

KOMPOSZTÁLÁS

Fazekas, Bence

Pitás, Viktória

dr. Thury, Péter

dr. Kárpáti, Árpád

KOMPOSZTÁLÁS

Fazekas, Bence
Pitás, Viktória
dr. Thury, Péter
dr. Kárpáti, Árpád
Szerzői jog © 2004 Your name

Bevezetés

A komposztálás kialakulása az emberiség fejlődése évezredeinek a homályába tűnik. A növénytermesztés és állattartás megindulásával a keletkező hulladékok hasznosításának az ilyen formáját az emberek bizonyára igen gyorsan ellesték a természettől. Ugyanez igaz az emberi fekália hasznosítására is.

A szennyvíziszapok hasonló stabilizálása, feldolgozása csakis azt követően kezdődhetett meg, amikor a gyakorlat szükségessé tette a szennyvizek tisztítását. A csatornázás igazi fejlődése a korai történeti emlékei ellenére a XIX. század közepétől kezdődött. Néhány évtizeddel ezután a befogadók ezúton történő túlterhelése szükségessé tette a szennyvizek iparosított biológiai tisztítását is. Ennek a technológiai csirájukban még ugyanezen század végére, a következő elejére alakultak ki, de általánosan alkalmazottá a világ eltérő gazdasági potenciálú térségeiben csak sok-sok évtized múltán, talán elmondható, hogy napjainkra válhattak.

A tisztítás iszapmaradékának (primer és szekunder iszapok) a tovább-feldolgozása, rothasztása, komposztálása ezt követően, az elmúlt században párhuzamosan fejlődött a biológiai tisztítás technológiáinak a fejlődésével. Ezek mindegyikének fejlődését egyaránt gyorsította, hogy már fél évszázada tarthatatlanná vált az élővizek, elsősorban édes állóvizeink (potenciális felszíni ivóvízforrásaink) növényi tápanyagokkal történő addigi ütemű terhelése, illetőleg az iszapok hasonló ütemű, talajokba történő, ellenőrizetlen eltüntetése.

A szennyvíziszap komposztálásának a tudományos alapjai ennek megfelelően a XX. század közepétől kerültek kidolgozásra. A század végére ezek az ismeretek kellően elmélyültek. A műszaki, technikai ismeretek napjainkban hihetetlenül gyors fejlődése (levegőztető gépek, berendezések, folyamatszabályozás, napenergia hasznosítása, szoláris szárítás hidegebb éghajlatú térségekben) ugyanakkor várhatóan ugrásszerű változást hoz a közeljövőben a szennyvíziszapok hasznosításának, komposztálásának a műszaki gyakorlatában is.

Tartalom

1. Komposztálás és alapanyagai	1
1.1 Komposztálható anyagok	2
1.1.1 Lakossági szennyvíziszap	2
1.2.1.1.2 Az ipari szennyvíztisztítás iszapjai	3
1.3.1.1.3 Trágyák	3
1.4.1.1.4 Zöldhulladékok	4
1.5.1.1.5 Élelmiszeripari és mezőgazdasági hulladékok	4
1.6.1.1.6 Lakossági szilárd hulladék	5
1.7.1.1.7 Különleges hulladékok	5
2.1.2 Energia visszanyerése hulladékokból	5
2.1.1.2.1 A nedves alapanyagok problémája	6
2.2.1.2.2 A száraz alapanyagok problémája	7
2.3.1.2.3 Termékminőségi előírások	7
2.4.1.2.4 Elmélet és gyakorlat	8
2. A szennyvíziszap komposztálás segédanyagai	9
1.2.1 Az alapanyag összeállítása	9
2.2.2 Segédanyag és töltőanyag funkció a szennyvíziszapok komposztálásánál	10
3. A szennyvíziszap komposztálási technológia fő lépései	11
1.3.1 Előkészítő és utókezelő műveletek	11
1.1.3.1.1 Szennyvíziszapok	11
1.2.3.1.2 Komposztálást befolyásoló tényezők	12
1.2.1.3.1.2.1 A levegőellátás	12
1.2.2.3.1.2.2 C/N arány	12
1.2.3.3.1.2.3 Víztartalom	13
1.2.4.3.1.2.4 pH-tartomány és hőmérséklet	13
1.2.5.3.1.2.5 Végtermék-kihozatal	14
2.3.2 Sztatikus prizmás, vagy reaktoros komposztálás	14
2.1.3.2.1 Üzemeltetési paraméterek	14
3.3.3 Nyersanyagok kondicionálása	20
3.1.3.3.1 Fizikai kondicionálás, vagy szerkezet kialakítás	21
3.2.3.3.2 Fizikai kondicionálás késztermék részleges visszaforgatásával és segédanyagokkal	22
3.3.3.3.3 Kémiai kondicionálás	25
3.4.3.3.4 Energetikai kondicionálás	25
3.5.3.3.5 Relatív víztartalom, W	26
3.6.3.3.6 Relatív energiatartalom, E	26
4.3.4 A szerves anyag oxidációjának oxigén/levegő-igénye	29
5.3.5 A nedvességtartalom csökkentéséhez szükséges levegőigény	29

Az ábrák listája

3.1. A szennyvíziszap és faforgács együttes sztatikus komposztálására alkalmas levegőztetés és anyagfeldolgozás különböző lépései.	15
3.2. Statikus komposzthalom méretezése 40 m ³ víztelenített szennyvíziszap feldolgozásához.	16
3.3. A hőmérséklet alakulása nyers iszap - faforgács keverék levegőztetett statikus prizmás komposztálása során.	16
3.4. A hőmérséklet alakulása rothasztott szennyvíziszap és különböző segédanyagok levegőztetett sztatikus halmokban történő komposztálásakor. Mindegyik mérési pont a halom keresztmetszetében 10 helyen történt hőmérséklet-mérés átlaga.	17
3.5. Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás sémája (anyagáramok a 3.1 táblázatban.)	18
3.6. Fűvételjesítmény igény a 25 % szárazanyag tartalmú, döntően nyers szennyvíziszap mint alapanyag, segédanyagokkal történő statikus komposztálásakor. (Levegőztetés szabályozása a hőmérséklettről (45°C) visszacsatolással történt.).	19
3.7. Komposzt alapanyag kondicionálás a késztermék részleges visszaforgatásával és strukturáló anyag felhasználásával.	22
3.8. A strukturáló / töltőanyagok szerepe a víz nedves anyagból történő adszorpciójának érzékelésével.	24
3.9. A kondicionáláshoz szükséges faapríték hányad függése a szennyvíziszap nedvesség-tartalmától. (1. adatsor: folytonos vonal, 2. adatsor: szaggatott vonal)	24
3.10. A szennyvíziszap nedvességtartalmának hatása a komposztálás során elpárologtatandó vízmennyiségre.	29

A táblázatok listája

3.1. Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás anyagmérlege.	18
3.2. Segédanyagok energiatartalma	20
3.3. Különböző komposztálható anyagok javasolható maximális kiindulási nedvességtartalma.	21

1. fejezet - Komposztálás és alapanyagai

A komposztálást nehéz általánosan definiálni. Elmondható róla, hogy az a szerves anyagok bizonyos értelmű biológiai lebomlása és stabilizálódása, amely a folyamat során keletkező hő hatásával lehetségessé teszi a termék gyorsabb előállítását, miközben termikus stabilizálás révén a nem kívánatos patogén szervezeteket és csírázásra kész magvakat is elpusztítja. A komposztálás a hulladék-anyagok stabilizálásának egy lehetséges módja, amely azonban az alapanyagok megfelelő összetételét (összetételének, nedvességének beállítását), valamint levegőztetését igényli a szükséges termofil hőmérséklettartomány elérése érdekében. Az utóbbin a 45-50 °C feletti hőmérséklet elérése és tartós fenntartása értendő. Ez a patogén szervezetek és csíráképes magvak elroncsolásának alapvető feltétele.

A komposztálás során szükséges biológiai folyamatok biztosításához a szilárd fázisú rendszerek alkalmasabbnak tűnnek, mint a folyadékfázisúak (termofil aerob stabilizáció). A komposztálást ezért szilárd és fél-szilárd anyagok keverékei esetén kedvező alkalmazni. Aerob biológiai átalakítási folyamatainak eredményeként ekkor a lebomló szerves anyagból széndioxid és a további aerob és anaerob körülmények között egyaránt stabil nagy humusz tartalmú szerves maradék keletkezik. A biológiai oxidációnál keletkező hő hatására az anyag víztartalmának egy része elpárolog. A komposztálás alapvető kérdése a folyamatok végbemenetele alatt a nedvesség, hőmérséklet és oxigéntartalom (ellátottság) optimalizálása. Míg az első kettő meghatározóan az alapanyag minőségével, az utóbbi a levegőztetéssel szabályozható.

A komposztálódásnál az aerob átalakulások mellett részben az anaerob folyamatok is szerepet kapnak az oxigén időszakos, vagy lokális hiánya következtében. Ezek a szerves anyag átalakításában ugyancsak fontos szerepet játszanak. Hozzájárulnak ahhoz, hogy a biológiailag nehezen oxidálható szerves anyagokból kisebb molekulatömegű, jobban oxidálható származékok (szerves savak, alkoholok) keletkezzenek, melyeket azt követően az aerob szervezetek igen gyorsan hasznosítanak. Az oxigénellátás hiányosságai, egyenlenségei eredményeként (nagyobb méretű nedvesebb darabok belső tereiben, illetőleg a komposztálódás előrehaladtával) aerob és anaerob folyamatok együttes eredménye a végső termék.

Az anaerob folyamatok azonban a keletkező kis molekulatömegű illó és illatos származékok miatt gondot is jelentenek a környezetnek, ezért az anaerob és aerob folyamatok egyensúlyát (szag-emisszió) megfelelően biztosítani kell. A nagyüzemi komposztáló rendszerek az utóbbi miatt gyakorlatilag aerobak. Számos gyakorlati szakember azonban célszerűnek véli a komposztálandó alapanyagok előkezelés folyamán történő hosszabb-rövidebb nedves tárolását éppen az előzetes anaerob bomlási folyamatok megfelelő elmélyítése érdekében. A megfelelő nedvességtartalomra és szabad gázfázis-hányadra (szabad levegőtér fogat) történő bekeverést követően azután a komposztálás egyértelműen aerob folyamat lesz.

A komposztálás tradicionális feladata a rothadásra hajlamos szerves anyagok stabilizálása, emberre patogén szervezeteinek minimalizálása. Egyidejűleg természetesen a növényi betegségeket okozó szervezetek, csírák, rovarok és azok tojásainak, lárváinak előlése is célja a stabilizációnak. A termék szaga hasonlóképpen megszűnik a folyamat eredményeként a stabil termékben. A keletkező hőmennyiség révén a kiindulási alapanyagok nedvességtartalma (szennyvíziszapok, élelmiszeripari hulladékok) is kedvező tartományba állítható be. A szerves anyagok lebomlása, stabilizálódása, az utóbbi szárítással együtt, kedvező feldolgozási költséget jelenthet a különböző hulladékok ártalmatlanítását illetően.

A komposztának számos előnyös hatása lehet mezőgazdasági felhasználásánál. Először is növeli a talaj humusztartalmát, s ezzel kedvező talajszerkezetet és víztartó kapacitást biztosít. Másodsorban, a komposzt kedvező talajtápanyagokat tartalmaz a humuszon túl is, mint a nitrogén, foszfor és sok mikro-tápanyag. Az utóbbiak mennyisége azonban a komposztban rendszerint kevés ahhoz, hogy kis mennyiségben adagolandó műtrágyaként alkalmazhassák. Más oldalról a komposzt tápanyagainak felszabadulása sokkal lassúbb, mint a műtrágyáké, így nem okoznak tápanyag-vesztéget felhasználásuk során.

A komposztálás összetett folyamatainak megfelelően maga a komposzt anyag, vagy termék behatárolása is meglehetősen tág. Azokkal a funkciókkal szokásos pontosítani, melyeket a komposztálásnak a termék előállításánál biztosítani kell. Ilyenek a stabil, humusz-szerű anyag és küllem, a kórokozó-, csíra-mentesség, rovar és lárvamentesség, egyszerű kezelhetőség, szagmentesség és a növények növekedésének kedvezőbbé tétele.

Többféle biológiai átalakítási eljárás is felhasznál szilárd vagy fél-szilárd alapanyagokat, mint például a sajtok érlelése, a siló előállítás, illetőleg az eddig tárgyalt komposztálás. Közülük az utóbbi esetében azonban a folyamat tudományos megtervezése messze elmaradt az előzőektől. Csaknem valamennyi komposztálással foglalkozó könyvben az olvasható, hogy az egy ősi tudomány, melyet az emberiség ősidők óta felhasznál. Ez azt látszana bizonyítani, hogy a technológiája az idők folyamán kellőképpen kialakult. Ezzel szemben egyértelmű, hogy a komposztálás tudományos alapjait csak az elmúlt fél évszázadban kezdték kidolgozni. A technológia szabályozásával kapcsolatosan több tényező optimalizálása vált ezeknek az évtizedeknek a feladatává. Bár ténylegesen sok ismeretanyag gyűlt össze, mégis be kell vallani, hogy a technológia sokkal inkább kézikönyv jellegű, mintsem tudományosan kellően megalapozott, szabályozott műveletek kombinációja a megkívánt végtermék előállítása érdekében.

1. 1.1 Komposztálható anyagok

A komposztálható alapanyagok listája rendkívül széles. Megemlíthetők közöttük a mezőgazdaság termelési hulladékai, az élelmiszeripar feldolgozási hulladékai, a legkülönbözőbb eredetű trágyák, lakossági hulladékok, bútortipari és fafeldolgozási hulladékok, egyéb szerves hulladékok, mint a lakókörzetből összegyűjthető kerti hulladékok, növényi maradványok, fű- és faapríték, nem káros hatású egyéb ipari hulladékok, valamint a lakossági szennyvíz tisztításánál keletkező szennyvíziszapok is.

A természet megfelelő lebontó-képességgel rendelkezik a felsorolt hulladékok feldolgozására, biológiai stabilizálására. Gondot jelent azonban, hogy ezek lokálisan jelentkező óriási mennyiségei, rendkívül inhomogén tömegei minőségi komposzt előállítására, amely áruvá is válhat a piacon, alkalmatlanok. Erre csak az egyenletesebb minőségben keletkező, tisztább hulladékok, mint a szennyvíziszap, néhány ipari hulladék, valamint megfelelő gyűjtés és előkezelés esetén a kerti, kertészeti hulladékok lehetnek alkalmasak.

1.1. 1.1.1 Lakossági szennyvíziszap

A különböző szerves/szervetlen szennyezőanyagok a fizikai/kémiai tulajdonságaiktól függően a szennyvíztisztító telep műtárgyaiban eltérő hatásokkal távolíthatók el. A tisztítás alapvetően biotechnológiai kialakítása mellett szükségszerű mechanikus előtisztításnál a rácsokon, homokfogókon visszatartott szerves anyag mennyiség a települési szennyvizek esetén a biológiai terhelés (KOI, BOI₅, TKN, stb.) szempontjából minimális jelentőségű.

A mechanikai előtisztításnál az adott régió kulturális állapotától függő mennyiségű és összetételű rácscsémét távolítható el. A homokfogóban kiülepedhető szervetlen anyagok mennyisége pedig leginkább a terület geológiai adottságaitól, a csatornahálózat kiépítésétől függ. Az általános tervezési javaslat (*MI-10 127/3 1977*) a rácscsémét fajlagos mennyiségét 12-15 dm³/LE*év (10 mm-es finomrács), a kiülepedhető homok mennyiségét pedig 0,01-0,1 dm³/LE*év értékben adja meg. Mindezek víztelenítésüket (préselés) esetleg fertőtlenítésüket követően, különböző EWC kódú hulladékként jellemzően hulladéklerakóban kerülnek ártalmatlanításra.

A települési szennyvizek előtisztításának a homokfogást és rendszerint vele együtt történő zsírleválasztást követő lépcsője a könnyen kiülepedő, nagyobb szerves anyag tartalmú részek előülepedése (már ahol erre technológiai megfontolásból sor kerül), ahol az úgynevezett primer iszap keletkezik. Ennek a szerves anyaga kevésbé oxidált, mint a szekunder iszapoké, nagyobb KOI/tömeg fajlagossal rendelkezik. Szerves anyag hányadát a mechanikai előtisztítás (rács, homokfogás) nagyban befolyásolja, de az leggyakrabban 60-80% körüli érték (zsírok és fehérjék). Energiatartalma 25-26000 kJ/kg érték körül mozog. A primer iszapok McCarty és társai szerint a C₂₂H₃₉O₁₀N összetétellel jellemezhetők.

A hazai jellemző technológiai kialakítások mellett, vegyszeres kezelések nélkül általában 50-65 % körüli lebegőanyag, 25-30 % körüli KOI, és 10 % körüli TKN eltávolítási hatásokkal számolhatunk (*ATV-DVWK-A 131E*,) az előülepedésnél. Mindezek eredményeként alakul ki a biológiai tisztítási fokozat tápanyagterhelése, melynek nagysága (kg/d, kg/m³*d, kg/kg MLVSS*d) és összetétele (KOI/TKN arány) nagyban meghatározza a tisztítás végén elérhető tisztított víz és iszapminőséget.

A tisztítási technológia biológiai fokozatában az oldott és lebegő állapotban lévő szennyezők oxidációs/redukciós biokémiai folyamatok révén alakulnak át partikuláris biomasszává, vagy az iszapfolyékba történő beépülésükkel, adszorpcióval kerülnek eltávolításra a folyadékfázisból. A tisztítás során keletkező iszap szeparációja a tisztított víztől általában ülepedéssel történik. Az ülepedés megfelelő méretezése biztosítja a lebegőanyag (> 0,45 mikron) 20-40 mg/l értékig történő eltávolítását. Ennek hatékonyságát persze jóval meghaladja a mára erősen terjedő membrán-szeparáció hatásfoka, ami a települési szennyvíztisztításnál

leginkább ultraszűrést jelent. Ilyen megoldásokkal üzemelő telepeken gyakorlatilag biztosítható a lebegőanyag-mentes elfolyó szennyvíz. Ugyanekkor az adott membrán vágási értékének megfelelő méretű baktériumok, nagyobb méretű oldott molekulák is eltávolításra kerülnek, javítva ezzel az elfolyó víz minőségét és szükségtelemné téve a további vegyszeres fertőtlenítést.

A lakossági szennyvizek aerob tisztításánál nagyjából az eltávolított szerves anyag mintegy 50%-ából szekunder iszap termelődik. A bontható szerves anyagok anaerob lebontásnál viszont ez a maradék csak 5%. A szekunder iszap szerves anyag hányada széles tartományban (60-90%) változhat. A tapasztalatok alapján a biomassza szerves frakciója 50-55%-ban szén, 25-30%-ban oxigén, 10-15%-ban nitrogén, 6-10 %-ban hidrogén, 1-3%-ban foszfor és 0,5-1,5%-ban kén. A különböző ajánlások közül a leginkább használatos összegképlet $C_5H_7O_2N$. Készítettek persze a foszfortartalmat is figyelembe vevő összegképletet is amelyet $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$ formulával adták meg. A szekunder iszap energiatartalma a szerves anyag arányától függően változó. Átlagos értéként 20-21000 kJ/kg érték adható meg.

Az aerob tisztításnál képződő iszap mennyiségét a tisztítandó szennyvíz számos paramétere befolyásolja, mint például: a hőmérséklet, a technológiai kialakítás, a relatív biológiai terhelés, az oldott oxigén koncentráció, stb.. A főlösizap-hozam (vegyszeres kezelés nélküli) becslésére ezeket figyelembe véve számos összefüggés látott napvilágot. Ez mindig szárazanyagban megadott érték. Az iszap ugyanakkor mindig nedves. Ülepítés után alig 1-3 %, de hatásos gépi (présszalag-szűrő, centrifuga) víztelenítés után is csak 20-25 % szárazanyag tartalmú, holott az utóbbi koncentrációnál már meglehetősen szilárd állagú.

A települési szennyvizek tisztítása során keletkező ezen „szilárd” melléktermék további kezelése, ártalmatlanítása során meghatározó tényező lehet az utóbbiak költsége. Tapasztalataink szerint nem ritka a levegőztetés költségigényével megegyező iszapmaradék feldolgozási, ártalmatlanítási, újrahasznosítási költség sem.

Az U.S. EPA 1989-es számítása alapján lakosonként évente mintegy 29 kg szárazanyagnak megfelelő szennyvíziszap keletkezik az Egyesült Államokban. Az ilyen iszapoknak nagy része ugyan a mezőgazdaságban került elhelyezésre, de annak csak kevesebb, mint a tizede került abban az időszakban komposzt formájában, kereskedelmi láncolaton keresztül a mezőgazdaságba, házi kertészetekbe. Ez a hányad ugyan napjainkra jelentősen növekedett az USA-ban, ugyanakkor jellemző fajlagos érték lehet a hazai iparszerű komposztálásra és komposzt-értékesítésre. Jelenleg Magyarországon a szennyvíziszap nagy részét még nyers formájában, injektálással juttatják a talajokba, vagy egyszerű kiöntözéssel, bekeveréssel (folyékony vagy fél-szilárd állapotban) a szilárdhulladék-lerakó telepekre.

Irodalmi adatok szerint mintegy 20 kg szárazanyagnak megfelelő primer iszap keletkezik lakosonként évente a szennyvíztisztításban. A szennyvizek biológiai tisztítása a keletkező iszapmennyiséget másfélszeresére - 30 kg - szárazanyag / fő év - növeli. Ez jól egyezik az U.S. EPA (1990) által megadott 29 kg /fő év fajlagos értékkel. Ez természetesen csak ott keletkezik, ahol a lakosság szennyvizeit közcsatornában gyűjtik, és megfelelő módon tisztítják.

1.2. 1.1.2 Az ipari szennyvíztisztítás iszapjai

Erre az iszapfajtára amerikai adatok is elég hiányosan állnak rendelkezésre, hazaiak még kevésbé. A hazai ipari szennyvíztisztításnak ebben a tekintetben felelőse ugyan van, gazdája már kevésbé. A technológiai felmérés is hiányos, hasonlóan a keletkező iszapmennyiségekéhez.

Az ilyen iszapfajták esetén fontos kiemelni, hogy az élelmiszeripar szennyvíztisztítói rendszerint komposztálásra kitűnően alkalmas iszapokat termelnek. Esetenként ugyanilyen jellegű a gyógyszeralapanyag vagy gyógyszergyárak szennyvíztisztítóinak iszapja is. Fontos tényező lehet az iszapminőség alakulásában az ilyen hazai telepeken az alkalmazott fizikai kémiai előtisztítás vegszerszennyezése.

A papíripar esetében keletkező szennyvíziszapok mindkét fajtája, az ülepített rostiszap, valamint a biológiai tisztítás eleveniszapja is megfelelő energiatartalmú komposzt alapanyag, vagy segédanyag.

1.3. 1.1.3 Trágyák

A lakosság ilyen jellegű maradéka (emberi ürülék) napjainkban egyáltalán nem jelentkezik, mivel az a lakossági szennyvizekbe, s azon keresztül a tisztítás iszapmaradékába kerül. Az állattartás esetében ugyanakkor igen nagy fajlagos trágyamennyiségek keletkeznek, részben "száraz" (almos), részben "nedves" (hígtrágya) formában. Az állattenyésztés trágyahulladéka olyan nagy, hogy arra gyakorlatilag külön feldolgozó, elhelyező, hasznosító

gyakorlat alakult ki. Ez ott alakulhatott így, ahol az állattartó, hizlaló telepek mezőgazdasági környezetben épültek ki. A feldolgozóipar ilyen hulladéka a városokba koncentráldott üzemek miatt már egyértelműen ott jelentkezik, vagy az üzemi szennyvíztisztítóknál, vagy a kommunális telepen. Megkérdőjelezhető persze az állattartás trágyája felhasználásának az iparszerűsége is, hiszen az almos trágya stabilizálása, komposztálása sem nevezhető kellően ellenőrzöttnek, a híg trágyák tisztításáról, elhelyezéséről pedig közismert, hogy a hazai talajok vízei minőségének tönkretételéért döntően azok a felelősek.

Érdekességként megemlíthető, hogy egy fejőstehén évente mintegy 2200 kg, egy hizló-marha mintegy 1600 kg szárazanyagának megfelelő trágya-szennyezést produkál évente. Ez 75, illetőleg 50 lakos évi, szennyvíziszapban jelentkező hulladékmennyiségének felel meg. Meglepő, hogy egy baromfi évi hulladéktermelése is ugyanannyi, mint egy felnőtt lakosé. Ez is jól mutatja, hogy az állattartás, vagy intenzív hústermelés milyen jelentős szennyezőanyag termelést is jelent. Sok ország, de különösen Hollandia szenved intenzív sertés-hizlalásának az ilyen vonatkozású következményeitől. A trágyák komposztálása és mezőgazdasági hasznosítása természetesen egy reális lehetőség, azonban itt is rizikófaktor a tápanyag-felhasználás javítására felhasznált vegyszerek, növekedésfokozó hormonok, gyógyszerek hatása.

Érdemes azt is megjegyezni, hogy a különböző állatok trágyái elég eltérő nedvességtartalommal rendelkeznek. Legszárazabb a lótrágya, ami 60 % körüli nedvességtartalmú. A többi trágyák általában 70 és 80 % közötti, a marhatrágya 85 % körüli nedvességtartalommal rendelkezik.

1.4. 1.1.4 Zöldhulladékok

A lakás körüli növényzet, fű és fák hulladékai képezik ezt a kategóriát. Mennyiségük a lakókörnyezet, lakás-sűrűség függvénye. Kertvárosi területeken akár az összes hulladékmennyiség 10-20 %-a is lehet. A kerti hulladéknak mintegy 70 %-át a fűapríték teszi ki, a levélzet csak 25 %-ot képvisel, míg a többi 5 % egyéb, fásabb növénymaradék. Mennyiségük szezonálisan is nagyon változó. A hideg telekkel megáldott térségekben a fűves részek májustól szeptemberig jellemzőek. A lehullott leveleket ezzel szemben szeptember és december között, valamint kora tavasszal gyűjtik be.

A korábbi évtizedekben a növényzet zöld hulladékát is a szilárd hulladéklerakókba szállították. Ma már legtöbb helyen az ilyen maradványokat külön gyűjtik, és komposztálják. Viszonylag nagy a nedvességtartalmuk, és mint már utalás történt arra, keletkezésük szezonálisan ciklikus. A fűnek viszonylag nagy a nitrogéntartalma. Az ilyen anyagok lebontható része viszont nem fedezi a komposztálás hőigényét. Kedvező, hogy a fűmaradványok és falevelek, vagy bokrok nyeseidékei nem tartalmaznak egyéb szennyező anyagokat, ellentétben a városi szilárd hulladékkal. A levelek szagmentesen tárolhatók, ezért energiadúsabb anyagokkal együtt jól komposztálhatók, hosszabb tárolás után is. Az ilyen hulladékok mennyisége azonban térségenként igen változó, akár egy nagyságrenddel is különböző lehet. Fajlagos értékében a lakossági szennyvíziszap mennyisége körüli, de parkos üdülőkörzetekben, ahol mezőgazdasági hasznosításuk egyébként lehetetlen, akár tízszerese is lehet.

Régebben a faleveleket egyszerű halmokban hagyták komposztálódni, ma sok helyütt keverik a szennyvíziszapokhoz, különösen zárt komposztáló rendszereknél. Különösen akkor van erre lehetőség, ha a lakosság az ilyen hulladékaikat elkülönített halmokban gyűjti az udvarában, vagy néha be is zsákolja azt elkülönítve a többi szilárd hulladéktól. Térségenként az ilyen szokások nagyon változóak, sőt a környezettudatos nevelés eredményeként ciklikusak is lehetnek.

Esetenként az összegyűjtött falevelek is tartalmazhatnak kedvezőtlen szennyező anyagokat (műanyag, kövek, stb.). A zöld növényzet ugyan nitrogénben gazdag, a száraz falevelek komposztálásához azonban rendszerint tápanyag-adagolás, gondos nedvesség-beállítás és szabályozás szükséges a szag keletkezésének az elkerülésére. Előfordult olyan levélkomposztálás is, melyet a szennyvízderítők iszapjával és aprított fahulladékkal keverve végeztek. Az alapanyaghoz ilyenkor is nitrogénforrást kellett adagolni a növényi részek gyorsabb lebomlása, nagyobb reakciósebesség (melegedés) elérése érdekében.

1.5. 1.1.5 Élelmiszeripari és mezőgazdasági hulladékok

A komposztáláshoz számos, ebbe a kategóriába tartozó hulladék alkalmas. Általában ami föld feletti növényi rész, vagy állati maradék és nem szennyezett, komposztálható. A közlemények alapján sok ilyen hulladék felhasználására került már sor a korábbiakban. Ilyenek:

- burgonyahulladékok (héj, keményítő, méret alatti termés, beteg gumók, stb.),
- keményítőiszap,

- halfeldolgozási hulladékok (héj, belseg),
- narancs és citromhéj,
- almafeldolgozás maradéka (iszap, szűrletmaradék és biológiai iszap),
- szőlőfeldolgozás hulladéka (szűrőiszap, héj, törköly, kacs, vessző),
- csokoládégyártás hulladéka,
- vízierőművek szűrőin fennakadó algák, halak és más tengeri élőlények,
- élelmiszer-előkészítés hulladéka,
- mezőgazdasági hulladékok (szalma, kukoricacsutka, rizs-, gyapot-, mandulahéj).

A felsorolt lista messze nem teljes, de jól mutatja a komposztálható állati és növényi hulladékok széles skáláját.

1.6. 1.1.6 Lakossági szilárd hulladék

Ez az átfogó kategória mindazokat a szilárd hulladékokat tartalmazza, melyek az ember környezetéből rendszerint szervezett hulladékgyűjtéssel kerülnek eltávolításra. Mennyiségét tekintve ez a legjelentősebb mennyiségű hulladék, több száz kilogramm lehet lakosonként évente. Összetételében legnagyobb hányad a papír, de tartalmaz élelmiszermaradványokat és zöldhulladékot is. Komposztálásra történő hasznosításuk vizsgálata ezért hosszú évtizedek óta fontos tevékenység. Gondot jelent az utóbbi időszakban a lakossági szilárd hulladékban jelentkező hatalmas műanyag-hányad. Ennek kiválogatása, a műanyag-részek változatos mérete és alakja miatt egyre nagyobb nehézséget jelent. A szétválogatás hatékonysága soha nem teljes (100%). A komposztálható anyagokhoz mindig jócskán kerülnek műanyag és üveg anyagok is.

A lakossági szilárd hulladék anaerob átalakulása jelentős szaghatással jár. Sajnos napjainkban éppen a szennyvíztisztító telepek ilyen hatásai azok, melyek a lakosságot leginkább zavarják. Az, hogy a fejlődő városok a távolsági előírások ellenére egyre közelebb terjeszkednek a szennyvíztisztítókhöz, komposztáló telepeikhez. Ez már akkor is egy újabb megoldandó problémát jelent, ha a lakossági szilárd hulladék semmilyen frakciója sem kerül be az iszapkomposztálásba. Helyileg is többnyire máshol keletkezik, s a szétválogatás utáni szállítása is esetleg a városokon keresztül kellene, történjen. Ezért az ilyen hulladékok komposztálását gyakran a szilárd hulladék gyűjtésének a helyén, a szeparálás után célszerű végezni, megfelelő segédanyagok felhasználásával.

Az Egyesült Államokban a 60-as évek végén komoly fellendülés volt megfigyelhető a lakossági szilárd hulladékok komposztálását illetően. Később ez a hullám elcsitult, de az európai fejlesztés és eredmények hatására komposztálás a 80-as évek végén ismét divattá vált. Összességében azonban megállapítható, hogy az ilyen hulladékok nagy papír részaránya, illetőleg az utóbbi időben nagy műanyag hányada következtében a komposztálásuk egyre gondosabb előkezelést igényel, ami nehezen kompenzálható költségtöbblet. Az iparilag fejlett országokban egyre jellemzőbb, éppen az összetétel ilyen változása eredményeként, a lakossági szilárd hulladékok égetése, vagy olyan tömörítése, amely a deponálást olcsóbbá teszi, s egy későbbi feldolgozás lehetőségét is megtartja.

1.7. 1.1.7 Különleges hulladékok

Először a kategóriába azokat a veszélyes ipari hulladékokat sorolhatjuk, melyek a komposztálás anaerob körülményei között éppen a jelenlévő egyéb segédanyagok segítségével bomlásnak indulnak, majd ez a bomlás az aerob fázisban igen jó hatásfokkal fejeződik be. Közöttük elsősorban az olajos iszapok, és különböző növényvédőszer hulladékok említhetők meg.

Egy 1992-es tanulmány szerint, diesel üzemanyaggal szennyezett talajok remediációjára is javasolható a komposztálás. A kedvező hőmérséklet és tápanyag ellátás az aromás komponensek jó lebomlását eredményezte 35-50 nap alatt. Az összes szénhidrogén tartalom több mint 90 %-a elbomlott vizsgálataik során 70 nap alatt. Az így bontható vegyületek sorába tartoznak a benzol, pentaklór-fenol, ftalátok, könnyű és nehéz üzemanyagok, kőszénkátrány, fenolok, policiklikus aromás szénhidrogének, klór tartalmú szerves oldószerek, valamint a poliklórozott-bifenilek is.

2. 1.2 Energia visszanyerése hulladékokból

A szerves anyag energiataralma hasznosításának három alapvető útja lehetséges:

- a szerves anyag és tápanyagtartalma közvetlen, vagy komposztálást követő talajba-vitele,
- a szerves anyag átalakítása energiává közvetlen égetéssel, metanizációval vagy pirolízissel,
- a szerves anyag, mint pl. a papír és műanyagok közvetlen visszaforgatása a termelésbe.

Mindegyik újrahasznosítási lehetőség igen értékes. Az elsőt részletesebben említették az eddigiek. A biomassa közvetlenebb energetikai felhasználása ugyan folyamatos cél, de a kutatás mindenkori eredményei függvényében több-kevesebb sikerrel kerül csak megvalósításra. A realizálást egyidejűleg a világ mindenkori olajellátottsága is befolyásolja. A közvetlen újrafelhasználás, termelésbe történő visszaforgatás látszik azonban a legkedvezőbb megoldásnak az anyag és energiatakarékosságot is figyelembe véve. Hogy azonban a három lehetőség közül adott esetben melyik az igazán kedvező, azt mindig a hulladék összetétele és egyéb jellemzői, s maga a technikai, gazdasági környezet határozza meg

A viszonylag száraz hulladékoknak, mint a lakossági szemét és fa-hulladékok, legkedvezőbb az égetéssel történő hasznosításuk. A pirolízis és elgázosítás ezen belül ígéretes megoldás. Esetenként az ilyen alapanyagok előzetes válogatása, szeparálása még kedvezőbbé teheti a termikus újrahasznosítást. Ahogy a hulladék nedvességtartalma nő, a termikus hasznosítás hatásfoka egyre csökken. Az égés önfenntartásához a nedvességtartalomnak 60-70 % alatt kell lennie. Pontos értéke azonban a szerves anyag típusától (égéshő, fűtőérték), és a fűtőberendezések típusától is függ. Ha a hulladék iszap-szuszpenzió, az energia visszanyerés egyetlen lehetséges módja az anaerob rothasztás. Mit célszerű azonban tenni az utóbbi maradékával, vagy más túl nedves szerves hulladékokkal, melyek égetése nem lehet gazdaságos. Korábban természetes tüzelőanyagok hozzáadásával próbálták azokat elégetni. A fűtőanyag igény, valamint a bonyolult égető berendezés igénye azonban az ilyen megoldást kedvezőtlené teszi.

A nagy nedvességtartalmú anyagok újrafelhasználása, elhelyezése mindig gondot jelent. Közvetlen talajba történő injektálásuk ugyan kedvezőnek tűnik, de az rendszerint csak a kevésbé lakott, megfelelő talajadottságokkal rendelkező területeken lehetséges. A komposztálás kedvező sajátossága, hogy a nedves alapanyagból kényelmesebben kezelhető, hasznosítható maradékot termel. A komposztálás egyidejűleg stabilizálja a rothadó-képes szerves anyagokat, nagymértékben csökkenti azok patogén szervezet tartalmát, továbbá szárítja, kezelhető formájúvá alakítja az anyagot. Mindezek a nyereségek minimális külső energia felhasználásával biztosíthatók. Leegyszerűsítve akár újrafelhasználásra vagy elhelyezésre alkalmas szárított termék előállításának is tekinthető igen változatos alapanyag felhasználás mellett is. A komposztálás egyidejűleg meglehetősen rugalmas technológia.

A komposztálás a fentiekől függetlenül a jövőben is az integrált hulladék-gazdálkodásnak csak egy része lehet. A jó minőségű szerves anyagok, mint a kartonpapír, újságpapír visszaforgatása a gyártásba hosszú távon elsődleges lesz. A műanyag hulladékok kérdésében azok sokrétűsége miatt már nem ilyen egyértelmű a helyzet. Azoknak az elégetése jelentős energianyereséget jelenthet, de a klórozott polimer származékok az égetésnél komoly hátrányt okoznak.

A faanyagok, száraz mezőgazdasági hulladékok, mint a szár-anyagok és a lakossági szemét ilyen, szárazabb részei, nagyon alkalmasak közvetlen eltűzésre. A nagyobb nedvességtartalmú anyagok ezzel szemben a komposztálás vonalán hasznosíthatók kedvezőbben. Ez persze nem jelenti azt, hogy éles határ lenne a nedves és száraz állapot között. Ugyancsak nem minden szárazanyag javasolható tüzelésre a jelentkező berendezési igény és környezetszennyezés, netán a lakossági tiltakozás miatt. Mindegyik megoldás adott esetben optimális lehet, de úgy tűnik, a komposztálás nagyon sokféle hulladék, különösen a nedves, de esetenként a por formában jelentkező száraz anyagoknál is, szerencsésen alkalmazható újrafeldolgozás. Erre vonatkozóan a rendelkezésre álló hulladékmennyiségek sem jelentenek korlátozást. Valószínűsíthető, hogy a kis és nagyobb méretű komposztáló egységek, telepek is hosszú időre elláthatók kellő alapanyaggal a jelenleg még problémát jelentő hulladékcsoökkentés érdekében.

2.1. 1.2.1 A nedves alapanyagok problémája

A lakossági és ipari szennyvizek iszapmaradékainak közvetlen komposztálása azért jelent problémát, mert azok nedvességtartalma 70-80 % közötti. Ez olyan nagy víztartalom, ami a komposztálás hőmérsékletének emelkedését vagy szabályozását többnyire ellenőrizhetetlenné teszi. A komposztálás termodinamikájának ismerete és számbavétele ezért a nagyüzemi komposztálás esetében mindenképpen elengedhetetlen.

Alapszabály, hogy minél nagyobb az alapanyag (szerves anyag) nedvességtartalma, a komposztálomban, komposztprizmában annál nagyobb szabad levegőtérfogatnak kell lennie a megfelelő levegőztetés biztosítására. A víztelenített iszap ehhez közvetlenül nem megfelelő termék, mert vagy pasztaszerű, szabad levegőtérfogat nélkül, vagy saját súlya alatt ilyen anyaggá tömörödik. A nagy nedvességtartalom és a porozitás hiánya, a sűrűsödésre való hajlam miatt az ilyen szennyvíziszapot a komposztálás előtt, vagy annak folyamatában vízteleníteni, a kívánt nedvességtartalomig elő kell szárítani, hogy abból megfelelő minőségű, állagú, értékesíthető termék legyen előállítható. Napjainkra a probléma áthidalására sokféle megoldást, technológiát, technikát fejlesztettek ki a szennyvíziszapok komposztálására.

Nedves alapanyagok esetén a tervezőnek/üzemeltetőnek megfelelően be kell állítania az alapanyag fizikai állapotát (nedvességtartalom, fajtérfogat, szabad gáztérfogat-hányad), valamint annak biológiailag hasznosítható energiataralmát. Hasonlóképpen biztosítani kell a folyamatban a megfelelő levegőellátást az oxidációhoz, valamint a komposztálódó anyag szükséges nedvességtartalmának csökkentésére. A komposzt környezeti hatásoktól történő védelme szintén meghatározó lehet, különösen a csapadékosabb térségekben, időszakokban. Bár a víztartalom és energiaellátottság a nedves alapanyag komposztálásának meghatározó kérdése, a szennyvíziszapok számos előnyt is jelentenek a komposztálásnál. Rendszerint kellően homogének és nem kívánatos darabos szennyező anyagoktól mentesek. Rendszerint az összes, komposztáláshoz szükséges tápanyagot (N, P, mikroelemek) is kellő mennyiségben tartalmazzák, és a víztartalom beállításán túl minimális előkezelést, vagy utókezelést igényelnek a kereskedelmi termék előállításához.

2.2. 1.2.2 A száraz alapanyagok problémája

Az előzőek után úgy tűnhet, hogy az ott felsorolt legtöbb probléma elkerülhető. Sajnos egyáltalán nem így van. A száraz anyagoknak is megvannak a maguk felhasználhatósági határai. A száraz hulladékok, mint a mezőgazdasági maradékok, lakossági és kerti hulladékok, nagyon heterogének és többnyire szükségessé teszik az alapanyag válogatását, kezelését, mind a komposztálás előtt, mind azt követően az értékesíthető termék biztosítása érdekében. Az ilyen hulladékok tápanyagtartalmának, különösen a hasznosítható nitrogéntartalmának a hiánya, ami a lebomlásnál azután a biológiai folyamatok lelassulását is eredményezheti, általános. Esetenként azok aprítása is szükséges lehet a komposztálandó anyag homogenitása érdekében, hogy lebomlási sebessége gyorsabb, egyenletesebb legyen. Végül esetenként nedvesítésükre is szükség lehet az átalakítás során, mert a nedvességtartalom ugyancsak limitáló tényező a mikroorganizmusok aktivitásában.

Gyakran alapvető eltérések adódhatnak a látszólag hasonló alapanyagoknál is. A kerti hulladékok esetében a fűvet és a faleveleket gyakran együtt gyűjtik és komposztálják. Ugyanakkor arányaik meghatározóak a folyamat sebességére, egyensúlyára. A levelek megfelelően jó mechanikai stabilitással rendelkeznek, jó szerkezetű keveréket képeznek. Ugyanakkor nagyon lassan bomlanak, és friss állapotban maradnak még hosszabb tárolási időszakot követően is. Tápanyagtartalmuk (N) többnyire kedvezőtlen. Esetenként a jobb lebomlás érdekében még aprítani is célszerű a leveleket. A fű ugyanakkor nyersen túlzottan tömörödik. Nedvesen a lebomlása ugyanakkor rendkívül gyors, gyakran jobb, mint a nyers szennyvíziszapé. Ennek következtében a fű, fűcsomók gyakran berothadnak, és szaghatást eredményeznek, még akár mielőtt elérnék a komposztáló telepet. Nedvesen nem tárolhatók anélkül, hogy ne bűdösödjének, ezért nagyon gyorsan be kell dolgozni a nyersanyagba. A fűnek nagyon nagy a nitrogéntartalma is, ami a lebomlásakor nitrogénvesztést és célszerűtlen gázszennyezést (NO_x) is eredményezhet. A két kerti hulladék ezért igen eltérő a feldolgozhatóságát illetően.

Valamennyi potenciális komposzt-alapanyagot megvannak a saját különlegességei, amit a tervezőnek, üzemeltetőnek pontosan kell ismernie. Alapszabály ezért, hogy a tervezésnek és az üzemeltetésnek is egyaránt meghatározója az alapanyagok és azok tulajdonságainak, lebonthatóságának az ismerete.

2.3. 1.2.3 Termékminőségi előírások

Az alapanyag jellemzőinek ilyen fontossága esetén egyértelmű, hogy az előállítandó termék minőségét is hasonlóan behatárolják. Ez elsődlegesen a lakosság egészségvédelmét és a környezet minőségbiztosítását kell, hogy szolgálja a kereskedelmi termékek minőségi követelményein keresztül. A közegészségi kockázat a komposztálási technológiából a humán patogén szervezetek, levegőbe kerülő spórák és vírusok jelenlétéből adódik. A patogén kórokozók az alapanyaggal érkezik a feldolgozásra, ahol a táptalajon szükségszerűen szaporodni tudnak. A komposztálás során azonban elszaporodhatnak a környezetre kedvezőtlen spóráképző gombák is. Ezek a kórokozók természetesen a hő hatására nagyrészt elpusztulnak. Jelenlétük, gyakoriságuk azonban a kész komposzt minőségének egyik paramétere.

A nehézfémek és kis mennyiségben jelenlévő nem bontható veszélyes szerves anyagok a komposzt-termékkel a növényen keresztül a táplálékláncba kerülhetnek. Ezeknek az emberekre, állatokra és növényekre gyakorolt toxicitása ugyancsak pontosítandó. Legtöbb állami szabályozás az ilyen szennyezők mennyiségét határértékekhez köti. Ilyen szennyezők többnyire az alapanyagokkal, elsődlegesen a szennyvíziszappal kerülnek a technológiába. Ettől függetlenül a komposztálás a velük túlzott mértékben szennyezett iszapok feldolgozására is javasolható. Az ilyen anyagok biológiai stabilizálását azonban célszerű a jó minőségű, kereskedelmi termék előállításra alkalmas alapanyagoktól elkülönítve végezni.

Talán éppen a nehézfém és mérgező anyagok kizárása érdekében az állati eredetű trágyák komposztálását a gyakorlat a szennyvíziszapokétól szeparáltan végzi. Erre persze az is célszerű lehetőséget biztosít, hogy mindegyik keletkezési helye egyértelműen behatárolt és egymástól távoli.

Annak ellenére, hogy az áttekintő kimondottan a szennyvíziszapok komposztálási lehetőségére koncentrál, azok határértékeit nem kívánja részletes bemutatni, hiszen erre csaknem valamennyi, a tárgykörrel foglalkozó kiadvány részletesen sort kerít. Ugyanígy nem tér ki a különböző szerves szennyező-anyagok részletezésére, korlátozására sem, mivel azok viszont kommunális szennyvíztisztítók iszapjaiban a határértékek közeli koncentrációkban egyáltalán nem fordulnak elő. Ugyanez igaz a szennyvíziszap komposztálás segédanyagaként szóba-jöhető erdészeti, mezőgazdasági, esetenként élelmiszeripari hulladékokra is.

A kereskedelmi komposzt terméknek ugyanakkor sok olyan minősítő jellemzője van, melyek a közegészségi, vagy környezeti hatásukkal egyáltalán nem állnak összefüggésben. Ilyenek a szín, szemcseméret, gyommagvak jelenléte, egyéb inert anyagok vagy darabos ásványi részek, üvegtörmelék, műanyagok jelenléte, a szervesanyag-tartalom, a C:N arány, sótartalom, pH, nedvességtartalom és a nedvességtartó kapacitás. A gyommagvak ugyan zavaróak, de a komposztálás hőmérsékletének megfelelő értéken történő tartásával kipszűrhetőek. A komposztálás végtermékének azokat a tulajdonságait, melyek a közegészség tekintetében nem jelentenek kockázatot, nem is építik be az államilag készített termék szabványba. Ilyen például a termék színe is. Ezzel szemben az idegen anyagok mennyiségét szigorúan előírják.

Úgy tűnik, Európában az iparszerű komposztálás a jól szeparált homogén, állandó minőségű hulladékok feldolgozása felé tolódik el. Sok lakossági szilárd hulladékkomposztáló telepet éppen ezért vagy leállítottak, vagy megfelelően előszelektált hulladékok egyedi feldolgozására állítottak át, éppen a kereskedelmi komposzt kisebb idegen anyag szennyezése miatt.

2.4. 1.2.4 Elmélet és gyakorlat

A komposztálás egy meglehetősen összetett, ellentétes irányú hatásokat magába foglaló folyamat. Legjobb a gyors lefolyása, a szerves anyag ilyen stabilizálása lenne. Ez azonban gyors és intenzív hőfejlődéssel jár, ami olyan hőmérsékletre melegítheti az anyagot, ami a biológiai folyamatok lelassulását, gyakorlatilag leállítását is eredményezheti. A túlzottan energiadús tápanyagok ilyen értelemben nem is annyira kedvezőek. Azokkal nehezen biztosítható az egyidejűleg meghatározó több feltétel optimális értékének a beállítása. Az igazán rugalmas üzemeltetés tartós hőmérséklet mellett a szerves anyagok nagyfokú lebomlását biztosítja. Egyidejűleg ez megfelelő fertőtlenítést is eredményez. Hasonló alapanyag összetételnél hideg környezetben ugyanakkor mégsem tud a komposztalóm a megfelelő hőmérsékletre felmelegedni. A komposztálás valamelyest hasonlít a tüzeléshez, amikor egy nagy farönköt tesznek a kályhába. Lassan gyullad be, de ha egyszer elkezdett égni, elkezd lángolni, nehéz az égését szabályozni.

A komposztálás azonban csak látszólag van tele kérdőjelekkel. A folyamatot igen régóta biztonsággal alkalmazzák. Meghatározó kérdése a végtermék minősége és stabilitása, melyet az üzemeltető ma is elsősorban az anyag külleme, szaga és tapintása alapján minősít. Nem sikerült eddig olyan analitikai vizsgálatokat kifejleszteni, melyek az üzemeltető személyt helyettesíteni tudták volna. Bár az analitika folyamatosan fejlődik, javul, egyre hasznosabb információkat szolgáltat, az soha nem tudja helyettesíteni a megfelelően képzett üzemeltető gyakorlati tapasztalatait.

Egy 1989-es tanulmány azt írta a komposztálásról, hogy az a nem is olyan távoli jövőben majd a bor készítéséhez hasonló művészet lesz. A borásznak a vásárló igényeit kielégítő terméket kell előállítani. Hasonló igény jelentkezik a komposztot illetően is. Minimális követelményként biztonságosnak kell lennie, jó hatásúnak a növényzetre, és vonzónak a vásárló számára. Klasszikusan igaz, hogy nemcsak ismeretek, tudás, mérnöki, üzemeltetői szakértelem, de megfelelő művészi képesség is kell a jó bor előállításához. A borászat azonban sokkal közvetlenebb formában szolgálja az emberiség élvezeti igényét, ezért szinte bizonyosnak vehető, hogy történetileg a komposztálást megelőzően kifejlesztett gyakorlat és tudomány.

2. fejezet - A szennyvíziszap komposztálás segédanyagai

A szennyvíziszap komposztálásához alkalmas segédanyagok lehetnek lakásaink, környezetünk növényi hulladékai és egyéb növényi maradványok is. Az utóbbiak közül a fák lombozat és faanyaga, valamint feldolgozási hulladékai, mint a héjazat, és a fűrészpor jöhetnek kiemelten számításba. A faanyag inkább egyéb ipari hasznosításra kerül, s ennek megfelelően az ára is lényegesen nagyobb. Alkalmazható segédanyag még a szalma, valamint a napraforgó és a kukorica szára is. Közülük az elsőt használják általánosabban, mert az összegyűjtése kellően gépesítve van, így nagy tömege is megfelelően szállítható a termőföldről a komposztálás helyére. A kukorica és napraforgó szára rendszerint visszakerül a talajra, s abban stabilizálódik, komposztálódik a talaj mikroorganizmusai segítségével. Speciális mikrobiális oltással ma már ezt a lebomlást is segíthetik, gyorsíthatják, célirányosabbá tehetik. Miközben a cellulózbontó mikroorganizmusok a helyi humifikáció alapanyagát állítják elő azokból, az egyidejűleg adagolt azotobakter fajok a talajban jelentős nitrogénfixálást is végezhetnek, ami a műtrágyával történő nitrogénpotlást jelentősen csökkentheti. Ugyanez ma már a célja az egyre terjedő zöldtrágyázás technikájának is. Mindkét megoldás hiánya azonban, hogy a termékekkel a termőterületekről elszállított foszfor nem kerül vissza ugyanoda. Ezt a komposzt visszaforgatása biztosíthatja, amely mind a szennyvíziszap, mind a strukturanyagok foszfortartalmát visszajuttatja a termőhelyre, miközben a szennyvíziszap nitrogéntartalmának jelentős része is visszakerül oda.

Más szóba jöhető segédanyagok a mezőgazdasági, erdészeti hulladékok (szalma, fűrészpor, napraforgó és kukoricaszár, kukoricacsutka). A felsorolt lista messze nem teljes, de jól mutatja a szennyvíziszap komposztálásához hasznosítható növényi hulladékok széles skáláját. A gyakorlatban a faapríték, szalma és a fűrészpor a legfontosabb segédanyag.

A valamiképpen elővíztelenített szennyvíziszapnak a segédanyagokkal történő vegyes komposztálásánál a tervezőnek/üzemeltetőnek megfelelően be kell állítania a keverék (komposzt alapanyag) fizikai állapotát (nedvességtartalom, gáztérfogathányad), valamint annak a biológiailag hasznosítható energiatartalmát. Hasonlóképpen biztosítani kell a folyamatban a megfelelő levegőellátást az ilyen oxidációhoz, valamint a komposztálódó anyag szükséges nedvességtartalmának csökkentésére. A komposzt környezeti hatásoktól történő védelme szintén meghatározó lehet, különösen a csapadékosabb térségekben, időszakokban. Bár a víztartalom és energiaellátottság a nedves alapanyag komposztálásának meghatározó kérdése, a szennyvíziszapok számos előnyt is jelentenek a komposztálásnál. Rendszerint kellően homogének és nem kívánatos darabos szennyező anyagoktól mentesek. Rendszerint az összes, komposztáláshoz szükséges tápanyagot (N, P, mikroelemek) is kellő mennyiségben tartalmazzák, és a víztartalom beállításán túl minimális előkezelést, vagy utókezelést igényelnek a kereskedelmi termék előállításához.

1. 2.1 Az alapanyag összeállítása

A nedves szennyvíziszap soha nem bizonyult önmagában megfelelő komposzt alapanyagának, kivéve az olyan kísérleti üzemeket, ahol folyamatos keverést lehetett biztosítani. A szennyvíziszapok nagy nedvességtartalma azok olyan tömörödését eredményezi, ami teljesen kiszorítja a levegőt a szilárd fázisból. Ezért is csak intenzív keverés biztosíthatja ilyenkor a megfelelő oxigénbevittelt. Ezzel szemben a túlzottan száraz anyagoknál víz hozzáadására lehet szükség a mikroorganizmusok tevékenységéhez szükséges nedvességtartalom beállítására. Sokszor a tápanyagtartalom megfelelő beállítására is szükség van a nitrogén, foszfor vagy más mikroelemek hiányának biológiai folyamatokat lassító hatásának elkerülésére. Ezt az előkészítő műveletet az általános gyakorlat nyersanyag vagy alapanyag kondicionálásnak nevezi.

A komposztálást tervező és üzemeltető szakembereknek elég kevés lehetőségük van a beinduló biológiai folyamatok további szabályozására. Éppen ezért az alapanyag megfelelő összetételének beállítása rendkívül jelentős. Az iszap és segédanyag keveréke nedvességtartalmán túl a komposztálandó keverék biológiailag bontható szerves anyag tartalmát (energiatartalmát), porozitását is be kell állítani. Az alapanyag keveréséhez, összeállításához a gyakorlatban három lehetőség áll rendelkezésre:

- a késztermék visszaforgatása, alapanyaghoz történő keverése,
- energianövelő, lebontást, komposztálódást gyorsító segédanyagok adagolása,
- gáztérfogathoz növelő, úgynevezett „formázó anyag” keverése az alapanyaghoz, majd eltávolítása a késztermékből és visszaforgatása az alapanyaghoz.

Szóba jöhet természetesen a fentiek kombinációja is.

2. 2.2 Segédanyag és töltőanyag funkció a szennyvíziszapok komposztálásánál

A segédanyagokat az alapanyag összetételének helyes beállítása érdekében használják. Két típusuk különböztethető meg:

Szerkezetjavító, vagy szárító segédanyagok. Ezek rendszerint szerves anyagok a fajterfogát növelése, a keverékben kialakuló szabad légtér-hányad növelésére, s ezzel a levegőellátás lehetőségének a javítására.

Kalóriaérték növelő segédanyagok. Ezek olyan szerves anyagok, amely növelik az alapanyag biológiailag bontható szerves anyag hányadát, növelve azzal annak az egységnyi tömegéből felszabaduló hő mennyiségét.

A szennyvíziszap nedvességtartalmának beállítására a faaprítékon túl a már említett fűrészport, szalmát, tőzeget, kerti hulladékot, és más, cellulóz tartalmú hulladék anyagokat is sikeresen alkalmaztak. Az ideális segédanyag száraz, kis térfogatsúlyú és viszonylagosan jól bontható.

A kész komposzt visszaforgatása ugyancsak gyakorlat a térfogatsúly csökkentésére. Ezt azonban a külső segédanyagok alkalmazásától meg kell megkülönböztetni, mert nem jelenti új anyag hozzáadását az alapanyaghoz, különösen nem biológiailag bontható, hőt termelő anyag hozzáadását. Éppen ezért nedves alapanyagok esetében a kész komposzt, vagy a stukturanyag visszaforgatását gyakran egy energianövelő segédanyag adagolásával együtt alkalmazzák. Ilyen megoldással csökkenthető a szükséges segédanyag mennyisége.

Töltő vagy strukturáló anyagok az olyan szerves anyagok lehetnek, amelyek szemcse (részecske) mérete megfelelő szerkezeti vázat (porozitást) biztosít az iszapkeverék szükséges mértékű átlevégőztetéséhez. Ha a strukturáló szerves anyag a komposztálás folyamán lebontható, további előnyt is biztosíthat. A mintegy egy-két inch méretű faapríték a leggyakrabban felhasznált strukturáló anyag (formázóanyag), de más formált anyagok, rönkhéj vagy durva méretre aprított keményfa, vagy akár fűrészpor, szecskázott szalma is alkalmas a lakossági szennyvíziszap komposztálásához.

A segédanyag vagy töltőanyag ilyen elkülönített megnevezése a szennyvíziszap komposztálásának a gyakorlatában alakult ki, ahol az elsődleges alapanyagok a víztelenített nyers, vagy rothasztott szennyvíziszapot tekintik. Sajnos ez néha eltereli a figyelmet a segédanyagok és töltőanyagok jellemzőinek, lebomlásának fontosságáról. Kiemelendő, hogy a technológia szempontjából mindegyik bedolgozott segédanyag alapanyagok tekintendő, megnevezésétől függetlenül.

3. fejezet - A szennyvíziszap komposztálási technológia fő lépései

A komposztálást több fázisra, egy főlépcsőként alkalmazott intenzív bontásra, majd azt követő érlelésre szokás felosztani. A két lépcső között nem húzható éles határ. A nagy sebességű első lépcső forgatott prizma, levegőztetett sztatikus halom, vagy zárt reaktoros megoldás is lehet. Jellemzője a nagy sebességű oxigénfelhasználás, termofil hőmérséklet-tartomány, s a bontható anyagok gyors elbomlása, az egyidejű jelentős szagvesztéssel. Az utóbbit a statikus rendszerek zárttá alakításával s gázainak valamilyen tisztításával csökkentik.

A második lépcsőben, ami a komposzt érlelése, mind levegőztetett, mind levegőztetés nélküli halmos, prizmás, sőt zárt reaktoros rendszerek is alkalmazhatók. Ebben a szakaszban már alacsonyabb a hőmérséklet, kisebb az oxigénfelvétel sebessége, és nem jelentkezik szagprobléma. Az érlelés során bomlanak le a különösen nehezen bontható szerves anyagok, valamint amelyek valamilyen ok miatt (tápanyaghiány, kisebb hőmérséklet, szárazabb környezet) nem tudtak az első szakaszban lebomlani. Ekkor kiegyenlítődik a rendszer mikroorganizmus állománya, amely a komposzt érlelésében, humifikációjában, a fitotoxikus vegyületek lebontásában, és a növénykártévők visszaszorításában játszik fontos szerepet.

A komposztálás első lépcsője hagyományosan jobban tervezett és szabályozott az ott jelentkező nagyobb sebességű folyamatok, oxigénigény, nedvességvesztés miatt. Az érlelés ezzel szemben általában alig ellenőrzött folyamat. Természetesen ettől függetlenül a komposzt érlelése ugyanolyan fontos a tervezés és üzemeltetés tekintetében, hiszen a termék végső formáját, küllemét éppen az utóbbi határozza meg. Az érési időszakban a humifikáció kellően előrehaladottá válik, ami a szerves anyag stabilizálását, további igen lassú lebomlását, lassú tápanyag leadását eredményezi. Ezért is jelentenek a megfelelő komposztok minimális talajvíz-szennyezést okozó, hosszú hatásidejű talajtápanyag utánpótlást a termőtalajoknak.

1. 3.1 Előkészítő és utókezelő műveletek

Az alapanyagok előkezelése a tulajdonképpeni kondicionálást megelőzően is fontos lehet a komposztálás érdekében. Az anyag érlelés előtti, vagy azt követő fizikai kezelése ugyanakkor az utókezelés. Ezek a műveletek éppen az alapanyag jellemzői, valamint termék megkívánt minősége érdekében lehetnek különösen szükségesek.

1.1. 3.1.1 Szennyvíziszapok

A kommunális szennyvíziszapok viszonylag homogén és darabos anyagoktól mentes termékek. Rendszerint fűrészpor, szalmaszecska és a faapríték hozzáadásával kondicionálják azokat. Ilyenkor az előkezelés az alapanyagok tárolását, összemérését, valamint az egyes komponensek és a visszaforgatott kész komposzt összekeverését jelentik. Az utóbbit mindig mechanikus berendezésekkel végzik, melyek esetleg a komposzthalom kialakítására, vagy a komposztprizmák, blokkok betöltésére is alkalmasak. A fűrészpor minőségétől függően annak a rostálására is szükség lehet. Erre is különböző berendezések jöhetnek szóba. Ilyen kizárólagosan fűrészporos komposztálást követően azonban utókezelésre általában nincs szükség. Gondos utókezelést főleg akkor kell végezni, ha finom állagú termék előállítására a cél, illetőleg a töltőanyagot, vagy formázó anyagot el kell különíteni a terméktől annak a visszaforgatása érdekében. A szennyvíziszapokat ilyen segédanyagokkal komposztáló rendszerek általában kitűnő minőségű, szennyező anyagoktól mentes komposztot termelnek.

Az iszapkomposztáló rendszerek többsége fűrészport, vagy más finoman aprított segédanyagot ad a víztelenített nyers iszaphoz. Széleskörű gyakorlat a mintegy 6-8 tömegszázalék szalmával történő keverés is. Szálas szalma esetén a viszonylag nedves víztelenített iszapok gyors víz-eleresztése jelentkezik, ami rövid idő után egy lényegesen szárazabb alapanyag prizma összerakását teszi lehetővé. Ez akkor lehet hatásos, ha a csurgalékvíz megfelelő elvezetése, tehát az alapanyag ilyen megoldású további víztelenítése, szárítása biztosítható. Szárazabb nyers szennyvíziszap centrifugátum, vagy préselt iszap esetében a 10 tömeg % körüli szalma, fűrészpor már önmagában is elég a szükséges nedvességtartalom beállításához. Ez mintegy 1:1 – 1:2 térfogatarányú iszap : segédanyag keverést jelent a szalma és fűrészpor, valamint az iszap nedvességtartalma függvényében.

Fűrészpor és finomra aprított szalma esetében a keverék még így is kedvezőtlen, tömörödéssé hajlamos, ami a levegőztethetőségét rontja. Éppen ezért ezeknél a komposzthalmok időszakos, viszonylag gyakori átkeverése, levegőztetése, tehát a dinamikus komposztálás a gyakorlat. A keverék anaerob előtárolása, majd durvább struktúrányaggal történő további keverése a szabad gáztérfogat növelése érdekében ugyanakkor előnyös lehet, s akár a statikus komposztálást is lehetővé teszi.

1.2. 3.1.2 Komposztálást befolyásoló tényezők

A komposztálás a kommunális, illetve élelmiszeripari, mezőgazdasági termelési hulladékok feldolgozására alkalmas, irányított, aerob biokémiai eljárás. Meghatározott feltételek biztosításával olajok és zsírok feldolgozására is használható. A folyamatban résztvevő heterotróf mezofil és termofil mikroorganizmusok (köztük nagy mennyiségű gomba) enzimek a szerves anyagokat előbb hidrolízis és biológiai oxidáció útján részlegesen lebontják, majd a bomlástermékek polimerizációval, polikondenzációval egy még stabilabb, bonthatatlanabb humusszerű anyaggá alakulnak. Ennek a folyamatnak a végterméke a stabil szerves anyagok és szervesetlen ásványi anyagok keveréke lesz, amit komposzt néven ismerünk. Ez földszerű, kb. 40-50% nedvességtartalmú anyag (komposzt), amely szerves anyag és növényi tápanyag-tartalma miatt (pl. foszfor, nitrogén, kálium, nyomelem) a talaj termőképességének növelésére hasznosítható.

A mezofil - termofil - mezofil tartományú mikrobiológiai lebontási, átalakulási folyamatok eredményeképpen a hulladékban lévő patogén mikroorganizmusok nagy része elpusztul. A jól szabályozott folyamat eredményeképpen a hulladék esetleges fertőzőképessége megszűnik.

A komposztálással csak a mikroorganizmusok számára hozzáférhető és toxikus anyagot nem tartalmazó szerves hulladékok bonthatók, ezért különösen fontos, hogy a kiindulási anyagban toxikus nehézfém vagy toxikus szerves anyag ne vagy csak minimális mennyiségben legyen (feldolgozás előtti hulladék minőségének ellenőrzése).

A komposztálás folyamatát döntően befolyásoló tényezők technológiailag jól szabályozhatók (komposztálandó anyag minősége, C és N tartalma, aprózottsága és homogenitása, a nedvességtartalom, a levegőellátottság, a hőmérséklet, a pH-érték)

1.2.1. 3.1.2.1 A levegőellátás

A komposztálandó anyagkeverék darabos, fellazított szerkezete biztosítja az aerob viszonyok fenntarthatóságát, a folyamat megfelelő levegőellátását. Ha a kerti hulladékok döntően fű és levélrészecskékből állnak, alig igényelnek előkezelést, különösen, ha a forgatott prizmás komposztálás segédanyagát képezik. A laza szerkezet megőrzése érdekében pl. zöld hulladék, nyesedék komposztálásánál az un. előaprítással kb. 15-30 cm hosszú aprítékot kell előállítani. Sajnos a kavics és egyéb hulladéktartalma miatt felhasználásakor a komposzt utókezelése, rostálása szükséges lehet. Fanyesedékek, fahulladékok felhasználásakor ezzel szemben azok előzetes aprítása az, ami elengedhetetlen. Az elő és utótisztítás soha nem helyettesítheti a kellően tiszta alapanyagot. Ez nem jelenti azt, hogy egyes alapanyagból, a szilárd lakossági hulladék bontható részéből nem lehet piacképes terméket előállítani. Az azonban mindenképpen biztos, hogy annak a minősége a tiszta anyagokból előállított komposztokéhoz képest gyengébb, komposztálásuk munkaiágénye, komplikáltsága nagyobb lesz.

A megelőző aprítás és homogenizálás (keverés) részben a mikroorganizmusok szerves anyagokhoz való hozzáférési esélyeit javítja, részben a különböző hulladék összetevők keveredett, egyenletes elhelyezkedését biztosítja a komposztálandó anyag tömegében belül. A túlzott mértékű aprítás - szecskázás - azonban kerülendő, mert az anyag összetömörödését előidézve, kedvezőtlen mikro környezet kialakulását eredményezheti. Az aprításnál alkalmazott tépési technika a mikroorganizmusok nagyobb felületen történő megtapadását segíti elő.

1.2.2. 3.1.2.2 C/N arány

A megfelelő komposztáláshoz biztosítani kell a mikrobiológiai folyamat beindulásához szükséges tápanyag-összetételt, amelyet leginkább a C/N-arány beállításában nyilvánul meg. Az optimális C/N-arány 30:1-hez (a kiindulási anyagra vonatkozóan ezt az arányt 25:1 -35:1 közötti tartományban állítják be). A túl magas C/N-arány arra utal, hogy a nehezen lebomló anyagok részaránya magas, az alacsony arány pedig a könnyen lebomló alkotók túlsúlyát jelzi.

Néhány fontosabb nyersanyag C:N aránya

A szennyvíziszap komposztálási
technológia fő lépései

- fakéreg	120:1
- fűrészpor	500:1
- papír, karton	350:1
- konyhai hulladék	15:1
- kerti hulladék	40:1
- lomb	50:1
- fű	20:1
- szalma (rozs, árpa)	60:1
- szalma (búza, zab)	100:1
- vágóhídi hulladék	16:1
- marhatrágya	25:1
- kommunális kevert biohulladék	35:1
- lakossági szennyvíziszap	10-15:1

Nagyon lényeges tehát, hogy a komposztálandó anyagok keverékének összeállításával a szubsztrát megfelelő C/N-arányát hozzák létre. Indokolt esetben nitrogén, foszfor és nyomelemek adagolására is sor kerülhet (pl. mezőgazdasági kultúráknál történő komposzt hasznosításkor).

A jobb komposztminőség, a biztonságosabb érés miatt sokszor adalékanyagok felhasználására van szükség. Ezek felhasználásával javulhat a komposzt ásványi anyag tartalma, csökken a tápanyagveszteség, szabályozható a pH, stb. Jellemző adalékanyagok: mész, kőporliszt, agyag, bentonit, tőzeg, műtrágya, vér- és csontliszt, stb.

1.2.3. 3.1.2.3 Víztartalom

Az egyik legfontosabb tényező a komposztálandó anyagtömeg víz tartalma, ugyanis a komposztálást megelőzően az apríték felületén kialakuló vízfilmben elhelyezkedő mikroorganizmusok aerob körülmények között extracelluláris enzimekkel bontják le, illetőleg alakítják át a szerves anyagokat. Az ideális nedvességtartalom alsó határa 30-40 m/m-%, felső határa 60-65 m/m-%.

Ezen határok között tartásához a komposzt rendszeres nedvességtartalom-ellenőrzését biztosítani kell. A nedvességtartalom csökkenése a baktériumok tevékenységét befolyásolja, csökkenti, ezáltal az éresi folyamat lelassul, a komposztálási idő megnövekszik; növekedése pedig anaerob irányba tolhatja el a rendszert.

1.2.4. 3.1.2.4 pH-tartomány és hőmérséklet

A komposztálásban résztvevő mikroorganizmusok pH-tartománya 4-9 érték közé esik, savas viszonyok esetén inkább a gombák, lúgos körülmények között pedig a baktériumok tevékenykednek. A kedvezőtlen pH-viszonyok elkerülését esetlegesen mész adagolásával valósíthatják meg. A mikroorganizmusok életfeltételei a mezofil, illetőleg termofil tartományokban megfelelő mikrokörnyezeti hőmérséklet fenntartását igénylik, ami a folyamat rendszeres hőmérséklet-ellenőrzését teszi szükségessé.

A hőmérsékletmérés a komposztálási folyamat szabályozásának egyik fontos feltétele. Ezáltal betekintést nyerhetünk a bomlási folyamatokba, mert a hőmérsékletalakulás jó kifejezője a technológiában résztvevő tényezők összhatásának (anyagminőség, levegőellátás, nedvességtartalom, pH-érték). A bomló anyag és a külső környezet közötti állandó hőcsere annál intenzívebb, minél nagyobb a két közeg közötti hőmérséklet-különbség és tömegéhez képest minél nagyobb a bomló anyag környezettel érintkező felülete. Nagy a hőveszteség, ha az anyagtömeg kevés vagy ha a nagy anyagtömegeket nagy felületű formákba (pl. keskeny, hosszú prizmákba) rakják.

Figyelembe kell venni viszont azt is, hogy a tömeghez képest viszonylag kis felületek (pl. kazlakba való összerakás) esetén az anyag gázcseréje csökken, a folyamat anaerobbá válhat. Ilyenkor mesterséges levegőztetés válhat, szükségessé vagy a szokásosnál többször kell átforgatni az komposzthalmot.

Különösen hangsúlyozni kell, hogy a komposztálás egyik legfőbb feladata a hulladékokban esetlegesen előforduló emberi, állati, növényi kórokozók elpusztítása. Ez a tartósan magas hőmérsékleten végbemenő komposztálással érhető el. Ezért arra kell törekedni, hogy a komposztálandó anyag egész tömege hosszabb időn (min. 14 napon keresztül 55°C-nál, illetőleg min. 7 napon keresztül 65°C-nál) magasabb hőhatáson menjen át

(ebben a termofil tartományban a hőmérséklet a 70-75 °C-ot is elérheti). A magasabb hőmérsékleti átlagszint esetén a lebomlás időtartama is csökkenhet.

1.2.5. 3.1.2.5 Végtermék-kihozatal

A komposztálási végtermék-kihozatal függvénye a feldolgozandó hulladék összetételének és az alkalmazott technológiának. A gyakorlatban az anyagveszteségek a száradásból, a szerves anyag lebomlásából, oxidációjából, továbbá az idegen anyagok (fémek, kő, műanyagok stb.) elkülönítéséből adódnak. Ennek megfelelően a veszteségek mértéke függ a kiindulási nyersanyagok nedvességtartalmától, összetételétől és idegenanyag tartalmától, továbbá attól, hogy a folyamatot milyen fázisában (előrehaladottságában) szakítják meg. Ezért a komposztkihozatal mértékét csak hozzávetőlegesen, tág határok között lehet megadni. A teljes mértékben végrehajtott komposztálási folyamat bomlási, párolgási és idegenanyag veszteségei együttesen elérhetik az 50-60 m/m-% értéket, így rendszerint maximum 40-50 m/m-%-os komposztkihozattal lehet számolni. A nem komposztálható szilárd maradékok (idegenanyagok) hulladéklerakón ártalmatlanítandók.

2. 3.2 Sztatikus prizmás, vagy reaktoros komposztálás

A sztatikus prizmák, vagy statikus reaktorok megnevezése arra utal, hogy a komposztálás során nem történik ciklikus átforgatás, keverés. Ez az egyes paraméterek jellemző gradienseinek kialakulását, a folyamatok időbeni elnyúlását, valamint az anyagminőség inhomogenitását eredményezheti a halmokban.

A hazai gyakorlatban Magyarországon igen sok helyen megvalósult napjainkra már a betonmedencés, elvileg statikusan levegőztetett „csaknem prizmás”, GORE-tex fedéssel zárttá tett megoldás. Emellett számos ide sorolható technológia ismeretes, melynél a megfelelően bekevert alapanyagot teljesen zárt, statikus körülmények között tartják, levegőztetik, vagy akár melegítik is, a lebomlási folyamatok sebességének meggyorsítására. Ezeknél a megoldásoknál lényegesen rövidebb intenzív lebontási szakasz (akár egy hét) után is helyezhető a félig kész komposzt az érlelő prizmákba, halmokba. Ilyen előkomposztálásnál az érlelés is rövidebb időtartamot vehet igénybe, mint a nem reaktoros, gyengébben hőszigetelt rendszereknél.

Ezek a statikus, víztelenített iszapot segédanyaggal komposztáló rendszerek a múlt század 70-es éveitől terjedtek el az USA-ban. Oxigén ellátásukat levegő befúvatásával biztosítják. A strukturáló (formázó) segédanyag, rendszerint faapríték, a komposztálást követően eltávolításra kerül a késztermékből, és újra visszakeverik azt az alapanyaghoz. A faapríték jó nedvességmegtartó anyag, és egyidejűleg szerkezetjavító, porozitás növelő komponens. Ezt a funkcióját azonban csak már kellően száraz iszapok esetében tudja betölteni.

Túlzottan nyers, nedves szennyvíziszappal kevés faapríték darabos részeket tartalmazó kenőccsé válik. A faapríték arány növelésével ez a rendszer faaprítékot tartalmazó iszapcsomóra esik szét, melyek még mindig túl nedvesek a megfelelő kiszáritáshoz. Nyers iszap (nem rothasztott) felhasználásakor az említett kenőccszerű, levegőztethetetlen állapotnál, vagy nagyobb anaerob iszapcsomók kialakulásakor igen gyakran zavaró az anaerob folyamatok okozta szag keletkezése. A faapríték hányad további növelésével a megfelelő nedvességtartalom elérhető, miközben a nyers iszap energiataralma a komposztkeverék kiszáradását is biztosíthatja. Gondot jelenthet azonban a keverék túlzott tömörödése a komposztálás során, amely a további kezelésnél megfelelő előaprítást igényel a rostálás előtt. Az ilyen vizes iszapok komposztálására mindenképpen a dinamikus megoldás javasolható, amely levegőztet is és a keverék folyamatos aprítását is biztosítja.

A fenti munkaigény csökkentése vezetett érdekében inkább az alapanyagok bekeverését igyekeztek javítani. Jó állagú alapanyag keverékkel, megfelelő levegőztetéssel a statikus komposztálás jó minőségű alapanyagot biztosít a további, levegőztetés nélküli statikus érleléshez, humifikációhoz. Az utóbbival mind a rothasztott, mind a nyers lakossági szennyvíziszapok szerencsésen feldolgozhatók. Különösen javasolják a megoldást nedvesebb iszapok komposztálására nagy strukturanyag hányaddal, mivel ekkor a formázó, vagy töltőanyag megfelelő porozitást, szabad gáztérfogatot, a fúvatás pedig jó levegőztetést biztosít a komposztalomban.

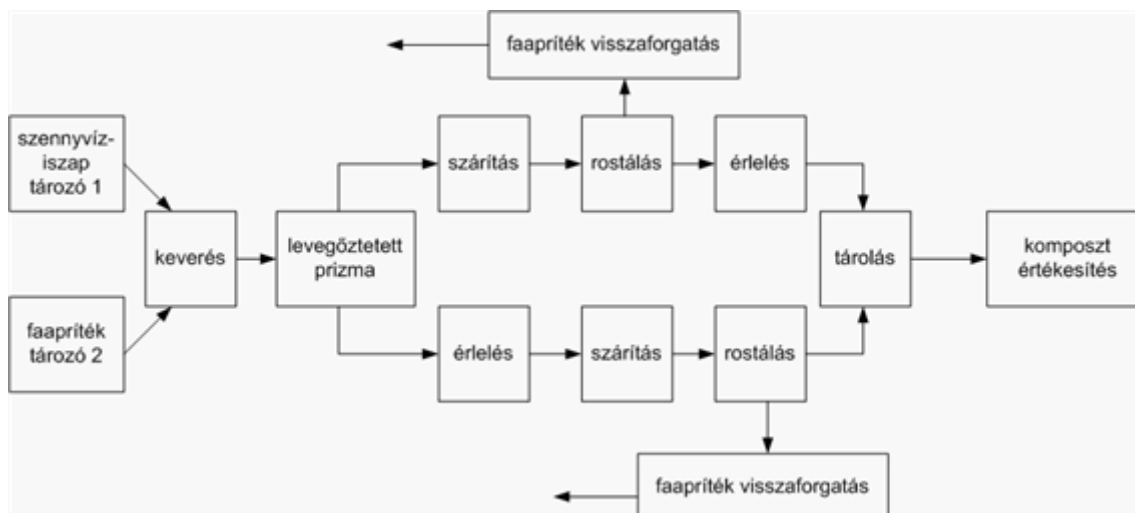
Esetenként a két lépcső között megfelelő lignocellulóz bekeverésre is sor kerülhet, melynek a lebomlását a második fázisban speciális lignin és cellulózbontó kultúrák adagolásával is javítani lehet. Így lényegesen nagyobb humusz tartalmú termék állítható elő a technológiával.

2.1. 3.2.1 Üzemeltetési paraméterek

A levegőztetett sztatikus prizma vagy halom abban különbözik a forgatott prizmától, hogy nincs ciklikusan átkeverve. Az aerob körülményeket a halomban a mesterséges levegőztetés biztosítja. Más jellemző

különbségek, hogy ennél a korábban már komposztált anyagot rendszerint nem keverik vissza a nyersanyaghoz annak merevítése, nedvességtartalmának beállítása érdekében, csupán a rostálásnál fennmaradó, döntően el nem bomlott strukturanyagot, amelyből az ilyen komposztáláshoz többet kell használni, mint a ciklikus keveréssel történő komposztáláshoz. A strukturanyag rendszerint durvább faforgács, amely a nedvesség megkötésére és a porozitás javítására egyaránt alkalmas. A faapríték térfogat-aránya a szennyvíziszaphoz általában 2/1 és 3/1 között javasolt. Legtöbb tapasztalat a faforgács felhasználására van, de más formázó anyagok is felhasználásra kerültek. Nyilvánvalóan mind a töltőanyag mérete, mind mennyisége ellenőrizendő a kedvező porozitás beállításához, és a szükséges levegőztetés (megfelelően kis fűvételjesítmény) eléréséhez. A folyamat általánosítható sémája az 3.1. ábrán látható.

3.1. ábra - A szennyvíziszap és faforgács együttes sztatikus komposztálására alkalmas levegőztetés és anyagfeldolgozás különböző lépései.



A komposzt-halmos kialakításának lépései a következők:

- az iszap alapanyag és a strukturáló komponens megfelelő keverése,
- 0,3 m vastag töltő- vagy formázóanyag-réteg kialakítása levegőztetett prizma-alapként az alapzatba fektetett levegőztető csövek felett,
- az iszap / faapríték elhelyezése vastag halomban az előkészített levegőztető-ágyon,
- komposzthalom külső felületének betakarása rostált, vagy rostálatlan kész komposzttal (hőszigetelés), esetleg GORE-takarás,
- fűvó és a levegőztető csövek összekötése, beüzemelése (ez utóbbit esetenként a feltöltés alatt is javasolják).

A levegőztetés fűvatással történik. A fűvót az aerob környezet fenntartásának megfelelően kell szabályozni. Általában ki/be kapcsolós üzemmódban működik a komposzthalom túlzott lehűlésének elkerülésére. A ki/be kapcsolás ugyanakkor a komposzthalom hőmérsékletének a visszacsatolásával, mint beállítandó alapjellel is szabályozható.

A felső légtér szívása esetén a gáz szagtalanítása könnyebben megoldható. Korábban általános gyakorlat volt az ilyen gáz finom komposzt szűrőrétegen történő átvezetése. Napjainkban a GORE takarón kialakuló biofilmmel és az alatta kialakuló nedvesebb komposztkeverék biológiai gáztisztító hatásával is megfelelő szagtalanítást érnek el.

A komposzthalmoknál általában a minimálisan 3-4 hetes intenzív lebontást alkalmazzák, melyet követően a halmot szétbontják. Ez az időtartam esetleges, de a gyakorlatban megfelelőnek bizonyult a legtöbb szennyvíziszapnál. Mint említve volt, a gyorskomposztálás nagyobb hőmérsékleten már egy hét alatt is elegendő lebomlást biztosíthat az utóérlelés előtt. Valószínű, hogy a tervezőknek, üzemeltetőknek nem kellene félni a hosszabb kezelési idők alkalmazásától sem, mint azt a GORE technológia is ajánlja, de rendszerint nem tervezi.

A komposztkeverék előzőekben felsorolt alapanyagait rendszerint külön-külön halmokban tárolják. A kiérlett komposzt anyagot a töltőanyag kirostálása előtt célszerű kitermelni a halomból, s azzal kicsit még szárítani is lehet. Az alapanyag-keverék nedvességtartalma igen fontos paraméter, amely meghatározza a termék és a faforgács szeparálhatóságát. A minimális szárazanyag-tartalom 50 %, de kedvezőbb az 55 % körüli érték a

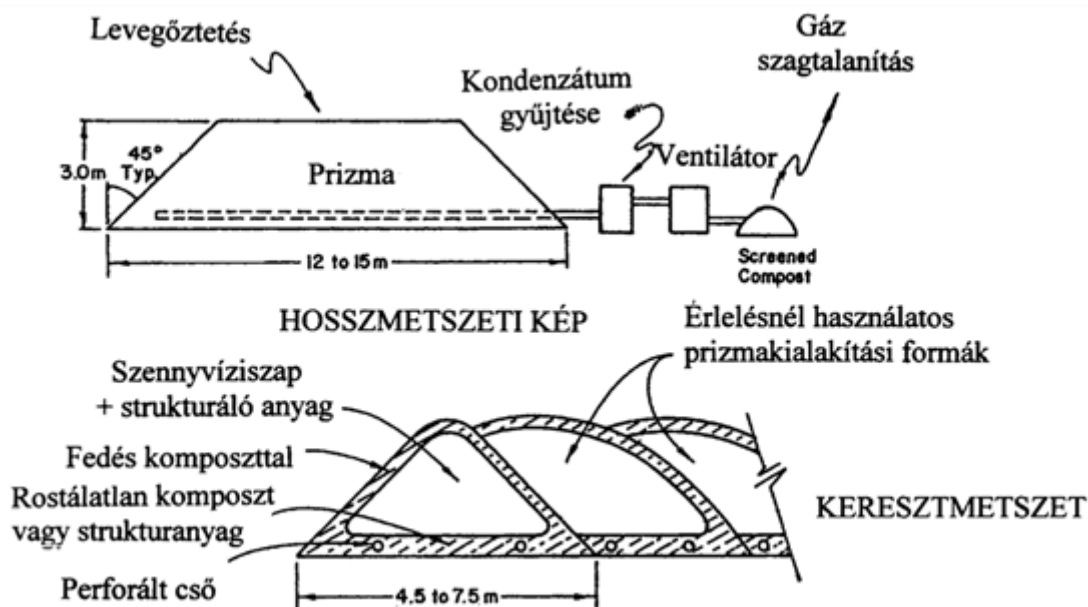
vibrációs- és dobostákkal történő szétválasztásnál. Több esetben is hasznosnak találták a gyorskomposztált termék további egy-két hónapra történő felhalmozását, és levegőztetését is. A keverés eredményeként a hőmérséklet további stabilizálása, esetenként növekedése és az anyag száradása volt megfigyelhető. Számos telepen a rostálást megelőzően külön utószárítást biztosítottak fedett térben, ahol levegőztetést is végeztek.

A töltő, formázó anyag elválasztása a készterméktől, majd újra felhasználása mindenképpen szükséges, hiszen általában nagy mennyiségben használatos és jelentős költség-hányadot képvisel. Ez a kész, kereskedelmi termék minősége miatt is elengedhetetlen. A 3-4 hetes komposztálás alatti kiszáradás fokozható a szennyvíziszap (meghatározó alapanyag) előzetes hatékonyabb víztelenítésével, valamint intenzívebb levegőztetéssel. A folyamat „hőmérsékleten tartása” azonban alapvető követelmény a sterilizálás érdekében. Ugyanígy a száradás is a levegőztetési programmal szabályozható. A faforgácsnak csak az apróbb darabjai bomlanak le részlegesen a komposztálásnál. A fizikai aprózódás azonban egyértelműen megfigyelhető. Ez anyagvesztiséget jelent a rostálásnál. A strukturáló, formázó anyag részarányának folyamatos fenntartását ezért annak a megfelelő nyers faapríték utánpótlásával lehet biztosítani.

Általános, hogy az ilyen komposzthalmok alól a szivárgó vizet is, különösen az első néhány napban, valamiképpen összegyűjtsek és elvezessék, ha túlzottan nagy víztartalmú iszap alapanyagot dolgoznak fel. Jól rothasztott és víztelenített lakossági szennyvíziszap, és kellően kiszáradt strukturanyag esetén erre nincs szükség. A keverék alá terített 20-30 cm vastagságú strukturanyag réteg is csökkenti a vízeleresztés gyakoriságát.

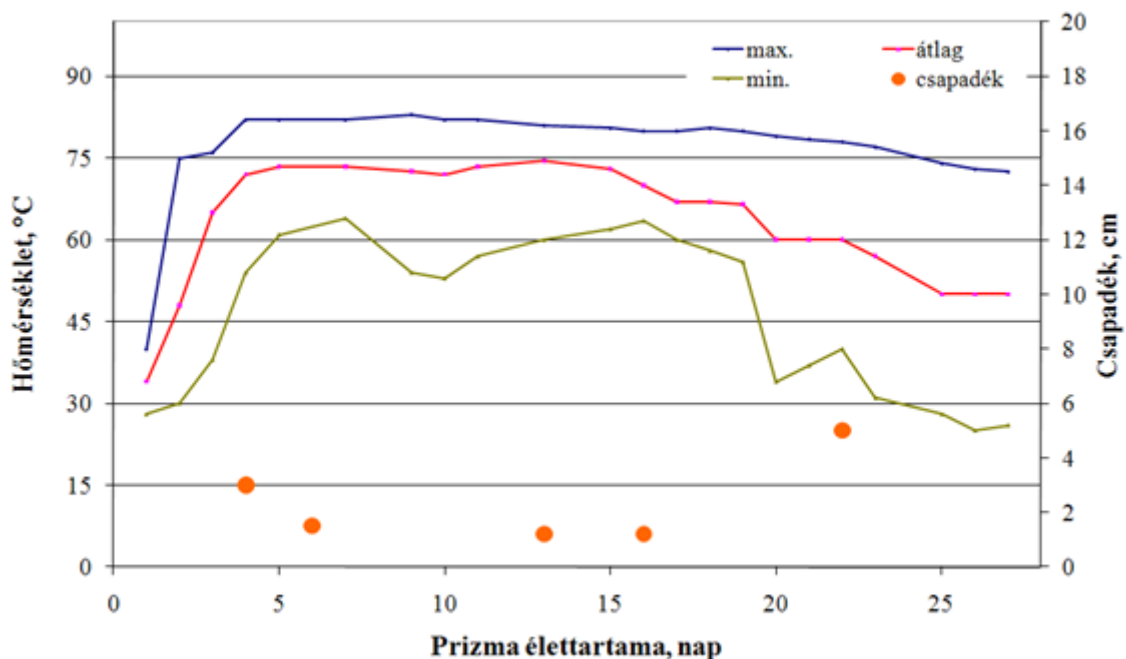
A statikus komposzt-halmok jellemző kialakítása látható a 3.2. ábrán. Az eddigi gyakorlat során számos alapanyag előkészítési módosítási javaslat történt a területigény csökkentésére. Egyik lehetőség az, hogy az új halmokat a régi halmok alapjára rakják. Más javaslat szerint a halmok méretének, magasságának növelésével ugyanígy jelentős megtakarítás jelentkezhet az új halmok kialakításánál. Egyik javaslat sem jelent azonban alapvető technológiai változtatást. Az előző változatot sokhelyütt bevezették, de a halmok magasságát nem igen változtatták. A maximum a nyersanyag felrakásakor valahol 3-4 méter között van.

3.2. ábra - Statikus komposzthalom méretezése 40 m³ víztelenített szennyvíziszap feldolgozásához.



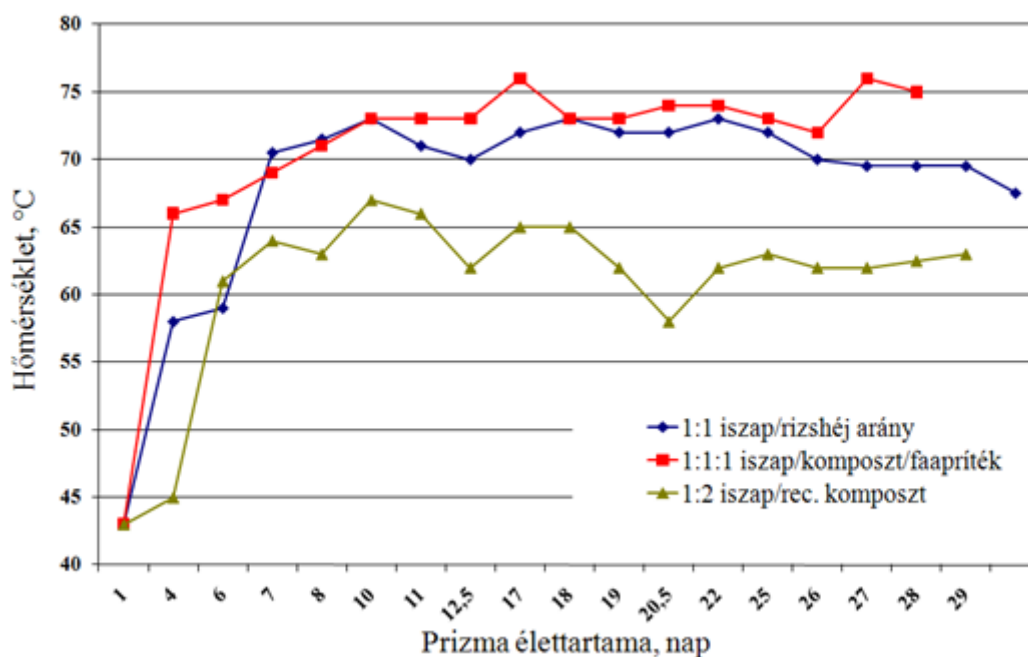
Az ilyen komposztálás során az anyag hőmérséklete a 3.3 ábrának megfelelően alakul. Kedvező hőmérséklet-emelkedést lehet biztosítani nyersiszap felhasználásakor hideg és nedves évszakban is a módszerrel. Mint a 3.3. ábrán látható, az első 3-5 nap során gyorsan emelkedik a hőmérséklet, majd viszonylag állandó marad. Három hét után kezd csak csökkenni.

3.3. ábra - A hőmérséklet alakulása nyers iszap - faforgács keverék levegőztetett statikus prizmás komposztálása során.



A 3.4. ábra különböző szennyvíziszapok és különböző segédanyagok keveréke esetén végzett sztatikus komposztálás hőmérséklet-profiljait mutatja be. Általában jó a hőmérséklet-emelkedés az indulásnál, de az apróbb segédanyagok keverékeknél sokkal több csatornásodási probléma jelentkezhet, mint a faforgács strukturáló anyag felhasználásakor.

3.4. ábra - A hőmérséklet alakulása rothasztott szennyvíziszap és különböző segédanyagok levegőztetett sztatikus halmokban történő komposztálásakor. Mindegyik mérési pont a halom keresztmetszetében 10 helyen történt hőmérséklet-mérés átlaga.



Mind a 3.3., mind a 3.4. ábrán a hőmérséklet a klasszikus 3-4 hetes napos ciklus során megfelelően magas. Ezt követően a megfelelő éréshez további kezelés szükséges. A rostált, előkezelt komposzt érlelése általában 30-60 napot igényel. A rostálást gyakran az érlelés előtt végzik az utóbbi területigényének csökkentésére. Az érlelést is

rendszerint levegőztetett halmokban végzik, időszakosan aláfúvatva a halmokat. A levegőztetésre az érlelés során is mindig szükség van.

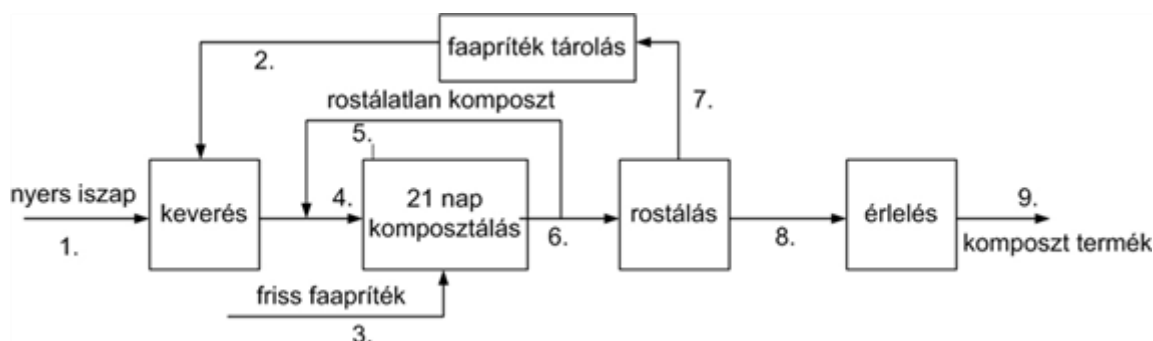
Egy strukturanyaggal történő komposztálás példáját mutatja az 3.5. ábra. Ennél a faapríték döntően szerkezetlázító szerepet töltött be, bár a kis mértékű cellulóz lebomlásnak mindig van kevés energiatermelése is. A kis részarányú friss faapríték adagolás mellett a kellő nedvességtartalom és porozitás beállításához viszonylag nagy részarányban keverték vissza abban az időben a rostált faaprítékot, ami viszont jelentősen növelte a komposztáláshoz szükséges térfogatigényt, ugyanolyan gyorskomposztálási idő tartása mellett.

Az 3.5. ábrán látható példánál a feldolgozandó szennyvíziszap napi 200 tonna, 20 % szárazanyag-tartalommal. A felhasznált faapríték térfogata a víztelenített szennyvíziszapénak a 3/5-öd része a sikeresnek bizonyult 3 hetes gyorskomposztálás mellett. Nagy érdeme az ábrának, hogy a faapríték forgatása abban egyértelmű anyagáramokkal jellemzett érték. Ebből jól látható, hogy a kis friss faapríték adagolás mellett csaknem nyolcszorosa annak a rostált, visszaforgatott faapríték mennyisége. Az utóbbi térfogatában a feldolgozott víztelenített iszap mennyiségének a négyszerese (két alsó sorban számolt közelítő érték az 3.5. ábra táblázat részében).

A nyers apríték és a rostált apríték mellett van egy további belső recirkuláció is, ami a nyers iszap térfogata másfélszeresének megfelelő mennyiségű rostálatlan komposzt (strukturanyag és komposzt) visszakeverését jelenti. Ez utóbbi további térfogatlázító hatású a nyers komposztkeverékben, miközben megfelelő biológiai visszaoltást is jelent a komposztálás gyorsítására.

Igen jó adatokat ad meg ez a folyamatábra a gyorskomposztálás termékkihozataláról is. Jól látható belőle, hogy az érlelés milyen további stabilizálódást, anyagmennyiség csökkenést jelent az átalakításnál. Ennek a sztatikus komposztálásnak a jellemző anyagmérlege látható az 3.1 táblázatban [18].

3.5. ábra - Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás sémája (anyagáramok a 3.1 táblázatban [18].)



3.1. táblázat - Zárt, levegőztetett sztatikus komposztálás anyagmérlege.

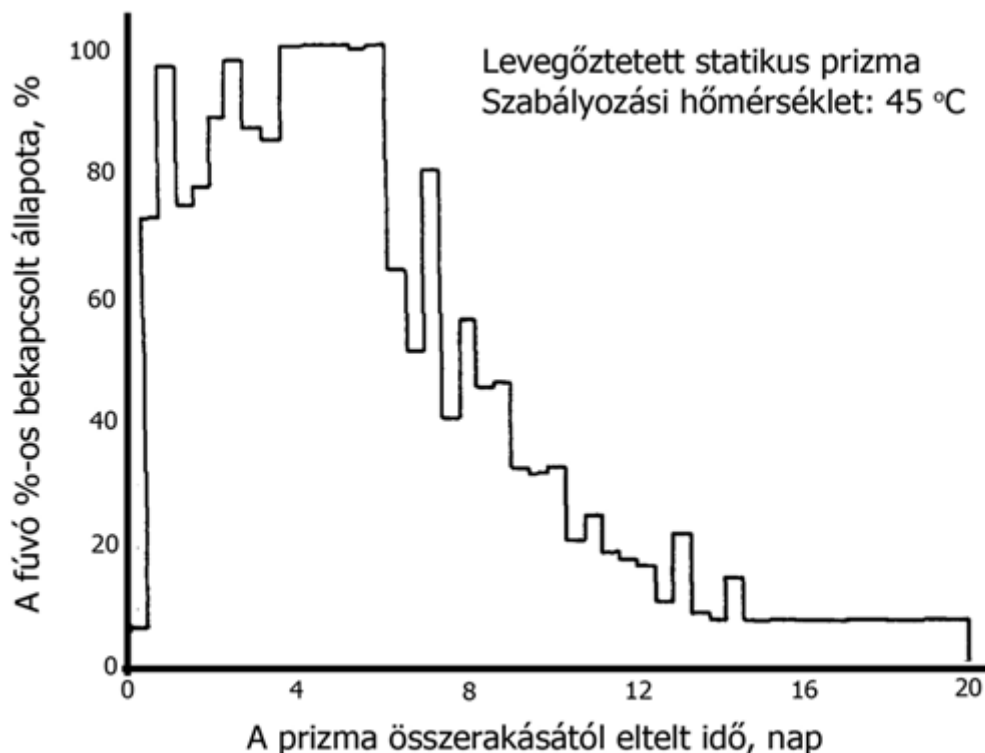
Anyagár am	Pont								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t szá/d	40	205	20	245	78	245	194	50	45
sza, %	20	58	53,4	44,2	52,6	52,6	55	55	58
t nedves/d	200	410	37	554	148	664	352	91	77,5
t/m³	1,18	0,61	0,39	0,82	0,60	0,60	0,52	0,79	0,86
m³/d	169	675	95,5	675	245	771	675	115	90
V/V faapríték	2	8	1	8	3	10	8	1,5	1
V/V nyeresisz ap	1	4	0,5	4	1,5	5	4	0,75	0,5

A 80-as évek további fejlődést hoztak a sztatikus komposztálásban. Legfontosabb a levegőztetés oxigénigény szerinti pontos szabályozása szükségességének a felismerése. Ez a fűvők teljesítményének a növelésével volt

elérhető. Ez a túlzottan magas hőmérséklet kialakulását megszüntette. A hőmérséklet optimális értékre történő csökkentésével javult a lebomlás sebessége és hőtermelése, amely a másik oldalon ugyanakkor nagyobb vízmennyiség elpárologtatásához vezetett. Ezzel a rostálás kedvezőbb hatásfokát is biztosította.

A levegőbefúvatás gondos szabályozása az ilyen komposztálásnál azonban továbbra is alapkövetelmény. A levegőbevitel mennyisége a hőmérséklet alapján történő szabályozással jelentősen változott, mint azt a 3.6. ábra mutatja.

3.6. ábra - Fűvételjesítmény igény a 25 % szárazanyag tartalmú, döntően nyers szennyvíziszap mint alapanyag, segédanyagokkal történő statikus komposztálásakor. (Levegőztetés szabályozása a hőmérsékletről (45°C) visszacsatolással történt.).



A levegőigény a komposztálás első hetében különösen nagy, majd ezt követően fokozatosan csökken a ciklus további idejében. Ez időben igencsak változó levegőigényt jelent. Egyértelművé vált, hogy ilyen oxigén-igény kielégítése csak nagyobb teljesítményű fűvőkkel lehetséges. A maximális levegőztetési igény biztosítása ezért a tervezés fontos követelménye lett. A kiépítendő fűvókapacitás mintegy 15 m³ h / tonna szárazanyag fajlagos értéknek bizonyult, amivel azután a szabályozás segítségével a komposzthalom levegőterének oxigéntartalma 5-15 % között tartható. Az újabb tervezések ennek a négyszeresét (60 m³ h / tonna szárazanyag) is alkalmazzák átlagértékként, a csúcsigény kielégítésére pedig ennek a két és félszerese (150 m³ h / tonna szárazanyag) fűvókapacitás is kiépítésre kerülhet. Erre azonban csak a rendkívül intenzív, pár napos gyorskomposztálásnál van szükség.

A gyakorlatban vita alakult ki az ilyen komposztálásnál tartandó hőmérsékletet illetően. Az egyik csoport a 45 °C körüli értéket favorizálta a mikrobiális tenyészet kedvezőbb környezeti feltételei érdekében. Mások ezt alacsonynak tartják a kellő hőstabilizáláshoz. Valamennyien felismerték azonban, hogy a különösen magas hőmérséklet már káros a mikroorganizmusokra, de a biztonság érdekében inkább a magasabb érték felé mennek el. Ha a tervező egy adott rendszerben megfelelő levegőellátást biztosít, és a szabályozás is hatékony, az üzemeltető lehetősége a hőmérséklet-szabályozás kellő megválasztása a szükséges eredmény eléréséhez. Lakossági szennyvíziszapoknál általában az 55-65°C közötti tartományt választják a biztonságos pasztörizálás, fertőtlenítés érdekében. Az üzemeltető ezt a szabályozó értéket (hőmérsékletet) a ciklus vége felé már csökkentheti, ha megfelelő ideig tudta a sterilizálást biztosítani, illetőleg ha a termék kellően patogénmentes.

A komposztálás során történő hő-sterilizáláshoz a megfelelő hőmennyiséget döntően a szennyvíziszap oxidációjánál keletkező hő biztosítja. Szükség esetén ez a segédanyagokkal tovább növelhető, de tervezni elsősorban a szennyvíziszap hasznosítható energiataralma alapján kell. Az erre megadott fajlagos értékeket a 3.2 táblázat [20] tartalmazza.

3.2. táblázat - Segédanyagok energiataralma

Energiahordozó	Égéshő (kcal/g)
Légszáraz fa	3,1
Nyers szennyvíziszap (víz-, és hamumentes)	5,5
Rothasztott szennyvíziszap (víz-, és hamumentes)	2,9

A fenti adatok alapján, figyelembe véve, hogy a rothasztott szennyvíziszapok a hamutartalma mintegy a szerves anyag tartalom fele, a vízmentes iszapra, tehát az iszap szárazanyagára számítható hasznosítható energiataralma csupán 2 kcal/g iszap szárazanyag körüli érték. Ez az érték figyelembe veszi, hogy a szerves anyag egy része nem oxidálódik, tehát nem termel hőt a komposztálódásnál.

A különböző anyagok biológiai lebomlásánál keletkező hő egy része az anyag felmelegítésére, más része a víztartalmának elpárologtatására fordítódik. A fűtőérték ezért az égéshőnél kisebb, mert a reakció során víz keletkezik, ami gyakorlatilag minden esetben gőz halmazállapota miatt csökkenti a jelentkező, vagy hasznosítható hőmennyiséget (fűtőérték).

Ököltszabályként javasolják, hogy a különböző anyagok égéshőjét a 3,4 (+/- 0,2) kcal/g KOI értékkel számolják. Mivel szennyvíziszap 1 g szerves anyagának a KOI-je 1,5 g körül van, a szerves anyagra számolható az égéshő 5 kcal/g szerves anyag körüli érték. Ha azonban itt is figyelembe vesszük a hamutartalmat, a rothasztott iszap égéshője csak a korábbiakban megadott érték kétharmadára, azaz 3 kcal/g iszap szárazanyag értékre adódik.

Az előző táblázatból látható, hogy a rothasztott szennyvíziszap égéshője a nyers iszapénak alig valamivel több, mint fele. Ez egyrészt a metántermelés szerves anyag tartalom csökkentő hatásából adódik (hamutartalom nő), másrészt abból, hogy a biológiailag könnyebben bontható szerves anyag alakult metánná, s a maradék további biológiai lebonthatósága erősen korlátozott. A különböző szennyvíziszapok égéshője az iszap összetételétől (fehérje, szénhidrát, zsír) nagymértékben függ. A szerves anyag komposztálása során a bonthatatlan szerves anyag hányad tovább csökkenti a szerves anyagból ott biológiai oxidációval kinyerhető energiataralmat.

Az ilyen biológiai bontás (komposztálás) során tehát energia csak a KOI biológiailag lebontható, vagy lebontásra kerülő hányadából keletkezik. A különböző alapanyagok égéshőjének a kalorimetriás meghatározása tehát támpontot ugyan nyújthat a komposztálásuknál keletkező hőmennyiség becslésére, de minden esetben figyelembe kell venni mellette az illető anyag a komposztálással történő lebonthatóságát is. Az alapanyagok víz és szilárd anyag tartalma, mint külön komponens veendő figyelembe a részletes termodinamikai számításoknál.

3. 3.3 Nyersanyagok kondicionálása

A komposztáló rendszerek tervezőinek és üzemeltetőinek kevés lehetőség áll rendelkezésre, mellyel jelentősen szabályozhatják a komposztálás folyamatát. Egyik meghatározó lehetőségük az alapanyag megfelelő energetikai előkészítése, kondicionálása. A nyersanyagok mennyiségét úgy kell megválasztani, hogy a biológiai átalakítás során a nyersanyagokból keletkezzen annyi hő, amennyi a komposztálás, a termék fertőtlenítése és megkivánt szárítása érdekében elengedhetetlen. A komposztálás hőmérsékletét, sebességét is ez a hőmennyiség biztosítja. Mint a korábbiak részletezték a kellő nedvességtartalom, valamint a szabad levegőtér-fogat-hányad (mechanikai kondicionálás, valamint a bontható szerves C és redukált-N tartalom aránya (kémiai kondicionálás) is alapfeltétel mindezekhez. A komposztáláshoz szükséges mikroorganizmusok a szennyvíziszapban rendelkezésre állnak, de a komposzt, vagy strukturanyag-visszaforgatás tovább javítja az ilyen ellátottságot.

Az alapanyag összekeverése a fentieknek megfelelően fizikai, vagy szerkezeti, kémiai, illetőleg termodinamikai, vagy energetikai kondicionálást jelent.

A fizikai vagy szerkezeti a nedvességtartalom, valamint a szabad levegőtér-fogat beállítása.

Kémiai a szén/nitrogén hányad optimális beállítása és a pH esetleges stabilizálása.

A termodinamikai, vagy energetikai az alapanyagok szerves anyag, illetőleg biológiailag bontható részének a helyes beállítása.

3.1. 3.3.1 Fizikai kondicionálás, vagy szerkezet kialakítás

A széles körben komposztálásként ismeretes eljárás fél-szilárd, jelentős szabad gáztérfogatot tartalmazó anyagokkal dolgozik. Az alapanyagokat akár prizmába, halmokba, vagy reaktorokba rakják, alapvető kérdés a keverékük kiindulási nedvességtartalma. A különböző alapanyagok esetén kimért, alkalmazható tartományok az 3.3. táblázatban [21] láthatók.

3.3. táblázat - Különböző komposztálható anyagok javasolható maximális kiindulási nedvességtartalma.

Anyagtípus	Nedvességtartalom %
Szalma ^a	75-85
Fa (fűrészpor, apríték)	75-90
Kerti hulladék (fű, falevél)	50-55
Rothasztott, vagy nyers szennyvíziszap	55-60

a- nedvességgkötő és energiahordozó segédanyag.

Felhasználásakor nitrogén tápanyag szükséges a megkívánt C/N arány beállítására

Az egyes tartományok, a különböző anyagok nedvességtartalmai, láthatóan azok mechanikus tulajdonságaiktól is függenek. A szalmas, vagy darabos anyagok, mint a szalma, vagy faapríték, nagy mennyiségű víz felvételére képes, miközben megtartja a szerkezeti állagát és porozitását. A szalma és zöldhulladék keverékénél 85 % nedvességtartalmú alapanyagot is tudtak komposztálni. 76 % nedvességtartalom azonban már soknak bizonyult, ha a szalmát papírral helyettesítették.

A kellő porozitás, szabad levegőtér fogat a komposzt-keverékben a jó levegőztetés érdekében alapvető. Feltételezhető, hogy az optimális nedvességtartalom mindenféle alapanyagra annak a szabad levegő-tér fogata függvényében változik. Általában igaz, hogy a szalmasabb, merevebb, strukturáltabb anyagok nagyobb nedvességtartalom mellett is megfelelő szabad gáztérrel rendelkeznek. Az optimális nedvességtartalom ennek megfelelően egy kompromisszum, amely megfelel a mikrobiális tevékenységnek, és a szükséges oxigénellátás igényének is.

A megfelelő nedvességtartalom és szabad gáztér fogat fenntartása a komposztálás során több tényező kiegyensúlyozása érdekében is elengedhetetlen. A biológiai átalakításon túl ugyanis a komposztálás befejezésére kellően száraz termék előállítása a feladat. Ez a tulajdonképpeni komposztálást követően még további utókezelést, tárolást, csomagolást igényel. A termék szállíthatósága és kihelyezhetősége (kiszórhatósága) is meghatározó szempont. Nem biztos, hogy minden igényt egyszerre sikerül biztosítani. A kiindulási nedvességtartalom és szabad gáztér fogat igénye azonban a komposztálás gyors beindulásához és a szükséges üzemi hőmérséklet eléréséhez mindenképpen elengedhetetlen. Ez a követelmény egyébként a komposzt alapanyagok összekeverésekor manuálisan is jól ellenőrizhető.

Gyakorlatilag 35 % szárazanyag-tartalomtól kezd az elméletileg számított érték jól egyezni a mért értékekkel. Legtöbb komposztálásra kerülő szennyvíziszap keverék 40 % körüli szárazanyag, vagy 60 % nedvességtartalommal kell, rendelkezzen. Ha az iszaphoz fűrészport vagy más strukturáló anyagokat kevernek, a szabad gáztér már ennél nagyobb nedvességtartalomnál is elegendő lehet a folyamat beindításához.

A fűrészpor, faforgács és a kerti hulladék térfogatsúlya jelentősen eltérő és változó is lehet. Néhány fűrészpor esetén alig 0,15 kg/l ez az érték. A keverékek kialakuló térfogatsúlya sem egyezik meg az alapanyagok térfogatsúlyának az átlagával. Ha kevés fűrészport adnak nagyon nedves szennyvíziszaphoz, az utóbbi a teljes fűrészpor mennyiséget fölveszi, mintegy elnyeli, és a keverék térfogatsúlya alig csökken az iszapéhoz képest. A kialakuló térfogatsúlyt a bekeverés módja is jelentősen befolyásolja. A száraz levélzetnek általában nagyon kicsi a térfogatsúlya, ami azok aprításával ugyanakkor jelentősen nőhet.

Többféle megoldás is lehetséges a túlzottan nedves alapanyagok nedvességtartalmának csökkentésére. Legegyszerűbb a kész, kellően kiszáradt komposzttermék részleges visszakeverése a nyersanyagba. Más

lehetőség segédanyagok, mint fűrészpor, kerti hulladék adagolása az előzővel kombináltan vagy nélküle. További lehetőség a strukturáló anyagok, mint a faapríték adagolása. Ugyancsak lehetséges a nedves alapanyag előszárítása.

Mindig a keverék megkívánt szárazanyag tartalma határozza meg a szükséges fizikai kondicionálás, a termék egy része recirkulációjának a mértékét. Ha a termék szárazabb, kevesebb anyag visszaforgatása szükséges. A gyakorlatban a visszaforgatott mennyiség minimalizálására törekkenek, hogy a napi feldolgozó kapacitás maximális legyen. Vigyázni kell azonban, hogy a nedvességtartalom ne növekedjen, illetőleg a szabad gáztérfogot ne csökkenjen túlzottan az optimális tartomány alá. A tervező szempontjából biztonságosabb a nagyobb szárazanyag tartalom beállítása, és rábízni az üzemeltetőre, hogy a gyakorlat során csökkenthesse, optimalizálhassa a szükséges visszaforgatást.

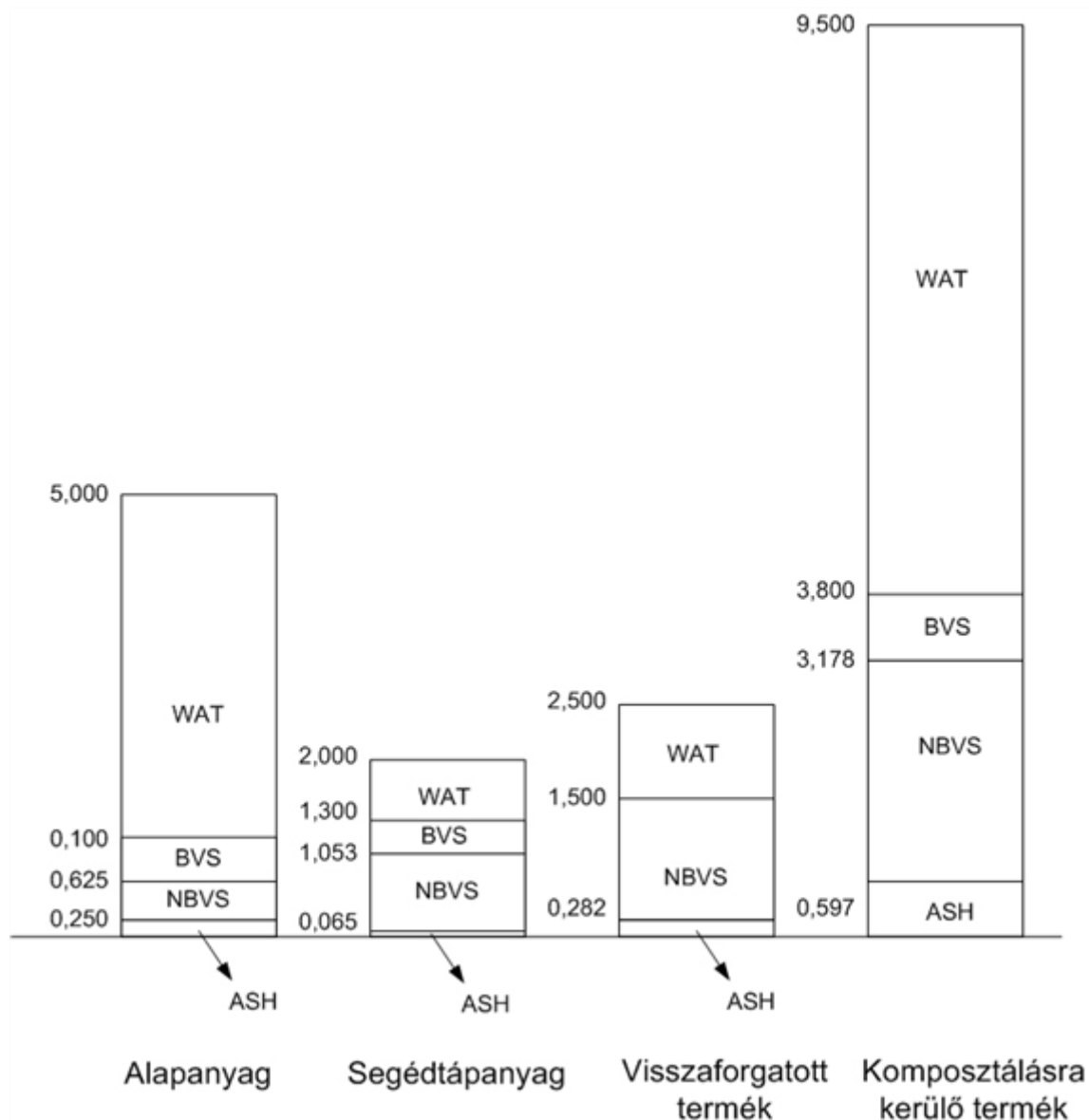
3.2. 3.3.2 Fizikai kondicionálás késztermék részleges visszaforgatásával és segédanyagokkal

Ha a késztermék részleges visszaforgatása nélkül kívánják strukturáló anyagokkal beállítani a komposzt alapanyagot (szerkezeti kondicionálás), túlzott mennyiségű töltőanyag, vagy strukturáló anyag szükséges. Ez általában nagyon drága. Gondot jelent ugyanakkor az utókezelésnél a nagymennyiségű töltőanyag elválasztása és visszaforgatása is. Éppen ezért általában a vegyes megoldás a gyakorlat. Ilyenkor kevesebb töltőanyagra van szükség a nedvességtartalom és szabad gáztérfogot megkívánt értékének a beállításához. Egy ilyen lehetőség anyagmérlegét mutatja be a 3.7. ábra.

A szerkezetjavító segédanyag méreteloszlása fontos paraméter. Csak akkor igazán hatásos, ha a mérete durvább, egyébként szabad gáztérfogot növelő hatása kevésbé érvényesül. Fűrészporral, vagy liszt-szerű anyaggal a kívánt hatás elérése teljesen reménytelen. Talán ezért, a faforgács szárazanyag tartalmát, részecskeméretét is előírásban rögzítették helyenként. Az ilyen anyagok szárazanyag tartalmát 50-75 % között, szemcseméretét 5-12,5 mm (1 inch) között ajánlották. A nagyobb méretű részeket azért nem célszerű strukturáló anyagként felhasználni, mert azok a rostálást nehezítik, illetőleg ronthatják a késztermék küllemét. A komposztot illetően az abban előfordulható részek maximális méretét 10 mm alatt javasolják, ha növénytermesztési, talajréteg fedési célra kívánják hasznosítani.

A 3.7. ábra példájánál 20 % szárazanyag tartalmú iszap komposztálása látható, mely iszapban a szárazanyag 25 %-a (izzítási maradék) hamu. A szerves anyagnak pedig a 0,375/0,75-öd része, azaz átlagosan 50 %-a biológiailag bontható. Ez egy gyengén rothasztott iszapot mutat, mert a nyers és a jól kirothasztott iszapok fajlagos értéke közötti értékkel rendelkezik. A segédanyag 30 % nedvességtartalom körüli faapríték a nyers iszap 40 %-os tömegarányában adagolva, míg a nyers iszap fele tömegének megfelelő mennyiségű kész komposzt (60 % szárazanyag tartalommal) kerül recirkuláltásra az alapanyag bekeveréshez (fizikai kondicionálás).

3.7. ábra - Komposzt alapanyag kondicionálás a késztermék részleges visszaforgatásával és strukturáló anyag felhasználásával.



WAT - vízmennyiség,

BVS - biológiailag bontható szerves anyag,

NBVS - biológiailag bonthatatlan szilárd anyag,

ASH - hamu és inert anyag mennyiség.

A 3.7. ábra példájánál az anyagáramok, vagy keverési arányok térfogatban is kifejezhetők az ábrán megadott tömegeken túl. Látható, hogy az 1,15 t/m³ sűrűséggel számolva az 5 t víztelenített iszap 4,356 köbméter, míg vele szemben a 2 tonna faapríték 8 m³ körüli térfogatú. A faapríték / nyers iszap térfogatarány alig valamivel kevesebb, mint 2. A faaprítékkal szemben (65 % szárazanyag tartalmú) a visszaforgatott kész komposzt és rostamaradék keveréke, amely biológiailag bontható szerves anyagot a feltételezések szerint már nem tartalmaz, csak 60 % szárazanyag tartalommal rendelkezik. Ez a különbség a faapríték nedvességtartalmától persze gyakorlatilag szinte elhanyagolható. Fontos viszont kiemelni, hogy a visszaforgatott anyag fajsúlya inkább a faaprítékéhoz esik közelebb, különösen, ha az gyakorlatilag csak a rostamaradék (dőntően maradék faapríték). Ha azt a faaprítékével azonosnak vesszük, a recirkuláltatott rostamaradék térfogata a nyersiszapénak éppen a kétszerese.

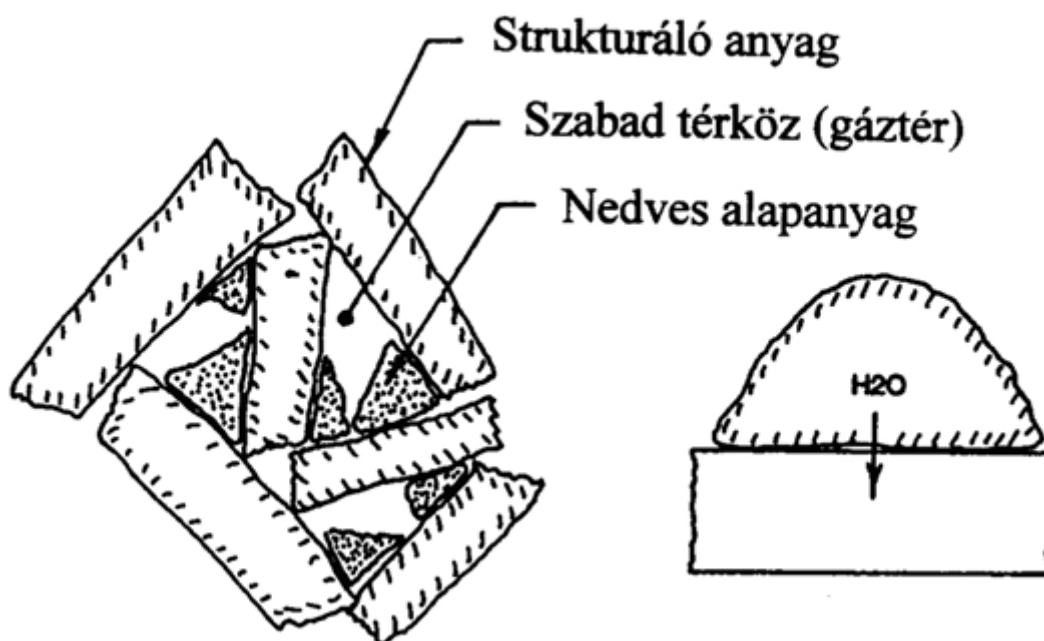
A teljes anyagmérleget illetően tehát egy térfogategységnyi nyersiszaphoz 2 térfogategységnyi nyers faapríték és két térfogategységnyi rostamaradék kerül bekeverésre. A nyers strukturanyag / nyers iszap térfogati keverési-

arány tehát 4 ennél a példánál. Nyilvánvalóan ez biztosítja ilyen alapanyagoknál a komposztkeverék megfelelő nedvességtartalmát és szabad gáztérfogatát (porozitás).

A részecskeméret a bontható szerves anyag mennyiség növelése tekintetében is fontos. Az energetikai céllal adagolt segédanyag esetében a finomabb aprózottság, mint a fűrészpore, kedvezőbb. Túl sok ilyen finom anyag hányad ugyanakkor kedvezőtlen a szabad gáztérfogat növelése, strukturáltság érdekében, de nagyon kedvező az energia hasznosítás oldaláról. Mindkét igény gondosan mérlegelendő ezért az ilyen komposzt alapanyag keverés esetén.

A nedves iszapokban szabad gáztérfogat gyakorlatilag nincs. A strukturáló anyagok feladata éppen az anyag vázszerkezetének olyan erősítése, amely szabad gázterek kialakulását eredményezi, biztosítva a jobb levegő, oxigén ellátást. A töltőanyag egy szerkezet-kialakító szilárd vázként hat a rendszerben. A szabad gáztérfogatot, vagy pórustérfogatot a strukturáló anyag alakja és mérete befolyásolja leginkább. Elvileg a nedves komposzt alapanyag keverék úgy tekinthető, mint a szilárd és gázterek valamilyen statisztikus keveréke (3.8. ábra).

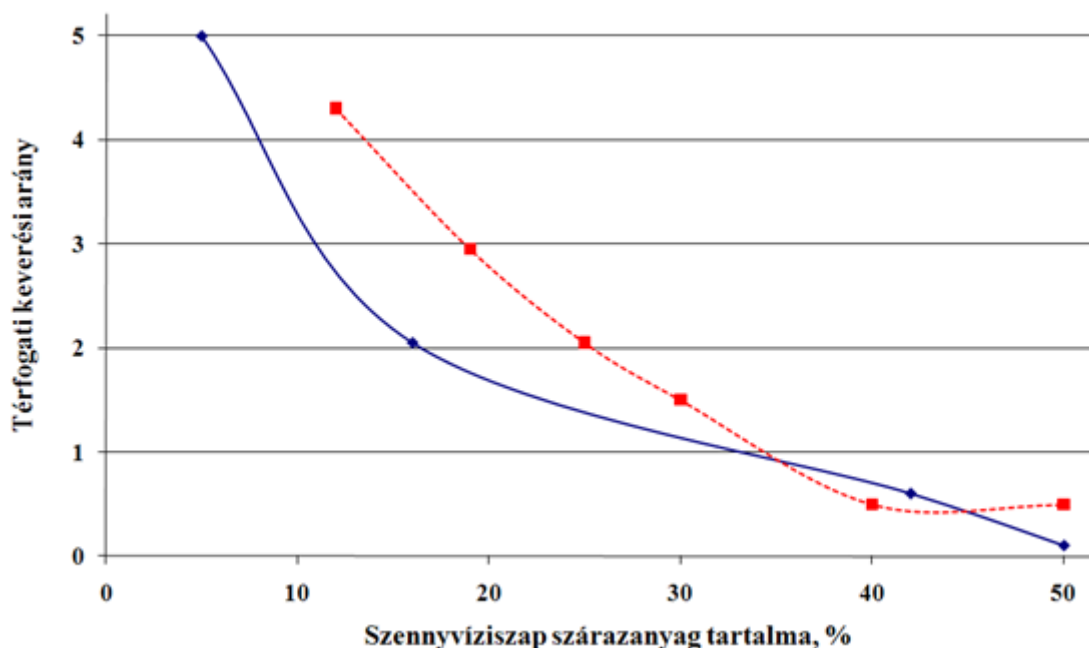
3.8. ábra - A strukturáló / töltőanyagok szerepe a víz nedves anyagból történő adszorpciójának érzékeltetésével.



Számos töltőanyag alkalmazására sor került az eddigi gyakorlatban, közöttük a faapríték, aprított városi zöldhulladék, szalma, fűrészpore a legjellemzőbbek. Ezek többsége cellulóz alapú, és a komposztálás kisebb-nagyobb mértékben elbomlik. A töltőanyag mennyisége így csökken, ami a visszaforgatásakor pótolandó. Természetesen rostálás utáni visszaforgatásról csak a darabosabb strukturanyagoknál beszélhetünk. A töltőanyagok víz-adszorpciója jelentős lehet, faapríték esetén a 250 kg/m^3 térfogatsúllyal rendelkező 1 m^3 -nyi 40 % nedvességtartalmú faapríték 60 % nedvességtartalomig képes telítődni. Ehhez csaknem 125 kg vizet képes felvenni. Az ilyen faapríték porozitása egyébként 40 % körüli, amiből jól látható a vízmegkötő képesség jelentősége. Az iszap szárazanyag-tartalmának növeléséhez szükséges faapríték aránya a 3.9. ábrán látható. A görbe adatai alapján becsült értékek azonban az előző példánál lényegesen kisebb értékeket adnak.

A cellulóz anyagok jó nedvességmegkötő képességgel rendelkeznek. A nem porózus segédanyagok ilyen funkciót nem teljesítenek. A porózus, de vízzel tele töltőanyagot a visszaforgatás előtt célszerű kiszárítani. A vízmegkötés mértéke rendkívül fontos, mert növekedésével csökken a töltőanyagigény, nő a szabad gáztérfogat.

3.9. ábra - A kondicionáláshoz szükséges faapríték hányad függése a szennyvíziszap nedvesség-tartalmától. (1. adatsor: folytonos vonal, 2. adatsor: szaggatott vonal)



3.3. 3.3.3 Kémiai kondicionálás

A C/N arány meghatározása a vízműveknél, vagy a szennyvíztisztítók laboratóriumaiban nem gyakorlat. Ennek oka a széntartalom mérésének hiánya. Új-zélandi kutatók a széntartalom számítására a következő összefüggést javasolták:

$$C\% = 100(100\text{-hamu}\%)/1,8$$

A hamutartalmat legtöbb laboratóriumban mérni tudják. A számított érték 2-10 %-os hibán belüli az új-zélandi vizsgálatok alapján, ami legtöbb gyakorlati esetben elégséges.

A különböző anyagok biológiailag bontható hányada azok lignintartalma alapján a következő egyenlettel számítható:

$$B=0,830-(0,028)X$$

ahol

B = a szerves hányad (illó rész) biológiailag bontható része,
X = lignintartalom, az illó rész %-ában (lásd később).

A széntartalommal szemben az alapanyagok nitrogéntartalmát viszonylagosan pontosan megadják a kézikönyvek, illetőleg a szennyvíziszapét a komposztáláshoz rendszerint mérik is. A C:N arány beállítás a komposztálás alapvető kérdése, hogy ne lépjen fel jelentősebb nitrogénveszteség a művelet során. Rendszerint 30-35 körüli érték a kedvező, de lassúbb komposztálódásnál a kisebb érték fele tolódhat el az optimum, vagy akár 30 alatti is lehet. A többi talajtápanyagok, elsősorban a kálium adagolása rendszerint a fás anyagok bevitelével történik, de történhet fahamu adagolás is. A pontos káliumigény beállítása rendszerint a kész komposztban történik meg, hiszen a káliumsóval nitrát bevitel is történik, ami a komposztálásnál elveszhet.

Egyéb komposzt segédanyagok adagolása nagyon sok komposztálással foglalkozó kézikönyvszerű összeállításban megtalálható.

3.4. 3.3.4 Energetikai kondicionálás

A komposztálás "hajtóereje" az az energia-felszabadulás, amely a szerves anyagok oxidációjakor keletkezik. Ez emeli meg a rendszer hőmérsékletét, szárítja a komposztálandó anyagot, valamint biztosítja a mikroorganizmusok számára szükséges magasabb hőmérsékletet. A lebontásnál keletkező energia hasznosítása

révén tudják a mikroorganizmusok a szükséges anyag-átalakítási folyamatokat véghezvinni. Ezzel a folyamattal párhuzamosan azonban a komposztalomban a szerves anyag polimerizációs, polikondenzációs átalakulásai is folynak, éppen a lebonthatatlan frakciónak minősített szerves rész, a lignin származékai segítségével. Az utóbbi átalakulások energiaigényét ma még nem tudják számolni, ezért elhanyagolják. Nyilvánvaló, hogy ez valamekkora hibát is jelent a gyakorlati számításoknál.

Az alapanyag lebontásához, majd a komposzt felépítéséhez, s a kellő fertőtlenítéshez és termékszárításhoz szükséges energia az úgynevezett energetikai kondicionálás feladata.

Két meghatározó eset különböztethető meg a komposztálás energiaigénye tekintetében. Az egyik, amikor az energiaellátás bőséges mind a komposztáláshoz, mind a termék megkívánt szárításához. A másik, amikor az alapanyag energiataralma csak a komposztálás hőmérsékletének, illetőleg a fertőtlenítésnek a biztosításához elegendő. Ilyenkor a termék szárítása csak korlátozottan lehetséges. Alapvető, hogy az alapanyagban legyen elegendő energia legalább a komposztálás és fertőtlenítés, de inkább mindkét cél teljesítéséhez. A szükséges energetikai számítások a továbbiakban csak érintőlegesen kerülnek bemutatásra, inkább csak a végeredmények ismertetésére kerül sor. A számításnak mindig azt kell bizonyítani, hogy elegendő-e az alapanyag energiataralma a kívánt cél elérésére.

A komposztálásnál általában késztermék visszaforgatás és töltő, strukturáló anyag adagolása is történik. Ezek nincsenek külön számításba véve a közelítő számításoknál, mert ezek az anyagáramok döntően belső recirkulációt jelentenek a rendszerben, így nem befolyásolják annak az energiamérlegét. Ezek az egyes lépcsők belső anyagmérlege vonatkozásában fontosak lehetnek, de a teljes rendszerre ezektől rendszerint el lehet tekinteni. Kivétel, amikor ezeket az anyagokat a visszaforgatás előtt jelentősebben szárítják. Ez viszont alig gyakorlat a szennyvíziszap komposztálásánál.

3.5. 3.3.5 Relatív víztartalom, W

A korábban bemutatott víztelenített szennyvíziszapok példái kellőképpen jellemzőek a gyakorlatban a nedves alapanyagok komposztálására. A helyzet megítélésére alkalmas ökölszabály esetükben a W érték meghatározása, ami a korábbi példa alapján a nyersanyag, vagy alapanyag nedvességtartalmának az alapanyag biológiailag bontható szerves anyag tartalmára vonatkoztatott hányada. A W meghatározása fontos gyakorlati jelentőséggel bír, hiszen a párologtatás az összes energiaigény döntő része.

$$W = \frac{\text{g alapanyag nedvességtartalom}}{\text{1 g lebontott szerves alapanyag}}$$

A korábban vizsgált példák anyagmérlegének ellenőrzésénél bebizonyosodott, hogy a komposztálás során keletkező víz mennyisége közelítőleg megegyezik a végtermékbe kerülő víz mennyiségével. Ezért az alapanyaggal bevitt teljes vízmennyiség gyakorlatilag elpárologtatandó. Az adott példában (3.7. ábra) ez 4 kg volt, ami csaknem megegyezett az elpárologtatott víz mennyiségével. Az alapanyag biológiailag bontható szerves anyag mennyisége ugyanakkor 0,48 kg volt. A kettő hányadosa, a $W = 4,0/0,48 = 8,3$.

A gyakorlatban mintegy 8-10 g víz / g biológiailag bontható szerves anyag az a fajlagos vízmennyiség (W), ami a komposztálás folyamatában elpárologtatható. Mivel a víztartalom elpárologtatása a legnagyobb energiaigény, ez a mutató jól alkalmazható a prizmás komposztálás energiaellátottságának megítélésére.

Ha a $W < 8$, az alapanyag energiataralma elegendő a víztartalmának az elpárologtatására. Ha ez az érték tíznél nagyobb ($W > 10$), az alapanyag energiataralma önmagában nem elegendő a víztartalmának az elpárologtatására. Ilyenkor a korábbiaknak megfelelően a komposztalomban hőmérséklete csökken, vagy kisebb kiszáradás érhető el a termékben.

Hangsúlyozni kell, hogy a W, csak mint tájékoztató paraméter javasolható a komposztálás energiaellátottságának a megítélésére. Pontos tervezésnél nem helyettesítheti a komplett anyag és energiamérleget.

3.6. 3.3.6 Relatív energiatartalom, E

A W számításának egyik hiányossága, hogy feltételezi, hogy mindenféle szerves anyag ugyanolyan égéshővel rendelkezik. Természetesen az anyagok égéshője, fűtőértéke jelentősen függ az összetételüktől. Az előbbi hiba tehát éppen ennek a figyelembe vételével küszöbölhető ki. Ismételten a 3.7. ábra esetére hivatkozva

kiszámítható, hogy a 0,48 kg biológiailag bontható szerves anyag 5550 kcal/kg fajlagos égéshő esetén 2664 kcal energiatartalmat jelent. Elosztva ezt a 4 kg elpárologtatandó vízmennyiséggel, a kapott fajlagos érték 666 cal/g H₂O. Ezt a fajlagost a párologtatáshoz rendelkezésre álló fajlagos kalóriatartalomnak (E) nevezték el.

Energetikai megfontolások alapján a 700 cal/g fajlagos érték elégséges a komposztálás hőmérsékletének, és a szárítás mértékének az egyidejű biztosításához. Ha az $E < 600$ cal/g, a kiszáradás mértéke csökkenhet, miközben a kívánt hőmérséklet még fenntartható. Az E a W-hez hasonlóan csak közelítő információt biztosít.

80 % nedvességtartalmú nyers szennyvíziszapnál, melynek a szerves anyag hányada 65 %-ban bomlik le a komposztálás során, 5550 cal/g szerves anyag fajlagos égéshőt feltételezve a szerves anyagra, a W 7,69 értéknek, az E pedig 720 cal/g értéknek adódik. Megállapítható tehát, hogy a nyers szennyvíziszap rendelkezik olyan energiatartalommal, amely a komposztálását energetikai kondicionálás nélkül is lehetővé teszi.

Ezzel szemben egy 55 % szerves anyag tartalmú, és hasonló nedvességű (20 % szárazanyag) rothasztott szennyvíziszap, amelynek a szerves anyag tartalma csak 45 %-ában bomlik csak le a komposztálás során, de a szerves rész fajlagos égéshője a nyers iszapéval megegyező, a számítások alapján $W=16,2$, és $E=343$ cal/g mutatóval rendelkezik.

Láthatóan a rothasztott szennyvíziszap segédanyag nélkül nem tudja biztosítani a komposztáláshoz szükséges energiaigényt. Ha a komposzt alapanyag nem rendelkezik kellő energiatartalommal, a termék minőségromlásával (nedvesebb komposzt) még mindig biztosítható a komposztálás hőmérséklete. További, ténylegesen eredményes lehetőség az energiakondicionálás, segédenergia forrás adagolása (bontható szerves anyag tartalmú segédanyag), vagy az iszap előzetes szárítása.

Nedvesebb komposzt-termék előállítás.

A kisebb elpárologtatott vízmennyiség miatt ilyenkor a kisebb fajlagos energiatartalmú anyagok is komposztálhatók. A légfeszültség csökkentése csökkenti ilyenkor az elpárologtatott vízmennyiséget. Ez kisebb hővesztést jelent a komposzt-anyagban. A fertőtlenítéshez szükséges hőkezelést azonban a komposztálásnak ilyenkor is biztosítani kell. Gondot jelenthet ezért a hőmérséklet túlzott csökkenésekor, hogy a termék minősége romlik, esetlegesen utólagos szárítására lehet szükség. A túlzottan nedves késztermék nem piacképes.

Más lehetőség ilyenkor mechanikailag stabil szárazabb segéd- vagy töltőanyag (száraz tözeg) adagolása a komposztáláshoz, vagy akár a végtermékhez. A száraz fűrészporsó előzetes adagolása is kedvező lehet, ez szárít is és az energiaellátottságot is javítja, megkönnyítve a szükséges végső nedvességtartalom elérését.

Fokozott mértékű elővíztelenítés

Ez a kommunális szennyvíziszapok esetében a nagyobb szárazanyag tartalmú iszaplepleny előállítását jelenti a víztelenítésnél. Az előző rothasztott szennyvíziszapos példa esetében, ha az iszap víztelenítését 35 % szárazanyag tartalomig tudják fokozni, a W értéke 7,5, az E pedig 745 cal/g lesz. Az ilyen alapanyag már megfelelőnek látszik az energetikai kondicionálás komposztálásra. Természetesen a technológia leginkább a késztermék részleges visszaforgatásával történő üzemmódban valósítható meg. Nedves lakossági szennyvíziszapok, hulladékok esetében az alapanyag víztelenítése / szárítása az egyik legjobb lehetőség az energiakondicionálásra.

Késztermék részleges visszaforgatása

Ezt a megoldást egy korábbi fejezet már részletezte. Sikeresen alkalmazzák nedves alapanyagok szerkezeti kondicionálására. Az ilyen recirkuláció azonban nem növeli az alapanyag keverék bontható szerves anyag tartalmát. A recirkuláció egy zárt kör, amely nem befolyásolja az energiamérleget. A fajlagos energiatartalom növelése csakis az alapanyag minőségének változtatásával, vagy segédanyag hozzáadásával lehetséges.

Részlegesen lebomló segédanyag adagolása

A segédanyag egyedüli, vagy a késztermék részleges visszaforgatásával együtt történő adagolását az 3.5. és 3.7. ábrák a szerkezeti kondicionálás tárgyalásánál már részletesen bemutatták. A segédanyag önmagában is jó szerkezeti kondicionálást biztosíthat, de jelentős költségtöbbletet is okoz. Ezt valamelyest csökkenti, hogy azzal kis mennyiségű energiatöbblet is bevitelhető a komposztálásba a segédanyag biológiai lebonthatósága és kedvező nedvességtartalma esetén. A késztermék egy részének visszaforgatása ezzel szemben a szerkezeti kondicionálást ugyan biztosítja, de nem jelent további energia-bevitelt a rendszerbe.

Kombinációjuk választása csökkentheti a segédanyag igényt, és az azzal jelentkező költségtöbbletet. A segédanyag szükséges mennyiségének közelítő meghatározása azon a tényen alapul, hogy a párologtatás energiaigénye általában az összes energiaigény 70-80 %-a. A párologtatás hőigénye igen egyszerűen számítható. Ezt a rendszerben keletkező hőmennyiségnek biztosítani kell. Fajlagosan 700-850 cal rendelkezésre álló égéshő /g elpárologtatandó vízmennyiség biztosíthatja a komposztálás energiaigényét.

Amerikai kutatók vizsgálatai alapján egy fás anyagra jellemző összetétel a 30-60 % cellulóz, 10-30 % hemicellulóz és 10-20 % lignin tartalom. Ezt víztelenített rothasztott iszappal keverve, s laboratóriumi komposztáló berendezésben optimális környezetben és feltételek mellett komposztálva a beindítást követően 10-30 nap után kezdtek lassulni, leállni a lebomlási folyamatok. Ez alatt az idő alatt a keverék szerves anyag tartalma mintegy 45 %-kal csökkent. Azon belül az egyes komponensek lebomlása a következők adódott: zsírok 86 %, szénhidrátok 65 %, cellulóz-szálak 30 %, fehérje 22 %. A tipikus hulladék-keverékre így mintegy 45 %-os lebomlást mértek.

Ha cellulóz alapanyagot szennyvíziszappal, vagy szerves tápanyagokkal (N és P) feljavították, 40 % fölötti cellulóz lebomlást tapasztaltak. Úgy találták, hogy a komposztálás során a cellulóz lebomlása a sebesség meghatározó tényezője. Megállapították, hogy a cukor és keményítő és a zsírok a mikroorganizmusoknak a legjobban hasznosítható tápanyag. A cellulóz és hemicellulóz a bomlásnak közepesen ellenálló, míg a lignin a legellenállóbb. A fa, mechanikus faőrlemények esetében éppen azok nagy cellulóz és lignin tartalma okozza a lassú lebomlásukat.

A kemény fák és azok kéreganyagai sokkal jobban és gyorsabban elbomlottak a komposztálási vizsgálatok során. Ezek átlagosan 45,1 és 25,4 % lebomlást szenvedtek. A puhafák anyagának a lebomlása ennek fele értékűnek sem adódott. Nyilvánvaló ezért, hogy jelentős különbség van a puha és kemény fák, sőt még azokon belül a különböző fajok lebomthatósága között is. A vizsgálatok során a különböző puhafák lebomthatóságában is mintegy ötszörös különbség volt mérhető.

A komposztálásnál sokhelyütt fűrészport vagy fakérgyet kevernek a komposzt alapanyagába. A segédanyag megválasztása gyakran annak a fizikai jellegétől, mint a nedvességtartalom, és a részecskeméret függ. A gyakorlatban azonban éppen a fentiek miatt a tervezésnél nagy figyelmet kell fordítani a faanyag gondos megválasztására is, hiszen láthatóan a különböző faanyagok és fakéreg anyagok lebomthatósága között, s így a lebontásuknál keletkező hőmennyiségben is mintegy tízszeres különbség is jelentkezhetnek.

A biológiailag jól bontható szerves anyagok maximális lebomthatóságát egyébként a keletkező melléktermékek mennyisége és lebomthatósága limitálja. A maximális lebomthatóság valahol 80-90 % között várható, ha nincs lignin a rendszerben. Ha van, a %-os lignin tartalom 1,8-szerese lesz a csökkenés a biológiai lebomthatóságban. Ez is mutatja, hogy a lignin átalakulása humuszvegyületekké olyan szerves anyag átalakulás, amelynek a kihozatala tömegében a ligninre nézve csaknem kétszeres.

A magyarországi tapasztalatok alapján lakossági szennyvizek iszapja esetén a szerves rész (izzítási veszteség) csökkenése 50-55 %-ról 35-40 %-ra adódott a rothasztott iszap egyéb segédanyagok nélküli, nyitott térben, prizmákban történő komposztálása során. Másként kifejezve ez azt jelenti, hogy a rothasztott primer iszap lebomlása az azt követő komposztálásnál mintegy 33-56 %-ra várható, 45 %-os átlagértékkel. Természetesen ez a hányad mind a rothasztás, mind az azt követő komposztálás körülményeitől is számottevően függ.

A nyers lakossági szennyvíziszapnak rendszerint 70-80 % a szerves anyag hányada (izzítási veszteség). A rothasztott lakossági szennyvíziszapoké 60 % körüli. Biztonsággal feltételezhetjük, hogy a komposztálás után ez a szerves anyag tartalom mintegy 35-40 % körüli értékre várható. Egy jól stabilizált, rothasztott, majd komposztált mintát 60 % nedvességtartalomra újjáállítva, és ellenőrzött aerob körülmények között 49 °C-on inkubálva azonban további lebomlás volt mérhető. 18 nap után a komposzt szerves anyag hányada (izzítási veszteség) 32,5 %-ról 29 %-ra csökkent, ami az előzőre vonatkoztatva mintegy további 15 %-os lebomlásnak felel meg. A 30 % körüli szerves anyag tartalom (izzítási veszteség) valószínűleg az elérhető legkisebb érték a lakossági szennyvíziszap megfelelő komposztálása esetén.

A komposzt alapanyag mintának egyidejűleg meghatározták a KOI értékét is, ami 1,65 g O₂/gVS értéknek adódott. A VS jelölés a száraz minta izzítási veszteségét jelöli, amit a szennyvíztisztítás és komposztálás gyakorlatában a szerves anyag tartalom jó közelítésének tekintenek. Részletes vizsgálatok során 20-30 nap alatt ennél a mintánál csak 0,5-0,6 g O₂/g VS érték oxigénfelvétel volt mérhető, tehát a lebomlás csak 30 %-os lehetett. A faforgács bomlása tehát még lassúbb volt, mint az iszapé, hogy annak a 45-50 % körüli lebomlását a keveréknél ilyen mértékben csökkentette.

4. 3.4 A szerves anyag oxidációjának oxigén/levegő-igénye

A sztöchiometrikus oxigénigényt az alapanyag szerves komponenseinek összetétele, és biológiai lebonthatósága alapján kell számítani. A különböző szerves anyagok tipikus vegyi összetétele elemösszetételükkel határozható meg. Erre vonatkozóan részletes adatok állnak rendelkezésre korábbi vizsgálatokból. A szénhidrátok összetétele $(C_6H_{10}O_5)_n$ széles körben ismert. A szennyvíziszapok hasonló összetétele a következő formulával jellemezhető:

primer iszap - $C_{22}H_{39}O_{10}N$,

vegyes iszap - $C_{10}H_{10}O_3N$

Általában szokásos a sztöchiometrikus levegőigényt a komposztálandó szennyvíziszap száraz tömegére vonatkozó fajlagosként megadni. Ez a szennyvíziszap-szalma keverék esetében 1,95 kg levegő / kg száraz alapanyag körüli fajlagos érték. Ennél alig lehet kevesebb a faaprítékkal végzett komposztálás fajlagos levegőigénye is, bár a szalma valamivel nagyobb mértékben oxidálódik, mint a faapríték, a komposztálás biológiai oxidációjánál.

Az eddig bemutatott adatok is bizonyítják a levegőellátás fontosságát a komposztálásnál. Láthatóan az elméletileg szükséges levegőmennyiség mintegy kétszerese az alapanyag száraz tömegének. Ennek megfelelően a levegő a komposztálásnál felhasznált legnagyobb anyagmennyiség. Az is emeli jelentőségét, hogy a gyakorlatban mindig légfeszleggel kell dolgozni a megfelelően aerob környezet biztosítására. A légfeszleg értelemszerűen a gyakorlatilag beviendő és sztöchiometrikusan számítható levegőmennyiség hányadosa.

A komposztálás elméleti oxigénigénye úgy is számítható, hogy figyelembe veszik az alapanyag átlagos kémiai összetételét, valamint a keletkező komposzt (végtermék) átlagos összetételét is. Ilyenkor a megfelelő átlagos összetétel a következő átlagolt összképlettel vehető figyelembe:

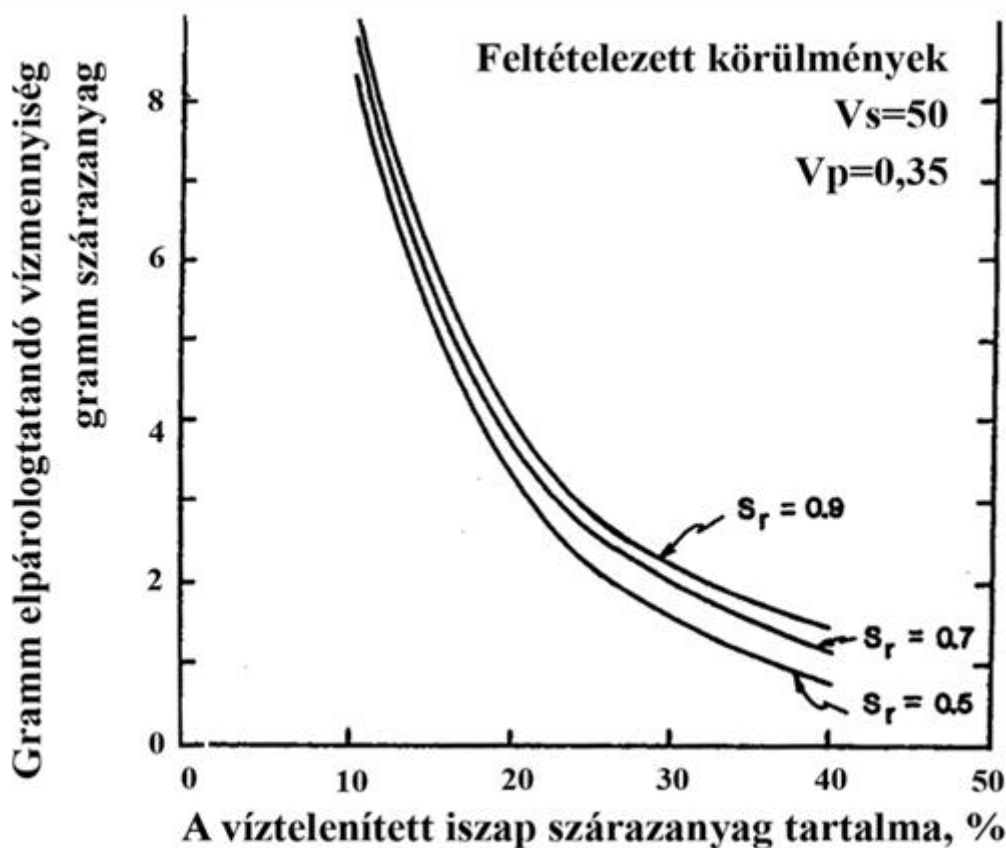
$C_{31}H_{50}O_{26}N$, illetőleg $C_{11}H_{14}O_4N$

Ennek alapján a levegőigény 3,375 kg levegő / kg száraz szerves alapanyag értékre adódott. Értelemszerűen a számításnál a biológiai lebontás mértéke is figyelembe van véve. A hamutartalmat is számításba véve ez a számítás is az előzőekben számolt 2 kg levegő / kg száraz alapanyag fajlagost adja. Az utóbbi módszerrel közvetlenül számolható a komposztálás során keletkező hőmennyiség fajlagos értéke is.

5. 3.5 A nedvességtartalom csökkentéséhez szükséges levegőigény

Az elpárologtatandó víz mennyisége a komposztálás anyagmérlegéből számítható. A 3.10. ábrán rothasztott szennyvíziszap komposztálására vonatkozó eredmények láthatók, de hasonló elemzés más alapanyagokra is igen közeli eredményeket szolgáltat.

3.10. ábra - A szennyvíziszap nedvességtartalmának hatása a komposztálás során elpárologtatandó vízmennyiségre.



A komposztálásnál elpárolgatatandó nedvesség mennyiségét alapvetően a szennyvíziszap nedvességtartalma határozza meg, ha a szennyvíziszap szárazanyag tartalma kevesebb, mint 30 %. Ennél szárazabb szennyvíziszap esetén a segédanyagok és a komposzttermék nedvességtartalma is meghatározó az elpárolgatatandó vízmennyiség tekintetében.

A biológiai lebontás sebessége 40-50 % nedvességtartalom alatt kezd csökkenni. Ennek következményeként 30 %, vagy annál kisebb nedvességtartalomra igen nehéz a komposzt szárítása a biológiai átalakulások lelassulása, s így a keletkező szükséges hőmennyiség hiányában. A komposzt általában 40 % körüli nedvességtartalomig szárítható a komposztkeverék szerves anyaga biológiailag bontható részének a kellő energiatartalma esetén. Ellenkező esetben a komposzt várható nedvességtartalma nagyobb lesz mint 40 %.

Egy 25 % szárazanyag-tartalmú rothasztott iszap faaprítékkal történő komposztálásakor, valamint a faapríték igény szerinti visszaforgatásakor, amikor 65 %-os szárazanyag-tartalmú késztermék előállítására a cél, a nedvességtartalom megkívánt eltávolításához a sztöchiometrikus oxigénigény (2 g levegő/g szárazanyag) több mint tízszerese, 25 g levegő / g szárazanyag szükséges a szárítás érdekében. Ez azt jelenti, hogy a jelentős légfeszesség nemcsak a kellően oxikus környezet biztosítása, de a termék kellő szárítása érdekében is elengedhetetlen.

Mivel a biológiai lebontás sztöchiometrikus oxigénigénye a komposztálásnál rendszerint kisebb, mint a szárításé, a levegőztetés szabályozása alapvető fontosságú. A szárítás ennek megfelelően a levegőellátással szabályozott. Az alapanyag keverék összetétele függvényében (energiatartalma) két eset állhat elő. A keletkező hőmennyiség esetlegesen elég lehet mind a komposztálás, mind a szárítás biztosítására, de előfordulhat, hogy az csak a komposztálásra elegendő, és ezért csak korlátozott szárítás lehetséges.

Az optimális hőmérsékletet a levegőztetéssel szabályozzák, de ez az optimális hőmérséklet a komposztálás folyamatában is változik. A korábbiakban bemutatott komposztálási példákra ennek megfelelően levezetett energiamérleg alapján a keletkező hőmennyiség eltávolításához szükséges légfeszesség mintegy 25-szörös. Ez azt jelenti, hogy nagyon energia-gazdag, vagy szárazabb alapanyag esetén ez az érték meghaladhatja a nedvesség csökkentéséhez szükséges légfeszességet is. *A nedvesebb alapanyagok esetén azonban többnyire a párolgatatandó levegőigénye a meghatározó.* Egyértelmű, hogy mindegyik nagyobb, mint a szerves anyag átalakításának a

biológiai oxigénigénye (sztöchiometrikus oxigén mennyiség). Ennek megfelelően a komposztálás levegőztetése minden esetben a folyamat, és szabályozásának a kritikus tényezője.

Ez a megoldás intenzívebb előkomposztálásból és lassúbb utóérlelésből áll. Az elsőben az oxigénigényt megfelelő fajlagos szabad gáztérfogatot biztosító strukturanyag, vagy kész komposzt visszakeveréssel, bekeveréssel biztosíthatjuk többnyire ciklikus, szabályozott levegő aláfúvatás mellett. Erre a szakaszra (sztatikus komposzthalmok) a levegőigényt az intenzív szakaszra kell értelmezni. Így általában a 3-4 hetes intenzív komposztálás időszakában kell a komposzthalmomba bevinni. Ennek megfelelően egy átlagos levegőztetési sebesség közvetlenül számítható. A számszerű érték m^3 levegő/óra x tonna szárazanyag fajlagos értékben adható meg az alapanyagra (szennyvíziszap) vonatkoztatva.

Az oxigén-igény azonban az intenzív komposztálás ideje alatt is változó. Mindenképpen jelentkezik egy csúcsigény. A csúcsigény korábbi tapasztalatok alapján számolható. Megfigyelték, hogy az oxigénfelvétel sebessége leginkább a hőmérséklettől függ. 40-65 °C között a maximális értékek 10-14 mg O₂ / g szerves anyag x óra körül alakult. Ilyen nagy oxigénigény azonban csak viszonylag rövid időtartamban jelentkezik. Általában 2 napon át tapasztalható a maximális oxigénigény, majd azt követően 4 napon át már csak annak 3/4-e, az azt követő 8 napban csak a fele jelentkezik. Ha egy komposztáló rendszerben a levegőellátás nem tudja biztosítani a maximális igényt (kapacitáshiány), a hőmérséklettről történő visszacsatoló szabályozás nem tud megfelelően működni, s a komposzt-halom hőmérséklete túlzott mértékben megemelkedik (kellő hűtés hiánya). Költség megtakarítást jelenthet mégis az alátervezés kisebb-rövidebb időtartamra.

Az utóérlelés első szakasza a rostálást követően történhet levegő aláfúvatással is, de rendszerint már ez sem ilyen. A végső érlelés nagyobb halmokban általában levegőztetés nélkül történik. A halomnak a benne kialakuló hőmérsékletgradiens következtében elegendő lehet a spontán levegőzése is.