

Vliv podzimního zpracování půdy u cukrové řepy na projevy vodní eroze

EFFECT OF AUTUMN TILLAGE IN SUGAR BEET FIELDS ON WATER EROSION

David Kincl^{1,2}, David Kabelka^{1,3}, Jan Vopravil^{1,2}¹ Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v. v. i., oddělení Pedologie a ochrana půdy² Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra plánování krajiny a sídel³ Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, Katedra agroekosystémů

Cukrová řepa je jednou z nejnáročnějších zemědělských plodin s přísně vyhraněnými požadavky na pěstitelská opatření (1). Základem úspěšného pěstování je úrodná půda s dostatkem živin (2). Mezi další rozhodující faktory patří důkladné zpracování půdy (3). To zpravidla začíná již na podzim, kdy je cílem připravit a urovnat povrch půdy pro jarní předseťovou přípravu (4).

V Evropě patří cukrová řepa mezi důležité zemědělské plodiny (5). Z technologického hlediska pěstování se jedná o širokořádkovou plodinu se standardní meziřádkovou vzdáleností 45 cm (3). To jí umožňuje dosahovat odpovídajících výnosů, zároveň ji však řadí mezi rizikové plodiny z pohledu vodní eroze (6). Jako u většiny plodin je i v případě řepy nejrizikovější období krátce po

seti, kdy není povrch půdy dostatečně chráněn před dopadajícími dešťovými kapkami (7). V případě výskytu přívalových dešťů pak může docházet k erozním událostem (8). V důsledku vodní eroze nastává celá řada problémů jak na zasaženém pozemku, tak i mimo něj (9). V místě působení vodní eroze postupně ubývá svrchní vrstva půdy (10), dochází k vyplavování živin a pozemek se stává méně úrodným (11). Pokud se smytý sediment dostane až do vodních toků, může snižovat průtočný profil (12) či způsobovat nadměrnou eutrofizaci (13), což následně zvyšuje finanční náklady na odstranění způsobených škod (14).

Za základ trvale udržitelného hospodaření jsou dnes považovány půdoochranné technologie (15). Ty jsou většinou založeny na dostatečné pokryvnosti povrchu rostlinnými zbytky či živými rostlinami. Jejich přítomnost následně snižuje rozsah degradačních procesů, mezi které patří i vodní eroze (16). Na toto téma již byla vydána řada publikací (17, 18 atd.), kde je význam půdoochranných technologií z pohledu vodní eroze i dalších aspektů podrobně popsán.

Ne všechny půdoochranné technologické postupy však musí být nutně založeny na vyšší pokryvnosti půdy. Jednou z takových technologií je například podrývání, resp. hloubkové kypření půdy (19, 20). Tato agrotechnická operace umožňuje rozrušení ztuhlých podorníčních vrstev, podporuje infiltraci vody do půdy (21) a je vhodné ji využívat při pěstování cukrové řepy. Hloubkové kypření je proto společně s dalšími dvěma agrotechnickými způsoby přípravy půdy předmětem tohoto článku. Jeho hlavním cílem bylo ověřit, má-li rozdílné podzimní zpracování půdy vliv na rozsah vodní eroze v jarním období krátce po seti cukrové řepy. Kromě smyvu půdy bylo dalším cílem stanovit množství povrchového odtoku.

Materiál a metody

Hodnocení podzimního zpracování půdy u cukrové řepy z hlediska omezení vodní eroze bylo prováděno v okrese Jičín, který jako územně-správní jednotka spadá do Královéhradeckého kraje. Ověřování bylo prováděno pomocí polního simulátoru deště (obr. 1.) vyvinutého ve Výzkumném ústavu monitoringu a ochrany půdy (VÚMOP). Pro účel

Obr. 1. Ukázka z měření simulátorem deště



toto hodnocení byly zakládány jednotlivé experimentální pozemky s požadovaným způsobem zpracování půdy. Pokusy byly prováděny po dobu čtyř let, přičemž pokusné plochy byly orientovány po spádnici, což je nejméně příznivý způsob z hlediska omezení vodní eroze. Konkrétně byly prověřovány tyto varianty:

- **hluboká orba** s hloubkou zpracování 25 cm,
- **hluboké kypření** s hloubkou zpracování 25 cm,
- **mělké kypření** s hloubkou zpracování 13 cm.

Podzimnímu zpracování půdy předcházela aplikace chlěvského hnoje v dávce $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ s následnou podmítkou talířovým podmítačem. V jarním období rovněž u všech variant proběhla předseťová příprava realizovaná kompaktozemem s hloubkou zpracování 3 cm. Do této hloubky se následně i zaseto přesným sečím strojem.

Klimatické a půdní poměry

Měření byla provedena v klimatickém regionu T3, který je charakterizován průměrnou teplotou $8\text{--}9^\circ\text{C}$, sumou teplot nad 10°C v rozmezí $2\,500\text{--}2\,800^\circ\text{C}$, průměrným úhmem srážek $550\text{--}650 \text{ mm}$ a pravděpodobností suchých vegetačních období mezi $10\text{--}20\%$. Přestože se pokusné plochy v jednotlivých letech měnily, sklonitost dosahovala minimálně 6% . Zároveň bylo dbáno, aby se na pokusných plochách nacházel stejný půdní typ – hnědozemě s relativně podobnými půdními parametry. Jako indikátor charakteru půdních podmínek uvádíme jeden z půdních rozborů. Zrnitostní složení odpovídalo půdnímu druhu – hlinitá půda. Podíl jednotlivých frakcí byl $<0,002 \text{ mm}$ – $23,6\%$, $<0,01 \text{ mm}$ – $35,7\%$, $<0,05 \text{ mm}$ – $84,9\%$, $<0,1 \text{ mm}$ – $94,2\%$. Obsah humusu byl $1,98\%$, tedy půda byla slabě humózní, což odpovídá obsahu oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) $1,15\%$. Výměnná půdní reakce pH_{KCl} dosáhla hodnoty $5,7$. Půdní reakce byla tedy mírně kyselá. Rychlost infiltrace po nasycení odpovídala rozmezí $0,1\text{--}0,2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. To znamená, že půda je schopna středně rychle vsakovat vodu i při plném nasycení půdního prostředí.

Postup měření polním simulátorem deště

Princip měření pomocí polního simulátoru deště spočívá v rozstříku vody na přesně definovanou ohraničenou plochu 21 m^2 , kdy se zaznamenává průběh a množství povrchového odtoku. Zároveň se v pravidelných intervalech (3 min) odebírají vzorky odtékající vody, ze kterých se následně laboratorně stanovuje obsah nerozpuštěných látek. Tyto hodnoty se po zpracování doplňují do softwaru simulátoru, který ze zaznamenaného průběhu odtoku vypočte celkovou ztrátu půdy vodní erozí pro řešenou variantu. Schéma ověřování bylo pro každou variantu (pokusnou parcelu) totožné, přičemž první zadeštění probíhalo po dobu 20 minut. Následovala technologická pauza z důvodu sjednocení vlhkostních poměrů a načerpání nové vody. A poté se provedla druhá simulace na již vlhkou půdu, jejíž délka byla stejná jako u prvního zadeštění, tedy rovněž trvala 20 minut. Jednotlivé termíny měření vycházejí z pěstebních období stanovených pro určení faktoru ochranného vlivu vegetačního pokryvu (22):

- první termín zadeštění – v období od přípravy pozemku k setí do jednoho měsíce po zasetí,

- druhý termín zadeštění – v období od druhého měsíce po jarním nebo letním setí,
- třetí termín zadeštění – v období od konce druhého termínu zadeštění do sklizně.

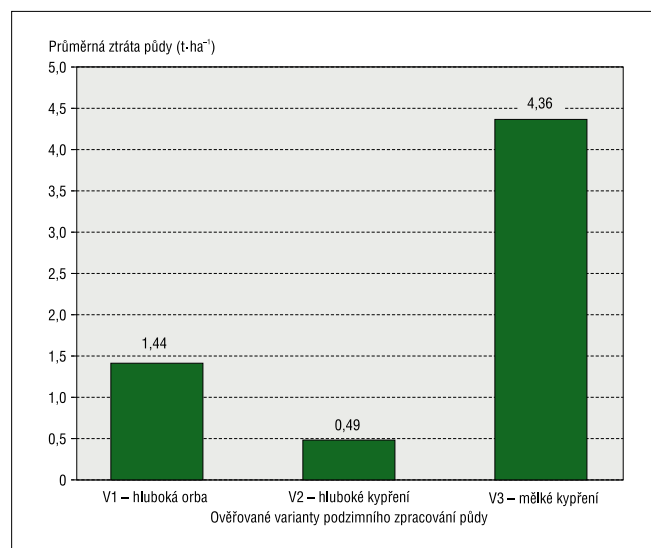
Výsledky

Podzimní příprava půdy pro cukrovou řepu má klíčový význam v prevenci vodní eroze. Jedním z důležitých faktorů je hloubka zpracování půdy, při níž pracovní orgány stroje narušují utuženou vrstvu. Tato vrstva se na půdách vhodných pro pěstování cukrové řepy obvykle nachází v hloubce od 22 cm . I při hlubším zpracování však existují významné rozdíly mezi jednotlivými technologiemi, které ukazují na vyšší účinnost některých postupů. Hloubka zpracování tedy není jediným faktorem, který ovlivňuje míru vodní eroze. Značný vliv má i způsob, pomocí kterého je půda v podzimním období připravena (orba, hluboké nebo mělké kypření). Tuto skutečnost nejlépe potvrzují výsledky měření simulátorem deště, které stanovují průměrnou ztrátu půdy a průměrnou výšku povrchového odtoku.

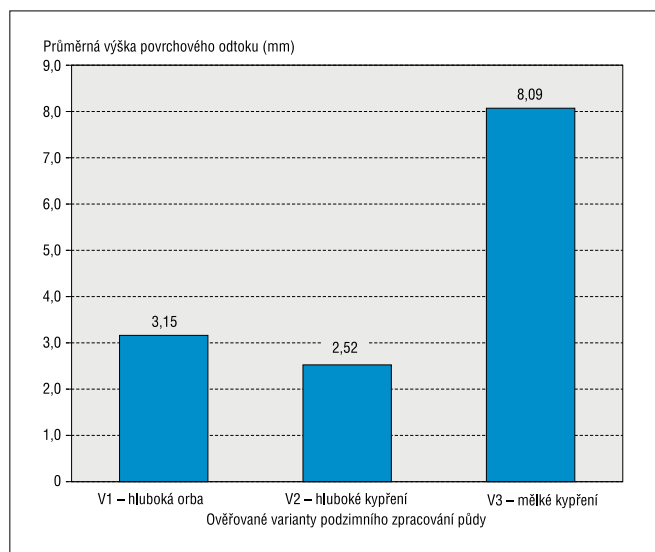
Ztráta půdy

Výsledky ztráty půdy hodnotí míru odlučnosti půdních částic vlivem vodní eroze. Samozřejmě do určité míry je výsledná ztráta půdy v korelaci s množstvím povrchového odtoku, ale rovněž se do výsledku promítají i další faktory. Proto si nejprve představme samotné výsledky ztráty půdy (obr. 2.) a následně přepočtené na jednotku povrchového odtoku. Nejvyšší ztráta půdy byla zaznamenána u varianty mělkého kypření, kde dosáhla hodnoty $4,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tento výsledek přisuzujeme především hloubce zpracování, která byla významně nižší než u zbývajících ověřovaných variant. U hluboké orby dosáhla průměrná ztráta půdy $1,44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Efekt hlubšího zpracování půdy oproti předchozí variantě je zde tedy poměrně zřetelný. Nejnižší ztrátu půdy, pouze $0,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, prokázala varianta hlubokého kypření. Tento výsledek je pravděpodobně dán kvalitnějším zpracováním

Obr. 2. Průměrná ztráta půdy vodní erozí stanovená na podkladě měření simulátorem deště



Obr. 3. Průměrná výška povrchového odtoku u ověřovaných variant podzimního zpracování půdy



a rozrušením utužené vrstvy půdy. Do výsledku se však pozitivně promítají i další faktory jako drsnost povrchu půdy jednotlivých variant, struktura či stabilita půdních agregátů. To je zřetelné, přepočteme-li si výsledky ztráty půdy na jednotku odtoku. U mělkého kypření odpovídá ztráta půdy hodnotě $0,54 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, u hluboké orby $0,46 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ a u hlubokého kypření pouze $0,19 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$. Zatímco se tedy u hluboké orby a mělkého kypření se na jednotku odtoku ztrácely půdní částice podobně, u hlubokého kypření je hodnota méně než poloviční.

Průkaznost výsledků průměrné ztráty půdy byla prověřována pomocí testu One Way ANOVA. Mezi variantami byl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázán rozdíl. Následně byly výsledky prověřovány i Tukey HSD testem, který ověřoval rozdíly mezi jednotlivými variantami. S vysokou pravděpodobností 0,009 byl potvrzen rozdíl mezi variantou hlubokého a mělkého kypření. Pouze o necelá dvě procenta se nepodařilo prokázat rozdíl mezi variantami hluboká orba a mělké kypření, kde výsledné p-value dosáhlo hodnoty 0,057. U výsledků variant hluboké orby a hlubokého kypření p-value dosáhlo hodnoty 0,732. Výsledky obou testů jsou uvedeny v tab. I.

Výška povrchového odtoku

Průměrná výška povrchového odtoku stanovuje množství vody, která povrchově odtékla za daný časový interval, tj. dobu simulace 40 minut. Výška povrchového odtoku je vyjádřena

Tab. I. Výsledky statistických testů u kritéria ztráta půdy

Varianta	Počet měření	Průměrná ztráta půdy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	ANOVA (p-value)	Tukey HSD test (p-value)
V1 – hluboká orba	18	1,44	0,009	V1 vs. V2 = 0,732
V2 – hluboké kypření	17	0,49		V1 vs. V3 = 0,057
V3 – mělké kypření	18	4,36		V2 vs. V3 = 0,009

svislou výškou vodního sloupce rovnoměrně rozloženého na ploše, která se vztahuje k rozměru zadešťované plochy 21 m^2 . Výsledky průměrné výšky povrchového odtoku (obr. 3.) ukazují, jak různé způsoby zpracování půdy ovlivňují množství povrchového odtoku, ale ekvivalentně i to, jak jsou schopny zadržet srážkovou vodu. Shodně jako v případě kritéria ztráty půdy byla nejvyšší hodnota odtoku zjištěna u mělkého kypření, a to 8,09 mm. Tato hodnota byla 2,5–3,2× vyšší než u zbylých dvou způsobů podzimního zpracování půdy. Mělké kypření má výrazný vliv na menší infiltraci vody do půdy, což vede k většímu množství povrchového odtoku. Naopak, hluboká orba s průměrnou hodnotou odtoku 3,15 mm vykazuje lepší schopnost zadržet vodu. Nejnižší hodnotu odtoku vykázala varianta hluboké kypření s hodnotou 2,52 mm, což naznačuje, že tento způsob zpracování nejvíce podporuje infiltraci vody a snižuje povrchový odtok.

Průkaznost výsledků průměrné výšky povrchového odtoku byla opět prověřována dvojicí statistických testů – One Way ANOVA s následnou aplikací Tukeyho HSD testu. One Way ANOVA test na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ prokázal mezi všemi variantami statisticky významný rozdíl. Následný Tukeyho test potvrdil významný rozdíl mezi variantami mělkého kypření a hluboké orby, přičemž p-value zde dosáhlo hodnoty 0,004. S velkou spolehlivostí byl potvrzen statisticky významný rozdíl i mezi mělkým a hlubokým kypřením, kde p-value bylo pouze 0,001. Naopak mezi hlubokou orbou a hlubokým kypřením statistický průkazný rozdíl prokázán nebyl, protože p-value dosáhlo hodnoty 0,904. Výsledky testů potvrzují, že rozdíly mezi variantami mělkého a hlubokého kypření a mezi mělkým kypřením a hlubokou orbou jsou statisticky významné, zatímco rozdíl mezi hlubokou orbou a hlubokým kypřením není potvrzen. Výsledky obou testů jsou uvedeny v tab. II.

Diskuse

Pěstování cukrové řepy představuje výzvu nejen z hlediska dosažení vysokých výnosů a snižování nákladů díky použití vhodných agrotechnických postupů, ale rovněž z pohledu udržitelného hospodaření s půdou a vodou. Tento požadavek zahrnuje ochranu proti vodní erozi i efektivní zadržování vody v půdním profilu.

Vzhledem k těmto požadavkům se v posledních letech stále častěji zkoumají různé technologické postupy, jejichž cílem je zajistit dlouhodobě udržitelné způsoby hospodaření. Klíčovou roli v tomto směru hrají postupy zpracování půdy mající výrazný vliv na míru povrchového odtoku a ztrátu půdy vodní erozí. Jak dokládá tato studie, při celoplošném zpracování půdy je významným faktorem právě hloubka zpracování půdního profilu.

Poměrně odlišné výsledky ovšem publikovali JOHNSON a MOLDENHAUER (23). Jejich experiment porovnával vliv podzimního zpracování pluhem do hloubky 20 cm, podzimního mělkého zpracování dlátovým kypříčem do hloubky 15 cm (varianta podobná našemu mělkému kypření) a variantu jarního povrchového kypření disky. Stejně jako v naší studii byly výsledky odtoku a ztráty půdy stanoveny na základě simulovaných srážek. První simulace srážky trvala 60 min, po 24 h byla aplikována druhá simulace srážky

po dobu 30 min a po 15 min přestávce byla spuštěna i třetí simulace s délkou 30 min. Intenzita simulované srážky byla 6,35 cm za hodinu.

- Při první simulaci byla nejvyšší ztráta půdy zaznamenána u varianty orby pluhem, a to 11,70 t·ha⁻¹·h⁻¹. Výrazně nižší ztráta byla zjištěna u mělkého zpracování dlátovým kypřičem (2,67 t·ha⁻¹·h⁻¹, což představuje snížení o 77 %) a podobně i u povrchového kypření disky (2,69 t·ha⁻¹·h⁻¹).
- Při druhé simulaci na nasycené půdě byla opět nejvyšší ztráta půdy zaznamenána u orby pluhem (21,94 t·ha⁻¹·h⁻¹). Ztráta u varianty povrchového kypření disky však výrazně vzrostla na 17,85 t·ha⁻¹·h⁻¹ (snížení pouze o 19 %). Podzimní mělké zpracování dlátovým kypřičem mělo nejnižší hodnotu ztráty půdy 5,57 t·ha⁻¹·h⁻¹ (snížení o 75 %).
- Ve třetím termínu simulace byly předchozí výsledky pouze potvrzeny. U orby pluhem dosáhla ztráta 22,94 t·ha⁻¹·h⁻¹. U povrchového kypření disky byla ztráta půdy 18,82 t·ha⁻¹·h⁻¹ (snížení o 18 %) a u varianty mělkého dlátového kypření 7,48 t·ha⁻¹·h⁻¹ (snížení o 67 %).

Poměrně velké rozdíly mezi výsledky této studie a námi zjištěnými jsou překvapivé, protože půdní a sklonové podmínky pokusu byly podobné (zrnitost půdy prachovitá hlína, sklon pozemku 5 %). Určitý rozdíl je možno zaznamenat v hloubce zpracování, u orby (o 5 cm) a u mělkého kypření (o 2 cm), ale nedomníváme se, že by měl mít tak výrazný vliv. Dalším rozdílem je, že výsledky v naší studii byly měřeny průběžně během celé vegetační doby cukrové řepy, zatímco studie JOHNSONA A MOLDENHAUERA (23) prováděla měření v krátkém období během konce května a začátku června na půdě bez vegetace. A právě tato skutečnost by mohla být hlavní příčinou rozdílných výsledků. Hnědozemě, na kterých jsme ověřovali, měly během vegetační sezony schopnost se vlivem klimatických poměrů samy přirozeně utužovat. Rozdílný způsob podzimního zpracování pak mohl mít zásadní vliv na strukturu orniční vrstvy. Efekt genetického (přirozeného) utužování popisuje i metodika JAVŮREK A VACH (24) a je obvyklá u těžších typů půd.

Naopak podobné závěry o vlivu hloubky zpracování při pěstování cukrové řepy přinesla studie JABRO ET AL. (25). Ta zkoumala mělké zpracování pomocí diskového kypřiče a středně hluboké zpracování dlátovým kypřičem, přičemž vycházela z rozdílu v nasycené hydraulické vodivosti. Hloubka zpracování však opět nebyla zcela totožná – u diskového kypřiče byla hloubka o 3 cm menší a u dlátového kypřiče o 5 cm nižší. Přesto průměrná hodnota nasycené vodivosti u středně hlubokého zpracování dosáhla 41,5 mm·h⁻¹, zatímco u mělkého zpracování to bylo 30,4 mm·h⁻¹. Varianta hlubšího zpracování tak infiltrovala o 37 % více vody. Autoři tento výsledek přisuzují zejména nižšímu utužení půdy. Dalšími efekty hlubšího zpracování byly mírně vyšší vlhkost půdy a zvýšená pórovitost.

Další porovnání výsledků s jinými studiemi již není přímé, protože kromě hloubky zpracování a použité agrotechniky se do výsledků promítají i rostlinné zbytky. Obecně jejich příznivý vliv na omezení vodní eroze popisují MCCARTHY ET AL. (26), DA SILVA ET AL. (27) a JANEČEK (28). V souvislosti s pěstováním cukrové řepy takovou studii uvádí i SCHOLTZ ET AL. (6). Práce hodnotila čtyři způsoby zpracování půdy, konkrétně konvenční zpracování půdy

Tab. II. Výsledky statistických testů u kritéria výška povrchového odtoku

Varianta	Počet měření	Průměrný povrchový odtok (mm)	ANOVA (p-value)	Tukey HSD test (p-value)
V1 – hluboká orba	18	3,15	0,001	V1 vs. V2 = 0,904
V2 – hluboké kypření	17	2,52		V1 vs. V3 = 0,004
V3 – mělké kypření	18	8,09		V2 vs. V3 = 0,001

s opakovaným použitím pluhu, redukované zpracování s jedno-
rázovým použitím pluhu a výsevem meziplodiny, půdoochranné
zpracování založené na podrývání a výsevu meziplodiny a po-
slední variantou byl no-till, rovněž s podrýváním a výsevem
meziplodiny. U všech variant kromě no-tillové byla provedena
předseťová příprava rotačními branami v jarním období. Nejvyšší
hodnoty ztráty půdy byly zaznamenány u konvenční varianty.
Redukované zpracování mělo ztrátu nižší o 69 % a půdoochranné
o 93 %. Nejlepší výsledek však byl zaznamenán u varianty no-till,
kde byla ztráta půdy snížena o 98 %. Dosažené hodnoty jsou ještě
významnější než u námi hodnocených variant. Tedy kombinace
hlubšího zpracování půdy s dostatečným množstvím rostlinných
zbytků se jeví z hlediska omezení eroze jako nejpříznivější.
Rostlinné zbytky působí jako drobné překážky odtoku vody
po povrchu, omezují přímý kontakt s půdou a zvyšují infiltraci
srážkové vody. Zároveň v dlouhodobém měřítku tato kombinace
také zlepšuje strukturu půdy, která má příznivý dopad na celou
řadu fyzikálních a chemických vlastností půdy.

Určitý kompromis mezi konvenčním zpracováním půdy
a postupy s velkým množstvím rostlinných zbytků na povrchu
nabízí technologie pásového zpracování půdy (strip-till). Ta se
obvykle využívá při protierozním pěstování kukuřice (29),
slunečnice (30) nebo řepky (31). Nicméně, jak popisuje práce
LAUFER ET AL. (32), i tímto postupem lze úspěšně pěstovat
cukrovou řepu s minimálními dopady na půdu. Hodnoceny
byly tři způsoby zpracování půdy: intenzivní orba s hloubkou
20–30 cm, redukované zpracování kultivátorem do hloubky
17–22 cm a pásové zpracování půdy (strip-till) rovněž s hloub-
kou zpracovaných pásů 17–22 cm. Redukované zpracování
bylo provedeno do porostu ozimé meziplodiny hořčice bílé
a pásové zpracování do rostlinných zbytků obiloviny, která se
zde nacházela v roce předchozím. I v tomto pokusu byly nejhorší
výsledky zjištěny u varianty orby. V případě povrchového odtoku
tato varianta dosáhla průměrné hodnoty 7,8 l·m⁻², a u kritéria
ztráty půdy dosáhla 468 g·m⁻². Nepoměrně lepší výsledky byly
zjištěny u varianty redukovaného zpracování s rostlinnými zbytky
na povrchu, kde povrchový odtok dosáhl hodnoty 3,5 l·m⁻²
(snížení o 55 %) a ztráta půdy 70 g·m⁻² (snížení o 85 %). Ještě
lepší hodnoty byly zjištěny u pásového zpracování půdy, kde
povrchový odtok činil pouze 0,6 l·m⁻² (snížení o 92 %) a ztráta
půdy 9 g·m⁻² (snížení o 98 %). Tato práce tedy opět potvrzuje
pozitivní vliv kombinace hlubšího zpracování půdy s rostlinnými
zbytky na povrchu.

Výsledky odtoku a ztráty půdy jsou silně ovlivněny celou
řadou faktorů, které mohou mít různý vliv v závislosti na
konkrétních podmínkách. Kromě hloubky zpracování půdy
a použitých agrotechnických metod hrají významnou roli také
klimatické podmínky, intenzita a distribuce srážek, stav půdní
struktury a vegetační pokrytí. Například v suchých obdobích

může mít i mírné zpracování půdy výrazně odlišné výsledky než v obdobích s vysokými srážkami, kdy je půda více nasycená vodou. Je tedy zřejmé, že každá změna v jedné z těchto proměnných může vést k odlišným výsledkům, což činí vyhodnocování účinnosti agrotechnických opatření složitým. Přesto u většiny studií můžeme pozorovat pozitivní trend vlivu hloubky zpracování ve vztahu k projevům vodní eroze.

Závěr

Pěstování cukrové řepy je zemědělskou činností, která vyžaduje precizní péči o půdní podmínky, zejména vzhledem k riziku vodní eroze, která může vést k ztrátám úrodné půdy a znečištění vodních toků. Tato studie se zaměřila na vliv různých technologií podzimního zpracování půdy na míru vodní eroze ve vegetačním období růstu cukrové řepy.

Nejnižší ztrátu půdy vykazovala varianta hlubokého kypření, která zajišťuje nejlepší podmínky pro infiltraci vody do půdy, čímž se snižuje povrchový odtok. Naopak, mělké kypření mělo největší vliv na zvýšení povrchového odtoku a ztrátu půdy. I u hluboké orby se stejnou hloubkou zpracování jako u hlubokého kypření byly projevy vodní eroze horší. Tento výsledek potvrzuje, že kromě hloubky zpracování hraje roli i struktura půdy a její schopnost absorbovat vodu, což vede k lepší ochraně před vodní erozí.

Výsledky této studie potvrzují, že správně zvolené technologické postupy mohou významně přispět k udržitelnému hospodaření, zlepšení zadržování vody v půdě a ochraně proti vodní erozi. Důraz na hluboké kypření a podobné půdoochranné technologie může vést k minimalizaci negativních dopadů eroze, což je klíčové pro dlouhodobou produktivitu půdy a ochranu životního prostředí.

Článek byl zpracován v rámci Institucionální podpory MZE RO0223 a z výsledků řešení projektu TAČR SS07020469 a NAZV QL25020027.

Souhrn

Príspevek je zaměřen na ověření vlivu podzimního zpracování půdy z hlediska omezení vodní eroze v porostech cukrové řepy. Celkově byly z hlediska vlivu na ztrátu půdy a množství povrchového odtoku hodnoceny 3 varianty: hluboká orba, mělké a hluboké kypření. Tato dvě kritéria byla po dobu 4 let měřena polním simulátorem deště, který se již standardně v České republice používá pro stanovení protierozního účinku plodin a jednotlivých půdoochranných technologií. Jednoznačně nejhorší výsledky byly zaznamenány u mělkého kypření. Tato varianta vykazovala vysokou hodnotu ztráty půdy $4,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a výšku povrchového odtoku $8,09 \text{ mm}$. Nepoměrně lepší výsledky byly zjištěny u hluboké orby, kde průměrná ztráta půdy dosáhla $1,44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a povrchový odtok $3,15 \text{ mm}$. Použitý statistický test ovšem potvrdil průkaznost rozdílu mezi mělkým kypřením a hlubokou orbou pouze v případě výšky odtoku (ztráta půdy p-value $0,057$, výška povrchového odtoku p-value $0,004$). Nejlepší výsledky byly zaznamenány u hlubokého kypření, kde ztráta půdy dosáhla pouze $0,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a výška povrchového odtoku $2,52 \text{ mm}$. Statistické zpracování dat jednoznačně prokázalo rozdíl mezi mělkým a hlubokým kypřením u obou sledovaných kritérií (ztráta půdy p-value $0,009$, výška povrchového odtoku p-value $0,001$). Mezi variantami hlubokého kypření a orby se rozdíl nepodařilo zjistit (ztráta půdy p-value $0,732$, výška povrchového odtoku p-value $0,904$). Z výsledků plyne, že hloubka zpracování má vliv na projevy eroze. Přestože statistický test neprokázal průkazný vliv hlubokého kypření oproti hluboké orbě, dosažené průměrné hodnoty odtoku a ztráty půdy naznačují, že tato varianta by při stejné hloubce zpracování mohla být optimálnější z hlediska omezení vodní eroze.

Klíčová slova: vodní eroze, zpracování půdy, cukrová řepa, povrchový odtok, ztráta půdy.

Obr. 4. Podzimní hluboké kypření může přispět k lepšímu zadržování vody v půdě a ochraně proti vodní erozi



Literatura

1. PULKRÁBEK, J. ET AL.: *Začlenění podzimního hlubokého kypření půdy a kypření za vegetace do půdoochranné technologie pěstování cukrové řepy: certifikovaná metodika*. Praha: ČZU, 2015, 42 s.
2. HERGERT, G. W.: Sugar beet fertilization. *Sugar Tech*, 12, 2010, s. 256–266.
3. BRAR, N. S. ET AL.: Agronomy of sugarbeet cultivation - A review. *Agricultural Reviews*, 36(3), 2015, s. 184–197.
4. HOFFMANN, C. M.; KOCH, H. J.; MÄRLÄNDER, B.: Sugar beet. In *Crop physiology case histories for major crops*. Academic Press: London, 2020, s. 634–672.
5. DRAYCOTT, A. P.: *Sugar beet*. Carlton: Blackwell Publishing Ltd, (2006), 465 s.
6. SCHOLZ, G.; QUINTON, J. N.; STRAUSS, P.: Soil erosion from sugar beet in Central Europe in response to climate change induced seasonal precipitation variations. *Catena*, 72, 2008 (1), s. 91–105.
7. ZUAZO, V. H. D.; PIEGUEZUELO, C. R. R.: Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review. *Sustainable agriculture*, 2009, s. 785–811.
8. NEARING, M. A. ET AL.: Rainfall erosivity: An historical review. *Catena*, 157, 2017, s. 357–362.
9. LI, Z.; FANG, H.: Impacts of climate change on water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 163, 2016, s. 94–117.
10. HALECKI, W.; KRUK, E.; RYCZEK, M.: Loss of topsoil and soil erosion by water in agricultural areas: A multi-criteria approach for various land use scenarios in the Western Carpathians using a SWAT model. *Land use policy*, 73, 2018, s. 363–372.
11. MEENA, N. K. ET AL.: Nutrient losses in soil due to erosion. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 2017 (6s), s. 1009–1011.
12. MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J.: A review of erosion and sediment transport models. *Environmental modelling & software*, 18, 2003 (8–9), s. 761–799.
13. KHAN, M. N.; MOHAMMAD, F.: Eutrophication: challenges and solutions. In *Eutrophication: Causes, Consequences and Control: Volume 2*, Springer: Dordrecht, 2014, s. 1–15.
14. ISSAKA, S.; ASHRAF, M. A.: Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1, 2017 (1), s. 1–11.
15. CASTELLINI, M. ET AL.: Sustainable agriculture and soil conservation. *Applied Sciences*, 11, 2021 (9), 4146.
16. PROCHÁZKOVÁ, E. ET AL.: The impact of the conservation tillage “maize into grass cover” on reducing the soil loss due to erosion. *Soil & Water Research*, 15, 2020 (3), s. 1–8.
17. RANAIVOSON, L. ET AL.: Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37, 2017, s. 1–17.
18. KINCL, D.; ET AL.: Estimating the curve number for conventional and soil conservation technologies using a rainfall simulator. *Soil & Water Research*, 16, 2021 (2), 1–8.
19. CAVALARIS, C. K.; GEMTOS, T. A.: Evaluation of four conservation tillage methods in the sugar beet crop. *Journal of Scientific Research and Development*, 4, 2002, s. 1–24.
20. MORGAN, R. P. C.: *Soil erosion and conservation*. Carlton: Blackwell Publishing, 2009, 299 s.
21. AMANULLAH, M. M.; SRIKANTH, M.; MUTHUKRISHNAN, P.: Soil compaction and deep tillage – A REVIEW. *Agricultural Reviews*, 31, 2010 (2), s. 105–112.
22. JANEČEK M. ET AL.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha, Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012, 117 s.
23. JOHNSON, C. B.; MOLDENHAUER, W. C.: Effect of chisel versus moldboard plowing on soil erosion by water. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 1979 (1), s. 177–179.
24. JAVŮREK, M.; VACH, M.: *Negativní vlivy zhuštění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Praha: VÚRV, 2008, 26 s.
25. JABRO, J. D. ET AL.: Tillage depth effects on soil physical properties, sugarbeet yield, and sugarbeet quality. *Communications in soil science and plant analysis*, 41, 2010 (7), s. 908–916.
26. MCCARTHY, J. R.; PFOST, D. L.; WOLLENHAUPT, N. C.: *Conservation tillage and residue management to reduce soil erosion*. Missouri: University of Missouri and Lincoln University, 1988, s. 6.
27. DA SILVA, A. P. ET AL.: Evaluation of soil and water loss under different soil covers. *Revista Engenbaria Na Agricultura – REVENG*, 31, 2023, s. 85–97.
28. JANEČEK, M.: *Základy erodologie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008, s. 164.
29. HEROUT, M. ET AL.: Impacts of technology and the width of rows on water infiltration and soil loss in the early development of maize on sloping lands. *Plant, Soil & Environment*, 64, 2018 (10), s. 498–503.
30. CELIK, A.; ALTIKAT, S.; WAY, T. R.: Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. *Soil and Tillage Research*, 131, 2013, s. 20–27.
31. JASKULSKA, I. ET AL.: Strip-till technology-a method for uniformity in the emergence and plant growth of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) in different environmental conditions of Northern Poland. *Italian Journal of Agronomy*, 13:981, 2018, s. 194–199.
32. LAUFER, D. ET AL.: Soil erosion and surface runoff under strip tillage for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Central Europe. *Soil and Tillage Research*, 162, 2016, s. 1–7.

Kincl D., Kabelka D., Vopravil J.: Effect of Autumn Tillage in Sugar Beet Fields on Water Erosion

This paper aims at verifying the effect of autumn tillage in terms of reducing water erosion in sugar beet crops. The following 3 options were evaluated in terms of their effect on soil loss and the amount of surface runoff; they were deep ploughing, shallow loosening and deep loosening. The two criteria above were measured over the period of 4 years using a field rain simulator, which has been commonly used in the Czech Republic to determine the anti-erosion effect of crops and individual soil conservation technologies. The worst results were recorded for shallow loosening. This method showed a high soil loss value of 4.36 t·ha⁻¹ and a surface runoff height of 8.09 mm. Comparatively better results were recorded in deep ploughing, with the average soil loss 1.44 t·ha⁻¹ and surface runoff 3.15 mm. However, the statistical test used confirmed the significance of the difference between shallow loosening and deep ploughing only in the case of runoff height (soil loss p-value 0.057, surface runoff p-value 0.004). The best results were recorded for deep loosening, where the soil loss was only 0.49 t·ha⁻¹ and the height of surface runoff was 2.52 mm. Statistical processing of the data clearly showed a difference between shallow and deep loosening for both criteria studied (soil loss p-value 0.009, height of surface runoff p-value 0.001). No difference was found between deep loosening and deep ploughing (soil loss p-value 0.732, height of surface runoff p-value 0.904). The results show that the depth of cultivation has an effect on erosion symptoms. Although the statistical test did not show a conclusive effect of deep loosening compared to deep ploughing, the average values obtained for runoff and soil loss suggest that this method could be more optimal in terms of reducing water erosion at the same depth of cultivation.

Key words: water erosion, tillage, sugar beet, surface runoff, soil loss.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. David Kincl, Ph. D., Výzkumný ústav monitoringu a ochrany půdy, v. v. i., oddělení Pedologie a ochrana půdy, Žabovřeská 250, 156 00 Praha 5 – Zbraslav, Česká republika, e-mail: kincl.david@vumop.cz