

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra zemědělských strojů**



## **Bakalářská práce**

**Působení strojů na půdu při nápravném kypření zhutnělé  
půdy**

**Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Josef Hůla, CSc.  
Autor bakalářské práce: Jan Štěpánovský**

**© 2021 ČZU v Praze**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Štěpánovský

Zemědělské inženýrství

Zemědělská technika

Název práce

**Působení strojů na půdu při nápravném kypření zhutnělé půdy**

Název anglicky

**Influence of machines on soil during loosening of compacted soil**

---

### Cíle práce

Vypracovat přehled výsledků výzkumu v oblasti hlubšího kypření půdy a možností volby strojů pro tyto zásahy do půdy.

### Metodika

Studium literárních pramenů a údajů od výrobců strojů. Literární rešerše zaměřená na působení strojů pro zpracování půdy na půdní profil se zaměřením na mechanické narušení zhutnělých vrstev. Porovnání názorů autorů prací na účinnost nápravného kypření půdy a dobu trvání zlepšení fyzikálních vlastností půdy. Doporučení pro výběr strojů na základě získaných informací.

## Doporučený rozsah práce

40 stran

## Klíčová slova

zhutnělá půda; dlátové kypřiče; vertikální zpracování půdy

---

## Doporučené zdroje informací

BRANT, V. a kol. Pásové zpracování půdy (strip tillage). Praha: Profi Press, s.r.o., 2016. ISBN 978-80-86726-76-2.

HŮLA J., PROCHÁZKOVÁ B. a kol. Minimalizace zpracování půdy. Praha: Profi Press, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-86726-28-1.

LHOTSKÝ, J. Zhutňování půd a opatření proti němu. Praha: ÚZPI, 2000. ISBN 80-7271-067-2.

Mechanizace zemědělství a další odborné časopisy.

Údaje o strojích od výrobců a prodejců strojů.

---

## Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

## Vedoucí práce

prof. Ing. Josef Hůla, CSc.

## Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2020

**prof. Dr. Ing. František Kumhála**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 28. 04. 2021

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Působení strojů na půdu při nápravném kypření zhutnělé půdy" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10.5.2021

---

Jan Štěpánovský

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Josefu Hůlovi, CSc. za ochotu, vstřícnost a cenné rady při zpracování této bakalářské práce.

# **Působení strojů na půdu při nápravném kypření zhutnělé půdy**

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se věnuje nápravnému kypření zhutnělé půdy. První část je věnována zhutnění půdy. V této části je nejprve popsáno, co je označováno jako zhutnění půdy a jak vzniká. Dále zde jsou rozebrány důsledky zhutnění půdy a možná preventivní opatření, která mají za cíl snižovat riziko vzniku zhutnění půdy. Hlavní část práce pojednává o odstraňování již vzniklého zhutnění půdy. Popsány jsou zde hlavní mechanismy odstranění zhutnění. Součástí je také přehled výsledků polních experimentů, které hodnotí hloubkové kypření ihned po provedení nápravného zásahu, ale i po uplynutí několika měsíců až let. Dále se práce věnuje vlivu tvaru kypřících těles a pracovní rychlosti na kvalitu nápravného kypření a požadovaný tahový výkon. Následuje rozdělení strojů pro hluboké kypření dle pracovní hloubky, tvaru rámu, uspořádání kypřících těles a rozsahu pracovních úkonů, které je stroj schopen vykonávat. Poslední část práce je věnována vybraným strojům pro nápravné kypření od českých i zahraničních výrobců, které jsou dostupné na trhu. Pro demonstraci jsou pak vyráběné modely některých strojů zpracovány do přehledných tabulek a grafů.

## **Klíčová slova**

Zhutnělá půda, nápravné kypření, hloubkový kypřič, zpracování půdy, kypřící tělesa, penetrometrický odpor, trvanlivost prokypření

# **Influence of machines on soil during loosening of compacted soil**

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the corrective loosening of compacted soil. The first part is focused on soil compaction. It describes what is a soil compaction and how it arises. Furthermore, there are analysed the consequences of soil compaction and possible preventive measures aimed at reducing the risk of soil compaction. The main part of the work deals with the removal of already formed soil compaction. The main mechanisms removing compaction are described there. It also includes an overview of the results of field experiments, which evaluate the deep loosening immediately after the corrective intervention, but also after several months to years. The thesis further deals with the influence of the shape of loosening bodies and the working speed on the quality of loosening and the required traction power. It is followed by the division of machines for deep loosening according to the working depth, the shape of the frame, the arrangement of the loosening bodies and the range of working operations that the machines are able to perform. The last part of the thesis is devoted to selected machines for deep loosening from Czech and foreign producers which are available on the market. Afterwards, the produced models of some machines are then processed into clear tables and graphs for demonstration.

## **Keywords**

Compacted soil, corrective loosening, deep cultivator, tillage, cultivator bodies, penetrometric resistance, durability of loosening

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíle práce a použité metody .....	2
3. Nežádoucí zhutnění půdy .....	3
3.1. Zhutnění, jeho vznik a vyhodnocení.....	3
3.2. Důsledky zhutnění půdy .....	5
3.2.1. Vliv na půdní vlastnosti.....	5
3.2.2. Vliv na produkční schopnosti půdy.....	7
3.3. Opatření proti zhutnění půdy.....	9
3.3.1. Prevence vzniku zhutnění.....	9
3.3.2. Ustálení půdních vlastností po provedení nápravy.....	13
4. Nápravné kypření zhutnělé půdy .....	14
4.1. Základy nápravného kypření .....	14
4.2. Výsledky nápravného kypření a jeho trvanlivost .....	16
4.3. Tvar kypřících těles a rychlost pohybu .....	19
4.4. Rozdělení hloubkových kypřičů .....	21
4.4.1. Dle pracovní hloubky .....	21
4.4.2. Dle tvaru rámu a uspořádání pracovních těles.....	22
4.4.3. Dle rozsahu pracovních úkonů stroje .....	24
5. Kypřící technika dostupná na trhu.....	25
5.1. Výrobci a příklady jejich produktů.....	25
5.1.1. AGRO-TOM.....	25
5.1.2. BEDNAR.....	26
5.1.3. Dondi .....	27
5.1.4. EXPOM .....	28
5.1.5. Farmet.....	29
5.1.6. HE-VA.....	30
5.1.7. HORSCH.....	31
5.1.8. Kverneland .....	32
5.1.9. OPaLL-AGRI .....	33
5.1.10. Quivogne .....	34
5.1.11. SMS CZ.....	35
5.2. Porovnání vybraných strojů.....	36
5.2.1. BEDNAR TERRALAND TN a TO .....	36



5.2.2. Farnet Krtek a Quivogne SSD .....	38
6. Závěr .....	39
7. Seznam zdrojů .....	40
8. Seznam obrázků.....	45
9. Seznam tabulek a grafů.....	47

# 1. Úvod

Půda a její úrodnost je nenahraditelnou veličinou, od níž se odvíjí život a existence lidstva, tak jak je dnes známe. Světová populace narůstá enormním způsobem a za posledních 70 let se počet lidí na naší planetě ztrojnásobil (Magazín Gnosis, 2021). Vystávají tak velké nároky na produkci potravin jako takovou, tedy na zemědělskou prvovýrobu. Proto je velkou výzvou hledat veškeré volné kapacity a zefektivňovat výrobu. Jinými slovy je zásadním úkolem teorie zemědělství hledat veškeré možnosti zkvalitnění produkce a eliminace plýtvání výrobními prostředky. Zásadním prostředkem zemědělské výroby je půda, jejíž kondice a produkční schopnosti jsou bohužel často jako faktor pěstování plodin přehlíženy. Proto je nutné udržovat příznivé fyzikální a chemické vlastnosti půdy.

I v České republice se potýká zemědělství s problémy, které negativně ovlivňují půdní strukturu, potažmo celé zemědělství. Tato bakalářská práce se zabývá jedním z těchto problémů, kterým je zhutnění půdy. Zhutnění půdy je stručně řečeno stlačení půdy v půdním profilu, které má za následek snížení pórovitosti půdy. Důsledkem toho je například snížení retenčních schopností půdy a s tím související riziko vodní eroze. Zhutnění půdy také negativně ovlivňuje půdní edafon, nezbytný pro přirozené biologické procesy, a produkční vlastnosti půdy. Současně se zvyšují i energetické nároky na zpracování půdy.

Příčinou vzniku zhutnění je překročení únosnosti půdy. Na vině je především nadměrná hmotnost strojů, u kterých lze dlouhodobě pozorovat trend zvyšování hmotnosti v důsledku rostoucích požadavků na výkonnost. Dalším faktorem je úbytek organické hmoty v půdě, ale i přirozená náchylnost některých druhů půd ke vzniku zhutnění.

Pro zamezení nebo zmírnění rozsahu zhutnění půdy je nezbytné provádět preventivní opatření, mezi která lze zařadit především snížení tlaku na půdu. Toho lze dosáhnout mnoha způsoby, například vhodným tlakem v pneumatikách, snížením počtu přejezdů nebo snížením hmotnosti soupravy. Dalším preventivním krokem je zařazení hluboko kořenících plodin do osevních postupů nebo volba vhodného termínu pro pracovní úkon s ohledem na vlhkost a únosnost půdy.

V případech již existujícího zhutnění půdy je pak nutné provést nápravný zásah pomocí hloubkových kypřičů, čemuž je věnována převážná část této práce.

## **2. Cíle práce a použité metody**

Cílem práce bylo vypracovat přehled výsledků výzkumů v oblasti hlubšího kypření půdy a možností volby strojů vhodných pro tyto zásahy do půdy.

Hlavní použitou metodou bylo studium a komparace literárních pramenů a údajů poskytovaných výrobcí strojů pro hlubší kypření a následné vypracování literární rešerše. Rešerše je zaměřena na působení strojů pro zpracování půdy na půdní profil s důrazem na mechanické rozrušení zhutněných vrstev. Součástí práce je rovněž porovnání názorů autorů prací na účinnost nápravného kypření a dobu trvání zlepšení fyzikálních vlastností půdy. Na základě získaných informací jsou v závěru práce formulována doporučení pro výběr strojů.

## 3. Nežádoucí zhutnění půdy

### 3.1. Zhutnění, jeho vznik a vyhodnocení

Zhutnění půdy neboli pedokompakce je nežádoucí jev, který se vyznačuje degradací půdní struktury (Ministerstvo zemědělství České republiky, 2018). Jedná se o stlačení půdy v celém jejím profilu a vede k snížení pórovitosti, což zapříčiňuje i snížení provzdušnění půdy, a nárůstu hmotnosti na jednotku objemu (Tomiška, 2009). Současně se snižuje schopnost půdy infiltrovat, propustit a zadržet vodu. Negativně také působí na nitrifikační vlastnosti půdy.

Zhutnění půdy lze z hlediska příčiny jeho vzniku rozdělit na dva hlavní typy (Javůrek a Vach, 2008). Prvním typem je takzvané genetické zhutnění, které je charakteristické pro těžší půdy s vyšším zastoupením jílu a vzniká při vytváření zajištěných iluviálních nebo oglejených horizontů. Druhý typ je označován jako zhutnění technogenní, které lze nalézt u všech druhů půdy a vzniká v důsledku nevhodného způsobu obdělávání půdy za pomoci strojů (Půda v číslech, 2020).

Dle Lhotského (2000) vzniká zhutnění půdy a zhoršení jejich ekologických a produkčních funkcí přesáhnutím limitního tlaku okamžité půdní únosnosti, která se pohybuje přibližně v rozmezí 50 až 150 kPa. Následkem toho pak je deformace až destrukce půdního profilu s následky na fyzikální vlastnosti půdy. Nadměrné tlakové napětí v takovém případě působí v podorniční vrstvě (Pulkrábek et al., 2015).

Mezi hlavní příčiny vzniku zhutnění půdy patří nadměrná hmotnost strojů pracujících na pozemku především za nevhodných podmínek, jako je například nadměrná vlhkost půdy (Ministerstvo zemědělství České republiky, 2018). Dále to je jsou nevhodná kultivace pozemku, nevhodný osevní postup bez víceletých pícnin, nadměrné množství užití draselných hnojiv a úbytek organické hmoty v půdě.

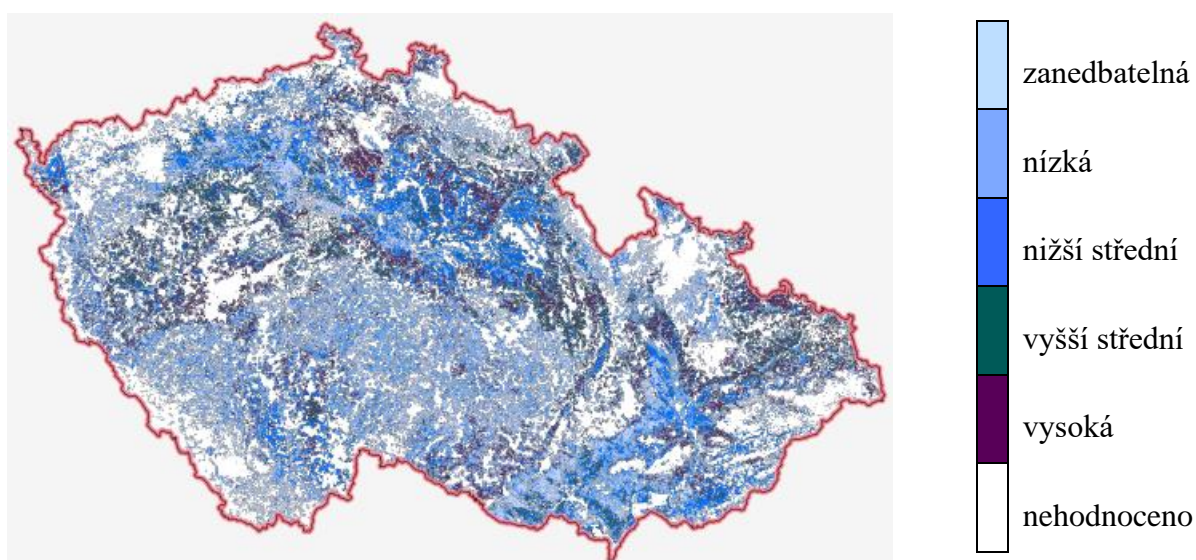
Po zjištění výskytu zhutnění půdy je nutné zjistit, v jaké míře se na pozemku nachází, uvádějí Koukolíček a Pulkrábek (2015). Zhutnění se nemusí vyskytovat po celé rozloze, ale třeba jen v místech se zvýšeným zatížením, jako jsou například souvratě nebo kolejové řádky. Zhutnění lze identifikovat například za pomoci půdní sondy, ale je možné ho určit i ze stavu kořenové soustavy, což se dobře posuzuje například u rostlin řepky olejné. K přesnému určení stavu půdy se pak využívá penetrometr, který měří odolnost půdy proti vnikajícímu kuželu penetrometru (Kubík, 2010). Vhodným termínem pro měření je období

po předset'ové přípravě, případně lze provést po sklizni. Nutné je provádět měření při vhodné půdní vlhkosti. Výhodnější je provádět měření v jarním termínu, neboť vlhkost půdy je rovnoměrnější v celém sledovaném profilu.

Z uskutečněných průzkumů zhutnění půdy, provedených v 80. letech 20. století, vyplývá, že v té době bylo zhutnění odhaleno na 38% orné půdy (Koukolíček a Pulkrábek, 2015). Dle Situační a výhledové zprávy o půdě, publikované Ministerstvem zemědělství (2018), je v České republice zhutněním půdy ohroženo přibližně 49 % zemědělských půd, které je názorně zobrazeno na obrázku 1. Přibližně 30 % podíl je tvořen půdami náchylnými na genetické zhutnění a zbylých 70 % připadá na zhutnění technogenní.

Aktuální stav je o to problematičtější, že degradace půdy probíhá vlivem kompakce i v podorničních horizontech, kde se stává perzistentním a nelze vyřešit jednorázovým zásahem (Koukolíček a Pulkrábek, 2015). Dalším problémem je také fakt, že se tomuto problému věnuje malé množství podniků, což zapříčiňuje nárůst postižených ploch a intenzivnější degradaci půd.

Obrázek 1 Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením v ČR



Zdroj: <https://statistiky.vumop.cz>

## 3.2. Důsledky zhutnění půdy

### 3.2.1. Vliv na půdní vlastnosti

Zhutnění půdy díky větší objemové hmotnosti a zmenšené pórovitosti negativně ovlivňuje půdní vlastnosti (Babilonová, 2010). Mezi hlavní důsledky patří menší prostupnost vody, snížení množství vody, které je půda schopna zadržet, a její omezený pohyb v půdě. Na tyto problémy navazuje hrozba půdní eroze při dešti, kdy zmenšená schopnost retence způsobí, že po určité době již přestane být půda schopna zadržet další množství vody a ta následně odtéká po povrchu a odnáší s sebou částice půdy.

Jako další vyvstávajícím problémem označuje Tomiška (2009) větší tepelnou vodivost půdy, jež má negativní efekt zejména v jarním období. Půda se díky této vlastnosti pomaleji prohřívá a negativně tak působí na růst rostlin, které tak přicházejí o dobu s dostatkem vláhy a snižuje se jejich výnosový potenciál.

Důsledkem zhutnění je také nárůst odporu půdy při zpracování a tím rostou i energetické požadavky při polních pracích v podobě větší spotřeby pohonných hmot nebo i požadavku na výkonnější stroje zvláště při orbě. Bylo zjištěno, že během uplynulých 30 let na středně těžkých a těžkých půdách narostl orební odpor vlivem zhutnění půdy průměrně až o 30 %. Na souvratích je tento nárůst až 80 %. Náklady rostou také díky větší náročnosti odstraňování půdního zhutnění.

Nadměrné zhutnění rovněž nevhodně působí na půdní edafon. Trpí především mezoedafon, který zahrnuje například dešťovky, chvostoskoky, členovce a další. Tito živočichové se podílí na tvorbě drobtovité půdní struktury pomocí svých chodbiček a stabilizačních látek, které vylučují. Je tak zvyšována pórovitost a zlepšen prostup vody a vzduchu.

S tím souvisí i výskyt mikroedafonu, jež je tvořen jednobuněčnými organismy jako jsou bakterie a prvoci (Javůrek a Vach, 2008). Jejich výskyt je totiž podmíněn nejen dostatkem organické hmoty, ale i dobrým provzdušněním a patřičnou vlhkostí půdy. Mikroedafon v půdě je významným činitelem při procesech přetváření organických a minerálních látek jako je například huminifikace, oxidace amoniaku, ale i síry, železa, manganu a dalších prvků. Také se podílí na rozkladu síranů, dusičnanů a podobných sloučenin. Zhutněním a nedostatečným provzdušněním půdy množství mikroedafonu klesá, což zapříčiňuje zhoršení

kvality půdního humusu, acidifikaci a kontaminaci půdního prostředí užívanými chemikáliemi pro ochranu rostlin. Bez těchto nezbytných půdních činitelů nelze dosáhnout dostatečně kvalitní a efektivní výživy rostlin. Při nadměrném zhutnění, které se například u středně těžkých půd projevuje objemovou hmotností převyšující  $1,6 \text{ g na cm}^3$ , je prokázán výrazný pokles účinků hnojení, především v podobě nedostatku dusíku.

### 3.2.2. Vliv na produkční schopnosti půdy

Javůrek a Vach (2008) zmiňují, že půdní zhutnění má také negativní vliv na produkční vlastnosti plodin. Jeho výskyt v půdě omezuje rychlost růstu kořenů, prorůstání do hlubších vrstev půdy a tvorbu kořenového vlášení. To se nejvíce projevuje na tvorbě výnosu rostlin, jejichž význam spočívá v tvorbě podzemních částí jako je například cukrová řepa nebo brambor hlíznatý. U bramborových hlíz se například projevuje deformace.

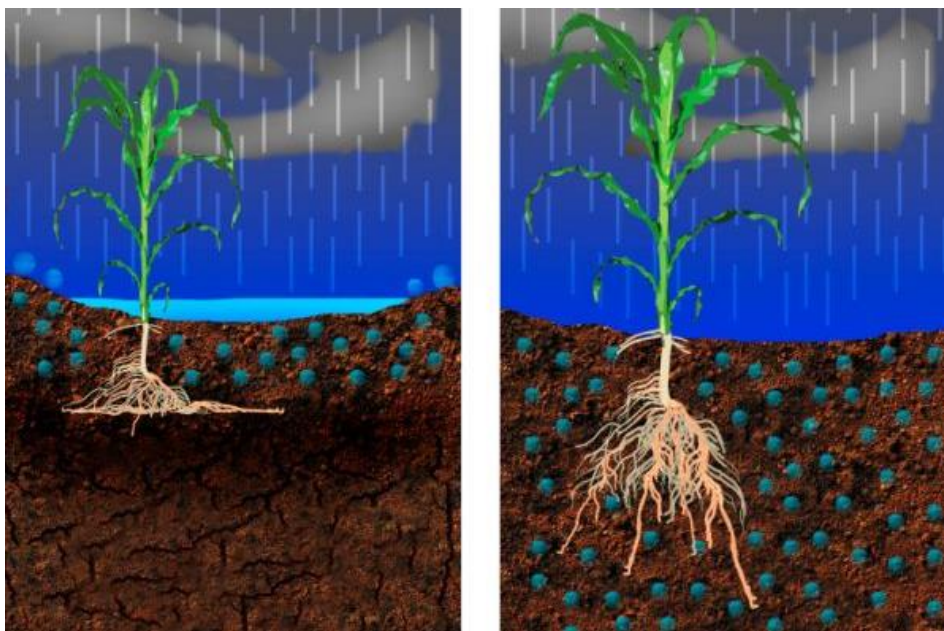
Cukrová řepa, ale i další plodiny, je vlivem zhutnění půdy značně omezována periodicky se opakujícím přebytkem vody, a naopak nedostatkem vzduchu a živin (Pulkrábek et al, 2015). Pro správnou cirkulaci vzduchu v půdě je uváděno zastoupení 8 až 10 % hrubých pórů. Pro optimální výnosy cukrové řepy jsou vhodné lehčí půdy s objemovou hmotností 1,2 až 1,3 g na cm<sup>3</sup>. U středně těžkých půd se tato hodnota pohybuje v rozmezí 1,3 až 1,4 g na cm<sup>3</sup> a u těžkých půd 1,4 až 1,5 g na cm<sup>3</sup>. Přesáhnutí těchto hodnot způsobuje narušení morfologické stavby bulev, mělce zapuštěný kořen a jeho pomalý růst. Pokud objemová hmotnost přesáhne 1,8 g na cm<sup>3</sup>, přestává kořen cukrové řepy růst úplně.

Plodiny tvořící jeden hlavní kuželovitý kořen, mezi které patří řepka olejná, sója luštinatá a slunečnice roční, jsou zhutněním postiženy v podobě zakořenění do menší hloubky. Kořen vlivem neschopnosti prorůst skrz zhutnělou vrstvu roste horizontálně a značně se deformuje. Rostliny tak nejsou schopny čerpat stejné množství živin a vláhy oproti rostlinám se správně vyvinutou kořenovou soustavou (obr. 2).

V závislosti na stupni půdního zhutnění a faktorech, jako je průběh počasí, půdní vlhkost, agrotechnické zásahy a další, jsou negativně ovlivněny výnosy plodin a jejich kvalitativní znaky (Javůrek a Vach, 2008). U obilnin se jedná o snížení o 10 až 20 %, u kukuřice o 10 až 15 %, u luskovin o 15 až 20 %, u brambor 20 až 25 % a u cukrové řepy dokonce o 20 až 30 % spolu s poklesem cukernatosti v průměru o 15 %.



Obrázek 2 Rozdíl mezi zhutnělou půdou a půdou v optimálním stavu při pěstování kukuřice



Zdroj: <http://www.cerea-zt.cz>

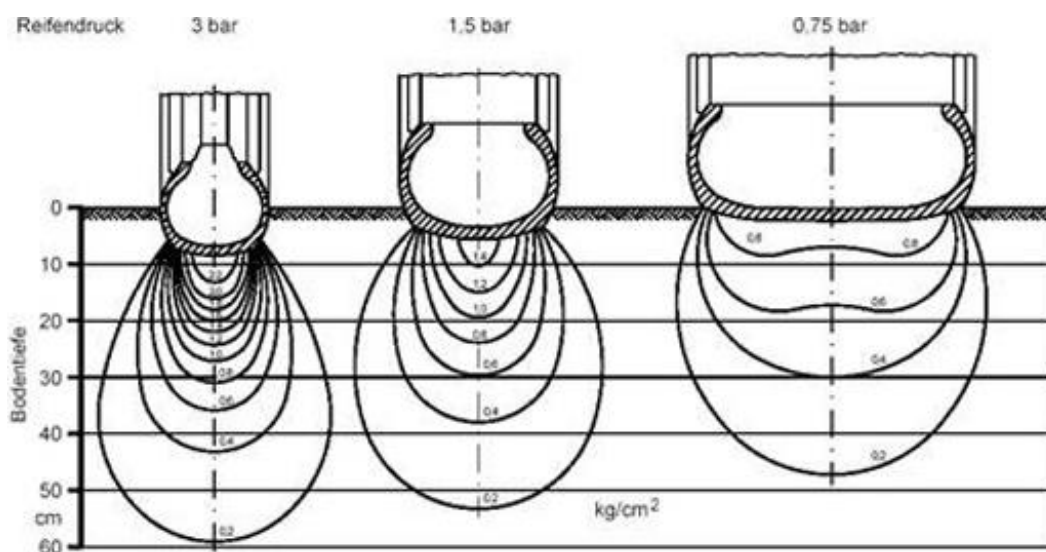
### 3.3. Opatření proti zhutnění půdy

#### 3.3.1. Prevence vzniku zhutnění

Základním preventivním opatřením je snížení vyvíjeného tlaku na půdu. Jelikož tlak je roven vyvinuté síle na jednotku plochy, je možné žádaného zmírnění tlaku dosáhnout snížením působící síly v podobě zmenšení hmotnosti strojů nebo jejich nákladu. Takové řešení je mnohdy náročné a neekonomické. Mnohem jednoduší a často i lepší je působící sílu rozložit na větší plochu, což lze realizovat více způsoby.

Pražan et al. (2014) uvádějí, že hlavními opatřeními k omezení vznikajícího zhutnění jsou opatření jako užití dvoumontáží kol, s ohledem na aktuální zatížení náprav snížit tlak v pneumatikách na výrobcem doporučené minimální hodnoty. Další možností je užití širších pneumatik nebo pneumatik s širším průměrem ráčku (obr. 3). Důležitou roli také hraje výběr pneumatik s vhodnou konstrukcí. Pro snížení působícího tlaku na půdu je lepší vybrat radiální pneumatiky oproti diagonálním, protože mají díky své konstrukci větší kontaktní plochu s půdou. Současně je také vhodnější použít flotační pneumatiky namísto silničních z důvodu zvýšení styčné plochy běhemunu s půdou. Další alternativou je volba strojů, zejména návěsů, s více nápravami. Možností je také práce se stroji na pásovém podvozku nebo nahrazením kol pásovými jednotkami (Bačák, 2011).

Obrázek 3 Tlak na půdu vyvolaný pneumatikami různé šířky a tlaku při stejném zatížení



Zdroj: <https://www.ooe-landwirtschaftsschulen.at/>

Další možností, jak preventivně chránit půdu před jejím zhutněním, může být využití minimalizačních technologií zpracování půdy nebo technologie s přímým setím do nezpracované půdy. Zmíněné technologie se od konvenční metody zpracování půdy vyznačují menším množstvím zásahů do půdy a současně mělčím zpracováním půdy. Nevyužívá se například orba. Hůla, Procházková et al. (2008) ve své publikaci uvádějí, že sice orebné zpracování půdy snižuje penetrometrický odpor do hloubky 0,24 m více než technologie zpracování půdy bez orby, ale pod touto hranicí je již penetrometrický odpor půdy zpracované orbou větší a rychleji se navyšující s rostoucí hloubkou. U varianty s přímým setím je nárůst penetrometrického odporu nejpozvolnější. Také bylo prokázáno, že při víceletém půdoochráněm zpracování dochází ke zlepšení stavu zhutnělé půdy v podorničí. Současně je nutné zmínit, že tyto bezorebné technologie, pro srovnatelné výnosy, vykazují často větší nároky na chemickou ochranu pěstovaných rostlin, neboť kvůli absenci orby nejsou plevele, jejich semena a výdrol předchozích plodin důsledně zapraveny do větší hloubky a jsou tak schopny vyrůstat ve větší míře.

Menšího množství přejezdů po poli lze rovněž docílit užitím strojů, které spojují více pracovních úkonů do jednoho přejezdu. Příkladem je secí kombinátor, který má za úkol připravit a urovnat půdu, zasít a následně i přiměřeně upěchovat půdu.

Vhodné je také při pracovních operacích na poli opakovaně využívat stejné kolejové řádky, protože největší nárůst penetrometrického odporu půdy lze zaznamenat v prvním přejetí asi o 50 až 70 % (Pražan et al., 2014). Nárůst při druhém přejezdu je přibližně 24 %, při třetím a čtvrtém přejezdu je to mírně přes 13 % a v dalších čtyřech přejezdech už jen 12,5 %. Souvisí s tím i volba záběrů pracovních strojů, kdy je výhodné, aby jednotlivé záběry byly lichými násobky. Například při užití secího stroje se záběrem 6 metrů je vhodným záběrem postřikovače 18 metrů.

Další výhodou využívání trvalých jízdnic stop je snížení valivého odporu kol (Hůla, Procházková et al., 2008). Současně se také předpokládá, že tyto stopy nebudou zpracovávány ani osévány kvůli lepší sjízdnosti. Přesné využití těchto trajektorií je možné díky velkému rozmach přesných satelitních navigací. Naváděcí systémy GPS jsou totiž schopny řídit trajektorii strojů s přesností na centimetry. S kolejovými řádky však souvisí i problémy rozchodu kol jednotlivých strojů. Možné řešení spočívá v užití nástavců pro rozšíření rozchodu kol na rozměr, jaký má sklízecí mlátička, nebo sjednotit všechny stroje na stejný rozchod kol, přičemž jedinou výjimkou by byla právě sklízecí mlátička.

Při užití navigačních systémů je současně možné eliminovat nadměrný pohyb po souvratích. V kombinaci se stroji, které umožňují řízení přední i zadní nápravy lze docílit otočení v podobě půlkružnice s průměrem o velikosti rozchodu jednotlivých kolejových řádků.

Naopak u strojů s malým pracovním záběrem a nadměrnou hmotností, jako je například sklízeč cukrové řepy, není možné docílit smysluplného opakovaného užití kolejových řádků (Bačák, 2011). Proto jsou takovéto stroje konstruovány na speciální styl jízdy, který se nazývá krabí chod (obr. 4). Podstata spočívá v implementaci přidavných kloubů, díky kterým je stroj schopen jednotlivé nápravy poodsadit, kolejové stopy se nepřekrývají a nedochází tak k nadměrnému utužení jednotlivých stop.

Obrázek 4 Znáznornění krabího chodu stroje Holmer Terra Variant 600 eco



Zdroj: <https://www.holmer-maschinenbau.com>

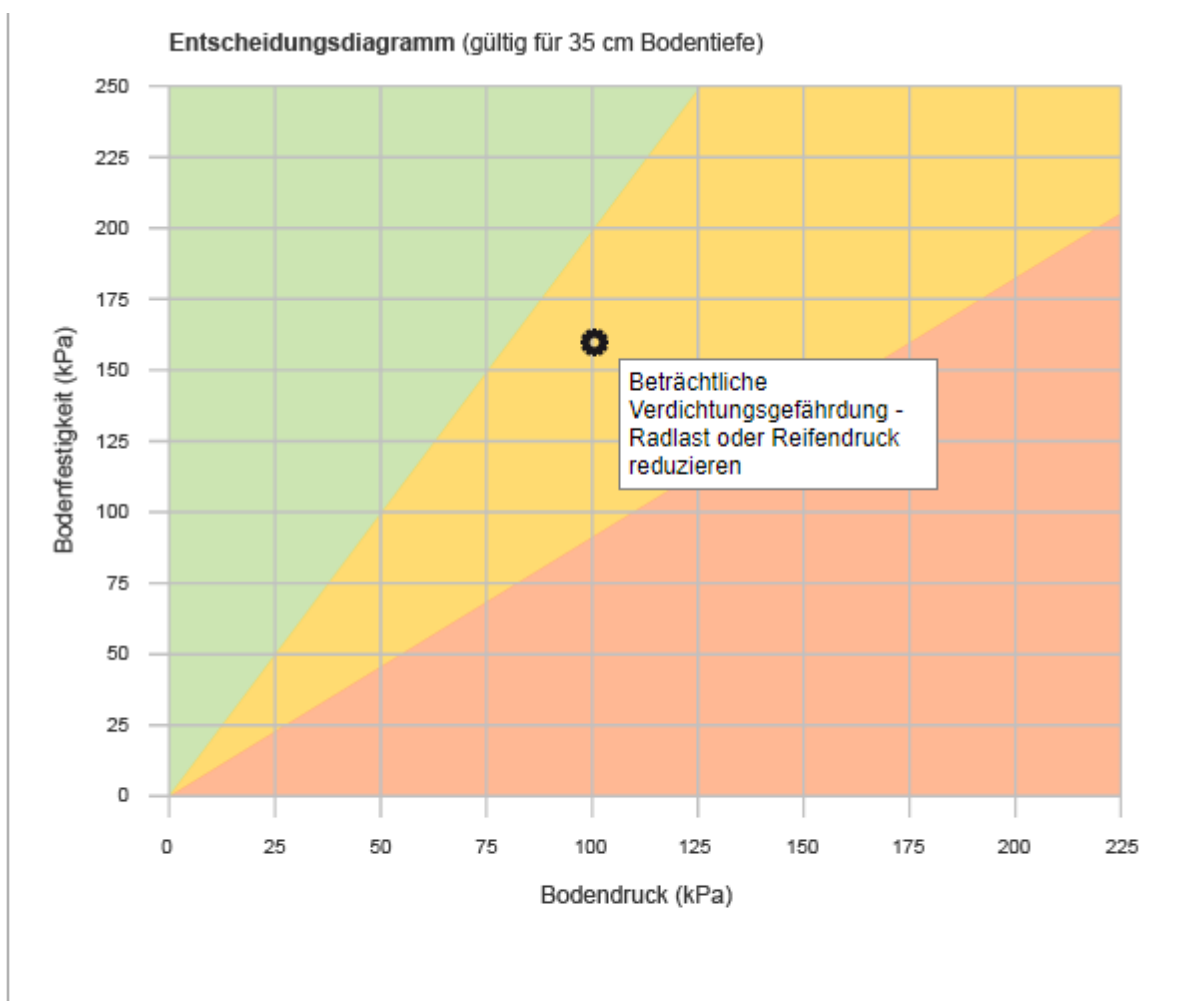
Javůrek a Vach (2008) zmiňují, že pro preventivní ochranu půdy před zhutněním je také důležitá volba pěstovaných rostlin. Vhodné jsou hluboko kořenicí rostliny, jejichž kořenový systém napomáhá tvorbě drobtovitých půdních struktur. Jsou to zejména luskoviny, ale i řepka olejná a kukuřice.

Důležitá je také volba správných termínů pro polní práce. Na zřetel je nutné brát aktuální půdní vlhkost a únosnost půdy. Proto není vhodné uskutečňovat polní práce brzy na jaře, kdy má půda ještě nadměrnou vlhkost a malou únosnost.

Existují také počítačové programy, které na základě skutečných dat stanovují riziko vzniku zhutnění (Stettler, 2014). Příkladem je například webový počítačový model Terranimo. Využíván je například Federálním úřadem pro zemědělství a Federálním úřadem pro životní prostředí ve Švýcarsku. Pro zjednodušené a rychlé posouzení, které je vhodnější pro zemědělské podniky, lze použít Terranimo light. Vstupními parametry jsou hodnoty tlaku v pneumatikách, zatížení kol, vlhkosti půdy a množství obsaženého jílu v půdě. Výsledkem ji pak predikce případného vzniku zhutnění v referenční hloubce 0,35 m. Na obrázku 5

je vyhodnocení tohoto programu pro půdu s obsahem 35 % jílu a sacím tlakem 15 kPa při působení stroje o hmotnosti 2 500 kg s pneumatikami huštěnými na tlak 125 kPa. Program vyhodnotil, že při těchto hodnotách je velké riziko vzniku zhutnění a doporučuje snížit hmotnost nebo tlak v pneumatikách.

Obrázek 5 Vyhodnocení programu Terranimo



Bodendruck	101 kPa	1.01 bar
Bodenfestigkeit	159 kPa	1.59 bar

100kPa = 1bar

Zdroj: <https://www.terranimoworld>

### **3.3.2. Ustálení půdních vlastností po provedení nápravy**

Po provedení patřičného zásahu je vhodné provést kroky k stabilizaci struktury půdy (Niederhafner, 2020). Smyslem je docílit vyšší účinnosti spolu s prodloužením požadovaného efektu melioračního zásahu. Jedná se o opatření jako je stanovení vhodného osevního plánu, vápnění nebo aplikace vylehčovacích hmot.

Stabilizační opatření se mnohdy shodují s prevencí zhutnění. Jako například v osevním plánu, kdy je vhodné zařadit velký podíl rostlin s rozsáhlou kořenovou soustavou, jako jsou například víceleté pícniny. Jedním z efektů pak je i nárůst organické hmoty z odumřelých kořenů.

Javůrek a Vach (2008) zmiňují, že organickou hmotu je však vhodné i aktivně dodávat do půdy i z dalších zdrojů. Velice vítané je užívání statkových hnojiv, které jsou nejen významným zdrojem pro správný vývoj rostlin, ale i zabezpečují výživu půdnímu edafonu a tudíž i nezbytné biologické procesy. Současně je rozkladem organické hmoty zlepšována půdní struktura a snížena náchylnost ke zhutnění.

## 4. Nápravné kypření zhutnělé půdy

### 4.1. Základy nápravného kypření

Hluboké nápravné kypření je efektivním řešením problémů souvisejících se zhutněním půdní struktury. Ale pro zlepšení účinku takového zásahu je nezbytná implementace výše zmíněných preventivních a stabilizačních opatření.

K samotnému hloubkovému kypření se přistupuje až po doložení existence půdního zhutnění (Brant a Zábranský, 2018). Je nutné stanovit plošný rozsah postižené půdy, mocnost zhutnělé vrstvy a hloubku, do které až zasahuje. K tomu je zapotřebí užít penetrometr zaznamenávající odpor půdy proti vnikání kužele. S ním se provede rovnoměrně po celém pozemku adekvátní počet měření. Alternativou může být výkop jámy do požadované hloubky za pomoci rýče a následné prohlédnutí stavu půdy. Tato metoda je však značně náročnější a provádí se spíše pro názornou demonstraci, potažmo pro kontrolu zlepšení fyzikálních vlastností, jako je absorpce vody, po již provedeném nápravném zásahu. Po získání relevantních hodnot následuje jejich vyhodnocení a stanovení rozsahu nápravného kypření. Obvykle se jedná o souvratě a kolejové řádky.

Hůla, Kovaříček et al. (2008) uvádějí, že samotné kypření má za cíl mechanicky rozbít kompaktní strukturu zhutnělé půdy na drobné segmenty. Základním principem je nadzvednutí vrstvy půdy díky jednotlivým radlicím užitého kypřiče, což způsobí praskání kompaktní struktury. Po nadzvednutí radlicemi se půda opět vrací a vlastní vahou se dále drobí. Tvar kypřících těles zároveň musí zabránit vynášení podorničních vrstev a promísení s úrodnou půdou.

Z fyzikálního pohledu probíhá rozpad kompaktní struktury zhutnělé půdy dvěma typy narušení (Spor, 2006). Prvním typem jsou křehké poruchy, ke kterým dochází při zatížení půdy tlakem. Ucelené části půdy se přitom rozpadají na menší jednotky, probíhá jejich vzájemný pohyb a celková hustota půdy klesá. V samotných jednotkách však strukturální změny nastávají jen v malém rozsahu nebo nenastávají vůbec. Druhým typem je rozrušení tahem. Následky jsou však téměř shodné s křehkým rozpadem. Oba typy se tak liší zejména odlišným působením síly na půdu. Tahové poruchy vznikají na základě vystavení půdy napětím, kdežto při křehkém porušení je půda namáhána tlakem.

Pro požadovaný rozpad je nutné provádět nápravné kypření při vhodné vlhkosti půdy (Javůrek a Vach, 2008). Vlhkost půdy musí být vyšší, než je mez spojitosti, která je charakterizována vlhkostí, kdy u hlinitých půd při zpracování nevznikají hroudy, a menší, než je spodní mez vláčnosti, při které se přestává půdní struktura drobit. Hůla, Kovaříček et al. (2008) varují, že pokud by půda v době nápravného úkonu přesahovala díky nadměrné vlhkosti mez plasticity, nejen že nenastane kýžené odstranění půdního zhutnění, ale mohlo by dojít až k nežádoucím plastickým deformacím a stav půdy by se jen zhoršil. Dále také popisuje snadnou metodu, jak posoudit, zda má půda vhodnou vlhkost pro její zpracování. Jedná se o takzvanou rýčovou zkoušku, kdy se vyryje blok zeminy do stejné hloubky, jakou má požadovaný zásah. Úderem bloku o pevnou podložku se pak zemina o vhodné vlhkosti musí dobře drobit a nepodléhat plastickým deformacím.



## 4.2. Výsledky nápravného kypření a jeho trvanlivost

Pozitivní efekt kypření je dokázán řadou polních pokusů. Kupříkladu Hůla, Kovaříček et al. (2008) prezentují výsledky užití kypřiče Howard Paraplow s pracovním záběrem 2,5 m, který byl tažený traktorem Case IH 7230 o výkonu motoru 165 kW. Kypřicí zásah následoval po mělké podmítce po ozimé pšenici na hlinité půdě. Při pokusu bylo provedeno zpracování půdy do hloubky 0,25 m, 0,35 m a 0,45 m.

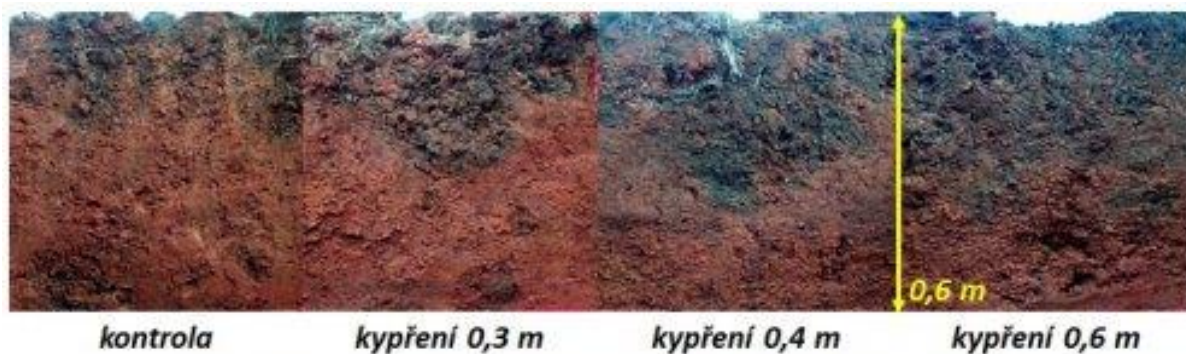
Z publikovaných dat jednoznačně vyplývá, že se penetrometrický odpor výrazně snížil v celé mocnosti kypřené půdy, a i několik setin metru pod ní dosahoval oproti stavu před kypřením nižších hodnot. Je také patrné, že snížení penetrometrického odporu bylo výraznější mezi stopami kypřících těles než v jejich stopách. Současně publikují zlepšení dalších fyzikálních vlastností při kypření do hloubky 0,45 m, kdy z odebraných půdních vzorků v hloubce 0,30 a 0,35 m před a po kypření vyplývá snížení objemové hmotnosti o  $0,5 \text{ g/cm}^3$  na hodnotu  $1,2 \text{ g/cm}^3$ . Dále vzrostla celková pórovitost půdy na 54,9 objemových procent a také vzrostla minimální vzdušná kapacita půdy na 25,0 objemových procent. Při tomto pokusu byla také měřena spotřeba nafty, která v případě kypření do hloubky 0,25 m činila 14,9 l/ha, v pracovní hloubce 0,35 m byla spotřeba 16,4 l/ha a při práci kypřiče v 0,45 m spotřeboval traktor 19,6 l/ha.

Jako další příklad polního pokusu je experiment, který byl proveden na pozemcích podniku AGRO Řísuty (Brant a Zábranský, 2018). Tento podnik dlouhodobě uplatňuje techniku zpracování půdy bez orby. Na vybraných pozemcích bylo lokalizováno nežádoucí utužení až zhutnění půdy již v hloubce 0,12 až 0,25 m. Experiment byl proveden pomocí hloubkového kypřiče Krtek od firmy Farnet. Cílem pokusu bylo porovnání stavu půdy před a po provedení nápravného kypření, které bylo provedeno v hloubce 0,3 m, 0,4 m a 0,6 m. Vyhodnocení stavu půdy bylo provedeno za pomoci obarvené vody v dávce odpovídající 40 mm srážek. Aplikace byla provedena 2 hodiny po provedení nápravného zásahu a k vyhloubení půdních sond došlo 24 hodin poté.

Experiment prokázal zvýšenou infiltraci vody do půdy, v hloubce 0,3 m však jen ve stopě kypřicího nástroje. Vlivem nedostatečného zahloubení však nedošlo k dostatečným strukturálním změnám v meziřadí hloubkového kypřiče. V hloubce 0,4 m docházelo již i k dostatečnému prokypření mezi kypřícími tělesy. Problém však nastával na místech, kde se vyskytovalo zhutnění přesahující pracovní hloubku. V takovém případě docházelo

k tvorbě kompaktních bloků spolu s velkými trhlinami v půdním profilu. V hloubce 0,6 m bylo rovněž zaznamenáno výrazné zvýšení infiltrace. Byl však zaznamenán nedostatečný tahový výkon užitého traktoru a po kypření zůstávaly v půdě za pracovními tělesy takzvané drenážní rýhy. Výsledky hlubokého kypření jsou znázorněny na obrázku 6.

Obrázek 6 Brant a Zábranský: Infiltrace obarvené vody v těžké půdě v lokalitě Jedomělice



Zdroj: <https://cpz.czu.cz/cs>

V poloprovozním pokusu Hůla et al. (2017) hodnotí trvanlivost efektu prokypření zhutnělé půdy. Po zjištění výrazného zhutnění v hloubce 0,1 až 0,3 m bylo po sklizni ozimé pšenice provedeno kypření na písčitohlinité půdě při vhodné půdní vlhkosti 13,1 hmotnostních procent v hloubce 0,1 m a 10,7 hmotnostních procent v hloubce 0,3 m. Pro nápravný zásah byl využit kombinovaný kypřič DMI Ecolo-Tiger s pracovní šířkou 4 m a tažnou sílu zajišťoval traktor Case IH 7250 o výkonu motoru 192 kW. Pokus spočíval ve srovnání kypření do hloubky 0,22 m a 0,32 m. Jako kontrola sloužila půda zpracovaná talířovým kypřičem do hloubky 0,1 m. V následujících 3 letech byla půda obdělávána do maximální hloubky 0,1 m a pěstovalo se na ní ozimé žito, ozimá řepka a ozimá pšenice v tomto pořadí.

První zhodnocení půdní struktury bylo provedeno 2,5 měsíce po provedení kypření. Prokypřená půda vykazovala větší pórovitost než v případě kontroly. Z měření také vyplynulo, že pro všechny tři varianty byl penetrometrický odpor téměř shodný do hloubky 0,2 m a s narůstající hloubkou do 0,4 m narůstal tento odpor nejméně v případě kypření v hloubce 0,32 m. Současně proběhlo měření schopnosti půdy infiltrovat vodu při užití simulátoru deště. V případě nakypření na 0,32 m probíhala infiltrace nejrychleji a odtok vody nastal po více než 8 minutách. Podobné výsledky byly i u půdy prokypřené do hloubky 0,22 m s tím rozdílem, že povrchový odtok nastal až po 11 minutách, ale probíhal ve větší míře. V případě kontroly nastal povrchový odtok přibližně po 80 sekundách se značně větší rychlostí. Po deseti měsících

od založení půdního pokusu byla prokázána infiltrace obarvené vody do výrazně větší hloubky u nakypřené půdy ve srovnání s kontrolou. Za dalších 10 měsíců byly prokázány zmenšující se rozdíly pórovitosti jednotlivých variant zpracování a 32 měsíců po provedení kypření již rozdíly v pórovitosti nebyly téměř patrné. Pórovitost se v té době ve všech případech pohybovala pod 42 objemových procent, které u hlinitopísčité půdy signalizují nežádoucí strukturní vlastnosti. Tento fakt potvrdilo i měření penetrometrického odporu. Takto krátký interval pozitivního efektu hlubšího prokypření mohl být způsoben nedostatečnou implementací stabilizačních a preventivních opatření vzniku zhutnění půdy.

Obecně vzato se většina autorů shoduje, že pozitivní efekt hlubokého prokypření půdy se projevuje po několik let po nápravném zásahu. Ide et al. (1987) uvádí, že na hlinité půdě lze pozorovat i přes postupné snižování příznivých účinků zvýšený výnos i v pátém roce. Obecně doporučuje opakovat hluboké kypření v intervalu 3 až 5 let s ohledem na pokles výnosů. Shodný interval uvádí také Twomlow et al. (1994), přičemž dodává, že je nutné brát na zřetel nevhodné provedení zpracovávání půdy a interval případně zkrátit.

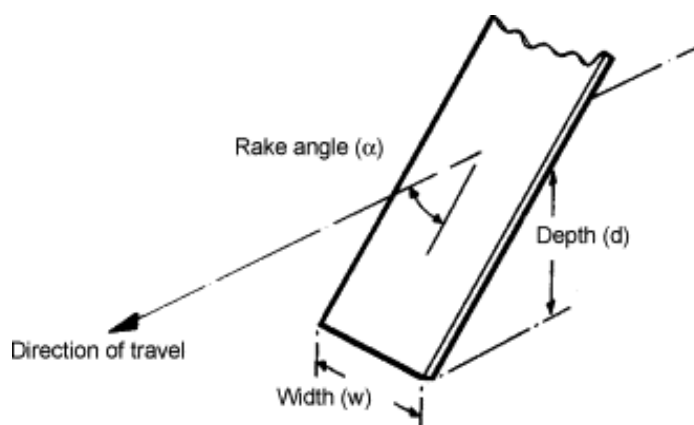
Někteří autoři prosazují i delší intervaly. Kovaříček et al. (2017) uvádí interval opakování kypření při zpracování půdy bez orby v rozmezí 5 až 6 let a při systému zpracování s orbou může být interval dokonce prodloužen na 10 let.

Jsou ale i autoři opačného názoru. Carter a Kunelius (1998) doporučují opakovat kypření každé 3 až 4 roky. Současně v jejich práci hodnotí kypření pastvin, kde varují před poklesem výnosu, který během jejich tříletého měření činil v průměru 5 % oproti neošetřeným pastvinám. Ten odůvodňují poškozením kořenového systému pícnin. Z toho vyplývá, že u víceletých rostlin nelze vyhodnotit možné zkrácení či prodloužení intervalu nápravného kypření na základě dlouhodobého porovnání výnosů, jak je zmíněno výše. Existují i studie, které uvádí i velmi krátkodobí účinek. Willis et al. (1997) uvádí, že během prováděného experimentu přestalo být snížení objemové hustoty, vzniklé vlivem hlubokého zpracování půdy, patrné již po druhém roce od provedení nápravy.

### 4.3. Tvar kypřicích těles a rychlost pohybu

Základním aspektem kvality prokypření zhutnělé půdy je konstrukce pracovních nástrojů (Godwin, 2007). Závisí především na úhlu, který svírá čelo dláta s trajektorií pohybu stroje, pracovní hloubce a šířce dláta (Obr. 7), která by v případě hlubokého kypření měla být několikanásobně menší než pracovní hloubka

Obrázek 7 Godwin: Základní parametry pracovního nástroje



Zdroj: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706001516>

Godwin (2007) uvádí, že hlavní úlohu při zpracování půdy jednoduchými nástroji tvoří působící horizontální a vertikální síly. Horizontální tažná síla je nezbytná pro pohyb pracovního nářadí půdou a v ideálním případě by měla být co nejmenší. Vertikální síla napomáhá nebo naopak brání průniku nářadí do půdy a v ideálním případě směřuje směrem dolů, aby se stroj snáze zahloubil a v hloubce zůstal. Pokud je však úhel čela větší než kritický úhel, bude svíslá síla působit vzhůru a stroj je nutné úměrně zatížit nebo využít sílového působení traktoru. Kritický úhel lze vypočítat odečtením třecího úhlu, který vzniká při kontaktu půdy s nástrojem, od  $90^\circ$ .

Dále také pojednává o závislosti horizontálních a vertikálních na pracovní hloubce, přičemž horizontální síly mají při narůstající hloubce výraznější růstový trend se zvětšujícími se přírůstky než síly vertikální. Naopak u závislosti sil na šířce dláta s postupným rozšiřováním má přírůstek sil na jednotku šířky stále menší diferenci. Tyto dvě závislosti byly hodnoceny při užití dláta s úhlem čela  $90^\circ$ .

Godwin (2007) také hodnotil vliv pracovní rychlosti. Z experimentálních dat je patrné, že růst horizontálních i vertikálních sil se jen mírně liší od lineární závislosti, a i při rychlosti blížící se nule přesahují síly 1 000 N. Tvrdí také, že do rychlosti 4,4 km/h byl vliv rychlosti na síly nevýznamný a současně doporučuje pracovní rychlost vyšší než 10,7 km/h. Zvýšením pracovní rychlosti se také zlepší poměr potřebné tažné síly ku efektivitě práce, přestože horizontální i vertikální síly vzrostou. To reflektují i někteří výrobci a doporučují pracovní rychlost hloubkových kypřičů až 12 km/h.

Spoor (2006) také zmiňuje hloubkové kypřiče, které jsou navíc opatřeny takzvanými křídly, jež jsou připevněna k patě pracovního nástroje a zvyšují boční rozsah narušení. Ty mohou mít různou výšku zdvihu, čímž je ovlivněn rozsah změn půdní struktury. U strojů s bočními křídly je obvykle možné nastavit více poloh, pro změnu výšky zdvihu, nebo zaměnit za jiný model. V případě křidel bez možnosti nastavení je možné výšku zdvihu regulovat změnou pracovní hloubky. Užitím bočních křidel je možné zvýšit efektivitu pracovního zásahu (Godwin, 2007).

Jednotliví výrobci užívají různých tvarů slupic, na nichž jsou připevněna dláta. Nejjednodušším tvarem jsou rovné slupice, které nejsou příliš užívané. Nejčastěji se lze setkat s dopředně sešikmenými slupicemi ve tvaru půlměsíce, které jsou obvyklé u víceřadých ráků, nebo s příčně šikmými slupicemi, které jsou konstrukčně řešeny pro lepší průchodnost půdy.

## 4.4. Rozdělení hloubkových kypřičů

### 4.4.1. Dle pracovní hloubky

Dlátové kypření se provádí do hloubky až 0,45 m. O užití těchto kypřičů je vhodné uvažovat zejména při víceletém zpracování půdy bez využití orby. V takovém případě se nežádoucí zhutnění může nacházet již v hloubce 0,2 m (Hůla, Kovaříček et al., 2008). Pulkrábek et al. (2015) uvádějí, že dlátování je doporučováno řadou autorů provádět periodicky zejména na půdách náchylných ke vzniku nežádoucího zhutnění.

Javůrek a Vach (2008) jako vhodný termín pro provedení dlátování zmiňují dobu obvykle po sklizni obilnin, kdy má půda často vhodnou vlhkost pro zpracování. Při pěstování některých plodin může být dlátování využito jako alternativa hluboké orby. Zejména při uplatňování minimalizačních technologií zpracování půdy se uplatňuje toto nahrazení, protože půda se adekvátně prokypří, je odstraněno případné zhutnění, nepromísí se jednotlivé vrstvy půdy a na povrchu zůstává dostatek rostlinných zbytků. Příkladem dlátového kypřiče je stroj Talon 200/3 (Obr. 8) od výrobce SMS Rokycany.

Obrázek 8 Hloubkový kypřič SMS Talon 200/3



Zdroj: <https://www.smscz.cz/>

Hloubkové meliorační kypření zasahuje do hloubky přesahující 0,45 m (Javůrek a Vach, 2008). Obvyklá maximální hloubka zpracování bývá 0,65 m, ale na trhu jsou dostupné i kypřiče s pracovní hloubkou přesahující 0,7 m. Z důvodu značné tahové síly, která je nutná pro zpracování půdy v takových hloubkách, je vhodné pro optimalizaci efektivity před provedením hloubkového melioračního kypření zhodnotit stav a vlhkost půdy pomocí půdních sond.

#### 4.4.2. Dle tvaru rámu a uspořádání pracovních těles

Konstrukční provedení rámu se u jednotlivých kypřičů výrazně liší. Rám se se může skládat z jedné nebo ze dvou řad za sebou. Jednotlivé řady mohou být kolmé na směr jízdy, šikmo ke směru jízdy nebo ve tvaru šípu.

V případě jednořadého rámu je zřejmě nejčastějším konstrukčním řešením šípový tvar stroje (Obr. 9). Tento tvar je výhodný z hlediska odstupňování jednotlivých kypřících těles (NAVOS FARM TECHNIC s.r.o., c2012-2021). Díky tomu je zajištěna lepší průchodnost půdní hmoty a snižuje se riziko vzniku bočního ztuhnutí půdy. Tyto stroje můžeme dále rozlišit dle úhlu, který šípový tvar svírá. Mnoho výrobců ale raději volí variantu s rámem, který je kolmý na směr jízdy. Stroj je tak konstrukčně jednodušší a obvykle má i nižší hmotnost než v případě tvaru šípu. Stroje s šikmým rámem vůči směru jízdy nejsou v současné době na trhu příliš rozšířené.

Obrázek 9 Hloubkový kypřič PEGAZ EXPOM



Zdroj: <https://offer.jaskot-group.com/>

V případě využití rámu kypřiče se dvěma řadami je obvyklé, že jsou řady kolmé na směr jízdy. Při takové konstrukci mohou být kypřiče dále rozděleny na stroje s jednostupňovým zpracováním půdy nebo s narůstající hloubkou nápravného zásahu (Kovaříček et al., 2017). Jednostupňové kypřiče jsou konstruovány tak, že všechna pracovní tělesa zasahují do stejné hloubky a na rámu jsou rozmístěna rovnoměrně v celém záběru, nebo-li každá kypřící slupice zpracovává vlastní pás půdy. U strojů s narůstající pracovní hloubkou naopak pracovní tělesa

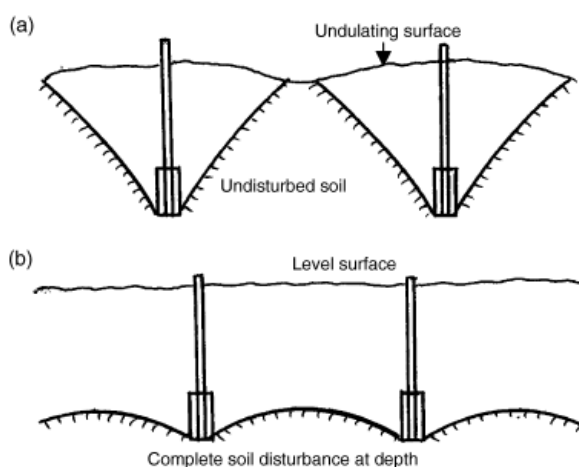


první i druhé řady mají obvykle stejnou trajektorii. Spoor (2006) poznamenává, že radlice v první řadě zpracovávají půdu do menší hloubky než v řadě druhé. První řada tak rozruší povrchové vrstvy půdy, což má za následek snížení odporu půdy vůči pracovním tělesům v druhé řadě. Lze tak zpracovávat půdu do značné hloubky i se soupravami s nižším tahovým výkonem.

Uložení jednotlivých nástrojů pro kypření je realizováno buď pevným spojením s rámem bez možnosti změny polohy, nebo pomocí nastavitelného upevnění, které umožňuje změnu rozteče jednotlivých těles. Při nedostatečném tahovém výkonu je tak možné odebrat libovolný počet slupic a zbylé nastavit na adekvátní vzdálenost od sebe.

Různé rozteče pracovních těles mají vliv na výsledný stav půdy po kypření. Při vzdálenosti menší, než je mezní rozteč je prokypření patrné v celém záběru stroje, což je také patrné z obrázku 10 b (Spoon, 2006). Mezní rozteč závisí na konkrétních půdních podmínkách, ale obvykle se uvádí jako 1,5 násobek pracovní hloubky úzkých dlát a 2 násobek pracovní hloubky pracovních nástrojů s bočními křídélky. V případě překročení mezní rozteče vzniká pouze lokální narušení půdní struktury (Obr. 10 a) a ve zbylé části bez prokypření se tak nenaruší přirozené kapilární vztlínání vody. Tento efekt může být využit například při pěstování širokořádkových plodin za předpokladu, že rostliny porostou v nakypřené půdě. Rostliny tedy mohou růst bez hrozby deformace kořenů a současně mají zajištěn přísun podzemní vody.

Obrázek 10 Spoor: Narušení půdy na základě rozteče pracovních těles



Zdroj: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2006.00015.x>



### 4.4.3. Dle rozsahu pracovních úkonů stroje

Kypřicí stroje se na trhu vyskytují v mnoha různých variantách. Výrobci techniky pro zpracování půdy často nabízí kypřicí stroje, které jsou určeny výhradně pro nápravu půdní struktury ve větších hloubkách. Takové stroje jsou obvykle konstrukčně jednodušší.

U většiny hloubkových kypřičů ale bývá možnost doplnit je o další komponenty. Nejběžněji se přidávají různé varianty drobicích válců či nožů pro urovnění půdy a rozmělnění hrud za kypřičem. Méně často výrobci nabízejí k těmto kypřičům přídatný zásobník pro aplikaci tuhých minerálních hnojiv nebo setí mezplodiny, případně i setí do strniště předplodiny, jak tomu je to na obrázku 11 (HE-VA, a).

Obrázek 11 Kypřič Sub-tiller se secím ústrojím Multi-Seeder značky HE-VA



Zdroj: <https://www.he-va.com>

Další variantou jsou stroje spojující nápravné kypření s dalšími technologiemi zpracování půdy, jako je například podmítka. Na trhu jsou také kombinátory určené k podmítce, hlubokému kypření a přípravě půdy pro setí v jednom přejezdu, čímž se šetří čas, pohonné hmoty a stav půdy.

## 5. Kypřicí technika dostupná na trhu

### 5.1. Výrobci a příklady jejich produktů

#### 5.1.1. AGRO-TOM

##### Podrývák GHL

Tento nesený stroj je určen k hloubkovému zpracování půdy až do hloubky 0,5 m (AGRO-TOM, 2018, a). Vyrábí se ve tvaru šípů v provedení se 3 nebo 5 pracovními nástroji s pracovním záběrem 2 nebo 3 m. Kypřič je opatřen dláty s karbidovou vrstvou. Jednotlivé slupice mají hydraulické jištění a není možné měnit jejich rozteč. Součástí základní výbavy jsou dláta s karbidovou vrstvou a trubkový válec o průměru 600 mm. Výrobce nabízí možnost přidat podrývací křídélka, osvětlení nebo boční talířové deflektory. Současně je také možné zaměnit trubkový válec za tandemový hrotový válec.

##### Podrývák GW

Podrývák GW (Obr. 12) firmy AGRO-TOM (2018, b) je nabízen ve variantách se 4, 6 a 8 slupicemi s pracovním záběrem 2,5 až 3,5 m. Jednotlivé slupice jsou uspořádány v řadě vedle sebe bez možnosti změnit jejich rozteč a jištěny jsou vinutou pružinou. Dláta mají povrch z karbidu. Maximální pracovní hloubka tohoto stroje je 0,6 m. Tento nesený kypřič je uzpůsoben k upevnění do předního i zadního tříbodového závěsu. V základní výbavě je stroj opatřen osvětlením a možné je přidat opěrná kola.

Obrázek 12 Podrývák GW 6 s pracovním záběrem 3 m od firmy AGRO-TOM



Zdroj: <https://www.foragri.cz>

## 5.1.2. BEDNAR

### Terraland TN

Terraland TN je nesený dlátový pluh vyráběný ve verzích M a D, které se liší v maximální pracovní hloubce (BEDNAR, c1997-2021, a). Verze M má hloubkový pracovní rozsah od 0,15 do 0,55 m, s verzí D je možné kypřit půdu ještě o 0,1 m hlouběji. Stroj je vyráběn s pracovním záběrem 3 a 4 m s 5, 7 nebo 9 pracovními nástroji, které se nachází ve dvou řadách pro lepší průchodnost půdou. Stroj lze opatřit kypřicími tělesy Zero-mix, které jsou navrženy pro zpracování půdy bez mísení vrstev půdy, nebo Active-mix, jež intenzivně mísí půdu s rostlinnými zbytky. Jištění je provedeno tažným šroubem nebo hydraulicky a není umožněno měnit rozteč těles. Pro kypření je možné vybrat ze dvou dlát o šířce 40 nebo 70 mm vyrobených z karbidu. Stroj je také opatřen tandemovými hrotovými válci s hydraulickým nastavením pro zpětné utužení. Dlátový pluh je navíc možné opatřit bočními clonami nebo přídatnými bočními válci. Možné je také připojit dělicí hlavu s rozvody pro přihnojování.

### Terraland TO

Jedná se o návěsný dlátový pluh (obr. 13) určený ke zpracování půdy do hloubky od 0,15 do 0,55 m (BEDNAR, c1997-2021, b). Stroj je vyráběn ve třech modelech s pracovní šířkou 4 až 6 m s 9, 11 nebo 13 pracovními nástroji, které jsou opět ve dvou řadách. Volba kypřících těles, dlát a jištění je totožná s kypřičem Terraland TN. Pro přepravu je možné hydraulicky složit obě poloviny stroje k sobě. Tento stroj má také tandemové hrotové válce s hydraulickým nastavením. Možné je také doplnit kypřič o sadu pro přihnojování, výškově stavitelný krajní kotouč, boční clonu nebo zadní závěs pro připojení dalšího stroje.

Obrázek 13 Dlátový pluh Terraland TO od firmy Bednar



Zdroj: <https://www.bednar.com/>

### 5.1.3. Dondi

#### Řada 800

Podrýváky řady 800 (Obr. 14) umožňují pracovní hloubku až 0,6 m (Dondi Spa, c2020, a). Vyrábí se v pěti modelech s pracovním záběrem od 2,8 do 6,5 m s 5 až 13 pracovními nástroji. Kypřicí tělesa jsou rozmístěna ve dvou řadách s upevněním pomocí šroubových svorek, které umožňují změnu rozteče pracovních nástrojů. Jištění je provedeno pomocí střížných šroubů. Stroj lze opatřit dvojitým hrotovým válcem s manuálním či hydraulickým nastavením. Dále je možné vybavit podrývák zásobníkem s rozvody pro hnojivo, kopírovacími kolečky, boční clonou nebo dvoukolovým nosičem s hydraulickým nastavením pro návěsné uzpůsobení stroje.

Obrázek 14 Podrývák Dondi z řady 800



Zdroj: <https://www.dondinet.it/>

#### Série RP

Nesené podrýváky série RP jsou ve variantách L, M a P (Dondi Spa, c2020, b). Jednotlivé varianty se liší v maximální pracovní hloubce. Varianta L umožňuje kypření půdy do hloubky 0,4 m. Vyrábí se s pracovním záběrem od 2 do 3,2 m s 5, 7 nebo 9 radlicemi. Varianta M je konstruována pro práci v hloubce až 0,5 m a nabízena je s pracovním záběrem 2,2 a 2,8 m s 5 nebo 7 radlicemi. Varianta P je určena pro maximální hloubku 0,6 m. Vyráběny jsou dva modely se šířkou zpracování půdy 2,5 a 3,3 m, které jsou opatřeny 5 a 7 radlicemi. Stroje řady RP mají radlice ve dvou řadách s upevněním pomocí šroubů tvaru U, které umožňují změnu rozteče. Proti přetížení jsou radlice jištěny střížným šroubem a kvalitnější prokypření zajišťují boční křídla. Ke stroji je možné připojit kopírovací kolečka, trubkový válec s mechanickým nastavením nebo dvojitý hrotový válec s manuálním či hydraulickým nastavením. Podrývák lze změnit na návěsný díky dvoukolovému nosiči s hydraulickým nastavením.



## 5.1.4. EXPOM

### Arator

Nesený dlátový pluh firmy EXPOM (c2012, a) na obrázku 15 je vyráběn s pracovním záběrem 2,5 a 3 m s 5 nebo 7 kypřicími tělesy, která jsou rozmístěny do dvou řad a jištěny pomocí střižného šroubu. Maximální pracovní hloubka je 0,4 m. Upevnění pracovních nástrojů umožňuje změnu jejich rozteče. Stroj je také opatřen dvěma hrotovými válci s hydraulicky nastavitelnou polohou.

Obrázek 15 Dlátový pluh Expom Arator



Zdroj: <https://www.expom.com.pl/>

### Pegaz

Pegaz (Obr. 9) je konstrukčně jednoduchý nesený podrývák šípového tvaru s pracovní hloubkou od 0,4 do 0,6 m (EXPOM, c2012, b). Firma Expom tento stroj nabízí ve třech variantách se 3, 4 nebo 5 pracovními nástroji o pracovním záběru od 1,8 do 3 m. Jištění je provedeno střižnými šrouby. Konstrukční řešení umožňuje změnu polohy kypřících těles a tím i změnu jejich rozteče. K rámu podrýváku je současně připojen trubkový válec pro drcení hrud s jednoduchým nastavením rozsahu hloubky válce pomocí kolíků. Volitelně je možné stroj doplnit o osvětlení nebo nahradit trubkový válec za těžký ozubený válec nebo válce ve tvaru V.

### 5.1.5. Farmet

#### Digger

Digger je nesený hloubkový kypřič, který nabízí nahrazení orby s nižšími náklady. Pracovní hloubka tohoto stroje se pohybuje od 0,25 do 0,5 m (Farmet, 2019). Vyrábí se s pracovními záběry 2,9 a 3,9 m se 7 nebo 9 kypřicími nástroji, které jsou hydraulicky jištěny. Pracovní nástroje jsou opatřeny bočními křídélky s možným nastavením jejich polohy a umožňují zapravení rostlinných zbytků. Kypřicí tělesa jsou situované do dvou řad, jejichž hloubku lze nezávisle na sobě hydraulicky nastavit, případně úplně vyzdvihnout, pro usnadnění práce v nepříznivých podmínkách. Součástí stroje je také řada talířů s nastavitelnou výškou a dvojitý zadní hrotový válec pro rozdrobení hrud. Ke kypřič Digger je také možné opatřit rozvody pro přihnojování a zásobník na hnojivo, který je na předním tříbodovém závěsu nebo připevněn přímo na kypřiči.

#### Krtek

Tento hloubkový kypřič je díky jednoduché konstrukci a pracovní hloubce od 0,3 do 0,6 m určen především pro odstranění zhutnění půdy v ornici a podorniči bez rizika promísení jednotlivých půdních vrstev (Farmet, c2021). Vyrábí se ve variantách s 3, 5 nebo 7 kypřicími tělesy (Obr. 16) s pracovní šířkou od 2,2 do 4,4. Jednotlivé pracovní nástroje jsou jištěny hydraulicky. Stroj lze pro zlepšení přesnosti hloubkového vedení opatřit kopírovacími koly nebo zadním diskovým válcem, který ještě navíc rozbije případné hroudy.

Obrázek 16 Hloubkový kypřič Krtek DG 7



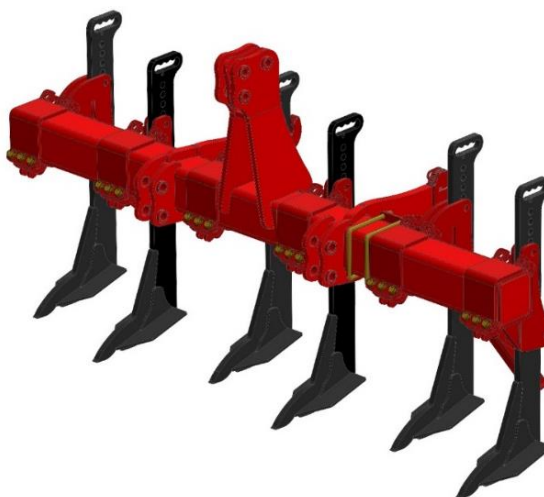
Zdroj: <https://www.farmet.cz/>

## 5.1.6. HE-VA

### Combi-Tiller MKI

Tento kypřič je navržen pro samostatnou práci nebo k němu může být připojen další stroj pro efektivnější práci (HE-VA, b). Například lze provozovat s talířovým podmítačem nebo secím strojem. Samotný kypřič umožňuje nastavit hloubku radlic na jejich držácích, které navíc umožňují přesun po rámu stroje, čímž lze plynule měnit rozteč. To lze vidět i na obrázku 17. Rozsah pracovní hloubky radlic s postranními křídly je od 0,05 do 0,4 m. Vyrábí se ve čtyřech pracovních záběrech od 2,5 do 4 m s 3 až 8 kypřicími tělesy.

Obrázek 17 Radličkový kypřič Combi-Tiller MKI



Zdroj: <https://www.he-va.com/>

### Sub-Tiller

Tento stroj šípového tvaru rámu je určen pro hluboké kypření až do hloubky 0,6 m (HE-VA, c). Vyrábí se jak v nesené verzi, s variantami pracovního záběru od 2 do 5 m s 2 až 9 kypřicími tělesy, tak i tažené, která může mít pracovní záběr od 4 do 7 m se 7 až 13 kypřicími tělesy. Upevnění k rámu je provedeno pomocí držáků, které umožňují i změnu rozteče pracovních nástrojů či jejich odebrání. Samotné pracovní nástroje jsou pak jištěny vícenásobným střížným kolíkem, který po přestříhnutí stačí jen posunout na další střížný bod a zajistit. Pro kvalitnější prokypření půdy jsou kypřicí tělesa opatřena bočními křídly. Stroj může být doplněn o různé drobicí nebo pěchovací válce, secí sadu pro výsev do strniště předplodiny (Obr. 11) nebo může být uplatněn jako součást secí kombinace.

## 5.1.7. HORSCH

### Tiger AS

Kypřič Tiger AS lze využít k nahrazení orby (HORSCH, c2021). Nabízí intenzivní prokypření spolu se rovnoměrným zapravením velkého množství rostlinných zbytků při rozsahu možné pracovní hloubky od 0,05 do 0,35 m. Stroj se vyrábí s pracovním záběrem od 3 do 7,5 m s 13 až 33 kypřicími tělesy, která jsou rozmístěna do čtyř řad a jsou jištěna vinutou pružinou. Součástí kypřiče je také řada zaklápěcích talířů, které mají za úkol rovnoměrně urovnat půdu před následujícími pěchy pro zpětné utužení. V základním vybavení je stroj opatřen pneumatikovým pěchem, který může být pro kvalitnější úpravu povrchu doplněn pěchem TopRing (Obr. 18), ale lze jej zaměnit například za dvojitý pěch Doppel RollPack, pěch SteelDisc. Tiger AS je rovněž možné doplnit rozdělovačem hnojiva nebo kombinovat se sečí technikou Pronto.

Obrázek 18 HORSCH Tiger 6 AS s přídatným pěchem TopRing



Zdroj: <https://www.horsch.com>



### 5.1.8. Kverneland

#### CLI

Nesený podryvák CLI (Obr. 19) je vyráběn s pracovním záběrem 3 a 4 m se 4, 6 nebo 8 zakřivenými pracovními nástroji, které díky svému tvaru kypří půdu bez vzniku nežádoucích hrud (Kverneland, a). Pracovní hloubka stroje je od 0,15 do 0,4 m. Všechny kypřicí tělesa jsou připevněny na jednom rovném nosníku, který je konstruován pro možné připojení dalšího stroje včetně dostatku prostoru pro průchod kloubového hřídele pod nosníkem. Jednotlivé pracovní nástroje jsou k rámu připevněny šroubovými svorkami s možností změny jejich rozteče a jištěny jsou střížnými šrouby. Volitelně je možné opatřit podryvák kopírovacími kolečky pro zajištění konstantní pracovní hloubky.

Obrázek 19 Podryvák CLI od firmy Kverneland



Zdroj: <https://download.kvernelandgroup.com/>

#### Flatliner

Nesený hloubkový kypřič Flatliner s šípovým rámem je vyráběn ve dvou variantách. První má pracovním záběrem 2,61 m a 3 až 5 slupicemi a druhý model o záběru 3,15 m je osazen 5 slupicemi (Kverneland, b). Pracovní hloubka stroje se pohybuje od 0,3 do 0,5 m. Pracovní nástroje jsou navrženy pro efektivní rozrušení kompaktních vrstev půdy bez významného narušení povrchu. Díky šroubovým svorkám lze měnit rozteč mezi slupicemi, které jsou jištěny pomocí střížného šroubu. Stroj je také opatřen pěchem ve tvaru V.

## 5.1.9. OPaLL-AGRI

### HEKTOR I

HEKTOR I (Obr. 20) je nesený hloubkový podryvák firmy OPaLL-AGRI (c2013-2021), který umožňuje prokypření půdy až do hloubky 0,45 m bez promísení vrstev půdy. Vyrábí se s pracovním záběrem od 2,5 do 4 m se 3, 4 nebo 6 slupicemi, které jsou jištěny střížným šroubem nebo hydropneumaticky. Stroj neumožňuje změnu rozteče kypřicích těles. HEKTOR I je v základním vybavení opatřen trubkovým opěrným válcem s hydraulickým nastavením pracovní hloubky, který je ale možné vyměnit za válec gumový, hrotový nebo cracker válec.

Obrázek 20 Hloubkový podryvák HEKTOR I 3



Zdroj: <https://eshop.opall-agri.cz/>

### 5.1.10. Quivogne

#### SSD

Tento nesený hloubkový kypřič s rámem šípového tvaru umožňuje práci až v hloubce 0,6 m (Quivogne, a). Firma Quivogne ho prodává v pracovních záběrech 3, 4 nebo 5 metrů se 4 až 10 příčně zaoblenými pracovními nástroji, které jsou jištěny střížným šroubem. V případě zájmu lze střížné šrouby nahradit hydraulickým jištěním. Pro přesnější zahloubení na požadovanou hloubku může být stroj doplněn dvěma gumovými opěrnými koly, které jsou s typem SSD 6 na obrázku 21, či zadním válcem. Nabízen je také dvojitý vlnitý diskový válec.

Obrázek 21 Hloubkový kypřič SSD 6 s opěrnými koly



Zdroj: <https://www.quivogne.at/>

#### SSDR BIG

Hloubkový kypřič SSDR BIG se skládá z dvou nosníků, na kterých je dle typu rozmístěno celkem 5 až 11 slupic (Quivogne, b). Vyráběné modely mají pracovní záběr od 3 do 5,5 m. Kypřit půdu s tímto strojem lze až do hloubky 0,75 m. Slupice jsou připevněny k rámu šroubovými svorkami s možností změny rozteče. Jištění zajišťují střížné šrouby, ale volitelně lze nahradit jištěním hydropneumatickým. Pracovní nástroj je opatřen bočními křídly s nastavitelnou polohou. Kypřič kromě rozrušení zhutnění má za úkol i půdu zaklopit spolu s rostlinnými zbytky. Pro konečnou úpravu povrch je součástí i dvojitý ježkový válec. Nad rámec základní výbavy je ještě možné doplnit okrajové plechy či opěrná kola.

### 5.1.11. SMS CZ

#### Talon

Talon je hloubkový kypřič šipového tvaru s maximální pracovní hloubkou 0,45 m (SMS CZ, a). Požadovaná hloubka zásahu je zajištěna zejména opěrnými koly s mechanickým či hydraulickým nastavením. Stroj je vyráběn s pracovní šířkou 1,9 až 5,5 m a v závislosti na tom je osazen 3 až 10 rovnými nebo příčně zahnutými slupicemi. Na obrázku 8 je nejmenší vyráběný model Talon 200/3 s oběma typy slupic. Jednotlivé slupice jsou připevněny k rámu šroubovými svorkami s možností změny rozteče. Jištění je zajištěno střížným šroubem nebo hydropneumaticky. Stroj lze doplnit kotoučovými krojidly umístitelnými před slupice a trubkovým nebo dvojitým vějířovitým válcem.

#### Talon Max

Jedná se o dlátový kypřič nabízený v pracovní šířce od 2,5 do 4 m s 5 až 9 slupicemi, přičemž největší model se prodává ve variantě s jednodílným nebo třídílným rámem, který splňuje vyhlášku o maximální povolené šířce stroje na pozemních komunikacích v ČR (SMS CZ, b). Stroj je určen pro kypření až do hloubky 0,65 m a umožňuje zapravení strniště spolu s posklizňovými zbytky. Jednotlivé slupice jsou na rámu upevněny šroubovými svorkami s možností změny rozteče a jištěny jsou střížným šroubem nebo hydropneumaticky. Součástí dlátového kypřiče je i jednoduchý nebo dvojitý hrotový válec s hydraulickým ovládním a nad rámec základní výbavy lze stroj dovybavit i boční clonou, opěrnými koly a secí či hnojící nástavbou.

Obrázek 22 Talon Max 300/7 s hydropneumatickým jištěním



Zdroj: <https://www.smscz.cz/>

## 5.2. Porovnání vybraných strojů

### 5.2.1. BEDNAR TERRALAND TN a TO

Tabulka 1 Technické údaje kypřičů Bednar Terraland TN a TO

Model stroje	Způsob připojení	Pracovní záběr [m]	Pracovní hloubka [m]	Počet těles [ks]	Doporučený výkon [kW]	Hmotnost [kg]
TN 3000 M5R	Nesený	3	0,15 - 0,55	5	112 - 134	1 850
TN 3000 D5R	Nesený	3	0,15 - 0,65	5	149 - 186	1 950
TN 3000 M7R	Nesený	3	0,15 - 0,55	7	134 - 164	1 950
TN 3000 D7R	Nesený	3	0,15 - 0,65	7	164 - 209	2 250
TN 4000 M7R	Nesený	4	0,15 - 0,55	7	149 - 194	2 220
TN 4000 D7R	Nesený	4	0,15 - 0,65	7	186 - 224	2 520
TN 4000 M9R	Nesený	4	0,15 - 0,55	9	164 - 224	2 480
TN 4000 D9R	Nesený	4	0,15 - 0,65	9	209 - 261	2 800
TO 4000	Návěsný	4	0,15 - 0,55	9	239 - 283	6 280
TO 5000	Návěsný	5	0,15 - 0,65	11	298 - 373	6 950
TO 6000	Návěsný	6	0,15 - 0,55	13	373 - 447	7 670
TO 6000+	Návěsný	6,4	0,15 - 0,55	15	373 - 447	7 670

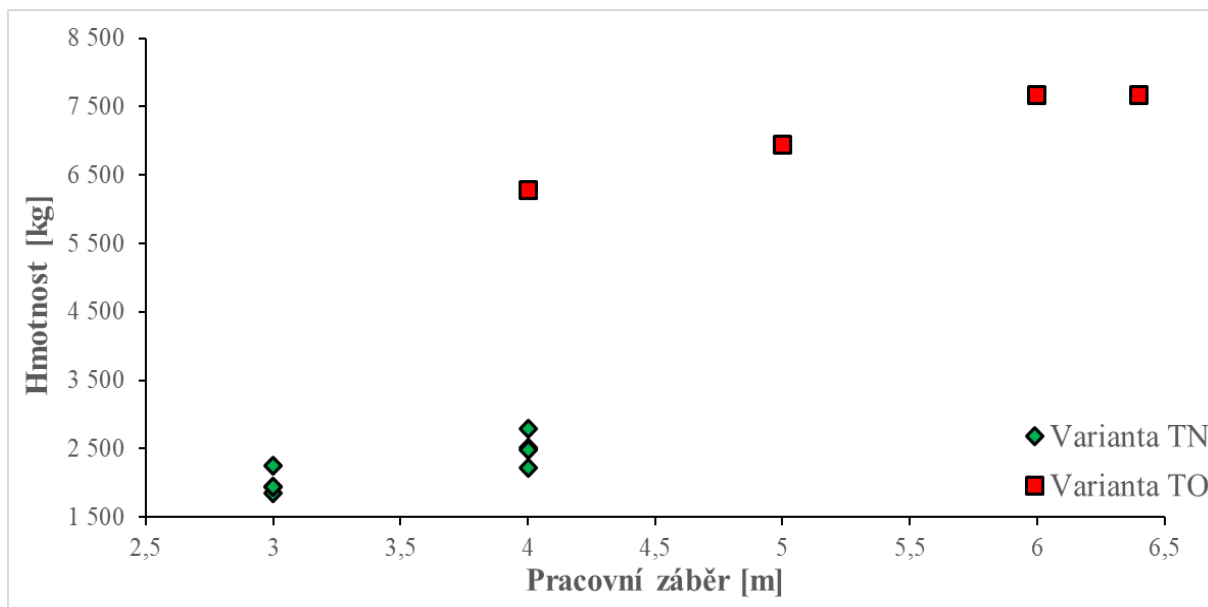
Zdroj: <https://www.bednar.com/>

Základním rozdílem mezi kypřiči Terraland TN a TO je způsob připojení a jedná se o nesenou nebo návěsnou formu (BEDNAR, c1997-2021, a; BEDNAR, c1997-2021, b). V tabulce 1 jsou uvedeny kypřiče Terraland TN s jištěním tažným šroubem a Terraland TO s hydraulickým jištěním. Hodnoty hmotnosti jsou nejnižší možné dle nabízeného vybavení výrobce pro přehlednější srovnání a následné grafické zpracování. Doporučený výkon uvádí výrobce s ohledem na půdní podmínky.

Z uvedených dat je patrné, že nárůst doporučeného výkonu je větší v případě nárůstu pracovní hloubky o 0,1 m při stejném počtu kypřičích těles než při zachování totožné hloubky a přidáním dvou pracovních těles za podmínky zachování stejného pracovního záběru. Na základě nárůstu doporučeného výkonu také lze u kypřiče Terraland TN 3000 M5R přibližně

přirovnat náročnost nárůstu pracovní hloubky z 0,55 na 0,65 m k rozšíření pracovního záběru uvedeného stroje o 1 m se současným přidáním dvou kypřících těles.

Graf 1 Závislost hmotnosti na pracovním záběru kypřičů Bednar Terraland TN a TO



Z grafu 1 je patrné, že návěsné provedení kypřičů Terraland TO způsobuje výrazný nárůst hmotnosti oproti neseným kypřičům Terraland TN. Nutno dodat, že na rozdíl hmotností se podílí i hydraulické jištění kypřících těles a hydraulické skládání stroje.

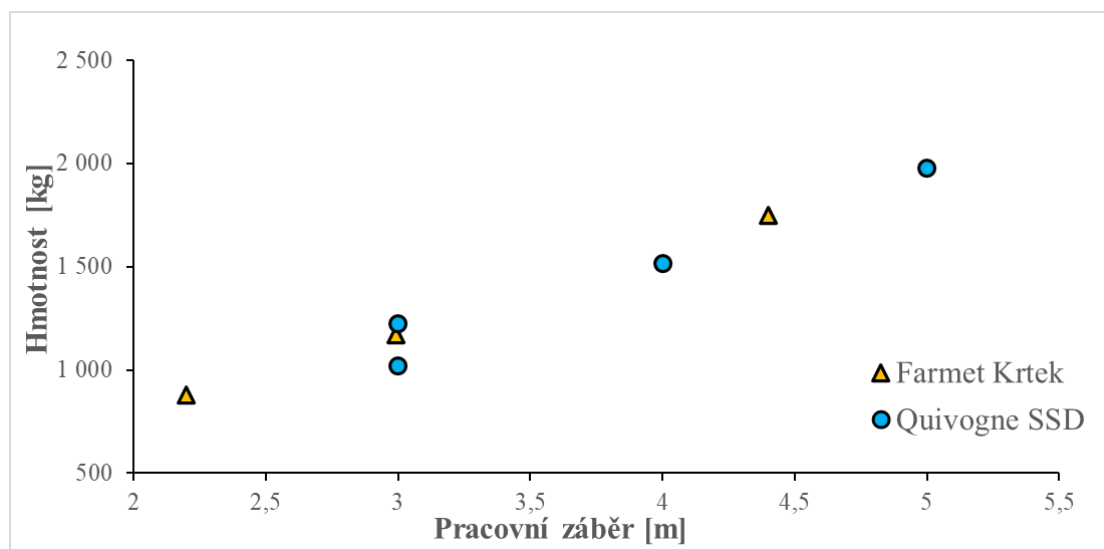
## 5.2.2. Farmet Krtek a Quivogne SSD

Tabulka 2 Technické údaje kypričů Farmet Krtek a Quivogne SSD

Stroj	Způsob připojení	Pracovní záběr [m]	Pracovní hloubka [m]	Počet těles [ks]	Doporučený výkon [kW]	Hmotnost [kg]
Farmet Krtek DG 3	Nesený	2,2	0,3 - 0,6	3	110 - 165	880
Farmet Krtek DG 5	Nesený	2,99	0,3 - 0,6	5	180 - 270	1 170
Farmet Krtek DG 7	Nesený	4,4	0,3 - 0,6	7	250 - 380	1 750
Quivogne SSD 4	Nesený	3	až 0,6	4	74 - 118	1 020
Quivogne SSD 6	Nesený	3	až 0,6	6	110 - 177	1 225
Quivogne SSD 8	Nesený	4	až 0,6	8	147 - 235	1 515
Quivogne SSD 10	Nesený	5	až 0,6	10	184 - 294	1 980

Zdroj: <https://www.farmet.cz/> a <https://www.quivogne.at/>

Graf 2 Závislost hmotnosti na pracovním záběru kypričů Farmet Krtek a Quivogne SSD



Z grafu 2 je patrné, že závislosti hmotností zvolených kypričů na pracovním záběru se od sebe výrazně neliší a lze tak usoudit, že tvar rámu kypričů nemá významný vliv na celkovou hmotnost. Naopak doporučený výkon v tabulce 2, který je uveden v rozsahu s ohledem na půdní podmínky, je znatelně nižší u kypričů SSD od výrobce Quivogne. Příčinou je lepší průchodnost těchto strojů půdou díky šípovému tvaru rámu a příčně zaoblenými kypřicími tělesy.

## 6. Závěr

Samotnému hloubkovému kypření by mělo předcházet měření penetrometrického odporu pro zjištění existence a rozsahu zhutnění půdy. Pro měření penetrometrem je vhodné jarní období, kdy je zpravidla rovnoměrná vlhkost půdy v půdním profilu. Pakliže je potvrzen výskyt zhutnění půdy, je nezbytné přistoupit k nápravnému kypření. To se provádí na výrazně větší hloubku než při běžném zpracování půdy a může přesahovat hloubku 0,7 m. Při kypření se struktura půdy drobí na menší segmenty v podobě křehkých poruch a poruch tahem. V praxi kypření probíhá tak, že pracovní nástroj nejprve půdu nadzvedne, čímž kompaktní vrstva popraská, a následně půda klesá zpět a vlastní hmotností se dále drobí. Kypření je nutné provádět při vhodné vlhkosti půdy, kdy vlhkost půdy překračuje mez spojitosti, ale nedosahuje spodní meze vláčnosti. V opačném případě by nedošlo k požadovanému nakypření půdy nebo by se dokonce stav mohl i zhoršit.

Kypřicí zásah je doporučován opakovat v intervalu 4 až 6 let s ohledem na druh a složení půdy. Interval lze prodloužit vhodnými stabilizačními kroky po provedeném zásahu, jako je udržování dostatečného množství organické hmoty v půdě, podpora půdního edafonu a volba vhodného osevního plánu. Naopak při nedostatečné stabilizaci nakypřené struktury a minimu preventivních opatření se mohou objevit příznaky zhutnění půdy již po 2 letech. Doporučit lze také obměnu hloubky kypřících zásahů.

Při výběru hloubkového kypřiče je nutné zohlednit požadovaný výkon, který je kvůli práci ve větších hloubkách značný. Z tohoto pohledu jsou výhodnější kypřiče s šípovým tvarem rámu, které umožňují odstupňování pracovních těles a tím i úsporu tažného výkonu. Naopak stroje s jednořadým rovným rámem jsou vhodné spíše díky možnosti připojit další stroj a spojit tak více pracovních operací do jednoho přejezdu. Neméně důležité je také brát ohled na tvar kypřících těles, který rovněž ovlivňuje potřebný tahový výkon. Dalším kritériem kvalitního nápravného kypření je rozteč kypřících těles, která ovlivňuje rozsah prokypření a tím i výsledné fyzikální vlastnosti půdy. V ideálním případě by hloubkový kypřič měl umožňovat plynulou změnu rozteče.

V současné době se na trhu objevuje mnoho různých hloubkových kypřičů od různých výrobců českých i zahraničních. Nejčastěji se jedná o kypřiče nesené s pracovní hloubkou od 0,45 do 0,7 m s pracovními záběry nejčastěji do 4 m, ale lze najít i stroje přesahující 6 m.



## 7. Seznam zdrojů

AGRO-TOM, 2018, a. Głębosz GHL [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z:

<http://www.agro-tom.eu/glebosz-ghl/>

AGRO-TOM, 2018, b. Głębosz GW [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z:

<http://www.agro-tom.eu/glebosz-gw/>

BABILONOVÁ, D., 2010. Přehled zemědělských technik a principů obhospodařování krajiny ve vazbě na erozi půdy [online]. Olomouc [cit. 2020-11-17]. Dostupné z:

<https://theses.cz/id/k1kvqi/102027-762457891.pdf> . Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

BAČÁK, J., 2011. Problematika utužení a zhutnění půd technikou v rostlinné výrobě [online]. Brno [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/zp/index.pl?podrobnosti=42052> .

Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

BEDNAR, c1997-2021, a. TERRALAND TN [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z:

<https://www.bednar.com/terraland-tn/#detail>

BEDNAR, c1997-2021, b. TERRALAND TO [online]. [cit. 2021-03-05]. Dostupné z:

<https://www.bednar.com/terraland-to/#detail>

BRANT, V., ZÁBRANSKÝ, P., 2018. Hloubkové kypření. CPZ [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: [https://cpz.czu.cz/cs/r-12241-aktuality/hloubkove-](https://cpz.czu.cz/cs/r-12241-aktuality/hloubkove-kypreni.html?fbclid=IwAR0egiqUUITsxDhUGL8Eno62QDwumo5s6iOGbQZEIPEGIVxlC67IW2u2Rjg)

[kypreni.html?fbclid=IwAR0egiqUUITsxDhUGL8Eno62QDwumo5s6iOGbQZEIPEGIVxlC67IW2u2Rjg](https://cpz.czu.cz/cs/r-12241-aktuality/hloubkove-kypreni.html?fbclid=IwAR0egiqUUITsxDhUGL8Eno62QDwumo5s6iOGbQZEIPEGIVxlC67IW2u2Rjg)

CARTER, M. R., KUNELIUS, H. T., 1998. Influence of non-inversion loosening on permanent pasture productivity. *Canadian Journal of Soil Science* [online]. S. 237-239 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/s97-083>

Dondi Spa, c2020, a. Serie 800 [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z:

<https://www.dondinet.it/lavorazione-terreno-a-campo-aperto/dissodatori-e-decompattatori/dissodatori-portati/#serie-800>

Dondi Spa, c2020, b. Serie RP [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.dondinet.it/lavorazione-terreno-a-campo-aperto/dissodatori-e-decompattatori/dissodatori-portati/#serie-rp>

EXPOM, c2012, a. Arator [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.expom.com.pl/arator.html>

EXPOM, c2012, b. Pegaz [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.expom.com.pl/pegaz.html>

Farmet, 2019. Digger. PRODUKTOVÝ KATALOG. s. 34-37.

Farmet, c2021. Krtek [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.farmet.cz/cs/hloubkovy-kypric-krtek#tab-CustomTab-956>

GODWIN, R. J., 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil & Tillage Research* [online]. S. 331-340 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706001516>

HE-VA, a. Till-seeding with Sub-Tiller [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.he-va.com/en/products/subsoilers/till-seeding/>

HE-VA, b. Combi-Tiller MKI [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.he-va.com/en/products/subsoilers/combi-tiller-mki/>

HE-VA, c. Sub-Tiller [online]. [cit. 2021-03-06]. Dostupné z: <https://www.he-va.com/en/products/subsoilers/sub-tiller/>

HORSCH, c2021. TigerAS [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.horsch.com/cs/produkty/zpracovani-pudy/kultivator/tiger-as>

HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. et al., 2008. *Minimalizace zpracování půdy*. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-28-1.

HŮLA, J., KOVAŘÍČEK, P., MAYER, V., VLÁŠKOVÁ, M., 2008. Využitelnost dlátových kypřičů na půdách s příznaky nežádoucího ztuhnutí v ornici a podornici. *Mechanizace zemědělství* [online]. 2008 (08), s. 42-46 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.profiexpress.cz/archiv/mechanizace-zemedelstvi-082008/?text=vyu%C5%BEitelnost%20dl%C3%A1tov%C3%BDch%20kyp%C5%99i%C4%8D%C5%AF#page/46>

HŮLA, J., KOVAŘÍČEK, P., VLÁŠKOVÁ, M., 2017. Trvanlivost jednorázového prokypření ztuhlé vrstvy v půdním profilu. *Listy cukrovarnické a řepářské* [online]. Praha, 2017 (9-10), s. 297-301 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <http://www.cukr-listy.cz/online/2017/PDF/297-301.pdf>

IDE, G., HOFMAN, G., OSSEMERCT, C., VAN RUYMBEKE, M., 1987. Subsoiling: Time dependency of its beneficial effects. *Soil & Tillage Research* [online]. S. 213-223 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167198787900298>

JAVŮREK, M., VACH, M., 2008. *Negativní vlivy ztuhnutí půd a soustava opatření k jejich odstranění* [online]. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby [cit. 2020-11-16]. ISBN 978-80-87011-57-7. Dostupné z: [https://www.agro.basf.cz/Documents/jin%C3%A9/migrated\\_files/information\\_material\\_files/dal\\_materi\\_ly\\_files/isbn978\\_80\\_87011\\_57\\_7.pdf](https://www.agro.basf.cz/Documents/jin%C3%A9/migrated_files/information_material_files/dal_materi_ly_files/isbn978_80_87011_57_7.pdf)

KOUKOLÍČEK, J., PULKRÁBEK, J., 2015. Praktické zkušenosti s hlubokým kypřením půdy. *Agromanuál.cz* [online]. České Budějovice [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/practicke-zkusenosti-s-hlubokym-kyprenim-pudy>

KOVAŘÍČEK, P., HŮLA, J., NÝČ, M. et al., 2017. *Užití kypřičů v technologiích zpracování půdy bez orby: metodická příručka* [online]. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky [cit. 2021-02-03]. ISBN 978-80-7569-001-2. Dostupné z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2017/070.pdf>

KUBÍK, L., 2010. *SLEDOVÁNÍ VÝVOJE ZHUTŇOVÁNÍ PŮDY POMOCÍ PENETROMETRU NA VYBRANÝCH PLOCHÁCH BAZÁLNÍHO MONITORINGU PŮD* [online]. Brno [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/240156/ZZ\\_final\\_penetrometrie\\_v3.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/240156/ZZ_final_penetrometrie_v3.pdf)

Kverneland, a. CLI [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z:  
<https://cz.kverneland.com/Zpracovani-pudy/Podmitace/Hloubkove-kyprice/Kverneland-CLI>

Kverneland, b. Flatliner [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z:  
<https://cz.kverneland.com/Zpracovani-pudy/Podmitace/Hloubkove-kyprice/Kverneland-Flatliner>

LHOTSKÝ, J., 2000. *Zhutňování půd a opatření proti němu*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. Studijní informace. ISBN 80-7271-067-2.

MAGAZÍN GNOSIS, 2021. *Lidská Populace* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z:  
<https://magazin.gnosis.cz/lidska-populace/>

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2018. Situační a výhledová zpráva [online]. Praha [cit. 2020-11-16]. ISBN 1211-7692. Dostupné z:  
[http://eagri.cz/public/web/file/611976/SVZ\\_Puda\\_11\\_2018.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/611976/SVZ_Puda_11_2018.pdf)

NAVOS FARM TECHNIC s.r.o., c2012-2021. *SUB-SOILER* [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <http://www.navosfarmtechnic.cz/sub-soiler>

NIEDERHAFNER, K., 2020. *Stanovení zhutnění půdy* [online]. Brno [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/zp/index.pl?podrobnosti=97347> . Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.

OPaLL-AGRI, c2013-2021. HEKTOR I [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z:  
<https://eshop.opall-agri.cz/hloubkovy-podryvak-hektor-i>

PRAŽAN, R., KUBÍN, K., GERNDTOVÁ, I., 2014. Hlavní faktory technogenního zhutnění půdy. [Key factors of technogenic soil compaction] *Mechanizace zemědělství*. Roč. 64, č.1, s. 11-13. ISSN 0373-6776.

PULKRÁBEK, J., URBAN, J., JEDLIČKOVÁ, M. 2015. Vliv podzimního zpracování půdy na zhutnění půdy v počátcích vegetace cukrové řepy. *Listy cukrovarnické a řepařské* [online]. 2015 (9-10), s. 272-278 [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2015/PDF/272-278.pdf](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2015/PDF/272-278.pdf)

PŮDA V ČÍSLECH, 2020. *Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením* [online]. [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://statistiky.vumop.cz/?core=stat&kind=kom&year=>

- Quivogne, a. SSD [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.quivogne.at/cs/archive/products/tiefenlockerer-ssd-2/#prettyPhoto>
- Quivogne, b. SSDR BIG [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.quivogne.at/cs/archive/products/ssdr-big/>
- SMS CZ, a. Talon [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.smscz.cz/cz/node/154>
- SMS CZ, b. Talon Max [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.smscz.cz/cz/content/dlatovy-kypric-talon-max>
- SPOOR, G., 2006. Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. *Soil Use and Management* [online]. S. 113-122 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1475-2743.2006.00015.x?saml\\_referrer](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1475-2743.2006.00015.x?saml_referrer)
- STETTLER, M., 2014. Terranimo® – a web-based tool for evaluating soil compaction. *Landtechnik* [online]. Roč. 69 (3), s. 132-138 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: [https://api.fairshare-pnf.eu/docs/LT\\_2014\\_3\\_132-138\\_en.pdf-1582035295884.pdf](https://api.fairshare-pnf.eu/docs/LT_2014_3_132-138_en.pdf-1582035295884.pdf)
- TOMIŠKA, Z., 2009. Degradace půdy pod vlivem zhutňování. *Úroda* [online]. 2009 (09), s. 65-66 [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://www.profiipress.cz/archiv/uroda-092009/?text=kyp%C5%99en%C3%AD%20p%C5%AFdn%C3%ADho%20profilu#page/65>
- TWOMLOW, S. J., PARKINSON, R. J., REID, I., 1994. Temporal changes in soil physical conditions after deep loosening of a silty clay loam in SW England. *Soil & Tillage Research* [online]. S. 37-47 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167198794900930>
- WILLIS, T. M., HALL, D. J. M., MCKENZIE, D. C., BARCHIA, I., 1997. Soybean yield as affected by crop rotations, deep tillage and irrigation layout on a hardsetting Alfisol. *Soil & Tillage Research* [online]. S. 151-164 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198797000494>

## 8. Seznam obrázků

Obrázek 1 Potenciální zranitelnost spodních vrstev půdy utužením .....	4
Obrázek 2 Rozdíl mezi zhutnělou půdou a půdou v optimálním stavu při pěstování kukuřice ...	8
Obrázek 3 Tlak na půdu vyvolaný pneumatikami různé šířky a tlaku při stejném zatížení .....	9
Obrázek 4 Znázornění krabího chodu stroje Holmer Terra Variant 600 eco .....	11
Obrázek 5 Vyhodnocení programu Terranimo .....	12
Obrázek 6 Brant a Zábranský: Infiltrace obarvené vody v těžké půdě lokalitě Jedomělice .....	17
Obrázek 7 Godwin: Základní parametry pracovního nástroje .....	19
Obrázek 8 Hloubkový kypřič SMS Talon 200/3 .....	21
Obrázek 9 Hloubkový kypřič PEGAZ EXPOM .....	22
Obrázek 10 Spoor: Narušení půdy na základě rozteče pracovních těles .....	23
Obrázek 11 Kypřič Sub-tiller se secím ústrojím Multi-Seeder značky HE-VA .....	24
Obrázek 12 Podrývák GW 6 s pracovním záběrem 3 m od firmy AGRO-TOM .....	25
Obrázek 13 Dlátový pluh Terraland TO od firmy Bednar .....	26
Obrázek 14 Podrývák Dondi z řady 800 .....	27
Obrázek 15 Dlátový pluh Expom Arator .....	28
Obrázek 16 Hloubkový kypřič Krtek DG 7 .....	29
Obrázek 17 Radličkový kypřič Combi-Tiller MKI .....	30
Obrázek 18 HORSCH Tiger 6 AS s přídatným pčhem TopRing .....	31
Obrázek 19 Podrývák CLI od firmy Kverneland .....	32
Obrázek 20 Hloubkový podrývák HEKTOR I 3 .....	33

Obrázek 21 Hlubkový kypřič SSD 6 s opěrnými koly .....	34
Obrázek 22 Talon Max 300/7 s hydropneumatickým jištěním .....	35

## **9. Seznam tabulek a grafů**

Tabulka 1 Technické údaje kypřičů Bednar Terraland TN a TO .....	36
Tabulka 2 Technické údaje kypřičů Farnet Krtek a Quivogne SSD .....	38
Graf 1 Závislost hmotnosti na pracovním záběru kypřičů Bednar Terraland TN a TO .....	37
Graf 2 Závislost hmotnosti na pracovním záběru kypřičů Farnet Krtek a Quivogne SSD ....	38