

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL COMPANIES

HODNOCENÍ EKOLOGICKÝCH ASPEKTŮ TRVALÉ UDRŽITELNOSTI HOSPODAŘENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH PODNIKŮ

Dubec J., Křen J.

Ústav obecné produkce rostlinné, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: dubec@mendelu.cz

ABSTRACT

In REPRO test of czech farms A, B, C was nutrients (N, P, K) balance, humus balance and energy balance calculated. Nitrogen balance on farm level was at farm A 33,6 kg N.ha⁻¹, at farm B 47,8 kg N.ha⁻¹ and at farm C 50,0 kg N.ha⁻¹. The limit of sustainability in Sachsen-Anhalt in Germany, where does the software REPRO come from, is for nitrogen balance 50,0 kg N.ha⁻¹. Phosphorus balance and potassium balance were negative in all cases. The results of humus balance at farm A was reacted value of 72,6 %, at farm B 92,0 %, at farm C 113,2 %. Values in range from 90 to 110 % are considered to be appropriate (LEITHOLD et al., 1997). The fossil energy consumption czech farms reached values from 8,4 to 11,3 GJ.ha⁻¹, which appropriate 64 % of fossil energy consumption german farms. Energetic benefit at observed farms was in rate from 81,6 to 117,2 GJ.ha⁻¹, which appropriate 69,8 % of energetic benefit german farms.

Keywords: N balance, P balance, K balance, humus balance, sustainability, Repro

ABSTRAKT

V hodnocených českých zemědělských podnicích A, B, C, v řepařské výrobní oblasti, byl programem REPRO proveden výpočet bilancí živin (N, P, K); bilance humusu a bilance energie. Saldo dusíku vykázalo na podnikové úrovni hodnoty u podniku A 33,6 kg N.ha⁻¹, u podniku B 47,8 kg N.ha⁻¹, u podniku C 50,0 kg N.ha⁻¹. Hranice trvalé udržitelnosti pro region Sachsen-Anhalt v Německu, odkud program REPRO pochází, je pro saldo dusíku 50,0 kg N.ha⁻¹. Saldo fosforu a draslíku vykázalo ve všech případech záporné hodnoty. Výsledky bilance humusu vykázaly u podniku A úroveň 72,6 %, podnik B 92,0 %, podnik C 113,2 %. Jako vhodné rozpětí stupně zásobení humusu se uvádí 90 – 110 % (LEITHOLD et al., 1997). Spotřeba fosilní energie českých farem vykazovala hodnoty od 8,4 – 11,3 GJ.ha⁻¹, což odpovídá 64 % spotřeby fosilní energie hodnocených německých podniků. Energetický zisk

českých farem se pohyboval v relaci 81,6 – 117,2 GJ.ha⁻¹, což odpovídá 69,8 % zisku energie německých podniků.

Klíčová slova: bilance dusíku, bilance fosforu, bilance draslíku, bilance humusu, bilance energie, trvalá udržitelnost, REPRO

ÚVOD

Trvale udržitelný rozvoj se stal synonymem integrace politiky životního prostředí a rozvoje lidstva (CHRISTEN 1999). V rámci globálního trvale udržitelného rozvoje mají být současně posuzovány otázky ekonomické, ekologické a sociální.

CHRISTEN (1996; 1998) popisuje šest aspektů trvale udržitelného zemědělství:

1. etická složka (mezigenerační rovnost),
2. ochrana zdrojů (ochrana půdy, vody, vzduchu; zachování produkční základny),
3. zachování biologické diverzity (snížení zásahů do přírodních ekosystémů),
4. zajištění ekonomické životaschopnosti farem,
5. zodpovědnost zemědělství za dodávku potravin a jejich kvalitu pro společnost,
6. globální komponenty trvale udržitelného rozvoje.

Ve vědecké literatuře přikládají autoři význam skutečnosti, že trvale udržitelný rozvoj lze definovat na různých úrovních značně rozdílnými způsoby. LOWRANCE et al. (1986) rozlišují:

1. úroveň pozemků (zemědělská trvalá udržitelnost),
2. úroveň zemědělského podniku (mikroekonomická trvalá udržitelnost),
3. globální úroveň (makroekonomická trvalá udržitelnost).

Ve světě se objevují snahy vytvářet modely, které by postihovaly dopady zemědělství na životní prostředí vybranými charakteristikami (indikátory). Většinou se jedná o analýzy ex-post, což znamená, že hodnocení a závěry jsou odvozeny z dřívějších výsledků pokusů a jsou převedeny do současné situace.

Potřeba znázornění látkových a energetických toků na úrovni podniku, resp. jednotlivých pozemků se stala východiskem pro vývoj modelu REPRO (HÜLSBERGEN a DIEPENBROCK, 1997) na Martin–Luther–Universität Halle–Wittenberg v Německu. Zvláště tohoto přístupu je kromě softwarového řešení, postihnout vazeb a vztahů jednotlivých agrotechnických opatření a zejména jednotlivých podnikových odvětví. Díky bohaté databázi primárních dat je možné postihnout specifické stanovištní poměry a podmínky. Tímto způsobem lze modelem REPRO provést úplnou analýzu na úrovni podniku, resp. jednotlivých pozemků, která může být využita pro optimalizaci vnitřních

energomateriálových toků. Model REPRO umožňuje hodnotit také živočišnou produkci a ekonomiku.

Pro hodnocení ekologických aspektů trvalé udržitelnosti modelem REPRO byly vybrány následující parametry: výnosy, diverzita plodin; bilance N, P, K; bilance humusu; bilance energie. Hodnocení rostlinné produkce bylo prováděno na úrovni podniku, plodin a pozemků.

METODIKA

Pro účely hodnocení byly vybrány tři farmy hospodařící v České republice v podmínkách ŘVO. Společným kritériem výběru podniků byly půdní podmínky, průměrná teplota, průměrný roční úhrn srážek, způsob hospodaření a dostupnost primárních dat agronomické evidence.

Podnik A

Podnik A hospodaří na Kroměřížsku v jihovýchodní části nejúrodnější moravské oblasti Hané, v nadmořské výšce 235 m. Dlouhodobá průměrná teplota 8,7 °C, dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek 599 mm, Ackerzahl 99 (*100bodový ekvivalent BPEJ*). Půdním typem jsou černozemě na spraši ze skupiny černosolů, půdní druh hlinité půdy. Výrobním zaměřením je podnik orientován na rostlinnou produkci. Hodnoceno bylo období 1993 – 2000.

Podnik B

Hodnocená část podniku B hospodaří na Mohelnicku na okraji severozápadní části Hané v nadmořské výšce 259 m, dlouhodobý teplotní průměr je 8,1 °C, dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek 570 mm, Ackerzahl 92. Půdním typem jsou převážně hnědozemě ze skupiny luvisolů, půdní druh střední hlinité půdy.

Výrobním zaměřením je podnik orientován na rostlinnou i živočišnou produkci. Hodnoceno bylo období 2001 – 2003.

Podnik C

Podnik C hospodaří na Opavsku v západní části úrodné opavské nížiny, která dále přechází ve zvlněný reliéf Hrubého nízkého Jeseníku v nadmořské výšce 287 m. Průměrná teplota 8,2 °C, průměrný úhrn srážek 640 mm, Ackerzahl 72. Půdním typem je zejména kambizem ze skupiny kambisolů, půdní druh tvoří převážně střední písčitohlinité půdy.

Výrobním zaměřením je podnik orientován na rostlinnou i živočišnou produkci. Hodnoceno bylo období 2000 – 2003.

Metody k analýze bilance živin

Princip podnikových látkových toků v modelu REPRO je vymezen tzv. „Hoftorbilanz“ (bilance na úrovni podniku jako hospodářské jednotky). Přitom je uplatňován princip „black box“ (černá skříňka), kde jsou odvozovány volitelné hranice, přičemž vždy platí vztah input a output, jako definované vstupy a výstupy.

Bilance N, P, K

Bilance dusíku popisuje ztrátový potenciál dusíku. Stanovení nabývá na významu v souvislosti s odhadem ztrát dusíku aplikovaného např. ve formě minerálních a organických hnojiv a ostatních členů bilance, jak poukazuje vzorec 1.1. Formy NO_3 , NH_4^+ , N_2O , NH_3 jsou spojeny do jednotné formy N. Program nabízí „Standardní“ modus výpočtu, kde v zjednodušené bilanci platí $\Delta N_t = 0$. Druhý modus, nazvaný „Očekávaný“, propojuje bilanci dusíku s bilancí humusu. Zde je zohledněna čistá mineralizace N z humusu. V této práci byl použit Očekávaný modus.

Bilance fosforu a draslíku byly stanoveny obdobně, přičemž na straně Input se počítá s přísunem živin v osivu, slámě, minerálních a organických hnojivech. Strana Output vyjadřuje odběr živin hlavním a vedlejším produktem.

$$S_N = N_I + N_{\text{SYM}} + N_{\text{SG}} + N_{\text{SD}} + N_{\text{OD}} + N_{\text{MD}} - \Delta N_t - N_E \quad (1.1)$$

$$S_P = P_{\text{SG}} + P_{\text{SD}} + P_{\text{OD}} + P_{\text{MD}} - P_E \quad (1.2)$$

$$S_K = K_{\text{SG}} + K_{\text{SD}} + K_{\text{OD}} + K_{\text{MD}} - K_E \quad (1.3)$$

Symbol	jednotka	Označení
$S_{N,P,K}$	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	N, P, K - saldo
N_I	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	N - imise
N_{SYM}	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	Symbiotická fixace
$N_{\text{SG}} (P_{\text{SG}}; K_{\text{SG}})$	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	N, P, K v osivu
$N_{\text{SD}} (P_{\text{SD}}; K_{\text{SD}})$	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	N, P, K ve slámě a zeleném hnojení
$N_{\text{OD}} (P_{\text{OD}}; K_{\text{OD}})$	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	N, P, K v organických hnojivech
$N_{\text{MD}} (P_{\text{MD}}; K_{\text{MD}})$	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	N, P, K v minerálních hnojivech
ΔN_t	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	Změna půdní zásoby (mineralizace)
N, P, K_E	$\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	Odběr N, P, K v hlavním a vedlejším produktu

Bilance humusu

Základem bilance humusu jsou tzv. humusové jednotky (LEITHOLD et al. 1997), přičemž jedna humusová jednotka je definována jako 1 t humusu s obsahem 50 kg N_t a 580 kg C_t . Každé z kulturních plodin je přiřazena humusová jednotka – koeficient, a to buď s

kladnou nebo zápornou hodnotou podle toho, jakých hodnot v dlouhodobých pokusech v Halle N_t a C_t dosahoval (HÜLSBERGEN, 2003). Humusové jednotky jsou také přiřazeny organickým hnojivům, zelenému hnojení a slámě. Při užití metody humusových jednotek nejde primárně o určení absolutního obsahu a kvality humusu v půdách, nýbrž o relativní (nepřímý) odhad stupně zásobení humusu (Humusversorgungsgrad). Optimální stupeň zásobení humusu byl stanoven na hodnotu 90 – 110 % (LEITHOLD et al. 1997).

Výpočet hrubé potřeby humusu

$$H_{BB} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{AF_{HZi} \cdot k_{HZi}}{AF} \right) \quad (1.4)$$

Výpočet produkce humusu humus zlepšujících plodin

$$H_{HM} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{AF_{HMi} \cdot k_{HMi}}{AF} \right) \quad (1.5)$$

Výpočet čisté potřeby humusu

$$H_{NB} = H_{BB} + H_{HM} \quad (1.6)$$

Výpočet produkce humusu zapravením slámy a zel. hnojení

$$H_{SD} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{AF_{SDi} \cdot SD_i \cdot k_{SDi}}{AF} \right) \quad (1.7)$$

Výpočet produkce humusu organickým hnojením

$$H_{OD} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{AF_{ODi} \cdot OD_i \cdot k_{ODi}}{AF} \right) \quad (1.8)$$

Výpočet salda bilance humusu

$$H_{BS} = H_{BB} + H_{HM} + H_{SD} + H_{OD} \quad (1.9)$$

Výpočet stupně zásobení humusem

$$H_{VG} = \frac{(H_{HM} + H_{SD} + H_{OD}) \cdot 100}{H_{BB}} \quad (1.10)$$

Symbol	Jednotka	Označení
H _{BB}	HE.ha ⁻¹ AF	Hrubá potřeba humusu
H _{HM}	HE.ha ⁻¹ AF	Produkce humusu humus zlepšujících plodin
H _{NB}	HE.ha ⁻¹ AF	Čistá potřeba humusu
H _{SD}	HE.ha ⁻¹ AF	Produkce humusu zapravením slámy a zeleného hnojení
H _{OD}	HE.ha ⁻¹ AF	Produkce humusu zapravením organických hnojiv
H _{BS}	HE.ha ⁻¹ AF	Saldo bilance humusu
H _{VG}	%	Stupeň zásobení humusu
AF _{HZ}	ha	Orná půda se zastoupením humus zhoršujících plodin
AF _{HM}	ha	Orná půda se zastoupením humus zlepšujících plodin
AF _{SD}	ha	Orná půda se slámou a zeleným hnojením
AF _{OD}	ha	Orná půda s organickými hnojivy
AF	ha	Orná půda – celkem
SD	q FM.ha ⁻¹	množství slámy a zeleného hnojení na jednotku plochy
OD	q FM.ha ⁻¹	množství org. hnojiv na jednotku plochy
k _{HZ}	HE.ha ⁻¹	bilanční koeficient pro humus zhoršující plodiny
k _{HM}	HE.ha ⁻¹	bilanční koeficient pro humus zlepšující plodiny
k _{SD}	HE.q ⁻¹ FM	bilanční koeficient pro slámu a zelené hnojení
k _{OD}	HE.q ⁻¹ FM	bilanční koeficient pro organická hnojiva
HE	humusová jednotka	FM čerstvá hmota (Frischmasse)
AF	orná půda (Ackerfläche)	

Bilance energie

K analýze a hodnocení energetické efektivity v rostlinné produkci je bilancována spotřeba fosilní energie (HÜLSBERGEN et al., 2001) na základě produkčních procesů na úrovni pozemků. Energetická spotřeba při sušení, skladování a dalším transportu není do bilance zahrnuta.

Vypočteny byly následující energetické ukazatele:

- Energieinput – vyjadřuje přímou a nepřímou spotřebu fosilní energie. U osiva se zohledňuje nutná fosilní energie pro ošetření, skladování a transport osiva.
- Energieoutput – odpovídá fyzikální hodnotě spalného tepla sklizené biomasy a je odvozen z výnosu sušiny a obsahu látek.
- Veličiny Netto-energieoutput (zisk energie), intenzita energie a output/input poměr jsou odvozeny z energieinputu, výnosu a energieoutputu.

$$E_i = E_S + E_{MD} + E_{OD} + E_{PSM} + E_M \quad (1.11)$$

$$E = E_d + E_i \quad (1.12)$$

$$E_O = E_B + E_{BS} \quad (1.13)$$

$$E_{On} = E_O - E \quad (1.14)$$

$$E_I = E / GE \quad (1.15)$$

$$O_I = E_O / E \quad (1.16)$$

Symbol	jednotka	označení
E	GJ ha ⁻¹	Energieinput
E _d	GJ ha ⁻¹	přímá spotřeba energie
E _i	GJ ha ⁻¹	nepřímá spotřeba energie
E _s	GJ ha ⁻¹	spotřeba energie pro produkci osiva
E _{MD}	GJ ha ⁻¹	spotřeba energie pro produkci minerálních hnojiv
E _{OD}	GJ ha ⁻¹	spotřeba energie organických hnojiv, substituční hodnota
E _{PSM}	GJ ha ⁻¹	spotřeba energie pro produkci pesticidů
E _M	GJ ha ⁻¹	spotřeba energie pro produkci strojů
E _O	GJ ha ⁻¹	Energieoutput
E _B	GJ ha ⁻¹	Bruttoenergie, fyzikální hodnota spalného tepla sklizené biomasy
E _{BS}	GJ ha ⁻¹	Bruttoenergie vysetého osiva
E _{On}	GJ ha ⁻¹	Netto-energieoutput
E _I	MJ OJ ⁻¹	Intenzita energie
GE	OJ ha ⁻¹	výnos v obilních jednotkách
OI		Output / Input - poměr

VÝSLEDKY A DISKUSE

Pěstební struktura

Struktura rostlinné produkce je ovlivněná situací na trhu, přičemž nejvýznamnější podíl tvoří obilniny. Ozimá pšenice, pěstovaná převážně pro potravinářské účely a jarní ječmen sladovnický představují téměř dvě třetiny výměry orné půdy všech hodnocených podniků. Z olejnin je významně zastoupen mák a řepka ozimá, z okopanin cukrovka a silážní kukuřice. Zatížení dobytčími jednotkami se v podniku B pohybuje na úrovni 0,53 DJ ha⁻¹. V podniku C lze konstatovat stoupající trend 0,55 DJ ha⁻¹ v roce 2001, 0,65 DJ ha⁻¹ v roce 2002 a 0,72 DJ ha⁻¹ v roce 2003.

Tab. 1: Struktura rostlinné produkce hodnocených podniků (% OP)

Podnik Rok	A 1994-2000	B 2001-2003	C 2000-2003
Orná půda	273,9	1515,5	1406,0
Diverzita plodin	1,72	2,08	1,96
Obilniny	62,1	61,2	70,1
Pšenice oz.	27,1	23,2	45,2
Pšenice jarní	-	-	4,4
Ječmen ozimý	-	-	4,7
Ječmen jar.	26,2	23,5	5,6
Proso	7,7	-	-
Oves	-	2,2	0,5
Kukuřice na zrno	10,7	3,6	7,8
Olejnin	17,5	22,9	16,3
Mák	17,5	3,8	6,1
Řepka ozimá	-	11,1	10,3

Řepka jarní	-	3,3	-
Okopaniny	18,6	9,6	6,3
Cukrovka	17,3	9,6	5,5
Krmná řepa	1,7	-	-
Brambory	1,5	-	0,9
Silážní kukuřice	7,7	-	10,6
LKS-Kukuřice	-	-	2,9
Luskoviny - hrách	9,1	5,9	-
Pícniny - víceleté	3,7	-	5,9
Vojtěška	3,7	-	5,5
Jetel	-	-	2,4
Ostatní	3,7	1,9	1,4
TTP [ha]	-	22,3	76,0
Meziplodiny - hořčice	-	1,5	-
Zemědělská půda [ha]	273,9	1536,2	1482,0

^a OP –orná půda

Tab. 2: Stav živočišné výroby podniku B

Stavy zvířat	jednotka		k 30. 9. 2003	
skot – celkem	ks	DJ*	600	600
z toho krávy	ks	DJ	370	370
prasata – celkem	ks	DJ	1850	193
Σ	-	DJ	-	793
Zatížení DJ	DJ ha ⁻¹		0,53	

pozn.: * - dobytčí jednotka

Tab. 3: Stav živočišné výroby podniku C

Stavy zvířat	jednotka		k 30. 9. 2001		k 30. 9. 2002		k 30. 9. 2003	
skot – celkem	ks	DJ	558	230	629	214	750	223
z toho krávy	ks	DJ	229	229	323	323	431	431
prasata – celkem	ks	DJ	2641	292	3186	357	3078	343
Σ	-	DJ	-	813	-	959	-	1064
Zatížení DJ*	DJ ha ⁻¹		0,55		0,65		0,72	

pozn.: * - dobytčí jednotka

Výnosy

Přehled o dosahovaných průměrných výnosech jednotlivých podniků za sledované období uvádí Tab. 4.

Tab. 4: Výnosy kulturních plodin (t.ha⁻¹)

Podnik	A	B	C
Plodina	1993-2000	2001-2003	2000-2003
Pšenice oz.	6,4	5,3	5,4
Ječmen jar.	5,1	4,8	4,8
Ječmen oz.	-	-	5,0
Žito oz.	-	-	-
Triticale	-	-	-
Proso	4,0	-	-
Kukuřice na zrno	9,6	8,9	9,5
Kukuřice na siláž	-	61,4	35,7
Cukrovka	47,0	44,3	50,0
Brambory	27,3	-	24,3
Hrách	3,7	2,9	-
Mák	0,7	0,7	0,5
Řepka oz.	-	2,6	2,9
Vojtěška	-	35,0	25,5
Jetel	-	-	20,7

Výši výnosů ovlivňuje zejména intenzita hospodaření, protože podniky se nacházejí v přibližně podobných půdně-klimatických podmínkách.

Bilance dusíku, fosforu a draslíku

Úroveň farmy

Ze sledovaných živin byla největší pozornost věnovaná dusíku, jednotlivé úrovně sald N, P a K jsou patrné z Tab. 5. Výsledky bilancí fosforu a draslíku byly doplněny o výsledky AZP (Agrochemické zkoušení půd).

Tab. 5: Bilance živin

Podnik		A	B	C
Ukazatel	jednotka	1993-2000	2001-2003	2000-2003
N-Odběr celkový	kg N ha ⁻¹	124,7	137,5	120,0
Hlavní produkt	kg N ha ⁻¹	83,9	101,9	94,7
Vedlejší produkt	kg N ha ⁻¹	40,8	35,6	25,3
N-Přísun celkový	kg N ha ⁻¹	145,2	182,0	177,3
Imise	kg N ha ⁻¹	21	17,0	19,0
Osivo	kg N ha ⁻¹	2,7	1,8	2,5
Symbiot. N-fixace	kg N ha ⁻¹	6,1	10,2	12,0
Minerální hnojiva	kg N ha ⁻¹	60,5	83,6	81,5

Organická hnojiva	kg N ha ⁻¹	40,8	69,4	63,6
Hnojení slámou	kg N ha ⁻¹	19,2	16,8	12,8
Zelené hnojení ^a	kg N ha ⁻¹	22,0	11,3	7,1
Chlévský hnůj	kg N ha ⁻¹	-	25,6	37,2
Kejda	kg N ha ⁻¹	-	9,8	-
Močůvka	kg N ha ⁻¹	-	6,0	6,1
N-Saldo	kg N ha ⁻¹	20,4	44,5	59,2
Δ půdní zásoby N ^b	kg N ha ⁻¹	-13,2	-3,3	9,2
N-Saldo^c	kg N ha⁻¹	33,6	47,8	50,0
P-Saldo	kg P ha⁻¹	-15,0	-3,1	-1,9
AZP – P	mg P kg ⁻¹	109,0 (1997)	117 (2002)	107,5 (2000); 78,5 (2003)
K-Saldo	kg K ha⁻¹	-33,5	-17,3	-3,2
AZP - K	mg K kg ⁻¹	166,0 (1997)	240 (2002)	242,1 (2000); 174,7 (2003)

^a zelené hnojení zahrnuje i řepný chrást a bramborovou nať

^b metodická návaznost na bilanci humusu v programu REPRO

^c N-Saldo navýšené o hodnotu Δ půdní zásoby N

Úroveň plodin

Bilance živin na úrovni plodin zastoupených ozimou pšenicí znázorňuje Tab. 6. Z uvedeného je patrný odběr hlavním a vedlejším produktem, resp. celkový přísun N, P a K. Výsledné saldo pak vypovídá o zbytkovém dusíku po sklizni ozimé pšenice. Oproti běžným hnojařským metodikám představuje hodnota *Organická hnojiva-sláma* obsah živin ve slámě, která byla na pozemku po sklizni zaorána. Nejedná se tedy o živiny, přístupné pro odběr během vegetace, ale o ztrátový potenciál dusíku po sklizni plodiny.

Tab. 6: Bilance živin – ozimá pšenice

Podnik		A	B	C
Ukazatel	jednotka	1993-2000	2001-2003	2000-2003
N-Odběr celkový	kg N ha ⁻¹	147,1	124,4	123,9
Hlavní produkt	kg N ha ⁻¹	121,4	102,5	102,2
Vedlejší produkt	kg N ha ⁻¹	25,7	21,9	21,7
N-Přísun celkový	kg N ha ⁻¹	172,7	169,0	130,0
Imise	kg N ha ⁻¹	21,0	17,0	20,0
Osivo	kg N ha ⁻¹	3,9	3,9	4,5
Minerální hnojiva	kg N ha ⁻¹	108,7	148,0	95,2
Organická hnojiva	kg N ha ⁻¹	25,7	-	10,7
Hnojení slámou	kg N ha ⁻¹	25,7	-	10,7
N-Saldo	kg N ha ⁻¹	25,7	44,5	6,1
Δ půdní zásoby N _{org.} ^a	kg N ha ⁻¹	9,7	-25,0	-18,5
N-Saldo^b	kg N ha⁻¹	16,0	69,5	24,6
P-Saldo	kg P ha⁻¹	-21,4	-10,7	-20,7
K-Saldo	kg K ha⁻¹	-30,6	-50,0	-51,0

^a metodická návaznost na bilanci humusu v programu REPRO

^b N-Saldo navýšené o hodnotu Δ půdní zásoby N

Úroveň pozemku

V reálné hospodářské situaci, kdy zemědělské podniky v praxi převážně nedodržují osevní postupy, nabízí program REPRO možnost sledovat zvolené parametry na úrovni jednotlivých pozemků, tedy na nejnižší úrovni v programu REPRO.

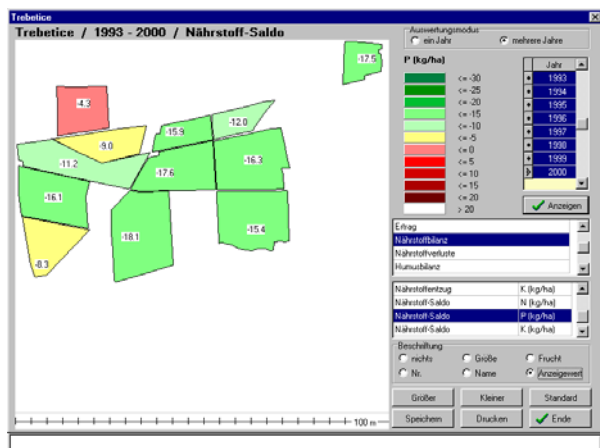
Tab. 7: Bilance živin na úrovni vybraného pozemku Vystrčilovo (podnik A)

Ukazatel	jednotka	Rok								průměr
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
Plodina		hrách	oz.pš.	cukr.	jar. ječ.	mák	oz. pš.	cukr.	jar. ječ.	-
Výměra	ha	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
N-Odběr (celkový)	kg N ha ⁻¹	160,8	138,0	263,2	113,4	56,9	128,7	279,8	71,5	151,6
Hlavní produkt	kg N ha ⁻¹	112,6	113,9	100,6	96,4	34,6	106,1	148,3	60,8	96,7
Vedlejší produkt	kg N ha ⁻¹	48,2	24,1	162,6	17,1	22,3	22,6	131,5	10,6	54,9
N-přísun	kg N ha ⁻¹	238,8	177,6	397,2	85,4	131,0	140,3	265,0	34,3	183,7
Imise	kg N ha ⁻¹	50,0	56,0	59,0	63,0	16,0	15,0	13,0	21,0	21,0
Osivo	kg N ha ⁻¹	10,1	3,5	0,1	2,6	0,1	3,8	0,9	2,7	3,0
Symbiot. N-fixace	kg N ha ⁻¹	103,1	-	-	-	-	-	-	-	12,9
Minerální hnojiva	kg N ha ⁻¹	27,5	94,0	175,5	2,7	92,6	99,0	60,0	-	68,9
Org. hnojiva – sláma	kg N ha ⁻¹	48,2	24,1	162,6	17,1	22,4	22,6	191,2	10,6	62,3
Změna půdní zásoby	kg N ha ⁻¹	26,4	17,7	-67,9	-11,4	-1,0	9,3	-87,0	-20,2	-16,8
N-Saldo	kg N ha ⁻¹	51,6	21,9	201,9	-16,7	75,1	2,4	72,2	-17,0	48,9
P-Saldo	kg P ha ⁻¹	-15,2	-20,9	-21,9	-24,0	9,2	-18,9	-20,6	-14,9	-15,9
AZP – přístupný P	mg kg ⁻¹	-	-	-	-	66	-	-	51*	-
K-Saldo	kg K ha ⁻¹	-36,6	-29,5	-17,8	-34,0	-7,7	-26,8	-110,6	-21,1	-35,5
AZP – přístupný K	mg kg ⁻¹	-	-	-	-	188	-	-	166*	-

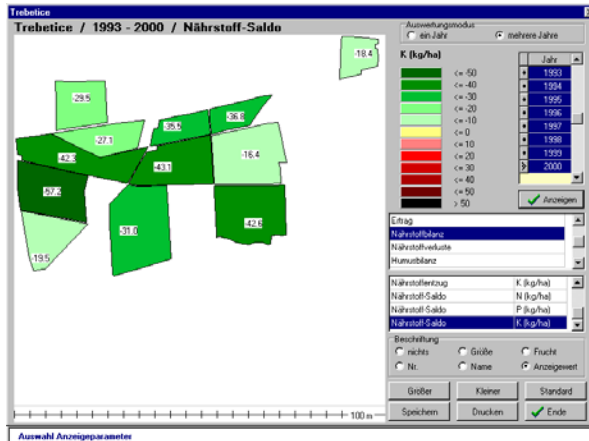
V Tab. 7 je uveden názorný příklad vybraného pozemku Vystrčilovo z podniku A. Přehled výsledků ostatních pozemků podniku A v kombinaci s výsledky AZP (obsah přístupného fosforu a draslíku) je uveden v příloze.

Obr. 1 až Obr. 4 znázorňují graficky saldo fosforu a draslíku na pozemcích za uvedená období.

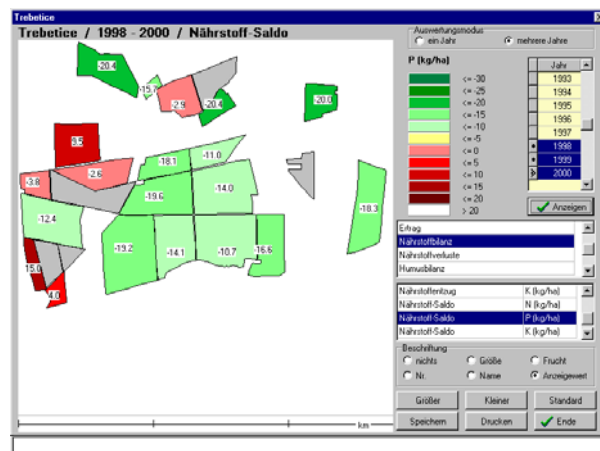
Obr. 1: Balance fosforu podniku A 1993 – 2000



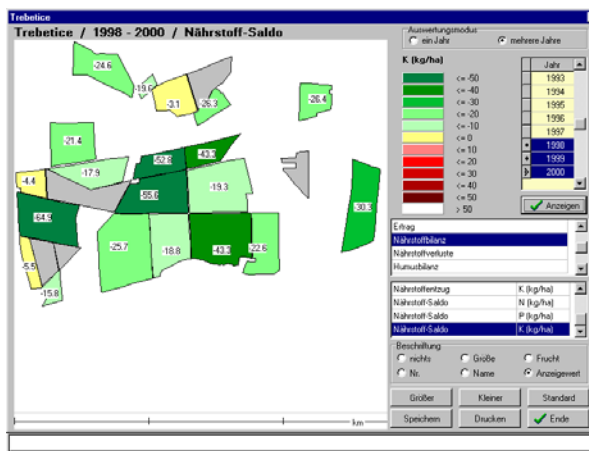
Obr. 2: Balance draslíku podniku A 1993 - 2000



Obr. 3: Balance fosforu podniku A 1998-2000



Obr. 4: Balance draslíku podniku A 1998-2000



Členění grafického znázornění bilancí fosforu a draslíku na tři části bylo zvoleno z důvodu rozšiřování výměry orné půdy v jednotlivých časových horizontech.

Bilance humusu

Pro udržení úrodnosti zemědělsky využívaných půd je vyrovnaná bilance humusu nezbytným předpokladem. Bilance humusu dle LEITHOLDA et al. (1997) poukazuje na ztráty půdních organických látek pěstováním humus zhoršujících plodin (okopaniny, olejniny, obilniny,...) a jejich náhradu ve formě organických hnojiv, vedlejších produktů rostlinné

produkce a humus zlepšujících plodin (leguminózy, TTP, zelené hnojení..). Výsledky bilance humusu v jednotlivých podnicích jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8: Bilance humusu

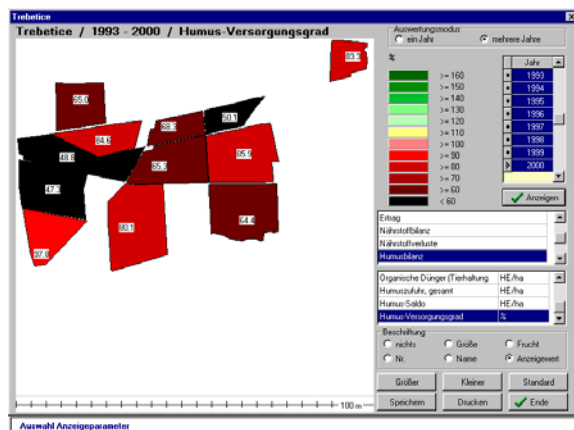
Podnik		A	B	C
Ukazatel	Jednotka	1993-2000	2001-2003	2000-2003
Potřeba humusu	HE ha ⁻¹	-0,76	-0,75	-0,68
Produkce humusu	HE ha ⁻¹	0,55	0,69	0,77
Org. hnojiva	HE ha ⁻¹	0,45	0,65	0,42
Sláma	HE ha ⁻¹	0,43	0,27	0,26
Zelené hnojení*	HE ha ⁻¹	0,01	0,04	0,02
Chlévský hnůj	HE ha ⁻¹	-	0,34	0,42
Kejda	HE ha ⁻¹	-	-	-
Ostatní org. hnojiva	HE ha ⁻¹	0,01	-	-
Humus zlepšující plodiny	HE ha ⁻¹	0,10	0,04	0,07
Saldo	HE ha ⁻¹	-0,21	-0,06	0,09
Stupeň zásobení humusu**	%	72,3	92,0	113,2

* - zahrnuje i řepný chrást a bramborovou nat'

** - optimum 90–110 % (LEITHOLD et. al., 1997)

Program REPRO umožňuje grafické znázornění dosažených výsledků v kombinaci s GIS. Na Obr. 7 je barevně znázorněna průměrná hodnota bilance humusu podniku A za období 1993 – 2000, přičemž pozemky znázorněné černou barvou jsou z hlediska bilance humusu dlouhodobě ohroženy.

Obr. 7: Stupeň zásobení humusu podniku A



Na ohrožených pozemcích byly pěstovány zejména plodiny humus zhoršující, jako cukrovka a brambory.

Bilance energie

Na základě kompletní dokumentace pěstebních technologií umožňuje program REPRO propočet bilance energie na různých úrovních. Principem výpočtu je srovnání energie poutané ve výnosu a spotřeby fosilní energie během produkčního procesu. Přitom z hlediska bilance zůstává hlavní dodavatel energie do systému slunce a lidská práce nepostihnuta. Výsledky bilance energie jednotlivých podniků udává Tab. 9.

Tab. 9: Bilance energie na úrovni podniku

Ukazatel	jednotka	Podnik		
		A (1993–2000)	B (2001–2003)	C (2000–2003)
Vazba energie HP + VP	GJ.ha ⁻¹	92,0	129,74	112,57
Výnos HP + VP	GE.ha ⁻¹	61,5	63,3	56,8
Org. hnojiva	GJ.ha ⁻¹	0,02	1,20	1,08
Minerál. hnojiva	GJ.ha ⁻¹	2,27	3,58	3,27
- Minerál. hnojiva–N	GJ.ha ⁻¹	2,16	2,95	2,87
- Minerál. hnojiva–P	GJ.ha ⁻¹	0,07	0,41	0,33
- Minerál. hnojiva–K	GJ.ha ⁻¹	0,04	0,21	0,07
Osivo	GJ.ha ⁻¹	2,90	2,27	2,96
Pesticidy	GJ.ha ⁻¹	0,98	0,97	0,88
Nafta	GJ.ha ⁻¹	2,98	2,90	3,60
Stroje a zařízení	GJ.ha ⁻¹	1,29	1,68	1,69
Spotřeba fosilní energie	GJ.ha ⁻¹	8,39	10,98	11,34
Energie-Output	GJ.ha ⁻¹	89,94	128,13	110,43
Zisk energie	GJ.ha ⁻¹	81,55	117,15	99,10
Intenzita energie	MJ.OJ ⁻¹	139,6	176,41	204,92
Output/Input–poměr	-	10,72	11,67	9,74

Dosažené výsledky poukazují na úroveň energetických vstupů ve sledovaných podnicích, které představují reprezentativní vzorek z hlediska způsobu hospodaření. Dosažená úroveň spotřeby fosilní energie poukazuje na nižší úroveň vstupů v českých podnicích ve srovnání s hodnotami dosahovanými programem REPRO např. v Německu, kde KÜSTERMANN (2004) uvádí rozmezí od 12,2 GJ.ha⁻¹ do 13,2 GJ.ha⁻¹ u podniků s rostlinnou produkcí a od 18,6 GJ.ha⁻¹ do 15,7 GJ.ha⁻¹ u podniků s živočišnou produkcí.

Energetický zisk byl dosahován vyšší u německých podniků, přičemž u podniků s rostlinnou produkcí uvádí autor 115 GJ.ha⁻¹ a 105 GJ.ha⁻¹, u podniků s rostlinnou a živočišnou produkcí 180 GJ.ha⁻¹ a 177 GJ.ha⁻¹.

ZÁVĚR

Na třech zemědělských podnicích A, B a C hospodařících v podmínkách řepařské výrobní oblasti v České republice na Kroměřížsku, Mohelnicku a Opavsku bylo provedeno hodnocení ekologických aspektů trvalé udržitelnosti hospodaření vybranými parametry pomocí modelu REPRO. Předmětem zájmu se staly bilance dusíku, fosforu a draslíku; bilance humusu a bilance energie.

- 1) Saldo dusíku vykázalo na podnikové úrovni hodnoty u podniku A (rostlinná produkce) $33,6 \text{ kg N.ha}^{-1}$, u podniku B (rostlinná i živočišná produkce) $47,8 \text{ N.ha}^{-1}$, u podniku C (rostlinná i živočišná produkce) $50,0 \text{ N.ha}^{-1}$. Hranice trvalé udržitelnosti pro region Sachsen–Anhalt je $50,0 \text{ N.ha}^{-1}$.
- 2) Saldo fosforu a draslíku vykázalo ve všech případech záporné hodnoty. Zásobenost fosforem a draslíkem se v podnicích pohybuje v relaci vyhovující až vysoký, dle jednotlivých pozemků. U podniků A, B a C byl prokázán celkový pokles obsahu přístupného fosforu a draslíku na základě AZP. Rozhodující je ovšem situace na jednotlivých pozemcích (viz zprávy AZP). Program REPRO umožňuje výpočet bilancí fosforu a draslíku na úrovni jednotlivých pozemků, resp. grafické znázornění situace v případě použití GIS.
- 3) Bilance živin na úrovni plodin v programu REPRO je vhodným nástrojem pro optimalizaci managementu hnojení kulturních plodin v zemědělském podniku bilanční metodou
- 4) Výsledky bilance humusu poukázaly parametrem „stupeň zásobení humusu“ na nebezpečí odbourání organické hmoty v půdě. Podnik A (rostlinná produkce) vykázal úroveň 72,6 %, podnik B (rostlinná i živočišná produkce) 92,0 %, podnik C (rostlinná i živočišná produkce) 113,2 %. Jako vhodné rozpětí se uvádí 90 – 110 % (LEITHOLD et al., 1997).
- 5) Spotřeba fosilní energie vykazovala u českých zemědělských podniků hodnoty od $8,4$ – $11,3 \text{ GJ.ha}^{-1}$. U podniku A $8,4 \text{ GJ.ha}^{-1}$, u podniku B $11,0 \text{ GJ.ha}^{-1}$, u podniku C $11,3 \text{ GJ.ha}^{-1}$. V obdobném hodnocení v Německu v regionu Sachsen–Anhalt byly zjištěny průměrné hodnoty od $12,2 \text{ GJ.ha}^{-1}$ do $13,2 \text{ GJ.ha}^{-1}$ u podniků s rostlinnou produkcí a od $15,7 \text{ GJ.ha}^{-1}$ do $18,6 \text{ GJ.ha}^{-1}$ u podniků s živočišnou produkcí.
- 6) Energetický zisk zkoumaných českých zemědělských podniků se pohyboval v relaci $81,6$ – $117,2 \text{ GJ.ha}^{-1}$. U podniku A $81,6 \text{ GJ.ha}^{-1}$, u podniku B $117,2 \text{ GJ.ha}^{-1}$, u podniku C $99,1 \text{ GJ.ha}^{-1}$. V německých podmínkách bylo dosaženo u podniků s rostlinnou produkcí 115 GJ.ha^{-1} a 105 GJ.ha^{-1} , u podniků s rostlinnou a živočišnou produkcí 180 GJ.ha^{-1} a 177 GJ.ha^{-1} .

- 7) Všechny sledované podniky hospodaří v režimu integrované rostlinné produkce. Intenzita energie se v průměru pohybovala v rozmezí 139,6 – 204,9 MJ.OJ⁻¹. V podniku A 139,6 MJ.OJ⁻¹, v podniku B 176,4 MJ.OJ⁻¹, v podniku C 204,9 MJ.OJ⁻¹.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

LEITHOLD et. al. (1997): Humusbilanzierung- Methoden und Anwendug als Agrar-Umweltindikator. In: HÜLSBERGEN, K.-J. Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme, Shaker Verlag, Aachen, 76 - 90

CHRISTEN, O., (1996): Nachhaltige Landwirtschaft („Sustainable agriculture“) – Ideengeschichte, Inhalte und Konsequenzen für Forschung, Lehre und Beratung. Berichte über Landwirtschaft, 74, 66-86.

CHRISTEN, O. (1999): Nachhaltige landwirtschaft, Von der Ideengeschichte zur praktischen Umsetzung. Institut für Landwirtschaft und Umwelt, Bonn, 1: 7-66.

CHRISTEN, O., (1998): No more definition please! Some reflections about the ideas and principles of sustainable agriculture. In: EL BASSAM, N., BEHL, R. K., PROCHNOW, B., (1998): Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry, James & James, London, 48-52.

LOWRANCE, R., HENDRIX, P.F., ODUM, E.P., (1986): A hierarchical approach to sustainable agriculture. American Journal of Alternative Agriculture, 1, 169-173.

HÜLSBERGEN, K.J., DIEPENBROCK, W., (1997): Das Model REPRO zur Analyse und Bewertung von Stoff- und Energieflüssen in Landwirtschaftsbetrieben. In: DIEPENBROCK, W. (1997). Umweltverträgliche Pflanzenproduktion: Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Initiativen zum Umweltschutz, Bd. 5, Zeller Verlag Osnabrück, 159-183.

HÜLSBERGEN, K. J., (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Berichte aus der Agrarwissenschaft. Aachen: Shaker Verlag, 292 s. ISBN 3-8322-1464-X.

HÜLSBERGEN, K.-J., A KALK, W.-D., (2001): Energy balances in different agricultural systems – can they be improved. 2001 Dahlia Greidinger Symposium. In: CHRISTEN, O., O'HALLORAN-WIETHOLZ, Z., (2002): Indikatoren für eine nachhaltige Entwicklung der Landwirtschaft, Institut für Landwirtschaft und Umwelt, Bonn, s.54

KÜSTERMANN, B.: (2004): Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit eines landwirtschaftlichen Betriebssystems am Beispiel eines Marktfruchtbetriebes der Magdeburger Börde. Diplomarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 117, 95.

Sledování bylo součástí řešení projektu národní agentury ČR č. QD 1143 a Výzkumného záměru AF MZLU v Brně MSM 432100001.