VYDALA:
Agrární komora České republiky

Počernická 272/96, 108 00 Praha 10
Tel.: +420 296 411 180
e-mail: sekretariat@akcr.cz

www.akcr.cz, www.eagri.cz

RECENZENT:
Ing. Jindřich Křivánek Ph.D.

AUTOŘI FOTOGRAFIÍ:
Václav Brant, David Kabelka, Karel Krofta,
Milan Kroulík, Adam Veselý, Petr Zábranský

Poděkování

Vybrané výsledky zahrnuté do předkládané publikace byly získány v rámci projektu:
NAZV: QK1910170 - Zajištění dlouhodobé konkurenceschopnosti českého chmelařství
na základě implementace principů precizního zemědělství a technologií smart farming.

Obsah

1. Kořenový systém chmele otáčivého (Brant a Krofta) 7
1.1. Morfologie kořenového systému 7
1.2. Význam monitoringu rozmístění kořenového systému 12

2. Prostorové rozmístění kořenových systémů v ČR (Brant, Krofta, Kroulík, Zábranský a Procházka) 13
2.1. Biometrické parametry kořenových systémů 13
2.2. Prostorové obrazce kořenových systémů 15
2.3. Intenzita prokořenění půdního profilu (Brant a Kroulík) 17

3. Faktory ovlivňující rozvoj kořenového systému v meziřadí (Krofta a Brant) 21

4. Technogenní zhutnění půdy v meziřadí (Brant a Kroulík) 23

5. Postupy odstranění technogenního zhutnění (Brant, Kroulík, Zábranský) 28
5.1. Možnosti eliminace zhutnění v místech kolejových stop 28
5.2. Zhutnění půdy v meziřadí mezi kolejovými stopami 30
5.3.Technické prostředky pro odstranění zhutnění 32
5.4.Odstranění technogenního zhutnění ve vztahu ke kořenovému systému 36
5.5. Biologické postupy zpracování půdy ve chmelnicích 36

6. Zonální kypření a hnojení ve chmelnicích (Brant, Kroulík, Procházka a Zábranský) 38

7. Cílená infiltrace vody ke kořenovému systému (Brant, Kroulík, Zábranský a Krofta) 45
7.1. Cílené kypření pro podporu infiltrace 45
7.2. Rozptyl závlahové vody při kapkové závlaze 48
7.3. Rizika povrchové závlahy 52

8. Eliminace erozních procesů ve chmelnicích (Kabelka a Vopravil) 53
8.1. Ozelenění meziřadí jako protierozní opatření 55
8.2. Protierozní účinnost meziplodin a vhodné druhy do meziřadí 57
8.3. Další benefity meziplodin a případná omezení technologie 61
8.4. Omezení povrchového odtoku zonálním kypřením 62
8.5. Zhodnocení hospodaření s meziplodinami 64

9. Atlas kořenových systémů chmele otáčivého (Brant, Krofta, Kroulík, Zábranský, Procházka a Ježek) 65
9.1. Metodika analýzy prostorového rozmístění kořenů chmele 66
9.2. Popis stanovištních podmínek a charakteristika rozložení kořenů 67
9.3. Kořenové systémy hodnocených chmelových rostlin 67
I. Odrůda Harmonie (2015) 67
II. Odrůda Žatecký poloraný červeňák (2015) 71
III. Odrůda Agnus (2016) 76
IV. Odrůda Žatecký poloraný červeňák (2017) 78
V. Odrůda Sládek (2018) 82
VI. Odrůda N5/Country (2019) 84
VII. Odrůda Kazbek (2019) 86
VIII. Odrůda Sládek (2019) 89
IX. Odrůda Rubín (2020) 92
X. Odrůda Žatecký poloraný červeňák (2020) 95

10. Seznam literatury 97

Předmluva

Z pohledu obhospodařovaných ploch patří chmel otáčivý ve světovém měřítku mezi minoritní, ale velmi významnou zemědělskou plodinu s více než tisíciletou pěstitelskou tradicí. Jeho pěstování v Čechách bylo po staletí úzce spojeno především s výrobou piva.

V souladu s vývojem zemědělské výroby v kontextu celospolečenských požadavků na ekologizaci produkce, které se zásadním způsobem promítají do legislativních norem, je nutné hledat nové technologické postupy, jenž dané požadavky zajistí. Opomenout nelze ani výrazný tlak na ekonomickou efektivitu pěstebních systému spojený s globalizací trhů.

V současné době dochází v zemědělské výrobě k intenzivnímu rozvoji moderních technologií a k uplatňování velice sofistikovaných technických prostředků. Jejich využití však stále musí být podmíněno biologickým principům rostlinné výroby a jejich další vývoj, ale i celospolečenské přínosy, jsou závislé na prohlubování znalostí o biologii chmele otáčivého.

Zatímco výzkumu nadzemní části této rostliny byla a je věnována značná pozornost, zejména z pohledu výnosu a kvality hlávek, znalosti o kořenovém systému, jeho vývoji, vlastnostech a prostorovém rozmístění, jsou stále omezené. Právě kořenový systém předurčuje růst rostliny v průběhu vegetace a znalost jeho vlastností je nezbytná pro vývoj systémů zonálního kypření a hnojení, cílených systémů závlah a využití principů precizního zemědělství.

Hlavním cílem předkládané knižní publikace je poskytnout souhrnné informace o této problematice především ve vztahu k podmínkám pěstování chmele otáčivého v České republice, včetně nových trendů vycházejících z požadavků kladených na šetrné způsoby využití přírodních zdrojů a ve vztahu k celospolečenským požadavkům kladeným na funkce zemědělství. Publikace obsahuje nejen zahraniční poznatky, ale především uceleným způsobem předkládá originální výsledky autorského kolektivu získané při primárním výzkumu a ověřování technologií v podmínkách České republiky za posledních pět let.

Výsledky terénního monitoringu kořenových soustav a polních experimentů a z nich vyplývající závěry platné pro podmínky České republiky pro zemědělskou praxi lze považovat za velmi cenné. Z hlediska zaměření je kniha primárně určena pro praxi zabývající se zemědělskou výrobou v rámci konvenčních a ekologických systémů hospodaření.

Autoři

Abstrakt

Chmel otáčivý (*Humulus lupulus* L.) je v České republice významnou kulturní plodinou především jako surovina pro pivovarský průmysl. Další vývoj pěstebních systémů chmele otáčivého a tím i zajištění jeho konkurenceschopnosti na světových trzích jsou podmíněny rozvojem nových technologických postupů, které zajistí nejen efektivitu produkce, ale i snížení ekologické zátěže životního prostředí.

Základem rozvoje nových technologických postupů je dokonalé poznání biologických vlastností chmelových rostlin různých odrůd, včetně samotné biologie kořenového systému, ve vztahu k rozdílným půdně-klimatickým podmínkám, agrotechnickým postupům a omezení degradace přírodních zdrojů.

Znalosti o vývoji kořenového systému chmele otáčivého a jeho rozmístění v půdním prostředí jsou velmi omezené a dostupné především ve starší literatuře. Publikace se primárně věnuje problematice rozmístění kořenového systému chmelových rostlin v půdním profilu ve vztahu k podmínkám stanoviště, agrotechnickým operacím, včetně odrůdových odlišností. Podrobně se věnuje využití těchto znalostí pro vývoj nových technologických postupů umožňujících systémy zonálního hnojení a kypření, cílené podpory infiltrace vody do půdy, omezení technogenního zhutnění a erozních procesů. Cíleně je práce zaměřena na možnosti jejich využití v podmínkách chmelařských oblastí České republiky a zahrnuje výsledky výzkumu a ověřování právě v těchto podmínkách.

Zcela originální a pro zemědělskou praxi přínosnou částí je zpracování atlasu kořenových systémů chmelových rostlin.

Abstract

Hops (*Humulus lupulus* L.) are an important cultural crop in the Czech Republic, especially as a raw material for the brewing industry. Further development of growing systems and thus ensuring its competitiveness on world markets are conditioned by the development of new technological processes, which will ensure not only the efficiency of production, but also the reduction of the ecological burden on the environment. The basis for the development of new technological processes is a thorough knowledge of the biological properties of hop plants of various varieties, including the biology of the root system itself, in relation to different soil and climatic conditions, agrotechnical practices and reduction of degradation of natural resources.

Knowledge about the development of the root system of hop plants and its distribution in the soil environment is very limited and available especially in the older literature. The publication primarily deals with the issue of the distribution of the root system of hop plants in the soil profile in relation to habitat conditions, agrotechnical operations, including varietal differences. It deals in detail with the use of this knowledge for the development of new technological processes enabling zonal fertilization and loosening systems, targeted support of water infiltration into the soil, reduction of technogenic compaction and erosion processes. The work is focused on the possibilities of their use in the conditions of hop growing areas of the Czech Republic and includes the results of research and verification in these conditions.

Completely original and beneficial part for agricultural practice is the elaboration of an atlas of the root systems of hop plants.

1. Kořenový systém chmele otáčivého

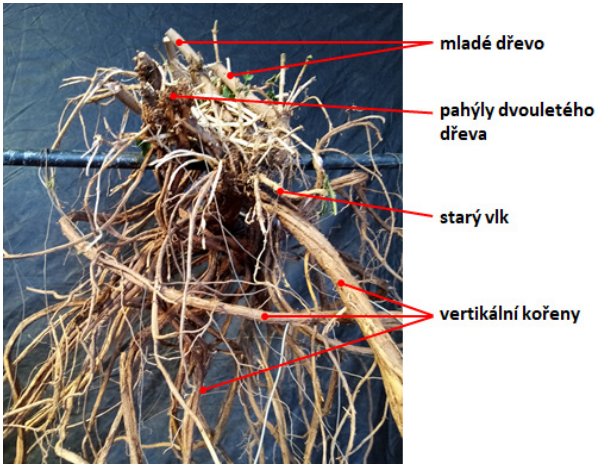
Kořen rostliny je obecně považován za rostlinný orgán, který zajišťuje ukotvení rostliny v půdě. Rozložení kořenového systému v půdě zajišťuje jeho kontakt s půdním prostředím, příjem vody a živin. V rámci rhizosféry se však nejedná o pouhý příjem látek rostlinou, ale také o vylučování rozdílných metabolitů do půdního prostředí v rámci metabolických procesů. Pěstování kulturních rostlin je spojeno s prováděním agrotechnických opatření, jejichž cílem je nejen tvorba optimálních podmínek pro budoucí vývoj vysévané, či vysazované, rostliny, ale i ovlivnění funkce kořenového systému během růstu plodiny na stanovišti. Možnosti ovlivnění vývoje kořenového systému a jeho funkcí jsou významné především u porostů víceletých plodin. Dlouhodobější setrvání vytrvalých plodin na stanovišti je však spojeno i s riziky negativního antropogenního působení na půdní prostředí a následně i na kořenový systém rostlin.

Zatímco studiu nadzemních částí chmele z pohledu výnosu, kvalitativních parametrů hlávek, ochrany proti chorobám a škůdcům, výživy aj. byla a je dlouhodobě věnována značná pozornost, výzkum kořenového systému byl dlouho opomíjen (Miller, 1958).

1.1. Morfologie kořenového systému

Podzemní část rostliny chmele otáčivého je tvořena chmelovou babkou a kořenovým systémem. Kořenová babka je modifikovaná lodyha pod povrchem půdy, její základní morfologické a anatomické znaky jsou podobné jako u nadzemních částí chmelové rostliny (obr. 1). Odlišné prostředí a funkce se promítají do změny její stavby a zastoupení pletiv. Babka nejen propojuje kořenovou soustavu s nadzemními orgány, ale díky přítomnosti spících pupenů umístěných na novém i starém dřevu a jejich funkci, zajišťuje víceletost a každoroční regeneraci nadzemních vegetačních částí rostliny (Štranc a kol., 2007).

Na babce se nacházejí všechny vertikální i horizontální podzemní lodyžní orgány (Rybáček a kol., 1980). Podle stáří rozdělujeme vertikální i horizontální orgány na jednoleté, tzv. mladé (nové) dřevo, a víceleté, tzv. staré dřevo, které tvoří základ chmelové babky.



Obr. 1: Chmelová babka zajišťuje víceletost rostliny a každoroční tvorbu nadzemních orgánů, odrůda, Rubín, lokalita Stekník, 22.4.2020 *(fofo Brant).*

Z kořenové babky se směrem nahoru vytváří mladé dřevo, směrem dolů se vyvíjejí vertikální kořeny. Z pupenů tvořících se na mladém dřevě vyrůstají v následujícím vegetačním období nové nadzemní lodyhy. U vertikálních kořenů se jedná o kosterní kůlové kořeny rostoucí převážně vodorovně a o kosterní kořeny postranní, které rostou v šikmém směru od babky a obdobně jako u kůlových kořenů dochází k jejich větvení (obr. 2). Po několika letech vytváří chmelové rostliny značně rozvětvený kořenový systém *(Wample a Farrar, 1983)*. Horizontální orgány, tzv. vlky, které mají charakter podzemních výhonů, se analogicky rozdělují na jednoleté a víceleté staré vlky. Vlky mají delší internodia a jejich vrcholové pupeny vykazují silnou apikální dominanci.

Údaje o hloubce prokořenění se v literatuře značně rozchází. Vent (1963) pro maximální hloubku kořenů uvádí 4 až 6 metrů, ale Mahaffee (2009) udává pro většinu půd rozmezí 2 až 3 metry. Zcela konkrétní představu o rozmístění kořenového systému na písčitých půdách v německé chmelařské oblasti Hallertau poskytuje práce Grafa a kol. (2014). Kořeny pětileté rostliny odrůdy Herkules, která patří mezi vysokoobsažné chmele s mohutným habitem a výnosovým potenciálem 3–4 t/ha, sahaly do hloubky 1,6 m a celkový objem prokořeněné půdy činil 4,1 m^3. Sobotik a kol., (2018) uvádějí, že na zavlažované variantě činila hloubka prokořenění půdy kořenovým systémem chmele 1,3 m a na nezavlažované variantě bylo prokořenění až do hloubky 3,7 m, přičemž na nezavlažované variantě bylo ve vrstvě půdy 0,2 až 0,4 m pozorováno intenzivnější prokořenění půdy víceletými kořeny směrem do meziřadí v porovnání se závlahou.



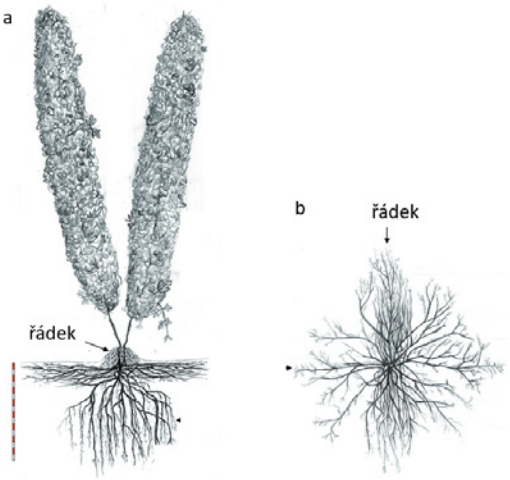
Obr. 2: Víceleté kořeny zahrnují kůlové vertikálně se vyvíjející a postranní, které rostou šikmo od středu babky, odrůda Harmonie, lokalita Stekník, 14.4.2015 *(foto Brant)*.

Na vertikálních kořenech se vyskytují ztlustlé části kořenů, tzv. kořenové hlízy (obr. 3), které představují zásobní orgány (Rybáček a kol., 1980). Kořenové hlízy na vertikálních kořenech (obr. 3), považované za druhotně ztlustlé kořeny plnící funkci hlavního zásobního orgánu živin, se někdy vyčleňují jako samostatná skupina kořenů (Rybáček a kol., 1980). Tyto hlízy na kořenových systémech českých chmelů, preparovaných většinou v jarních měsících, byly pozorovány nepravidelně a v různém rozsahu. Vývoj vertikálních kořenů a jejich rozmístění v půdním profilu je zásadním způsobem ovlivněn podmínkami stanoviště a agrotechnickými zásahy. Neve (1991) uvádí, že pravidelná kultivace meziřadí omezuje boční rozvoj kořenů do pravidelně kultivované půdy. V systémech bez kultivace meziřadí je horní vrstva půdy prokořeněna směrem od řádku do meziřadí. Graf a kol. (2014) popisují intenzivní prokořenění

půdy pětileté rostliny odrůdy Herkules v nekultivovaném meziřadí ve vrstvě půdy 0–0,4 m do vzdálenosti 1,7 m od středu rostliny (obr. 4). Brant a kol. (2019a a 2020) uvádějí, že v podmínkách České republiky se hloubka prokořenění rostlin pohybovala v rozmezí od 1 m do hloubky 2,25 m. Boční šířka rozložení kosterních kořenů při pohledu na řádek shora byla v rozmezí 1 až 3,15 m.



Obr. 3: Přítomnost kořenových hlíz na kořenech chmele otáčivého, odrůda Sládek, lokalita Stekník, 24.4.2019. Kořenové hlízy se na kořenech nacházely až do hloubky 0,8 m *(foto Brant)*.



Obr. 4: Grafické znázornění kořenového systému chmele otáčivého na plochách bez kultivace meziřadí, a) čelní pohled na řádek, b) pohled shora (Graf a kol., 2014).

Kořenový systém se vyznačoval v řádkové části hrůbku vysokým počtem vláknitých náhodných kořenů. Válcová oblast se vytvářela kolem babky do hloubky 0,4 m. Hlubší kořeny v další části kořenového systému směřovaly směrem dolů. Na většině víceletých kořenů byly detekovány mladé kořeny potenciálně aktivní z hlediska absorpce vody a živin (upraveno podle Graf a kol., 2014). Dílek na boční stupnici odpovídá délce 0,1 m.

Jednoleté vlásečnicové kořeny, které jsou rozmístěny v okruhu babky a výrazně zvyšují sorpční plochu, mají průměr přibližně 1 mm a jejich hlavní funkcí je příjem vodního roztoku minerálních látek (Rybáček a kol., 1980). Zasahují většinou do hloubky 0,10 až 0,15 m a jejich délka je v příznivých podmínkách převážně v intervalu 0,2 až 0,3 m (Štranc, 2007 a 2008; Krofta a kol., 2017). Nejvíce je jemnými vlásečnicovými kořínky světlé barvy prokořeněna povrchová vrstva půdy v hrůbku, který vzniká kolem bazální části rostlin po jarní přiorávce (obr. 5).



Obr. 5: Rozvoj jednoletých kořenů probíhá v horizontálním směru, především v prostoru hrůbku *(foto Krofta).*

V závislosti na půdních podmínkách a ve vztahu ke kultivaci půdy může jednoleté kořání pronikat i hlouběji do středu meziřadí. Obrázek 5 dokumentuje přítomnost jednoletých kořenů v prostoru hrůbku a přítomnost podzemních oddenků na rostlinách chmele, tzv. vlků. Ty se vytvářejí v horní vrstvě půdy, mnohdy i těsně pod jejím povrchem. Následně se z nich vytvářejí zelené nadzemní výhony. Ve chmelnicích s pravidelně kultivovaným meziřadím je výskyt nejčastěji patrný v prostoru hrůbku, a to jak v jeho čelním směru, tak kolmo na jeho osu (obr. 6).



Obr. 6: Přítomnost podzemních oddenků na odkrytých babkách rostlin (vlevo) a vpravo detail jednoletých kořenů tvořících se v prostoru hrůbku na rostlinách odrůdy Žateckého červeňáku *(foto Brant).*

V dostupných literárních pramenech se však setkáváme pouze s údaji o prostorovém rozmístění kořenového systému v daném konkrétním čase. Zcela neznámou skutečností jsou údaje o dynamice jeho růstu a o morfologických změnách určujících intenzitu a hloubku prokořenění půdy vertikálních kořenů ve vztahu k době setrvání rostlin na stanovišti a v interakci k průběhu počasí v jednotlivých letech vývoje. Monitoring kořenových systémů poukázal na průběh změn morfologie kořenových systémů v čase. Především se jednalo o detekování přítomnosti odumřelých vertikálních kořenů v půdních profilech (obr. 7). V některých případech nové vertikální kořeny dosahovaly obdobné hloubky prokořenění jako kořeny odumřelé, mnohdy již výrazně ztrouchnivělé, někdy naopak zdravé a funkční vertikální kořeny nedosahovaly hloubky prokořenění odpovídající přítomnosti zbytků kořenů odumřelých a degradovaných. Prostor vytvořený odumřelými vertikálními kořeny v půdním profilu mnohdy využívaly pro svůj růst nové vertikální kořeny. Pokud byla odumřelá pouze terminální část kořenu, byl někdy na přechodu živé a odumřelé části pozorován růst několika nových kořínků.

U kořenových systémů starších 10 let bylo často pozorováno jejich narušení hnilobou. Příčinou může být nekvalitně provedený řez chmele, který se každoročně provádí na jaře za účelem regulace doby rašení a následného zavádění chmelových výhonů. Poraněná pletiva chmelové babky jsou vstupní branou pro fytopatogenní bakterie a jiné mikroorganismy. Za nevyrovnaností a snižující se produkční schopností starších porostů chmele je proto třeba mimo jiné spatřovat i defekty na kořenovém systému chmelových rostlin.



Obr. 7: Přítomnost odumřelých částí kořenů lze využít pro tvorbu představy o změnách vývoje kořenového systému v čase *(foto Brant)*.

Zajímavou otázkou je i intenzita prokořenění půdního prostředí jednou rostlinou a rostlinami v řádku. V rámci vzájemné interakce kořenových systémů nedochází k propojení kořenů jen v ose hrůbku, či pomocí jednoletých kořenů, ale také na úrovni postranních kůlových kořenů a kořenů horizontálních (obr. 8). Propojením kořenových systémů se mění podmínky prokořeněné půdy jako zóny čerpání vody a živin, ale také prostoru pro vzájemnou interakci mezi rostlinami. Opomenout nelze ani autotoxické působení rostlin chmele otáčivého v kořenové zóně (Zhang a kol., 2011) a další faktory vnitrodruhové konkurence. Z českých odrůd bylo výrazné propojování kořenových systémů v ose řádků pozorováno zejména u odrůdy Agnus, na rozdíl například od Žateckého červeňáku, u kterého se tento jev vyskytoval velmi zřídka.



Obr. 8: Vzájemné propojení kořenových systémů zvyšuje intenzitu prokořenění zóny půdy v prostoru kolem chmelových rostlin, odrůda Agnus, 15.6.2016, lokalita Stekník *(foto Brant).*

1.2. Význam monitoringu rozmístění kořenového systému

Graf a kol. (2014) uvádějí, že znalost kořenového systému je nezbytná pro účinné hnojení, zavlažování a zpracování půdy. Brant a kol. (2016 a 2019b) poukazují na skutečnost, že znalost rozložení kořenového systému chmele v půdě je potřebná nejen pro cílené odstranění zhutnění půdy a podporu infiltrace srážkové vody ke kořenům, ale i pro vývoj zonálních systémů hnojení v souladu s principy precizního zemědělství. Vytrvalé kultury jsou pro uplatnění principů precizního zemědělství obecně považovány za vhodné z důvodu možností dlouhodobého monitoringu a práce s rozmístěním rostlin, optimalizace trajektorií jízd apod. (např. Hameed a kol., 2012; Castillo-Ruiz a kol., 2015; Sharma a kol., 2015).

Znalost rozmístění kořenového systému chmele může sehrát roli i při práci s bioagens, které je možno vhodně aplikovat do půdy, či do kořenové zóny. Na trendy aplikace biologicky aktivních látek do půdy ve chmelnicích za účelem podpory rozvoje prospěšných druhů mikroorganismů a současného potlačení škodlivých bakterií poukazují Oszust a kol. (2014). Autoři však zároveň upozorňují na skutečnost, že o praktických přínosech není stále dostatek informací.

2. Prostorové rozmístění kořenových systémů v ČR

V letech 2015 až 2020 probíhal monitoring prostorového rozmístění kořenových systémů chmele otáčivého v půdním profilu. V rámci hodnocení bylo z půdního profilu vyjmuto 20 kořenových systémů chmelových rostlin několika odrůd v lokalitách Stekník, Černčice a Petrohrad, které se nacházejí v žatecké chmelařské oblasti.

V rámci terénních výkopů kořenových systémů byly nejprve kořenové soustavy rostlin vyjmuty z půdního profilu a následně zrekonstruovány. Základem pro prostorovou rekonstrukci bylo provedení označení polohy umístění kořenů v půdním profilu podle metodiky Branta a kol. (2020). Následně byla provedena fotografie kořenového systému pomocí infrasnímku. Kořeny byly fotografovány ve směru kolmo na řádek, bočně ve směru řádku a u vybraných rostlin i z ptačí perspektivy. Princip tvorby snímku kořenového systému vycházel z metodiky zpracování infrasnímku (Brant a kol. 2017a).

U vybraných kořenů byla zjištěna suchá hmotnost kořenového systému. Kořenový systém byl po rekonstrukci sušen po několik týdnů při pokojové teplotě do rovnovážné vlhkosti (8 až 10 % hm.) a následně zvážen. Dále byl hodnocen tvar kořenového systému z čelního a bočního pohledu na řádek. Prostorové rozložení kořenového systému bylo vytvořeno na základě spojení krajních bodů kořenového systému na černobílé fotografii v programu Photoshop. Jejich propojením následně vznikl obrazec dokumentující tvar rozložení kořenového systému v půdě. Hloubka prokořenění půdy a boční vzdálenost prokořenění půdy z kolmého a bočního pohledu na řádek byly stanoveny na základě vizualizace černobílých fotografií rozdělených na pixely o velikosti 50 x 50 mm. Rozdělení fotografie kořenového systému na pixely o velikosti 50 x 50 mm umožnilo na základě procentuálního podílu bílé barvy v daném pixelu stanovit intenzitu prokořenění půdy (Brant a kol., 2020).

2.1. Biometrické parametry kořenových systémů

Základní biometrické parametry rozložení kořenového systému chmele vybraných rostlin v půdním profilu dokumentuje tabulka 1. V rámci hodnocení biometrických charakteristik se hloubka prokořenění rostlin pohybovala v rozmezí od 1 m do hloubky 2,25 m. Na základě provedených analýz vykazovaly vypreparované kořeny boční prokořenění většinou pouze do vzdálenosti 0,5 až 0,6 m od středu chmelové babky ve vrstvě půdy 0–0,3 m pod úrovní hrůbku. Příčinou je pravidelná kultivace, která symetrickou tvorbu horizontálních kořenů do větších vzdáleností narušuje. Omezení bočního rozvoje kořenů do meziřadí u kultivovaných chmelnic uvádí i Neve (1991).

K bočnímu prokořenění však docházelo až ve spodních vrstvách orničního profilu, tedy pod vrstvou, která nebyla pravidelně kultivována. Tato skutečnost není v literatuře popisující rozložení kořenového systému v půdě uváděna. Boční prokořenění je zmiňováno pro horní vrstvu půdy u nekultivovaných chmelnic (Graf a kol., 2014). Suchá hmotnost kořenových systémů se pohybovala v rozmezí od 350 do 1700 g.

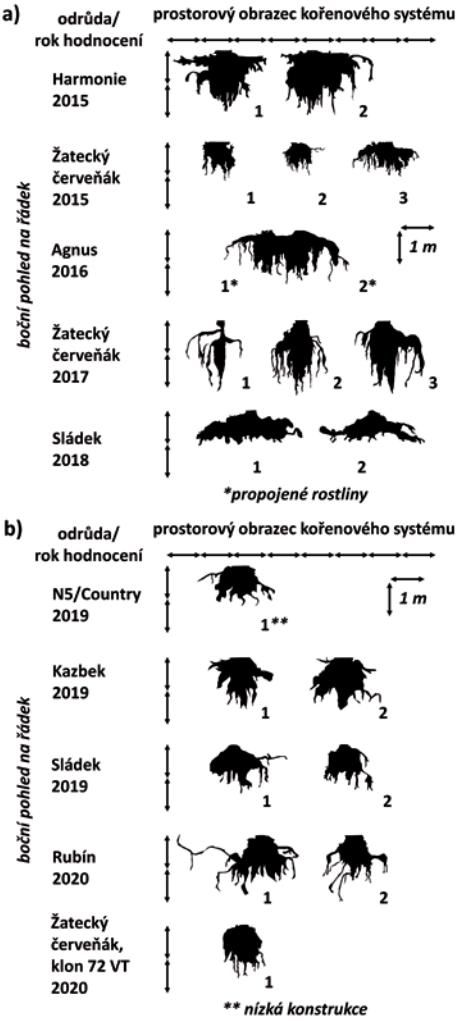
Tab. 1: Biometrické parametry kořenového systému hodnocených rostlin a suchá hmotnost kořenového systému vybraných rostlin. Parametry: největší hloubka prokořenění půdy, nejdelší šířka kořenů z bočního pohledu a nejdelší šířka z čelního pohledu na řádek.
Hodnoty hloubky a šířek vycházejí z analýzy obrazu zrekonstruovaných kořenových systémů.
Upraveno a doplněno podle Brant a kol. (2020).

odrůda (stáří rostliny)	největší hloubka prokořenění půdy (m)	nejdelší šířka kořenů z bočního pohledu (m)	nejdelší šířka z čelního pohledu (m)	suchá hmotnost (g)
Harmonie (4)	1,80	2,75	1,06	1420
Harmonie (4)	1,85	2,65	0,71	-
ŽPČ (3)	1,25	1,00	0,80	-
ŽPČ (3)	1,05	1,25	0,78	-
ŽPČ (3)	1,00	1,95	0,59	1580
Agnus (14)*	1,50			
ŽPČ (15)	2,10	1,60	0,53	604
ŽPČ (15)	2,25	1,75	0,87	1330
ŽPČ (15)	2,20	2,10	0,93	1624
Sládek (15)	1,00	3,15	1,41	-
Sládek (15)	1,00	3,10	2,27	-
Country (6)**	1,35	2,68	1,63	1700
Kazbek (7)	1,66	2,04	1,03	1340
Kazbek (7)	1,71	2,27	2,05	1660
Sládek (18)	1,41	2,24	1,16	350
Sládek (18)	1,44	1,56	1,59	420
Rubín (17)	1,69	3,43	1,69	900
Rubín (17)	1,99	1,99	1,55	1540
ŽPČ (19)	1,11	1,51	1,25	1250

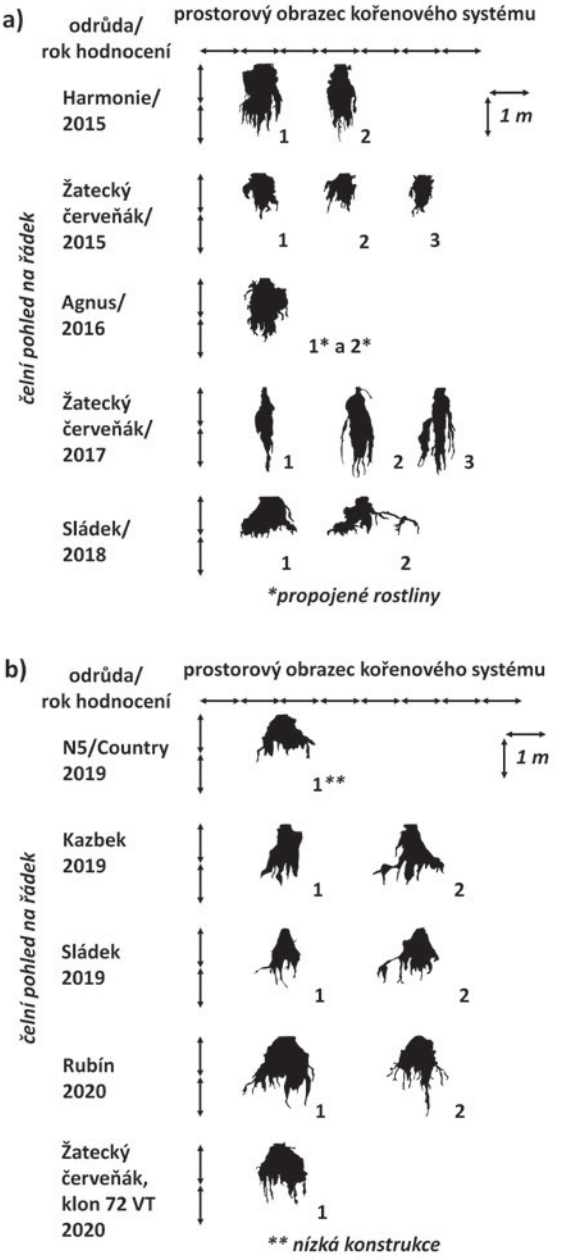
ŽPČ – Žatecký poloraný červeňák
** dvě rostliny propojené kořenovými systémy / ** zakrslá odrůda pěstovaná na nízké konstrukci*

2.2. Profilové obrazce kořenových systémů

Profilový obrazec prostorového rozmístění kořenového systému v řádku (boční pohled na řádek) dokumentuje obrázek 9. Z obrázku jsou patrné nejen výrazné tvarové odlišnosti, ale také šířka prokořenění v ose řádku a z ní vyplývajíc případné propojení kořenových soustav. Intenzivnější rozvoj kořenového systému chmele ve směru řádku ve spodních vrstvách půdy potvrzují na základě výkopů také Graf a kol. (2014) a Sobotik a kol. (2018). Na obrázku 10 jsou znázorněny prostorové obrazce kořenových systémů při kolmém pohledu na řádek. Schémata kořenových systémů dokládají omezený rozvoj kosterních kořenů do stran, tj. směrem do meziřadí chmelnice. Při kolmém pohledu na řádek je z obrazců kořenových systémů patrný i omezující vliv zhutnění půdy v místě kolejových stop nacházejících se po stranách hrůbků, který omezuje již výše popisované prokořenění půdy v horních vrstvách půdy směrem do meziřadí.



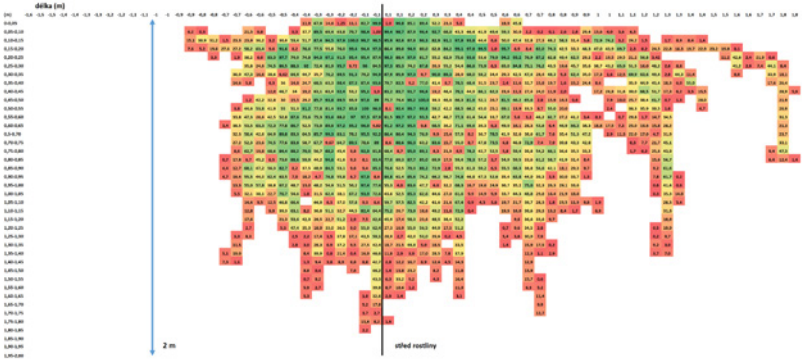
Obr. 9: Prostorový obrázek kořenových systémů chmele otáčivého u hodnocených rostlin v letech 2015–2018 (a) 2019–2020 (b), boční pohled na řádek. Čísla u jednotlivých schémat kořenových systémů v rámci odrůdy a hodnoceného roku dokládají pořadové číslo hodnocených rostlin.



Obr. 10: Prostorový obrázek kořenových systémů chmele otáčivého u hodnocených rostlin v letech 2015–2018 (a) 2019–2020 (b), čelní pohled na řádek. Čísla u jednotlivých schémat kořenových systémů v rámci odrůdy a hodnoceného roku dokládají pořadové číslo hodnocených rostlin.

2.3. Intenzita prokořenění půdního profilu

Zajímavou otázkou je stanovení intenzity prokořenění půdního profilu kořenovým systémem. Pro nepřímé stanovení tohoto parametru lze využít černobílý snímek kořenového systému, kde procentuální podíl kořenů (bílá barva) v daném pixelu hodnocení je využit jako kritérium intenzity prokořenění. Při posuzování černobílých snímků byla pro hodnocení použita velikost pixelu 50 x 50 mm. Obrázek 11 dokumentuje intenzitu prokořenění půdy na základě pokryvu jednotlivých pixelů bílou barvou (%) u kořenového systému odrůdy Harmonie (termín hodnocení 2015, lokalita Stekník).



Obr. 11: Intenzita prokořenění půdy na základě pokryvu jednotlivých pixelů bílou barvou (%) u kořenového systému odrůdy Harmonie (2015, lokalita Stekník).

Pro praktické hodnocení a využitelnost výsledků prokořenění v praxi bylo provedeno hodnocení intenzity prokořenění půdy pro čtyři horizontální a tři vertikální zóny půdního profilu (obr. 12) pro boční pohled na kořenový systém. Tabulka 2 zaznamenává průměrnou intenzitu prokořenění vrstev půdy z bočního pohledu na řádek rostliny pro hodnocené odrůdy v letech hodnocení 2015–2018. Nejvyšší intenzita prokořenění byla u většiny rostlin stanovena v zóně (B 1) 0,3 m z levé a pravé strany středu babky do hloubky 0,6 m ve srovnání s ostatními zónami. Zóny B1 až B4 vykazovaly ve srovnání se zónami A a C vyšší hodnoty intenzity prokořenění. V rámci intenzity prokořenění dané zóny byly mezi jednotlivými rostlinami stanoveny statisticky průkazné rozdíly. V rámci jedné lokality byly rozdíly mezi jednotlivými rostlinami v zónách B většinou statisticky neprůkazné. Průměrné hodnoty intenzity prokořenění půdy ve vybraných vrstvách půdního profilu dokládá obrázek 13. Křivky průběhu intenzity prokořenění ukazují průměrné hodnoty prokořenění půdy získané jako průměr všech hodnocených rostlin na dané lokalitě v daném roce. Z obrázku jsou dobře patrné rozdíly mezi lokalitami.

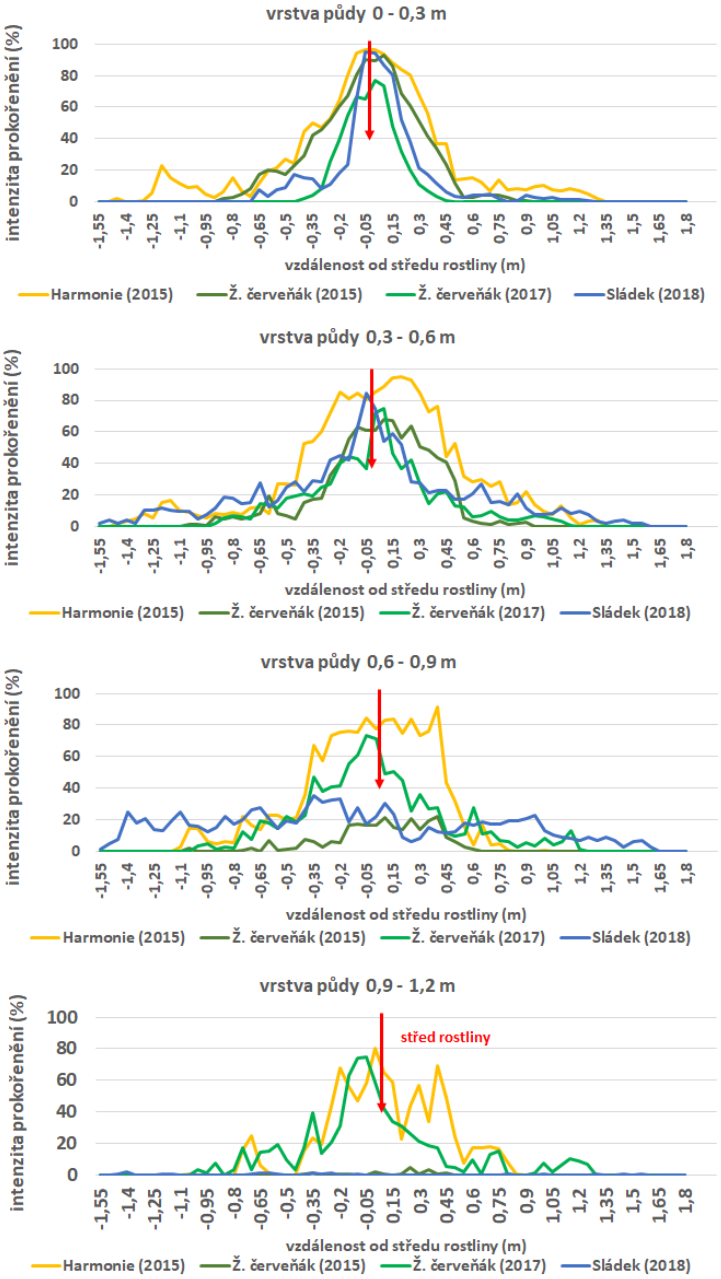
Skutečná intenzita prokořenění půdy v daných vrstvách půdy je samozřejmě vyšší z důvodu překrývání se kořenových systémů jednotlivých rostlin. Zvýšené prokořenění půdy v zónách B1 až B4, včetně většinou kolmo dolů rostoucích kořenů, vytváří vhodné podmínky pro infiltraci srážkové a závlahové vody.

	0,6 m	0,6 m	0,6 m
0 – 0,3 m	A 1	B 1	C 1
0,3 – 0,6 m	A 2	B 2	C 2
0,6 – 0,9 m	A 3	B 3	C 3
0,9 – 1,2 m	A 4	B 4	C 4

Obr. 12: Rozdělení zón půdního profilu (boční pohled) použitých pro hodnocení intenzity prokořenění půdy rostlinami chmele. Černá šipka dokládá střed rostliny.

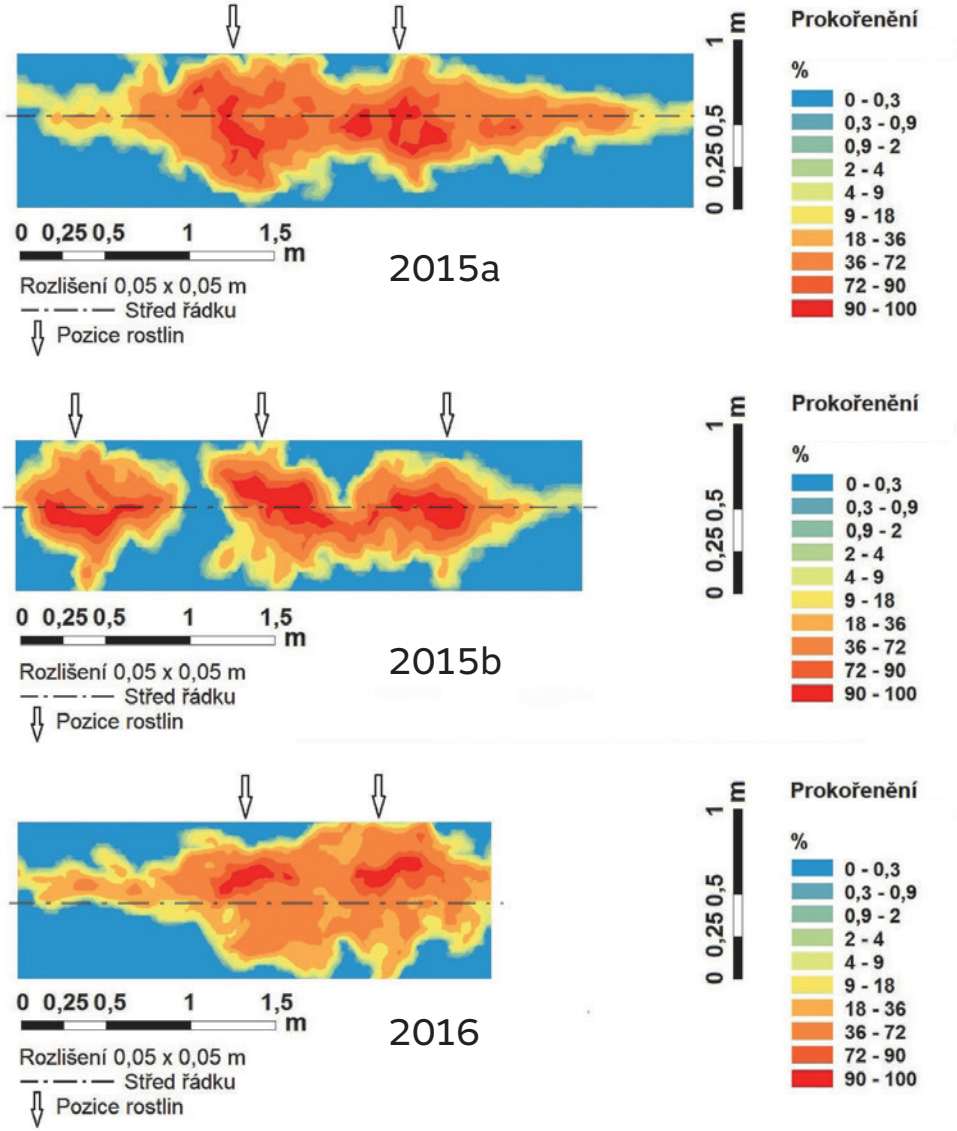
Tab. 2: Průměrná intenzita prokořenění (%) hodnocených zón půdního profilu (A–C, obr. 11) při bočním pohledu na kořenový systém hodnocených rostlin. Odlišné indexy v rámci sloupce dokumentují statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti 95 %, (ANOVA, Tukey).

rok hodnocení	odrůda	hodnocená zóna podle obrázku 12		
		A1	B1	C1
2015	Harmonie	19,4 bc	78,8 e	19,1 b
	Harmonie	24,3 c	81,6 e	49,0 c
	Žatecký červeňák	8,0 a	83,1 e	7,2 a
	Žatecký červeňák	0,1 a	60,8 cd	19,4 b
	Žatecký červeňák	38,5 d	67,6 de	6,6 a
2017	Žatecký červeňák	0 a	23,0 a	0 a
	Žatecký červeňák	0,1 a	47,0 bc	0 a
	Žatecký červeňák	1,4 a	60,2 cd	2,6 a
2018	Sládek	10,1 ab	56,1 bcd	7,7 a
	Sládek	2,3 a	42,9 b	2,4 a
		A2	B2	C2
2015	Harmonie	20,9 ef	83,7 e	36,7 c
	Harmonie	19,2 de	80,5 de	37,9 c
2015	Žatecký červeňák	4,7 ab	56,3 bc	15,1 bcd
	Žatecký červeňák	0,1 a	50,7 b	17,8 cd
	Žatecký červeňák	22,1 ef	52,2 b	12,8 abc
2017	Žatecký červeňák	8,0 ab	22,8 a	2,8 a
	Žatecký červeňák	9,5 abc	53,8 b	4,7 ab
	Žatecký červeňák	18,0 cde	52,2 b	23,6 d
2018	Sládek	29,8 f	69,6 cd	19,6 cd
	Sládek	9,9 bcd	30,6 a	18,0 cd
		A3	B3	C3
2015	Harmonie	21,4 cd	76,4 d	24,0 c
	Harmonie	34,5 c	76,2 d	51,0 d
	Žatecký červeňák	2,5 a	16,9 ab	7,1 ab
	Žatecký červeňák	0 a	8,2 a	1,9 a
	Žatecký červeňák	4,0 ab	16,1 a	5,9 ab
2017	Žatecký červeňák	7,3 ab	28,2 b	2,7 a
	Žatecký červeňák	26,1 de	64,1 c	13,5 b
	Žatecký červeňák	13,5 bc	54,3 c	22,9 c
2018	Sládek	30,1 de	28,4 b	26,6 c
	Sládek	13,7 bc	14,6 a	6,3 ab
2015		A4	B4	C4
	Harmonie	7,1 b	51,5 c	21,6 c
	Harmonie	17,7 c	54,7 c	24,8 c
	Žatecký červeňák	0,3 a	1,3 a	0,4 a
	Žatecký červeňák	0 a	0 a	0,2 a
	Žatecký červeňák	0 a	0,4 a	0,4 a
2017	Žatecký červeňák	9,9 b	21,4 b	0,4 a
	Žatecký červeňák	18,9 c	51,5 c	9,9 b
	Žatecký červeňák	8,0 b	49,4 c	10,8 b
2018	Sládek	0,6 a	0,2 a	0 a
	Sládek	0 a	0 a	0 a



Obr. 13: Průměrné hodnoty prokořenění půdy ve vrstvách půdního profilu 0–0,3; 0,3–0,6; 0,6–0,9 a 0,9–1,2 m na sledovaných lokalitách. Křivka dokumentuje průměrnou hodnotu prokořenění půdy získanou jako průměr všech hodnocených rostlin na dané lokalitě v daném roce.

Intenzita prokořenění půdy je samozřejmě z praktického hlediska důležitá i při pohledu na rostlinu shora. Zde se jedná jak o specifikaci zón cíleného hnojení na povrch půdy nad kořenovou zónu, tak o specifikaci zonálního ukládání hnojiva do půdy. Opomenout nelze ani skutečnost, že prokořenění půdy je jedním z faktorů, který podporuje infiltraci přirozených srážek a závlahové vody do půdního profilu. Obrázek 14 dokládá intenzitu prokořenění a zároveň prostorové rozmístění kořenového systému vybraných rostlin chmele při pohledu z ptačí perspektivy.



Obr. 14: Intenzita prokořenění půdy při horním pohledu na řádek v letech 2015 a 2016. Mapy prokořenění zahrnují prokořenění půdy v rámci řádku sledovaných rostlin (Brant a kol., 2020).

3. Faktory ovlivňující rozvoj kořenového systému v meziřadí

Jedním z určujících faktorů formování kořenového systému chmele je pedologické uspořádání půdního profilu. Nepropustné jílovité vrstvy pod vrchním orničním profilem o mocnosti větší než 0,5 m mohou vytvářet izolační bariéru, kterou nejsou kořeny schopny prorazit. Zásadní otázkou je samotná příčina omezeného prorůstání této vrstvy půdy kořenovým systémem. Jednat se může o omezený růst způsoben větší objemovou hmotností půdy, ale také o nižší obsah živin a snížený obsah kyslíku v těchto horizontech, či samozřejmě o kombinaci výše uvedených faktorů. To dokládá morfologie kořenového systému 15 let starého porostu odrůdy Sládek, u níž byla hloubka prokořenění pouhých 0,90 až 1 m. Pod ornicí, která sahala do hloubky 0,80–0,90 m, se nacházela jílovitá vrstva o mocnosti 0,5 až 0,6 m, na které se další vertikální růst kořenů zastavil. Slabší jílovité vrstvy o mocnosti 0,1– 0,2 m však nejsou pro vertikální růst kořenů překážkou. Při preparaci kořenového systému 7 let staré rostliny odrůdy Kazbek vertikální kůlové kořeny prorostly jílovitou vrstvu (0,2 m) nacházející se v hloubce 0,5 až 0,6 m a dosáhly maximální hloubky prokoření 1,5 až 1,6 m. Dostupnost spodní vody a schopnost půdy zadržovat vodu hraje pravděpodobně při růstu kořenů také důležitou roli. K půdám s dobrou vododržností patří například permské červenky s velkým podílem jílovitých částic. Tyto půdy se nacházejí v převážné části vyhlášené chmelařské polohy „Údolí Zlatého potoka“. Dobrá vododržnost půdy a vyšší hladina spodní vody nenutí rostliny k tvorbě dlouhých vertikálních kořenů, což se ukázalo na 18 let starém porostu odrůdy Sládek v lokalitě Černčice, jejíž kořeny sahaly pouze do hloubky 100 až 110 cm a jejichž hmotnost v suchém stavu byla jen 350 a 420 g.

Významným faktorem je rovněž systém kultivace meziřadí, která kořenový systém formuje v horizontálním, ale i vertikálním směru. Pravidelná kultivace meziřadí, která se provádí především za účelem regulace růstu jednoletých i víceletých plevelů v hloubce 0,20 až 0,25 metru, systematicky narušuje růst bočních kořenů v mělkých půdních horizontech. Na vliv mechanické kultivace meziřadí na omezený rozvoj horizontálních kořenů poukazují Neve (1991) a Štranc a kol. (2007).

Z hlediska regulace jednoletých plevelů lze však za dostatečnou hloubku kypření, včetně podříznutí vzešlých rostlin, považovat hloubku kypření do hloubky 0,1 m. Hlubší kypření, které je již spojeno s použitím dlátových pracovních nástrojů, vede k regulaci výskytu plevelů na základě přesušení horní vrstvy půdy. Tato skutečnost však omezuje nejen rozvoj horizontálních kořenů v důsledku mechanického poškození, ale také z důvodu absence vody v horním profilu půdy. Zároveň je nutné míti na paměti skutečnost, že systémy mechanické regulace plevelů mají vycházet ze zásady odplevelení horní vrstvy půdy, ze které většina semen plevelů vzchází. Zde se jedná o hloubku zpracování půdy odpovídající 50 mm.

Hlubší kypření může být spojeno s vynášením nových semen plevelů ze spodních vrstev k povrchu půdy, kde následně klíčí a vzcházejí nové rostliny. Hlubší kypření hraje roli při regulaci vytrvalých plevelů. Zde je však nutné upozornit, že efektivita regulace je závislá na míře poškození vegetativních orgánů rozmnožování plevelů, ale také na růstové fázi daného plevelného druhu. Regulace vytrvalých plevelů spočívá především v pravidelném poškozování kořenové soustavy a vegetativních orgánů rozmnožování, čímž jsou plevelné rostliny nuceny většinu svých asimilátů investovat do regenerace. Podzemní systém pcháče rolního se vyznačuje horizontálním rozmístěním kořenových výběžků, které se nacházejí v několika patrech půdního profilu. Mechanická regulace rostlin je proto závislá na termínu provedení ve vztahu k vývojové fázi nadzemních orgánů. Obrázek 15 dokumentuje hloubku prokořenění a morfologii kořenového systému pcháče rolního ve chmelnici na lokalitě Stekník v roce 2015.

Dojde-li k mechanickému poškození kořenového systému v době tvorby růžic, které ještě nevstoupily do prodlužovacího růstu, je podpořena regenerace z hlouběji uložených klidových pupenů. Rostliny pcháče rolního se do meziřadí šíří především ze zóny hrůbku, kde kultivace půdy není tak intenzivní.



Obr. 15: Kořenový systém pcháče rolního na rozhraní řádku a kultivovaného meziřadí ve chmelnici *(foto Brant)*.

Dalším důsledkem poměrně častých průjezdů tažných prostředků, spojených s aplikací pesticidů a hnojiv, je značné zhutnění půdy v trajektorii kolejových stop. Zhutnělá vrstva půdy v hloubce 0,3 až 0,5 m tvoří pro kořenový systém další bariéru a její prokořenění je proto velmi malé. Kořeny chmelových rostlin tuto vrstvu v hloubkách 0,4 až 0,7 m podrůstají. Obrázek 16 dokumentuje podrůstání víceletých a letních kořenů pod zhutněnou vrstvou půdy v kolejových stopách na lokalitě Kozojedy.



Obr. 16: Podrůstání víceletých a letních kořenů pod zhutněnou vrstvou půdy v kolejových stopách na lokalitě Kozojedy, 11.9.2020 *(foto Brant)*.

Kořenový systém trpasličích odrůd pěstovaných v nízkých konstrukcích (3 m) je svou strukturou a hloubkou prokořenění srovnatelný s odrůdami chmele pěstovanými ve vysokých konstrukcích. Vzhledem k mělké a omezené kultivaci meziřadí ale kořeny prorůstají ve směru kolmém na řádek až do vzdálenosti 1,3 m od babky v hloubce 0,2 až 0,25 m. Protože porosty zakrslých odrůd jsou mechanicky řezány jen velmi mělce nebo nejsou řezány vůbec, kořeny jsou prakticky nenarušené hnilobou i po několika letech pěstování.

4. Technogenní zhutnění půdy v meziřadí

Technogenní zhutnění půdy představuje významný antropogenní faktor vedoucí k degradaci půdy. Graves a kol. (2015) poukazují na skutečnost, že zhutnění je spojeno se ztrátou živin a s poklesem produktivity plodin, zvýšenou spotřebou pohonných hmot při zpracování půdy a tím i zvýšenou emisí skleníkových plynů. Důsledky zhutnění vzniklého lidskou činností při obhospodařování půdy mění nejen morfologii pórů, ale také jejich anizotropii, což může mít zásadní dopad na klíčové procesy a životně důležité ekosystémové procesy, jako je pohyb vody v půdním profilu a její retence, včetně ovlivnění výměny atmosférických plynů (Berisso a kol., 2013).

Obecně je zhutnění půdy považováno za příčinu omezeného rozvoje kořenového systému rostlin a za důvod vedoucí k poklesu výnosu plodin (Correa a kol., 2019). Charakteristickou odezvou kořenů na zhutnění půdy je zmenšení velikosti kořenů, zahušťování, zkracování a deformace rostlinných buněk, což se projevuje změnami fyzikálně-chemických vlastností půdy např. Unger a Kaspar, 1994; Lipiec a kol., 2012; Grzesiak a kol., 2015; Szatanik-Kloc a kol., 2018). Ztráty na výnosech plodin v důsledku zhutnění se odhadují na 20 % (Arvidsson, 1999).

Přítomnost zhutnění lze stanovit na základě vybraných fyzikálních vlastností půdy, jako jsou objemová hmotnost, pórovitost, rychlost infiltrace vody a snížení provzdušňování půdy (Horn a kol., 1995). Zhutnění půdy snižuje pórovitost, především počet makropórů (Silva a kol., 2008; Hamza a Anderson, 2003). Jedná se o fyzikální formu degradace půdy omezující podíl kapalné a plynné fáze půdy, což u většiny zemědělských plodin má za následek snížení výnosu (Nawaz a kol., 2013).

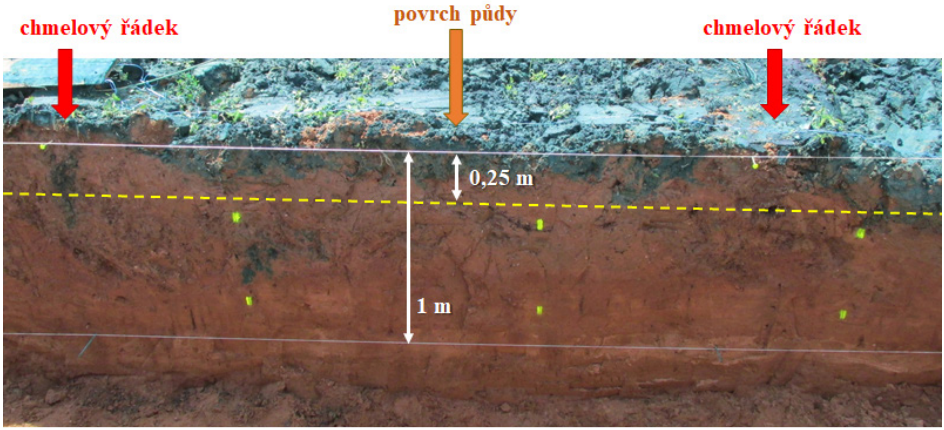
Významný vliv na tvorbu technogenního zhutnění půdy má silný polní provoz. Zejména ve chmelnicích, kde jsou rostliny pěstovány v řádcích, je pohyb techniky specifický. Systémy řádkových plodin jsou ke zhutnění obzvláště náchylné v důsledku opakovaného pohybu techniky po stejných trajektoriích v meziřádcích při provádění polních operací (Niziolomski a kol., 2016). Smirnov a kol. (2019) uvádějí, že ve chmelnicích dochází ke zvýšení lokálního zhutnění ve srovnání s běžnými polními plodinami, zejména kvůli omezené povaze řádkování. Ve chmelnicích a těžkých půdách se doporučuje každý druhý nebo třetí rok prokypřit podorničí do hloubky 0,6 až 0,7 m. Opatření působí proti nadměrnému zhutňování půdy a je účinné i jako prevence infekčního vadnutí rostlin chmele (Štranc, 1984; Lipecki a Berbeć, 1997).

Vliv zhutnění půdy na procesy infiltrace vody, dostupnost živin a vývoj chmelových rostlin dokládají i starší údaje (Sachl, 1974; Štranc 1984). Brant a kol. (2016) uvádějí, že zhutněná vrstva půdy se ve chmelnicích nachází v hloubce 0,2 m, což vede ke snížení infiltračních procesů a přispívá k podpovrchovému odtoku vody (Brant a kol., 2020). Brant a kol. (2016) poukazují na skutečnost, že znalost distribuce chmelového kořenového systému v půdě je nutná nejen pro cílené odstranění zhutnění půdy, ale také pro podporu infiltrace dešťové vody ke kořenům.

Brant a kol. (2016) hodnotili infiltrační procesy půdy ve chmelnici v kolmém řezu na dvě meziřadí. Na pokusné ploše bylo provedeno modelové zadeštění půdy pomocí simulátoru deště vybaveného aplikátorem modré potravinářské barvy. Simulovaná srážka činila 40 mm a půdní profil byl odkryt po 48 hodinách po zadeštění. Hloubku infiltrace na základě fotografie půdního profilu dokumentuje obrázek 17. Z obrázku je patrná velmi malá infiltrační schopnost půdy, a to jak v meziřadí, tak v hrůbcích řádků rostlin. Obrázek 18 dokumentuje infiltrační

procesy v půdním profilu chmelnice na šířku třech meziřadí po převedení modré infiltrované barvy na barvu bílou a neobarvená půda je znázorněna barvou černou. Nejnižší schopnost infiltrace je patrná po stranách řádků chmele, v místě kolejových stop.

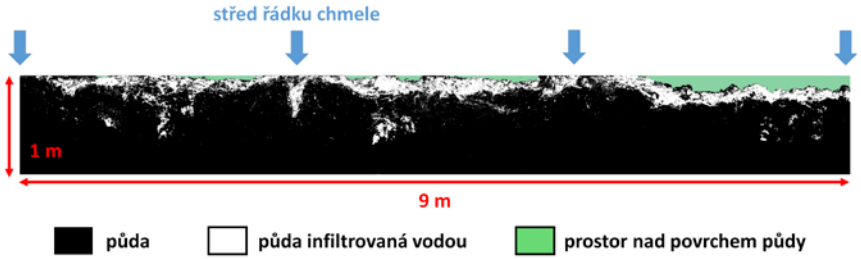
Intenzivní probarvení půdního profilu (celkem byly provedeny tři řezy) nepřesáhlo hloubku 0,25 m. Hloubka utužené vrstvy půdy koresponduje s hloubkou pravidelného zpracování půdy. Dalším důvodem nižší propustnosti půdy může být zhoršená stabilita půdní struktury. Současné systémy zpracování půdy ve chmelnicích v České republice, tj. pravidelná kultivace, mnohdy bez ohledu na stav půdy, a udržování černého úhoru, na základě obecných znalostí přispívají ke snížení stability půdních agregátů. Vznik zhutněné vrstvy půdy pod pravidelně zpracovávanou vrstvou půdy v polních podmínkách při pěstování běžných polních plodin prokázali např. Brant a kol. (2017b).



umělá srážka pomocí simulátoru deště – množství srážky 40 mm, voda obarvená modrou potravinářskou barvou, stav 48 h po zadešťování

Obr. 17: Infiltrace vody do půdy na základě simulace srážky pomocí metody modré infiltrace na lokalitě 1, simulovaná srážka činila 40 mm (Brant a kol., 2016).

Půdní profil ve chmelnici znázorňuje infiltrační schopnost půdy. Simulovaná výše srážky odpovídala hodnotě 40 mm. Hodnocení bylo provedeno 24 h po simulaci srážky. Délka profilu 9 m, hloubka 1 m. Obrázek zachycuje půdní profil procházející přes tři meziřadí. Rozteč řádků chmele 3 m.



Obr. 18: Infiltrační procesy v půdním profilu chmelnice (Brant a kol., 2019a).

Přestože jsou v současné době kolejové stopy kypřeny, je efektivita mechanického porušení zhutněné vrstvy malá. Jednou z příčin je geometrie kypřících nástrojů, které většinou využívají slupice a samotné kypřící nástroje s malým elevačním úhlem. Tyto nástroje vykazují nižší vynášecí schopnost a jejich prostupnost půdou je spojena s intenzivním tlakem na stěny a dno kypřené půdy v trajektorii kypřícího nástroje (obr. 19). To, zejména za vlhka, vede k tvorbě jen úzké rýhy, mnohdy s umáznutou půdou po jejích stěnách a na dně. Rizikové jsou samozřejmě opakované vstupy na pozemek po kypření v kolejových stopách. Nakypřená půda za vlhka vykazuje větší náchylnost ke zhutnění v porovnání s nekypřenou půdou.

Zmírnění zhutnění půdy v důsledku práce pracovních nástrojů je největší v případech, když hroty pracují výrazně nad kritickou pracovní hloubkou (Arvidsson a kol., 2004). Kritická hloubka označuje hloubku, ve které jsou operace uvolňování půdní hmoty sníženy omezujícími silami, které zabraňují pohybu zhutněné půdy směrem nahoru (Spoor a Godwin, 1978). Efektivní hloubku kypření a tím i oblast narušení půdy lze zvýšit snížením náběhového úhlu hrotu radlice, přidáním křídel apod. (Godwin a Spoor, 1977; Spoor, 2006).

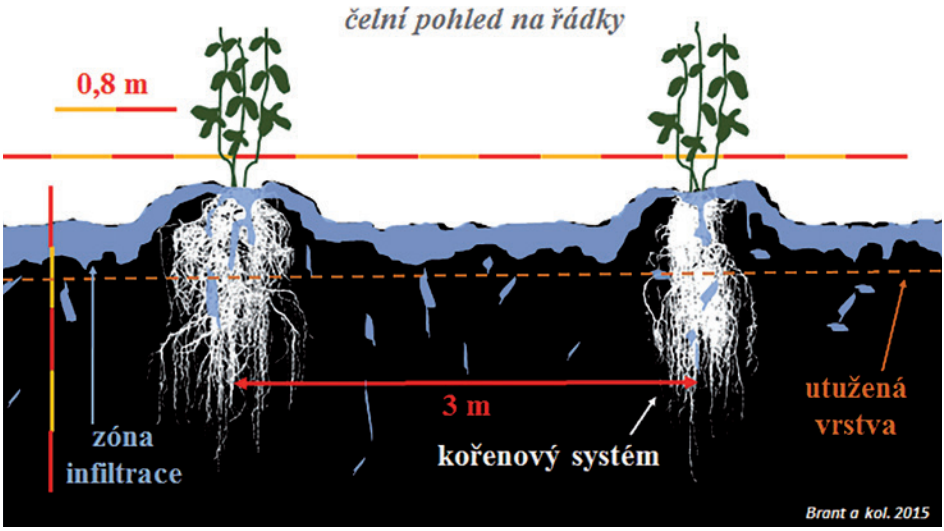


Obr. 19: Pracovní nástroje s malou vynášecí schopností a malým elevačním úhlem se při práci ve vlhké půdě vyznačují negativním vlivem na půdní strukturu a přispívají ke zhutnění půdy pod zpracovanou vrstvou půdy *(foto Brant)*.

Svoji roli z hlediska zhutnění půdy mezi kolejovými stopami hraje i hloubka pracovních nástrojů na kypřičích. Při využití kypřičů osazených pracovními nástroji pro kypření celého meziřadí je problematické dodržení nastavené hloubky. Její dodržení je samozřejmě závislé nejen na půdních podmínkách, ale také na přítomnosti zhutněné vrstvy, která následně může omezovat možnost hlubšího kypření v celém meziřadí. Zásadním problémem je opakované kypření na stejnou hloubku, které tvorbu plošného zhutnění půdy pod zpracovávanou vrstvou půdy podporuje. Zásadou eliminace zhutnění je zpracování půdy za optimálních podmínek, změna pracovní hloubky, změna typů kypřičů apod. Z organizačních a časových důvodů či z důvodů preference termínů jiných agrotechnických zásahů se tyto zásady v praxi někdy nedodržují.

Při kypření lze však rovněž kalkulovat s možností rozdílné hloubky pracovních nástrojů, např. hlubším nastavením kypřících nástrojů v místech kolejových stop. Zde se jedná nejen o efektivitu kypření, ale také o smysluplné využití potenciálu tažné síly traktoru a samozřejmě o spotřebu nafty. Bez povšimnutí nelze ponechat ani skutečnost, že výraznější infiltrace nebyla zaznamenána ani v prostoru hrůbku. Obrázek 20 dokumentuje interakci mezi infiltrační zónou a kořenovým systémem. Obrázek zachycuje reálnou situaci na konkrétním stanovišti. Otázkou však zůstává, jaký je stav na ostatních chmelnicích.

Na základě řezů půdního profilu byl pozorovatelný vliv kořenů na infiltraci, který se projevil prosakováním obarvené vody do spodních vrstev v okolí kořenů. Z hlediska stávajících systémů zadešťování (kapková závlaha) však může daný stav poukazovat na určité problémy z hlediska využití závlahové vody.



Obr. 20: Prostorové rozmístění kořenového systému v půdním profilu (čelní pohled na řádky) a znázornění zóny infiltrace vody na lokalitě Stekník v roce 2015 (Brant a kol., 2016).

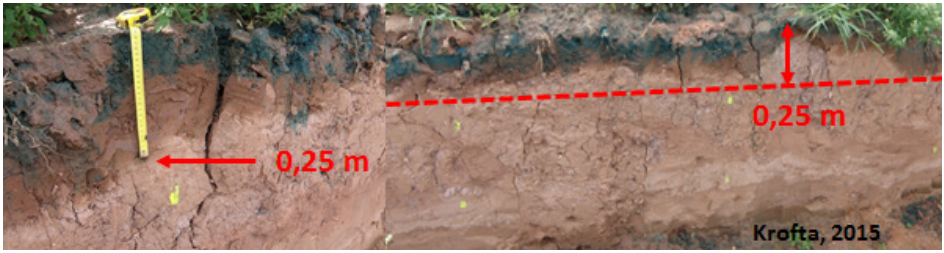
Vliv utužení spodní vrstvy půdy (v hloubce pod 0,25 m) dokumentuje obrázek 21, který zachycuje přítomnost modré barvy v půdním profilu ve vzdálenosti 2,5 m od místa zadeštění. Dokládá tedy proudění vody v půdě po nepropustné vrstvě. Tento efekt, na základě našich zkušeností získaných při testování strojů pro zpracování půdy, nemusí být vždy spojen se zhutněním spodních vrstev orničního profilu, ale nastává i v důsledku zpracování půdy za nevhodných podmínek (většinou vyšší půdní vlhkost) a při volbě nevhodných pracovních nástrojů pro kypření půdy. Tyto nástroje při průchodu půdou mohou jednak utužovat vrchní část nezpracované půdy, ale také mohou vytvářet drenážní rýhy pro její vertikální pohyb.

Obrázek 22 dokumentuje provlhnutí půdního profilu vlivem přirozených srážek, které spadly na lokalitě Stekník v období od 15.8. – 17.8. 2015. Suma srážek za toto období činila 83 mm. Obrázek byl pořízen na odkrytém půdním profilu po předchozím provedení modré infiltrace.

Předložená práce si neklade za cíl komplexně popsat sledovanou problematiku, ani to na základě jednoletých výsledků není možné. Primárně se však snaží poukázat na faktory a další cesty výzkumu a praktické aplikace, které mohou vést k optimalizaci agrotechnických opatření při pěstování chmele nejen z hlediska produkčních parametrů, ale i z hlediska eliminace degradačních procesů půdy.



Obr. 21: Pohyb vody po utužené vrstvě půdy pod zpracovávaným horizontem zachycený ve vzdálenosti 2,5 m od místa zadeštění modrou barvou (Brant a kol., 2016).



Obr. 22: Provlhnutí půdního profilu vlivem přirozených srážek, které spadly na lokalitě Stekník v období od 15.8. – 17.8.2015. Suma srážek za toto období činila 83 mm. Modrá barva dokumentuje dřívější simulaci infiltrace modrou barvou (simulovaná srážka činila 40 mm), Brant a kol. (2016).

5. Postupy odstranění technogenního zhutnění

Postupy odstranění technogenního zhutnění musí respektovat příčiny jeho vzniku a horizontální a vertikální rozmístění zhutněných vrstev v půdním profilu. Z hlediska eliminace vzniku se jedná především o preventivní opatření, která by měla představovat standardní součást agrotechnických postupů. Druhá kategorie zahrnuje již samotná nápravná opatření. Potřeba jejich provedení je však spojena nejen již s negativními projevy zhutnění na půdní prostředí a rostliny samotné, ale také s agrotechnickými zásahy zajišťujícími především mechanické a biologické rozrušení zhutněných vrstev.

Zvýšení objemové hmotnosti půdy, která je jedním z projevů jejího zhutnění, vede ke snížení pórovitosti, čímž se zásadním způsobem mění vodní a vzdušný režim půdy, včetně jejích tepelných vlastností. Změnou těchto faktorů dochází následně k omezení infiltrace vody do půdy s rizikem vzniku vodní eroze. Snížením retenční kapacity zhutněné půdy, tj. prostoru pro zadržení vody v daném objemu půdy, klesá množství vody v půdě potřebné pro život půdního edafonu a rostlin. Současně se snižuje i míra dostupnosti zadržené vody pro půdní organismy a kořeny rostlin, včetně chemických vlastností půdní vody, jako primárního média zajišťujícího transport látek.

Z agrotechnického hlediska vede zhutnění k omezení rozvoje kořenového systému rostlin a následně i ke snížení tvorby nadzemní biomasy a tím i ke snížení výnosu hlavního produktu.

5.1. Možnosti eliminace zhutnění v místech kolejových stop

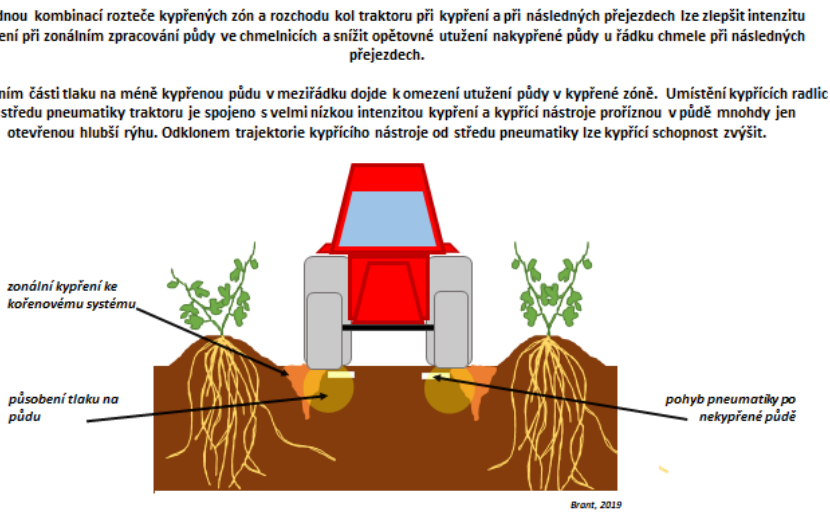
Zhutnění kolejových stop ve chmelnicích má na rozdíl od orné půdy svá specifika, primárně se jedná o:

1. Soustředné zatížení stále shodných zón mezižadí, kde se pohybuje tažný prostředek neseného či přívěsného nářadí,
2. přítomnost kolejových stop v blízkosti hrůbků s chmelovými rostlinami, která omezuje boční rozvoj kořenového systému a pohyb živin a vody ke kořenové zóně,
3. dlouhodobý efekt zatížených míst kolejových stop po celou dobu setrvání porostu na stanovišti,
4. opětovný pohyb tažných prostředků po provedení nakypření utužených zón, které je spojeno se zvýšením následné komprese půdy,
5. výrazně omezená možnost využití biologického zpracování půdy rostlinami, které utužení snáší.

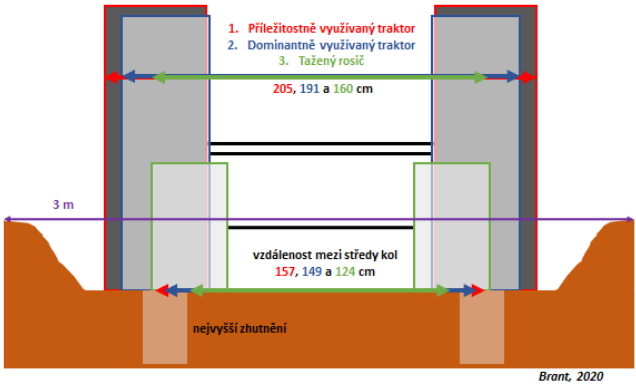
V důsledku pravidelného pohybu pracovních souprav ve chmelnicích je eliminace zhutnění půdy v mezižadí obtížná. Možnosti eliminace lze spatřovat primárně v nepřímých metodách eliminace. Tam lze zařadit odstranění zhutnění kypřením za optimálních půdních podmínek a jako poslední pracovní operaci před nástupem zimy. Následuje-li po provedení kypření kolejových stop brzký přejezd technikou, může dojít v důsledku komprese půdy ke zhoršení stavu zhutnění. Za účelem stabilizace půdní struktury v místě kolejových stop lze rovněž zvýšit aplikaci organické hmoty (soustředná koncentrace nadzemní biomasy meziplodin, či kompostu do těchto zón). Opomenout nelze ani cílenou aplikaci stabilizátorů půdní struktury do půdy, které je nutné aplikovat rovnoměrně do půdního profilu pod kolejovou stopou. Aplikace organické hmoty a stabilizátorů půdní struktury přispěje rovněž ke zlepšení infiltračních procesů, ale i k rozvoji kořenového systému.

Mezi přímé metody lze zahrnout samotné kypření. Zde je však potřebné použít radlice s vynášecím efektem a se systémem zpětného nahrnutí nakypřené půdy zpět do kypřené kolejové stopy. Dále je při plánování rozteče kypřících radlic počítat s následným pohybem mechanizačních prostředků, tedy zajistit vystředění středu pneumatiky tak, aby část (alespoň ½ stopy) tlaku pneumatiky nesla nenakypřená půda ve středu meziřádku (obr. 23). Zásadním je však vždy před provedeným kypřením provést hodnocení rozmístění kořenů v meziřadí (vzdálenost od středu řádku a hloubka prokořenění), aby nedošlo k jejich poškození a pomocí penetrometru či půdního odkopu stanovit stav zhutnění a jeho přítomnost v půdním profilu.

Základem optimalizace rozteče kypřících radlic pro odstranění zhutnění půdy v kolejových stopách je specifikace zóny nejvyššího přenosu tlaku na půdu ve vztahu k nejčastěji prováděným pracovním operacím (obr. 24).



Obr. 23: Rozchod kol tažných prostředků ve chmelnicích by měl respektovat trajektorie pracovních nástrojů kypřičů z důvodu zajištění efektivity kypření kolejových stop a eliminace opětovného zhutnění nakypřené půdy.



Obr. 24: Specifikace zatížení půdy v meziřadí ve vztahu k použitým tažným prostředkům.

5.2. Zhutnění půdy v meziřadí mezi kolejovými stopami

Zhutnění půdy mezi kolejovými stopami je především způsobeno dlouhodobým vlivem kypřících nástrojů strojů pro zpracování půdy, které působí svým tlakem na zhutnění vrstvy půdy pod jejich pracovními orgány. Toto zhutnění půdy poté mnohdy eliminuje dodržení větší pracovní hloubky v celém meziřadí, protože se pracovní nástroje pohybují po zhutnělé vrstvě mezi kolejovými stopami. Významnou roli ve chmelnicích hrají i půdní podmínky. Značná část chmele se pěstuje na těžších půdách s vyšším obsahem jílu, mnohdy i prachu, které se při vyšší půdní vlhkosti vyznačují větší náchylností ke vzniku zhutnění. Z hlediska dobrého efektu kypření a praskání půdy je vhodné provést kypření při nižší půdní vlhkosti. Rybáček a kol. (1980) doporučují, aby se objemová vlhkost půdy pohybovala pod úrovní 20 %. Tato hodnota na středních, ale především na těžkých půdách již odpovídá velmi suchému stavu. U těžkých půd lze za přijatelnou hranici považovat hodnoty objemové vlhkosti půdy pod 30 %, kde lze počítat se skutečností, že půdní voda se bude nacházet již jen ve velmi omezených formách ohledně pohybu v půdním profilu a z hlediska příjmu rostlinami.

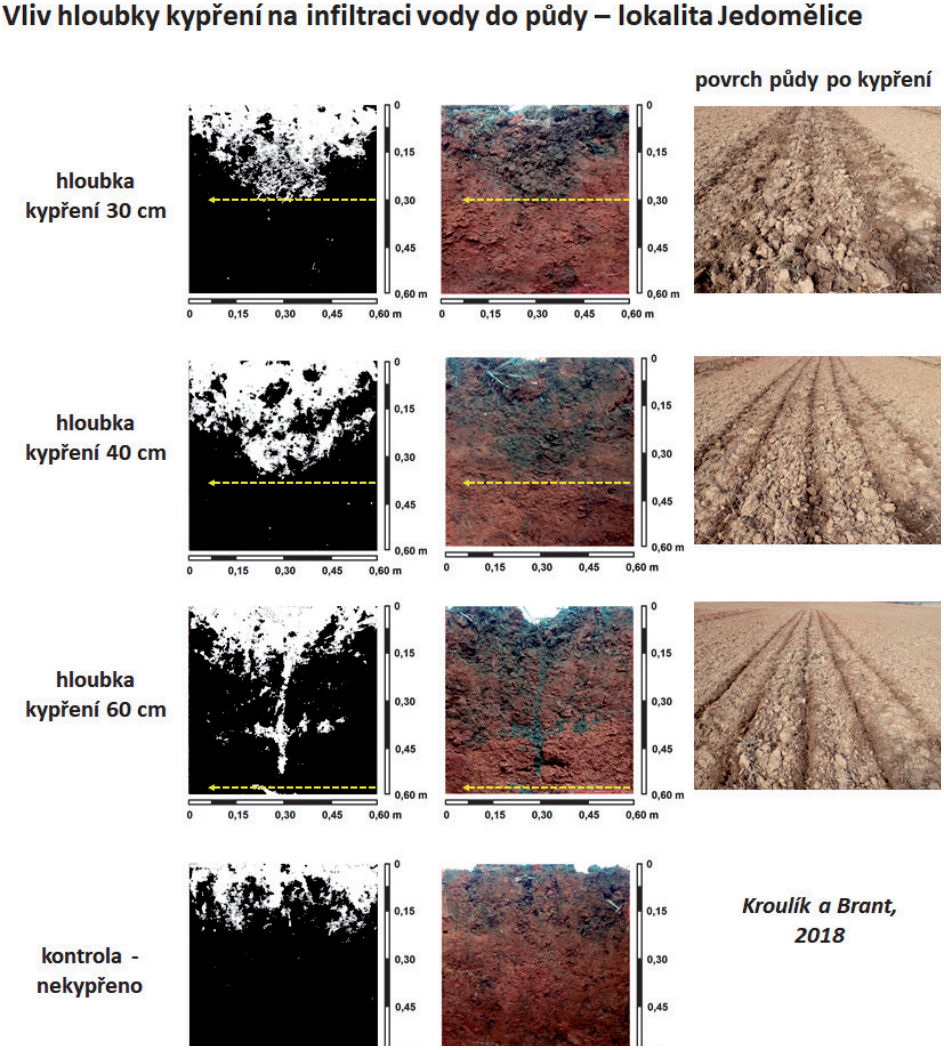
Zásadní skutečností je stanovení půdní vlhkosti půdy především v hloubce přítomného zhutnění půdy, tedy v místě, kde má dojít k rozrušení zhutněné vrstvy. Opomenout nelze ani spodní vrstvy pod zhutněnou půdou, kam pracovní nástroje kypřičů budou rovněž při práci zasahovat. I vrstva půdy pod zhutněnou půdou musí být proschlá.

Obdobně jako na orné půdě se i ve chmelnicích můžeme setkat s tzv. dvojím zhutněním (Brant a kol., 2019c). To představuje situaci, kdy se v půdním profilu vyskytují dvě zhutněné vrstvy půdy. Jedna je většinou spojena s vlivem pravidelného zpracování půdy, druhá může představovat historickou zátěž z předchozích let, kdy se provádělo intenzivní hlubší kypření pod standardní hloubku základního zpracování.

Z hlediska hloubky kypření je nutné připomenout, že primárním faktorem určujícím hloubku kypření je hloubka ornice a geologický základ podorničí. Hloubka kypření musí vycházet i z typu kypřících nástrojů. Především u nástrojů s vyšší vynášecí schopností půdy by pracovní hloubka měla odpovídat středu vrstvy zhutněné půdy. Je-li pracovní hloubka nastavena tak, že aktivní část pracovních nástrojů se pohybuje těsně pod zhutněnou vrstvou, dochází k nadzvedávání této vrstvy s půdním profilem nad ní a k menší intenzitě jejího drobení. U strojů s užší roztečí kypřících nástrojů a s pracovními nástroji ve více řadách je mnohdy obtížné dodržet nastavenou hloubku kypření. Nastavení efektivity hloubky kypření však musí být ověřeno přímo na zpracovávaném pozemku.

Pro cílené porušení zhutněných vrstev půdy lze při výskytu zhutnění půdy v rámci orničního profilu použít jak víceřadé kypřiče, tak kypřiče s pracovními nástroji v jedné řadě. Pro kypření spodních vrstev ornice a pro podorničí je z důvodu omezení intenzivního míchání půdy a dodržení hloubky kypření vhodné použít kypřiče jednořadé s větší roztečí mezi kypřícími nástroji.
Menší zkušenosti jsou s využitím strojů s rozdílnou hloubkou kypřících nástrojů.

Vliv hlubšího kypření za účelem odstranění zhutnění na prostorové rozmístění půdní hmoty a na infiltraci vody do půdy dokládá obrázek 25. Kypření bylo provedeno kypřičem s jednou řadou pracovních nástrojů (kypřič Krtek, Farmet a.s.) do hloubek 0,3, 0,4 a 0,6 m na lokalitě Jedomělice (těžká půda). Kypření na hloubku 0,3 m přispělo k intenzivnějšímu nakypření profilu do hloubky kypření. Směrem do hloubky efekt kypření klesal. Intenzivní probarvení půdy modrou barvou ukazuje preferenční infiltrační toky, tedy tok vody do půdy. Na druhou stranu lze v těchto vrstvách očekávat omezenější procesy vzlínání.



Obr. 25: Vliv rozdílné hloubky kypření na infiltraci vody do půdy a na stav povrchu půdy po zpracování na lokalitě Jedomělice v roce 2018 (Brant a kol., 2019c).

Možnosti prevence a postupy odstranění technogenního zhutnění mezi kolejovými stopami:

1. Primárním faktorem omezujícím rizika vzniku zhutnění půdy v meziřadí je zpracování půdy při optimální vlhkosti půdy,
2. z hlediska efektu kypření a praskání půdy při hlubším kypření půdy, tedy pod úroveň orničního profilu, je vhodné tato opatření provádět za sucha,
3. omezení zhutnění půdy mezi kolejovými stopami souběžnými s chmelovými řádky je potřebné se zamyslet nad omezením pracovních operací, které jsou spojeny s příčným přejezdem řádků,

4. výrazný vliv na omezení zhutnění meziřadí má ozelenění meziřadí, zde se jedná o aktivní biologické zpracování půdy kořeny rostlin, o podporu rozvoje kroužkovců a nepřímý efekt je primárně spojen i s vnosem organické hmoty do půdy ve vztahu ke stabilitě struktury půdy,
5. provedení hlubšího kypření pod úroveň orničního profilu je vhodné spojit biotickými efekty, jako je ozelenění meziřadí, kdy kořenové systémy podplodin zvýší efektivitu kypření, včetně intenzivnějšího rozdrobení větších půdních částic a homogenizace půdního profilu pro koloběh vody a vzduchu,
6. základem efektivního působení meziplodin v kombinaci s provedením hlubšího kypření je vhodné využít systémy jejich výsevu přímo při kypření, vývoj porostů však může limitovat přesušení půdy v důsledku kypření obecně spojeného s poklesem matričního potenciálu půdní vody, což se projeví sníženou dostupností vody pro semena a vzešlé rostliny,
7. z hlediska biologického zpracování půdy meziplodinami je nutné pamatovat na skutečnost, že hloubka prokořenění půdy koreluje s dobou setrvání porostu na stanovišti,
8. opomenout nelze ani skutečnost, že samotná přítomnost zhutnění půdy v meziřadí omezí i hlubší pronikání kořenových systémů do spodních vrstev v důsledku neschopnosti kořenů zhutněnou půdou prorůst,
9. snížené pronikání kořenových systémů do hlubších vrstev půdy může být spojeno i s vyšší koncentrací živin v horní vrstvě v meziřadí v důsledku celoplošné povrchové aplikace minerálních hnojiv a kumulace srážkové vody nad zhutněnou vrstvou půdy,
10. jednou z možností omezení negativního vlivu opakovaného kypření na zhutnění půdy je využití kypřičů pro meziřadovou kultivaci s rozdílnou pracovní hloubkou a konstrukcí pracovních nástrojů.

5.3. Technické prostředky pro odstranění zhutnění

Pro odstranění zhutnění v hlubších vrstvách půdy se využívají rozdílné konstrukce pracovních nástrojů. Ve většině případů se jedná o shodné, či částečně modifikované nástroje standardně využívané i pro práci na orné půdě. Z tohoto důvodu lze řadu praktických poznatků dobře implementovat i do technologií pěstování chmele otáčivého.

Dominantní postavení mají stroje s jednou řadou pracovních nástrojů, které se nacházejí souběžně v jedné řadě, nebo jsou umístěny na rámu ve tvaru písmene „V“ z důvodu snížení tahového odporu a bočních tlaků mezi pracovními nástroji. Většinou se lze setkat s kypřiči, které mají na rámu umístěny tři a více pracovních nástrojů, kdy krajní slouží k odstranění zhutnění v místech kolejových stop a střední pro kypření meziřadí mezi kolejovými stopami. Zásadní vliv na práci kypřících nástrojů má jejich geometrie.

Kolmé rovné slupice zakončené dlátem za optimálních půdních podmínek dobře rozrušují spodní vrstvy půdy (obr. 26, nahoře). Vyznačují se malým vynášecím efektem z důvodu kolmé, ostrou hranou zakončené, slupice. Méně intenzivně je zpracován i povrch půdy. Za vysoké vlhkosti půdy dochází pouze k prořízntutí půdního profilu, kde může vzniknout otevřená půdní rýha se zhutněným dnem a bočních stěn.

Mezi rozšířené konstrukce patří i dlátové kypřiče s bočně parabolicky zahnutou slupicí (obr. 26, dole). U nich dochází k větší heterogenitě půdního profilu po zpracování v důsledku větší vynášecí schopnosti slupice na straně tvořící vnitřní oblouk. Malý elevační úhel slupic snižuje jejich čelní vynášecí efekt. Výrazné riziko poškození půdy vzniká při jejich využití za vlhka, kde na vnější straně oblouku slupice hrozí riziko boční komprese půdy.



Obr. 26: Kolmé rovné slupice zakončené dlátem za optimálních půdních podmínek dobře rozrušují spodní vrstvy půdy (nahoře), dole je dlátový kypřič s bočně parabolicky zahnutou slupicí *(foto Brant)*.

Setkat se lze i s konstrukcemi pracovních nástrojů osazených ve spodní části postranními křídly. Křídla pracovního nástroje obecně zvyšují boční praskání půdy a tím zajišťují horizontální propojení efektu kypření (obr. 27). Slupice těchto konstrukcí se však vyznačují větším čelním elevačním úhlem, který přispívá k větší vynášecí schopnosti. Vynášecí schopnost se snižuje s hloubkou kypření, kdy výraznějšímu efektu posunu sušší a kompaktnější půdy zabraňuje hmotnost vrstvy půdy nad hloubkou kypření. Za optimálních půdních podmínek zajišťují tyto konstrukce i velmi dobré nakypření povrchu půdy (obr. 27, nahoře). Vysoká vlhkost spodních vrstev půdy zvyšuje riziko vzniku intenzivněji zhutněné vrstvy půdy pod dlátem a křídly.

Výše uvedené konstrukce jsou využitelné pro provádění odstranění zhutnění půdy na přechodu ornice a podorničí, tedy operací odpovídajícím podrývání a dlátování, včetně efektivního provedení hlubokého agromelioračního kypření do hloubky až 0,7 m (vše závisí na typu stroje a na půdních podmínkám).



Obr. 27: Setkat se lze i s konstrukcemi pracovních nástrojů osazených ve spodní části postranními křídly (nahoře). Za optimálních půdních podmínek zajišťují tyto konstrukce i velmi dobré nakypření povrchu půdy a poté obrázek dole, *(foto Brant)*.

Pro kypření odpovídající spíše podrývání až dlátování lze využít i stroje s více řadami pracovních nástrojů (obr. 28). Zde se často jedná o modifikované konstrukce vycházející z principu širšího dláta. Tyto konstrukce intenzivně kypří celý prostor meziřadí. Za sucha může docházet ke vzniku větších hrud a tím i větších mezipůdních prostor vyplněných vzduchem



Obr. 28: Pro kypření odpovídající spíše podrývání až dlátování lze využít i stroje s více řadami pracovních nástrojů *(foto Brant)*.

V rámci vývoje nových pracovních nástrojů se vyvíjejí nová technická řešení, která jsou využitelná i pro cílené odstranění zhutnění v kolejových stopách (včetně provedení i během vegetace) a mohou efektivněji kypřit i při vyšších vlhkostech půdy do hloubky 0,35 m (tedy se jedná o operace odpovídající podrývání až nižším hladinám dlátování. Sem lze zařadit kypřič vyvinutý členy autorského kolektivu ve spolupráci s firmou Bernar FMT, s.r.o. Základem stroje jsou dvě kypřící sekce s měnitelnou pracovní roztečí, které umožňují kypření půdy do hloubky 35 cm s možností souběžného ukládání pevných granulovaných látek (hnojiva, stabilizátory půdní struktury apod.) do rozdílných zón kypřeného pásu (obr. 29). Stroj lze osadit i středovou kypřící sekcí pro regulaci plevelů, či pro výsev meziplodin mezi kypřené pásy v meziřadí. Navržená konstrukce umožňuje využití stroje i pro souběžné odstranění zhutnění v kolejových stopách.



Obr. 29: Prototyp stroje navržený pracovníky ČZU a zkonstruovaný ve spolupráci s firmou BEDNAR FMT při testování *(foto Brant)*.

Obrázek 30 dokládá stav povrchu půdy před provedením kypření kolejových stop na lokalitě Kozojedy a po kypření z obrázku je dobře patný efekt pracovních nástrojů na nakypření půdy a jejího zpětného nahrnutí do kypřených pásů, včetně zpětného urovnání povrchu půdy v kypřené zóně rovnacími a kypřícími válečky. Hloubka kypření činila 25 cm (omezení poškození kořenů rostlin chmele, které byly vysázeny na podzim 2019). Rozteč kypřících radlic činila 182 cm a rozteč postranních kypřících a vratných disků u kypřících radlic 30 cm.



Obr. 30: Stav povrchu půdy před (vlevo) a po provedením kypření kolejových stop na lokalitě Kozojedy. Dobře patrný je efekt použitých pracovních nástrojů na nakypření půdy a jejího zpětného nahrnutí do kypřených pásů, včetně zpětného urovnání povrchu půdy v kypřené zóně rovnacími a kypřícími válečky *(foto Brant)*.

5.4. Odstranění technogenního zhutnění ve vztahu ke kořenovému systému

Starší literární údaje a zkušenosti praxe doporučují ponechání dostatečné izolační vzdálenosti mezi středem řádku chmele a trajektorií kypřící radlice pracující pod úroveň hloubky orničního profilu z důvodu omezení poškození kořenového systému. Rybáček a kol. (1980) považují za minimální hodnotu délky izolační vzdálenosti 0,7 m. Provedený výzkum kořenových systémů prokázal výrazný pokles prokořenění půdního profilu ve vzdálenosti od 0,5 m od středu řádku do hloubky 0,6 m. Důvodem je podrůstání kořenů zhutněnou vrstvou půdy vzniklou v místech kolejových stop. Na některých chmelnicích však byla zaznamenána přítomnost vytrvalých kořenů v mělčích vrstvách meziřadí (0,4 m) za trajektoriemi kolejových stop.

Výsledky testování zonálního odstranění zhutněné půdy v trajektoriích kolejových stop do hloubky 0,35 m, především v kombinaci se zonálním hnojením, ukázaly pozitivní vliv tohoto opatření na rozvoj kořenů v této zóně. Tuto skutečnost je poté potřebné respektovat při plánování hlubšího kypření v blízkosti řádků chmele.

5.5. Biologické postupy zpracování půdy ve chmelnicích

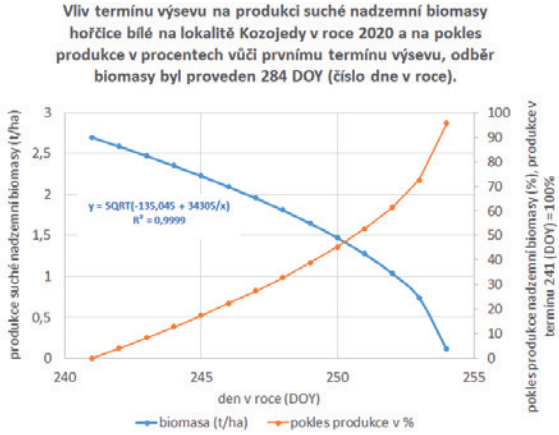
Problematiku využití biologických principů pro provádění prevence a následných nápravných opatření nelze samozřejmě opomenout. Primárně se jedná o již zmíněné systémy výsevů meziplodin do meziřadí. Pozitivní vliv meziplodin na omezení zhutnění půdy poukazují např. Brunotte a Fröba (2007). Tito autoři poukazují na skutečnost, že zhutnění spodní vrstvy půdy od šedesátých do devadesátých let minulého století na orné půdě narůstalo. S obnovením pěstování meziplodin a se změnou konstrukce pneumatik došlo v období let 1990–2003 k poklesu utužení půdy v podorničí na hodnoty z šedesátých let.

Pozitivní efekt na půdní vlastnosti se projevuje především aktivním růstem kořenových systémů rostlin, zejména z hlediska podpory půdní struktury, podpory infiltrace a snižování objemové hmotnosti půdy. Obrázek 31 dokumentuje prokořenění půdy meziplodinami v meziřadí chmelnice.



Obr. 31: Pozitivní vliv kořenů meziplodin na prokořeněnou část orničního profilu v meziřadí chmelnice *(foto Brant)*.

Intenzita prokořenění půdy, ale i potenciál hloubky prokořenění půdy meziplodinami, jsou spojeny s produkcí nadzemní biomasy a s délkou setrvání porostu na stanovišti. Obrázek 32 dokládá vliv termínu výsevu hořčice bílé na produkci nadzemní biomasy na lokalitě Kozojedy v roce 2020. Do termínu vstupu meziplodin do generativní fáze lze předpokládat, že při daném poměru nadzemní a podzemní biomasy se bude obdobným způsobem vyvíjet i produkce podzemní biomasy. Vstup rostliny do generativní fáze je většinou spojen se zastavením tvorby produkce nadzemní a podzemní biomasy. Pozitivní korelaci mezi hloubkou prokořenění půdy a dobou růstu rostliny prokázali např. Mayaki a kol. (1976) a Jaafar a kol. (1993). Ozelenění meziřadí však neřeší jen otázku eliminace zhutnění půdy, ale je spojeno i s omezením eroze, produkcí organické hmoty pro půdu, s fixací uhlíku a s produkcí kyslíku, včetně zvýšení estetického vnímání chmelnice po sklizni chmelových rostlin (obr. 33). Vnos organické hmoty porosty meziplodin je obecně spojován s nárůstem obsahu organické hmoty v půdě, stabilizací půdní struktury apod., včetně podpory mikro a mezoedafonu.



Obr. 32: Vliv termínu výsevu na produkci suché nadzemní biomasy hořčice bílé na lokalitě Kozojedy v roce 2020 v meziřadí chmelnice. Červená křivka znázorňuje procenta poklesu výnosu z hlediska posunutí termínu výsevu.



Obr. 33: Ozelenění meziřadí neřeší jen otázku eliminace zhutnění půdy, ale je spojeno zvýšením estetického vnímání chmelnice po sklizni. Stav porostů hořčice bílé na lokalitě Kozojedy 21.10.2020 *(foto Brant)*.

6. Zonální kypření a hnojení ve chmelnicích

Významnou otázkou je efekt využití zonálního kypření ve spojení s lokálním hnojením ve chmelnicích. Historicky není tato problematika v podmínkách České republiky nová (Rybáček a kol. 1980). Výsledky z pokusů jsou však omezeně dostupné. V posledních deseti letech je problematika zonálního hnojení sledována u polních plodin (kukuřice, řepka, obilniny, slunečnice apod.), např. Hermann a kol. (2012); Brant a kol. (2017b). Obecné závěry, které vycházejí z těchto experimentů, lze s určitou mírou pravděpodobnosti přenést i do chmelnic. Zonální hnojení při kypření může vést k cílenému rozvoji kořenů v místě aplikace hnojiva. Jedná se o tzv. atraktivní hnojiva, jako jsou některé formy fosforu a ionty NH_4^+. Ukládáním hnojiv do spodnějších vrstev půdy dochází v důsledku práce kypřící radlice, za kterou je hnojivo ukládáno, rovněž k vytvoření transportních cest pro vodu, čímž se zvyšuje pravděpodobnost jejich využití. Při malé srážkové aktivitě vykazují hlouběji uložená hnojiva jistější zdroj živin než hnojiva nacházející se na povrchu půdy.

Zonální hnojení má zvýšit dostupnost živin na základě jejich uložení do budoucí, či stávající kořenové zóny. Zároveň musí zajistit infiltraci vody k hnojivu a srážkovou vodu v kypřené zóně zadržet, aby rychle neprotekla do spodních vrstev. Zejména v suchých letech hraje voda zásadní roli, protože umožňuje využít i efektu pozitivního hydrotropismu kořenů. Zásadní vliv na vývoj rostlin hraje i způsob uložení hnojiva, tj. jeho množství, v kypřené zóně. Při využití zonálního hnojení jako hnojení zásobního lze u vytrvalých kultur počítat s dlouhodobější odezvou porostů. Na druhou stranu je třeba zonální hnojení vnímat jako operaci, která zásadním způsobem ovlivňuje prostorové rozmístění půdy v kypřené zóně, tedy rozhoduje o objemové hmotnosti a s ní spojené pórovitosti, čím určuje teplotní a vláhové podmínky půdy i ve vztahu k vývoji kořenů, činnosti bakterií apod.

Jednoznačně však zonální hnojení eliminuje rizika ztráty živin při povrchových aplikacích odtokem, či vytěkáním. V určitých případech může vést ke snížení spotřeby živin na jednotku plochy v důsledku omezení aplikace hnojiva mimo dosah kořenů rostlin. Zároveň je se zonálním kypřením a hnojením nutné kalkulovat s dalšími benefity, jako je odstraňování zhutnění, aplikace stabilizátorů půdní struktury, cílená aplikace půdních bakterií apod.

Na základě analýzy prostorového rozmístění kořenů chmele v půdě, stavu zhutnění a infiltračních procesů ve chmelnicích a prostudování dostupných literárních údajů bylo autorským kolektivem navrženo technické řešení stroje pro zonální kypření a hnojení chmele. Dalším cílem bylo zvýšit variabilitu hnojení na základě směřování hnojiva do odlišných částí půdního profilu, včetně možnosti jeho aplikace na povrch hrůbku na základ osazení zásobníkem hnojiva s větším počtem výstupů aplikovaného hnojiva. Jako základní pracovní nástroj pro kypření půdy byla zvolena radlice s geometrií elevačního úhlu zajišťujícího dobrou vynášecí schopnost v kombinaci se dvěma usměrňujícími disky, které vrací půdu zpět do kypřeného pásu (obr. 34). Před kypřícím ustrojím stroje je umístěn řezný disk s opěrnými koly. Ten nařezává půdu v budoucí trajektorii kypřící radlice (obr 35). Za kypřící radlici lze umístit rozdílné nástroje pro rozdrobení kypřené půdy a pro zpětné utužení půdy. Z hlediska volby typu utužovacích nástrojů, je nutné přihlédnout k požadavkům kladených na drobení či utužení, ale také na celkovou délku pracovní soupravy.




Obr. 34: Kypřící radlice zvedá půdu do prostoru mezi usměrňovací disky, které ji vracejí do kypřeného pásu – ověřovaná konstrukční řešení *(foto Brant)*.




Obr. 35: Řezný disk s opěrnými koly nařezává půdu v budoucí trajektorii kypřící radlice za účelem kvalitního kypření – ověřovaná konstrukční řešení *(foto Brant)*.

Kypřící sekce jsou umístěné na rámu, který umožňuje změnu jejich rozteče ve vztahu k vývoji porostu (obr. 36), rozložení zón zhutnění půdy u řádku a ve vztahu k rozložení kořenů v půdě. Pracovní hloubka se při využití použitých kypřících radlic pohybuje v rozmezí 15 až 35 cm. Za kypřící radlici lze ukládat hnojivo do jedné, či dvou vrstev půdy. Mezi kypřící sekce lze na rám umístit pracovní nástroje pro mělké kypření půdy, za které lze vysévat například i meziplodinu do meziřadí.



Obr. 36: Rám stroje umožňuje změnu rozteče kypřících sekcí i přidání dalších pracovních nástrojů mezi sekce, například pro mělké kypření meziřadí *(foto Brant)*.

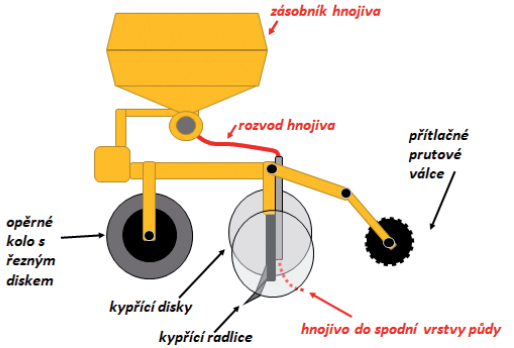
Pro zajištění cíleného hnojení byl stroj osazen zásobníkem na hnojivo s osmi samostatnými výstupy. Na základě požadavků na rozmístění zón ukládaného hnojiva lze hnojivo na základě svedení jednotlivých výstupů do dvou konečných transportních cest aplikovat do jednoho místa za kypřící radlici nebo využít všech osmi výstupů pro samotnou zónu ukládání. To umožňuje pneumatický transport hnojiva. Možnosti variability ukládání hnojiva dokumentuje obrázek 37.

Princip zonálního hnojení a kypření ve chmelnicích

- ukládání hnojiva do spodní vrstvy půdy ke kořenové zóně

Opěrné kolo s řezným diskem zajišťuje dodržení pracovní hloubky a nařezává půdu pro kvalitní práci kypřící radlice. Kypřící radlice zvedá a kypří půdu a postranní usměrňovací a kypřící disky zajišťují návrat nakypřené půdy do kypřeného pásu. Úpravu povrchu kypřené půdy a její zpětné utužení zajišťují přítlačné prutové válce.

Za kypřící radlici je ukládáno hnojivo do spodní vrstvy půdy ze zásobníku hnojiva.



Při využití zásobníku hnojiva s oddělenými komorami lze provést hnojení více druhy hnojiv společně, nebo odděleně (dávkovací mechanismus pro každý zásobník).

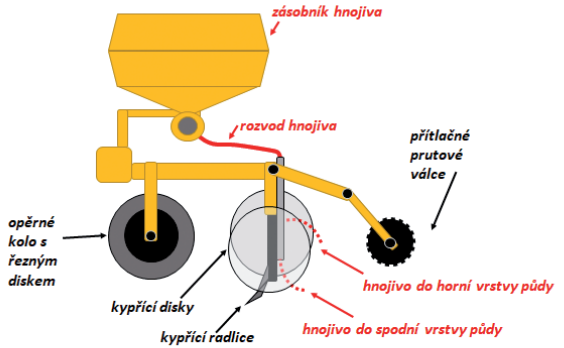
Brant, 2019

Princip zonálního hnojení a kypření ve chmelnicích

- ukládání hnojiva do spodní a horní vrstvy půdy ke kořenové zóně

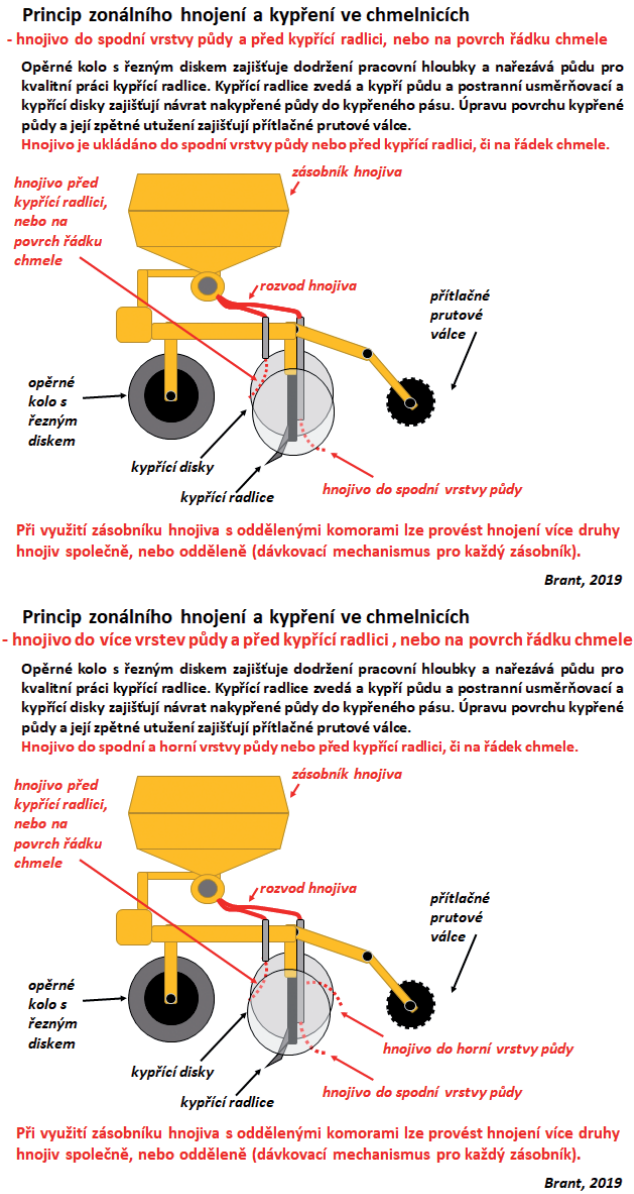
Opěrné kolo s řezným diskem zajišťuje dodržení pracovní hloubky a nařezává půdu pro kvalitní práci kypřící radlice. Kypřící radlice zvedá a kypří půdu a postranní usměrňovací a kypřící disky zajišťují návrat nakypřené půdy do kypřeného pásu. Úpravu povrchu kypřené půdy a její zpětné utužení zajišťují přítlačné prutové válce.

Za kypřící radlici je ukládáno hnojivo do spodní a horní vrstvy půdy ze zásobníku hnojiva.



Při využití zásobníku hnojiva s oddělenými komorami lze provést hnojení více druhy hnojiv společně, nebo odděleně (dávkovací mechanismus pro každý zásobník).

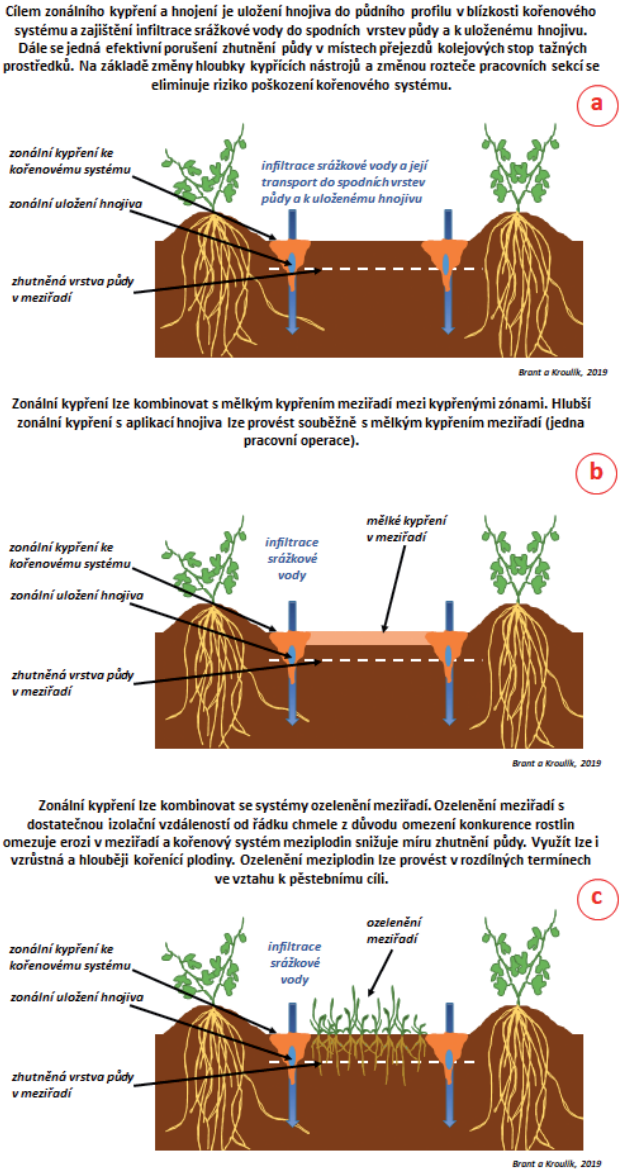
Brant, 2019



Obr. 37: Příklady ukládání hnojiv při zonálním kypření.

Ověřovaná technologie umožňuje provést lokální kypření v blízkosti hrůbků rostlin s cíleným ukládáním hnojiva a se současným omezením zhutnění půdy především v kolejových stopách tažných prostředků (obr. 38a). Při osazení rámu kypřícími radličkami, či dláty, pro mělké kypření lze souběžně operaci spojit s kypřením meziřadí (obr. 38b). Technologie je rovněž cílena do systémů ozelení meziřadí s jeho částečnou kultivací po stranách hrůbků (obr. 38c). Tím je

zajištěna jak kultivace půdy a ukládání hnojiva u kořenové zóny, tak biologické zpracování půdy v meziřadí pomocí kořenů rostlin. Dostatečný rozestup mezi řádkem chmele a pásem vyseté meziplodiny omezuje konkurenci rostlin ve chmelnici o vodu a živiny. Užší pruh ozeleněného meziřadí umožňuje rovněž využití vzrůstných a vytrvalých druhů, jejichž biomasa může být při mulčování rozprostřena na stěnu hrůbku za účelem omezení výparu, stabilizace půdní struktury apod., nebo do místa kypřeného pásu a při zonálním kypření zapravena do půdy. Testovaný typ kypřící radlice je vhodný i pro zapravení porostu meziplodiny.



Obr. 38: Technologické využití systémů zonálního kypření a hnojení.

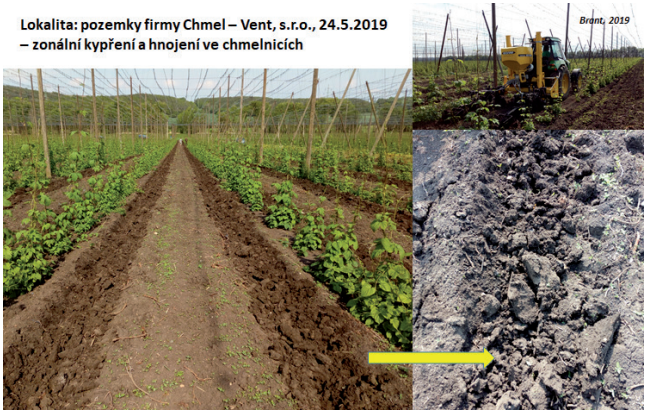
Testování funkčního prototypu kypřiče pro zonální kypření a hnojení do kořenové zóny chmele se současným odstraněním zhutnění půdy v kolejových stopách v meziřadí probíhalo v letech 2019 a 2020. Obrázek 39 dokládá pohyb pracovní soupravy a povrch půdy po zpracování na lokalitě Stekník. Na lehčí půdě docházelo k intenzivnímu kypření půdy a dobrému rozdrobení povrchu kypřeného pásu i v místech pravidelných kolejových stop (obr. 40). Dobré kypření bylo zaznamenáno i v zónách s intenzivním zatížením kolejových stop. V těchto místech však nakypřená půda vykazovala výrazně prizmatickou strukturu. Hnojivo se po aplikaci nacházelo ve spodní polovině kypřeného pásu, což bylo dáno umístěním koncovky transportní trubice hnojiva za radlicí. Na těžší půdě (lokalita Mory) docházelo občas k horšímu uzavření kypřené rýhy, především na velmi zhutněné půdě. Na rozdíl od lehčí půdy byla struktura půdy po kypření hrubší (obr. 41).



Obr. 39: Pohyb pracovní soupravy a povrch půdy po zpracování na lokalitě Stekník 24.5.2019



Obr. 40: Prokypření kypřeného pásu a rozložení hnojiva v půdním profilu na lokalitě Stekník (vlevo kypření bez hnojiva, vpravo s aplikací hnojiva).



Obr. 41: Pohyb pracovní soupravy a povrch půdy po zpracování na pozemku farmy Vent - Chmel 24.5.2019.

Vliv zonálního zhojení byl ověřován na pozemcích ZOS Liběšovice v roce 2020 (13.5.2020). Na pokusných plochách byla provedena plošná aplikace hnojiva Polidap 18 – 46 (100 kg/ha) a zonální aplikace téhož hnojiva při zonálním kypření (obr. 42). Vliv hnojení byl ověřován pomocí analýzy listů. I přes relativně pozdní aplikaci tohoto hnojiva je z výsledků listové analýzy patrný pozitivní trend ve výživovém stavu srovnávaných porostů. Obsah fosforu v rostlinách chmele se tak na plochách se zonálním hnojením z nedostatečného vylepšil na mírný nedostatek. V podzimním období bude tato metoda spojení zonálního kypření s hnojením ověřována jako zásobní hnojení a lze předpokládat, že se v dalším vegetačním roce tento pozitivní trend výživového stavu prohloubí.



Obr. 42: Přítomnost hnojiva v kypřených zónách při zonálním kypření a hnojení byla na pokusných plochách pozorována ještě při kontrole porostů 2.6.2020.

7. Cílená infiltrace vody ke kořenovému systému

Zhutnění půdy v meziřadí, především v místech kolejových stop, zásadním způsobem limituje infiltraci srážkové a závlahové vody do spodních vrstev půdního profilu. Samotné zhutnění půdy v kolejových stopách omezuje, či zcela zabraňuje, vsakování vody ke kořenům chmele a přispívá ke vzniku povrchového odtoku.

Cílené porušení zhutněné půdy nejen na povrchu kolejových stop, ale i ve spodních částech půdního profilu, by z hlediska vývoje nových technologií mělo zajistit infiltraci vody ke kořenovému systému i k zonálně uloženému hnojivu aplikovanému souběžně při kypření půdy. Infiltrace vody do zóny s uloženým hnojivem je spojena se zvýšením jeho využití rostlinami ve vlhké půdě a zároveň s procesem lepšího přesunu živin do okolí rýhy, či depa, s aplikovaným hnojivem.

Kypření půdy v místě kolejových stop však nesmí být spojeno se vznikem hrubé rýhy s tzv. umáznutou půdou na jejím dně a po jejích stranách. Tato situace vede sice k pohybu vody do rýhy, ale ze samotného prostoru rýhy je pohyb vody omezen. Vytvořená rýha může dokonce přispívat k podpovrchovému soustřednému odtoku vody ve směru svahu pozemku, včetně případného odnosu hnojiv aplikovaných do kypřené zóny.

Za negativní lze rovněž považovat vznik hrubé půdní struktury (vznik hrud). Hrubé částice a větší mezipůdní prostory urychlují infiltrační pohyb vody, ale při nedostatku srážek zásadně omezují vzlínání vody ze spodních vrstev půdy k povrchu. Při aplikaci hnojiva do této zóny lze počítat s jeho menším využitím rostlinami, protože lze v tomto prostoru očekávat omezený růst kořenů. Tento problém je typický pro chmelnice založené na půdách s vyšším obsahem jílovitých částic. Velmi opomíjenou skutečností je riziko posunu jemných částic půdy rozplavených z povrchu hrud hrubými póry do spodních vrstev, kde mohou přispět k většímu riziku vzniku zhutněné vrstvy.

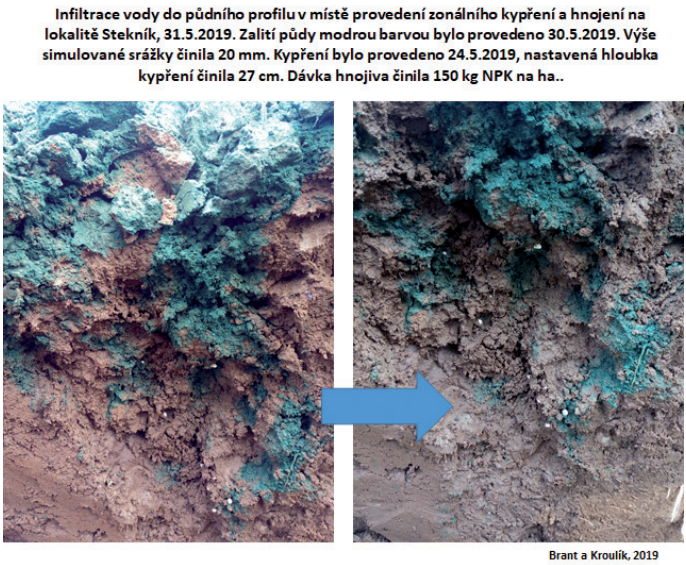
7.1. Cílené kypření pro podporu infiltrace

V rámci výzkumných aktivit autorského kolektivu jsou vyvíjena technická řešení pro systémy cílené infiltrace vody do kořenové zóny v kombinaci s cílenou zonální aplikací hnojiv ke kořenům. V roce 2019 byly hodnoceny infiltrační procesy na plochách s provedeným zonálním kypřením a hnojením. Zalití pokusných ploch obarvenou vodou (metoda modré infiltrace) bylo provedeno 30.5.2019. Množství vody bylo simulováno v objemu 20 mm dešťových srážek. Cílem bylo hodnotit vydatnější déšť, nikoli extrémní srážku. Na lokalitě Kněžice (farma Chmel–Vent) proběhlo před stanovením infiltrace následně po provedení zonálního kypření ještě přihrnutí hrůbků.

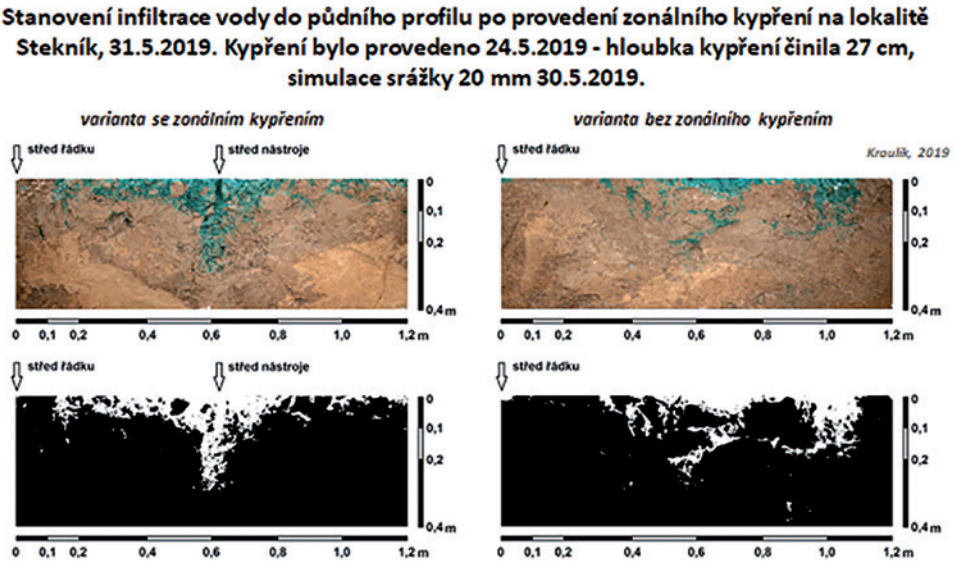
To se projevilo nejen na stavu horní vrstvy půdy, ale také došlo k zatížení půdy po boku hrůbku s chmelovými rostlinami kolejovou stopou traktoru. Přesto byla v místě provedení kypření zaznamenána infiltrace vody do půdy (obr. 43). Na plochách na farmě Stekník nebyly pokusné plochy od provedení zonálního kypření a hnojení do termínu hodnocení infiltrace kultivovány (obr. 43). Na plochách s cíleným zonálním kypřením a hnojením byla zaznamenána dobrá infiltrace do kypřené zóny, včetně míst s uloženým hnojivem (obr. 44).



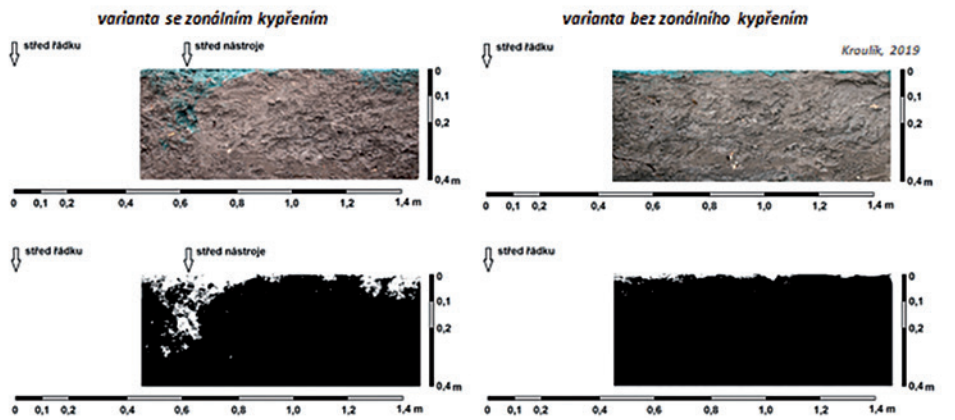
Obr. 43: Detailní pohled na proces infiltrace vody do kypřeného pásu na hodnocených lokalitách (zdroj Brant a kol., 2019b).



Obr. 44: Na plochách s cíleným zonálním kypřením a hnojením byla zaznamenána dobrá infiltrace do kypřené zóny, včetně míst s uloženým hnojivem (zdroj Brant a kol., 2019b).



Obr. 45: Infiltrační procesy po provedení zonálního kypření a na kontrolní variantě na lokalitě Steknik, 31.5.2019. Trajektorie kypřící radlice se nacházela 60 cm od středu řádku rostlin (zdroj Brant a kol., 2019b).



Obr. 46: Infiltrační procesy po provedení zonálního kypření a na kontrolní variantě na farmě Chmel - Vent, 31.5.2019. Trajektorie kypřící radlice se nacházela 60 cm od středu řádku rostlin (zdroj Brant a kol., 2019b).

Srovnání infiltračních procesů na hodnocených lokalitách mezi plochou se zonálním kypřením a hnojením s plochou bez tohoto kypření dokládají obrázky 45 a 46. Na obou lokalitách podpořilo provedení zonálního kypření infiltrační procesy v místě kypření. Tím došlo k prostupu

vody i do spodních vrstev půdního profilu a do zóny aplikovaného hnojiva a tím i ke kořenovému systému chmele. Na lokalitě Stekník byly stanoveny lepší hodnoty infiltrace i na ploše bez zonálního kypření půdy. Primárním faktorem určujícím preferenční toky vody v meziřadí byly trajektorie pracovních nástrojů použitých při kypření meziřadí (obr. 45). Podstatně nižší hodnoty infiltrace byly v meziřadí stanoveny na chmelnici firmy Chmel-Vent, kde se na infiltračních procesech s velkou pravděpodobností projevilo provedené přihrnutí hrůbků (obr. 46).

Na vrcholu hrůbku s chmelovými rostlinami i na jeho bočních stranách ale dobrá propustnost pro vodu prokázána nebyla. Po zalití byl i zde patrný efekt rozplavení půdní struktury, který vedl k omezení infiltrace. Nejen v důsledku tvaru hrůbku (šikmé stěny), ale i horší struktury půdy, docházelo k odtoku vody z hrůbku do meziřádku. Tato skutečnost může být spojena i s případným odnosem jemných částic půdy včetně živin, které byly aplikovány na jeho povrch. Tento efekt je typický pro polní plodiny pěstované v hrůbcích. Jednou z možností eliminace odtoku vody je vytvoření tzv. vejčitého tvaru hrůbku, který se vyznačuje rovným, či mírně propadlým širším vrcholem hrůbku. Druhou možností je pokrytí stěn hrůbku mulčem. U běžných polních plodin se pokrytí rovného, či propadlého, vrcholu hrůbku nedoporučuje z důvodu zajištění ohřevu půdy v hrůbku. Na základě dostupných informací v literatuře vztahující se k pěstování chmele, však nelze určit, zda je tato otázka u chmele relevantní.

Provedené ověření zonálního kypření a hnojení potvrdily již dříve zjištěné skutečnosti naším pracovištěm ve vztahu k infiltračním procesům a eliminaci zhutnění půdy. Experimenty potvrdily i předpoklad cíleného pohybu kol tažných prostředků mimo osu trajektorie kypřících radlic. Zásadní otázkou je však ověření efektivity zonálního hnojení. Nejedná se zde jen o výši dávek a typ minerálních hnojiv, ale také o termíny aplikace. Lze předpokládat, že pozitivní efekt lze očekávat při využití zonálního hnojení při základním hnojení. Další otázkou je využití při hnojení během vegetace, kde lze jednoznačně pracovat se zonální diferencovanou aplikací. Zde se jedná o rozložení dávky hnojiva při kypření na řádek (povrch půdy) a do půdy ke kořenovému systému. Nezodpovězena však zůstává otázka, zda zonální hnojení může vést ke snížení spotřeby živin na jednotku plochy. Na rozdíl od hodnocení vlivu zonálního kypření na eliminaci zhutnění půdy a podporu infiltrace je ověření zonálního hnojení složitější a dlouhodobější proces.

7.2. Rozptyl závlahové vody při kapkové závlaze

V roce 2020 byl ověřován vliv výšky umístění kapkové závlahy na dopad závlahové vody na povrch půdy a na její infiltraci. Pro simulaci byly instalovány dvě samostatné závlahové větve ve chmelnici na lokalitě Stekník. Jedna větev byla umístěna na konstrukci chmelnice nad středem řádku (výška 7 m) a druhá nad středem řádku ve výšce 0,75 m. Cílem bylo určit velikost plochy, kterou je půda ve chmelnici při daném systému závlahy dopadající vodou pokryta a současně stanovit i hloubku infiltrace vody.

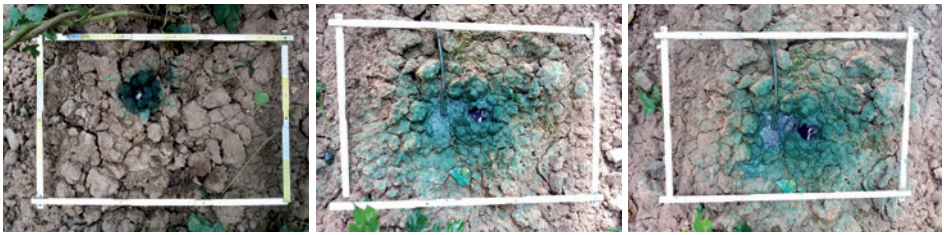


Obr. 47: Pro simulaci byl využit zadešťovač Technické fakulty a pro zavlažování bylo využito obarvené (modré) vody *(foto Brant)*.

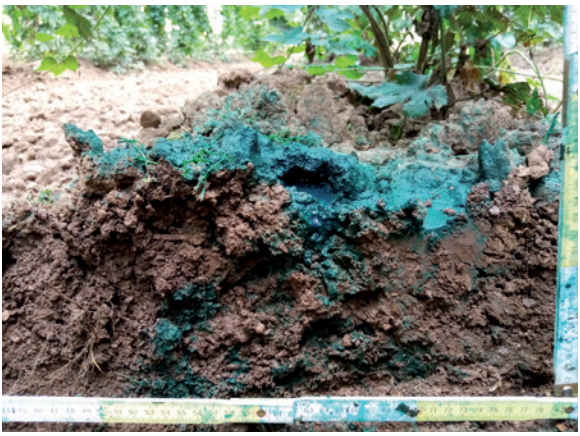
Pro simulaci byl využit zadešťovač Technické fakulty ČZU a pro zavlažování použita obarvená modrá voda o tlaku 0,15 MPa (obr. 47). Dávka vody na jeden kapkovač činila 1,68 litru za hodinu. Závlaha probíhala v intervalech 20 min závlaha a dvacet minut přerušení (cyklus byl proveden 3x).

Po každém cyklu závlahy se měřilo pokrytí povrchu půdy v místě dopadu kapek (velikost modré plochy) a hloubka infiltrace obarvené vody do hrůbku.

Bylo zjištěno, že nižší umístění závlahového systému je spojeno s vyšší koncentrací vody na menší ploše, včetně omezení jejího rozstřiku po dopadu na povrch půdy či rozptylem v důsledku dopadu na listy. Plocha dopadu srážkové vody se zásadním způsobem nezměnila ani po 60 minutách zavlažování. Plocha obarvená modrou barvou v okolí dopadu kapek činila přibližně 0,09 m^2 a kapalina pronikla po 60 min zavlažování do hloubky 20 cm půdy ve středu hrůbku. Stav povrchu půdy v místě dopadu kapek zachycuje obrázek 48 a infiltraci vody do půdy obrázek 49.

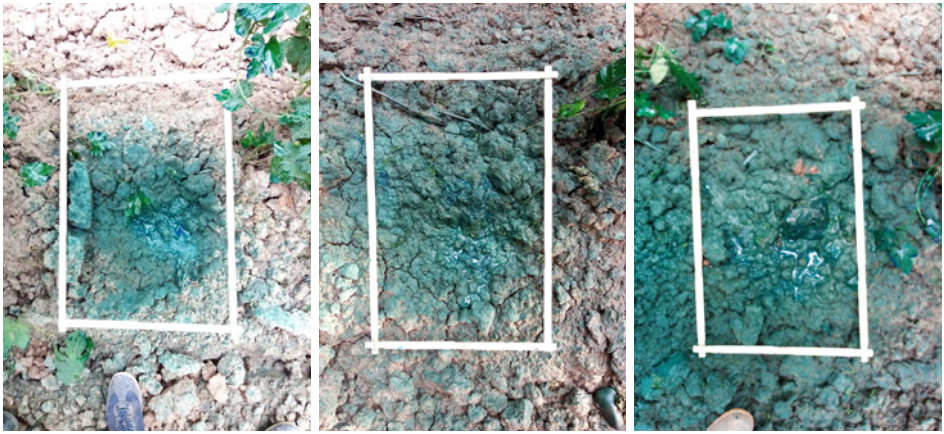


Obr. 48: Změna plochy povrchu půdy po dopadu kapkové závlahy z výšky 0,75 m – horní fotografie dokládá stav po prvním cyklu závlahy, uprostřed po druhém a spodní po třetím cyklu *(foto Brant)*.



Obr. 49: Infiltrace závlahové vody do půdního profilu při výšce dopadu kapek 0,75 m, stav po třetím zadešťovacím cyklu *(foto Brant)*.

Umístění závlahového systému na vrcholu konstrukce chmelnice je spojeno s vyšším pokrytím povrchu půdy chmelnice z důvodu jejího rozptylu rozstřikem po dopadu na povrch půdy či rozptylem v důsledku dopadu na listy (obr. 50). Plocha dopadu srážkové vody s dobou závlahy zásadním způsobem narůstala a po 1 hod zavlažování činila v průměru více než 1 m^2. Kapalina pronikla po jedné hodině zavlažování do hloubky 20–40 mm půdy ve středu hrůbku (obr. 51).

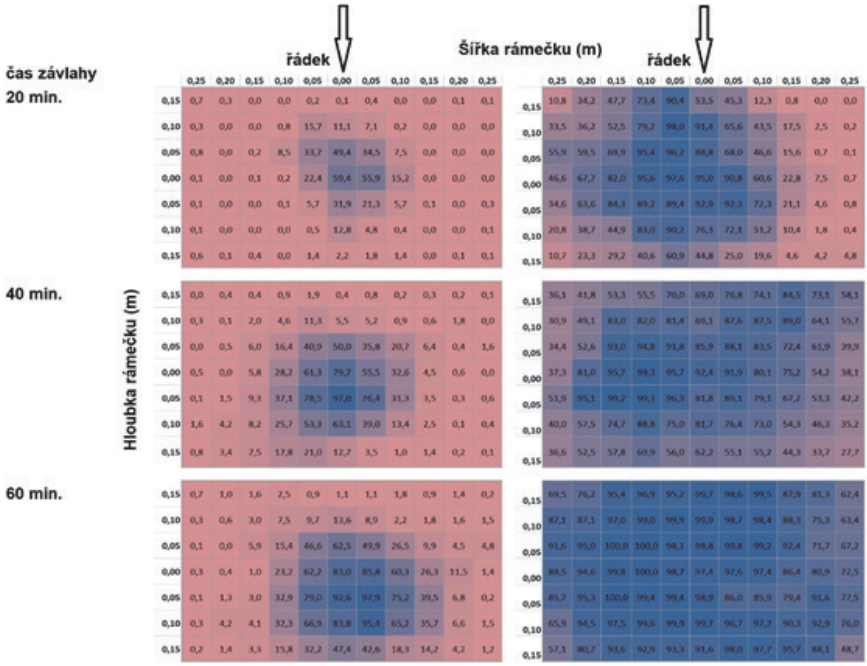


Obr. 50: Změna plochy povrchu půdy po dopadu kapkové závlahy z výšky 7 m – zleva – první až třetí cyklus *(foto Brant)*.

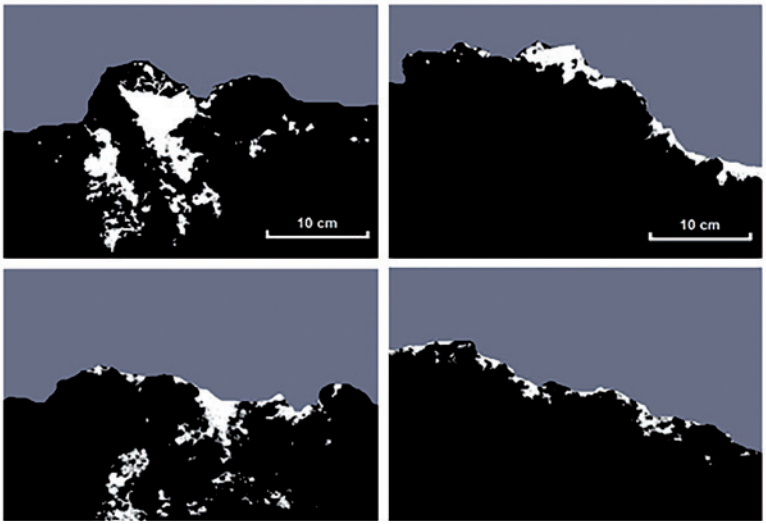


Obr. 51: Infiltrace závlahové vody do půdního profilu při výšce dopadu kapek 7 m, stav po třetím zadešťovacím cyklu, *(foto Brant)*.

Obrazové podklady doplňuje následující grafické zpracování (obr. 52). Z barevné škály je patrný charakter rozptylu závlahové vody a také charakter rozstřiku vody. Hodnoty udávají procenta pokrytí v jednotlivých plochách rámečku. Hodnota je rovna průměru ze 4. opakování. Další grafické zpracování (obr. 53) dokládá rozdíly v hodnotách infiltrace vody do hloubky a profilu řádku. Z obrázku je patrný výraznější průsak do větších hloubek ve spojení s výškou dopadu kapek z 0,7 m. Při výšce dopadu 7 m je závlahová voda rozptýlena na větší plochu, ale zasakuje se pouze do vrchní vrstvy půdy.



Obr. 52: Hodnoty pokryvnosti plochy řádku chmele (%) pro rozdílnou výšku umístění kapkovačů. Vlevo výška dopadu 0,7 m, vpravo výška dopadu 7 m.



Obr. 53: Rozdíly v infiltraci vody do půdního profilu pro rozdílnou výšku umístění kapkovačů. Vlevo výška dopadu 0,7 m, vpravo výška dopadu 7 m. Bílá barva představuje infiltrovanou vodu. Hodnoty ohraničuje profil řádku chmele. Profil řádku je dán přechodem barev.

Z hlediska stanovení dávky závlahy by se mělo vycházet z velikosti plochy, na kterou voda dopadá. Při zvýšení rozptylu dopadající vody je nutná vyšší dávka celkové vody, protože voda pomaleji proniká do půdy. Při nižší výšce se vytváří hlubší kráter v místě dopadajících kapek, z něho je však voda méně rozptylována rozstřikem. Je-li hladina vody na povrchu půdy v důsledku pomalé infiltrace větší než 1 mm, zásadně se omezuje rozstřik.

Vyjdeme-li z předpokladu, že při umístění kapkovače 7 m nad povrchem je plocha pokrytá dopadající vodou větší než 1 m^2 a při výšce kapkovače 0,75 m pouze 0,13 m^2, tak s poklesem plochy narůstá i výše srážky v mm vodního sloupce. Je proto otázkou, jak efektivní je aplikace kapkové závlahy umístěné na stropu konstrukce ve výšce 7 m, kdy je voda rozptylována do velké plochy, zvyšuje se kapková eroze a pro ovlhčení půdního profilu při dané ploše dopadu vody je potřeba větší množství vody.

7.3. Rizika povrchové závlahy

Výše uvedená pozorování potvrdila opodstatněnost úvah o umístění zavlažovacích systémů do půdy ke kořenovému systému nejen z důvodu úspory vody, ale také o možnosti efektivního spojení závlahy a výživy porostů. Využití závlahových systémů pro aplikaci živin (tzv. fertigace) je jednou z nejefektivnějších metod výživy rostlin. Jednak se jedná o primární provlhčení půdy před provedením hnojení v budoucí zóně ukládaného hnojiva a zvýšení využití hnojiva, které je ukládáno do vlhké půdy, což zvyšuje jeho využitelnost rostlinami a současně eliminuje rizika ukládání hnojiva na povrch půdy (povrchová salinita, erozní smyv, nedostupnost živin při suchém počasí, omezení degradace půdní struktury apod. Nesprávné nastavení dávky závlahy při aplikaci z kapkovačů umístěných na stropu konstrukce chmelnice může zásadním způsobem zvyšovat erozní rizika. Vysoké dávky závlahové vody v kombinaci s dopadovou výškou přispívají k lokálnímu eroznímu poškození půdy, včetně rozplavení půdní struktury (obr. 54).



Obr. 54: Degradace povrchu půdy a její horní vrstvy v důsledku kapkové závlahy umístěné na stropu konstrukce chmelnice *(foto Brant)*.

Výskyt zhutnění půdy po stranách řádků chmele v důsledku pohybu mechanizace vedoucí k omezenému prokořenění této zóny, včetně omezené infiltrace vody do půdy, ale i pohybu vody ve zhutněných vrstvách poukazují na skutečnost, že uložení zavlažovacího systému bočně k řádku chmele není optimálním řešením. Navíc by vliv závlahy vedoucí ke zvýšené vlhkosti půdy mohl vést ke zvýšení procesu zhutnění. Za efektivní se jeví uložení zavlažovačů do středu budoucího řádku chmele. Tyto systémy jsou však v současné době ve fázi prvotního ověřování.

8. Eliminace erozních procesů ve chmelnicích

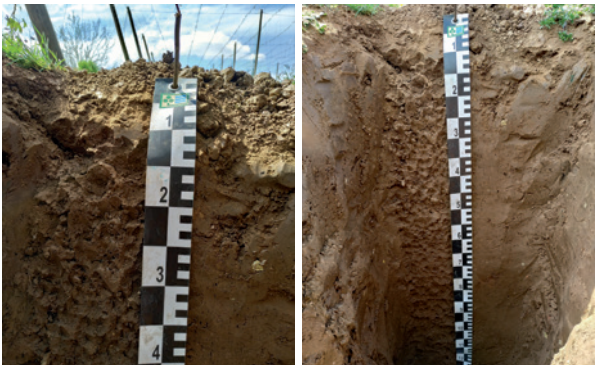
Chmelnice a obecně vytrvalé kultury (např. vinná réva) jsou specifické pěstováním v řadách. Při tradičním tzv. konvenčním způsobu pěstování je snaha udržovat prostor meziřadí zcela bez rostlinného pokryvu (obr. 55). Tento druh hospodaření zejména v České republice převažuje a má nepochybně řadu výhod. Z pohledu ochrany půdy před vodní erozí a trvale udržitelného rozvoje se však klasické hospodaření ve chmelnicích jeví jako nedostatečné. To potvrzuje i Janeček a kol. (2012) v metodice „Ochrana zemědělské půdy před erozí", kde uvádí hodnotu ochranného vlivu vegetace (C-faktoru) pro chmelnice 0,8. Jedná se o nejvyšší hodnotu pro uváděné zemědělské plodiny. Pro srovnání, kukuřice na zrno má v metodice uvedenou hodnotu 0,61, kukuřice na siláž 0,72 a rané brambory 0,6. Vysoká náchylnost půdy k erozi je daná tím, že meziřadí není při konvenčním hospodaření nijak chráněno proti dopadajícím dešťovým kapkám (Janeček, 2008). Při výskytu erozně nebezpečných srážek snadno dochází k překročení infiltrační kapacity půdy, postupně se zvyšuje půdní vlhkost a vzniká povrchový odtok, který odnáší uvolněné půdní částice (Zachar, 2011; Poesen a kol., 2003). Pokud se pozemky chmelnic vyskytují v morfologicky členitém území, dochází k vodní erozi při každém větším dešti (obr. 56). Během několika málo let tak může v důsledku eroze dojít ke snížení orniční vrstvy i o několik centimetrů. V souvislosti s tím je potřeba připomenout, že následná obnova půdy je velmi dlouhým procesem trvajícím mnohdy i stovky let.



Obr. 55: Konvenční hospodaření ve chmelnicích bez rostlinného pokryvu v meziřadí *(foto Kabelka).*



Obr. 56: Smytá půda po přívalovém dešti ve chmelnici akumulovaná ve spodní části pozemku *(foto Kabelka)*.



Obr. 57: Půdní profil vzniklý dlouhodobou akumulací erozních sedimentů v dolní části svažité chmelnice. Ani ve hloubce 120 cm není patrný přechod do jiného půdního horizontu *(foto Veselý)*.

Vodní eroze patří mezi nejčastěji se vyskytující a nejzávažnější degradační procesy na zemědělské půdě (Boardman a kol., 1990). Lze ji označit za přírodní proces, během kterého dochází k rozrušování povrchu půdy, transportu půdních částic a jejich následné akumulaci v rovinatějších částech pozemků (obr. 57). V některých případech je půda smyta i mimo zemědělský pozemek, kde je příčinou celé řady problémů (Blanco a Lal, 2008). Příkladem může být ukládání smyté půdy v říčních korytech a vodních nádržích (Mullan, 2013). Do vodních toků takto proudí množství těžkých kovů, hnojiv a pesticidů, což se negativně projevuje v kvalitě vodních zdrojů (Vanmaercke a kol., 2010). Přestože je výskyt vodní eroze přirozený proces a nelze ji zcela zamezit, její rozsah je silně ovlivňován lidskou činností, obzvláště pak způsobem hospodaření (Montgomery, 2007). Na výskyt vodní eroze má vliv řada dalších ukazatelů, z nichž mezi nejdůležitější patří: topografické podmínky, vegetační pokryv půdy, intenzita srážek a jejich časové rozdělení v průběhu roku či náchylnost půdy k erozi (Blanco a Lal, 2008; Zachar, 2011).

Vodní eroze je pouze jedním z celé řady degradačních procesů probíhajících na zemědělské půdě. Jednotlivé degradační procesy spolu vzájemně souvisí a převažující typ degradace zpravidla podmiňuje vznik dalších typů (obr. 58). Dlouhodobá degradace půdy postupně snižuje půdní úrodnost a zhoršuje celkový stav půdy. Proto je důležité na půdu nahlížet komplexně a snažit se předcházet všem formám její degradace. Cílem optimálního způsobu hospodaření ve chmelnicích by proto mělo být racionální řešení, které zajistí dostatečnou ochranu půdy na erozně ohrožených pozemcích bez negativních dopadů na výslednou produkci hlavní plodiny a současně nebude zásadně zasahovat do zaběhnutých technologických postupů. Řešení rovněž musí být pro případné uživatele ekonomicky udržitelné.



Obr. 58: Provázanost jednotlivých degradačních procesů probíhajících v půdě.

8.1. Ozelenění meziřadí jako protierozní opatření

Možnosti pro aplikaci protierozních opatření ve chmelnicích jsou ve srovnání s ostatními zemědělskými plodinami značně omezené. Hlavní příčinou je přítomnost chmelové konstrukce a pěstování chmele v řadách, které neumožňuje například změnit směr jízdy. Pokud je tedy chmelnice založena po spádnici, nelze uplatnit vrstevnicové hospodaření. Tuto změnu je možné provést pouze při zakládání nových chmelnic. I vrstevnicové hospodaření ve vytrvalých kulturách má však své limity. Chmelnice vyskytující se na velmi sklonitých pozemcích nejsou pro vrstevnicové hospodaření vhodné z hlediska bezpečnosti, kdy hrozí riziko převrácení zemědělských strojů.

Při pěstování jiných druhů vytrvalých kultur (například vinice, ovocné sady) se často využívá technologie tzv. ozeleněného meziřadí. Tento způsob hospodaření je v praxi běžně aplikován, přestože není v současné době přímo legislativně vyžadován. Na sklonitých pozemcích vinic a sadů je nejčastěji k vidění celoplošné ozelenění nebo ozelenění každého druhého řádku (Pavloušek, 2011). Hospodaření ve chmelnicích má při srovnání s jinými vytrvalými kulturami svá specifika (na jaře se provádí řez chmelových babek, v průběhu vegetace přiorávka řadů a při sklizni se strhává z konstrukce nadzemní část rostliny). Tyto úkony se však, kromě přiorávky chmelových rostlin, zásadně nedotýkají meziřadí. Proto by i ozeleněné meziřadí chmelnic mohlo být jednou z cest, jak výskyt vodní eroze omezit (obr. 59).



Obr. 59: Kvetoucí svazenka vratičolistá zasetá v meziřadí *(foto Kabelka)*.

Výzkumem a možnostmi ochrany meziřadí chmelnic před vodní erozí se v ČR již několik let věnuje Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. (dále VÚMOP). Tým odborných pracovníků disponuje polním simulátorem deště, který umožňuje měření vodní eroze přímo v terénu (obr. 60). Simulátory deště se používají pro měření vodní eroze po celém světě (Meyer a Harmon, 1979; Vahabi a Nikkami, 2008; Lasso a kol., 2015). Naměřené výsledky poskytují jedinečné údaje o množství smyté půdy, velikosti povrchového odtoku či o rychlosti infiltrace vody do půdy. V České republice obecně slouží měření provedená VÚMOP jako podklad pro rozhodování státní správy. Zadešťovány jsou zpravidla pozemky, na kterých jsou aplikovány různé technologické postupy pěstování zemědělských plodin a následně porovnávány mezi sebou. Ne jinak je tomu i v případě chmelnic, kde jsou simulace deště zaměřeny zejména na prostor meziřadí. Při simulacích bylo porovnáváno meziřadí bez rostlinného pokryvu charakteristické pro konvenční hospodaření s meziřadím, ve kterém byly zasety různé druhy meziplodin. V průběhu let 2016–2020 byla měření prováděna vždy několikrát do roka podle příručky „Ochrana zemědělské půdy před erozí" (Janeček a kol., 2012) s cílem zachytit různé růstové fáze meziplodin.



Obr. 60: Polní simulátor deště využívaný na VÚMOP umístěný ve chmelnici *(foto Kabelka)*.

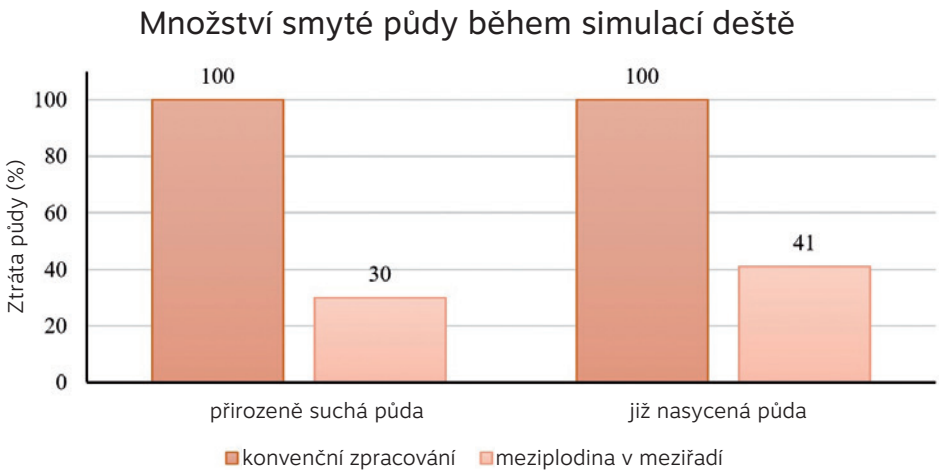
8.2. Protierozní účinnost meziplodin a vhodné druhy do meziřadí

Z dosavadních poznatků vyplývá, že zařazování meziplodin má pozitivní vliv prakticky ve všech systémech, kde se hospodaří na půdě. Při ochraně půdy před vodní erozí je u meziplodin zásadní jejich pokryvnost povrchu. S postupným růstem meziplodin se pokryvnost povrchu zvyšuje, čímž dochází k omezování projevů vodní eroze. Chmelnice postihuje zejména vodní eroze vyvolaná jarními a letními přívalovými dešti (Štranc a kol., 2013). Na těchto pozemcích je možné v horních částech svahů pozorovat méně patrnou plošnou erozi. Ta ovšem přechází ve středních a především pak ve spodních částech svahů v mnohem více závažnou rýhovou (obr. 61) až výmolovou erozi (Štranc a kol., 2008). Meziplodiny ve chmelnicích mohou být zakládány v různém časovém období v průběhu roku, z pohledu prevence vodní eroze by však měla být snaha dostat meziplodiny do meziřadí co nejdříve. Výsev meziplodin by se proto měl provádět ideálně do první poloviny dubna. Kvalitní založení v období s dostatkem vláhy v půdě je velmi důležitým faktorem. Správným načasováním lze nejen pozitivně ovlivnit následné vzejití zasetých rostlin, ale i snížit riziko výskytu plevelů v průběhu vegetační sezóny.

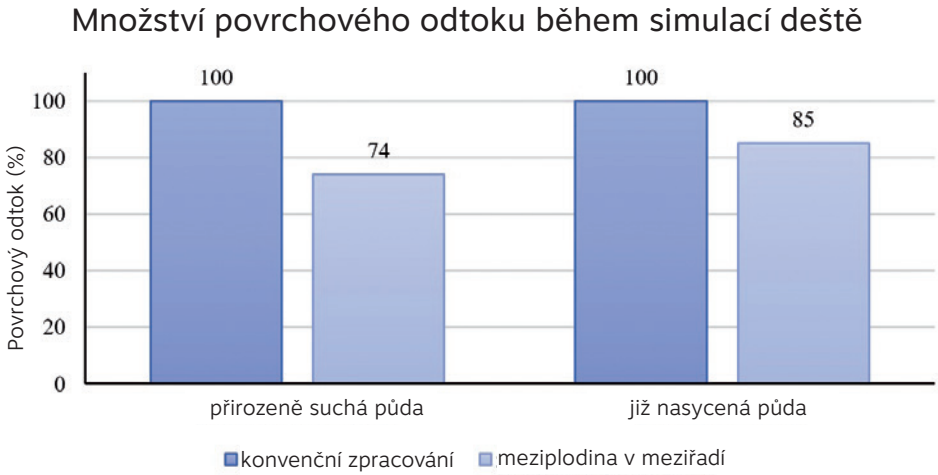


Obr. 61: Počínající rýhová vodní eroze v meziřadí chmelnic *(foto Kabelka)*.

Výsledky ze simulátoru deště ukazují, že mezi jednotlivými druhy meziplodin nejsou v celkové ztrátě půdy výrazné rozdíly. Obecně má každá meziplodina své výhody a nevýhody a je na daném pěstiteli, který druh si vybere. Dosavadní měření potvrdila silnou protierozní účinnost meziplodin. Ztráta půdy byla u meziplodin v meziřadí během vegetační sezóny snížena přibližně o dvě třetiny v porovnání s konvenčním hospodařením (obr. 62). Částečně je omezován i povrchový odtok díky vyšší drsnosti povrchu (obr. 63), snížení ale nebylo tak výrazné jako u ztráty půdy.



Obr. 62: Průměrné množství smyté půdy naměřené polním simulátorem deště.



Obr. 63: Průměrná velikost povrchového odtoku naměřená polním simulátorem deště.

V rámci polního ověřování vlivu osetí meziřadí ve chmelnicích na omezení erozních rizik byly testovány rozdílné druhy plodin. Jedním z druhů byla svazenka vratičolistá. Jedná se o nenáročnou, středně vysokou, modrofialově kvetoucí rostlinu. Je charakteristická rychlým růstem a včasným kvetením (obr. 64). Je jednoletá a po uzrání semen usychá. Při použití svazenky vratičolisté je potřeba počítat s tím, že jednotlivé rostliny jsou křehké, a i při mírném poškození zasažená část usychá. V okolí květů svazenky se vyskytuje v průběhu sezóny velké množství opylovačů.



Obr. 64: Svazenka vratičolistá má v meziřadí příznivý krajinotvorný efekt *(foto Kabelka)*.

Žito ozimé je jednou ze základních obilnin pěstovaných v České republice (obr. 65). Není příliš náročné na pěstování, má dobré fytosanitární účinky na půdu a zanechává poměrně hodně organických zbytků z kořenového systému. Žito ozimé patřilo k nejlépe zapojeným meziplodinám a vykazovalo dobrou odolnost vůči zaplevelení. Z hlediska protierozní ochrany dosahovaly výsledky měření nejlepších hodnot.





Obr. 65: Žito ozimé se vyznačuje vysokou schopností zapojení porostu a pokrytí povrchu půdy *(foto Kabelka)*.

Hořčice bílá je jednoletá, na půdu nenáročná rostlina se žlutými květy. Jedná se o významnou medonosnou rostlinu vyznačující se vláknitým kořenem, ze kterého vyrůstá rozvětvená lodyha. V meziřadí chmelnic vytváří hořčice velké množství nadzemní biomasy (obr. 66).



Obr. 66: Hořčice bílá přibližně dva měsíce po výsevu *(foto Kabelka)*.

Luskovinoobilné směsi byly ve chmelnicích testostávny ve dvou různých kombinacích. První směs se skládala celkem ze čtyř druhů plodin: hrách setý 20 %, vikev setá 20 %, oves setý 30 %, jarní pšenice 30 % (obr. 67). Druhá kombinace byla: oves setý 50 %, vikev setá 50 %. Rostliny luskovinoobilné směsi dobře odolávají přejezdům agrotechniky. Výhodou technologie je různě dlouhé vegetační období vysetých plodin. Zatímco v průběhu léta některé rostliny usychají, jiné stále vegetují a udržují porost v meziřadí v dobrém stavu.



Obr. 67: Luskovinoobilná směs v meziřadí přibližně dva měsíce po setí *(foto Kabelka)*.

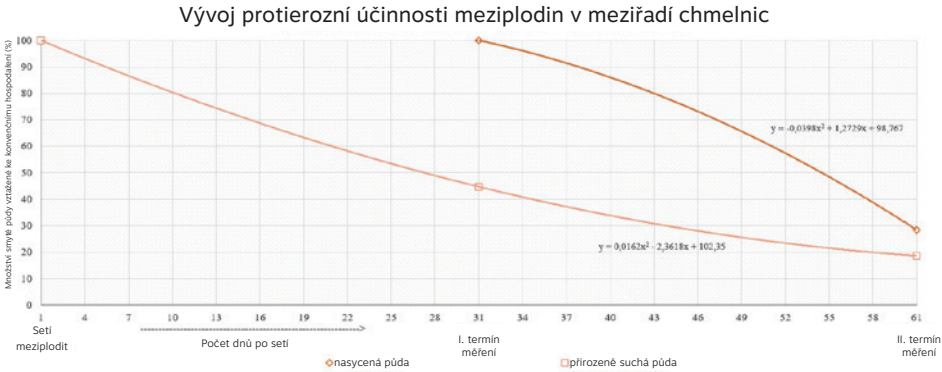
Jetel nachový je jednoletá přezimující jednosečná rostlina někdy nazývaná jako „inkarnát" (obr. 68). Květenství je karmínově červené. Je vhodným melioračním činitelem při zvyšování úrodnosti půd formou zeleného hnojení. Při ověřování ve chmelnicích byl porost zakládán v jarním období. Podobně jako u svazenky vratičolisté i květy jetele nachového lákají opylovače.



Obr. 68: Rostliny jetele nachového se na počátku vývoje porostů vyznačují pomalejší dynamikou růstu *(foto Kabelka)*.

Při využívání meziplodin je půda nejvíce náchylná k vodní erozi do doby, než dojde k vzejití zasetého porostu, tj. v období před a krátce po setí. Již měsíc po zasetí dokáží meziplodiny snižovat vodní erozi (Kabelka a kol., 2021). Jejich protierozní účinnost se postupně zvyšuje

až do plného zapojení (obr. 69). Pokud dojde k založení porostu v první polovině dubna, jsou meziplodiny v období nejčastějšího výskytu přívalových srážek plně zapojeny a účinně brání nadměrnému smyvu půdy.



Obr. 69: Vývoj protierozní účinnosti meziplodin v prvních dvou měsících po zasetí.

Simulátorem deště pracovníci VÚMOP ověřili výše uvedených pět druhů rostlin. Za vhodné meziplodiny je však možné považovat také další druhy. Krofta a kol. (2012) uvádí, že lze ve chmelnicích využít v podstatě jakékoliv druhy rostlin, které jsou primárně určeny pro zelené hnojení. K již ověřeným meziplodinám patří například sléz přeslenitý, světlice barvířská, jílek vytrvalý, lesknice kanárská (Brant a kol., 2008). Sléz přeslenitý je jednoletou pícninou spadající do meziplodin s příznivým vlivem na půdní vlastnosti (Vach a Javůrek, 2007). Optimální jsou pro něj dobře zpracovatelné hlubší půdy s dobrými vláhovými poměry a dostatkem živin. Světlice barvířská se řadí do čeledi hvězdnicovitých. Na půdu nemá velké nároky a je vhodnou plodinou na suché, vápenité půdě. Její kořeny dosahují do hloubky 2 až 2,5 m. Za hlavní klady této rostliny jsou považovány suchovzdornost a rychlý růst při pozdějším výsevu (Badalíková a Hrubý, 2009). Jílek vytrvalý patří mezi volně trsnaté trávy a je typickým druhem mírného podnebí. Vyhovují mu vlhčí podmínky. Naopak nedaří se mu na kyprých, kyselých půdách s nedostatkem přístupných živin. Má dobrou konkurenční schopnost a vyznačuje se rychlým růstem (Brant a kol., 2008). Lesknice kanárská je pícní travou z čeledi lipnicovitých. Je jednoletá, poměrně rychle roste a vytváří vzpřímené, bohatě olistěné trsy. Na půdní podmínky a výživu není náročná a dobře snáší sucho (Badalíková a Hrubý, 2009).

8.3. Další benefity meziplodin a případná omezení technologie

Kromě protierozní účinnosti mají meziplodiny celou řadu dalších pozitivních funkcí. Mezi největší patří obohacování půdy o snadno rozložitelnou organickou hmotu ze vzniklé biomasy, která se zaorává zpět do půdy. Její kvalita i množství jsou závislé na druhu pěstovaných meziplodin, délce vegetačního období a na půdních a klimatických podmínkách daného stanoviště. Důležitá je nadzemní i podzemní část meziplodin. Dostatek organické hmoty má významné dopady na půdní vlastnosti a na udržení stabilního půdního prostředí (Nedělník, 2007). Právě díky pozitivnímu efektu na půdní vlastnosti je možné a vhodné

zařazovat meziplodiny i na rovinatých pozemcích chmelnic. Efekt v podobě zlepšených půdních vlastností se však neprojeví během jednoho roku, jedná se o dlouhodobější proces.
Mezi další pozitivní funkce meziplodin patří:

1. podpora půdního edafonu, biodiverzity a stability krajiny,
2. příznivě je ovlivněn vodní a tepelný režim půdy,
3. v nejteplejších letních dnech meziplodiny svou přítomností zvyšují relativní vzdušnou vlhkost a snižují teplotu vzduchu (Krofta a kol., 2012),
4. nadzemní část meziplodin brání před vyplavováním živin z půdy (Kabelka a kol., 2019),
5. další výhodou je i dřívější možnost vjetí do chmelnice po silném dešti při srovnání s meziřadím bez meziplodin,
6. dobře zapojený porost omezuje výskyt plevelů.

Jako každá zemědělská technologie mají i meziplodiny ve chmelnicích svá omezení a mohou se během jejich využívání vyskytnout určité problémy. Pokud bude porost meziplodin zakládán v období s nedostatkem vláhy v půdě, může nastat problém s kvalitním vzcházením. S tím souvisí i další problém v podobě výskytu plevelů. Meziplodiny sice výskyt plevelů omezují, pokud ale nebude porost kvalitní a dobře zapojený, může během sezóny dojít k zaplevelení. Jestliže tato situace nastane, je důležité porost v meziřadí zmulčovat a zabránit plevelům v reprodukci. Výše zmíněná rizika je možné eliminovat načasováním výsevu. Při dlouhodobém hospodaření za pomoci meziplodin by rovněž neměl být zakládán porost se stále stejným druhem z důvodu možného výskytu škůdců.

8.4. Omezení povrchového odtoku zonálním kypřením

Z hlediska samotné technologie založené na využívání meziplodin představují vyjeté kolejové stopy v meziřadí největší omezení (obr. 70). Ty jsou bohužel vzhledem k častým pojezdům nevyhnutelnou součástí chmelnic a týkají se i konvenčního hospodaření (obr. 71).



Obr. 70: Vodní eroze v prostoru kolejových stop u technologie s meziplodinami. I přes toto problematické místo byla naměřená ztráta půdy výrazně nižší než u meziřadí bez meziplodin *(foto Kabelka)*.

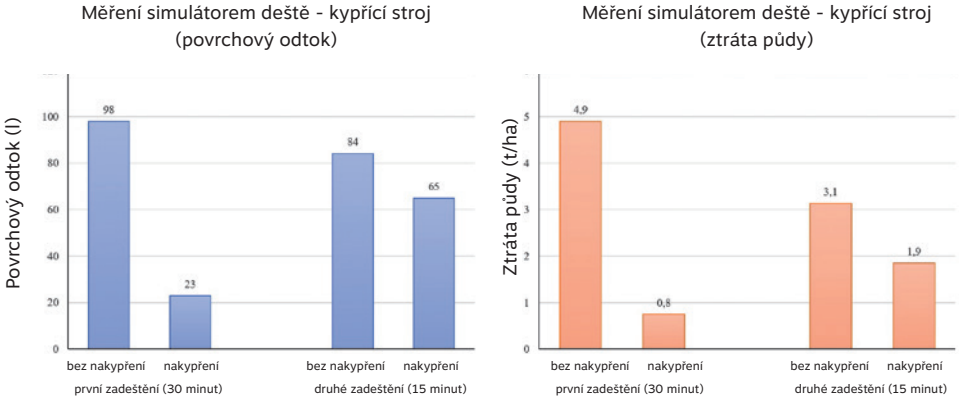


Obr. 71: Utužené vyjeté kolejové stopy v meziřadí u tradičního způsobu hospodaření ve chmelnicích. Na obrázku je zachycen stav před simulací deště, která byla zaměřena na oblast kolejové stopy *(foto Kabelka)*.

Porost meziplodin je pojezdy poničen a vodní eroze nastává zpravidla v kolejových stopách. S poničením porostu v oblasti kolejových stop je nutné počítat rovněž v důsledku provádění přiorávky chmelových řadů. Dalším problémem kolejových stop je silné utužení půdy. Jako řešení se ukazuje cílené kypření (Brant a kol., 2019a; Brant a kol., 2019b) zmiňované v předchozích kapitolách. Obrázek 72 ukazuje provedení kypření kolejových stop na pokusných plochách před provedením simulace zadešťování. Nakypřené kolejové stopy jsou schopny zachytit velké množství vody a oddálit vznik povrchového odtoku (obr. 73).



Obr. 72: Provedení kypření kolejových stop na pokusných plochách před provedením simulace zadešťování *(foto Brant).*



Obr. 73: Zobrazeny jsou výsledky zaměřené na velikost povrchového odtoku a množství smyté půdy během simulací deště v roce 2020.

Při simulaci deště nastal u cíleného kypření povrchový odtok až ve 22. minutě zadešťování, tedy výrazně déle než u varianty bez nakypření (tab. 3). Celkově pak v rámci prvního měření (30 minut zadešťování) z nakypřené varianty odteklo o 76 % méně vody. I při druhé simulaci (15 minut zadeštění) na nasycené půdě z předchozího měření byl naměřen nižší povrchový odtok. Ještě lepší výsledky byly naměřeny u ztráty půdy, kdy byl smyv půdy při prvním měření nižší o 85 %. Cílené kypření pouze prostoru kolejových stop ve chmelnicích lze proto považovat za velmi účinné protierozní řešení (obr. 74).



Obr. 74: Nakypřené kolejové stopy během simulace deště. Z obrázku je patrné, že díky rozrušení utužené vrstvy dokáže srážková voda lépe infiltrovat do půdy *(foto Kabelka)*.

Tab. 3: Doplňující informace k simulacím deště zaměřených na kolejové stopy.

stav půdy	technologie	délka zadeštění (min)	infiltrace (l)	začátek povrchového odtoku (min.)	konec povrchového odtoku (min.)	intenzita srážky (mm/min.)
přirozená vlhkost	bez nakypření	30	161,3	9:38	31:46	1,23
	nakypření	30	234,8	21:17	31:32	1,23
nasycená půda	bez nakypření	15	44,8	0:28	16:42	1,23
	nakypření	15	64,1	0:37	16:22	1,23

Potencionálním problémem by mohla být konkurence rostlin chmele a meziplodin z hlediska množství živin a vody v půdě. Z tohoto důvodu byl Chmelařským institutem s. r. o. sledován v letech 2016 až 2020 vliv meziplodin na výnosy chmele. Nebylo zjištěno, že by meziplodiny snižovaly výnosy chmele. Krofta a kol. (2012) navíc uvádějí, že pokud jsou meziplodiny zaorány zpět do půdy, nedochází k ochuzování půdy o živiny. Naopak při dlouhodobém využívání meziplodin je předpoklad, že výnosy chmele budou ovlivněny pozitivním způsobem.

8.5. Zhodnocení hospodaření s meziplodinami

Dobrý stav půdy je základním předpokladem pro úspěšné dlouhodobé hospodaření. České chmelařství tvoří významnou součást celosvětové produkce chmele. Cílem každého chmelaře by proto měla být snaha dobré renomé českého chmele udržet i v příštích letech. Současné zemědělské postupy však nemusí toto postavení zajistit. Navíc vzhledem k tomu, že obecně se podmínky pro hospodaření na zemědělské půdě zpřísňují a ve vytrvalých kulturách není ochrana půdy příliš řešena, je potřeba počítat s tím, že určitá forma ochrany půdy před vodní erozí bude do budoucna legislativně zavedena i v této oblasti. Z tohoto důvodu musí být k dispozici účinná a ověřená protierozní technologie, pomocí které bude možné trvale udržitelně hospodařit. Přínosy pro půdu při hospodaření s meziplodinami mnohonásobně převyšují případná omezení této technologie. Z pohledu ochrany půdy před vodní erozí představují meziplodiny ve chmelnicích v kombinaci s cíleným kypřením kolejových stop ideální variantu.

9. Atlas kořenových systémů chmele otáčivého

Atlas kořenových systémů chmele otáčivého vznikl na základě výzkumu probíhajícího v letech 2015 až 2020. Studium prostorového rozmístění kořenových systémů chmele otáčivého bylo zaměřeno na stanovení reálného rozložení trvalého kosterního kořenového systému rostlin (vertikální kořeny) v půdním profilu za účelem následné optimalizace systémů zpracování půdy, zonálního hnojení, závlah a eliminace erozních procesů ve chmelnicích. V rámci sledování bylo v žatecké chmelařské oblasti za výše uvedené časové období zmonitorováno 20 kořenových soustav chmelových rostlin. Tabulka 4 specifikuje lokality, kde byly kořenové systémy hodnoceny, počty hodnocených rostlin, včetně odrůd, a stáří monitorovaných rostlin.
V rámci hodnocení byly ve většině případů hodnoceny kořenové systémy rostlin pěstovaných pomocí klasických konstrukcí a s pravidelně kultivovaným meziřadím. V roce 2019 proběhla analýza kořenové soustavy rostliny, která byla pěstována s využitím v nízké konstrukci.

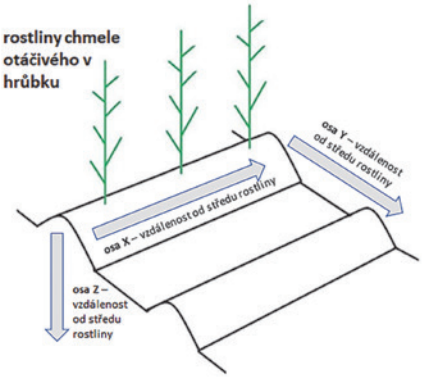
Tab. 4: Seznam lokalit, termíny provedení analýz kořenového systému, včetně specifikace počtu hodnocených rostlin, jejich stáří a specifikace odrůdy za období 2015–2020.

rok hodnocení	GPS souřadnice lokality	termín hodnocení	počet hodnocených rostlin (kusy)	odrůda	stáří rostlin (roky)	číslo kapitoly v atlase kořenů
2015	50.3145067N, 13.6058325E	14.04.2015	2	Harmonie	4	I
	50.3316075N, 13.6257506E	14.05.2015	3	ŽPČ	3	II
2016	50.190158N, 13.3637704E	15.06.2016	2	Agnus	14	III
2017	50.3315514N, 13.6167431E	10.05.2017	3	ŽPČ	15	IV
2018	50.3267569N, 13.6206911E	15.06.2018	2	Sládek	15	V
2019	50.3197775N, 13.6277650E	24.04.2019	1	N5/Country*	6	VI
	50.3175119N, 13.6094564E	28.05.2019	2	Kazbek	7	VII
	50.1476861N, 13.4412486E	18.10.2019	2	Sládek	18	VIII
2020	50.3227297N, 13.6213492E	22.4.2020	2	Rubín	17	IX
	50.1319894N, 13.4442731E	04.11.2020	1	ŽPČ/72 VT	19	X

** rostlina pěstovaná v nízké konstrukci, ŽPČ – Žatecký poloraný červeňák*

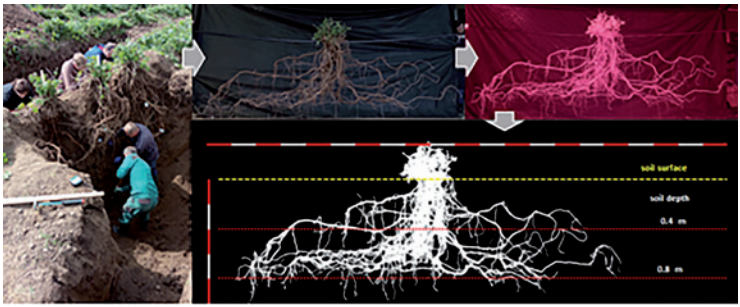
9.1. Metodika analýzy prostorového rozmístění kořenů chmele

Pomocí těžké mechanizace bylo odstraněno převážné množství zeminy okolo kořenového systému. Vlastní preparace kořenového systému byla dokončena ručním odstraněním zeminy z kořenové zóny. Při preparaci kořenů byl prováděn záznam jejich prostorového uložení v půdě pomocí značek umísťovaných na páteřní kořeny. Poloha kořenů tak byla stanovena na základě osových souřadnic x/y/z od středu babky, které udávaly hloubku uložení v půdě vůči povrchu půdy/kolmou vzdálenost od babky a šikmou vzdálenost od babky. Osovou specifikaci při kótování rozložení kořenů v půdě dokládá obrázek 75.



Obr. 75: Osová specifikace při kótování rozložení kořenů v půdě.

Po vyjmutí kořenů ze země byla provedena jejich prostorová rekonstrukce pomocí systémů podpůrných a závěsných drátů. Následně byla provedena fotografie kořenového systému pomocí infrasnímku. Kořeny byly foceny ve směru kolmo na řádek a ve směru řádku a při pohledu shora (infrasnímek, 8 Mpx). Infrasnímek byl převeden do černobílé fotografie (Adobe Photoshop CS5, Adobe Systems Software, Dublin, Ireland). Vzdálenost objektivu od objektu byla závislá na velikosti kořenového systému. Následná kvantifikace velikosti kořenů byla provedena na základě přítomnosti velikostních kalibračních bodů na pozadí. Pracovní postup dokládá obrázek 76. Po preparaci kořene byly kořenové systémy usušeny a byla stanovena jejich suchá hmotnost.



Obr. 76: Postup preparace, rekonstrukce a vizualizace kořenového systému chmele *(foto Brant)*.

9.2. Popis stanovištních podmínek a charakteristika rozložení kořenů

Při odkrytí kořenového systému na hodnocených lokalitách byl vždy proveden popis průběhu preparace kořenů a záznam hloubky prokořenění a bočního rozložení kořenů v půdním profilu. Stručně byl charakterizován půdní profil a záznam případných údajů dokládajících pohyb hladiny spodní vody.

V rámci atlasu je graficky zaznamenáno prostorové rozmístění kořenových systémů chmele otáčivého na hodnocených lokalitách. Jako třídící kritérium pro atlas kořenových systémů byla zvolena odrůda chmele otáčivého na daném stanovišti v příslušném roce hodnocení. Členění kořenových systémů v atlase a v daném roce je provedeno chronologicky podle termínů hodnocení.

9.3. Kořenové systémy hodnocených chmelových rostlin

I. Odrůda Harmonie (2015)

Datum výkopu: 14.4.2015
Lokalita: Stekník, chmelnice Trnovanská V
Odrůda: Harmonie
Spon: 3 x 1 m
Rok výsazu: 2011, stáří rostlin 4 roky

Chmelnice se nachází v nadmořské výšce cca 195 metrů. Horní vrstvu půdního profilu tvořily kvarterní sedimenty zastoupené na povrchu ornicí, hnědými až hnědočervenými hlínami – holocenní splachy a převáté sedimenty (BPEJ 15600). Pod hlínami byly náplavové sedimenty zastoupené černošedými hlínami až písčitými jíly, místy jílovitými písky, většinou jemnozrnnými až středně zrnitými.

Vzhledem ke stáří chmelnice nebylo při výkopových pracích utužení půdy tolik patrné jako u starších porostů pěstovaných na půdách s podobnou strukturou. Ze stejného důvodu nebylo pozorováno prorůstání kořenů sousedních rostlin v ose řádků ani narušení kořenů hnilobou. Nejdelší kořeny sahaly podle záznamů na stanovišti do hloubky 1,5 až 1,6 m. Prorůstání kořenů směrem do meziřadí bylo zjištěno do vzdálenosti 0,5–0,6 m od středu babky.

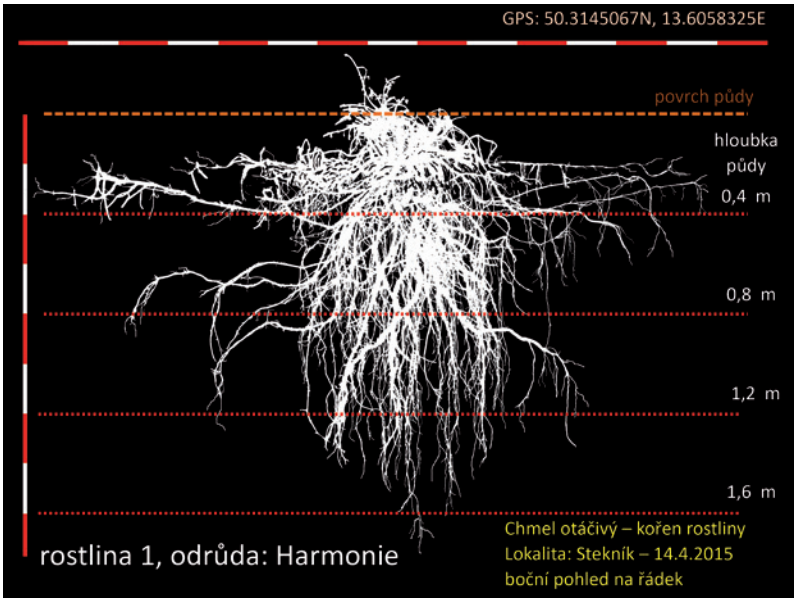
Při výkopových pracích byly obnaženy kořenové systémy dvou sousedních rostlin, z nichž jeden byl podstatně větší. Výkop kořenového systému komplikovala vysoká hladina spodní vody, která se nacházela již v hloubce cca 1,7–1,8 metru. Hladina spodní vody nebyla určována hladinou Blšanky, která protéká několik desítek metrů od výkopového místa, ale dlouhým svahem stoupajícím směrem k obci Dobříčany. Obrázek 77 dokládá průběh odrytí kořenových systémů a zrekonstruovaný kořenový systém první rostliny.



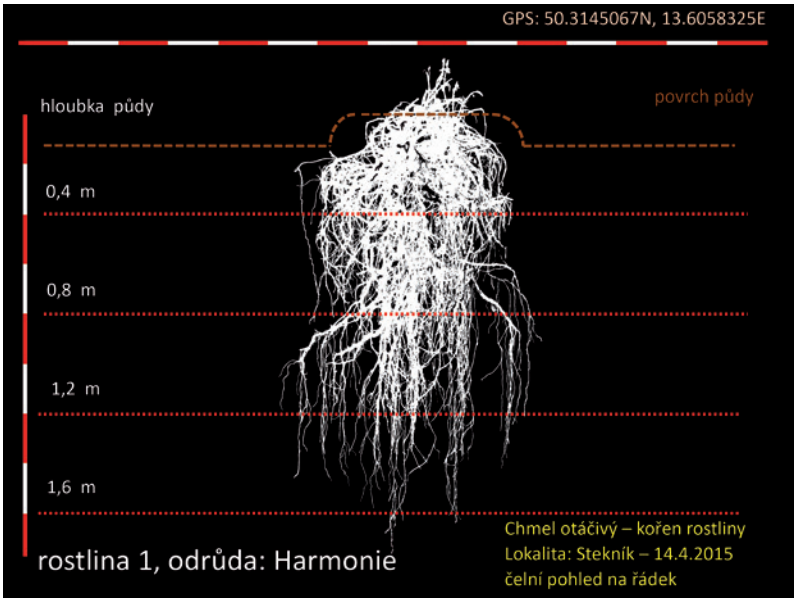
Obr. 77: Preparace kořenů a označování jejich lokalizace (bílé štítky) a vpravo je rekonstruovaný kořen druhé rostliny odrůdy Harmonie dne 14.4.2015 *(foto Zábranský a Brant).*

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

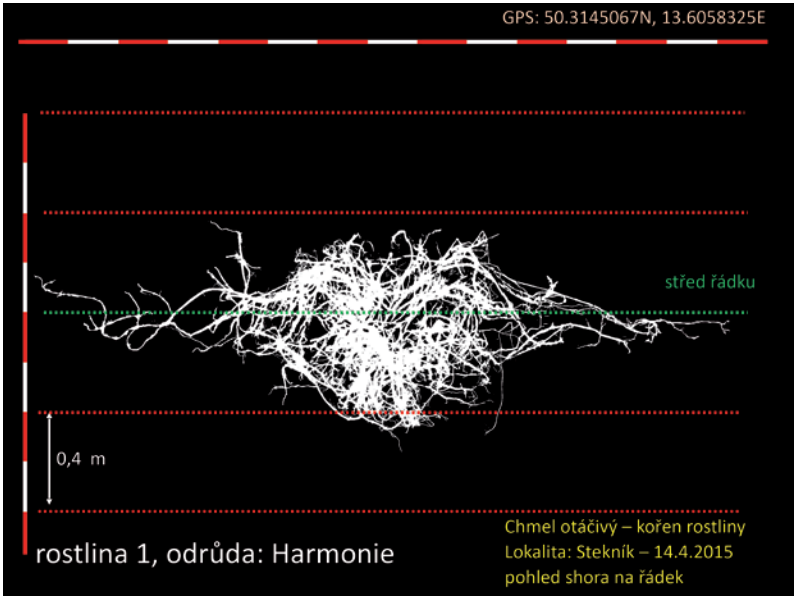
a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku

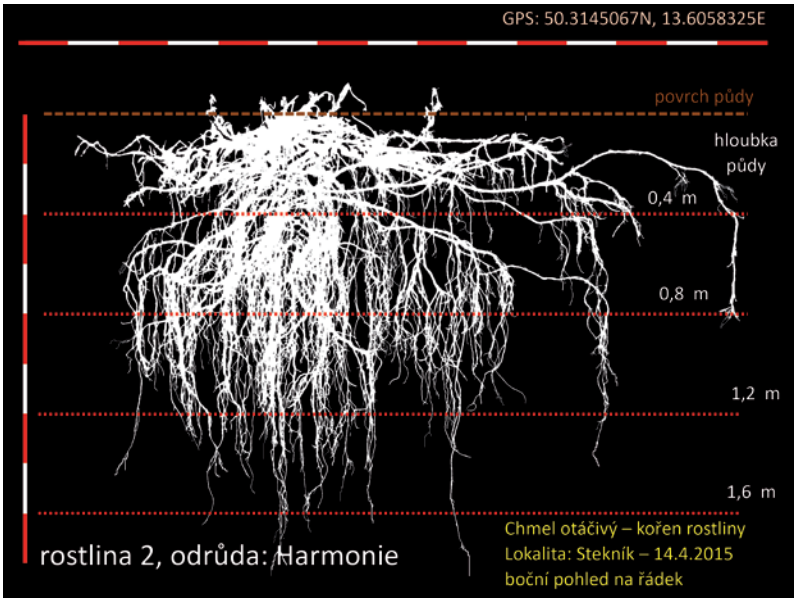


c) pohled shora na osu řádku



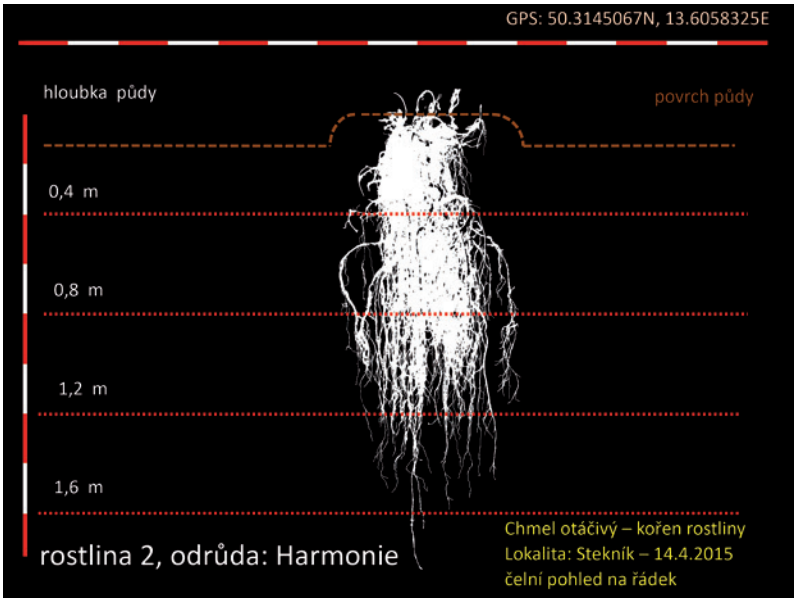
Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

a) boční pohled na osu řádku

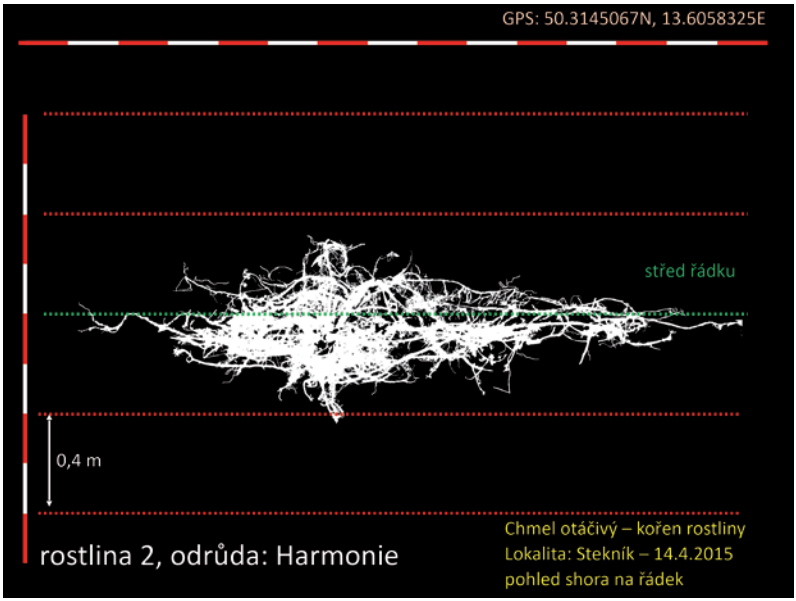


Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

b) čelní pohled na osu řádku



c) pohled shora na osu řádku



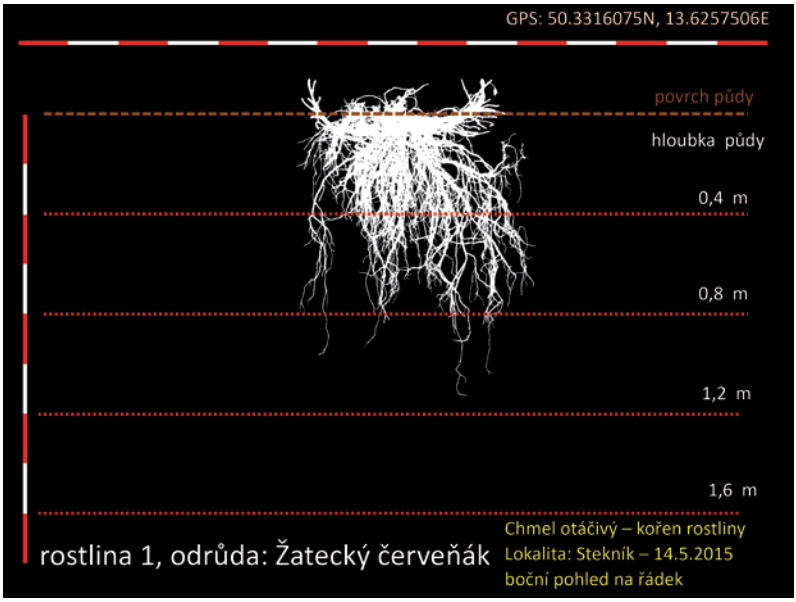
II. Odrůda Žatecký poloraný červeňák (2015)

Datum výkopu: 14.5.2015
Lokalita: Stekník, chmelnice Hora I.
Odrůda: Žatecký poloraný červeňák
Spon: 3 x 1 m
Rok výsazu: 2012, stáří rostlin 3 roky

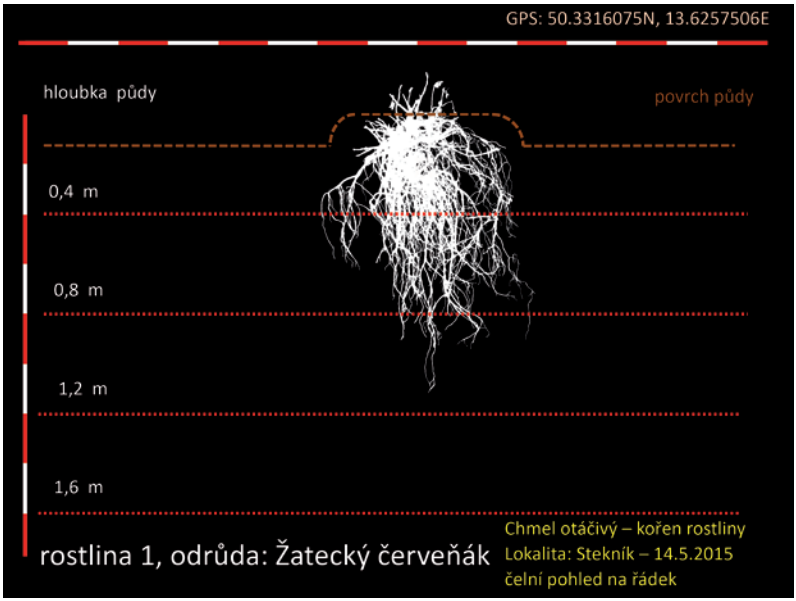
Chmelnice se nacházela cca 200 m od pravého břehu řeky Ohře v nadmořské výšce 195 m. Jednalo se o mladý porost o stáří 3 let, osázený v roce 2012 Žateckým červeňákem. Orientace řádků byla ve směru severozápad/severovýchod. Půdní profil tvořily regozemě s celkovým obsahem skeletu v rozmezí 10–25 % (BPEJ 12112), které se vyvinuly ze sypkých říčních sedimentů. V půdním profilu nebyly nalezeny žádné jílovité vrstvy. Hloubka prokořenění v rozmezí 0,8 až 1,0 m odpovídala stáří rostlin, kořeny sousedních nebyly vzájemně prorostlé, na kořenech nebylo patrné žádné poškození hnilobou.

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

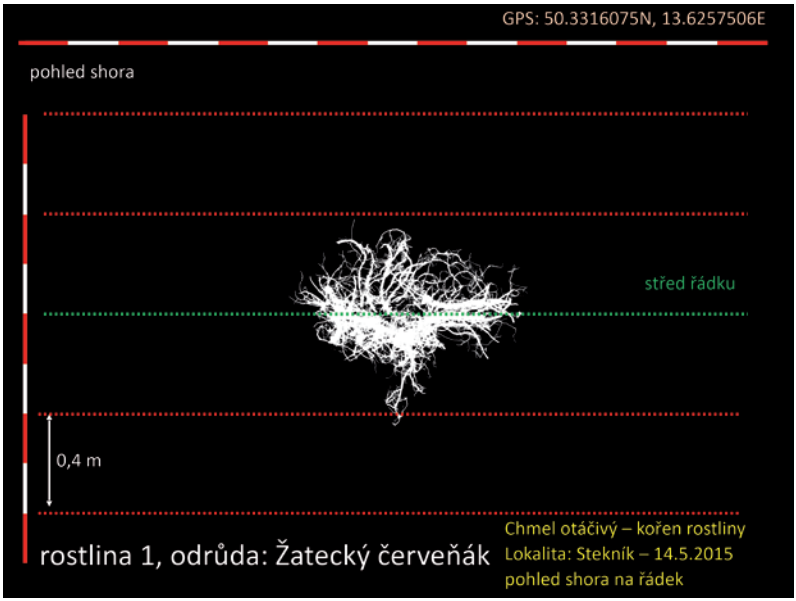
a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku

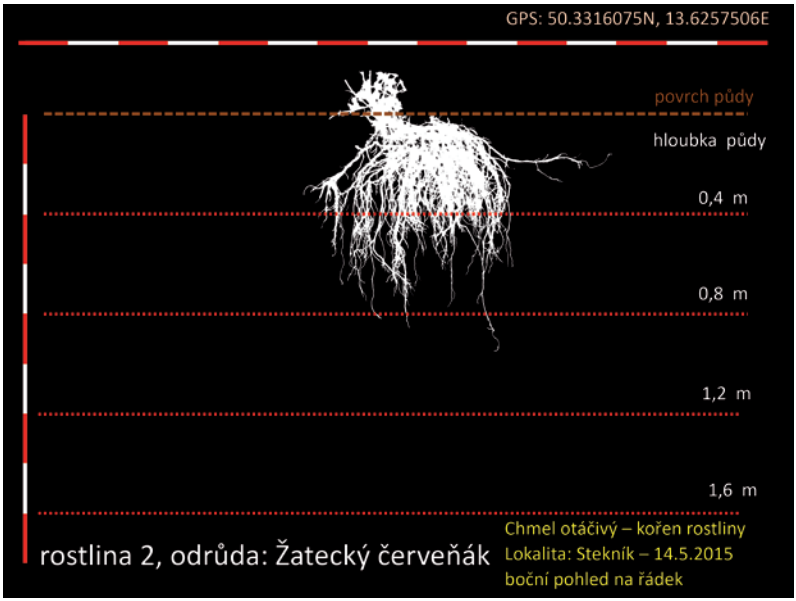


c) pohled shora na osu řádku

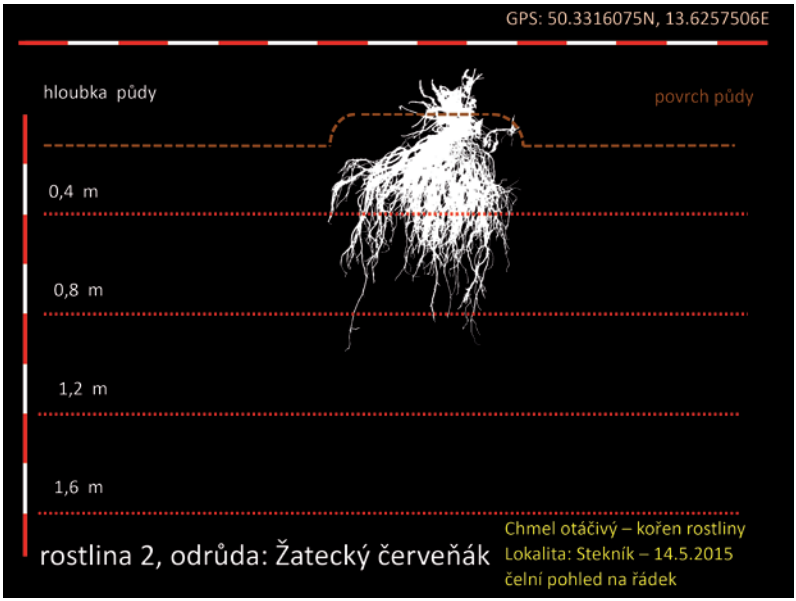


Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

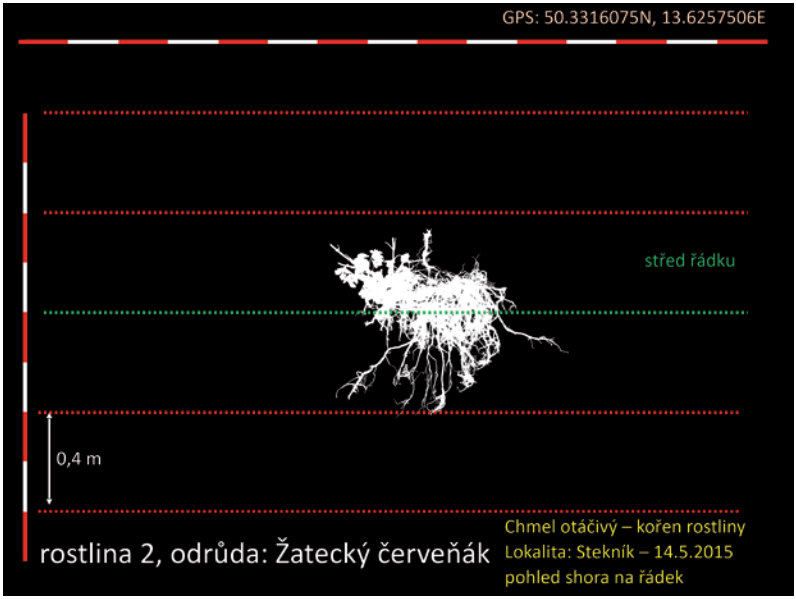
a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku

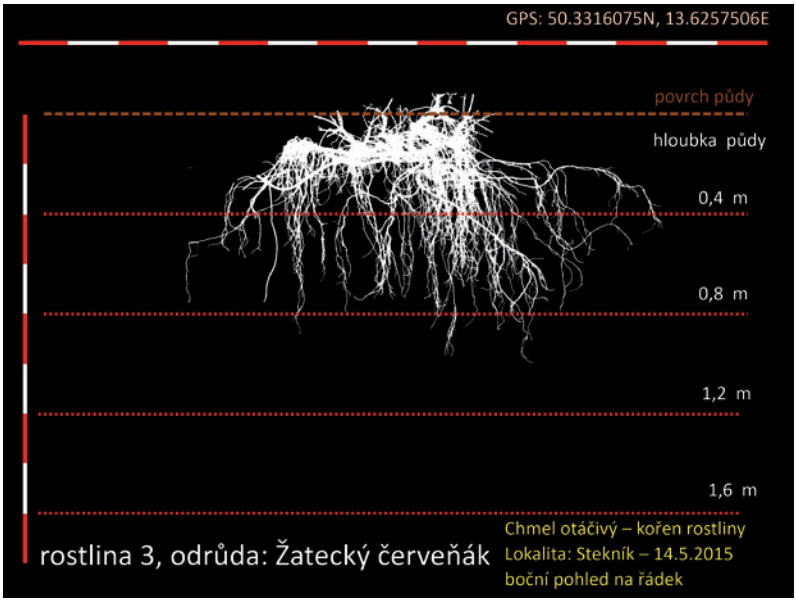


c) pohled shora na osu řádku

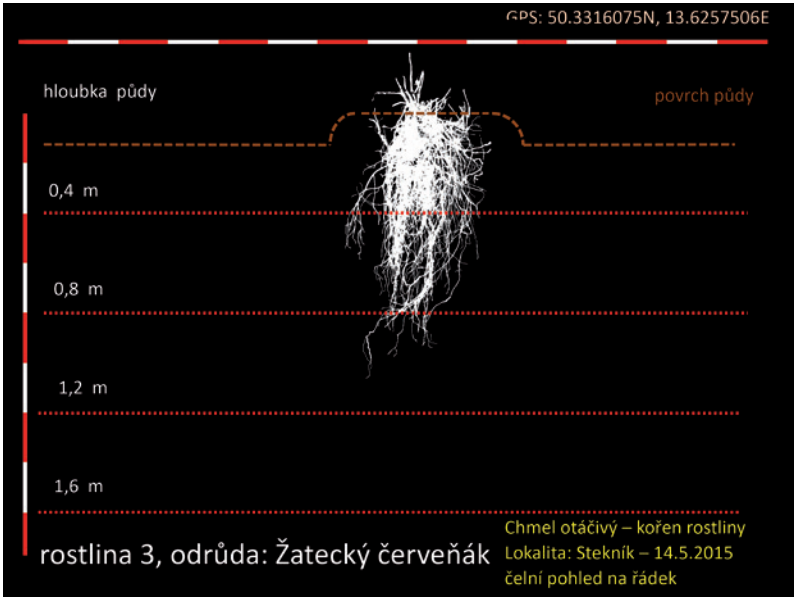


Grafické znázornění kořenového systému 3. rostliny

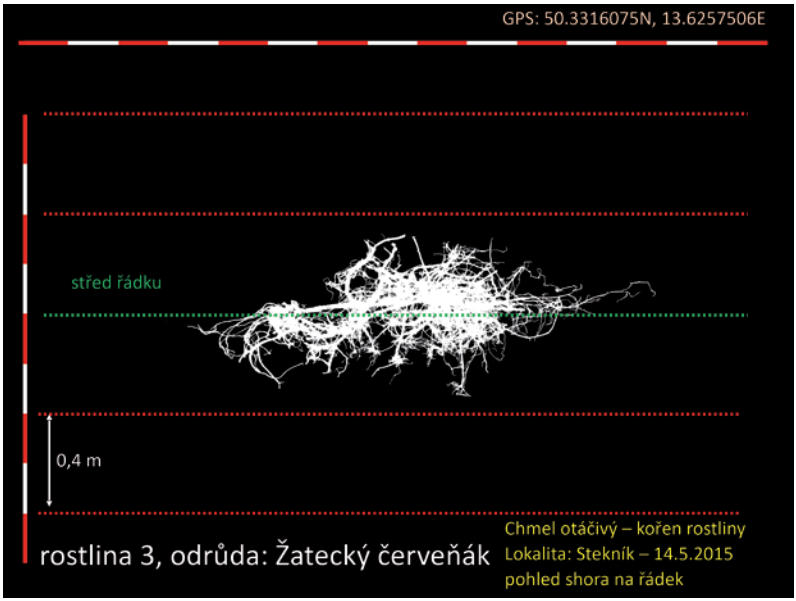
a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



c) pohled shora na osu řádku



III. Odrůda Agnus (2016)

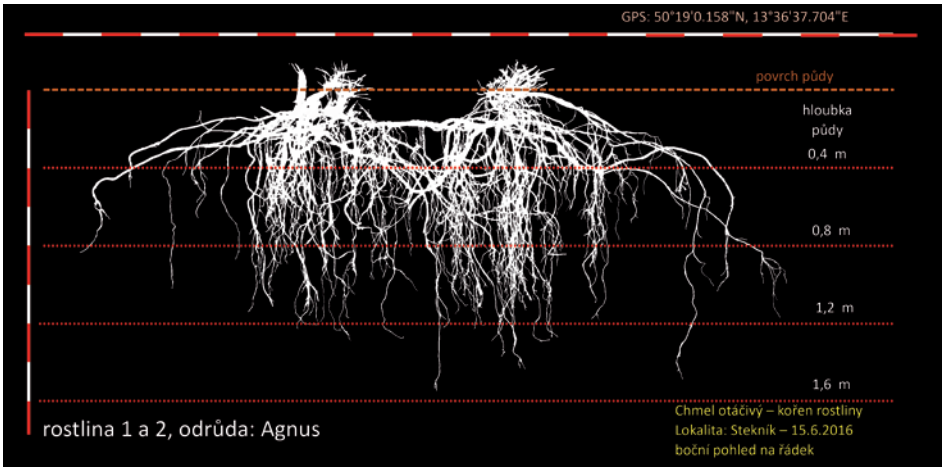
Datum výkopu: 15.6.2016
Lokalita: Stekník, chmelnice Zastávka II
Odrůda: Agnus
Spon: 3 x 1 m
Rok výsazu: 2002, stáří rostlin 14 let

Půdní profil tvořily fluvizemě s celkovým obsahem skeletu do 10 % (BPEJ 15600). V hloubce 0,9 m byl zjištěn ostrý přechod mezi půdou a písčitým podložím. Síla půdní vrstvy však nebyla všude stejná. Dominantním rysem kořenového systému bylo vzájemné prorůstání kořenů sousedících rostlin v horizontálním směru v ose řádků. K obnažení celého kořenového systému 2 rostlin tak bylo zapotřebí odkrýt kořeny dalších 2 sousedních rostlin v horní vrstvě do hloubky cca 0,3 m. Nejspodnější jemné kořání sahalo do hloubky přibližně 1,3 m. Jemné kořání vyrůstající ze silnějších kořenů bylo nalezeno v celém profilu kořenového systému.

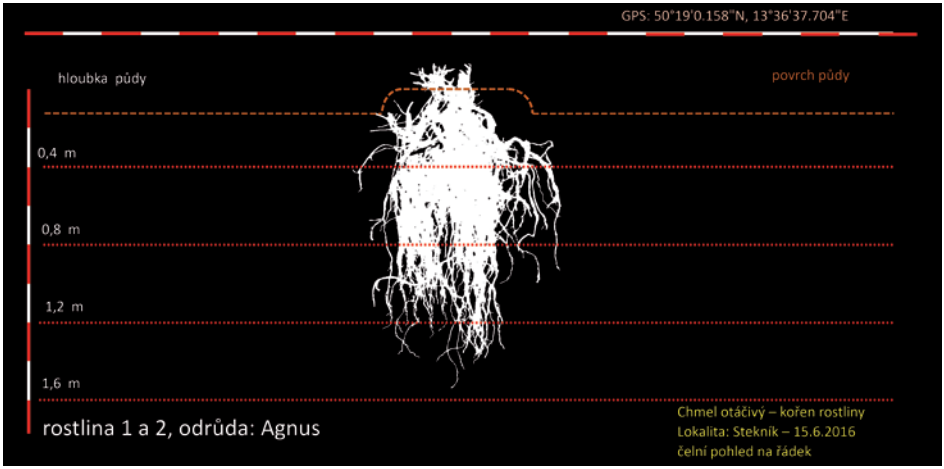
V hloubkách 40–80 cm byly nalezeny na konci odumřelé kořeny o síle cca 10–15 mm. Na přechodu odumřelé a živé části vyrůstaly nové slabší a tenké kořeny. Prorůstání kořenů směrem do meziřadí bylo omezené, většinou do vzdálenosti 0,5–0,6 m, měřeno od středu babky, ojediněle 0,7 m, a to v hloubce do cca 0,5 m. Po ukončení výkopových prací byla vyhlouben krátký koridor v hloubce 2,5 m s cílem zjistit hladinu spodní vody. Ani v této hloubce nebyla v době výkopu zjištěna přítomnost spodní vody. Z důvodu propojení kořenových systémů byly systémy kořenů hodnocených rostlin odebrány a hodnoceny společně.

Grafické znázornění kořenového systému 1. a 2. rostliny

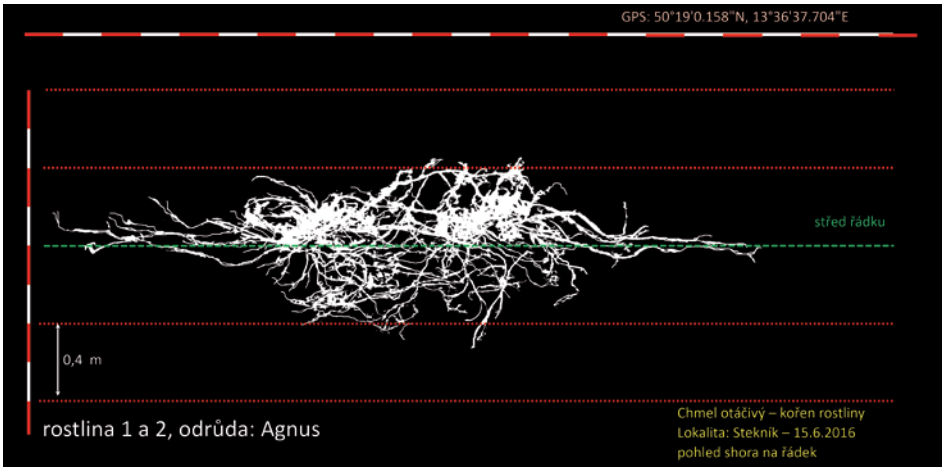
a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



c) pohled shora na osu řádku



IV. Odrůda Žatecký poloraný červeňák (2017)

Datum výkopu: 10.5.2017
Lokalita: Stekník, chmelnice Černice
Odrůda: Žatecký poloraný červeňák, klon 72
Spon: 3 x 1 m
Rok výsazu: 2002, stáří rostlin 15 let

Porost byl osázen v roce 2002 odrůdou Žatecký červeňák (klon 72). Orientace řádků byla severozápad/severovýchod. Půdní profil byl tvořen fluvizeměmi s celkovým obsahem skeletu do 10 % (BPEJ 15500). Prvním poznatkem při zahájení výkopu bylo nesymetrické rozložení kořenového systému směrem do meziřadí. V severovýchodním směru od řeky zasahovaly některé kořeny až 1,50 m do meziřadí v hloubce 50 cm. V jihozápadním směru k řece se kořeny nacházely do 50 cm od středu babky.

Vzájemné prokořenění sousedních babek v ose řádku bylo rovněž pozorováno, ale nebylo zdaleka tak husté, jako v roce 2016 při výkopu 14letého porostu odrůdy Agnus. Většinou se jednalo o jediný kořen, který prorostl do sousední babky. Při výkopu byly vyjmuty 3 sousední rostliny. Jedna z rostlin měla kořenový systém značně poškozený hnilobou v celém hloubkovém profilu od koruny až do více než 2 metrů. Mohutnost kořenového systému byla v porovnání s oběma dalšími rostlinami přibližně třetinová. Půdní profil byl do hloubky cca 2,0 m víceméně homogenní, hlinito–písčitá hnědozem. V hloubce 2 m byla čistá písčitá vrstva o mocnosti 5–10 cm, pod kterou byla vrstva jílu.

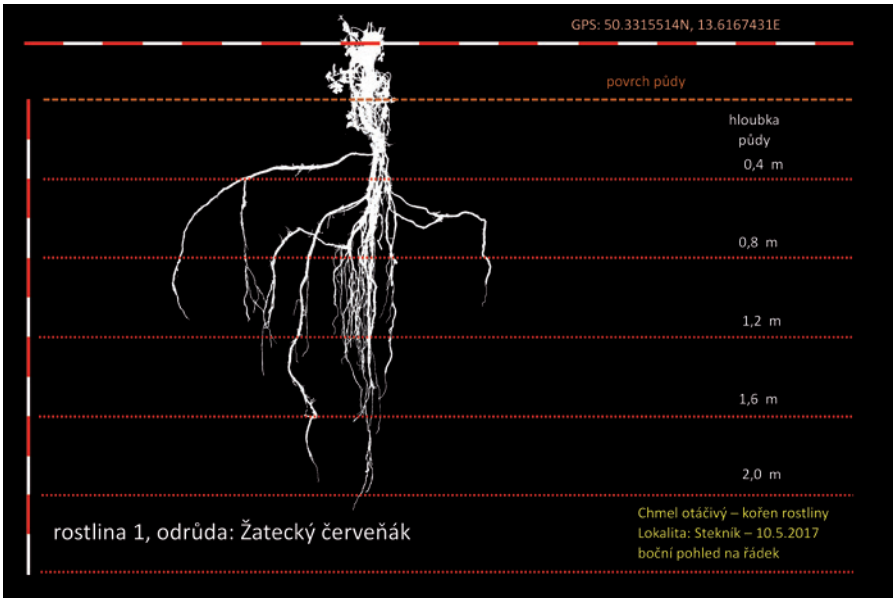
Kořeny chmele všech tří vykopaných rostlin zasahovaly až do jílovité vrstvy v hloubce 2,2 až 2,3 m. Průměr nejsilnějších páteřních kořenů těsně pod babkou byl 25–30 mm, v hloubce 0,5–1,0 m se síla kořenů pohybovala převážně v rozmezí 15–20 mm. V celém půdním profilu, tj. i v hloubkách 1–2 m, byl pozorován výskyt vertikálních chodbiček jako výsledek působení žížal. V hloubce cca 2,5 m nebyla v době výkopu zjištěna přítomnost spodní vody. Preparaci kořenových systémů a rekonstruovaný kořen odrůdy Žatecký poloraný červeňák v roce 2017 dokládá obrázek 78.



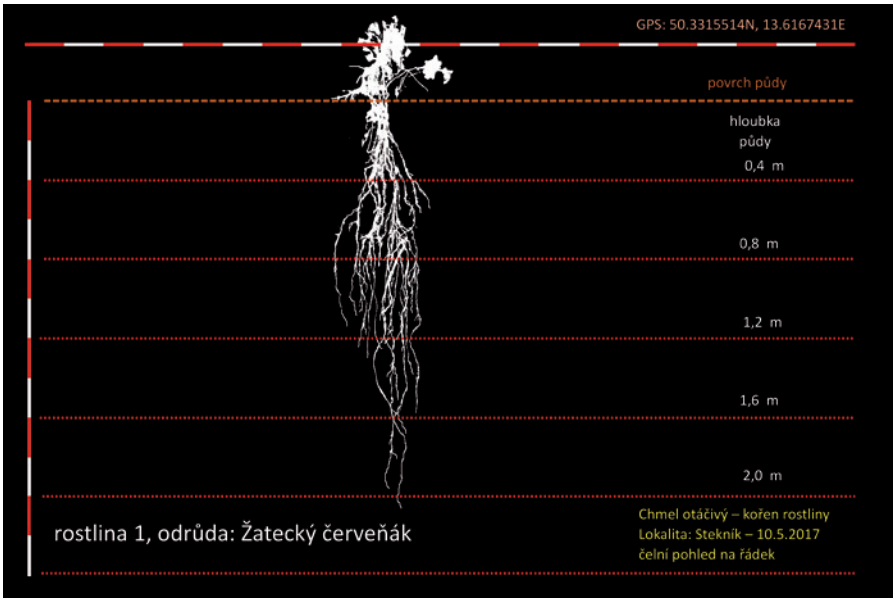
Obr. 78: Preparace kořenových systémů a rekonstruovaný kořen odrůdy Žatecký poloraný červeňák 10.5.2017 *(foto Zábranský a Brant).*

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

a) boční pohled na osu řádku

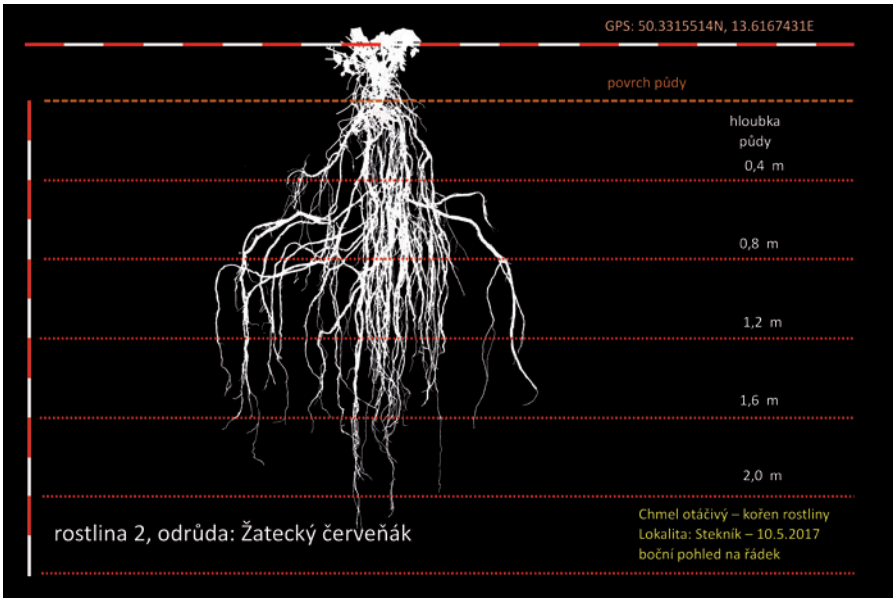


b) čelní pohled na osu řádku

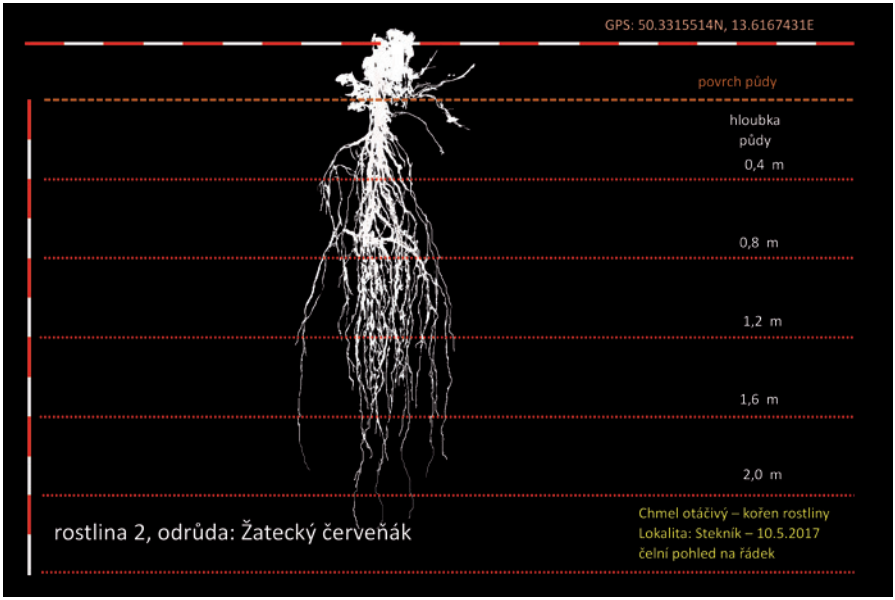


Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

a) boční pohled na osu řádku

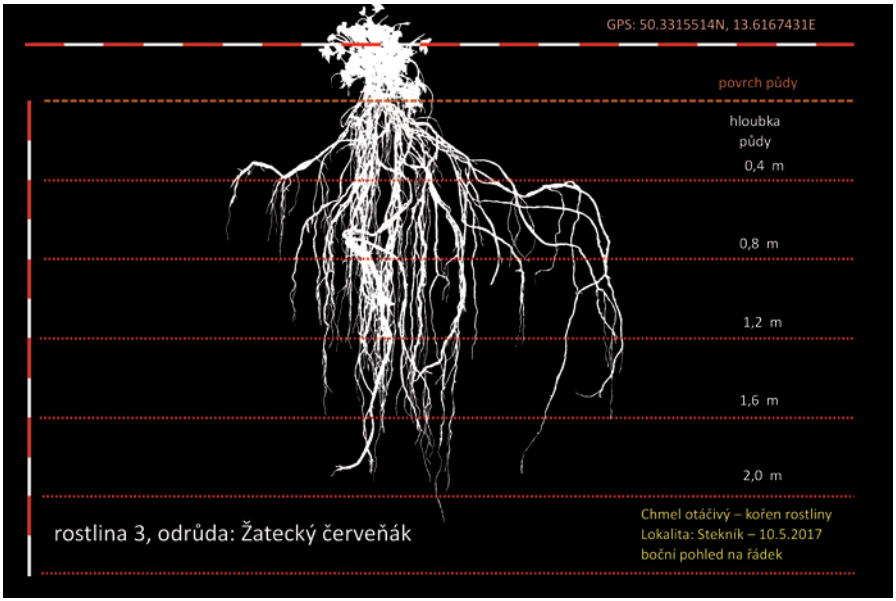


b) čelní pohled na osu řádku

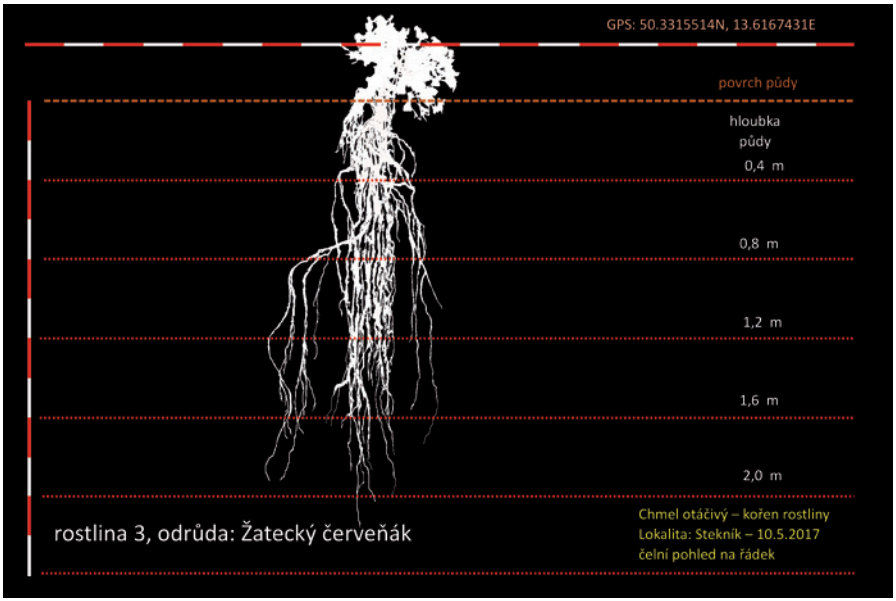


Grafické znázornění kořenového systému 3. rostliny

a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



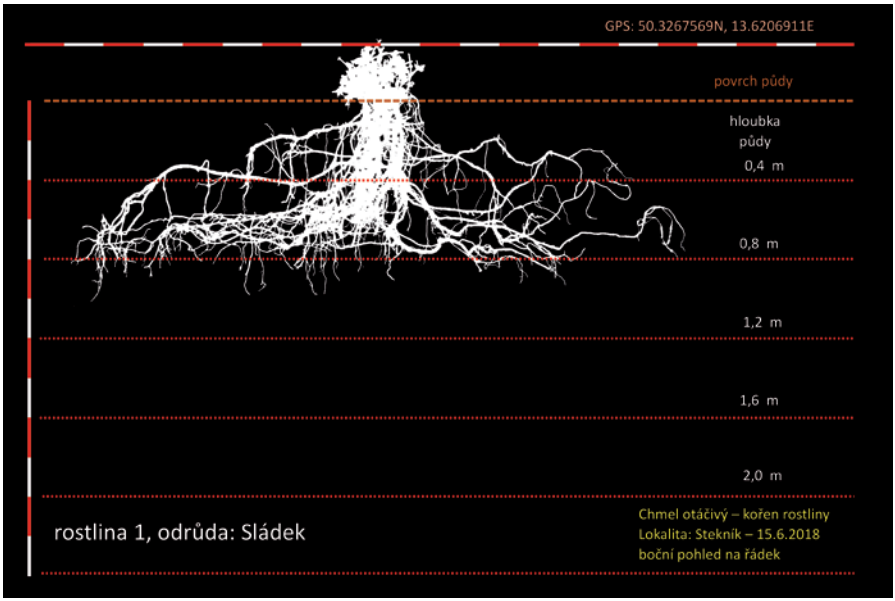
V. Odrůda Sládek (2018)

Datum výkopu: 15.6.2018
Lokalita: Stekník, chmelnice Zimmermann I-II
Odrůda: Sládek
Spon: 3 x 1 m
Rok výsazu: 2003, stáří rostlin 15 let

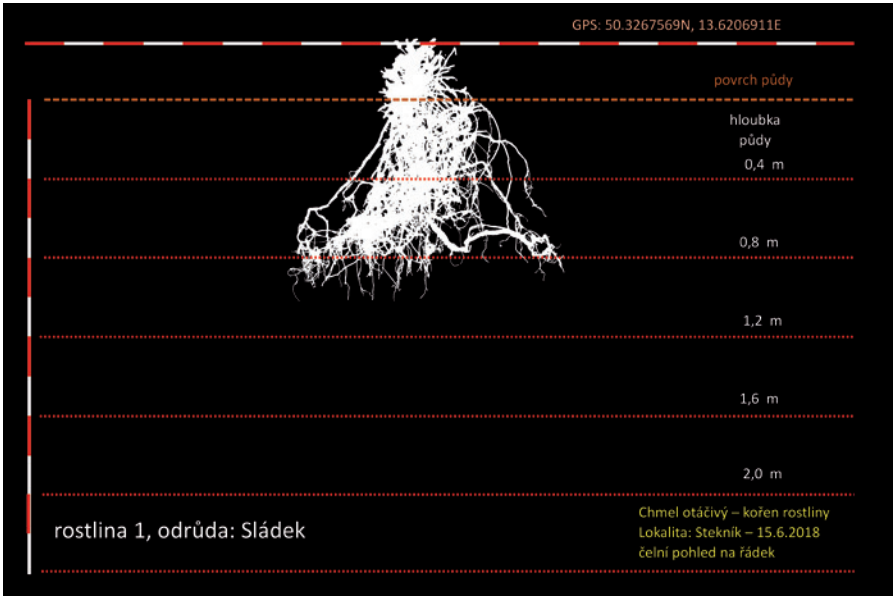
Půdní profil tvořila ornice (hnědozem) do hloubky 0,8 až 0,9 m (BPEJ 12112), pod ní byla jílovitá vrstva o mocnosti 50 až 60 cm a spodní vrstvu tvořila směs písku a oblázků. Kořeny sahaly pouze do hloubky 100 cm. Jílovitá vrstva vytvořila bariéru, kterou kořeny neprorostly. Bylo pozorováno prorůstání kořenů mezi babkami v horizontálním směru. V hloubkách 0,4 až 0,5 m bylo zjištěno extrémní utužení půdy v trajektorii pohybu kolových traktorů a dalších tažných prostředků. Tato vrstva byla minimálně prokořeněna. Kořeny utuženou vrstvu v hloubce 0,5 až 0,6 m podrostly směrem do meziřadí do vzdálenosti až 1,5 m od babky. Kořenový systém byl značně narušen hnilobou. Ze dvou vykopaných kořenových systémů byl jeden podstatně menší.

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

a) boční pohled na osu řádku

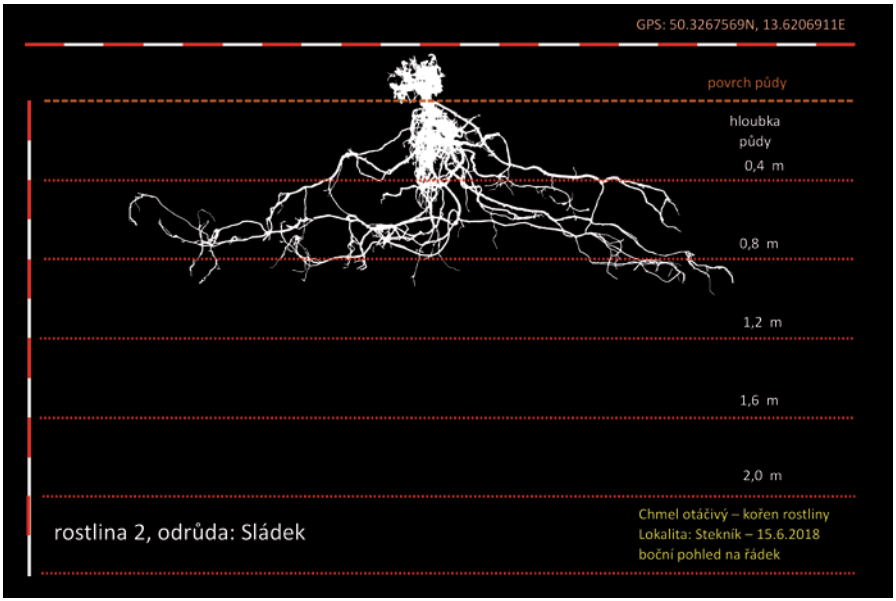


b) čelní pohled na osu řádku

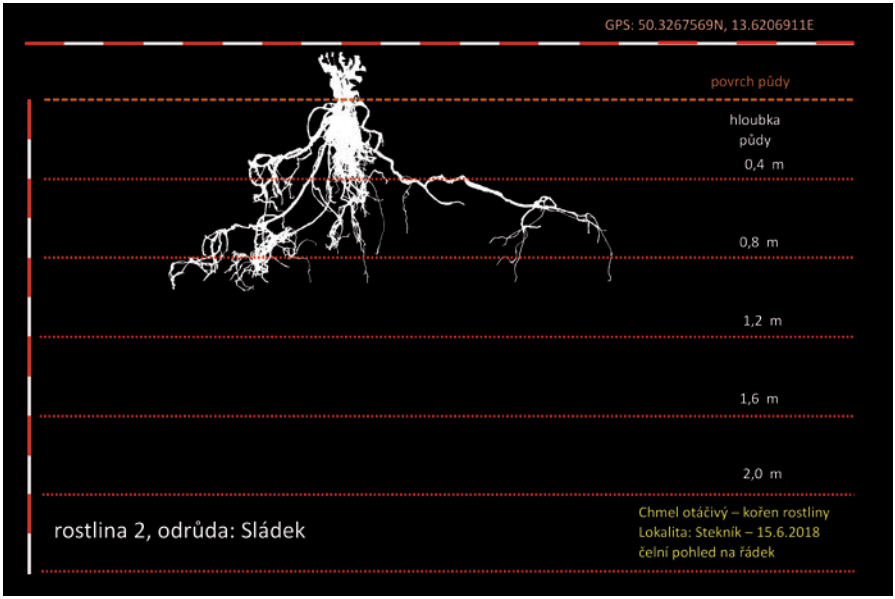


Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



VI. Odrůda N5/Country (2019)

Datum výkopu: 24.4.2019
Lokalita: Stekník, chmelnice Ovčín
Odrůda: N5/Country - zakrslá odrůda pro nízké konstrukce
Spon: 3 x 0,75 m
Rok výsazu: 2013, stáří rostlin 6 let

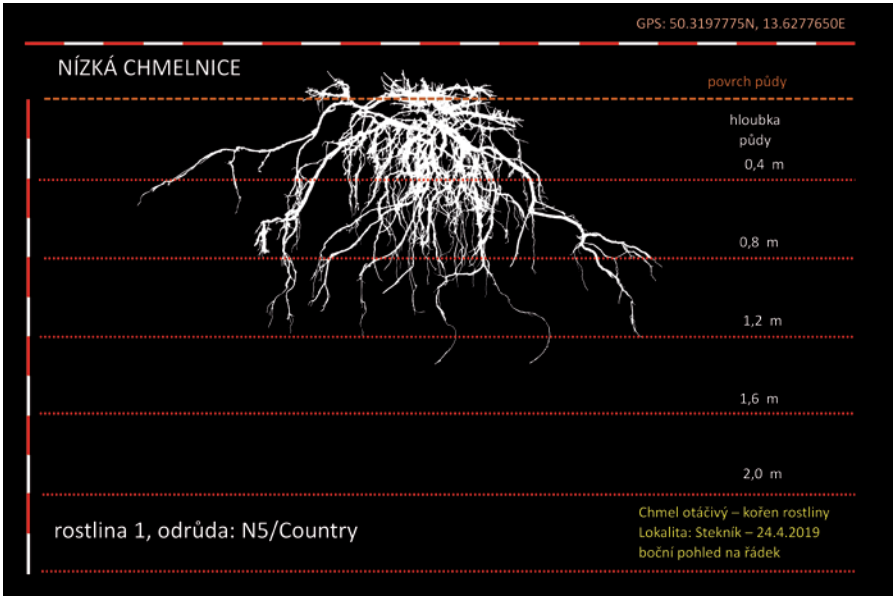
Půdní profil tvořila ornice (černozem – BPEJ 10602) do hloubky 0,9 až 1 m, pod ní byla, s ostrým přechodem, jílovitá vrstva minimálně do hloubky výkopu tj. 1,5 až 1,7 m. Struktura kořenového systému byla zřejmě půdním profilem ovlivněna, protože kořeny sahaly pouze do hloubky ornice, jen některé z nich mělce pronikly i do jílovité vrstvy (1–1,1 m). Během výkopových prací byl vypreparován kořenový systém jedné rostliny. Bylo pozorováno vzájemné prorůstání kořenů mezi sousedícími rostlinami ve směru řádku. Nebylo však tak intenzivní, aby zabránilo kompletnímu oddělení kořenů.

Po vyjmutí celého kořenového systému překvapila jeho mohutnost, která se výrazně nelišila od některých odrůd chmele, pěstovaných na vysokých konstrukcích. Díky suchu byla půda v meziřadí velmi tvrdá, což obnažování kořenů značně ztěžovalo. Vzhledem k mělké kultivaci meziřadí prorůstaly kořeny (kolmo na řádek) do vzdálenosti až 1,3 m od babky v hloubce cca 0,20 až 0,25 m.

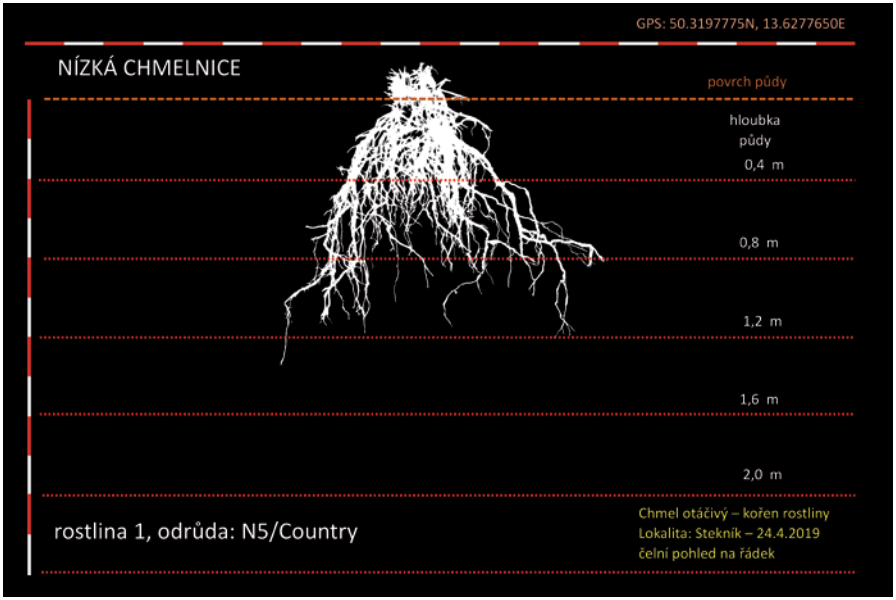
Protože porost zakrslých chmelů nebyl po dobu životnosti chmelnice řezán, kořenový systém rostliny byl zcela zdravý, nenarušený hnilobou. Ta byla často pozorována u víceletých porostů vysokých odrůd, u kterých se prováděl pravidelný jarní řez. Na některých kořenech se vytvořily hlízy, které slouží rostlině jako zásobní orgán živin na začátku vegetačního období. Hlízy se nacházely spíše v terminálních částech kořenů.

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



VII. Odrůda Kazbek (2019)

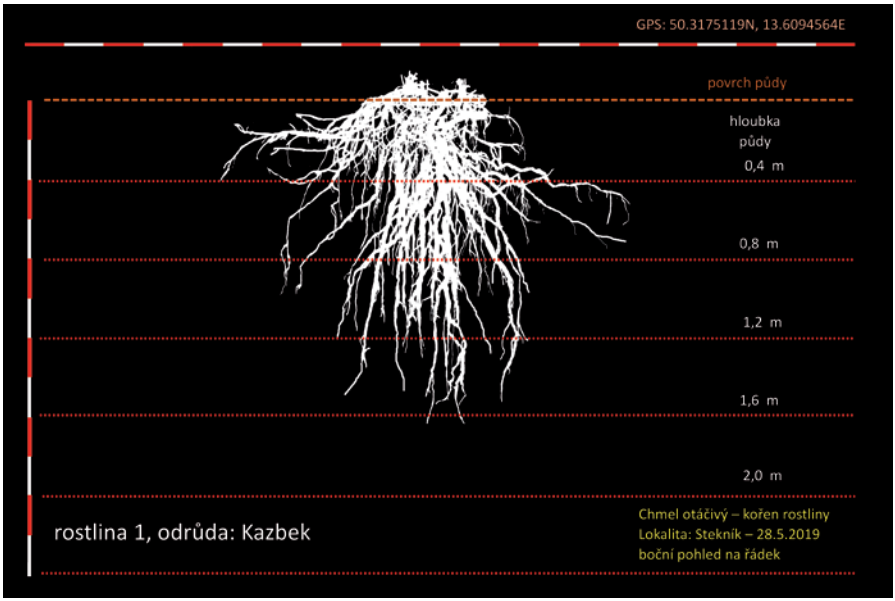
Datum výkopu: 28.5.2019
Lokalita: Stekník, chmelnice Zastávka I
Odrůda: Kazbek
Spon: 3 x 1,14 m
Rok výsazu: 2012, stáří rostlin 7 let

Během výkopových prací byly z půdy vytěženy kořenové systémy dvou sousedních rostlin ve vnitřních řádcích chmelnice. Celý půdní profil do hloubky cca 2 m tvořila hlinito–písčitá fluvizem (BPEJ 16500), která byla v hloubce 0,4 až 0,5 m přerušena jílovitou vrstvou o mocnosti 0,20 až 0,25 m. Kořeny chmele jílovitou vrstvou pronikly do spodních vrstev půdního profilu do hloubky cca 1,5 až 1,7 m. Kolmo na řádek prorůstaly kořeny do vzdálenosti až 1,0–1,1 m od babky, ale až v hloubkách pod jílovitou vrstvou. Nejdelší kořeny o délce cca 200 cm neprorůstaly půdní profil kolmo do hloubky, ale v šikmém či vodorovném směru. Bylo pozorováno vzájemné prorůstání kořenů mezi sousedícími rostlinami ve směru řádku do vzdálenosti 1 až 1,2 m od babky. Nebylo však tak intenzivní, aby zabránilo kompletnímu oddělení kořenů. Poškození kořenového systému hnilobou bylo pozorováno, ale jen v malém rozsahu.

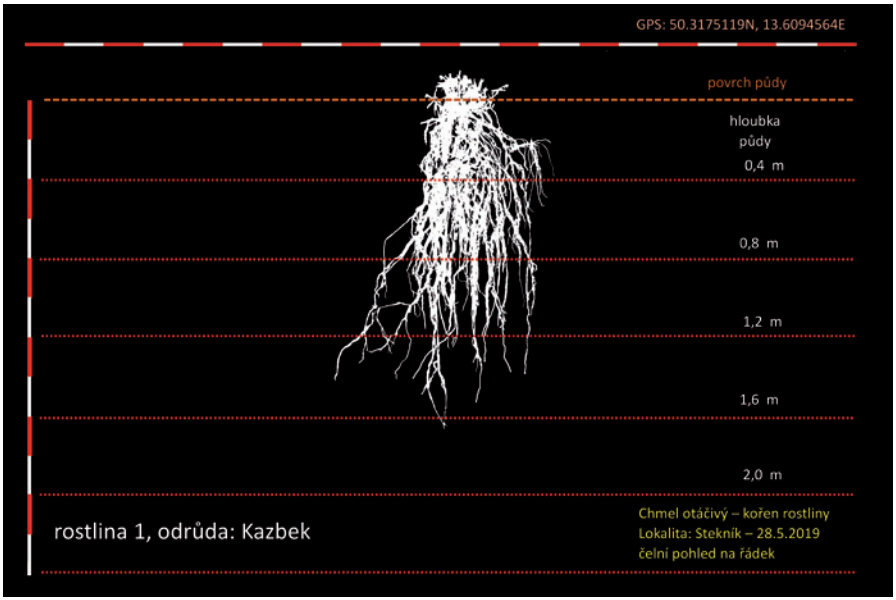
Obě rostliny se vyznačovaly velkým počtem silných kůlových kořenů nepravidelného průřezu o průměru až 40 mm (většinou 25 až 35 mm). Jednalo se o nejmohutnější kořenový systém ze všech odrůd, které byly dosud zkoumány a odpovídá to vysokému výnosovému potenciálu odrůdy kolen 3,0 t/ha. Na některých kořenech se nacházely hlízy, které slouží rostlině jako zásobní orgán živin na začátku vegetačního období. V hloubce výkopu (2 m) nebyla nalezena spodní voda, i když se chmelnice nachází cca 100 m od soutoku Blšanky a Ohře.

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

a) boční pohled na osu řádku

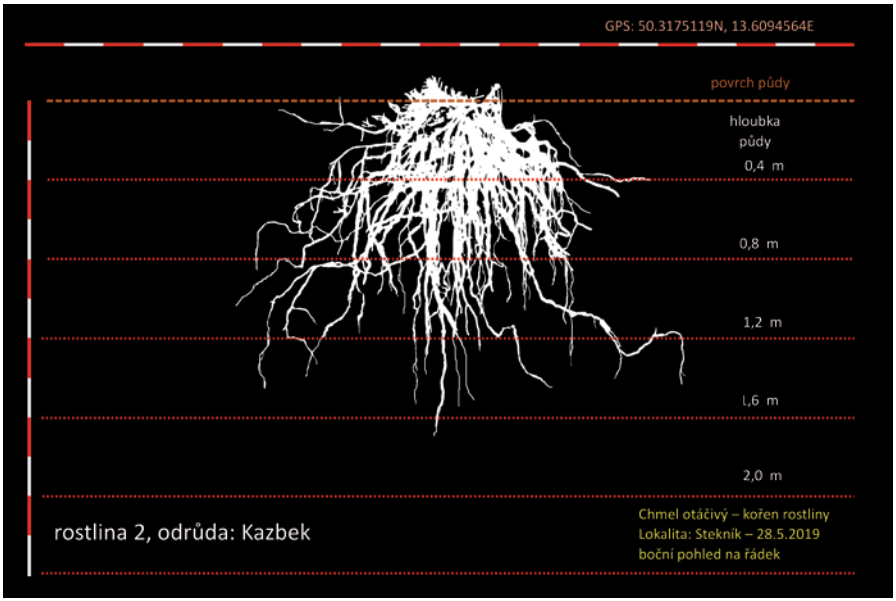


b) čelní pohled na osu řádku

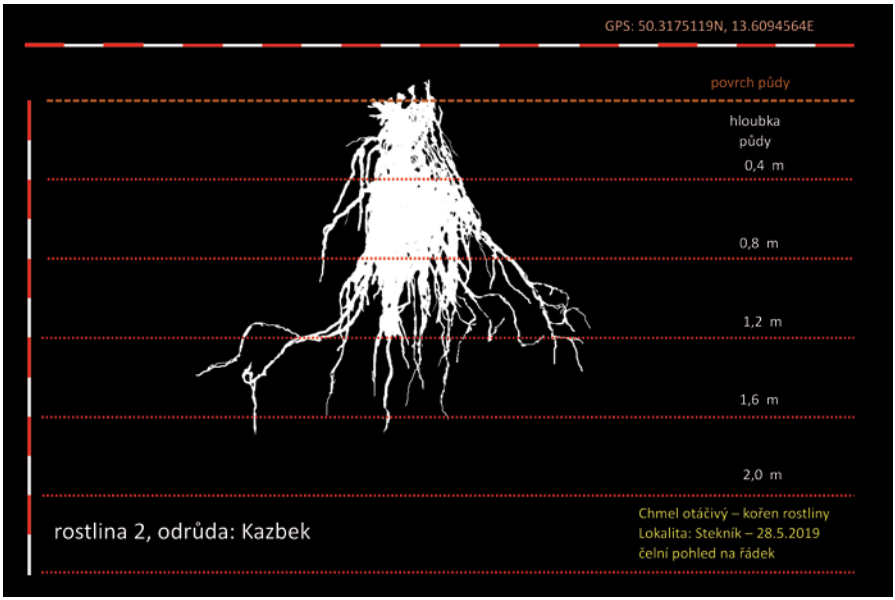


Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



VIII. Odrůda Sládek (2019)

Datum výkopu: 18.10.2019
Lokalita: Černčice, chmelnice Šrotovna
Odrůda: Sládek
Spon: 3 x 1,14 m
Rok výsazu: 2001, stáří rostlin 18 let

Chmelnice osázená odrůdou Sládek, byla vysázena na podzim roku 2001. Nachází se na mírně svažitém pozemku na levém břehu Podvineckého potoka mezi obcemi Černčice a Kryry a je součástí vyhlášené chmelařské polohy „Údolí Zlatého potoka". Voda z vodního toku se používala jako kapková závlaha po celou dobu životnosti chmelnice.

Během výkopových prací byly z půdy vytěženy kořenové systémy dvou sousedních rostlin ve vnitřních řádcích chmelnice. Půdní profil, tvořený typickými permskými červenkami, byl homogenní až do hloubky výkopu, tj.1,5 až 1,6 m. Vzhledem ke stáří chmelnice se očekávalo, že rostliny chmele budou mít mohutný kořenový systém. Opak byl však pravdou. Kořeny chmele sahaly pouze do hloubky 1 až 1,1 m. Vzhledem k stáří rostlin se jednalo o zdaleka nejmenší kořenový systém, jak co do hloubky prokořenění, tak do průměru kořenových svazků. Kořeny měly světle žlutohnědou barvu a jejich průměr v koruně babky nepřesahoval 10 mm. Kolmo na řádek prorůstaly kořeny do vzdálenosti 0,8–0,9 m od babky, ale až v hlubších vrstvách pod zhutnělou zónou zeminy v hloubce 0,3 až 0,5 m. Vzájemné prorůstání kořenů mezi sousedícími rostlinami ve směru řádku bylo minimální. Poškození kořenového systému hnilobou bylo pozorováno jen v malém rozsahu. Hlízy, které slouží rostlině jako zásobní orgán živin na začátku vegetačního období, se vyskytovaly v malém počtu a jen na jedné rostlině. V hloubce výkopu (1,6 m) nebyla nalezena spodní voda, i když se chmelnice nachází nedaleko vodního toku.

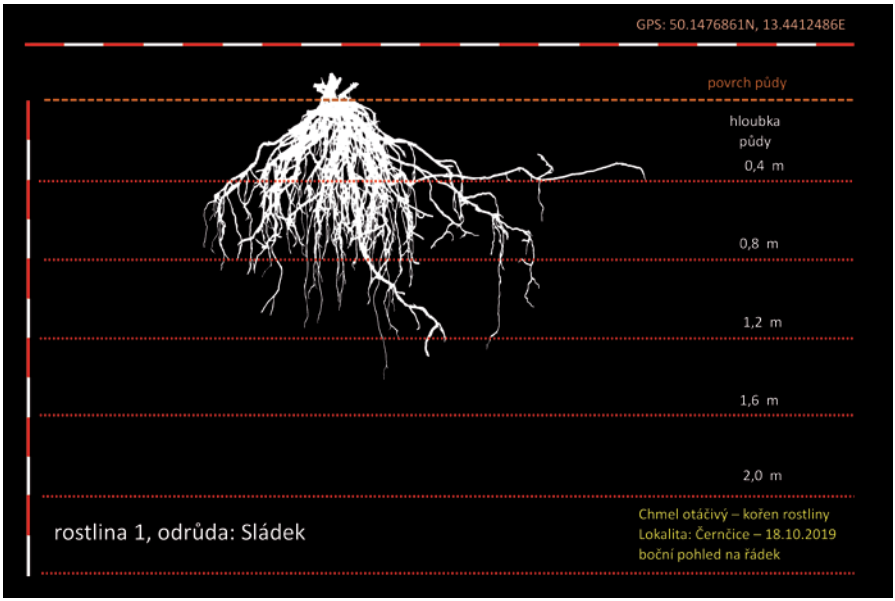
Vhledem k neočekávaně malé velikosti vykopaných kořenů byly v jiné části chmelnice, přibližně ve vzdálenosti 100 m od prvního výkopu, vyjmuty kořeny další rostliny. Z toho, že její kořenový systém měl přibližně stejnou velikost, lze usuzovat, že relativně slabě vyvinutý kořenový systém má na zkoumané chmelnici plošný charakter. Obrázek 79 dokládá proces odkrytí kořenového systému na lokalitě Černice a jeho rekonstrukci.



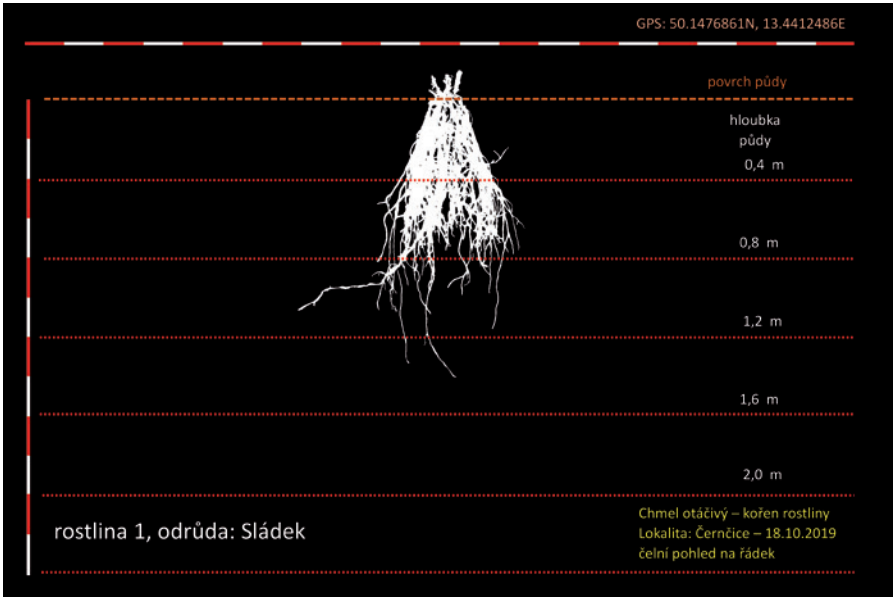
Obr. 79: Proces odkrytí kořenového systému na lokalitě Černice 18.10.2019 *(foto Brant)*.

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

a) boční pohled na osu řádku

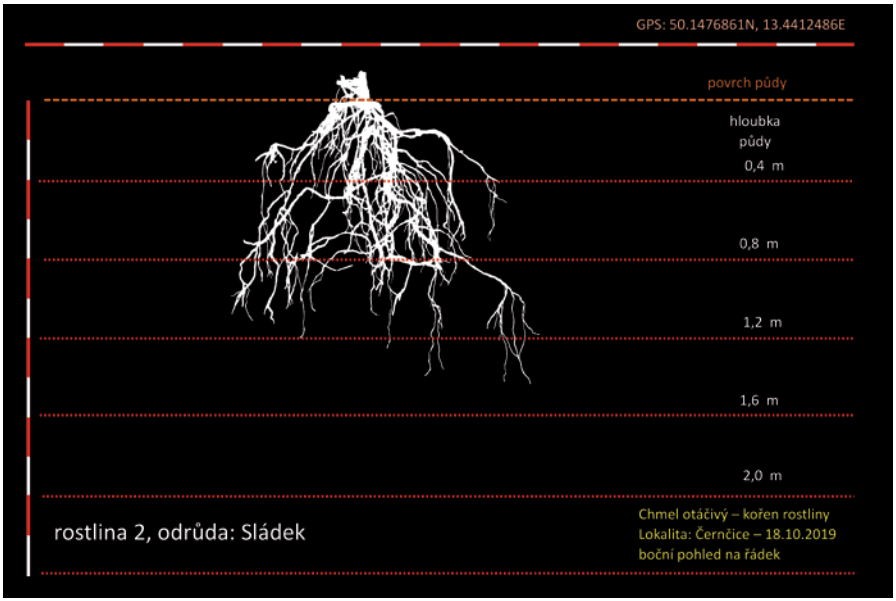


b) čelní pohled na osu řádku

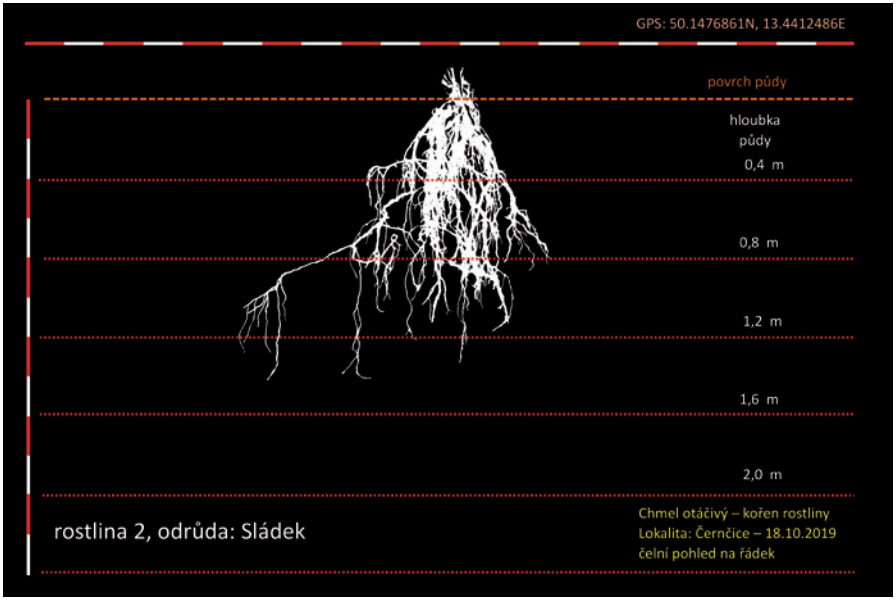


Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



IX. Odrůda Rubín (2020)

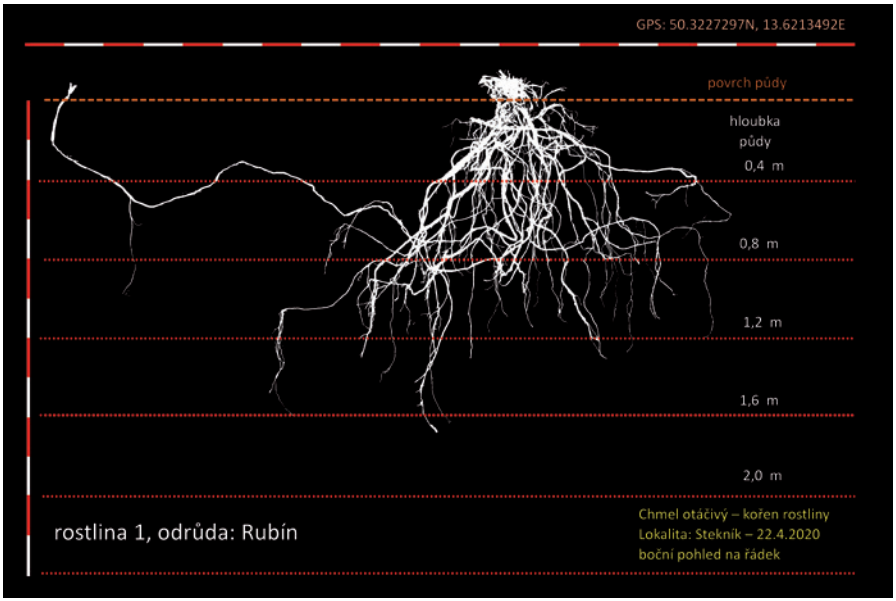
Datum výkopu: 22.4.2020
Lokalita: Stekník, chmelnice Čtvercová
Odrůda: Rubín
Spon: 3 x 1 m
Rok výsazu: 2003, stáří rostlin 17 let

Chmelnice, osázená odrůdou Rubín na podzim roku 2003 ve sponu 3 x 1 m, se nachází cca 170 m od pravého břehu řeky Ohře. Voda z blízké řeky se používala jako kapková závlaha po celou dobu životnosti chmelnice. Během výkopových prací byly z půdy vyjmuty kořenové systémy 2 sousedních rostlin ve vnitřním řádku chmelnice. Půdní profil tvořila ornice (fluvizem – BPEJ 15600) do hloubky cca 1,2 až 1,3 m, pod ní byla vrstva s velkým podílem jemného písku. Utužení půdy v ose průjezdu traktorů nebylo tak intenzivní, jako na jiných chmelnicích. Hloubka prokořenění byla 1,5 až 1,6 m, ale u jedné rostliny se vyskytly dva ojedinělé kořeny, které vertikálně prorostly až do hloubky 2,2 až 2,4 m. V maximální hloubce výkopu spodní voda nalezena nebyla. Většina kořenů prorůstala (kolmo na řádek) do vzdálenosti až 1,3 m od babky v hloubce cca 0,6 až 0,7 m, ale některé o délce cca 2,2–2,5 m prorůstaly půdní profil v hloubce 0,6–0,7 m v šikmém směru až 1,7 m od babky. Nejsilnější kořeny měly u babky průměr přibližně 20 mm.

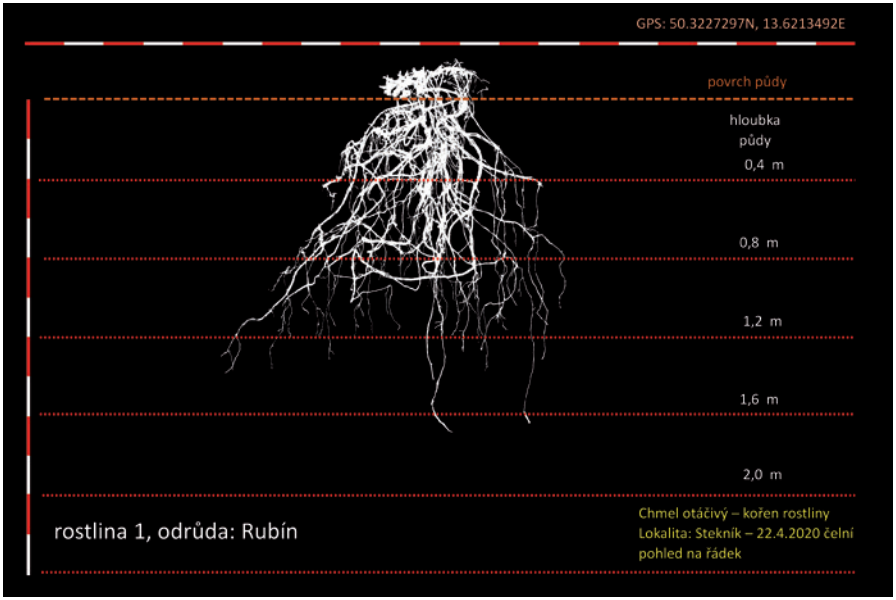
Celý kořenový systém, který se vyznačoval malým počtem jemných vlásečnicových kořenů, nebyl nijak mohutný, ale díky délce jednotlivých kořenů prorůstal velký objem půdy. Vzájemné prorůstání kořenů mezi rostlinami v úrovni hrůbku nebylo pozorováno. Četné kořeny byly však v půdě uloženy horizontálně v hloubce cca 0,6 m, poté se stáčely do větších hloubek. Nejdelší kořen o délce 4,5 m prorostl v ose řádku v hloubce 0,5 až 0,7 m tři rostliny, a nakonec vyrazil na povrch jako vlk. Poškození kořenového systému hnilobou bylo pozorováno, ale v poměrně malém rozsahu.

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

a) boční pohled na osu řádku

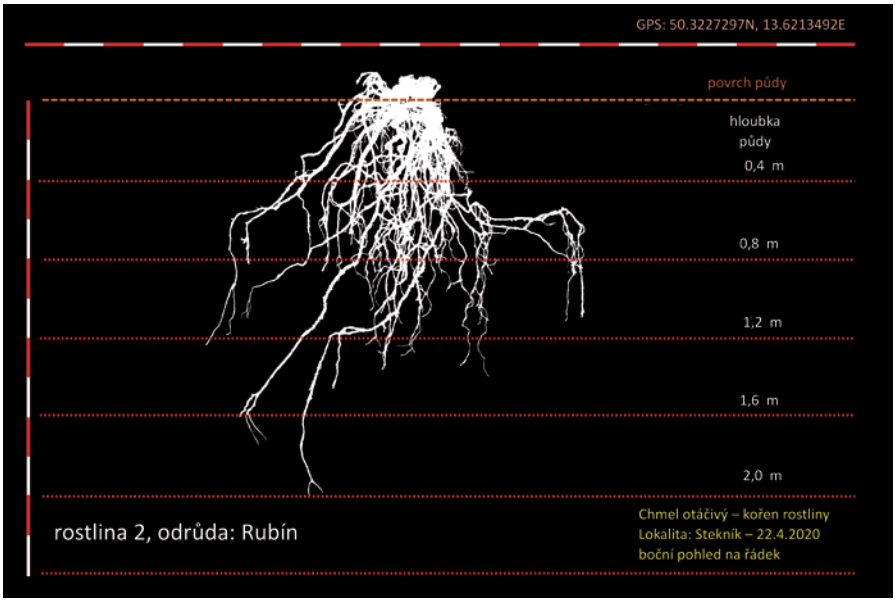


b) čelní pohled na osu řádku

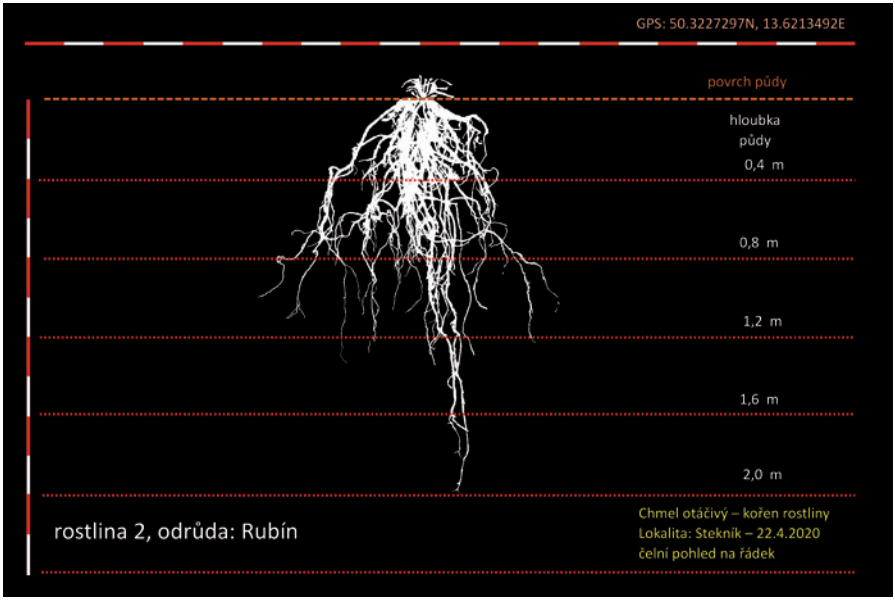


Grafické znázornění kořenového systému 2. rostliny

a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



X. Odrůda Žatecký poloraný červeňák (2020)

Datum výkopu: 4.11.2020
Lokalita: Petrohrad, chmelnice Cihelna
Odrůda: Žatecký červeňák, klon 72 VT
Spon: 3 x 1,13 m
Rok výsazu: 2001, stáří rostlin 19 let

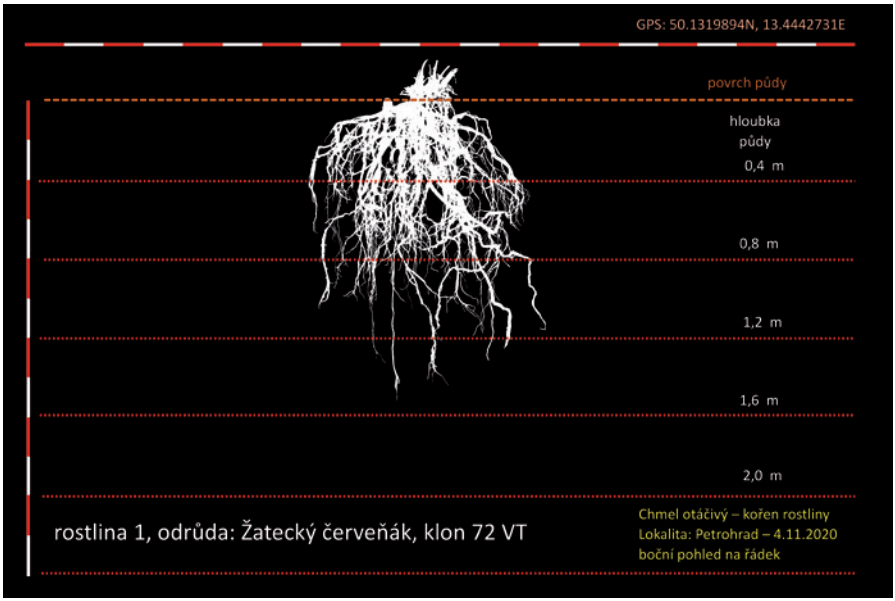
Chmelnice, osázená Žateckým červeňákem na podzim roku 2001 ve sponu 3 x 1,13 m, se nachází za obcí Petrohrad v mírném svahu vpravo od hlavního silničního tahu Praha–Karlovy Vary. Po celou dobu životnosti chmelnice nebyla zavlažována. Půdní profil tvořila do hloubky 0,7–0,8 m permská červenka typická pro střední a jižní část žatecké chmelařské oblasti (kambizem – BPEJ 43301). Tato půda je charakteristická vysokým obsahem železa (až 7 % Fe2O3). Jedná se o těžší, hůře propustnou a chladnou půdu. Pod touto vrstvou se nacházela jílovitá červenka, která je v této oblasti používána pro výrobu cihel. Během výkopových prací byly z půdy vyjmut kořenový systém jedné rostliny ve vnitřním řádku chmelnice. Kořenový systém byl jako celek orientován ve směru kolmém k ose řádku, většina kořenů prorůstala do vzdálenosti 1,3–1,4 m od babky v hloubce cca 0,3 až 0,5 m.

Vzájemné prorůstání kořenů mezi rostlinami v úrovni hrůbku nebylo pozorováno. Poškození kořenů hnilobou bylo pozorováno, ale v rozsahu menším, než by odpovídalo stáří rostliny. Přesto celý kořenový systém působil poměrně mohutným dojmem, který vytvářelo několik silných páteřních kořenů vyrůstajících z babky. Tyto páteřní kořeny měly strukturu „lana“, a v průřezu oválného tvaru měřily asi 40 mm.

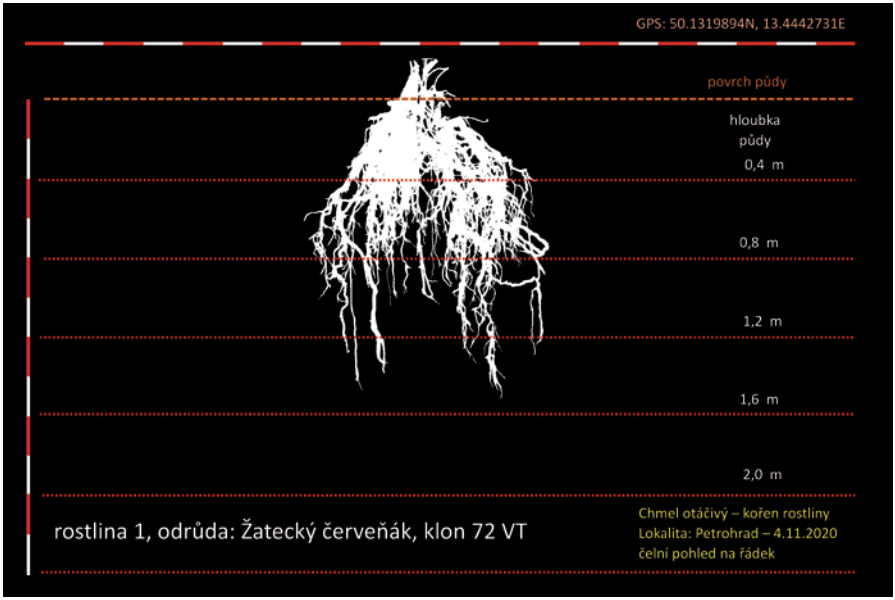
Jemné vlásečnicové kořání bylo patrné i v hloubkách 0,3 až 0,5 m. Utužení půdy v ose průjezdu traktorů bylo velmi intenzivní až v hloubkách 0,5 až 0,7 m, v menších hloubkách byla utužení eliminováno pravidelnou kultivací meziřádků. Hloubka prokořenění byla max. 1,3 m, do této hloubky však prorostlo pouze několik kořenů, většina kořenů prorostla do hloubky cca 1 metru.

Grafické znázornění kořenového systému 1. rostliny

a) boční pohled na osu řádku



b) čelní pohled na osu řádku



10. Seznam literatury

- Arvidsson, J., Keller, T., Gustafsson, K. 2004: Specific draught for mouldboard plough, chisel plough and disc harrow at different water contents. Soil and Tillage Research. 79: 221-231.
- Arvidsson, J. 1999: Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. Plant and Soil. 208: 9-19.
- Badalíková, B., Hrubý J. 2009: Využiti netradičních meziplodin při protierozní ochraně půdy: uplatněná certifikovaná metodika. Zemědělský výzkum, Troubsko. 10 s.
- Berisso, F. E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Simojoki, A., Iversen, B. V., Alakukku, L., Forkman, J. 2013: Gas transport and subsoil pore characteristics: Anisotropy and long-term effects of compaction. Geoderma. 195-196: 184-191 s.
- Blanco, H., Lal, R. 2008: Principles of soil conservation and management. Springer, Dordrecht. 617 s.
- Boardman, J., Evans, R., Favis-Mortlock, D. T., Harris, T. M. 1990: Climate change and soil erosion on agricultural land in England and Wales. Land Degradation and Development. 2(2): 95-106.
- Brant, V., Krofta, K., Kroulík, M., Zábranský, P., Procházka, P., Pokorný, J. 2020: Distribution of root system of hop plants in hop gardens with regular rows cultivation. Plant, Soil and Environment. 66(7): 317-326.
- Brant, V., Kroulík, M., Krofta, K., Zábranský, P., Procházka, P. 2019a: Zonální kypření a hnojení ve chmelnicích - kořenový systém a půda (1. část). Úroda. 67(8): 85-88.
- Brant, V., Kroulík, M., Krofta, K., Zábranský, P., Procházka, P. 2019b: Zonální kypření a hnojení ve chmelnicích - praktické ověřování (dokončení). Úroda. 67(9): 66-69.
- Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Krček, V., Škeříková, M. 2019c: Hluboké kypření a jeho vliv na půdu ve vztahu k ozimé řepce. Úroda. 67(8): 40-44.
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Pivec, J., Kroulík, M., Procházka, L. 2017a: Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. Soil and Water Research. 12(1): 39-50.
- Brant, V., Nýč, M., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M. 2017b: Technologické postupy optimalizace tvorby seťového lože s využitím systémů zonálního hnojení. Certifikovaná metodika, Kurent, s.r.o., České Budějovice. 108 s.
- Brant, V., Kroulík, M., Krofta, K., Zábranský, P., Procházka, P., Pokorný, J. 2016: Prostorové rozmístění kořenového systému chmele v půdě. Chmelařství. 4: 42-46.
- Brant, V., Balík, J., Fuksa, P, Hakl, J., Holec, J., Kasal, P., Neckář, K., Pivec, J., Prokinová, E. 2008: Meziplodiny. Kurent. České Budějovice. 86 s.
- Brunotte, J., Fröba, N. 2007: Schlaggestaltung – kostensenkend und bodenschonend. KTBL Schrift 460. Darmstadt. 178 s.
- Castillo-Ruiz, F. J., Pérez-Ruiz, M., Blanco-Roldán, G. L., Gil-Ribes, J. A., Agüera, A. 2015: Development of a telemetry and yield-mapping system of olive harvester. Sensors. 15(2): 4001–4018.
- Correa, J., Postma, A. J., Watt, M., Wojciechowski, T. 2019: Soil compaction and the architectural plasticity of root systems. Journal of Experimental Botany. 70(21): 6019-6034.
- Godwin, R. J., Spoor, G. 1977: Soil failure with narrow tines. Journal of Agricultural Engineering Research. 22: 213-228.
- Graf, T., Beck, M., Mauermeier, M., Ismann, D., Portner, J., Doleschel, P., Schmidhalter, U. 2014: *Humulus lupulus* – The Hidden Half, Brewing Science. 67: 161-166.
- Graves, A. R., Morris, J., Deeks, L. K., Rickson, R. J., Kibblewhite, M. G., Harris, J. A., Fairwell, T. S., Truckell, I. 2015: The total costs of soils degradation in England and Wales. Ecological Economics. 119: 399-413.

- Grzesiak, M. T., Szczyrek, P., Rut, G., Ostrowska, A., Hura, K., Rzepka, A., Hura, T., Grzesiak, S. 2015: Interspecific differences in tolerance to soil compaction, drought and waterlogging stresses among maize and triticale genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science. 201: 330-343.
- Hameed, I. A., Bochtis, D. D., Sørensen, C. G., Vougioukas, S. 2012: An object-oriented model for simulating agricultural in-field machinery activities. Computers and Electronics in Agriculture. 81: 24–32.
- Hamza, M., Andersonm, W. 2003: Responses of soil properties and grain yields to deep ripping and gypsum application in a compacted loamy sand soil contrasted with a sandy clay loam soil in Western Australia. Australian Journal of Agricultural Research. 54: 273-282.
- Hermann, W., Bauer, B., Bischoff, J. 2012: Srip Till: Mit Streifen zum Erfolg. DLG-Verlag, Frankfurt am Main. 120 s.
- Horn, R., Doma, H., Sowiska-Jurkiewicz, A., Van Ouwerkerk, C. 1995: Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. Soil and Tillage Research. 35: 23-36.
- Jaafar, M. N., Stone, L. R., Goodrum, D. E. 1993: Rooting depth and dry matter development of sunflower. Agronomy Journal. 85(2): 281-286.
- Janeček, M., Dostál, T., Kozlovský-Dufková, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., Kovář, P., Krása, T., Kubátová, E., Kobzová, D., Kudrnáčová, M., Novotný, I., Podhrázská, J., Pražan, J., Procházková, E., Středová, I., Toman, F., Vopravil, J., Vlasák, J. 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. 1. vydání, Powerprint, Praha. 117 s.
- Janeček, M. 2008: Základy erodologie. Česká zemědělská univerzita, Praha. 172 s.
- Kabelka, D., Kincl, D., Vopravil, J., Vráblík, P. 2021: Impact of cover crops in inter-rows of hop gardens on reducing soil loss due to water erosion. Plant, Soil and Environment. 67(4): 230-235.
- Kabelka, D., Kincl, D., Janeček, M., Vopravil, J., Vráblík, P. 2019: Reduction in soil organic matter loss caused by water erosion in inter-rows of hop gardens. Soil and Water Research. 14(3): 172-182.
- Krofta, K., Brant, V., Pokorný, J., Kroulík, M., Zábranský, P., Šnidlová, J., Mravcová, L. 2017: Spatial layout of the root system of hop in Czech Republic. Proceedings of the Scientific Commission. Austria. 109 s.
- Krofta, K., Ježek, J., Klapal, I., Křivánek, J., Pokorný, J., Pulkrábek, J., Vostřel, J. 2012: Integrovaný systém pěstování chmele. Metodika pro praxi 02/2012. Chmelařský institut. 95 s.
- Lasso, T., Seeger, M., Peters, P., Keesstra, S. D. 2015: The Wageningen rainfall simulator: Set-up and calibration of an indoor nozzle-type rainfall simulator for soil erosion studies. Land Degradation and Development. 26(6): 604-612.
- Lipecki, J., Berbeć, S. 1997: Soil management in perennial crops: or-chards and hop gardens. Soil and Tillage Research. 43: 169–18.
- Lipiec, J., Horn, R., Pietrusiewicz, J., Siczek, A. 2012: Effects of soil compaction on root elongation and anatomy of different cereal plant species. Soil and Tillage Research. 121: 74-81.
- Mahaffee, W., Pethybridge, S. J., Gent, D. H. 2009: Compendium of hop diseases and pests. The American Phytopathological. 93 s.
- Mayaki, W. C., Teare, I. D., Stone, L. R. 1976: Top and root growth of irrigated and nonirrigated soybeans. Crop Science. 16(1): 92-94.
- Meyer, L. D., Harmon, W. C. 1979: Multiple-intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. Transactions of the ASAE. 22(1): 100-103.
- Miller, R. H. 1958: Morphology of *Humulus lupulus* L. Developmental anatomy of the primary root. American Journal of Botany. 418-431.

- Montgomery, D. R. 2007: Soil erosion and agricultural sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences. 104(33): 13268-13272.
- Mullan, D. 2013: Managing soil erosion in Northern Ireland: a review of past and present approaches. Agriculture. 3(4): 684-699.
- Nawaz, M. F., Bourrié, G., Trolard, F. 2013: Soil compaction impact and modelling. A review. Agronomy for Sustainable Development. 33: 291-309.
- Nedělník, J. 2007: Trvale udržitelné pícninářství. Úroda. 55(6): 54-57.
- Neve, R. A. 1991: Hops. Springer Science & Business Media. 266 s.
- Niziolomski, J. C., Simmons, R. W., Rickson, R. J., Hann, M. J. 2016: Tine options for alleviating compaction in wheelings. Soil and Tillage Research. 161: 47-52.
- Oszust, K., Frąc, M., Gryta, A., Bilińska, N. 2014: The influence of ecological and conventional plant production systems on soil microbial quality under hops (*Humulus lupulus* L.). International Journal of Molecular Sciences. 15: 9907-9923.
- Pavloušek, P. 2011: Pěstování révy vinné. Moderní vinohradnictví. Grada Publishing. 336 s.
- Rybáček, V. (ed.) 1980: Chmelařství. SZN, Praha. 426 s.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C. 2003: Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena. 50(2-4): 91-133.
- Sachl, J. 1974: Podzimni kultivace chmelnic. Chmelařství, 9: 150–151.
- Sharma, Y., Ashoka, P. 2015: Precision farming and use of sen-sors in Horticulture. Progressive Research – An International Journal Society for Scientific Development, 10 (special-VI): 3244–3248.
- Silva, S., Barros, N., Costa, L., Leite, F. 2008: Soil compaction and eucalyptus growth in response to forwarder traffic intensity and load. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 32: 921-932.
- Smirnov, P. A., Makushev, A. E., Kazakov, Y. F., Medvedev, V. I., Vasilyev, A. O., Andreev, R. V. 2019: Influence of types of tractor running gears on the value of hop garden row spacing compaction. INMATEH - Agricultural Engineering. 57(1): 19-28.
- Sobotik, M., Graf, T., Himmelbauer, M., Bodner, G., Bohner, A., Loiskandl, W. 2018: In-situ root system characterization of hop and maize via soil profile excavation. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment. 69(2): 121-130.
- Spoor, G. 2006: Alleviation of soil compaction: requirements, equipment and techniques. Soil Use Manage. 22: 113-122.
- Spoor, G., Godwin, R. J. 1978: An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. Journal of Agricultural Engineering Research. 23: 243-258.
- Szatanik-Kloca, A., Hornb, R., Lipieca, J., Siczeka, A., Szeremen, J. 2018: Soil compaction--induced changes of physicochemical properties of cereal roots. Soil and Tillage Research. 175: 226-233.
- Štranc, J. 1984: Zhutnění půd ve chmelnicích a význam jejich podzimního houbkového kypření. Chmelařství 11, 167-168.
- Štranc, P., Štranc, J., Štranc, D. 2013: Zásady správné agrotechniky chmele a analýza příčin velkého úhynu chmele na jaře roku 2012. Kurent. České Budějovice. 34 s.
- Štranc, P., Štranc, J., Štranc, D., Ledvina, R. 2008: Zpracování půdy ve chmelnicích. Katedra rostlinné výroby, FAPPZ, Česká zemědělská univerzita. Kurent. 156 s.
- Štranc, P., Štranc, J., Jurčák, J., Štranc, D., Pázler, B. 2007: Řez chmele. Katedra rostlinné výroby, FAPPZ, Česká zemědělská univerzita. Kurent. 60 s.
- Unger, P. W., Kaspar, T. 1994: Soil Compaction and Root Growth: A Review. Agronomy Journal. 86(5): 759-766.
- Vahabi, J., Nikkami, D. 2008: Assessing dominant factors affecting soil erosion using a portable rainfall simulator. International Journal of Sediment Research. 23(4): 376-386.
- Vach, M., Javůrek, M. 2007: Ve struktuře rostlinné výroby je prospěšné využívat meziplodiny. Úroda. 55(6): 58-60.

- Vanmaercke, M., Zenebe, A., Poesen, J., Nyssen, J., Verstraeten, G., Deckers, J. 2010: Sediment dynamics and the role of flash floods in sediment export from medium-sized catchments: a case study from the semi-arid tropical highlands in northern Ethiopia. Journal of Soils and Sediments. 10(4): 611-627.
- Vent, L. 1963: Chmelařství - organizace a technologie výroby. SZN, Praha.
- Wample, R. L., Farrar, S. L. 1983: Irrigated hop (*Humulus lupulus* L.) in Washington State. Agricultural Water Management. 7: 457-470.
- Zachar, D. 2011: Soil erosion. Developments of Soil Science 10. Elsevier, Amsterdam. 547 s.
- Zhang, X. H., Zhang, E. H., Lang, D.Y. 2011: Autotoxic compounds from rhizosphere soil of *Humulus lupulus* L. extracts: Identification and biological activity. Agronomy Journal. 103: 695-701.