



Agronomická
fakulta

3. června 2015, Brno

Připravil: doc. Ing. Tomáš Vítěz,
Ph.D.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TECHNIKA PRO ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ (13)

Kompostárny

Mendelova
univerzita
v Brně



- Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU
- směřující k vytvoření mezioborové integrace
- CZ.1.07/2.2.00/28.0302

Úvod a cíl

Prezentace je zaměřena na problematiku biologického zpracování odpadů na kompostárnách. Cílem je získání základních informací o technice a technologiích používaných při kompostování.

Prezentace je rozčleněna do dílčích celků, které se věnují např. historii, základním biologickým dějům či používaným technickým prostředkům.

Klíčová slova

- Biologicky rozložitelný odpad, kompostárna, zakládka, surovinová skladba, kompostování, vermikompostování, drtící, překopávací a separační zařízení.

Historie kompostování

- jedna z nejstarších recyklačních technologií
- římský učenec **Collomela** popsal jak mají být odpady ze zemědělství míchány, vrstveny, překopávány a využity jako hnojivo
- pojmenování kompost vzniklo z latinského slova “**composta**“ (compostium – skladba)
- k rozvoji kompostování došlo v důsledku intenzivního využívání půdy a potřeby dalších zdrojů živin
- počátkem osmdesátých let 20. století se ve větší míře začíná uplatňovat speciální technika pro kompostování, zejména drtiče, samojízdné překopávače, bioreaktory apod.

Proces kompostování

- **aerobní biologický rozkladný proces**
- primárním účelem je **rozložit** původní **organické látky** v kompostovaných surovinách a odpadech a převést je **na stabilní humusové látky**
- látky, které se aplikací do půdy přetváří na **půdní humus**
- **kompost** – směs organických a minerálních látek oživená užitečnou mikroflórou, v níž probíhají nebo již proběhly procesy biologického rozkladu a humifikace

Průběh kompostování

- téměř stejný u všech variant kompostování
- odlišnost pouze v rychlosti probíhajících dějů
- pro začátek kompostovacího procesu musí být připravena **směs optimálního složení** a vhodné **konzistence**
 - poměr C:N → 30-35:1
 - vlhkost 50-70 %
 - provzdušnění ↔ kyprost a vlhkost
 - různorodost materiálu → zrnitost a homogenita
 - teplota, pH (6-8)

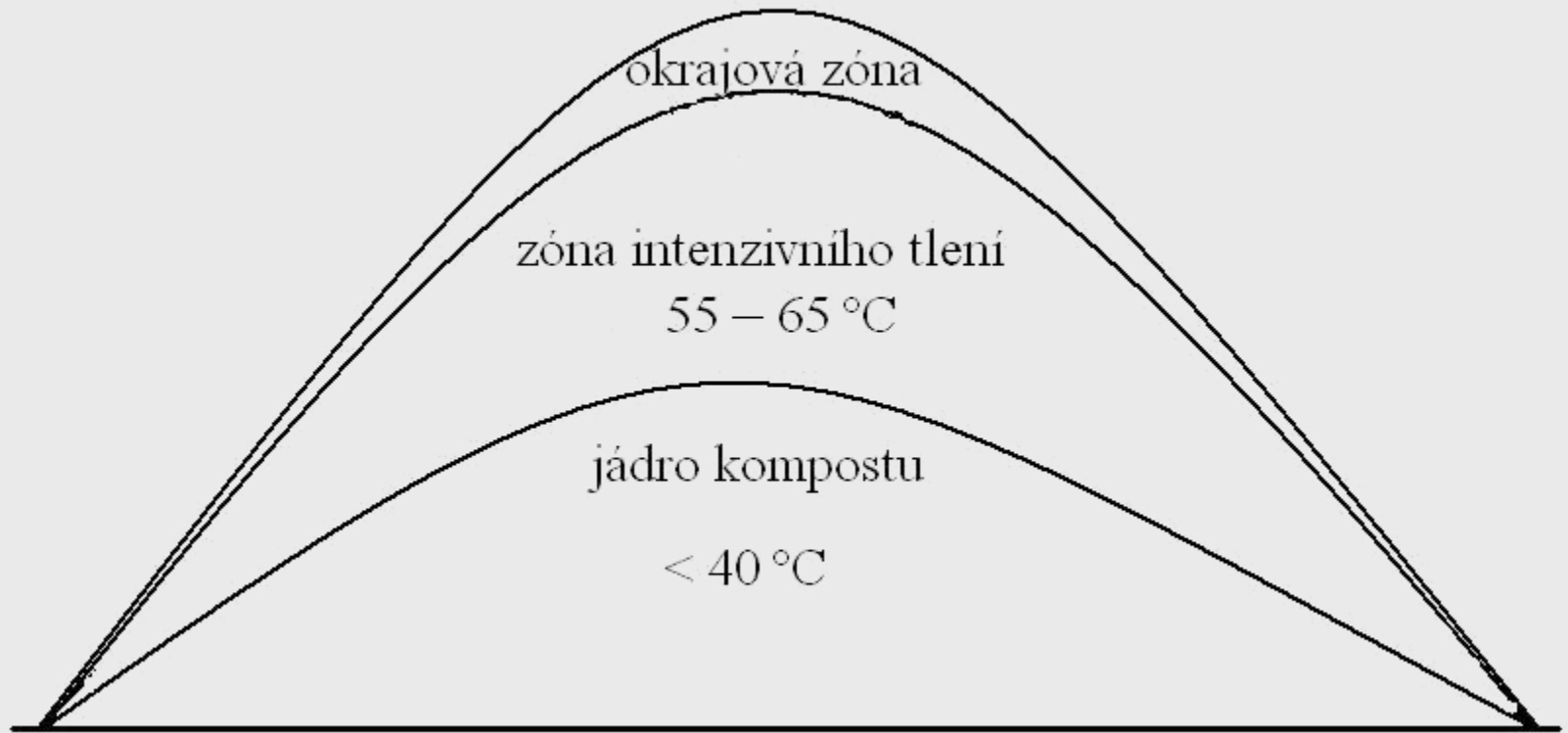
Fáze kompostovacího procesu

Kompostování je kontinuální proces u kterého nelze přesně vymezit jednotlivé časové úseky a průběh tlení, ale lze jej rozdělit do tří základních fází, jež jsou od sebe snadno rozeznatelné.

- fáze rozkladu („mineralizace“)
- fáze přeměny
- fáze syntézy („zralosti“)

Fáze rozkladu

- délka **3-4 týdny**
- **rozklad lehce rozložitelných sloučenin**, např. cukry, bílkoviny a škrob
- **teplota** ve středu kompostu stoupá na **50 až 70 °C**
- konečným produktem rozkladu jsou malé „stavební kameny“ - např. dusičnany, oxid uhličitý, čpavek, aminokyseliny
- **živiny** vázané v organické hmotě se uvolňují a zčásti **přecházejí až do původní minerální formy**



Rozdělení teplot v kompostu

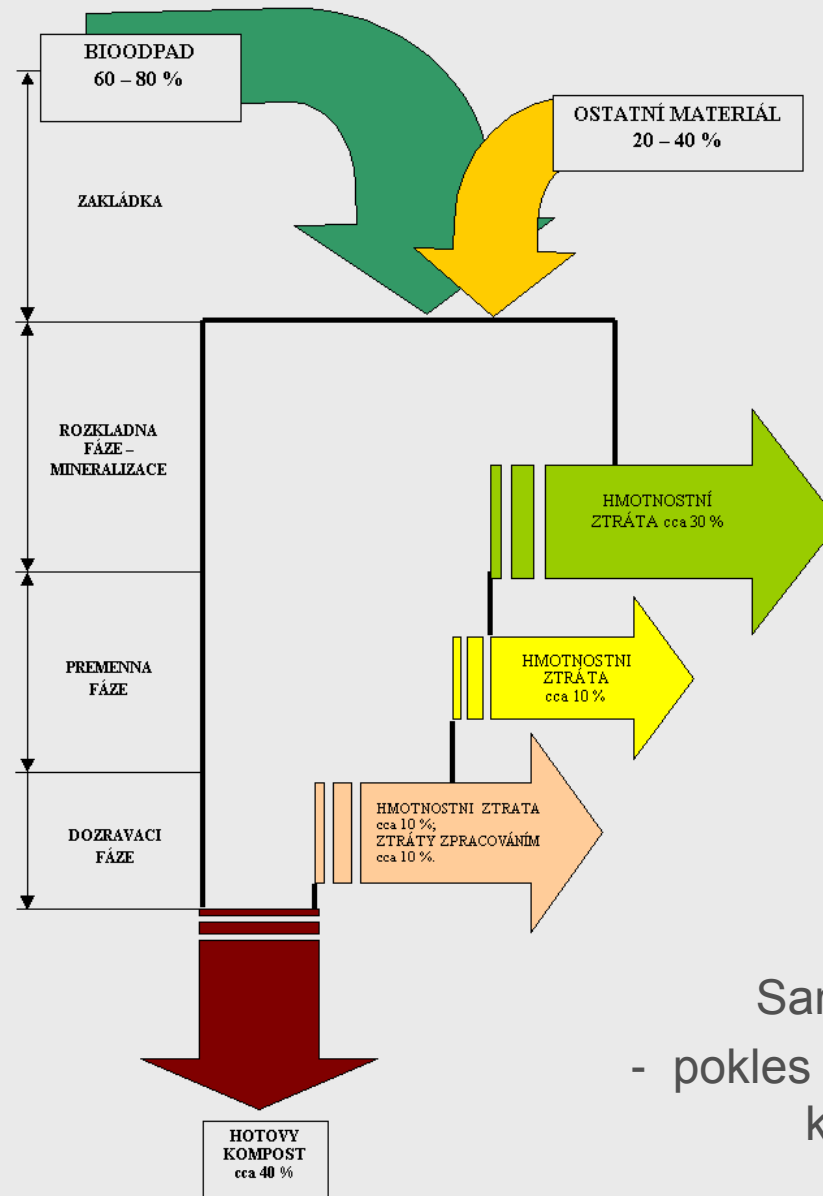
Fáze přeměn

- délka **4-8 (10) týdnů**
- teplota pozvolna klesá
- mineralizované živiny jsou jako základní kameny zabudovány do „**humusového komplexu**“
- původní vzhled, struktura a pach hmoty se ztrácí
- **kompost získává** stejnoměrně **hnědou barvu**, **drobtovitou strukturu**, má lehkou vůni po lesní zemině
- v tomto stádiu má kompost **nejlepší hnojařský účinek**

Fáze syntézy

- teplota klesá na hodnotu teploty okolí
- kompost získává stále více zemitou strukturu
- „živný humus“ se přeměňuje na „**trvalý humus**“
- **hnojařský účinek je slabší** (živiny jsou pevněji vázány)
- **zvyšuje se kvalita a stabilita** humusu

Celkové snížení hmotnosti od začátku procesu kompostování, včetně ztrát při zpracování, může dosáhnout až 60 %. Pokles objemu je ještě větší z důvodu zhutnění materiálu.



Sankeyův diagram
- pokles hmotnosti od začátku kompostování

Materiály (ne)vhodné pro kompostování

vhodné materiály

- rostlinné odpady ze zahrady
 - tráva, celé rostliny,
 - listí, větve stromů a keřů,
 - odpady ze sklizně zeleniny,
 - sláma, piliny, dřevní popel atd.
- organické odpady z domácnosti
 - květiny, zbytky ovoce a zeleniny,
 - kávová sedlina, skořápky,
 - srst, vlna atd.
- odpady z chovu zvířat
 - chlévská mrva, kejda,
 - exkrementy, podestýlka atd.
- kaly z čistíren odpadních vod

zcela nevhodné materiály

- textilie, sklo, umělé hmoty (s výjimkou tzv. kompostovatelných plastů)
- popel briket a uhlí,
- dřevo ošetřené lakem,
- sáčky z vysavačů,
- chemikálie, léky,
- zbytky masa, kosti,
- oleje, mléčné výrobky
- apod.

Skladba kompostovací zakládky

Surovinová **skladba kompostu a technologie jeho výroby by měla být optimalizována** tak, aby výsledný produkt procesu kompostování obsahoval co nejvíce **humusových látek s převahou humínových kyselin** a svým účinkem dlouhodobě zvyšoval úrodnost půdy.

Výsledný produkt by měl být odolný dalšímu intenzivnímu rozkladu a **poměr C:N by měl být u vyzrálého kompostu maximálně 30:1.**

Optimalizace skladby základky kompostu

- výběr odpadů a hmot, určení jejich hmotnosti,
- odhad vlhkosti, obsahu organických látek, dusíku a P_2O_5 jednotlivých odpadů a hmot,
- propočít složení kompostové základky (vlhkost, C:N, N, P_2O_5),
- korekce surovinové skladby,
- propočít opravené surovinové skladby základky,
- odhad ztrát v průběhu zrání kompostu,
- výpočet předpokládaného množství a složení kompostu

Kompostovací technologie

Z technologického hlediska se rozlišují **tři hlavní způsoby** výroby kompostů:

- kompostování v plošných zakládkách
- kompostování v pásových zakládkách
- intenzivní kompostovací technologie
 - kompostování v biofermentorech (bioreaktorech)
 - kompostování v boxech nebo žlabech

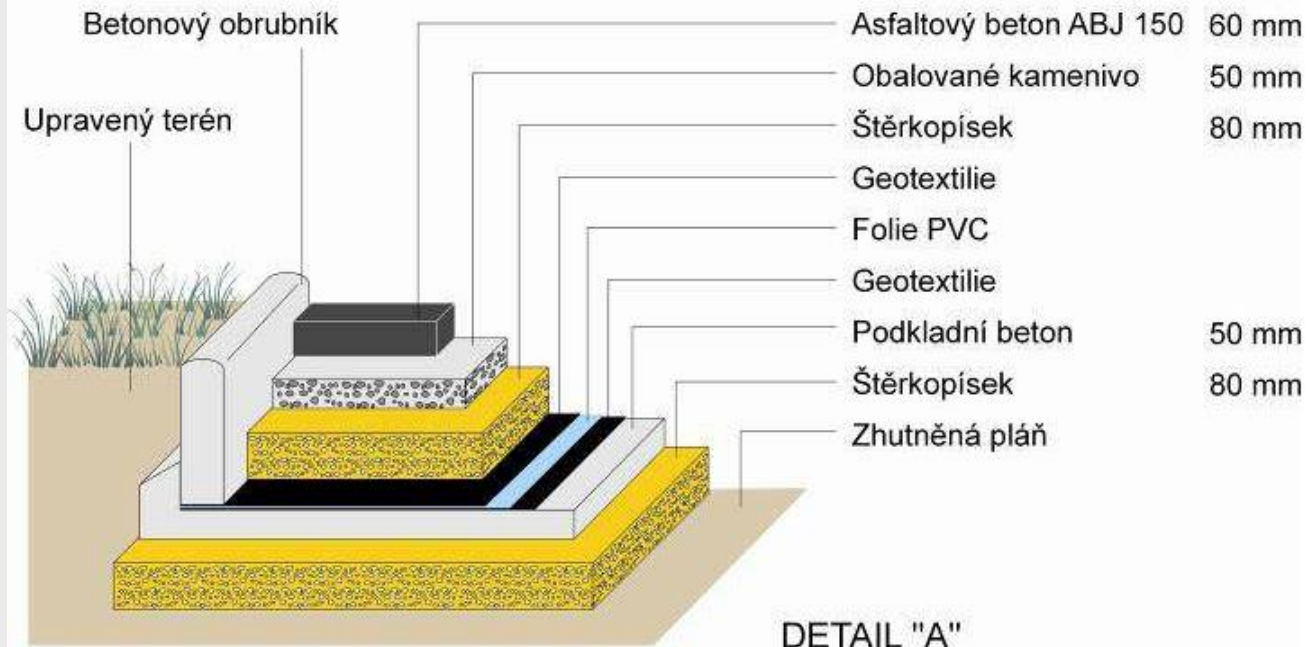
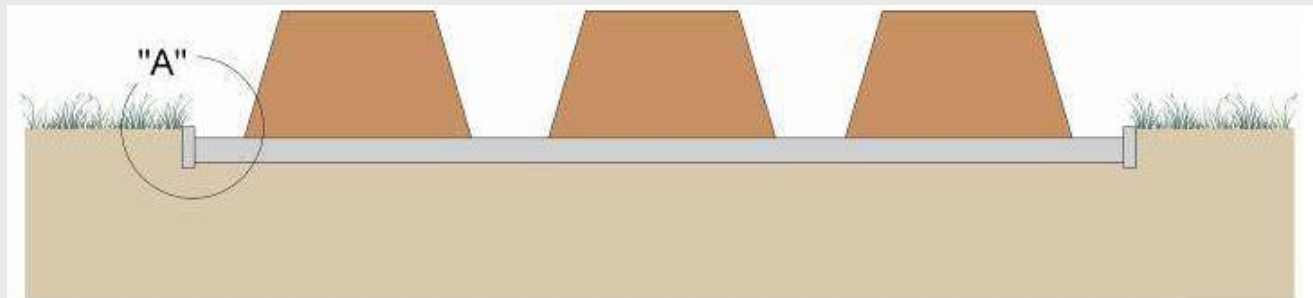
Kompostování v plošných zakládkách

- nejstarší kompostovací technologie
- kompost se zakládal z vrstev chlévské mrvy, slámy a dalších odpadů do výšky **0,50 m** a zpravidla byl zavlažován močůvkou
- překopání hlubokou orbou
- zakládka byla po dobu **2-3 roky** využívána jako tzv. „**tučný hon**“ k pěstování krmných plodin nebo teplomilných zelenin
- po zrušení „**tučného honu**“ kompost rozvezen na zbývající části pozemku

Kompostování v pásových zakládkách

- kompostovaný materiál se vrství do pásových hromad trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu
- délka hromad je omezena délkou stanoviště
- **minimální doporučená šířka je 2,0 m**
- z technického hlediska bývá běžná šířka 2,5 m až 4,0 m
- **výška profilu je dána charakterem materiálu** (zrnitost, sypný úhel, vlhkost)
- umístění hromad
 - trvalé stanoviště (vodohospodářsky zabezpečené plochy)
 - dočasné stanoviště (polní kompostárny)

Plocha pro kompostování – Vodohospodářsky zabezpečená plocha





Plocha pro kompostování

◀ Vodohospodářsky zabezpečená plocha

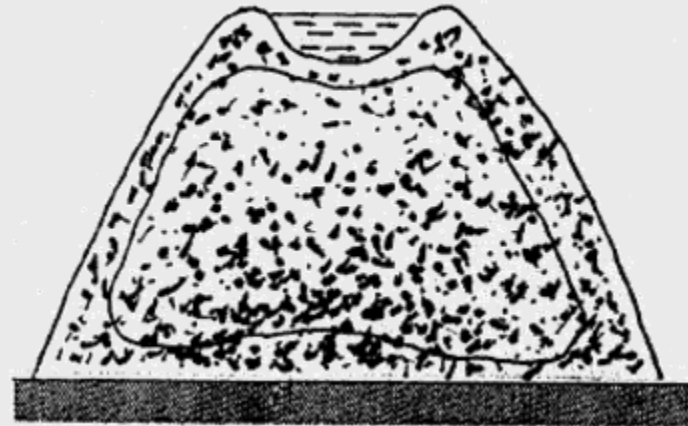
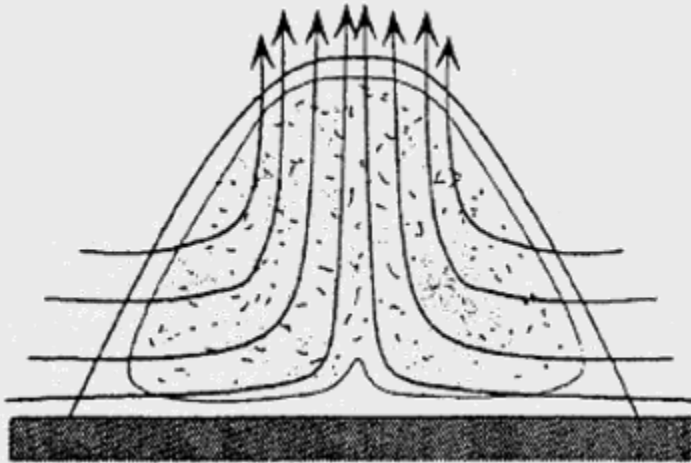


▲ Polní kompostárna



◀ Vodohospodářsky zabezpečená plocha,
zastřešená

Trojúhelníkový profil pásové zakládky



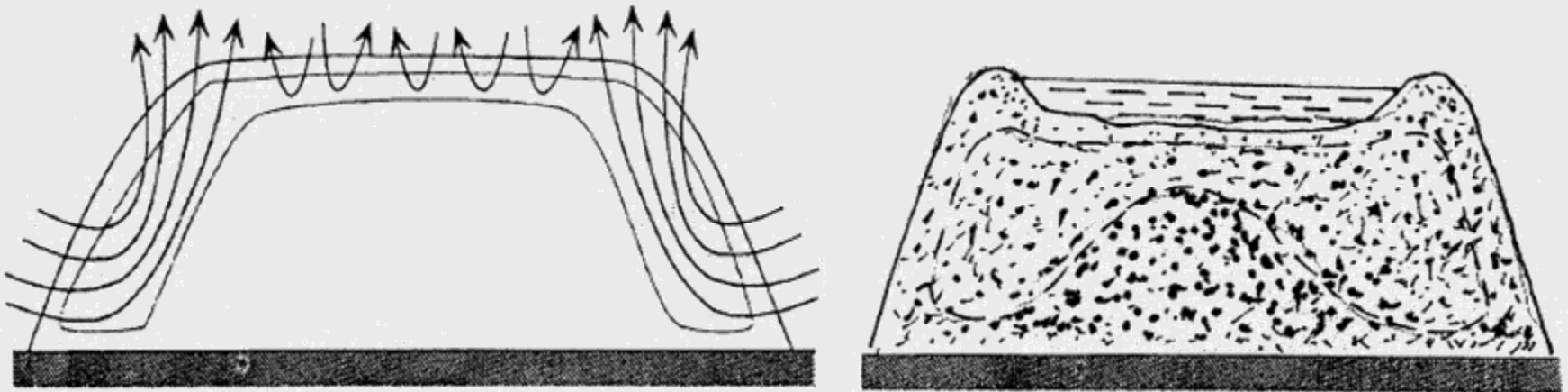
Výhody:

- lepší uplatnění „komínového efektu“, tj. přirozené provětrávání
- lepší odvod tepla, kompost se nepřehřívá

Nevýhody:

- ztížená aplikace kejdy do zakládky, silná zranitelnost deštěm
- doporučená šířka do 2,5 m; při šířce > 3,0 m potřeba častější překopávky

Lichoběžníkový profil pásové zakládky



Výhody:

- lepší využití kompostovací plochy
- lepší udržení teploty
- menší zranitelnost deštěm, lepší aplikace tekuté složky

Nevýhody:

- výrazně horší provětrávání profilu → nutnost častějšího překopávání

Kompostování v pásových zakládkách

- doba zrání v pásových hromadách **3 až 6 měsíců**
- délku trvání ovlivňuje zejména **surovinová skladba, homogenita zakládky, kvalita a počet překopávek** a také třeba roční období
- urychlení celého procesu lze docílit:
 - optimalizací surovinové skladby,
 - sledováním procesních podmínek,
 - mechanizací rozhodujících operací v technologickém procesu,
 - zakrýváním kompostovacích hromad geotextilií.

Plocha potřebná pro kompostování

- **výpočet pro dané množství suroviny**

- stanovení celkového množství kompostovacích surovin za rok podle jejich zastoupení a objemové hmotnosti

$$M_c = M_1 + M_2 + \dots + M_i \quad [\text{t}]$$

- objemová hmotnost výsledného kompostu

$$\rho = \frac{M_1 \cdot \rho_1 + M_2 \cdot \rho_2 + \dots + M_i \cdot \rho_i}{M_c} \quad [\text{t} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Plocha potřebná pro kompostování

- **technologie a technika určují rozměry plochy průřezu pásové hromady**
 - trojúhelníkový průřez

$$A = \frac{B \cdot h}{2} \quad [\text{m}^2]$$

- lichoběžníkový průřez

$$A = \frac{(B + B_1)}{2} \cdot h \quad [\text{m}^2]$$

Plocha potřebná pro kompostování

- **objem kompostu připadající na 1 m² kompostovací plochy**

$$P = \frac{A \cdot L}{B \cdot L} = \frac{A}{B} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}]$$

A ... plocha průřezu pásové hromady [m²]

B ... šířka základny pásové hromady [m]

L ... délka hromady [m]

Plocha potřebná pro kompostování

- potřebná velikost kompostovací plochy

$$S = \frac{M_c}{\rho_s} \cdot \frac{T}{52} \cdot \frac{1}{P} \quad [\text{m}^2]$$

T ... doba kompostovacího cyklu v týdnech

52 ... počet týdnů v roce (úprava podle skutečného počtu týdnů, kdy se kompostuje)

Skutečná kompostovací plocha je nakonec určena korekcí podle zvoleného způsobu překopávání.

Intenzivní kompostovací technologie

- **intenzifikována** je především **první rozkladná fáze**
- intenzifikace provzdušnění vede k **dosažení vyšších teplot** a tím ke zkrácení celé první fáze
- intenzivní proces v první fázi nabourá svou razancí organickou hmotu takovým způsobem, že i další fáze kompostování proběhnou rychleji
- rozeznávají se dva typy zařízení pro intenzivní kompostování:
 - polouzavřená kompostovací zařízení – boxy, žlaby
 - uzavřená kompostovací zařízení – bioreaktory

Kompostovací boxy

- **polouzavřená kompostovací zařízení**
- umístěny pod střechou z důvodu ochrany zakládky před převlhčením deštěm
- z betonových monolitických desek délky 10-12 m, šířky 3-4 m a výšky 2,5-3 m
- čelo každého boxu je otevíratelné
- zavlažovací zařízení zabezpečující potřebnou vlhkost
- provzdušňování materiálu zajišťují ventilátory, které vhání vzduch přes rošty na dně boxů

Kompostovací boxy

- překopávací zařízení je nesené na jeřábové kočce a zasáhne snadno kterékoliv místo v každém boxu
- pracovním orgánem překopávače je šroubovice opatřená trny, které zabezpečují průběžnou mechanickou destrukci částic
- **doba kompostování v boxu trvá 2 až 4 měsíce**

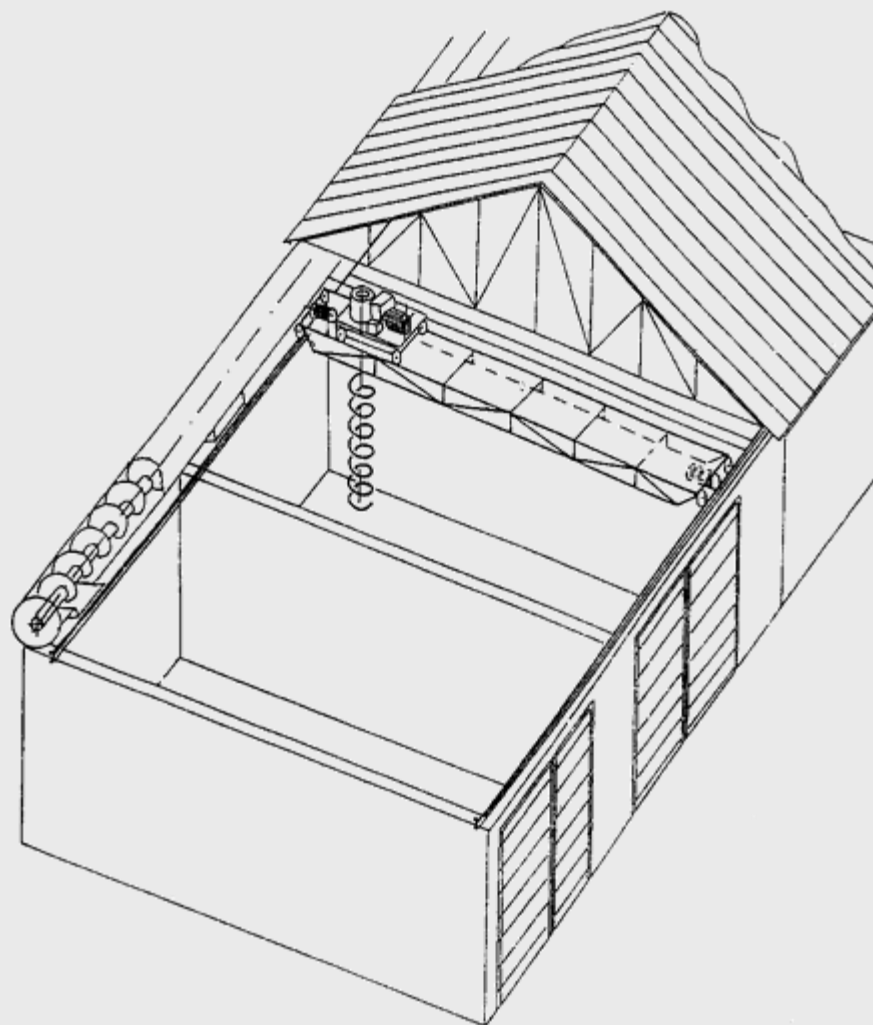


Schéma kompostovacího zařízení pro kompostování v boxech

Kompostovací žlaby

- kompostovací prostory mají tvar žlabů
- nad žlabem se pohybuje mobilní provzdušňovací a homogenizační zařízení
- přijímací bunkry umožňují míchání různých surovin a optimalizaci zakládky
- zavážecí zařízení je nepojízdné a je umístěno na jednom konci žlabu
- zavážení kompostu se provádí jednou až dvakrát denně
 - systém ROYER – žlaby šířky 2,8 m, výšky 2,5 – 3,0 m
 - BACKHUS – žlaby šířky 3,0 – 4,5 m, výšky 2,0 m

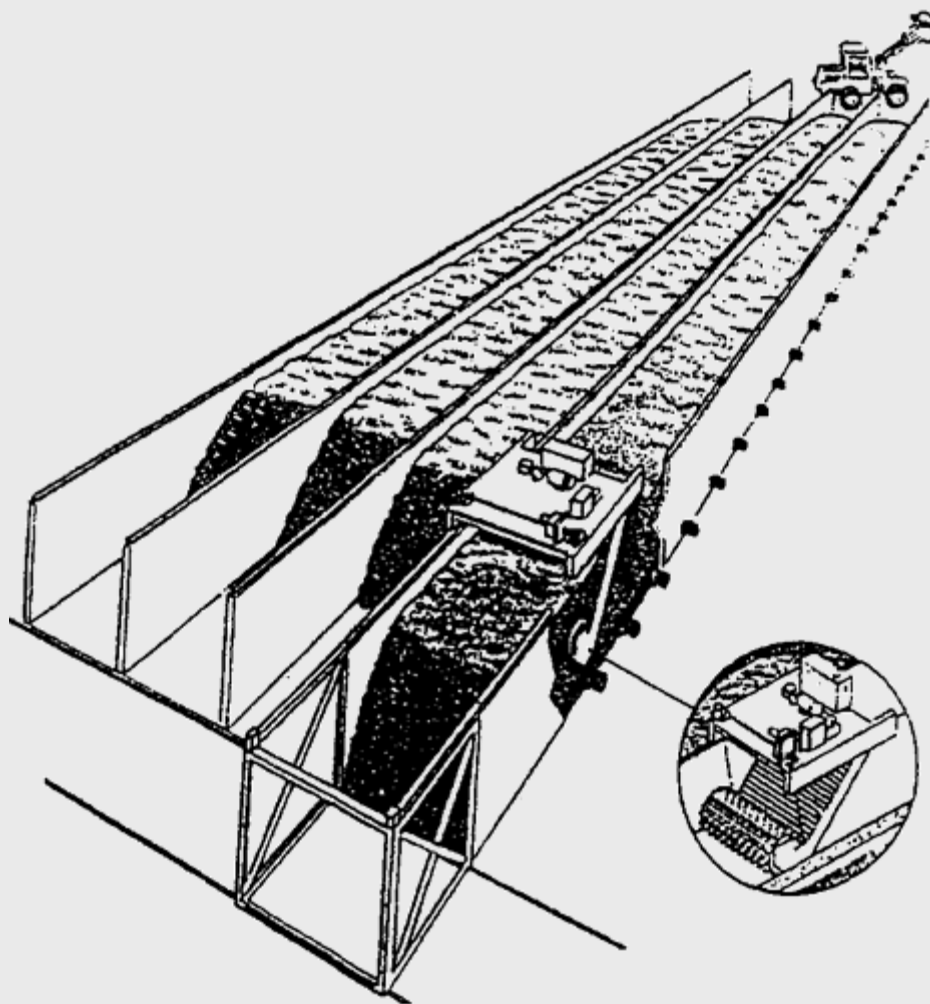


Schéma kompostování v kompostovacích žlabech

Kompostování v bioreaktorech

- **zcela uzavřené aparáty** kontejnerového typu ve tvaru boxu nebo válce, často tepelně izolované
- přívod kyslíku se realizuje **provzdušňováním vrstvy kompostovaného materiálu ze spodu**
- práce v režimu vsádkovém nebo kontinuálním
- bioreaktory můžeme rozdělit:
 - rotační biostabilizátory
 - uzavřené kompostovací boxy
 - věžové bioreaktory
 - tunelové bioreaktory

Vermikompostování



- specifická technologie kompostování s využitím žížal
- červený kalifornský hybrid žížal Eisenia foetida
- princip výroby kompostu, zde tzv. biohumusu:
 - schopnost žížal přeměňovat ve svém trávicím traktu přijaté organické látky
 - 40 % využijí pro svůj metabolismus a 60 % pro tvorbu biohumusu
- nutnost zajištění velmi specifických podmínek:
 - teplota prostředí 19 až 22 °C
 - vlhkost substrátu 78-82 %, pH prostředí neutrální
 - substrát nesmí obsahovat zvýšené množství čpavku a bílkovin
 - žížaly nesnášejí přímé sluneční světlo, silnější vítr

Technika pro kompostování

Biomasa a většina ostatních kompostovaných materiálů vyžaduje pro snadnou homogenizaci rozmělnění nebo podrcení.

Obecně z hlediska kompostování platí:

- s ↓ velikostí částic materiálu ↑ jejich oxidační a styčná plocha → biodegradabilní proces probíhá účinněji
- čím lépe materiál degraduje, tím větší mohou být jeho částice v základce
- čím menší částice jsou požadovány, tím jsou větší ekonomické náklady na jejich rozmělnění

Stroje pro drcení komponentů

Základní požadavky na stroje pro drcení a štěpkování materiálu:

- rozdrtit materiál na částice o objemu 5-50 mm³
- zpracovat materiál suchý, polosuchý i vlhký
- konstrukční řešení musí zamezit častému ucpávání
- pracovní ústrojí musí být odolné proti otěru drceným materiálem
- konstrukce musí splňovat podmínky BOZP (ochranné kryty, míra hluku apod.)

Drtiče

- určeny pro drcení tenkých větví, zelené hmoty, kůry a ostatních měkkých odpadů
- působením pracovního ústrojí je materiál lámán, štípan, rozměňován na menší částice
- výkon a kvalita rozmělnění je dána typem pracovního ústrojí, které může být:
 - talířové
 - nožové
 - spirálové
 - kladívkové
 - kombinované



Rozdělení drtičů

- podle způsobu pohonu:
 - drtiče s elektrickým pohonem
 - drtiče s pohonem spalovacím motorem
 - drtiče s pohonem od vývodového hřídele traktoru
- podle způsobu přepravy:
 - přenosné
 - převozná
 - nesené traktorové
 - na jednonápravovém nebo dvounápravovém podvozku
- podle výkonu motoru:
 - drtiče s motorem 1-3 kW – pro domácí použití
 - drtiče s motorem 3-10 kW – pro profesionální údržbu zeleně
 - drtiče s motorem 40-50 kW a více – pro specializované firmy

Štěpkovače

- určeny k beztrískovému dělení dřeva napříč nebo podél jeho vláken
- pro úpravu odpadního dřeva z ovocných výsadeb, z údržby parků nebo podíl z vytříděného TKO
- pro štěpkování se nejlépe hodí dřevo čerstvé, mokré, z hlediska druhu mokré, rovné
- u štěpkovačů se využívají typy pracovního ústrojí:
 - diskové (kotoučové)
 - bubnové
 - spirálové (šnekové)



Rozdělení štěpkovačů

- podle provedení:
 - traktorové
 - samojízdné s vlastním motorem
 - přívěsné s vlastním motorem
- podle velikosti:
 - I. kategorie - malé - vlastní podvozek, připojitelné za traktor
 - II. kategorie - střední - jedno, dvounápravový přívěš
 - III. kategorie - velké - nesené na traktorovém podvozku nebo samojízdné

Překopávače

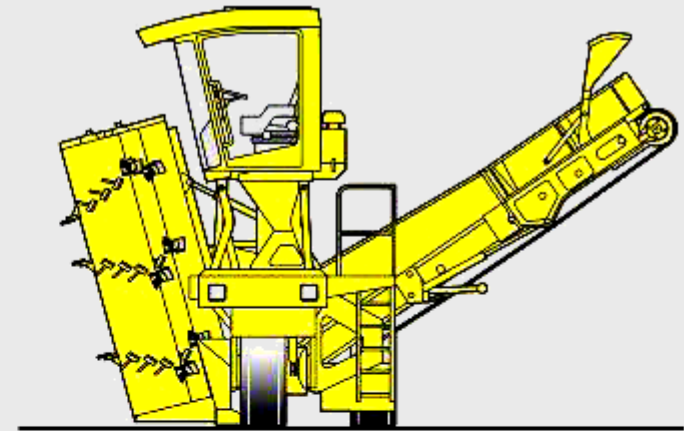
- překopávání je nejdůležitější pracovní operací v celém procesu kompostování
- určeny k provzdušnění kompostovaného materiálu, a tak k zintenzivnění mikrobiální činnosti
- požadavky na překopávače kompostu:
 - kvalitní promíchání a provzdušnění materiálu v celém profilu zakládky
 - narušení, příp. rozmělnění slehlého materiálu
 - formování překopávaného materiálu do zakládky určeného profilu
 - vysoká výkonnost, regulace pracovní rychlosti, dobré pojezdové vlastnosti

Rozdělení překopávačů

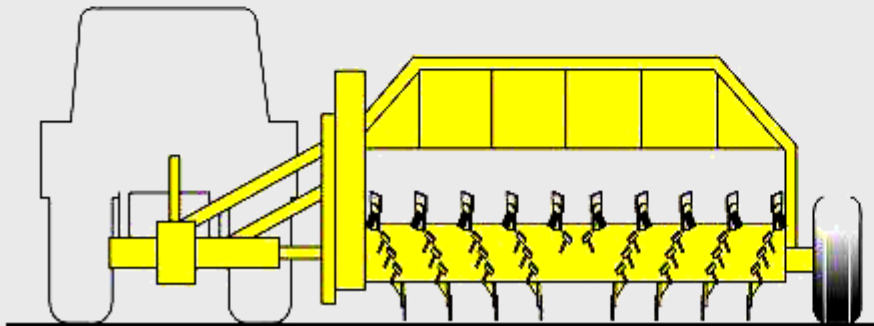
- podle energetického prostředku:
 - traktorové
 - nesené
 - návěsné
 - přívěsné
 - samojízdné
 - se spalovacím motorem
 - s elektromotorem
- podle výkonnosti:
 - malé - do $200 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ (do $300 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)
 - střední - 200 až $400 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ (300 až $600 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)
 - velké - nad $400 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ (nad $600 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$)

Rozdělení překopávačů

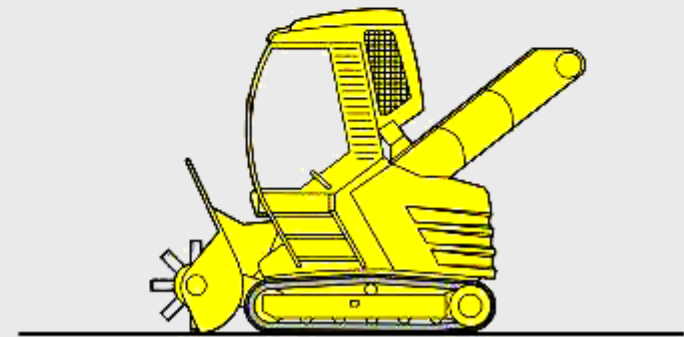
- podle pracovního ústrojí:
 - rotorové
 - s přesunem hmoty dozadu
 - s přesunem hmoty do strany
 - dopravníkové
 - s přesunem hmoty dozadu
 - s přesunem hmoty do strany



rotorové boční (lichoběžňkové)



rotorové (bubnové)



dopravníkové



- nesený traktorový překopávač
- pro překopávání do strany
- trojúhelníkové i lichoběžníkové zakládky



- samojízdný překopávač
- horizontální překopávací rotor



- ◀
- bočně nesený traktorový překopávač
- trojúhelníkové i lichoběžníkové zakládky



- ▶
- samojízdný překopávač
- horizontální překopávací rotor

Prosévače kompostu

- rozdělení různých druhů látek na základě rozdílných mechanicko-fyzikálních vlastností
- před kompostováním je nutno **oddělit nežádoucí příměsi** (kameny, folie, kovové části atd.)
- při finalizaci je potřebné **zajistit vyrovnanou velikost zrn expedovaného kompostu**
- z konstrukčního hlediska dělíme prosévací zařízení na:
 - **vibrační prosévací síta** (rovné síto)
 - **rotační třídiče** (válcové síto)
 - **rotační rošty** (tzv. aktivní rošty)



- ◀
- kombinovaný drtič a jemný drtič
- integrované prosévání pro biomasu a komposty
- výkon do 60 t.h⁻¹



- ▶
- prosévací zařízení s rotačními rošty



- ◀ • mobilní rotační třídič DOPPSTADT



- ▶ • mobilní drtič a rotační třídič DOPPSTADT

Strojní linky pro kompostování

- mechanizační prostředky jsou nejčastěji sestavovány do strojních linek dvou typů:
 - linky pro výrobu hrubého kompostu
 - linky pro úpravu a expedici vyrobeného (jemného) kompostu
- návrh strojní linky pro kompostování rovněž ovlivňuje forma prodeje kompostu:
 - prodej „ve velkém“ – hrubý kompost je volně ložený na dopravním prostředku
 - prodej „v malém“ – kompost je drcen, proséván, popř. obohacován mikroprvky a pytlován např. po 3, 5, 10, 20 a 50 kg
 - moderní linky umožňují kombinaci obou typů prodeje

Výroba hrubého kompostu

- **nákladní automobil s přívěsem** – navážení tuhých komponentů a rozvoz hotového kompostu
- **traktor s přívěsy** – operativní přeprava materiálu
- **fekální vůz, cisterna** – navážení tekutých a kašovitých komponent
- **mostní váhy**
- **drtič, štěpkovač**
- **nakladač (kompostu)** – přemísťování, vrstvení, nakládání
- **překopávač kompostu** – promíchávání, provzdušňování kompostu během zrání

Výroba jemného kompostu

Volba strojů je ovlivněna kvalitou hrubého kompostu a požadavky na parametry jemného kompostu.

- **drtič s mísičem** – úprava „jemného kompostu“, možnost zamíchání obohacujících mikroprvků,
- **dávkovač** – dávkování mikroprvků a jiných příměsí
- **prosévací zařízení** – prosévání hrubého kompostu
- **pytlovací váhy** – dávkování a balení v požadovaných hmotnostech pro drobný prodej
- **mostní váhy** – vážení při expedování hrubého kompostu, popř. vážení jednotlivých komponent při zakládání kompostu

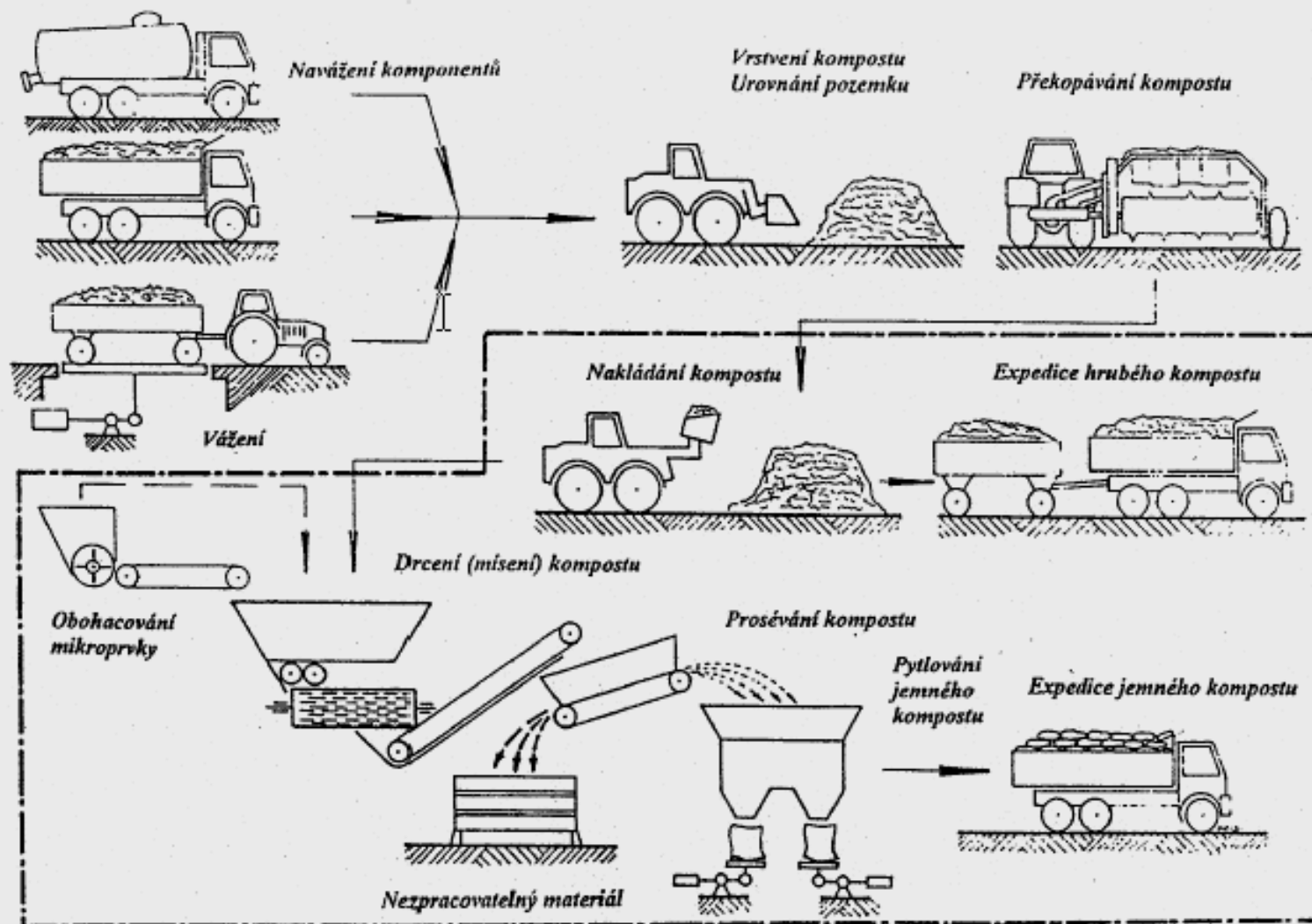


Schéma strojní linky pro výrobu kompostu

Technicko-ekonomické hodnocení linky

- **vyčíslení celkových provozních nákladů na výrobu 1 t kompostu** za určité období
- do celkových provozních nákladů je nutné zahrnout:
 - náklady na vstupní materiály
 - náklady na nakládání, vážení a dopravu
 - náklady na provoz strojů na úpravu komponent
 - náklady na provoz strojů na úpravu profilu a vrstvení
 - náklady na překopávání
 - náklady na vyskladnění (finalizace), náklady na kompostoviště
 - náklady na obsluhu kompostárny
- z jednotlivých nákladů jsou určeny celkové náklady kompostárny a z celkové produkce kompostárny za sledované období lze určit náklady na výrobu 1 t kompostu