

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce

**Pěstitelská opatření ke zmírnění dopadů sucha u
brambor**

Disertační práce

Doktorand: Ing. Martin Král

Školitel: prof. Ing. Ivana Capouchová, CSc.

Školitel specialista: Ing. Petr Dvořák, Ph.D.

Praha 2020

Čestné prohlášení

"Prohlašuji, že jsem teze disertační práce na téma: Pěstitelská opatření ke zmírnění dopadů sucha u brambor vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele. Souhlasím se zveřejněním teze disertační práce dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V..... dne.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mé školitelce prof. Ing. Ivaně Capouchové, CSc. za vedení práce. Poděkování patří také školiteli specialistovi Ing. Petru Dvořákovi, Ph.D. za ochotu, trpělivost a především dohled nad průběhem všech pokusů. V neposlední řadě děkuji lidem, kteří se během mého výzkumu podíleli na polních pracích a zejména lidem z Výzkumné stanice Uhřetěves.

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíle práce	3
3 Hypotézy.....	4
4 Literární část	5
4.1 Původ brambor a jejich přizpůsobení evropským podmínkám.....	5
4.2 Produkce brambor v agroekologických podmínkách ČR	5
4.2.1 Produkce sadbových brambor.....	7
4.3 Dopad změn v průběhu povětrnostních podmínek během vegetace na pěstování brambor	8
4.4 Synoptické příčiny vzniku sucha	11
4.5 Definice zemědělského sucha a jeho vznik.....	12
4.6 Posouzení půdního a fyziologického sucha u brambor	14
4.7 Mikroklima hrůbků a jeho vliv na tvorbu hlíz	15
4.7.1 Půdní vláha	15
4.7.2 Teplota půdy.....	16
4.8 Hodnocení adaptability rostlin brambor na sucho a její znaky.....	17
4.8.1 WUE, EUW a obsah chlorofylu v listech	19
4.8.2 Úloha kořenové soustavy	21
4.8.3 Úloha epigenetické paměti.....	22
4.8.4 Příklady experimentů se stresovou pamětí.....	24
4.9 Pěstitelská opatření zmírňující dopady sucha cílená na půdu	25
4.9.1 Úloha organické hmoty při zmírnění dopadů sucha	25
4.9.2 Závlahové systémy při pěstování brambor	26
4.9.3 Změny v agrotechnice pěstování brambor.....	28
4.9.4 Mulčování u brambor	29
4.9.5 Přípravky zlepšující půdní podmínky	33
5 Metodika	35
5.1 Charakteristika realizovaných pokusů.....	35
5.2 Pokus zaměřený na cílenou expozici půdního sucha na nové sadbové hlízy a následné ověření odolnosti takto vyprodukované exponované sadby v podmínkách maloparcelkového pokusu s částečně řízeným vláhovým režimem	36
5.2.1 Nádobový pokus	36
5.2.2 Maloparcelkový pokus s řízeným vláhovým režimem	38
5.3. Polní pokusy zaměřené na cílené změny půdních vlastností pro řešení nedostatku vláhy v půdě	40
5.3.1 Stanovištní podmínky	40

5.3.2. Klimatologická charakteristika	40
5.3.3. Půdní charakteristika	41
5.4 Ověření účinnosti změny aplikace půdního přípravku	45
5.4.1. Popis pokusu.....	45
5.4.2 Sledované parametry a charakteristiky.....	46
5.5 Statistické hodnocení	46
6 Výsledky a diskuze	47
6.1 Pokus zaměřený na cílenou expozici půdního sucha na nové sadbové hlízy a následné polní ověření suchem exponované sadby.....	47
6.1.1 Nádobový pokus k produkci sadby vystavené stresu a jeho hodnocení.....	47
6.1.2 Pokus zaměřený na polní ověření suchem exponované sadby.....	56
6.2 Pokus zaměřený na opatření cílená na změnu půdních vlastností	62
6.2.1 Vliv vybraných opatření na ztrátu půdních částic povrchovým odtokem.....	62
6.2.2 Vliv opatření na vláhově-teplotní podmínky v půdě	71
6.2.3 Vliv ochranných opatření na utužení půdy	73
6.2.4 Vliv ochranných opatření na výnos hlíz	74
6.2.5 Vliv ochranných opatření na početní a hmotnostní strukturu hlíz pod trsem	76
6.3 Pokus zaměřený na změnu aplikace půdního přípravku Transformer	77
6.3.1 Vliv změny aplikace na vláhové poměry půdy	77
6.3.2 Vliv změny aplikace na produkční parametry	78
6.4 Ekonomické zhodnocení opatření cílených na půdu	78
6.5 Souhrn a dílčí závěry z ověřování účinnosti opatření cílených na ochranu půdy	79
7 Závěry a doporučení pro praxi	80
8 Vyjádření k hypotézám.....	82
9 Seznam použité literatury.....	85
9.1 Literární zdroje.....	85
9.2 Internetové zdroje	94

1 Úvod

Nejen pěstování brambor doznalo během posledních desítek let nebývalého pokroku. Díky rozvoji pěstitelské technologie, její intenzifikaci a modernizaci postupů došlo k významnému zefektivnění celého výrobního procesu u brambor. Pro toto období byl charakteristický růst hektarového výnosu. V tomto kontextu může být obtížné připustit, že v současné době představuje jeden z hlavních limitů a hrozeb dalšího rozvoje zdánlivě banální problém, jako je nedostatek půdní vláhy. V roce 2015 bylo za poškození plodin suchem vyplaceno téměř 1,19 mld. Kč, 1,17 mld. Kč v roce 2017 a v roce 2018 to byly 2 mld. Kč (Žalud et al. 2020). Vysoký výnosový potenciál brambor je po celém světě limitován dostatkem vody, která je v rozhodující míře dodávána plodině hlavně prostřednictvím atmosférických srážek. Oblasti relativně dobře zásobené vodou mají důsledkem sucha sniženy výnosy zemědělských plodin v průměru o 10-15 %, především díky nerovnoměrnému rozložení srážek během vegetačního období (Brázdil et al. 2015). Cornelis (2019) uvádí, že zhoršující se rozložení dešťových srážek, jejich rychlý odtok nebo promytí, představují do budoucna významné omezení dostupné půdní vláhy rostlinám. V důsledku toho již dochází k poklesu produkce, nedostatek vláhy se jen v letech 2012 a 2015 projevil snížením výnosů brambor až o 40 % (Kasal 2017). V blízké budoucnosti lze na našem území očekávat, jako důsledek extrémizace počasí, období sucha. V rámci Evropy především ve vnitrozemských zeměpisných šířkách, bude častější výskyt suchých epizod (Lhotka et al. 2018). Některé projektované scénáře klimatické změny uvádějí za nejpravděpodobnější následek aridizaci evropského klimatu. Zemím s absencí významnějších náhradních zdrojů vody, kterou ČR je, mohou nastat jen těžko předvídatelné potíže (Pražan et al. 2007). Již nyní má řada zemí na jihu Evropy nemalé problémy se suchem a okolo 70 % vodních zdrojů je zde využíváno k závlahám (Bláha 2011). Pozornost při hledání, jak lépe přizpůsobit soudobé genotypy brambor environmentálnímu stresoru sucha, se často obrací na genetické zdroje planých druhů genových kolekcí světových sbírek; jejich použitelnost pro pěstitelskou praxi bývá však problematičtější (Vokál et al. 2013; Cornelis 2019). Pozornost je vedle konvenčního šlechtění také zaměřena na alternativní přístupy využívající znalosti ekofyziologických reakcí a adaptačních mechanismů, které u rostlin bramboru pomáhají s překonáním stresových podmínek sucha (Minhas 2017). Přestože Žalud (2019) uvádí, že za problémy českého zemědělství spojené se suchem může stav krajiny pouze z 30 %, tak soudobý přístup

k hospodaření vykazuje jisté rezervy v zadržování půdní vláhy (Štípek et al. 2018). Řešení těchto problémů z velké míry vězí v plošném zlepšení fyzikálně-biologického stavu orné půdy a sledování jejích kvalitativních parametrů s důrazem na ochranu před nadměrným neproduktivním výparem. Žalud et al. (2020) uvádí, že úspěch zmírňujících adaptačních opatření stojí na tom, že vychází ze zemědělské praxe a že je zemědělci snáze přijmou. Brambory světově čtvrtou nejvýznamnější plodinou, zároveň jsou však řazeny mezi zemědělské plodiny citlivé k suchu (Romero et al. 2017). Při statistickém zkoumání dopadů sucha na výnos byla u brambor zjištěna silná korelace mezi suchem a snížením výnosu (Hlavinka et al. 2009). Brázdil et al. (2015) uvádí, že nejčastěji se v České republice vyskytují suché epizody na Žatecku, v Polabské nížině a jižní Moravě. V posledních letech jsme však svědky sucha i v dalších regionech, v podstatě napříč celým územím ČR (Žalud et al. 2020). Zemědělské sucho se v ČR vyskytuje nahodile a v posledních letech poměrně azonálně (Litschmann et al. 2016), což působí nemalé problémy v procesu tvorby opatření, vedoucích k přizpůsobení a zmírnění jeho dopadů. Současné pěstitelské technologie, jejichž uplatnitelnost je podmíněna relativní podobností sledů úhrnů srážek a posloupnosti chodu teplot charakteristické pro dané roční období se znatelným ohraničením, čeká optimalizace. Hlavním problémem, zvláště pro pěstování brambor, zůstává nepříznivý sled meteorologických situací, s nízkými úhrny srážek s nevhodným rozložením během vegetačního období (Trnka 2018). Podle řady klimatických predikcí a projektovaných scénářů se tak zdá, že dostatek půdní vláhy v hlavním vegetačním období, který býval standardem, bude klíčovým intenzifikačním faktorem rostlinné produkce.

2 Cíle práce

Cílem je ověřit různé postupy pro řešení tolerance k suchu a předložit postup řešení při produkci brambor. V první řadě jde o to, pokusit se vyprodukovat sadbový materiál, který bude tolerantní k suchu (cestou aktivace sadbových hlíz) a zjistit perzistenci této tolerance. Druhým cílem bude ověření účinnosti opatření ke zlepšení vláhově – půdních podmínek při pěstování brambor pomocí aplikace mulče a kompostu. Třetím cílem bude nalézt další možnosti posílení tolerance k suchu přímou aplikací podpůrných půdních přípravků a tím eliminovat nežádoucí dopady sucha na výslednou produkci hlíz.

3 Hypotézy

- 1) Cílená expozice půdního sucha v klíčových termínech vývoje rostlin bramboru aktivuje mechanismy stresové paměti u nových hlíz, které se poté projeví u porostů z nich vzešlých lepší stresovou reakcí vedoucí ke zlepšení produkční parametrů v podmínkách sucha.
- 2) Získané protistresové mechanismy jsou udržitelné i pro následnou generaci, pocházející již ze sadby neexponované suchem (tj. přesadby).
- 3) Aplikací slámy jako mulče na povrch hrůbků a zapravením kompostu lze pozitivně ovlivnit půdní vlastnosti, tím zajistit lepší dostupnost vody pro rostliny v důležitých fázích růstu a stabilizovat produkci hlíz v podmínkách nedostatku vody.
- 4) Změnou způsobu aplikace půdního přípravku do půdy lze zlepšit dostupnost vody v půdě, hospodaření rostliny s vodou a ve výsledku zvýšit produkci hlíz.

4 Literární část

4.1 Původ brambor a jejich přizpůsobení evropským podmínkám

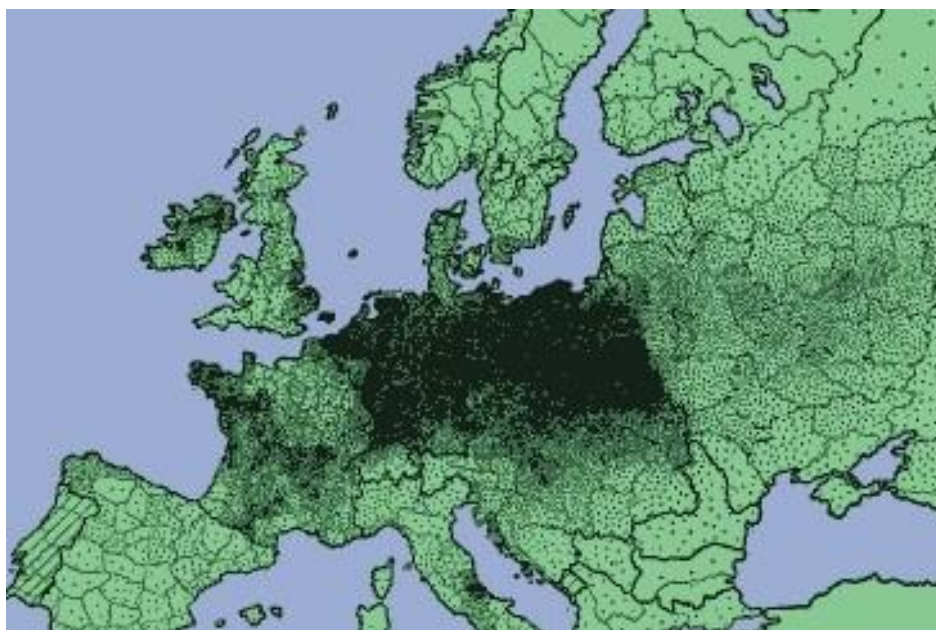
Současné kultivary brambor pěstované v Evropě i u nás vycházejí z kulturního druhu Lilek brambor, podruh obecný (*Solanum tuberosum* L., ssp. *tuberosum*). Ten se vyvinul hybridizací mezi formami „andského“ poddruhu (ssp. *andigenum*), kdy se dostal, díky migraci původních obyvatel z Peru, do Chile a vytvořila se tak jeho nová ekologická varieta (Špaldon et. al. 1982). Některé prameny ovšem uvádějí, že tyto dva poddruhy se vyvíjely samostatně, ssp. *andigenum* na pomezí Bolívie a Peru, s tvorbou hlíz ve světelných podmínkách krátkého dne a ssp. *tuberosum* na ostrově Chiloa za dne dlouhého (Špaldon et. al. 1982). Vokál et. al. (2013) uvádí, že andský poddruh byl výsledek evolučního spojení až 3 planých druhů brambor, a přestože byl do Evropy dopraven jako první (počátkem 16. století), tak později zde začal převládat ssp. *tuberosum*. Roli v tom jistě sehrála vyšší odolnost vůči plísni, původ, neboť v Evropě převládá během vegetačního období dlouhý den. Andský poddruh, který pocházel z rovníkových horských oblastí, měl horší předpoklady k adaptaci na zdejší pěstitelské podmínky a postupem času byl zcela eliminován přirozenou negativní selekcí konzumenty pro příliš hořkou chuť (Vejl 2002). Je tak pravděpodobné, že ssp. *tuberosum* se vyvíjel až v Evropě, nezávisle na ssp. *andigenum*, než že by byl přímo dovezen z Chile (Hancock 2004). Bláha et al. (2017) uvádí, že v současné době se počet odrůd brambor světově pohybuje kolem 5000, z toho jen 3000 v Andách a Peru, Bolívii, Ekvádoru, Chile a Kolumbii. Ve společném katalogu registrovaných odrůd v EU je uvedeno přes 1500 položek (Domkářová 2019). Katalog odrůd registrovaných v ČR čítá 158 odrůd (KOB 2020).

4.2 Produkce brambor v agroekologických podmínkách ČR

Agroekologické podmínky České republiky jsou odlišné od podmínek bramborařsky nejvyspělejších zemí Evropské unie (Německo, Francie, Británie, Nizozemsko, Belgie). V prvé řadě jsou to klimatické podmínky; oceánické podnebí těchto zemí je pro pěstování brambor příhodnější (Rybáček et al. 1988). Průběh povětrnostních podmínek v těchto přímořských státech severozápadní Evropy je více ovlivněn prouděním mas, což přináší během vegetačního období vyšší úhrny srážek s rovnoměrným rozložením. Důsledkem toho se liší teplota a relativní vlhkost vzduchu, která částečně tlumí extrémní výkyvy v hodnotách

letních teplot. Mírné rozdíly jsou i v délce slunečního svitu. Štípek et al. (2018) ale uvádí, že výkyvy v dostupnosti vláhy rostlinám jsou zemědělci ohroženi napříč Evropou.

Půdní podmínky oblastí s významnou produkcí brambor (Severoněmecká nížina, Dolní Sasko a Porýní), se také liší od půdních podmínek bramborářských oblastí našich vrchovin. Význam agroekologických faktorů pro rozšíření pěstování brambor v Evropě zdařile ilustruje obrázek 1.



Obrázek 1 *Mapa znázorňující rozšíření pěstování brambor v Evropě počátkem 20. stol., každý bod reprezentuje 800 ha (Zdroj: reddit.2018)*

Rozpětí podmínek, ve kterých se u nás brambory pěstují, je široké, nicméně pokud pomíneme rané brambory, tak podstatná část produkce vždy pocházela z vysočiny. Tuto rozsáhlou oblast lze geograficky vymezit prostorem Středočeské pahorkatiny a Českomoravské vrchoviny, územní příslušnost je ke krajům Jihočeský a Vysočina, přičemž druhý uvedený kraj se statisticky podílí téměř 1/3 z celé produkce brambor v ČR (ČSÚ 2020). Zde se jedná o tradiční způsob pěstování konzumních brambor spíše pozdních a brambor určených na produkci škrobu a sadby. Díky nadmořské výšce se klima oblasti oproti nížinám liší chladnějším počasím i vyšším úhrnem srážek (Tolasz 2007). Toto býval jeden z hlavních faktorů, proč se tato oblast stala středobodem českého bramborářství a po dlouhou dobu to představovalo hlavní konkurenční výhodu oproti níže položeným oblastem. V posledních letech však vlivem trendu narůstajících teplot, zvláště na vrcholu vegetačního období, o tuto

výhodu oblast přichází (Litschmann et al. 2016). Pro půdy bramborářské oblasti je příznačný výskyt kambizemí a podzolů, jsou silně skeletovité, mělké a často na sklonitém reliéfu. Tímto se velmi liší od úrodných, hlubokých a humózních půd nížin Polabí a jižní Moravy, kde se soustředila produkce raných brambor, tedy brambor s neuzavřenou slupkou, sklizených do konce června. Ranobramborářské oblasti, které z větší části kopírují oblasti zelinářské, jsou vymezeny dvěma celky. Prvním je poměrně úzký pás kolem řeky Labe, který se táhne Středočeskou tabulí, zhruba od města Chvaletice až po Litoměřice. Druhým je trojúhelník Dyjsko-svrateckého úvalu, tedy prostor mezi městy Znojmo, Brno, Hodonín (Hamouz et al. 2007). Rozsah ranobramborářských ploch je limitován dostupností závlahové infrastruktury, neboť se při pěstování raných brambor uplatňuje specifická pěstební technologie, obdobná jako u kořenové zeleniny, s využitím závlahy a nakrytí netkanou textilií. Hlavní nevýhodou těchto oblastí je většinou méně srážek během vegetačního období, které je u raných brambor krátké (70 dní), přičemž rozpětí potřebných srážek je 160 až 205 mm (Hamouz et al. 2007). Dalším rizikovým faktorem jsou extrémně vysoké teploty během vegetace, zvláště při jejím sušším průběhu. Z výše zmíněného vyplývá, že přes různorodé podmínky, které nejsou pro pěstování brambor optimální, se určité regiony v tomto vymezení a jsou svojí produkcí schopny pokrýt větší část spotřeby českého trhu. Jistým rizikem i výzvou zároveň zůstává schopnost se přizpůsobit během hlavního vegetačního období stále častějším výkyvům a extrémům počasí, jako jsou přivalové deště a vlny horka. Hlavním problémem úspěšného pěstování brambor bývá nevyhovující průběh povětrnostních podmínek během vegetace. Především jde o nedostatek srážek, jejich nerovnoměrné rozložení, vysoké denní i noční teploty a z toho vyplývající nevyhovující vláhové podmínky v půdě (Rožnovský 2014).

4.2.1 Produkce sadbových brambor

Pěstování brambor za účelem získání sadbových hlíz je jedním z užitkových směrů tuzemské produkce s pravděpodobně nejnáročnější pěstitelskou technologií (Vokál et. al. 2013). Tato úzká specializace vyžaduje nejen příznivé klimatické podmínky, ale také zkušenosti s úskalími vegetativního přemnožování. V zásadě se jedná o způsob obdobný u ostatních užitkových směrů, avšak nároky na udržení dobrého stavu natě a potažmo biologické hodnoty hlíz jsou mnohem vyšší. K usměrňování porostů a zdárnému výsledku se používají opatření organizační, pěstitelská a fytopatologická (Vokál et. al. 2004). Produkce brambor tohoto směru je možná pouze v zákonem vymezených oblastech, kde je průběh povětrnostních podmínek během vegetačního období chladnější. Rybáček et al. (1988) uvádí,

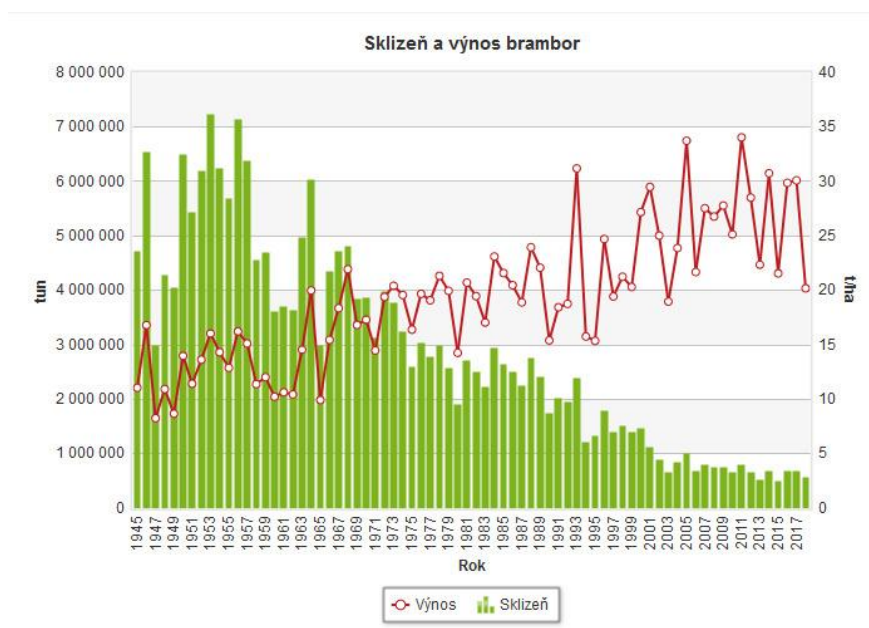
že k těmto podmínkám mají u nás nejbližší oblasti Českomoravské vrchoviny. Porosty by díky tomu měly být nálety přenašečů virových chorob brambor, hlavně mšic, zasaženy méně nebo v pozdější dobu, blíže konci vegetace. Vokál et. al. (2004) uvádí, že i přesto je nutné tyto virové choroby sledovat a vedle aktinomycetové obecné strupovitosti je nutné sledovat i výskyt dalších bakteriálních a houbových chorob. Klíčovým faktorem úspěšnosti produkce zdravé sadby je také včasné a úplné ukončení vegetace (umrtvení natě), což by mělo zajistit požadovanou velikostní strukturu hlíz a zamezit obrůstání (Vokál et. al. 2013).

4.3 Dopad změn v průběhu povětrnostních podmínek během vegetace na pěstování brambor

Na základě predikce a upřesňované situace v oblasti narušení hydrologických systémů a dostupnosti vody pro zemědělství bude nutné inovovat postupy při pěstování brambor. Primárně půjde o zmírnění dopadů sucha během vegetace brambor, nicméně lze předpokládat, že bude nutné rozvíjet i postupy k vytváření lepší tolerance k suchu u jednotlivých genotypů brambor. Pro úspěšné pěstování brambor je limitní dostupná půdní vláha, kdy o jejím dostatku rozhoduje předně množství infiltrovaných srážek a teplota určující rychlost evaporace. V případě naplnění některých předpovědí se pěstování brambor bude muset vypořádat i s tímto problémem, neboť špatné hospodaření tyto dopady jenom umocní. V optimálním případě by půda měla být schopná větší množství vody pojmout, akumulovat a jako využitelnou půdní vláhu ji poskytnout potřebám rostlin i v delším časovém horizontu. Nemohou pak nastat paradoxní situace, kdy důsledkem většího množství srážek zůstává stojící voda na polích, přičemž po pár týdnech půda trpí opět jejím nedostatkem (Soemitro & Asmaranto 2015). Rybáček et al. (1988), Vlastníková et al. (2005) uvádí, že v optimálních podmínkách se teoretický výnosový potenciál pohybuje mezi 100 až 120 t/ha, nicméně v pěstitelské praxi je v podstatě nemožné takových podmínek dosáhnout. Naopak problémem posledních let, navzdory propracovaným pěstitelským technologiím, jsou propady výnosu, zejména v důsledku nedostatku srážek nebo spíše jejich nerovnoměrné distribuce. Saravia et al. (2016) uvádí, že pěstitelský úspěch u brambor závisí, stejně jako při dodávání dusíku, na pravidelnosti dodávek vody. Minerální výživa dusíkem ztrácí při nedostatku vláhy na účinnosti (Elbl et al. 2014). V našich podmínkách se za posledních 10 let pohybovaly výnosy v rozmezí 23 až 32 tun z ha, přičemž průměrný výnos za toto období byl 28 t/ha (ČSÚ 2020).

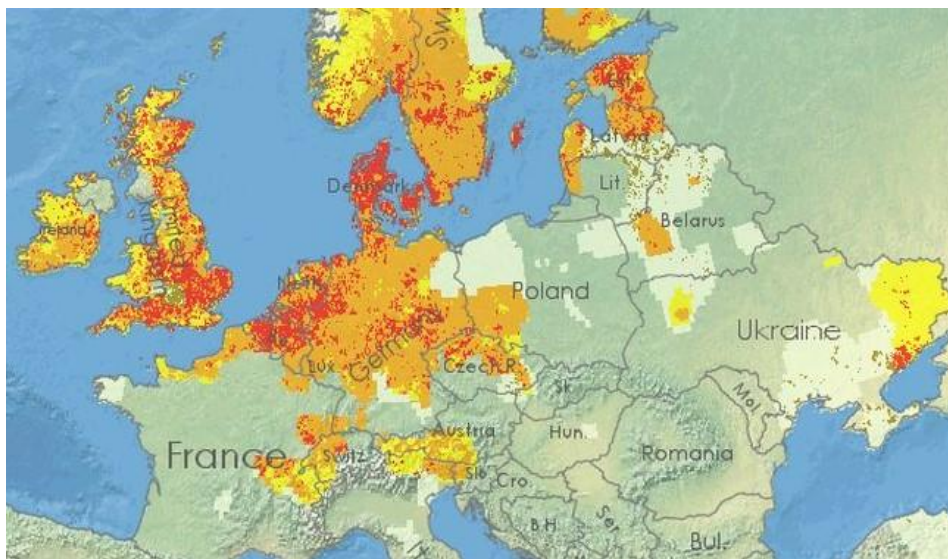
Průměrný výnos konzumních brambor byl za rok 2017 u jednotlivých zemí následující: Nizozemí 54 t/ha, Belgie 52 t/ha, Spolková republika Německo 50 t/ha (PotatoPRO 2020). Případná změna klimatu zvýší rozsah, četnost a závažnost výskytu sucha po celém světě s dopadem na výnos brambor, které jsou na suchu relativně citlivé (Sharma et al. 2014; Muthoni & Kabira 2016). Raymundo et al. (2018) uvádí, že při naplnění budoucích scénářů změny klimatu dojde při současných systémech pěstování brambor ke globálnímu snížení výnosu v rozmezí 2 až 6 % do roku 2055. Dopad změn povětrnostních podmínek na pěstování brambor ve střední Evropě je v posledních letech již evidentní (Grzebisz et al. 2017). Ačkoliv se předpovědní modely nemohou zcela shodnout na vývoji úhrnů srážek, u teploty lze předpovídat její růst, což způsobuje během vegetačního období problémy již nyní. Tento trend by měl doprovázet i častější výskyt anomálií, které se v našem podnebí téměř nevyskytovaly (Lhotka et al. 2018). Příkladem může být rok 2015, kdy bylo sledováním vlhkostně-teplotních podmínek při pěstování brambor zjištěno, že teplotní poměry v tradičních bramborářských oblastech dosáhly hodnot typických pro nejteplejší oblasti Moravy před 100 lety (Litschmann et al. 2016). Orth et al. (2016) uvádí léto 2015 jako srážkově nejchudší ve střední Evropě zaznamenané od roku 1901. V tomto období spadlo pouze 31 % průměrných úhrnů srážek za celé sledované období. Při pohledu na vývoj průměrného republikového výnosu (graf 1) v posledních letech může tak být nedostatek srážek částečným vysvětlením stagnace.

Graf: 1 Historický vývoj celkové sklizně a průměrného výnosu brambor v ČR (Zdroj: ČSÚ)



Dlouhodobé klimatologické predikce předpovídají mimo zvýšení průměrné teploty také výraznou proměnlivost ve vývoji průměrných úhrnů srážek. Pražan et al. (2007) uvádí, že do poloviny 21. století lze očekávat nárůst počtu letních a tropických dnů, což by zejména pro rostliny bramboru znamenalo zvýšené nebezpečí dopadů z teplotního stresu. Scénáře pro vývoj změny globální povrchové teploty období 2016–2035 počítají s růstem v rozmezí 0,3–0,7 °C. Riziko půdního vláhového deficitu umocněného zvýšeným výparem tak představuje reálnou hrozbu pro budoucí hospodaření a bude zapotřebí znalostí o vlivu stresu sucha (Pretel 2011; Cornelis 2019). Je také nutné počítat s častějšími vlnami horka, prodloužením suchých period, prodloužením vegetačního období díky rostoucí teplotě, i když pravděpodobně na jeho vrcholu budou podmínky pro pěstování většiny plodin nepříznivé (Rožnovský 2014; Brázdil et al. 2015; Lhotka et al. 2018). Častěji pozorovaným extrémem, než je růst teplot, však bývá rozložení srážek, kdy jich může být v klíčových termínech vegetace extrémní nedostatek (Zahradníček et al. 2018). Důsledkem rozdílu mezi srážkami a evapotranspirací bude úbytek vody v půdě, snížení její vlhkosti (Pretel 2011). Cornelis (2019) uvádí, že nevhodné rozložení srážek, charakteristické střídáním období sucha a prudkých dešťů, je často spojeno se zhoršením fyzikálních vlastností půd, jako je zhoršená infiltrace srážek a jejich vododržnost. Půdní sucho také zvyšuje samotnou hydrofobicitu půdy, což tento nežádoucí stav ještě zhoršuje (Elbl et al. 2014). S rostoucími teplotami také roste schopnost atmosféry pojmát vodu v plynném skupenství, která pak v krajině chybí (Trnka 2018). Brázdil et al. (2015) uvádí, že vyšší zranitelnost se dá tak očekávat zejména u letních plodin, mezi něž brambory patří a jejichž závislost na obsahu vody v půdě je vysoká. Lhotka et al. (2018) uvádí, že se evropský zemědělský sektor bude muset připravit, vedle sucha, také na zvýšený tepelný stres u rostlin. Na druhé straně existují studie, které tezí o ubývání vody, jako důsledku globální změny, nepřikládají v rámci problematiky řešení zemědělského sucha velký význam. Například Cornelis (2019) uvádí, že existuje málo vědeckých důkazů o růstu délky a frekvence výskytu suchých období. Dále uvádí, že zemědělské sucho je více způsobeno samotným hospodařením s půdou, než výskytem meteorologických anomálií a problém není v nedostatku vody v půdě, ale v její dostupnosti rostlinám. Tento fakt podporuje i grafický výstup mapující suchou epizodu z léta 2018 (obrázek 2). Z výše zmíněného lze usuzovat, že přes zachování přibližně stejného množství srážek se v důsledku růstu teplot v budoucnu budou zvyšovat i hodnoty evapotranspirace. Můžeme pak očekávat nižší obsah vody v půdě během vegetačního období a delší intervaly nedostatku půdní vláhy (Vlček et al. 2010). To si vyžádá i změny v pěstitelských technologiích a postupech. Vzhledem k tomu, že brambor je

jednou ze základních potravin, bude nutné optimalizovat půdní vláhové podmínky, které umožní i nadále uplatňovat jeho vysoký výnosový potenciál. Souběžně s tím bude nutné se orientovat i na výzkum a vývoj k suchu tolerantních odrůd a agrotechniky k maximalizaci produktivity v omezených vláhových podmínkách (Minhas 2017). George et al. (2017) uvádí, že s nárůstem vlivu stresorů tepla, sucha a salinity poroste i význam znalostí genů, zvláštností a technik, pomáhajících bramboru stres sucha zvládnout.



Obrázek 2 Mapa znázorňující oblasti zasažené suchem v Evropě ve druhém srpnovém týdnu 2018, kombinovaný ukazatel, brava žlutá – srážkový deficit, oranžová- deficit půdní vláh, červená – vegetační stres (Zdroj: potatoPRO 2018)

4.4 Synoptické příčiny vzniku sucha

V pěstitelských podmínkách ČR, která je odkázána na vodu z dešťových srážek, závisí pěstitelský výsledek především na příznivém vývoji a průběhu povětrnostních podmínek během vegetace (Hlavinka et al. 2009; Kohut et al. 2014). Vzhledem k poloze ČR je zdejší proměnlivé podnebí utvářeno mísením oceánických a kontinentálních vlivů, což je spojeno s výskytem období s mimořádně vysokými úhrny srážek nebo naopak mimořádně nízkými srážkami (Pražan et al. 2007; Rožnovský 2014). Extrémně suchá období, vyskytující se od dubna do září mají společný rys a tím je významně vyvinutá azorská tlaková výše s hřebenem vysokého tlaku vzduchu, která zasahuje v rámci střední Evropy i náš region. Počasí s takovým rozložením tlaku vzduchu má pak převládající anticyklonální ráz a je charakteristické nadprůměrnými teplotami a podprůměrnými úhrny srážek (Brázdil et al. 2015). Z časového

hlediska mívá největší dopad, nejen na brambory, sucho během jara a léta. Meteorologické scénáře jarního sucha nad východní a střední Evropou bývají často spojeny s vlivem jihovýchodního proudění (Rožnovský 2014). Dopady srážkového deficitu na porosty v jarním období bývají často prohloubeny výrazně nadprůměrnými teplotami vzduchu a jeho sníženou vlhkostí, menším výskytem oblačnosti, ale větším počtem hodin slunečního svitu (Kohut et al. 2014). Letní sucha bývají charakteristická nárůstem teploty, úbytkem srážek a změnou jejich rozložení s výskytem srážek s vyšší intenzitou (Trnka et al. 2019).

V případě meteorologického scénáře letních such u nás se často jedná o vytváření blokujících anticyklón nad střední Evropou, doprovázených kontinentálním prouděním již ohřátého vzduchu (Kohut et al. 2014; Tomczyk & Bednorz 2016). Z hlediska fyziky atmosféry se jedná o stav, kdy je v anticyklonálním útvaru vyšší tlak než v okolí, v důsledku čehož se roztéká ohřátý vzduch do všech stran, hlavně v přízemních hladinách. Tento odkloněný vzduch je nahrazován sesedajícím se vzduchem z vyšších hladin (subsidence), čímž se vrstvy stlačují. Tím, jak se dostávají do nižších nadmořských výšek, se stlačováním ohřívají a důsledkem tohoto ohřívání je rozpouštění oblačnost. Proto je tento tlakový útvar v létě provázen typicky jasným, téměř bezoblačným počasím (Dvořák 2018). Exemplárním příkladem této synoptické situace může být rok 2018, kdy se nad střední Evropou během dubna vytvořila tlaková výše. Zde setrvala téměř nepřetržitě až do poloviny října a byla spojena s dlouhým obdobím sucha a rekordními teplotami (Reinermann et al. 2019). Dalším atmosférickým jevem spojeným s výskytem letního sucha jsou horké vlny, jejichž intenzita výskytu v posledních letech také narůstá (Tomczyk & Bednorz 2016). Horké vlny, podle většiny metodik sledované dny, kdy maximální teplota přesáhne 30 °C, mívají negativní dopad na produkci brambor. Předpovědní modely vývoje klimatu predikují v druhé polovině tohoto století zvýšení frekvence výskytu horkých vln a zvýšení jejich maximální teploty. Podle těchto předpovědí by se jejich četnost měla zvýšit na 3 až 4 za léto, oproti stávající méně jak jedné vlně a teplota vzrůst až o 5 °C (Lhotka et al. 2018).

4.5 Definice zemědělského sucha a jeho vznik

Navzdory tomu, že sucho je agrometeorologický extrém, který má na zemědělství vážný dopad z hlediska kvantity i kvality, bývá jeho přesné definování mnohdy problematické (Žalud et al. 2020). U zemědělského sucha se jedná o nedostatek vody na úrovních půda – rostlina – atmosféra. Byť může chybět jen v některé ze složek tohoto komplexu, tak díky

jejich provázanosti se nedostatek projeví na celku. Zemědělské sucho tak vzniká interakcí faktorů, kterými jsou srážkový deficit a nadprůměrná teplota, což ústí v deficit půdní vláhy a vede k vegetačnímu stresu. Brázdil et al. (2015) definuje sucho jako zápornou odchylku vodní bilance od klimatického normálu v dané oblasti, během určitého časového intervalu. Rožnovský (2014) rozlišuje sucho dle příčin, vzniku a projevů na meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické. Z hlediska dopadů na zemědělský sektor je zásadní sucho zemědělské, kterému předchází sucho meteorologické. Jedná se o stav, kdy vláha není dostupná nebo nepokrývá potřeby pěstovaných plodin (Minhas 2017). Velkým problémem zemědělského sucha v ČR je nepředvídatelnost jeho výskytu (prostorová i časová) a délka trvání. Brázdil et al. (2015) uvádí, že zemědělské sucho v našich podmínkách může přetrvávat od několika týdnů až po 6-9 měsíců. Prvotní příčinou zemědělského sucha je nedostatek srážek infiltrovaných do půdy, o rychlosti evaporace této půdní vody rozhoduje primárně teplota. Pokud je ve sledovaném období srážkový deficit a panují nadprůměrné teploty, snižuje to zásoby vody v půdním profilu, hovoříme o půdním suchu, přesněji o půdním vláhovém deficitu (Kohut et al. 2010). Nedostatek půdní vláhy za těchto podmínek může být umocněn i dalšími faktory, jako jsou zhoršené kvalitativní parametry půdy a nevhodné agrotechnické zásahy. Půdní sucho je do velké míry ovlivněno také půdním druhem, typem i topografií (Trnka et al. 2019). Z hlediska půdního druhu jsou dopady sucha na vegetaci větší u lehčích půd (Rybáček et al. 1988). Pokud je v kořenové vrstvě půdního profilu nedostatek vláhy, narušuje to vodní režim pěstovaných plodin a vzniká stresová situace, což může vést k fyziologickému poškození a snížení výnosu (Zarzyńska et al. 2017). Fyziologické sucho, stav, kdy voda chybí v samotných rostlinách, pak bývá většinou zjevné už při prvotní vizuální kontrole postižených porostů (Rožnovský 2014; Minhas 2017). V případě delšího působení sucha dochází k omezení metabolismu rostliny, zejména fotosyntézy a růstu, a nastává změna v poměru nadzemních částí a kořenů (Žalud et al. 2020). Důsledkem toho je omezen další vývoj rostliny, a zvláště růst hospodářských (zásobních) částí dotčených plodin. Minhas (2017) uvádí jako jeden z hlavních limitů pro posouzení fyziologického sucha bod vadnutí, vnitřní stav, kdy voda už není pro rostliny dostupná. Fyziologické sucho je tak spolehlivějším vodítkem oproti půdním hydrolimitům, neboť mohou nastat i situace jako nadměrné zasolení půdy, které zapříčiňuje vysokou osmolaritu půdy a rostliny nemohou využít půdní vláhu i když je dostupná (Minhas 2017). Příznaky fyziologického sucha jsou pro pěstitele při stanovení skutečného rozsahu zemědělského sucha zásadní, ukazující následky nedostatku vody na stavu porostů.

4.6 Posouzení půdního a fyziologického sucha u brambor

Jak již bylo zmíněno, bod vadnutí je významným ukazatelem rozsahu dopadů sucha u rostlin. Nejčastěji se udává prostřednictvím hodnoty sacích tlaků půdy (SWP – soil water potential) vyjádřené v jednotkách – pascálech (Pa), čímž lze také závažnost sucha u plodiny kvantifikovat. Welbaum (2015) uvádí, že půdní vlhkost by neměla v případě brambor klesnout pod 60 % polní kapacity. Schopnost absorpce vody kořeny závisí na velikosti rozdílu vodního potenciálu mezi půdou a kořeny (Ekanayake 1989). Ten se liší zejména podle druhu půdy. Druhým významným ukazatelem, hlavně půdního sucha, je gravimetrický (skutečný) obsah vody v půdě. Z pohledu fyziologického sucha je zásadní obsah vody v rostlině; pro pěstitelskou praxi je k tomu používán bod vadnutí, kdy rostlina dokáže ještě buněčný tlak obnovit. Bod trvalého vadnutí je stav, kdy rostlina již tlak obnovit nedokáže. Bod vadnutí se u různých druhů rostlin liší. Uvádí se, že některé genotypy brambor byly schopné obnovit svůj růst i po několikadenním trvalém vadnutí (Chapman & Loomis 1953). Fyziologické sucho jako přímý následek půdního sucha je stav, kdy voda v kořenové zóně již není dostupná, nebo je pro rostliny nevyužitelná. U brambor se to z počátku projevuje vadnutím natě, zvláště listových čepelí, dále je to svinování listů, postupné žloutnutí až odumírání rostlin, vše jako průvodní jev snížení výnosu hlíz (Ekanayake 1989; Zarzyńska et al. 2017). Vadnutí při nedostatku vláhy bývá také zrychleno vysokými teplotami vzduchu (Handayani & Watanabe 2020). Jiným nástrojem pro komplexnější, avšak nepřímé posouzení dopadů sucha na porosty většího rozsahu může být model vláhové bilance (rozdíl mezi úhrny srážek a evapotranspirací). Výpočetní metoda aktuální vláhové bilance počítá s potenciální (nejvyšší hodnotou) výparu travního porostu a úhrnem srážek v období duben-září (Kohut et al. 2014). Díky vláhové bilanci lze stanovit míru sucha v konkrétních případech, kdy k popisu situace nestačí prosté číselné vyjádření rozdílů srážkových úhrnů, případně teplot (Rožnovský 2014).

4.7 Mikroklima hrůbků a jeho vliv na tvorbu hlíz

4.7.1 Půdní vláha

Vedle genotypu, intenzity pěstební technologie a řady další faktorů, závisí výnos hlíz na vlhkostních a teplotních poměrech v hrůbcích, především během jejich nasazování a objemového růstu, kdy rostlina ukládá do hlíz zásobní látky (Ekanayake 1989; Shahnazari et al. 2007; Vasquez-Robinet et al. 2008). Významným intenzifikačním faktorem tvorby výnosu je tak voda (dostupná půdní vláha) a teplota (půdy v hrůbcích). Citlivost na nedostatek vody je u brambor vysoká, transpirační koeficient se pohybuje kolem 400 až 650 l na tvorbu jednoho kg sušiny (Welbaum 2015, Bláha et al. 2017). Saravia et al. (2016) uvádí, že při nedostatku nebo nepravidelnosti přísunu vody ztrácí výživa dusíkem u brambor na účinnosti; naopak při pravidelném a dostatečném přísunu vody je účinnost využití dusíku i při nízkých dávkách maximální. Hospodářský výnos brambor prakticky určuje průměrná hmotnost hlíz. S tím přímo souvisí průměrná velikost hlíz. Dále výnos tvoří počet hlíz pod trsem a počet trsů na ploše (Rybáček et al. 1988).

I když jsou požadavky brambor na vláhu nejmenší při klíčení, bylo prokázáno, že vlhkost vedle teploty ovlivňuje schopnost klíčení a růstu výhonků brambor, kdy toto platí zvláště při teplotním rozmezí 20 až 25 °C (Rybáček et al. 1988; Ridwan et al. 2014). Sucho může růst hlíz ovlivnit kvantitativně (hmotnost a velikost), i kvalitativně (škrobnatost) (Ekanayake 1989; Haverkort et al. 1990; Geigenberger et al. 1997; Abbas & Ranjan 2015). Reakce, jakou je omezení růstu hlíz při nedostatku dostupné vláhové v kritickém období, kdy je potřeba vláhové nejvyšší, je důsledkem strategie hospodaření rostliny s vodou (Costa et al. 1997; Spitters & Schapendonk 1990). Velkým problémem u brambor je, že toto vláhové kritické období je poměrně dlouhé, od počátku tuberizace (tvorba stolonů a nasazování hlíz) až po jejich objemový růst (Vasquez-Robinet et al. 2008, Bláha et al. 2017). Cantore et al. (2014) uvádí, že tato nejcitlivější fenologická stádia z hlediska vláhové odpovídají zhruba rozpětí od 44. do 71. dne po výsadbě, ale záleží na podmínkách prostředí a genotypu. George et al. (2017) uvádí jako jednu z adaptací při vývoji k suchu tolerantních odrůd vyhnutí se stresu zkrácením vegetační doby u brambor. Vláhový deficit zapříčiňuje mimo jiné zpomalení růstu i nepravidelnost a hrbolatý tvar hlíz (Cantore et al. 2014; Gong et al. 2015; Welbaum 2015). V případě přechodných podmínek sucha a vlhka jsou tyto růstové nedostatky četnější, než při vystavení trvalému suchu (Ekanayake 1989). V pěstitelských podmínkách většiny

Evropy patří k hlavním příčinám neúměrně vysokých rozdílů mezi skutečným a potenciálním výnosem výskyt různě trvajících přísušků (Rybáček et al. 1988). Při řešení dopadů nedostatku půdní vláhy na výnos bývá velkým problémem velikostní struktura hlíz (Ilyas & Ayub 2017). Z hlediska průběhu sucha během pěstitelské sezóny mohou nastat různé scénáře, kdy má na rozsah ztrát vliv více faktorů (genotyp, prostředí, technologie). Rozhodujícím faktorem zůstává růstová (fenologická) fáze, ve které sucho daný genotyp brambor zasáhne (Ekanayake 1989; Ilyas & Ayub 2017; Spitters & Schapendonk 1990). Pokud sucho nastává na počátku vegetace, obvykle to nepředstavuje, díky fyzikálnímu složení vysazené hlízy, výraznější problém, vyjma raných genotypů (Rybáček et al. 1988). Sucho v počátečních fázích růstu více omezuje růst nadzemní části rostliny, než růst samotných kořenů a stolonů, které tak nemusejí soupeřit o asimiláty s těmito částmi rostliny (Haverkort et al. 1990; Spitters & Schapendonk 1990). Problémy mohou nastat při nedostatku půdní vláhy během a po nasazování hlíz, kdy nasazení v reakci na vláhový deficit může být menší (nižší počet hlíz), případně hlízy nemusejí dorůst tržní velikosti (Abbas & Ranjan 2015; Ilyas & Ayub 2017; Rykaczewska 2017). Je nutné dodat, že i schopnost nasazovat hlízy je vysoce závislá na genotypu. Vážné problémy pro všechny genotypy mohou nastat v případě, že má rostlina bramboru během iniciace hlíz optimální vláhové podmínky a nasazení je početné, ale v průběhu intenzivního objemového růstu ji postihne sucho (Costa et al. 1997). Poté záleží na tom, jak daný genotyp dokáže hospodařit s vodou. Ranější genotypy mají většinou menší nasazení hlíz, které ale dobře dorůstají. Pokud v rostlině dojde k rovnoměrné akumulaci asimilátů do všech hlíz, potřebné tržní velikosti doroste jen zlomek hlíz celého trsu. Tak může skončit výnos tržních hlíz ve vysoké ztrátě, navzdory celkovému výnosu pod trsem (Costa et al. 1997). Z tohoto hlediska se jeví jako k suchu tolerantní ranější genotypy s rychlým vývojem, které stihnou dokončit vývoj před nástupem sucha (Žalud et al. 2020). Nedostatek půdní vláhy tak způsobuje snížení výnosu, mění velikostní strukturu hlíz i jejich kvalitativní parametry (Giengerberg 1997; Abbas & Ranjan 2015; Gong et al. 2015; Ilyas & Ayub 2017).

4.7.2 Teplota půdy

Brambory jsou řazeny k plodinám, jimž více vyhovuje chladnější klima (Minhas et al. 1991). Projevy nedostatku dostupné vláhy bývají často umocněny právě teplotním stresem (Ekanayake 1989). Kombinace těchto dvou stresových faktorů má větší dopady, než pokud

působí odděleně, každý zvlášť (Rykaczewska 2017; Handayani & Watanabe 2020). Mimo to, vysoké teploty způsobují nadměrné ztráty vody, které přispívají ke stresu ze sucha a vedou k příznakům typickým pro dehydrataci (Minhas 2017). Za teplotní optimum pro růst a vývoj rostlin bramboru je považováno rozpětí 15,5-18,3 °C (Welbaum 2015). Adamchuk et al. (2016) uvádí optimální teplotu pro růst stolonů a hlíz v rozpětí 16-20 °C. Rybáček et al. (1988) uvádí, že při 26 °C se růst hlíz zastavuje a při 45 °C hlízy odumírají. Adamchuk et al. (2016) doplňuje, že růst hlíz se zastavuje až při teplotě 27 °C. Teploty vyšší než optimum mají negativní vliv na tvorbu hlíz, neboť se prodlužují stolony a zpožďuje se tak nasazení a růst hlíz. Ovlivněna je i kvalita konzumních hlíz, zejména podíl ukládaných asimilátů, tj. škrobu (Rybáček et al. 1988; Minhas et al. 1991; Abbas & Ranjan 2015; Rykaczewska 2017). Dále se u takto postižených rostlin vyskytují tenké stonky, prodloužená internodia a malé listy (Minhas et al. 1991). Za vyšších teplot, především v noci, může dojít dokonce ke snížení hmotnosti hlíz z důvodu dodýchávání; také asimilovaný uhlík je přerozdělován do nadzemních částí na úkor hlíz (Rybáček et al. 1988; Minhas et al. 1991). Minhas et al. (1991) také uvádí důležitost nižší noční teploty do 20 °C oproti teplotám během dne, což je klíčové z hlediska tuberizace, protože v případě teplot nad 25 °C nemusí k tuberizaci vůbec dojít, i když nadzemní část rostliny bramboru může tolerovat teploty kolem 35 °C bez většího poškození. Rostliny brambor také mají za teplotního stresu pozměněnou hormonální rovnováhu mezi kořeny a natí ve prospěch růstu natě. George et al. (2017) uvádí, že důležitá schopnost u sucha tolerantního ideotypu brambor bude udržení tuberizace i za omezených vláhových podmínek.

4.8 Hodnocení adaptability rostlin brambor na suchu a její znaky

Minhas (2017) uvádí, že k vývoji nových genotypů brambor, které poskytnou dobré výnosy i za stresových podmínek, by mělo být využito všech dosavadních znalostí z agronomie, fyziologie, genetiky a molekulární biologie. Tolerance vůči suchu byla u brambor v rámci genetické variability zjištěna i na buněčné úrovni (germaplasma), čehož může být využito při vývoji tolerantních odrůd (Muthoni & Kabira 2016; Minhas 2017). Bláha et al. (2017) uvádí, že nejvíce tolerantní k suchu jsou chilské genové zdroje i současné odrůdy ze střední Asie. Adaptabilní genotyp, oproti genotypu s jednostrannou odolností, je díky odlišnému metabolismu a jiné růstové strategii schopný odolávat nedostatku vody, většinou v časovém období i několikrát po sobě (Bláha 2011). Mírného stresu vyvolaného vláhovým

deficitem, je využíváno v okrasném zahradnictví, kdy zlepšuje účinnost využití vody (Fieta-Soriano & Munné-Bosch 2016). Minhas (2017) uvádí, že fyziologická tolerance k suchu mohou být různé strategie přežití rostliny ve stresových podmínkách. Příkladem mohou být osmotické změny a omezení metabolismu. Ke znakům adaptability patří také změna habitu rostliny i úprava anatomie jejích částí, jako je kutikula, průduchy, listová plocha (Costa et al. 1997; Bláha 2011). Minhas et al. (1991) uvádí, že mezi indikace tolerance k vysokým teplotám u brambor patří rychlost fotosyntézy, stabilita chlorofylu a výnos při vysokých teplotách. Výkonnost plastické a adaptabilní rostliny se projevuje po odeznění stresu rychlým obnovením metabolismu na původní úroveň (Spitters & Schapendonk 1990; Bláha 2011). Minhas (2017) uvádí, že z agronomického hlediska je jediným kritériem tolerance vůči suchu tržní výnos hlíz. Výnos hlíz se tak považuje za jednu z nejdůležitějších proměnných pro hodnocení snášenlivosti sucha u rostlin bramboru (Romero et al. 2017). Drapal et al. (2017) uvádí, že metabolismus a strategie růstu rostlin za působení stresu vykazuje kvantitativní i kvalitativní změny. V případě tolerance k suchu u odolných genotypů brambor se jedná o schopnost vyhnout se dehydrataci již na buněčné úrovni (Ekanayake 1989). Projevy změn způsobených suchem jsou u brambor detekovatelné i vizuálně a liší se podle toho, v jaké části životního cyklu rostlinu postihne. Řada publikací uvádí, že při stresu na počátku vegetace dochází k omezení růstu listové plochy vinou nižší rychlosti fotosyntézy, snížení specifické plochy listů a podílu asimilátů přidělených nadzemnímu růstu (Spitters & Schapendonk 1990; Obidiegwu et al. 2015). Handayani & Watanabe (2020) uvádí omezení výšky rostlin důsledkem sucha a změny ve stabilitě buněčné membrány. V některých případech silného stresu dochází i ke zkroucení listů a snížení jejich produktivní plochy, kdy se často přidává hromadění chlorofylu v listech, což je důsledek koncentrace chloroplastů, která roste se ztrátou turgoru (Romero et al. 2017). Handayani & Watanabe (2020) uvádí zvýšení obsahu chlorofylu v listech i důsledkem kombinace sucha a tepla. Zvýšená koncentrace chlorofylu v listech, přetrvávající i po odeznění stresu, bývá hodnocena jako znak přizpůsobení (Ekanayake 1989; Zrůst et al. 1994). Při pokusech s genotypy v podmínkách vláhového deficitu převážná část z nich vykazovala vyšší koncentraci chlorofylu v listech oproti kontrolnímu stavu (Ramírez et al. 2014; Drapal et al. 2017; Romero et al. 2017; Li et al. 2019). Fieta-Soriano & Munné-Bosch (2016) uvádí, že tyto změny ve složení pigmentů listů souvisí s oxidací v chloroplastech a rostlina se během prvního sucha tímto připravuje na další možnou obdobnou situaci. Sledování tohoto ekofyziologického ukazatele a jeho vztahu ke snášenlivosti sucha se často využívá při hledání k suchu rezistentních genotypů (Puangbut et

al. 2017; Li et al. 2019). Při suchu v pozdějších částech vegetace dochází naopak k zrychlenému stárnutí listů, mírnému zvýšení podílu asimilátů soustředěných do růstu hlíz (Rybáček et al. 1988). Drapal et al. (2017) uvádí, že suchem stresované rostliny bramboru investovaly více do intracelulárních procesů a rozvoji hlíz místo do produkce biomasy listů. Při stresu v průběhu celého cyklu dochází hlavně k omezení ztrát vody kontrolou stomat, přičemž optimální regulace k vyrovnání tepelného stresu je u brambor jednou z klíčových adaptací budoucích odolných ideotypů (George et al. 2017). Pozornost posledních let je také namířena na původní genové zdroje brambor. Jako historický příklad nám může posloužit počátek minulého století, kdy nedostatek rezistencí vůči škodlivým organizmům u evropských odrůd inicioval sběratelské výpravy do center původu (Vlastníková et al. 2005). Zástupci těchto zdrojů jsou sice lépe uzpůsobeni podmínkám sucha ve srovnání s odrůdami podruhu *tuberosum*, šlechtěným na maximální výnos, ale jejich využitelnost, vzhledem k místním pěstitelským podmínkám a jejich výnosu, je značně omezená (Muthoni & Kabira 2016). Pomineme-li časové hledisko konvenčního šlechtění a fenotypizace na toleranci k suchu, bude velice obtížné zachovat požadované vlastnosti těchto odrůd při souběžném zvyšování výnosového potenciálu (Cornelis 2019; Muthoni & Kabira 2016). Žalud et al. (2020) uvádí, že i přes značnou pozornost vědy a výzkumu zůstávají některé mechanismy stresové odezvy neobjasněny. Pochopení pochodů rostliny bramboru při hospodaření s vodou v podmínkách sucha tak zůstává klíčovou záležitostí pro výzkum genotypů odolnějších k suchu.

4.8.1 WUE, EUW a obsah chlorofylu v listech

Bláha (2011) uvádí, že fyziologické obranné strategie zahrnují reakce, jako je osmotické přizpůsobení, změny hladin ochranných proteinů, antioxidační kapacita rostlin, zvýšená účinnost využití vody – WUE (water use efficiency). Osmotické přizpůsobení je považováno za jeden z hlavních druhů přizpůsobení podmínkám sucha u kulturních rostlin a je určováno zlepšením zachycení půdní vláhy a transpirací (Blum 2009). Otázkou pro výzkum vlivu sucha jsou adaptace přinášející lepší hospodaření plodin s vodou, zejména WUE u postižených rostlin (Rožnovský 2014; Muthoni & Kabira 2016). Okamžitá WUE je veličina, kterou lze změřit na foto syntetizujících orgánech (nejčastěji listech), dána je poměrem asimilovaného CO₂ a H₂O ztracené transpirací v určitém čase (rychlost asimilace vs. rychlost

transpirace). Princip měření je založen na výměně plynů mezi listem a okolním prostředím. Z hlediska pěstitelské praxe však nelze zvýšené hodnoty WUE z hlediska odolnosti k suchu hodnotit pozitivně, neboť tento parametr je v podmínkách sucha spojen s poklesem výnosu, ve srovnání s plodinami v neomezených vláhových podmínkách, které mají hodnotu WUE nižší (Blum 2009). Cantore et al. (2014) uvádí, že při mírném stresu sucha důsledkem mírného uzavření průduchů transpirace klesá více než fotosyntéza, a tak se zvyšuje WUE. Nicméně existují i studie, které vysoké WUE ve spojení s vylepšením úrovně fotosyntézy uvádí jako faktor přispívající k vyšší produkci nadzemní biomasy u hlíznatých okopanin (Puangbut 2017).

Lze tak odvodit, že WUE je řízena spíše fyziologickými vlastnostmi, které snižují transpiraci a využití vody v plodinách. K hodnocení schopnosti poskytnout dobrý výnos i v podmínkách sucha je vhodnějším parametrem efektivní využití vody (EUW – effective use of water), což je schopnost zachytit maximum půdní vláhy pro potřeby transpirace a zahrnuje snížení nestomatální transpirace a snížení ztrát vody z půdy odpařováním (Blum 2009). EUW pomáhá plodinám překonat období sucha hlavně v kritické fázi tvorby výnosu, kterým je období reprodukce semen a často tak zvýšení WUE je na úkor omezení EUW (Blum 2009).

Řada studií, zabývajících se hledáním odrůd brambor tolerantních k suchu, používá při hodnocení rezistence k suchu obsah chlorofylu v listech zjištěný metodou sledování SPAD (Teixeira & Pereira 2007; Ramírez et al. 2014; Rolando et al. 2015, Saravia et al. 2016; Puangbut et al. 2017). Tato nedestruktivní, ale nepřímá metoda se obvykle používá k hodnocení výživného stavu rostlin, hlavně dusíku, přičemž vychází ze spektrálně-optických vlastností listů (sytost zelené barvy, tloušťka listů). Ramírez et al. (2014) uvádí, že zvýšená koncentrace chlorofylu v listech u rostlin bramboru s vláhovým omezením při jejich stárnutí nesouvisí se vzestupem asimilace uhlíku a růstem výnosu, ale je spojena s výskytem oxidačního stresu. Puangbut et al. (2017) uvádí, že zvýšená sytost barvy listů k suchu tolerantních genotypů topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.), souvisela se zvýšenou fotosyntetickou kapacitou. Zvýšená koncentrace chlorofylu v listech je tak hodnocena jako jeden ze znaků fyziologické odolnosti k suchu, a některé studie ji dokonce dávají do souvislosti s udržením produkce hlíz v podmínkách sucha. Studie, které publikovali Ramírez et al. (2014) a Saravia et al. (2016), zaznamenali u některých genotypů pozitivní korelaci mezi zvýšenou koncentrací chlorofylu a výnosem, avšak obdobných studií, které by prokázali

přímou souvislost mezi tímto parametrem a udržení výnosu v podmínkách sucha, je relativně málo.

4.8.2 Úloha kořenové soustavy

V průběhu růstu se rostlina bramboru přizpůsobuje vláhovým poměrům v půdě a svoji nezastupitelnou funkci v tom má kořenový systém. Obecným problémem u brambor je relativně mělký kořenový systém, kdy se rozhodující část, přibližně 90 % kořenů, nachází v hloubce do 50 cm od povrchu půdy, což zvyšuje jejich náchylnost k suchu (Welbaum 2015). Pro vysoký hospodářský výnos je rozhodující vytvoření dostatečně velkého, rozvinutého kořenového systému, který je pak schopen v sušším období čerpat vláhu i z hlubších vrstev půdy (Rybáček et al. 1988; Lahlou & Ledent 2005). Více a méně suchovzdorné genotypy se od sebe liší o 10 až 15 cm v délce kořenů (Bláha et al. 2017). Zrůst et al. (1994) uvádí, že sucho během vzniku pupenů mělo za následek zvýšení konečné produktivity díky zvýšené hustotě kořenů. Při definici ideotypu schopného v budoucnu odolávat suchu je jedním z identifikátorů vylepšený kořenový systém s maximalizovanou schopností zadržet vodu (George et al. 2017). Zarzyńska et al. (2017) uvádí, že u některých genotypů je kořenový systém schopen se špatným vláhovým podmínkám uzpůsobit i svou architekturou ve prospěch délky a hmotnosti kořenů v hlubších vrstvách půdy. U raných, méně odolných genotypů zůstává kořenový systém v době dostatku půdní vláhy mělký a nerozvinutý, což pak během možného nedostatku působí problémy. V podmínkách sucha byla prokázána silná pozitivní korelace mezi délkou a povrchovou plochou kořene a výnosem hlíz; nejsilnější byl vztah u kořenů v hlubších vrstvách (Zarzyńska et al. 2017). Bláha (2011) dokonce přisuzuje kořenům roli řídicího centra, kde se nové informace rychle přenášejí i do ostatních částí rostliny. Jednou z látek, přenášejících tyto signály mezi kořeny a nadzemní částí je ABA regulující činnost průduchů a růst za sucha. Vedle kořenů jsou to také stolony, které prostřednictvím molekulárních mechanismů reagují na stresové situace sucha (Gong et al. 2015). Biochemické reakce spojené s činností kořenů, které slouží k tvorbě obranných reakcí, přisuzují kořenům významnou úlohu při úpravě metabolismu rostliny při změně vnějších podmínek. Jako příklad může sloužit úprava anatomie kořenů při vysoké teplotě, kdy bývá redukováno boční větvení a mění se i úhel pronikání do půd (Bláha 2011). V případě menší dostupnosti vláhy je rostlina bramboru nucena měnit rozsah a intenzitu kořenové soustavy, což je dáno hydrotropismem bramboru, který se v případě sucha projevuje pronikáním kořenů do vlhčích půdních vrstev (Rybáček et al. 1988). Tento poznatek, díky

kterému rostlina částečně může odolávat suchu, byl předmětem zkoumání pro využití u závlahové metody s částečným vysušením kořenové zóny (Kang & Zhang, 2004; Shahnazari et al. 2007; Yactayo et al. 2013). Tato úsporná závlahová metoda, kdy se střídavě zavlažuje brázdovým podmokem, kdy je hrůbek vždy zavlažován pouze z jedné strany, a zavlažované brázdy se střídají, se dostává do popředí zejména v Asii. Brambory pod tímto typem závlahy dosahují srovnatelného výnosu s plnou závlahou, avšak za významné úspory vody (Jensen et al. 2010). Shahnazari et al. (2007) uvádí, že metoda částečného sušení kořenové zóny ušetřila oproti plné závlaze 30 % vody, což celkově vedlo k 61 % růstu efektivity využití závlahové vody. Jensen et al. (2010) uvádí při použití této metody na rajčatech a bramborách úsporu vody 20 až 30 % a zvýšení produkce čerstvých hlíz. Částečné sušení kořenové zóny také významně zvýšilo výnos obchodovatelných hlíz o 20 % oproti plné závlaze (Shahnazari et al. 2007).

4.8.3 Úloha epigenetické paměti

Při šlechtění a selekci odrůd odolnějších k suchu by měla být zaměřena pozornost také na stresovou paměť rostlin, neboť bylo v posledních letech zjištěno, že epigenetické mechanismy mohou přispět k regulaci exprese genu stresu (Chinnusamy & Zhu 2009; Čermák & Motylová 2015; Richards et al. 2017). Crisp et al. (2016) uvádí, že tuto paměť charakterizuje zvýšená molekulární stresová odezva. V tomto směru bude nutné hledat informace vedoucí k objasnění jejího významu a případně ji ověřovat jako potenciální prostředek pro zmírnění dopadů sucha. Minhas (2017) uvádí, že důležité je nejdříve porozumět stresovým mechanismům u tolerantních odrůd. Vegetativně množená rostlina bramboru, resp. trs utvořený z matečné hlízy během života, štafetově předává zásoby trsu a hlízám dceřiným (Rybáček et al. 1988). V případě stresové situace sucha se snaží rostlina udržet vysoký vodní potenciál a vyhnout se tak stresu nebo k němu získat toleranci (Brázdil et al. 2015). Vyhnout se stresu dosáhne pomocí pasivní obrany, jako je snížená vodivost průduchů, zmenšení listové plochy a rozvoj kořenového systému (Xiangnan & Fulai 2016; Minhas 2017). Naproti tomu získání tolerance je stav, kdy jsou udrženy funkce metabolismu i přes nízký vodní potenciál a jedná se o změny na fyziologické, biochemické a molekulární úrovni (transkripční modifikace), což zahrnuje i genetické exprese a hromadění specifických proteinů (Chinnusamy & Zhu 2009; Legay et al. 2011; Gong et al. 2015). Xiangnan & Fulai (2016) označují tyto specifické mechanismy za stresem indukované stavy krátkodobé paměti a dávají je do souvislosti se stresovou pamětí, která je popisována jako akumulace

specifických transkripčních faktorů a ochranných metabolitů a epigenetické modifikace. Za hlavní problém těchto změn spojených se získáním tolerance je považována relativní nestálost, resp. časová omezenost, jak u daného jedince po odeznění stresu, tak i napříč generací. Aklimatizace přináší změny nedědičné (fenotypové), získané během životního cyklu rostliny, nicméně některé faktory působí na rostlinu déle nebo se opakují, a přitom mohou nastat epigenetické změny s dlouhodobě udržitelným charakterem (Markoš 2015; Xiangnan & Fulai 2016). Tento proces se nazývá adaptivní trans-generační plasticitou (Crisp et al. 2016). Principem by se to mohlo podobat mechanismus, na kterém je založen „maternal effect“ (vliv mateřské rostliny), který byl popsán u rostlin množených semeny. Vytváří se tak, že pokud v době intenzivní syntézy proteinů v semenech působí na mateřskou rostlinu nějaký stresor (sucho), tak tato semena získávají stresovou zkušenost do dalšího roku (Crisp et al. 2016). Pazderů & Bláha (2013) uvádí, že tento vliv funguje díky přenosu znalostí o prostředí z mateřské rostliny na semena dceřiné generace a tak se zdá být tento vliv již prokázán (přenos molekul RNA v rámci cytoplasmy). Stav označovaný jako „drought memory“ (paměť na sucho) vzniká při působení stresu také u vegetativně množených rostlin. Přetrvává nejen po celou dobu vegetace, ale i po novém obrůstání nebo klíčení vegetativních orgánů (Walter et al. 2011). Vyskot (2007), Xiangnan & Fulai (2016) uvádějí, že mechanismy dlouhodobé stresové paměti jsou spojené s modifikací histonů. Bláha (2011) uvádí, že se změnou vnější situace může vzniknout určitý typ synapse, která pak částečně představuje i paměť rostliny, což je určitý typ reakce na již známou situaci. Tento typ reakce je charakteristický tím, že se průběhem i způsobem při stresu vždy opakuje, může se však lišit od reakce postižené rostliny, kterou prodělala při první stresové události (Xiangnan & Fulai 2016). Tyto takzvané "geneticky nezávislé" epigenetické variace mohou být přechodně vyvolány okolím nebo mohou být trvale zděděny (Richards et al. 2017). Rostliny s takto aktivovanou stresovou pamětí mají shodný růst a vývoj s rostlinami bez stresových zkušeností, nicméně po druhé expozici stresu vykazují zvýšenou toleranci k suchu (Xiangnan & Fulai 2016). V případě, že mechanismus reguluje expresi genů, díky níž následná generace lépe reaguje na situaci, které musela čelit rodičovská generace, tento stav bývá popisován jako dlouhodobá stresová paměť (Čermák & Motylová 2015). Richards et al. (2017) uvádí, že klonální organizmy mají v tomto ohledu zvláštní postavení. V případě klonálního rozmnožování mitotickým dělením nedochází k redukci počtu chromozomů na polovinu jako u meiózy (meiotický epigenetický reset). Přenos informací o stresu a ochranném mechanismu je tak účinnější než u semen, neboť při meióze je odstraněna velká část epigenetických značek (Richards et al. 2017). Mezi tyto

mechanismy, děděné buněčným dělením, patří modifikace histonů a methylace DNA (Crisp et al. 2016). Je třeba také zohlednit, že sadbový materiál brambor při klonálním množení (přemnožování sadby) podléhá degenerativním změnám (Rybáček et al. 1988).

4.8.4 Příklady experimentů se stresovou pamětí

Walter et al. (2011) zaznamenali při pokusech s ovsíkem vyvýšeným (*Arrhenatherum elatius* L.), že rostliny vystavené permanentnímu (průběžnému) suchu měly vyšší přírůstek biomasy oproti rostlinám vystaveným nahodilému suchu v pozdějších fázích růstu. Také rostliny huseníčku (*Arabidopsis*), vystavené každodennímu dehydratačnímu cyklu, vykazovaly fyziologickou i transkripční stresovou paměť, neboť již předtím stresované rostliny měly uzavřené průduchy i během zotavovacího období po odeznění stresu (Xiangnan & Fulai 2016). Richards et al. (2012) zjistili při pokusech s klonálními rostlinami křídlatky japonské (*Fallopia japonica* L.), kdy byly shromážděni jedinci z různých stanovišť do jednoho, že část metylace DNA proběhla odlišně, ale korelovala s původním stanovištěm. Naznačuje to tedy vliv odlišností daného prostředí na změny v metylaci DNA, které přetrvávají dále i při šíření klonů v optimálním prostředí. Je tedy otázkou, zdali u klonálních rostlin mitotická stabilita těchto epigenetických odpovědí umožňuje předávat environmentálně indukované změny metylace DNA (Richards et al. 2017). V řadě studií přirozené epigenetické variace byla zjištěna korelace mezi variací prostředí a epigenetickými rozdíly, přičemž není objasněno, zda je epigenetická variace indukována nebo pouze selektována prostředím (Richards et al. 2017). Přítomnost mechanismu dlouhodobé stresové paměti u brambor lze dokumentovat na výsledcích pokusů, které publikovali Ramírez et al. (2015). V nich byla použita jak sadba brambor získaná za stresových podmínek, tak sadba z podmínek vláhového optima. V následném pokusném roce, při ověřování sadby opět ve stresových podmínkách bylo zjištěno, že porosty pocházející ze stresem exponované sadby (odrůda Sarnav) měly v podmínkách sucha vyšší výnos hlíz. Překvapivé však na tomto experimentu je, že tato stresem exponovaná sadba měla vyšší výnos hlíz i v nestresových podmínkách vláhového optima. Řada publikací o epigenetické paměti uvádí, že změny se u následné generace projevují pouze tehdy, pokud se stresové podmínky opakují (Latzel 2015). Dále bylo zjištěno, že tento mechanismus je vysoce závislý na genotypu brambor (Ramírez et al. 2015).

Stejně jako přístup k samotné epigenetice, jsou přístupy k tomu, že by výše popsané změny byly systematicky děděny, rezervované. Existuje řada názorů, že je význam epigenetiky v aklimatizaci na stresové podmínky přeceňován. Tyto pochybnosti také podporuje fakt, že většina studií nedokáže ani prokázat, jestli jsou popisované změny epigenetického původu, jakou mají perzistenci (mezigenerační stálost) nebo jestli se týkají jen generativně vzniklého potomstva (Čermák & Motylová 2015). Richards et al. (2017) uvádí, že nedostatkem bádání je dán i omezený pohled na adaptivní význam těchto změn. V případě získávání dat je situace neméně složitá. K množství odpovědí chybí také data získaná z ověřování v „in vivo“ podmínkách, která by je mohla podpořit. V neposlední řadě je také velkým nedostatkem bádání v této oblasti to, že výběr pokusných rostlin je zúžen na několik druhů (nejčastěji huseníček a tabák), které jsou upřednostňovány pro své genetické vlastnosti. Výsledky takových pokusů nemusí být pro zemědělský výzkum a světově nejpěstovanější plodiny využitelný (Bláha et al. 2017).

4.9 Pěstitelská opatření zmírňující dopady sucha cílená na půdu

4.9.1 Úloha organické hmoty při zmírnění dopadů sucha

Z hlediska rozsahu půdního sucha a vážnosti jeho dopadů je zcela zásadní, v jakém fyzikálně-biologickém stavu se daná půda nachází. O každém propadu sklizně způsobené suchem spolurozhoduje stav půdy na konkrétním pozemku, případně technologie pěstování, neboť negativní dopady extrémů počasí jsou víceméně vždy citelnější na půdách se zhoršeným fyzikálně-biologickým stavem (Batysta & Vopravil 2016). Mezi nejdůležitější hlediska tak patří dobrá půdní struktura, vysoká biologická aktivita a vysoký podíl organické hmoty (Moraru & Rusu 2010; Plíva et al. 2012; Elbl et al. 2014; Kovaříček et al. 2017). Půda, která má dobře odolávat suchu, by měla mít na dobré úrovni dvě charakteristiky – infiltraci a retenci (Dvořák & Král 2017; Kasal 2016). Rychlá infiltrace je důležitá z hlediska zasakování srážkové vody do půdy, aby nedocházelo k jejímu odtoku, k erozi nebo nadměrnému zamokření půdního povrchu. Retence je zase nutná pro udržení vody v půdním profilu a její následnou dostupnost rostlinám v sušším období. Tyto hydrologické vlastnosti mimo jiné spoluurčují úrodnost a produktivitu půdy (Moraru & Rusu 2010).

Jedním z významných indikátorů míry degradace půdy a stejně tak i její odolnosti vůči suchu je obsah půdní organické hmoty (Fischer & Glaser 2012; Obalum et al. 2017). Černý et al. (2019) podrobněji uvádí, že vliv na akumulaci a distribuci vody v půdě mají hlavně neživé

složky organických látek, kterými jsou primární organická hmota a humusové látky. Tyto dvě složky snižují u půd objemovou hmotnost, zvyšují pórovitost a zlepšují infiltraci vody ze srážek, přičemž humusové látky ještě umožňují transport vody a jsou vododržné (Fischer & Glaser 2012). Obecně se uvádí, že s půdním suchem mají větší problémy půdy nadměrně zpracované s nízkým obsahem organické hmoty, od lehkých písčitéch po jílovité těžké. Problémem u nich bývá hlavně nižší retenční schopnost (Brázdil et al. 2015; Kovaříček et al. 2017). Přestože se těžší půdy s větším podílem jílnatých částic mohou zdát jako suchu odolnější, značná část vody v nich není pro rostliny využitelná (Černý et al. 2019). Rozhodujícím faktorem v zadržování vody jsou tak humusové látky, které díky své vnitřní struktuře mohou zadržet až dvacetinásobek vlastní hmotnosti, kdy je většina této vody pro rostliny využitelná (Černý et al. 2019). Tato složka organické hmoty v půdě také zpomaluje prohřívání půdy a tím pádem i její vysychání, zejména v horkém létě (Pražan et al. 2007). V souvislosti s klimatickou změnou a suchými epizodami se očekává i snížení mocností půdních horizontů, což ponese jako důsledek větší vysoušení a úbytek půdy (Pražan et al. 2007). Péče o půdu je tak z hlediska lepšího hospodaření s půdní vláhou prioritou, neboť půdní profil o mocnosti 1 m půdy v dobrém fyzikálně-biologickém stavu dokáže zadržet na 100 ha průměrně 300 000 m³ vody (Batysta & Vopravil 2016). Žalud et al. (2020) uvádí, že 1 kilogram organické hmoty je schopen v půdě zadržet 18-20 kg vody. Ani dostatek organického hnojení nemusí však přinést zmíněné zlepšení, a to v případě, že jsou souběžně používána hnojiva s úzkým poměrem C:N, což podporuje mineralizaci živin v půdě, kdy dochází k opětovnému úbytku organické hmoty a zhoršení hydro-pedologických parametrů půdy. Postupné snižování organických látek je problém především na půdách pod závlahou, a to i v případě organického hnojení (Fischer & Glaser 2012; Růžek et al. 2017).

4.9.2 Závlahové systémy při pěstování brambor

Již na přelomu minulého desetiletí světové zemědělství produkovalo více jak 40 % potravin ze zavlažovaných ploch (Bláha 2011). Jedním z opatření zmírňujících dopady sucha při pěstování brambor, kterému je věnována ve světovém zemědělství nemalá pozornost, jsou právě závlahové systémy. Toto efektivní a rychle působící opatření, které je ale technologicky, organizačně a investičně náročné, se při zmírnění dopadů sucha na výnos osvědčilo (Žalud et al. 2020). Je proto pěstitelskou praxí využíváno a široce rozšířeno, i když v ČR především u rentabilnější zeleniny. Možnosti závlah jsou limitovány dostupností vodních zdrojů a závlahovou infrastrukturou a mělo by k nim být přistoupeno až po vyčerpání

všech agrotechnických opatření (Kasal 2017; Žalud et al. 2020). Hlavním limitem možností užití závlahy všude na Zemi je, vedle dostupnosti a kvality, také vydatnost vodních zdrojů, která se v ČR stává problémem (Rožnovský 2014; Žalud et al. (2020). Dalším limitem je rozsah plochy vyžadující závlahu, což u polních plodin, jako jsou brambory, může představovat technický problém. Minhas (2017) uvádí, že i navzdory závlaze může u brambor dojít ke stresu ze sucha, kvůli vysokým hodnotám transpirace, zejména v odpoledních hodinách, kdy kořenový systém nemůže zcela vyhovět potřebným požadavkům na vodu. To vede ke zvýšení vodního potenciálu a následnému snížení rychlosti fotosyntézy. Vedle toho mohou být intenzivní nešetrnou závlahou nastartovány nežádoucí degradační procesy půdy, jako je zasolování a eroze. Na půdách pod závlahou jsou vyplavovány bazické kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} , což má negativní vliv na stabilitu organických látek a půdní strukturu, případně jejich nedostatkem dochází ke zhoršení infiltrace vody vinou rozplavení půdních agregátů (Růžek et al. 2017).

Z gravitačních závlah, které se využívají převážně v rozvojových zemích nebo u drobných pěstitelů, se u brambor užívá zavodňování brázdovým podmokem. Jedná se o nejstarší způsob závlahy, kdy je voda přiváděna rovnou do brázd a gravitační silou se pak rozlévá po celé délce brázdy. Je to technicky jednoduchý, méně efektivní druh závlahy, který je současně, mimo menší plochy, využívaný převážně v rozvojových zemích s levnou lidskou prací. Naproti tomu efektivnější, technicky náročnější tlakové závlahy jsou typické pro rozvinuté intenzivní zemědělství s vysokou produktivitou práce. Tlakové závlahy lze rozdělit dle způsobu nebo místa aplikace. Nejčastější je u brambor v ČR závlaha plošným postřikem, kdy je voda rovnoměrně aplikována přímo na půdu a rostliny. Hlavní nevýhoda této závlahy je, že vedle velké spotřeby vody jsou ovlhčovány listy natě a vytváří se tak podmínky pro rozvoj plísňe bramboru (*Phytophthora infestans*) (Kasal 2017). K nesporným výhodám tohoto typu závlahy patří nižší pořizovací náklady, menší náročnost instalace a kvalita povrchových vodních zdrojů, ze kterých je voda odebírána. Moderním typem tlakové závlahy je závlaha lokalizovaná, nejčastěji kapková, u níž je vysoká efektivita, ale také pořizovací cena. Hlavní výhoda oproti postřiku je u kapkové závlahy to, že voda je přiváděna ke kořenové zóně rostliny a neproduktivní výpar je omezen. Ještě většího efektu lze dosáhnout podpovrchovou aplikací kapkové hadice, kdy je voda přiváděna přímo ke kořenům (Minhas 2017). Hlavními přednostmi kapkové závlahy oproti postřikové jsou úspora vody, prevence proti vzniku plísňe a možnost přesněji nastavit její automatické řízení (Kasal 2017). V principu jde o úpravu

závlahového režimu podle aktuální vláhové potřeby, kterou lze zjistit pravidelným sledováním dostupnosti vláhy (Welbaum 2015). Předmětem výzkumu zaměřeným na zavlažování je i mikro-irizace, což je technologie, u které by byla nižší spotřeba energie i vody (Brázdil et al. 2015). Cornelis (2019) uvádí, že i přes možnost vyplnit rezervy současných závlahových systémů, např. zvýšením účinnosti, výsledek přispěje k řešení problému jako celku pouze v omezené míře. V ČR je zatím kapková závlaha u brambor používána v malé míře (Žalud et al. 2020). Kasal (2017) uvádí, že investice spojené s přechodem na kapkovou závlahu jsou rentabilní, pokud dojde ke zvýšení výnosu hlíz přibližně o 20 %, ale o rentabilitě spolurozhodují i další faktory, jako je cena vody. Klíčová je však cena zemědělských výrobců za kilogram hlíz v daném roce. Zde je nutné položit si otázku, zda použití kapkové závlahy při možnostech českých pěstitelů brambor, může být vůbec rentabilní (Mayer et al. 2018). Je třeba také doplnit, že u nás zatím neexistuje podpůrný ekonomický nástroj, který by pěstitele motivoval k přechodu na šetrnější typ závlahy.

4.9.3 Změny v agrotechnice pěstování brambor

Součástí adaptačních strategií proti zemědělskému suchu bude vývoj agronomických technologií pro suché oblasti a sledování kondice půdy (Trnka et al. 2019). Rožnovský (2014) uvádí jako jedno z komplexních mitigačních a adaptačních opatření minimalizaci zpracování půdy, což nelze v rámci agrotechniky brambor plně uplatnit. Růžek et al. (2017) uvádí jako příklad technologie zpracování půdy využití pasivních nástrojů nebo změnu hloubky zpracování půdy. Dalším směrem, jak se vypořádat s dopady sucha nejen při pěstování brambor, je snaha o zlepšení hospodaření s půdní vláhou. Cílem těchto opatření, mezi které jistě patří i takzvané půdoochranné technologie (dříve koncipované hlavně proti erozi), je omezit neproduktivní transpiraci vody z půdy a tuto vláhu zde udržet dostupnou kořenům plodin během vegetace i v sušším období (Kasal 2016). Moraru & Rusu (2010) dospěli k závěru, že minimalizační systémy zpracování půdy podporují vyšší obsah humusu a stabilních agregátů v hloubce do 30 cm ve srovnání s konvenčním zpracováním půdy. Z hlediska utužení půdy byly při použití minimalizačních systémů zpracování půdy zaznamenány v hloubce 10 až 20 cm vyšší hodnoty penetrometrického odporu oproti konvenční technologii zpracování. Stratifikace půdního profilu byla tak snížena. Dalším praktickým opatřením zlepšujícím zadržování vody je vsakovací žlábek na vrcholu hrůbku. Jedná se o tvarovou modifikaci hrůbku, vytvářenou po výsadbě brambor. Toto opatření

zlepšuje jednak homogenitu provlhčení hrůbku a tím i využitelnost aplikovaných hnojiv rostlinou (Kasal 2016). V souvislosti s přípravou na dopady možných klimatických změn je zkoumána i účinnost technologií kryjících půdních povrch. Gyuricza et al. (2015) uvádí, že pokrytí posklizňovými zbytky zpomaluje proces degradace zejména těžších půd v suchém i deštivém období, neboť se snižuje rozpad půdních agregátů i jejich rozplavování. Důsledkem rozplavování se pak v sušším období tvoří půdní škraloup.

4.9.4 Mulčování u brambor

Mulčovací materiály, kterými lze zmírnit dopady sucha při pěstování brambor, se dělí podle původu na anorganické (polyetylenové a netkané textilie, fólie) a organické (rostlinné mulče z posklizňových zbytků). Dalším měřítkem je stálost materiálu; zda je nutné je před sklizní odstranit, nebo jestli jsou bio/foto degradabilní a rozloží se samy (Dvořák et al. 2013).

4.9.4.1 Organické mulče

Minhas (2017) uvádí, že mulčování rostlinnými zbytky během suchých period pomáhá prostřednictvím zachování vláh, snížení teploty a zlepšení stavu porostů k lepším výnosům. V posledních letech se jedná o znovu objevené opatření, kdy se aplikací zpracovaných materiálů, většinou organického původu, chránily pěstované kultury před negativním vlivem, většinou abiotických faktorů. Organický mulč by měl v případě sucha a vyšších teplot pomáhat se zadržením půdní vláh. K tomuto účelu může být použita řada rostlinných materiálů, zejména z posklizňových zbytků, jako je sláma, zahradní odpad a řada dalších materiálů organického původu. Ty pak působí jako zábrana proti neproduktivnímu a nadměrnému výparu vody a díky tomu šetří půdní vláhu (Peng et al. 2015; Ranjan et al. 2017). Adamchuk et al. (2016) uvádí, že u mulčem ošetřených parcel bylo zjištěno menší kolísání půdní vláh, kdy byly oproti neošetřeným parcelám blíže vláhovému optimu, přičemž rozdíl proti kontrole dosahoval až 8 % půdní vlhkosti. O pozitivním efektu mulčované slámy lze také hovořit v souvislosti s regulací výkyvů vysokých teplot během dne, kdy sláma působí jako tepelný izolátor (Sofyan et al. 2014; Adamchuk et al. 2016). Sofyan et al. (2014) zaznamenali nejvyšší rozdíl v teplotě půdy mezi variantami ošetřenými mulčem a kontrolními variantami bez ošetření během vrcholu vegetačního období v rozmezí 6 až 7 °C. Adamchuk et al. (2016) uvádí, že nejvyššího rozdílu teploty povrchu půdy 10°C mezi

parcelami s mulčem a bez něj, bylo zaznamenáno během poledne (12-16 h.) V neposlední řadě působí mulče protierozně, neboť pokryv půdy mulčem rostlinných zbytků snižuje povrchový odtok a následný odnos půdních částic (Cerdà et al. 2017; Rahma et al. 2019; Žalud et al. 2020). Žalud et al. (2020) uvádí, že rostlinný pokryv také chrání půdu před negativním vlivem vysoké energie srážek a tím se minimalizuje rozplavování půdních agregátů. Opatření tohoto typu by měla vést k vyhovujícím podmínkám pro růst a vývoj rostlin a pozitivně se promítnout do výnosu hlíz.

Sláma obilnin

Dostupným, relativně levným, ale účinným materiálem tohoto typu s rychlým účinkem, bývá sláma obilnin nebo seno a travní hmota (Dvořák et al. 2013; Dudás et al. 2016, Cerdà et al. 2017). V rostlinné výrobě je s posklizňovými zbytky počítáno i v osevním postupu, přičemž mohou vylepšit vláhovou bilanci při růstu následné plodiny, zvláště v období sucha. Mulčování mimo to, že zlepšuje fyzikální a chemické vlastnosti půdy, zvyšuje i její biologickou aktivitu (Walter et al. 2011; Adamchuk et al. 2016). I přes tyto výhody mohou ale zbytky organické hmoty působit v případě sucha i protichůdně, neboť přesušení povrchových vrstev s jejich vysokým obsahem zhorší rozklad a mohou působit jako konkurenti o vodu při následné výsadbě (Rožnovský 2014). Vedle tohoto může nevhodný výběr a termín aplikace organického materiálu negativně ovlivnit vzejití rostlin bramboru (Dvořák et al. 2010). V případě mulčování slámou obilnin se jedná o strojově řezaný materiál různé délky. Ta je vedle dávky a druhu použité slámy důležitým parametrem, neboť sláma nařezaná příliš na krátko může být po aplikaci snadno odváta větrem nebo splavena srážkami, naopak příliš dlouhé části neplní očekávané přínosy a mohou způsobovat později komplikaci pro rostliny i sklizeň (Nishihara & Shock 2001). Döring et al. (2005) uvádí, že při použití delší slámy k omezení půdních ztrát povrchovým odtokem, byla ve srovnání s krátce řezanou slámou zaznamenána nižší účinnost v řádu několik procent. Pokusné dávky při polních experimentech se pohybují v rozmezí 1 až 9 t/ha (Peng et al. 2015; Prosdocimi et al. 2016; Adamchuk et al. 2016; Rahma et al. 2019). Z hlediska udržení půdní vláhky je pro hlinité a těžší půdy optimální 0,4 kg/m². Döring et al. (2005) zvolili při pokusech s bramborami pokusné dávky slámy ve výši 1,25; 2,5 a 5 t/ha. Některé studie vycházejí při určování dávky z mocností vrstvy vytvořené na povrchu (Oljača et al. 2018). (Sofyan et al. 2014; Oljača et al. 2018) uvádí rozpětí 20 až 40 mm. Mulčovaná sláma obilnin také snižuje teplotu půdy, což je výhodné zejména v horkých letních dnech a zmírňuje i povrchový odtok vody a zpomaluje

proudění vzduchu a vysoušení povrchu brázd (Akhtar et al. 2018). Rahma et al. (2019) uvádí, že půdoochráněného účinku lze dosáhnout při od 0,2 kg pšeničné slámy na m², kdy byly při této dávce ztráty půdy sníženy o 60 až 80 %. Edwards (2009) uvádí při použití mulčované slámy snížení půdního smyvu u brambor o 42 až 73 %. Podobný efekt může přinášet i mulčování senem, kdy může být u takového ošetření, mimo větší výskyt a rozmanitost členovců, teplota výrazně nižší, díky většímu provlhčení (Dudás et al. 2016). Snížení teploty v hrůbcích při použití slámy, sena či travního mulče bylo v rozmezí 0,5 až 2,4 °C (Bhatt & Khera 2006; Dvořák et al. 2014; Dudás et al., 2016). Bhatt & Khera (2006) uvádí, že povrchové mulčování slámou snížilo teplotu půdy a zvýšilo její provlhčení oproti neošetřené kontrole. Slamnatý mulč má oproti plastovým mulčovacím textiliím černé barvy tu výhodu, že povrch hrůbků neohřívá, což je výhodné v teplejších oblastech a při vysokých letních teplotách. Elbl et al. (2014) uvádí, že prostřednictvím většího provlhčení je podpořena i půdní mikrobiální aktivita. Pozitivní výsledky při sledování vlivu mulčování slámou na produkční ukazatele brambor zaznamenala řada studií (Adamchuk et al. 2016; Ilyas & Ayub 2017; Sreyashi et al. 2017; Oljača et al. 2018). Oljača et al. (2018) uvádí, že u varianty mulčované slámou byl zaznamenán nejvyšší hektarový výnos hlíz u všech testovaných kultivarů. U parcel mulčovaných slámou byl zjištěn i pozitivní vliv na výnos tržních hlíz oproti neošetřeným kontrolním parcelám (Adamchuk et al. 2016; Ilyas & Ayub 2017). Mulčování slámou podporuje růst hlíz zejména v objemové fázi (Sreyashi et al. 2017). Ilyas & Ayub (2017) uvádí, že zvýšení výnosu u mulčovaných parcel bylo dosaženo zejména podporou fotosyntetického aparátu rostlin bramboru, jako je počet listů na rostlině a výška rostlin. Další výhodou z hlediska produkce konzumních hlíz je i to, že hlízy, které se dostanou v průběhu vegetace na povrch hrůbků u mulčovaných ploch, méně zelenají (Adamchuk et al. 2016). Adamchuk et al. (2016) také uvádí, že vedle výnosů vyšších o 30 až 40 % a lepší velikostní struktury hlíz, mulčování pozitivně působilo i na tvar hlíz, kdy byl zaznamenán menší počet deformovaných hlíz u mulčovaných ploch (Adamchuk et al. 2016). Slamnatý mulč může pozitivně působit i na stabilizaci teplotních poměrů v hrůbcích snížením teploty, kdy může zmírnit dopad vysokých teplot na růst hlíz i kořenů v horkých letních dnech. Nicméně v jarním období, zvláště po výsadbě, toto snížení teploty v hrůbku může mít negativní vliv na klíčení hlíz a vzejití porostů (Ilyas & Ayub 2017). Vedle celé řady zmíněných výhod je nutné doplnit, že použití mulče slámy při pěstování brambor má svá úskalí a někde může působit obtíže, spojené s vyšším tlakem chorob, hlodavců a některých druhů plevelů (Akhtar et al. 2018; Žalud et al. 2020).

Kompost

Dalším materiálem organického původu, zlepšujícím bilanci živin i vodní režim půdy a tím zmírňujícím i následné dopady sucha, je kompost (Wilson et al. 2019). Jako jedna z forem dodání organické hmoty zlepšuje u půd jejich sorpční schopnost, tvorbu strukturních agregátů, vzdušný a tepelný režim, využitelnost živin a zvyšuje mikrobiální aktivitu (Bresson et al. 2001; Fischer & Glaser 2012; Taheri et al. 2012; Doan et al. 2015; Badalíková 2019). Zlepšení sorpční schopnosti půdy a tvorba strukturních agregátů má za následek i zlepšení infiltračních schopností (Edwards 2009). Toto může být významným přínosem pro omezení povrchového odtoku a následně i půdního smyvu a pro celkově lepší udržení půdní vláhly, zejména v následném období sucha. Zároveň je kompost používán jako organické hnojivo v základní dávce 20 t/ha (Setiyo et al. 2016). Badalíková (2019) uvádí, že při 4letých pokusech se silážní kukuřicí bylo zaznamenáno při ošetření kompostem (dávky 20 t/ha a 40 t/ha) nižší utužení půdy a více půdní vláhly než u neošetřené kontrolní varianty. Edwards (2009) zaznamenal rovněž nižší utužení půdy při použití kompostu. Pozitivní vliv na výnos při použití kompostu byl zaznamenán i při pokusech s bramborami (Seyedbagheri 1999; Douglas 2004; Edwards 2009; Taheri et al. 2012; Halloran et al. 2013; Setiyo et al. 2016). V řadě publikací byl při použití kompostu o různých dávkách zaznamenán významný nárůst výnosu hlíz v rozpětí od 4 do 15 % (Seyedbagheri 1999; Douglas 2004; Edwards 2009; Halloran et al. 2013; Lindsey et al. 2013; Wilson et al. 2019). Setiyo et al. (2016) zaznamenali při pokusech s kompostem pozitivní vliv i na kvalitu hlíz. Kompost lze aplikovat s předstihem zapravením na podzim nebo na jaře, a to je téměř výhradní způsob aplikace, nicméně v případě povrchové aplikace je nutné zvolit termín až po výsadbě. Výhodou podzimní aplikace je, že ji lze spojit s dalšími operacemi podzimního zpracování půdy. Dále tento způsob aplikace poskytuje více času pro uvolňování živin, které je u kompostu pozvolné a podporuje mineralizaci ostatní organické hmoty a zadržování vláhly v půdě (Fischer & Glaser 2012). Oproti tomu účinek povrchové aplikace může být v zamezení tvorby půdního škraloupu a udržení příznivého stavu půdního povrchu. Tmavé odstíny povrchu ošetřeného kompostem absorbují více světelného záření, čímž se půdní povrch rychleji prohřívá; to je důležitý aspekt při rychlosti vcházení porostů brambor (Hamouz et al. 2007; Fischer & Glaser 2012). Tento způsob použití kompostu je však z pohledu legislativy ČR problematický, neboť vyhláška č. 274/1998 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv stanovuje, že tuhá organická hnojiva aplikovaná na povrch půdy se do ní zpracovávají nejpozději do 48 hodin. Problémem také bývá samotné provedení aplikace, kdy jsou plochy již osázeny. Bhattarai et

al. (2011) uvádí, že použití kompostu jako mulče k pokrytí holé půdy je velmi účinné protierozní opatření. Aplikace kompostu zmírňuje prostřednictvím zlepšené infiltrace i povrchový odtok a tím i mobilitu půdních částic a jejich ztrátu odnosem (Bresson et al. 2001; Badalíková & Bartlová 2014; Doan et al. 2015; Kuncheva & Dimitrov 2015). Badalíková & Bartlová (2014) uvádí, že při podzimní aplikaci kompostu v dávce 20 t/ha došlo ke snížení povrchového smyvu půdy na 0,48 t/ha ve srovnání s 1,22 t/ha neošetřené kontroly za celou vegetaci. Edwards (2009) uvádí, že použití kompostu u brambor nemělo žádný vliv na povrchovou ztrátu půdy. Kovaříček et al. (2015) uvádí, že účinnost aplikovaného kompostu na snížení povrchového odtoku je ovlivněna půdní vlhkostí. Při vysoké úrovni půdní vlhkosti byl povrchový odtok vyšší u kompostem ošetřených ploch než u neošetřené kontroly, nicméně při nízké půdní vlhkosti byl účinek opačný, kdy kompostem neošetřená plocha měla půdní smyv o 53 % nižší.

4.9.5 Přípravky zlepšující půdní podmínky

Zvláště v posledních letech je na trhu s přípravky na doplňkovou výživu rostlin řada zlepšujících přípravků, které mají zvyšovat produkční schopnost plodin prostřednictvím zlepšených půdních podmínek. Vedle známějších huminových látek pro podporu zakořeňování rostlin se jedná o pomocné půdní látky (půdní kondicionéry), které jsou organického původu a mají zlepšovat vláhové poměry v půdě (Shinde et al. 2019). Shinde et al. (2019) definuje půdní kondicionér jako materiál, který obsahuje omezené množství živin s příznivým dopadem na biologické, fyzické nebo chemické vlastnosti půdy. Děje se tak prostřednictvím stabilizace půdních agregátů, jejich ochranou před destrukcí dešťovými kapkami, což vede ke zlepšení vsakování vody do půdy a zvýšení retence vody v půdě. Některé pomocné půdní látky mají také zamezit tvorbě půdního škraloupu (Shinde et al. 2019). Použití těchto přípravků v zahraničí zaznamenalo jisté úspěchy (Zarzecka & Gugala 2013; Faried et al. 2014; Xu et al. 2014). Použití humátu a hydrogelu u brambor mírně zvýšilo výnos prostřednictvím podpory růstu nadzemních částí rostlin (Faried et al. 2014). Při použití pomocné půdní látky u brambor došlo díky zvýšenému obsahu půdní vlhkosti k navýšení výnosu hlíz, zejména se zvýšil podíl hlíz tržní velikosti (Xu et al. 2014). Půdní kondicionér zvýšil u brambor hmotnost hlíz na trs a průměrnou hmotnost jedné hlízy ve srovnání s kontrolou (Zarzecka & Gugala 2013). Jedním z přípravků anti-stresorů, udržujících a zlepšujících strukturu půdy je přípravek Transformer (Oro Agri). Přípravek je založen na bázi

D-limonenu (pomerančového oleje), který dále obsahuje mastný alkohol ethoxylát (20 %) ve formě rozpustného koncentrátu (SL). Přípravek má zlepšovat infiltraci srážek, omezení povrchového zamokření a odtoku, snížení hydrofobity a zlepšení retence lepším rozložením vody v půdě. U těžkých půd má zlepšovat infiltraci vody do půdy a tím omezit povrchové zamokření. Již v současnosti se můžeme v praxi setkat s tím, že některé hospodařící subjekty přistupují v období sucha k doplňkové závlaze prostřednictvím zvýšené postřikové dávky při aplikaci podpůrných přípravků. Účinnost takového opatření se může lišit v závislosti na řadě podmínek a rozsahu ošetřených ploch, ale každé dodání vody na list v době sucha rostlině rozhodně pomáhá.

5 Metodika

5.1 Charakteristika realizovaných pokusů

Prvním cílem experimentální části práce bylo vyprodukovat a poskytnout sadbový materiál, který bude tolerantní k suchu a zjistit perzistenci této tolerance. Tato část práce zahrnovala nádobový pokus pro cílenou expozici půdního sucha na nové sadbové hlízy a následné ověření odolnosti takto vyprodukované exponované sadby v podmínkách maloparcelkového pokusu s částečně řízeným vláhovým režimem na zastřešeném pozemku.

Druhým cílem bylo ověření účinnosti opatření ke zlepšení vláhově – půdních podmínek pomocí mulče a kompostu aplikovaných na povrch hrůbků. Pozornost byla věnována i dalším možnostem posílení tolerance k suchu přímou aplikací podpůrných půdních přípravků a tím omezení nežádoucích dopadů sucha na výslednou produkci hlíz. Tato část práce zahrnovala přesné polní pokusy zaměřené na cílenou změnu půdních vlastností pro řešení nedostatku vláhy v půdě.

Všechny experimenty byly provedeny na pokusných pozemcích Výzkumné stanice katedry agroekologie a rostlinné produkce v Praze-Uhřetěvesi.

Pro všechny pokusy byla použita odrůda Dicolora (Vesa šlechtitelská, s.r.o.). Vybrána byla zejména z důvodů ranosti, odolnosti vůči mechanickému poškození, střední odolnosti vůči virovým chorobám, rezistenci na rakovinu bramboru patotypu 1. Mezi její přednosti, důležité pro pokusnickou činnost, patří rychlý počáteční růst natě a dvoubarevná slupka. Produkční schopnost této odrůdy je vysoká, s nízkým počtem hlíz pod trsem. Odrůda je bez výrazných pěstitelských rizik. Geneticky vychází z odrůdy Bolesta. Registrována byla v roce 2013.

5.2 Pokus zaměřený na cílenou expozici půdního sucha na nové sadbové hlízy a následné ověření odolnosti takto vyprodukované exponované sadby v podmínkách maloparcelkového pokusu s částečně řízeným vláhovým režimem

5.2.1 Nádobový pokus

5.2.1.1 Založení pokusu

Pro účely této části pokusu bylo v roce 2016 a 2017 založeno 48 nádob s rostlinami bramboru (1 trs na nádobu), které byly rozděleny do 4 skupin (S1, S2, S3, K) po 12 opakováních pro každou variantu (3 stresové scénáře a kontrolní skupina). Sadba z roku 2016 byla připravena k ověření v roce 2017 i 2018, naproti tomu sadba z roku 2017 byla připravována pouze pro potřeby hodnocení reakce rostlin na suchu z dvouletého průměru a dále nebyla ověřována. Tyto nádoby s drenážovaným dnem o objemu 5 L (obdobně použili Ramírez et al. 2014 a Rolando et al. 2015), byly zastřešeny a byl u nich řízen vláhový režim. Jako substrát byla použita zemina – ornice odebraná z pokusného pozemku Výzkumné stanice v Uhřetěvsi.

Tabulka: 1 Přehled pokusných variant

Označení varianty	Popis stresové situace
S1 (omezení závláhy v tuberizaci)	stres během začátku tuberizace
S2 (omezení závláhy v květu)	stres během kvetení
S3 (omezení závláhy v tuberizaci a květu)	stres během tuberizace a stres při kvetení
K (závlaha bez omezení)	kontrola bez stresu, řízená závlaha

5.2.1.2 Řízení vláhového režimu a stresové scénáře

Pro vyvolání stresových podmínek půdního sucha byly u nádobového pokusu pomocí ruční závlivky udržovány sací tlaky půdy (SWP) na hodnotách blížících se k 150 kPa a hodnoty relativní půdní vlhkosti na 10 % po dobu alespoň 12 dní, přičemž se vycházelo z práce Haverkort et al. (1990). U kontrolní varianty vláhový režim nebyl omezován, byl udržován na optimální úrovni po celou dobu pokusu, tedy 20 % relativní půdní vlhkosti a sací tlaky půdy se pohybovaly do 15 kPa. Rostliny bramboru skupiny S1 byly vystaveny půdnímu suchu 14 dní během fáze tuberizace. Skupina S2 byla vystavena suchu během kvetení. Skupina S3 byla vystavena suchu jak v době tuberizace, tak i v době kvetení. Pro identifikaci

růstových fází byla použita stupnice fenologických fází dle Vokála et al. (2015), s přihlédnutím ke skutečnému stavu tvorby hlíz. U všech exponovaných skupin byly mimo doby expozice půdního sucha udržovány vláhové podmínky shodné s režimem u kontrolní skupiny (K). Pokus byl ukončen vyjmutím hlíz a jejich posklizňovým zhodnocením.

5.2.1.3 Sledované parametry a charakteristiky

Během pokusu byly sledovány půdní, růstové i produkční charakteristiky. Z půdních charakteristik to byla relativní půdní vlhkost a sací tlaky půdy (SWP).

Relativní půdní vlhkost byla měřena v hloubce 0-40 mm (Theta Probe Soil Moisture Sensor ML2x + Moisture Meter HH2). Jedná se o nepřímou metodu stanovení vlhkosti na principu elektrické vodivosti mezi kovovými jehlami čidla, kdy se jedná o pozitivní korelaci mezi vodivostí a vlhkostí. U každé nádoby byla k získání průměrné hodnoty provedena tři měření.

Sací tlaky půdy (SWP) byly měřeny čidly Watermark 200SS a zaznamenávány na MicroLog SP3 (EMS Brno). Na každé variantě byla instalována tři čidla. Dále bylo kontinuálně zaznamenáváno množství zálivky v čase.

Tabulka: 2 Časový harmonogram nádobového pokusu

Úkon	2016	2017
založení+ ruční výsadba	19.4.	5.5.
instalace čidel (SWP)	5.5.	15.5.
fungicidní postřik (Flowbrix)	18.7.	11.7.
ukončení vegetace a sklizeň	8.8.	16.8.
posklizňový rozbor (velikostní třídění)	8.8.	16.8.

Z dalších sledovaných charakteristik to byl pak obsah chlorofylu v listech (měřen ručním chlorofylmetrem SPAD 502). Na každém trsu (rostlině) byla k získání průměrné hodnoty provedena tři měření. Dále byla sledována výška trsů. Z posklizňových rozborů na třídících sítích byly zjištěny produkční parametry a to počet a hmotnost hlíz pod trsem a počet sadbových hlíz (nad 28 mm).

5.2.2 Maloparcelkový pokus s řízeným vláhovým režimem

5.2.2.1 Založení pokusu

Jak již bylo uvedeno, cílem této části pokusu bylo ověřit fixaci (paměť) protistresových mechanismů u sadby připravené v nádobovém pokusu (dle jednotlivých stresových scénářů). Pro tento účel byla v roce 2017 provedena výsadba této sadby (produkované 2016) do fóliovníku (6 x 2,8 x 24 m, Konstrukce Schwartz), kde byly s pomocí kapkové závlahy vytvořeny podmínky pro řízení vláhového režimu a bylo opět možné vystavit brambory půdnímu suchu z připravené exponované sadby (S1, S2 a S3). Sadba získaná z přesadby v roce 2017 byla v roce 2018 opět přesazena, aby bylo možné zhodnotit perzistenci případně získaných mechanismů. Ověření exponované sadby z roku 2017 nemohlo být v roce 2018 uskutečněno z kapacitních důvodů (prostor fóliovníku). Celkem bylo v obou letech založeno 8 variant (6 pocházejících z exponované sadby a 2 varianty kontrolní) ve 3 opakováních (tabulka 3). Celkem tedy bylo založeno 24 parcelek, přičemž každá měla 10 trsů (ve sponu 0,25 x 0,8 m).

Tabulka: 3 Přehled pokusných variant v polním pokusu pod fóliovníkem

Varianta	Popis vláhového režimu
S1	Bez omezení závlahy s využitím exponované sadby 3 scénářů z roku 2016.
S2	
S3	
K	Bez omezení závlahy a kontrolní (neexponovaná) sadba.
SS1	Omezení závlahy s využitím exponované sadby 3 scénářů z roku 2016.
SS2	
SS3	
KS	Omezení závlahy a kontrolní (neexponovaná) sadba.

5.2.2.2 Řízení vodního režimu a stresový scénář

Od výsadby byla u rostlin bramboru udržována půdní vláha bez omezení, blízká polním podmínkám. Závlahová dávka byla stanovena dle metodiky pro pěstování raných brambor (Hamouz et al. 2007). Pro monitoring a kontrolu půdního sucha byla sledována a hodnocena relativní půdní vlhkost mezi jednotlivými variantami.

Stresový scénář sucha trvající 30 dní (SS1, SS2, SS3 a KS) byl načasován na klíčovou fázi růstu hlíz (fáze objemového růstu-tuberizace) a tím zjištění míry aklimatizace těchto rostlin na suchu z předcházející vegetace (roku 2016) oproti kontrolním sadbovým hlízám

(KS). U zbývajících variant S1, S2, S3 a K byl udržován vláhový režim bez omezení po celou dobu vegetace s cílem ověřit, zdali i v těchto vláhových podmínkách exponovaná sadba (S1, S2, S3) nedokáže lépe hospodařit s vodou a neposkytne lepší výsledky než běžná sadba (K).

Tabulka: 4 Přehled závlahových dávek (mm) u zavlažovaných variant bez omezení

	2017	2018
Květen	31,4	36,7
Červen	45	51,2
Červenec	64	71,3
Srpen	14,5	24,6
Celkem	154,9	183,8

5.2.2.3 Sledované parametry a charakteristiky

Během této části pokusu byly sledovány půdní, růstové i produkční charakteristiky. Z půdních charakteristik to byla relativní půdní vlhkost (v hloubce 0-40 mm, Theta Probe Soil Moisture Sensor ML2x + Moisture Meter HH2). U každé parcelky byla k získání průměrné hodnoty provedena tři měření. Dále bylo zaznamenáváno množství závlahy v čase. Z fyziologických charakteristik to byl pak obsah chlorofylu v listech, jako indikátor stresu sucha (měřen ručním chlorofylmetrem SPAD 502). U každé parcelky bylo provedeno 10 měření k získání průměrné hodnoty. Při polním ověření upravené sadby (2017 a 2018) byla sledována okamžitá WUE (přístrojem LCpro+, EkoTechnika). Měření proběhlo u každé varianty na třech trsech. Z posklizňových rozborů na třídících sítích byly zjištěny produkční parametry a to, počet a hmotnost hlíz pod trsem.

5.2.2.4 Přehled agrotechnických opatření

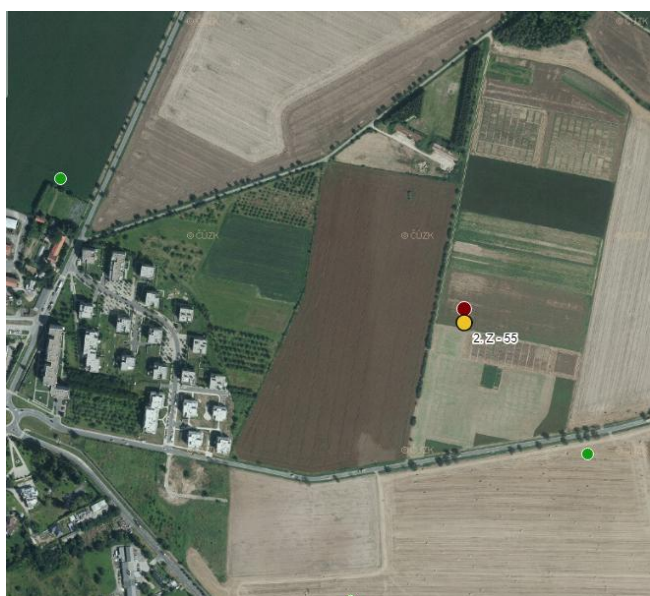
Tabulka: 5 Přehled agrotechniky, použité při zakládání a vedení pokusu

Agrotechnická operace	2017	2018
Předplodina	Plodová zelenina	Brambory
Hnojení – kompost	5.5. (v dávce 20 t/ha)	23.4. (v dávce 20 t/ha)
Kypření	11.5.	26.4.
Ruční výsadba	11.5.	26.4.
Mechanická kultivace	20.6. (ruční plečkování)	16.5.
Insekticidní postřik	11.7.	-
Fungicidní postřik	13.7.	-
Ukončení vegetace a ruční sklizeň	16.8.	28.8.
Posklizňový rozbor (velikostní třídění)	16.8.	28.8.

5.3. Polní pokusy zaměřené na cílené změny půdních vlastností pro řešení nedostatku vláhy v půdy

5.3.1 Stanovištní podmínky

Polní část pokusů byla realizována na DPB 9001/6 (dle LPIS) na Výzkumné stanici katedry agroekologie a rostlinné produkce v Praze-Uhřetěvesi. Ke stanici náležejí pozemky o celkové výměře 16 ha, z čehož je 5,9 ha v ekologickém režimu hospodaření, stanice se zabývá zejména maloparcelkovými pokusy. Toto pracoviště disponuje potřebným zázemím i zařízením, které je pro realizaci polních pokusů nezbytné.



Obrázek 3: Mapa zájmové oblasti s pokusnými parcelami (Zdroj: <http://kpp.vumop.cz:80>)

5.3.2. Klimatologická charakteristika

Pokusné pozemky spadají do řepařského výrobního typu a řepařsko-pšeničného subtypu, průměrná nadmořská výška činí 295 m. V rámci klimatických regionů ČR (Quitt 1971) je místo řazeno do mírně teplého. Průměrná denní teplota vzduchu je 8,3 °C, během vegetačního období je průměrná teplota 14,6 °C, přičemž nejteplejším měsícem je červenec s průměrnou teplotou vzduchu 18,2 °C. Průměrný roční úhrn srážek zde činí 575 mm, z čehož za období duben až září je to 380 mm. Pokusné pozemky patří do semihumidní oblasti, výpar spojený se sušším podnebím je mírněn převládajícími západními a severozápadními větry.

5.3.3. Půdní charakteristika

Místní půdy patří do skupiny jílovitých hlín, půdním typem je hnědozem a jedná se o půdy s hlubokou ornici (320 mm) a s humusovým horizontem do hloubky 700 mm, ornice je zde mírně až středně humózní (1,74 – 2,12 %), s neutrální reakcí v celém profilu. Sorpční komplex je nasycený. Hladina spodní vody dosahuje hloubky jednoho metru, s trvalým charakterem. Hlavní výhodou těchto půd je, že lépe drží vlhkost, což je významný faktor v případě suššího období jara. Naproti tomu nevýhodou této půdy jsou nároky na její zpracování, případně obtížnější sklizeň okopanin za nevhodných podmínek. Podle Geologické mapy Česka zdejší půda leží na spraších a smíšených sedimentech.

Tabulka: 6 Popis základní půdní sondy na DPB 9001/8 (VÚMOP)

Půdní typ	hnědozem typická
Půdotvorný substrát	spraše-středně těžké
Průměrná sklonitost	3°
Hloubka půdy	1500 mm
Zrnitost	Hlinitá
Skeletovitost	bez skeletu
Uhličitany (cm)	Ne
Podzemní voda (cm)	Ne
Sonda v horizontu 0-300 mm	
Struktura	Drobtová
Druh	Hlinitá
Skeletovitost	0-4 % šterku (bez skeletu)

5.3.3.1 Průběh počasí během polního pokusu s mulčem a kompostem

Přehledem meteorologických dat získaných z meteorologické stanice (EMS Brno) lze pravděpodobně nejlépe ilustrovat průběh počasí pokusných ročníků 2016, 2017 a 2018. Ze srovnání těchto dat s daty dlouhodobého průměru let (1981-2010) lze zjistit, že ve všech pokusných ročnících se vyskytovaly odchylky. V případě srážek během trvání pokusu (duben až srpen) se vždy jednalo o srážkově podprůměrná vegetační období, kdy nejvýraznější deficit byl zaznamenán v roce 2018. To chybělo oproti dlouhodobému průměru 154,6 mm, spadlo

pouhých 176,4 mm, přitom potřebné množství srážek pro rané brambory je 200-300 mm (Hamouz et al. 2007). Dále to byl rok 2016 s deficitem 102,1 mm a srážkově téměř průměrné vegetační období 2017, kdy byl deficit pouze 3,4. K extrémnímu roku 2018 je třeba zdůraznit, že za červen a červenec, kdy je růst hlíz intenzivní, spadlo pouhých 87,6 mm.

Tabulka: 7 Měsíční úhrny srážek (mm) za období 2016 až 2018 a dlouhodobý průměr

Měsíc	Dlouhodobý průměr (1981-2010)	2016		2017		2018	
		srážky	odchylka	srážky	odchylka	srážky	odchylka
duben	46	26,6	-19,40	59,4	13,4	21,8	-24,2
květen	65	24,6	-40,4	31,4	-33,6	22,2	-42,8
červen	74	66,8	-7,2	79,2	5,2	65,4	-8,6
červenec	74	73,9	-0,1	66,6	-7,4	22,2	-51,8
srpen	72	37	-35	91,0	19,0	44,8	-27,2
Celkem	331	228,9	-102,1	327,6	-3,4	176,4	-154,6

V případě denní teploty vzduchu během pokusu vykazovaly ve všech letech průměrné měsíční hodnoty také odchylky a jednalo se o teplotně nadprůměrná vegetační období. Největší odchylka od dlouhodobého průměru byla v roce 2018, kdy činila průměrná teplota 18,8 °C, což je rozdíl 4,1 °C. V roce 2017 činila odchylka 2 °C a 2016 to bylo 1,7 °C. K pokusnému roku 2018 je třeba zdůraznit, že například během června a července, tedy období intenzivního nárůstu hlíz činila průměrná teplota 20,2 °C, což ve spojení s nízkým úhrnem srážek (87,6 mm) za stejné období muselo působit porostům stresové podmínky.

Tabulka: 8 Průměrné měsíční teploty (°C) za období 2016 až 2018 a dlouhodobý průměr

Měsíc	Dlouhodobý průměr (1981-2010)	2016		2017		2018	
		teplota	odchylka	teplota	odchylka	teplota	odchylka
duben	8,2	9,3	1,0	8,4	0,2	14,2	6,0
květen	13,4	14,7	1,3	15,2	1,8	17,2	3,8
červen	16,3	18,6	2,3	19,5	3,2	18,9	2,6
červenec	18,2	20,3	2,3	20,0	1,8	21,4	3,2
srpen	17,5	19,2	1,7	20,2	2,7	22,3	4,8
Průměr	14,7	16,4	1,7	16,7	2,0	18,8	4,1

5.3.3.2 Časový harmonogram agrotechnických opatření

Tabulka: 9 Přehled základní agrotechniky, použité při vedení polního pokusu

Agrotechnická operace	2016	2017	2018
Předplodina	Oves setý	Řepka ozimá	Oves setý
Orba	30.11.	13.11.	6.11.
Kypření	20.4.	4.5.	2.5.
Výsadba a zapravení kompostu	20.4.	4.5.	4.5.
Povrchová aplikace slámy a kompostu	27.4.	9.5.	1.6.
Aplikace přípravku Transformer	23.5.	31.5.	1.6.
Ukončení vegetace (umrtvení natě)	25.8.	28.7.	-
Sklizeň	5.9.	13.9.	9.8.
Posklizňové třídění hlíz	9.9.	16.9.	14.8.

5.3.2 Charakteristika polního pokusu

Pokus byl založen jako přesný polní pokus. Pokusnou parcelku tvořil dvouřádek s velikostí pokusné plochy 9,6 m². Na každou parcelku bylo vysazeno 40 trsů. Každá pokusná varianta měla 4 opakování rozmístěné na pokusné ploše metodou znáhodněných bloků (kontrola byla jejich součástí).

5.3.2.1 Přehled a popis pokusných variant

Do pokusu byla zařazena opatření, která jsou v současné době ověřována v oblastech, kde se potýkají se suchem při pěstování brambor (Ukrajina, Balkánský poloostrov, Asie). V našich podmínkách nejsou rozšířena či běžně využívána. Znamější postup především v systému ekologického zemědělství je mulčování (nejčastěji obilnou slámou). V tomto pokusu byla použita balíková pšeničná sláma, která byla ručně aplikována v dávce 2,5 t/ha (SL1) a v dávce 4,5 t/ha (SL2).

Tabulka: 10 Přehled pokusných variant a jejich zkratk

Varianta (s dávkou)	Zkratka
Mulčovaná sláma 2,5 t/ha	SL1
Mulčovaná sláma 4,5 t/ha	SL2
Mulčovaný kompost 20 t/ha	KM
Zapravený kompost 20 t/ha	KMZ
Kontrola (hrůbky bez úprav)	K

Tabulka: 11 Chemické a fyzikální složení použitého kompostu

Vlastnost	Hodnota (%)
Vlhkost	40-65
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku	Min. 25
Celkový dusík jako N ve vysušeném vzorku	Min. 0,6
Hodnota pH	7-9
Poměr C:N	Max. 30
Nerozložitelné příměsi	Max. 4

Dalším použitým organickým materiálem byl kompost aplikovaný (v dávce 20 t/ha) dvěma způsoby. V prvním případě šlo o rozmetání a zapravení kompostu těsně před výsadbou (KMZ) a ve druhém případě (KM) byl kompost rozmetán až po výsadbě na povrch hrůbků a následně mělce zapraven pomocí prutových bran při mechanické kultivaci.

5.3.2.2 Sledované parametry a charakteristiky

Během této části pokusu byly sledovány půdní, růstové i produkční charakteristiky. Z půdních charakteristik byla během vegetace kontinuálně měřena relativní půdní vlhkost v hloubce 0-40 mm (Theta Probe Soil Moisture Sensor ML2x + Moisture Meter HH2), z každé parcelky naměřeno 10 hodnot k získání průměrné hodnoty. Pro objektivnější posouzení stavu půdní vláhy byl zjišťován i skutečný obsah vody v půdě přímou metodou gravimetricky. Porušený půdní vzorek byl odebírán žlábkovým vrtákem z hloubek 0-40, 80-120, 160-200 a 240-280 mm, dvakrát během nejdůležitější fáze vegetace ve vztahu k půdní vláze (tuberizace – objemový růst hlíz). Z každé varianty byl takto proveden odběr 6 vzorků. Dále byly měřeny sací tlaky půdy (SWP) v hloubce 200 mm, v intervalu 1 hod, čidlem Watermark 200SS-X s datalogerem Migrolog SP po celou dobu vegetace. Kontinuálně s měřením SWP probíhalo i měření teploty půdy (datalogerem MicroLog SP v hloubce 100 mm). Na vrcholu vegetace byl také měřen penetrační odpor půdy, jako nepřímý indikátor povrchového utužení půdy do 80 mm a schopnosti infiltrace srážek a utužení v dalších vrstvách 80-120 a 180-220 mm; měřen byl ručním penetrem D70. Na každé variantě bylo provedeno 6 měření. Během vegetace byl z plochy 4,05 m² pomocí zakopaných nádob na vybraných variantách zachytáván půdní smyv (mimo varianty zapraveného kompostu). Po jejich sběru vždy proběhlo usušení jednotlivých vzorků a vyhodnocení množství půdního smyvu v g/m². Odběry byly provedeny v takovém intervalu, aby pozorování pokrylo celou vegetaci, nicméně rozhodující pro interval bylo množství a intenzita srážek. Z tohoto důvodu se intervaly z jednotlivých let nepřekrývají

a může to být vnímáno, oproti měřením s využitím srážkového simulátoru, jako nedostatek tohoto typu měření, nicméně nespornou výhodou je, že toto měření nejlépe odráží podmínky v terénu. Při hodnocení množství ztrát půdy a srážkových úhrnů byl také zohledněn výskyt erozních srážek (erozně nebezpečná srážka), to je déšť s intenzitou 12,5 mm za 24 hod. (Zahradníček et al. 2018), případně přívalových dešťů, to je srážka s průměrnou intenzitou 1,2 mm/min (Žalud et al. 2020). Ztrátu půdy vedle distribuce srážek ovlivňuje také typ půdy a sklon svahu (Rahma et al. 2017). Během vegetace byly sledovány i produkční charakteristiky, jako je obsah chlorofylu v listech (ručním chlorofylmetrem SPAD 502, Konica Minolta, Osaka). Tento parametr se ale v případě suchého ročníku (2017 a 2018), k hodnocení výživného stavu rostlin, ukázal jako nevhodný. Trsy z parcel variant s ošetřením proti suchu, vykazovaly vyšší obsah chlorofylu v listech oproti trsům kontrolní varianty, kde měly tyto rostliny s dostupnou vláhou větší problémy. U každé parcely bylo provedeno 10 měření k získání průměrné hodnoty. Dále byl posklizňovými rozbory na třídících sítích zjišťován výnos hlíz a jeho struktura, tj. velikostní zastoupení hlíz pod trsem (sklizený vzorek hlíz byl roztříděn na čtvercových sítích a následně stanoven počet a hmotnost hlíz v jednotlivých frakcích pod 40 mm, 40-55 mm, 56-60 mm a nad 60 mm). Hmotnost hlíz ze sklizených parcelek byla přepočítána na výnos hlíz celkem a na výnos hlíz konzumní velikosti v t/ha.

5.4 Ověření účinnosti změny aplikace půdního přípravku

5.4.1. Popis pokusu

Půdní a vláhové podmínky, resp. obsah a dostupnost vody v půdě lze zlepšit aplikací pomocného půdního přípravku (anti stresoru). Zvolen byl půdní kondicionér Transformer (f. ORO AGRI International) koncipovaný pro aplikaci kapkovou závlahou, kdy pro potřeby této práce byl zvolen alternativní způsob aplikace přípravku. Z doposud známých informací se jeví tento přípravek jako nadějný v závlahových systémech, kdy jeho složení je založené na bázi D-limonenu (pomerančového oleje) a mastného alkohol ethoxylátu (20 %), ve formě rozpustného koncentrátu (SL). V popisu výrobku je deklarováno, že jeho aplikace kapkovou závlahou přináší zlepšení půdní vláhové podmínky prostřednictvím lepší infiltrace vody do půdy, zvýšené retence vody v půdě (jejím lepším rozložením), navýšením vodní kapacity a snížením hydrofobity půdy. Dále má přípravek udržovat a zlepšovat strukturu půdy a tím zlepšovat reakci na suchu. Ověření jeho účinnosti, bylo součástí polního pokusu jako jedna z pokusných

variant. Alternativní způsob aplikace byl postřikem přímo na povrch hrůbků v dávce 10 l/ha, se zvýšenou postřikovou dávkou vody (1500 l/ha). Pro tyto účely byly v rámci předešlého polního pokusu založeny 2 varianty navíc. Jako kontrolní ošetření k postřiku posloužila aplikace kapkovou závlahou.

5.4.2 Sledované parametry a charakteristiky

Sledované parametry a charakteristiky byly schodné s metodikou polní části pokusů (mimo sledování povrchového půdního smyvu a sacích tlaků půdy). Z produkčních parametrů byly sledována především hmotnost konzumních hlíz (nad 40 mm).

5.5 Statistické hodnocení

Výsledky byly statisticky vyhodnoceny analýzou variance (ANOVA); rozdíly mezi průměry byly vyhodnoceny testem dle Fishera s vyjádřením minimální průkazné difference (LSD – Least Significant Difference) na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ v programu SAS, verze 9.4.

6 Výsledky a diskuze

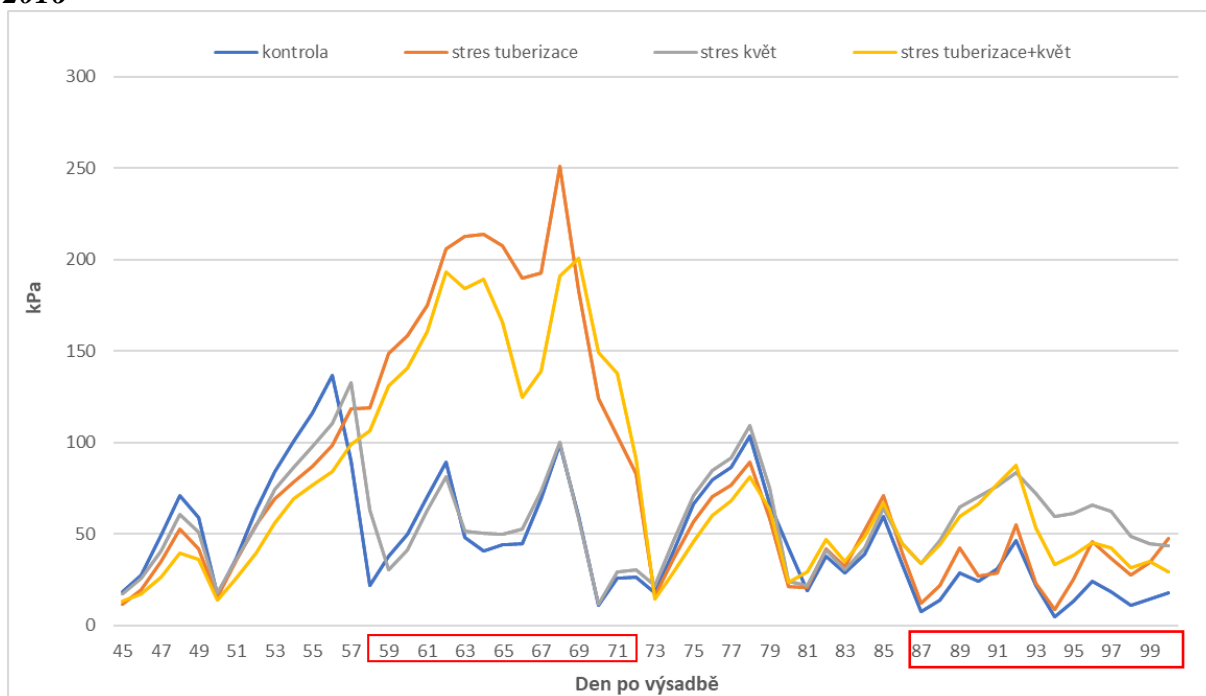
6.1 Pokus zaměřený na cílenou expozici půdního sucha na nové sadbové hlízy a následné polní ověření suchem exponované sadby

6.1.1 Nádobový pokus k produkci sadby vystavené stresu a jeho hodnocení

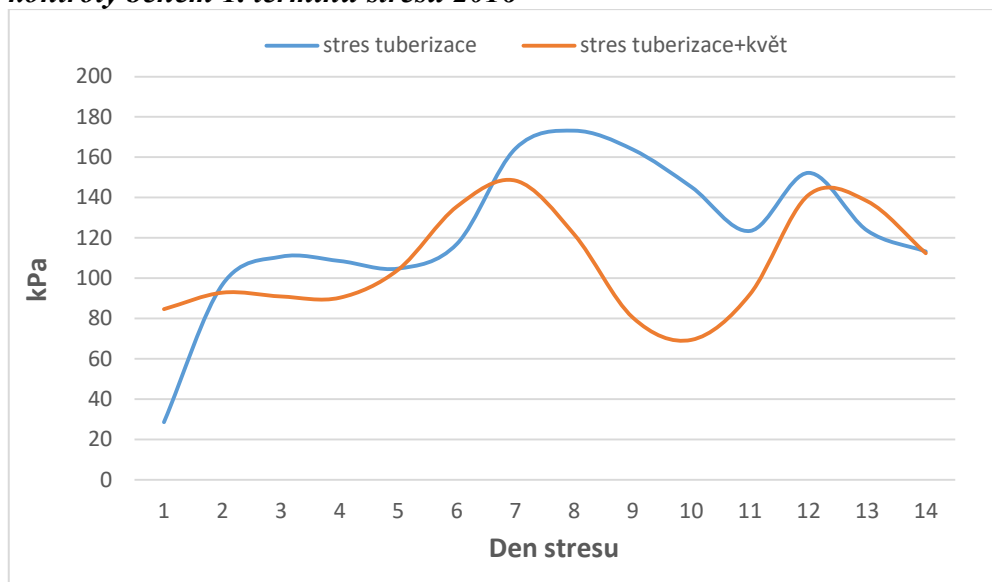
Jak již bylo uvedeno výše, cílem této části pokusu bylo vytvořit v prvním pokusném roce 2016 suchem exponovanou sadbu a v průběhu pokusu sledovat růstové a produkční odezvy rostlin na stresové scénáře. Realizace této části pokusu, zejména simulace stresových podmínek půdního sucha, probíhala ručním řízením zálivky, tak aby se podařilo dosáhnout stanovených cílových hodnot. Vedle sucha byla pravděpodobně významným, ale zároveň nechtěným stresorem vysoká denní teplota během stresového scénáře. Ne vždy bylo v silách autora tyto podmínky udržet po stanovenou dobu, a to zvláště během letních dní, kdy se naplno projeví limity a úskalí nádobového pokusu. Nicméně za úspěch autor považuje přiblížení se těmto podmínkám a udržení rozdílů mezi jednotlivými stresovými scénáři a kontrolou. Míru úspěšnosti při vytváření a udržení těchto podmínek ilustruje graf 2, kdy je patrné, že během tuberizace (u S1 a S3). i kvetení (u S2 a S3) bylo dosaženo žádoucího nárůstu sacích tlaků v půdě po stanovenou dobu oproti kontrole (K).

Na grafech 3 a 4 je znázorněna odchylka sacích tlaků půdy u 1. a 2. termínu exponované sadby oproti kontrole, kdy je patrné, že během 1. termínu (58. až 72. den po výsadbě) (Graf 2) bylo dosaženo vyššího nárůstu sacích tlaků půdy a tedy většího půdního sucha a stresu rostlin než při 2. termínu (87. až 99. den po výsadbě).

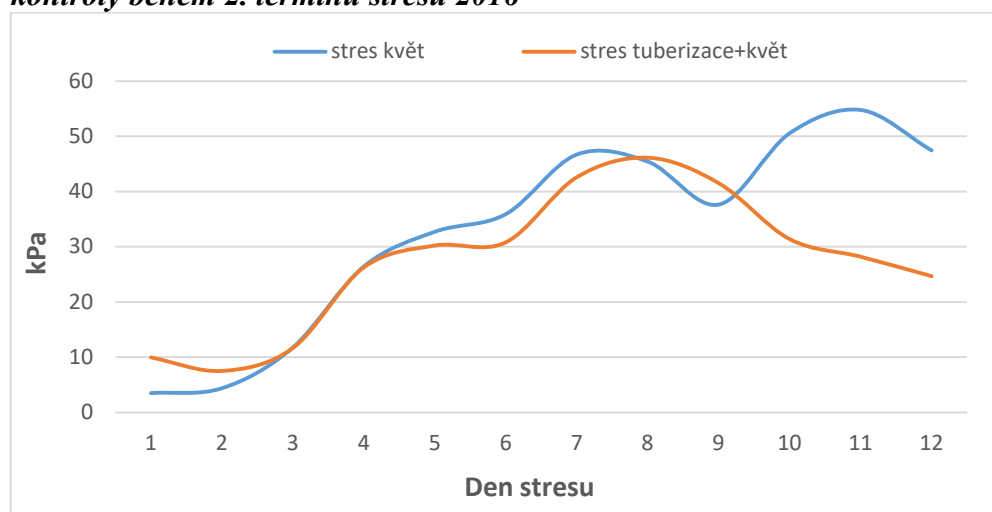
Graf: 2 Průběh sacích tlaků půdy během nádobového pokusu s vyznačenými termíny stresu 2016



Graf: 3 Odchylna průběhu hodnot sacích tlaků půdy u stresových scénářů od hodnot kontroly během 1. termínu stresu 2016



Graf: 4 Odchylka průběhu hodnot sacích tlaků půdy u stresových scénářů od hodnot kontroly během 2. termínu stresu 2016



Pro lepší srovnání jsou v tabulce 12 uvedeny hodnoty relativní půdní vlhkosti naměřené během etap omezení závlahy. I zde je patrný pokles půdní vláhý oproti kontrolním, půdním suchem nestresovaným trsům.

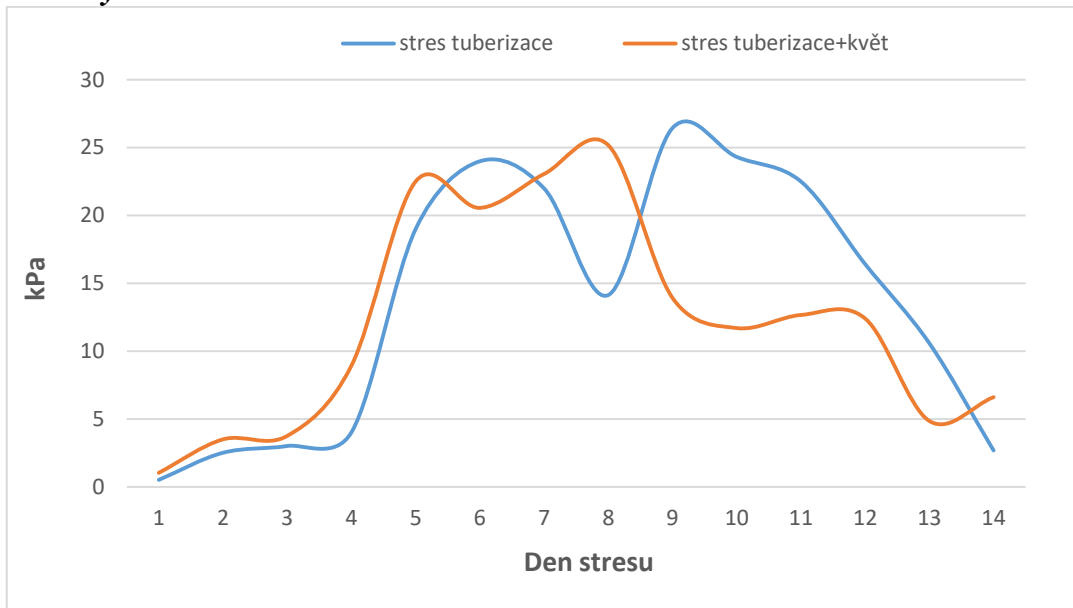
Tabulka: 12 Průměrná hodnota relativní vlhkosti půdy (%) v nádobovém pokusu 2016 během 1. a 2. termínu stresu

Varianta	1. Termín stresu	2. Termín stresu
S1 (omezení závlahy v tuberizaci)	8,1	22,8
S2 (omezení závlahy v květu)	10,5	15,1
S3 (omezení závlahy v tuberizaci a květu)	8,6	15,1
K (závlaha bez omezení)	24,8	22,8

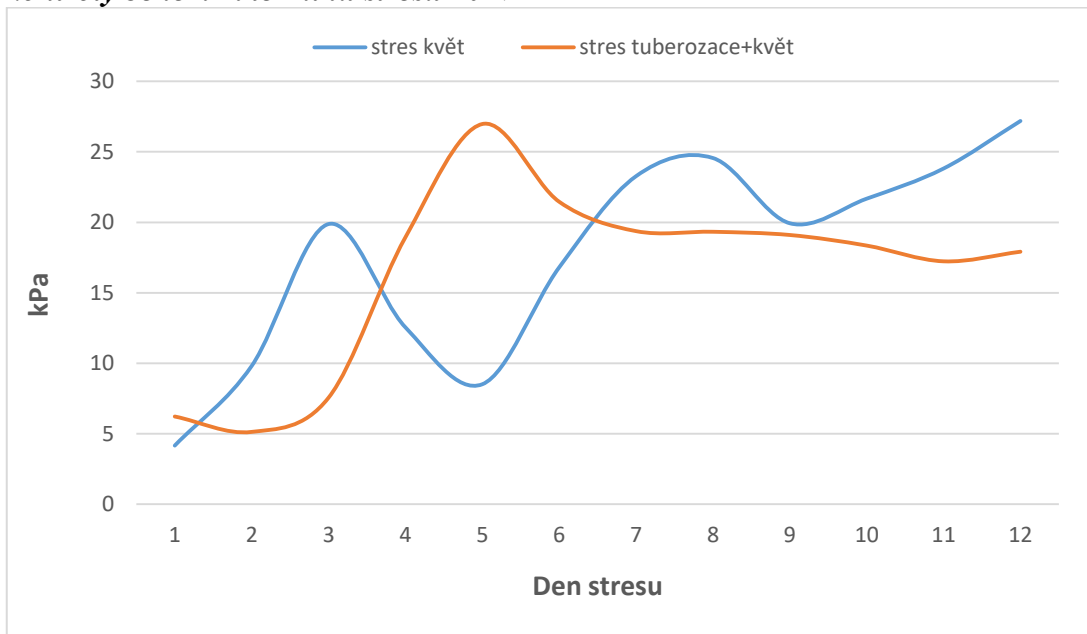
Celkově lze tak přípravu exponované sadby považovat v roce 2016 za úspěšnou.

V následujících grafech 5 a 6 jsou znázorněny odchylky sacích tlaků půdy v roce 2017 od kontroly, kdy se nepodařilo zajistit tak velké rozdíly jako v roce předešlém. Tyto vysoké rozdíly předešlého roku byly způsobeny především vysokou teplotou vzduchu v době omezení závlahy. K udržení simulovaných podmínek půdního sucha neprosperly ani povětrnostní podmínky roku 2017, kdy došlo k nechtěnému proniknutí srážkové vody do části nádobového pokusu s exponovanými variantami. Dále je nutné zmínit, že během přípravy exponované sadby v obou letech docházelo i k nežádoucímu teplotnímu stresu důsledkem vysokých denních teplot vzduchu. Zde se naplno projevíly možné nedostatky při vedení nádobového pokusu, kdy nádoby s rostlinami o objemu 5 l rychle vysychaly a bylo tak náročné udržet optimální vláhové podmínky.

Graf: 5 Odchylka průběhu hodnot sacích tlaků půdy u stresových scénářů od hodnot kontroly během 1. termínu stresu 2017



Graf: 6 Odchylka průběhu hodnot sacích tlaků půdy u stresových scénářů od hodnot kontroly během 2. termínu stresu 2017



U všech variant rostlin s omezením závlahy (S1, S2 a S3) byly zaznamenány ve srovnání s kontrolou (K) bez omezené závlahy vyšší obsah chlorofylu v listech (Graf 7, 8, 10 a 11), což je v souladu i s výsledky práce, kterou publikovali Rolando et al. (2015).

V obou pokusných letech (2016 a 2017) byl obsah chlorofylu v listech u rostlin s omezenou závlahou jen během tuberizace (S1) v porovnání s kontrolou (K) statisticky průkazně vyšší (Graf 7). U trsů varianty S3 (po dvou oddělených termínech omezené závlahy) byly na konci pokusu zaznamenány, ve srovnání s kontrolou, vyšší obsahy chlorofylu v listech (Graf 10). Obdobných výsledků dosáhli Rolando et al. (2015). Rostliny vystavené suchu až během kvetení (S2) nevykazovaly proti kontrolním rostlinám statisticky průkazný rozdíl v obsahu chlorofylu v listech (Graf 11). Rostliny plně zavlažované kontrolní varianty (K) vykazovaly na konci pokusu nejnižší obsah chlorofylu v listech, což je v souladu s výsledky, které publikovali Ramírez et al. (2014).

Při pozorování fyziologických reakcí rostlin bramboru byly zaznamenány i další rozdíly mezi trsy jednotlivých stresových scénářů nejen v obsahu chlorofylu listů, ale i výšce trsů. Ve srovnání s kontrolou byla výška statisticky průkazně omezena hlavně u trsů se závlahovým omezením během tuberizace S1 (Graf 9), což je ve shodě s výsledky práce Handayani & Watanabe (2020). Rovněž bylo také pozorováno u S1 silné zkroucení listů, obdobná reakce je zaznamenána v práci Romero et al. (2017).

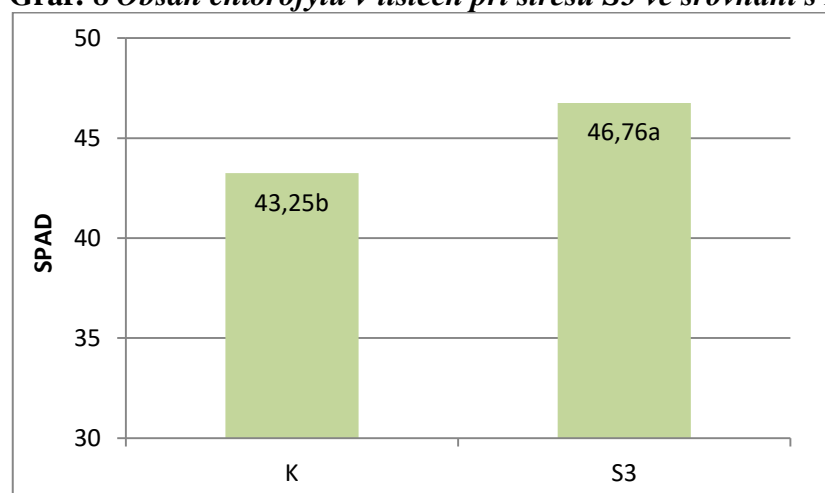
Z hlediska termínu hodnocení reakce rostlin na suchu lze konstatovat, že půdní suchu u trsů během tuberizace (S1) průkazně zvýšilo u rostlin obsah chlorofylu v listech, což je ve shodě s výsledky prací Teixeira & Pereira (2007) a Rolando et al. (2015). Ve srovnání s kontrolou u S1 také došlo průkaznému omezení výšky trsů. Trsy varianty S3, které prodělaly půdní suchu dvakrát, během tuberizace a kvetení, vykazovaly také průkazně vyšší obsah chlorofylu v listech oproti kontrole. To je v souladu s výsledky práce Fieta-Soriano & Munné-Bosch (2016), kteří zaznamenali vyšší obsah chlorofylu v listech u rostlin vystavených suchu dvakrát. Trsy varianty S2 nevykázaly průkazně vyšší obsah chlorofylu v listech ve srovnání s kontrolou, což ukazuje na menší vliv půdního sucha na rostliny v průběhu kvetení.

Graf: 7 Obsah chlorofylu v listech při stresu S1 ve srovnání s K (průměr 2016 a 2017)



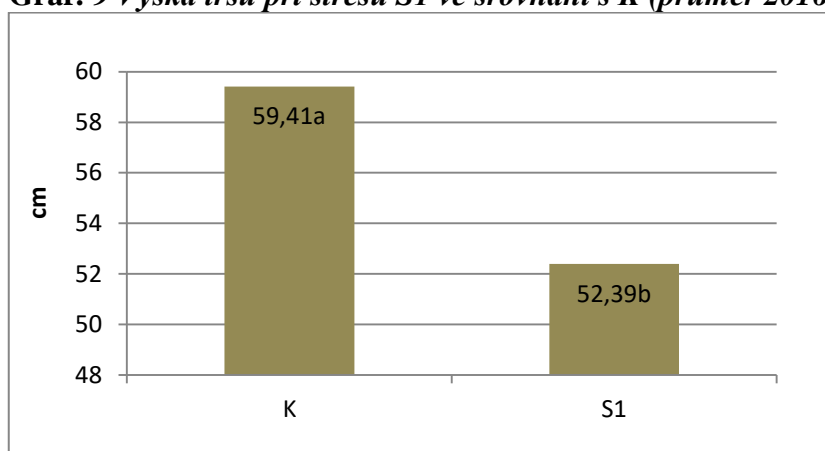
LSD_{0,05} = 2,40

Graf: 8 Obsah chlorofylu v listech při stresu S3 ve srovnání s K (průměr 2016 a 2017)



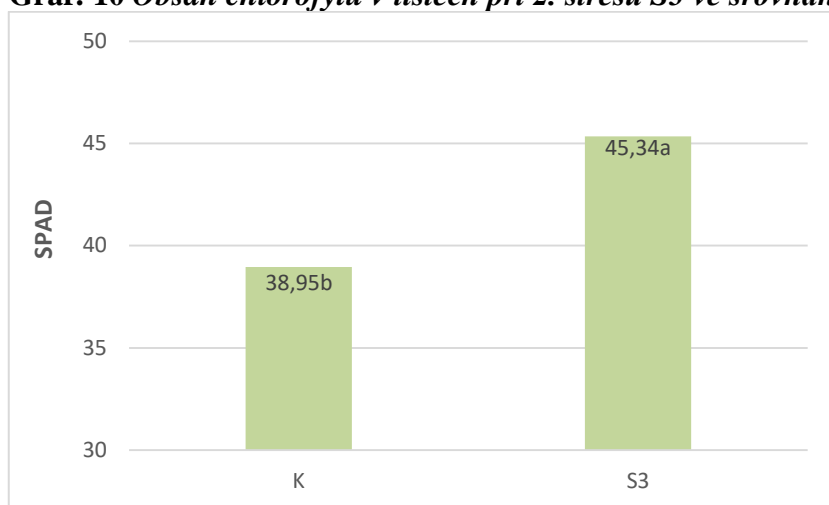
LSD_{0,05} = 2,40

Graf: 9 Výška trsu při stresu S1 ve srovnání s K (průměr 2016 a 2017)



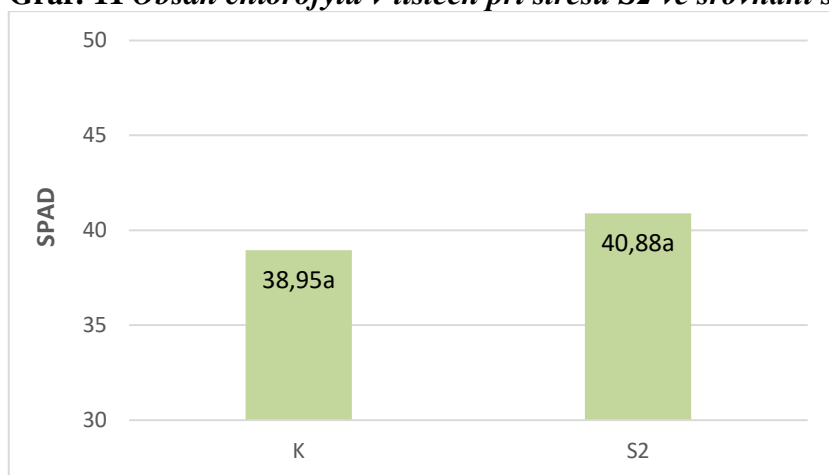
LSD_{0,05} = 6,32

Graf: 10 Obsah chlorofylu v listech při 2. stresu S3 ve srovnání s K (průměr 2016 a 2017)



LSD_{0,05} = 2,35

Graf: 11 Obsah chlorofylu v listech při stresu S2 ve srovnání s K (průměr 2016 a 2017)



LSD_{0,05} = 2,35

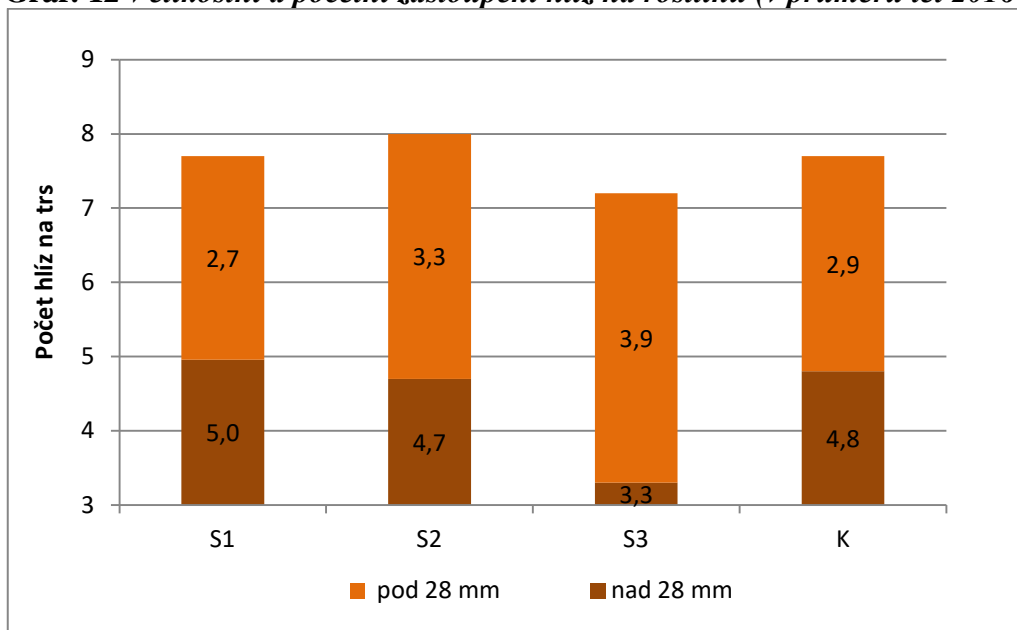
V tabulce 13 jsou uvedeny produkční výsledky ze sklizně nádobového pokusu. Při sledování hmotnosti hlíz (celkové i nad 28 mm) pod trsem se od kontrolní varianty statisticky průkazně lišila pouze varianta S3. U zbývajících variant nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl. Sledováním počtu hlíz nad 28 mm byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl v porovnání s kontrolou také pouze u varianty S3. Dále bylo zjištěno, že v celkovém počtu hlíz není mezi kontrolou a variantami s vláhovým omezením statisticky průkazný rozdíl, k obdobným výsledkům dospěli Abbas & Ranjan (2015).

Tabulka: 13 Velikostní a početní struktura hlíz na rostlinu získaných přípravou v nádobových pokusech 2016-2017

Varianta	Hmotnost hlíz nad 28 mm	Hmotnost hlíz celkem	Počet hlíz nad 28 mm	Počet hlíz celkem
S1	191a	213a	5,0a	7,7a
S2	197a	217a	4,7a	8,0a
S3	109b	133b	3,3b	7,2a
K	190a	223a	4,8a	7,7a
<i>LSD</i> _{0,05}	25	22	0,8	1,3

Ze získaných výsledků vyplývá, že vláhové restriktce nejméně omezily variantu S2, kdy nedostatek vláhy během kvetení ve srovnání s kontrolou neměl negativní dopad na hmotnost ani počet hlíz sadbové velikosti (nad 28 mm). To je zcela v souladu s výsledky Costa et al. (1997). Druhou nejméně ovlivněnou variantou byla S1, jejíž trsy, i přes nedostatek vláhy během tuberizace, vykazaly srovnatelný výsledek ve hmotnosti a počtu sadbových hlíz s kontrolou, což není zcela v souladu s výsledky Haverkort et al. (1990); Costa et al. (1997); Ramírez et al. (2014). Negativně ovlivněna byla varianta S3, jejíž trsy postihl nedostatek vláhy dvakrát, a to během tuberizace i kvetení a nové sadbové hlízy u S3 měly nižší hmotnost a bylo jich méně ve srovnání s kontrolou (K). Omezení závlahy v případě S3 tak mělo průkazně negativní dopad na tvorbu sadbových hlíz. Omezení závlahy během tuberizace a kvetení u S3 nemělo statisticky průkazný vliv pouze na celkový počet hlíz, nicméně Haverkort et al. (1990) uvádí statisticky průkazné snížení počtu hlíz důsledkem půdního sucha. Lze tak usuzovat, že kombinované (stupňované) vláhové omezení u S3 (první během tuberizace a druhé při nasazování hlíz), mělo vliv na konečnou velikost hlíz a jejich hmotnost. Omezení závlahy během tuberizace (S1) průkazně neomezilo celkové nasazování hlíz (tabulka 13), k obdobnému výsledku dospěli u některých odrůd i Costa et al. (1997). Pozdější a opakované vláhové omezení u S3 (během kvetení) vliv na tvorbu hlíz (velikost a hmotnost) již mělo, což je v souladu s výsledky (Costa et al. 1997). Při působení sucha pouze v pozdější fázi růstu (u S2) nebyl ve srovnání s kontrolou zaznamenán statisticky průkazný rozdíl (tabulka 13). Nejvyšší celkové hmotnosti hlíz bylo dosaženo u kontrolní zavlažované varianty (K), to je v souladu s výsledky, které publikovali Ramírez et al. (2014). Nejvyšší hmotnost hlíz sadbové velikosti (nad 28 mm) u variant pod závlahovým omezením byla zaznamenána u S1, naopak u S3 byl v souladu s očekáváním zaznamenán výtěžek nejnižší (tabulka 13 a graf 12).

Graf: 12 Velikostní a početní zastoupení hlíz na rostlinu (v průměru let 2016–2017)



6.1.1.1 Dílčí souhrn a závěry pokusu zaměřeného na přípravu suchem exponované sadby

Z uvedených výsledků vyplývá, že omezení závlahy během tuberizace (S1) mělo negativní dopad na výšku trsů i tvorbu hlíz (celkovou hmotnost hlíz). Avšak celkový počet hlíz pod trsem byl srovnatelný s trsy zavlažované kontroly a zaznamenán byl trend vyššího počtu hlíz sadbové velikosti. Je tedy patrné, že nedostatek půdní vláhly měl v rané fázi vegetace dopad hlavně na omezení růstu nadzemní části rostlin, přičemž díky následnému obnovení závlahy až do konce vegetace (u S1) byl i přesto umožněn trsům kompenzovat nárůst hlíz sadbové velikosti (tabulka 13).

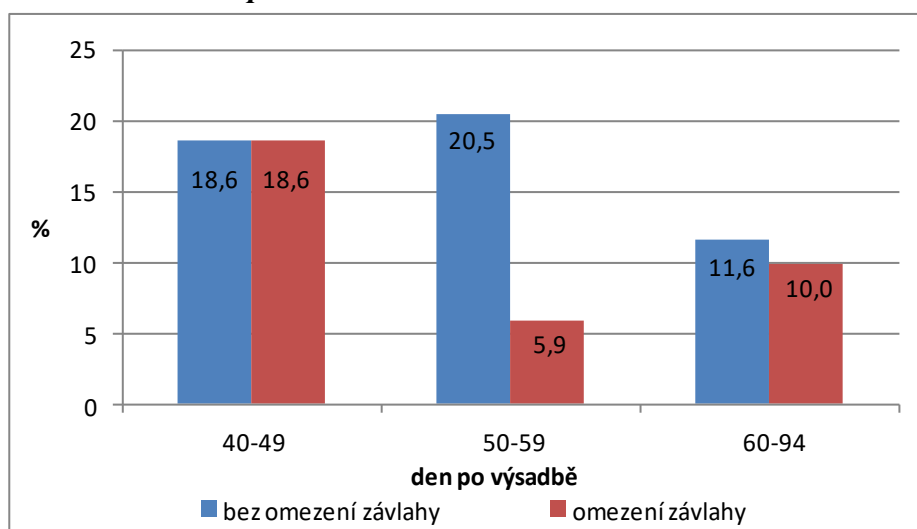
Trsy s největší redukcí hlíz (počtu i hmotnosti) byly, v souladu s očekáváním, rostliny varianty S3, na které působilo opakované omezení závlahy. To mělo za následek, že trsy u varianty S3 měly ve srovnání s kontrolou statisticky průkazně nižší počet i hmotnost sadbových hlíz a také celková hmotnost hlíz pod trsem byla statisticky průkazně snížena (tabulka 13). Tvorba hlíz ani výška rostlin nebyly u trsů varianty S2, ve srovnání s trsy z kontrolní varianty, průkazně omezeny.

6.1.2 Pokus zaměřený na polní ověření suchem exponované sadby

Cílem této části pokusu bylo zjistit, jak si následná generace vzešlá z exponované sadby (2016) povede v pokusném roce 2017 a následně i 2018 při vystavení nedostatku vláhy. Trsy vzešlé ze sadby exponované suchem (S1, S2 a S3) byly vystaveny opětovně podmínkám půdního sucha a porovnávány s trsy plně zavlažovanými (kontrola – bez omezení závlahy). Z kapacitních důvodů sadba exponovaná v roce 2017 v následném roce již ověřována nebyla, posloužila pouze k hodnocení růstových ukazatelů.

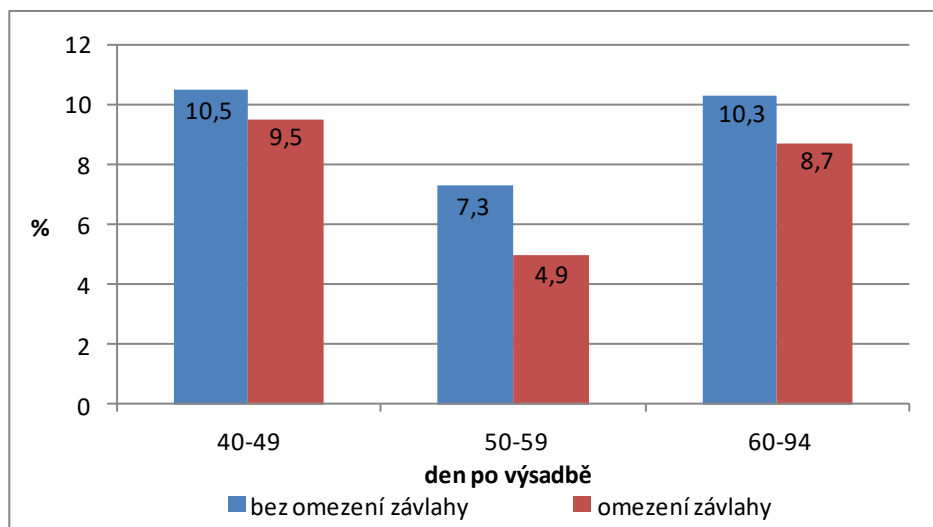
Na grafu 13 jsou znázorněny vláhové podmínky v půdě během ověřování produkčních schopností suchem exponované sadby (z roku 2016) v podmínkách simulovaného přechodného sucha v roce 2017. Je z něj patrné, že se podařilo dosáhnout rozdílu mezi kontrolním a deficitním vláhovým režimem.

Graf: 13 Relativní půdní vlhkost v roce 2017



Na grafu 14 jsou znázorněny vláhové poměry v roce 2018 během ověřování perzistence protistresových mechanismů u porostů založených z přesadby hlíz (tj. z hlíz sklizených v roce 2017 z původní exponované sadby z roku 2016). I zde je patrný rozdíl mezi vláhovým režimem kontroly a exponované skupiny, avšak se nepodařilo mezi 50-59 den po výsadbě dosáhnout rozdílu v relativní vlhkosti půdy jako v předešlém roce 2017.

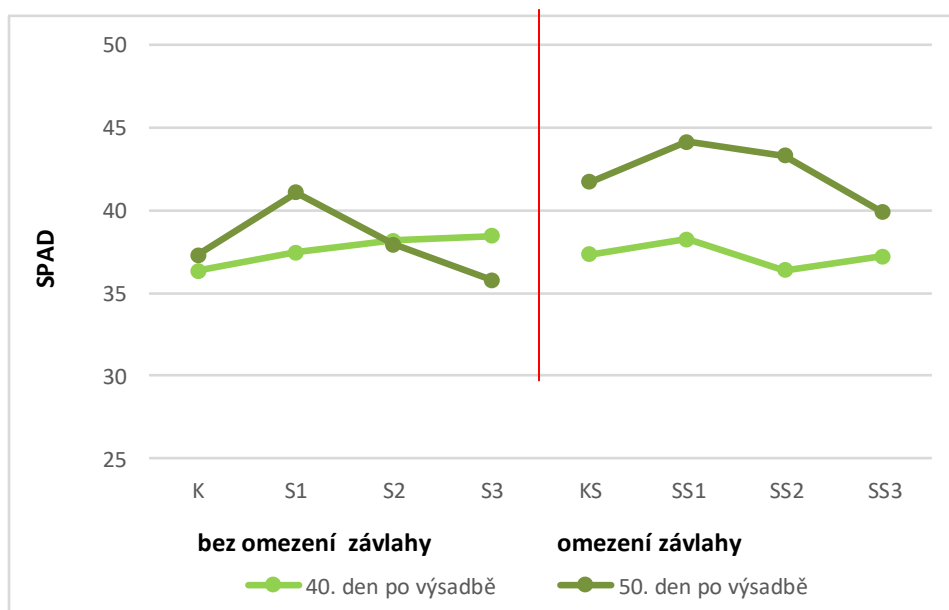
Graf: 14 Relativní půdní vlhkost v roce 2018



Níže na grafu 15 jsou vyjádřeny výsledky sledování obsahu chlorofylu v listech a v grafu 16 výsledky produkčních ukazatelů z roku 2017. Je patrné, že z produkčního hlediska si v podmínkách sucha nejlépe vedla SS3, tj. skupina hlíz pocházejících ze stresového scénáře S3 (tuberizace + květ). Obdobný výsledek publikovali Ramírez et al. (2015). Kontrolní variantu v podmínkách sucha (KS) převýšila výnosem hlíz ještě SS1, tedy porosty vzešlé ze sadby stresového scénáře S1.

Z grafu 15 je tedy patrný zvýšený obsah chlorofylu v listech u skupiny rostlin s omezenou závlahou (KS, SS1, SS2 a SS3) v období vláhového deficitu (50. den po výsadbě) oproti rostlinám K, S1, S2 a S3 ve vláhovém optimu (bez omezení závlahy). Podobný trend vývoje obsahu chlorofylu v listech zachycuje i graf 17 z roku 2018. K obdobnému zjištění dospěli Ramírez et al. (2014), Li et al. (2019), Romero et al. (2017). Rozdíl v obsahu chlorofylu v listech mezi trsy z exponované a neexponované sadby byl u všech variant podobný v rozpětí 3 až 5 jednotek SPAD, což je v souladu s výsledky, které zveřejnili Ramírez et al. (2014). Před začátkem vláhového deficitu (40. den po výsadbě) byl mezi skupinami exponované sadby a skupinami kontroly obsah chlorofylu v listech u všech trsů srovnatelný, nejvíce se lišil u S2 a SS2 a to o 2 jednotky SPAD ve prospěch S2.

Graf: 15 Obsah chlorofylu v listech v období před vláhovým deficitem a během něj v roce 2017



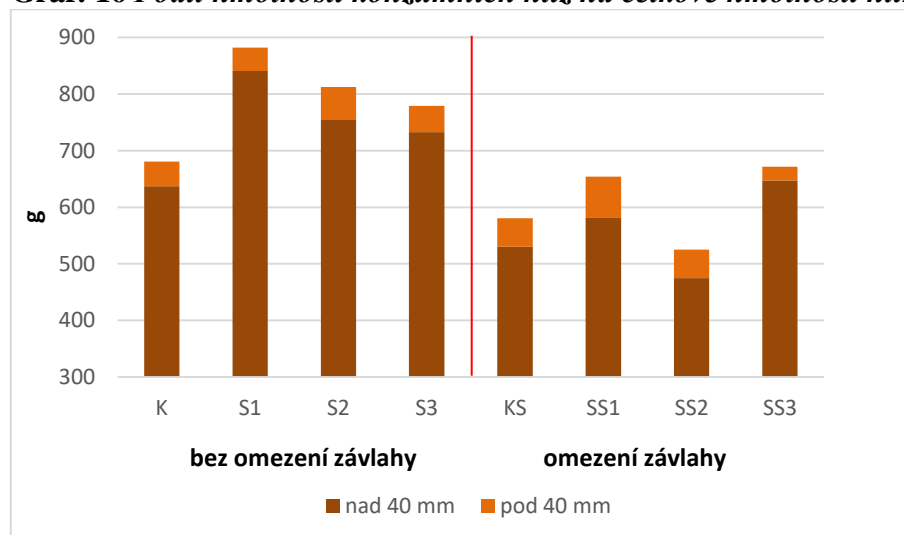
Za pozornost stojí i reakce a srovnání chlorofylu v listech u rostlin pocházejících z běžné (neexponované) sadby, které byly pěstovány ve vláhovém optimu (K) a vláhovém deficitu (KS). I u rostlin (KS, SS1, SS2 a SS3) došlo v důsledku vláhového deficitu (50. den po výsadbě) k mírnému nárůstu obsahu chlorofylu v listech, neboť byly vystaveny stresu (Graf 15).

Je třeba zdůraznit, že spojovat zvýšený obsah chlorofylu v listech s udržení produkční schopnosti tvorby hlíz v podmínkách sucha je problematické a může být i zavádějící. U těchto rostlin, ve srovnání s rostlinami bez vláhového omezení, se zvýšený obsah chlorofylu v listech nemusí příznivě promítnout do tvorby hlíz. Vyšší obsah chlorofylu může být pouze důsledkem sucha samotného, kdy stresované rostliny mají zpomalené stárnutí a rozpad chlorofylu v listech (Teixeira & Pereira 2007; Rolando et al. 2015).

Z grafu 15 vyplývá, že porosty SS1, SS2 a SS3 z exponovaných hlíz (v roce 2016) měly (kromě rostlin SS2) při vláhovém deficitu v prvním roce přesadby (tj. v roce 2017), trend vyššího výtěžku hlíz oproti porostům z neexponovaných hlíz KS. To platilo i pro porosty z exponované sadby ve vláhovém optimu (S1, S2 a S3). To je v souladu s výsledky, které uvádí Ramírez et al. (2015).

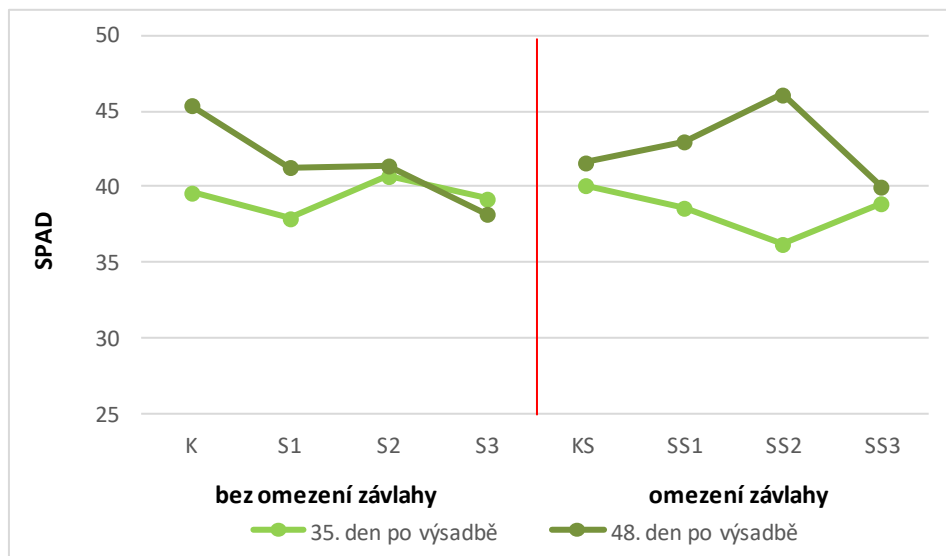
Dále výsledky naznačují, že aktivace obranných mechanismů není zcela závislá na termínu stresové expozice, ale spíše na její frekvenci. To je patrné v případě SS3, kdy při přípravě sadby (2016) se suchem exponovalo 2x za tuberizace i při květu. Tato varianta (SS3) měla následně v omezených vláhových podmínkách nejvyšší výtěžek i velikostní strukturu hlíz v porovnání s variantou SS1, kdy sucho při přípravě (2016) působilo na sadbové hlízy pouze za tuberizace (Graf 16). Podobného výsledku dosáhli Walter et al. (2011) kdy se ukázalo, že rostliny vystavené opakovanému suchu si v následném období sucha vedou lépe, ve srovnání s rostlinami postiženými suchem nahodile. Částečně tyto výsledky potvrzují výsledky práce Ramírez et al. (2015).

Graf: 16 Podíl hmotnosti konzumních hlíz na celkové hmotnosti hlíz pod trsem v roce 2017

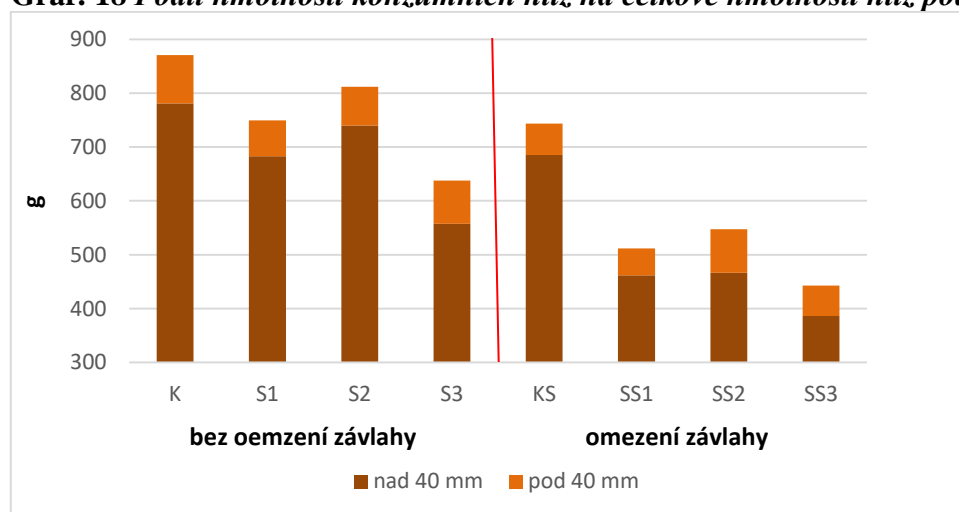


V druhém pokusném roce 2018 (tj. druhý rok přesadby od aktivace 2016) se předešlý pozitivní trend (z roku 2017) u exponované sadby nepotvrdil. Porosty z této dvouleté přesadby měly nižší výtěžek jak v omezených vláhových podmínkách, tak i v těch neomezených (Graf 18). Protistresové mechanismy se již druhým rokem po přesadbě v sadbovém materiálu neuplatnily a neprojevíly na produkční stránce.

Graf: 17 Obsah chlorofylu v listech v období před vláhovým deficitem a během něj v roce 2018

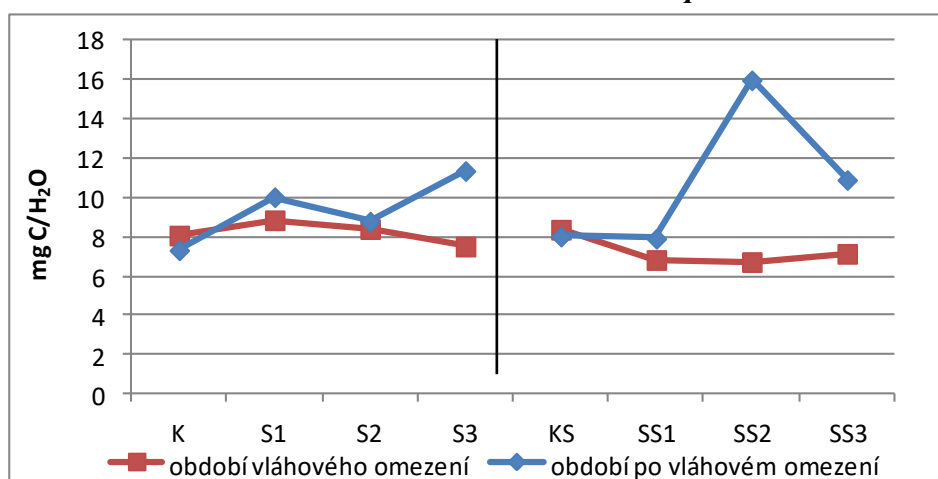


Graf: 18 Podíl hmotnosti konzumních hlíz na celkové hmotnosti hlíz pod trsem v roce 2018



Při hodnocení fotosyntézy pomocí WUE (water-use efficiency) bylo zjištěno, že trsy pocházející z přesadby variant s omezenou závlahou (SS2 a SS3), dosáhly oproti zavlažované kontrole trendu vyšší úrovně WUE (Graf 19). Shodného výsledku dosáhli i Puangbut et al. (2017) a Costa et al. (1997). Při běžné (neomezené) závlaze se jednalo jen o mírné zvýšení WUE u trsů S1 a S3. Ke shodnému výsledku dospěli i Cantore et al. (2014). Výraznějšího nárůstu WUE, v podmínkách omezené závlahy tak dosáhly jen trsy SS2 a SS3.

Graf: 19 Úroveň WUE během vláhového omezení a po něm v roce 2018



Výstupy produkčního hodnocení včetně statistického vyhodnocení za rok 2017 a 2018 jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka: 14 Hmotnost a počet hlíz konzumních a hlíz celkem (2017 a 2018)

Rok	Varianta	Hmotnost hlíz nad 40 mm (g)	Hmotnost hlíz celkem (g)	Počet hlíz nad 40 mm	Počet hlíz celkem
2017	S1	841a	882a	4,88a	6,58b
	S2	754ab	812ab	5,50a	8,00ab
	S3	733ab	779abc	4,7a	6,3b
	K	637abc	680abcd	4,8a	6,9ab
	SS1	581bc	654bcd	5,3a	9,0a
	SS2	475c	525d	4,9a	7,8ab
	SS3	648abc	672abcd	4,8a	6,3b
	KS	530bc	580cd	5,5a	8,0ab
	<i>LSD_{0,05}</i>	227	215	1,3	2,4
2018	S1	683ab	749ab	6,8ab	10,6ab
	S2	740ab	812ab	6,5abc	10,9ab
	S3	558bc	638bc	5,5cd	10,1ab
	K	781a	871a	7,1a	12,1a
	SS1	462c	512cd	4,3e	12,1a
	SS2	467c	548cd	5,9bc	10,1ab
	SS3	387c	443d	4,4de	7,6cd
	KS	686ab	744ab	6,1abc	9,4bc
	<i>LSD_{0,05}</i>	182	178	1,1	2,2

6.1.2.1 Dílčí souhrn a závěry pokusu zaměřeného na polní ověření suchem exponované sadby

Z výsledků je patrný pozitivní trend vyšší tvorby hlíz ze suchem exponované sadby v prvním roce ověření 2017 (vyjma varianty SS2) a to v omezených i neomezených vláhových podmínkách oproti hlízám kontrolním (neexponovaným). V tomto roce byl velice zajímavý výsledek u varianty SS3, která se navzdory omezené závlaze tvorbou hlíz vyrovnala trsům kontrolní skupiny, jejíž rostliny nepocházely z exponované sadby. Tento trend se nicméně v následném roce přesadby (2018) již nepotvrdil a naznačuje to tak problematičnost trvalosti získaných protistresových obranných mechanismů v hlízách brambor při následném přemnožování.

6.2 Pokus zaměřený na opatření cílená na změnu půdních vlastností

6.2.1 Vliv vybraných opatření na ztrátu půdních částic povrchovým odtokem

Při sledování účinnosti opatření cílených na půdu byly u variant s mulčem (SL1 a SL2), mělce zapraveným kompostem (KM) a kontrolní variantou (K) získány výsledky měření odnosu půdních částic, jako nepřímého indikátoru schopnosti půdy infiltrovat srážky. Hmotnosti zachycených vysušených sedimentů půdy za pokusné roky 2016 až 2018, které byly odebírány ve třech fázích vegetačního krytu a monitorovaného množství srážek, jsou uvedeny v tabulce 15. Ve všech variantách s ošetřením (SL1, SL2 a KM) v porovnání s kontrolou (K) bylo během pokusných let 2016-18 zaznamenáno omezení půdních ztrát (tabulka 15). Statisticky průkazné snížení půdní ztráty bylo zjištěno i v jednotlivých pokusných letech s výjimkou roku 2018 u varianty KM (tabulka 16). K největšímu omezení půdních ztrát během pokusných let 2016-18 došlo u SL2 o 71,5 %, což je v souladu s výsledky, které uvádí Bhatt & Khera (2006); uvedení autoři zaznamenali nejvyšší omezení ztrát půdy u povrchového mulčování řezanou slámou při dávce 6 t/ha. Niziolomski et al. (2020) pozorovali při dávce 5 t/ha slámy 72% snížení celkové ztráty půdy proti neošetřené kontrole. Varianta SL1 vykázala omezení půdních ztrát o 70,2 % ve srovnání s kontrolní variantou. Tento výsledek koresponduje s výsledky, které uvádí Prosdocimi et al. (2016), že i s nižší dávkou slámy lze dosáhnout vysokého protierozního účinku. U varianty KM bylo zaznamenáno 52,8% snížení ve srovnání s kontrolou, obdobného výsledku dosáhli Kuncheva & Dimitrov (2015) v tříletém polním pokusu s povrchovou aplikací kompostu. Bresson et al.

(2001) uvádí při použití kompostu snížení koncentrace půdních částic v povrchovém odtoku a stabilizaci struktury půdních agregátů.

Omezení smyvu v jednotlivých pokusných letech je uvedeno v tabulce 16. Nejvyššího omezení celkové ztráty půdy bylo dosaženo u SL2 v roce 2018 (snížení o 90,7 % v porovnání s kontrolou). Rahma et al. (2019) zaznamenali při dávce 2 t/ha pšeničné slámy na mírně svažité, hlinité půdě omezení ztráty půdy o 94,9 %. Tumsavas (2017) zjistil při dávce 5 t/ha pšeničné slámy omezení půdní ztráty o 98,0 %, zatímco při aplikaci 10 t/ha bylo omezení půdní ztráty pouze 89,6 % ve srovnání s kontrolou. Obdobné snížení ztráty půdy bylo zaznamenáno u SL2 i roce 2017 a 2016. K podobným výsledkům dospěli Doring et al. (2005), podle kterých při aplikaci pšeničné slámy v dávce 2,5 t/ha došlo k omezení ztrát půdy o 97,4 % proti kontrole a při dávce 5 t/ha to bylo o 98,4 %.

Tabulka: 15 Průměrný půdní smyv (g/parcela) za pokusné roky 2016-2018 v jednotlivých částech vegetace

Varianta	Bezprostředně po vzejití	Před plný zapojením	V plném zapojení	Celkem za vegetaci
SL1 (sláma 2,5 t/ha)	5,7b	60,4c	9,3b	75,4b
SL2 (sláma 4,5 t/ha)	7,4b	58,8c	5,8b	72,1b
KM (mulčovaný kompost)	26,5a	73,4b	18,3b	118,1b
K (kontrola)	36,7a	92,0a	124,1a	252,8a
<i>LSD_{0,05}</i>	<i>15,7</i>	<i>12,0</i>	<i>67,6</i>	<i>65,4</i>

Z tabulky 15 je patrné, že celkové ztráty půdy za vegetaci pokusných let 2016-2018 jsou u všech variant s ošetřením (SL1, SL2 a KM) průkazně nižší než u kontrolní varianty (K). Je patrné, že i nižší dávka slámy (SL1) dokázala půdu ochránit se stejnou účinností jako vyšší dávky slámy (SL2). Dále je zřejmé, že množství půdních ztrát může být ovlivněno také ročníkem (úhrnem a intenzitou srážek). Podrobnější údaje o srážkových úhrnech a půdních ztrátách jednotlivých pokusných let jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka: 16 Celkové půdní smyvy a úhrn srážek za vegetaci v letech 2016, 2017 a 2018

Rok	Varianta	Množství zachyceného smyvu celkem		Celkový úhrn srážek (mm)
		g/parcela	kg/ha	
2016	K	566,3a	699,2a	224,8
	KM	256,5b	316,6b	
	SL1	195,3b	241,1b	
	SL2	191,7b	236,7b	
	<i>LSD_{0,05}</i>	<i>126,3</i>	<i>204,8</i>	
2017	K	82,5a	101,9a	181,4
	KM	39,8b	49,1b	
	SL1	17,2b	21,3b	
	SL2	11,5b	14,2b	
	<i>LSD_{0,05}</i>	<i>24,4</i>	<i>37,6</i>	
2018	K	109,4a	135,0a	123,0
	KM	58,1ab	71,8ab	
	SL1	13,6b	16,8b	
	SL2	12,9b	15,9b	
	<i>LSD_{0,05}</i>	<i>40,8</i>	<i>76,1</i>	

Z tabulky 16 je patrné, že stejně tak jako celkové úhrny srážek se mezi jednotlivými roky lišily i celkové ztráty půdy. Při pohledu na sloupec s celkovými úhrny srážek a ztrátami půdy za celou vegetaci je zajímavé, že v roce 2018 byly u variant K a KM zaznamenány vyšší ztráty půdy při nižším úhrnu srážek ve srovnání s předešlým rokem 2017. Tato zvláštnost je podrobněji rozebrána níže pomocí tabulky 17, kde je uvedeno podrobnější rozložení srážek a půdních ztrát v návaznosti na termíny měření půdních ztrát.

Tabulka: 17 Průměrné množství zachyceného půdního smyvu (g) v letech 2016-2018

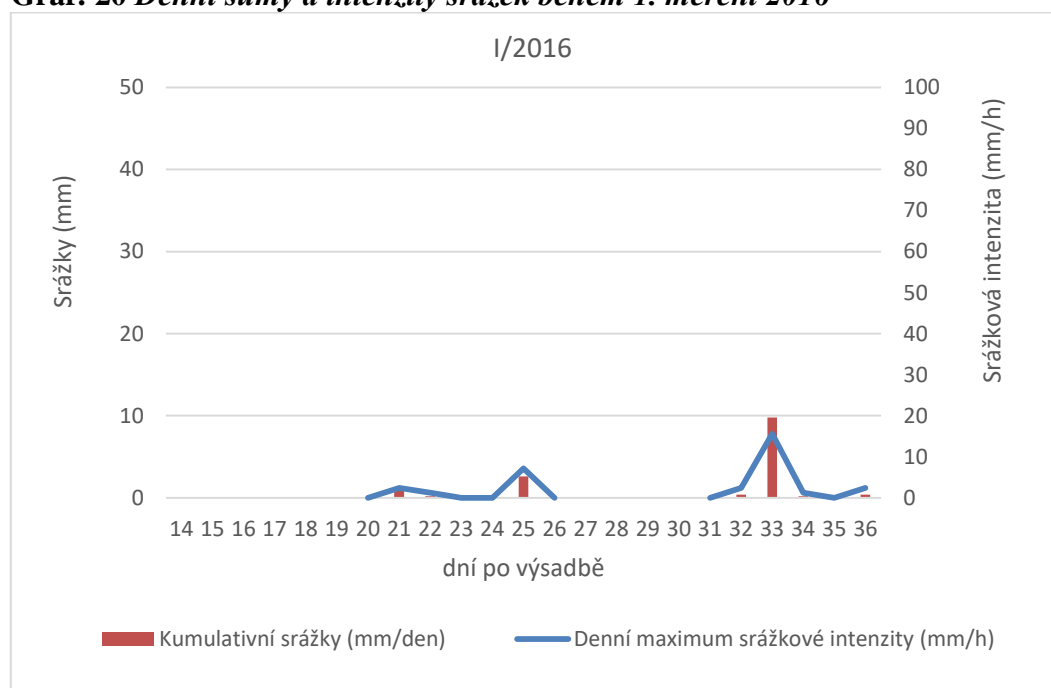
Rok	Varianta	Množství zachyceného smyvu (g/parcels)					
		14-36. den po výsadbě	Srážky úhrn/počet dní	37-67. den po výsadbě	Srážky úhrn/počet dní	68-110. den po výsadbě	Srážky úhrn/počet dní
2016	K	19,4a	14,6/22	209,9a	93,4/31	337,1a	116,8/43
	KM	27,4a		187,0ab		42,1b	
	SL1	6,2a		170,0b		19,1b	
	SL2	15,7a		167,3b		8,8b	
	<i>LSD</i> _{0,05}	23,3		30,5		134,4	
2017		12-33. den po výsadbě		34-64. den po výsadbě		65-102. den po výsadbě	
	K	17,5a	29,0/17	57,7a	82,8/26	7,3a	69,6/34
	KM	9,4b		29,3b		4,3b	
	SL1	4,6bc		8,3b		1,4ab	
	SL2	2,2c		8,0b		1,1ab	
<i>LSD</i> _{0,05}	5,2	21,5		6,1			
2018		27-47. den po výsadbě		48-76. den po výsadbě		77-100. den po výsadbě	
	K	73,1a	48,6/20	8,4a	33,0/29	27,9a	41,4/23
	KM	42,8a		3,8b		11,6b	
	SL1	6,3b		2,9b		7,2b	
	SL2	4,5b		1,2b		4,4b	
<i>LSD</i> _{0,05}	30,6	3,3		9,4			

Rozdíly v účinnosti mezi vyšší a nižší dávkou byly statisticky neprůkazné. Dále platí, že všechny ošetřené varianty měly průkazně menší množství smyvu než neošetřená kontrola. V případě SL2 se jednalo o 71,5 % snížení půdního smyvu za celé měření. Druhá nejúčinnější varianta SL1 znamenala snížení smyvu o 70,2 %. Použití mēlce zapraveného kompostu po výsadbě přineslo snížení smyvu o 53,3 %. Tento výsledek je v souladu s výsledky prací, které publikovali Kovaříček et al. (2015) a Badalíková & Bartlová (2014), kde byla pomocí kompostu omezena celková půdní ztráta o 53,3 % a 60,6 % ve srovnání s kontrolou. Zajímavé je, že účinnost rostla s délkou zachytávání smyvů, případně růstem úhrnů srážek, navzdory tvorbě vegetačního krytu (tabulka 15). Zatímco v prvním termínu tříletého průměru (2016-2018) to bylo u SL2 o 29 g méně půdního smyvu než u kontroly, tak v posledním termínu to bylo už 118 g. Podrobněji situaci v jednotlivých pokusných letech s množstvím srážek a jejich intenzitou popisují grafy 21 až 29. Z nich je patrné, že erozní srážky (nad 12,5 mm/den) se vyskytovaly ve většině měření půdní ztráty. Přívalové deště (intenzita 72 mm/hod) se vyskytly během 2 měření (54. den po výsadbě) v roce 2016 (88 mm/hod) a tomu odpovídaly i

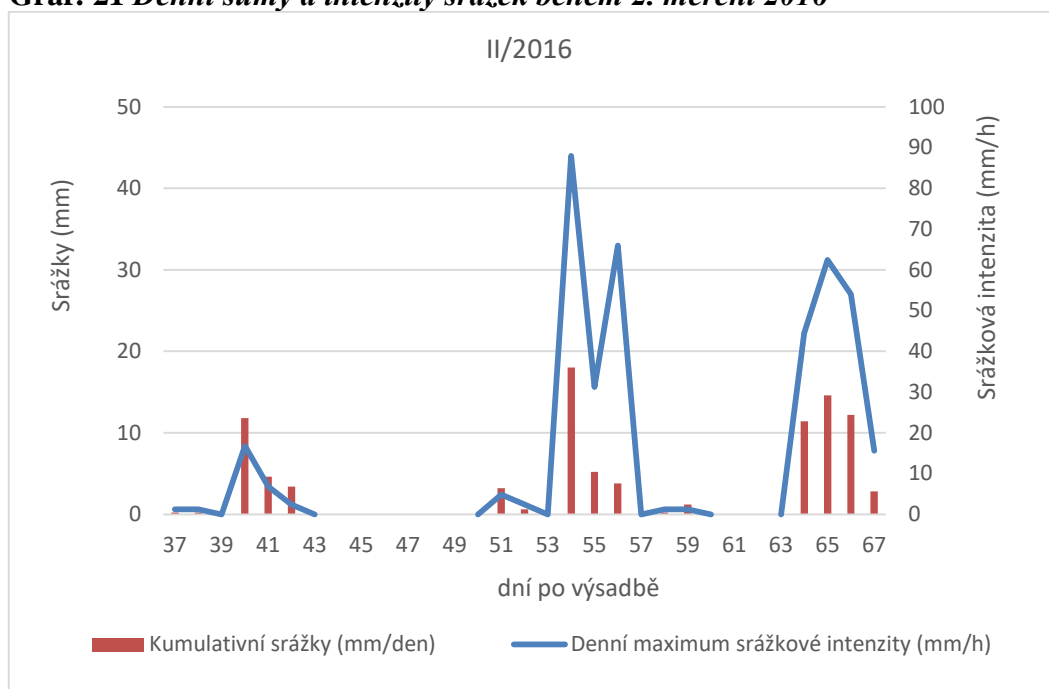
hodnoty zachycených půdních ztrát (tabulka 17). Dále se k takto definované srážkové situaci přiblížilo jen 3. měření téhož roku (101. den po výsadbě) s intenzitou 71,2 mm/hod) a 1. měření (37. den po výsadbě) z roku 2018, kdy bylo denní maximum srážkové intenzity 66 mm/hod. V těchto exponovaných obdobích byly zaznamenány na kontrolní variantě (K) nejvyšší půdní ztráty. Pravděpodobně nejlepším příkladem významu pravidelné distribuce srážek je třetí měření z roku 2017 (graf 25). Ve srovnání s půdní ztrátou z předešlého měření (graf 24), mělo toto měření ztráty výrazně nižší, ale při podobném množství srážek, které ale nebyly tak intenzivní.

Je zřejmé, že na suchém povrchu půdy byla omezená infiltrace a nepravidelná distribuce srážek byly hlavní příčinou větších ztrát půdy. Je zřejmé, že úbytek půdy závisí na distribuci srážek během sezóny více než na celkové sumě. V zásadě platí, že čím více srážek spadne v krátkém čase, tím je ztráta půdy vyšší. To je v souladu s názorem, který uvádí Gholami et al. (2012), že náhle přicházející srážky na vyschlý půdní povrch mají vysoký erozní účinek.

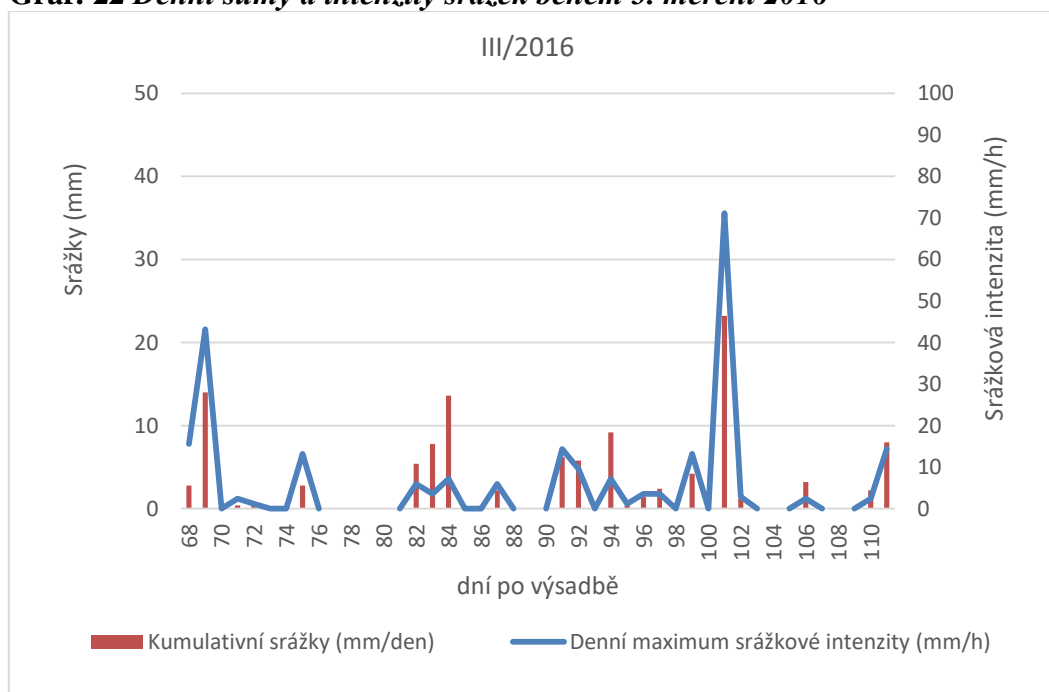
Graf: 20 Denní sumy a intenzity srážek během 1. měření 2016



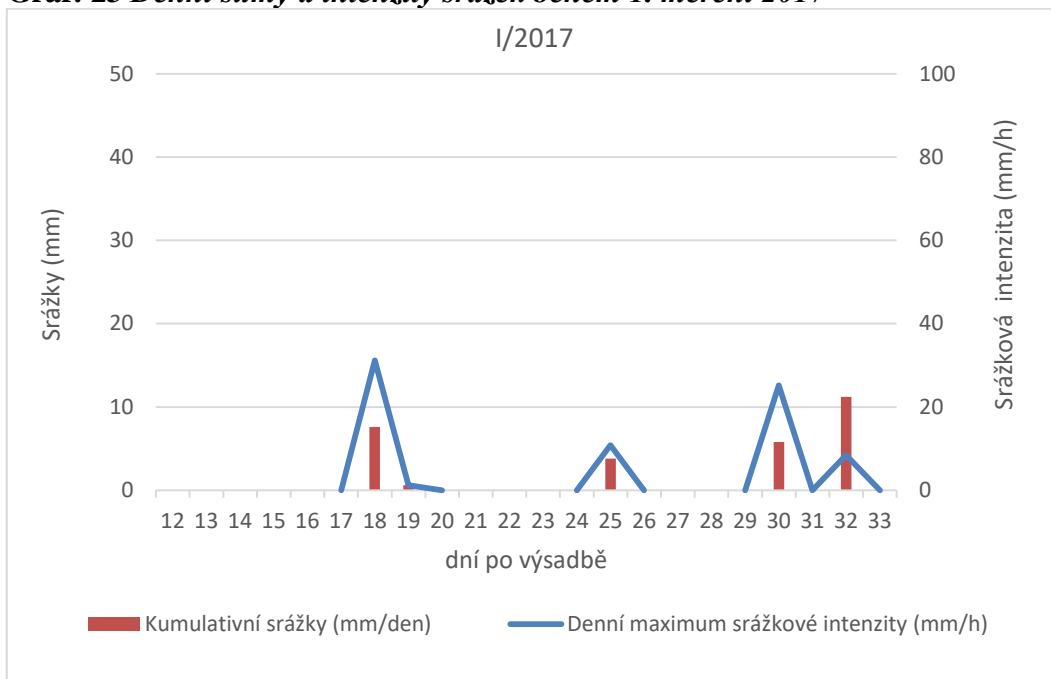
Graf: 21 Denní sumy a intenzity srážek během 2. měření 2016



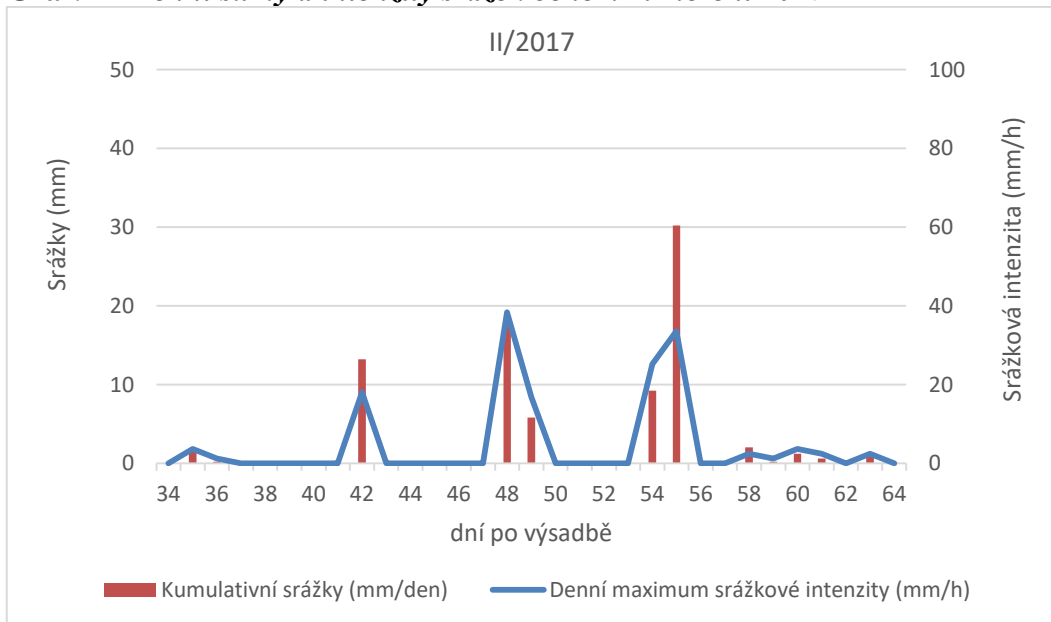
Graf: 22 Denní sumy a intenzity srážek během 3. měření 2016



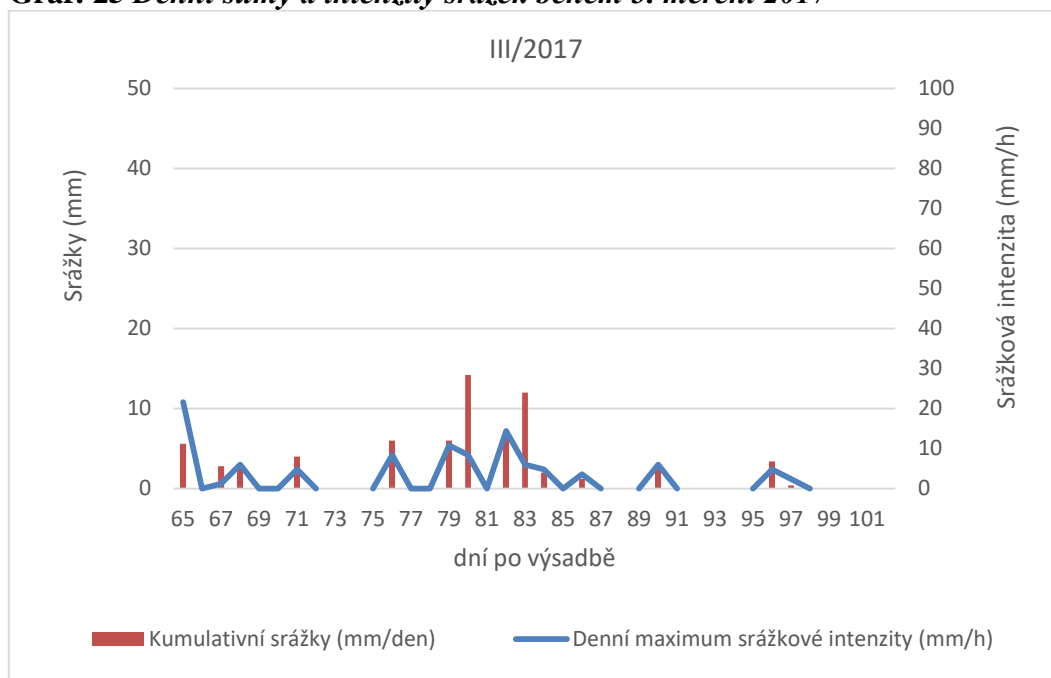
Graf: 23 Denní sumy a intenzity srážek během 1. měření 2017



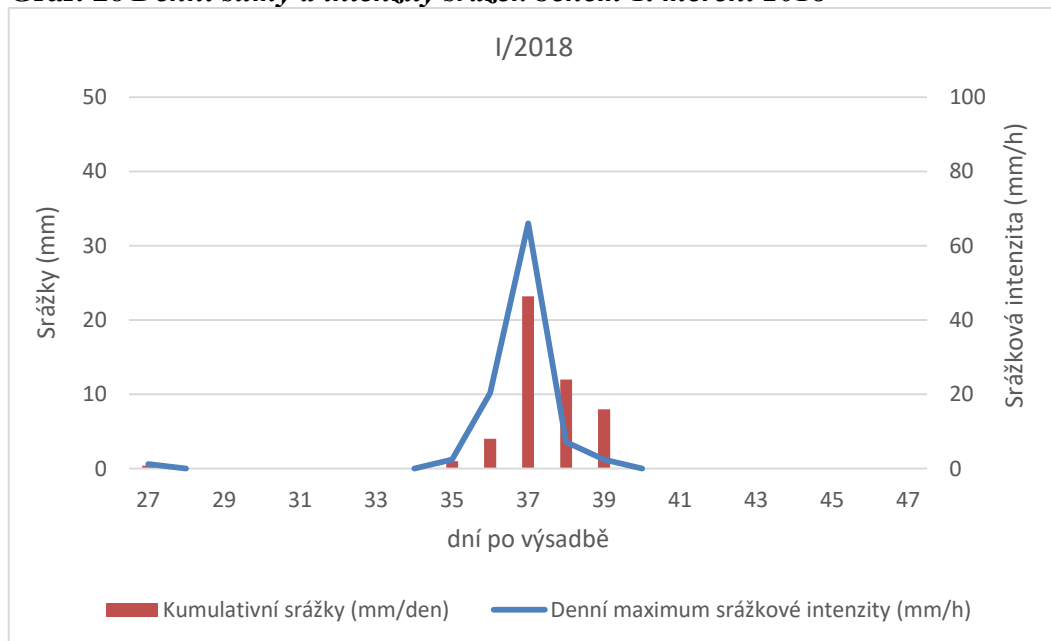
Graf: 24 Denní sumy a intenzity srážek během 2. měření 2017



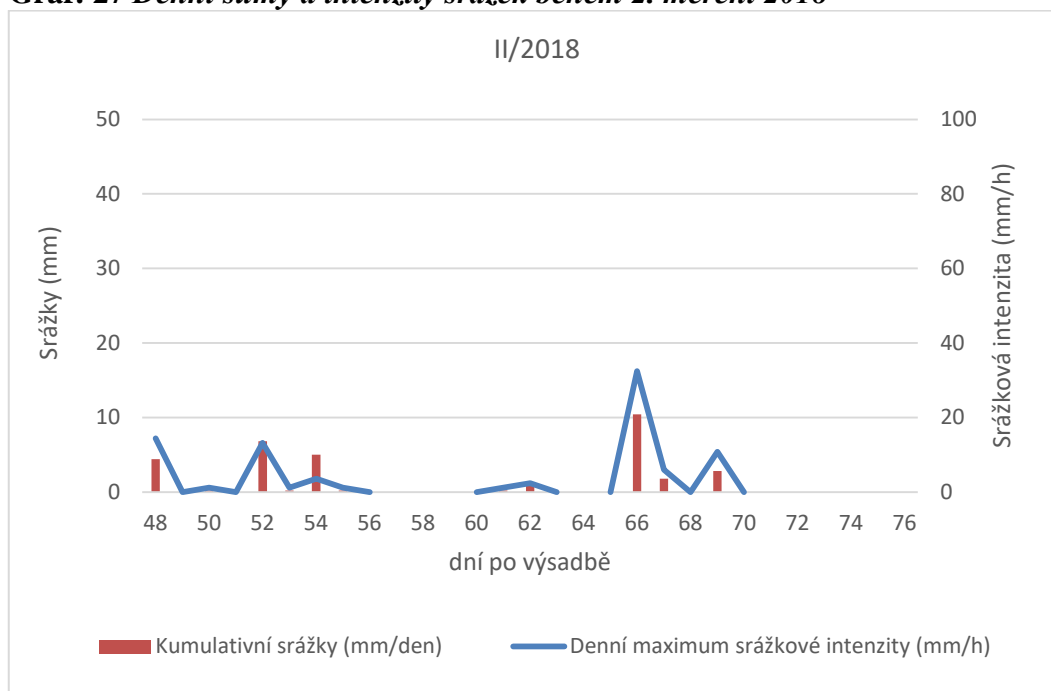
Graf: 25 *Denní sumy a intenzity srážek během 3. měření 2017*



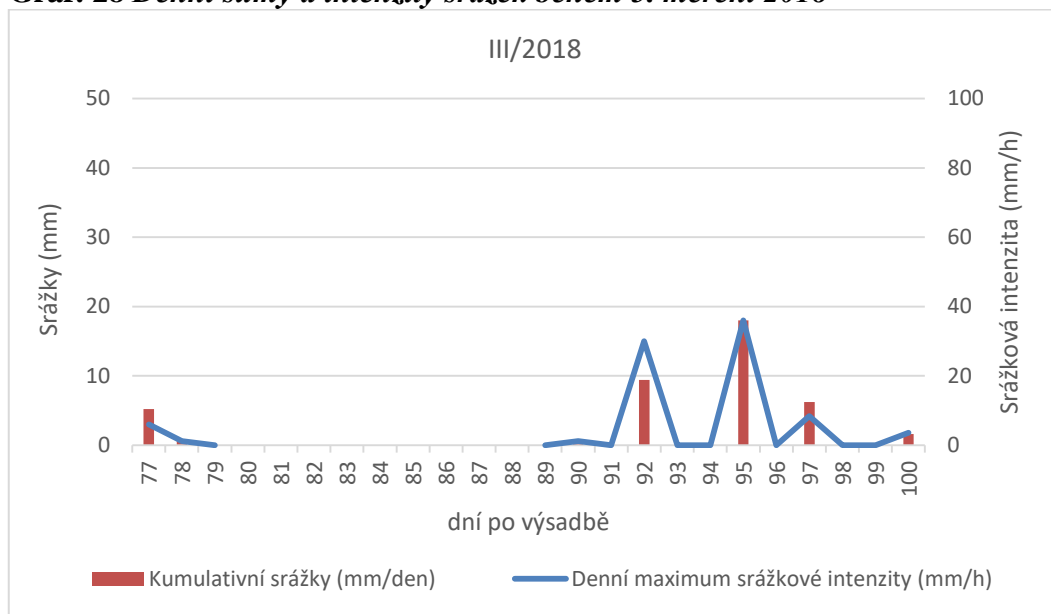
Graf: 26 *Denní sumy a intenzity srážek během 1. měření 2018*



Graf: 27 Denní sumy a intenzity srážek během 2. měření 2018



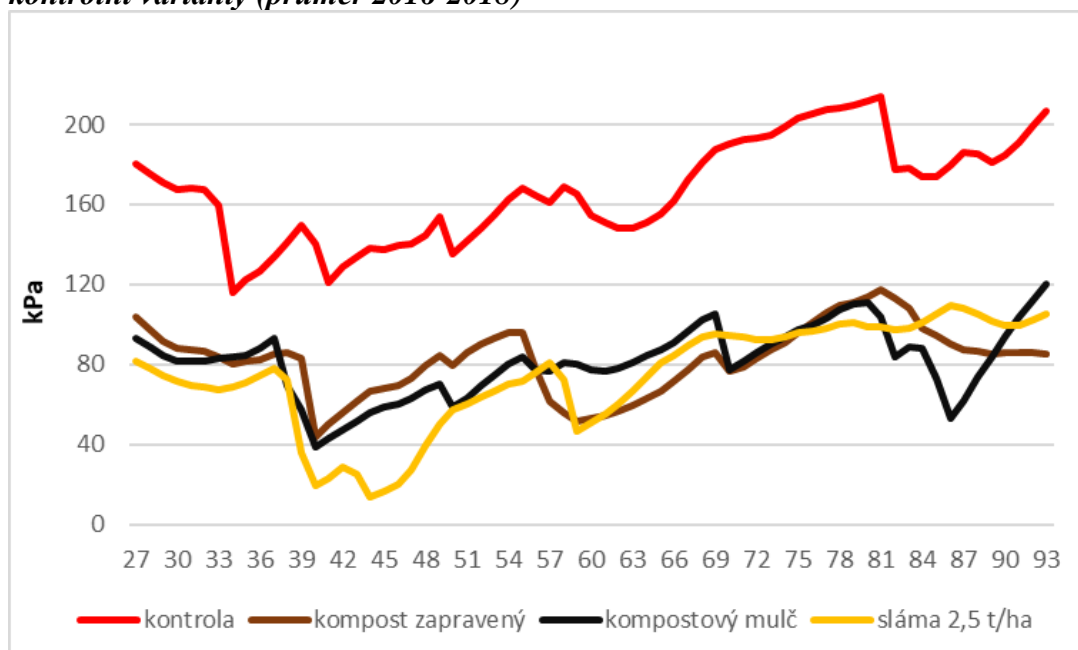
Graf: 28 Denní sumy a intenzity srážek během 3. měření 2018



6.2.2 Vliv opatření na vláhově-teplotní podmínky v půdě

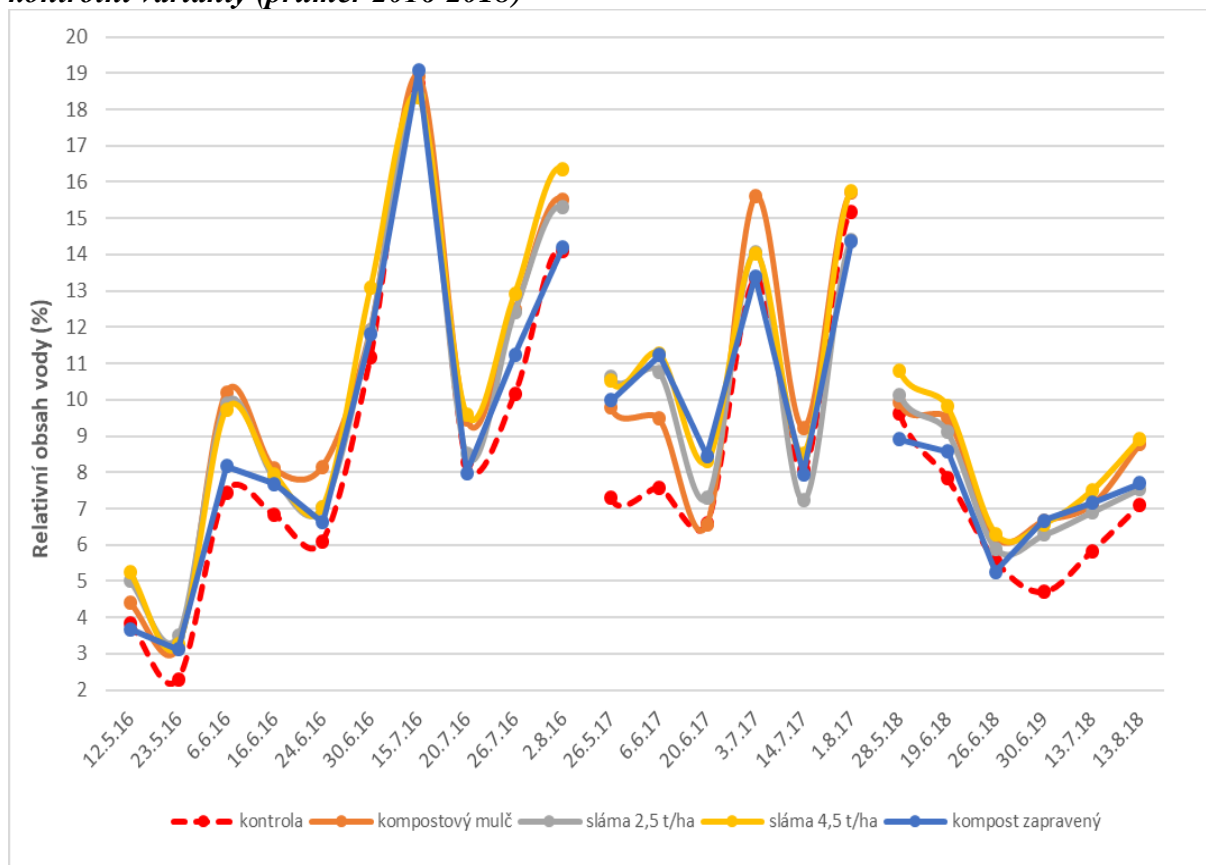
Jako součást zlepšení pěstitelských podmínek měl být i příspěvek těchto opatření ke zmírnění sucha udržením půdní vláhy v hrůbcích a zmírnění vysokých teplot v půdě. Sledováním průběhu sacích tlaků půdy a půdní teploty bylo zjištěno, že zaznamenané sací tlaky v hrůbcích u ošetřených variant byly ve srovnání s kontrolou v průměru o 51 a 55 % nižší a půdní vlaha zde byla tak dostupnější (graf 29). U hrůbků se slámou (SL1 a SL2) byla hodnota sacích tlaků půdy téměř shodná a v průměru let 2016-18 dosahovala za vegetaci průměrné hodnoty 75 kPa (v porovnání s kontrolou 167 kPa). V tomto ohledu se zdála být sláma (SL) velice účinným materiálem a to hlavně na počátku vegetace (27. - 57. den po výsadbě). Mulč ze slámy dokázal udržet hodnoty sacích tlaků pod hranicí 80 kPa, která je hranicí pro počátek závlahy raných brambor a tím podpořit výslednou produkci (výnosy) hlíz (Hamouz et al. 2007). Také Zavadil (2006) uvádí závislost konečného výnosu hlíz raných brambor na SWP ($y = 0,0022x^2 - 0,6468x + 84,128$; $R^2 = 0,9939$). Z grafu 30 je patrné, že i relativní vlhkost půdy (do 4 cm) byla u hrůbků ošetřených variant vyšší, ve srovnání s neošetřenou kontrolou. Nejvyšší hodnoty relativní vlhkosti byly zaznamenány u mulčovaných variant (SL1, SL2 a KM).

Graf: 29 Průběh sacích tlaků půdy během vegetace u ošetřených variant a neošetřené kontrolní varianty (průměr 2016-2018)



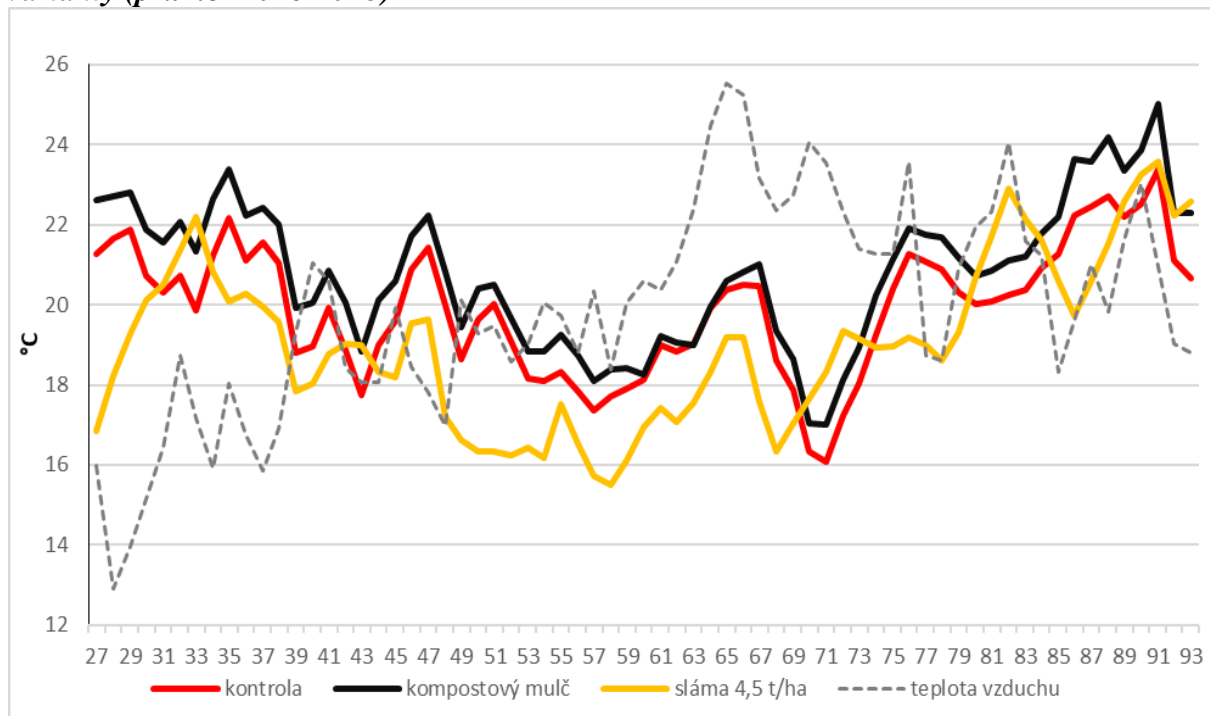
Pro ucelenější výsledky jsou přidány ještě hodnoty relativního obsahu vody v půdě (tabulka 32), kdy je patrné, že po většinu doby sledování ve všech letech byla relativní půdní vlhkost u ošetřených variant vyšší.

Graf: 30 Relativní půdní vlhkost během vegetace u ošetřených variant a neošetřené kontrolní varianty (průměr 2016-2018)



Z hlediska možnosti snížení půdní teploty ze sledování vycházela dobře také varianta se slámou (graf 31), která se ukázala být jako dobrý tepelný izolátor hrubků při výkyvech vysokých teplot. Naproti tomu KM v těchto situacích působila spíše negativně, kdy teplotu půdy ještě zvyšovala.

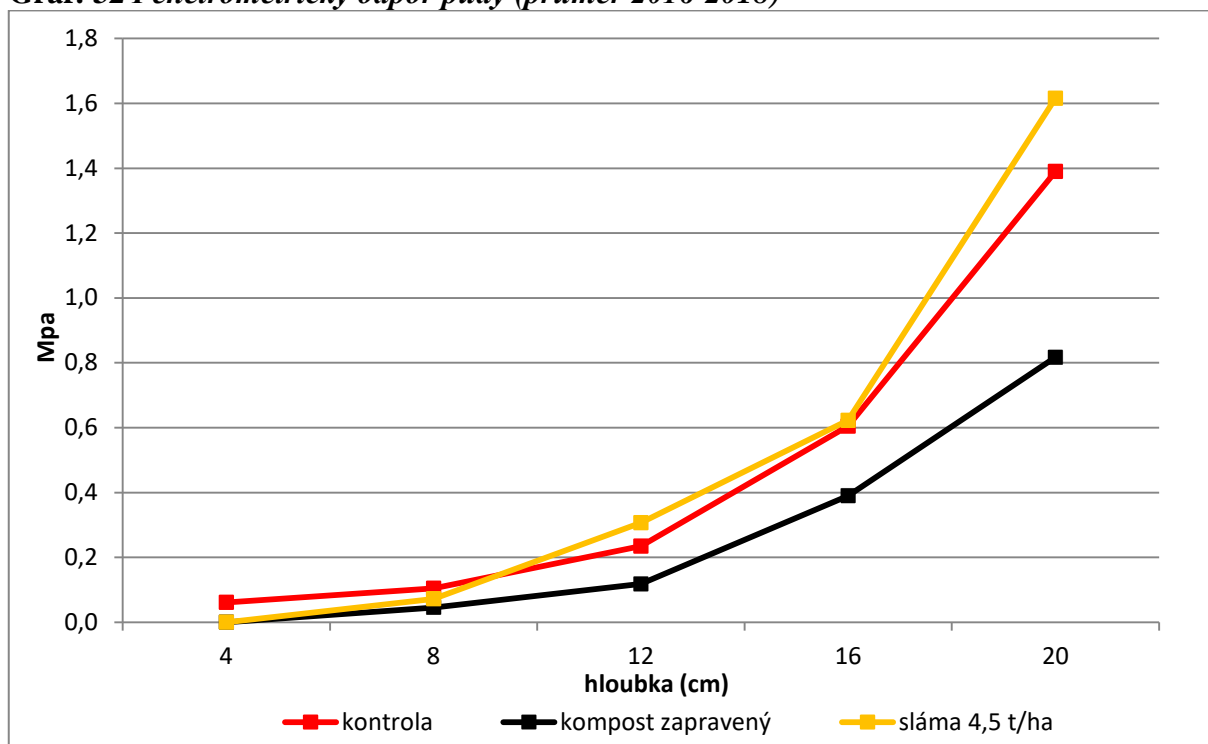
Graf: 31 Průběh půdní teploty během vegetace u ošetřených variant a neošetřené kontrolní varianty (průměr 2016-2018)



6.2.3 Vliv ochranných opatření na utužení půdy

Penetrometrický odpor půdy byl měřen během vrcholícího růstu hlíz (konec července). U ošetřených parcel se očekával nižší penetrometrický odpor v půdním profilu, přičemž u variant SL1 a SL2 (sláma 2,5 a 4,5 t/ha) a KM se očekávalo i omezení tvorby půdního škraloupu (penetrometrický odpor půdy do 4 cm hloubky). Získané výsledky ukazují, že snížení penetrometrického odporu půdy u ošetřených parcel ve srovnání s kontrolou bylo zaznamenáno pouze u varianty KMZ a to pouze v hlubší vrstvě půdního profilu (8-20 cm). Z grafu 32 vyplývá, že mezi KMZ a K při měření penetrometrem nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly, shodného výsledku dosáhli Hůla et al. (2012). Kompost zapravený před výsadbou (KMZ) neměl žádný vliv na snížení penetrometrického odporu půdy v povrchové vrstvě; obdobný výsledek při použití kompostu v dávce 15 t/ha uvádí Edwards et al. (2000).

Graf: 32 Penetrometrický odpor půdy (průměr 2016-2018)



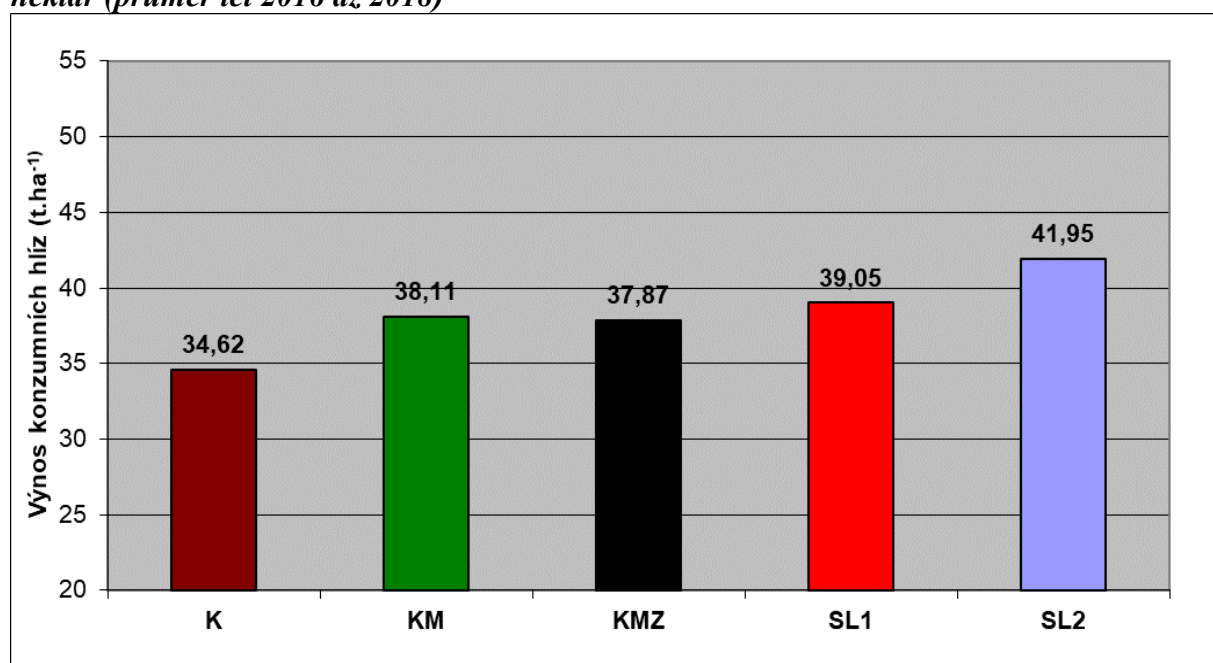
6.2.4 Vliv ochranných opatření na výnos hlíz

Tato část pokusu byla změřena na ověření účinnosti opatření, majících za cíl zlepšení pěstitelských podmínek v půdě, zejména úrovně půdní vláhy, která by se měla projevit především nárůstem výnosu hlíz. Na grafu 33 je patrné, že tato opatření skutečně měla pozitivní vliv na výnos hlíz konzumní velikosti, což je patrné při srovnání s úrovní výnosu kontroly. Nejvyšší průměrný výnos hlíz celkem byl zaznamenán ve variantě SL2 (o 19,5 % ve srovnání s kontrolou). V pořadí druhou variantou s nejvyšším výnosem byla SL1, která byla ve srovnání s kontrolou o 12,0 % vyšší. To je ve shodě s výsledky, které uvádí Adamchuk et al. (2016), kde bylo během tříletého pokusu dosaženo aplikací mulče navýšení výnosu hlíz v průměru o 39,9 % ve srovnání s kontrolou, avšak při desetinásobně vyšší dávce slámy, než která byla použita v našem pokusu.

U varianty s kompostem KM a KMZ bylo zaznamenáno také zvýšení celkového výnosu hlíz, pro KM to znamenalo nárůst o 9,3 % a pro KMZ 9,3 % ve srovnání s neošetřenou kontrolou (K). To je v souladu s výsledky, které uvádí Edwards (2009) a kde byl sledován vliv kompostu na výnos brambor a byl zjištěn nárůst o 9 % ve srovnání s kontrolou bez kompostu. Douglas (2004) publikoval nárůst výnosu u brambor o 7 % při aplikaci kompostu před výsadbou. Wilson et al. (2019) uvádí, že při podzimní aplikaci kompostu v dávce 45 t/ha bylo dosaženo 8,4% nárůstu hlíz oproti kontrole. V práci, kterou publikoval Seyedbagheri (1999) je uvedeno, že při použití kompostu v dávce 62,5 t/ha bylo dosaženo pouze 4% navýšení celkové hmotnosti hlíz proti kontrole. K podobným výsledkům při použití kompostu v bramborách dále dospěli Halloran et al. (2013).

Při sledování výnosu konzumních hlíz byl zaznamenán také nejvyšší nárůst u SL2 a to o 21,2 % v porovnání s kontrolou. Druhou variantou s 12,8% nárůstem výnosu konzumních hlíz proti kontrole byla SL1, což je v souladu s výsledky, které zmiňují Ilyas & Ayub (2017); nárůst hlíz v jejich pokusu při použití mulče činil 7,9 % proti kontrole. Varianta KM a KMZ zvýšila výnos konzumních hlíz o 10,1 % a 9,4 %.

Graf: 33 Průměrný výnos konzumních hlíz (nad 40 mm) jednotlivých variant přepočtený na hektar (průměr let 2016 až 2018)



6.2.5 Vliv ochranných opatření na početní a hmotnostní strukturu hlíz pod trsem

Při zhodnocení počtu konzumních hlíz pod trsem byl zaznamenán statisticky průkazný nárůst u SL2, SL1 a KMZ proti kontrole, průměrně cca o 1 hlízu (SL2: 1,25; SL1: 1,11, KM: 0,69). Zajímavý je pozitivní trend nárůstu objemnějších hlíz (velikost nad 55 mm) u SL2 a KM, což je v souladu s výsledky práce, kterou uvádí Wilson et al. (2019), v ní byly také zaznamenány nárůsty větších hlíz u variant ošetřených kompostem (tabulka 18). V tabulce 19 jsou uvedeny výsledky posklizňového třídění hlíz z jednotlivých let.

Tabulka: 18 Hmotnostní a velikostní struktura hlíz pod trsem (průměr 2016-2018)

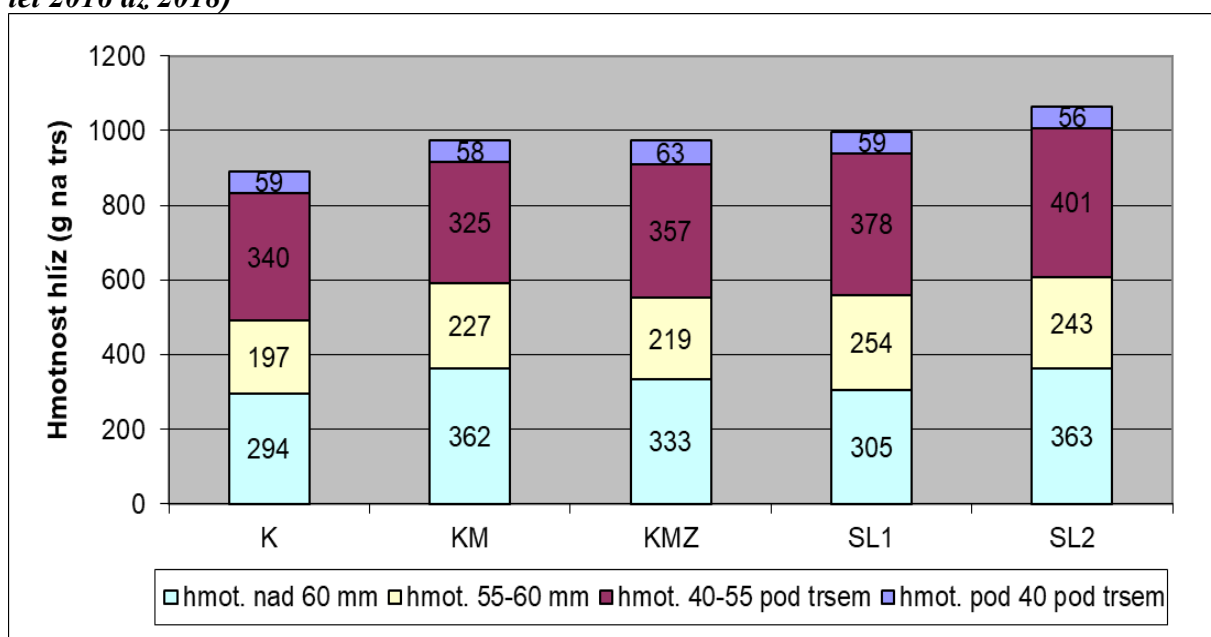
Rok	Varianta	Hmotnost hlíz nad 40 mm (g)	Hmotnost hlíz celkem (g)	Počet hlíz nad 40 mm	Počet hlíz celkem
2016-2018	SL2	1007a	1063a	8,1a	10,1a
	SL1	937ab	997ab	7,9a	10,0ab
	KM	915bc	973bc	7,2cb	9,2bcd
	KMZ	909bc	972bc	7,5ab	9,9abc
	K	831c	890c	6,8c	9,0cd
	<i>LSD_{0,05}</i>	85,8	83,3	0,7	0,9

Tabulka: 19 Hmotnostní a velikostní struktura hlíz pod trsem z let 2016-2018

Rok	Varianta	Hmotnost hlíz nad 40 mm (g)	Hmotnost hlíz celkem (g)	Počet hlíz nad 40 mm	Počet hlíz celkem
2016	SL2	1335a	1413a	10,4a	13,2a
	SL1	1163b	1241bc	10,0ab	12,7a
	KM	1212ab	1292ab	9,2ab	12,0ab
	KMZ	1163b	1245bc	9,9ab	13,0a
	K	1082b	1168bc	9,0b	12,2ab
	<i>LSD_{0,05}</i>	163	146	1,2	1,4
2017	SL2	1057a	1093a	7,8a	8,9a
	SL1	993ab	1029ab	7,5ab	8,6a
	KM	933ab	959ab	6,3bc	7,0b
	KMZ	965ab	998ab	6,1c	7,0b
	K	833b	854b	5,5c	6,1b
	<i>LSD_{0,05}</i>	171	177	1,3	1,5
2018	SL2	628a	684a	6,0a	8,2b
	SL1	655a	720a	6,5a	8,8ab
	KM	598a	667a	6,1a	8,7ab
	KMZ	599a	674a	6,5a	9,7a
	K	578a	649a	6,03a	8,8ab
	<i>LSD_{0,05}</i>	139	126	1,1	1,2

Na grafu 34 jistě stojí za povšimnutí i výrazný nárůst hmotnosti hlíz velikosti nad 60 mm u parcel ošetřených slámou SL2 a mulčovaným kompostem (KM).

Graf: 34 Hmotnostní a velikostní zastoupení hlíz pod trsem u jednotlivých variant (průměr let 2016 až 2018)



6.3 Pokus zaměřený na změnu aplikace půdního přípravku Transformer

6.3.1 Vliv změny aplikace na vláhové poměry půdy

Při sledování půdní vláhý po alternativní aplikaci přípravku Transformer nebyl v žádném ze sledovaných let pozorován pozitivní trend vyšší vlhkosti půdy ve srovnání s kontrolou (tabulka 20).

Tabulka: 20 Relativní vlhkost půdy (%)

Varianta	2016	2017	2018	průměr
T (Transformer závlaha)	12,7	9,9	8,6	10,4
TK (Transformer postřik)	10,8	8,4	6,7	8,6

6.3.2 Vliv změny aplikace na produkční parametry

Z hlediska produkčních ukazatelů v letech 2016 až 2018 alternativní aplikace přípravku nepřinesla ani pozitivní trend navýšení výnosu oproti původní aplikaci na kontrole (tabulka 21). Z hlediska ekonomického přínosu změny ve způsobu aplikace se postřik přípravkem nevyplatil ani v jednom z pokusných let (tabulka 22). Ekonomické vyhodnocení přínosu přípravku je součástí tabulky 22.

Tabulka: 21 Výnos hlíz přepočten na hektar (průměr 2016-2018)

Varianta	Výnos celkem	Výnos konzumních hlíz (nad 40 mm)
T (Transformer závlaha)	50,2	46,2
TK (Transformer postřik)	37,5	35,0

6.4 Ekonomické zhodnocení opatření cílených na půdu

Každé agrotechnické opatření s sebou většinou nese i zvýšení nákladů na jednotku obhospodařované plochy. Z důvodů důležitosti rentability, která rozhoduje o využitelnosti navržených postupů v širším měřítku, se autor pokusil v tabulce 22 orientačně vyjádřit ekonomický přínos jednotlivých opatření. Vycházel přitom jak ze statistických dat (agronormativů, průměrných cen zemědělských výrobců a cen komodit) tak ze zkušeností agronomů, kteří už mají s uplatňováním těchto opatření zkušenosti. Prakticky nejvýznamnější informaci v tabulce vyjadřuje poslední sloupec, kde je peněžně vyjádřen čistý přínos opatření, tedy částka, kterou by pěstitel obdržel v daném roce a za daných podmínek při použití konkrétního opatření. Ta zahrnuje hodnotu za tržby z navýšeného výnosu, očištěnou od vícenákladů na aplikaci a za použitý materiál. Pro kalkulaci ceny slámy se vždy vycházelo z cen předešlého roku (předpoklad uskladnění přes zimu). U kalkulace ceny kompostu a přípravku Transformer byla cena pevná. Cena brambor zemědělských výrobců byla vždy použita z období přelomu měsíců srpen a září.

Tabulka 22: Ekonomické hodnocení použitých opatření

Rok	Varianta	Navýšení t/ha	Vícenáklady na ha (CZK)	Navýšení tržeb z ha (CZK)	Čistý přínos z ha v CZK
2016	KM	5,5	19.200	40.657	21.457
	KMZ	3,4	19.200	25.175	5.975
	SL1	3,4	8.505	25.291	16.786
	SL2	10,6	14.505	78.671	64.167
	TK	-0,2	5.500	-1.088	-6.588
2017	KM	4,2	19.200	24.873	5.673
	KMZ	5,6	19.200	32.780	13.580
	SL1	6,7	3.505	39.654	36.150
	SL2	9,4	5.505	55.671	50.167
	TK	0,8	5.500	4.832	-668
2018	KM	0,9	19.200	6.155	-13.045
	KMZ	0,9	19.200	6.316	-12.884
	SL1	3,3	4.488	23.241	18.754
	SL2	2,1	7.274	15.106	7.833
	TK	0,6	5.500	3.992	-1.508
2016-2018	KM	3,5	19.585	24.010	4.425
	KMZ	3,3	19.200	22.353	3.153
	SL1	4,5	12.349	30.419	18.070
	SL2	7,4	21.425	50.380	28.955
	TK	0,4	5.500	2.796	-2.704

6.5 Souhrn a dílčí závěry z ověřování účinnosti opatření cílených na ochranu půdy

Při pozorování vlivu ošetření na snížení utužení půdy a omezení půdního škraloupu byl zaznamenán pozitivní trend u varianty se zapraveným kompostem před výsadbou (KMZ).

Z hlediska vsakování srážek (infiltrace) a s tím spojeného omezení ztrát půdy povrchovým odtokem mělo statisticky průkazný vliv proti kontrole použití mulče i kompostu v pokusných letech 2016-2018. Nejúčinnějším se ukázalo být mulčování slámou (varianty SL1 a SL2). U tohoto typu ošetření byly během pokusných let 2016 až 2018 zaznamenány statisticky průkazně nejnižší smyvy půdy v porovnání s kontrolou. Vysoká účinnost tohoto opatření (tj. rozdílů ve ztrátách půdy ve srovnání s kontrolou) byla zajištěna i při intenzivních srážkách. Z porovnání účinnosti obou dávek slámy (2,5 a 4,5 t/ha) vyplývá, že podobného přínosu z hlediska lepšího vsakování a snížení půdních ztrát lze dosáhnout i při dávce slámy 2,5 t/ha. Nejen zachycení srážek v půdě, ale i jejich distribuce rostlinám byla díky mulči příznivější než u hrůbků bez úpravy. Lepší vláhové podmínky poskytly varianty ošetřené slámou a kompostem. Hlavně varianta se slámou, kde byl oproti kontrole znamenán zřetelný pokles sacích tlaků půdy o 55 %, zajistila lepší dostupnost půdní vláhy a měla tak významný vliv na konečný výnos hlíz.

U všech použitých pokusných variant s mulčem (SL1, SL2 a KM) bylo za sledované období (2016-2018) zaznamenáno zvýšení celkové hmotnosti hlíz pod trsem, i hmotnosti hlíz konzumní velikosti. Při mulčování slámou (SL1 a SL2) byly rozdíly v nárůstu proti kontrole statisticky průkazné.

Z hlediska půdní teploty a zmírnění jejího nárůstu se ukázala být významným tepelným izolátorem právě sláma.

Výše zmíněné ukazatele (dostupnost vody v půdě a optimální půdní teplota) jsou klíčové pro vysokou produkci hlíz, což je patrné z grafu 34, kde nárůst hmotnosti hlíz a zejména větších hlíz (nad 55 mm) byl hlavně u variant s mulčem (SL2 a KM).

7 Závěry a doporučení pro praxi

Podrobné dílčí závěry jednotlivých částí pokusu jsou zahrnuté v rámci předchozích kapitol, zde jsou uvedeny závěry vyvozené ze získaných důležitých poznatků.

Z hodnocení vlivu sucha na růstové a produkční parametry při přípravě exponované sadby nádobovým pokusem vyplývá, že reakce odrůdy Dicolora na sucho byla v souladu s popisy scénářů autorů s obdobným pokusem cílené expozice sucha na rostliny bramboru. K podobným výsledkům se dospělo při sledování růstových ukazatelů během vegetace i posklizňovým rozbořem sadbových hlíz. Vazba vysoký obsah chlorofylu v listech na zachování produkčních schopností bramboru v podmínkách sucha, uváděná některými autory, se však nepotvrdila. Autor dospěl k závěru, že obsah chlorofylu v listech nemůže být zcela spolehlivým a výlučným ukazatelem agronomické tolerance k suchu, dle řady publikací má velký vliv genotyp a pak může v podmínkách sucha dojít k hromadění chlorofylu v listech bez ohledu na zvýšenou tvorbu hlíz.

Dále bylo potvrzeno, že i když sucho během tuberizace ovlivní celkovou výtěžnost hlíz pod trsem, na výtěžnost sadbových hlíz je vliv, ve srovnání s vláhovými podmínkami bez omezení, zanedbatelný. V souladu s očekáváním největší dopad na tvorbu hlíz mělo opakované sucho, naopak sucho v pozdní fázi během kvetení se tvorby hlíz těchto trsů téměř nedotklo. Příprava sadbových hlíz s aktivovanými mechanismy tolerance cílenou expozicí půdního sucha je možná, i když by se jednalo o technicky i organizačně a hlavně investičně náročný proces.

Při hodnocení přípravy sadby na podmínky sucha a překonání nedostatku vláhy bylo zjištěno, že exponovaná sadba v prvním roce přesadby zajistila v podmínkách sucha (SS1 a SS3) shodného, a dokonce ještě lepšího výnosového výsledku i v optimálních vláhových podmínkách (S1, S2, S3) než běžná sadba (K a KS). Tento pozitivní trend se však již zcela nepotvrdil při přesadbě stejné sadby v druhém roce.

Lze předpokládat, že případná aktivace mechanismů tolerance k suchu byla při přesadbě v druhém roce (2. generace) ztracena a tyto obranné mechanismy bude za těchto podmínek obtížné dlouhodobě udržet.

Použití slámy jako mulče u brambor zlepšilo produkční ukazatele, hlavně výnos konzumních hlíz. Byly omezeny půdní ztráty povrchovým odtokem a nepřímo tak zlepšeno zadržování vody v prostoru mezi hrůbky. Hodnocení výživného stavu pomocí SPAD se pro záměry tohoto pokusu ukázalo být jako zavádějící, neboť rostliny kontrolní varianty bez ošetření vykazovaly v suchých letech vyšší obsah chlorofylu v listech bez pozitivní korelace

vázané na výnos. Pro srovnání u variant s ošetřením byl zaznamenán nižší obsah chlorofylu v listech a vyšší výnos oproti kontrole, což bylo dáno tím, že zde se vláhové podmínky blížily více optimu. Použití slámy je dle ekonomického hodnocení jednoznačně rentabilní. Z výsledků je také patrné, že rozdíl účinnosti mezi vyšší a nižší dávkou slámy jako mulče z hlediska omezení půdní ztráty není průkazný a otevírá se prostor k možnosti experimentální dávku dle místních podmínek snížit. Nabízí se také otázka, zda by nebylo při pěstování brambor prospěšnější posklizňové zbytky obilnin sklídit a později použít jako mulč, než je zaorávat. Z hlediska ochranných opatření zmírňujících dopady sucha, ale i eroze, výsledky naznačují, že ano. Z hlediska zajištění dostatku živin pro růst brambor by se použití slámy mohlo jevit jako problematické, hlavně z hlediska rizika úbytku N spotřebovaného na rozklad slámy. Použití kompostu při pěstování brambor se ukázalo ve zmírnění dopadů sucha na produkční parametry obdobně přínosné, i když ne tak účinné jako použití slámy; obdobně tomu bylo v případě omezení půdních ztrát. V otázce snížení utužení půdy se ukázal zapravený kompost jako příznivé opatření. Navzdory těmto výsledkům i příznivému ekonomickému hodnocení je třeba si přiznat, že cena slámy je v posledních letech velice variabilní a stejně tak i cena brambor. V případě jejího dostatku z vlastní produkce podniku pak o jejím použití spolurozhoduje řada dalších aspektů (potřeby živočišné výroby, zaorávka k vyrovnaní bilance organické hmoty, výkupní ceny slámy). U kompostu je situace obdobná, přičemž pro ekonomické hodnocení jeho přínosů je dobré zohlednit i případné nárůsty výnosů u plodin na daném místě v dalších letech. Změna aplikace přípravku Transformer na povrch půdy se v našem případě ukázala být jako opatření ke zmírnění dopadů sucha u brambor neúčinné a nerentabilní. Pro účinnost tohoto přípravku je rozhodující způsob aplikace a povětrnostní podmínky po aplikaci, kdy je nutné zajistit, aby se přípravek dostal do půdního profilu a nezůstal pouze na povrchu půdy.

8 Vyjádření k hypotézám

- 1) Cílená expozice půdního sucha v klíčových termínech vývoje rostlin bramboru aktivuje mechanismy stresové paměti u nových hlíz, které se poté projeví u porostů z nich vzešlých, lepší stresovou reakcí vedoucí ke zlepšení produkčních parametrů v podmínkách sucha.

Hypotéza potvrzena u varianty S1 a S3: zvolený postup cíleného působení půdního sucha na sadbové trsy přinesl v 1. roce ověřování pozitivní trend nárůstu hmotnosti hlíz proti kontrole v podmínkách sucha.

Hypotéza nepotvrzena u varianty S2: zvolený postup nepřinesl zlepšení produkčních parametrů v podmínkách sucha následného roku.

- 2) Získané protistresové mechanismy jsou udržitelné i pro následnou generaci, pocházející již ze sadby neexponované suchem (tj. přesadby).

Hypotéze nepotvrzena: protistresové mechanismy se ukázaly jako neudržitelné, ve 2. roce ověřování se nijak neprojevíly.

- 3) Aplikací slámy jako mulče na povrch hrůbků a zapravením kompostu lze pozitivně ovlivnit půdní vlastnosti, tím zajistit lepší dostupnost vody pro rostliny v důležitých fázích růstu a stabilizovat produkci hlíz v podmínkách nedostatku vody.

Hypotéza potvrzena: Aplikace slámy pozitivně ovlivnila vláhově-teplotní podmínky v půdě, zajistila lepší dostupnost vody a podpořila růst hlíz v podmínkách sucha. Efekt povrchové aplikace kompostu i jeho aplikace před výsadbou byl slabší, i zde však byl zaznamenán pozitivní trend nárůstu hlíz v podmínkách sucha.

- 4) Vhodnou aplikací pomocných prostředků do půdy lze zlepšit dostupnost vody v půdě, hospodaření rostliny s vodou a ve výsledku zvýšit produkci hlíz.

Hypotéza nepotvrzena: alternativní způsob aplikace přípravku Trasformer nepřinesl významné zlepšení dostupnosti vody v půdě a nezvýšil produkci hlíz.

9 Seznam použité literatury

9.1 Literární zdroje

- Abbas H, Ranjan RS. 2015. Effect of soil moisture deficit on marketable yield and quality of potatoes. *Canadian Biosystems Engineering* **57**: 125-137.
- Adamchuk V, Prysyzhnyi V, Ivanov S, Bulgakov V. 2016. Investigations in technological method of growing potatoes under mulch of straw and its effect on the yield. *Engineering for rural development*. Jelgava, 25.-27.05.2016.
- Akhtar K, Wang W, Khan A, Ren G, Afridi MZ, Feng Y, Yang G. 2018. Wheat straw mulching with fertilizer nitrogen: An approach for improving soil water storage and maize crop productivity. *Plant, Soil and Environment* **64**: 330-337.
- Badalíková B. 2019. Význam hnojení kompostem. *Zemědělec* **18**: 21-22.
- Badalíková B, Bartlová J. 2014. Význam hnojení organickou hmotou a důsledky jeho vynechávání. *Agromanuál* **9**: 50-51.
- Bhatt R, Khera KL. 2006. Effect of tillage and mode of straw mulch application on soil erosion in the submontaneous tract of Punjab, India. *Soil and Tillage Research* **88**: 107-115.
- Bhattarai R, Kalita PK, Yatsu S, Howard H, Svendsen NG. 2011. Evaluation of compost blankets for erosion control from disturbed lands. *Journal of Environmental Management* **92**: 803-812.
- Bláha L. 2011. Znaky adaptability k podmínkám stresu u zemědělských plodin. Pages 726 – 735 in Salaš P, editor. *Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu*". Lednice 20.- 21. 10. 2011, Úroda, vědecká příloha: ISSN 0139-6013
- Blum A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research* **112**: 119–123.
- Brázdil R, Trnka M. a kolektiv. 2015. Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s. ISBN 9788087902110
- Bresson LM, Koch C, Le Bissonnais Y, Barriuso E, Lecomte V. 2001. Soil surface structure stabilization by municipal waste compost application. *Soil Science Society American Journal* **65**: 1804-1811.

- Cantore V, Wassar F, Yamaç SS, Sellami M.H, Albrizio R, Stellaci AM, Todorovic M. 2014. Yield and water use efficiency of early potato grown under different irrigation regimes. *International Journal of Plant Production* **8**: 409-428.
- Cerdà A, Rodrigo-Comino J, Giménez-Morera A, Keesstra SD. An economic, perception and biophysical approach to the use of oat straw as mulch in Mediterranean rainfed agriculture land. *Ecological Engineering* **108**: 162-171.
- Cornelis W, Waweru G, Araya T. 2019. Building resilience against drought and floods: the soil-water management perspective. *Sustainable Agriculture Reviews* **29**: 125-142.
- Costa LD, Vedove GD, Gianquinto G, Giovanardi R, Peressotti A. 1997. Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. *Potato Research* **40**: 19-34.
- Crisp PA, Ganguly D, Eichten SR, Borevitz JO, Pogson BJ. 2016. Reconsidering plant memory: Intersections between stress recovery, RNA turnover, and epigenetics. *Science Advances* **2**: 1-14.
- Doan TT, Tureaux TH, Rumpel C, Janeau JL, Jouquet P. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment* **514**: 147-154.
- Döring TF, Brandt N, Heß J, Finckh MR., Saucke H. 2005. Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, yield and soil erosion in organically grown potatoes. *Field Crops Research* **94**: 238–249.
- Douglas JC. 2004. The effects of kickoff and compost on yield and economic value of double crop potatoes. *Cantaurus* **12**: 4-6.
- Drapal M, FarFan-Vignolo ER, Gutierrez OR, Bonierbale M, Mihovilovich E, Fraser P.D. 2017. Identification of metabolites associated with water stress responses in *Solanum tuberosum* L. clones. *Phytochemistry* **135**: 24-33.
- Dvořák P, Tomášek J, Hamouz K, Mičák L. 2013. Začlenění systému povrchového mulčování do technologie pěstování brambor. Certifikovaná metodika. ČZU Praha, Katedra rostlinné výroby FAPPZ. Praha.
- Dvořák P, Hamouz K, Tomášek J. 2010. Vliv povrchového mulčování na teplotu půdy a výnos konzumních brambor. Pages 175-178 in Bláha L, editor. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin, 304 s. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 10.-11.2.2010. ISBN: 978-80-213-2048-2

- Dvořák P, Tomášek J, Hamouz K. 2014. Pěstování vybraných plodin v ekologickém zemědělství. Pages 89-116 in Konvalina P, editor. Brambory – použití technologií pro ekologické pěstování brambor. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 212 s. ISBN 978-80-7394-670-8
- Dvořák P, Král M. 2017. Kompost a mulč pro stabilizaci výnosů konzumních brambor. Agromanuál **3**: 134-136.
- Dudás P, Menyhárt L, Csongor G, Ambrus G, Tóth F. 2016. The effect of hay mulching on soil temperature and the abundance and diversity of soil-dwelling arthropods in potato fields. European Journal of Entomology **113**: 456-461.
- Edwards L. 2009. Biowaste usage for soil erosion control and soil physical improvement under potatoes (*Solanum tuberosum*) in Atlantic Canada. Canadian Journal Soil Science **90**: 103-111.
- Ekanayake IJ. 1989. Studying drought stress and irrigation requirements of potatoes. Research Guide **30**. International Potato Center, Lima.
- Elbl J., Plošek L., Kintl A., Hynšt J., Záhora J., Javoreková S., Charousová I., Kalhotka L., Urbánková O. 2014. Effects of drought on microbial activity in rhizosphere, soil hydrophobicity and leaching of mineral nitrogen from arable soil depending on method of fertilization. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering **8**: 844–850.
- Fariid HN, Pervez MA, Ayyub ChM, Yaseen M, Butt M, Bashir M. 2014. Effect of soil application of humic acid and hydrogel on morphophysiological and biochemical attributes of potato (*Solanum tuberosum* L.). Pakistan Journal of Life and Social Sciences **12**: 92-96.
- Gong L, Zhang H, Gan X, Zhang L, Chen Y, Nie F, Shi L, Li M, Guo Z, Song Y. 2015. Transcriptome profiling of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant under drought stress and water-stimulus conditions. PLoS ONE **10**.
- Fieta-Soriano E, Munné-Bosch S. 2016. Stress memory and the inevitable effects of drought: a physiological perspective. Frontiers in Plant Science **7**: 143.
- Fischer D, Glaser B. 2012. Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. Pages 167-191 in Kumar S, Bharti A, editors. Management of Organic Waste. 9533079258

- George TS, Taylor MA, Dodd IC, White PJ. 2017. Climate change and consequences for potato production: a review of tolerance to emerging abiotic stress. *Potato Research* **60**: 239–268.
- Giegenberger P, Reimholz R, Geiger M, Merlo L, Canale V, Stitt M. 1997. Regulation of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta* **201**: 502-518.
- Grzebisz W, Čermák P., Rroco E., Szcapaniak W., Potarzycki J., Füleky G. 2017. Potassium impact on nitrogen use efficiency in potato – a case study from the Central-East Europe. *Plant, Soil and Environment*, **63**: 422–427.
- Gyuricza C, Smutný V, Percze A, Pósa B, Birkás M. 2015. Soil condition threats in two seasons of extreme weather conditions. *Plant, Soil and Environment* **61**: 151-157.
- Halloran JM, Larkin RP, DeFauw SL, Olanya OM, He Z. 2013. Economic potential of compost amendment as an alternative to irrigation in maine potato production systems. *American Journal of Plant Sciences* **4**: 238-245.
- Hamouz K. (eds.). 2007. Rané brambory - Pěstitelský rádce. Kurent. České Budějovice. 48 s. ISBN: 9788090352292
- Hancock J.F. 2004. Plant evolution and the origin of crop species. 2nd ed. CABI, 313 s. ISBN 0-85199-685-X.
- Handayani T, Watanabe K. 2020. The combination of drought and heat stress has a greater effect on potato plants than single stresses. *Plant, Soil and Environment*, **66**: 175–182.
- Haverkort JA, Waart VD, Bodlaender KB. 1990. The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potatoes in controlled and field conditions. *Potato Research* **33**: 89-96.
- Hlavinka P, Trnka M, Semerádová D, Dubrovský M, Žalud Z, Možný, M. 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology* **149**: 431–442.
- Chapman HW, Loomis WE. 1953. Photosynthesis in potato under field conditions, *Plant Physiology* **28**: 703-716.
- Chinnusamy V, Zhu JK. 2009. Epigenetic regulation on stress responses in plants. *Current Opinion in Plant Biology* **12**: 133-139.
- Ilyas M, Ayub G. 2017. Role of planting depth and mulching on growth and yield components of autumn potato crop sown at different dates. *Pure and Applied Biology* **6**: 1436-1449.

- Jensen et al. 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signalling in potatoes and tomatoes. *Agricultural Water Management* **98**: 403-413.
- Kang S, Zhang J. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany* **10**: 1-10.
- Kohut M, Rožnovský J, Chuchma F, Hora P. 2010. Dlouhodobá zásoba využitelné půdní vody a její variabilita na území České republiky. Pages 35-46 in Rožnovský J, Litschmann T, editors. „Voda v krajině“, 31.5. – 1.6.2010 Lednice.
- Kohut M, Rožnovský J, Chuchma F, Hora P. 2014. Potenciální vláhová bilance jako ukazatel sucha v roce 2012. 18 pp. in Rožnovský J, Litschmann T, Středa T, Středová H. editors. Extrémy oběhu vody v krajině, 8. - 9. 4. 2014 Mikulov.
- Kovaříček P, Hůla J, Vlášková M, Stehlík M. 2017. Organická hmota zvyšuje bioaktivitu a zadržování vody v půdě. *Agromanuál* **9-10**: 58-60.
- Kuncheva G, Dimitrov P. 2015. Study on erosion control efficiency of advanced and unconventional system for minimum tillage at growing wheat on slope lands. *Agricultural, Forest and Transport Machinery and Technologies* **1**: 43-49.
- Latzel V. 2015. Epigenetická dědičnost v ekologii a evoluci rostlin. *Vesmír* **94**: 105-109.
- Lahlou O, Ledent J. 2005. Root mass and depth, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under water stress. *European Journal Agronomy* **22**: 159–173.
- Legay S, et al. 2011. Carbohydrate metabolism and cell protection mechanisms differentiate drought tolerance and sensitivity in advanced potato clones (*Solanum tuberosum* L.). *Functional Integrative Genomics* **11**: 275–291.
- Lhotka O, Kyselý J, Farda A. 2018. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theoretical and Applied Climatology* **131**: 1043–1054.
- Li X, Ramírez DA, Qin J, Dormatey R, Bi Z, Sun Ch, Wang H, Bai J. 2019. Water restriction scenarios and their effects on traits in potato with different degrees of drought tolerance. *Scientia Horticulturae* **256**: 108525.
- Lindsey AJ, Renner KA, Everman WJ. 2013. Cured dairy compost influence on weed competition and on ‘Snowden’ potato yield. *Weed Technology* **27**: 378–388.
- Mayer V. (eds.). 2018. Doporučené technologie pro efektivní využití vody při pěstování brambor v podmínkách sucha a výkyvů počasí. VÚZT a VÚB. ISBN 9788075690104
- Minhas JS. 2017. Improving crop resistance to abiotic stress. Vol. 1. 1460 s. ISBN: 978-3-527-63293-0

- Minhas JS, Bansal K.C. 1991. Tuber yield in relation to water stress at different stages of growth in potato. *Journal of Indian Potato Association* **18**: 1-8.
- Moraru PI, Rusu T. 2010. Soil tillage conservation and its effect on soil organic matter, water management and carbon sequestration. *Journal of Food, Agriculture & Environment* **8**: 309-312.
- Muthoni J, Kabira JN. 2016. Potato production under drought conditions: Identification of adaptive traits. *International Journal of Horticulture* **6**: 1-9.
- Niziolomski JC, Simmons RW, Rickson RJ, Hann MJ. 2020: Efficacy of mulch and tillage options to reduce runoff and soil loss from asparagus interrows. *Catena* **191**: 104557.
- Obidiegwu JE, Bryan GJ, Jones HG, Prashar A. 2015. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science* **6**: 542.
- Oljača J, Bročić Z, Momirović N, Počtić D, Pantelić D, Rudić J, Momčilović I. 2018. Effects of cultivar and mulching on the potato yield. *AGROFOR International Journal* **3**: 132-136.
- Orth R, Zscheischler J, Seneviratne SI. 2016: Record dry summer in 2015 challenges precipitation projections in Central Europe. *Scientific Reports* **6**: number: 28334.
- Pazderů K, Bláha L. 2013. Trendy ve šlechtění a semenářství na odolnost k extrémnímu počasí. *Osivo a sadba. XI. ČZU v Praze, 29-33, odborný a vědecký seminář*. ISBN 978-80-213-2358-2
- Peng Z, Ting W, Haixia W, Min W, Xiangping M, Sivei M, Rui Z, Zhikuan J, Quingfang H. 2015. Effects of straw mulch on soil water and winter wheat production in dryland farming. *Scientific Reports* **5**: 10725
- Plíva P, Kovaříček P, Vlášková M. 2012. Význam organické hmoty (kompostu) pro půdní strukturu. *Zpravodaj Bio* **6**: 19-20.
- Pražan J, et al. 2007. Analýza adaptačních opatření na změnu klimatu na území ČR v oblasti zemědělství výstup funkčního úkolu MZe ČR č. 4228, 218 s.
- Puangbut D, Jogloy S, Vorasoot N. 2017. Association of photosynthetic traits with water use efficiency and SPAD chlorophyll meter reading of Jerusalem artichoke under drought conditions. *Agricultural Water Management* **188**: 29-35.
- Rahma AE., Warrington DN, Lei T. 2019. Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China. *International Soil and Water Conservation Research* **7**: 335-345.

- Ramírez DA, Yactayo W, Gutiérrez R, Mares VD, Mendiburu F, Posadas A, Quiroz R. 2014. Chlorophyll concentration in leaves is an indicator of potato tuber yield in water-shortage conditions. *Scientia Horticulturae* **168**: 202-209.
- Ramírez DA, Rolando JL, Yactayo W, Monneveux P, Roberto QA. 2015. Improving potato drought tolerance through the induction of long-term water stress memory. *Plant Science* **238**: 26-32.
- Ranjan P, Patle GT, Prem M, Solanke KR. 2017. Organic Mulching - A Water Saving Technique to Increase the Production of Fruits and Vegetables. *Current Agriculture research journal* **5**: 371- 380.
- Raymundo R, Assenga S, Robertson R, Petsakos A, Hoogenboom G, Quiroz R, Hareau G, Wolf J. 2018: Climate change impact on global potato production. *European Journal of Agronomy* **100**: 87-98.
- Reinermann S, Gessner U, Asam S, Kuenzer C, Dech S. 2019. The effect of droughts on vegetation condition in Germany: An analysis based on two decades of satellite earth observation time series and crop yield statistic. *Remote Sensing* **11**: 1783.
- Ridwan I, Brown PH, Lisson SN, Wahyuny C. 2014. Effect of temperature and water potential on sprout vigor of potato (*Solanum tuberosum* L.) seed tuber. *International Journal of Agriculture System* **2**: 103-111.
- Richards CL, Schrey AW, Pigliucci M. 2012. Invasion of diverse habitats by few Japanese knotweed genotypes is correlated with high epigenetic differentiation. *Ecology Letters* **15**: 1016–1025.
- Rolando JL, Ramírez RA, Yactayo W, Monneveux P, Quiroz R. 2015. Leaf greenness as a drought tolerance related trait in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Environmental and Experimental Botany* **110**: 27-35.
- Romero AP, Alarcón A, Valbuena RI, Galeano CH. 2017. Physiological assessment of water stress in potato using spectral information. *Frontiers in Plant Science* **8**: 1608.
- Rožnovský J. 2014. Změny podnebí. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, 113 s. ISBN 978-80-7414-883-5
- Růžek P, et al. 2017. Praktická doporučení hospodaření s půdní vláhou. Výzkumný ústav rostlinné výroby (doplňující text pro kalkulačku vláhové potřeby), 36 s.
- Rybáček V, et al. 1988. Brambory. Státní zemědělské nakladatelství Praha, 358 s.
- Rykaczewska K. 2017. Impact of heat and drought stresses on size and quality of the potato yield. *Plant, Soil and Environment* **63**: 40-46.

- Saravia D, Farfán-Vignolo ER, Gutiérrez R, Mendiburu FD, Schafleitner R, Bonierbale M, Khan MA. 2016. Yield and physiological response of potatoes indicate different strategies to cope with drought stress and nitrogen fertilization. *American Journal of Potato Research* **93**: 288–295.
- Setiyo Y, Gunadnya IBP, Gunam IBW, Permana DGM, Susrusa KB, Triani GAL. 2016. Improving physical and chemical soil characteristic on potatoes (*Solanum tuberosum* L.) cultivation by implementation of Leisa system. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **9**: 525–531.
- Shahnazari A, Liu F, Andersen MN, Jacobsen SE, Jensen CHR. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research* **100**: 117-124.
- Sharma N, Rawal S, Kadian M, Arya S, Bonierbale M, Singh BP. 2014. Evaluation of advanced potato clones for drought tolerance in arid zone in Rajasthan, India. *Potato Journal* **41**: 189-193.
- Sofyan S, Mustafa M, Baharuddin B, Rampisela DA. 2014. The effect of mulch and fertilizer on soil temperature of a potato growth. *International Journal of Agriculture Systems* **2**: 91-102.
- Sreyashi P, Farooq M, Bhattacharya SS, Gogoi N. 2017. Management strategies for sustainable yield of potato crop under high temperature. *Archives of Agronomy and Soil Science* **63**: 276-287.
- Spitters CJT, Schapendonk AHCM. 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. *Plant and Soil* **123**: 193-203.
- Špaldon E. (eds.). 1982. *Rastlinná výroba. Příroda*. 628 p.
- Štípek K, Šilha J, Poláková M, Hrnčířová Ž, Navrátil M, Kovařík A, Bureš S. 2018. Rezervy hledejme v půdě. *Agromanuál* **1**: 52.
- Taheri N, Sharif-Abad HH, Yousefi K, Roholla-Mousavi S. 2012. Effect of compost and animal manure with phosphorus and zinc fertilizer on yield of seed potatoes. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **12**: 705-714.
- Teixeira J, Pereira S. 2007. High salinity and drought act on an organ-dependent manner on potato glutamine synthetase expression and accumulation. *Environmental and Experimental Botany* **60**: 121-126.
- Tolasz R. 2007. *Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav*. Praha. 255 pp.

- Tomczyk AM, Bednorz E. 2016. Heat waves in Central Europe and their circulation conditions. *International Journal of Climatology* **36**: 770–782.
- Trnka M, Hlavinka P, Balek J, Zagrabiček P, Štěpánek P, Možný M, Bláhová M, Semerádová D, Kudláčková L, Žalud Z. 2019. Zemědělské sucho v kontextu změny klimatu. Pages 28-30. Sucho 2014-2018 (sborník abstraktů). ČHMÚ, ČVTVHS, VÚVTGM.
- Tumsavas Z. 2017: Use of wheat straw as mulching material to control surface runoff and soil loss. *Fresenius Environmental Bulletin* **26**: 7384-7392.
- Vlastníková H, Sedlák P, Kocourková Z, Kohutová Z, Domkářová J. 2005. Hodnocení variability planých druhů rodu lilek (*Solanum* Tourn.) pomocí metody RAPD. Osivo a sadba VII. ČZU v Praze, 169 -174. ISBN: 80-213-1286-6.
- Vlček V., Brtnický M., Pokorný E. 2010. Pedoklimatické změny některých půdních vlastností. Pages 31-34 in Rožnovský J, Litschmann T. editors. Voda v krajině. 31.5. – 1.6.2010. Lednice.
- Vokál B. (ed.). 2013. Brambory: šlechtění – pěstování – užití – ekonomika. 1. vydání. Profi Press, Praha. 160 s. ISBN 978-80-86726-54-0
- Vokál B. (ed.). 2004. Technologie pěstování brambor (Rozhodovací systémy pro optimalizaci pěstitelských technologií u jednotlivých užitkových směrů brambor. 1. vydání. Praha: ÚZPI, 91 s. ISBN 80-7571-155-5.
- Vyskot B. 2007. Úlohy adaptačních mechanismů v procesech ontogeneze a evoluce. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. VÚRV- ČZU. Sborník příspěvků, 21- 22 s.
- Walter J, Nagy L, Hein R, Rascher U, Beierkuhnlein C, Willner E, Jentsch A. 2011. Do plants remember drought? Hints towards a drought-memory in grasses. *Environmental and Experimental Botany* **71**: 34-40.
- Welbaum GE. 2015. Vegetable Production and Practices. CABI. 486 s. ISBN: 978-1-84593-802-4
- Wilson C, Zebarth BJ, Burton DL, Goyer C, Moreau G, Dixon T. 2019. Effect of diverse compost products on potato yield and nutrient availability. *American Journal of Potato Research* **96**: 272-284.
- Xiangnan L, Fulai L. 2016. Drought stress memory and drought stress tolerance in plants: Biochemical and Molecular Basis. Pages 17-44 in Mohammad Anwar H, Wani SH,

- Bhattacharjee S, Burritt DJ, Tran LSP, editors. Drought Stress Tolerance in Plants, Vol 1. Springer International Publishing, Switzerland.
- Xu ST, Zhang L, McLaughlin NB, Mi JZ, Chen Q, Liu JH. 2014. Evaluation of synthetic and natural water absorbing soil amendments for potato production in a semi-arid region. *CIGR Journal* **16**: 24-33.
- Yactayo W, Ramírez DA, Gutiérrez R, Mares V, Posadas A, Quiroz R. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* **123**: 65-70.
- Zahradníček P, Štěpánek P, Rožnovský J. 2018. Změna vcharakteru srážek důležitých pro vznik eroze. 13 pp. in Rožnovský J, Litschmann T, editors. Water management in the landscape. 21.–22. 6. 2018. Třeboň.
- Žalud Z, Trnka M, Hlavinka P. 2020. Zemědělské sucho v České republice - vývoj, dopady a adaptace. Agrární komora České republiky. 112 p. ISBN 978-80-88351-02-3
- Zarzecka K, Gugala M. 2013. Performance of one potato plant as influenced by soil conditioner Ugmax. *Journal of Ecological Engineering* **14**: 45–49.
- Zarzyńska K, Boguszewska-Mańkowska D, Nosalewicz A. 2017. Differences in size and architecture of the potato cultivars root system and their tolerance to drought stress. *Plant, Soil and Environment* **63**: 159–164.
- Zrůst J, Vacek K, Hála J, Janáčková I, Adamec F, Ambrož M, Dian J, Vácha M. 1994. Influence of water stress on photosynthesis and variable chlorophyll fluorescence of potato leaves. *Biologia Plantarum* **36**: 209-214.

9.2 Internetové zdroje

- Batysta M, Vopravil J. 2016. Půdou proti suchu. Vesmír. Available from vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2016/11/pudou-proti-suchu.html (accessed November 2016).
- Bláha L, Hermuth J, Salava J. 2017. Význam celistvosti rostlin pro šlechtění. Agromanuál. Available from www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/vyznam-celistvosti-rostlin-pro-slechteni (accessed August 2020).
- Čermák V, Motylová Š. 2015. Džungle epigenetických modifikací u rostlin. Vesmír. Available from vesmir.cz/2015/02/02/dzungle-epigeneticky-ch-modifikaci-rostlin/ (accessed December 2016).

- Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O. 2019. Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam. Agromanuál. Available from www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam (accessed November 2019).
- Český statistický úřad. 2020. Available from www.czso.cz/csu/czso/zemedelstvi_zem (accessed July 2020).
- Domkářová J. 2019. České konzumní odrůdy brambor. Agromanuál. Available from www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/ceske-konzumni-odrudy-bramboru (accessed August 2020).
- Dvořák P. 2018. Seznam Zprávy. Available from www.seznamzpravy.cz/clanek/teplota-stoupne-na-tropicky-35-stupnu-o-vikendu-prijde-zlomove-ochlazen-53459?dop-variant=0&seq-no=2&source=hp (accessed August 2018).
- Intersucho. Available from www.intersucho.cz/cz/
- Kasal P. 2017. Má závlaha brambor na Vysočině do budoucna význam, ano, či ne? [online]. Úroda. Available from uroda.cz/ma-zavlaha-brambor-na-vysocine-do-budoucn-vyznam-ano-ci-ne/ (accessed September 2017).
- Kasal P. 2016. Nová půdoochranná opatření při pěstování brambor. Agromanuál. Available from www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/nova-pudoochranna-opatreni-pri-pestovani-brambor (accessed March 2016).
- KOB. 2020. Katalog odrůd brambor registrovaných v ČR. Available from www.katalogbrambor.cz/katalog (accessed August 2020).
- Kovaříček P, Hůla J, Vlášková M. 2015. Effect of fertilizing with compost on the surface runoff during rainfall. VÚZT. Agritech science 15. Available from www.agritech.cz/clanky/2015-1-6.pdf (accessed July 2016).
- Nishihara, A., Shock, C. 2001. Cost and benefits of mechanical straw mulch application to irrigation furrows. Oregon State University Ontario, Oregon. Available from www.cropinfo.net/bestpractices/strawmulchreport.php (accessed December 2015).
- Seyedbagheri, Mir-M. 1999. Evaluation of compost in organic potatoes. Available from www.uidaho.edu/-/media/UIdaho-Responsive/Files/Extension/county/Elmore/Potatoes/compostingpotatoes1.pdf (accessed November 2019).
- Shinde R, Sarkar PK, Thombare M. 2019. Soil Conditioners. Agriculture and Food: e-newsletter. Available from

- www.researchgate.net/profile/Nandkishore_Thombare/publication/337161125_Soil_Conditioners/links/5dc93f9d92851c818043da30/Soil-Conditioners.pdf (accessed November 2019).
- Trnka. 2018. Dopad sucha je veliký, jsou zasaženy zemědělské plodiny. Týden. Available from www.tyden.cz/rubriky/domaci/pocasi/dopad-sucha-je-veliky-jsou-zasazeny-zemedelske-plodiny-tvrdi-odbornik_480965.html (accessed May 2018).
- Quitt, E. 1971. Klimatické regiony ČR- mapa. Available from www.ovocnarskaunie.cz/sispo/klimreg/mapa.jpg (accessed January 2018).
- potatoPRO. 2018. Not enough potatoes germany extreme drought impacts supply emsland group. Available from www.potatopro.com/news/2018/not-enough-potatoes-germany-extreme-drought-impacts-supply-emsland-group (accessed January 2020).
- potatoPRO. 2020. Europe. Available from www.potatopro.com/europe/potato-statistics (accessed January 2020).
- reddit. 2018. Map showing density of potato cultivation in early 20th century Europe. Available from www.reddit.com/r/MapPorn/comments/6evp gm/map_showing_density_of_potato_cultivation_in/ (accessed April 2018).
- Zavadil J. 2006. Principy a řízení závlahy brambor. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Available from http://www.hydtromeliorace.cz/CVICID/skupiny/zavlahy/havl_brod/zavadil_1.pdf (accessed January 2020).
- Žalud Z. 2019. Za problémy sedláků se suchem může ze 70 procent klima, míní odborník. ČTK. Available from www.ceskenoviny.cz/zpravy/za-problemy-sedlaku-se-suchem-muze-ze-70-procent-klima-mini-odbornik/1850063 (accessed February 2020).