

stresses. *Physiological ecology series*. Academic Press, Michigan, 607 s.

- ~~Newton, A. C., Swanston, J. S. (1999): Cereal variety mixtures reduce inputs and improve yield and quality why isn't everybody growing them?. Scottish Crop Research Institute, 55.~~
- ~~van Ginkel, M., Calhoun, D. S., Gebeyehu, G., Miranda, A., Tian-you, C., Pargas Lara, R., Trethowan, R.M., Sayre, K., Crossa, J., Rajaram, S. (1998): Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. *Euphytica*, 100, 109–121.~~
- ~~Waines, J. G., Ehdai, B. (2007): Domestication and Crop Physiology: Roots of Green Revolution Wheat. *Annals of Botany*, 100, 991–998.~~
- ~~Wasson, A. P., Richards, R. A., Chatrath, R., Misra, S. C., Prasad, S. V. S., Rebetzke, G. J., Kirkegaard, J.A., Christopher, J., Watt, M. (2012): Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water limited wheat crops. *Journal of Experimental Botany*, 63, 3485–3498.~~
- ~~Wolfe, M. S. (2000): Crop strength through diversity. *Nature*, 406, 681–682.~~

6. 3. Adaptace v oblasti agrotechniky

V oblastech ohrožených suchem je nutné věnovat větší pozornost péči o půdu a její schopnosti zadržet vodu ze srážek a efektivně s ní hospodařit při omezení ztrát neproduktivním výparem, povrchovým odtokem, erozí apod. Zranitelnost těchto oblastí je dána kombinací půdně-klimatických podmínek stanoviště a mikroklimatických a půdních podmínek konkrétního pozemku nebo i jeho částí, druhu pěstované plodiny a odrůdy a uplatněných agrotechnických opatření. Při řešení problémů s nedostatkem vody při pěstování polních plodin je nutné nejprve využít dostupné metody a postupy (výběr vhodných plodin, odrůd, správná struktura porostu, omezené zpracování půdy, organické hnojení, setí do mulče apod.) a teprve při vyčerpání těchto možností přistoupit k náročnějším opatřením jako vybudování závlah, změny ve využití krajiny apod. K lepšímu zadržení vody by mělo přispět také rozdělení velkých honů na menší nebo střídání pásů různých plodin, ale toto opatření nelze provádět paušálně, protože na většině půd dochází k největšímu utužení a poškození půdní struktury při otáčení a rozjíždění techniky a u menších pozemků může být podíl takto poškozených půd při používání současné techniky větší.

Pro lepší zadržení vody ze srážek v půdě a omezení vodní eroze jsou stále více používány půdoochranné technologie zpracování půdy. Některé z těchto postupů

(např. podryvání) mají jen dočasný účinek a účelem tohoto opatření je přes značné energetické náklady napravit často zanedbanou předcházející péči o půdu (nedostatečné organické hnojení, absence vápnění, utužení půdy po přejezdu těžké techniky, drcení a drobení půdy pracovními nástroji, nevyvážené oseední postupy bez víceletých pícnin apod.). Beze změny přístupu k přejezdům a práci těžké techniky na poli, pravidelného organického hnojení kvalitními hnojivy s širším poměrem C : N, vápnění, rozšíření pěstování víceletých pícnin a meziplodin s rozvinutým kořenovým systémem a dalších obdobných opatření nedojde ke zlepšení současného stavu půd a jejich schopnosti zadržet vodu ze srážek. Velmi rozšířenou příčinou omezeného vsakování vody do půdy je poškození její povrchové struktury a nízká stabilita půdních agregátů. Po srážkách dochází k jejich rozplavení a následnému vytváření krusty na povrchu, která zabraňuje infiltraci vody do půdy, zhoršuje provzdušnění půdy a vzcházení rostlin. Bez zlepšení povrchové struktury těchto půd nemohou být účinné ani doporučené půdoochranné technologie (DZES). Základním opatřením pro zlepšení stavu těchto půd je pravidelné vápnění a zvýšení obsahu C_{org} v půdě organickým hnojením, pěstováním meziplodin a pokud možno také pícnin.

6. 3. 1. Vhodné plodiny a meziplodiny pro efektivní využití půdní vláhy

Vzhledem ke skutečnosti, že v současné době jsou zejména z ekonomických důvodů stále více uplatňovány oseední sledy tržních plodin než pravidelné oseední postupy, zařazují se v sušších oblastech plodiny, které se lépe přizpůsobí suchému a teplému počasí. S nepříznivými vláhovými podmínkami se zpravidla lépe vypořádají ozimé plodiny než jarní (např. rok 2015), ale ve většině let má rozhodující vliv na dosažené výnosy a kvalitu produkce rozložení srážek během vegetačního období. Menší tolerance jarních plodin k suchu vyplývá také z častých agrotechnických chyb, jejichž důsledkem jsou nevyrovnané porosty s mělkým kořenovým systémem v důsledku utužení nevyzrálé půdy po přejezdech techniky, aplikace vyšších dávek živin do horní vrstvy půdy nebo pod osivo (zejména u kukuřice), nedostatku vzduchu v půdě při zhoršení její povrchové struktury (nedostatečné vápnění, organické hnojení, aplikace hnojiv s jednomocnými kationy na povrch půdy atd.). Tolerantnější k suchu jsou také plodiny a odrůdy, které dokáží v průběhu vegetace lépe korigovat výpadky jednotlivých výnosotvorných prvků (např. obilniny a kompenzační typy odrůd). Nedávná studie *Kahiluoto et al. (2019)* ukázala na potřebu volit spektrum několika odolných odrůd, tak aby vždy alespoň část pěstovaných ploch byla schopná odolat epizodám nepříznivých klimatických podmínek.

Zastoupení plodin v oseedních sledech a postupech určuje mimo jiné vyčerpání a potřebu vody pro obnovení půdní zásoby na podzim a v průběhu zimy. Na půdách

s dostatečnou vodní kapacitou (většina našich půd) je potřeba zvažovat spotřebu vody předplodinou nebo meziplodinou a potřebu vody pro následnou plodinu. Především druhy, které mají vysokou spotřebu vody i v pozdním létě a počátkem podzimu (cukrovka, jeteloviny, kukuřice, čirok, travní porost, přezimující nebo později vymrzající meziplodina) vyčerpávají zásobu vody i z hlubokých vrstev půdy, jejíž doplnění je zvláště v posledních letech s teplými a suchými zimami nedostatečné. Naopak například pod porostem ozimé řepky se v důsledku časného opadu listů a omezeného čerpání vody z půdy začíná obnovovat zásoba vody v půdě již v průběhu zrání, zatímco např. pod ozimou pšenicí je vyčerpání vody hlubší a zdravý porost odčerpává vodu i v období dozrávání. V suchých oblastech by přednostně měly být pěstovány plodiny s efektivním využitím vody, s co nejnižší hodnotou transpiračního koeficientu. K těmto plodinám patří druhy s C4 metabolismem, z nichž v našich podmínkách se kromě kukuřice v posledních letech zvyšuje zájem o pěstování čiroku, béru vlašského a prosa. Například čirok, který má o 1/4 až 1/3 nižší potřebu vody na produkci 1 kg sušiny v průběhu vegetace než kukuřice, je v posledních letech stále více využíván také jako meziplodina po časné sklizni některých plodin (brambory, zelenina apod.). Při nižších nárocích na vodu vytváří během krátké doby růstu velké množství biomasy s příznivým poměrem C : N a některé odrůdy mají po zapravení do půdy účinky proti hádátkům (Obr. 122).



Obr. 122 Mulčování čiroku po raných bramborách před zapravením do půdy

Příznivý vliv zařazení meziplodin v suchých oblastech závisí především na půdně-klimatických podmínkách konkrétního stanoviště, správném posouzení vodní bilance pro pěstované plodiny a na ekonomických, organizačních a technických možnostech zemědělského podniku. Hlavním přínosem meziplodin je vytvoření rostlinného pokryvu na povrchu půdy, který zabraňuje zhoršení její

povrchové struktury rozplavením agregátů po větších srážkách, omezuje vodní erozi, zvyšuje zadržení srážkové vody a omezuje výraznější prohřívání půdy v letním období spojené často s intenzivnější mineralizací organických látek a většími emisemi CO₂ z půdy. Většina meziplodin zvyšuje diversitu organismů v půdě a je zdrojem organických látek, což může mít pozitivní vliv na udržení nebo zvyšování obsahu uhlíku v půdě, a to zejména při jejich zapravení do půdy v pozdějších fázích růstu, kdy se v rostlinách zvyšuje poměr C : N (optimálně vyšší než 20 : 1). Proto se doporučuje setí směsí různých meziplodin, které se vzájemně doplňují v požadovaných vlastnostech např. nižší poměr C : N u luskovin kompenzuje zařazení obilniny, meziplodiny s pomalým počátečním růstem v kombinaci s rostlinami rychle zakrývajícími povrch půdy, meziplodiny s nízkou odolností k mrazu (pohanka) s odolnějšími plodinami apod.

Meziplodiny sejeme nejlépe okamžitě po sklizni plodiny do nezpracované půdy bezorebným secím strojem nebo do prováděné mělké podmytky v kombinaci s půdními pěchy při ponechání většiny posklizňových zbytků na povrchu půdy. I když se při zakládání porostů meziplodin uplatňují minimalizační technologie omezující ztráty půdní vláhy, dochází v suchých letech k odčerpání zásoby vody z půdy, což se může projevit poklesem výnosů následných plodin. V posledních letech vznikají v sušších oblastech největší problémy u nevymrzajících meziplodin nebo po sušších a teplých zimách bez trvalejší sněhové pokrývky, kterých má s předpokládanými změnami klimatu v budoucnu přibývat.

Doporučení vhodných polních plodin do oblastí ohrožených suchem – shrnutí

- Plodiny a odrůdy, které dokáží v průběhu vegetace lépe korigovat výpadky jednotlivých výnosotvorných prvků (např. kompenzační typy odrůd u obilnin).
- Větší uplatnění dosud málo pěstovaných plodin s nižší potřebou vody na produkci 1 kg sušiny (např. čirok, bér, proso, obecně C4 rostliny).
- Výběr druhů a odrůd polních plodin s vyšší tolerancí k suchu a dobrým zdravotním stavem, které je možné pěstovat při nižší intenzitě vstupů (např. žito, triticales, pohanka).
- Větší zaměření na zdravotní stav orgánů rostlin zabezpečujících transport vody (kořeny, paty stébel apod.).
- Snížením běžně používaných výsevků a přesným setím dosáhnout optimální struktury porostu se silnými rostlinami odolnějšími k suchu.
- Větší pozornost věnovat provenienci osiva, energii klí-

čení, hloubce setí a stanovení výsevku ve vztahu k termínu setí a cílené struktuře porostu.

- Setí směsí odrůd, popř. druhů polních plodin (intercropping) pro zvýšení stability výnosů a diversity produkce.
- Pěstování plodin s nižšími výnosy a nižší potřebou vody (např. některé minoritní plodiny, plodiny pěstované v ekologickém systému hospodaření s vyšší přidanou hodnotou produkce).
- Zakládání porostů pestrých směsí meziplodin přímým setím bezprostředně po sklizni plodin.

6. 3. 2. Inovace postupů ve zpracování půdy

Průběh počasí v roce 2018 a 2019 odhalil některé problémy v agrotechnických postupech, které bude třeba při obdobných povětrnostních podmínkách v příštích letech změnit. Rozhodující bude, jak dokážeme udržet a postupně zlepšovat kvalitu půdy a její schopnost zadržet vodu ze srážek a efektivně s ní hospodařit. Zpracování půdy bude muset být šetrnější než nyní a každý přejezd techniky posuzován z hlediska možného poškození půdní struktury, ztráty vody a rozkladu organických látek v půdě. Při intenzivním zpracování půdy a její kypření spojeném s podporou mineralizace organických látek v půdě je nutné vzhledem k vyrovnané bilanci zvýšit návratnost organických látek zpět do půdy organickým hnojením. Půda by měla být co nejdéle dobu během roku zakryta rostlinami nebo rostlinnými zbytky, které snižují riziko vodní a větrné eroze, omezují výpar a prohřívání půdy v letních měsících. Větší uplatnění než nyní budou mít konzervační postupy při zpracování půdy s přímým setím do mulče (no-till) nebo pásů zpracované půdy (strip-till). V této souvislosti je problémem diskutovaný zákaz používání glyfosátů, který povede k mechanické likvidaci plevelů s větším uplatněním orby a kypření půdy, což může způsobit větší emise CO₂ a postupný pokles obsahu organického uhlíku v půdě.

Čím více půdu kypříme, provzdušňujeme a rozrušujeme půdní agregáty, tím více podporujeme mineralizační procesy v půdě a uvolňování živin z půdní zásoby pro výživu rostlin. Proto například po orbě nebo hlubokém kypření se pro rostliny zpřístupňuje více živin než při mělkém zpracování půdy, po kterém by se mělo mimo jiné např. u řepky dříve sít a věnovat větší pozornost hnojení rostlin než po orbě. Řepka i další polní plodiny po intenzivním kypření půdy při dostatku srážek většinou lépe rostou a rostliny přijímají více živin z půdy než po redukováném (minimálním) zpracování půdy. V této souvislosti si často neuvědomujeme, že je to také na úkor rozkladu organických látek v půdě, kterých bychom měli s rostoucí intenzitou zpracování vracet do půdy více ve statkových a organických hnojivech s širším poměrem C : N (slamnatý hnůj,

kompost, separát, sláma, zelené hnojení). Na rozdíl od těchto hnojiv může organické hnojení hnojivy s úzkým poměrem C : N (např. digestát, kejda, kaly z ČOV) a minerálními dusíkatými hnojivy přispívat k rozkladu organických látek v půdě. V teplém počasí a po provzdušnění půdy podmínkou se dusík z hnojiv rychle přeměňuje na nitráty, které jsou po srážkách (zejména v bouřkách) vyplavovány do spodních vrstev půdy a mohou se následně podílet na znečištění vod.

Zpracování půdy po sklizni polních plodin

Po sklizni plodiny se doporučuje co nejdříve provést podmínku a vytvořit vhodné podmínky pro vzcházení výdrolu a plevelů. Jestliže je následnou plodinou řepka, je třeba vzcházení výdrolu podpořit přikulením nebo použitím půdních pěchů při provádění podmínky. Po horkém létě 2018, kdy teplota v proschlé povrchové vrstvě půdy dosahovala 50 °C a při jejím zpracování docházelo k destrukci půdních agregátů a tvorbě prachových částic (Obr. 123) se začaly více uplatňovat postupy, které využívají slámu a posklizňové zbytky na povrchu půdy k omezení ztráty vody a nadměrnému prohřívání půdy v letním období. Například mulčování místo podmínky se v posledních letech úspěšně používá po sklizni řepky a podporuje vzcházení výdrolu více než klasická podmínka (Obr. 124). Přitom se omezuje ztráta vody z půdy a mineralizace půdní organické hmoty.



Obr. 123 Příprava půdy před setím řepky během suchého a horkého léta 2018



Obr. 124 Výdrol řepky po podmítce (vlevo) a mulčování (vpravo)



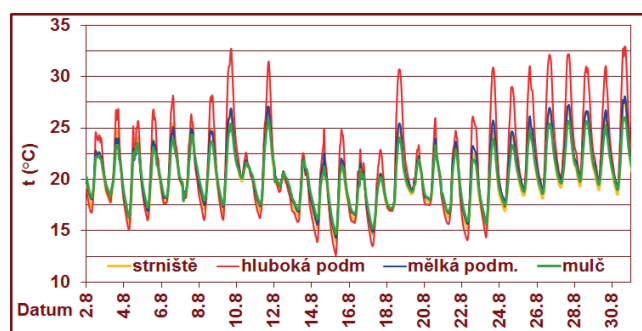
Obr. 125 Vzcházení výdrolu pšenice po různé hloubce podmítky (vlevo 12 cm, vpravo 6 cm)



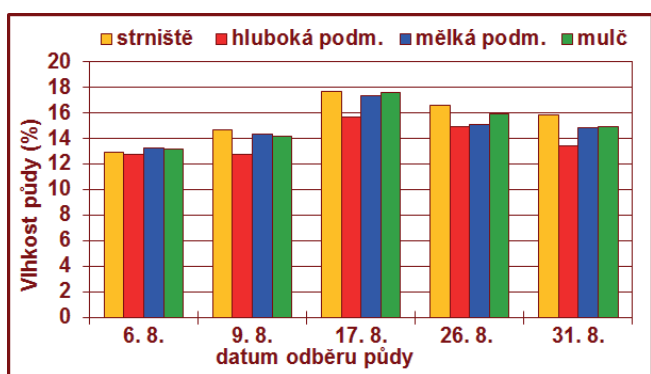
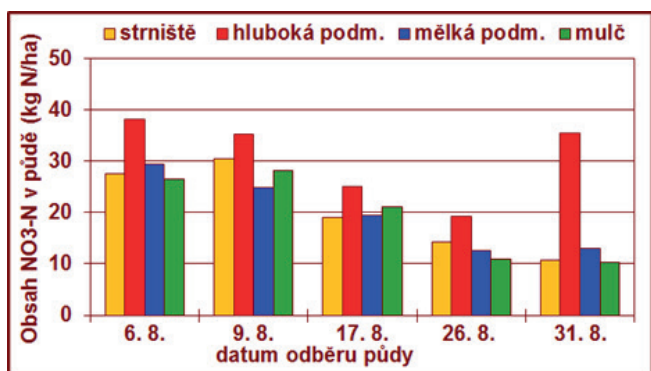
Obr. 126 Vzcházení výdrolu pšenice po mulčování (vlevo) a při ponechání strniště (vpravo)

Také po sklizni obilnin a dalších plodin v červenci a v srpnu se doporučuje mělká podmítka radličkami, disky nebo mulčovacími branami, které zlepšují vyrovnanost posklizňových zbytků na povrchu půdy. Na Obr. 125 a Obr. 126 je porovnáno vzcházení výdrolu po ozimé pšenici 3 týdny po hluboké

(10–12 cm) a mělké (5–6 cm) podmítce, mulčování a při ponechání vyššího strniště (10 cm). Sláma byla drcena při sklizni drtičem na kombajnu. Na Obr. 127 a Obr. 128 je zachycen vliv hloubky podmítky a mulčování (1. 8. 2019, Ruzyně) po sklizni pšenice na teplotu půdy (v hloubce 5 cm), její vlhkost a obsah nitrátového dusíku (v půdní vrstvě 0–20 cm). Nejvyšší denní teploty půdy byly zjištěny po hlubší podmítce s menším množstvím posklizňových zbytků na povrchu, které byly v horkých dnech vyšší až o 5 °C než u mělké podmítky, až o 7 °C než u mulče, resp. o 6 °C u strniště. Posklizňové zbytky na povrchu půdy nebo vyšší strniště omezují v teplém letním období nadměrné prohřívání půdy, ztrátu půdní vláhy a mineralizaci organických látek související s vyššími emisemi CO₂ a tvorbou nitrátů v půdě. U mělké podmítky a mulče mohla být u pozdějších odběrů půdy její vlhkost nižší v důsledku odběru vody výdrolou, který vzházal podstatně lépe než u hlubší podmítky a ponechaného strniště. U strniště nebyl zjištěn rozdíl v půdní vlhkosti pod řádkem a mezi řádky. Ponechané strniště ve srovnání s podmítkou a mulčem nejvíce omezovalo ztráty vody z půdy v horkých slunečních a větrných dnech. Nebyl zjištěn nepříznivý vliv ponechaného strniště na větší ztrátu vody z půdy, která může nastat zejména u tzv. „živého strniště“ s částí plně nevyzrálých stébel, která se při ohybu snadno nelámou, což nastává zejména při rychlém dozrávání klasů v důsledku sucha a po aplikaci klasových fungicidů, stimulátorů růstu a hnojiv způsobujících „green efekt“. Srpen v roce 2019 byl na rozdíl od roku 2018 chladnější a vlhčí (55 mm srážek), a tak ztráta vody z půdy po hluboké podmítce, orbě nebo hlubokém kypření dláty nebyla většinou limitujícím faktorem například pro vzcházení zaseté řepky nebo meziplodin jako v roce 2018. Hlubší zpracování půdy a zapravení posklizňových zbytků bylo uplatňováno také při větším výskytu hraboše polního.



Obr. 127 Teplota půdy v hloubce 5 cm pod strništěm, mulčem a po podmítce

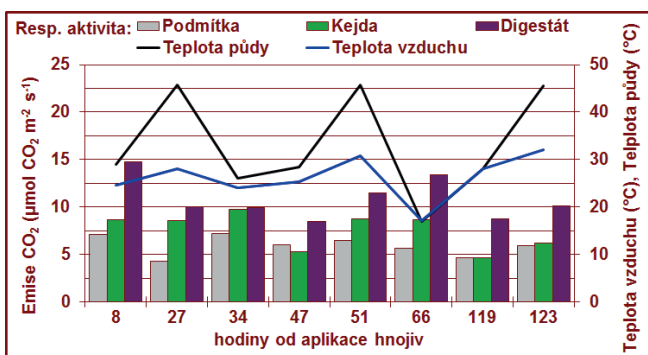


Obr. 128 Vlhkost půdy (0–20 cm) a obsah nitrátů v půdě (0–20 cm) pod strništěm, mulčem a po podmítce

Před zapravením slámy do půdy po sklizni obilnin podmítka se dosud doporučuje aplikovat na slámu vyrovnávací dávku dusíku pro zlepšení jejího rozkladu. Při absenci srážek v sušších oblastech je však toto opatření málo účinné a naopak může podpořit rozklad organických látek v půdě v letním období, emise CO₂ z půdy, tvorbu nitrátového dusíku a zvýšit riziko znečištění vod v následujícím období. V našich pokusech jsme v sušších letech 2017 a 2018 zjistili jen zanedbatelný vliv aplikace N-hnojiv na zvýšení rozkladu slámy ve srovnání s nehnojenou variantou (zvýšení do 10 %). To potvrdily také výsledky získané v zemědělských podnicích, kde jsme v průběhu podzimu 2018 nacházeli v půdě většinou jen slabě rozloženou slámu. Důvodem malých rozdílů v rozkladu slámy s aplikací N a bez hnojení je uvolňování dusíku z organických látek v půdě mineralizací po podmítce i bez hnojení N a pozdější začátek rozkladu slámy zapravené do půdy (zejména po použití účinnějších fungicidů do klasu), kdy už je většina dusíku z aplikovaných hnojiv ve formě nitrátů, které mohou být po srážkách vyplaveny z horní půdní vrstvy se zapravenou slámou.

V předcházejících letech jsme zjistili lepší rozklad slámy po aplikaci kapalných hnojiv ve srovnání s tuhými a příznivě se projevilo také použití inhibitoru nitrifikace, ale i tak byl přínos aplikovaných hnojiv nízký. Vzhledem k tomu, že se sláma v půdě při nedostatečné půdní vlhkosti pomalu rozkládá, část slámy zůstává nerozložená do jarní-

ho období a její rozklad pak spotřebovává dusík a vodu z půdy, což se může nepříznivě projevit ve výživě a růstu rostlin. Na Obr. 129 jsou znázorněny emise CO₂ z půdy po podmítce se zapravením slámy (srpen 2018, Ruzyně) ve srovnání s podmítka po aplikaci kejdy a digestátu na slámu. Z výsledků vyplývá, že aplikace digestátu a kejdy na slámu a její následné zapravení do půdy podmítka zvyšuje emise CO₂ z půdy, což se může při dlouhodobém používání zejména digestátu projevit postupným snižováním obsahu C_{org.} v půdě a zhoršováním půdní struktury.

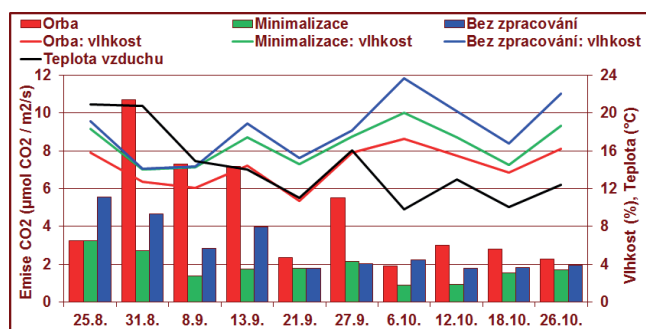


Obr. 129 Emise CO₂ z půdy po podmítce a po aplikaci kejdy a digestátu na slámu (Ruzyně 2018)

Vliv zpracování půdy na sekvestraci uhlíku

Postupný nárůst teplot spojený se změnami klimatu může mimo jiné ovlivnit uhlíkový cyklus v půdách zvýšenou respirační aktivitou půdních mikroorganismů a následně intenzivnější mineralizací půdní organické hmoty. Stabilizace, popř. zvyšování obsahu organického uhlíku v zemědělských půdách proto hraje podstatnou úlohu jak pro samotnou úrodnost půdy, tak v globálním měřítku pro zmírnění klimatických změn. Čím více a hlouběji půdu kypříme a provzdušňujeme při vhodných podmínkách pro průběh mineralizačních procesů, tím více musíme dbát na hnojení statkovými a organickými hnojivy, pěstování pícnin a meziplodin apod. Omezení zpracování půdy vede zejména ve svrchní vrstvě půdy k ukládání organického uhlíku do půdy a snižování emisí CO₂. Při nedostatku vhodných organických a statkových hnojiv a nízkém zastoupení pícnin v osevních postupech nebude reálné na řadě farem v ČR vracet zpět do půdy dostatečné množství organické hmoty při hlubokém zpracování půdy (orba, kypření, podrývání) a udržovat celý zpracovávaný půdní profil (např. 0 – 25 cm) v dobrém strukturním stavu se stabilním obsahem C_{org.}. Řešením je provádět hluboké kypření půdy jen v pásech nebo omezit hloubku zpracování půdy na celé ploše s využitím minimalizačních technologií a snažit se stabilizovat (zvyšovat) obsah organického uhlíku v horní vrstvě půdy (např. do hloubky 10 až 15 cm), která má rozhodující vliv na zpracovatelnost půdy před setím (sázením) a její schopnost zadržet vodu ze srážek.

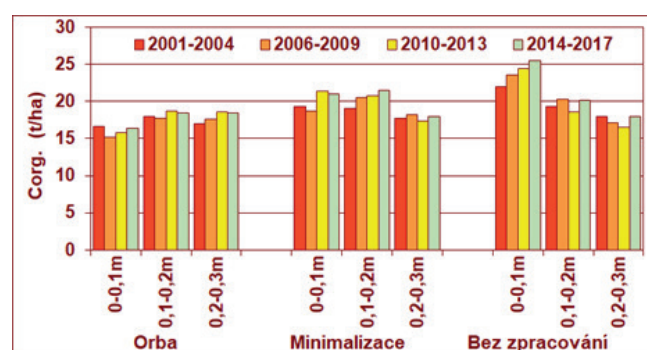
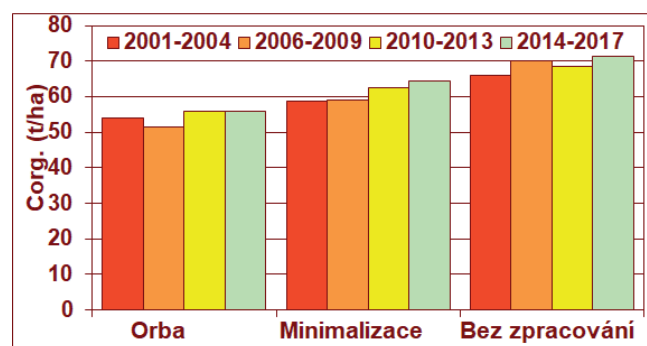
Jedním z nejvíce rizikových agrotechnických opatření z hlediska sekvestrace uhlíku v půdě je orba nebo hluboké kypření půdy v letním období (např. před setím řepky), kdy kromě vyšších emisí CO₂ dochází také k vyšším ztrátám vody z půdy. V letním období by měla být půda co nejvíce konzervována a většímu prohřívání a ztrátě vody by měl zabránit rostlinný pokryv nebo posklizňové zbytky na povrchu. Při setí polních plodin nebo meziplodin v letním období bude v příštích letech stále více využíváno přímé setí do mulče nebo do zpracovaných úzkých pásků. Při použití dlátových kypřičů do větší hloubky (např. u tužených půd) budou jejich součástí půdní pěchy, které omezí provzdušnění půdy. Na Obr. 130 je znázorněn vliv zpracování půdy v letním období na její vlhkost a emise CO₂, které souvisí s rozkladem organických látek v půdě. Po orbě v srpnu (k řepce) jsme ve všech sledovaných letech zjistili významně vyšší emise oxidu uhličitého a nižší vlhkost horní vrstvy půdy (0–10 cm) než po mělké podmitce do 10 cm (minimalizace) a na půdě bez zpracování s ponecháním rostlinných zbytků na povrchu. V některých letech byly vyšší emise na půdě bez zpracování než na minimalizaci, což může souviset s nakypřením horní vrstvičky půdy v řádcích při přímém setí nebo s rozkladem mulčované slámy v místech kontaktu s vlhčím povrchem půdy. S poklesem teploty vzduchu se emise CO₂ snižovaly, proto je třeba intenzivnější zpracování půdy (např. orba) provádět pokud možno (např. pro pozdě seté ozimy nebo jařiny) v pozdějším termínu. V následném jarním období jsme zjistili u všech způsobů zpracování půdy nižší emise CO₂ než v letním období, přičemž nejnižší hodnoty byly u půdy bez zpracování.



Obr. 130 Emise CO₂ z půdy a její vlhkost po různém zpracování (Ruzyně 2017)

Z výsledků dlouhodobého polního pokusu s různým zpracováním půdy (od r. 1995) na stanovišti v Praze-Ruzyni (hnědozem, hlinitá) vyplývá, že k největšímu zvýšení obsahu C_{org} v půdě došlo u půdy bez zpracování, následovalo redukované zpracování do hloubky 10 cm a jen minimální nárůst v půdní vrstvě 20–30 cm byl zjištěn po orbě (Obr. 131). Osevní postup je ozimá pšenice – hrách – ozimá pšenice – ozimá řepka s ponecháním rostlinných zbytků

na poli, kromě hlavního sklizeného produktu. U orby došlo vzhledem k postupnému snižování C_{org} v půdě od roku 2009 ke snížení hloubky zpracování půdy z 22–25 cm na 18–22 cm. Hloubka orby je každoročně určována na základě testu rýčem s tím, že povrch půdy po orbě musí mít dobrou strukturu a v suchých letech nebo při horší struktuře půdy je povrch přikulen Cambridge válci. Po zavedení těchto opatření se obsah C_{org} v půdě po orbě přestal snižovat. Po více než 20 letech polního pokusu se v půdní vrstvě 0–30 cm u minimálního zpracování půdy zvýšil obsah organického uhlíku v porovnání s orbou cca o 10 t C/ha a u půdy bez zpracování o 15 t C/ha (Obr. 131a). Přitom k největšímu zvýšení obsahu C_{org} u bezorebných technologií došlo v horní vrstvě půdy (Obr. 131 b). U půdy bez zpracování byla zjištěna také nejvyšší biologická aktivita půdních organismů včetně makroedafonu, jehož činností došlo k tvorbě makropórů v půdním profilu, které sehrávají významnou roli při infiltraci srážkové vody spolu s rozpuštěnými živinami z aplikovaných hnojiv do hlubších vrstev půdy (Obr. 132).



Obr. 131 Obsah C_{org} v ornici (a) a v horních vrstvách půdy po různém zpracování (b)



Obr. 132 Biopóry po makroedafonu na půdě bez zpracování

6. 3. 3. Výživa a hnojení rostlin při různém zpracování půdy

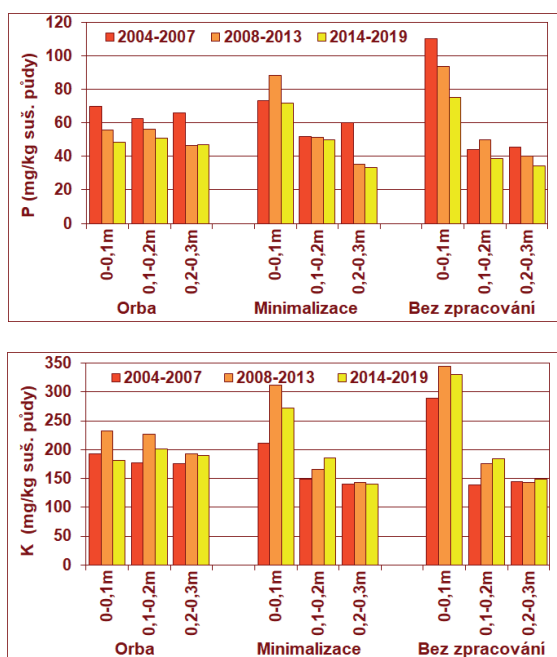
Víceleté používání různých technologií zpracování půdy má vliv na rozmístění živin v půdním profilu a vyžaduje cílené postupy v aplikaci hnojiv. Základním opatřením pro udržení půdní úrodnosti je hnojení statkovými a organickými hnojivy a vápnění. Nízký obsah organických látek v půdě v důsledku nedostatečného organického hnojení má negativní vliv na hospodaření s vodou v půdě a zvyšuje riziko utužení půdy, menší stability půdních agregátů, omezení infiltrace vody ze srážek a závlahy do půdy a s tím související vodní eroze. K udržení, popř. ke zvýšení obsahu C_{org} v půdě bychom potřebovali zapravovat do půdy organická hnojiva s poměrem C : N vyšším než 20 : 1, neboť velká část uhlíku je využívána půdními mikroorganismy jako zdroj energie. Mezi tato hnojiva v současné době patří většina kompostů, separát kejdy skotu, koňský hnůj, sláma a některé rostliny na zelené hnojení. Výjimečně také hnůj skotu s větším podílem slámy, ale většina hnojů má nyní poměr C : N nižší než 15 : 1. Velká část zemědělských podniků je tedy schopna vyrovnávat negativní bilanci organických látek v půdě jen zapravením slámy nebo zeleným hnojením, ale problémem je jejich nízký humifikační koeficient, který se pohybuje jen od 10–25 % na rozdíl od kvalitního hnoje skotu (35–40 %) a kompostu (45–50 %).

Na rozdíl od kvalitních organických hnojiv s širším poměrem C : N mohou organická hnojiva s úzkým poměrem C : N (např. digestát, kejda, drůbeží podestýlka, kaly z ČOV apod.) a minerální dusíkatá hnojiva přispívat k rozkladu organických látek v půdě. Hnojení dusíkem zvyšuje množství N_{min} v půdě, a to nejen vlastním vstupem, ale může také podpořit vyšší intenzitu mineralizace půdní organické hmoty (tzv. priming efekt), což nastává často u půd hnojených organickými a statkovými hnojivy. Dusík z aplikovaných hnojiv, zejména v amonné formě, stimuluje aktivitu půdních organismů, které využívají uhlík z organických látek v půdě jako zdroj energie a při nedostatečném organickém hnojení hnojivy s širším poměrem

C : N může docházet v půdě k postupnému snižování poměru C : N. Přitom na růst rostlin může mít snižování poměru C : N po určitou dobu příznivý vliv, protože rostliny mají k dispozici větší množství živin zpřístupněných z půdní organické hmoty. Na jednotku uhlíku se uvolňuje více N i dalších živin a snižuje se mikrobiální imobilizace dusíku z aplikovaných hnojiv a z půdní zásoby. To se často projevuje zvýšením obsahu nitrátového dusíku v půdě, který je nejčastějším zdrojem ztrát N vyplavením, povrchovým smyvem apod., čímž se snižuje využitelnost dusíku z hnojiv a půdy rostlinami a zvyšují se rizika znečištění povrchových a podzemních vod nitráty. Kromě toho postupně dochází ke zhoršování struktury půdy a její schopnosti zadržet vodu ze srážek a závlahy. Kromě dodání organických látek do půdy je nutné také omezit postupy ve zpracování půdy a hnojení, které podporují jejich rozklad.

Větší pozornost je třeba také věnovat obsahu živin v půdě a u bezorebných technologií zpracování půdy zejména v její povrchové vrstvě. Jestliže půdu neobracíme, dochází k akumulaci v půdě málo pohyblivých živin v horní vrstvě (např. P, částečně také K), zatímco v půdě pohyblivé živiny (Ca, Mg) jsou vyplavovány do spodních vrstev půdy. Dosud jsme obsah živin v půdě hodnotili především z hlediska zabezpečení výživy rostlin, ale nyní je třeba hodnotit i vliv koncentrace některých živin na kvalitu půdy, její strukturu a schopnost zadržet vodu ze srážek. Bude nutné přehodnotit kritéria pro hodnocení výsledků chemických rozborů zemědělských půd a najít vhodnou metodu pro stanovení přijatelných živin v půdě z hlediska výživy rostlin. Není možné, aby při uplatňování metod precizního zemědělství bylo doporučováno hnojení draslíkem na středních až těžších půdách například při zjištěném obsahu v ornici 170 mg K/kg (dle Mehlich III, při přepočtu přibližně 700 kg „přijatelného“ K/ha), přičemž u bezorebných technologií může být v povrchové vrstvě půdy obsah dvojnásobný a jakékoliv další hnojení draslíkem může mít nepříznivý vliv na strukturu půdy, stabilitu půdních agregátů a infiltraci vody ze srážek. Navíc vyšší koncentrace živin má v biologicky velmi aktivní povrchové vrstvě většinou také nepříznivý vliv na diversitu půdních organismů a život v půdě. Při přepočtu obsahu živin zjištěného v laboratoři na skutečné obsahy v přirozených polních podmínkách je nutné brát v úvahu vyšší objemovou hmotnost půdy u půd bez zpracování nebo jen s mělkým kypřením. Na Obr. 133 je znázorněn obsah fosforu a draslíku (stanoveno Mehlich III) v různých vrstvách půdy po víceletém používání různých technologií zpracování půdy. U bezorebných technologií se zvyšuje koncentrace P a K v povrchové vrstvě půdy, zatímco v hlubších vrstvách se významně snižuje. Při proschnutí horní vrstvy půdy je pak omezen příjem těchto živin rostlinami. Jak vyplývá z grafu na Obr. 133a, obsah fosforu v půdě se postupně snižuje, přestože je každoročně hnojeno 23 kg P/ha (100 kg hnojiva amofos) a roční export P zrnem nebo semeny je v průměru osevního postupu 22 kg P/ha. U draslíku (Obr. 133b) se při hnojení 60 kg K/ha a průměrném ročním exportu 32 kg K/ha obsah K v půdě zvyšoval, proto bylo hnojení sníženo na 50 kg K/ha, což se již projevilo v posled-

ních rozbořech půd. Vysoký obsah draslíku (příp. NH_4^+ a dalších jednomocných kationtů) v horní vrstvě půdy (0–10 cm) může mít nepříznivý vliv na povrchovou strukturu půdy a infiltraci vody ze srážek, i když na druhé straně vyšší koncentrace K v rostlině zpravidla zvyšuje její odolnost k suchu.



Obr. 133 Obsah P (a) a K (b) v horních vrstevch půdy po různém zpracování

Na půdách bez orby často dochází k vyplavení dvoumocných kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} z povrchové vrstvy půdy. Tyto kationty mají významný vliv na koagulaci koloidů a zabraňují tak rozplavení agregátů. Vaněk a kol. (2012) uvádí, že draslík by měl v sorpčním komplexu tvořit (v ekvivalentním vyjádření) 3–4 %, hořčík zhruba 3x více (10–15 %). Nejvyšší podíl v sorpčním komplexu by však měl zaujímat vápník (60–80 %). Jeho dominantní postavení je nutné pro zajištění dobrého fyzikálního stavu půdy, kde má koagulační funkci, na niž závisí strukturnost půdy a tím i optimální vodní, vzdušný i tepelný režim půdy a oxidačně redukční procesy (Matula, 2007). Poměry kationtů K : Mg : Ca v sorpčním komplexu lze vypočítat z obsahů živin v půdě zjištěných metodou KVK-UF. Z citovaných údajů o zastoupení kationtů v sorpčním komplexu (Vaněk a kol., 2012, Matula, 2007) vyplývají vhodné poměry K : Mg : Ca (v ekvivalentním vyjádření), a to 1 : 3 : 13,5–15 nebo alespoň 1 : 2 : 9,5–10. U půd z dlouhodobého pokusu s různými technologiemi zpracování byl nejlepší tento poměr u orby (1 : 1,6 : 12,5) následovala minimalizace (1 : 1,4 : 8,2) a nejhorší půda bez zpracování (1 : 1,2 : 7,8). Při odběru povrchové vrstvičky půdy (např. 0–2 cm) se tento poměr dále zhoršuje, přitom tato část půdy má významný vliv na infiltraci srážkové vody.

Při analýzách povrchové vrstvy půd s krustou ve více zemědělských podnicích v roce 2018 jsme většinou zjistili nízký obsah C_{org} , nízké pH a extrémně nevhodný poměr jednomocných a dvojmocných kationtů. Například u půdy na Obr. 134 byl zjištěn poměr 1 : 1 : 3,8, $\text{pH}(\text{CaCl}_2) = 4,9$, obsah $C_{\text{org}} = 0,81\%$ a poměr C : N = 6. Těchto půd stále více přibývá, a jestliže tento stav povrchové vrstvy půdy nezlepšíme, nemohou být účinné ani doporučené protierozní technologie zpracování půdy. Tyto problémy mohou v příštích letech ještě narůstat, pokud nezlepšíme péči o půdu a její strukturní stav pravidelným vápněním, hnojením kvalitními statkovými a organickými hnojivy s vyšším poměrem C : N a rozšířením pěstování meziplodin a víceletých pícevin. V této souvislosti je žádoucí zvýšit podíl víceletých pícnin například při výrobě bioplynu. Vzhledem k udržení kvality půdy a její schopnosti zadržet vodu ze srážek bude třeba postupně omezovat plošnou aplikaci hnojiv na povrch půdy bez zapravení. Budou více používaná hnojiva s postupným uvolňováním živin a lokální (zonální) podpovrchová a povrchová aplikace hnojiv, čímž budou omezena rizika nepříznivých vlivů plošného hnojení na povrchovou vrstvu půdy včetně diversity půdních organismů.



Obr. 134 Poškozená povrchová struktura půdy s rostlinami řepky

Vliv zpracování půdy a hnojení rostlin na dosažené výnosy a kvalitu produkce pěstovaných plodin

Mezi různými technologiemi zpracování půdy existují rozdíly v nárocích na operativnost a preciznost jednotlivých agrotechnických opatření včetně hnojení a ochrany rostlin. Žádné z těchto opatření nelze řešit samostatně, ale vždy v celém komplexu agrotechnických postupů v rámci pěstební technologie. Na rozdíl od konvenčního zpracování půdy s orbou, které částečně eliminuje nedostatky ve výži-

vě rostlin na úkor vyšších vstupů energie, při redukováném zpracování půdy se chyby v hnojení mohou projevit rychleji a výrazněji jak ve výnosu, tak i v kvalitě sklizených produktů.

Při používání minimalizačních technologií zpracování půdy dochází k pozvolnějšímu uvolňování živin z organických vazeb, což vyžaduje operativnější a přesnější přístup k hnojení, a to zejména dusíkem, který má významný vliv na dosažené výnosy i kvalitu produkce pěstovaných zemědělských plodin. Zpravidla největší problémy mohou vznikat při přechodu z konvenčního zpracování půdy s orbou na konzervační, kdy často dochází k větší imobilizaci aplikovaného dusíku a k dosažení stejného výnosu je třeba zvýšit celkovou dávku dusíku v návaznosti na množství posklizňových zbytků, jejich kvalitu včetně poměru C : N a způsob jejich zapravení. V přechodném období, které může trvat 5–10 let, se ještě významněji neprojeví pozitivní vliv půdoochranného zpracování na zvýšení obsahu organické hmoty a edafonu v půdě, zvýšení počtu biopórů, zvýšení stability agregátů a zlepšení půdní struktury, zvýšení odolnosti horní vrstvy půdy ke slévání a utužení. Po dlouhodobém bezorebném zpracování půdy je nutné větší pozornost věnovat utužení půdy v jednotlivých vrstvách půdního profilu, obsahu živin ve spodních vrstvách, okyselování povrchové vrstvy půdy apod.

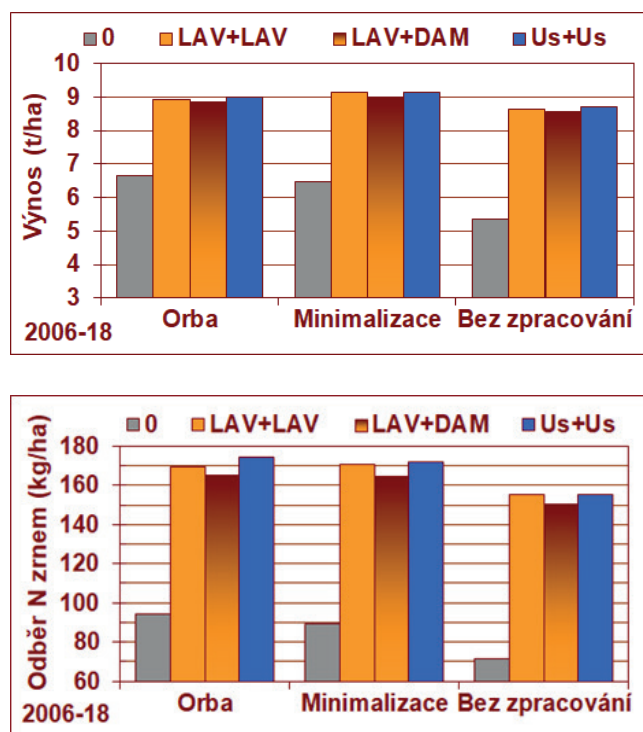
Nižší příjem živin rostlinami u bezorebných technologií zpracování půdy lze očekávat na těžších málo strukturálních půdách v chladném období s četnými srážkami, kdy je omezeno uvolňování živin z organických vazeb v půdě a kromě toho může docházet ke ztrátám živin vyplavením a denitrifikací. Ztráty dusíku denitrifikací vznikají při nedostatku kyslíku a přítomnosti nitrátů a lehce rozložitelného uhlíku v půdě. Naopak vyšší účinnost hnojení u minimalizačních technologií než u orby zpravidla dosahujeme v období sucha, kdy mulč na povrchu půdy brání proschnutí povrchové vrstvy půdy, ze které na rozdíl od proschlé půdy po orbě může rostlina přijímat živiny z dříve aplikovaných hnojiv. V tomto případě, kdy je výnos limitován nedostatkem vody, jsou zanedbatelné ztráty dusíku denitrifikací a vyplavením. Vyšší účinnost aplikovaných hnojiv je také po malém množství srážek vzhledem k tomu, že u bezorebného zpracování jsou kořeny mělko pod povrchem půdy a jsou schopny přijímat také živiny méně pohyblivé v půdním profilu. To se nejvíce projeví po delším období sucha, kdy po orbě prosychá silnější vrstva půdy a na transport živin z aplikovaných hnojiv ke kořenům rostlin je potřeba větší množství srážek. Jestliže je na povrchu půdy vrstva posklizňových zbytků s širokým poměrem C : N (např. sláma obilnin), může docházet u půdoochranných technologií zpracování půdy k větší imobilizaci dusíku z aplikovaných hnojiv. Přitom je vyšší imobilizace N po aplikaci hnojiv s převažující amonnou formou dusíku (síran amonný, DASA, ENSIN apod.) nebo z nichž tato forma vzniká (močovina, ALZON). Proto při aplikaci hnojiv na bázi močoviny je vhodnější tato hnojiva

používat v době, kdy je nízká aktivita půdních mikroorganismů (např. aplikace vyšších dávek k ozimům na začátku jarní vegetace rostlin).

Vzhledem k větší imobilizaci dusíku půdní mikroflórou a k postupnému nárůstu obsahu organického dusíku v půdě je u bezorebného zpracování půdy ve srovnání s orbou většinou nižší účinnost malých dávek dusíku. *Sprague a Triplett (1986)* uvádějí, že při dávkách N nižších než optimálních se dosahuje u půdoochranných technologií nižších výnosů než u orby, zřejmě z důvodu větší imobilizace N, denitrifikace a nižší mineralizace. Tento rozdíl by se měl zmenšovat při optimálních a vyšších dávkách N-hnojiv, kdy mohou být naopak vyšší výnosy, což většinou způsobují lepší vláhové podmínky pro příjem živin. Vyšší účinnost dusíku na půdě bez zpracování zjistili v podmínkách, kde je limitujícím faktorem vlhkost půdy a naopak nižší v chladném, vlhkém klimatu a na nepropustných půdách, kde může docházet k velkým ztrátám denitrifikací. V půdách a klimatech mezi těmito extrémy bude účinnost dusíkatých hnojiv nižší v několika prvních letech po přechodu z orebného systému na bezorebný, ale časem bude v důsledku nárůstu obsahu půdního organického dusíku v neorané půdě srovnatelná dostupnost dusíku z orané i neorané půdy pro rostliny a následně i srovnatelná účinnost aplikovaných dusíkatých hnojiv. *Hůla, Procházková a kol. (2008)* uvádějí, že snížení hloubky a intenzity zpracování půdy má většinou příznivý vliv na půdní a životní prostředí. Může vést ke zvyšování obsahu a kvality půdní organické hmoty, zlepšování strukturálního stavu půdy, zvyšování biologické aktivity půdy a k regulaci vodní a větrné eroze, ke snižování emise oxidu uhličitého z půdy do ovzduší, apod. Avšak výnosová reakce jednotlivých druhů plodin na hloubku a intenzitu zpracování půdy do značné míry závisí na konkrétních půdních a povětrnostních podmínkách a vzhledem k rozmanitosti těchto podmínek výsledky pokusů obecně ukazují, že výnosy plodin pěstovaných po orbě a po minimalizaci se většinou příliš neliší.

V našich dlouhodobých pokusech s různým zpracováním půdy (od roku 1995, hnědozem, stanoviště Ruzyně) byly výnosy zrna ozimé pšenice bez hnojení dusíkem v průměru let 2006 – 2018 (Obr. 135) vyšší po orbě a minimalizaci (6,6 t/ha, resp. 6,5 t/ha) než na půdě bez zpracování (5,4 t/ha), přičemž po předplodině hrachu byly výnosy vyšší než po ozimé řepce. Po optimální celkové dávce dusíku (stanovené na základě obsahu N_{min} v půdě do 0,9 m a plánovaného výnosu) ve výši 120–150 kg N/ha dělené do 2 dílčích dávek v různých hnojivech byly výnosy zrna po orbě 8,9 t/ha, po minimalizaci 9,1 t/ha a na půdě bez zpracování 8,6 t/ha. Ke hnojení byla použita následující dusíkatá hnojiva: ledek amonný s vápenцем (LAV), kapalné hnojivo DAM a močovina s inhibitory ureázy UREA^{stabil} (Us). Hnojivo UREA^{stabil} bylo vyvinuto mimo jiné pro efektivní hnojení zemědělských plodin pěstovaných při bezorebném zpracování půdy s posklizňovými zbytky na povrchu. Ve srovnání s neupravenou

nou močovinou je působením inhibitoru ureázy po dobu 1–3 týdnů omezena hydrolyza močoviny, čímž jsou eliminovány ztráty dusíku únikem amoniaku a vytvořeny lepší předpoklady pro transport nerozložené močoviny (nepolární molekula) přes půdní vrstvu s posklizňovými zbytky s větší imobilizací N po srážkách ke kořenům rostlin.

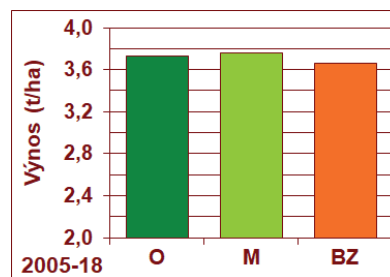


Obr. 135 Výnos zrna ozimé pšenice (a) a odběr dusíku zrnem (b) po různém zpracování půdy a hnojení

Jak vyplývá z výsledků znázorněných na Obr. 135a, mezi jednotlivými variantami hnojení nebyly zjištěny podstatné rozdíly ve výnosech zrna ozimé pšenice. Předpokládána vyšší efektivnost hnojiva UREA^{stabil} nemusela být dosažena z důvodu významně vyšší aktivity enzymu ureázy v povrchové vrstvě půdy po půdoochranném zpracování půdy a tím i kratší doby účinnosti inhibitoru ureázy, a to zejména při aplikaci 2. dávky dusíku na začátku sloupkování ozimé pšenice. Proto je vhodnější na této půdě aplikovat vyšší dávku UREA^{stabil} (80–100 kg N/ha) již v 1. dávce dusíku na začátku jarní vegetace ozimé pšenice, kdy je také aktivita enzymů vzhledem k nižší teplotě v půdě menší a kdy jsme zjistili vyšší účinnost tohoto hnojiva ve srovnání s klasickou močovinou nebo LAV. Z různých forem dusíku v aplikovaných hnojivech působí u bezorebných technologií zpracování půdy většinou nejrychleji nitrátová forma (50 % v LAV, 95 % v ledku vápenatém), následuje močovina s inhibitorem ureázy (UREA^{stabil}), klasická močovina a na většině našich půd nejpomaleji rostliny využívají dusík z hnojiv s převažující amonnou formou (síran amonný, DASA, ENSIN apod.).

Na Obr. 135b je znázorněn odběr dusíku zrnem ozimé pšenice po aplikaci různých hnojiv a různém zpracování půdy. Na odběr dusíku rostlinami měly významný vliv předplodiny a způsob zpracování půdy po jejich sklizni, což se projevilo různou zásobou minerálního dusíku v půdě, která byla největší po orbě a nejmenší na půdě bez zpracování. To se projevilo v odběru dusíku zrnem ozimé pšenice bez hnojení N, který byl nejvyšší po orbě (94 kg N/ha), následovala minimalizace (89 kg N/ha) a jen 71 kg N/ha na půdě bez zpracování. Po hnojení různými dusíkatými hnojivy v celkové dávce 120 – 150 kg N/ha se zvýšil odběr N rostlinami ozimé pšenice na orbě v průměru o 75 kg N/ha, na minimalizaci o 80 kg N/ha a na půdě bez zpracování o 82 kg N/ha. Z toho vyplývá, že u bezorebných technologií zpracování půdy se hnojení dusíkem projevilo vyšším nárůstem odběru dusíku rostlinami ve srovnání s nehnojenou kontrolou než u orby. Z použitých hnojiv byl nižší odběr dusíku po aplikaci hnojiva DAM, kde byl také nižší obsah bílkovin v zrna. Přestože po aplikaci DAM postřikem na rostliny může být část dusíku přijímána přes listy, na účinnost hnojení N to nemělo ani v suchých letech podstatný vliv. Z tohoto hlediska je u bezorebných technologií zpracování půdy s posklizňovými zbytky na povrchu efektivnější aplikovat kapalné hnojivo DAM většími kapkami nebo pomocí aplikačních trubic, kdy zůstává menší množství hnojiva na rostlinných zbytcích a neproduktivních odnožích.

V ČR je většina porostů ozimé řepky na rozdíl od ostatních států EU zakládána bezorebnými technologiemi. Z výsledků našich dlouhodobých pokusů vyplývá, že po orbě (O) a minimalizaci (M) byl výnos semen ozimé řepky ve většině let vyšší než na půdě bez zpracování (BZ, Obr. 136), na které byly vyšší výnosy dosaženy v suchých letech s větším množstvím posklizňových zbytků po ozimé pšenici (např. 2018). U bezorebných technologií zpracování půdy mělo příznivé vliv na zvýšení výnosů semen přihnojení řepky během podzimního růstu podle stavu porostu (30 – 40 kg N/ha) a aplikace vyšších dávek dusíku na začátku jarní vegetace (regenerační hnojení 80 – 100 kg N/ha).



Obr. 136 Výnos semen ozimé řepky po různém zpracování půdy (pokus Praha-Ruzyně)

Vhodné postupy při zpracování půdy a hnojení pro oblasti ohrožené suchem – shrnutí

- Operativní optimalizace agrotechnických vstupů s využitím metod precizního zemědělství (aplikační mapy) a diagnostiky půd a rostlin.
- Omezení intenzity vstupů v místech s nízkou dostupností vody pro rostliny, popř. začlenění těchto ploch do „greeningu“.
- Posouzení každého agrotechnického vstupu z hlediska rizika poškození půdy, ztráty vody, podpory rozkladu organické hmoty v půdě a následného zadržení vody ze srážek a omezení výparu z půdy.
- Čím více a hlouběji půdu kypříme a provzdušňujeme při vhodných podmínkách pro průběh mineralizačních procesů, tím více musíme vracet organické hmoty do půdy statkovými a organickými hnojivy, pěstování pícnin a mezplodin.
- Používání minimalizačních technologií a pásového zpracování půdy zvyšují sekvestraci C v půdě, její strukturu a retenční schopnost.
- V letním období by měla být půda co nejvíce konzervována a většímu prohřívání a ztrátě vody by měly zabránit rostlinný pokryv nebo posklizňové zbytky včetně slámy na jejím povrchu.
- Pro stabilizaci nebo zvýšení obsahu organického uhlíku v půdě používat hnojiva s širším poměrem C : N, nejlépe 20 : 1 a více (kompost, slamnatý hnůj, separáty, sláma, zelené hnojení).
- Používání hnojiv s úzkým poměrem C : N (digestát, kejda, kaly z ČOV, drůbeží podestýlka) a minerálních dusíkatých hnojiv přispívá k rozkladu organických látek v půdě.
- Při optimalizaci hnojení používat variabilní dávky hnojiv na základě výnosových map, dostupnosti vody pro rostliny a výsledků diagnostických metod výživného stavu půd a rostlin.
- Omezení aplikace dusíkatých hnojiv (minerální hnojiva, digestát, kejda, drůbeží podestýlka apod.) v teplém letním období včetně vyrovnávací dávky dusíku na slámu: sláma se většinou rozkládá později a aplikovaný dusík může podpořit rozklad organických látek v půdě a zvýšit ztráty C nárůstem emisí CO₂.
- Místo plošné aplikace hnojiv uplatňovat lokální hnojení do kořenové zóny rostlin s využitím hnojiv s pozvolným uvolňováním živin.

- Dávky hnojiv optimalizovat podle skutečného obsahu rostlinami využitelných živin v půdě (např. metoda N_{min}, KVK-UF apod.).
- Vyšší dávky minerálních hnojiv, než je skutečná potřeba rostlin mohou mít nepříznivý vliv na kvalitu půdy (zhoršení poměru kationtů v půdě, stabilitu půdních agregátů, diversitu půdních organismů, vyplavování živin spolu s nitráty a sírany – např. Mg).
- Při hnojení za vegetace na povrch půdy se špatnou strukturou nepoužívat minerální hnojiva s jednomocnými kationty (K⁺, NH⁴⁺).
- Sledovat pH v půdě včetně povrchové vrstvy u bezorebného zpracování a v případě potřeby vápnění používat pozvolně působící vápenatá hnojiva (např. dolomit).
- Při lokální nebo zonální aplikaci hnojiv do půdy je nutné zabezpečit přívod vody k hnojivům (např. úpravou povrchu půdy nebo vytvořením akumulacních prostorů pro vodu v blízkosti kořenů).
- Věnovat větší pozornost vlivu hnojení dusíkem na strukturu porostu a zdravotní stav rostlin.
- Při interpretaci výsledků některých metod (např. N-tester) brát v úvahu omezené využití při absenci srážek, kdy zůstávají živiny z dříve aplikovaných hnojiv na povrchu půdy.

Přednosti podpovrchové lokální aplikace hnojiv ve srovnání s plošnou při hnojení polních plodin v sušších oblastech:

- většinou vyšší využití živin z aplikovaných hnojiv rostlinami než po plošné aplikaci.
- efektivnost hnojení lze zvýšit cíleným usměrněním pohybu vody ze srážek do zóny s aplikovanými hnojivy (např. úpravou povrchu půdy).
- rychlejší dostupnost živin kořeny rostlin (platí zejména při aplikaci nižších dávek dobře rozpustných hnojiv).
- menší závislost využitelnosti živin rostlinami na povětrnostních podmínkách.
- omezení imobilizace živin půdními mikroorganismy (zejména N a P).
- při hnojení dusíkem menší vliv na podporu mineralizace organických látek v půdě.
- pozvolnější hydrolyza močoviny z aplikovaných hnojiv a nižší ztráty volatilizací amoniaku.

- omezení odběru živin plevele a snížení jejich konkurenční schopnosti s pěstovanou plodinou.
- možnost společné aplikace mikroprvků s makroprvky a vytvoření vhodné půdní reakce pro jejich příjem rostlinami.
- lepší využití fosforu a stopových prvků na karbonátových půdách.
- možnost společné aplikace hnojiv s biologicky aktivními látkami a biopesticidy.
- vzhledem k častému proschnutí horní vrstvy půdy v době přísušků je třeba aplikovat menší dávky hnojiv do větší hloubky a v dostatečné vzdálenosti od kořenů rostlin, aby nedošlo k negativnímu působení na jejich růst do hlubších vrstev půdy.

6.3.4. Inovované postupy při zakládání porostů polních plodin

Při zakládání porostů polních plodin v sušších oblastech je třeba klást důraz na omezení ztrát vody z půdy a rozkladu půdní organické hmoty v důsledku nadměrného kypření a provzdušnění půdy. Z tohoto hlediska je nejvíce rizikové letní období s vyššími teplotami vzduchu, kdy se zakládají porosty řepky ozimé a meziplodin. Během teplého letního období by měla být půda po sklizni plodin zakryta rostlinnými zbytky nebo porostem meziplodin, setých do nezpracované půdy nebo do úzkých pásů zpracované půdy, popř. mělké podmytky s ponecháním většiny posklizňových zbytků na povrchu.

Pásové zpracování půdy

Při zakládání porostů širokořádkových plodin (zejména kukuřice) na svažitých pozemcích se stále více používá pásové zpracování půdy (strip-till) s ponecháním části posklizňových zbytků, strniště, mulče po meziplodině apod. v pásích na povrchu půdy a setím do zpracovaných pásů. V posledních letech se pásové zpracování půdy uplatňuje také při pěstování slunečnice, řepky, obilnin apod. Pásové zpracování půdy je rozumnou alternativou k orbě a ve srovnání s technologiemi bez zpracování nebo s mělkým kypřením půdy vytváří příznivější podmínky pro vsakování srážkové vody do prokypřeného pásu, prohřívání a provzdušnění půdy, růst kořenů do hlubších vrstev a využití živin z podpovrchově aplikovaných hnojiv. Tím řeší problémy s okyselováním a vyšší koncentrací málo pohyblivých živin (P, K) v povrchové vrstvě u půd bez zpracování nebo jen s mělkým zpracováním. Čím více je povrch půdy pokryt rostlinnými zbytky a čím mělčí vrstva půdy se zpracovává, tím narůstá význam a zvyšuje se efektivnost lokální a zonální podpovrchové aplikace hnojiv do blízkosti kořenů rostlin.

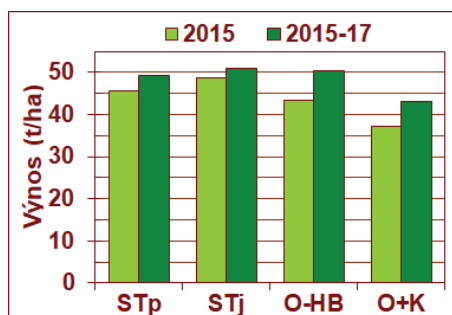
Dávka hnojiv a hloubka aplikace vychází z analýzy půdy, pěstované plodiny a odstupu hnojení před setím. U minerálních hnojiv mohou být na půdách s horší strukturou rizikové již dávky nad 100 kg hnojiva a u kejdy a digestátu nad 15 t/ha, zejména při vyšší sušíně nebo při použití inhibitorů nitrifikace. Například při hnojení kukuřice se vzdáleností řádků 75 cm je množství hnojiva v místě aplikace vysoké a především u digestátu a kejdy může docházet ke vzlínání hnojiva s nepříznivými vlivy na klíčení, počáteční růst rostlin a prokořenění půdy. V sušších letech (2015, 2018, 2019) jsme v zemědělských podnicích zjistili u kukuřice nepříznivý vliv aplikace digestátu na růst kořenů do hlubších vrstev půdy a s tím spojený odběr vody. Proto se doporučuje pro kontrolu vlivu hnojení na růst rostlin včetně kořenů vytvořit v porostu minimálně na 2 místech aplikační okna (např. v délce 10–25 m) bez hnojení.

Ve vztahu k výživě rostlin a uvolňování živin z půdní zásoby představuje pásové zpracování půdy kombinací dvou rozdílných systémů, z nichž jeden živiny v půdě konzervuje, zpomaluje jejich mineralizaci z organických látek a zvyšuje sekvestraci uhlíku v půdě, zatímco druhý aktivuje uvolňování živin pro rostliny kypřením a provzdušněním půdy, popř. aplikací hnojiv do různých vrstev půdy. Podíl těchto systémů lze regulovat šířkou nezpracovaných a kypřených pásů půdy podle pěstované plodiny a agroenvironmentálních požadavků stanoviště.

Za hlavní výhody pásového zpracování půdy jsou považovány (Brant a kol., 2016):

- Ochrana půdy v důsledku ponechání rostlinných zbytků v meziřádkách (eliminace erozních procesů) a omezení vodního stresu při hlubším zpracování půdy ve srovnání se systémy celoplošného hlubšího zpracování půdy.
- Zlepšení půdních podmínek pro vývoj rostlin v řádkách (vyšší teplota a kvalitněji připravené setové lůžko) oproti technologiím setí do nezpracované půdy.
- Uložení hnojiv do blízkosti kořenů, což umožňuje snížení jejich množství (vyšší využití živin) a možnost cíleného ovlivnění rozvoje kořenového systému rostliny.
- Vhodnější podmínky pro výsev, spočívající v časnějším termínu setí a v nižších požadavcích na startovací dávky hnojiv ve srovnání s technologiemi mělkého zpracování a setí do nezpracované půdy.
- Snížení neproduktivních ztrát vody v důsledku nezpracování půdy mezi řádky plodiny a omezení evaporace z důvodu pokrytí meziřádků rostlinnými zbytky.
- Snížení produkce CO₂ na jednotku plochy ve srovnání s celoplošnými systémy zpracování půdy.

V polním pokusu na stanovišti v Lukavci u Pacova (bramborářská výrobní oblast, kambizem) jsme porovnávali vliv pásového zpracování půdy ve srovnání s orbou na dosažené výnosy silážní kukuřice a ztráty půdy vodní erozí: podzimní Strip-till (var. STp, Obr. 138 a Obr. 139), jarní (STj), jarní orba + zpracování úzkých pásků při setí přímo do hrubé brázdy (O-HB, Obr. 140), konvenční zpracování – podzimní orba + kompaktor (O+K). Při pásovému zpracování bylo lokálně podpovrchově aplikováno 100 kg amofosu/ha, u oraných variant (do 20 cm) byl amofos aplikován plošně před orbou. Při setí bylo aplikováno u všech variant 120 kg N lokálně do půdy v hnojivu UREA^{stabil}. Z výsledků znázorněných na Obr. 137 vyplývá, že u variant s pásovým zpracováním půdy a při setí do hrubé brázdy po jarní orbě byly dosaženy vyšší výnosy silážní kukuřice než po konvenčním zpracování s podzimní orbou a kompaktorem před setím, po kterém byly zjištěny také významně vyšší ztráty půdy vodní erozí. U konvenční varianty s orbou byly zjištěny během vegetace kukuřice nižší vlhkosti půdy v řádcích i meziřádcích, což se nejvíce projevilo v suchém roce 2015 (Obr. 141).



Obr. 137 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice při různém zpracování půdy



Obr. 138 Pásové zpracování půdy ke kukuřici



Obr. 139 Porost kukuřice založený do zpracovaných pásků půdy



Obr. 140 Porost kukuřice založený do hrubé brázdy po orbě se zpracováním úzkých pásků



Obr. 141 Porost kukuřice v suchém roce 2015: vlevo podzimní orba + kompaktor před setím, vpravo setí do hrubé brázdy po jarní orbě

Úprava povrchu půdy pro lepší zadržení vody ze srážek

Při zpracování půdy je třeba vytvořit na povrchu hrubší strukturu pro lepší zadržení vody včetně půd po orbě. Také při předsetové přípravě bude nutné více pozornosti věnovat úzkým páskům v místě setí než celoplošnému intenzivnímu zpracování a drobení půdy. Budeme muset více zvažovat každý přejezd techniky a vliv jednotlivých pracovních nástrojů nejen na kvalitu připravené půdy, ale i ztrátu půdní vláhy. Při lokální nebo zonální aplikaci hnojiv do půdy je v suchých oblastech třeba upravit povrch půdy tak, aby voda ze srážek byla nasměrována do kořenové zóny rostlin a do míst, kam byla aplikována hnojiva. Například při plečkování cukrovky nebo kukuřice je žádoucí vytvořit na povrchu půdy hrubou strukturu, která podporuje zadržení vody ze srážek v půdě a omezuje riziko vodní a větrné eroze. Na Obr. 142 je stav povrchu půdy po testování různých nástrojů pro plečkování cukrovky s hrubou strukturou na povrchu půdy a s modulací „hrůbků“ pod povrchem, které přivádí vodu ke kořenům rostlin a k aplikovaným hnojivům. Většina dosud používaných pleček má nepříznivý vliv na povrchovou strukturu půdy a často zvyšuje ztráty půdy vodní a větrnou erózí (Obr. 143). Na Obr. 144 je zachyceno zadržení vody ze srážek po důlkování meziřádku při plečkování kukuřice v 6. listu. Také při pěstování brambor mají na výnosy hlíz nepříznivý vliv stále častější přísušky (např. 2015, 2018). K lepšímu zadržení vody ze srážek i závlahy a k omezení vodní eroze na svažitých pozemcích přispívá úprava tvaru hrůbků a brázd důlkováním a hrázkováním (Obr. 145).



Obr. 142 Plečkování cukrovky s tvorbou hrubé povrchové struktury půdy



Obr. 143 Plečkování kukuřice při proschnutí půdy konvenční plečkou



Obr. 144 Zadržení vody ze srážek v důlcích vytvořených při plečkování



Obr. 145 Důlkování na povrchu hrůbků a v nekolejových brázdách u brambor

Setí směsí odrůd a druhů polních plodin (intercropping)

Intercropping je pěstování dvou a více plodin/odrůd na stejném pozemku a ve stejnou dobu. Tato praxe je známa zejména z oblastí tropů a subtropů, kde využití kultivace více plodin na jednom pozemku zajišťuje vyšší zisk a výnosovou stabilitu v porovnání s monokulturním pěstováním. V posledních letech se tyto postupy při zakládání porostů polních plodin začínají prosazovat také v EU a ČR. Přitom se na jeden pozemek vysévají různé plodiny/odrůdy metodou row-by-row (střídání řádků), strips (několik řádků – 2–5 řádků jedné plodiny/odrůdy se střídá s 2–5 řádky druhé plodiny (odrůdy) nebo ve směsi (směs plodin/odrůd) má řadu pozitivních efektů. Dosahuje většinou stabilnějšího výnosu potenciálně lepším využitím zdrojů světla, živin a vody a jiných vlastností vyplývajících ze zvýšené agrobiodiverzity. Dalšími přínosy jsou zlepšení kvality produkce, redukce výskytu chorob a škůdců, vyšší odolnost poléhání, zvýšení konkurenceschopnosti porostu vůči plevelům, zlepšení struktury porostu, zvýšení biodiversity organismů apod. Tato technologie má značný potenciál v ekologickém zemědělství a v systémech low-input, uplatňovaných v oblastech ohrožených suchem.

V ČR byly vyvinuty a uvedeny na trh sečí stroje, které dokáží paralelně do lichých a sudých řádků sít 2 vzájemně se doplňující odrůdy nebo 2 druhy zemědělských plodin s různými výsevkami a různou hloubkou uložení osiva, což přispívá mimo jiné ke stabilizaci výnosů a kvality produkce v suchých oblastech (Obr. 146 a Obr. 147). Pěstování méně výnosných odrůd s vyšší tolerancí k suchu (např. některé osinaté odrůdy) v kombinaci s výnosnějšími odrůdami se střední tolerancí snižuje rozdíly ve výnosech a kvalitě produkce v jednotlivých letech. Při nejistotě srážek a setí do proschlé půdy s horší strukturou je možné zvolit různou hloubku setí sudými a lichými botkami. Paralelní setí dvou různých výsevků umožňuje při snížení nákladů na osivo optimalizovat strukturu porostů a omezit riziko při zakládání porostu s nízkým výsevkiem (např. u hybridních odrůd ozimé pšenice, Obr. 148).



Obr. 146 Směs výnosné odrůdy Tobak s osinatou odrůdou Annie s vysokou kvalitou zrna



Obr. 147 Porost ozimé řepky zasetý ve směsi s jetelem alexandrijským



Obr. 148 Setí různých výsevků hybridních odrůd ozimé pšenice ob řádek

Inovované postupy při zakládání porostů polních plodin (shrnutí)

- Pásové zpracování půdy omezuje vodní erozi na svažitých půdách, snižuje ztráty vody výparem, omezuje emise CO₂, zlepšuje bilanci organických látek v půdě.
- Setí do hrubé brázdy po orbě se zpracováním úzkého pásu a setového lůžka zlepšuje zadržení vody ze srážek a vláhový režim v půdě a omezuje vodní erozi.
- Zakládání porostů širokořádkových plodin půdoochrannými technologiemi s úpravou povrchu půdy včetně důlkování a hrázkování zlepšuje zadržení vody ze srážek v půdě, omezuje vodní a větrnou erozi a stabilizuje výnosy pěstovaných plodin.
- Plečkování cukrovky a kukuřice s vytvořením hrubé struktury nebo důlků a hrázek na povrchu půdy a akumulací prostorů pro zadržení vody v půdním profilu zlepšuje zadržení srážkové vody v půdě, omezuje vodní a větrnou erozi, přivádí vodu ke kořenům rostlin a do míst s podpovrchovou aplikací hnojiv, zvyšuje využití živin z hnojiv rostlinami.

- Pěstování směsí odrůd a druhů polních plodin (intercropping) zvyšuje stabilitu výnosů a kvality produkce, redukuje výskyt chorob a škůdců, zlepšuje strukturu porostů a jejich konkurenceschopnost vůči plevelům.

Literatura:

- Brant, V. a kol. (2016): Pásové zpracování půdy (strip tillage) Klasické, intenzivní a modifikované. Profi Press, Praha, 135 s.
- Hůla, J., Procházková, B., eds. (2008): Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha, 248 s.
- Kahiluoto, H et al., Decline in climate resilience of European wheat, PNAS January 2, 2019116 (1) 123-128, 2018 <https://doi.org/10.1073/pnas.1804387115>
- Matula, J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, 48 s.
- Sprague, G. B., Triplett, M.A., eds. (1986): No-tillage and surface-tillage agriculture. John Wiley and Sons, Canada, 467 s.
- Vaněk, V. a kol. (2012): Výživa zahradních rostlin. Academia, 568 s.

6. 4. Analýza závlahového potenciálu

V příštích letech se předpokládá v důsledku změny klimatu větší rozšíření kapkových závlah při pěstování ovoce, zeleniny a brambor. Jiné typy závlah, zvláště postřikového charakteru, stejně jako závlahy jiných plodin, vzhledem k jejich náročnosti na vodu, nebudou z důvodu dostupnosti vody v době její největší potřeby možné. Obecně platí, že vzhledem ke značné investiční, technologické a organizační náročnosti závlah by se mělo k jejich realizaci u polních plodin přistupovat až po vyčerpání všech agrotechnických opatření, která zlepšují hospodaření s vodou v půdě a její efektivní využití rostlinami. Také při realizaci závlah je třeba udržovat půdu v dobrém strukturním stavu, aby zadržela co nejvíce vody ze srážek a doplňkovou závlahu využívat při absenci srážek a nízké vlhkosti půdy.

K výstavbě závlahových staveb na našem území došlo až ve druhé polovině minulého století a jejím bezprostředním impulzem byl suchý rok 1947 s mimořádně závažnými ekonomickými i politickými důsledky. Závlahy byly vybudovány především v oblastech s největším deficitem vodních srážek. Celková současná výměra vybudovaných závlah v ČR je cca 155 tis. ha zemědělské půdy, tj. 3,7 % zemědělské půdy, z toho

v Čechách 81 tis. ha (53 %) – oblast Mělnická, Litoměřická a Žatecká; na Moravě 74 tis. ha (47 %) – oblast Znojenská, Břeclavská, Brněnská, Hodonínská. Výstavba závlah byla ukončena v 90. letech minulého století a v posledních letech byly vybudovány závlahy asi na 4 tis. ha (zejména kapkové závlahy u chmele, sadů, vinic, zelenin a brambor). Většina závlah (cca 127 tis. ha) byla v roce 1997 a 1998 privatizována. V současné době je využití privatizovaných závlah nízké (asi 25 až 30 % plochy), některé se neprovozují vůbec.

6. 4. 1. Dostupnost vodních zdrojů pro závlahy

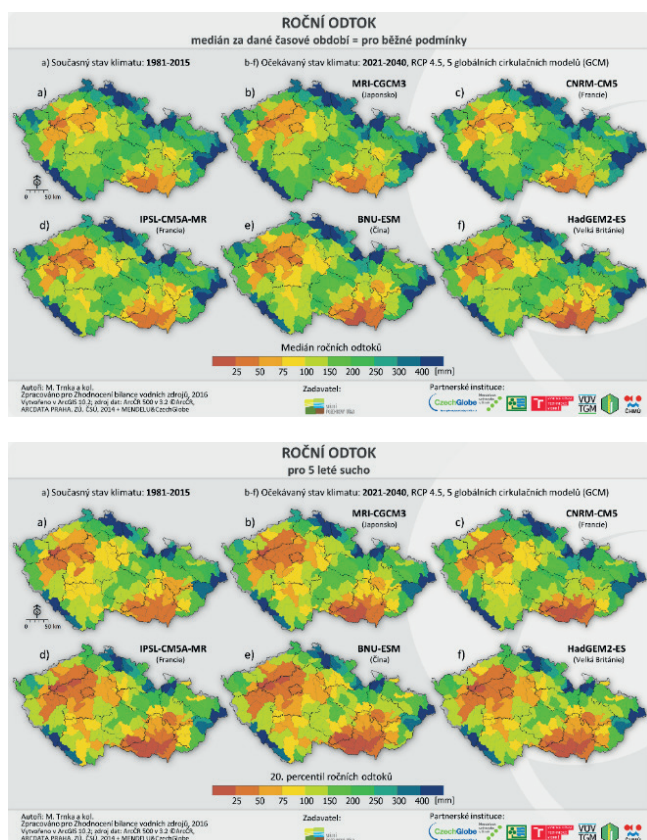
Již v současné době je v některých oblastech ČR nedostatek vodních zdrojů pro závlahy a při zohlednění předpokládaných klimatických změn se bude toto území v příštích letech postupně zvětšovat. Jak je zřejmé z Obr. 149 není možné závlahovou potřebu v mezipovodích v oblasti jižní Moravy, severozápadu Čech a v Polabí uspokojit ani v běžném roce ze zdrojů z těchto mezipovodí samotných. Dostupnost zdrojů pak zásadně klesá v případě 5letého sucha. Změna klimatu se projevuje u většiny scénářů poměrně výrazným poklesem ročních odtoků zejména v oblasti jižní Moravy a mezi Krušnými horami a Vltavou. Současně dochází ke snižování dostupné vody i v povodích ve vyšších polohách, což odpovídá celkovému poklesu vodních zdrojů.

S měnícím se klimatem lze očekávat výrazné snížení poměru povrchového odtoku a srážek a to v průměru o 10 %. Počet povodí v kategorii s extrémně nízkým povrchovým odtokem (do 10 %) se prakticky zdvojnásobuje a dochází k výraznému snižování odtokového součinitele i ve středních polohách (např. Českomoravská vrchovina). Uvážíme-li s jakými problémy, pokud jde o dostupnost vodních zdrojů, se potýká již v současné době oblast Rakovnícka, je zřejmé, že velmi pravděpodobné rozšíření oblastí s nízkým podílem povrchového odtoku bude znamenat dost významný zásah do hydrologických poměrů na vodních tocích.

Disponibilní zdroje vody sice v normální a zčásti i suchém roce teoreticky mnohonásobně převyšují aktuální závlahové potřeby, avšak podle většiny scénářů vývoje klimatu tento „přebytek“ bude výrazně redukován. Například v současné době teoreticky dostupné (avšak technicky nevyužitelné) množství vody v případě tzv. desetiletého sucha v povodí Dyje přesahuje 10x potenciální potřebu vybudovaných závlahových soustav. Tento „převis“ se ale v období 2021–2040 sníží podle většiny modelů na polovinu tj. 5 násobek. Tento „přebytek“ je ale pouze teoretický a je současnou vodohospodářskou soustavou nevyužitelný, protože ho neumíme zachytit. Proto je nutné zvážit, kde a o kolik mají být závlahy rozšířeny, což musí provázet vybudování další vodohospodářské infrastruktury (k akumulaci vody, k převodům vody z jiných povodí) a současně je nezbytné se zaměřit na zadržení vody přímo na zemědělských pozemcích.

6. 4. 2. Pěstování polních plodin pod závlahou

V úrodných a přitom nejsušších oblastech České republiky je vybudováno okolo 155 tis. ha závlah. Většina závlah je na orné půdě (90 %) a jen přibližně 5 % v ovocných sadech, vinicích a chmelnicích, kde v posledních letech dochází k nárůstu zejména kapkové závlahy. V současné době je nejvíce rozšířena závlaha postřikem, při které však dochází ke značným ztrátám vody. Závlahy jsou nejvíce používány při pěstování zeleniny a raných brambor. Ze zelenin jsou nejvíce zavlažovány košťáloviny, cibule a mrkev. Řešením do budoucna i z hlediska klesajících zdrojů vody je kapková závlaha, která je zatím u brambor a běžné zeleniny vzhledem k vysokým pořizovacím nákladům používána v malé míře.



Obr. 149 Roční odtok z mezípodví v mm na m² za období leden–prosinec pro běžný rok a 5 leté sucho pro klimatické podmínky 1981–2015 a očekávané v období 2021–2040 pro 5 GCM modelů

Mezi pěstovanými plodinami jsou velké rozdíly v náročnosti na množství závlahové vody. Relativně nižší požadavky má pěstování zeleniny, naopak velké nároky představují ovocné sady, kde potřeba vzrůstá při pěstování krycích plodin v meziřadí a při používání závlahy k ochraně proti mrazům v jarním období. Z ovocných dřevin mají

největší potřebu vody závlahy jabloně, hrušně a broskvoň, ze zelenin celer a květák.

6. 4. 3. Agronomická a agrotechnická rizika při závlaze pěstovaných plodin

Kromě příznivého vlivu na růst rostlin při nedostatku srážek mohou mít závlahy také nepříznivý vliv na fyzikální a chemický stav půdy, ztráty živin z půdní zásoby a aplikovaných hnojiv, znečišťování povrchových a podzemních vod, nárůst emisí skleníkových plynů, napadení rostlin houbovými chorobami a další. Zavlažovaná půda je také zranitelnější k tvorbě povrchové krusty a k utužení při přejezdu těžké techniky.

Neproduktivní ztráty vody průsakem z kořenové zóny plodin v případě překročení zdůvodněné potřeby porostu a vodní kapacity půdy přímo odpovídají riziku vyplavení živin, především nitrátů. K největšímu vyplavení živin a tím i riziku znečištění vod nitráty dochází v níže položených místech, kde se hromadí voda ze srážek a závlahy (Obr. 150). Přitom na dně brázd mezi hrůbkami odkud následně stékala voda do níže položených míst, jsme zjistili po plošném přihnojení mrkve granulovaným hnojivem LAV (ledek amonný s vápencem) více než polovinu z aplikované dávky (Obr. 151). Jen malá část hnojiva zůstala na povrchu hrůbku v okolí rostlin.



Obr. 150 Stékání vody do níže položených míst

Kvalita půdy a obsah organické hmoty

Na zavlažovaných půdách dochází často i přes organické hnojení k postupnému snižování obsahu organických látek v půdě a zároveň i poměru C : N. Hlavní příčinou je nízká návratnost organických látek do půdy a intenzivní kypření půdy, které podporuje jejich rozklad. Také jsou používána nevhodná organická a statková hnojiva s úzkým poměrem C : N, která podporují mineralizační procesy v půdě. Nízká

ký obsah organických látek v půdě má negativní vliv na hospodaření s vodou v půdě, urychluje vyplavování mobilních živin z půdy, zhoršuje půdní strukturu, snižuje infiltraci závlahové a srážkové vody do půdy a zpomaluje rozklad pesticidů.



Obr. 151 Granule v brázdě po plošné aplikaci LAV

V případě intenzivního zpracování půdy (např. stroji s aktivními nástroji – rotační a vibrační brány, půdní frézy, rotavátory apod.) je potřeba navrácení organické hmoty do půdy úměrně zvýšit. Tato potřeba roste i při pěstování více plodin v průběhu roku po sobě (např. rané brambory a zelenina), s opakovanou kultivací půdy. Pak je třeba do půdy vracet ročně až 3 t organických látek /ha (Klír a kol., 2018).

V odebraných vzorcích půd pod závlahou (více než 20) v zájmové oblasti Káraný (Brandýs nad Labem) jsme zjistili obsah C_{org} v ornici od 0,4 % do 1,3 % a poměr C : N od 3 : 1 do 8 : 1. Nejnižší hodnoty byly zjištěny na půdách s vyšším obsahem písku, kde byly již více let pěstovány brambory a zelenina pod závlahou. Na těchto pozemcích byly většinou pěstovány 2 plodiny v roce s intenzivním kypřením půdy včetně frézování hrůbků, používáním vysokých dávek dusíkatých hnojiv a hnojením organickými hnojivy s nízkým poměrem C : N (např. méně stabilní komposty, Organic apod.).

Hnojení minerálními hnojivy a vyplavování živin na zavlažovaných půdách

Plošná aplikace vyšších dávek minerálních hnojiv na povrch půdy může mít nepříznivý vliv na povrchovou strukturu půdy a v případě dusíkatých hnojiv může i podpořit rozklad organických látek v půdě. Při stanovení dávek dusíkatých hnojiv není na zavlažovaných půdách v širší míře používána metoda N_{min} , která koriguje dávky dusíku na základě obsahu minerálního dusíku v půdě. Bez používání této metody dochází ke zbytečným ztrátám dusíku vyplavením nitrátů, které pak mohou znečistit povrchové a podzemní vody.

Také aplikace minerálních hnojiv s některými jednomocnými kationty (K^+ , Na^+ , NH_4^+) na povrch půdy může způsobovat destrukci (rozplavení) agregátů Vaněk a kol. (2012). Na Obr. 152 je půda, jejíž povrchová struktura není vhodná pro plošné přihnojení minerálními hnojivy, po kterém může docházet ke smyvu živin a dalšímu zhoršení struktury půdy. Příčinou rozplavování půdních agregátů na povrchu půdy a tím zhoršování její struktury a infiltrační schopnosti je také vyplavení bazických kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} z horní vrstvy půdy. Tyto kationty mají významný vliv na stabilitu organických látek v půdě a půdní strukturu. Současně působí i na koagulaci koloidů a zabraňují rozplavení agregátů, což má na zavlažovaných půdách značný význam. Na Obr. 153 je zachycena vodní eroze po závlaze na půdě se špatnou povrchovou strukturou, nízkým obsahem C_{org} , vysokým obsahem K, nízkým obsahem Ca a Mg a nevhodným poměrem jednomocných a dvojmocných kationtů. Pro zlepšení půdní struktury je tedy vhodné hnojiva s obsahem jednomocných kationtů aplikovat lokálně do půdy před setím a sázením nebo při plečkování.

Kromě stanovení N_{min} v půdě je nutné na zavlažovaných půdách věnovat větší pozornost diagnostice ostatních živin v půdě (optimálně s využitím metody KVK-UF, Matula 2007), včetně stanovení poměru jednomocných a dvojmocných kationtů (K : Mg : Ca). Stanovení reálné hodnoty KVK půdy pozemku je důležité, neboť je výchozím krokem agronomické interpretace půdního testu k odvození racionální potřeby hnojení. Na základě zjištěné hodnoty KVK a poměru kationtů je třeba optimalizovat aplikaci hnojiv s obsahem kationtů K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} i vápnění. Při analýzách půd odebraných v oblasti Káraný byl zjištěn extrémně nevhodný poměr mezi živinami, a to zejména v důsledku nízkého obsahu vápníku. Obsah Ca ve vodním výluhu v poměru ke zjištěným hodnotám draslíku byl u všech půd zhruba 8–10x nižší, než by bylo třeba pro zajištění dobré struktury půdy a pro koagulaci koloidů, které udržují půdní agregáty pohromadě. Relativní nadbytek draslíku vzhledem k celkovému nepoměru mezi K a Ca tak napomáhá destrukci agregátů, čemuž přispívá zavlažování, které může mít významný vliv na vyplavení vápníku. Optimální poměr K : Mg : Ca v půdě má být v ekvivalentním vyjádření 1 : 3 : 13,5–15 nebo alespoň 1 : 2 : 9,5–10. Na zavlažovaných půdách s vodní erózí byly tyto poměry např. 1 : 1 : 2,3 nebo 1 : 1,6 : 2,9 t.



Obr. 152 Půda ve stavu nevhodném pro plošnou povrchovou aplikaci hnojiv



Obr. 153 Vodní eroze po závlaze ředkvičky na půdě se špatnou povrchovou strukturou

Agromická a agrotechnická opatření při používání závlah – shrnutí

- Na zavlažovaných půdách dochází k vyplavení dvojmocných kationů Ca^{2+} a Mg^{2+} z horní vrstvy půdy, které mají významný vliv na stabilitu organických látek v půdě a půdní strukturu. Při jejich nedostatku dochází k rozplavení agregátů a zhoršení infiltrace vody do půdy.
- Na zavlažovaných půdách se postupně snižuje i přes organické hnojení obsah organických látek v půdě a zároveň i poměr C : N. Často jsou používána nevhodná organická hnojiva s úzkým poměrem C : N, která podporují mineralizační procesy v půdě. Úbytek organických látek vede ke zhoršení půdní struktury a infiltrace závlahové a srážkové vody do půdy.
- Ke zhoršení povrchové struktury přispívá také aplikace minerálních hnojiv obsahujících jednomocné kationty (K^+ , NH_4^+ , Na^+) na povrch půdy.

- Dávky hnojiv, zejména dusíkatých, je třeba korigovat podle skutečného obsahu rostlinami využitelných živin v půdě (např. metoda N_{\min} , KVK-UF apod.).
- Pro udržení dobré půdní struktury se doporučuje pravidelné hnojení kvalitními organickými a statkovými hnojivy s širším poměrem C : N (20 : 1 a více), vápnění dolomitickým vápencem, podpovrchová lokální a zonální aplikace minerálních hnojiv s pozvolným uvolňováním živin do kořenové zóny rostlin, pěstování meziplodin apod.
- Doporučuje se zařazování meziplodin, které mají nižší nároky na vodu a jsou schopné odebrat z půdy nevyužitý dusík po zeleninách a raných bramborách a po zapravení do půdy zlepši bilanci organických látek (např. čirok, bér apod.).

Literatura:

- Klír, J., Haberle, J., Růžek, P., Šimon, T., Svoboda, P. (2018): Postupy pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i. Praha. 44 s.
- Matula, J. (2007): Optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, 48 s.
- Vaněk, V. a kol. (2012): Výživa zahradních rostlin. Academia, 568 s.

6. 5. Strategická opatření v rámci sektoru

Díčí adaptační opatření pro zemědělský sektor, která mají za cíl snižovat dopady zemědělského sucha na produkci a omezovat tak ekonomické ztráty, pocházejí z nejrůznějších odborných kruhů od hydrologů, pedologů, přes odborníky na šlechtění až po agronomy. Většina opatření má své důležité místo v adaptaci (omezení důsledků) a do značné míry i mitigaci (omezení příčin – předcházení) zemědělského sucha, avšak pokud jsou používány samostatně bez promyšlené strategie, jsou jejich dopady spíše omezené, vynaložené náklady jsou málo efektivní, a v některých případech mohou situaci dokonce zhoršovat. Klíčem k úspěchu adaptačních a mitigačních strategií je skutečnost, že musí vycházet zdola – ze zemědělské praxe, tedy že zemědělci musí přijmout jejich uplatnění, chápat někdy značně dlouhodobé procesy vedoucí ke zlepšení a také akceptovat případné negativní důsledky těchto opatření. Nicméně utváření strategií, jejich podpora a nezbytný poradenský systém, který pomáhá jejich efektivnímu uplatňování, musí být vytvářen shora, tedy na základě politik států, případně Evropské unie. Každá takto shora vytvářená strategie musí ovšem začínat u vzdělávání zemědělců a demonstrace efektů, čili musí