

FRI-8.303b-1-AMT&ASVM-01

APPLICATION OF COMPOSTING AS A SUSTAINABLE PRACTICE FOR IMPROVING SOIL FERTILITY¹

Eng. Plamen Petkov, PhD Student

Department of Agricultural Machinery,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: +359 88 815 4141
E-mail: ppetkov@uni-ruse.bg

Prof. Petar Dimitrov, PhD, DSc

Department of Agricultural Machinery,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: +359 82 888 542
E-mail: pdimitrov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Kaloyan Stoyanov, PhD

Department of Agricultural Machinery,
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: +359 82 888 441
E-mail: kes@uni-ruse.bg

***Abstract:** This study explores composting as a sustainable biological process that transforms organic waste into a stable humus-like product with high value for enhancing soil fertility. It analyzes the ecological, agrochemical, and technological dimensions of composting, comparing two main methods: anaerobic liquid-phase and aerobic solid-phase composting. The research emphasizes the advantages of the aerobic method, which is more suitable for Bulgarian agricultural conditions due to its low energy requirements, easy thermal regulation, and scalability. Key factors for successful composting are outlined, along with the decomposition and maturation phases that result in high-quality compost. This compost enriches the soil and supports environmentally responsible farming practices.*

***Keywords:** Composting, Organic matter, Humus, Soil fertility, Sustainable agriculture, Aerobic composting, Anaerobic composting, Biomass, Microorganisms, Ecological technologies.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременните условия на интензивно земеделие, всяка земеделска дейност представлява намеса в природните екосистеми, което налага прилагането на устойчиви практики за минимизиране на негативните въздействия върху околната среда. Една от най-ефективните стратегии в тази насока е превръщането на производствения цикъл в затворена система, при която се осигурява максимално оползотворяване на хранителните елементи и се подпомага биологичната активност в почвата (Rubin, 1968; Beloev et al., 2010). За разглеждането на тази концепция е важно да се каже, че почвата е жива система, в която се развиват всички явления, свързани със земеделското производство. В нея се осъществяват сложни физични, химични и биологични процеси. Нейните свойства – поглъщателни, водни, структурни (физични) и агрохимични – са пряко зависими от съдържанието на органично вещество, което играе ключова роля за плодородието и устойчивостта на агроекосистемите (Kovachev, 1975; Paraskevov and Trendafilov, 2000).

Богатата на органични вещества почва създава благоприятни условия за развитието на кореновата система на растенията и за активността на микроорганизмите. Сред тях се открояват около 6000 вида гъби, които живеят в симбиоза с корените и подпомагат усвояването на хранителни вещества, особено на трудно достъпния фосфор. (Kovachev, 1975; Morgun et al., 1983; Rubin, 1968). В природата органичното вещество се образува непрекъснато чрез преобразуването на органични

¹ Докладът е представен на Научната сесия на Секция „Земеделска техника и технологии, Аграрни науки и ветеринарна медицина“ на 24 Октомври 2025 г. с оригинално заглавие на български език: ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОМПСТИРАНЕТО КАТО УСТОЙЧИВА ПРАКТИКА ЗА ПОДОБРЯВАНЕ НА ПОЧВЕНОТО ПЛОДОРОДИЕ.

отпадъци и остатъци, стимулирано от разнообразни микроорганизми, въпреки че условията невинаги са напълно благоприятни за този процес.

В днешни условия целенасоченото производство на органично вещество е напълно осъществимо. Научните изследвания и практическото приложение са усвоили този процес и са го утвърдили като технология, позната под името компостиране.

Целта на настоящата публикация е да се установи същността и значението на компостирането като процес за оползотворяването на органичните остатъци и отпадъци, генерирани от растениевъдството, животновъдството, дърводобива и бита, както и да се разгледат основните начини на компостиране, техните характеристики, придимства и недостатъци.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Компостирането представлява екзотермичен процес, при който органични отпадъци и остатъци се преобразуват под въздействието на разнообразни микроорганизми в устойчив хумусоподобен материал, наречен компост.

Основните суровини за този процес включват органични вещества, произхождащи от земеделието, животновъдството, дърводобивната дейност, промишлеността и домакинствата. Тези материали са ценен източник с висока биологична и енергийна стойност. (Stoynev, 2004; Beloev et al., 2010). (Табл. 1)

Таблица 1. Характеристика на някои органични остатъци и отпадъци

Вид	Влажност (%)	Консистенция	Обемна маса (t/m ³)
слама	15 - 20	Твърда	0,5 - 0,6
стебла	25 - 35	твърда	0,5 - 0,6
лозови пръчки	30 - 70	твърда	0,3 - 0,6
клони/храсти	30 - 50	твърда	0,4 - 0,6
сено	15 - 50	твърда	0,5 - 0,6
пресни екскременти от говеда	60 - 80	твърда	0,7 - 0,8
екскременти от птици	30 - 40	твърда	0,5 - 0,7
фуражни отпадъци	15 - 30	твърда	0,8 - 0,9
от дърводобив (клони, кора, листа)	20 - 50	твърда	0,3 - 0,4
санитарна сеч	30 - 50	твърда	0,4 - 0,5
дървопреработка (стърготини, талаш)	15 - 20	твърда	0,3 - 0,4
от преработка на растениевъдството	70 - 80	твърда	0,8 - 0,9
от производството на вино и пиво	80 - 90	течна	0,8 - 0,9
твърди битови отпадъци	40 - 50	твърда	0,6 - 0,7
утайки от отпадни води	70 - 80	течна	0,7 - 0,9

Материалите, подходящи за компостиране, трябва да създават условия за устойчиво развитие на микроорганизмите, които участват в разграждането. Сред тях се включват:

- Компоненти, богати на азот – кухненски отпадъци, прясно окосена трева, оборски тор;
- Компоненти, съдържащи въглерод – слама, изсъхнали листа, дървесни отпадъци (Stoynev, 2004).

Не се препоръчва добавянето на месо и млечни продукти, тъй като те могат да предизвикат неприятна миризма и да увеличат риска от развитие на патогенни микроорганизми. Важно е да се внимава с плевелите, особено тези със семена, които могат да се разпространят, ако компостирането не е напълно завършено.

Разграждането на тези органични остатъци и отпадци става в две направления – анаеробно течнофазово компостиране и аеробно твърдофазово компостиране.

Анаеробното течнофазово компостиране е в резултат на хидролитични и ферментационни процеси и се осъществява в биореактори без наличие на кислород, при което се получава биогаз и компост (полученият компост е само около 30% от изходния материал). Съставът на биогаза включва: метан (CH₄): 50–70%, въглероден диоксид (CO₂): 25–50%, амоняк (NH₃): до 7% (Beloev et al., 2010).

Недостатъците на този метод включват високи енергийни разходи, сложна техника и ниска ефективност в малки мащаби.

Аеробното твърдофазово компостиране се базира на биологично узряване на органична материя и се осъществява при наличие на кислород, като разграждането на органичната материя се извършва от естествено присъстващи или добавени микроорганизми – бактерии, гъбички, актиномицети и водорасли. В резултат се получава компост, въглероден диоксид, вода, нитрати, сулфати и значително количество топлина (Stoynev, 2004, Beloev et al., 2010).

Предимства на този метод са: получаване на стабилен, хигиеничен и богат на хумус продукт; обеззаразяване и обезпаразитяване на суровината; ниски енергийни разходи и лесна терморегулация; възможност за прилагане в малки и големи мащаби; полученият CO₂ може да се използва за интензифициране на фотосинтезата, което създава предпоставки за безотпадни технологии (Stoynev, 2004).

В практиката са разработени различни технологии за анаеробно течнофазово и аеробно твърдофазово компостиране. От разгледаните методи става ясно, че по – подходящ е метода за аеробно твърдофазово компостиране.

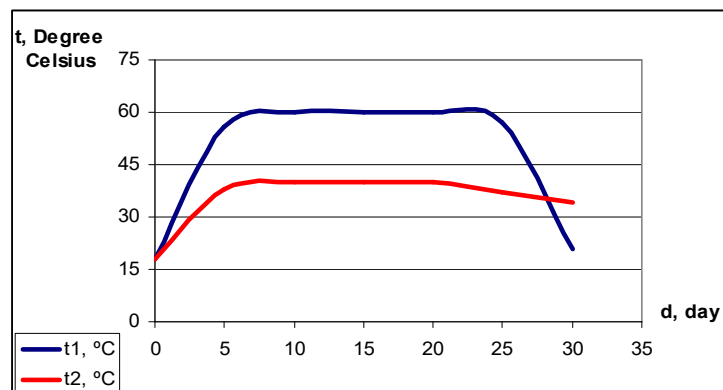
Целия процес на аеробно твърдофазово компостиране може да се раздели на две фази (Beloev et al., 2010): първа фаза – разлагане или ферментация (разграждане), която завършва с края на термофилната ферментация; втора фаза – зреене, представляваща значително по-продължителен мезофилен процес.

Първа фаза – разграждане на органичните вещества започва веднага след формирането на биомасата (фиг. 1) Биомасата, това е органична материя с растителен или животински произход. Тя може да бъде формирана от дървесни остатъци, остатъци от растения, от селското стопанство и лесовъдството, както и органичните отпадъци от бита и производствени процеси.



Фиг. 1 Формиране на биомасата

Първата фаза започва с разграждането на лесноразградими съединения като захари, органични киселини и аминокиселини. Тя се характеризира с интензивно повишаване на температурата в рамките на първите 12–48 часа след формирането на купа, достигаща до 55–60°C, а понякога и повече. Това температурно нарастване може да забави процеса, особено ако топлината не се разпределя равномерно в масата. (фиг. 2.)



Фиг. 2. Изменение температурата на биомасата:

1) при висок температурен режим, 2) при нисък температурен режим

Тази фаза е ясно изразено термофилна и продължава от няколко седмици до над месец. В рамките на тези условия се осъществява ефективно унищожаване на семената от плевелни растения. За да се отстрани натрупаната топлина през този период, е необходимо прилагането на интензивна аерация или механично преобръщане на купа. В резултат от разграждането на биомасата се формират фитотоксични вещества като амонячен азот, оцетна, протеонова и мастни киселини, както и други по-сложни съединения. Най-активни в тази фаза са бактериите, които бързо метаболизират образуваните фитотоксини. В края на първата фаза се получава пресен компост.

Втора фаза – зреене, която може да трае дори няколко месеца. През тази фаза се разграждат по-сложни молекули, което протича с по-бавни темпове, особено поради намаления брой микроорганизми вследствие на недостиг на хранителни вещества. Температурата постепенно се понижава до 40 - 45°C, като термофилните микроорганизми отстъпват място на мезофилни, а впоследствие и на психрофилни видове, които функционират при обичайни температурни условия. (табл. 2).

Таблица 2. Температурни зони на развитие на микроорганизмите в биомасата.

Микроорганизми	Температурни зони на развитие
Психрофилни микроорганизми	$0 < t < 30^{\circ}\text{C}$
Мезофилни микроорганизми	$30 < t < 45^{\circ}\text{C}$
Термофилни микроорганизми	$45 < t < 50^{\circ}\text{C}$

С навлизането на мезофилните микроорганизми, сред които доминират актиномицетите, започва разграждането на сложни органични съединения като скорбяла, целулоза и лигнин — ключови компоненти за формирането на хумусни вещества. Присъствието на тези микроорганизми се разпознава по характерната миризма, наподобяваща тази на горска почва.

В резултат от биосинтетичната активност на микроорганизмите върху животински и растителни отпадъци се образува хумус.

Ефективното протичане на процеса на компостиране се обуславя от множество фактори, свързани с избора и подготовката на суровините, параметрите на самия процес, както и степента на контрол и управление, която може да бъде осигурена. (Chiumenti and Chiumenti, 2004; Chiumenti and Chiumenti, 2002). По важните от тях са:

- порьозност на биомасата;
- влажност на биомасата;
- присъствие на кислород;
- температура;
- хранителни вещества и отношението на C:N;
- стойността на рН;
- присъствието на вещества, задържащи процеса.

Спирайки се по-подробно на тези фактори може да се посочи, че важно условие за осъществяване на компостирането е да се осигурят три неща: органична материя, въздух и вода.

От порьозността зависи снабдяването на процеса с въздух, като оптималната обща порьозност трябва да е в границите на 35-50 %. Тя зависи основно от едрината на частиците на масата, но поради самоуплътняването ѝ, тя зависи още и от влажността и височината на пласта. За компостирането не само от физическа, но и от биологическа гледна точка е желателно смесване на отпадъци и остатъци от различен произход с цел да се получи една обемна маса около 0,60 t/m³ (Beloiev et al., 2010).

Водата е основна среда за развитието на голяма част от микроорганизмите участващи в компостирането. Оптималната влажност на биомасата за компостиране е 50-60 %. По време на компостирането влажността на биомасата намалява. Поддържането на необходимата влажност се осъществява с поливане или навлажняване с душеви инсталации (Chiumenti and Chiumenti, 2004).

Консумирането на кислород при аеробното твърдофазово компостиране е значително. През първата фаза кислородът трябва да заема 5-15 % от обема на порите. Това е достатъчно за да не протича анаеробен процес, но не е достатъчно за пълно разлагане, минерализация на органичната материя, а до нейното стабилизиране и хумифициране. През втората фаза – зреене – хумифициране, необходимостта от кислород е по-малка и затова се осъществява ограничено подаване на кислород в порядъка на 1 до 5 % от обема на порите.

Необходимият въздух при компостирането на 1 t органична маса варира от 10 до 100 m³/h в зависимост от естеството на материала. Подаването на кислород е възможно да е принудително чрез вентилиране, или да става по естествен път съчетано с преобръщане на материала със специална техника (Chiumenti and Chiumenti, 2004).

Процеса на компостиране е екзотермичен процес. Отделената топлинна енергия зависи от състава на материала за компостиране. От показаните данни на фиг. 2 и табл. 2, както и от направения анализ за тях се вижда, че температурния режим през първата фаза на разграждане на органичното вещество трябва да е такъв, че да се развият термофилните микроорганизми и оптималната температура да е 55-60°C. За хигиенизирането на продукта, унищожаването на патогенните микроорганизми, температурата не трябва да е по-ниска от 55°C, а за унищожаване на плевелните семена и на паразитните растения трябва да се осигури температура над 60°C. Не бива да се допуска температурата да надвишава 70°C тъй като в противен случай микроорганизмите, освен спорообразуващите, загиват и има опасност процеса да се прекъсне. През втората фаза на процеса се получава 35-45°C температура, най-често не по-висока от тази на околната среда, което говори за край на процеса (Beloev et al., 2010).

Важен фактор, до колко едно органично вещество е подходящо за хумифициране е съотношението на въглерод към азот (C:N). Органичните остатъци, които се внасят в почвата (слама, стърнище, корени, стебла, листа, и др.) имат най-различно съдържание на хранителни елементи и съотношение C:N, ето защо като оптимално съотношение на C/N в началото на компостирането трябва да е 30, т.е. в границите 25-35. Независимо от това първоначално съотношение на C:N, при оптимални условия на компостиране, в края на процеса съотношението C:N се получава почти едно и също (15-20) (Beloev et al., 2010).

В резултат на образуването на CO₂ и на органични киселини в началото на процеса на компостиране рН е сравнително ниско. Поради това, че бактериите предпочитат рН близко до неутралното, оптимални стойности на биомасата за компостиране в началото трябва да е рН_{нач.}=5,5-8,0. По късно, в резултат на аерацията и разграждането на протеините и получаване на амоняк, рН се повишава до 8-9 и към края на процеса рН става неутрален или слабо алкален (Chiumenti and Chiumenti, 2004).

Биологическата стабилност на компостираната биомаса настъпва когато процесите на превръщането ѝ са силно забавени и не съществуват условия за нормална дейност на микроорганизмите (Beloev et al., 2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на разгледаната и анализирана информация може да се направят следните изводи:

1. Компостирането е ключов процес за устойчиво управление на биомаса, който позволява трансформирането на органични остатъци и отпадъци в стабилен хумусоподобен продукт – компост, подобряващ физичните, химичните и биологичните свойства на почвата и същевременно намаляващ екологичния отпечатък от земеделската дейност. Това го прави стратегически инструмент за възстановяване на почвеното плодородие.

2. Разграждането на органични остатъци и отпадъци, произхождащи от земеделието, животновъдството, дърводобивната дейност, промишлеността и домакинствата, както и превръщането им в компост става в две направления – анаеробно течнофазово компостиране и аеробно твърдофазово компостиране.

3. Аеробното твърдофазово компостиране се откроява като най-подходящ метод за българските условия, благодарение на ниските енергийни разходи, лесната терморегулация и възможността за прилагане в различни мащаби. То осигурява ефективно обеззаразяване на суровината и създава компост с висока агрохимична стойност. Допълнително, полученият CO₂ може да се използва за интензифициране на фотосинтезата.

4. Успешното протичане на компостирането зависи от прецизен контрол върху редица фактори, включително поръзност, влажност, температура, рН и съотношението C:N. Недостатъчното управление на тези параметри може да доведе до забавяне на процеса или образуване на фитотоксини. Затова технологичният подход и мониторингът са от решаващо значение за качеството на крайния продукт.

REFERENCES

- Alekov, V. (2002). Otlezhdane i prilozhenie na cherven kalifornijski chervej. Sofia: Zemizdat.
- Bakalov, I. M. (1986). Izuchavaniya vŭrkhу rolyata na osnovnata obrabotka na pochvata za stopanskoto izpolzване i zashtita ot erozia na skloni. PhD Thesis, Sofia.
- Baraev, A. I., et al. (1983). Eroziya na pochvata i borba s neya. Sofia: Zemizdat.
- Beloev, Hr., Radulov, P., Atanasov, A., Stoyanov, K. (2009). Instalatsiya za aerobno tvŭrdofazovo kompostirane. Zayavka za polezen model №1642. Bulletin №2-01.2010, PVRB.
- Beloev, Hr., Radulov, P., Atanasov, A., Dimitrov, P., Stoyanov, K., Bileva, T. (2010). *Utilization of Organic Residues in Agriculture*. University of Ruse "Angel Kanchev", Ruse, Bulgaria.
- Chiumenti, R., Chiushenti, A. (2004). *Composting Technology*. Sofia: Knizhen Tigŭr.
- Chiumenti, Roberto & Chiumenti, Alessandro. (2002). *Composting Technology*. Udine: Institute of Agricultural Technologies.
- Dimitrov, P. D., Lazarov, A. L., Beloev, Hr. I., Radulov, P. T. (2008). Ustroystvo za vertikalno mulchirane. Patent №65393B1. Sofia: Republika Bŭlgariya.
- Kovachev, D. (1975). Minimalna obrabotka na pochvata. Sofia: Obzor.
- Morgun, F. T., Shikula, N. K., Tarariko, A. G. (1983). Pochvozashchitnoe zemledelie. Kiev: Urozhay.
- Paraskevov, P., Trendafilov, Kr. (2000). Poddŭrzhane i povishavane na pochvenoto plodorodie pri biologichnoto gradinarstvo. Plovdiv: Agroekologichen tsentŭr pri VSI.
- Rubin, B. A. (1968). Fiziologiya na rasteniyata. Sofia: Zemizdat.
- Stoynev, K. (2004). Ekologichni i tehnologichni aspekti na sŭvremennoto zemedelie. Sofia: Ekoinovatsii EOOD.
- Yancheva, H., Manolov, I. (2003). *Fundamentals of Organic Farming*. Ruse: ET "Vasil Petrov".