný, hygienizovaný čistírenský kal o podílu 30 až 40 % obj. (podle vyhlášky). Kaly s vysokým obsahem vody nejsou vhodné pro růst aerobních mikroorganismů. Mohou být kompostovány, když se použijí ve vhodné směsi s jiným vysoce fermentovatelným organickým odpadem s nízkým obsahem vody.
- Kaly jsou v základce doplněny organickou příměsí o podílu 35 až 55 % obj. s vysokým podílem pomalu se rozkládajících rostlinných složek (ligninu, suberinu, vosků, taninů apod.), které nevedou k rychlému nárůstu teploty během kompostovacího procesu. Pro praktické využití při přípravě premixů se počítá především s drcenou čerstvou kůrou (premix K+DK) případně se směsí drcené kůry a černé rašeliny (premix K + RČ). Vzhledem k současné situaci na trhu s rašelinou je pravděpodobné, že součástí přípravy premixů nebude bílá rašelina, která se do ČR dováží.
- Surovinové složení základek, je na rozdíl od modelových základek (kapitola 2.3) je účelné pro optimální průběh kompostovacího procesu a zajištění dokonalé hygienizace doplnit o materiál s obsahem rychle dostupných zdrojů energie pro rozvoj mikrobiálních populací

(termofilních bakterií) v podobě čerstvé biomasy (odřezků trávy, čerstvého listí apod.) v podílu 10–20 % obj. Jedná se o hmotu s vysokým podílem rychle se rozkládajících rostlinných složek (sacharidů, celulózy apod.), které zrychlují kompostovací proces a vedou k rychlému nárůstu teploty během kompostovacího procesu.

- Pro optimální průběh kompostování je nutné zajistit v základce dostatečný obsah živin (dusík, fosfor), vlhkost a schopnost aerace a vhodné podmínky pro existenci mikroorganismů. V případě sezónního použití materiálů s širším poměrem C/N (sláma, nekvalitní seno) a s nižší vlhkostí, případně při použití nižšího podílu kalů je možné doplnit základku digestátem v podílu 10 % obj. základky tvořené pevnými komponenty.
- Vzhledem k charakteristice základky a k průběhu kompostování modelových základek se při přípravě premixů pro hygienizaci předpokládá především teplotní režim kdy teploty v základce budou po dobu 14 dnů $\geq 55^{\circ}\text{C}$.
- Pro stabilizaci premixů (snížení obsahu amonného dusíku) je vhodné před přípravou substrátu nechat kompost dozrát na deponii.
- Hnojivý potenciál premixů je hodnocen na základě obsahu celkových živin. Porovnání s různými typy kompostů (obsahy celkových živin jsou vyjádřeny v %) je uvedeno v tabulce 17 v souhrnné kapitole 4.

2.7 Výroba substrátů s použitím premixů a jejich vlastnosti

Modelové substráty byly vyrobeny ve společnosti Rašelina a.s., ve výrobním závodě v Soběslavi. Byl připraveny dva substráty (tab. 13), které se lišily použitím kompostů připravených ve firmě Rašelina a.s., které se standardně používají pro přípravu organických substrátů a které ve směsi doplnily premix s obsahem kalů z ČOV. U substrátů s označením S – KK byl použit kůrový kompost, u substrátu S – R+KK pak rašelino – kůrový kompost.

Tab. 13: Receptura substrátů S-KK a S-R KK

Složení		S-KK	S-R+KK
Premix K + RČ : Premix K+DK 1:1	% obj.	40	40
Kůrový kompost	% obj.	40	-
Rašelino kůrový kompost	% obj.	-	40
Dřevní vlákno	% obj.	10	10
Biouhel	% obj.	10	10
Glaukonit	kg/m ³	45	45
Dusíkaté hnojivo – síran amonný (24 % N)	kg/m ³	0,8	0,8
Dusíkaté hnojivo – ureaform (39 % N)	kg/m ³	0,5	0,5
Dolomitický vápenec	kg/m ³	1	1
Požadovaná hodnota pH	pH/H ₂ O	4,5-6,5	4,5-6,5
Struktura		střední	střední

Příprava substrátů vychází ze zásad přípravy Organominerálního substrátu s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin, které jsou uvedeny v užitém vzoru (UV 36 606), který je přílohou certifikované metodiky.

Hlavní komponent substrátů premix byl při modelové výrobě substrátů připraven smícháním premixů K + RČ a K+DK připravených v rámci druhého kompostování v poměru 1 :1 a byl přidán do substrátové směsi v podílu 40 % obj.

Kůrový, resp. rašelinokůrový kompost byl dále doplněn biouhlem, dřevním vláknem a minerální příměsí tvořenou granulovaným glaukonitem. Pro mírné zvýšení hodnoty pH byl v nízké dávce použit dolomitický vápenec. Z živin byl doplněn pouze dusík. Pro rychlé uvolnění a dostupnost N byl aplikován síran amonný v dávce která odpovídá přídatku cca. 0,12 N g/l směsi. Dále byl aplikován i zásobní dusík (přídavek cca. 0,28 N g/l směsi) ve formě močovinoformaldehydu. Ostatní živiny jsou v dostatečné míře obsaženy v použitém premixu.

U modelových substrátů byly obdobně jako u premixů stanoveny chemické vlastnosti (tab. 14) a obsah rizikových látek (tab. 15). Mezi oběma recepturami nejsou výrazné rozdíly. Z hlediska praktického použití substrátů jsou rozhodující hodnoty pH a EC a obsah celkových živin. Pro výpočet živin dodaných substrátem v rámci aplikace jsou obsahy celkových živin vyjádřeny v %, odvození dávek je uvedeno v souhrnné kapitole 4.

Komposty vyhovují z hlediska obsahu rizikových prvků zákonu o hnojivech, č. 156/1998 Sb., vyhlášce č. 474/2000 Sb. Obsah rizikových prvků byl u všech typů kompostů stanoven pod maximální hodnoty v mg sledované látky na kg vysušeného vzorku: 30 As, 2 Cd, 100 Cr, 100 Cu, 1,0 Hg, 50 Ni, 100 Pb a 300 Zn.

Tab. 14: Kvalitativní chemické vlastnosti výsledných substrátů. S - KK - konečný substrát na bázi kůrového kompostu; S - R+KK - konečný substrát na bázi kůrového kompostu + rašelina, SL – obsah spalitelných látek.

Vzorek	EC 1:25	Ca	Mg	K	P	Suš.	pH (H ₂ O)	N-NH ₄	N-NO ₃	N celk	SL	C/N
	mS/cm	g/kg				%		mg/kg		%	%	
S -KK	0.98	11.2	2.90	5.76	3.49	41.02	5.9	369	1850	0.94	55.3	29.4
S- R+KK	0.72	8.74	2.58	4.42	2.58	44.60	5.4	362	2060	0.92	56.3	30.6

Tab. 15: Obsah rizikových látek ve výsledných substrátech.

Vzorek	PAU	PCB	AOX	C10– C40	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg										
S - KK	1,14	<0,010	55	130	4,65	0,79	0,88	5,47	22,1	51,3	0,157	14,9	16,2	16,9	176
S - R+KK	1,45	<0,010	71	<100	7,15	1,02	0,75	5,92	23,5	42,1	0,133	16,2	30,9	20,0	139

3. Testy toxicity pro výsledné substráty

Po ukončení druhé fáze kompostování byla stanovena toxicita jednotlivých premixů. Zkouška je založena na měření délky hypokotylu hořčice bílé (*Sinapis alba*) vystavené výluhům z premixů. Příprava vodných výluhů vycházela pro ekotoxikologické testování z normy ČSN EN 12457-4 a z metodického pokynu odboru odpadů Ministerstva životního prostředí k hodnocení vyluhovatelnosti odpadů. V klíčovém stole byla semena hořčice (30 ks) ve dvou opakování po dobu 72 hodin pěstována v jednotlivých výluzích při teplotě 20 °C a plném zatmění. Následně došlo k měření délek hypokotylů pomocí posuvného měřítka. Průměr z měření byl porovnán s délkou hypokotylů rostlých v kontrolním roztoku. Hraniční hodnotou pro stanovení toxicity je rozdíl mezi délkou ve výluhu a v kontrole větší než 50 %. V tomto testu vykazoval toxicitu pouze premix s označením K + RČ.

Tab. 16: Výsledky testu toxicity ve výluzích z použitých premixů (K+RB - kal + rašelina bílá; K+RČ - kal + rašelina černá; K+DK - kal + drcená kůra) a výsledných substrátů (S - KK - konečný substrát na bázi kůrového kompostu; S - R+KK - konečný substrát na bázi kůrového kompostu + rašeliny).

Datum měření:	12.12.2022			
Vzorek	ředění (% koncentrace výluhu)	d _c [mm]	d _i [mm]	I _i [%]
K+RB	100	33,8	17,5	48,2
K+RČ	100	33,8	15	55,6
K+DK	100	33,8	17,4	48,5
S - KK	100	33,8	20,5	39,3
S- R+KK	100	33,8	26,7	21
komerční substrát	100	33,8	31,1	7,9

4. Shrnutí zásad přípravy a použití substrátu

- Pro výrobu substrátů je používán stabilizovaný, hygienizovaný čistírenský kal z ČOV ČEVAK a.s. – čistírna odpadních vod Hrdějovice.
- Výroba je koncipována jako dvoufázová. První fáze je realizována v Zařízení na zpracování odpadů v Hůrce u Temelína, kde jsou připraveny a hygienizovány premixy – kaly kompostované s rašelinou černou (Rašelina substrátová tř. III – ČSN 465730), rašelinou bílou (Rašelina substrátová tř. I. – ČSN 465730) a drcenou kůrou z jehličnatých dřevin. Z výsledku modelového kompostování vyplývá, že by měl kal tvořit max. 40 % objemu kompostované hmoty vzhledem k vysoké míře vlhkosti, kterou kaly vykazují. Z použitých materiálů pro kompostování se jako nejperspektivnější jevila černá rašelina a drcená kůra.
- Ve druhé fázi jsou premixy převezeny do výrobních prostor společnosti Rašelina a.s. v Soběslavi, kde jsou vyrobeny finální substráty s následující recepturou: Premix 40 %, obj., kůrový kompost nebo rašelino – kůrový kompost 40 % obj., dřevní vlákno 10 % obj.,

biouhel 10 % obj., doplňkové dusíkaté hnojivo do 2 kg/m³, Glaukonit 45 kg/m³, dolomitický vápenec 1 kg/m³.

- Výroba substrátů vychází ze zásad přípravy Organominerálního substrátu s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin, které jsou uvedeny v užitém vzoru (UV 36 606), který je přílohou certifikované metodiky.
- Ověření finálních substrátů je realizováno na základě ekotoxikologického testování (ČSN EN 12457-4, metodický pokyn odboru odpadů Ministerstva životního prostředí k hodnocení vyluhovatelnosti odpadů.) V klíčícím stole byla semena hořčice (30 ks) ve dvou opakování po dobu 72 hodin pěstována v jednotlivých výluzích při teplotě 20 °C a plném zatmění. Modelové substráty neprokázaly ekotoxicitu.
- Hnojivý potenciál substrátů je obdobně jako u premixů hodnocen na základě obsahu celkových živin. Podle jejich obsahu (především hlavních živin N, P a K, viz tab. 15) je navrženo dávkování substrátu a specifikovány dávky živin k sazenici, resp. na pěstební plochu.
- Substrát je určen pro výsadbu lesních dřevin pro aplikaci do sadebních jamek při zalesňování a pro bodovou revitalizaci lesních kultur juvenilního stádia vývoje na stanovištích s nedostatkem organické hmoty a živin. Zvyšuje infiltrační schopnost půdy, zvyšuje transfer vody z půdního prostředí do kořenové zóny.
- Organominerální substráty jsou také určeny pro přípravu Strukturální substrátu s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les. Složení substrátu je popsáno v užitém vzoru (UV 36 690), který je přílohou certifikované metodiky. Tento strukturální substrát obsahuje 15 až 35 % obj. organominerálního substrátu a 65 až 85 % obj. drceného kameniva.

V tabulce 17 jsou uvedeny základní chemické vlastnosti premixů, které jsou porovnány s rozsahem obsahu celkových živin u zahradních zelených kompostů a kompostů s podílem komponentů (separát, popel za spalování biomasy, EK produkt) s vyšším obsahem živin (Plíva at al, 2017, Dubský a Plíva, 2021).

Kompost (K1) byl připraven ze standardní zakládky, kterou tvoří biologicky rozložitelné odpady (BRO) z údržby městské zeleně a zahrad (tráva, listí, štěpka) a zelený bioodpad z domácností. Do této zakládky byl přidán EK produkt, hygienizovaný výstup z elektrického kompostéru GreenGood, který vznikl při zpracovávání kuchyňských odpadů včetně produktů živočišného původu. EK produkt byl do zakládky přimíchán v objemovém poměru 3:1 (25 % obj., varianta EK25). Pro přípravu kompostu byla použita technologie kompostování na volně nezastřešené ploše v pásových hromadách, kompost byl připraven za 3 měsíce.

Komposty s přidavkem popela ze spalování biomasy byly připraveny řízeným kompostováním v pásových hromadách v kryté hale. Kontrolní kompost (K2) byl připraven z organické zakládky, která obsahovala 50 % obj. separátu (separovaný digestát z bioplynové stanice), 40 % obj. BRO a 10 % obj. slámy. U modelových zakládek byl použit standardní přírůstek 3 % hm. popela (varianta P3) a zvýšená dávka 8 % hm. popela (varianta P8).

Tab. 17 Základní chemické vlastnosti komponentů s vyšším obsahem živin (kal z ČOV, EK produkt, popel ze spalování biomasy), kompostů (premixů) a substrátů na bázi premixu, srovnání s různými typy kompostů SL – spalitelné látky (ČSN EN 13039), C/N – podle ČSN 46 5735, celkové živiny – metodika ÚKZÚZ (JPP ÚKZÚZ – Analýzy půd).

Vzorek/komponent zakládky	SL	C/N	N	P	K	Mg	Ca
Varianta kompostu	%		% v sušině				
separát	85,3	25,9	1,7	0,8	1,6	0,5	1,3
EK produkt	94,9	27,1	1,8	0,22	1,6	0,13	0,28
Popel	22,7	-	0,13	1,0	6,4	1,62	10,4
K+RB	95,0	42,8	1,11	0,33	0,37	0,32	2,45
K+RČ	81,7	23,8	1,72	0,79	1,57	0,97	4,75
K+DK	87,8	45,7	0,96	1,45	4,08	1,74	12,7
kal ČOV	26,2	3,6	3,68	25,9	3,06	6,99	24,2
„zelený“ kompost - rozsah	25–55	9–23	1,1–2,3	0,2–0,4	1,1–2,3	0,5–1,7	1,9–6,5
Kontrola 1 (K1)	37,8	15	1,3	0,27	0,7	0,34	2,8
EK produkt 25 % obj, (EK25)	52,9	8	3,1	0,61	1,7	0,35	2,4
Kontrola 2 (K2)	59,9	9,8	3,1	1,2	3,2	0,9	2,5
Popel 3 % (P3)	54,0	10,5	2,6	1,2	3,7	1,0	4,2
Popel 8 % (P8)	45,3	9,2	2,3	1,4	4,5	1,3	5,4
K+RB	63,6	19,4	1,64	0,44	0,18	0,32	1,12
K+RČ	68,2	19,1	1,79	0,81	0,18	0,30	0,99
K+DK	75,4	26,0	1,45	0,76	0,28	0,32	1,43
K+RB	57,7	15,4	1,87	0,85	0,45	0,40	1,35
K+RČ	53,7	15,0	1,79	0,54	0,34	0,36	1,37
K+DK	40,9	16,5	1,24	0,82	0,34	0,36	1,14
S -KK	55,3	29,4	0,94	0,35	0,58	0,29	1,12
S- R+KK	56,3	30,6	0,92	0,26	0,44	0,26	0,87

Hodnocené premixy mají obsah celkového dusíku obdobný jako „zelené“ komposty a výrazně nižší než u kompostů s výrazným podílem separátu nebo produktu elektrických kompostérů. Obsah fosforu je trochu mírně než u „zelených“ kompostů (vlivem podílu kalu z ČOV zakládce), ale nižší než u kompostů s výrazným podílem separátu (K2). Obsah draslíku je nižší než u „zelených“ kompostů a výrazně nižší než u kompostů s výrazným podílem separátu a popela.

Substráty mají, ve srovnání s uvedeným rozsahem „zelených“ kompostů poměrně vysoký obsah dusíku a fosforu. Nižší je, vzhledem k použitým surovinám obsah draslíku, ten je ale mírně vyšší než u premixů použitých na jejich přípravu. Zde se mohl projevit vliv dalších komponentů – kompostované kůry a glauconitu.

Na základě průměrného obsahu živin, 0,9 % N, 0,3 % P, 0,5 % K a 0,28 % Mg v sušině a objemové hmotnosti suchého vzorku 250 g/l. Lze stanovit dávku živin na jednu sazenici nebo na plochu při plošné aplikaci.

Substrát lze aplikovat ručně při výsadbách s prokopáním výsadbové jamky a promísením se zemínou (při jamce 25 × 25 cm do hloubky 25 cm je doporučené množství substrátu 3 l (cca. 1350 g suchého materiálu). K jedné sazenici se dodá cca. 12,2 g N, 4,1 g P, 6,8 g K a 3,8 g Mg.

Ručně lze aplikovat substrát při bodové revitalizaci v lesních porostech, „mulčováním“ cca. 8 l substrátu (cca. 1350 g suchého materiálu) na plochu 40 × 40 cm kolem sazenice. K jedné sazenici se dodá cca. 32 g N, 11 g P, 18 g K a 10 g Mg.

Substrát lze aplikovat i mechanizovaně, strojním zapracováním do půdy po předcházející aplikaci např. rozmetadlem na volné záhonové ploše lesní nebo okrasné školky, maximální (meliorační) dávka substrátu pro optimální rovnoměrné zapracování je 80 t/ha. Při sušině 25 % se dodá 36 t suchého materiálu na ha, což odpovídá dávce živin 324 kg N, 108 kg P, 180 kg K a 101 kg Mg/ha.

5. Srovnání novosti postupů

V metodice, určené výrobní praxi, jsou vymezeny hlavní zásady výroby substrátů pro výsadbu lesních dřevin s využitím kalů z ČOV. Substráty s využitím kalů z ČOV se v ČR doposud průmyslově nevyráběly. Metodika ukazuje způsob hygienizace kalů kompostováním a jejich následné využití pro výrobu substrátů za použití dalších látek, z nich některé nejsou v praxi k těmto účelům dosud využívány. Svými vlastnostmi doplňují výsledný substrát a snižují podíl použité rašeliny ve výsledném mixu.

6. Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika je v plném rozsahu použitelná pro výrobce premixu společnost QUAIL spol. s r.o. (Dolní 876/1, 370 04 České Budějovice). Výrobce premixu bude dodávat tento materiál firmě Rašelina a. s. (Na Pískách č. 488, 392 01 Soběslav), která je významným producentem organických substrátů a která bude tento komponent používat pro výrobu substrátu, případně bude dodávat komponenty pro výrobu substrátu přímo do kompostárny. Firma Rašelina a. s. je řešitelem projektu a je uzavřena Smlouvu o uplatnění certifikované metodiky s výše uvedenou společností QUAIL. Certifikovaná metodika by měla být implementována do praxe hned v prvním roce po ukončení projektu. Zařízení na zpracování odpadů v Hůrce u Temelína bude metodiku využívat pro přípravu premixů a pro vyhodnocení jejich vlastností. Potencionálními uživateli metodiky jsou i další zpracovatelé odpadů, včetně kalů z ČOV a výrobci substrátů pro lesní hospodářství nebo komunální zeleň.

Publikační uplatnění předloženého textu certifikované metodiky lze nalézt na webových stránkách řešitelských pracovišť, kde bude metodika zájemcům dostupná v elektronickém formátu.

7. Ekonomické aspekty

Ekonomický přínos metodiky pro výrobce substrátů bude souviset s rozšířením sortimentu a získáním nových surovin pro výrobu substrátů. Rozšíření sortimentu přispěje ke zlepšení konkurenceschopnosti výrobní firmy Rašelina a. s. Odhad nákladů na výrobu

premixů se může pohybovat okolo 500 Kč/m³. Otázkou je jakou cenu budou ochotni za zpracování kalů nabídnout producenti kalů. Ekonomický přínos uživatele metodiky v tis. Kč je v současné turbulentní ekonomické situaci obtížné specifikovat.

Zpracování kalů řízeným kompostováním je ekonomicky nesrovnatelně výhodnější oproti řízenému spalování (pyrolýze), či dalším termickým úpravám kalu (sušení, peletkování). Fosfor, dusík a organické látky obsažené v kalu se při řízeném kompostování a přípravě substrátů recyklují a jsou znovu k dispozici ve formě přijatelné rostlinami. Úspora na hnojivech může činit 100–200 Kč/m³ vyrobeného substrátu.

8. Seznam použité související literatury

ČSN 46 5735 (465735) Průmyslové komposty

ČSN EN 12457-4 (838005) Charakterizace odpadů – Vyluhování – Ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů

ČSN P CEN/TS 16181 (838055) (2014): Kaly, upravený bioodpad a půdy - Stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) plynovou chromatografií (GC) a vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií (HPLC), ÚNMZ, Praha.

Vyhláška č. 383/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady

Vyhláška č. 294/2005 Sb. Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu

Vyhláška č. 341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

Vyhláška č. 93/2016 Sb. Vyhláška o Katalogu odpadů

Vyhláška č. 153/2016 Sb. Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy

Vyhláška č. 437/2016 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě

Vyhláška č. 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady

Zákon č. 541/2020 Sb., Zákon o odpadech

Citované prameny

Al-bassam, K., Magna, T., Vodrážka, R., Čech, S. (2019): Mineralogy and geochemistry of marine glauconitic siliciclasts and phosphates in selected Cenomanian–Turonian units, Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic: Implications for provenance and depositional environment. – *Geochemistry* 79, 347–368.

Altland, J. E., Owen, J. S., Jackson, B. E., & Fields, J. S. (2018). Physical and hydraulic properties of commercial pine-bark substrate products used in production of containerized crops. *HortScience*, 53(12), 1883-1890.

Anthony, T. L., & Silver, W. L. (2021). Hot moments drive extreme nitrous oxide and methane emissions from agricultural peatlands. *Global Change Biology*, 27(20), 5141-5153.

Barret, G. E., et al. (2016): Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems—A review. *Scientia horticultrae* 212: 220–234.

Bevacqua, R., & Mellano, V. (1993). Crop response to sewage sludge compost: a preliminary report. *California Agriculture*, 47(3), 22-24.

Bilderback, T.E. 2000 Pine bark handling and storage. North Carolina State Department of Horticulture Science Nursery Crops. <http://www.nurserycropscience.info/substrates/manage-inventory/extension-pubs/pine-bark-storage-and-handling.doc/view>

Brown, P. A., Gill, S. A., & Allen, S. J. (2000). Metal removal from wastewater using peat. *Water research*, 34(16), 3907-3916.

Břendová, K., Tlustoš, P., Száková, J., Bohuněk, M. (2015): Využití biouhli (biocharu) k úpravě půdních vlastností. *Biom.cz* [online]. 2015-02-02 [cit. 2021-10-17]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-biouhli-biocharu-k-uprave-pudnich-vlastnosti>>. ISSN: 1801-2655.

Castro, L. & Tourn, S. (2003). Direct application of phosphate rocks and glauconite as alternative sources of fertilizer in Argentina. *Explor. Mining Geol.*, Vol. 12, Nos. 1-4, pp. 1–8. 0964-1823/00

Cobb, G. S., & Keever, G. J. (1984). Effects of supplemental N on plant growth in fresh and aged pine bark. *HortScience*, 19(1), 127-129.

De Tender, C., Mesuere, B., Van der Jeugt, F., Haegeman, A., Ruttink, T., Vandecasteele, B., ... & Kuramae, E. E. (2019). Peat substrate amended with chitin modulates the N-cycle, siderophore and chitinase responses in the lettuce rhizobiome. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.

Dooley, J. H. (2006). Glauconite. In: Koger, J., Trivedi, N., Barrer, J., Krukowsky, N. (Eds.), *Industrial Minerals and Rocks: Commodities Market and Uses*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Littleton, CO, pp. 493e495.

Dubský, M., Plíva P. (2021): Použití kompostů s různým obsahem živin. *Zahradnictví* 20 (2): 42–45.

Essa, M. A., Ahmed, E. A., Kurzweil, H. (2016): Genesis, maturity and weathering of some Upper Cretaceous Egyptian glauconites: Mineralogical and geochemical implications. – *Journal of African Earth Sciences*, 124, 427–446.

Fisher, P. R., Huang, J., & Argo, W. R. (2006, October). Modeling lime reaction in peat-based substrates. In *III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation* 718 (pp. 461-468).

Franzosi, C., Castro, L. N., Celeda, A. M. (2014). Technical evaluation of Glauconites as alternative potassium fertilizer from the Salamanca formation, Patagonia, Southwest Argentina. *Nat. Resour. Res.* 23, 311e320.

Galangashi, M. A., Kojidi, S. F. M., Souraki, A. P. B. A., Mirroshandelc, A. A. (2020): Removing Iron, Manganese and Ammonium Ions from Water Using Greensand in Fluidized Bed Process. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 39, February 2021, 101714, ISSN 2214-7144

Ghani, K., Mohd, A., Mahmoud, D. K., Rebitanim, Z., Sanyang, L., Zainudin, R. B. (2013): Adsorption of methylene blue on sawdust-derived biochar and its adsorption isotherms. *Journal of Purity, Utility Reaction and Environment* Vol. 2 No. 2, April 2013, 34-50

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

Golbaz, S., Zamanzadeh, M. Z., Pasalari, H., & Farzadkia, M. (2021). Assessment of co-composting of sewage sludge, woodchips, and sawdust: feedstock quality and design and compilation of computational model. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12414-12427.

- Gomez, J. L., Sizmur, T., Collins, Ch., Hodson, M. (2011): Effects of biochar and the earthworm *Eisenia fetida* on the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially toxic elements. *Environmental Pollution*, Volume 159, Issue 2, 2011, 616-622, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.037>.
- Guerrero, F., Gascó, J. M., & Hernández-Apaolaza, L. (2002). Use of pine bark and sewage sludge compost as components of substrates for *Pinus pinea* and *Cupressus arizonica* production. *Journal of Plant Nutrition*, 25(1), 129-141.
- Günther, A., Barthelmes, A., Huth, V., Joosten, H., Jurasinski, G., Koebisch, F., & Couwenberg, J. (2020). Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature communications*, 11(1), 1-5.
- Guo, Y., Rene, E. R., Wang, J., & Ma, W. (2020). Biodegradation of polyaromatic hydrocarbons and the influence of environmental factors during the co-composting of sewage sludge and green forest waste. *Bioresource technology*, 297, 122434.
- Harding, S. C., Hash, B. P., Petersen, E. U., Akdale, A. A., Bradbury, C. D., Dyar, M. D. (2014): Mineralogy and geochemistry of the main glauconite bed in the Middle Eocene of Texas: Paleoenvironmental implications for the verdine facies. – *Plos One*, 2014 (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087656>).
- Harrelson, T., Warren, S. L., & Bilderback, T. E. (2004). How do you manage aged versus fresh pine bark. In *Proc. Southern Nursery Assn. Annu. Conf. 49th Annu. Rpt* (pp. 63-65).
- Heckman, J. R., Tedrow, J. C. F. (2004): Green sand as a soil Amendment. *Better Crops* 88, 1e17.
- Huat, B. B., Kazemian, S., Prasad, A., & Barghchi, M. (2011). State of an art review of peat: General perspective. *International Journal of Physical Sciences*, 6(8), 1988-1996.
- Huggett, J. M. (2013): Minerals: Glauconites and Green Clays, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, 2013. 01-Nov-13 doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.02893-1.
- Chan, K. Y., Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. (2007): Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45(8), 629-634. <https://doi.org/10.1071/SR07109>
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J. a Stráník, Z. (2002): *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia Praha, 2002. 436 s. Ediční číslo 2483. ISBN 80-200-0914-0.
- Ingelmo, F., Canet, R., Ibanez, M. A., Pomares, F., & García, J. (1998). Use of MSW compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. *Bioresource technology*, 63(2), 123-129.
- Kabelíková, E. (2018): *Sledování účinnosti vybraných adsorbentů na odstraňování mikropolutantů z pitné vody*. Brno, 2018. 89 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí.
- Kaderabek, L. E. B. (2017). *Effects of Aging on the Physical, Chemical, and Hydrological Properties of Pine Bark Substrates*.
- Karimi, E., Abdolzadeh, A., Sadeghipour, H. R., Aminei, A. (2011): The potential of glauconitic sandstone as a potassium fertilizer for olive plants. *Archives Agron. Soil Sci.* 1, 1e11.
- Kebibeche, H., Khelil, O., Kacem, M., & Harche, M. K. (2019). Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. *Ecotoxicology and environmental safety*, 168, 423-430.

Kosobucki, P., Chmarzynski, A., & Buszewski, B. (2000). Sewage sludge composting. *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(4), 243-248.

Kužvart, M. (ed.) (1983): *Ložiska nerudných surovin ČSR*. Univerzita Karlova, Praha.

La Bella, S., Virga, G., Iacuzzi, N., Licata, M., Sabatino, L., Consentino, B. B., ... & Tuttolomondo, T. (2021). Effects of Irrigation, Peat-Alternative Substrate and Plant Habitus on the Morphological and Production Characteristics of Sicilian Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Biotypes Grown in Pot. *Agriculture*, 11(1), 13.

Lamhamedi, M. S., Renaud, M., Auger, I., & Fortin, J. A. (2020). Granular calcite stimulates natural mycorrhization and growth of white spruce seedlings in peat-based substrates in forest nursery. *Microorganisms*, 8(7), 1088.

Lea-Cox, J. D., & Smith, I. E. (1997). The interaction of air-filled porosity and irrigation regime on the growth of three woody perennial (citrus) species in pine bark substrates. In *Proc. Southern Nurs. Assoc. Res. Conf* (Vol. 42, pp. 169-174).

Lehmann, J., Joseph, J. (2009): *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, Earthscan, London 2009. 438

Liang, B., (2006): Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 1719.

Mandre, M., Pärn, H., Klößeiko, J., Ingerslev, M., Stupak, I., Kört, M., & Paasrand, K. (2010). Use of biofuel ashes for fertilisation of *Betula pendula* seedlings on nutrient-poor peat soil. *Biomass and bioenergy*, 34(9), 1384-1392.

Marchetti, R., Castelli, F. (2013): Biochar from swine solids and digestate influence nutrient dynamics and carbon dioxide release in soil. *Journal of environmental quality*, 2013, 42 (3), 893.

Matějů, L., Štěpánková, M. (2010): *Metodický návod pro stanovení indikátorových organismů v bioodpadech, upravených bioodpadech, kalech z čistíren odpadních vod, digestátech, substrátech kompostech pomocných růstových prostředcích a obdobných matricích*, AHEM 1/2008, Státní zdravotní ústav, Praha 2010

Melka, K., Šťastný, M. (2014): *Encyklopedický přehled jílových a příbuzných minerálů*. Academia, Praha.

Morley, J. (1929): *Compost and Charcoal*. *The National Greenkeeper* 3: 8-26.

Morris, P. J. (2021). Wetter is better for peat carbon. *Nature Climate Change*, 1-2.

Naghypour, D., Amouei, A., Ghasemi, K. T., Taghavi, K. (2019): Removal of metoprolol from aqueous solutions by the activated carbon prepared from pine cones. *Environmental Health Engineering and Management Journal* 2019, 6(2), 81–88.

Naghypour, D., Amouei, A., Estajia, M., Taghavia, K., Allahabadie, A. (2018): Cephalexin adsorption from aqueous solutions by biochar prepared from plantain wood: equilibrium and kinetics studies. *Desalination and Water Treatment*. 143 (2019) 374–381. doi: 10.5004/dwt.2019.23563

Nekovařík, Č., Jaroš, J., Mitrenga, P., Rejl, L., Smolíková, L., Zelenka, P., Zeman, A. (1991): *Geologická mapa ČR. List 24-14 Boskovice*. Ústřední ústav geologický, Praha.

Ngo, P., Rumpel, C., Ngo, Q.-A., Alexis, M., Vargas, G., Mora, M., Dang, D., Jouquet, P. (2013): Biological and chemical reactivity and phosphorus forms of buffalo manure compost, vermicompost and their mixture with biochar. *Bioresource technology*. 148C. 401-407. 10.1016/j.biortech.2013.08.098.

- Nkongolo, N. V., & Caron, J. (1999). Bark particle sizes and the modification of the physical properties of peat substrates. *Canadian journal of soil science*, 79(1), 111-116.
- Nocentini, M., Panettieri, M., de Castro Barragán, J. M. G., Mastrodonardo, G., & Knicker, H. (2021). Recycling pyrolyzed organic waste from plant nurseries, rice production and shrimp industry as peat substitute in potting substrates. *Journal of Environmental Management*, 277, 111436.
- Novak, J. M., Busscher, W., Laird, D., Ahmedna, M., Watts, D., Niandou, M. (2009): Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil, *Soil Science*, Volume 174 - Issue 2 - p 105-112, doi: 10.1097/SS.0b013e3181981d9a
- Odom, I. E. (1984): Glauconite and celadonite minerals. In: *Reviews in Mineralogy*, Vol. 13: Micas (S. W. Bailey, ed.), 545–572.
- Placková, R. (2020). Rašelina je zázrak, který se musíme naučit nepoužívat. *ekolist.cz* <https://ekolist.cz/cz/publicistika/priroda/raselina-je-zazrak-ktery-se-musime-naucit-nepouzivat>
- Plíva P., Dědina M., Souček J., Dubský, M., Sucharová J., Holá M., Pilný R., 2017: Technologický postup transformace zbytkové biomasy, zejména vedlejších produktů ze spalování a výroby bioplynu kompostováním. Certifikovaná metodika, ISBN 978-80-7569-000-5, 28 s. <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2017/054.pdf>
- Rafatullah, M., Sulaiman, O. Hashim, R., Ahmad, A. (2012): Removal of cadmium (II) from aqueous solutions by adsorption using meranti wood. *Wood Sci Technol* (2012) 46:221–241. DOI 10.1007/s00226-010-0374-y
- Riffaldi, R., Levi-Minzi, R., Pera, A., & De Bertoldi, M. (1986). Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste management & research*, 4(4), 387-396.
- Rosa, J., Knicker, H., López-Capel, E., Manning, D. A. C., Gonzalez-Perez, J. A., González-Vila, F. J. (2008): Direct detection of black carbon in soils by Py-GC/MS, carbon-13 NMR spectroscopy and thermogravimetric techniques, *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 72, 258-267.
- Rudmin, M., Banerjee, S., Makarov, B., Mazurov, A., Ruban, A., Oskina, Y., Tolkachev, O., Buyakov, A., Shaldybin, M., (2019): An investigation of plant growth by the addition of glauconitic fertilizer, *Applied Clay Science*, Volume 180, 2019, 105178, ISSN 0169-1317, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105178>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131719302364>)
- Rudmin, M., Banerjee, S., Mazurov, A., Makarov, B. I., Martemyanov, D. (2017): Economic potential of glauconitic rocks in Bakchar deposit (S-E Western Siberia) for alternate potash fertilizer. *Applied Clay Science*. 150. 225-233. 10.1016/j.clay.2017.09.035.
- Sarauer, J. L., & Coleman, M. D. (2019). Douglas-fir seedling quality in biochar-amended peat substrates. *Reforesta*, (7), 1-14.
- Selim, K. A., El-Tawil, R. S., Rostom, M. (2018): Utilization of surface modified phyllosilicate mineral for heavy metals removal from aqueous solutions, *Egyptian Journal of Petroleum*, Volume 27, Issue 3, 2018, Pages 393-401, ISSN 1110-0621, <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.07.003>.
- Shreckhise, J. H., Owen Jr, J. S., Eick, M. J., Niemiera, A. X., Altland, J. E., & White, S. A. (2019). Dolomite and micronutrient fertilizer affect phosphorus fate in pine bark substrate used for containerized nursery crop production. *Soil Science Society of America Journal*, 83(5), 1410-1420.
- Smith, S. R. (1992). Sewage sludge and refuse composts as peat alternatives for conditioning impoverished soils: Effects on the growth response and mineral status of *Petunia grandiflora*. *Journal of Horticultural Science*, 67(5), 703-716.

Sombroek, W. (1966): Amazon soils : A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region, Centre for Agricultural Publications and Documentation, 1966.

Spokas, K. (2010). Review of the stability of biochar in soils: Predictability of O:C molar ratios. Carbon Management. 1 (2), 289-303. 10.4155/cmt.10.32.

Štelcl, J. - Vávra, V. (2013): Multimediální atlas hornin jako interaktivní pomůcka při výuce. Projekt podporovaný Fondem rozvoje vysokých škol č. 354/2008. Ústav geologických věd, PřF MU, Brno. <http://mineraly.sci.muni.cz/fylosilikaty/glaukonit.html>

Tryon, E. H. (1948): Effect of Charcoal on Certain Physical, Chemical, and Biological Properties of Forest Soils. Ecological Monographs, 18, 81.

Zimák, J., Reif, J., Krist, P., Musil, P., Šácha, D., Všianský, D. (2020): Mineralogie glaukonitického pískovce, odpadů z jeho úpravy a sklářského písku z Dolní Lhoty u Blanska. Acta Mus. Moraviae, Sci. geol. CV (2020): 2, 199–219, 2020. ISSN 1211–8796

Zulfiqar, F., Younis, A., & Chen, J. (2019). Biochar or biochar-compost amendment to a peat-based substrate improves growth of *Syngonium podophyllum*. Agronomy, 9(8), 460.

9. Seznam publikací, které předcházely metodice

Pecháček J., Janoušek J., Dundek P., Vavříček D. (2017): Initial fertilization impact on norway spruce nutrition and growth in the Krušné hory mts. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis 65(3): 907-917.

Kučera A., Vranová V., Janoušek J. (2022): Orgnominerální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin. PUV č. 36606.

Kučera A., Vranová V., Janoušek J. (2022): Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les. PUV č. 36690.

Kučera A., Vavříček D., Pecháček J. a kol. (2018): Revitalizace ekosystémových jednotek s využitím ekologických přístupů na stanovištích v minulosti antropogenně ovlivňovaných lokalit a extrémních lokalit současnosti. Závěrečná výzkumná zpráva, QJ1320040, Mendelu, Brno, 203 s.

Janoušek J., Vavříček K., Kučera A., Pecháček J. (2018): Revitalizační substrát na bázi rašeliny, určený pro výsadbu lesních dřevin. Užité vzor číslo 31822, Úřad průmyslového vlastnictví.

10. Dedikace

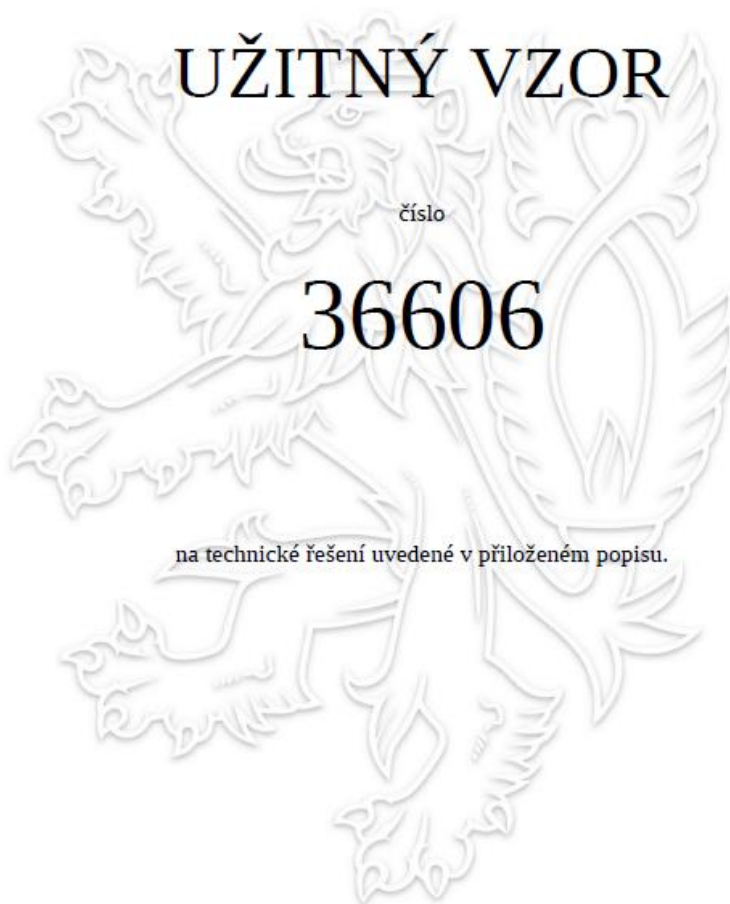
Metodika je výsledkem řešení projektu Optimalizace úpravy a zpracování kalů z čistíren odpadních vod při výrobě pěstebních substrátů a jejich bezpečné využití, reg. číslo CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024778, který byl podpořen z operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OP PIK).

11. Přílohy

Příloha č. 1: Užiténý vzor 36606, Organominerální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin.

Úřad průmyslového vlastnictví

zapsal podle § 11 odst. 1 zákona č. 478/1992 Sb., v platném znění, do rejstříku



V Praze dne: 22.11.2022

Za správnost:

Jiří Voráček
oddělení rejstříků

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užiténého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Číslo zápisu: 36606

Datum zápisu: 22.11.2022

Číslo přihlášky: 2022-40399

Datum přihlášení: 25.10.2022

MPT: A 01 G 24/20 (2018.01)
A 01 G 24/22 (2018.01)
C 05 F 7/00 (2006.01)

Název: Organominerální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k
výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin

Majitel: Mendelova univerzita v Brně, Brno, Černá Pole
Rašelina a.s., Soběslav, Soběslav II

Původce: Ing. Aleš Kučera, Ph.D., Horní Maršov
doc. Ing. Valerie Vránová, Ph.D., Brno, Kohoutovice
Ing. Josef Janoušek, Ph.D., Řepeč

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitného vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

36 606

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

A01G 24/20 (2018.01)
A01G 24/22 (2018.01)
C05F 7/00 (2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA
(21) Číslo přihlášky: 2022-40399
(22) Přihlášeno: 25.10.2022
(47) Zapsáno: 22.11.2022



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(73) Majitel:
Mendelova univerzita v Brně, Brno, Černá Pole, CZ
Rašelina a.s., Soběslav, Soběslav II, CZ

(72) Původce:
Ing. Aleš Kučera, Ph.D., Homí Maršov, CZ
doc. Ing. Valerie Vránová, Ph.D., Brno,
Kohoutovice, CZ
Ing. Josef Janoušek, Ph.D., Řepeč, CZ

(74) Zástupce:
Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1,
613 00 Brno, Černá Pole

(54) Název užitého vzoru:
**Organominerální substrát s obsahem
upravených kalů z ČOV k výsadbě
sadebního materiálu lesních dřevin**

CZ 36606 U1

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitého vzoru
splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Organominerální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin

5 Oblast techniky

Technické řešení se týká revitalizačního organominerálního substrátu na bázi stabilizovaného hygienizovaného kalu z čistíren odpadních vod (ČOV), určeného pro výsadbu lesních dřevin pro aplikaci do sadebních jamek při zalesňování a pro bodovou revitalizaci lesních kultur juvenilního stádia vývoje na stanovištích s nedostatkem organické hmoty a živin.

Dosavadní stav techniky

15 S probíhající a nadcházející změnou legislativy upravující způsoby nakládání s čistírenskými kaly patří téma jejich optimálního využití k základním strategickým celospolečenským otázkám. V současnosti lesnické výsadby v případě dodávky zeminy probíhají do organických a organominerálních substrátů na bázi kompostu nebo rašeliny, obohacených o další složky, upravující vodovzdušný režim materiálu. Nevýhodou konvenčně vyráběných substrátů je jednak změna v celospolečenském klimatu a obecně afinita k recyklaci odpadů a hospodárnosti jejich využití – environmentální rozměr – a jednak také jejich fyzikální, hydrofyzikální a chemické vlastnosti. Ty jsou spojené s jistým rizikem nedostatku potřebných surovin pro trofostní optimalizaci a také s požadavkem na energetickou užitnost vynaložených nákladů spojených s výrobou substrátu.

25 Problémem stávajících substrátů je také nedostatek humusových látek (ve smyslu humifikované organické hmoty) v případě substrátů na bázi rašeliny, které jsou účinným sorbentem nejen pro vodu, ale zejména pro živiny, poutané fyzikálně-chemickými silami v případě humifikované organické hmoty.

30 Již z patentu CS 188 886, ale i dalších materiálů (např. z užitného vzoru CZ 31822, nebo ochranného dokumentu CS 201 231) je zřejmý pozitivní účinek aplikace melioračních materiálů do kořenové zóny při výsadbě nebo v podobě mulče na půdní povrch v bezprostřední blízkosti jedince (v průmětu korunky juvenilního jedince). Pozitivní účinek vyplývá zejména z rychlého uvolnění dostupných živin a vede ke zvýšení vitality jedince, k odolnosti vůči stresu klimatickými excesy (především suchem, mrazem). Živiny poutané fyzikálně-chemickými silami zároveň umožňují rostlinám jejich selektivní aktivní příjem a podporují tak optimální nutriční statut.

40 Uvedené patentově chráněné materiály dosahovaly vysoké kvality a odpovídaly svým založením době, ve které byly vyvinuty, nicméně v současnosti čelíme změně ve společenské poptávce. Ta je založena na přídatném environmentálním aspektu spojeném s recyklací, resp. využitím odpadů, s ochranou životního prostředí vůči intoxikaci rizikovými látkami a patogeny, ale i s šetrným využíváním přírodních zdrojů, jako je např. právě rašelina.

45 Podstata technického řešení

Uvedené nedostatky, ale i potřebné benefity do značné míry řeší organominerální substrát s hnojivými účinky na bázi směsného hnojivého revitalizačního materiálu, určeného pro optimalizaci půdního prostředí lesních dřevin, obsahujícího komponenty prospěšné pro jejich růst z hlediska nutričního i hydrického.

55 Substrát je možné při dostatečné hygienizaci využít i pro klíčení rostlin a rozvoj jejich semenáčků i rozvoj sazenic v navazujících výsadbách. Vysoký podíl dostupných živin a zastoupení organické i minerální složky zároveň vede k dlouhodobosti jeho účinku a zvyšuje šance na úspěšné zajištění

lesních kultur. Při bodové aplikaci v bezprostředním okolí stromku také zvyšuje infiltrační schopnost půdy, optimální transfer vody z půdního prostředí do kořenové zóny při minimalizaci erozního účinku, nebo naopak přemokření a tím eliminaci rozvoje kořenů v anaerobních podmínkách. Substrát zároveň představuje vhodné médium pro vodu a živiny v maximálním rozsahu vegetačního období a eliminuje riziko klimatického stresu, spojeného především s přísuškou během vegetačního období. V době bezprecedentního rozsahu rozpadu lesních porostů a naléhavé potřeby urychlené obnovy lesa substrát zároveň představuje vhodný materiál při využití lokálních/regionálních zdrojů k jeho výrobě.

- 10 Podstata předmětného revitalizačního organominerálního substrátu spočívá ve vytvoření směsi *premixu a dalších organických a minerálních surovin.*

Premix má následující objemové komponenty:

- 15 stabilizovaný, hygienizovaný čistírenský kal o podílu 30 až 50 % obj.; organickou studenou příměs o podílu 35 až 55 % (organickou studenou příměsí se přitom rozumí organická hmota s vysokým podílem pomalu se rozkládajících rostlinných složek (ligninu, suberinu, vosků, taninů apod.), které zpomalují kompostovací proces a nevedou k rychlému nárůstu teploty během kompostovacího procesu. Organická studená příměs přitom připouští dle dostupnosti lokálních surovin dvě varianty: buď vrchovištní rašelinu s nízkým stupněm rozložení H1-H3, nebo drcenou kůru.); organickou
20 teplou příměs o podílu 10 až 20 % obj. (organickou teplou příměsí se přitom rozumí organická hmota s vysokým podílem rychle se rozkládajících rostlinných složek (sacharidů, celulózy apod.), které zrychlují kompostovací proces a vedou k rychlému nárůstu teploty během kompostovacího procesu. Organická teplá příměs přitom připouští dle dostupnosti lokálních surovin travní seč, listovní nebo digestát z bioplynové stanice.); dřevní vlákno o podílu 5 až 10% obj. pro podporu
25 smáčivosti.

- Výroba premixu je založena na kompostování nechemicky stabilizovaného čistírenského kalu ve směsi s výše uvedenými komponentami o frakci maximálně 30 mm při zajištění průběhu všech fází dle Sankeyho schématu upraveného pro kompostovací proces. Zásadní přitom je mineralizační fáze, při které za vysokých teplot (až 70 °C; min. 60 °C po dobu min. 3 týdnů) dochází k selekci mikroflóry a redukci patogenních organismů, ale také k redukci klíčivosti obsažených semen. Při výrobě je zajištěna dostatečně dlouhá navazující fáze přeměny a syntézy (dohromady min. 12 týdnů) z důvodu optimálního uvolnění přístupných forem dusíku a k optimalizaci poměru C/N (12 až 20). V průběhu kompostovacího procesu je kompost dvakrát překopán, dle interních podmínek
35 (zejména teploty a vlhkosti, při optimalizaci zejména vlhkostních podmínek na hodnoty 40 až 60 %). Na výstupu kompost splňuje kritéria dle ČSN 465735 (2020) Průmyslové komposty, resp. Vyhlášky č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a o změně vyhlášky č. 383/2005 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady na
40 obsah rizikových látek.

Komponenty pro výrobu pěstební substrátu jsou následující:

- Premix s výše popsanými charakteristikami, o podílu v substrátu 40 až 80 % obj.
- 45 • Organická příměs tvořená pyrolyticky rozloženou organickou hmotou – biouhlem, v marketingovém prostředí též nazývaným biochar, při podílu 2 až 25 % obj. Důvodem pro jeho použití je vysoký obsah popelovin, resp. minerálních živin s postupným uvolňováním (vyjma nízkého obsahu dusíku), vysoké sorpční schopnosti pro vodu i pro živiny. Strukturální charakter biouhlu zároveň substrátu zajišťuje objemovou stabilitu a nesléhavost. Jeho využití
50 v navrhovaném substrátu je v souladu s celkovým pojetím zajištění růstového média na bázi recyklovaných surovin.
- Organická příměs tvořená dřevním vláknem bez kompostování při podílu 5 až 35 % obj.

- Minerální příměs tvořená granulovaným glaukonitem při podílu v substrátu 20 až 60 kg/m³. Glaukonit jako hydratovaný fylosilikát s vysokým obsahem především draslíku je velmi účinným sorbentem a zároveň zdrojem strategické makroživiny, draslíku, která u rostlin podporuje rozvoj kořenového systému a zmírňuje stresové odezvy při klimatických extrémech při epizodickém suchu nebo pozdních a časných mrazících. Glaukonit je do substrátu přidáván v granulované formě jemnozrného přípravku se zrnitostí 0 až 2 mm a s vlhkostí 3 až 8 % hmotn., bez obsahu písku.
- Minerální dusíkaté hnojivo s dvojitým uvolňováním a dobrou sorbovatelností s podílem v substrátu 1 až 4 kg/m³. Rychlé uvolnění a dostupnost N zajišťuje dusičnan amonný při 25 až 50% obj. podílu v dusíkatém hnojivu a močovinoformaldehyd při 50 až 75% obj. podílu v dusíkatém hnojivu.

Příklady uskutečnění technického řešení

1. Organominerální substrát na bázi recyklovaných surovin s přidavkem dusíkatého hnojiva, obsahující 80 % obj. kompostovaného premixu (40 % obj. stabilizovaného hygienizovaného kalu ČOV + 30 % obj. vrchovištní rašeliny + 20 % obj. „teplé“ organické příměsi + 10 % obj. dřevovláknů), 15 % biouhlu, 5 % obj. dřevního vlákna, 40 kg/m³ glaukonitu, s přidáním dusíkatého hnojiva v množství 1,5 kg/m³. Růstové médium je určeno pro zapracování do volné záhonové plochy v lesních školkách pro školkování sazenic lesních dřevin v množství 0,5 t/ha při zaorání do hloubky 15 až 20 cm nebo pro pěstování víceletého krytokořeného sadebního materiálu (poloodrostků nebo odrostků) v lesních školkách nebo okrasných školkách.
2. Organominerální substrát na bázi recyklovaných surovin s přidavkem dusíkatého hnojiva, obsahující 65 % obj. kompostovaného premixu (45 % obj. stabilizovaného hygienizovaného kalu ČOV + 50 % obj. drčené kůry + 5 % obj. dřevního vlákna), 25 % biouhlu, 10 % dřevního vlákna a 50 kg/m³ granulovaného glaukonitu, s přidáním dusíkatého hnojiva v množství 2 kg/m³. Růstové médium je určeno pro výsadbu lesních dřevin při obnově lesních porostů při aplikaci do výsadbové jamky s promísením s původní zemínou, nebo pro bodovou revitalizaci stávajících lesních kultur juvenilního stádia vývoje, a to při objemu aplikace 8 l/sazenice, aplikováno v průmětu korunky v kruhovém a miskovitém tvaru, bez kontaktu substrátu s kmínkem stromu.

Průmyslová využitelnost

Růstové médium je určeno pro aplikaci v širokém spektru případů v lesnickém sektoru při pěstování sadebního materiálu lesních dřevin a při péči o lesní kultury juvenilního vývojového stádia a v širokém spektru lesních dřevin. Je určen pro podporu nutričního stavu dřevin, pro optimalizaci vodovzdušného režimu i pro dočasnou ochranu proti plevelům a buření v bezprostřední blízkosti jedince.

Substrát lze aplikovat:

1. mechanizovaně při strojním, mechanickém zapracování do půdy po předcházející aplikaci např. rozmetadlem na volné záhonové ploše lesní nebo okrasné školky;
2. mechanizovaně při plnění sadbovačů pro pěstování sadebního materiálu na výrobních linkách lesních nebo okrasných školek;
3. ručně při výsadbách s prokopáním výsadbové jamky a promísením se zemínou (při jamce 25 × 25 cm do hloubky 15 cm je množství substrátu 3 až 5 l), nebo
4. ručně při bodové revitalizaci v lesních porostech (množství 8 až 16 l/jedinec dle stáří).

NÁROKY NA OCHRANU

1. Organominerální substrát s obsahem upravených kalů z čistírny odpadních vod k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin, **vyznačující se tím**, že substrát obsahuje 40 až 80 % objemu substrátu premix, 2 až 25 % objemu substrátu biouhel, 5 až 35 % objemu substrátu dřevní vlákno, 20 až 60 kg/m³ granulovaného glaukonitu a podíl minerálního dusíkatého hnojiva o množství 1 až 4 kg/m³, přičemž premixem je materiál na bázi průmyslového kompostu s velikostí frakce maximálně 30 mm, který obsahuje nechemicky stabilizovaný kal z čistírny odpadních vod v celkovém podílu 30 až 50 % objemu premixu; organickou studenou příměs v celkovém podílu 35 až 55 % objemu premixu, organickou teplou příměs v celkovém podílu 10 až 20 % objemu premixu a dřevní vlákno v celkovém podílu 5 až 10 % objemu premixu.
2. Organominerální substrát s obsahem upravených kalů z čistírny odpadních vod určený k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že premix obsahuje organickou studenou příměs v celkovém podílu 35 až 55 % objemu premixu, která se skládá z vrchovištní rašeliny s nízkým stupněm rozložení H1-H3, nebo drcené kůry, či kombinace těchto materiálů.
3. Organominerální substrát s obsahem upravených kalů z čistírny odpadních vod k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že premix obsahuje organickou teplou příměs v celkovém podílu 10 až 20 % objemu premixu, která se sestává z travní seče, listoví, nebo digestátu z bioplynové stanice, či z kombinace těchto materiálů.

Příloha č. 2: Užiténý vzor 36606, Organominerální substrát s obsahem upraených kalů z ČOV k výsadbě sadebního materiálu lesních dřevin.

Úřad průmyslového vlastnictví

zapsal podle § 11 odst. 1 zákona č. 478/1992 Sb., v platném znění, do rejstříku

UŽITNÝ VZOR

číslo

36690

na technické řešení uvedené v příloženém popisu.

V Praze dne: 13.12.2022

Za správnost:

Jiří Voráček
oddělení rejstříků

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užiténého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Číslo zápisu: **36690**

Datum zápisu: 13.12.2022

Číslo přihlášky: **2022-40497**

Datum přihlášení: 16.11.2022

MPT: A 01 G 24/12 (2018.01)
A 01 G 24/20 (2018.01)
A 01 G 24/22 (2018.01)
C 05 F 7/00 (2006.01)


Název: Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les

Majitel: Mendelova univerzita v Brně, Brno, Černá Pole
Rašelina a.s., Soběslav, Soběslav II

Původce: Ing. Aleš Kučera, Ph.D., Homí Mařov
doc. Ing. Valerie Vránová, Ph.D., Brno, Kohoutovice
Ing. Josef Janoušek, Ph.D., Řepeč

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

UŽITNÝ VZOR

<p>(19) ČESKÁ REPUBLIKA</p>  <p>ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ</p>	<p>(21) Číslo přihlášky: 2022-40497 (22) Přihlášeno: 16.11.2022 (47) Zapsáno: 13.12.2022</p>	<p>(11) Číslo dokumentu: 36 690</p> <p>(13) Druh dokumentu: U1 (51) Int. Cl.:</p> <table><tr><td><i>A01G 24/12</i></td><td>(2018.01)</td></tr><tr><td><i>A01G 24/20</i></td><td>(2018.01)</td></tr><tr><td><i>A01G 24/22</i></td><td>(2018.01)</td></tr><tr><td><i>C05F 7/00</i></td><td>(2006.01)</td></tr></table>	<i>A01G 24/12</i>	(2018.01)	<i>A01G 24/20</i>	(2018.01)	<i>A01G 24/22</i>	(2018.01)	<i>C05F 7/00</i>	(2006.01)
<i>A01G 24/12</i>	(2018.01)									
<i>A01G 24/20</i>	(2018.01)									
<i>A01G 24/22</i>	(2018.01)									
<i>C05F 7/00</i>	(2006.01)									
<p>(73) Majitel: Mendelova univerzita v Brně, Brno, Černá Pole, CZ Rašelina a.s., Soběslav, Soběslav II, CZ</p> <p>(72) Původce: Ing. Aleš Kučera, Ph.D., Horní Maršov, CZ doc. Ing. Valerie Vránová, Ph.D., Brno, Kohoutovice, CZ Ing. Josef Janoušek, Ph.D., Řepeč, CZ</p> <p>(74) Zástupce: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Černá Pole</p>										
<p>(54) Název užitého vzoru: Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les</p>										

CZ 36690 U1

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitého vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z ČOV k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les

5 Oblast techniky

Řešení se týká strukturálního organominerálního substrátu na bázi stabilizovaného hygienizovaného kalu z čistírenských odpadních vod (ČOV), určeného pro úpravu prokořenitelného prostoru stromu při výsadbě, nebo stojícího – v průběhu jeho života. Substrát je určen především pro urbanizované krajinné součásti resp. pro úpravu stanovištních poměrů dřevin rostoucích mimo les po celou dobu jejich života, nebo při rekonstrukcích zeleně.

15 Dosavadní stav techniky

K probíhající diskuzi spojené se změnou legislativy upravující nakládání s čistírenskými kalů patří také problematika jejich optimálního využití k prioritním otázkám z hlediska recyklace odpadních materiálů za jejich bezrizikovosti vzhledem k přírodnímu prostředí člověka. Urbanizované krajinné součásti jsou velmi specifické klimaticky i edaficky a dřevinná vegetace se výrazně podílí na úpravě mikroklimatu i s ohledem na semiaridní charakter sídel a obcí (co do klimatu) a s ohledem na pseudokrasový charakter resp. velmi specifický vodovzdušný režim půdního prostředí s omezenou fyziologickou hloubkou rozvoje kořenového systému vzhledem k pedokompakci. V důsledku jsou stromy vystavovány tzv. *multistress impact*, který vede ke zkrácení délky života, snížení vitality a zhoršování zdravotního stavu s následky v podobě prosychání korun, rizika vývrátů a tím také snížení provozní bezpečnosti ve veřejném prostoru.

Optimalizace půdního prostředí ve smyslu zvýšení fyziologické hloubky a nutričního a hydrického optimálního zajištění stromu je souborem opatření, které lze shrnout pod pojmy jako „úprava stanovištních poměrů dřevin“ nebo „optimalizace prokořenitelného prostoru“. Tyto úkony spočívají zejména v biotechnických zásazích do kořenové zóny stromu odpovídající jejímu rozsahu v době dospělosti stromu. Výrazně tedy přesahují objem a prostorový rozsah výsadbové jámy. Tyto skutečnosti vyplývají už z arboristického standardu 02 007 Úprava stanovištních poměrů dřevin – Standard péče o přírodu a krajinu SPPK.

Problém stávajících substrátů používaných v arboristice pro výše popsané účely spočívá zejména v nedostatku literárních podkladů, zkušenosti s technologiemi a dat využitelných pro účely vhodné úpravy prokořenitelného prostoru pomocí speciálních substrátů v souladu s ekvalencí daných taxonů. Těm se obvykle již za délky jejich života výrazně mění půdní prostředí ve vazbě na charakter chemismu urbanizovaného prostředí (především alkalizace) i ve vazbě na fyzikální vlastnosti půdy (především pedokompakce). Nevhodný poměr surovin i samotná jejich kvalita při přípravě substrátu potom vedou k nedostatečnému rozvoji kořenového systému při suboptimálních chemických, fyzikálních a hydrofyzikálních i mechanických vlastnostech uměle vytvořeného půdního prostředí.

Pozitivní účinek vhodně připravených substrátů na rozvoj kořenového systému přitom vyplývá z existujících zdrojů, např. ochranný dokument č. 201 231, patent 188 886, užité vzor 31822, které speciální substráty aplikují přímo do kořenové zóny nebo v podobě mulče na půdní povrch při tzv. bodové revitalizaci. Navrhované řešení je přitom s těmito referencemi kompatibilní také ve smyslu tzv. bodového pojetí úpravy stanovištních podmínek, které nemá plošný charakter a zároveň zohledňuje životní prostor jedince po celou dobu jeho života. Pozitivní účinek přitom vyplývá jednak z vhodného trofnostního zajištění vytvořeného edatopu (obsahu živin v dostupné formě a vhodného chemismu půdního roztoku) a jednak z vhodné mechanické skladby, která vede ke zvýšení odolnosti vůči pedokompakci.

Environmentální aspekt řešení navíc spočívá také v efektivním využití recyklovaných materiálů, kdy hlavní složky růstového média náleží mezi obnovitelné zdroje a mechanická složka receptury připouští využití lokálních zdrojů. Vedle jednoznačně definovaných parametrů řešení strukturálního substrátu klade v současnosti důraz na environmentální aspekt, který zcela odpovídá společenské poptávce, kladoucí stále větší nároky na udržitelnost, šetrnost k životnímu prostředí a obnovitelnost zdrojů, o to více, vede-li podpoře kvality a vitality zeleně v urbanizované části krajiny.

10 Podstata technického řešení

Uvedenou aktuální potřebu řeší navrhovaný organominerální strukturální substrát s hnojivými účinky na bázi revitalizačního materiálu a s mechanickými účinky, určeného pro optimalizaci prokořenitelného prostoru stromu, obsahujícím (1) komponenty prospěšné pro růst stromu z hlediska nutričního a hydrického, resp. vodovzdušného; (2) komponenty prospěšné pro zvýšení mechanické únosnosti půdy.

Po předcházející hygienizaci substrát umožňuje rozvoj kořenového systému v celém prokořenitelném prostoru jedince, zasahujícího do hloubky a vzdálenosti v maximální extenzi, potřebné pro daný taxon. Zpravidla do hloubky až 80 cm a do vzdálenosti až 12 m od paty stromu dle velikosti koruny. Vysoký podíl dostupných živin při mírně kyselém chemismu a vysoká provzdušněnost v celém objemu aplikace substrátu zvyšují šance na hluboké zakořenění při současném odvodnění s minimalizací epizodického zamokření půdy vedoucí k redukci fyziologické hloubky v anaerobních podmínkách. Substrát zvyšuje také klimatickou odolnost spojenou s extrémními klimatickými epizodami (především vysoké teploty v prostředí industriálních bloků) a eliminuje potřebu dodávky umělé závlahy při dostatečném prokořenění s důsledkem spočívajícím ve zvýšení provozní bezpečnosti ve veřejném prostoru.

Podstatou předmětného strukturálního substrátu jsou dvě složky: *růstové médium* (zdroj živin v přijatelné formě) a *drcené kamenivo* (mechanická odolnost vůči pedokompakci).

Růstové médium je tvořeno revitalizačním organominerálním substrátem, který je směsí premixu a dalších organických a minerálních surovin.

35 Premix je kompostovaný rostlinný materiál a má následující objemové komponenty:

(1) stabilizovaný, hygienizovaný čistírenský kal o podílu 15 až 55 % obj.; (2) organickou studenou příměs o podílu 25 až 65 % (Organickou studenou příměsí se přitom rozumí organická hmota s vysokým podílem pomalu se rozkládajících rostlinných složek – ligninu, suberinu, vosků, taninů apod., které zpomalují kompostovací proces a nevedou k rychlému nárůstu teploty během kompostovacího procesu. Organická studená příměs přitom připouští dle dostupnosti lokálních surovin dvě varianty: Buď vrchovištní rašelinu s nízkým stupněm rozložení H1-H3, nebo drcenou kůru.); (3) organickou teplou příměs o podílu 15 až 30 % obj. (Organickou teplou příměsí se přitom rozumí organická hmota s vysokým podílem rychle se rozkládajících rostlinných složek – sacharidů, celulózy apod., které zrychlují kompostovací proces a vedou k rychlému nárůstu teploty během kompostovacího procesu. Organická teplá příměs přitom připouští dle dostupnosti lokálních surovin travní seč, listoví nebo digestát z bioplynové stanice.); (4) dřevní vlákno o podílu 5 až 15 % obj. pro podporu smáčivosti.

50 Výroba premixu je založena na kompostování nechemicky stabilizovaného čistírenského kalu ve směsi s výše uvedenými komponentami o frakci max. 30 mm při zajištění průběhu všech fází dle Sankeyho schématu upraveného pro kompostovací proces. Zásadní přitom je mineralizační fáze, při které za vysokých teplot (až 70 °C; min. 60 °C po dobu min. 3 týdnů) dochází k selekci mikroflóry a redukci patogenních organismů, ale také k redukci klíčivosti obsažených semen. Při výrobě je zajištěna dostatečně dlouhá navazující fáze přeměny a syntézy (dohromady min.

12 týdnů) z důvodu optimálního uvolnění přístupných forem dusíku a k optimalizaci poměru C/N (12 až 20). V průběhu kompostovacího procesu je kompost dvakrát překopán, dle interních podmínek – zejména teploty a vlhkosti, při optimalizaci zejména vlhkostních podmínek na hodnoty 40 až 60 %. Na výstupu kompost splňuje kritéria dle ČSN 46735 Průmyslové komposty, resp.

5 Vyhlašky č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a o změně vyhlášky č. 383/2005 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady na obsah rizikových látek.

10 **Komponenty pro výrobu *růstového média* jsou následující:**

- Premix o podílu v substrátu 35 až 70 % obj.
 - Organická příměs tvořená pyrolyticky rozloženou organickou hmotou – biouhlem, v marketingovém prostředí též nazývaným biochar, při podílu 5 až 30 % obj. Důvodem pro jeho použití je vysoký obsah popelovin resp. minerálních živin s postupným uvolňováním (vyjma nízkého obsahu dusíku), vysoké sorpční schopnosti pro vodu i pro živiny. Strukturální charakter biouhlu zároveň substrátu zajišťuje objemovou stabilitu a nesléhavost. Jeho využití v navrhovaném substrátu je v souladu s celkovým pojetím zajištění *růstového média* na bázi recyklovaných surovin.
 - Organická příměs tvořená dřevním vláknem bez kompostování při podílu 5 až 40 % obj.
 - Minerální příměs tvořená granulovaným glaukonitem při podílu v substrátu 25 až 70 kg/m³. Glaukonit jako hydratovaný fylosilikát s vysokým obsahem především draslíku je velmi účinným sorbentem a zároveň zdrojem strategické makroživiny, draslíku, která u rostlin podporuje rozvoj kořenového systému a zmírňuje stresové odezvy při klimatických extrémech při epizodickém suchu nebo pozdních a časných mrazících. Glaukonit je do substrátu přidáván v granulované formě jemnozrnného přípravku se zrnitostí 0 až 2 mm a s vlhkostí 3 až 8 % hmotn., bez obsahu písku.
 - Minerální dusíkaté hnojivo s dvojnásobným uvolňováním a dobrou sorbovatelností s podílem v substrátu 1 až 4 kg/m³. Rychlé uvolnění a dostupnost N zajišťuje dusičnan amonný při 25 až 50 % obj. podílu v dusíkatém hnojivu a močovinoformaldehyd při 50 až 75 % obj. podílu v dusíkatém hnojivu.

35 ***Drcené kamenivo*** pro výrobu strukturálního substrátu je použito ve frakci 16/32 nebo 32/64 z lokálního zdroje jako kyselá nebo neutrální hornina bez alkalizujícího účinku.

Strukturální substrát je vyroben jako směs obsahující 15 až 35 % obj. *růstového média* a 65 až 85 % obj. *drceného kameniva*.

Příklad uskutečnění technického řešení

45 (A) Strukturální substrát pro výsadbu stromů mimo les na bázi recyklovaných surovin a lokálních zdrojů, obsahující 75 % obj. *drceného kameniva* a 25 % obj. *růstového média*. *Drcené kamenivo* granodiorit je ve frakci 32/64. *Růstové médium* obsahuje 60 % premixu (45 % obj. stabilizovaného hygienizovaného kalu ČOV + 25 % obj. vrchovištní rašeliny + 25 % obj. travní seče + 5 % obj. dřevovláknů), 30 % obj. biouhlu, 10 % obj. dřevního vlákna, 45 g/m³ glaukonitu, s přidáním dusíkatého hnojiva v množství 0,8 kg/m³.

50 Smísení strukturálního substrátu probíhá při předchozím zvlhčení *drceného kameniva*. Strukturální substrát je určen pro aplikaci ve výsadbové jámě a pro částečnou výměnu zeminy v prokořenitelném prostoru vysazovaného stromu 4 radiálními výsečemi ve vzdálenosti 0 až 8 m od paty stromu. Aplikace substrátu probíhá za průběžného hutnění vibrační deskou až na půdní povrch, který se v hloubce 0 až 10 cm pokrývá původní zemínou a následně se půdní povrch

pokrývá 5 cm mocnou vrstvou mulče. Strukturální substrát je určen pro výsadby v uličních stromořadích, parcích, náměstích a dalších otevřených prostorech s pohybem veřejnosti a pojezdem techniky používané pro sečení trávy nebo úklid listí, kde nelze zpevnit půdní povrch, ale je naopak žádoucí zatravnit půdní povrch.

5

(B) Strukturální substrát pro úpravu prokořenitelného prostoru stromů mimo les na bázi recyklovaných surovin a lokálních zdrojů, obsahující 60 % obj. drceného kameniva a 40 % obj. růstového média. Drcené kamenivo je amfibol-biotitická rula ve frakci 32/64. Růstové médium obsahuje 65 % obj. premixu (45 % obj. stabilizovaného hygienizovaného kalu ČOV + 30 % obj. drcené kůry + 20 % obj. digestátu + 5 % obj. dřevního vlákna), 25 % obj. biouhlu, 10 % obj. dřevního vlákna, 35 kg/m³ glaukonitu, s přidáním dusíkatého hnojiva v množství 1,2 kg/m³.

10

Smísení strukturálního substrátu probíhá při předchozím zvlhčení drceného kameniva. Strukturální substrát je určen pro úpravu prokořenitelného prostoru stojícího stromu při částečné výměně zeminy. Stávající zemina je odstraněna v zóně přítomnosti kořenů pneumaticky technologií *air spade* v radiálních výsečích ve vzdálenosti odpovídající prokořenitelnému prostoru, do maximální hloubky pneumatického rytí (min. 30, až 60 cm) a v zóně bez přítomnosti kořenů mechanizovaně. Aplikace substrátu probíhá za průběžného mírného hutnění pošlapem do hloubky 5 cm. V hloubce 0 až 5 cm je aplikována původní zemina a v hloubce pokrývá původní zeminou a následně se půdní povrch pokrývá 5 cm mocnou vrstvou mulče.

15

20

Průmyslová využitelnost

Růstové médium je určeno pro aplikaci v arboristickém oboru v širokém spektru případů vyžadujících úpravu půdního prostředí buď v okolí stojícího stromu, nebo při výsadbě. Strukturální substrát lze aplikovat ve všech věkových fázích života jedince za účelem zvýšení fyziologické hloubky půdy v prokořenitelném prostoru ve smyslu částečné výměny půdy.

25

Substrát lze aplikovat (A) při výsadbě stromu při současné navazující mechanické výměně zeminy, nebo (B) při úpravě stanovištních poměrů stromu. Využívá se jako opatření zlepšující stanovištní podmínky, zdravotní a nutriční stav, vodovzdušný režim půdy a zvyšující odolnost půdy vůči pedokompakci. Fenoménem nevhodnosti půdního prostředí se vyznačuje většina stanovišť urbanizované části krajiny, kde je zapotřebí mimo jiné ve vazbě na klimatické výkyvy zvýšit odolnost ekosystémových vztahů vůči extrémům zhoršujícím vitalitu jedinců rostoucích samostatně, ve skupinách či stromořadích.

30

35

NÁROKY NA OCHRANU

1. Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z čistírny odpadních vod k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les, **vyznačující se tím**, že obsahuje růstové médium o podílu 15 až 35 % objemu substrátu a drcené kamenivo o podílu 65 až 85 % objemu substrátu, přičemž růstové médium se skládá z 35 až 70 % objemu růstového média z premixu, 5 až 30 % objemu růstového média z biouhlu, 5 až 40 % objemu růstového média z dřevního vlákna, z 25 až 70 kg/m³ glaukonitu ve formě granulátu a 1 až 4 kg/m³ minerálního dusíkatého hnojiva, které je směsí dvou forem dusíku: rychle dostupného dusíku, kterým je dusičnan amonný, s podílem 25 až 50 % objemu směsi a pomalu se rozpouštějícího dusíku, kterým je močovinoformaldehyd, s podílem 50 až 75 % objemu směsi, přičemž premixem se rozumí materiál na bázi průmyslového kompostu s velikostí frakce maximálně 30 mm, který obsahuje nechemicky stabilizovaný, hygienizovaný čistírenský kal o celkovém podílu 15 až 55 % objemu premixu, organickou studenou příměs o celkovém podílu 25 až 65 % objemu premixu, organickou teplou příměs o celkovém podílu 15 až 30 % objemu premixu a dřevní vlákno o podílu 5 až 15 % objemu premixu.
2. Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z čistírny odpadních vod k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že premix obsahuje organickou studenou příměs v celkovém podílu 25 až 65 % objemu premixu, která se skládá z vrchovištní rašeliny s nízkým stupněm rozložení H1-H3, nebo drcené kůry či kombinace těchto materiálů.
3. Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z čistírny odpadních vod k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že premix obsahuje organickou teplou příměs v celkovém podílu 15 až 30 % objemu premixu, která sestává z travní seče, listoví nebo digestátu z bioplynové stanice, či kombinace těchto materiálů.
4. Strukturální substrát s obsahem upravených kalů z čistírny odpadních vod k výsadbě a úpravě prokořenitelného prostoru stromů rostoucích mimo les podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že obsahuje drcené kamenivo, kterým je kyselá nebo neutrální hornina drcená ve frakci 16/32 pro úpravu stanovištních podmínek stojícího stromu, či kyselá nebo neutrální hornina drcená ve frakci 32/64 pro částečnou výměnu zeminy při výsadbě stromu s navazujícím hutněním.