

Využití technických prostředků pro technologii zpracování bioodpadu kontrolovaným kompostováním na malých hromadách

Ing. Petr Plíva, CSc.; Ing. Antonín Jelínek, CSc.; Ing. Mária Kollárová,
Výzkumný ústav zemědělské techniky, Drnovská 507, 161 01, Praha 6

Anotace:

Změna charakteru zemědělské výroby, nezbytnost údržby krajiny, velká produkce odpadu organického původu z lidské činnosti a snaha o dodržení zásad ochrany životního prostředí, vede k nutnosti řešit smysluplné zpracování této zbytkové biomasy. Jedním z možných řešení je řízené a kontrolované mikrobiální aerobní kompostování – cílené a promyšlené využití přirozeného procesu běžně probíhajícího v přírodě.

Optimální podmínky umožňující průběh řízeného kompostování je zajišťováno vhodnými technickými prostředky pro provádění operací, souvisejících s kompostovacím procesem a technickými prostředky pro co nejpřesnější monitorování tohoto procesu.

Klíčová slova: Zbytková biomasa, kompostování na malých hromadách, kompostovací jednotka, surovinová skladba, technické prostředky kompostovací linky, monitoring kompostovacího procesu, měřicí zařízení.

Title: Utilisation of Mechanisation for Technology of Biowaste Processing by the Controlled Composting on Small Heaps

Abstract:

Change of agricultural production character, necessity of landscape maintenance, great production of waste of organic from human activity and effort to keep principles of environment protection lead to solution of this residual biomass processing. One of possible solution is controlling and controlled microbial aerobic composting – purposeful and logical utilisation of natural process normally realised in nature.

Optimal conditions for the controlled composting is possible to ensure by suitable technical means for operations performance connected with composting process and by technical means for very precise monitoring of that process.

Key words: *Residual biomass, composting on small heaps, composting unit, material composition, technical means for composting line, composting process monitoring, measuring equipment.*

1. ÚVOD

Význam kvalitního kompostu pro úrodnost zemědělské a zahradní půdy je všeobecně uznáván, přesto není jeho výroba a využívání tak intenzivní, jak by bylo žádoucí. Příčin je několik.

Kompost lze vyrábět různými způsoby. Podstatné by však mělo být vždy vědomí, že nejde pouze o výrobu vysoce účinného přirozeného hnojiva, ale že jde také o vhodné zpracování zbytkové biomasy, která není v dnešní době vždy zpracovávána tak, aby nepoškozovala životní prostředí.

Možnost využívání organických hnojiv (kompostů) k hospodárnému a plynulému zachycování organického uhlíku v půdě, vytváří možnost snížení obsahu oxidu uhličitého v atmosféře (sequestace). Proto je kompostování považováno za snižující technologii, využitelnou při snižování emisí skleníkových plynů.

Na rozvoj kompostování zbytkové biomasy má nemalý vliv i v současné době platná legislativa.

Je připravováno několik legislativních úprav stávajících zákonů a vyhlášek k tomu, aby se schvalování kompostů, které bude možné uvést na trh ne jako typové hnojivo, podstatně zjednodušilo.

Možnost pořizování technických zařízení pro sestavení kompostovacích linek a monitorování kompostovacího procesu je oproti nedávné době v současnosti podstatně jednodušší.

Jednotlivých technologických postupů a systémů existuje celá řada, avšak vzhledem k výše uvedeným skutečnostem lze předpokládat, že největší rozvoj bude zaznamenán u technologií, využívajících kompostování na zpevněných, nezakrytých, vodohospodářsky zabezpečených plochách, na kterých budou kompostované suroviny zakládány do velkých (lichoběžníkových) či malých (trojúhelníkových) hromad.

První technologie nachází využití zejména tam, kde je zpracováváno velké množství surovin a kde organizace práce umožňuje zakládání provádět po dávkách. Druhý případ technologie vyhovuje menšímu množství zpracovávaných surovin, který jsou zakládány průběžně s minimálními přestávkami.

Vzhledem k tomu, že se předpokládá nabytí účinnosti pravděpodobností vyhlášky, ve které bude zjednodušeno budování vodohospodářsky zabezpečených ploch pro kompostárny, zpracovávající množství zbytkové biomasy nepřesahující 1 000 m³

(popř. 10 000 m³), ročně lze zřejmě očekávat rozvoj druhého způsobu kompostování, tj. kompostování na malých hromadách s kontrolou a řízením průběhu kompostovacího procesu. Této problematice bude tento příspěvek věnován.

2. KOMPOSTOVACÍ TECHNOLOGIE

Technologie kompostování musí zabezpečovat vhodné podmínky pro činnost aerobních mikroorganismů a tím dosažení optimálního průběhu kompostovacího procesu.

Zakládka kompostu proto musí splňovat předpoklady umožnění výměny plynů mezi kompostovanými surovinami a okolím. Zakládka musí být porézní a kyprá, nesmí být ani suchá ani příliš převlhčená. Velmi důležitá je též homogenita a důkladné promíchání jednotlivých surovin, aby jejich styčný povrch byl co největší a mohly na sebe působit co nejrychleji.

Z technologického hlediska se rozlišují následující základní způsoby výroby kompostů:

- **kompostování v pásových hromadách,**
- kompostování v plošných hromadách,
- Intenzivní kompostovací technologie:
 - a) kompostování v biofermentorech (bioreaktorech),
 - b) kompostování v boxech nebo žlabech,
- kompostování ve vacích (Ag Bag kompostování),
- vermikompostování.

3. KOMPOSTOVÁNÍ V PÁSOVÝCH HROMADÁCH

Jde o technologii, při které jsou kompostované suroviny zakládány ve vrstvách do pásových hromad trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu na vodohospodářsky zajištěných plochách. Délka hromad je omezena velikostí těchto ploch.

3.1 Profil hromady

Velikost i profil pásové hromady spolu úzce souvisí a do značné míry na nich závisí i velikost použité mechanizace, zejména

překopávače kompostu. Profil hromady je určen množstvím zpracovávaných surovin na jednotkové kompostovací ploše. V podstatě přicházejí v úvahu dva typy profilu hromady:

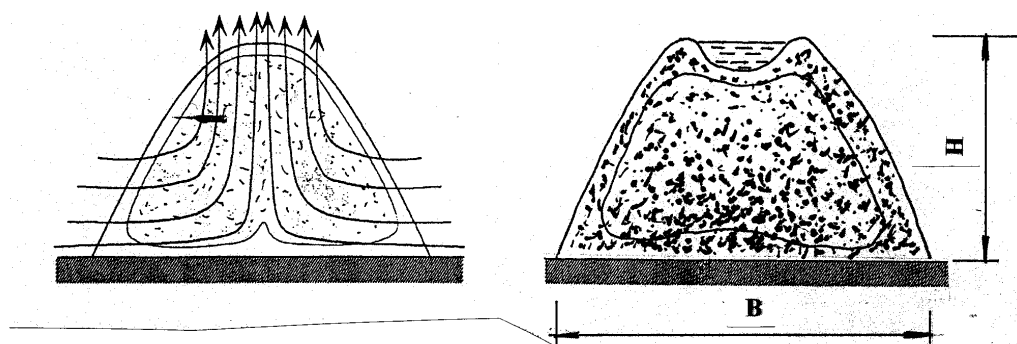
I. trojúhelníkový profil hromady (kompostování na malých hromadách) –

využití spíše při kompostování menšího množství surovin, které jsou zakládány průběžně s minimálními přestávkami (obr. 1).

Rozměry hromad: minimální doporučená šířka je 2,0 m, z technického hlediska bývá běžná šířka 2,5 až 4,0 m, výška profilu je pak dána fyzikálními vlastnostmi surovin (zrnitost, sypaný úhel, vlhkost) a mívá následující parametry.

B Šířka pásové hromady (m)	H Výška profilu (m)
2,0	1,10 - 1,20
2,50	1,30 - 1,50
3,0	1,50 - 1,80
4,0	2,20

Trojúhelníkový profil hromady



Obr. 1: Trojúhelníkový profil hromady kompostu

Výhody:

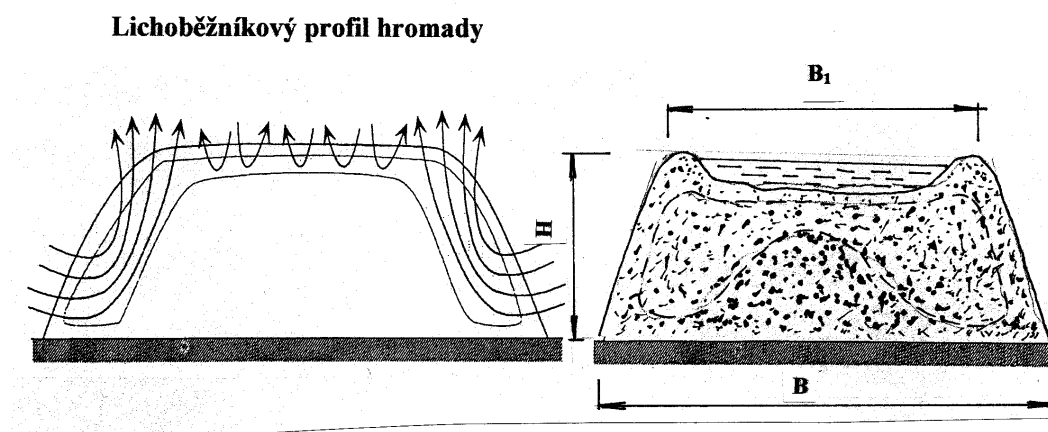
- u trojúhelníkového profilu hromady se lépe uplatní „komínový efekt“ tj. přirozené provětrávání profilu
- dochází k lepšímu odvádění tepla (kompost se nepřehřívá)

Nevýhody:

- ztížená aplikace kejdy nebo vody pro zvlhčení do zakládky, v úzké koruně trojúhelníkového profilu se hůře upraví rýha pro zasakování
- zakládka je silně zranitelná deštěm, protože velký povrch odpovídá poměrně malému absorpčnímu povrchu (jádro)

II. lichoběžníkový profil hromady (kompostování na velkých hromadách) – využití zejména tam, kde je zpracováváno velké množství surovin a kde organizace práce umožňuje jejich zakládání provádět po dávkách (obr.2)

Rozměry hromad: šířka hromady od 3,0 m do 6,0 m
při doporučené výšce 2,0 - 2,50 m



Obr. 2: Lichoběžníkový profil hromady kompostu

Výhody:

- *lepší využití ploch - menší podíl plochy připadá na pracovní uličky*
- *lepší udržení teploty v hromadě zejména při začátku procesu*
- *menší zranitelnost deštěm - tzv. velký absorpční objem hromady vzhledem k jejímu povrchu*
- *lepší aplikace tekuté složky*

Nevýhody:

- *výrazně horší přirozené provětrávání profilu a z toho vyplývající nutnost častějšího překopávání*

3.2 Technologie kontrolovaného mikrobiálního kompostování (rychlokompostování)

Technologie kompostování v pásových hromadách je ideální výchozí technologií pro technologii **kontrolovaného mikrobiálního kompostování** (tzv. rychlokompostování na malých hromadách), které **umožňuje vysoký stupeň mechanizace a** využití vysoce výkonné techniky. Přední světové firmy začaly vyrábět menší, ale vysoce výkonné stroje, uplatnitelné při kompostování zejména pokud jsou uspořádány do kompostovacích linek.

Při běžném kompostování v pásových hromadách (neřízeném) je běžná doba zrání kompostu 3 - 6, někdy i 12 měsíců. O délce trvání jednotlivých fází rozhoduje zejména surovinová skladba, homogenita surovin v hromadě, kvalita a počet překopávek a např. i roční období.

Živelný průběh procesu podmiňuje výrazně delší dobu trvání celého procesu od založení až po dozrání.

Omezené prostorové možnosti (zpevněná, vodohospodářsky ošetřená plocha) a zvyšující se množství organických odpadů vhodných ke kompostování vede ke snaze maximálního zefektivnění výroby kompostu.

Urychlení celého procesu lze docílit hlavně:

- a) optimalizací surovinové skladby

- b) sledováním procesních podmínek (teplo, vlhkost, stupeň provzdušnění)
- c) mechanizací rozhodujících operací v technologickém procesu
- d) zakrývání kompostovacích hromad geotextilií

Při dodržení uvedených podmínek lze hovořit o **technologii kontrolovaného mikrobiálního kompostování (řízeném kompostování)**, kdy každý zásah do kompostovacího procesu je přesně načasován a má své opodstatnění. Řízené kompostování výrazně urychlí celý proces, proto hovoříme o **rychlokompostování**. Rozklad proběhne za 6 - 8 týdnů (1,5 - 2 měsíce).

4. TECHNICKÉ PROSTŘEDKY PRO TECHNOLOGII ZPRACOVÁNÍ BIODPADU KONTROLOVANÝM MIKROBIÁLNÍM KOMPOSTOVÁNÍM NA MALÝCH HROMADÁCH

Mezi nezbytné podmínky výroby kvalitního kompostu technologií kontrolovaného mikrobiálního kompostování na pásových hromadách patří:

- volba správného surovinového složení zakládky kompostu,
- vhodné umístění zakládky kompostu,
- **technická zařízení pro zabezpečení jednotlivých operací kompostovacího procesu,**
- **technické prostředky pro monitorování kompostovacího procesu a zajištění jeho optimálního průběhu,**
- vytvoření souladu s platnou legislativou.

4.1 Technická zařízení pro kompostování

Pro určení technických zařízení potřebných pro technické zabezpečení kompostovacího procesu je vhodné vztáhnout tato zařízení k jednotlivým potřebným technologickým krokům zabezpečujících proces kontrolovaného kompostování:

- příprava surovin do zakládek kompostu - **drtiče**
- provzdušňování a promíchávání kompostu – **překopávače kompostu**

- prosévání hotového kompostu - **prosévací zařízení**
- roztrídění nadsítného odpadu z prosévání - **separátory**

Uvedené mechanizační prostředky je výhodné využívat v sestavách do strojních (kompostovacích) linek. Podle používání a agregace jednotlivých strojů lze kompostovací linky rozdělit na:

- **jeden energetický zdroj** s řadou připojitelného nářadí
- sestava z **jednoučelových strojů** s vlastním pohonem
- **kombinace** předcházejících dvou variant

Podle požadavků na kvalitu finálního produktu lze kompostovací linky rozdělit do dvou základních částí:

- část linky pro výrobu **hrubého kompostu**
- část linky pro **finalizaci a expedici vyrobeného kompostu**

Do základního vybavení **každé kompostovací linky** by měly patřit tyto technické prostředky:

- a) energetický prostředek
- b) drtič (štěpkovač)
- c) překopávač kompostu
- d) prosévací (separační) zařízení
- e) ostatní zařízení

4.1.1 Energetické prostředky

Energetické prostředky jsou v kompostovacích linkách využívány v případě, že některé operace jsou zajišťovány připojitelnými stroji, které nemají svůj vlastní energetický zdroj a pro svoji činnost musí být zagregovány s energetickým prostředkem.

Nejčastěji bývají jako energetické prostředky využívány **kolový traktor, nosič nářadí nebo nakladač**, sloužící pro manipulaci s naváženými surovinami. V případě použití traktoru nebo nosiče nářadí, je nutné aby k němu bylo možné připojit čelní nakladač a byl vybaven superredukční převodovkou, umožňující volbu plazivých pojezdových rychlostí. V případě použití nakladače jako energetického zdroje je nutné uvážit, zda je možné k němu mechanicky připojit další zařízení a zda nakladač disponuje dostatečným výkonem. Výhodou nakladače je, že bývá vybaven hydraulickým pohonem pojezdu a tím řeší otázku

energetického prostředku s nízkou pojezdovou rychlostí pro pohon překopávače.

4.1.2. Drtiče (štěpkovače)

Většina surovin, ukládaných do kompostovaných zakládek, vyžaduje pro snadnější homogenizaci rozmělnění či rozdrčení. Z velké části se jedná o drcení dřevních odpadů, zelené hmoty, kůry, réví, listí ale i organického podílu vytríděného z TKO.

Požadovaná velikost částic je dána charakterem suroviny. Obecně z hlediska kompostování platí:

- čím menší jsou částice surovin, tím je větší oxidační a styčná plocha a biodegradabilní proces probíhá účinněji
- čím surovina lépe degraduje, tím větší mohou být její částice v zakládce
- čím menší částice jsou do zakládky požadovány, tím větší jsou ekonomické náklady na jejich rozmělnění

Základní požadavky na stroje pro drcení (štěpkování):

- rozdrtit suroviny na částice o objemu 5 - 50 mm³
- zpracovat suroviny suché, polosuché i vlhké
- snadná výměna činných částí pracovního ústrojí
- konstrukční řešení musí zamezit častému ucpávání
- pracovní ústrojí musí být odolné proti otěru drcenými surovinami
- konstrukce musí splňovat podmínky bezpečnosti práce (ochranné kryty, hlučnost)

Rozdělení drtičů (štěpkovačů) lze provést dle:

- ***způsobu pohonu*** (připojitelné k energetickému prostředku, samojízdné s vlastním motorem, přívěsné s vlastním motorem)
- ***druhu pracovního ústrojí***

(talířové, nožové, spirálové ostří, kladívkové, kombinované)

- ***množství a velikosti zpracovávaných organických zbytků***

(nejvýkonnější drtiče dosahují výkonu 120 m³ nadrceného materiálu za hodinu)

- ***způsobu přepravy***

(přenosné - mají většinou elektromotor, jednoosý podvozek, dvouosý podvozek)

➤ **počtu otáček**

(*pomaloběžné* - používají se na drcení objemných surovin ze dřeva - kořeny, pařezy, silné kmeny a *rychloběžné*, které drtí veškeré biologické suroviny vyjma výše uvedených)

➤ **výkonu motoru**

I.kategorie - drtiče s motorem 1 - 3 kW - pro domácí použití

II. kategorie - drtiče s motorem 3 - 50 kW - pro profesionální pracovníky údržby zeleně

III. kategorie - drtiče s motorem nad 50 kW a víc - pro specializované firmy zabývající se zpracováním zemědělských, lesnických a ostatních biodpadů.

4.1.3 Překopávače kompostu

Překopávání kompostu je nejdůležitější pracovní operací v celém technologickém postupu rychlokompostování. Jeho účelem je provzdušnit kompost a tím dosáhnout řízení mikrobiální činnosti. Z hlediska dosahované výkonnosti, celkového využití pracovního času, kvality práce, ale i prostorových nároků na kompostovací stanoviště, jsou nejvýhodnější překopávače pracující kontinuálně. Stroje s přerušovanými pracovním cyklem (nakladače) se používají pouze jako nouzové řešení a nelze je pro překopávání malých hromad v žádném případě doporučit.

Požadavky na konstrukční řešení překopávačů vyplývají zejména z charakteru zpracovávaných surovin a z objemu produkce kompostu, mezi nejdůležitější patří:

- kvalitní promísení a provzdušnění surovin v celé výšce překopávaného profilu,
- nízká pracovní rychlost a možnost její regulace v rozsahu 0 - 1000 m.h⁻¹,
- případně částečné rozmělnění navezených surovin,
- formování překopávaných surovin do hromady rozměrově určeného profilu,
- dobrá manévrovatelnost a pojezdové vlastnosti pro pohyb po pracovní ploše.

Rozdělení překopávačů kompostu podle nejdůležitějších parametrů:

Vzhledem k tomu, že se dává přednost systému kompostování na pásových hromadách, lze překopávače kategorizovat následujícími způsoby – podle energetického zdroje, způsobu agregace, orientace hromady kompostu, programu jízdy. Ale protože nejdůležitějším ze všeho je, aby stroj důkladně provzdušňoval kompost, je nejvýznamnější kritérium pro rozdělení vyráběných překopávačů podle pracovního ústrojí.

a) překopávače kompostu připojitelné k energetickému prostředku:

- nesené
- tlačené
- tažené

b) překopávače kompostu samojízdné:

- pohon el. motorem,
- pohon zážehovým motorem,
- pohon vznětovým motorem.

c) pracovní ústrojí překopávačů

- bubnové
- šnekové
- dopravníkové
- trapezoidní (lichoběžníkové).

Bubnové překopávače

Zástupci této kategorie mají vodorovně instalovaný rotor různého provedení s rameny o průměru od 0,3 do 0,9 m. Rotor se otáčí několik centimetrů nad zemí. Kryt nad rotorem (buben) usměrňuje materiál a napomáhá vytvářet tvar hromady překopávaného kompostu. Ramena, nože, zuby, radlice nebo kladívka jsou připevněny k rotoru tak, aby přesunovaly materiál v požadovaném směru (dovnitř, ven nebo nahoru). Většina modelů přesune materiál směrem do středu hromady. Některé typy rotorů při otáčení rozrušují a drtí materiál, jiné jsou méně agresivní. Většina bubnových překopávačů zanechává provzdušněný kompost na stejném místě jako před překopáním.

Mnoho překopávačů tohoto typu obkračuje pásovou hromadu kompostu a jejich pracovní šířka záběru musí být tedy minimálně stejně velká jako šířka překopávané hromady.

Některé typy bubnových překopávačů využívají traktor nebo nakladač jako zdroj energie nejen pro pohon rotoru, ale také pro pojezd. Traktor se zapřaženým překopávačem potřebuje mezi jednotlivými řadami kompostu místo na projetí. Toto místo se stává neproduktivním prostorem a omezuje kapacitu kompostovací plochy. Proto jsou využívány překopávače dražší, samojízdné s vlastním pohonem bubnu.

Šnekové překopávače

Druhý typ překopávače používá pro překopávání kompostu šnek nebo rotor s rameny, upravenými do tvaru spirály (šneku). Některé typy překopávačů mají hřídel s rameny, upravenými do šroubovice, jiné mají sadu velkých šikmých ramen, upravených do šroubovice. Šnekový mechanismus je obvykle instalován vpředu na nakladačích. Rotor je u většiny překopávačů poháněn z energetického prostředku hydrostaticky přes převodovku. Šnekové překopávače pracují tak, že jedou v ose pásové hromady kompostu a přemísťují materiál na jednu stranu. Téměř vylučují potřebu prostoru mezi jednotlivými hromadami. Mohou provzdušňovat celou hromadu najednou nebo odebírat materiál postupně.

Dopravníkové překopávače

Třetím typem překopávače je překopávač s pracovním ústrojím dopravníkového typu. Pracovním orgánem je v tomto případě vynášecí dopravníkem instalovaným čelně. Tento šikmý dopravník nabírá kompost, vynáší ho nahoru a přehazuje přes sebe dozadu na příčný dopravník, který ho ukládá na požadované místo. Tak dochází k provzdušňování. Efekt drcení materiálu v tomto případě není příliš velký. Pryžový dopravník je opatřen hroty, usnadňující nabírání a částečnému rozrušující ošetřované suroviny. Pracovní ústrojí bývá poháněno vlastním motorem. Některé typy využívají k pojezdu (tažení) traktor nebo nakladač, jiné jsou samojízdné. Podobně jako některé šnekové překopávače potřebují minimální prostor mezi hromadami kompostu. Mohou zpracovávat celou šířku jednotlivých hromad nebo odřezávat jednotlivé vrstvy.

Trapezoidní překopávače

Čtvrtý typ překopávače pojíždí podél hromady kompostu a šikmo skloněným frézovacím mechanismem se zuby nebo rotujícími talíři odřezává bok hromady. Uvolněná hmota padá na druhý dopravník skloněný v obráceném směru, který ji vynáší na druhou stranu a tam vytváří novou hromadu. Oba pracovní orgány v pracovním nasazení vytvářejí strany pomyslného lichoběžníku (odtud název trapezoidní). Šikmý dopravník lze výškově nastavovat, a tak vytvářet různě vysokou a širokou hromadu. Překopávač se agreguje buď s traktorem, nosičem náradí či nakládačem. Talíře nebo zuby na fréze lze měnit z důvodu dosažení různé intenzity rozmělnění zpracovávaných surovin nebo podle jejich druhu.

4.1.4. Prosévací (separační) zařízení

Prosévací zařízení slouží pro úpravu kompostu při vyšším podílu nerozložitelných částic. Kompostárnu je vhodné vybavit těmito prosévacími zařízeními s odpovídajícím výkonem, které umožní třídít hotový kompost na dvě (i více) frakcí určených k expedici nebo dalšímu zpracování v kompostovacím procesu. Podle požadavku na finální produkt se používají síta s různými velikostmi ok (15, 20, 40 mm). Většina prosévacích zařízení je vybavena čistícím kartáčem, který umožňuje čištění síta za provozu a zabraňuje tak ucpávání ok síta při nepříznivých podmínkách pro prosívání.

Separátory se používají zejména při kompostování bioodpadu z odděleného sběru BRKO. Důvodem je množství PVC příměsí a jiných příměsí, které se musí oddělit po prosátí kompostu prosévacím zařízením. To znamená, že nadsítný materiál je dotříděn na kovový odpad, lehké příměsi (PVC apod.), kameny a čistý nadsítný BRO. Používání těchto zařízení je zatím v začátcích, ale vzhledem k tomu, že přeměňují celou technologii na bezodpadovou, bude jejich využití výrazně narůstat.

Rozdělení prosévacích zařízení

- **vibrační prosévací síta (zařízení s rovinným sítem)** - principem činnosti je přerušovaný posun materiálu ve směru spádnice po šikmo uloženém rovinném sítu. Výhodou je konstrukční jednoduchost, vysoká životnost a malá energetická náročnost. Zařízení mívají výkonnost 5 - 15 m³.h⁻¹. Většinou bývají

provedena jako stacionární. Energetické nároky na pohon vibračních sít je asi 0,8 - 1,0 kW.m⁻² plochy síta.

- **rotační třídíče s válcovým sítem** - principem činnosti je plynulý posun materiálu vnitřním povrchem rotujícího válcového síta. Hlavní výhoda rotačních roštů je v jejich vysoké výkonnosti, která je dána dobrou průchodností surovin přes samočisticí elementy. V případě potřeby lze tato síta jednoduchým způsobem doplnit kartáči na jejich čištění.

Rozdělení separačních zařízení

- **odstředivé odlučovače** - odstředivé odlučovače pracují na principu různých balistických drah nestejně hmotných částic, na principu odlišné intenzity odrazu pružných a nepružných částic, či na principu rozdílných valivých a třecích vlastností částic
- **vzduchové třídíče** - dochází k oddělení lehkých surovin (fólie, papír) proudem vzduchu, zbylá těžká frakce odchází do drtiče a může být dále kompostována.

Volba prosévacího zařízení

Mezi faktory, které ovlivní volbu prosévacího zařízení patří hlavně:

- specifikace surovin, které se budou prosévat (velikost částic, objemová hmotnost, vlhkost, lepivost, přilnavost)
- prosévací místo (kompostárna, místo vzniku odpadu, práce formou služeb)
- technické parametry prosévacích zařízení (velikost otvorů, povrch prosévací plochy, počet kmitů, obvodová rychlost bubnu)
- provozní charakteristiky (pořizovací cena, provozní náklady, požadavky na energii, požadavky na údržbu, výkonnost m³.h⁻¹, t.h⁻¹, hlučnost, prašnost,)
- prostorové nároky (rozměry prosévacího zařízení a navazujících dopravníků)

4.1.5. Ostatní zařízení

Pro správný chod kompostárny, resp. kompostovací linky, je zapotřebí řada dalších strojů a zařízení, které jsou buď běžně používané i při jiné zemědělské a komunální činnosti anebo jsou to stroje speciální, které jsou prozatím velmi málo používané.

Fólie pro přikrývání hromad kompostu

Základní vlastností těchto fólií je schopnost zachytit vodu na povrchu hromady kompostu a přitom umožňovat dostatečnou výměnu plynů. Vyplavování kompostu musí být minimalizováno z důvodu ztráty

živin a prodyšnost fólií musí zajistit aerobní průběh kompostovacího procesu. Fólie musí být také odolná vůči ultrafialovému záření. A v neposlední řadě musí zajistit optimální vlhkost surovin, založených do kompostu.

K těmto účelům byla vyvinuta řada zakrývacích kompostovacích fólií (geotextilií), určených výhradně pro zakrývání kompostů. Životnost těchto fólií je závislá na klimatických podmínkách.

Zařízení pro manipulaci s kompostování fólií

Manipulace s kompostovací fólií může být zajišťována buď ručně (běžné u menších kompostáren), což je však způsob značně obtížný, anebo pomocí mechanizace. Proto jsou v současné době překopávače kompostu vybavovány automatickými navíječi fólií. Pokládání a stahování fólií je na řádek kompostu prováděno přídatným adaptérem, který je umístěn přímo na překopávači kompostu, a operace jsou vykonávány zcela automaticky. Zařízení tvoří většinou buben, ze kterého je přikrývací fólie odvíjena při pokládání a který slouží současně pro zpětné navíjení. Některé překopávače jsou vybaveny zařízením, jehož funkce umožní pouze nadzvednutí fólie před rotorem překopávače a její následné pokládání po průjezdu hromadou.

Ve výjimečných případech lze použít zařízení, které je určeno pouze pro manipulaci s fóliemi (jednouúčelový stroj).

Zařízení pro vlhčení kompostu v hromadách průběhu překopávání

Jedná se o přídatné nádrže, které jsou umístěné na překopávačích kompostu a z kterých je pomocí aplikačního systému (čerpadlo, rozvody a trysky) možné dávkovat vodu, vodu obohacenou různými stimulačními přípravky, kejdu, vodu ze záchytných jímek apod. přímo do kompostovacích hromad při jejich překopávání.

4.2 Technické prostředky pro monitorování kompostovacího procesu

Po správně provedené základce kompostovacích hromad je další důležitou součástí kompostovacího procesu monitoring hlavních fyzikálních, biologických a agrochemických veličin. Reakce na jejich okamžitou hodnotu je podstata řízení kompostovacího procesu. Je prováděn vhodný technologický zásah tak, aby se po určené doby dodržovaly stanovené limity teploty, vlhkosti a obsahy kyslíku. Proto je nutné věnovat monitoringu určených veličin náležitou pozornost.

4.2.1 Kontrolované veličiny kompostovacího procesu

- teplota kompostu [°C],
- vlhkost kompostu [%],
- obsahu kyslíku v kompostované hromadě [%],
- test fytotoxicity (řeřichový test) [%],
- mikrobiologické hodnocení kompostu [-],
- agrochemické hodnocení kompostu [-].

4.2.2 Metody měření kontrolovaných veličin

- provozní,
- experimentální,
- doplňující.

Provozní měření kontrolovaných veličin vykonává provozovatel kompostárny za účelem správného provádění kompostovacího procesu. K měření používá provozních měřicích přístrojů s dostatečnou přesností měření, která nemá překročit 2 % z měřené hodnoty v daném měřicím rozsahu.

Experimentální měření je prováděno za účelem stanovení obecně platných hodnot a používá se převážně při experimentech, ověřujících nové techniky kompostování nebo při stanovení vhodných složení a způsobů zakládky. Měřicí přístroje mají vyšší přesnost měření, která je rozdílná u jednotlivých měřených fyzikálních veličin. U teploty je to např. 0,2 % z měřené hodnoty v daném měřicím rozsahu.

Doplňující měření jsou měření nestandardní, povětšinou orientační, např. zjišťování granulometrického roztažení (velikost částic), objemové hmotnosti apod.

4.2.3 Měření teplot

Při výběru teploměru je důležité uvážit několik hledisek, která určují jejich využitelnost:

- 1) **Měřicí rozsah:** pro kompostárny je nejvhodnější měřicí rozsah – 10 °C až + 120 °C.

- 2) **Možnost el. výstupu:** pro automatické zaznamenávání naměřených hodnot je vhodnější teploměr s elektrickým výstupem.
- 3) **Přesnost měření:** jak bylo již uvedeno – provozní měření je vhodné provádět s teploměry, které mají přesnost měření 2 % z měřeného rozsahu.
- 4) **Hmotnost:** je důležitá pro snadnost práce měřiče.
- 5) **Rozměry přístroje (délka sondy):** teploměry by měly mít min. délku sondy 1500 mm.
- 6) **Cena:** je velmi důležité usoudit, zda cena přístroje odpovídá jeho užitným vlastnostem.

Pro měření teplot na kompostárně je nutné splnit následující body:

- pořídit vhodný měřicí přístroj.
- dodržet metodu měření teploty zapichovacím teploměrem.
- určit časové intervaly měření teploty během jedné zakládky.
- určit způsob zaznamenávání naměřených hodnot.

V následující tabulce č. 1 jsou uvedeny v současné době dostupné zapichovací teploměry.

Tab. 1: Přehled teploměrů použitelných na kompostárně

Výrobce	Označení teploměru	Měřicí rozsah	Možnost elektr. výstupu	Přesnost měření	Hmotnost (g)	Rozměry přístroje resp. délka sondy (mm)	Cena bez DPH (Kč)
METRA BLANSKO a.s.	Technický teploměr vpichovací TRV	0 až +200°C	NE	±2% z roz.stupnice	1050	326 x120 x1522 1500	867,-
SANDBERGER GmbH.	Digitální teploměr sekundový GT1111	-50 až +1150°C	NE	-20až+550°C <1% +550až 920°C <1,5%	150	106 x 67 x 30 800	5 000,-
TESTO s.r.o. Praha 5	Zapichovací sonda s datalogerem testostor 175-1	-35 až +120°C	ANO	do 50°C ± 0,5°C nad 50°C 1,2%	-	---- 1500	15 000,-
COMET Systém s.r.o. Rožnov pod R.	Vpichovací sonda + teploměr S021	-50 °C až +550 °C	ANO	0,4 °C -50 až + 100 °C	-	141 x 71 x 27 na objednávku 1000	2 400,-
DRAMIŇSKI Elektronics in Agrikulture	Zemědělský tyčový teploměr	0 až + 150°C	NE	±1°C v celém rozsahu	-	--- 1500 (alternativně 2250, 3000)	6 700,- (sonda 1,5m)

4.2.4 Měření obsahu kyslíku v provozních podmínkách

Mimo teploty a vlhkosti je možné řídit kompostovací proces i zjišťováním obsahu kyslíku v kompostované hromadě. Měření se provádí povětšinou monitorem koncentrace kyslíku. Příkladem může být monitor koncentrace kyslíku ASIN O₂.

Monitor koncentrace kyslíku ASIN O₂ je kontinuální analyzátor, určený ke sledování koncentrace kyslíku v plynech. Základní provedení představuje analyzátor s vlastním nasáváním vzdušiny a filtrací prachových nečistot. Výstup měřené koncentrace je číselně zobrazen na čelním panelu. Měrným elementem je elektrochemický senzor, vyznačující se vysokou selektivitou, spolehlivostí a dlouhou životností.

Analyzátor se dodává v přenosném provedení k zavěšení na krk. Pro odběr plynu ze špatně dostupných míst nebo ze sypkých materiálů je vybaven odběrovou sondou. Není vybaven speciální úpravou odebíraného plynu. Údržba analyzátoru spočívá pouze v periodické kontrole kalibrace, doporučený interval je 6 měsíců. Kontrolu lze provádět kalibračním plynem nebo v servisní dílně výrobce.

Jinou, poměrně složitější metodou měření O₂ je využití přístroje Testozyt od firmy Sandberger. Jedná se o jímání O₂ do absorpční tekuty. Obsah kyslíku je udáván v objemových procentech.

4.2.5 Stanovení zralosti kompostu biologickou metodou – řeřichový test fytotoxicity

Řeřichový test resp. test fytotoxicity je metoda vyhodnocování intenzity rozkladu organických materiálů a zralosti výsledného kompostu, která byla vypracována ve VÚRV pro použití v kompostářské praxi. Jde o biologickou metodu hodnocení fytotoxicity výluhu vzorku indexem klíčivosti citlivé rostliny (řeřichy seté). Tento postup alespoň částečně eliminuje chyby vznikající při zjišťování stability finálního produktu kompostování pouze pomocí teploty. Znakem stability je sice teplota kompostu blízká teplotě okolí, nebo teplota alespoň nižší než 45 °C viz ČSN 46 5735, ta však může být ovlivněna i jinými faktory, jakými jsou např. nízká vlhkost či nedostatek kyslíku.

Použití testu fytotoxicity je vhodné zejména při aplikaci nově stanovené receptury základky kompostu. V takovém případě je

doporučováno využít test během aerobní fermentace několikrát a to ve fázích:

- po homogenizaci,
- před jednotlivými překopávkami a v době ukončování kompostování.

Tab. 2: Použitelnost kompostu dle indexu klíčivosti

Kategorie	IK (%)	Použitelnost
I.	100 a více	substráty pro zahradnictví, květinářství
II.	80 – 100	aplikace před setím
III.	60 – 80	předjarní aplikace, rekultivace do pařenišť, pro pěstování hub
IV.	do 50	aplikace riskantní, neekonomická

4.2.5 Mikrobiologické hodnocení kompostu

Pro kontrolu organického hnojiva – kompostu je nutné znát pro zemědělskou praxi jeho kvalitu – stanovení indikátorových mikroorganismů. Přípustné množství indikátorových mikroorganismů nesmí překročit povolená kritéria.

Pro odběry vzorků kompostu platí ČSN 46 5735 a pro mikrobiologickou kontrolu se postupuje dle ČSN ISO 10381 – 6: Kvalita půdy – Odběr vzorků – Pokyny pro odběr, manipulaci a uchování půdních vzorků určených pro studium aerobních mikrobiálních procesů v laboratoři.

4.2.6 Agrochemické hodnocení kompostu

Při laboratorních rozborech kompostu se postupuje dle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ a stanovují se tyto znaky jakosti:

- vlhkost,
- obsah celkového N,
- celkový obsah spalitelných látek,
- poměr C : N,
- pH ve vodní suspenzi,
- zrnitost,
- hodnocení homogenity celku.

Tab.3: Jakostní znaky kompostu

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost (%)	od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, avšak min. 40,0 a max. 65,0
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku (%)	min. 25,0
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek (%)	min. 0,60
Poměr C:N (-)	max. 30:1
Hodnota pH (-)	od 6,0 do 8,5
Nerozložitelné příměsi (%)	max. 2,0

4.2.7 Výběr dalších možných měření hodnot charakterizujících kompostovací proces

Tyto hodnoty, které je možné experimentálně zjišťovat, charakterizují poměrně dobře kompostovací proces. Jsou však pro provozovatele kompostárny obtížně zjistitelné a proto je používána pouze při experimentálních měřeních:

- monitorování plynných emisí,
- monitorování prachů,
- stanovení biologické stability kompostovaných surovin,
- určování reologických vlastností biologicky rozložitelných surovin,
- určování objemové hmotnosti hotového kompostu,
- určování gravimetrického rozložení částic v kompostu.

4. ZÁVĚR

Kompostování je velmi stará technologie přeměny zbytkové biomasy na kvalitní humus. V současné době se tato technologie dostává opět do popředí zájmu veřejnosti. Aby bylo možné kvalitní rychlokompost vyrobit a tím využívat všechny jeho výhody, je nutné, aby byla pro úspěšný průběh celého technologického procesu při kompostování používána **vhodná, spolehlivá a výkonná mechanizace**.

V převládající míře je technologie rychlokompostování zajištěna technickými prostředky, spadajícími do oblasti malé mechanizace. Je možné předpokládat, že v kompostovacích a recyklačních jednotkách se bude stále více zpracovávat zbytková biomasa přímo v místě jejího vzniku a tak tento stručný přehled technických prostředků by měl pomoci pracovníkům k orientaci v této problematice.

Také technické prostředky pro monitorování hlavních veličin, charakterizujících kompostovací proces, patří do vybavení kompostáren využívajících technologii zpracování bioodpadu kontrolovaným kompostováním na malých hromadách.

V zahraničí jsou již kompostárny kompletně vybavené měřicím a řídicím systémem. Tyto kompostárny produkují komposty, které odpovídají přísným normám na jejich kvalitu a hlavně jsou šetrné k životnímu prostředí (problematika pachů a emisí toxických plynů). Proto je důležité, aby i v ČR byly v kompostárnách zaváděny monitorovací systémy.

Poznatky uvedené v tomto článku byly získány při řešení projektu QF 3148 "Přeměna zbytkové biomasy zejména z oblasti zemědělství na naturální bezzátěžové produkty, využitelné v přírodním prostředí ve smyslu programu harmonizace legislativy ČR a EU ", který je podporovaný Národní agenturou pro zemědělský výzkum.

5. POUŽITÁ LITERATURA

1. JELÍNEK, A. a kolektiv autorů: *Faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním procesem*. Realizační pomůcka pro zpracování podnikové normy, Praha 2002, ISBN: 80-238-8539-1.
2. JELÍNEK, A. a kol.: *Malá mechanizace*. AGROSPOJ, „Zemědělská knižnice Agrospoje – semafor na křižovatce Vašich cest a plánů“, r. 2000.
3. HEJÁTKOVÁ, K.: *Kontrolované mikrobiální kompostování*. AGRO MAGAZÍN, odborný měsíčník, ročník 3, č. 6/červen 2002, str. 32-34.
4. ZEMÁNEK, P.: *Využití technických prostředků při kompostování zbytkové biomasy*. Habilitační práce, MZLU, Brno, 2001.
5. VÁŇA, J.: *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. Institut výchovy a vzdělávání, MZe ČR Praha, 1997.
6. ŠVEJKOVSKÝ Jan: *Současné trendy v mechanizaci pro kompostování v západní Evropě*. Biom.cz, 25.11.2002, <http://biom.cz/index.shtml?x=110711>
7. ŠŤASTNÝ Milan: *Přehled amerických překopávačů kompostu*. Mechanizace zemědělství 10/2001, Praha