

Výzkumný záměr č. MSM6215648905

# Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu

## A. Úvod (ekosyst. služby) – vedoucí etap

## B. Dílčí metodika

B1 Název: **Bilance živin v agrosystému pro úroveň plodina, zemědělský podnik, region**

B2 Autoři: **Ing. Stanislav Hejduk, Ph.D.**  
**Ing. Tomáš Lošák, Ph.D.**  
**Doc. Ing. Eduard Pokorný, CSc.**  
**Ing. Blanka Procházková, CSc.**  
**Doc. Ing. Pavel Veselý, CSc.**  
**Ing. Jaroslav Záhora, CSc.**

## B3 Literární úvod:

Živiny označujeme takové prvky, které živý organismus potřebuje k zajištění svých životních funkcí. Je-li tento prvek alespoň jednou v ontogenetickém cyklu rostliny nezbytnou živinou, pak je jednoznačně **biogenní** povahy (Marschner, 1995). Z praktického hlediska však není možné provádět tak úzkou specifikaci, a proto se běžně biologicky nejdůležitější prvky mohou rozdělit do skupin:

- **makroelementy** vyskytující se od desetin po desítky procent (C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, S),
- **mikroelementy** -obsah se pohybuje pod desetinu % (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, ...),
- **užitečné prvky** požadavek na ně je specifický podle druhu rostliny (Na, Cl, Si, Al, Ti, aj.),
- **ostatní prvky** - obsaženy v rostlinách jako důsledek zvýšeného přirozeného obohacení nebo pod vlivem antropogenní činnosti člověka (cizorodé prvky Cd, Pb, Cr, As, Be, Ni aj.).

Živiny se podílejí v rostlinách na rozdílných biochemických funkcích, přičemž nezastupitelná je jejich funkce stavební (tab. 1).

Toto rozdělení však nevystihuje význam jednotlivých živin, a proto navrhl Mengel a Kirkby (1978) rozdělení živin podle fyziologických a biochemických vlastností.

**Tab. 1. Rozdělení živin dle fyziologických a biochem. vlastností (Mengel, Kirkby, 1978)**

Skupina	Živina	Příjem	Biochemické funkce v rostlině
1	C, H, O, N, S	ve formách $\text{CO}_2$ , $\text{HCO}_3^-$ $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{O}_2$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$  $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{SO}_2$	- hlavní složky organ. látek - základní prvky enzymatických procesů - zúčastňuje se oxidačně redukčních reakcí
2	P, B, Si	ve formách fosfátů, kys. borité, borátů, silikátů	- esterifikace nativních alkoholových skupin - fosfátové estery se zúčastňují přenosu energie
3	K, Na, Mg, Ca, Mn, Cl	v iontových formách z půdního roztoku	- vyznačují se nespecifickými funkcemi, které řídí osmotický potenciál - specifikují činnost enzymových proteinů - aktivují enzymy - vyrovnávají nedifúzní a difúzní anionty
4	Fe, Cu, Zn, Mo	ve formách iontů nebo chelátů z půdních roztoků	- převládají v chelátových formách inkorporovaných do prostetických skupin - umožňují elektronový transport se změnami valence

Rostliny přijímají živiny především z půdy ve formě kationtů ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) a aniontů ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Symbiózou s hlízkovými bakteriemi na kořenech bobovitých rostlin mohou rostliny této čeledi poutat i vzdušný dusík (Vaněk et al., 2002). Vzhledem ke změně struktury pěstovaných plodin v posledních letech a výrazném poklesu především ploch vojtěšky a jetele se vstupy dusíku do agroekosystému přes leguminózy výrazně snížily. Plochy ostatních luskovin (hrách, čočka, bob, fazol, sója) jsou zanedbatelné.

Rozhodující vstupy živin do půdy jsou tedy antropogenního původu, především ve formě minerálních a organických hnojiv. **Živiny (ionty) podléhají v půdě řadě změn – mineralizace, mobilizace, imobilizace, sorpce. Konečným výsledkem těchto často protichůdných procesů je tzv. živinný režim půd. Z hlediska příjmu živin rostlinami je důležitý nejen obsah, ale i vzájemný poměr mezi živinami** (Richter, Hlušek, 1994).

**Informace ohledně obsahu přístupných živin v půdě** (živiny vázané na výměnný sorpční komplex a vodorozpuštěné) **je možno zjistit na základě půdních rozborů. V případě P, K, Ca a Mg se analyzuje vysušený vzorek odebrané zeminy oficiálně schválenou metodikou pro ČR – Mehlich III. Pro stanovení výměnné půdní reakce se používá roztok 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ . Ze získaných výsledků je možné odvodit a navrhnout i dlouhodobější hnojivářské zásahy (zásobní či meliorační hnojení fosforem, draslíkem či hořčíkem, meliorační**

**vápnění, apod.).** Fosforečná, draselná, hořečnatá a vápenatá hnojiva by měla být zapravena do půdy buď při základním zpracování půdy orbou nebo kypřením.

**Obsah celkového dusíku v půdě se pohybuje mezi 0,05-0,5 %, z čehož tvoří 1-2 % dusík minerální a 98-99 % dusík organický (hydrolyzovatelný a nehydrolyzovatelný), který je rostlinami přijatelný až po jeho mineralizaci. Rychlost mineralizace organického dusíku na dusík minerální je stimulována celou řadou povětrnostních a půdních podmínek (teplota, vlhkost, pH, aerace, obsah org. látek aj.).**

Amoniakální dusík se v půdě nachází v různém stavu ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NH}_3$ ). V nepatrném množství je rozpuštěn v půdním roztoku ve formě amonných solí, odkud jej mohou rostliny bezprostředně využít. Část  $\text{NH}_4^+$  je ve výměnné formě a po jeho vytěsnění z [VSK] může být rostlinami rovněž přijímán. Část  $\text{NH}_3$  u lehkých a alkalických zemín může volatilizovat (těkat). Ztráty na tomto dusíku činí v průměru 20-30 % z dodaného dusíku. Rozpustný a výměnný  $\text{NH}_4^+$  se může stát nevýměnným „fixací“ do krystalové mřížky některých minerálů. **V biologicky činných půdách podléhá  $\text{NH}_4^+$  dusík nitrifikaci, tedy oxidaci přes  $\text{NO}_2^-$  na  $\text{NO}_3^-$ . Při dostatečném provzdušení půdy, teplotě 15-30°C, vlhkosti 40-60 % MVK a pH 6,2-9,2, probíhá nitrifikace velmi intenzívně. Při teplotě 5-10°C je velmi nízká a při teplotách < 5°C se prakticky zastavuje. Během roku se intenzita nitrifikace mění v závislosti se změnami podmínek. Nejvyšší intenzity dosahuje v období duben – květen a druhý vrchol je v podzimních měsících (září). V půdách navíc převládá sorpce kationtů (z 95 %), a proto jsou anionty, včetně  $\text{NO}_3^-$ , z půdy snadno vymývány do podzemních vod. K vyplavení dusíku z půdy dochází v závislosti na druhu půdy, úrovni srážek a na způsobu využití půdy v rozmezí 1,0-54,0 kg.ha<sup>-1</sup> N. Pokud se nitrátový dusík dostane mimo kořenovou zónu (0,8-1 m) je denitrifikace (přechod  $\text{NO}_3^-$  na oxidy dusíku –  $\text{N}_{\text{ox}}$  až elementární  $\text{N}_2$ ) jediný způsob snížení obsahu nitrátů v podzemních vodách. Denitrifikací se ztrácí ročně v průměru až 8% mineralizovatelného půdního dusíku, a až 20 % N z hnojiv o závislosti na celkové dávce dodaného N. (Richter, Hlušek, 1994). Omezit ztráty dusíku z půdy (vyplavením, únik do ovzduší) lze následujícími opatřeními:**

- a) dělená aplikace optimálních dávek dusíkatých minerálních hnojiv během vegetace
- b) podpora biologické sorpce – zaorávka slámy (široký poměr C/N) na podzim
- c) použít inhibitory nitrifikace
- d) ztížit podmínky pro denitrifikaci (udržovat opt. vzdušný režim, půdní reakci)

Biologická sorpce má význam při bilancování živin. Výrazně ovlivňuje zvláště dynamiku N v půdě. Průměrně asi 30% N z hnojiv je zabudováno touto sorpcí. U hnojiv ledkových představuje biologická sorpce 10-20% a z hnojiv amonných 20-40% z dodaného dusíku.

**Obsah minerálního dusíku v půdě (součet dusíku nitrátového  $\text{N-NO}_3^-$  a amoniakálního  $\text{N-NH}_4^+$ ) podléhá velkým změnám a výkyvům, a proto je hodnotou nestálou** (Fecenko, Ložek, 2000). **Jeho stanovení se provádí buď ihned z čerstvě odebraných vzorků nebo se vzorky musí zmrazit**, aby nedocházelo ke změnám jeho obsahu. Nitrátový dusík se stanovuje buď kolorimetricky pomocí kyseliny salicylové nebo iontově selektivní elektrodou (ISE). Amoniakální dusík se stanovuje kolorimetricky dle Nesslerera (Richter et al., 1999). **Takto získané výsledky slouží zpravidla pro okamžitou korekci dávek dusíku při základním hnojení či přihnojování dle vegetace. Na základě hodnot obsahu  $\text{N}_{\text{min}}$  v půdě není možné dělat dlouhodobější predikce jeho zásoby v půdě.**

**Po skončení vegetační doby je možné na základě opětovných analýz půd zjistit změny v obsazích přístupných živin i pH oproti počátku vegetace. V případě stanovení hmotnosti sušiny hlavního a vedlejšího produktu a jejich chemických analýz je možné vypočítat i odběr živin a jejich export (zrno) či ponechání na pozemku a obohacení půdní zásoby (zaorávka slámy, řepného chrástu). Tyto chemické analýzy rostlinného materiálu**

**mají vypovídací schopnost i o nutriční kvalitě produktů, jejich nezávadnosti a vzájemných poměrech mezi živinami.**

**Obecně lze bilanci označit jako poměr mezi zdroji a spotřebou.** Bilanci živin je možno počítat pro celý zemědělský podnik, tento výpočet je potřebný z hlediska plánování. Pro zpřesnění hospodaření a detailní rozhodování je nutná dlouhodobá bilance pro jednotlivé pozemky. Bilanci je dobré provádět podle geografických celků - dnes se důsledně dodržuje výpočet podle jednotlivých povodí.

**Bilanci živin na poli ovlivňuje člověk především:**

- a) sklizní
- b) hnojením
- c) zpracováním půdy

V zemědělsky využívaných půdách jsou vedle zbytků pocházejících z pěstovaných plodin významným **zdrojem živin organická hnojiva** (tab. 2) a **hnojiva minerální**.

**Tab. 2 Množství živin dodaných 1t vybraných organických hnojiv (Škarda, 1982)**

Hnojivo	N	P	K	Ca	Mg
Hnůj čerstvý	3,0	6	3,2	2,1	3,6
Hnůj uzrálý	4,1	8,4	4,6	3,2	6
Kompost	2,1	10	2,4	1,5	0,5

Do půdy se rovněž dostávají živiny z **atmosférických srážek**. Tato položka je dnes sledována na řadě pracovišť a údaje je možno získat pro jednotlivá území republiky ze sítě Hydrometeorologického ústavu, Zemědělské vodohospodářské správy nebo Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. Pro názornost uvádíme výsledky z 20-ti letého pozorování ACHP Kroměříž ze stanoviště v Holešově, kde na 1 ha za rok v průměru spadne: 7 kg N-NO<sub>3</sub>, 13 kg N-NH<sub>4</sub>, 5 kg P, 8 kg K, 31 kg Ca, 15 kg Mg. Rovněž část požadavků rostlin na síru je možno pokrýt z **emisí SO<sub>2</sub>**, které se ovšem za posledních 17 let výrazně snížily a v průměru není možné počítat s ročními vstupy vyššími než 10 kg S.ha<sup>-1</sup> (Lošák, 2003).

Dalším zdrojem jsou **živiny uvolněné při zvětrávání hornin a minerálů i živiny obsažené ve vodách vytékajících z hornin**. Jejich kvantifikace je ovšem poměrně obtížná, protože by vyžadovala hlubší pedologické znalosti o konkrétním pozemku i vyšší finanční náročnost.

Nezanedbatelnou položkou jsou **živiny uvolněné rozložením posklizňových zbytků** po pěstovaných plodinách (tab. 3). Jejich množství je přirozeně závislé na nárůstu podzemní i nadzemní biomasy v jednotlivých letech a na jejich množství ponechaném na pozemku. Stanovení je problematickou záležitostí (sklizeň x zaorávka slámy, výška strniště, apod.) a literární podklady se liší. Není také přesně známa intenzita mineralizace a většinou se uvažuje s živinami uvolněnými po rozkladu všech zbytků. Pro výpočet dlouhodobých bilancí jsou však předkládané hodnoty dostatečně přesné.

**Tab. 3 Množství živin (kg/ha) zanechané z posklizňových zbytků jednotlivých plodin (Švancara, 1962)**

Plodina	N	P	K	Ca
Pšenice	26,4	5,8	16,6	60,2
Žito	73,2	12,6	28,1	57,5
Ječmen	25,7	5,9	8,7	33,2
Oves	30	14,7	22,3	67,1
Obilniny průměr	38,8	9,8	19	67,1
Pohanka	55	5,5	8,5	
Řepka	63,1	15,8	32,9	96,8
Hrách	63,4	7,4	10,2	56,4
Pelouška	65	7,5	10,4	
Lupina	69,7	6,9	15,3	63,1
Lupina modrá	90	7,9	16	
Luskoviny průměr	68,5	7,8	11,1	60,7
Jetel červený 1letý	214,6	36,9	72	205
Vojtěška 4letá	152,6	19,4	32,9	154
Vičenec ligrus	138	14,7	38,2	104
Úročník	117,4	12,2	23,8	106,6
Seradela	72,5	9,1	8	62,7
Jeteloviny průměr	154,9	20,7	41,6	142,5
Komonice	140	13,2	40	

V bilanci je nutno počítat i se **ztrátami živin** z agroekosystému způsobenými především:

a) **odběrem rostlinami, resp. z podniku (tab. 4)**

b) **vyluhováním živin z půdního profilu (tab. 5)**

c) **erozí**

d) **denitrifikací**

**Tab. 4 Odčerpávání živin sklizní v kg na t produktu (Neuberg, 1990)**

Plodina	N	P	K	Ca	Mg
Pšenice	25	5,2	19,9	4,2	2,4
Žito	24	6,1	21,6	5,6	2,4
Ječmen	24	5,2	19,9	6,4	1,8
Oves	26	6,1	24,1	4,3	2,4
Pohanka	34	7	33,2		
Řepka	50	10,9	49,8	4,8	
Hrách	63	7,4	37,4	22,2	3,6
Pelůška	67	8	37,4	3,6	
Lupina	70	8,8	33,2		
Jetel červený 1letý	25	2,6	12,5	1,8	3,6
Vojtěška 4letá	27	3,1	14,9	2,1	1,8
Úročník	21	3,9	20,8		

**Tab. 5 Roční ztráty živin vyplavením v kg pro jednotlivé půdní druhy (Müller, 1980)**

Druh půdy	N	P	K	Ca	Mg
Lehká	15-25	0-5	7-17	110-300	17-43
Střední	9-44	0-5	3-8	21-176	9-16
Těžká	5-44	0-5	3-8	72-341	10-54

### **Vlivy eroze a denitrifikace na konkrétním pozemku jsou z hlediska bilance prakticky nedefinovatelné.**

Uvedené podklady jsou dostatečné pro výpočet bilance v jednotlivých letech na jednotlivých pozemcích. Z hlediska dlouhodobé udržitelnosti je třeba kalkulovat s dlouhými časovými řadami a výsledky ověřovat rozbory půdy kterými je kontrolována hladina živin o organických látek. Nezbytnou součástí je kontrola kvality humusu.

Z výsledků bilancí by měla být udělena základní obecná rozhodnutí (ta je nutno dále upřesňovat pro jednotlivé živiny):

- pokud je bilance kladná a byly vyzkoušeny možnosti zvýšení výnosů použitím jiných odrůd a jiných agrotechnických postupů, je nutno omezit vstupy neboť ostatní agroekologické podmínky (klíma, vodní režim, půdní druh) nedovolují, aby byly živiny odčerpány zvýšenými výnosy,

- pokud je bilance záporná je možno postupovat dvojí cestou:

a) zvýšit dodávku živin,

b) dlouhodobě přejít na výnosově nižší hladiny a snížit odčerpávání živin z pole.

Bilanci živin v obou směrech je možno upravit změnou osevního postupu.

### **PŮDNÍ REAKCE**

Reakce půdy patří k nejvýznamnějším charakteristikám půdy. Na tom, je-li půda kyselá, neutrální nebo alkalická, závisí např. rozpustnost různých sloučenin, síla vazby výměnných iontů, aktivita mikroorganismů ap.

Půdní reakce je dána přítomností a aktivitou vodíkových iontů. Ty se ve vodných roztocích spojují s molekulou vody a tvoří s ní ionty  $\text{H}_3\text{O}^+$  (hydroxoniové nebo oxoniové). Půdní reakce se udává buď v jednotkách pH nebo v meq.100 g<sup>-1</sup> zeminy. Přímě z jednotek pH není možno usuzovat na celkovou aciditu (kyselost) nebo bazitu (alkalitu) půdy, je nutno znát i sorpční kapacitu.

### Aktivní kyselost

Pod pojmem aktivní kyselost se rozumí koncentrace vodíkových iontů (volně rozpuštěných) stanovených ve vodním výluhu půdy destilovanou vodou nebo suspenzí půdy. Označuje se proto symbolem  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . Její hodnoty v půdách se nejčastěji pohybují od pH 5 do pH 7. Při aktivní reakci nejsou stanoveny  $\text{H}^+$  poutané pevnou fází půdy (sorpčním komplexem).

### Výměnná kyselost

Výměnná kyselost je definována jako schopnost půdy měnit pH roztoků neutrálních solí (elektrolytů). Tato kyselost (reakce je nazývána výměnnou proto, že se objeví na základě výměny iontů  $\text{H}^+$  nebo  $\text{Al}^{3+}$ , poutaných sorpčním komplexem za ionty roztoku neutrální solí, kterou se na půdu působí. Nejčastěji se k tomuto účelu používá 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ .

Ve srovnání s aktivní kyselostí dosahuje výměnná kyselost nižších hodnot pH, neboť spolu s volnými ionty  $\text{H}^+$  z půdního roztoku se stanoví i  $\text{H}^+$  vázané sorpčním komplexem.

### **Příčiny okyselování půd**

Většinou jich působí několik současně, hlavní jsou následující:

- vyplavování zásaditých složek, především vápníku, popř. hořčíku, z půdy zejména v oblastech s bohatými srážkami (humidní klima), při zavlažování a na pozemcích bez rostlinného pokryvu
- odčerpávání zásaditých složek rostlinou
- ochuzování půdy o vápník používáním hnojiv, která vápník vytěsňují ze sorpčního komplexu (draselná sůl, kainit, bezvodý amoniak apod.)
- pěstování pouze mělce kořenících rostlin, kterými nemůže být vápník přemístěný do hlubších vrstev půdy navrácen do ornice
- silné hnojení lehce rozložitelnými organickými látkami, které může zvýšit rozpustnost vápenatých sloučenin vlivem silnější činnosti mikroorganismů, a tím i tvorby kyseliny uhličité
- silné zamokření pozemku, kde pro nedostatek vzduchu a nadbytek vody vznikají z organických látek kyselé produkty
- oxid uhličitý, produkovaný v biologicky činných půdách ve velkém množství
- vylučování kyselinotvorných látek rostlinou
- vnikání kyselin s ovzdušnými srážkami do půdy (kyselé deště)
- používání fyziologicky kyselých hnojiv (1 kg N v  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  vyvolá průměrně kyselost, k jejíž neutralizaci v půdě je třeba 2,99 kg  $\text{CaO}$ !)

### **Význam reakce půdy pro její úrodnost**

Reakce půdy je jednou z nejdůležitějších fyzikálně chemických vlastností půdy, protože aktivita  $\text{H}^+$  v půdním roztoku a na fázovém rozhraní ovládá adsorpci a rovnovážné rozdělení kationtů mezi půdním roztokem a adsorbentem.

Reakce půdy ovlivňuje:

- adsorpci a desorpci iontů rostlinných živin
- rozpustnost sloučenin biogenních a stopových prvků, jejich pohyblivost v půdě a fyziologickou přístupnost
- činnost a skladbu půdních mikroorganismů
- rozpustnost iontů a sloučenin, působících toxicky
- strukturu půdy
- celkové složení půdního roztoku

Na našem území převažuje reakce půd kyselá. Proto jí bylo věnováno více pozornosti. Kyselá půdní reakce působí nepříznivě na růst většiny kulturních rostlin, přestože jsou k půdní reakci značně tolerantní.

V půdě se zvýšenou kyselostí rostlina snižuje příjem kationtů. Nepříznivý účinek kyselé půdní reakce je tím výraznější, čím větší sorpční kapacitu půdy mají a čím větší je jejich ústojivost (pufrovitost), to znamená odolnost proti změně půdní reakce.

#### **B4 Vazba na ekosystémové služby:**

**Indikátor živiny má bezprostřední vazbu na následující ekosystémové služby: produkce kvalitních potravinových surovin, produkce kvalitních krmiv, produkce vláken a biochemických surovin, produkce energetických surovin, udržování půdní úrodnosti, zajišťování čistoty ovzduší, zajišťování množství a kvality podzemní vody.**

#### **B5 Popis indikátoru a jeho požadované hodnoty:**

Jestliže jsou indikátorem živiny, pak z hlediska makrobiogenních prvků (makroelementů) se jedná o následující: N, P, K, Ca, Mg, S

**a) Dusík** – znalost obsahu dusíku minerálního v půdě ( $N_{min}$ ) je důležitá z hlediska aplikace hnojiv, kdy vypočtená dávka minerálních hnojiv je korigována (snižována) právě o aktuální hodnotu  $N_{min}$  v půdě. Tím se zabrání luxusnímu či až toxickému obsahu dusíku v půdě pro rostliny s příznivým dopadem na životní prostředí (nižší riziko vyplavení nitrátové složky dusíku do podzemních vod) a ekonomiku pěstování (nižší dávka hnojiva na plochu a tím i redukce nákladů na minerální hnojiva).

**Tab. 6 Kritéria hodnocení  $N_{min}$  v půdních vzorcích (0-0,3 m) v  $mg.kg^{-1}$  – zpracoval ÚKZÚZ Brno**

Slovní charakteristika obsahu $N_{min}$	$N_{min}$ ( $mg.kg^{-1}$ )
Velmi nízký	Do 5
Nízký	5 - 15
Střední	15 - 30
Dobrý	30 - 45
Vysoký	Nad 45

Přepoččet obsahu  $N_{min}$  z  $mg.kg^{-1}$  na  $kg.ha^{-1}$  je vynásobením číslem 4,5. Např. obsah  $N_{min}$  10  $mg.kg^{-1}$  odpovídá 45  $kg N.ha^{-1}$ . Kritéria hodnocení obsahu  $N_{min}$  v půdě uvádí tab. 6.

**b) Fosfor, draslík, vápník a hořčík**

Obsahy těchto prvků v půdě by měly být na úrovni vyhovující a dobré zásoby. Platná kritéria obsahu těchto prvků pro jednotlivé druhy orné půdy ČR uvádí tab. 7. U fosforu není klasifikace specifikována dle půdních druhů.

**Tab. 7 Kritéria obsahu P, K, Ca, Mg pro jednotlivé druhy orné půdy ČR (Richer et al., 1999)**

<b>OBSAH</b>		<b>FOSFOR</b>		
Nízký		Do 50		
Vyhovující		51-80		
Dobrý		81-115		
Vysoký		116-185		
Velmi vysoký		nad 185		
		<b>DRASLÍK</b>		
		lehká	střední	těžká
Nízký		Do 100	Do 105	Do 170
Vyhovující		101-160	106-170	171-260
Dobrý		161-275	171-310	261-350
Vysoký		276-380	311-420	351-510
Velmi vysoký		Nad 380	Nad 420	Nad 510
		<b>VÁPŇÍK</b>		
		lehká	střední	těžká
Nízký		Do 1000	Do 1100	Do 1700
Vyhovující		1001-1800	1101-2000	1701-3000
Dobrý		1801-2800	2001-3300	3001-4200
Vysoký		2801-3700	3301-5400	4201-6600
Velmi vysoký		Nad 3700	Nad 5400	Nad 6600
		<b>HOŘČÍK</b>		
		lehká	střední	těžká
Nízký		Do 80	Do 105	Do 120
Vyhovující		81-135	106-160	121-220
Dobrý		136-200	161-265	221-330
Vysoký		201-285	266-330	331-460
Velmi vysoký		Nad 285	Nad 330	Nad 460

**Vlastní korekce základních normativů P, K, Mg (kg.ha<sup>-1</sup>) pro jednotlivé plodiny (odběrový normativ v kg.t<sup>-1</sup> x požadovaný výnos v t) se provede v závislosti na obsahových kategoriích (nízký, vyhovující, dobrý, vysoký, velmi vysoký) dle tab. 8.**

**Tab. 8 Korekce normativů P, K, Mg v závislosti na obsahových kategoriích (Richer et al., 1999)**

Obsah živiny	Korekce základního normativu (%)		
	P	K	Mg
nízký	+25	+15	+50
vyhovující	0	0	0
dobrý	-30	-50	0
vysoký	-100	-100	-100
velmi vysoký	-100	-100	-100

V případě hnojení draslíkem a hořčíkem se z důvodů antagonistických vlivů provádí korekce základního normativu i na základě vzájemných poměrů (K:Mg), jak uvádí tab. 9.

**Tab. 9 Kategorizace hodnot poměrů K:Mg v půdě a výše korekcí K a Mg (Richer et al., 1999)**

Hodnota poměru K:Mg	Charakteristika poměru	Korekce základního normativu (%)	
		K	Mg
Do 1,6	dobrý	-	-
1,6-3,2	vyhovující	-50	+50
Nad 3,2	nevyhovující	-100	+50

### c) Síra

Síra se v půdě se vyskytuje jako aniont  $\text{SO}_4^{2-}$  a svým chováním se podobá dusíku. Proto je velmi obtížné na základě odběru půdních vzorků provádět dlouhodobou predikci její zásoby v půdě. Pro obsahy síry nebyly dosud oficiálně zpracovány a vydány kritéria pro posuzování jejího obsahu v půdě, jako je tomu u P, K, Ca a Mg a v budoucnu se to ani nepředpokládá. Jsou známy pouze určitá doporučení u konkrétních plodin s tím, že hnojení sírou je dnes aktuální na celém území ČR a to především u plodin na síru náročných (brukvovitá zelenina, olejniny, apod.).

### d) Půdní reakce (pH)

Hodnotu půdní reakce můžeme rozdělit do několika kategorií, viz tab. 10.

**Tab. 10 Kritéria pro hodnocení půdní reakce (Richer et al., 1999)**

Hodnota pH	Půdní reakce
Do 4,5	Extrémně kyselá
4,6-5,0	Silně kyselá
5,1-5,5	Kyselá
5,6-6,5	Slabě kyselá
6,6-7,2	Neutrální
7,3-7,7	Alkalická
Nad 7,7	Silně alkalická

Optimální hodnoty pH se liší u minerálních půd podle půdního druhu a podle způsobu využívané půdy (orná půda, TTP), jak uvádí tab. 11.

**Tab. 11 Optimální hodnoty pH a žádoucí rozmezí pH na orné půdě a TTP (Richer et al., 1999)**

Půdní druh	Orná půda		TTP	
	Optimál. pH	Žádoucí rozmezí H	Optimát. pH	Žádoucí rozmezí pH
Písčítá	5,5	5,3-5,7	5,0	4,5-5,2
Hlinitopísčítá	6,0	5,8-6,2	5,0	4,5-5,2
Písčítóhlinítá	6,5	6,3-6,7	5,2	4,8-5,5
Hlinitá až jíla	7,0	6,5-7,5	5,5	5,3-6,0

### **B6 Metody dosahování požadovaných hodnot indikátorů:**

Zvýšení obsahů přístupných živin v půdě (N, P, K, Ca, Mg, S) lze aplikací minerálních či organických hnojiv (hnůj, močůvka, hnojůvka, kejda, sláma, zelené hnojení, komposty, čistírenské kaly) na orné půdě, TTP i u rychle rostoucích dřevin. Přitom je třeba dbát legislativních předpisů, které zahrnují především:

**Zákon č. 156/1998 Sb.**, o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd, ve znění zákona č. 308/2000 Sb. (zákon o hnojivech).

**Zákon č. 317/2004 Sb.**, kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, zákon č. 147/2002 Sb., o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském a o změně některých dalších zákonů (zákon o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 252/1997 Sb., o zemědělství, ve znění pozdějších předpisů

**Vyhláška MZe č. 474/2000 Sb.**, o stanovení požadavků na hnojiva.

**Vyhláška MZe č. 273/1998 Sb.**, o odběrech a chemických rozborech vzorků hnojiv, ve znění vyhl. č. 475/2000 Sb.

**Vyhláška MZe č. 274/1998 Sb.**, o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění vyhl. č. 476/2000 Sb.

**Vyhláška MZe č. 275/1998 Sb.**, o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění vyhl. č. 477/2000 Sb.

**Vyhláška č. 382/2001 Sb.**, o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (prováděcí vyhláška k zákonu č. 185/2001 Sb. o odpadech).

**Nařízení vlády** o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech (Sbírka zákonů č. 103/2003)

**a) Dusík** – odběr a zpracování vzorků půdy či zeminy dle agrochemických zásad (plocha, hloubka odběru a počet vpichů sondovací tyčí pro získání průměrného vzorku) na počátku a konci vegetace a stanovení obsahu dusíku minerálního v půdě (N<sub>min</sub>). Od jeho obsahu odečíst vypočtenou dávku dusíku v minerálních hnojivech jako základní hnojení jednotlivých plodin či travních porostů. Při aplikaci dusíku v minerálních hnojivech se jeho další odpočty (korekce) vztahují na aplikaci organických hnojiv a na leguminózní předplodiny.

V případě přihnojování minerálními hnojivy s dusíkem během vegetace rovněž odebrat před přihnojením vzorky půdy a zjištěné výsledky obsahu N<sub>min</sub> využít ke korekci (snížení) dávky dusíku. Skutečnou dávku dusíku aplikovat vhodnými minerálními hnojivy.

Před setím: síran amonný, močovina, DAM-390, ledek amonný s vápencem, ledek amonný s dolomitem.

Přihnojení během vegetace: dusičnan amonný, LAV, LAD, DAM-390, nízkoprocentní roztoky močoviny

**b) Fosfor, draslík, vápník, hořčík a síra** – odběr a zpracování vzorků půdy či zeminy dle agrochemických zásad (plocha, hloubka odběru a počet vpichů sondovací tyčí pro získání průměrného vzorku) na počátku a konci vegetace. Vzorky půdy na obsah P, K, Ca, Mg a pH/CaCl<sub>2</sub> analyzovat dle standardních metodik (Mehlich III) a obsah síranové síry v půdě stanovit ve vodním výluhu. Vlastní stanovení:

P – spektrofotometricky (kolorimetricky)

K, Ca, Mg – atomová absorpční spektrofotometre (AAS)

S - atomová emisní spektrofotometrie v indukčně vázaném plazmatu (ICP-AES)

**Zjištěné obsahy prvků porovnat s tabulkovými hodnotami pro příslušnou kulturu (orná půda, TTP, apod.) a půdní druh a definovat obsah živiny v půdě (nízký, vyhovující, dobrý, vysoký, velmi vysoký), viz tab. 7. Dávku živiny v minerálním hnojivu (pro danou plodinu) vypočtenou na základě bilanční metody (odběr živiny výnosem v kg.t<sup>-1</sup> x požadovaný výnos v t.ha<sup>-1</sup>) korigovat (zvýšit, snížit) na základě dosažených výsledků, viz. tab. 8 a 9. Skutečnou dávku živin aplikovat před setím se zapravením do půdy ve formě jednosložkových či vícesložkových minerálních hnojiv.** Lze použít např. následující hnojiva:

P – superfosfát jednoduchý či trojitý, amofos

K – draselná sůl, síran draselný, korn kali,

Ca – mletý vápenec, dolomitický vápenec

Mg – kieserit, hořká sůl

**Po sklizni plodiny zjistit hmotnost nadzemní hmoty (hlavní a vedlejší produkt) a rostlinou hmotu podrobit analýzám na obsah N, P, K, Ca, Mg a S.** Vzorky rostlinného materiálu je nutné zpracovat dle správných analytických zásad, tedy neznečištěné homogenizovat (pošrotovat), rozložit spalováním na mokré cestě (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> u N, P, K, Ca a Mg a HNO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> u S), převést do roztoku. V mineralizátu se stanoví N dle Kjeldahla,

P spektrofotometricky, K, Ca a Mg metodou AAS, S metodou ICP-AES. Následně je možno vypočíst odběry živin výnosem a bilanci, tedy obsahy živin v půdě na počátku vegetace a po sklizni.

c) půdní reakce (pH) – v odebraných půdních vzorcích bude stanovena aktuální půdní reakce ve vodním výluhu (pH/H<sub>2</sub>O) a výměnná půdní reakce ve výluhu 0,01 M CaCl<sub>2</sub> (pH/CaCl<sub>2</sub>), na základě níž se stanovuje potřeba vápnění pro ornou půdu i TTP (tab. 12, 13).

**Tab. 12** Potřeba vápnění na orné půdě v závislosti na hodnotě výměnného pH (Richer et al., 1999)

Lehká půda		Střední půda		Těžká půda	
pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>	pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>	pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>
Do 4,4	1,20	Do 4,5	1,50	Do 4,5	1,70
4,5-5,0	0,80	4,6-5,0	1,00	4,6-5,0	1,25
5,1-5,5	0,60	5,1-5,5	0,70	5,1-5,5	0,85
5,6-5,7	0,30	5,6-6,0	0,40	5,6-6,0	0,50
		6,1-6,5	0,20	6,1-6,5	0,25
				6,6-6,7	0,20

**Tab. 13** Potřeba vápnění na TTP v závislosti na hodnotě výměnného pH (Richer et al., 1999)

Lehká půda		Střední půda		Těžká půda	
pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>	pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>	pH	t CaO.ha <sup>-1</sup>
Do 4,5	0,60	Do 4,5	0,70	Do 4,5	0,90
4,6-5,0	0,30	4,6-5,0	0,50	4,6-5,0	0,70
		5,1-5,6	0,25	5,1-5,5	0,35
				5,6-6,0	0,20

### B7 Specifika využití indikátorů v jednotlivých řízených ekosystémech:

Indikátor je možno využít jak v ekosystému na orné půdě, tak v travinném ekosystému. V ekosystému rychle rostoucích dřevin (RRD) je využití omezené, protože pravděpodobně nebude možné každoročně zjistit celkovou produkci biomasy z plochy. Je předpoklad, že by stačilo dělat bilanci živin za celé obmýtí 6 let. Bylo by vhodné zjistit biomasu opadu listů a roční stupeň uvolňování živin (zejména N). Popel po spálení dřevní biomasy by měl být navrácen zpět do půdy k RRD.

## **B8 Vazba na klima a změnu klimatu:**

Obsah živin a jejich bilance v půdě jsou do značné míry ovlivněny antropogenní činností (aplikace hnojiv). O jejich účinnosti a využití rostlinami ovšem rozhoduje výraznou měrou průběh povětrnostních podmínek. Konkrétně se jedná o následující vazby:

**- Snížený příjem vody a živin:** delší a intenzivnější periody sucha budou vyvolávat stres u rostlin provázený snížením či zastavením příjmu vody a v ní rozpuštěných živin, možná i odumřenin částí kořenového vlášení, ovšem mineralizace bude dále probíhat (kumulace živin v půdě).

**- Změny v procesu mineralizace:** optimální půdní vlhkost, teplota, aerace, pH výrazně ovlivňuje řadu půdních procesů, včetně přechodu organicky vázaných živin do podoby minerální, tedy iontů, v procesu mineralizace. Výrazné výkyvy z hlediska obsahu vody a teploty půdy se odrazí na těžce predikované mineralizaci, která bude při nadbytku i nedostatku vody redukována, zatímco při nárůstu teploty stimulována.

**- Změny v příjmu živin rostlinami:** příjem jednotlivých živin úzce souvisí s teplotou půdy. Teplota kolem 5°C je hranicí pro příjem dusíku nitrátového, zatímco dusík amoniakální přijímají rostliny i při teplotě nižší. U většiny plodin mírného pásma je při teplotě pod 10°C omezen dále příjem fosforu, síry a draslíku a zvyšuje se příjem vápníku a hořčíku.

### **- Vyšší ztráty živin z půdy:**

- a) povrchovým smyvem (erozí) při jednorázových intenzivních srážkách (přívalových deštích)
- b) průsakem živin, především anionů (nitráty, sírany, chloridy), do podzemních vod – zejména následují-li po období sucha vydatné srážky. Ztráta aniontů je přitom vždy doprovázena i ztrátou kationtů, zejména dvojmocných  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ , což může vést k acidifikaci
- c) plynné ztráty v důsledku denitrifikace ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{N}_2$ ), desulfurikace ( $\text{H}_2\text{S}$ ) za anaerobních podmínek (nadbytku vody v půdě) nebo z hnojiv aplikovaných na povrch půdy (síran amonný, močovina) při vysokých teplotách ( $\text{NH}_3$ ).

Důsledkem těchto ztrát je vyšší koncentrace živin ve vodních tocích, resp. i pitné vodě se všemi negativními průvodními jevy (eutrofizace vod, nadlimitní obsah nitrátů v pitné vodě, apod.).

Při zajištění optimálního obsahu přístupných živin v půdě, i na základě jejich bilance, je možno snížit výše uvedená potenciální rizika, která mohou být stimulována předpokládanými změnami klimatu.

## **C Využití indikátorů a metod k adaptaci na změnu klimatu:**

Vyrovnaná bilance živin v půdě při jejich optimální zásobě přispěje ke snížení potenciálních rizik (ztráty živin z půdy vyplavením, únikem do ovzduší,..), které jsou z části důsledkem změn klimatu, a přispěje udržení úrodnosti půdy. Při zvyšující se koncentraci  $\text{CO}_2$  v ovzduší a nárůstu intenzity fotosyntézy nebude záporná bilance živin v půdě limitujícím faktorem z hlediska úrovně výnosu či jeho kvality. Rostliny dostatečně zásobené živinami, s důrazem na draslík, lépe hospodaří s vodou, a proto se snáze přizpůsobí změnám klimatu. Nižší ztráty vody u těchto rostlin jsou způsobené slabší transpirací, která nezávisí pouze na

nižším osmotickým potenciálu mezofylových buněk, ale je také kontrolována otevíráním a zavíráním průduchů.

#### **D Očekávané dopady a změna ekosystémových služeb:**

Očekávané dopady u indikátoru živiny budou na úrovni porostu, zemědělského podniku i regionu následující:

- a) stanovení skutečných obsahů přístupných živin v půdě (N, P, K, Ca, Mg, S) a pH na počátku vegetace a na konci s vyhodnocením jejich bilance (kladná, záporná) – u trvalých kultur (TTP, RRD) za delší časové období
- b) korekce (snížení, zvýšení) dávek živin v minerálních hnojivech u jednotlivých plodin i na základě obsahů těchto živin v půdě
- c) dosažení požadované úrovně výnosu včetně jeho přesné kvantifikace i kvality u jednotlivých ekosystémových služeb (potravinové suroviny, krmiva)
- d) udržování půdní úrodnosti (včetně optimální hodnoty půdní reakce – pH) se všemi svými pozitivními atributy
- e) snížení ztrát živin z ekosystému a tím zvýšení kvality ovzduší i podzemních vod
- f) úspora finančních prostředků za nákup a aplikaci hnojiv

#### **E Závěr:**

Předložená metodika bude sloužit jako nástroj a informační zdroj pro pěstitele z hlediska bilance živin u konkrétních plodin, respektive konkrétního podniku. Na základě znalosti obsahu přístupných živin v půdě a půdní reakce na počátku a konci vegetace (nebo delšího období) je možné zachytit změny a stanovit bilanci živin (zdroje a spotřeba či vstupy a výstupy) roční (orná půda) či z delšího časového hlediska (TTP, RRD). Komplikovanější a částečně nepřesná je tato bilance v případě dusíku a do určité míry i síry, protože oba tyto prvky podléhají v půdě rychlým a obtížně předikovaným změnám.

Praktickým dopadem bude optimalizace dávek jednotlivých živin, resp. hnojiv pro konkrétní plodiny na základě zjištěných skutečností. Zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub> povede k vyšší produkci biomasy i výnosů hospodářských plodin. Tento nárůst je nutné podpořit zvýšenými dávkami a dostupností minerálních živin tak, aby zvýšený produkční potenciál nebyl omezen jejich deficitem.

Současně se zpřesněnými poznatky o živinách v půdě se uspoří finanční prostředky na nákup a aplikaci hnojiv a sníží ztráty živin z jednotlivých ekosystémů. Důsledkem těchto změn bude i zvýšení kvality podzemní vody a ovzduší.

Z hlediska praktické zásobenosti rostlin živinami a tím i z pohledu celé bilance živin bude mít významnější vliv než teplota rozložení srážek, respektive vlhkostní poměry v půdě. Při dlouhotrvajícím období sucha bude redukován příjem vody i živin s následným odrazem na úrovni výnosu a jeho kvality.

## Literatura:

- Čvancara, F. (1962): Zemědělská výroba v číslech, díl první. SZN Praha, 1170 s.
- Fecenko, J., Ložek, O. (2000): Výživa a hnojení polních plodín. SPU v Nitre, 452 s.
- Lošák, T. (2003): Studium utilizace dusíku při hnojení sírou u ozimé řepky. Doktorská disertační práce, MZLU v Brně, 168 s.
- Marschner, H. (1995): Mineral Nutrition of Higher Plants. 2.ed. London, Academic Press Limited, 1995. 889p.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. (1978): Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern, 593 s.
- Müller, G. (1980): Bodenkunde. Landwirtschaftsverlag Berlin, 392 p.
- Müller, G., Gneuberg, J. (1990): Komplexní metodika výživy rostlin. ÚVTIZ Praha, 327 s.
- Müller, G., Gneuberg, J., Pivnička, K. (2002): Aplikovaná ekologie. Karolinim Praha, 185 s. ISBN 80-246-0599-6
- Nátr, L. (2007): Příjem a využití minerálních živin v podmínkách zvyšující se koncentrace CO<sub>2</sub>. In: Sborník z mezinárodní vědecké konference „Výživa rostlin a její perspektivy“, MZLU Brno, 5.-6.9.2007, s. 31-34, ISBN 978-80-7375-068-8.
- Pošík, M. (1992): Naučný slovník zemědělský, díl 13. ÚVTIZ Praha, 677 s.
- Richter, R., Hlušek, J., Hřivna, L. (1999): Výživa a hnojení rostlin, praktická cvičení. VŠZ Brno, ISBN 80-7157-346-9, 188 s.
- Richter, R., Hlušek, J. (1994): Výživa a hnojení rostlin, I. obecná část. VŠZ Brno, ISBN 80-7157-138-5, 177 s.
- Trnka, M., Dubrovský, M., Žalud, Z. (2004): Climate change impacts and adaptation strategies in spring barley production in the Czech republic. Climatic Change 64, 227-255.
- Škarda, M.: Hospodaření s organickými hnojivy. SZN Praha 1982, 324 s.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2002): Výživa a hnojení polních a zahradních plodín. Třetí, doplněné vydání. Praha: Zemědělec, 132 s.