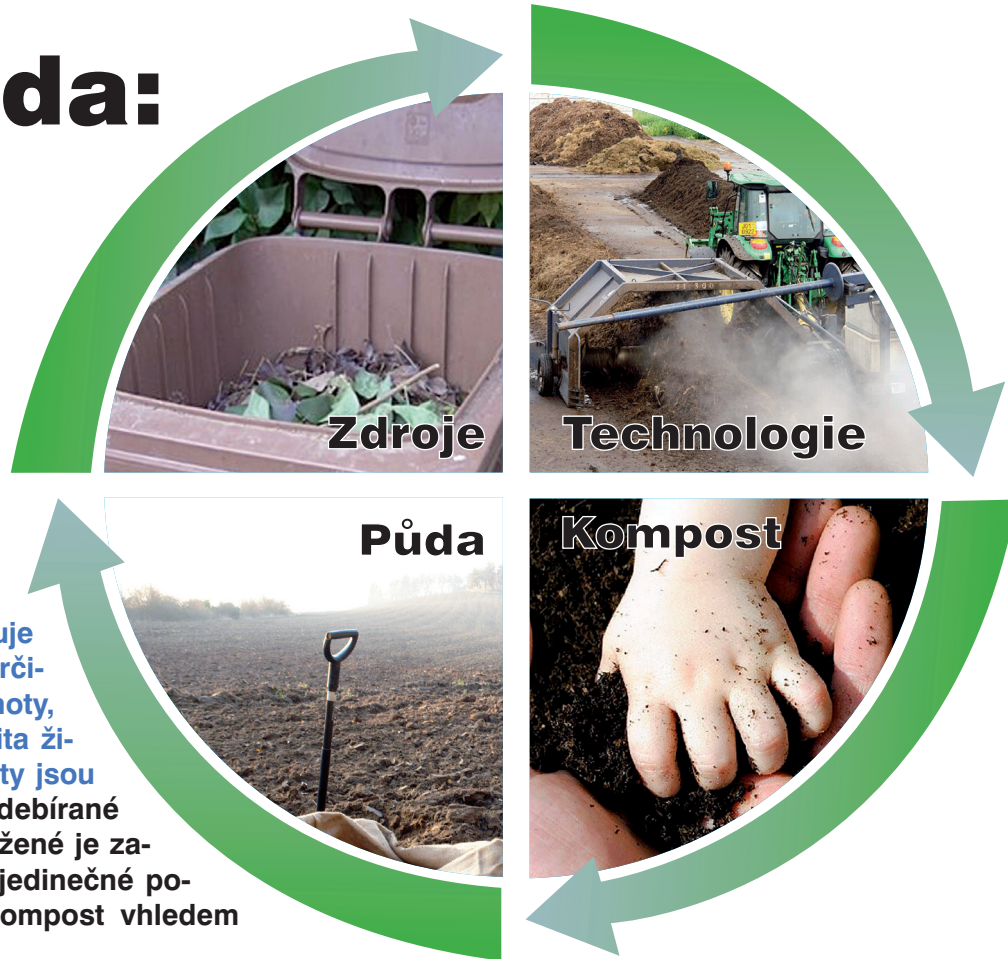


innovative composting

## Půda a voda: chceme udržet vodu v krajině

...půda je živý systém, který umožňuje existenci svým organismům díky určitému malému podílu organické hmoty, který obvykle nepřesahuje 5%. Kvalita života v půdě a kvalita organické hmoty jsou spojitými nádobami. Části rostlin odebírané se sklizní úrody a živiny v nich obsažené je zapotřebí čas od času do půdy vrátit, jedinečné postavení v tomto směru má právě kompost vzhledem k tomu, že už jednou rostlinou byl...



### Zdroje

- biologicky rozložitelné materiály – rostlinné zbytky
- ze zahrad
- z údržby veřejných ploch v obci
- ze sportovišť
- z lesnictví
- ze zemědělství
- zpracování potravin v domácnostech
- základním kritériem je poměr mezi tzv. zelenou hmotou a hmotou s vyšším podílem zdřevnatělých částí rostlin

### Technologie

- kompostování je řízený aerobní proces, při němž se činností mikroorganismů a makroorganismů za přístupu vzduchu přeměňuje využitelný materiál na stabilizovaný výstup – kompost
- nejdůležitější fáze je fáze hygienizace při které dochází vlivem teploty nad 65 °C k významnému snížení aktivity a počtu nežádoucích mikroorganismů a k eliminování klíčivosti semen plevelných rostlin
- jediná technologie, která zajistí tuto termickou fázi

### Kompost

- je organické hnojivo dominantně mikrobiálního zpracování a stabilizace organických látek
- obsahuje klíčové živiny a stopové prvky vázané na organickou hmotu v optimálním vzájemném poměru
- kombinace živin se stabilizovanou organickou hmotou činí z kompostu nenapodobitelné a nenahraditelné pozvolna se uvolňující hnojivo, které bez aktivity kořenů a půdní mikroflóry naopak účinně chrání živiny před vyplavením

### Půda

- půda je oživený systém, který umožňuje život svým organismům díky určitému malému podílu organické hmoty, který obvykle nepřesahuje 5%
- kvalita života v půdě a kvalita organické hmoty jsou spojitými nádobami
- části rostlin odebírané se sklizní úrody a živiny v nich obsažené je zapotřebí čas od času do půdy vrátit
- jedinečné postavení v tomto směru má právě kompost

# Aktuální výzvy a problémy

Vzhledem k výzvám, před kterými současná společnost stojí – nedostatek kvalitní půdy, nedostatečné vsakování a zadržování vody v půdě, postupné vyčerpání přírodních zdrojů živin a nutnost jejich obnovy, nabízí technologie kompostování jedinečnou možnost přírodě blízkého způsobu recyklace živin a organické hmoty.

Agentura ZERA, z.s. se dlouhodobě profiluje v oblasti kompostování a nových technologií pro podporu recyklace surovin, návrat živin do půdy a soustavné zlepšování kvality půdy. ZERA spolupracuje s mnoha prestižními národními i zahraničními pracovišti a v tomto materiálu předkládá aktuální poznatky týkající se inovací technologií kompostování jako výsledky mezinárodního projektu INTEKO řešeného ve spolupráci se zahraničním partnerem. Právě jejich know-how týkající se moderní technologie pro hodnocení zralosti, bezpečnosti a kvality kompostu přinesla ZERA do ČR. Díky projektu INTEKO se může zemědělská praxe spolehnout na kvalitu kompostu jako nezpochybnitelného kvalitního hnojiva, které lze navíc využít v ochranných pásmech vod. Spolupracovník a expert Ing. Jaroslav Záhora, CSc. z MENDELu považuje kompost za hlavní stabilizátor trvalého humusu v půdě a významného přispívatele ke zlepšování půdní kvality díky prokázanému obsahu důležitých živin či jejich optimálnímu vzájemnému poměru.

## Právní úprava

Legislativní podmínky v současné době nestanovují zcela jasná pravidla charakterizující proces kompostování, proto v praxi často dochází k nesrovnalostem na straně uživatelů kompostu (zemědělci) a producentů kompostu (kompostáren). Protože je kompostování především biologický proces, byly projektem ověřeny další parametry, jak procesu kompostování, tak výsledného kompostu, které by jednoznačně praxi pomohly deklarovat kvalitu výsledného produktu.

Současná legislativa v České republice nezná procesní rozlišení kompostování jako biologického procesu, při kterém vzniká kompost - organické hnojivo (legislativa hnojiv), ale jako základ zavedla definici o nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (legislativa odpadů). Kompostárna je v ČR chápána vždy jako zařízení pro nakládání s odpady (mimo komunitní kompostárny). Ale v podstatě jde jen o slovní klasifikaci využitelných zdrojů.

- **Zákon č. 61/2017 Sb. o hnojivech**, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb. Vyhláška č. 237/2017 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva, kterou se mění vyhláška č. 474/2000 Sb. Československá státní norma č. 46 5735 Průmyslové komposty
- **Zákon č. 184/2001 o odpadech** Vyhláška č. 341/2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady stabilizovaný výstup odpad, který projde kompostovacím procesem, se stává materiálem, který je možno registrovat

Legislativa postihuje i monitoring materiálových toků zdrojů organické hmoty, které jsou vhodné pro recyklaci na kompostárně (vyhláška č. 341/2008 o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady), jaké jsou technologické a technické požadavky na jednotlivé způsoby biologického zpracování bioodpadů.

Zařízení kompostárny musí harmonizovat požadavky kvality vstupních zdrojů s provozem včetně monitoringu procesu a kvality kompostu.

ZERA aktivně usiluje o právní oporu a povinnost ověření kvality, která zemědělcům využívání kompostu usnadní, což může vést k rozšíření využití přírodního zdroje - kompostu místo průmyslových hnojiv se všemi důsledky. Kompost přináší živiny do půdy v harmonické skladbě živin a mikro prvků a je rovněž přirozeným způsobem, jak recyklovat živiny. Dlouhodobá udržitelnost zemědělské produkce musí být postavena na oběhu živin a jejich recyklaci, zprávy o zničení životního prostředí a ekosystémů lidskou činností jasně hovoří o nutnosti



změn přístupů, zamezení plýtvání a maximální recyklaci biologických zdrojů. Kompostování je jednoduchý způsob, jak toho dosáhnout. Evropské unie v minulém roce aktualizovala strategii Bioekonomiky, která se také na úrovni České republiky intenzivně připravuje. Recyklace a využívání biologických zdrojů, podpora zemědělské činnosti, dlouhodobě udržitelný rozvoj venkovských sídel a podpora místního hospodářství jsou základními pilíři Evropské strategie. Podpora kompostáren a produkce kompostu je příkladem systému, který všechny tyto cíle naplňuje.

## Zdroje

**Bioekonomika je moderním trendem snažícím se o komplexní pohled na zdroje akcentující jejich obnovitelnost a opakované použití, delší životnost a v neposlední řadě také minimální nebo nulový negativní dopad na životní prostředí. Bioekonomika předpokládá větší využití potenciálu obnovitelných přírodních zdrojů a technologií v souladu s udržitelným rozvojem.**

Důležitým sektorem pro aplikaci bioekonomických principů je zemědělství. Implementace principů

bioekonomiky v praxi potřebuje inovace. Současné zemědělství se potýká s klimatickými změnami a potřebou zajistit kvalitu výstupů zemědělské prvovýroby. V České republice je jedním z hlavních problémů současnosti potřeba trvalého zlepšování půdních vlastností, které se ale za poslední léta spíše zhoršují. Důvody jsou různé, ale k těm hlavním patří velmi zjednodušené oševní sledy, nedostatek organické hmoty v půdě, snížená retence vody apod.

Současné technologie pro recyklaci zdrojů ze zemědělství i komunální sféry pracují na různých principech, kapacitách a z toho vyplývá i jejich ekonomická udržitelnost a efektivita.

**Vstupními zdroji** v rámci bioekonomiky jsou různé biologicky rozložitelné materiály, tedy materiály, které podléhají aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. V případě, že tyto materiály původce již nepotřebuje a chce se jich zbavit, hovoříme o odpadech.

V rámci bioekonomiky jsou důležitými zdroji jednak biologicky rozložitelné odpady, které produkují občané a obce (údržba zahrad a veřejné zeleně, rostlinné zbytky z domácností), ale i zdroje ze zemědělství, lesnictví či potravinářského průmyslu.

V současné době je velkou otázkou jak řešit uplatnění a jakých technologií využít pro recyklaci kalů, který je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Technologie pro zpracování těchto vod by měla být navržena tak, aby odstranila z čištěné vody nežádoucí složky a výstupem je pak odpadní voda a kal. Kal obsahuje přebytečnou biomasu z biologického čištění včetně živin, především fosforu. Cílem úpravy kalů je zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. Koncentrace prospěšných i znečišťujících složek v kalu a zdravotní rizika s nimi spojená závisí na počáteční kvalitě odpadní vody a na úrovni požadované technologie, která zaručí dosažení kvalitativních požadavků na vyčištěnou odpadní vodu.

Požadavkem je takové využití nebo zpracování kalů, které je přijatelné pro životní prostředí, udržitelné a ekonomicky únosné. Zpracování kalů obvykle stojí přibližně více než polovinu celkových nákladů na čištění odpadních vod. Řízení zpracování kalů bude stále komplexnější, s tím, jak budou přísnější standardy pro životní prostředí a pokud budou výstupy pro kal omežovány legislativou a stanoviskem veřejnosti.

Odpadová politika EU potlačuje ukládání odpadů na skládky a podporuje předcházení vzniku odpadů, jejich minimalizaci a recyklaci. Ukládání kalů na skládky je v ČR zakázáno. Produkci kalů nelze zabránit, pouze lze výběrem technologie zmenšit jeho množství.

Legislativně je problematika kalů upravena vyhláškou 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, která stanovuje podmínky pro kvalitu kalů, které mohou být použity na pole. Kal pro přímou aplikaci do půdy je monitorován a kontrolován včetně kontroly kvality půdy a je jasně legislativně definována jeho aplikace - dávka na hektar, časové odstupy aplikace a zařazení do oševních postupů (nesmí se např. aplikovat pod plodiny potravinářského charakteru). Podmínky nové legislativy včetně časového limitu pro změnu kvality kalů způsobily pro provozovatele ČOV nesmírné problémy a dilem i nejasnosti. Prezentace rizik využití kalů v zemědělské praxi (potřeba předběžné opatření) způsobila zastavení nebo obavy z využití kalů.

Další možností je úprava kalů přes další technologie, které mění jeho chemické, fyzikální vlastnosti a zajišťují snížení mikrobiální nebezpečnosti. Významnou technologií z tohoto hlediska je kompostárna. A to také proto, že síť kompostáren je dostupná plošně, již nyní a mění odpad na kompost.

**Nová legislativa** – vyhláška č. 437/2016 o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě jasně definuje jaké budou parametry upravených kalů od 1.1.2020. Je tedy nezbytné řešit další technologie, které umí čistírenské kalů upravit a zbavit je většiny potenciálních rizik.

# Technologie

Pro zpracování komunálních bioodpadů na kvalitní výstup je důležitá jejich kvalita, především možnost co nejrychlejšího zpracování a čistota těchto odpadů, tedy skutečné vytrídění. Základním prvkem jsou již na počátku systémy třídění a odděleného sběru v jednotlivých obcích a regionech a ně navazující svoz na zařízení pro zpracování – jednotlivé technologie. Ty můžeme rozdělit do tří základních skupin, a to aerobní, anaerobní a termické. Možnost využití jednotlivých technologií je závislá na kvalitě BRO, především na obsahu organické hmoty, vlhkosti a struktuře materiálu. Pro některé technologie mohou být také limitující sezónní výkyvy v produkci a složení BRO.

v reakčním prostoru nulový obsah uhlíku. V ČR není tato technologie v současné době rozšířena, ale patří k možnostem zpracování kalů z čistíren odpadních vod, kdy je pak výstupem tzv. biouhel, který je možné využít jako zdroj čistého uhlíku pro zemědělství.

## Kompostárny

V síti technologií je úlohou kompostárny zajistit materiálovou recyklaci zdrojů živin a organické hmoty, snížit rizika nebezpečnosti zdrojů – hygienizace (mikrobiální, fytosanitární, klíčivost plevelných semen) v aerobním režimu. Hlavním a jediným výstupem je kompost – stabilní produkt, pokud splní kvalitu dle vyhl. č. 341/2008 I. skupinu stává se výrobkem využitelným na zemědělskou půdu. Kompostovací proces jako jediný v řadě technologií stabilitu výstupu z různých



zpracování vytríděného BRKO – biologicky rozložitelný odpad, kdy původcem je obec a občan. Předpokládaná celková produkce BRKO v ČR dosahuje hodnoty cca 1 900 000 t/rok (přepočteno cca 150–180 kg/osobu a rok). V tomto množství je převaha rostlinných zbytků z domácností, údržby zahrad občanů a veřejných ploch obcí a měst. Celkové kapacity kompostáren jsou cca 2 240 000 t. rok<sup>-1</sup>. Z toho vyplývá, že tato zařízení mají volné kapacity pro zpracování dalších zdrojů.

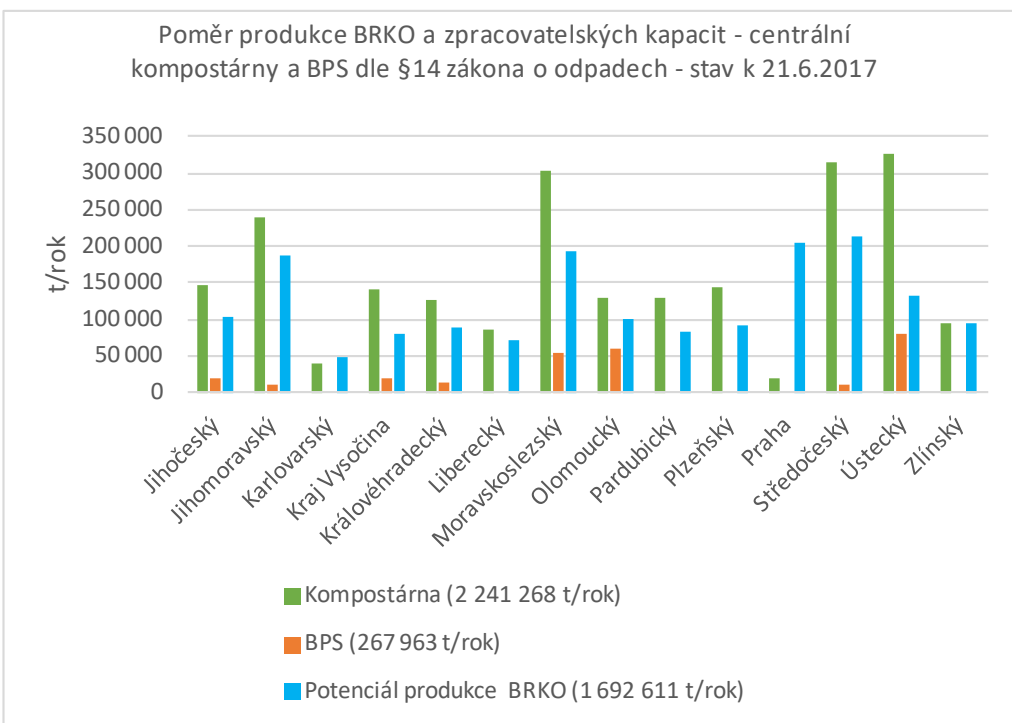
## Co ovlivňuje správný proces kompostování?

Vlastní proces kompostování může být díky svému biologickému charakteru variabilní, ale ve své podstatě musí splňovat uvedené kritické body. V rámci projektu je uváděn do praxe proces hodnocení kvality kompostáren (certifikace) kde jsou tyto podmínky základním parametrem pro udělení tzv. „pečetě kvality“:

- **Typ a množství surovin** – dle chemických, fyzikálních a biologických vlastností, frekvence, četnosti a množství návozu dle uvedených vlastností stanoví metodiku řízení a monitoringu procesu kompostování – **vlhkost, celkový dusík, obsah organických látek**.
- **Skladování, předúprava** – drcení, míchání, úprava vlhkosti, struktura, poměr **C: N (30–35 : 1), vlhkost (50–60 %), struktura (30–40 %)**.
- **Řízení skládek** – 1. fáze – intenzivní fáze – zajištění optimálních podmínek rozkladu za produkce minimálních zápašných látek – intervaly provzdušňování a závlahy – časové dodržení **teplotních limitů a vlhkosti 50–60%** – problém praxe – nedostatečná struktura a zajištění vlhkosti po celou dobu 1. fáze.
- **Hygienizace** – 1. fáze – intenzivní fáze – kombinace času a teploty (**55°C po dobu min. 21 dnů nebo 65°C pod dobu min. 5 dnů**), **obsah vlhkosti (50–60 %)**, opatření proti opětovné kontaminaci – kvalita závlahové vody; teplotní režimy podle platné legislativy ukazují Graf. č. 1.

## Co potřebuje vědět o kompostárně nejen zemědělec?

Stěžejní je výsledná kvalita kompostu, jeho nezávadnost a vstupní suroviny. Tedy zda součástí vsázky byly



Stávající síť recyklace bioodpadů tvoří v zásadě kompostárny, bioplynové stanice a čistírny odpadních komunálních vod. Technologie jsou vedeny v aerobním nebo anaerobním režimu nebo kombinací s doplněním fyzikálních a chemických principů. Pro využití výstupů technologií na zemědělské půdy musí jejich kvalita odpovídat parametrům stanovených ve vyhl. č. 341/2008 a vyhl. č. 437/2016.

V ČR existují v současné době dostatečné kapacity pro zpracování potenciálně vznikajících biologicky rozložitelných komunálních odpadů. Otázkou je dílem nekoncepční řešení v rámci jednotlivých krajů, které zobrazuje následující graf.

## Bioplynové stanice

V síti technologií recyklace biologicky rozložitelných materiálů mají bioplynové stanice (dále jen BPS) úlohu využít energetický potenciál zdrojů pro produkci elektrické energie a tepla v anaerobním režimu za mezofilních nebo termofilních podmínek. Vedlejším produktem je digestát – nestabilní organické hnojivo.

## Čistírny odpadních vod

Technologie čistíren odpadních vod (dále jen ČOV) má úlohu zajistit proces pro zlepšení kvality odpadních vod. Pro čištění odpadní vody se používají chemické, fyzikální a fyzikálně chemické metody a biologické metody (aerobní a anaerobní principy). Produktem ČOV je upravený kal a odpadní voda.

## Pyrolýza

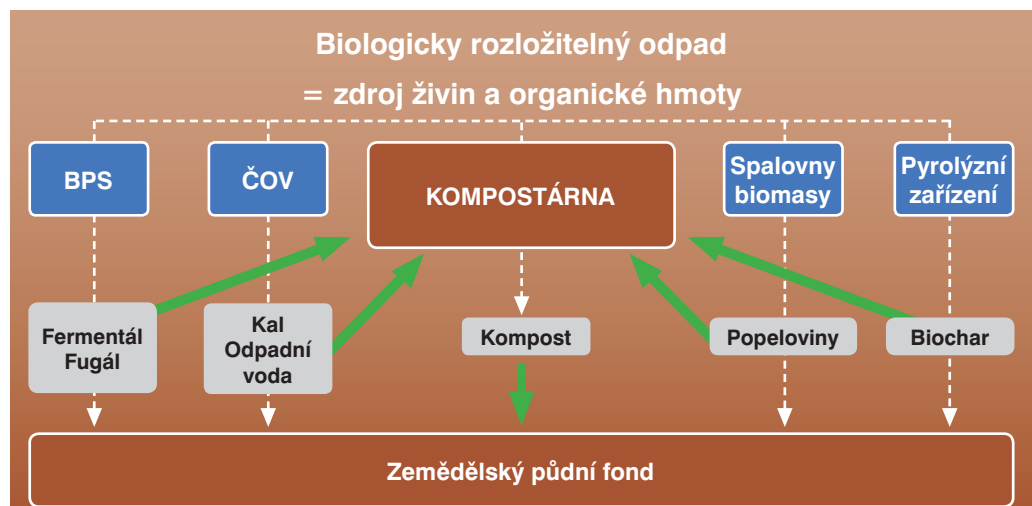
Jedná se o technologii termické zpracování organických materiálů (odpadů) za nepřístupu vzduchu a podstatou tohoto procesu je zahřátí materiálu na teplotu, která přesáhne mez jeho chemické stability. Pyrolýza se řadí do skupiny tzv. reduktivních procesů, kdy je

ných zdrojů a tím rozšíří možnost jejich využití.

Kompostování je původní, v České republice tradiční a ve své podstatě velmi jednoduchá technologie, která jako jediná technologie umožňuje uzavřít koloběh živin a uhlíku z obnovitelných zdrojů a produkovat výrobek s kvalitou půdě „příbuznou“. Kvalita procesu i výsledného produktu závisí na dodržení technologické kázně, která musí být pravidelně monitorována.

## Kompostárna může být zařízením, které technologie propojí

Cílem investic OP ŽP do sítě kompostáren bylo snížení skládkování směsného komunálního odpadu a zajištění



BRKO, kaly, digestát, vstupní popeloviny. Vstupní surovinami je determinováno užití, ačkoli legislativní výklad je v tomto nejednoznačný. Právě proto je důležitá spolehlivá metoda hodnocení kvality kompostu.

Pro podporu správného vedení procesu kompostování projektový tým vytvořil směrnice Manuál kvality pro ověření kvality procesu a kompostu, tedy jednoznačná pravidla vycházející z principů biologického procesu jako takového. Projekt ověřil v praxi, že nastavení tak zvaných kritických bodů procesu kompostování, které vychází z biologických principů, pomohou provozovatelům kompostáren optimalizovat proces a dosáhnout kvalitního a stabilního produktu. Metodiku mohou využít také kontrolní orgány – ÚKZUZ, ČIŽP.

Realizační tým vytvořil také praktické metodiky, které mohou být využity v běžné praxi nebo k řešení problematiky silně degradovaných půd, protierozní ochrany půdy, půd se zvýšenou ochranou podzemních vod.

V souladu se dlouhodobým záměrem ZERA, z. s. budou vytvořené metodiky dále testovány a ověřovány u dalších provozovatelů kompostáren a zemědělské veřejnosti. Pro podporu využívání kompostu jako bezpečného přírodního hnojiva a minimalizace rizika pro zemědělskou praxi vyplývajícího z nekvalitního kompostu, ZERA, z. s. usiluje o certifikaci kompostáren, což je běžnou praxí v jiných zemích EU.

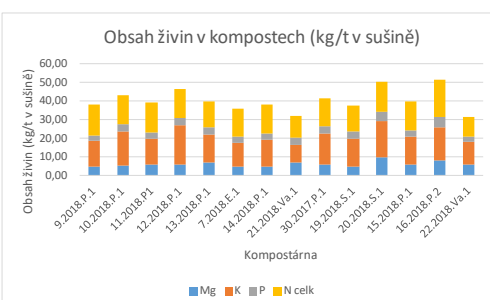
## Kompost

Kompost je velmi kvalitní organické hnojivo, které navrácí živiny zpět do půdy a zajišťuje jejich koloběh v přírodě. Díky dodání organické hmoty do půdy zlepšuje její fyzikální vlastnosti a to zejména vododržnost. D této vlastnosti představuje kompost jedinečný materiál, o který by měl být nejen v zemědělství velký zájem.

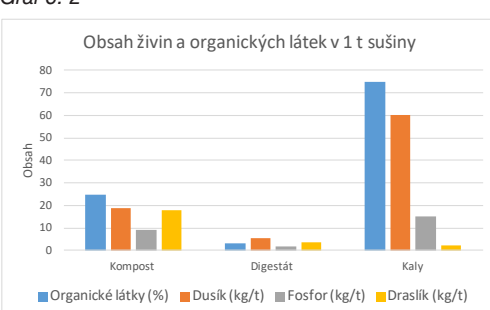
- je jedinečný produkt dominantně mikrobiálního zpracování a stabilizace organických látek
- obsahuje klíčové živiny a stopové prvky vázané na organickou hmotu v optimálním vzájemném poměru a harmonii pro potřeby rostlin
- kombinace živin se stabilizovanou organickou hmotou činí z kompostu nenapodobitelné a nenahraditelné pozvolna se uvolňující hnojivo, které bez aktivity kořenů a půdní mikroflóry naopak účinně chrání živiny před vyplavením

## Kvalita kompostu v praxi

Grafy znázorňují obsahy základních živin v kompostech, které byly v rámci projektu testovány rozdíl v obsahu živin a obsahy organických látek jednotlivých testovaných zdrojů. Je třeba si uvědomit také rozdílnou účinnost živin a organické hmoty, tedy kvality, která byly předmětem testů projektu.



Graf č. 2



Graf č. 3

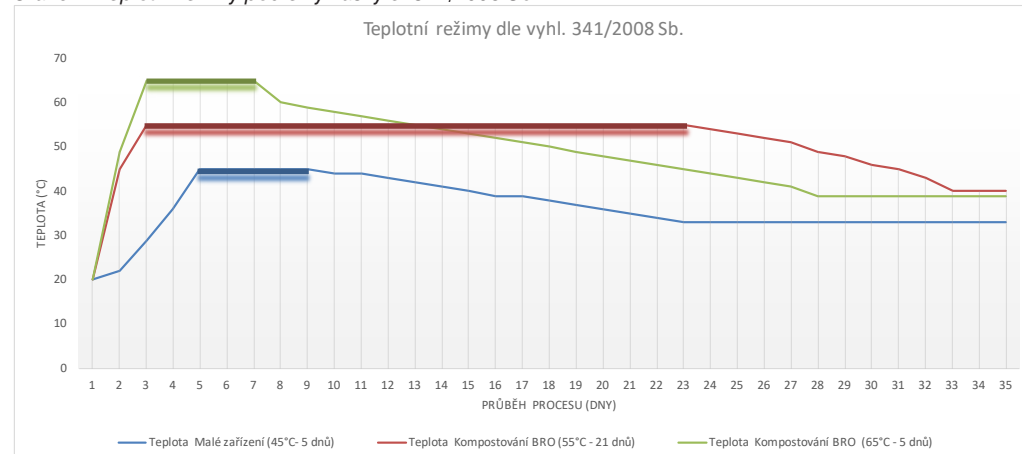
## Orientace v ceně kompostu

Realizační tým ve spolupráci s ÚKZUZ připravil orientační kalkulaci hodnoty živin obsažených v kompostu. Cena živin (CaO, K<sub>2</sub>O, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) v 1 t kompostu v sušině je v průměru 1 070 Kč bez DPH.

Ceny na vstupu Kč/t bez DPH	Náklady Kč/ t bez DPH		Cena živin v sušině kompostu Kč/t bez DPH
	za kompostování vstupních surovin	na výrobu kompostu (produkce 50%)	
0	200–1000	980–2 700	185–2 831
290–350		0–1400	

Při modelování nákladů na proces kompostování byly použity ceny na vstupu za 1 tunu bioodpadu v hodnotě 0,- Kč nebo jako zjištěný průměr praxe 290–350,- Kč/t. Tyto ceny můžeme považovat za nákup externích zdrojů (bioodpadu) nebo jako vnitropodnikovou cenu při zpracování vlastních bioodpadů. Nákladová cena procesu kompostování je cena praxe testovaných kompostáren od 200–1000 Kč/t zpracovaného odpadu. Při těchto kalkulacích a předpokladu produkce kompostu v rozsahu 50% z množství původní hmoty, je nákladová cena za výrobu kompostu v rozsahu 980–2 700 Kč. Dá se konstatovat, že kvalitní kompost může pokrýt náklady na jeho výrobou. Cena kompostu na trhu se v ČR pohybuje převážně v rozmezí 250–380,- Kč/tunu bez DPH – tedy silně pod jeho skutečnou hodnotu.

Graf č. 1 Teplotní režimy podle vyhlášky č. 341/2008 Sb.



## Stabilita kompostu versus zralost kompostu

V současně platné legislativě není zcela jasně stanoven rozdíl mezi zralostí a stabilitou kompostů. Tyto vlastnosti spolu zcela jistě velmi úzce souvisí. Pojem (biologická) stabilita je však v literatuře používán více v souvislosti s potenciální možností materiálu rozkládat se, přeměňovat, případně uvolňovat zápašné látky či skládkový plyn, zatímco zralost je chápána více v souvislosti s možnou fyto toxicitou v případě aplikace nezralých materiálů k rostlinám – **definuje ukončení kompostovacího procesu.**

**Stabilita/Stabilizace:** Týká se konečné fáze rozkladu organické hmoty během procesu kompostování. Stabilita je měřena pomocí indikátorů zbytkové biologické aktivity, například pomocí NIRS, Solvita indexu, Oxitop (spotřeba kyslíku), poměr C:N ve vodním výluhu), rostlinné testy. Materiál, který není stabilní, ale stále se rozkládá, má dostatek snadno dostupných uhlíkatých látek. Tím podporuje mikrobiální aktivitu a dává vzniknout nepříjemným zápachům. Je problematický pro koncového uživatele, protože na sebe váže živiny a cílová rostlina chradne.

Zralost kompostu je přímo úměrná dosažené úrovni stability organických látek během kompostování. Měla by odrážet ukončení hlavních mikrobiálních metabolických přeměn atraktivnějších organických látek v kom-

postu. Je určující charakteristickou úrovní kompostu, která je důležitá pro jeho prospěšný vliv na kvalitu půdy. Zralost kompostu zaručuje, či kontroluje postupné uvolňování živin, které jsou v něm obsaženy v optimálním stechiometrickém poměru, neboť vstupní materiály do kompostové zakládky byly původně rostlinami. Ideální vzájemný poměr živin vázaných na stabilizované organické látky činí z kompostu nejvyhledávanější organické půdní aditivum s největším potenciálem pro regeneraci humusu, stability půdních agregátů a tím nepřímo i pro regeneraci vodního režimu půd.

**Stanovení úrovně zralosti kompostu by mělo mít dostatečnou informační hodnotu nejenom pro posouzení kvality kompostu ale i pro koncového uživatele, a to z pohledu dodržení procesních podmínek kompostování, z hlediska minimalizace ztrát živin v průběhu kompostovacího procesu, ale také eliminace negativních dopadů na životní prostředí, a to jak u kompostárny, tak kompostu. Jejich stanovení není jednotné, což ztěžuje spolehlivost a vypovídají schopnost.**

## Nová metoda hodnocení kvality kompostu

Projekt INTEKO umožnil transfer know-how metody blízké infračervené spektroskopie (NIRS) v rámci příhraniční spolupráce s Bioforschung Austria a vybavení vlastní laboratoře společnosti ZERA. Tímto se ZERA stala jediným pracovištěm v ČR, kde je možné

Tab. č. 5 Osmi bodová škála metody NIRS pro hodnocení kvality kompostu

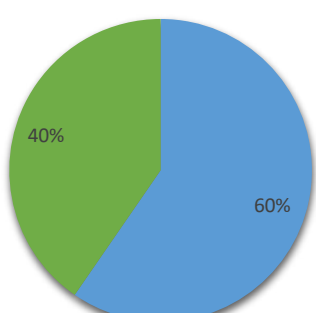
Označení zralosti NIRS	Popis	Hodnocení kompostu
8	neaktivní, vysoce zralý, podobný půdě, žádné omezení k použití	zralý
7	dobře zralý, stabilní	
6	snížená potřeba areace	stabilní
5	kompost se pohybuje za aktivní fázi rozkladu, je připraven k dozrávání, snížená potřeba intenzivní manipulace	aktivní
4	kompost je ve středně až středně aktivním stadiu rozkladu, vyžaduje průběžné řízení procesu	syrový kompost
3	aktivní kompost - suroviny v čerstvém stavu, potřeba intenzivního monitoringu	
2	velmi aktivní čerstvý kompost, vysoké požadavky na kyslík, intenzivní překopávku nebo provzdušňování	
1	čerstvý, surový kompost typický pro čerstvou surovinovou směs, extrémně vysoký stupeň rozkladu, silné emise - je cítit	

Jednoduchou nebo nedokonalou analytickou metodou získat informaci až na úrovni molekulární struktury kompostovaných organických látek a o vlivu konkrétního kompostovacího procesu na studované molekuly. Metoda umožňuje rychle a jednoduše stanovit kvalitu výsledného produktu z hlediska jeho využitelnosti a bezpečnosti pro zvyšování kvality především degradovaných zemědělských půd. Metoda NIRS pracuje s osmi bodovou škálou hodnocením kompostu, která je představena v tabulce č. 5.

## Uzavřený koloběh živin v praxi

V ČR je přibližně 40 % vyprodukovaného kompostu využívaného na zemědělské půdy. Je to dáno také tím, že přibližně stejné procento tvoří zemědělci jako provozovatelé kompostáren, kteří si svůj produkt využijí.

### Kompostárny s využitím kompostu na ZPF



- Další potenciál využití kompostu na ZPF (t.rok-1)
- Kompostárny s využitím kompostu na ZPF (t.rok-1)

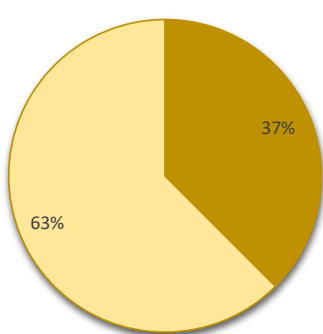
Zdroj: VÚZT v. v. i

Pro zvýšení odbytu kompostu do zemědělství je důležité nejenom zvyšování povědomí o možnostech ozdravení půdy kompostem, ale také deklarace kvality kompostu, tak aby zemědělec měl důvěru v jeho používání.

Stávající legislativa hodnotí kompost, který lze využít pro zemědělství z hlediska kvalitativních znaků, jako jsou např. obsah organické hmoty, vlhkost, obsah celkového dusíku, obsah nerozložitelných příměsí, hodnota pH a poměr C:N. Dále jsou stanoveny limitní hodnoty rizikových prvků a v případě, že jsou využity vstupní materiály s obsahem vedlejších živočišných produktů nebo čistírenských kalů, hodnotí se snížení mikrobiální nebezpečnosti pod limitní hodnoty.

Hodnocení kvality kompostu pouze přes kvalitativní ukazatele dle stávající legislativy předkládá praxi statický obrázek pouze o kvalitě kompostu bez souvislosti a informací o kvalitě procesu. Testovat nebo analyzovat kromě kvality výstupu – kompostu, také parametry kvality vstupní surovinové skladby je pro praxi velmi drahé. Nový parametr – index zralosti postihne komplex ukazatelů pro hodnocení kvality jak procesu, tak kompostu.

### Poměr zralých kompostů



- Zralý kompost
- Nevhodný pro ZPF

Parametr hodnocení kvality – zralost (stabilita kompostu) je základní podmínkou pro využití kom-

postu především v oblastech ochrany vod. Zralost kompostu je hodnocena na škále od 1–10, přičemž čísla do hodnoty 5 značí kompost nestabilní. Stabilní kompost, vhodný pro využití na zemědělské půdy je hodnocen indexem zralosti 7 a výš. Na index zralosti bylo hodnoceno celkem 40 vzorků kompostů z kompostáren v Kraji Vysočina.

Zralý kompost s indexem vyšším než 7 splňovalo 15 vzorků (37 %). Poměr stabilních kompostů je graficky znázorněn v následujícím grafu.

## Z uvedených výsledků můžeme doporučit:

- **podporu rozvoje a udržení kapacit a kvality technologií centrálních kompostáren a BPS pro zlepšení provozních podmínek (rozvoj služeb technikou) - investice do inovace a obnovy technologií pro komplexní řešení (bioodpad z domácností, kalů, gastroodpady z restaurací a společného stravování, ...zpracování potravin) včetně uplatnění kvalitního výstupu**

- proč kompostovat - kompostování je původní, v České republice tradiční a ve své podstatě velmi jednoduchá technologie, která umožňuje uzavřít koloběh živin a uhlíku z obnovitelných zdrojů a produkovat výrobek s kvalitou půdy „příbuznou“.
- proč kompostovat kalů – je to jednoduchá hygienizace kalů a výstup – kompost je výrobek, který pokud splní podmínky vyhl. č. 341/2008 Sb. (1. skupina) je možné aplikovat na zemědělskou půdu bez dalších podmínek vyhl. č. 437/2016 Sb. Kompostárna je technologie, které může pomoci především malým ČOV a případně řešit přechodné období do vzniku nových technologií. Samozřejmě je nutné definovat parametry a metodiky monitoringu dalších rizikových látek, které současná legislativa neuvádí.

- **standardizaci kvality kompostu – ověření bezpečnosti – podpora trhu s kompostem, který v podstatě neexistuje**

- proč skutečně hodnotit stabilitu kompostu – je to kritérium pro bezpečné používání kompostu pro zemědělské účely, souvisí s úrovní kvality procesu kompostování (ukončení aktivity mikrobiální biomasy), odkazuje na stupeň humifikace a znamená absenci jak fyto toxických sloučenin, tak patogenů (fyto toxické sloučeniny jsou produkovány mikroorganismy v nestabilních kompostech), testy metodou NIRS ověřují kvalitu procesu kompostárny – optimálního poměru NO<sub>3</sub> a NH<sub>4</sub>, dále ukončením mikrobiální činnosti a snížením hygienizační nebezpečnosti.

- **systémy zemědělské technologie pro oblast ochrany vod a erozní nebezpečnosti – půdoochranné technologie s kompostem**

- co ušetří zemědělci při uzavírání koloběhu živin a organické hmoty - při systémovém využití kompostu v základní agrotechnice dosáhne úpravu fyziky půdy – stabilita půdních agregátů – základní podmínka ochrany půda a zadržování vody v krajině a tím i stability produkce, dále komplexní zajištění všech základních zdrojů živin včetně mikroprvků (živiny jsou díky v původním organickým zdrojům v optimální rovnováze), ušetří na živinách v průměru 30 % dusíku, 100 % draslíku a fosforu, omezí potřebu vápenní

## Půda

V současnosti se stále více potýkáme s extrémní výkyvy počasí, především velkým suchem a to je v kombinaci s velmi špatnou kvalitou až degradací zemědělských půd velkým problémem, až krizovou situací. Půda by měla být hlavní rezervoárem zdrojů podzemní vody. Tento stav se může upravit nebo změnit promyšlenými zásahy do režimu půdy s při-

hlédnutím k jejímu druhu a typu. Současná legislativa má podpůrné nástroje na opatření, které mohou dílčím způsobem vést k nápravě.

Příkladem je opatření tzv. dobrý zemědělský a environmentální stav půdy (DZES), konkrétně standard DZES 5 o *minimální úrovni obhospodařování půdy k omezení eroze. Takto ohrožené půdy pokrývají plochu cca 11 % orné půdy, a to i přesto že dle odborných analýz je erozně ohrožených více než 50 % plochy orné půdy. Jinak řečeno, místo doporučené maximální velikosti přípustné ztráty půdy erozí, která je na mělkých půdách maximálně 1 tunu z hektaru za rok a na středně hlubokých a hlubokých půdách 4 tuny z hektaru za rok, se v rámci tohoto standardu toleruje eroze až 40 tun z hektaru za rok. (To znamená až tři Tatry 815 plně naložené půdou z ha za rok). V rámci připraveného re-designu tohoto opatření by měly být navýšeny plochy půd s protierozní ochranou.*

Jedním z řešení této situace může být systémové využití kompostu na takto ohrožených plochách. Současná kapacita kompostáren v ČR je 2 282 818 tun zpracovaného materiálu (odpadu) za rok, s předpokladem roční produkce cca 900 000–1 500 000 tun kompostu. Při variantě průměrné dávky kompostu 20 – 30 tun na ha a rok (dávka, která zajišťuje stabilitu potřebného obsahu humusu v půdě) stačí tato produkce na cca 30 000–75 000 ha. V současné době by stačilo toto množství na pokrytí ploch SEO (za předpokladu 64 737 ha silně erozně ohrožených půd v roce 2018). Dalším zvyšováním ochrany půdy by se případná potřeba kompostu zvyšovala.

## Co je zdravá půda

- půda je oživený systém, který umožňuje život svým organismům díky určitému malému podílu organické hmoty, který obvykle nepřesahuje 5 %
- kvalita života v půdě a kvalita organické hmoty jsou spojitými nádobami
- části rostlin odebírané se sklizní úrody a živiny v nich obsažené je zapotřebí čas od času do půdy vrátit
- jedinečné postavení v tomto směru má právě kompost vzhledem k tomu, že už jednou rostlinou byl

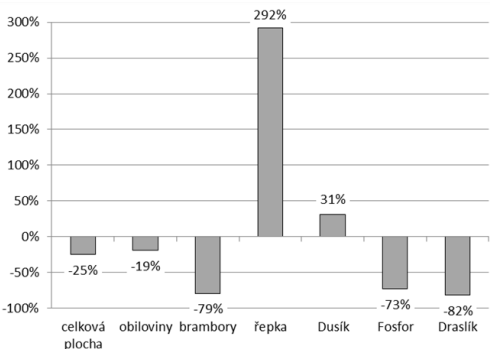
## Kompost zlepšuje kvalitu půdy

### Oživení suchem ohrožených půd pomocí kompostu

*Autorský tým: Záhora, J., Tůma, I., Vavříková, J., Stroblová, M., Sáblíková, H., Mendelova univerzita v Brně*

Orná půda se v naší krajině v posledních desetiletích změnila. Zdánlivě zanedbatelně. Něco málo se z ní ztratilo. Nepatrný podíl, nějaká dvě nebo tři procenta odpovídající úbytku organické hmoty, který jsme v posledních desetiletích prohospodařili. Ale co to je z hlediska půdy jako celku? Dohromady nic. A navíc, stalo se to ve jménu ekonomiky a konkurenceschopnosti našeho zemědělství. A to se přece dá oželeť! Tak jsme trochu přeskládali výkupní ceny plodin, zjednodušili osevní postupy, vyřadili pícniny, silně zredukovali okopaniny, vynechali pár fůr hnoje a úrodnost půdy dohnouli syntetickým dusíkatým hnojivem (viz obr. 1). A v naší krajině s problematickými vlastnickými vztahy k půdám to šlo. Ba dokonce se ukázalo, že s tím avizovaným nedostatkem fosforu a draslíku to asi nebude tak zlé, jak varovaly zkušební zemědělské laboratoře. Tak jsme hnojení fosforem zredukovali na jednu čtvrtinu, draslíkem ještě více (obr. 1). Nově získávané zkušenosti a praktiky zemědělců navíc potvrzovaly, že se dá velmi úspěšně hospodařit i bez doplňování organické hmoty do půdy. V člancích zlobivých novinářů - ne odborníků - se začalo objevovat přirovnání pěstování plodin u nás k hydroponii. Jistě neprávem, protože dodávání minerálních živin se od roku 1990 do roku 2018 u fosforu a draslíku významně snížilo, zvýšilo

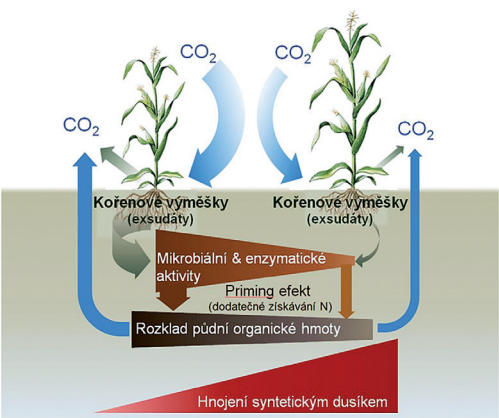
se jenom u dusíku (o 31 % - viz obr. 1). Agráři začínaly vypisovat projekty na řešení neduhů nového zemědělství; tu na boj s větrnou a s vodní erozí, tu na boj se ztuhnutím půdy, na snížení průsaků dusičnanů do zdrojů pitných vod, na snížení obsahů pesticidů v potravinách a v pitné vodě, na adaptaci rostlin na stres na úrovni molekulární biologie, nakonec i na zvýšení obsahu organické hmoty v půdě. Začalo být zjevné, že se stalo něco vážného a že to všechno spolu nějak souvisí. Že stojíme před něčím, čemu dosud nerozumíme, před něčím, co selhává uvnitř systému rostlina, mikroorganismy a půda.



Obr. 1 Relativní porovnání změn výměr osevních ploch a dávek čistých minerálních živin od roku 1990 do roku 2018 (hodnoty pro rok 1990 jsou brány za 100 %). Zdroj: ČSÚ, MZe.

Ke směle většinového obyvatelstva mají zastánci popisovaných zemědělských praktik srozumitelné trumfy pevně ve svých rukou. Jsou jimi stále se zvyšující výnosy. V porovnávaném období 28 let vzrostly výnosy brambor o 49 %, řepky o 21 % a obilovin o 3 %. U výnosů obilovin se nárůst hektarové produkce tak neprojevil, protože se do něj v posledních letech začalo nepříznivě promítat dlouhotrvající sucho. A sucho začíná vadit všem.

Velký relativní nárůst výměr pro řepku téměř o 300 % je daný malým počátečním podílem jejího pěstování v roce 1990, na ploše 105 tis. ha (3 %) z tehdejší celkové výměry osevních ploch. V roce 2018 vzrostla rozloha pěstované řepky na 412 tis. ha, což činí 17 % z celkové současné výměry. Porovnávané rozlohy řepky jenom dokresluje, že ekonomika byla a je hlavním hybatelem našeho zemědělství. Je ale na pováženu, že existují i „vyšší“ zájmy, které nechrání zemědělskou půdu pro popisované ekonomicky zajímavé zemědělské aktivity a že tyto zájmy dovolí snížit výměru osevních ploch za 28 roků o jednu čtvrtinu (obr. 1). A hlavně, že se tak stalo především ve prospěch staveb rozlehlých přízemních objektů rozehrávajících krajinu! Rychlost záboru zemědělské půdy je největší v historii. Jen pro ilustraci, za posledních 18 let se zemědělská plocha zmenšila více, než o kolik se zmenšila za předcházejících 54 roků (Kadlík, 2019).



Obr. 2 Změny interakcí mezi rostlinami, mikroorganismy a půdou při zvyšujícím se přísunu dusíku ve formě syntetického dusíkatého hnojení (vysvětlení v textu). Šířka šipek odpovídá intenzitě procesů. Upraveno podle Kumar et al., (2016).

Vzhledem ke změnám, u kterých došlo v uplynulých desetiletích v našem zemědělství, je na místě popsat dopady aplikace dusíku v čisté minerální podobě na půdu. Dusíkaté hnojení doslova žene rostliny do 10–20 % nárůstu nadzemní biomasy (modelová rostlina v pravé části obr. 2). Není-li dusíkaté hnojivo dodáno (rostlina v levé části obr. 2), jsou plynulé dodávky dusíkatých látek pro rostliny zajišťovány mikrobiálními aktivitami, které si rostliny zajišťují stimulací půdních mikrobu. Na tento obchod v půdě spotřebují rostliny přibližně jednu třetinu svých fotosyntetických produktů ve formě kořenových výměšků, což se samozřejmě projeví v redukcii růstu nadzemní biomasy. Tím jsou pokryty nároky půdních mikroorganismů na vlastní reprodukci, pomnožení a na zvýšení mikrobiálních aktivit včetně rozkladu a mineralizace organických forem dusíku v půdě. Prostředí v okolí kořenů se stává dostatkem zdrojů uhlikatých látek a energie natolik výjimečným, že aktivizuje volně žijící bakterie, fixátory dusíku k získávání dusíku přímo ze vzduchu. Děje se tak stejnými reakcemi, které umějí mnohem účinněji využívat bobovité rostliny (např. hrách) k získání dusíku ve spolupráci se symbiotickými bakteriálními fixátory dusíku chovanými ale v případě bobovitých v jakýchkoli hlízkách, drobných nádorcích na jejich vlastních kořenech. V některých případech dochází dokonce k takovému povzbuzení mikroorganismů, že je částečně rozkládána i stabilnější půdní organická hmota, hovoříme o „priming efektu“. Ve výsledku ale dochází k reprodukci půdní organické hmoty a ke zvětšení jejího celkového množství. Půda je nakrmena energií a půdními organickými látkami na dobu, než se do stejných míst v půdě dostanou další rostlinné kořeny.

Kdysi v minulosti při prvním hnojení syntetickými dusíkatými hnojivy jsme v okouzlení nad rekordními výnosy začali nevědomky přehlížet důležitost biologické podstaty půdní úrodnosti. Přirozená úrodnost půdy sice nebyla a není schopna zajistit srovnatelné výnosy s těmi, které jsou dosahovány dusíkatým hnojením, je ale schopna zajistit život v půdě a její drobtovitou strukturu. Živá půda pak není bariérou pro srážkovou vodu nybrž bránou pro zatékání srážek do hlubky půdy. Povrchový odtok srážkové vody se rychle mění na zasakování vody do půdy.

**Na místě je ptát se, proč trvalo více než šedesát let, než jsme si všimli souvislosti mezi hnojením syntetickými dusíkatými hnojivy, ztrátou půdního oživení a degradací půdní struktury. Proč tedy?**

1. Úrodná a pečlivě obhospodařovaná půda se vyznačuje velkou setrvačností a odolností vůči vnějším změnám. Trvá dlouho, než dojde po změně agrotechniky k viditelným změnám a trvá srovnatelně dlouho než se kvalita a zdraví půdy obnoví. Tato doba se počítá od jednoho až do několika desetiletí, podle kvality půdních organických látek, podle stability půdních agregátů a podle vzájemného poměru frakcí jílu, prachu a písku.

2. V počátcích dodávání syntetického dusíku byly ještě dlouho respektovány tradiční osevní postupy a hnojení statkovými hnojivy, kterými byla dodávána organická hmota z vnějších zdrojů a doplňovány živiny odebrané v úrodě. Tím byla udržována kvalita a množství organické půdní hmoty. Také byl ale maskován degradující účinek syntetického dusíkatého hnojení na půdu. V půdě se stále ještě udržovaly funkční formy organické hmoty umožňující život půdních organismů a zejména mikroorganismů.

3. Akcelerace nepříznivých jevů nastala během posledních tří desetiletí (obr. 1). Spolupráce s půdními mikroorganismy ztratila na významu. Rostliny „ušetřily“ více energie a uhlikatých látek pro investice do nadzemního růstu, což se ve výsledku projevilo vyšším výnosem, ale také „vyhladověním“ půdy, ztrátou oživení půdy, rozpadem půdních agregátů a návratem půdy k její minerální podstatě.

4. Došlo ke snížení „průtoku“ uhlikatých látek systémem rostlina, mikroorganismy a půda (viz modelová rostlina v pravé části obr. 2). Vnitřní energie půdy byla vyčerpána.

5. Úbytek kvalitní organické hmoty v půdě snížil schopnost půdy tlumit výkyvy pH. Vyšší dávky synte-

tických dusíkatých hnojiv rychleji okyselovaly ornici. Výslednicí obou jevů byla častější nutnost vápnit dolomitickým vápencem. Vápník a hořčík upravují pH bez omezení dusíkatého hnojení jen nakrátko. Současně se ale oba prvky v doprovodu nitrátů, které nebyly využity rostlinami, dostaly pod úroveň ornice, kde se podílejí na cementaci, na ztuhnutí podorniči.

6. Aniž by to bylo cílem konvenčního zemědělství, podařilo se mu prokázat, že produkce pěstovaných plodin není závislá na obsahu organické hmoty v půdě, nybrž na nabídce živin v půdním roztoku. Zde je na místě opatrnost před propagací takových forem moderního zemědělství, které jsou založeny pouze na vizuálním posuzování pěstovaných plodin.

7. Dlouhodobým inženýrským, nikoliv biologickým přístupem k orné půdě, konkrétně přeceňováním živinových nároků rostlin, jsme naši půdu dostali do situace, kdy ji již není možno jednoduše zregenerovat aplikacemi statkových hnojiv, kejdy, digestátu, ba dokonce ani přidavkem nejdokonalejším z organických hnojiv, kompostu.

8. Chybí drobtovitá struktura půdy. Kromě nepatrného množství nekvalitní půdní organické hmoty máme nyní co do činění s minerální podstatou půdy, kterou lze připodobnit k množině navzájem málo nebo vůbec nepropojených částecí jílu, prachu a písku. Navíc se část nejmenších jílovitých a prachových částic z ornice dostala do svrchní části podorniči.

9. Bylo by naivní domnívat se, že zaoráním organického hnojiva, např. chlévského hnoje, do takto degradované půdy dojde k její rychlé regeneraci. V takové půdě dojde zaoráním hnoje k dodání materiálu podléhajícího rychlé mineralizaci a tím i k dodání živin pro aktuálně pěstovanou plodinu. Zkusme si představit, že se do nějakého místa v degradované půdě dostane polorozložená stéblo slámy se zbytky exkrementů. K čemu dojde? U takto nestabilního organického materiálu dojde k rychlé mineralizaci organických forem živin, např. dusíku, na formy minerální. Potud ano, potud je to úspěšné, jako náhrada části dodávaných živin v minerálních formách. K přeměně chlévského hnoje do kvalitní a funkční organické hmoty dojde ale stejně úspěšně, jako kdybychom aplikovali hnůj do vytěžené hlušiny povrchového lomu.

Riziko sucha dostalo naše zemědělství do stavu, kdy zvětšení dávek syntetických dusíkatých hnojiv nejenže nezvětší výnos, nybrž ještě více urychlí stresovou odpověď pěstovaných plodin. Je nejvyšší čas pobavit se vážně o možnostech efektivní regenerace půdy v období zvýšeného výskytu suchých období. Jisté je, že regenerace půdy nebude proces krátkodobý a jisté také je, že se bude odehrávat ve složitějších klimatických podmínkách, než jaké u nás panovaly v minulosti. Není přitom nutné vymýšlet něco nového, něco specifického pro Českou republiku. Vynecháme-li regeneraci půdy časově omezeným převedením orné půdy na luční ekosystém, což je jistě také možné, ale pro většinu zemědělců ekonomicky nerealné, potom se příklady z celého světa shodují na několika málo základních zásadách jak obnovit půdní život a vodní režim v půdě: (a) **neorat**, (b) **udržovat vegetaci na orné půdě celý rok**, (c) **cílovou plodinu střídat s druhově bohatou meziplodinovou směskou**, (d) **nadzemní biomasu meziplodin a posklizňové zbytky ponechávat na poli**, (e) **dodávání dusíku do půdy zajistit jenom přes bobovité rostliny**, (f) **chybějící živiny dodávat povrchovou aplikací kompostu do meziplodin**.

Na první pohled podivná zásada „(a) **neorat**“ není určena jen primární snahou ochránit žížaly, ale také snahou umožnit regeneraci saprofytických a mykorrhizických půdních hub, upravit poměr gram pozitivních a gram negativních bakterií, zvýšit množství aktinomycet, umožnit regeneraci mikroskopických a makroskopických půdních organismů a kontinuitu velkých půdních žížalích chodbiček svádějících dešťovou vodu hluboko do půdy. Důležitostí obnovy četnosti houbových vláken tkví v tom, že drží pohromadě nově vznikající půdní agregáty produkci glomalinu, látky bílkovinné povahy, která v půdě působí jako jakási půdní lepidlo slepující půdní částice

do větších agregátů, čímž se zlepšuje struktura půdy, vodní i vzdušný režim půdy. Stejný lepivý účinek pro vznik půdních agregátů mají i obnovované mikrobiální biofilmy. Při orbě je naopak nutno počítat se ztrátou vody odpovídající srážkovému ekvivalentu cca 12–20 mm, což je významné zejména v období sucha.

Druhá zásada „(b) udržovat vegetaci na orné půdě celý rok“ zajišťuje maximální možné využití sluneční energie k produkci nadzemní a podzemní biomasy a k produkci kořenových výměšků (exsudátů) pro podporu půdních mikroorganismů (obr. 2 - levá rostlina).

Zásada „(c) cílovou plodinu střídát s druhově bohatou meziplodinou směskou“ směřuje k co nejbohatšímu obsazení kořenové zóny vzájemně se podporujícími meziplodinami, jejichž počet by měl přesahovat i deset druhů. Obsaženy jsou bobovité rostliny, které zajišťující přísun organicky vázaného N do půdy ve spolupráci s bakteriemi fixujícími vzdušný dusík, širokolisté byliny pojišťující osud dostupných živin v půdě a dodavatelé energie do půdy - kulturní nebo plané trávy. Měly by být obsaženy jak druhy preferující suchu, tak i opačný extrém, aby byl zajištěn pokryv půdy. Sestavení meziplodiny směsky rozhoduje o kvalitě a kvantitě následující cílové plodiny. Je mu proto v posledních desetiletích na celém světě věnována velká pozornost jak v konvenčním, tak i v ekologickém zemědělství. Šikovně sestavenou směskou lze potlačit plevele, zkyprit půdu, dodat energii a uhlhydráty do půdy, obohatit půdu o přirozené formy dusíku. Meziplodiny by se měly vyset přímo do strniště, do co nejvyššího strniště kvůli stínu a pokud možno ještě ten den, co bude cílová plodina sklizena.

Respektováním zásady „(d) nadzemní biomasu meziplodin a posklizňové zbytky ponechávat na poli“ se zajišťuje dostatek potravy pro žížaly a půdní bezobratlé. Na pozitivní vliv žížal pro půdu upozornil již Charles Darwin v roce 1881, v knize, která sumarizovala jeho čtyřicetileté studium žížal. V ní popsal stěžejní roli žížal v rozkladu organické hmoty. Tím, že ji neustále konzumují a obohacenou o buňky mikroorganismů a živin vylučují do půdy. Množství výměšků žížal dosahuje zhruba 1,5 násobek jejich tělesné váhy každý den. Každý rok přemístí tímto způsobem až 38 tun půdy do povrchové části půdy. Touto cestou umožňují v degradované půdě návrat nejjemnějších částic jílu a prachu ve strukturních jednotkách agregátů zpět do ornice a obnovou žížalích chodbiček umožňují zasakování dešťové vody do hloubky půdy.

„Dodávání dusíku do půdy zajistit jenom přes bobovité rostliny (e)“ bylo již dostatečně vysvětleno a zdůvodněno v předcházející části pojednání věnované detailnímu rozboru škodlivosti aplikace dusíku ve formě syntetických dusíkatých hnojiv (obr. 2).

Konečně poslední zásadou „(f) chybějící živiny dodávat povrchovou aplikací kompostu do meziplodin“ se obklame vrátíme k hlavnímu tématu příspěvku - k oživení suchem ohrožených půd pomocí kompostu. Kompost je považován za směs stabilizovaných organických látek rostlinného a živočišného původu, které prošly řízenými biologickými přeměnami. Má hnojivý účinek. Publikované studie opakovaně dokazují, že kompost napomáhá úrodnosti půdy více než jiná organická hnojiva, že má ze všech používaných organických hnojiv nejvyšší potenciál pro zvětšení obsahu humusu. Nelze jej sice srovnávat s potenciálem vnosu organických látek do půdy kořenovými výměškami meziplodin, nicméně v navrhovaném souboru zásad pro efektivní regeneraci půdy v období zvýšeného výskytu suchých období má kompost ještě jednu významnou výhodu. Díky stabilizaci přítomných organických látek jej lze aplikovat povrchově do meziplodin a tím vyrovnat úbytek živin odebraných se sklizní úrody při současném respektování zásady vynechání orby. Zohledněním této zásady moderního zemědělství je možné vrátit zájem zemědělců u nás o kompost, o nejdokonalejší formu stabilizované organické hmoty.

## Rozdíl mezi účinky organických hnojiv a kompostu

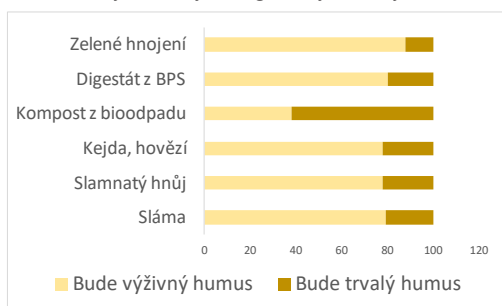
Záměrem projektu bylo sledovat kvalitu půdy a efekt organických hnojiv včetně kompostu. Pro zemědělskou praxi je přínosem informace o potenciálu jednotlivých zdrojů organické hmoty na tvorbě trvalého kompostu a tím na vytvoření základního předpokladu pro vytvoření podmínek zadržování vody v půdě.

Z grafu č. 6 vyplývá, že každý typ organické hnojiva má své opodstatnění v systémech základní agrotechniky, především ve funkci výživy rostlin a vlivu na úrodnost půdy. Projekt ověřil, že kompost má mimořádnou pozici v rámci nabídky zdrojů organických hnojiv vzhledem k obsahu stabilních živin v harmonickém poměru a vzhledem k vlivu na tvorbu stabilního humusu. Pro praxi je výhodné využití kvalit jednotlivých hnojiv a případně jejich kombinací, které posílí synergický efekt - například kompost a zelené hnojení, kompost a meziplodiny (snížení eroze a degradace půdy).

Tab: Kompost a zelené hnojení

Dodaná organická hnojiva	Labilní humus - C (kg.ha-1)	Trvalý humus (kg-1)	
Sláma	4 t.ha-1	1249	332
Slamnatý hnůj	10 t.ha-1	1170	330
Kejda, hovězí	30 m3.ha-1	915	258
Kompost z bioodpadu	10 t.ha-1	552	900
Digestát z BPS	30 m3.ha-1	672	168
Zelené hnojení	25 t. ha-1	1008	138

Poměr labilního a trvalého humusu u jednotlivých organických hnojiv



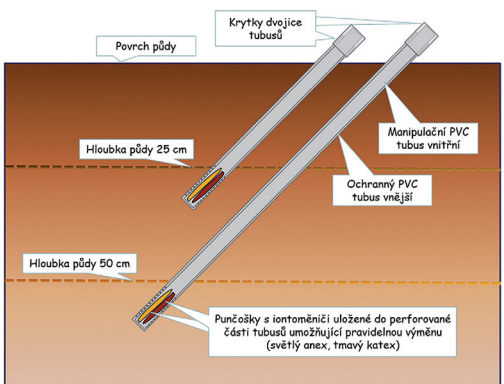
## Monitoring dopadu na půdu – Inovovaná metoda měření minerálních forem dusíku v půdě

Autorský tým: Záhora, J., Vavříková, J., Šablíková, H.

Projekt INTEKO sledoval vyplavování živin (dusíku a fosforu) do podzemních vod na plochách hnojených kompostem ve variantách surovinových skladeb bioodpad, čistírenské kaly, biouhel pomocí iontoměničových sondiček. Přínosem této jednoduché metody je monitorování osudu klíčových živin v rámci základní agrotechniky.

Dusík je nezbytným prvkem pro všechny živé organismy, je nezbytný pro tvorbu biomasy a životní funkce buněk všech organismů. V půdě se dusík nachází v organických (98–99%) a minerálních (1–2%) formách. Rostliny dávají přednost využívání minerálních forem dusíku a to amonné a nitrátové. Vzácně, především v trvalých travních porostech, jsou rostliny schopny využít i dusík organický, např. ve formě aminokyselin. Únik minerálního dusíku z půdního profilu, především do zdrojů podzemní pitné vody, je nežádoucí. Zdravá půda má schopnost minerální formy dusíku přijmout a zadržet. Dlouhodobé hnojení minerálním dusíkem a jiné formy chemizace zemědělství vedou k degradaci půdy, narušuje se stabilita půdního ekosystému a dochází mimo jiné k vyplavování živin do podzemní vody.

Dostupnost a pohyb minerálních forem dusíku mohou být měřeny metodou stanovení minerálního N nahromaděného na výměnných místech iontoměničových zrn umístěných po určitou dobu v manipulačních trubkách (viz obr. 1.) Inovace této metody byla testována v rámci projektu INTEKO. Představuje jednoduchý a nedestruktivní způsob záchytu minerálních iontů N z půdního roztoku výměnnými reakcemi. Umožňuje stanovit množství akumulovaného minerálního N nevyužitého v nadložních půdních horizontech a uvolněného do proskávacího půdního roztoku zachytávaného perforovanou částí trubusů. Zde jsou umístěna 2 pouzdra naplněná iontoměničovými zrny, katexem na záchyt amonniových iontů a anexam na záchyt nitrátových a nitrátových iontů. Tato pouzdra zůstávají v půdním prostředí po předem určenou dobu, v rámci projektu se jednalo o vegetační a mimovegetační období roku. Po vyjmutí iontoměničových pouzder z manipulačních trubusů jsou z iontoměničových zrn vyextrahovány sorbované ionty a jejich obsah je stanoven destilačně-titrační metodou.



Obr. 1 Umístění iontoměničových sond pod úhlem 45° do různých hloubek (25 a 50 cm)

Kdysi v minulosti při prvním hnojení syntetickými dusíkatými hnojivy se v okouzlení nad rekordními výnosy začala nevědomky přehlížet důležitost biologické podstaty půdní úrodnosti. Ta sice není schopna zajistit srovnatelné výnosy s těmi, které jsou dosahovány dusíkatým hnojením, je ale schopna zajistit život v půdě a její drobtovitou strukturu. Živá půda pak není bariérou pro srážkovou vodu nýbrž bránou pro zatékání srážek do hloubky půdy. Povrchový odtok srážkové vody se rychle mění na zasakování vody do půdy. Riziko sucha dostalo naše zemědělství do stavu, kdy zvětšení dávek syntetických dusíkatých hnojiv nejenže nezvětšil výnos, nýbrž ještě více urychlil stresovou odpověď pěstovaných plodin. Nejen zemědělci jsou dnes nuceni k tomu, aby zaměřili pozornost na možnosti efektivní regenerace půdy v období zvýšeného výskytu suchých období. Jisté je, že regenerace půdy nebude proces krátkodobý a jisté také je, že se bude odehrávat ve složitějších klimatických podmínkách, než jaké u nás panovaly v minulosti.

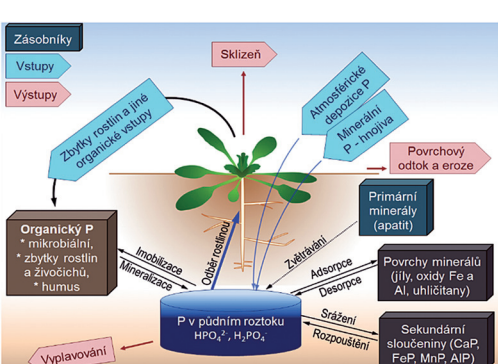
Vzhledem ke změnám, ke kterým došlo v uplynulých desetiletích v našem zemědělství, je na místě nejprve popsat dopady aplikace dusíku v čisté minerální podobě na půdu. Dusíkaté hnojení doslova žene rostliny do zvětšení nárůstu nadzemní biomasy. Není-li dusíkaté hnojivo dodáno (např. v ekologickém zemědělství), jsou plynulé dodávky dusíkatých látek pro rostliny zajišťovány stimulací mikroorganismů. Na tento obchod v půdě spotřebují rostliny přibližně jednu třetinu svých fotosyntetických produktů ve formě kořenových výměšků, což se samozřejmě projeví v redukci růstu nadzemní biomasy. Tím jsou pokryty nároky půdních mikroorganismů na vlastní reprodukci, pomnožení a na zvýšení mikrobiálních aktivit včetně rozkladu a mineralizace organických forem dusíku v půdě. Prostředí v okolí kořenů se stává dostatkem zdrojů uhlíkatých látek a energie natolik výjimečným, že aktivizuje volně žijící bakterie, fixátory dusíku k získávání dusíku přímo ze vzduchu. Děje se tak

stejnými reakcemi, které umějí mnohem účinněji využívat bobovité rostliny (např. hrách) k zisku dusíku ve spolupráci se symbiotickými bakteriálními fixátory dusíku chovanými ale v případě bobovitých v hlízkách, drobných nádorcích na jejich vlastních kořenech. Ve výsledku ale dochází k reprodukci půdní organické hmoty a ke zvětšení jejího celkového množství. Půda je nakrmena energií a půdními organickými látkami na dobu, než se do stejných míst v půdě dostanou další rostlinné kořeny.

## Recyklace fosforu

*Autorský tým: Sábliková, H., Záhora, J., Vavříková, J.*

Fosfor (P) je základní biogenní prvek, který je nezbytný pro všechny organismy. V půdě je podle různých autorů obsaženo průměrně 0,1% fosforu v minerálních a organických formách. Do půdy se dostává hlavně zvětváním z matečných hornin. V ekosystému koluje po charakteristických drahách, což je označováno jako koloběh fosforu. Dynamika koloběhu je stabilní v závislosti na návratu fosforu do půdního zásobníku prostřednictvím rozkladu a následné mineralizace (přeměna organického fosforu na minerální) rostlinných a živočišných zbytků.



Ve většině půdních ekosystémů dochází k větším či menším ztrátám fosforu. V systémech s otevřeným koloběhem fosforu, mezi které patří agroekosystémy, dochází k pravidelným ztrátám fosforu sklizní plodin. Tento úbytek fosforu pak musí být nahrazen hnojením fosforečnými hnojivy. Přírodní ekosystémy lze s určitým omezením považovat za systémy s uzavřeným koloběhem fosforu.

V čem tkví problém hnojení fosforečnými hnojivy, když „pomáhají“ vyrovnávat ztráty fosforu z půdy? Jednak je to ztráta komplexity, hnojení fosforem nenutí rostliny ke spolupráci s mikroorganismy při získávání fosforu z půdy a to se významně projevuje na snížení kvality půd. Jednak je to kontaminace půdy a vody, a to především uranem a těžkými kovy, protože těžba suroviny pro výrobu fosfátů se dostává do větších hloubek a nese s sebou i větší míru kontaminace. Koncentrace uranu původem z fosfátových hnojiv ve zdrojích pitné vody představuje závažný problém v oblastech s intenzivním zemědělstvím, například v Německu a v Rakousku. V současnosti jsou hledány optimální způsoby, jak recyklovat fosfor z čistírenských kalů - např. jejich přidáváním do zakládky kompostů.

Moderní zemědělství musí v relativně krátké době najít cestu k pokrytí potravinových nároků narůstajícího počtu obyvatel planety s omezenými zdroji fosforu a se snižováním kvality a dostupnosti surovin pro výrobu stále dražších fosforečných hnojiv. Jisté je, že dosavadní model zemědělství závislého na aplikaci agrochemikálií s vysokými nároky na dodatečné zdroje energie má nejen devastující účinky na životní prostředí, ale zároveň sama sebe diskvalifikuje jako model pro budoucí udržitelné zemědělství.

Musíme se zaměřit na obnovu půdních agregátů, které zlepší mikrobiální kontrolu půdního fosforu. Těsnější spolupráce s půdními mikroorganismy může donutit rostlinu k většímu vylučování energie a uhlíkatých látek z kořenů na podporu spolupracujících mikrobů v okolí kořene a tím i ke zlepšení kvality

organické hmoty v půdě. Zlepšení fyzikálních vlastností půdy činností půdních živočichů vede k rozvoji bohatšího kořenového systému a ke zvětšení objemu půdy, z něhož mohou být živiny přijímány. Význam půdních živočichů spočívá ve zvětšení rychlosti koloběhu a přístupnosti fosforu a tím ve zvýšení množství živin získaných kořeny za stejnou dobu.

Podle Van Dijka (2016) jsou kumulativní zásoby fosforu v našich orných půdách vytvořené dlouhodobým hnojením vysoké, dosahují průměrně až 1450 kg.ha<sup>-1</sup>. Stejný autor vyčíslil průměrné každoroční ztráty fosforu v České republice na 2,1 kg.ha<sup>-1</sup>. Tato čísla by nás mohla svádět ke spokojenosti, neboť taková zásoba fosforu z minulosti by ve stávajícím zemědělském systému stačila hypoteticky na 690 roků. Potíž je v tom, že se tato bilance striktně váže na současné, tolik kritizované konvenční zemědělství, které se musí v budoucnosti změnit. Jednoduše řečeno rostlinné kořeny se mezi rozpadajícími, degradovanými půdními agregáty snadněji dostávají ke „starým“ zdrojům fosforu. Dalším důvodem je solubilizace fosforu (převedení půdního fosforu do přijatelných forem) v půdě acidifikované vysokými vstupy minerálního dusíku.

Moderní zemědělství má za úkol v relativně krátké době najít cestu k pokrytí potravinových nároků narůstajícího počtu obyvatel planety s omezenými zdroji fosforu a se snižováním kvality a dostupnosti surovin pro výrobu stále dražších fosforečných hnojiv. Jisté je, že dosavadní model zemědělství závislého na aplikaci agrochemikálií, s vysokými nároky na dodatečné zdroje energie mají nejen devastující účinky na životní prostředí, ale zároveň diskvalifikuje sama sebe jako budoucí udržitelný model zemědělství.

Měli bychom se zaměřit na obnovu půdních agregátů, které zlepší mikrobiální kontrolu půdního fosforu. Těsnější spolupráce s půdními mikroorganismy může donutit rostlinu k většímu vylučování energie a uhlíkatých látek z kořenů na podporu spolupracujících mikrobů v okolí kořene, a tím i ke zlepšení kvality organické hmoty v půdě a k regeneraci vodního režimu v půdě. Zlepšení fyzikálních vlastností půdy činností půdních živočichů vede k rozvoji bohatšího kořenového systému a ke zvětšení objemu půdy, z něhož mohou být živiny přijímány. Význam půdních živočichů spočívá ve zvětšení rychlosti koloběhu a přístupnosti fosforu, a tím ve zvýšení množství živin získaných kořeny za srovnatelnou časovou jednotku.

## Mimořádná doporučení pro praxi

### Použití kompostu pro suchem ohrožené půdy

V našem zemědělství došlo v uplynulých desetiletích k nepříznivým změnám. Spolupráce s půdními mikroorganismy ztratila na významu. Rostliny „ušetřily“ více energie a uhlíkatých látek pro investice do nadzemního růstu, což se ve výsledku projevilo vyšším výnosem, ale také „vyhladověním“ půdy, ztrátou oživení půdy, rozpadem půdních agregátů a návratem půdy k její minerální podstatě. Orná půda se stala bariérou pro srážkovou vodu. Dlouhodobým inženýrským, nikoliv biologickým přístupem k orné půdě, konkrétně přeceňováním živinových nároků rostlin, jsme naši půdu dostali do situace, kdy ji již není možno jednoduše zregenerovat aplikacemi běžných organických hnojiv. **Příklady z celého světa se shodují na několika málo základních zásadách, jak obnovit půdní život a vodní režim v suchem ohrožené půdě: (a) neorat, (b) udržovat vegetaci na orné půdě celý rok, (c) cílovou plodinu střídát s druhově bohatou meziplodinou směskou, (d) nadzemní biomasu meziplodin a posklizňové zbytky ponechávat na poli, (e) dodávání dusíku do půdy zajistit jenom přes bobovité rostliny, (f) chybějící živiny dodávat povrchovou aplikací kompostu do meziplodin.**

## Stále diskutovaný fosfor

V průběhu řešení projektu INTEKO bylo hloubkovými sondami s iontoměnicí zjištěno, že zemědělství bez vstupů minerálního dusíku může snížit ztráty fosforu o jednu třetinu. Za takových podmínek bychom mohli být našim zemědělským předkům vděční ještě více; nejen že nahojením dvojnásobně větších zásob fosforu ve srovnání se sousedními Polskem a Rakouskem ušetřili naši zemi před větší zátěží radioaktivním uranem, ale také za to, že při přechodu na organické zemědělství by současná zásoba fosforu stačila dokonce na 1030 roků, tedy o 340 roků více. **Musíme si nicméně připustit, že oživením půdy a zlepšenou mikrobiální kontrolou zdrojů fosforu uvnitř půdních agregátů snižíme současně dostupnost fosforu v půdě, což bude nutno vyrovnat zvýšeným přísunem kvalitního zdroje fosforu - např. ve formě kompostu.**

## Závěr

**Kompostování** nabízí jedinečnou možnost environmentálního a přírodě blízkého způsobu recyklace živin a organické hmoty pro podporu zadržování vody v půdě, nahrazení postupného vyčerpání přírodních zdrojů fosforu

**Recyklace a využívání biologických zdrojů**, podpora zemědělské činnosti, dlouhodobě udržitelný rozvoj venkovských sídel a podpora místního hospodářství jsou základními pilíři nové evropské strategie bioekonomiky, která se připravuje také na národní úrovni. Podpora kompostáren a produkce kompostu je příkladem systému, který všechny tyto cíle naplňuje.

Stěžejní pro zemědělskou praxi je výsledná **kvalita kompostu** a jeho nezávadnost a vstupní suroviny. Tedy zda součástí vsázky byly kaly, digestát, biouhel nebo popeloviny. Skladnou vstupních surovin je determinováno užít, ačkoli legislativní výklad je v tomto nejednoznačný. Právě proto je důležitá spolehlivá metoda hodnocení kvality kompostu.

ZERA aktivně usiluje o **právní oporu** a povinnost ověření kvality, která zemědělcům využívání kompostu usnadní, což může vést k rozšíření využití přírodního zdroj - kompostu místo průmyslových hnojiv se všemi důsledky.

Projekt INTEKO umožnil **transfer know-how** metody blízké infračervené spektroskopii (NIRS)

V rámci příhraniční spolupráce s Bioforschung Austria a vybavení vlastní laboratoře společnosti ZERA. Tímto se **ZERA stala jediným pracovištěm v ČR**, kde je možné jednoduchou nedestruktivní analytickou metodou získat informaci až na úrovni molekulové struktury kompostovaných organických látek a o vlivu konkrétního kompostovacího procesu na studované molekuly.

## Partneři projektu jsou:

**ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, z. s.** – pracoviště pro transfer výsledků výzkumu a vývoje v oblasti biologických technologií recyklace zdrojů živin a organické hmoty včetně agronomického využití výstupů. Pracoviště pro ověření kvality kompostu.

**BFA – Bio Forschung Austria** ve Vídni - pracoviště poradenství a výzkumu praktického zavedení tříděného sběru a kompostování biodpadu, použití organických hnojiv - kompostu, digestátu a zeleného hnojení, testování vhodnosti použití nových hnojiv – fosforečných hnojiv získaných z popelovin po spalení čistírenských kalů. Je nositelem know-how metody stanovení zralosti kompostu NIRS.

**Mendelova univerzita v Brně** – tým pracoviště s dlouhodobými zkušenostmi s posuzováním biologické aktivity půd se zaměřením na jednoduché a snadno interpretované terénní metody.

**BAW – Spolkový vodohospodářský úřad, institut kulturních technik a hospodaření s půdní vodou** je rakouské pracoviště které se již více než 75 let zabývá otázkami regulace hospodaření s vodou v půdě a ochrany půdy a vody před degradací.