

Energetická bilance pěstování cukrové řepy

ENERGY BALANCE OF SUGAR BEET GROWING

František Hnilička, Jaroslav Urban, Josef Pulkrábek, Helena Hniličková – Česká zemědělská univerzita v Praze

Energetické bilance jsou jednou z metod hodnocení výrobních procesů nejenom zemědělské prvovýroby. Metoda energetické bilance je založena na srovnávání vstupů energií do výroby s energetickými výstupy. Energetické vstupy jsou představovány souborem všech energií využívaných a spotřebovaných ve výrobním procesu (1).

Podle PREININGERA (2, 3) lze energii vkládanou do zemědělské výroby rozdělit do dvou částí, kdy první část je představována *energií přímou*, tj. bezprostředně spotřebovanou při výrobě. Jedná se o energii motorových paliv, paliv k ohřevům, energii tepelnou z centrálních zdrojů, energii elektrickou a živou lidskou práci. Druhou částí je *energie nepřímá* (dodatková), která je představována energií vloženou do výrobních prostředků a materiálů mimo vlastní zemědělský výrobní proces (zpravidla

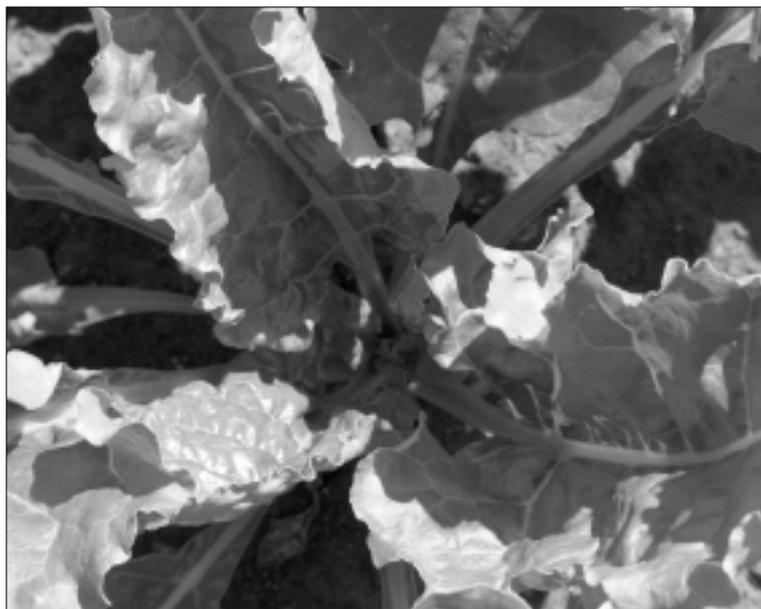
před jeho zahájením), tedy energie obsažená ve zhmotnělé práci. Jedná se o energii na výrobu zemědělské techniky, chemických prostředků a osiv, na realizaci zúrodnovacích opatření (závlahy, meliorace) a na zemědělskou výrobu. Dále sem mohou být zahrnuty režijní energetické spotřeby (nesouvisející bezprostředně s výrobním procesem).

Jednu z možných dalších charakteristik energií uvádějí BOHATERET A CRACALEANU (4), kteří konstatovali, že energetická rovnováha se skládá z přímo aktivní energie (energie lidské, zvířecí, elektrotechniky, teploty, slunečního záření), dále z energie nepřímo aktivní (energie semen, pesticidů, umělých hnojiv) a pasivní energie (energie získané z vylepšených strojů).

Tato práce se zaměřila na stanovení dílčích a celkových energetických vstupů a na hodnocení energetické bilance pěstování cukrové řepy ve dvou rozdílných technologiích pěstování – standardní a intenzivní. Stanovení energetické bilance pěstování polních plodin je vhodné i pro jejich nepotravinářské využití, např. na bioetanol nebo bionaftu (5, 6, 7, 8).

Tab. 1. Varianty pokusu

Varianta	Odrůda	Technologie	Insekticidní moření osiva	Listová hnojiva	Regulátory růstu	Fungicid
Varianta I.	Takt	intenzivní	Gaucho	2×	2×	1×
Varianta II.	Takt	standardní	Furadan	–	–	–
Varianta I.	Compass	intenzivní	Gaucho	2×	2×	1×
Varianta II.	Compass	standardní	Furadan	–	–	–



Materiál a metoda

V letech 2002–2004 byly zakládány maloparcelkové pokusy na Výzkumné stanici FAPPZ ČZU Praha v Červeném Újezdě (okres Praha-západ). Tato lokalita spadá do oblasti mírně teplé, klimatického okrsku mírně suchého. Průměrná teplota za vegetační období je 13,9 °C, průměrný vegetační úhrn srážek činí 361 mm.

V pokusu byly použity dvě odrůdy; odrůda tolerantní k rizománii a středně odolná vůči napadení skvrnatičkou *Cercospora beticola* – Takt a odrůda bez tolerance k chorobám – Compass.

Každá odrůda byla pěstována standardní (insekticidní moření osiva Furadanem – účinná látka *carbofuran* – 30 g.VJ⁻¹) a intenzivní (insekticidní moření osiva přípravkem Gaucho – účinná látka *imidacloprid* – 90 g.VJ⁻¹; listové hnojivo 2×; regulátor růstu 2×; fungicid 1×) pěstitelskou technologií. Na pokusném stanovišti nebyl aplikován chlévský hnůj. Varianty pokusu znázorňuje tab. I. Každá varianta byla 4× opakována. Velikost jedné sklizňové parcelky byla 12 m².

Energetické vstupy byly propočteny z normativních spotřeb nafty, kWh apod. Hodnoty energetických vstupů a použité technologie pěstování odpovídají běžným normám doporučeným pro pěstování cukrové řepy.

Energetické hodnocení vychází z metodických pokynů PREININGERA (3). V uvedených hodnotách je zahrnuta jak přímá, tak nepřímá složka energetických vstupů. Energetické výstupy jsou uvažovány jako brutto energie hlavního a vedlejšího produktu. Energetické výstupy byly získány kalorimetrickým stanovením obsahu energie v sušině (9). K pokusům byl použit suchý, spalný adiabatický kalorimetr MS 10A, německé firmy Laget.

Ke statistickému zpracování výsledků byl použit statistický program Statistica, verze 6.1 Cz, statistická metoda ANOVA, na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Z vyhodnocení počasí v lokalitě Červeného Újezdu dle metodiky WMO vyplývá, že se pokusné ročníky teplotně a srážkově odchylovaly od normálu. Výjimkou byl rok 2004, který byl v rámci teplého půlroku hodnocen teplotně ($\Delta t +0,4$ °C) i srážkově (80 % normálu) jako normální. V roce 2002 bylo období od dubna do září (tj. teplý půlrok, který je ve vztahu k dosahovanému výnosu a kvalitě cukrovky rozhodující) teplotně ($\Delta t +1,1$ °C) i srážkově (133 % normálu) silně nadnormální. Naprosto odlišný byl pokusný rok 2003, který byl v rámci teplého půlroku hodnocen teplotně jako mimořádně nadnormální ($\Delta t +1,8$ °C), srážkově však podnormální (61 % normálu). Z pokusnického hlediska můžeme tedy konstatovat, že jsme ve sledovaných pokusných letech (2002–2004) měli zastoupen rok jak srážkově normální (2004), tak silně nadnormální (2002) i podnormální (2003).

Výsledky a diskuse

Energetické vstupy a výstupy při pěstování cukrové řepy

Energetické vstupy, které byly započteny při pěstování cukrové řepy, jsou uvedeny v tab. II., ve které jsou zahrnuty jak přímé, tak nepřímé energetické vstupy. Podle ERDAL ET AL. (10) činily celkové energetické vstupy na pěstování cukrové řepy v Turecku 39,69 GJ.ha⁻¹. Podle HACISEFEROGULLARIHO ET AL. (11) jsou celkové energetické vstupy na pěstování cukrové řepy 19,76 GJ.ha⁻¹ a podle TZILIVAKISE ET AL. (12) jsou ve Velké Británii celkové energetické vstupy ve výši 21,40 GJ.ha⁻¹. Celkové energetické vstupy uvedené výše zmíněnými autory byly nižší, než námi zjištěné hodnoty.

Uvedené rozdíly jsou patrně dány rozdílnou pěstitelskou technologií. KOGA (13) ve své práci uvádí, že při intenzivní technologii pěstování cukrovky v Japonsku je energetický vklad chemických látek a strojů 24,38 ± 0,35 GJ.ha⁻¹ a PHM, strojů a pracovních operací 32,97 ± 0,35 GJ.ha⁻¹. Z tab. II. je patrné, že energetický vklad chemických látek a strojů je nižší, neboť námi stanovená hodnota byla 20,54 GJ.ha⁻¹. Rovněž v případě součtu energetického vkladu PHM, strojů a pracovních operací byly zjištěny hodnoty nižší (24,92 GJ.ha⁻¹), než ve své práci uvádí KOGA (13).

Tab. II. Přímé a nepřímé energetické vstupy při pěstování řepy cukrové (GJ.ha⁻¹)

Technologie	Energetické vstupy do výroby (GJ.ha ⁻¹)							celkové
	přímé		nepřímé					
	PHM	lidská práce	energie strojů	energie chem. látek	osivo	org. hnojiva	prac. operace	
Intenzivní	9,98	12,94	10,45	10,09	2,16	0	4,49	50,11
Standardní	9,98	11,45	10,45	8,41	2,16	0	4,25	46,70
Intenzivní (% tech. standard.)	100	113,01	100	119,97	100	0	105,64	107,30

Tab. III. Podíl přímých a nepřímých energetických vstupů při pěstování řepy cukrové

Technologie	Energetické vstupy do výroby (%)							celkové
	přímé		nepřímé					
	PHM	lidská práce	energie strojů	energie chem. látek	osivo	org. hnojiva	prac. operace	
Intenzivní	19,92	25,82	20,85	20,14	4,31	0	8,96	100
Standardní	21,37	24,52	22,38	18,01	4,62	0	9,10	100

Z tab. III. vyplývá, že nejvyšší podíl na celkových energetických vstupech má z přímých vstupů lidská práce. Podíl lidské práce na celkových energetických vstupech standardní technologie byl 24,52 % a u intenzivní technologie pěstování 25,82 %. Z nepřímých energetických vstupů má na celkových vstupech nejvyšší podíl energie strojů a energie chemických látek. Podíl strojů na celkových energetických vstupech byl 22,38 % (standardní technologie) a 20,85 % (intenzivní technologie). V případě energie dodaných chemických látek činilo jejich zastoupení 18,01 % pro standardní technologii a 20,14 % pro intenzivní technologii.

ERDAL ET AL. (10) dále uvádějí, že z celkových energetických nákladů mají nejvyšší podíl umělá hnojiva – 49,33 % a energie pohonných hmot – 24,16 %. Z výsledků uvedených v tab. III. vyplývá, že podíl pohonných hmot a maziv na celkových nákladech u standardní technologie byl 21,37 % a u chemických látek činil 18,01 %. V případě intenzivního pěstování cukrové řepy byl podíl PHM 19,92 % a chemických látek 20,14 %. Ze získaných výsledků je patrné, že v podmínkách Turecka je vyšší spotřeba PHM a agrochemikálií v porovnání s Českou republikou. Podle výsledků FECENKA, ŠOLTYSOVÉ (14) činí podíl fosilních paliv na celkové energii 22,27 až 24,20 %. To je více, než hodnoty, které byly stanoveny v tureckých pokusech. Uvedené rozdíly jsou patrně dány rozdílnou technologií a úrovní pěstování. Podle KOGA (13) činí při intenzivní technologii pěstování cukrové řepy v Japonsku podíl agrochemikálií 25 až 43 %, kdežto v případě našich výsledků byl podíl pouze 20,14 %.

Získané výsledky součtu celkových přímých energetických vstupů do výroby (lidská práce a PHM) – 45,74 % (intenzivní technologie) a 45,89 % (standardní technologie) odpovídají závěrům STRAŠILA A ŠIMONA (15). Tito autoři uvádí přímé energetické vstupy jako 48 % z celkových energetických vstupů.

Z tab. II. je patrné, že celkové energetické vstupy jsou vyšší u varianty s intenzivní agrotechnikou. Uvedený rozdíl představuje 3,41 GJ.ha⁻¹ (tj. 7,3 %) ve srovnání se standardními agro-

Tab. IV. Energetická produkce cukrové řepy

Odrůda	Technologie	Rok	Bulvy	Chrát	Celá rostlina
			Energetická produkce (GJ.ha ⁻¹)		
Takt	Intenzivní	2002	1 784,12	727,08	2 511,20
Takt	Intenzivní	2003	816,51	251,54	2 511,20
Takt	Intenzivní	2004	1 422,10	635,45	2 057,54
Průměr			1 340,91	538,023	2 359,98
Takt	Standardní	2002	1 598,12	711,93	2 310,04
Takt	Standardní	2003	781,45	232,41	1 013,85
Takt	Standardní	2004	916,09	486,04	1 402,13
Průměr			1 098,55	476,793	1 575,34
Compass	Intenzivní	2002	1 672,78	683,51	2 356,29
Compass	Intenzivní	2003	758,91	270,97	2 356,29
Compass	Intenzivní	2004	1 203,43	617,50	1 820,94
Průměr			1 211,71	523,993	2 177,84
Compass	Standardní	2002	1 548,21	629,72	2 177,93
Compass	Standardní	2003	788,53	311,44	1 099,97
Compass	Standardní	2004	915,71	497,39	1 413,10
Průměr			1 084,15	479,517	1 563,67
Průměr intenzivní technologie			1 276,31	531,01	2 268,91
Průměr standardní technologie			1 091,35	478,15	1 569,50
Celkový průměr			1 183,83	504,58	1 919,21

Tab. V. Vliv ročníku na energetickou produkci cukrové řepy

Rok	Bulvy	Chrát	Celá rostlina
	Energetická produkce (GJ.ha ⁻¹)		
2002	1 650,81	688,06	2 338,86
2003	786,35	266,59	1 745,33
2004	1 114,33	559,09	1 673,43

technickými zásahy. Toto zvýšení je dáno vyšším zastoupením lidské práce na jednotlivé pracovní operace a vyšším podílem dodaných chemických látek do výroby.

Získané hodnoty celkových energetických vstupů na pěstování cukrové řepy jsou srovnatelné s výsledky, které jsou v literárních pramenech uváděny ve výši 48,27 GJ.ha⁻¹. Oproti tomu HRUŠKA, JANÍČEK (16) a ČISLÁK, HEIDI (17) uvádí celkové energetické vstupy ve výši 37,75 GJ.ha⁻¹ a 45,65 GJ.ha⁻¹. Energetické vstupy jsou v Německu podle KUESTERSE, LAMELA (18) ve výši 7,5 GJ.ha⁻¹ (bez hnojení dusíkem) až 16 GJ.ha⁻¹ (dávka dusíku činila 230 kg). Námi získané hodnoty byly vyšší. Tento rozdíl je patrně způsobený změnami v pěstitelské technologii.

Energetické výstupy rostlinné produkce je možné stanovit různými metodami. Nejpoužívanější metodou stanovování energetického obsahu organické biomasy je metoda spalné kalorimetrie. Principem této metody je úplné spálení vzorku v kyslíkové atmosféře a výstupem je stanovení spalného tepla

(brutto energie či netto energie) v jednotce sušiny analyzovaného vzorku.

Při přepočtu akumulované energie v hlavním a vedlejším produktu cukrové řepy na jednotku plochy je možné konstatovat, že energetická produkce hlavního produktu (bulvy) se pohybovala v intervalu hodnot od 758,91 GJ.ha⁻¹ (Compass, intenzivní technologie, 2003) do 1 784,12 GJ.ha⁻¹ (Takt, intenzivní technologie, 2002), jak dokládá obr. 1. Uvedené hodnoty brutto energie hlavního produktu přepočtené na jednotku plochy byly vyšší než uvádí v netto energii HACISEFEROGULLARI ET AL. (11) a ve výnosu bulev BORECKÁ ET AL. (19). Tento rozdíl je dán jednak tím, že obsah energie v jednotce sušiny byl vyšší, než tito autoři uvádějí, a dále průměrný hektarový výnos bulev byl v našich pokusech 73,15 t, tedy výrazně vyšší. Podle těchto autorů byl průměrný hektarový výnos bulev cukrové řepy v pokusných letech 48,33 t. Množství vyprodukované energie vedlejšího produktu (chrát) bylo v rozpětí hodnot 232,41 GJ.ha⁻¹ (Takt, standardní technologie, 2003) až 727,08 GJ.ha⁻¹ (Takt, intenzivní technologie, 2002), viz. obr. 2.

Stanovené hodnoty energetické produkce hlavního a vedlejšího produktu se pohybují v intervalu hodnot, které např. pro porost bahijské trávy uvádějí HIRATA ET AL. (20). Energetická produkce hlavního produktu cukrové řepy je vyšší než u pšenice, ječmene ozimého a řepky (7) a rovněž vyšší než dvě až osm sečí kostřavy rákosovité (21).

Statisticky průkazné difference na hladině významnosti $\alpha=0,05$ vypočtené metodou Tukeyova HSD testu jsou uvedeny na obr. 3. Z něho je patrné, že energetická produkce hlavního produktu nebyla průkazně ovlivněna použitou odrůdou. U odrůdy Compass se energetická produkce hlavního produktu pohybovala v rozmezí hodnot 758,91 GJ.ha⁻¹ (intenzivní technologie, 2003) až 1 672,78 GJ.ha⁻¹ (intenzivní technologie, 2002). U odrůdy Takt byl interval hodnot energetické produkce bulev od 781,45 GJ.ha⁻¹ (intenzivní technologie, 2002) do 1 784,12 GJ.ha⁻¹ (standardní technologie, 2003). V případě hodnocení vlivu odrůdy na energetickou produkci vedlejšího produktu je možné také konstatovat neprůkazný vliv odrůdy na tuto charakteristiku, jak je doloženo na obr. 4., i přesto, že průměrná energetická produkce odrůdy Takt činila 507,41 GJ.ha⁻¹ a odrůdy Compass 501,76 GJ.ha⁻¹. K obdobným výsledkům dospěli při hodnocení obsahu energie v rostlinách cukrovky URBAN ET AL. (22). Energetická produkce byla vyšší než ve své práci uvádí KOGA (13). Tento autor uvádí, že energetická produkce cukrové řepy je 346,1 GJ.ha⁻¹. Tento rozdíl je patrně dán nejenom vyšší výnosu hlavního produktu, ale také obsahem energie na jednotku sušiny.

Technologie pěstování cukrové řepy významně ovlivnila vyšší brutto energie přepočtené na jednotku plochy za jednotku času u hlavního (bulvy) i vedlejšího (chrát) produktu. Z obr. 5. a obr. 6. je patrné, že vyšší hodnoty byly vždy dosaženy u intenzivního způsobu pěstování ve srovnání se standardní technologií. V případě hlavního produktu došlo k navýšení brutto energie v průměru o 16,95 %, tedy na průměrnou hodnotu 1 276,31 GJ.ha⁻¹ a u vedlejšího produktu o 11,05 % (tj. na průměrnou hodnotu 531,01 GJ.ha⁻¹).

Nejvýrazněji se na energetickou produkci hlavního a vedlejšího produktu cukrové řepy projevil vliv ročníku (obr. 1. a 2.), kdy průkazně nejnižší hodnoty byly získány v roce 2003 ve srovnání s dalšími pokusnými roky. V tomto roce činila průměrná energetická produkce bulev cukrovky 786,35 GJ.ha⁻¹ a chrátu 266,05 GJ.ha⁻¹, jak je doloženo v tab. V. Na straně

druhé nejvyšší hodnoty energetické produkce bulev a chrástu byly získány v roce 2002, kdy průměrná hodnota brutto energie bulev byla 1 650,81 GJ.ha⁻¹ a chrástu 688,06 GJ.ha⁻¹. Průkazné diference je možné nalézt také při srovnání roku 2004 s předcházejícími pokusnými roky. V posledním sledovaném roce (2004) byla průměrná hodnota brutto energie bulev 1 114,33 GJ.ha⁻¹ a chrástu 559,09 GJ.ha⁻¹.

Měrná spotřeba energie

Jedním z ukazatelů efektivity vstupů energie pro vytvoření konečné produkce je měrná spotřeba energie. Měrná spotřeba energie představuje podíl celkové spotřeby energie na jednotku konečné produkce (brutto energie). Měrná spotřeba energie pro hlavní produkt byla v rozmezí hodnot od 0,028 (Takt, intenzivní technologie, 2002) do 0,066 (Compass, intenzivní technologie, 2003) a pro vedlejší produkt 0,066 (Takt, standardní technologie, 2002) až 0,20 (Takt, standardní technologie, 2003), viz. tab. VI.

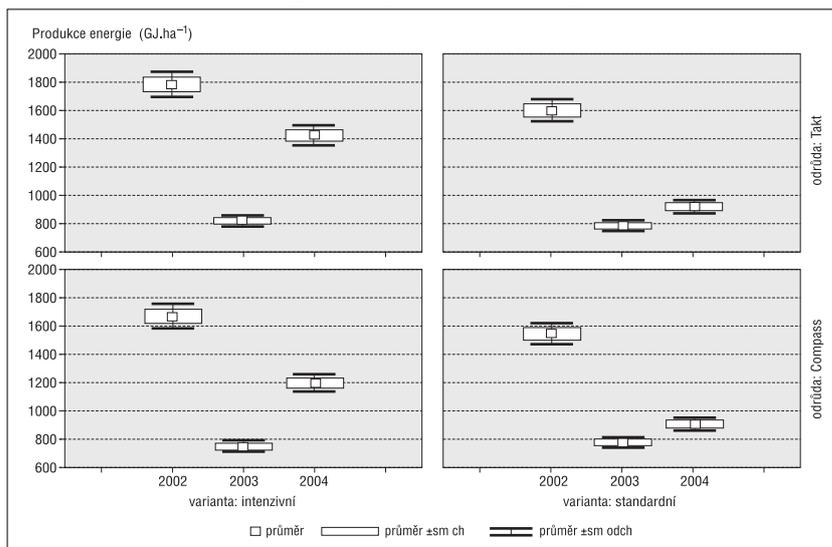
Měrná spotřeba energie pro hlavní produkt v jednotlivých pokusných letech je ve vzestupném pořadí následující: 0,029 (2002) – 0,045 (2004) – 0,062 (2003). Obdobná situace je i v případě vedlejšího produktu, kdy nejnižší průměrná hodnota měrné spotřeby energie byla stanovena v roce 2002 (0,071) a nejvyšší v roce 2003 (0,18).

Při hodnocení vlivu použité technologie pěstování na měrnou spotřebu energie je možné konstatovat, že v případě intenzivního pěstování cukrovky je měrná spotřeba energie pro bulvy nižší (0,048) ve srovnání se standardní technologií (0,052). Toto snížení představuje 7,69 %. Použitá technologie významně neovlivnila měrnou spotřebu energie vypočtenou z produkce chrástu, neboť u obou technologií byla tato charakteristika ve výši 0,13.

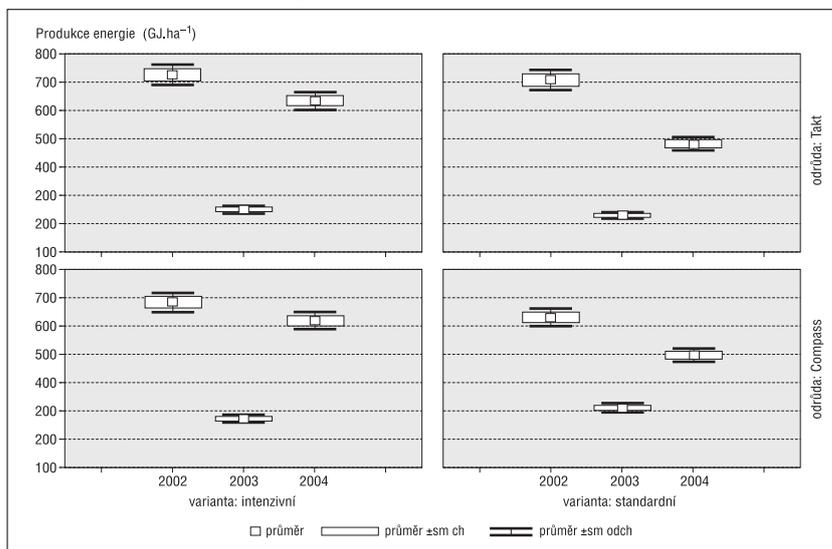
Energetická efektivnost

Další z metod energetického hodnocení výroby je energetická efektivnost, jež udává kolik energie vytvoří plodina na jednotku energetického vstupu. Energetická efektivnost pěstování cukrové řepy byla v intervalu hodnot od 21,71 jednotek (Takt, standardní technologie, 2003) do 50,11 jednotek (Takt, intenzivní technologie, 2002). Získané hodnoty energetické efektivnosti jsou srovnatelné s výsledky Kuesterse, Lamela (18), kteří konstatují, že při dodání 230 kg dusíku na hektar je energetická efektivnost 29. Podle TORNERA (23) je energetická efektivnost ve Švédsku mezi 7 až 11. Uvedený rozdíl je patrně způsoben tím, že obsah energie v 1 g sušiny hlavního a vedlejšího produktu je vyšší, než uvádí literární zdroje

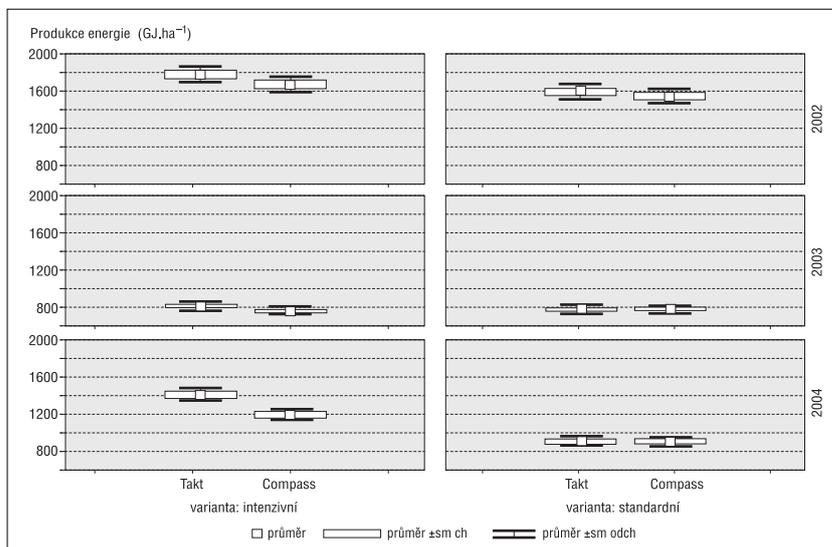
Obr. 1. Vliv ročníku na energetickou produkci hlavního produktu



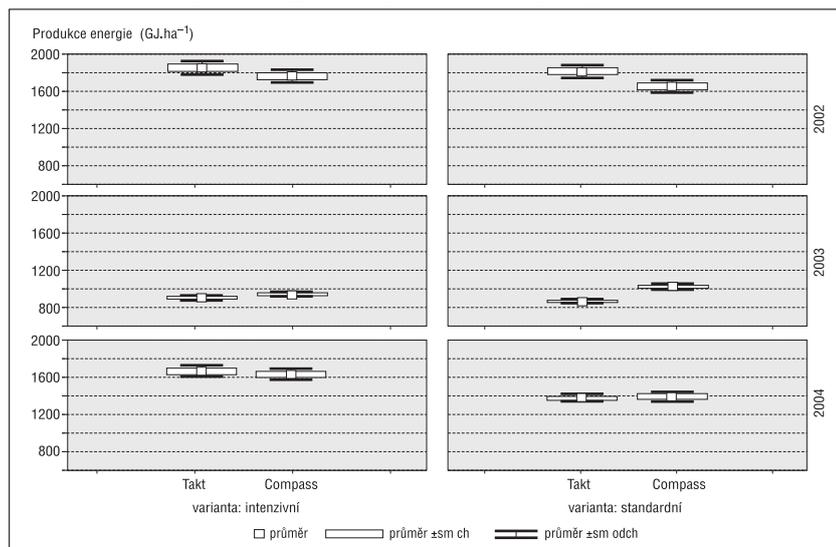
Obr. 2. Vliv ročníku na energetickou produkci vedlejšího produktu



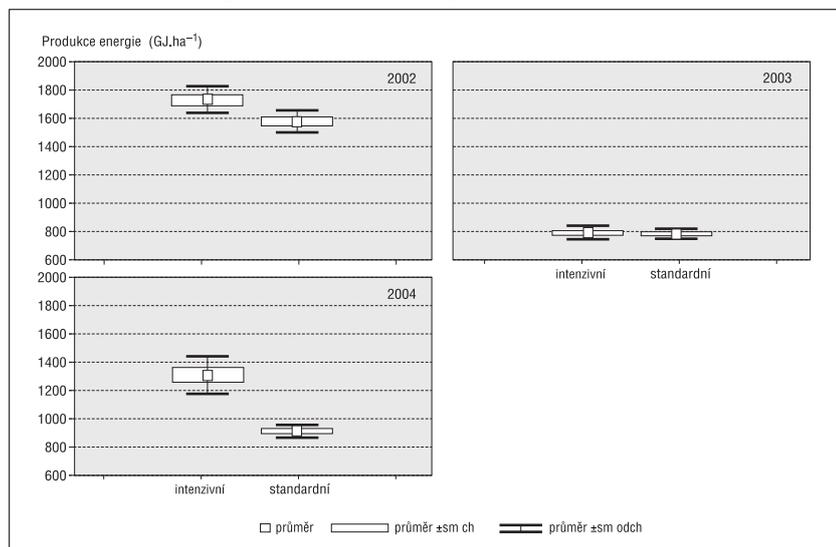
Obr. 3. Vliv odrůdy na energetickou produkci hlavního produktu



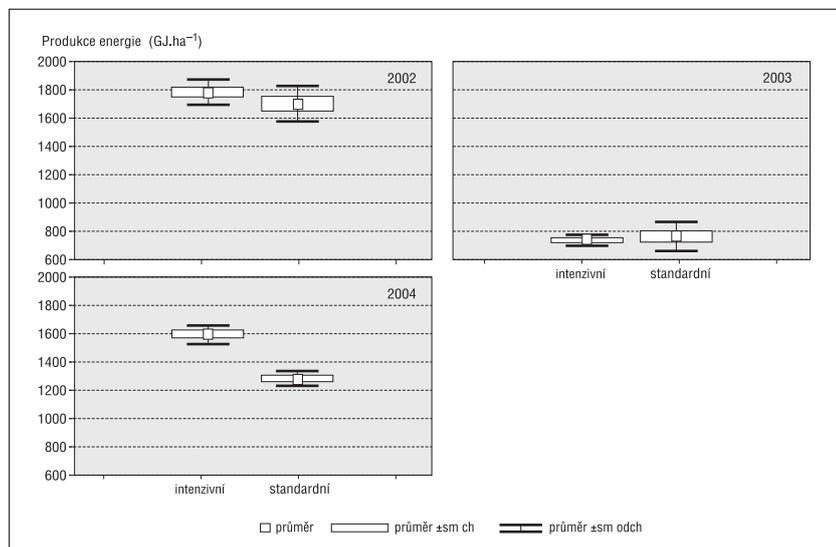
Obr. 4. Vliv odrůdy na energetickou produkci vedlejšího produktu



Obr. 5. Vliv technologie pěstování na energetickou produkci hlavního produktu



Obr. 6. Vliv technologie pěstování na energetickou produkci vedlejšího produktu



a dále byl výrazně vyšší průměrný výnos bulvy (73,15 t·ha⁻¹) i chrástu. Tento závěr je v souladu s prací Tornera (23), který uvádí, že důležitými faktory v energetické rovnováze jsou úroveň výnosů a energetický vklad ve formě PHM a agrochemikálií.

Hodnoty energetické efektivity celkové produkce jsou uvedeny v tab. VII. Z ní je patrný pozitivní vliv intenzivního systému pěstování cukrovky (24) ve srovnání se standardní technologií, neboť na jednotku dodané energie bylo získáno v průměru ze všech sledovaných let a odrůd 45,28 jednotek oproti 33,61 jednotkám v případě standardního pěstování. Tento rozdíl představuje navýšení o 36,05 %. Získaný výsledek je v rozporu se závěry HALLA (25), OLSONA (26), PIMENTALA ET AL. (27) a VENTURI A VENTURI (28), kteří konstatují, že se vzrůstající intenzifikací rostlinné výroby se energetická efektivnost rostlinné produkce snižuje. Naopak je v souladu s výsledky ERDALA ET AL. (10), který uvádí, že vyšší spotřeba energie zvyšuje výnos. Na dodatečné energetické vklady do výroby příznivěji reagovala tolerantní odrůda Takt ve srovnání s odrůdou netolerantní Compass, kdy odrůda Takt měla energetickou efektivnost 40,42 jednotek a odrůda Compass 38,72 jednotek.

Statisticky nejvyšších hodnot energetické efektivity pěstování cukrové řepy bylo dosaženo v roce 2002, kdy průměrná hodnota činila 48,31 jednotek a nejnižších v roce 2004. V tomto roce byla průměrná energetická efektivnost 34,42 jednotek.

Závěr

Na základě vypočtených hodnot energetické bilance pěstování cukrové řepy se jako energeticky efektivnější jeví používání intenzivní technologie pěstování i přesto, že jsou zde vyšší dodatečné vklady do výroby. Tyto vyšší dodatečné vklady do výroby však zvýší konečnou energetickou produkci biomasy z jednotky plochy, a tím se zvýší i energetická efektivnost výroby.

Tato práce byla zpracována na základě výsledků řešení výzkumného záměru MSM 6046070901.

Souhrn

V letech 2002–2004 byly založeny maloparcelkové pokusy na Výzkumné stanici FAPPZ ČZU Praha v Červeném Újezdě. Do pokusu byly zařazeny dvě odrůdy cukrovky (Takt a Compass), které byly pěstovány standardní a intenzivní pěstitelskou technologií. Ze získaných výsledků energetické bilance je patrné, že obsah energie hlavního produktu (bulvy) se pohyboval v intervalu hodnot

Tab. VI. Měrná spotřeba energie

Odrůda	Technologie	Rok	Bulvy	Chrást
			Měrná spotřeba energie	
Takt	Intenzivní	2002	0,028	0,069
Takt	Intenzivní	2003	0,061	0,199
Takt	Intenzivní	2004	0,035	0,079
Průměr			0,041	0,116
Takt	Standardní	2002	0,029	0,066
Takt	Standardní	2003	0,060	0,201
Takt	Standardní	2004	0,051	0,096
Průměr			0,047	0,121
Compass	Intenzivní	2002	0,030	0,073
Compass	Intenzivní	2003	0,066	0,185
Compass	Intenzivní	2004	0,042	0,081
Průměr			0,046	0,113
Compass	Standardní	2002	0,030	0,074
Compass	Standardní	2003	0,059	0,150
Compass	Standardní	2004	0,051	0,094
Průměr			0,047	0,106
Průměr intenzivní technologie			0,048	0,129
Průměr standardní technologie			0,052	0,128
Celkový průměr			0,050	0,128

od 758,91 GJ.ha⁻¹.rok⁻¹ (Compass, intenzivní technologie, 2003) do 1 784,12 GJ.ha⁻¹.rok⁻¹ (Takt, intenzivní technologie, 2002). Měrná spotřeba energie pro hlavní produkt byla v rozmezí hodnot od 0,028 (Takt, intenzivní technologie, 2002) do 0,066 (Compass, intenzivní technologie, 2003) a pro vedlejší produkt 0,066 (Takt, standardní technologie, 2002) až 0,20 (Takt, standardní technologie, 2003). Energetická efektivnost pěstování cukrové řepy byla v intervalu hodnot od 21,71 jednotek (Takt, standardní technologie, 2003) do 50,11 jednotek (Takt, intenzivní technologie, 2002). Na základě vypočtených hodnot energetické bilance pěstování cukrové řepy se jako energeticky efektivnější jeví používání intenzivní technologie pěstování i přesto, že jsou zde vyšší dodatečné vklady do výroby. Tyto vyšší dodatečné vklady do výroby však zvýší konečnou energetickou produkci biomasy z jednotky plochy, a tím se zvýší i energetická efektivnost výroby.

Klíčová slova: cukrová řepa, energetická bilance, technologie pěstování, měrná spotřeba energie, energetická efektivnost.

Literatura

- ZENTNER R. P. ET AL.: Energy considerations of crop rotations in south-western Saskatchewan. *Canadian Agricultural Engineering*, 26, 1984 (1), s. 25–29.
- PREININGER M.: *Energetické hodnocení výrobních procesů v rostlinné výrobě*. Závěrečná zpráva ÚVSH Praha, 1985.
- PREININGER M.: *Energetické hodnocení výrobních procesů v rostlinné výrobě*. Metodika ÚVTIZ, č. 7, 1987.
- BOHATERET V., CRACALEANU M.: Studiu privind eficiența energetică la câteva culturi de cimp. *Cercetari Agronom. Moldova*, 22, 1989 (2), s. 11–16.

Tab. VII. Energetická efektivnost pěstování cukrové řepy

Odrůda	Technologie	Rok	Bulvy	Chrást	Celá rostlina
			Energetická efektivnost cukrovky		
Takt	Intenzivní	2002	35,60	14,51	50,11
Takt	Intenzivní	2003	16,29	5,02	50,11
Takt	Intenzivní	2004	28,38	12,68	41,06
Průměr			26,76	10,74	47,09
Takt	Standardní	2002	34,22	15,25	49,47
Takt	Standardní	2003	16,73	4,98	21,71
Takt	Standardní	2004	19,62	10,41	30,02
Průměr			23,52	10,21	33,73
Compass	Intenzivní	2002	33,38	13,64	47,02
Compass	Intenzivní	2003	15,14	5,41	47,02
Compass	Intenzivní	2004	24,02	12,32	36,34
Průměr			24,18	10,46	43,46
Compass	Standardní	2002	33,15	13,48	46,64
Compass	Standardní	2003	16,88	6,67	23,55
Compass	Standardní	2004	19,61	10,65	30,26
Průměr			23,21	10,27	33,48
Průměr intenzivní technologie			25,47	10,60	45,28
Průměr standardní technologie			23,37	10,24	33,61
Celkový průměr			24,42	10,42	39,44

- GOOR F., DUBUISSON X., JOSSART J. M.: Suitability, environmental impact and energy balance of some energy crops in Belgium. *Cabiers-Agricultures*, 9, 2000 (1), s. 59–64
- CHOCHOLA J.: Ekonomické aspekty pěstování řepy na bioetanol. *Listy cukrov. řepář.*, 123, 2007 (7/8), s. 211–215.
- PRZYBYL J.: Porównanie technologii zbioru buraków cukrowych w aspekcie sposobu wykorzystania liści. *Zeszyty-Problemy-Postepow-Nauk-Rolniczych*. 1994 (416), s. 125–130.
- PULKRÁBEK J. ET AL.: Konkurenceschopnost produkce a ekonomika plodin využitelných pro výrobu bioetanolu. *Listy cukrov. řepář.*, 123, 2007 (7/8), s. 216–220.
- ČSN ISO 1928 – *Tuhá paliva – Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti*. Český normalizační institut, Praha, 1999.
- ERDAL G. ET AL.: Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32, 2007 (1), s. 35–41.
- HACISEFEROGULLARI H., ACAROGLU M., GEZER I.: Determination of the energy balance of the sugar beet plant. *Energy Sources*, 25, 2003 (1), s. 15–22.
- TZILIVAKIS J. ET AL.: Environmental impact and economic assessment for UK sugar beet production systems. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 107, 2005 (4), s. 341–358.
- KOGA N.: An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 125, 2008 (1–4), s. 101–110.
- FECENKO J., ŠOLTYSOVÁ, B.: The energy efficiency of sugar beet cultivation. *Rostlinná výr.*, 47, 2001 (1), s. 28–33.
- ŠRAŠIL Z., ŠIMON J.: Energetické bilance u zavlažované ozimé pšenice v různých typech osevních postupů. *Rostlinná výr.*, 37, 1991 (9/10), s. 753–760.

16. HRUŠKA L., JANÍČEK J.: Energetická účinnost některých plodin v kukuřičném výrobním typu. *Rostlinná výr.*, 28, 1982 (11), s. 1270–1274.
17. ČISLÁK V., HEIDI A.: Balance vstupov a výstupov energie v závlahách. *Meliorace*, 20, 1984 (1), s. 37–43.
18. KUESTERS J., LAMMEL J.: Investigations of the energy efficiency of the production of winter wheat and sugar beet in Europe. *European Journal of Agronomy*, 11, 1999 (1), s. 35–43.
19. BORECKÁ O. ET AL.: *Statistická ročenka 2005*. ČSÚ, Scientia, 2006.
20. HIRATA M., SUGIMOTO Y., UENO M.: Produktivity and energy efficiency of Bahigrass (*Paspalum notatum* Flugge) pasture. I. Energy mass of plant and liter, net primary production, and efficiency for solar energy utilisation. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Mijasaki University*, 36, 1989 (1), s. 231–237.
21. SPASOV V. P., KORNYŠEV D. S.: Accumulation of solar energy by plants and energetic nutritive value of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) at different cutting frequencies. In *Proc. XVI International Grassland Congress, 4–11 October 1989, Nice, France*. Association Francoise pour la production fourragere, Versailles, France, 1989, s. 847–848.
22. URBAN J., HNILÍČKA F., PULKRÁBEK J.: Obsah energie v bulvách a chrástu cukrové řepy. *Listy cukrov. řepář.*, 121, 2005 (9/10), s. 282–285.
23. TORNER L.: Energy balance for sugar beet growing: influence of nutrient efficiency and level of mechanisation. In *Proc. the 60th IIRB Congress*. Cambridge, 1–3 July 1997, s. 133–139.
24. CANDRÁKOVÁ E. ET AL.: Účinok povetnostných podmienok, maštatného hnoja a biokalu na produkciu repy cukrovej. *Listy cukrov. řepář.*, 124, 2008 (5/6), s. 160–164.
25. HALL O. D.: Solar energy conversion through biology could it be a practical energy source? *Fuel*, 1978, s. 322–333.
26. OLSON R. A.: Fertilisers for food production vs. Energy needs and environmental duality. *Ecotoxicology and environmental safety*, 1, 1977, s. 311–326.
27. PIMENTAL D. ET AL.: Food production and the energy crisis. *Science*, 182, 1973, s. 443–449.
28. VENTURA P., VENTURA G.: Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy*, 25, 2003 (3), s. 235–255.

Hnilička F., Urban J., Pulkrábek J., Hniličková H.: Energy balance of sugar beet growing

During 2002–2004 small plot trials were established at the experimental station of University of Life Sciences in Prague in Červený Újezd. Two sugar beet cultivars were included in the experiment (Takt and Compass), which were grown by standard and intensive growing technology. Obtained results of energy balance show, that energy content of the main product (root) ranged from 758.91 GJ.ha⁻¹.year⁻¹ (Compass, intensive technology, 2003) to 1 784.12 GJ.ha⁻¹.year⁻¹ (Takt, intensive technology, 2002). Specific energy consumption for the main product ranged from 0.028 (Takt, intensive technology, 2002) to 0.066 (Compass, intensive technology, 2003) and for minor product from 0.066 (Takt, standard technology, 2002) to 0.20 (Takt, standard technology, 2003). Energetic efficiency of sugar beet growing ranged from 21.71 units (Takt, standard technology, 2003) to 50.11 units (Takt, intensive technology, 2002). Based on calculated values of energetic balance of sugar beet growing the intensive technology seems to be energetically more effective, even though that there are higher additional inputs into production. But these higher additional inputs into production increase final energetic production of biomass from area unit, which increases energetic efficiency of production.

Key words: sugar beet, energy balance, growing technology, specific energy consumption, energy efficiency.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. František Hnilička, Ph. D., Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra botaniky a fyziologie rostlin, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchbát, Česká republika, e-mail: hnilička@af.czu.cz