



Miloslav Javůrek, Milan Vach

Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění

METODIKA PRO PRAXI



Výzkumný ústav
rostlinné výroby, v.v.i.

2008

Metodika vznikla za finanční podpory MZe ČR a je výstupem řešení výzkumného záměru VÚRV v.v.i. č. MZe 0002700601 „Principy vytváření, kalibrace a validace trvale udržitelných a produktivních systémů hospodaření na půdě.“

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2008

ISBN 978-80-87011-57-7

Miloslav Javůrek, Milan Vach

Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění

METODIKA PRO PRAXI

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2008

Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění

Tato publikace shrnuje doposud známé poznatky o zhutnění orných půd. Především jsou prezentovány příčiny vzniku nadměrného zhutnění, dále pak jeho důsledky v různých stanovištních podmínkách, co se týká vlivu jednak na půdní prostředí a jednak na výši a kvalitu rostlinné produkce. Část obsahu je věnována rozboru situace ve zhutnění půd v podmínkách České republiky a podstatná část pojednává o opatřeních, vedoucích ke zmírnění účinků půdního zhutnění a k jejich postupnému utlumení na základě agrobiologických postupů. Na závěr jsou navržena některá organizační opatření pro řešení tohoto škodlivého jevu v české zemědělské praxi.

The negative impacts of soil overcompaction and set of measures for their remedy

This publication includes up to now known knowledge of arable soil compaction. Above all the causes of rise of soil overcompaction and its impact in various site conditions both on soil environment and on quantity and quality of crop production are presented. The part of this booklet content was devoted to analysis of the situation of soil compaction in Czech Republic conditions and substantial part deals with measures leading to mitigation of soil compaction impacts and to sequential inhibition of them on the basis of agro-biological methods. At the conclusion some organization measures for solution of this harmful phenomenon in Czech farming practice are suggested.

Oponenti:

Prof. Ing. Josef Hůla, CSc. – VÚZT Praha-Ruzyně, v.v.i.
ing.. Michaela Budňáková – MZe ČR Praha

Metodika je určena zemědělcům a zemědělským poradcům

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR – odborem rostlinných komodit pod č.j. 46274/2008-18020

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi

OBSAH

	Str.
I. Cíl metodiky	6
II. Vlastní popis metodiky	6
1. ÚVOD	6
2. STÁVAJÍCÍ SITUACE VE ZHUTNĚNÍ PŮD ČR	6
3. ZHUTNĚNÍ PŮDY OMEZUJÍCÍ PRODUKČNÍ A EKOLOGICKÉ FUNKCE V ROSTLINNÉ VÝROBĚ	6
3.1. Zhutnění půdy a jeho negativní vliv na půdní prostředí	7
3.2. Zhutnění půdy a jeho negativní vliv na výši a jakost výnosů plodin	8
4. SOUSTAVA ZÚRODŇOVACÍCH OPATŘENÍ K ODSTRAŇOVÁNÍ ZHUTNĚNÍ PŮDY	9
4.1. Uplatňování agrobiologických opatření	9
4.2. Omezování zhutnění půdy	11
4.3. Odstraňování zhutnění půdy	17
5. NÁVRHY ORGANIZAČNÍCH AKTIVIT PRO REALIZACI ODSTRAŇOVÁNÍ NADMĚRNÉHO ZHUTNĚNÍ PŮD	21
6. ZÁVĚR	22
III. Srovnání „novosti postupů“	22
IV. Popis uplatnění metodiky	22
V. Seznam použité související literatury	23
VI. Seznam publikací, které předcházely metodice	23

I. Cíl metodiky

Cílem metodiky je dostat do povědomí všech, co hospodaří na zemědělské půdě, že nadměrné zhutnění půdy v důsledku jejího nezodpovědného a nevhodného obdělávání maří jejich úsilí o co nejefektivnější rostlinnou produkci. Současně si metodika klade za cíl dát návod, jak důsledky tohoto fenoménu v co možno největší míře eliminovat.

II. Vlastní popis metodiky

1. ÚVOD

Zhutnění půd je na mnohých stanovištích vážnou příčinou podstatného zhoršení úrodnosti a produkční schopnosti půd, omezuje plné využití genetického potenciálu výkonných odrůd a snižuje efektivitu vstupů do produkčního procesu pěstovaných plodin, především organického i minerálního hnojení. Přitom důsledky nadměrného zhutnění půd jsou z celospolečenského hlediska o to vážnější, že se převážně jedná o půdy potenciálně velmi úrodné, kde se snížení výnosu týká právě nejvýnosnějších plodin. Proto řešení této závažné problematiky zhutnění půd v rostlinné výrobě je mimořádně aktuální a zemědělské podniky by měly v soustavě hospodaření na půdě věnovat této skutečnosti zvýšenou pozornost a usilovat o důsledné uplatňování všech dostupných opatření k jeho eliminaci a odstraňování.

2. STÁVAJÍCÍ SITUACE VE ZHUTNĚNÍ PŮD V ČR

Stávající stav zhutnění půd je důsledkem v minulém období dlouhodobě uplatňovaných jednostranných a nevhodných intenzifikačních opatření. Jednalo se především o neúměrné dávky a nesprávný sortiment minerálních hnojiv, nedostatečný přísun organické hmoty do půdy, používání těžké mechanizace a celou řadu dalších faktorů, kdy nebyly uplatněny kompenzační vazby především preventivního charakteru a agrobiologická opatření vedená k omezování zhutnění půdy. Podle průzkumu zhutnění půd, které se naposledy uskutečnilo v 80. letech minulého století, bylo nadměrným zhutněním postiženo kolem 38 % výměry orné půdy.

Podle naposledy provedených odhadů, publikovaných v Situační a výhledové zprávě (Půda) Ministerstva zemědělství ČR (MZe ČR, 1999) je nadměrným zhutněním v různém stupni postiženo zhruba 45 % zemědělského půdního fondu, z toho 15 % je *zhutnění genetické*, dané přirozenými vlastnostmi těžkých půd a zbývající podíl připadá na *zhutnění technogenní* v důsledku nevhodného způsobu strojního obdělávání půdy. Současné hlavní příčiny zhutnění půd, které i v minulém období vedly ke zhutňování půdy, jsou i nadále antropogenního charakteru. V současnosti je situace ve zhutnění půdy o to složitější, že ve značné míře je půda dlouhodobě degradována kompakcí v podorničních horizontech. Zhutnění půdních vrstev v těchto hloubkách je velmi perzistentní a odstranitelné pouze v dlouhodobém časovém horizontu. Efektivnímu řešení této závažné problematiky se dosud v zemědělských podnicích věnuje jen minimální pozornost. Vývoj fenoménu půdního zhutnění tak směřuje ke zvýšení plošného rozsahu a k zesílenému charakteru půdní degradace.

3. ZHUTNĚNÍ PŮDY OMEZUJE PRODUKČNÍ A EKOLOGICKÉ FUNKCE V ROSTLINNÉ VÝROBĚ

Nadměrné zhutnění (kompakce) půdy způsobuje tyto hlavní nepříznivé jevy:

- zhoršuje půdní prostředí,

- zvyšuje energetickou náročnost při zpracování půdy,
- zhoršuje využití živin rostlinami,
- nepříznivě ovlivňuje výši a jakost produkce plodin.

Nadměrné ztuhnutí půdy negativně působí na mimoprodukční (ekologickou) funkci půdy tím, že:

- zpomaluje a omezuje infiltraci vody do půdy, čímž se podporuje povrchový odtok a následná vodní eroze půdy se všemi jejími důsledky,
- snižuje retenční (zádržnou) schopnost půdy,
- urychluje a zintenzivňuje se vysychání půdy (výpar vody).

Technogenní ztuhnutí půdy dále vykazuje i negativní nepřímé vazby (interakce) s technologií pěstování plodin, např. s agrotechnickými termíny některých polních operací (setí, sázení, kultivační práce, sklizeň).

3.1. Ztuhnutí půdy a jeho negativní vliv na půdní prostředí

Výsledky výzkumu jednoznačně prokázaly, že ztuhování půdy má za následek zvýšení objemové hmotnosti půdy, snížení pórovitosti (především nižší objem nekapilárních pórů) a při vyšším stupni působí destrukci půdních agregátů. To vede ke zhoršování dalších fyzikálních vlastností půdy, např. k omezené propustnosti půdy pro vodu, způsobuje změny v obsahu vody v rámci půdního horizontu a ovlivňuje její pohyb v půdě. Současně ovlivňuje relace mezi obsahem vzduchu (deficit kyslíku v kořenovém prostoru) a teplotou půdy. V tabulce 1 jsou uvedeny limitní kritické hodnoty některých fyzikálních vlastností půdy, při jejichž překročení dochází nejen ke škodlivému působení na rostliny, ale i na edafon v půdě a na efektivní využití aplikovaných hnojiv.

Tab. 1 Limitní hodnoty některých fyzikálních vlastností ztuhlé půdy (Lhotský, 2000)

Fyzikální vlastnost	Půdní druh (obsah částic pod 0,01 mm v %)					
	J > 75	JV-JH 75 – 46	H 45 - 39	PH 30 - 21	HP 20 - 11	P < 10
Objemová hmotnost po vysoušení (g.cm⁻³)	> 1,35	> 1,40	> 1,45	> 1,55	> 1,60	> 1,70
Pórovitost (% objem)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Penetrační odpor půdy MPa	2,8 – 3,2	3,3 – 3,7	3,8 – 4,2	4,5 – 5,0	5,5	> 6,0
Při vlhkosti % hmot.	28 - 24	24 - 20	18 - 16	15 - 13	12	10

Legenda : J – jíl, JV – půda jílovitá, JH – půda jílovitohlinitá, H – půda hlinitá, PH – půda písčitohlinitá, HP – půda hlinitopísčitá, P – půda písčitá

Při vyšším ztuhnutí půdy se omezuje zejména půdní mezoedafon (dešťovky, chvostokoci, členovci aj.), kteří jsou spolutvárci drobtovité struktury půdy - vytvářejí chodbičky, vylučují stabilizující látky pro tvorbu půdních drobtů. Tím zvyšují pórovitost a propustnost půdy pro vodu a vzduch.

Mikroedafon, tvořený zástupci jednobuněčných organismů, především bakterií a prvoků, převážně patří mezi aerobní organismy. Jejich rozvoj je podmíněn nejen dostatečnou zásobou organických látek v půdě, ale i dobrou provzdušeností a vlhkostí. Půdní mikroedafon se podílí na důležitých procesech přeměn organických i minerálních látek, tj. humifikace, oxidace amoniaku, ale i železa, síry, manganu, rozkladu síranů, dusičnanů atd. Ve ztuhlých, neprovzdušených půdách je aktivita mikroedafonu značně omezena a důsledkem je klesající kvalita půdního humusu, acidifikace půdního prostředí a jeho kontaminace agrochemikáliemi.

Biologicky činná půda je podmínkou intenzivního a vyváženého příjmu živin a jejich vysoké mobilizace rostlinami. Je zjištěno, že při nadměrném zhutnění půdy tj. při hodnotách objemové hmotnosti nad $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ u středně těžkých půd se značně snižuje efektivnost hnojení, přičemž se zejména projevuje nedostatek dusíku.

Nadměrné zhutnění zvyšuje odpor půd při jejich zpracování a tím vzrůstá energetická náročnost při běžném obdělávání zejména při orbě. Řada autorů zjistila, že za posledních 30 let se v důsledku zhutnění středně těžkých a těžkých půd zvýšil orební odpor v průměru o 30 %, na souvraticích až o 80 %. To se zákonitě promítá do zvýšené spotřeby nafty a ve vyšších nákladech na orbu. Při odstraňování půdního zhutnění podomíční vrstvy půdy (dlátování, hloubkové kypření) se energetická náročnost dále výrazně zvyšuje. Při odstraňování zhutnělé půdy v podomíči činí spotřeba nafty na hloubkové meliorační kypření do 0,65 m zhruba 45 l.ha^{-1} .

3.2. Zhutnění půdy a jeho negativní vliv na výši a jakost výnosů plodin

Je prokázáno, že nadměrné zhutnění půdy redukuje rychlost růstu kořenů plodin, jejich prodlužování a prorůstání do spodních vrstev půdy (hloubka zakořenění) i tvorbu kořenového vlášení. Ve zhutnělých půdách jsou nejvíce postiženy plodiny, které tvoří hospodářský výnos podzemními orgány - u cukrovky dochází k tzv. mrcasatění bulev, u brambor k deformaci hlíz apod. U plodin, které vytvářejí hlavní kůlový kořen (řepka olejka, sója, slunečnice aj.) se jeho růst omezuje tím, že neproniká zhutnělou vrstvou v podomíči, roste horizontálně a deformuje se. To znamená, že nadměrné zhutnění půdy má za následek nižší příjem vody a živin v porovnání s normálně vyvinutým kořenovým systémem. Přípustné hodnoty objemové hmotnosti půdy pro některé plodiny uvádí tab. 2.

Z toho vyplývá, že vlivem zhutnění půdy v ornici i podomíči se výnosy plodin snižují v závislosti na stupni zhutnění a dalších faktorech (průběhu počasí, vlhkosti půdy, použité agrotechnice) a to v rozmezí u obilnin o 10 – 20 %, u kukuřice o 10 – 15 %, luskovin o 15 – 20 %, u brambor o 20 – 25 %, u cukrovky o 20 – 30 %. Utužení půdy nejenom snižuje výši výnosu, ale také nepříznivě ovlivňuje jakost produkce. Tak např. u cukrové řepy se cukernatost bulev snížila v průměru o 15 %, olejnatost semen řepky olejky až o 8 %.

Tab. 2 Přípustná a riziková objemová hmotnost půdy pro některé plodiny (u středně těžkých půd)

Plodina	Objemová hmotnost půdy (g.cm^{-3})	
	přípustná	riziková
Pšenice ozimá	1,45 – 1,50	1,60
Žito ozimé	1,35 – 1,40	1,55
Ječmen jarní	1,35 – 1,45	1,50
Oves	1,50 – 1,55	1,60
Kukuřice	1,50 – 1,55	1,60
Luskoviny	1,15 – 1,20	1,30
Cukrovka	1,00 – 1,10	1,35
Brambory	1,00 – 1,15	1,25

4. SOUSTAVA ZÚRODŇOVACÍCH OPATŘENÍ K ODSTRAŇOVÁNÍ ZHUTNĚNÍ PŮDY

Zúrodňování a odstraňování škodlivého zhutnění půdy vyžaduje komplexní uplatnění zúrodňovacích a agromelioračních opatření v soustavě hospodaření na půdě. Jedná se o:

- a) využití možných agrobiologických a technologicko-organizačních opatření vedoucích k omezování zhutnění půdy
- b) odstraňování zhutnění půd uplatněním agromelioračních mechanických zásahů. Při omezování a odstraňování zhutnění půdy je třeba dbát na propojenost a kombinaci jednotlivých opatření.

Soustava zúrodňovacích opatření musí vycházet ze zjištění rozsahu a stupně postižených půd zhutněním. Nejlepší metodou je průzkum zhutnění půd penetrometrickým měřením odporu půdy. Jako určité vodítko k posouzení utuženosti půdy mohou sloužit i praktická pozorování, jako např. louže nevsakující se vody na pozemcích po deštích, na jaře pomalé lokální osychání půdy, mělké zakořeňování plodin, např. tvorba celerovitých bulev cukrovky, zvýšená energetická náročnost (větší odpor) při obdělávání půd.

Pro přesné stanovení zhutnění půdy slouží moderní penetrometry, které registrují odpor v MPa při zasouvání kuželového hrotu do půdy. Zjišťování odporu půdy je nejlépe uskutečnit na jaře (koncem dubna), kdy je půdní profil rovnoměrně provlhčen (není většinou nutná korekce podle vlhkosti půdy). Na pozemcích s vyrovnaným druhem půdy by vzdálenost mezi jednotlivými sondami neměla přesahovat 100 m. Na heterogenních pozemcích je třeba vzdálenost mezi jednotlivými sondami zkrátit, nejmenší počet sond na menších pozemcích by měl činit alespoň 10. Podle výsledků penetrometrické sondáže půdní plochy zemědělského podniku by se měl zpracovat projekt zúrodňovacích opatření a rozsah uplatnění agromelioračních mechanických zásahů pro odstraňování zhutnění v podorničním profilu půdy.

4.1. Uplatňování agrobiologických opatření

Za vhodná agrobiologická opatření v soustavě hospodaření na půdě, která vedou k prevenci a ke snížení zhutnění půdy se považují:

- dostatečné hnojení půdy kvalitními organickými hnojivy,
- vápnění půdy a udržování optimální hodnoty pH půdy,
- omezené používání fyziologicky kyselých minerálních hnojiv a hnojiv s obsahem jednomocných kationtů,
- v plodinových strukturách využívání plodin, které působí kořenovým systémem na tvorbu drobtovité struktury půdy a přispívají k omezování zhutnění půdy.

Hnojení kvalitními statkovými hnojivy slouží nejen k pravidelnému dodávání potřebné organické hmoty a živin do půdy pro zabezpečení biologických procesů (výživa edafonu), ale i pro pozitivní ovlivnění všech půdních vlastností. Při rozkladu organické hmoty vznikají huminové kyseliny, které přispívají k agregační schopnosti půdy, čímž zlepšují její strukturní stav a zvyšují odolnost půdy proti zhutnění tím, že zlepšují nosnost půdy. Z dlouhodobých pokusů na sprašových půdách se prokázalo zvýšení pórovitosti půdy až o 8 % při použití vyšších dávek hnoje ve srovnání s organicky nehnojenou půdou. Proto vyšší dávky organických hnojiv na zhutnělých půdách přispívají k redukci tohoto nepříznivého stavu a snižují náchylnost ke zhutnění půdy.

Reakce půdy silně ovlivňuje jednak chemické, fyzikálně chemické a biologické procesy v půdě a také i růst a výnosy plodin. Z hlediska prevence zhutnění půdy, zejména vápník pozitivně ovlivňuje agregační schopnosti půd a zvyšuje stabilitu půdní struktury. Zemědělské

podniky by měly dbát na pravidelné agrochemické zkoušení půd a podle výsledků stavu reakce půdy, zejména při nízkých hodnotách pH, by měly uplatnit meliorační vápnění. Používání fyziologicky kyselých minerálních hnojiv, jako např. síranu amonného nebo síranu draselného, nebo i vyšších dávek superfosfátu je možno uplatňovat jen na půdách s neutrální reakcí (pH 6,6 – 7,2). Na slabě kyselých půdách (pH 5,6 – 6,5) při vyšších dávkách a opakované aplikaci vedou tato hnojiva k destrukci půdních agregátů svými peptizačními účinky a tím zvyšují náchylnost půd ke zhutňování.

V soustavě hospodaření na půdě stále sehrává mimořádnou úlohu struktura plodin. Platí zde základní vztahy mezi zastoupením jednotlivých druhů plodin, jejich střídáním v osevních postupech, úrodností, zpracováním půdy a produkčními faktory, především hnojením. Pěstované plodiny zaujímají z hlediska zhutnění půd dvojí postavení.

Z jedné strany samy rostliny působí nejen množstvím biomasy kořenového systému, ale i nepřímo produkcí nadzemní biomasy různým způsobem příznivě na stav půdy, zejména na fyzikální, (tj. i stupeň zhutnění) a biologické vlastnosti. Z druhé strany rostliny kladou různé nároky na fyzikální a další půdní vlastnosti a to nejen v orničním, ale i podorničním profilu půdy pro jejich zdárný růst a produkci biomasy. Hloubka zakořenění plodin a množství kořenů je proto důležitým kritériem pro stanovení jejich zlepšujících vlastností. Údaje o hloubce zakořenění některých plodin uvádí tab. 3.

Tab. 3 Hloubka zakořenění některých plodin

Plodina	Hloubka zakořenění (m)	Plodina	Hloubka zakořenění (m)
Vojtěška	2 - 10	Pšenice ozimá	0,2 – 0,3
Vičenec	2 - 10	Žito ozimé	0,3 – 0,4
Komonice	1,1 – 1,9	Ječmen jarní	0,2 – 0,3
Jetel luční	1,0 – 2,0	Oves	0,5 – 0,6
Lupina modrá	0,7 – 1,3	Kukuřice	1,2 – 1,8
Hrách setý	0,8 – 1,3	Řepka olejka	1,1 – 2,8
Bob obecný	1,0 – 1,2	Hořčice bílá	1,0 – 2,0
Sója luštinatá	1,5 – 2,0	Slunečnice	1,2 – 1,5
Vikev setá	0,3 – 0,9	Cukrovka	1,8 – 2,0
Vikev huňatá	0,3 – 0,5	Brambory	1,0 – 2,0

Za regenerační plodiny s příznivým působením na půdní vlastnosti se jednoznačně považují víceleté leguminózy a luskoviny, ale také i řepka olejka, kukuřice a další hlouběji kořenicí plodiny. Zařazování těchto plodin v plodinových strukturách má příznivý vliv na omezování zhutňování podorničních vrstev.

Ve struktuře plodin mají značné opodstatnění i meziplodiny, jejichž význam je mnohostranný a zasahuje do celkové rostlinné produkce. Z celé řady hlavních přínosů meziplodin v soustavě hospodaření se z hlediska prevence zhutnění půdy uplatňují přísunem kvalitní organické hmoty do půdy (zelené hnojení), příznivou činností kořenové soustavy v orniční vrstvě a zvýšením mikrobiální aktivity půdy. V literatuře se uvádí, že při pravidelném zařazování meziplodin se pórovitost půdy zvýšila až o 5 % (ŠIMON, ZIMOVÁ 1983).

Zpracování půdy se všeobecně považuje za nápravné opatření, kterým se zhutnění odstraňuje. Nesprávné zpracování půdy, zejména nevhodnými stroji nepřizpůsobenými konkrétním půdním podmínkám vede ke zvyšování zhutňování. Značné zhutňování může způsobit i základní zpracování půdy při vyšší půdní vlhkosti. Podle KOSILA (1962) se za

příznivou vlhkost půdy pro zpracování považuje u jílovitých 20 – 30 % obj., u hlinitých 15 – 22 % obj., u písčitých půd 5 – 10 % obj.

Je proto na zemědělské praxi, aby těmto agrobiologickým opatřením věnovala náležitou pozornost a v maximální míře je využívala. Jejich uplatňováním je možno předcházet zhutnění půdy, mají tedy velmi důležitý preventivní charakter. Tato agrobiologická opatření prakticky nevyžadují zvláštní dodatečné náklady, jen větší operativnost a organizační schopnost, ale hlavně snahu zemědělského podniku je plně zužitkovat.

4.2. Omezování zhutnění půdy

Způsoby omezování zhutnění půdy v soustavě hospodaření, hlavně však v technologii pěstování plodin musejí sehrávat významnou úlohu. Přístupy v omezování zhutnění půdy vyžadují revizi v organizaci půdního fondu a organizaci práce, přehodnocení soustavy hospodaření na půdě a technologických postupů pěstování plodin včetně materiálně technického zabezpečení, ale i vývoj a výrobu nových strojů.

Jedná se především o tato opatření:

- technická a konstrukční řešení zemědělských strojů vedoucí ke snižování jejich tlaku na půdu,
- revize uspořádání půdního fondu,
- doba vstupu strojů na pozemek a omezování pojezdu strojů po poli,
- šetrné a ochranné zpracování půdy.

4.2.1. Technická a konstrukční řešení strojů

Technická a konstrukční řešení strojů s cílem snížit kontaktní tlak na půdu (styčné plochy pojzdového ústrojí, limitní zatížení náprav atd.) se staly předmětem rozsáhlého výzkumu v 80. letech minulého století. Studovala se hlavně závislost deformace půdy (ornice i podorničí) na kontaktním tlaku strojů a únosnosti půdy (HÅKANSSON 1982 a další autoři). Sledování ukázala, že nestačí definovat pouze největší přípustné hodnoty měrných tlaků na půdu, ale je nutné stanovit i limitní zatížení náprav strojů (6 t jako mezní hmotnost na 1 nápravu).

Řešení této problematiky v souvislosti se zhutňováním půdy se zaměřilo hlavně na:

- nové konstrukce pneumatik
- snižování hmotnosti strojů.

Dříve, než se dostaly do výroby nové konstrukce pneumatik, doporučovalo se pro snížení zhutnění půdy kontaktními tlaky používat zdvojených kol, klecových kol, případně kombinaci předních pneumatik s opryžovanými pásy zadního pohonu traktoru. Také se osvědčuje řízené podhušťování pneumatik strojů a návěsů při jízdě po poli.

V současné době však převládají nové konstrukce nízkotlakých pneumatik. Tyto širokoprofilové, nízkotlaké pneumatiky jsou šetrnější k půdě tím, že snižují utužování při pojezdech strojů po poli a proto jsou již těmito pneumatikami vybavovány sklízecí plodin především se zásobníkem produkce. U traktorů a dalších strojů se používají radiální pneumatiky, které v porovnání s klasickými diagonálními vykazují nižší zhutňování půdy. Lze říci, že výrobci zemědělských strojů již uplatňují převážně nové konstrukce pneumatik za účelem snížení kontaktních tlaků strojů na půdní profil.

U dřívějších konstrukcí zemědělských strojů, především sklízeců, se zvyšování jejich výkonu neobešlo bez zvýšení jejich hmotnosti, což mělo za následek překračování limitu kontaktních tlaků. Také metody sklizně plodin, kdy sklizený produkt sklizňové stroje

ukládaly do současně pojíždějících dopravních souprav s nevhodnými pneumatikami s nastavovanými úložnými prostory, přispěly významnou měrou v kombinaci s druhem půdy a její vlhkostí k nadměrnému zhutňování půd. Zejména při sklizni cukrovky při vyšší vlhkosti půdy docházelo ke značnému zhutňování půdy do velkých hloubek v podorničí.

V současné době již došlo k výrazným změnám sklizňových technologií a konstrukci sklizňových strojů (používání strojů se zásobníky, opatřených nízkotlakými pneumatikami), což snižuje negativní vliv mechanizace, pojíždějící po poli, na půdu. Také využívání strojů s aktivně poháněnými pracovními nástroji, kde se převážná část výkonu motoru přenáší přes vývodový hřídel traktoru, snižuje nároky na trakční vlastnosti traktorů a tím i na jejich hmotnost.

Využití opatření tohoto druhu k omezování zhutnění půd závisí především na strojním parku jednotlivých zemědělských podniků, resp. jejich vybavení moderní zemědělskou technikou. Současná nabídka zemědělské techniky na trhu pro rostlinnou výrobu většinou přispívá k redukci kontaktních tlaků na půdu.

Při obnově strojního parku by zemědělské podniky měly současně přehodnotit technologické postupy pěstování plodin s ohledem na stanovištní podmínky (druh půdy atd.), které mají souvislost i s redukcí půdního zhutnění.

4.2.2. Revize uspořádání půdního fondu

Jedná se o restrukturalizaci využívání a uspořádání půdního fondu. Půdně ekologické aspekty uspořádání půdního fondu jsou důležitým předpokladem racionálního využívání zdrojů půdy a omezování jejího zhutnění. Správná koncepce uspořádání honů a hospodaření ovlivňují i ráz krajiny jako celku.

I na poměrně půdně homogenním území, kde mohou být i velké hony, je nutno respektovat zásady biologické ochrany nejen půdy (vodní i větrná eroze, apod.), ale i samotných porostů plodin (biologická likvidace škůdců) i živočišného společenstva (různé nároky jednotlivých druhů na životní podmínky). Málo se také respektují faktory mikroklimatu. Z toho vyplývá, že i struktura plodin má vliv na velikost pozemku a do jisté míry i na zhutnění půdy.

Z hlediska zhutnění půdy má výrazný vliv především půdní typ a druh půdy. Rovněž reliéf terénu ovlivňuje stupeň podorničního zhutnění půdy. Podle toho je třeba volit velikost a tvar honu. Z poznatků v SRN vyplývá, že ekonomické přínosy jsou na pozemcích při velikostech nad 20 ha (i v rovinném území) již nepatrné. Významnou roli sehrává soulad střední délky pozemku a kapacity zásobníku produkce u sklizečů. Za předpokladu dopravní přístupnosti se střední délka pozemku maximálně do 1000 m ukazuje jako přijatelný kompromis. S tím souvisí budování provizorních „polních cest“ a vjezdů na pozemky z veřejných komunikací. Nadměrné utužení půdy pod provizorními polními cestami by mělo být po skončení jejich využívání eliminováno melioračními hloubkovými kypřiči.

4.2.3. Doba vstupu strojů na pozemky

Intenzita negativního působení pojezdů strojů a dopravních prostředků na zhutnění půdy má značnou souvislost s dobou vstupů této techniky na pole. Vstupy strojů na pozemky při zakládání porostu plodin zejména na jaře by se měly, vzhledem k tomu, že je v této době půda velmi citlivá na zhutnění, uskutečnit až v době, kdy je ornice tzv. „zralá“, tj. má přiměřenou vlhkost a dobrou únosnost. Předčasné vstupy strojů v jarním období na pozemky nejenže značně zhutňují půdu a poškozují její strukturu, ale jsou i z hlediska nároků plodin nevhodné. Jedná se o tzv. „zamazání osiva“, kdy v kolejových řádcích dochází ke žloutnutí rostlin

vlivem nedostatku vzduchu v půdě a k dalším poruchám růstu v důsledku nepříznivých půdních vlastností. Nápravná opatření na ztuhlé půdě v tomto období jsou prakticky nemožná.

Vstupy strojů do porostu plodin během vegetace vyžadují rozvahu vzhledem ke stavu půdy i porostu plodin a zároveň se zřetelem k uplatňovaným agrotechnickým opatřením, tj. přihnojování a ochraně rostlin v požadovaném termínu. Poškozené nebo zničené rostliny již velmi obtížně nahrazujeme (omezená regenerace) a škody vzniklé na půdním prostředí ztuhnutím při jízdách strojů v porostech plodin se obtížně eliminují. V některých letech při sklizni plodin za vlhkého počasí dochází při vstupech především starších sklizňových strojů i k hlubokým stopám s následným ztuhnutím podorničních vrstev. V tomto směru je třeba maximálně využívat jízdnic drah pro jízdy strojů v porostech plodin.

Hlavní možností zemědělských podniků jak usměrňovat a optimalizovat dobu vstupů strojů na pozemky, s ohledem na omezování ztuhování půdy, je dostatečné vybavení vhodnými, výkonnými stroji, vysoká operativnost při zajišťování jednotlivých pracovních operací v souladu s půdními podmínkami, požadavky agrotechniky pěstovaných plodin v souladu s průběhem počasí podle předpokládaného vývoje.

V období po sklizni zrnin a dalších semenných plodin při vstupech strojů na pozemek již nedochází k výraznému ztuhnutí půdy, kdy je většinou nízká vlhkost půdy i slehlejší ornice a kolejové stopy je možné odstranit následným zpracováním půdy. Proto je třeba tohoto období využít k uplatnění pěstitelských opatření (hnojení P, K minerálními hnojivy, vápnění, aplikace kejdy apod.), která jsou technologicky nutná.

Také přesun některých operací přípravy půdy z jara do podzimu u plodin setých, nebo sázených na jaře, např. urovnání ornice, má výhodu v tom, že vzniklé ztuhnutí půdy ve stopách po přejezdech strojů na podzim může být v zásadě napraveno vlivem objemových změn půdy při jejím promrzání v zimním období. Často však vzhledem k požadovaným agrotechnickým lhůtám pro jednotlivé plodiny, k termínům aplikace agrochemikálií a stavu půdy (úrodnost, zralost) je nutno v tomto směru zvolit přijatelný kompromis ve vztahu plodina a půda. Velmi významnou úlohu zde rovněž sehrává akceschopnost zemědělských podniků maximálně využít příznivých půdních podmínek ke vstupu strojů na pozemky v optimální dobu.

4.2.4. Omezování pojezdů strojů po poli, spojování pracovních operací

Omezování pojezdů strojů po poli a spojování pracovních operací do jednoho pracovního postupu je další možností omezování ztuhnutí půdy. Tabulka č. 4 uvádí koeficienty přejezdu strojů po poli, které jsou dány součtem všech kolejových stop strojů při pracovních operacích v rámci pěstební technologie plodiny v porovnání k pěstitelské ploše. Z této tabulky vyplývá, že podle tehdejších pěstitelských technologií plodin byla nejvíce půda ztuhována pojezdy strojů u okopanin a víceletých pícnin s progresivním nárůstem během sledovaných let. Z údajů je jednoznačně patrné, jaký význam má neodkladné řešení problematiky nadměrného ztuhnutí půd v našem zemědělství.

Tab. 4 Koeficient přejezdů strojů po poli u některých plodin během jejich technologie pěstování

Autor	obilniny	cukrovka	brambory	vojtěška
Černý V. (1967)	2,6	3,5	3,8	4,2
Škoda V. (1988)	2,8	4,3	4,4	4,4

Při omezování pojezdů strojů po polích je účelné soustředit se především na uplatňování těchto opatření:

- spojování pracovních operací s cílem omezení četností jízd strojů po pozemcích,
- soustřeďování přejezdů po pozemcích do jízdnic drah,
- zavádění tzv. pravidel pohybu strojů po poli.

Spojování pracovních operací omezujících četnost jízd po pozemcích - nejvíce se naskýtá v průběhu přípravy půdy a setí. V současné době je již k dispozici celá řada strojů nové generace, umožňujících zpracovat půdu a kvalitně připravit set'ové lůžko včetně zasetí plodiny v rámci jediné pracovní operace.

Spojování pracovních operací a volba vhodných strojů značně závisí na tom, zda k založení porostu zvolíme klasický, konvenční způsob zpracování s orbou, nebo některou z variant půdochranné technologie zakládání porostů, např. využití secích kombinátorů, nebo kombinaci strojů pro spojení zpracování půdy a setí do jedné ucelené technologie založení porostu. Tyto nové technologie zakládání porostů dbají především na to, aby se snižovalo zhutnění půdy hlavně na jaře, kdy je půda ke zhutnění velmi citlivá. Kromě zkvalitnění pracovních operací při zakládání porostů plodin (lepší set'ové lůžko), dochází zároveň i k úspoře pohonných hmot a pracovního času.

Soustřeďování přejezdů strojů na pozemcích do jízdnic drah tzv. „kolejových meziřádků“ v době vegetace plodin. Využívání kolejových meziřádků v porostech úzkořádkových i širokořádkových plodin znamená nezanedbatelný přínos k ochraně půdy před zhutňováním (HŮLA, ŠIMON 1989). Kromě toho, že se uchrání produkční plocha půdy před neorganizovanými pojezdy strojů v porostech plodin od dalšího zhutňování, zároveň se omezí poškozování nadzemní i kořenové části rostlin. Větší četnost kolejových stop v porostech plodin, zejména na svahovitých pozemcích, zvyšuje možnost poškozování půdy vodní erozí a vlivem utužení půdy po kolech strojů dochází k dalším snižování výnosů plodin (tab. 5, 6, ERMICH 1986). Kolejové meziřádky v porostech plodin zlepšují i kvalitu ošetření agrochemikáliemi, zamezují překrývání či vynechání aplikace použitého hnojiva či pesticidního přípravku na ošetřovaných plochách.

V období po zpracování půdy do vzejití porostu plodin je vliv kolejových stop pojezdy strojů na utužení půdy závislý na vlhkosti půdy. Na podzim, při zakládání porostů je vliv kolejových stop strojů na zhutnění půdy relativně menší, nebo i v některých případech pozitivní (utužování půdy po zasetí ozimých obilnin pro lepší vzejití porostu). Vzniklé zhutnění ornice koly strojů je většinou během zimy vlivem mrazu odstraněno.

Tab. 5 Výnosy zrna pšenice ozimé v místě přejezdu rozmetadlem hnojiv (10 m záběr) v závislosti na stlačení půdy

Rok	Tlak ve stopě kola (MPa)	Vlhkost půdy (%)	Výnos zrna (t.ha ⁻¹)	Ztráty výnosu	
				(t.ha ⁻¹)	(%)
1981	Bez přejezdu	20,5	4,28	-	100,0
	0,18	18,7	3,11	1,17	72,7
1982	Bez přejezdu	11,0	4,16	-	100,0
	0,18	10,2	3,12	1,04	75,0
	0,27	11,5	2,44	1,72	57,6

Tab. 6 Vliv utužení půdy pojezdy strojů na výnos bulev cukrovky

Varianta	1977	1978	1979	Průměr	
				(t.ha ⁻¹)	(%)
Bez utužení	50,4	50,2	55,9	52,17	100,0
Utužení pojezdem	46,2	44,2	46,6	45,66	87,5

4.2.5. Sklizeň a transport produktů

Omezení rozsahu a intenzity zhutňování půdy při sklizni a technologické dopravě rostlinné produkce je rovněž závažné. V minulém období docházelo v tomto směru ke značnému zhutňování půdy zejména v podorniční vrstvě vlivem těžké sklízecí mechanizace pro odvoz produkce, tj. nákladními auty s vysokými kontaktními tlaky na půdu mnohdy při její značné vlhkosti, jehož negativní následky na některých stanovištích přetrvávají až do současné doby (viz Situační a výhledová zpráva PŮDA MZe ČR z r.1999). I současné době je třeba, aby zemědělské podniky věnovaly této problematice dostatečnou pozornost, neboť negativní působení dopravních prostředků na zhutnění půdy je stále aktuální, zejména při dopravě sklizených produktů.

Jednou z možností řešení je zahrnutí přejezdů sklízecích a dopravních prostředků do systému řízených pojezdů po pozemku. V tomto směru je třeba stanovit a dodržovat tzv. „pravidla pohybů strojů a dopravních prostředků po poli“. Při stanovení zásad pohybů strojů a dopravních prostředků po poli doporučujeme vycházet z těchto principů:

- v opakovaných jízdách mechanizace po poli již ve vytvořených stopách, tj. soustředit pojezdy do stejných stop.
- při jízdě strojů a dopravních prostředků po poli volit kolmý, nejkratší směr k nejbližší souvratí (nepřejíždět pozemek v nahodilých směrech). To platí např. v případě vyprazdňování zrna ze zásobníku sklízecích mlátiček do přepravních prostředků. Při sklizni silážních hmot najíždět a odjíždět od sklízecích strojů kolmo v souvratí.
- na dlouhých honech zřizovat tzv. dočasné (přístupové) cesty pro odvoz sklizené produkce dopravními prostředky.

Místo pro zakládání těchto dočasných cest volit podle objemu zásobníku sklizňových strojů a zde je vyprazdňovat do přepravních prostředků, např. uprostřed honu.

Diferencovaný dopravní systém předpokládá překládání sklizené produkce na okraji pozemků. Souvratě tedy budou místem intenzivních pojezdů a manévrování včetně přejezdů těžkých automobilových souprav. Podobný režim platí i na dočasně zřízených cestách. Tyto dočasné polní cesty ihned po sklizni plodiny rekultivovat, především podorniční vrstvy hloubkovými kypřiči.

Diferencovaným dopravním systémem lze tak při relativně organizačně náročných sklizňových pracích s vysokými nároky na dopravu po poli přispět těmito zásadami k omezení půdního zhutnění. Při realizaci těchto „pravidel pohybu strojů a dopravních prostředků po poli“ je však nezbytné, aby vedení zemědělských podniků vytvořilo potřebné organizační zajištění a traktoristé, řidiči strojů a dopravních prostředků svojí ukázněností a zodpovědností tato pravidla dodržovali.

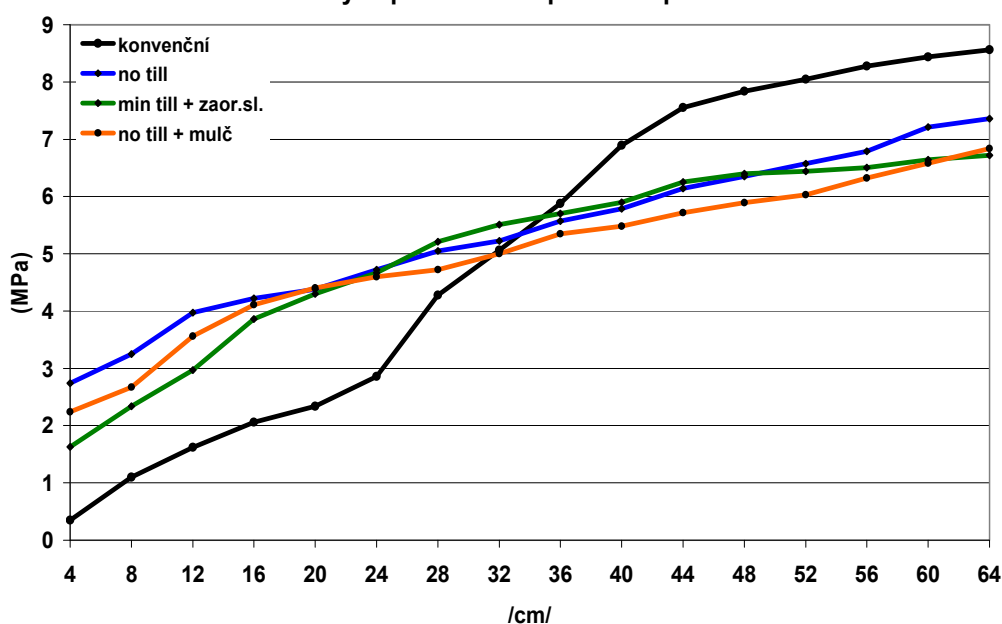
4.2.6. Ochranné způsoby zpracování půdy pro založení porostů

V posledních letech je klasické obdělávání půdy s nepostradatelnou orbou stále častěji v praxi nahrazováno způsoby ochranného zpracování půdy, které využívají přednosti minimalizace zpracování a příznivého působení mulče z posklizňových zbytků předplodiny (většinou slámy) a rostlinné biomasy vypěstovaných meziplodin. Uplatňováním ochranných způsobů zpracování půdy lze především dosáhnout:

- pozitivního vlivu na většinu půdních vlastností (vyšší stabilita půdních agregátů v povrchové vrstvě v závislosti na obsahu organické hmoty, zlepšení pórovitosti půdy, intenzifikace biochemických procesů, vyšší biologická aktivita půdy atd.),
- omezení zhutnění půdy především tím, že se snižuje podíl kolejových stop asi o 50 % oproti konvenčnímu způsobu, menší četnost mechanických zásahů do půdy snižuje narušení půdních agregátů a tím se zvyšuje únosnost půdy,

Po víceletém využívání ochranných způsobů zpracování půdy dochází k typickým rozdílům ve zhutnění půdního profilu mezi konvenčním a půdoochrannými zpracováními. Tyto rozdíly charakterizují výsledky výzkumu, který již 13 let probíhá ve VÚRV, v.v.i. v Praze-Ruzyni, znázorněné v grafu č.1. Intenzitu zhutnění v profilu do 64 cm ukazují jednotlivé křivky, reprezentující varianty zpracování půdy. Byly porovnávány: varianta konvenční s orbou, varianta s minimálním zpracováním do hloubky 12-15 cm se zapravenou drcenou slámou (min till + zaor.sl.), varianta bez zpracování půdy (no till) a varianta bez zpracování s mulčem drcenou slámou předplodiny (no till + mulč). Průběh jednotlivých křivek je typický pro konkrétní technologie zpracování v jednotlivých variantách. Nejnižší zhutnění půdy v celém profilu ornice vykazuje varianta konvenční, což odpovídá vyšší intenzitě zpracování do hloubky cca 25 cm. Naopak nejvíce utužená půda, zejména v horní vrstvě ornice je na variantě, kde se půda vůbec nezpracovává (no till). Ve variantě minimálního zpracování je v orničním profilu patrné mělké kypření. Pod hloubkou zpracování v konvenční variantě vzniká zhutnělé podbrázdí, proto odpor půdy stoupá až na úroveň hodnot z varianty nezpracovávané (no till).

Graf č.1: PENETROMETRICKÝ ODPOR PŮDY V ZÁVISLOSTI NA HLOUBCE A INTENZITĚ ZPRACOVÁNÍ Ruzyně podzim 2007 po ozimé pšenici



Velmi významné je křížení křivek z půdoochranných variant s křivkou z varianty konvenční pod hloubkou orby. Odtud křivka z konvenčního zpracování stoupá až na úroveň zhruba 8,5 MPa. Naproti tomu křivky zhutnění v půdoochranných variantách nemají tak strmý vzestup a končí kolem hodnoty 7 MPa. Překročení limitní hodnoty 5 MPa přes provedené korekce i křivkami z půdoochranných technologií bylo v roce 2007 výjimečné a svědčí o nízké vlhkosti podorničních vrstev. Tato hodnota je hranicí, za kterou lze podle literárních údajů očekávat negativní vlivy zhutnění půdy na formování výnosu pěstovaných plodin. Získané výsledky potvrzují již zjištěné poznatky z minulých ročníků, že půdoochranné technologie v dlouhodobém horizontu snižují nadměrné půdní zhutnění zejména v podorničních horizontech, které je velmi perzistentní, jeho odstraňování v konvenčních systémech je energeticky i finančně náročné a přetrvání efektu je časově značně omezené (JAVŮREK, VACH 2006).

Minimalizační a ochranné způsoby zpracování půdy jsou dnes součástí zjednodušených způsobů zakládání porostů polních plodin (ŠIMON, ŠKODA, HŮLA 1999; KAHNT 1995).

Je v zájmu zemědělských podniků, aby si podle svých lokálních charakteristik stanovily strategii boje proti nadměrnému zhutnění půd a v rámci ní, podle svých možností, cílevědomě využívaly výše uvedené způsoby omezování zhutnění půd. To znamená uplatnění technických řešení, obměna strojního parku, správné doby vstupů strojů a dopravních prostředků na pozemky spolu se snižováním jejich pojezdů po poli při maximálním využívání ochranných způsobů zpracování půdy. Přitom je třeba v soustavě hospodaření na půdě souběžně uplatňovat vhodná agrobiologická opatření pro omezování zhutnění půdy. Soustavné podceňování významu nadměrného půdního zhutnění, jak je mnohdy v praxi patrné, se nepochybně projeví na půdní úrodnosti a v konečném efektu i na výši i kvalitě produkce.

4.3. Odstraňování zhutnění půdy

Na půdách, kde toto zhutnění zasahuje do podorniční vrstvy, je nutno tento nepříznivý fyzikální stav odstranit především mechanickým zásahem. Podle hloubky a míry škodlivosti zjištěného zhutnění půdy se uplatňují tyto mechanické zásahy:

- dlátování pro nakypření zhutnělé podorniční vrstvy půdy do hloubky 0,45 m,
- hloubkové meliorační kypření zhutnělých podorničních vrstev přesahující hloubku 0,45 m,
- následná stabilizující opatření nakypřené zhutnělé půdy.

4.3.1. Hlavní zásady při odstraňování zhutnělé půdy v podorničním profilu

Aby se dosáhlo požadovaného účinku kypření při odstraňování půdního zhutnění, je třeba dodržet tyto zásady:

- správná hloubka kypření
- vhodná vlhkost půdy v době kypřicího zásahu
- rozchod kypřících rýh
- směr kypření.

Hloubka kypření je dána hloubkou zjištěného škodlivého zhutnění. Podle toho volíme dlátování nebo hloubkové meliorační kypření. Při kypření půdy je nutné vždy dodržet správnou vlhkost půdy. V zásadě platí, že vlhkost půdy v době zásahu musí být vyšší, než mez spojitosti (soudržnosti) a menší než dolní mez vláčnosti. *Mez spojitosti* je dána takovou vlhkostí půdy, kdy se u hlinitých půd prakticky projevuje jako drobení zeminy a při zásahu nevznikají hroudy. Při nadměrném obsahu vody v půdě, tj. při překročení *meze vláčnosti*,

půda pozbývá schopnosti drobit se a dochází k tvárlivosti zeminy, tj. k „rozmažování“. Proto je z těchto důvodů velmi důležité volit správnou dobu kypření, abychom zhutnělou vrstvu odstraňovali, nikoli zhutnění naopak ještě zhoršovali. Půda při kypřicím zásahu nesmí podléhat plastickým deformacím.

Při kypření půdy dlátováním je možné většinou tento zásah uskutečnit po sklizni obilnin nebo zrnin, kdy je ve většině případů vhodná vlhkost půdy. Je výhodné volit termín hloubkového melioračního kypření, vzhledem k větší nákladnosti z důvodu vyšší spotřeby pohonných hmot a účinnosti, nejlépe na základě zjištění vhodné vlhkosti půdy ze sond, vykovaných do požadované hloubky kypření.

Rozchod kypřicích rýh (nastavení dlát) je účelný v dimenzi rovné 1,5 násobku hloubky kypření. U strojů určených pro dlátování do 0,45 m je toto již zajištěno od výrobců kypřičů. Většina hloubkových kypřičů je opatřena třemi pracovními tělesy. Směr kypření se určuje podle sklonu pozemku. Na rovinnatých pozemcích směr kypření volíme ve vztahu k následnému zpracování půdy. Směry kypření a dalšího zpracování půdy by se měly protínat v ostrém úhlu. Na svažitéch pozemcích se nesmí kypřit po spádnicích. Ve složitějších terénech, zejména při výskytu mikrodepresí, může při nesprávně směřovaných kypřicích rýhách zatékat do těchto míst voda bez možnosti odtoku a může docházet k rozbahňování půdy.

Dlátování

Dlátováním se eliminuje půdní zhutnění zhruba do hloubky 0,45 m, pod níž je již propustná spodina. Kypřiče s šikmými slupicemi a vyměnitelnými břity, které prořezávají celý profil ornice, umožňují prokypřit půdu při minimálním narušení jejího povrchu. K tomu, aby při kypření bylo minimálně narušeno pokrytí půdy rostlinnými zbytky, slouží kotoučová krojidla umístěná před slupicemi. Spodní část šikmých slupic je opatřena dlátý. Kypřením zhutnělých vrstev při správné vlhkosti půdy dochází ke zvětšování objemu nakypřené zeminy.

V poslední době se rozšiřuje nabídka dlátových kypřičů s různou úpravou, které kombinují kypření půdy až do hloubky 0,45 m s následným zpracováním povrchové vrstvy. Firma FARMET v České Skalici vyrábí různé kypřiče např. TURBULENT (hloubka kypření do 0,35 m); ze zahraniční proveniencí jsou známé kypřiče firmy LEMKEN. Kypřič DMI EcoloTiger umožňuje spojení mělkého kypření talířovými pracovními nástroji (do 0,10 m), tělesy s dlátý cca do hloubky 0,25 m s následným kypřením do hloubky 0,45 m. Kypřením zhutnělé půdy kypřiči lze nahradit pro některé plodiny hlubokou orbu, zejména při zjednodušených postupech zakládání porostů plodin.

Dlátování se také používá v zúrodňovací soustavě před hloubkovým melioračním kypřením zhutnělé půdy, čímž se snižuje potřeba tahové síly.

Hloubkové meliorační kypření zhutnělé půdy v podorniči od 0,45 až do 0,65 m.

Hloubkové meliorační kypřiče se agregují s trakčními prostředky se značnou tažnou silou. Jednoduchou konstrukcí hloubkového kypřiče je starší nesený hloubkový kypřič PH 5 – 003 se třemi pracovními nástroji. Pracovní nástroje mají vyměnitelné svislé břity, které je při opotřebením spodní části možno otočit a rovněž mají vyměnitelnou spodní čepel. Krajiní pracovní orgány sledují stopu kol traktoru. Seřizování hloubkových kypřičů se řídí hlavně potřebou kypření utužené půdy v požadované hloubce. V současnosti jsou v nabídce kypřičů pro hloubkové kypření například LEMKEN Labrador (hloubka kypření do 0,65 m), FARMET Krtek DG3 (hloubka kypření do 0,60 m), KVERNELAND CLE (hloubka kypření do 0,70 m).

Nasazení hloubkových kypřičů s aktivně poháněnými pracovními nástroji, zvláště pak vibračních, musí být spojeno se správně voleným termínem použití. Pohybem pracovních orgánů v půdě vznikají další přídatné tlaky a proto se musí dbát na dodržení správné vlhkosti při provádění zásahu. Příkladem je starší maďarský stroj VIBROLAZ 80E, kde vibraci celého

stroje způsobuje excentr. Podle zkušeností s jeho použitím v praxi při kypření těžkých půd, je velikost tažné síly stejná, jako u kypřiče s pasivními pracovními nástroji.

V současné době pro hloubkové meliorační kypření zhutnělé podorniční vrstvy je dále k dispozici kypřič HOWARD, který umožňuje zvolit různou intenzitu kypření.

4.3.2. Následná stabilizující opatření nakypřené zhutnělé půdy

Tato opatření mají za cíl udržet, resp. stabilizovat stav nakypření půdy v podorniční vrstvě po provedeném hloubkovém melioračním zásahu. Jedná se o následující možné okruhy opatření:

- fytoefekty
- chemoefekty
- fyzikální efekty

Do skupiny *fytoefektu* se zařazuje pěstování takových druhů plodin, které se vyznačují tzv. melioračním působením a to zvláště po mechanickém zásahu. Svým kořenovým systémem jsou rostliny schopné zpevnit primárně vytvořenou strukturu půdy a tak pomoci k její přeměně na stabilnější sekundární strukturu prokořeněním nakypřeného prostoru a v podstatě prohloubením účinného profilu půdy.

V tomto směru je třeba časově skloubit mechanické zásahy zkyprující zhutnělou půdu s pěstováním melioračních plodin v osevním postupu v rámci střídání plodin.

Nejvhodnějšími melioračními plodinami jsou vojtěška, jetel luční, luskoviny, ale i řepka olejka, hořčice bílá a slunečnice. V osevním postupu je třeba v soustavě zpracování půdy zařadit hloubkové meliorační kypření zhutnělé půdy před tyto plodiny.

V zemědělských podnicích bez chovu skotu je třeba při uplatnění nákladného melioračního hloubkového kypření důkladně zvažovat pěstování vhodných melioračních plodin. Zařazení nejvhodnějších melioračních plodin, jako je vojtěška, nebo jetel luční, lze provést s výhodou i v tomto systému, avšak předem je nutné smluvně řešit zajištění prodeje produkce těchto plodin. Využívání fytoefektorů při stabilizaci nakypřené zhutnělé půdy je zatím z dalších možných opatření nejlépe a jednoduše využitelné.

Do skupiny *chemoefektorů* patří různé chemické přípravky s účinností strukturotvornou, hydrofobilizační apod. Nejznámější je vápnění, avšak jeho uplatnění je účelné hlavně na půdách, které vyžadují úpravu pH. Problematická je však technologie aplikace vápenatých hnojiv při hloubkovém melioračním kypření ve zkyprěném prostoru. Zkoušené technologie např. strojem WÜNGER ze SRN nebo hloubkový zapravovač hnojiv MN 120 z Maďarska nebyly zcela úspěšné.

Také ověřované chemické přípravky (hydrofobizátory) ke zpevnění struktury nakypření půdy nebyly dostatečně účinné. V USA byla vyvinuta technologie hloubkové aplikace plynného amoniaku současně s hloubkovým kypřením. Toto opatření má stimulovat rozvoj kořenů plodin a pomáhat ke stabilizaci struktury půdy.

Z *fyzikálních efektorů* se ověřovalo použití především magnetického pole, resp. tzv. magnetických kypřičů zejména na půdách s obsahem železa nad 2,5 %. Tento způsob stabilizace nakypřené vrstvy má velmi omezené použití.

Jak z výše uvedeného vyplývá, jsou v současné době nejspolehlivějšími a nejjednoduššími stabilizačními opatřeními zásahy biologické povahy (fytoefekty), které by měly být doprovodnou součástí hloubkového melioračního kypření zhutnělého podorničního profilu půdy.

Všechna nápravná agromeliorační opatření na odstraňování podorničního zhutnění jsou energeticky velmi náročná. Spotřeba nafty při hloubkovém kypření činí minimálně 45 l.ha⁻¹.

Rovněž finanční náklady na nákup hloubkových kypřičů jsou značné, proto se jeví jako výhodné řešit jejich pořízení v kooperaci s dalšími zemědělskými subjekty.

V rámci systematické likvidace nadměrného zhutnění půdy je účelné v zemědělském podniku zpracovat harmonogram postupného odstraňování této kompakce podle rozsahu zhutnění podorničního profilu.

4.3.3. Odstraňování zhutnění půdy na souvratích

Vzhledem k tomu, že souvratě jsou pohybem strojů a dopravou nejzatíženější částí honů, je třeba se přednostně zaměřit na odstraňování zhutnění půdy na těchto místech. Jedná se zde o ornou půdu, nejvíce zasaženou škodlivým zhutněním. Podle délky soupravy strojů je obvyklá šířka souvratí mezi 18 – 20 m. Nejvhodnější tvar pozemku (honu), se zřetelem na podíl plochy souvratí, je dlouhý obdélník, kde souvratě tvoří kolem 5 % výměry honu. Nejvyšší výměru souvratí na pozemku vykazují čtverce, lichoběžníky, a jiné nepravidelné obrazce, kde podíl souvratí činí přes 15 % plochy. Hrubý odhad výměry souvratí na orné půdě ČR se pohybuje od 300 do 370 tis. ha, což činí minimálně 8-10 % z celkové výměry orné půdy, přičemž v jednotlivých zemědělských podnicích, podle reliéfu terénu, může být i značně vyšší.

Nadměrné zhutnění půdy na souvratích je důsledek četných přejezdů a otáčení strojních souprav a dopravních prostředků při polních pracích. Kromě toho se zde negativně projevuje kumulace solí a škodlivých látek z minerálních hnojiv (negativní vliv chlóru, sodíku aj.) a dále i reziduí pesticidů, které se do půdy dostávají při plnění postřikovačů herbicidními přípravky. Dokazují to výsledky penetrometrických měření, z kterých vyplývá, že zhutnění půdy na souvratích, v hloubce 0,30 m je v průměru o 70 % a v hloubce 0,50 m o 35 % větší než uvnitř honu.

Velké zhutnění podorničního profilu půdy na souvratích má za následek značně omezenou infiltraci vody, což lze logicky usoudit z toho, že již po menších deštích stojí voda v porostech plodin. Takto postižené stanoviště má pro půdu za následek rozplavování její struktury a narušení všech půdních režimů a pro rostliny znamená fyziologické poruchy růstu (žloutnutí) a řadu dalších negativních vlivů. Tím se snižuje produkce pěstovaných plodin na souvratích o 25 až 50 % oproti udávanému poklesu výnosu při zhutněném podorničí uvnitř pozemků. Přibližné ztráty produkce některých plodin vlivem zhutnění půdy souvratí uvádí tab. 7.

Tab. 7 Snížení produkce některých plodin vlivem nadměrného zhutnění půdy na souvratích

Ukazatel	Obilniny	Řepka olejka	Cukrovka	Brambory
Osevní plocha (přibližně v tis. ha)	1 600	290	65	36
Průměrný výnos (t.ha ⁻¹)	4,6	2,8	49,8	28,1
Přibližný podíl souvratí z pěstitelské plochy (%)	10	10	8	9
Hrubá výměra souvratí pěstované plodiny (v tis. ha)	160	29	5,2	3,2
Odhadované výnosy plodin na souvratích (t.ha ⁻¹)	2,6	1,8	20	14
Možná ztráta produkce nižšími výnosy na souvratích (v tis. t)	336	29	155	45
% celkové produkce	4,6	3,6	4,8	4,5

Jak je z orientačního výpočtu zřejmé, tyto výnosové ztráty snižují celkové výnosy plodin z jednotky plochy. Přitom většinou dochází ke zhoršení kvality sklizených produktů. Například se prokázalo, že u řepky olejky na souvratích byla olejnatost semene o 8 % nižší než uvnitř honu. Podobně u cukrovky se větším zhutněním půdy snižuje cukernatost o 1,5 %.

Z těchto údajů jednoznačně vyplývá, že zemědělské podniky by měly odstraňování nadměrného zhutnění půdy na souvratích zařadit přednostně do systému nápravy a obnovy zdevastované půdy.

Pro splnění tohoto cíle třeba přistoupit k realizaci následujících agromelioračních opatření:

- u zrnin ihned po sklizni sklídit slámu a aplikovat na souvratě vápenatá hnojiva pro podporu tvorby struktury půdy, především na pozemcích s nižšími hodnotami pH,
- půdu na souvratích zpracovat kypřiči (např. strojem TURBULENT firmy FARMET Česká Skalice). Především využít kypřiče, které jsou opatřeny sekcemi pro mělké zpracování půdy k přípravě setového lůžka.
- pokud na pozemku budou následovat jarní plodiny, doporučuje se včas zasít na souvratích strniskové meziplodiny za účelem zajištění dostatečné délky jejich vegetační doby pro vytvoření co nejvyšší produkce nadzemní a podzemní biomasy,
- následují-li po sklizni plodin v příštím roce na jaře plodiny hnojené hnojem, rozmetáme na zkyplenou půdu hnůj v dávce minimálně $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ s následným zapravením talířovými kypřiči pro podporu biologického a strukturotvorného procesu v půdě,
- biomasu strniskových meziplodin zapravíme do půdy talířovými kypřiči a podle intenzity zhutnění v půdním profilu včas použijeme hloubkové agromeliorační kypření půdy. Toto nápravné opatření přednostně zařadíme před výsevem tzv. melioračních plodin (především jetelovin) pro stabilizaci stavu půdy po provedeném nakypření.

Z organizačního hlediska je třeba proces odstraňování zhutnění půdy na souvratích vhodně skloubit s běžným pěstováním polních plodin a tato agromeliorační opatření začlenit do soustavy hospodaření na půdě. Znamená to stanovit časový harmonogram odstraňování zhutnění podle jeho rozsahu na souvratích a podle zastoupení stabilizujících plodin v osevním postupu. Vynaložené náklady a pracovní čas věnovaný realizaci nápravných opatření na těchto částech honů se nepochybně vrátí v podobě vyšší a kvalitnější produkce pěstovaných plodin.

5. NÁVRHY ORGANIZAČNÍCH AKTIVIT PRO REALIZACI ODSTRAŇOVÁNÍ NADMĚRNÉHO ZHUTNĚNÍ PŮD

Podle vyjádření odborníků i odezvy z praxe je bohužel nutno konstatovat, že se nadměrné zhutnění orných půd u našich zemědělských subjektů systematicky neřeší a s největší pravděpodobností dochází ještě k dalšímu zvyšování plošného rozsahu a intenzity technogenního zhutnění. Už s ohledem na neustálé a postupné snižování výměry orné půdy jejím zábořem pro bytovou i nebytovou výstavbu je nanejvýš nutné vyvinout maximální úsilí pro zkvalitňování a zvyšování úrodnosti půdy dosud zemědělsky obhospodařované. Jak vyplynulo z výše uvedených souvislostí, je eliminace nadměrného půdního zhutnění v tomto smyslu prioritní záležitostí.

Hlavní odpovědnost v této záležitosti leží na zemědělských podnicích a s ohledem na globální důležitost je nutná i větší a intenzivnější spolupráce zemědělské poradenské služby.

Pro zvýšení motivace zemědělských podniků a farem by bylo účelné, aby Agrární komora ČR navrhla akční program s uvedením konkrétní pomoci při řešení problematiky odstraňování zhutnění zemědělských půd. Jako velmi účinné opatření navrhujeme, aby Ministerstvo zemědělství ČR zpracovalo dotační titul finanční podpory v rámci nařízení vlády

ČR, který by stanovil pravidla agroenvironmentálních opatření pro odstraňování zhutnění půdy a zásady pro získání příslušné finanční dotace.

Zemědělská poradenská služba ve spolupráci se zemědělskými podniky by se měla zaměřit především na zmapování stávajícího zhutnění půd včetně podorničního profilu a s podporou agrární komory a ve spolupráci s příslušnými výzkumnými ústavy provést penetrometrická měření. Na základě těchto průzkumů by měl být ve spolupráci s konkrétními zemědělskými podniky vypracován návrh opatření k postupnému omezování a odstraňování zhutnění půd.

Velmi prospěšné jsou rovněž názorné demonstrace navrhovaných opatření a pracovních operací na akcích pro zemědělskou veřejnost, jako jsou například tzv. „polní dny“ v zemědělských podnicích za účasti zástupců Okresní agrární komory, poradenské služby, výzkumných ústavů a v neposlední řadě i výrobců strojů pro hloubkové kypření. V celospolečenském zájmu je nezbytné zvýšit úsilí o ozdravení našich půd na všech úrovních a zajistit potřebnou podporu této činnosti. Lze s jistotou očekávat, že každé další prodloužení při řešení této závažné problematiky by mělo za následek další prohlubování tohoto nepříznivého stavu našeho půdního fondu s negativním dopadem nejen do resortu zemědělství, ale i do celostátního hospodářství.

6. ZÁVĚR

Nadměrné zhutnění půd, zejména v podorničním profilu, je závažnou bariérou pro plné využívání jejich produkčního potenciálu. Zhutnění půd je rovněž omezujícím faktorem optimálního využití genetického potenciálu odrůd plodin i dalších vstupů do produkčního procesu pěstovaných polních plodin. Před rostlinnou výrobou tak neodkladně vyvstává závažný úkol, zabránit těmto negativním tendencím a zvýšit úsilí o odstraňování tohoto nepříznivého stavu našich půd. Řešení problému je o to jednodušší, že know-how je známé.

III. Srovnání novosti postupů

V metodice jsou soustředěny zásadní, dosud známé informace a vědomosti o dané problematice. Poznatky z poslední doby z domácích zdrojů jsou velmi omezené, protože dotovaný výzkum této problematiky je v současné době minimální. Dosavadní poznatky byly aktualizovány o poslední výsledky ze studií (2007), probíhajících ve VÚRV Praha-Ruzyně a rovněž byly zahrnuty informace z poslední práce nestora světové pedologie a specialisty na půdní zhutnění, švédského profesora Inge Håkanssona, kterou publikoval v roce 2005. Dosud známé metody odstraňování půdního zhutnění byly navrženy s ohledem na současné pěstební technologie a na moderní technické prostředky.

IV. Popis uplatnění metodiky

Metodika bude uplatněna především přímo v zemědělských podnicích, na farmách, kde vedoucím odborníkům poskytne návod při řešení dané problematiky. Autoři doufají, že bude kladně hodnoceným zdrojem informací rovněž pro poradenskou činnost, pro pracovníky Agrární komory na různých úrovních i pro pracovníky ze státní správy Ministerstva zemědělství České republiky. V elektronické podobě bude metodika k dispozici na webových stránkách zpracovatele (www.vurv.cz).

V. Seznam použité související literatury

Alakukku, L.: Response of annual crops to subsoil compaction in a field experiment on clay soil lasting 17 years. *Advances in Geoecology* 32, 2000, p.205-208.

Černý, V. a kol. : Soustava hospodaření na půdě. SZN Praha, 1967, 390 s.

Ermich, D. : Zur Anwendung eines Regelspurverfahrens zur Bodenstruktur porschonenden Zuckerrübenbestellung auf Losstandorten. *Feldwirtschaft*, 27, 1986 (9), p. 400-403.

Håkansson, I.: Machinery-induced compaction of arable soils. Incidence-consequences-counter-measures. Uppsala, Sweden, 2005, pp.153.

Horn, R. et al.: Subsoil compaction. CATENA Verlag, Reiskirchen, 2000, 462 p.

Hůla, J., Šimon, J. : Systémy zpracování půdy a způsoby snižování nadměrného tlaku na půdu. *Stud. informace ÚVTIZ*, Praha, 1989, č. 5, 44 s.

Kahnt, G. : Minimal – Bodenbearbeitung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1995, 112 p.

Kosil, V. a kol. : Půdoznalství. SPN Praha, 1962, 253 s.

Lhotský, J. a kol. : Soustava opatření k zúrodnování zhutněných půd. *Metodika ÚVTIZ* Praha, 1984, 39 s.

Lhotský, J.: Zhutňování půd a opatření proti němu. *Stud. inform. ÚZPI* Praha, ř. Rostl. Výr., 2000, č.7, 61 s.

Petr, J., Štěpánková, H. : Kolejové meziřádky pro vstup aplikační techniky do porostu zrnin. *ÚVTIZ* Praha, *Metodika pro zavádění výsledků výzkumu do praxe*. č. 1, 1983, 39 s.

Šimon, J., Lhotský, J., a kol. : Zpracování a zúrodnování půd. SZN Praha, 1989, 317 s.

Šimon, J., Škoda, V., Hůla, J. : Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi. MZe ČR, Agrospoj Praha, 1999, 78 s.

Šimon, J., Zimová, D. : Meziplodiny v soustavě hospodaření na půdě. *Stud. inform. ÚVTIZ* Praha, ř. Rostl. Výr., 1983, č.5, 68 s.

Škoda, V.: Obecná produkce rostlinná. Agronomická fakulta ČZU, Praha 1988, 190 s.

Studie VTR. Zhutňování půdy a výnosy polních plodin. ÚVTIZ Praha, 1986, č.2, 40 s.

Situační a výhledová zpráva – „Půda“. MZe ČR, 1999.

VI. Seznam publikací, které předcházely metodice

Javůrek, M.: Půdoochranné a produkční aspekty způsobů zakládání porostů polních plodin. *Agromagazín*, č.8, 2001, s.22-25.

Javůrek, M., Vach, M.: Production and pedological effect of soil protection stand establishment of field crops. In: Proc. Conf. New challenges in field crop production 2002, Zreče, Slovenia, 2002, s.54-60.

Javůrek, M.: Obejde se zemědělství bez orby? *Zemědělec*, ročník XI, 2003, s.8-10.

Javůrek, M., Vach, M.: Minimalizace a loňské sucho. *Zemědělec*, ročník XII., 2004, s.9-10.

Javůrek M., Šimon J.: Orebné, nebo bezorebné technologie zakládání porostů polních plodin? *Agromagazín*, č.8, 2005, s.14-18.

Javůrek, M., Vach, M.: Změny fyzikálních vlastností půdy po dlouholeté aplikaci půdoochranných technologií a jejich vliv na výnosy obilnin. Sborník z konference „Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění a ochraně rostlin“. Brno, 2006, s.299-303.

Javůrek, M., Vach, M.: Zjednodušené zakládání porostů při hospodaření bez živočišné výroby. *Úroda*, r.54, č.6, 2006, s.34-37.

Javůrek, M., Vach, M.: Změny půdních vlastností při dlouhodobě zvýšené dotaci organické hmoty do půdy v rámci využívání půdoochranných technologií. Sborník z konference „Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění a ochraně rostlin“. Brno, 2007, s.331-336.

Javůrek, M. Vach, M.: Yield response of winter wheat to changes of soil physical properties due to different soil tillage. European Society of Soil Conservation, 5th International Congress, Palermo, 2007, p.453.

Hůla, J., Procházková, B. a kol.: Minimalizace zpracování půdy. Profi Press Praha, 2008, 248 s.

Autor: Ing. Miloslav Javůrek, CSc., Ing. Milan Vach, CSc.,

Název: Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření
k jejich odstranění

Vydal: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Drnovská 507, 161 06 Praha 6 - Ruzyně

Sazba, tisk: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.
Drnovská 507, 161 06 Praha 6 - Ruzyně

Náklad: 250 ks

Vyšlo v roce 2008

Vydáno bez jazykové úpravy

Kontakt na autora: m.javurek@cbox.cz



Vydal Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky, v.v.i.
2008