

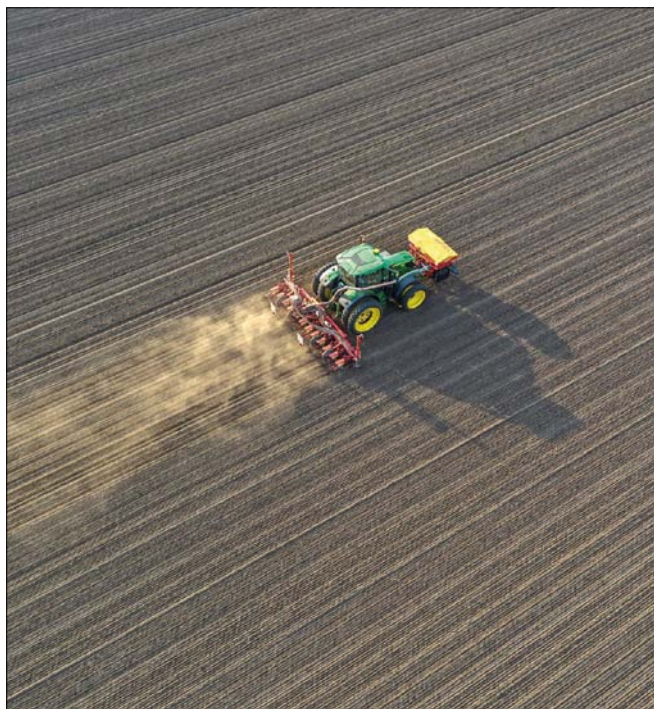
Možnosti snížení emisí skleníkových plynů při pěstování cukrové řepy

POSSIBILITIES OF REDUCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS DURING SUGAR BEET CULTIVATION

Jaromír Chochola – Řepařský institut, Semčice

Petr Jevič, Martin Dědina – Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha

Emise skleníkových plynů způsobují oteplování Země a zastavení či zpomalení tohoto oteplování je dnes jedním z nejvýznamnějších cílů civilizace. Skleníkové plyny vznikaly na Zemi vždycky, jejich vznik však byl v rovnováze s jejich fixací a rozpadem. S průmyslovou revolucí a s progresivním užíváním fosilních paliv byla rovnováha porušena, vznikající oxid uhličitý čím dál více převyšuje jeho fixaci a koncentrace v atmosféře roste. K tomu se přidávají další vedlejší produkty civilizace se skleníkovým efektem – methan, oxidy dusíku, ozón, vodní pára. Zemědělství ještě před zhruba sto lety oxid uhličitý díky fotosyntetické produkci pouze fixovalo, energie, kterou využívalo, pocházela z biomasy (krmení pro tažná zvířata). Průmyslová dusíkatá hnojiva, nafta pro pohon strojů a intenzivní živočišná výroba tuto situaci změnila a zemědělství se dnes podílí na emisích cca 7,6 %. I před zemědělstvím tedy stojí úkol hledat cesty, jak současné emise snížit. Ve vzdálenější budoucnosti možná přijdou radikálnější změny, nějaké formy bezemisního pohonu strojů, výroba dusíkatých hnojiv s využitím bezemisních energií, ale dnes a s aktuálními možnostmi pro cukrovou řepu můžeme analyzovat technologii pěstování a hledat tam spíše drobné úspory. O tom je tato práce.



Metodika

Technologické emise skleníkových plynů, vznikajících při pěstování cukrové řepy, zahrnují emise oxidu uhličitého ze spalování nafty při pracovních operacích, ekvivalenty emisí CO_2 vznikajících při výrobě materiálů (hnojiv, přípravků na ochranu rostlin apod.) a ještě ekvivalenty emisí CO_2 související s volatilizací dusíku z aplikovaných dusíkatých hnojiv. Při odhadu těchto položek jsme vycházeli z následujících podkladů:

1. Popis technologických operací při pěstování cukrové řepy – on-line expertní systém Agrotekis „Náklady technologických operací u cukrové řepy“ vypracovaný ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky (dále jen VÚZT), zahrnující spotřeby nafty a dalších materiálů u jednotlivých operací (1).
2. Certifikovaná metodika – Výpočet typických měrných emisí skleníkových plynů z pěstování a zpracování zemědělských surovin pro stanovení hodnoty jejich emisních faktorů (2, 3).
3. Výpočet přímých a nepřímých emisí N_2O z pěstování cukrové řepy zpracovaný ve VÚZT dle přílohy VII prováděcího Nařízení Komise (EU) 2022/996 ze dne 14. června 2022 (4, 5).

Výsledky

Odhad emisí z volatilizace sloučenin dusíku pro minerální a organické hnojení a dusíku obsaženého v posklizňových zbytcích

Metodika dle bodu 3 obsahuje parametry (4, 5), které podle našeho názoru v některých případech neodpovídaly skutečnosti. Převzali jsme z ní tedy algoritmus výpočtu a dopočítali parametry pro aktuální technologii pěstování:

- Dávka dusíku v minerálních hnojivech aktuálně v praxi činí $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$.
- Dávka využitelného dusíku v organických hnojivech dosahuje $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$.
- Přímé emise N_2O z hnojení cukrové řepy: $\text{N}_2\text{O}_{(\text{dir},\text{F})} = 2,837 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Přímé emise z posklizňových zbytků: $\text{N}_2\text{O}_{(\text{dir},\text{CR})} = 1,646 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Nepřímé emise N_2O z vyplavování a odtoku po aplikaci minerálních a organických hnojiv: Na hlubokých půdách, kde se cukrová řepa pěstuje, podle našeho názoru prakticky nedochází k vyplavování N. Řepa při aktuálních výnosech cca $25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suché biomasy vykazuje potenciální evapotranspiraci přibližně 800 mm, takže vysoko překračuje roční srážky 500–600 mm. Cukrová řepa využívá dusík z půdního profilu nejméně do 100 cm, odčerpává odtud dusík a zabraňuje tak

vyplavování dusíku zbývajících v půdě po mělčejí kořenících předplodinách. Proto jsou nulové i emise z tohoto nulového množství vyplavovaného dusíku: $N_2O_{(L,F+CR)} = 0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

- Nepřímé emise N_2O z atmosférické depozice dusíku: $N_2O_{(ATD)} = 0,355 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Přímé a nepřímé emise: $N_2O_{\text{total}} = N_2O_{(\text{dir},F)} + N_2O_{(\text{dir},F)} + N_2O_{(L,F+CR)} + N_2O_{(ATD)} = 2,837 + 1,646 + 0 + 0,355 = 4,838 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} N_2O$.
- Přepočet emisí N_2O na $CO_{2\text{ekv}}$: $4,838 \times 265 = 1\,282,07 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} CO_{2\text{ekv}}$.

Pro technologii se sníženými emisemi (s nižším hnojením N) pak analogicky vycházejí následující parametry:

- Dávka dusíku v minerálních hnojivech činí $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} N$.
- Dávka využitelného dusíku v organických hnojivech je $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} N$.
- Přímé emise N_2O z hnojení řepy: $N_2O_{(\text{dir},F)} = 2,166 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Přímé emise z posklizňových zbytků: $N_2O_{(\text{dir},CR)} = 1,646 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Nepřímé emise N_2O z vyplavování a odtoku po aplikaci minerálních a organických hnojiv: $N_2O_{(L,F+CR)} = 0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Nepřímé emise N_2O z atmosférické depozice dusíku: $N_2O_{(ATD)} = 0,303 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.
- Přímé a nepřímé emise: $N_2O_{\text{total}} = N_2O_{(\text{dir},F)} + N_2O_{(\text{dir},F)} + N_2O_{(L,F+CR)} + N_2O_{(ATD)} = 2,166 + 1,646 + 0 + 0,303 = 4,115 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} N_2O$.
- Přepočet emisí N_2O na $CO_{2\text{ekv}}$: $4,115 \times 265 = 1\,090,05 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} CO_{2\text{ekv}}$.

Odhad emisí u současné technologie pěstování

Popis technologie pěstování vychází z materiálu VÚZT „Náklady technologických operací“ (1). K jednotlivým pracovním operacím jsou v tab. I. podle spotřeby materiálů a PHM přiřazeny emisní položky. Emisní faktory přejímáme z publikace DĚDINA ET AL. (2).

Zpracování půdy: Přebíráme zde data z výše zmíněných tabulek VÚZT (1). Odhadujeme, že v Česku se na cca 75 % plochy pro řepu orá, na zbytku se provádí hluboké kypření. Podle tohoto poměru jsme upravili spotřebu nafty na 1 ha (orba $29 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, hluboké kypření $16 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$). U jarní přípravy půdy je nutno počítat s přibližně dvojnásobkem plochy – na části plochy je nutno nejprve urovnat hřebenovitý povrch po orbě a teprve s odstupem provést finální přípravu kompaktozemem, pomalu vyzrávající půdy je také nutno připravovat nadvakrát s časovým odstupem a tam, kde mezi přípravou a setím přijde déšť, je také nutno přípravu opakovat. Náš odhad reálného stavu je dvojitá příprava k setí.

Tab. I. Odhad emisí $CO_{2\text{eq}}$ v aktuální technologii pěstování

Pracovní operace		Plocha	Materiál, PHM		Emise ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} CO_{2\text{eq}}$)
			spotřeba	emisní faktor	
Zpracování půdy	podmítka	1	6,2	3,15	19,53
	orba, kypření	1	26	3,15	81,90
	příprava	2	7,2	3,15	45,36
Organické hnojení	aplikace	0,6	20	3,15	37,80
Zelené hnojení	příprava	0,1	6	3,15	1,89
	osivo (hořčice)	0,1	20	0,6	1,20
	Setí	0,1	5	3,15	1,58
	mulčování	0,1	7	3,15	2,21
Hnojení minerální	P	0,5	30	0,54	8,10
	K	0,5	100	0,42	21,00
	aplikace	1	1,4	3,15	4,41
	Ca	0,2	2000	0,07	28,00
	aplikace	0,2	3,5	3,15	2,21
Setí	osivo	1,05	3,6	3,54	13,38
	setí	1,05	3,5	3,15	11,58
Hnojení	N	1	110	4,57	502,70
	aplikace	2	1,4	3,15	8,82
	emise N_2O	1	4,838	265	1 282,07
	ostatní (list. hnojiva)	0,5	3	11	16,50
	aplikace	0,5	1,5	3,15	2,36
Herbicidy	materiál	1	3	11	33,00
	aplikace	4	1,5	3,15	18,90
Plečkování		0,2	3,4	3,15	2,14
Insekticidy	materiál	0,3	0,2	11	0,66
	aplikace	0,3	1,5	3,15	1,42
Fungicidy	materiál	1	1,5	11	16,50
	aplikace	2	2	3,15	12,60
Skizeň		1	98	3,15	308,70
Ukládka ošetření		0,5	5	3,15	7,88
Transport řepy		1	95,5	3,15	300,83
Odhad emisí celkem					2 795,23

Ve sloupci „plocha“ je odhad na jakém násobku plochy se v aktuální praxi operace reálně provádí. Pokud je hodnota menší než 1, je to jen na části plochy (např. plečkování), naopak např. u herbicidů odhadujeme v průměru 4 aplikace a čtyřnásobek plochy. Spotřeba materiálů vychází z dostupných statistik (6, 7, 8, 10), případně z našeho odhadu, u PHM se držíme hodnot udávaných v tabulkách „Náklady technologických operací na 1 ha“ z VÚZT (1).

Organické hnojení: Není tu zahrnuto zaorání slámy, které probíhá na cca 50 % ploch v podstatě bez aplikačních nákladů. U ostatních organických hnojiv odhadujeme aplikaci zhruba na 60 % plochy, odhad vychází z každoročního sledování Řepářského institutu přibližně 40 polí pro monitorování zásoby dusíku



na řepných polích. V tab. I. je uvedena pouze spotřeba PHM na aplikaci organických hnojiv. Uhlíková stopa „výroby“ statkových hnojiv není zohledněna.

Minerální hnojení P a K: Aplikované množství je odhadnuto ze statistiky spotřeby hnojiv (6) a z předpokladu, že k cukrové řepě se vzhledem k její vyšší náročnosti hnojí těmito živinami více než k dalším plodinám osevního postupu. Spotřeba pro aplikaci vychází z předpokladu současného hnojení P + K na podzim, případně z hnojení pouze draselným hnojivem a spojení aplikace P s první dávkou dusíku (Amofos). Vápnění se v praxi provádí jen na omezené ploše, u pěstitelů blízko cukrovaru ho doplňuje aplikace cukrovarské šámy, celkovou plochu vápnění (včetně šámy) však odhadujeme na 20 % plochy řepy.

Setí: Spotřeba osiva na základě statistiky o prodejkách osiva (7) je cca $1,2 \text{ VJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ a hmotnost výsevní jednotky je přibližně 3 kg. Jak pro spotřebu osiva tak pro setí kalkulujeme přibližně s 5 % přesevů, takže pracujeme s 1,05násobkem plochy

Hnojení dusíkem: Odhad Řepářského institutu reálně aplikované dávky je $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$, dělené do dvou aplikací. Jsou zde pak doplněny emise související s volatilizací sloučenin dusíku.

Ostatní hnojení: Zahrnuje především listová hnojiva (N, B, Mg, Mn...) a různé stimulatory. Často se jedná o vedlejší produkty chemických výrob, a proto odhadujeme jejich emisní faktor na úrovni standardních dusíkatých hnojiv, zhruba na polovinu oproti POR. Aplikace se zpravidla provádí postřikem na list a uhlíková stopa aplikace je podobná jako u POR.

Herbicity: Aktuálně probíhá v Česku významná změna, konvenční technologii nahrazuje technologie Conviso Smart. Tato nová technologie bude zahrnuta do možností snížení uhlíkové stopy. Konvenční technologie sestává ze 3–4 aplikací herbicidů na dvouděložné plevele s celkovou spotřebou účinných látek cca $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odečet za spotřeby herbicidů ze statistiky 8) a na části plochy se aplikují herbicidy na jednoděložné plevele. Z toho vychází čtyřnásobek aplikační plochy.

Plečkování: Reálně se provádí na malé části plochy, zejména na souvratích a v ročnicích, kdy se na polích vytváří půdní škraloup.

Insekticidy: Počítá se s aplikací insekticidů ve velmi omezené míře, protože osivo řepy bylo mořeno neonikotinoidy (cca $80 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$) s dlouhodobým insekticidním působením. Od roku 2024 však je použití neonikotinoidů zakázáno a bude ho nutno nahradit operativními postřiky insekticidů s řádově vyšší dávkou. V budoucí technologii se tak zvýší jak uhlíková stopa materiálů (POR), tak aplikací. Tato změna bude, bohužel, zahrnuta do návrhu nové technologie s nižšími emisemi.

Fungicidy: Odhad Řepářského institutu jsou 2 aplikace fungicidů s cca $250 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ účinné dávky, celkem tedy $0,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ + přídavky anorganických fungicidů (Cu, S), sumárně cca $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, celkem tedy $1,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. U aplikace fungicidů uvažujeme oproti jiným postřikům s vyšší spotřebou nafty, protože se zde zpravidla používá větší dávka vody ($300\text{--}400 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$), což znamená menší plošný výkon a vyšší nárok na dovoz vody.

Sklizeň: Prakticky celá plocha řepy v Česku se sklízí samojízdnými šestiřádkovými stroji se zásobníkem, řepa se zpravidla odváží návěsy či speciálními vyvážecími stroji na okraj pole. Odtud se nakládá čistícími nakladači na kamiony a odváží do cukrovaru. Tuto sklizeň většinou provádějí podniky služeb, potřebnou naftu dodává pěstitel. Řepářský institut takto každoročně sklízí přibližně 200 ha a eviduje spotřebu nafty – za ročníky 2020–2022 je tato spotřeba (sklizeň + vyvezení na okraj pole) $95 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ (9).

Ošetření ukládek: Tato operace ve spotřebě PHM zahrnuje úpravu „figury“ ukládky čelním nakladačem (v případě vyvážení traktorovými návěsy), ochranu před mrazem (zakrytí ukládek v prosinci a lednu slámou nebo speciálním roumem toptex) a spotřebu PHM při nakládce čistícím nakladačem na kamiony. Odhad spotřeby PHM celkem je $5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Transport řepy do cukrovaru: Tato operace je na rozhraní mezi uhlíkovou stopou pěstitele a cukrovaru. Účetně (nákladově) ji v Česku hradí cukrovar, pro uhlíkovou stopu řepy však představuje velmi významnou položku, proto ji do kalkulace zahrnujeme. Emise spojené s transportem řepy představují současně položku s potenciální možností celkové emise snížit. Kalkulace vychází z průměrného výnosu tel-quel řepy (bez přepočtu na cukernatost) $65 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, z průměrného víceletého podílu příměsí (13 %), z průměrné transportní vzdálenosti 54 km (65 km pro Tereos TTD a cukrovar Hrušovany, přibližně 30 km u cukrovarů Opava, Prosenice, Litovel a Vrbátky), z průměrné hmotnosti nákladu (30 t na kamion) a z průměrné spotřeby nafty kamionů (38 l na 100 km). Transportní vzdálenost je nutno započítat $1,9\times$, protože zpětná dráha je jen z 10 % s vytižením (řízky, šáma) (10).

Spotřeba nafty na transport ($\text{l} \cdot \text{ha}^{-1}$) = (Výnos tq řepy + příměsí)/průměrná hmotnost nákladu $\times$ vzdálenost $\times 1,9 \times$ spotřeba nafty = $(65 + 8,45)/30 \times 102,6 \times 0,38 = 95,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Odhad emisí u současné technologie pěstování nám vychází přibližně $2795 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ CO}_{2\text{eq}}$. Nejvýznamnější položky jsou hnojení dusíkem, sklizeň, transport řepy do cukrovaru a zpracování půdy, které dohromady představují téměř 91 % celkových emisí. Potenciál pro snížení uhlíkové stopy je u hnojení dusíkem, u transportu řepy a ve zpracování půdy. Nevidíme významnou možnost snížení u sklizně. Snížení je ještě reálné a pravděpodobné u herbicidních operací, v množství však nebude tak významné. Bohužel v blízké budoucnosti uhlíková stopa naroste u insekticidní ochrany v souvislosti s ukončením moření neonikotinoidy a jeho náhradou operativními aplikacemi insekticidů během vegetace. K nárůstu by mělo dojít i u hnojení fosforem a draslíkem, protože současné dávky nedostačují na reprodukci půdní zásoby těchto živin.

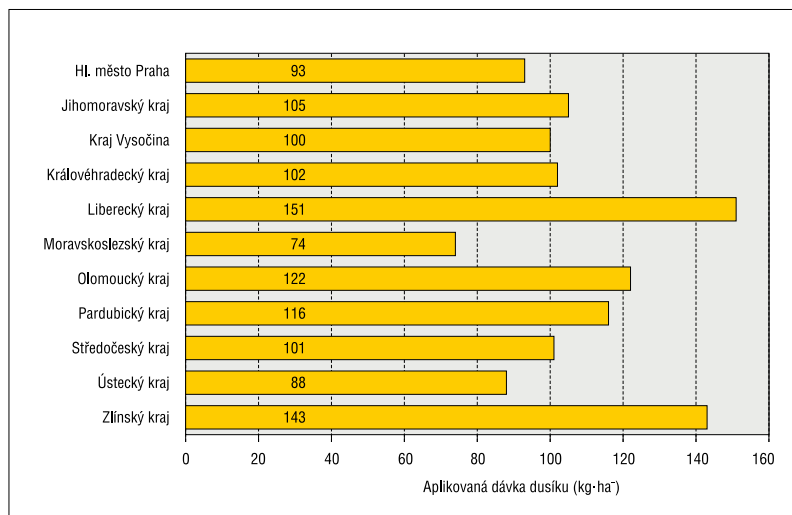
Technologické operace s potenciální možností emise snížit

Hnojení dusíkem: Emise z hnojení dusíkem jsou dány dávkou dusíku, aplikačními vstupy a přímými a nepřímými emisemi $N_2O_{(dir,F)}$ z minerálních hnojiv. Průměrnou dávkou dusíku v Česku odhadujeme na $104\text{--}110\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, to je podle našich výsledků dávka příliš vysoká. Dávky aplikovaného dusíku k cukrové řepě se ovšem v rámci republiky značně liší. Na obr. 1. jsou uvedeny hodnoty aplikovaného dusíku podle jednotlivých krajů ČR.

V letech 2001–2019 provedl Řepářský institut na provozních řepných polích 90 pokusů se stupňovaným hnojením (11, 12, 13) a optimální dávka (nejvyšší výnos polarizačního cukru) v průměru všech pokusů byla $60\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ N}$, v jednotlivých případech však kolísala v rozpětí $0\text{--}160\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ N}$ a v 15 % případů byl maximální výnos dosažen při nulové dávce dusíku. V praxi pěstování se dusíkem významně přehnojuje, a to výrazně zvyšuje uhlíkovou stopu. Snížit hnojení a současně eliminovat riziko nedohnojení umožňuje dávkování podle zásoby minerálního dusíku v půdě v předjaří (12). Odběr půdních vzorků a měření půdní zásoby dusíku před řepou se podle našeho odhadu provádí jen asi na 20–30 % výměry cukrovky. Na větší části výměry se tedy hnojí podle odhadu, podle zkušenosti a „na jistotu“, tedy raději vyšší dávkou. Rozšíření objektivního dávkování dusíku podle půdní zásoby na větší podíl plochy a snížení dávky tedy představuje velkou rezervu jak v nákladech na pěstování řepy, tak významné snížení uhlíkové stopy. Asi není možno předpokládat úplné využití rezervy, ale snížení průměrné dávky na cca $80\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ je dosažitelné a znamenalo by to snížení uhlíkové stopy o $333,5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ CO}_{2eq}$ (tab. II.). Nižší dávku dusíku lze aplikovat v jediné pracovní operaci, a i to znamená určité snížení uhlíkové stopy o cca $4,5\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ CO}_{2eq}$.

Transport řepy do cukrovaru: Průměrná transportní vzdálenost je, zejména v Čechách, velká, v Tereos TTD a u cukrovaru Hrušovany nad Jevišovkou cca 65 km (10). V cukrovarch západní Evropy bývá významně nižší, např. ve Francii bývá kolem 30 km. Pěstitelé blízko cukrovarů se v západní Evropě na cukrovku specializovali, koncentrace v osevním postupu tu dosahuje 25–33 %. Koncentrace cukrové řepy v osevních postupech českých pěstitelů je většinou 10–20 %, pěstitelé nejsou ochotni se specializovat a cukrovary oslovují i velmi vzdálené pěstitele, aby naplnili zpracovatelskou kapacitu. Je to dědictví složitého vývoje po roce 1990, kdy zaniklo 47 cukrovarů, často bez vyrovnání za dodávky řepy a pěstitelé vnímají vyšší specializaci na řepu (a vlastně na cokoliv) jako rizikovou, nižší koncentrací se snaží rizika diverzifikovat. Snaha cukrovarů o naplnění kapacit vedla k plnému převzetí nákladů na transport řepy, a v této situaci není pro blízké pěstitele motivace ke zvýšení koncentrace řepy v osevním postupu. Velká transportní vzdálenost je pro české cukrovary významnou konkurenční nevýhodou v nákladech na řepu a do budoucna

Obr. 1. Vykazované dávky dusíku k cukrové řepě podle krajů



Pramen: vyhodnocení předběžných údajů z Evidenze přípravků a hnojiv (EPH).

stále více i ve zvýšené uhlíkové stopě. Snížení transportní vzdálenosti je nutně spojeno s přenesením alespoň části transportních nákladů na pěstitele, je tedy velmi nepopulární, nicméně z dlouhodobého hlediska důležité. Snížení transportní vzdálenosti o 10 km představuje úsporu $55\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ CO}_{2eq}$. Spotřeba nafty na transport ($\text{l}\cdot\text{ha}^{-1}$) = (výnos tq řepy + příměsí)/průměrná hmotnost nákladu × vzdálenost × 1,9 × spotřeba nafty = $(65 + 8,45)/30 \times 44 \times 1,9 \times 0,38 = 77,8\text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Zpracování půdy: Jistý potenciál představuje náhrada orby hlubokým kypřením s výrazně nižší spotřebou nafty. Hluboké kypření s sebou ovšem nese problémy, kvůli nimž ho velká část pěstitelů odmítá. Jde o nedostatečné zapravení posklizňových zbytků, které pak velmi komplikují setí, o vyšší zaplevelení přezimujícími plevely (to vyžaduje aplikaci totálního herbicidu nebo jednu operaci v jarní přípravě navíc), o vyšší zaplevelení obecně a plevelnými řepami zvlášť – semena plevelů zůstávají v povrchové vrstvě půdy, o vyšší tlak chorob a škůdců (přezimující vývojová stadia škůdců a chorob se hromadí v povrchové vrstvě půdy). Vzhledem k restrikcím chemie bude fytosanitární efekt orby narůstat. Odhadujeme, že podíl hlubokého kypření by se v budoucnu mohl zvýšit na přibližně 40 % ploch. Znamenalo by to snížení spotřeby nafty z odhadovaných $26\text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ na $23,8\text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$, to představuje snížení o $2,2\text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$, a snížení emisí CO_2 o $7,7\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. U dalších operací zpracování půdy potenciál ke snížení nevidíme.

Tab. II. Vliv snížení dávky dusíku na snížení emise N_2O

	Aktuální technologie	Snížené min. hnojení
	Emise N_2O ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\text{ N}_2O$)	
Přímé emise N_2O z minerálního a organického hnojení	2,837	2,166
Přímé emise N_2O z posklizňových zbytků	1,646	1,646
Nepřímé emise N_2O z atmosférické depozice	0,355	0,303
Emise N_2O celkem	4,838	4,115
CO_{2ekv}	1 282,07	1 090,05

Tab. III. Odhad emisí CO_{2eq} v technologii pěstování se sníženými emisemi

Pracovní operace		Plocha	Materiál, PHM		Emise ($kg \cdot ha^{-1} CO_{2eq}$)
			spotřeba	emisní faktor	
Zpracování půdy	podmítka	1	6,2	3,15	19,53
	orba, kypření	1	23,8	3,15	74,97
	příprava	2	7,2	3,15	45,36
Organické hnojení	aplikace	0,6	20	3,15	37,80
Zelené hnojení	příprava	0,1	6	3,15	1,89
	osivo (hořčice)	0,1	20	0,6	1,20
	Setí	0,1	5	3,15	1,58
	mulčování	0,1	7	3,15	2,21
Hnojení minerální	P	0,5	30	0,54	8,10
	K	0,5	100	0,42	21,00
	aplikace	1	1,4	3,15	4,41
	Ca	0,2	2000	0,07	28,00
	aplikace	0,2	3,5	3,15	2,21
Setí	osivo	1,05	3,6	3,54	13,38
	setí	1,05	3,5	3,15	11,58
Hnojení	N	1	80	4,57	365,60
	aplikace	1	1,4	3,15	4,41
	emise N_2O	1	4,115	265	1 090,05
	ostatní (list. hnojiva)	0,5	3	11	16,50
	aplikace	0,5	1,5	3,15	2,36
Herbicidy	materiál	1	0,08	11	0,88
	aplikace	2	1,5	3,15	9,45
Plečkování		0,2	3,4	3,15	2,14
Insekticidy	materiál	1	0,2	11	2,20
	aplikace	1	1,5	3,15	4,73
Fungicidy	materiál	1	1,5	11	16,50
	aplikace	2	2	3,15	12,60
Sklizeň		1	98	3,15	308,70
Ukládky ošetření		0,5	5	3,15	7,88
Transport řepy		1	77,8	3,15	245,07
Odhad emisí celkem					2 362,29

Tučně jsou zvýrazněny operace se sníženými emisemi.

Herbicidní operace: Dosavadní herbicidní technologie spočívá v opakovaných aplikacích kombinací různých herbicidních látek. Tyto herbicidní látky nejsou zcela selektivní k řepě, proto se používají relativně nízké dávky, které se pro dosažení dostatečné účinnosti na plevel musí 3–5× opakovat. Používané herbicidní látky nemají dostatečně široké spektrum účinnosti na plevelné druhy, proto se musí kombinovat vždy několik těchto látek. V průměru se takto spotřebuje cca $3 kg \cdot ha^{-1}$ účinných látek

ve 4 aplikacích. V současnosti se prosazuje nová technologie pod označením Conviso Smart. Je to technologie založená na nových odrůdách cukrové řepy s rezistencí vůči ALS (inhibitory acetolaktát-syntetázy) herbicidům a na herbicidech této skupiny (sulfonylmočoviny), speciálně herbicidu Conviso One (Bayer). Tato technologie zajišťuje s velkou jistotou bezplevelný porost při podstatně nižší spotřebě účinných herbicidních látek ($0,080 kg \cdot ha^{-1}$) a při snížení počtu aplikací na dvě. Technologie pro dlouhodobou udržitelnost vyžaduje splnění několika důležitých podmínek (důslednou likvidaci plevelných řep a vyběhlic v porostech, likvidaci regenerátů řep v následných plodinách, omezení herbicidů na bázi sulfonylmočoviny u dalších plodin osevního postupu). Přes tuto podmíněnost technologii praxe rychle a úspěšně zavádí a v blízké budoucnosti pravděpodobně bude při pěstování cukrové řepy výrazně převažovat. Z hlediska uhlíkové stopy sníží tato technologie emise nižší spotřebou herbicidních látek ($-32 kg \cdot ha^{-1} CO_{2eq}$) a menším počtem aplikačních operací, přibližně 2 místo 4 ($-9,5 kg \cdot ha^{-1} CO_{2eq}$).

U dalších technologických operací nevidíme aktuálně významný potenciál ke snížení uhlíkové stopy. U insekticidní ochrany je naopak nutno v nejbližší budoucnosti očekávat mírný nárůst v důsledku změny moření osiva, která si vyžádá zvýšení spotřeby insekticidů a větší rozsah aplikované plochy. Přehled technologie se sníženými emisemi je v tab. III. Současné emise ve výši $2 795 kg \cdot ha^{-1} CO_{2ekv}$ je reálně snížit na cca $2 362 kg \cdot ha^{-1} CO_{2ekv}$, tedy zhruba o 15,5 %.

Přepočet emisí na jednotku produkce

Vedle přepočtu emisí na jednotku plochy je důležitý i přepočet na jednotku produkce. V dosavadních materiálech (2) je uváděn přepočet na tzv. tel quel (tq) řepu, tedy na naturální výnos řepných bulv bez ohledu na jejich cukernatost. Z hlediska odvětví cukrovka – cukr je tento přepočet zcela pochybný. Cukernatost řepy kolísá v širokém rozmezí

15–20 % a výnos cukru jako konečný produkt se při stejném výnosu tel quel řepy může lišit o desítky procent. Český statistický úřad s rozdílnou cukernatostí nepočítá, Ministerstvo zemědělství však tuto statistiku komodity zveřejňuje (14) a předává i k mezinárodnímu srovnávání Evropské komisi. Např. v kampani 2022/2023 byl výnos tel quel řepy v Česku $71,99 t \cdot ha^{-1}$, výnos přepočtený na standardní cukernatost 16 % byl však $75,18 t \cdot ha^{-1}$. V tab. IV. je uveden přepočet emisí CO_{2eq} jednak na pětiletý

(2018/2019 až 2022/2023) průměr tel quel řepy, jednak na výnos cukrové řepy přepočtený na standardní cukernatost 16 %.

Vykazování emisí v přepočtu na tq řepu se projevuje výrazně v Čechách, kde bývá vyšší cukernatost. Např. v kampani 2021 tu byl výnos tq řepy $69,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, cukernatost 18,5 % a výnos řepy o cukernatosti 16 % byl $80,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Emise v přepočtu na produkci tedy mohou být $40,3 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1} \text{ CO}_{2\text{eq}}$ v případě tq řepy nebo $34,9 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1} \text{ CO}_{2\text{eq}}$ řepy o cukernatosti 16 %, tedy o 14,5 % nižší. Pro korektní hodnocení plodiny z hlediska emisí a uhlíkové stopy je tedy velmi důležité zohledňovat její jakost a emise vykazovat v přepočtu na výnos cukru nebo na výnos řepy o standardní cukernatosti.

Pro výrobu biolihi z cukrové řepy a porovnatelnost výpočtů produkce emisí z pěstovaných plodin v rámci mezinárodního porovnání tzv. NUTS 2 hodnot je nutné výše uvedené hodnoty dále přepočítat na sušinu produkce. U cukrové řepy se počítá s obsahem sušiny 25 % (5) (tab. V.).

Tab. IV. Emise $\text{CO}_{2\text{eq}}$ v přepočtu na jednotku produkce cukrové řepy

Přítelý průměr 2018/2019 – 2022/2023	Výnos řepy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Aktuální technologie	Technol. snížené emise
		Emise $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ řepy)	
Tel quel řepa	64,32	43,46	36,73
Řepa o standardní cukernatosti 16 %	68,98	39,51	34,25

Tab. V. Emise $\text{CO}_{2\text{eq}}$ v přepočtu na sušinu cukrové řepy využitě na výrobu bioetanolu

Přítelý průměr 2018/2019 – 2022/2023	Výnos řepy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Aktuální technologie	Technol. snížené emise
		Emise $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$ sušiny)	
Tel quel řepa	64,32	$43,46 / 0,25 = 173$	$36,73 / 0,25 = 146,92$
Řepa o standardní cukernatosti 16 %	68,98	$39,51 / 0,25 = 158,04$	$34,25 / 0,25 = 137$

Diskuse

V přechodném textu jsme hledali možnosti snížení emisí změnami v aktuální pěstební technologii. Tato technologie je principiálně závislá na současných energetických zdrojích v podobě

INZERÁT

fosilní nafty a fosilní energie pro výrobu průmyslových zejména dusíkatých hnojiv a dalších materiálů. V dlouhodobé perspektivě by se tato situace měla postupně měnit, fosilní naftu by měly nahrazovat elektrické či vodíkové pohony zemědělských strojů a bezemisní energie v průmyslových výrobcích. To jsou ovšem změny, které do zemědělství přijdou zvenku, zemědělci na ně nemají přímý vliv. Bezemisní pěstební technologie budoucnosti je tedy závislá na proměně energetiky obecně. Ambiciózní představy o snižování zemědělských emisí skleníkových plynů se ovšem netýkají jen samotné technologie pěstování plodin. Orná půda, základ intenzivního zemědělství, je významným zdrojem emisí oxidu uhličitého a na tyto emise se také zaměřují jednak legitimní snahy o jejich minimalizaci, jednak notoričtí kritici intenzivního zemědělství. Zvýšená aerace kultivované, orané půdní vrstvy vede v ní k urychlení mikrobiální aktivity, ke zvýšené mineralizaci půdní organické hmoty a při přechodu na obhospodařování s orbou (k němuž ovšem u nás došlo přibližně před 200 lety) ke skokovému zvýšení emise oxidu uhličitého. Současně s touto mineralizací roste ovšem také produkce biomasy na této půdě, tedy fixace oxidu uhličitého fotosyntézou, více biomasy končí posléze v potravinách, v posklizňových zbytcích a v organických hnojivech navracených zpět do půdy. Po zornění se tedy v nejvrchnější vrstvě obsah organické hmoty mineralizací snižuje, organická hmota se však promísí do hlubšího oraného profilu a při zvýšeném návratu zbytků se její obsah stabilizuje na nové úrovni. V našich podmínkách, na dlouhodobě kultivovaných půdách, je proto důležité důsledné navracení potravinářsky nevyužívané biomasy (posklizňové zbytky, organická hnojiva) do půdy, přičemž v procesu humifikace dojde k její stabilizaci. Humusové látky jsou vůči mineralizaci velmi odolné a zvýšení podílu této organické složky půdy je opravdu efektivní cestou fixace oxidu uhličitého z atmosféry. Jistého snížení mineralizace (emisí) lze dosáhnout snížením intenzity aerace (kultivace), které by však nemělo snížit produkci biomasy. Vedle pečlivé kontroly technologických emisí

je tedy sladění procesů tvorby výnosů (biomasy), ukládání uhlíku do humusových látek a omezování mineralizace půdní organické hmoty podstatou optimalizace uhlíkové stopy, v našem případě cukrové řepy. Samotné technologické emise jsou velmi zúženým pohledem na problematiku skleníkových plynů v zemědělství, komplexní pohled by měl zahrnout i fixaci CO_2 do biomasy a bilanci CO_2 na obhospodařované půdě.

Uhlíková stopa cukrové řepy

Cílem technologie pěstování všech plodin je primárně maximální výnos nebo maximální ekonomický výsledek. Úpravy technologie umožňující snížení emisí by neměly tento cíl ohrožovat. Naopak vyšší výnos při stejných emisích automaticky emise v přepočtu na produkci snižuje. Cukrová řepa je díky své dlouhé vegetační době plodinou vytvářející za vegetační období u nás největší množství biomasy. Výnos $70 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ přepočtené řepy při sušině cca 22 % představuje $15,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sušiny. K tomu můžeme připočíst chrást – cca $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ s obsahem sušiny 15 %, tedy dalších $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suché biomasy. A k tomu ještě sklizňové ztráty a hmotu kořenů, které zůstávají v půdě, odhadem $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ sušiny. Celkem tedy dnes u nás řepa vytváří cca $23 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suché biomasy. Rostlinná biomasa obsahuje v sušině 50–52 % uhlíku fixovaného při fotosyntéze výlučně z atmosférického oxidu uhličitého. Oxid uhličitý obsahuje 27,3 % uhlíku, takže necelých 12 t uhlíku v sušině biomasy cukrové řepy představuje fixaci $43 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oxidu uhličitého z atmosféry za rok. Emise spojené s pěstováním cukrové řepy (včetně transportu do cukrovaru) tedy představují dnes pouze 6,5 % z oxidu uhličitého produkcí fixovaného. Zvýšení výnosu na $80 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ by znamenalo fixaci $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ oxidu uhličitého a snížení podílu technologických emisí na 5,6 %. Z hlediska uhlíkové stopy, z hlediska objemu fixace oxidu uhličitého je tedy primární cestou technologie vedoucí

k maximalizaci výnosu, případné úpravy technologie s cílem snížit emise by neměly fixaci uhlíku snížit. Tato preference maximalizace výnosů omezuje především často zmiňovaný potenciál snížení emisí náhradou orby kypřením či dokonce minimalizací zpracování půdy. Na základě četných výzkumů i praktických zkušeností lze v tomto směru uvažovat v omezeném rozsahu o náhradě orby hlubokým kypřením a v erozních polohách technologií strip-till.

U cukrové řepy se v úvahách o uhlíkové stopě často uvádí, že při hlubokém zpracování půdy k řepě orbou dochází ke zvýšené mineralizaci půdní organické hmoty. Dlouhodobé pokusy VÚRV (15) prokazují, že při současném řádném organickém hnojení k ničemu takovému nedochází, že i při zpracování orbou a organickém hnojení v průběhu 20 let dochází k mírnému nárůstu obsahu půdního uhlíku. U technologií s minimálním zpracováním a bez zpracování narůstá obsah uhlíku více (je ovšem otázkou, zda se jedná o půdní uhlík stabilizovaný do humusových látek, nebo o uhlík ne zcela stabilizovaný v důsledku nižší aerace půdy, který se po aeraci prokypřením rychle mineralizuje), bývá to však spojeno s řadou výše popsaných problémů, které často snižují výnosy. V tomto ohledu považujeme za důležité analyzovat problematiku organického hnojení důkladněji a posoudit organické hnojení hnojem oproti technologii



podniků bez živočišné výroby, důsledně zaorávajících všechny posklizňové zbytky. Při recyklaci organické hmoty přes stáj dochází k významným ztrátám (export uhlíku produktů živočišné výroby mimo podnik, ztráty uhlíku mineralizací na hnojištích), které jsou pravděpodobně vyšší, než mineralizace slámy, dalších posklizňových zbytků a zeleného hnojení po zaorání bez další manipulace na pozemku. Recyklace organické hmoty přes stáj je navíc spojena s energeticky náročným transportem a aplikací hnoje. V minulosti ztráty spojené se statkovými hnojivy vyrovnávalo pěstování jetelovin pro živočišnou výrobu s vysokou produkcí kořenové hmoty a humifikovatelného uhlíku. V dnešní praxi, kdy jsou krmiva pro živočišnou výrobu pokrývána především kukuřicí k vyrovnání ztrát pravděpodobně nedochází a bilance půdní organické hmoty je tu mnohem napjatější, než při řádném hospodaření bez živočišné výroby. Tento aspekt uhlíkové stopy považujeme za velmi aktuální námět k výzkumnému řešení.

Článek unikl v rámci řešení projektu NAZV č. QL24020280 „Uhlíkové zemědělství a stanovení a úspory emisí skleníkových plynů ze zemědělské výroby“, vychází ze studie vypracované pro VÚZT pro řešení výsledku QK21020121-V1 „Měrné výrobní emise skleníkových plynů z produkce a zpracování zemědělských plodin“ v roce 2023. Celá studie je k dispozici u autorů a ve VÚZT.

Souhrn

Odhad emisí CO₂ v aktuální technologii pěstování cukrové řepy je 1 513 kg·ha⁻¹ CO₂, při započtení ekvivalentu emisí N₂O pak 2 795 kg·ha⁻¹ CO₂. Nejvyšší emise jsou spojeny s hnojením dusíkem, dále potom se sklizní a transportem řepy do cukrovaru a se zpracováním půdy. Potenciál ke snížení emisí je u minerálního hnojení dusíkem, kde se hnojí o cca 50 kg·ha⁻¹ N vyšší dávkou, než jaká je podle výsledků rozsáhlých pokusů optimální. Odhadujeme, že reálné snížení tohoto přehnojování je cca 30 kg·ha⁻¹ N. Další snížení emisí je možno dosáhnout koncentrací pěstování blíže k cukrovarům a u snížení transportní vzdálenosti řepy. Velmi reálné je snížení emisí spojených s herbicidní ochranou technologií Conviso Smart, kde se významně snižuje množství aplikovaných herbicidů i počet herbicidních aplikací. Snížení emisí je možno dosáhnout i ve zpracování půdy částečnou náhradou orby hlubokým kypřením, potenciál této úspory však není velký. Je navržena technologie se sníženými emisemi, u které odhadujeme emise CO₂ na 1 272 kg·ha⁻¹ CO₂ a při započtení ekvivalentu emisí N₂O pak 2 362 kg·ha⁻¹ CO₂. Navržená technologie snižuje celkové emise o 15,5 %. Dále je ve studii diskutována uhlíková stopa cukrové řepy a potenciál jejího zlepšení v organickém hnojení resp. možnost efektivnějšího ukládání uhlíku posklizňových zbytků do stabilní půdní organické hmoty.

Klíčová slova: aaaa.

Literatura

1. ABRHAM, Z. ET AL.: *Technologie a ekonomika plodin – Agrotekis*. On-line expertní systém, VÚZT, 2020, [on-line] <https://www.vuzt.cz/databaze-a-programy/expertni-systemy-on-line/>
2. DĚDINA, M. ET AL.: *Výpočet typických měrných emisí skleníkových plynů z pěstování a zpracování zemědělských surovin pro stanovení hodnoty jejich emisních faktorů*. Certifikovaná metodika, 2023, 65 s., ISBN: 978-80-7569-015-9.
3. ISCC EU 205 Greenhouse Gas Emissions, version 4.0. 2021 ISCC System GmbH. 61 s. [on-line] https://www.iscc-system.org/wp-content/uploads/2022/05/ISCC_EU_205_Greenhouse-Gas-Emissions-v4.0.pdf.

4. DĚDINA, M.; JEVIČ, P.: *Výpočet přímých a nepřímých emisí N₂O z pěstování cukrové řepy v ČR*. VÚZT, Výzkumná zpráva z řešení projektu QK21020121 „Stanovení a bilance měrných emisí skleníkových plynů z pěstování a posklizňové úpravy zemědělských plodin“, 2023.
5. *Prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/996 ze dne 14. června 2022 o pravidlech pro ověřování kritérií udržitelnosti a úspor emisí skleníkových plynů a kritérií nízkého rizika nepřímé změny ve využívání půdy (Text s významem pro EHP)*. [on-line] <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32022R0996>.
6. *Statistika spotřeby hnojiv*. [online] <https://www.czso.cz/csu/czso/13-zemedelstvi-4q92fp9vbc>.
7. *Přehled o prodeji osiva cukrové řepy 2022*. Svaz pěstitelů cukrovky Čech, červen 2023.
8. *Statistika spotřeby POR*. [online] <https://eagri.cz/public/portal/mze/zemedelstvi/roslinna-vyroba/pripravky-na-ochranu-rostlin/agenda-ukzuz>.
9. SUK, M.: *Zpráva o nákladech na pěstování cukrovky pro Tereos TTD, 2020, 2021, 2022*. Řepařský institut, interní materiál.
10. CHALUPNÝ, K.: *Transport řepy do cukrovaru, spotřeba nafty, příměsí v dodávce, vytíženost kamionů, vzdálenost*. Ústní sdělení, říjen 2023.
11. PAVLŮ, K.; CHOCHOLA, J.: *Monitorování zásoby dusíku na řepných polích*. Řepařský institut, 2022, www.semce.cz.
12. CHOCHOLA, J.; PAVLŮ, K.; RADEK, J.: Půdní zásoba dusíku a potřeba hnojení cukrové řepy. *Listy cukrov. řepař.*, 136, 2020 (3), s. 104–110.
13. CHOCHOLA, J.; PAVLŮ, K.: Třicet let monitorování zásoby dusíku na řepných polích. *Listy cukrov. řepař.*, 136, 2020 (2), s. 64–70.
14. *Statistika komodity cukrovka*. [online] <https://eagri.cz/public/portal/mze/zemedelstvi/publikace-a-dokumenty/statistika/cukr>
15. MÜHLBACHOVÁ, G.; RŮŽEK, P.; KUSÁ, H.: Vliv různých technologií zpracování půdy na emise CO₂. *Úroda*, 70, 2022 (věd. př.), s. 377–344.

Chochola J., Jevič P., Dědina M.: Possibilities of Reducing Greenhouse Gas Emissions during Sugar Beet Cultivation

Odhad emisí CO₂ v aktuální technologii pěstování cukrové řepy je 1 513 kg·ha⁻¹ CO₂, při započtení ekvivalentu emisí N₂O pak 2 795 kg·ha⁻¹ CO₂. Nejvyšší emise jsou spojeny s hnojením dusíkem, dále potom se sklizní a transportem řepy do cukrovaru a se zpracováním půdy. Potenciál ke snížení emisí je u minerálního hnojení dusíkem, kde se hnojí o cca 50 kg·ha⁻¹ N vyšší dávkou, než jaká je podle výsledků rozsáhlých pokusů optimální. Odhadujeme, že reálné snížení tohoto přehnojování je cca 30 kg·ha⁻¹ N. Další snížení emisí je možno dosáhnout u koncentrace pěstování blíže k cukrovarům a u snížení transportní vzdálenosti řepy. Velmi reálné je snížení emisí spojených s herbicidní ochranou technologií Conviso Smart, kde se významně snižuje množství aplikovaných herbicidů i počet herbicidních aplikací. Snížení emisí je možno dosáhnout i ve zpracování půdy částečnou náhradou orby hlubokým kypřením, potenciál této úspory však není velký. Je navržena technologie se sníženými emisemi, u které odhadujeme emise CO₂ na 1 272 kg·ha⁻¹ CO₂ a při započtení ekvivalentu emisí N₂O pak 2 362 kg·ha⁻¹ CO₂. Navržená technologie snižuje celkové emise o 15,5 %. Dále je ve studii diskutována uhlíková stopa cukrové řepy a potenciál jejího zlepšení v organickém hnojení resp. možnost efektivnějšího ukládání uhlíku posklizňových zbytků do stabilní půdní organické hmoty.

Klíčová slova:

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Jaromír Chochola, CSc., Řepařský institut, s. r. o., 294 46 Semčice 69, e-mail: chochola@semce.cz