

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Vliv vodního stresu na vodní režim lilku bramboru**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Lucie Jindrová**

**Obor studia: Fytotechnika, Rostlinná produkce**

**Vedoucí práce: doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.**

© 2020 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv vodního stresu na vodní režim lilku bramboru" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22. 7. 2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Františku Hnilčkoví, Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Děkuji za cenné rady, ochotu, čas a trpělivost, kterou mi věnoval při vypracování této práce i během studia.

# Vliv vodního stresu na vodní režim lilku bramboru

## Souhrn

Tématem diplomové práce je vliv vodního stresu na relativní obsah vody a vodní potenciál listů lilku bramboru (*Solanum tuberosum* L.) v průběhu ontogenetického vývoje rostlin v závislosti na působení nedostatku a nadbytku vody. Deficit vody je běžným stresem v produkci brambor, který často vede ke snížení výnosu a kvality hlíz. Jelikož jsou brambory považovány za rostliny citlivé, je nezbytné studovat toleranci různých odrůd lilku bramboru vůči vodnímu stresu. Cílem práce bylo zjistit rozdíly ve vodním režimu brambor vlivem nedostatku, nebo naopak nadbytku vody mezi vybranými odrůdami lilku bramboru.

Pro studium vodního stresu byl založen skleníkový pokus se čtyřmi odrůdami brambor (Laura, Marabel, Milva a Valfi). Pokus byl založen ve třech různých variantách. Zavlažovaná kontrola, trvalé zamokření a třetí varianta představovala vodní deficit. Rostliny všech experimentálních variant byly dvakrát hnojeny 3% roztokem NPK ve 450 ml zálivky v době kvetení (26. den pokusu) a v době tvorby hlíz (53. den pokusu). Změny vodního režimu rostlin byly sledovány průběžným měřením relativního obsahu vody a vodního potenciálu.

Ze získaných dat vyplývá, že rostliny lilku bramboru reagovaly citlivěji na vodní deficit než na podmínky zamokření. Byla potvrzena hypotéza, že mezi sledovanými genotypy brambor existují rozdíly v toleranci vůči vodnímu stresu. Vliv vodního stresu u jednotlivých odrůd lilku bramboru způsobil pokles hodnot osmotického potenciálu a snížení hodnot relativního obsahu vody u varianty stresované suchem. Výraznější rozdíly byly zaznamenány u rostlin stresovaných suchem. Při stanovení relativního obsahu vody byla prokázána nejvyšší odolnost vůči vodnímu deficitu u odrůdy Valfi (82,4 %) naopak nejcitlivěji reagovala odrůda Marabel (71,8 %). Na základě stanovení vodního potenciálu vykazovala nejvyšší odolnost vůči suchu odrůda Laura (-0,9 MPa), nejcitlivěji reagovala odrůda Milva (-1,4 MPa). Nejvyšší odolnost vůči hypoxii na základě měření relativního obsahu vody byla zaznamenána u odrůdy Valfi (85,8 %) a nejcitlivěji reagovala odrůda Marabel (74,6 %).

**Klíčová slova:** lilek brambor, vodní deficit, anoxie, vodní potenciál

# Effect of water stress on the water regime of potatoes plants

## Summary

This thesis deals with the influence of water stress on relative amount of water and water potential of the potato plant leaves (*Solanum tuberosum* L.) during ontogenetic development of plants, in relation to lack or excess of water. Water deficit is a common stress in potato production, which often leads to decline in production and quality of tubers. Potatoes are sensitive plants, which means it is necessary to study tolerance between different varieties of potatoes in relation to water stress. The main goal of this thesis was to determine differences in water regime of potatoes, while being affected by lack or by excess of water between selected varieties of potatoes.

In order to study water stress, greenhouse experiment was performed with four different varieties of potatoes (Laura, Marabel, Milva and Valfi). The experiment was performed in three different variations. Controlled irrigation, permanent humidity and water deficit. Plants in all experimental variations were fertilized twice with 3% solution of NPK in 450 ml of watering during the time of flowering (26<sup>th</sup> day of experiment) and during tuber formation (53<sup>rd</sup> day of experiment). Changes in water regime of the plants were observed by continuous measuring of the relative amount of water and water potential.

The data suggest that potato plants reacted more sensitively in case of water deficit, rather than in permanent humidity. This hypothesis proved that there are differences in tolerance between observed genotypes of potatoes in connection to water stress. Influence of water stress on individual varieties of potatoes caused decline in values of osmotic potential and decline of the relative amount of water in case of potatoes stressed by drought. More significant differences were registered in case of plants stressed by drought. During determination of relative amount of water was proved that the highest endurance against water deficit was measured in variety of Valfi (82,4 %), however the most sensitive reaction was from variety of Marabel (71,8 %). Based on determination of water potential, variety of Laura (-0,9 MPa) showed the highest endurance against drought, however, the reaction was the most sensitive in case of variety of Milva (-1,4 MPa). The highest endurance against hypoxia based on measurement of relative amount of water was recorded in case of variety of Valfi (85,8 %), with the most sensitive reaction of variety of Marabel (74,6 %).

**Key words:** potato, water deficit, anoxia, water potential

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....	<b>8</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1 Lilek brambor (<i>Solanum tuberosum</i> L.)</b> .....	<b>9</b>
3.1.1 Historie pěstování brambor.....	11
3.1.1.1 V Evropě.....	11
3.1.1.2 V Čechách.....	12
3.1.1.3 Výměra, odrůdy .....	15
3.1.2 Obecná koncepce stresu.....	17
3.1.2.1 Voda v rostlinném těle.....	19
3.1.2.2 Vodní deficit a jeho vliv na rostliny .....	19
3.1.2.3 Nadbytek vody a jeho vliv na rostliny .....	26
3.1.2.4 Lilek brambor a vodní stres .....	27
<b>4 Metodika</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1 Charakteristika odrůd</b> .....	<b>29</b>
4.1.1 Laura .....	29
4.1.2 Marabel .....	30
4.1.3 Milva.....	30
4.1.4 Valfi .....	31
<b>4.2 Založení pokusu</b> .....	<b>31</b>
<b>4.3 Měřené charakteristiky</b> .....	<b>32</b>
4.3.1 Stanovení relativního obsahu vody.....	32
4.3.2 Stanovení vodního potenciálu.....	32
<b>4.4 Statistické vyhodnocení výsledků</b> .....	<b>33</b>
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1 Relativní obsah vody</b> .....	<b>34</b>
<b>5.2 Osmotický potenciál</b> .....	<b>35</b>
<b>6 Diskuze</b> .....	<b>44</b>
<b>6.1 Relativní obsah vody (RWC)</b> .....	<b>44</b>
<b>6.2 Osmotický potenciál</b> .....	<b>44</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>46</b>
<b>8 Literatura</b> .....	<b>47</b>

# 1 Úvod

Lilek brambor, též brambor obecný či brambor hlíznatý (*Solanum tuberosum* L.) patří spolu s pšenicí, rýží a kukuřicí k nejvýznamnějším kulturním plodinám na světě. Plní nezastupitelnou roli ve výživě lidí, uplatňují se jako krmivo pro hospodářská zvířata a mají i mnohostranné průmyslové využití (výroba škrobu, lihu, kosmetiky).

Jedná se o plodinu nenáročnou na půdu a stanoviště. Preferuje chladné podnebí s mírným a plným slunečním svitem, mírnými denními teplotami a chladné noci. Avšak jako většina kulturních plodin, tak i rostlina lilku bramboru, vyžaduje dostatek vláhy pro zajištění dobrých výnosů. Počasí se v posledních letech stává proměnlivějším, častěji se vyskytují povětrnostní extrémy. Zvyšuje se průměrná teplota vzduchu a vzrůstá nerovnoměrnost rozdělení srážek. V roce 2015, 2017 a 2018 byl zaznamenán významný nedostatek srážkové vody, velká část zemědělské produkce byla nedostatkem srážek zasažena. Sucho, způsobené nedostatkem vody je považováno za nejvíce limitující stresor pro růst a vývoj většiny rostlin, jelikož snižuje aktivitu enzymů v rostlině a zpomaluje její růst. Příjem vody rostlinou je závislý také na obsahu živin a solí v půdě a na půdní reakci. Nedostatek vody u vyšších rostlin má za následek pokles tlaku protoplastu na buněčnou stěnu (turgoru), který vede ke snížení intenzity růstu a později i omezení fotosyntézy (uzavíráním průduchů dochází ke zpomalení výměny CO<sub>2</sub>). Stres může vznikat nejen z nedostatku vody, ale i jako důsledek nadbytku vody. U rostlin dochází následkem nadměrného množství vody a následným zhoršením provzdušněnosti půdy k hypoxii a anoxii. Tím u rostlin dochází opět k narušení fyziologických a hormonálních procesů a dochází ke snížení vitality rostlin.

Vzhledem k řídkému a mělkému kořenovému systému a velké listové ploše je lilek brambor velmi citlivý na vodní stres. Deficit vody je významným stresem v produkci brambor, protože vede ke snížení výnosu a kvality hlíz. Účinným opatřením je použití závlah. Toto řešení je nejen nákladné, ale také závislé na dostatku vody a přístupu k vodním zdrojům. Na efektivní využívání vody je a bude kladen stále větší důraz. Z tohoto důvodu se v dnešní době hledají možnosti, jak nejefektivněji řešit negativní dopady sucha na kvalitu a výnos zemědělské produkce. Mezi tyto možnosti lze zařadit šlechtění na vyšší adaptabilitu rostlin k suchu, výběr vhodných odrůd s ohledem na stanoviště a dodržování správné agrotechnické praxe.

## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Vliv vodního stresu se neprojevuje pouze nedostatkem vody, ale také jejím nadbytkem. Oba tyto stresory ovlivňují růst rostlin a jejich metabolismus. Vzhledem k měnícímu se klimatu jsou polní plodiny vystaveny nejenom přisušku, ale také zamokření způsobené přívalovými či dlouhodobými dešti.

Navrženým cílem práce je:

- a) zjistit rozdíly v relativním obsahu vody a vodním potenciálu listů lilku bramboru v průběhu ontogenetického vývoje rostlin v závislosti na působení nedostatku a nadbytku vody.

Na základě stanoveného cíle práce jsou navrženy následující hypotézy:

- a) existují rozdíly mezi sledovanými genotypy brambor na vodní stres,
- b) existuje vliv nadbytku a deficitu vody na relativní obsah vody a vodní potenciál,
- c) reagují sledované genotypy brambor lépe na nadbytek nebo nedostatek vody v substrátu.

Lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.) byl vybrán jako modelová plodina pro jeho široké uplatnění. Plní nezastupitelnou roli ve výživě lidí, dále jako krmivo pro hospodářská zvířata, nebo jako surovina pro průmyslové zpracování (škrob, etanol, kosmetika). Lilek brambor patří k nejvýznamnějším kulturním plodinám na světě.

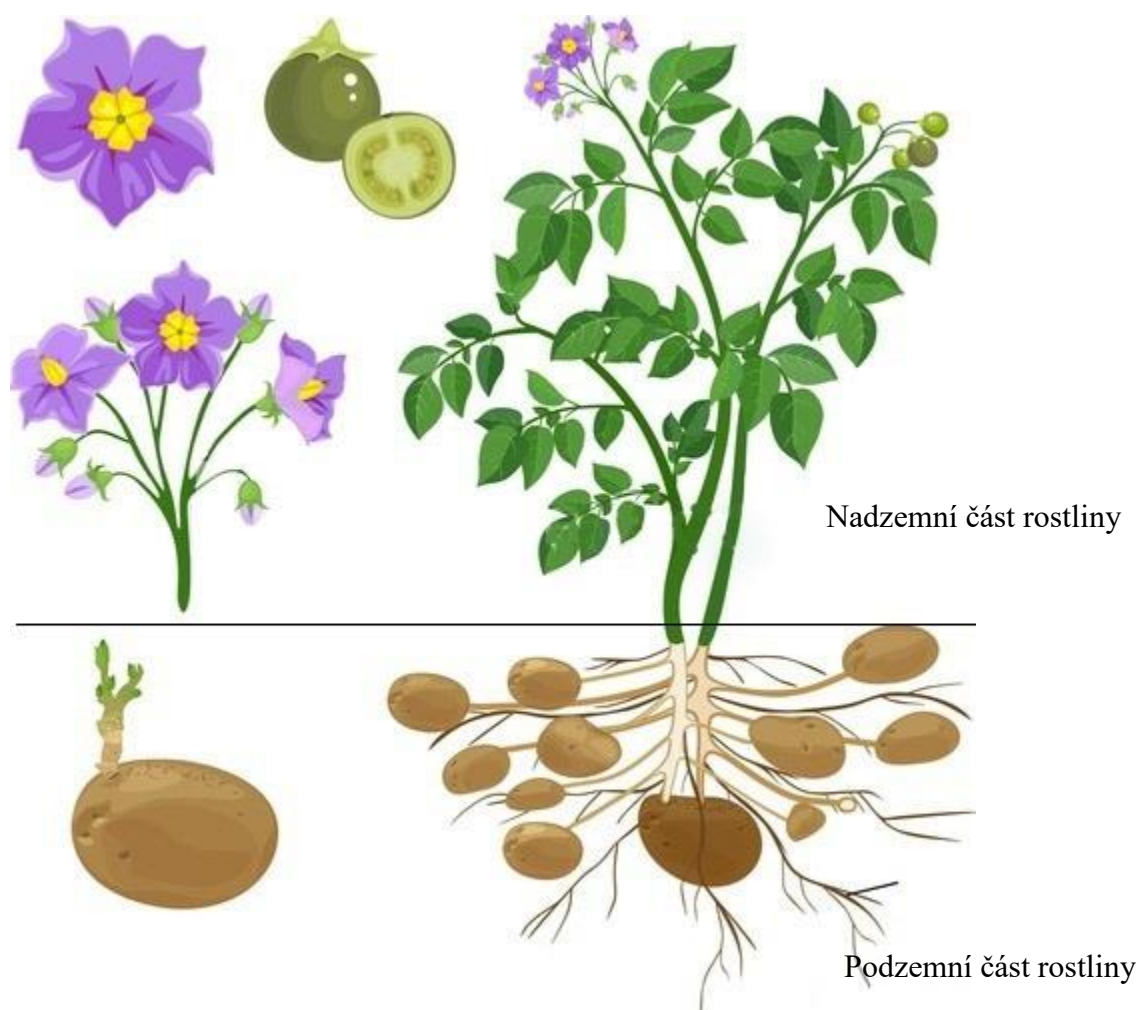


### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Lilek brambor (*Solanum tuberosum* L.)

Lilek brambor náleží do rodu lilek (*Solanum* Tourn.) a čeledi lilkovitých (*Solanaceae* Pers.) (Vreugdenhil et al. 2011). Slavík et al. (2000) uvádí společné vlastnosti čeledi lilkovitých, kterými jsou: tvorba jedovatých glykosidů a alkaloidů, jež jsou obsaženy v některých jejich orgánech a bikolaterální cévní svazky, které umožňují rychlejší přesun látek mezi jednotlivými orgány. Rod *Solanum* zahrnuje jednoleté, dvouleté či víceleté byliny, polokeře, keře, v tropech i menší stromy. Lilek brambor je jednoletou bylinou, jejíž mateřské hlízy, podzemní i nadzemní orgány po vyčerpání zásob v průběhu vegetace odumírají. Zachovávají se pouze nové, dceřiné hlízy se spícími pupeny a semena.

Morfologické části bramboru lze rozdělit na dvě skupiny. Podzemní část, jež tvoří kořeny, podzemní stonek, stolon a hlíza. A část nadzemní, kterou tvoří stonek, list, květenství, květ a plod (Vokál 2013) viz obr. 1.



Obrázek 1. Rostlina lilku bramboru (Adobe Stock 2020)

Jefferies (1993) uvádí, že rostlina bramboru má řídký a mělký kořenový systém, jenž činí rostlinu citlivou na nedostatek půdní vlhkosti.

Hospodářský výnos rostliny bramboru tvoří hlízy. Hlízy plní funkci zásobního orgánu a uplatňují se při vegetativním rozmnožováním. Je to zduřelý konec stolonu, vzniklý přeměnou stonku, jenž vyrostl z úžlabního pupenu. Jeho délka je do určité míry dána geneticky, dále nakypřeností půdy a množstvím vody v období růstu. Délka stolonu souvisí i s rozmístěním hlíz okolo trsu. Po prodlužovací fázi přichází stočení vrcholového pupenu. Vytváří se háčkový stolon, který začíná tloustnout v hlízu. Proces se nazývá tuberizace (Hruška et al. 1974). Hlízy mají daný tvar, velikost, barvu, vzhled pokožky a barvu dužiny genotypově. Změny ve tvaru hlíz mohou být ovlivněny povětrnostními podmínkami a stanovištěm (Vokál 2013).

Charakter trsu rostliny udává lodyha a listy. Genotypové rozdíly prýtu určují počet lodyh, jejich výšku, postavení a větvení. Na základě mezinárodní klasifikace nadzemní části rostliny rozlišujeme řídký stonkový typ s menšími řídky rozloženými listy, stonkový typ, hustý stonkový typ, listový hustý typ s velkými listy překrývajícími celou rostlinu, hustý listový typ a řídký listový typ s listy nepřekrývajícími celou rostlinu. Tvar trsu rozeznáváme kuželovitý, zarovnaný a deštníkovitý (Hruška et al. 1974).

Podle Vokála (2013) jsou genotypovými znaky stonku výška a tloušťka. V blízkosti hlízy je stonek poměrně tenký a směrem k vrcholu se rozšiřuje. Na průřezu je stonek trojboký, nepravidelně hranatý a někdy i kulatý.

Uspořádání listu bramboru je přetřhaně lichospeřený. Listy jsou ochmýřené (Vokál 2013).

Květenstvím lilku brambor je dvojvijan vyrůstající na konci lodyhy z paždí posledního nebo bočního listu na květní stopce. Květ se skládá z pěti kališních lístků, pěti tyčinek s krátkými nitkami, prašníky a z pestíku. Některé odrůdy bramboru mají dvojkorunky, jenž se skládají z deseti korunních lístků. Intenzita barvy květu je od bílé po blankytně modrou až po modrofialovou, či červenofialovou. Plodem je oválná, zelená, dužnatá bobule. Uvnitř 20-40 mm velké bobule je 50-100 bílých semen vejčitého tvaru (Vokál 2013).

### 3.1.1 Historie pěstování brambor

Lilek brambor je rostlinou nového světa, stejně, jako tabák a kukuřice. Na rozdíl od tabáku a kukuřice se brambory zpočátku nestaly příliš oblíbenou plodinou. Dle Kutnara (2005) to mohlo být způsobeno nezvyklostí jedlé části rostliny, jenž tvoří hlízy v zemi, zatímco u jiných plodin se jedlé části vytvářejí nad zemí (Kutnar, 2005).

Domovinou brambor je velká kulturní oblast v západní části Jižní Ameriky na náhorních rovinách And. V dnešní době se jedná o území Kolumbie, Peru, Bolívie a střední Chile. Odtud pocházejí dva druhy lilku brambor: *Solanum andigenum* a *Solanum tuberosum* (Kutnar 2005). Kulturní druh bramboru *Solanum andigenum* Juz. et Buk pochází z Peru a Bolívie. Zatímco druh *Solanum tuberosum* L. je Chile (Rybáček et al. 1988). Kutnar (2005) uvádí, že dle anglického botanika Salamana, se vývoj brambor, jako kulturní plodiny, datuje od pleistocénu. Druh *Solanum andigenum* se rozšířil po oblastech And stěhováním Indiánů.

Evropští mořeplavci a dobyvatelé se s bramborami setkali na počátku 16. století na území Inků, v dnešním Peru (Vokál 2013).

#### 3.1.1.1 V Evropě

Brambory se do Evropy dostávaly dvěma směry. Starší, jižní, cesta vedla přes španělský přístav Seville. Z přístavu pak brambory putovaly do jižní a střední Evropy. Mladší, severní, cesta vedla přes Londýn, britské ostrovy do severní Evropy a také do Severní Ameriky. Dvě cesty souvisely s bojem tehdejších dvou námořních velmocí, Anglie a Španělska, o nadvládu u nově objevených zemí a získáním jejich přírodního bohatství (Kutnar 2005).

První zmínky o nové plodině zanechal roku 1537 Castellanos, účastník výpravy admirála Jimeneze do Jižní Ameriky. Dalším, kdo se zmiňuje o plodině podobné lanýžům, byl kronikář Pedro de Gaza de Leon roku 1550. V šedesátých letech 16. století se brambory, spolu s pepřem, rajčaty a slunečnicí dostaly z Peru do Španělska. První zmínky o pěstování brambor jsou až z roku 1573, ze zápisu španělského špitálu v Seville, který kupoval brambory pro nemocné (Kutnar 2005).

Do střední Evropy se brambory dostaly na konci 16. století. Prvním, kdo detailně popsal a zobrazil rostlinu bramboru, byl Clausius v botanickém díle *Rariarum plantarum historia* v roce 1601. Clausius v tomto díle pojmenoval rostlinu *Papas Peruanorum*. Francouzi pojmenovali brambory *pommes de terre* – jablka země. Roku 1596 dostala rostlina bramboru latinský název *Solanum tuberosum esculentum*. Tento latinský název se objevil v botanickém díle *Phytopinax*, jehož autorem byl Kaspar Brauhin (Kutnar 2005).

Severní cestou byly brambory importovány do Evropy přes Irsko a Anglii. Do Londýna se dostaly přes španělský přístav Cartagena v polovině osmdesátých let 16. století. Walter Raleigh přivezl brambory do Irska a Francis Drako je přivezl do Anglie. Brambory se staly polní plodinou nejdříve v Irsku, a to dle písemných zmínek roku 1640, v Anglii ve Walesu roku 1667. V Irsku také vytvořili druhou skupinu bramborových odrůd. Tyto odrůdy se vyznačovaly kulatým tvarem hlíz s bílou nebo žlutou slupkou a bílými nebo fialovými

květy. Angličtí emigranti a první osadníci převezli s sebou tyto odrůdy do Severní Ameriky, kde vznikaly anglické kolonie (Kutnar 2005).

První popis brambor zaznamenal v Anglii správce botanické zahrady lorda Burleigha. Avšak se mylně domníval, že je jejich původ v severoamerické Virginii, a tak je pojmenoval „Potatoes of Virginia“ (Kutnar 2005).

Ve střední Evropě se začaly brambory objevovat až na konci 16. století, ale pouze jako rostlina šlechtických a klášterních zahrad (Vokál 2013). Na sever a východ Evropy se brambory dostaly až na konci třicetileté války. V Rusku se objevily až za vlády cara Petra Velikého (Kutnar 2005).

### 3.1.1.2 V Čechách

Vzhledem k nedostatku historických zpráv nelze přesně uvést, jestli se do českých zemí dostal lilek brambor cestou severní, či jižní (Kutnar 2005; Vokál 2013). Mathioliho Herbář aneb Bylinář, upravený Tadeášem Hájkem z Hájku, vydaný roku 1596, se o rostlině bramboru nezmiňuje. Zmiňuje se jíž o rostlině tabáku, která k nám byla dovezena přes Francii a o kukuřici, jenž byla dovezena z Německa (Kutnar 2005).

Brambory do našich zemí pronikly na počátku 17. století. V roce 1632 se objevily jako pochoutka na stole majitele jindřichohradeckého panství Viléma Slavaty z Chlumu. Tuto pochoutku mu věnovali jindřichohradečtí františkáni, kteří je pěstovali ve svých zahradách. Během 17. století se v českých zemích lilek brambor rozšiřuje jako rostlina šlechtických, klášterních a městských zahrad (Vokál 2013). V habsburských zemích zaznamenává pěstování brambor na polích J. H. Becher roku 1682, a v polovině 18. století z nich připravoval líh (Kutnar 2005).

Na počátku osmnáctého století se začínají pěstovat okolo hustě osídlených hornických měst na Jáchymovsku, Příbramsku a Vlašimsku (Rybáček et al. 1988). Pruský král Fridrich II. se zasloužil o jejich intenzivnější pěstování vydáním administrativních opatření. Další písemná zmínka o pěstování brambor na polích je z roku 1764 od Františka Švendy. Ten zaznamenává jejich pěstování na polích v Českomoravské Vysočině (Kutnar 2005). První pojednání o bramborách a o rozsahu pěstování brambor sepsal Jan Braum pro C. k. vlastenecko-hospodářskou společnost v království českém v roce 1770 (Rybáček et al. 1988).

Největšího rozmachu se brambory těšily v letech 1756-1772, v době válek a neúrody obilí. V té době se jejich pěstování rozšířilo i mezi prostý lid (Rybáček et al. 1988), Kutnar, 2005). Až do čtyřicátých let 19. století pěstování brambor ohrožovala pouze divoká prasata a lesní zvěř. Po roce 1846 se u brambor objevila suchá a mokrá hniloba, jenž snížila výnos bramborových hlíz o 50-70 %. Na velkostatku hraběte Salm-Reifferscheidta byla na dvoře statku Valečov v roce 1863 zřízena pěstitelská stanice, která se zabývala výběrem odrůd dle způsobu využití a odolnosti vůči chorobám (Vokál 2013).

Na přelomu 19. a 20. století, vlivem zvyšující se spotřeby brambor pro lihovarnický průmysl, docházelo k nedostatku brambor pro lidský konzum. Výkupní ceny často nedosahovaly výrobních nákladů. Tato situace vedla k úvahám o vytvoření organizace,

kteřá by se starala o cenovou politiku, zajišťovala kvalitní sadbu, stroje, zařízení, hnojiva atd. V roce 1872 se uskutečnil v Mladé Boleslavi sjezd zemědělců z Čech a Moravy, který přijal usnesení o zakládání svépomocných podniků, a tak začaly vznikat družstevní organizace. V roce 1873 byl přijat vídeňskou vládou zákon o družstevnictví. V roce 1884 byl založen spolek zemědělců, jenž se zabýval pouze problematikou brambor, lihovarnictvím a škrobárenstvím. Ten ale neměl dlouhého trvání. Jeho konec byl zapříčiněn nedostatkem odborníků a vůdčích osobností. Neměli také podporu Zemědělské rady v Praze, kde v té době už měli odbor pro brambory (Jun & Novák 2008).

Dne 23. září 1908 byl založen Svaz pěstitelů zemáků pro království České se sídlem v Praze a Svaz pěstitelů zemáků pro markrabství Moravské se sídlem v Brně. Jelikož sídla svazu byla mimo bramborářské oblasti, nastaly organizační problémy. Porady svazu a jeho valné hromady se konaly často mimo Prahu, nejčastěji v Německém Brodě. Z tohoto důvodu došlo k reorganizaci a celé vedení se přestěhovalo do Německého Brodu. Německý Brod byl centrem bramborářství a regionem s největší plochou brambor té doby. Při zasedání výboru dne 20. července 1913 byl založen první Okresní odbor Svazu pěstitelů zemáků pro království České v Praze se sídlem v Německém Brodě. K tomuto odboru se postupně připojovaly další nově vznikající odbory v jednotlivých okresech. Vývoj a vznik dalších odborů narušila první světová válka, ale přesto svaz dokázal bojovat za ochranu produkce brambor. V letech 1914-1915 se všechny odbory spojily a vznikla bramborářská organizace, nesoucí název Ústřední svaz pěstitelů zemáků (Jun & Novák 2008).

Svaz pěstitelů zemáků neměl ve svých stanovách přímé působení v obchodní politice a zpeněžování brambor. Z toho důvodu bylo usneseno na valné hromadě svazu v roce 1915 založení Družstva českých pěstitelů zemáků v Německém Brodě. Začaly se budovat družstevní sklady. Členové družstva spolupracovali i se šlechtitelskými podniky v zahraničí (Německo, Švédsko, Francie, Holandsko). Dne 2. července 1938 přejmenovali Družstvo českých pěstitelů zemáků na Sativu. Sativa se dostala na světovou úroveň a do podvědomí zemědělců u nás i v zahraničí. Spolu se svazem se podíleli na stanovení pevných cen za výkup a prodej brambor. V letech 1917-1918 se tvrdě postavili proti vyvážení brambor do Rakouska-Uherska. V roce 1916 byl při této organizaci zřízen Privátní výzkumný ústav. Zde uskutečňovali různé rozborů brambor a zkoumali porosty brambor během vegetace. V roce 1920 ústav rozšířil svoji činnost, jako soukromá organizace, a nakonec se v roce 1923 stal ústavem státním (Jun & Novák 2008).

Se vznikem Československé republiky v roce 1918 současně vznikaly nové zákony, předpisy, vyhlášky a nařízení. Po ustanovení nových norem a předpisů byl v Německém Brodě 24. dubna 1921 založen Ústřední svaz pěstitelů zemáků. Byly také založeny krajské odbory (v Německém Brodě, Táboře, Klatovech a v Bratislavě). Hlavním úkolem svazu po první světové válce bylo zvýšení ploch brambor, zvýšení výnosů a dovoz sadby ze zahraničí (Holandska, Švédska, Německa). Těsně před válkou byla plocha brambor v českých zemích 30 tisíc ha, zatímco v roce 1918 jen 22 tisíc ha a výnosy v roce 1914 činily 11 t/ha, v roce 1918 pouze 5,7 t/ha. Dále i vlastní krajové odrůdy byly podrobovány kontrolám, množeny a prodávány zemědělcům (Jun & Novák 2008).

Státní výzkumná stanice ve Valečově byla založena 19. dubna 1921 jako státní instituce (Jun, 2017), avšak její bramborářská tradice trvá od roku 1863 (Vokál, 2013). Na stanici byly z počátku ověřovány odrůdy dovážené ze zahraničí. Zároveň zde uskutečnili řadu pokusů, výživářských, odrůdových, šlechtitelských i fytopatologických. Stanice se postupně stala šlechtitelským, výzkumným a metodickým centrem bramborářů z celých Čech i ze zahraničí. Pořádaly se zde přednášky, kurzy a školení o chorobách a škůdcích brambor (Jun 2017).

Státní výzkumný ústav bramborářský v Německém Brodě byl založen 22. září 1920 a ještě téhož roku byla zahájena výzkumná činnost. Činnost řídila pěstitelská komise. Ústav byl rozdělen na tři (r. 1938) později na čtyři (r. 1939) samostatné úseky:

1. ústav pro pěstování a zužitkování rostlin,
2. ústav lihovarský,
3. ústav pro škrobárenství a sušárnictví,
4. ústav pro ochranu rostlin (Jun & Novák 2008).

Šlechtitelská stanice v Keřkově byla založena za účelem šlechtění brambor v roce 1923. Za dobu jejího působení zde bylo vyšlechtěno více než 70 nových odrůd brambor, kterým byla přiznána originalita (Jun & Novák 2008).

Stavba Rolnického domu v Německém Brodě byla započata roku 1924 a dokončena roku 1926. Tento dům se stal organizačním a hospodářským centrem bramborářů celé Československé republiky. Zde sídlila svazová centrála, sekretariát, konaly se zde valné hromady, projednávaly se návrhy na legislativní úpravy týkající se pěstování brambor. Probíhaly zde výstavy, školení, kurzy, přednášky a přijímaly se zde i zahraniční návštěvy (Jun & Novák 2008).

V letech 1931-1934 byla za účasti svazu, ministerstva zemědělství, zemědělské strany, škol, výzkumných ústavů a dalších institucí, založena síť pokusných míst a stanic. Na území ČSR jich bylo téměř 500. Realizovaly se zde srovnávací odrůdové pokusy. Na základě získaných výsledků doporučili odrůdu a agrotechniku do daných podmínek (Jun & Novák 2008).

Velkým mezníkem byl 1. říjen 1938, kdy německá vojska obsadila pohraničí Československa. Svaz tímto zásahem ztratil veškerý kontakt se zdejšími bramborářskými oblastmi. V témže roce bylo přejmenováno Hospodářské družstvo pěstitelů zemáku v Německém Brodě na Sativu. Do vedení Sativy byli dosazeni němečtí příslušníci. V roce 1939 skončilo působení Ústředního svazu pěstitelů zemáků na Slovensku. V roce 1940 byli členové předsednictva postupně různými způsoby zbavováni funkcí. Na základě rozhodnutí ministerstva zemědělství a německých úřadů byla činnost svazu 15. prosince 1943 ukončena. Veškerý jeho majetek byl zkonfiskován a přebrán Svazem zemědělství a lesnictví v Praze. Po skončení druhé světové války se někteří bývalí představitelé a někteří zemědělci pokoušeli o obnovení činnosti svazu a navrácení zkonfiskovaného majetku. Avšak neměli podporu žádné z politických stran, ani jejich představitelů (Jun & Novák 2008). Po roce 1948 byl rolníkům zabavován a zestátněn majetek, který byl pak rozdělován do znárodněných podniků. Rysy zemědělské politiky se podepsaly i na pěstování brambor. Od roku 1955 klesá plocha osázená

bramborami, klesá výnos, snižuje se škrobnatost i kvalita vypěstovaných brambor (Vokál 2013).

Od roku 1990 fungují svazy Sativa a Solana. Svazy působí na trhu spíše jako konkurenti, a tak se nedaří sjednotit české bramborářství. Objevuje se myšlenka založit svaz, který by hájil zájmy českého bramborářství a navázal na tradice Ústředního svazu pěstitelů zemáků. Dne 25. května 1993 byly valnou hromadou v Havlíčkově Brodě schváleny stanovy svazu a byli zvoleni jeho členové. Tímto vznikl Ústřední bramborářský svaz ČR. Tento svaz zavedl povinné testování sadbových brambor metodou ELISA (Jun & Novák 2008).

V současné době se novošlechtěním bramboru zabývají v České republice především Sativa Keřkov, a. s., Selektiva Pacov, a. s., Vesa Velhartice, a. s. a částečně i Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, s. r. o. (VÚB). Tvorba odrůd byla na jednotlivých pracovištích úzce specializovaná. Současná Sativa se zabývala šlechtěním konzumních odrůd s krátkou vegetační dobou, Selektiva především tvorbou odrůd s vysokým obsahem škrobu, Vesa experimentálním šlechtěním a přípravou výchozích materiálů s vyššími odolnostmi vůči chorobám a škůdcům.

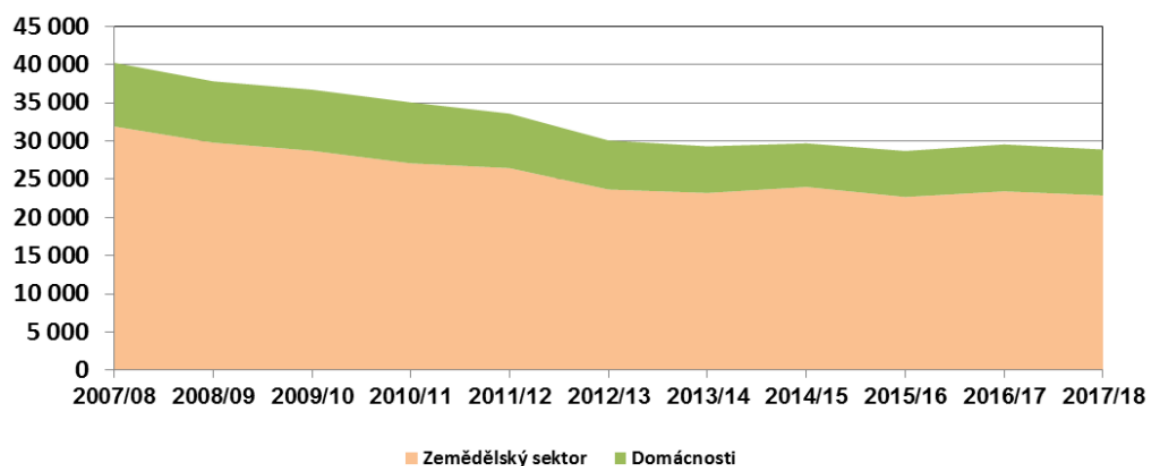
V České republice mohou být pěstovány odrůdy registrované v ČR (120 odrůd z toho 62 českých) a odrůdy registrované v ostatních státech EU (Společný katalog odrůd druhů zemědělských rostlin, který uvádí více jak 1 500 odrůd) (Domkářová et al. 2019).

### 3.1.1.3 Výměra, odrůdy

Celková osázená plocha v EU dosáhla v roce 2018 1,680 mil. ha, v roce 2017 to bylo o 66 mil. ha více. Sklizeň v roce 2018 činila 52,7 mil. tun a v roce 2017 byla sklizeň 61,4 mil. tun bramborových hlíz. Hlavní bramborářské země EU, kterými jsou Německo, Francie, Nizozemsko, Belgie a Velká Británie, předpokládaly v roce 2018 ve srovnání s rokem 2017 pokles produkce konzumních brambor o 17,8 % na celkových 24,3 mil. tun. V porovnání s pětiletým průměrem se jedná o pokles produkce o 7,9 %. Vegetační období roku 2018 se vyznačovalo vyššími průměrnými teplotami vzduchu a nedostatkem srážek, což mělo vliv na snížení produkce. V roce 2018 dosáhly plochy brambor v ČR dle ČSÚ celkem 28 893 ha, z toho v zemědělském sektoru 22 889 ha a v sektoru domácností 6 004 ha. Pro rok 2019 se předpokládá v rozhodujících bramborářských zemích EU nárůst osázených ploch brambor v průměru o 2,4 % (Žižka 2019). Vývoj osázených ploch v ČR v zemědělském sektoru minulých let je zaznamenán v tabulce č. 1.

Rok	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Plocha (ha)</b>	23 652	23 205	23 992	22 681	23 414	23 418	22 889	22 894
<b>Výnos (t/ha)</b>	27,98	23,12	29,07	22,26	29,88	29,42	25,50	27,19
<b>Sklizeň (t)</b>	661 795	536 450	697 539	504 955	699 605	688 970	583 560	622 600

Tabulka 1. Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní brambor (ČSÚ 2020)



Obrázek 2. Grafické znázornění porovnání celkových ploch brambor pěstovaných v ČR (Žižka 2019)

Z obrázku č. 2. vyplývá, že osázené plochy brambor v zemědělském sektoru mají sestupnou tendenci, zatímco plochy brambor pěstovaných pro domácí spotřebu se v průběhu let 2007-2018 příliš nemění.

Odrůdy pěstované v ČR s větší množitelskou plochou než 100 ha v letech 2014-2018 jsou Adéla, Marabel, Impala, Dali, Ornella, Eurostarch, Princess, Dali, Antonia (Žižka 2019).



### 3.1.2 Obecná koncepce stresu

Rostliny jsou během svého života vystavovány proměnlivým podmínkám vnějšího prostředí. Nepříznivé vlivy vnějšího prostředí, jež mohou zpomalovat životní funkce, poškozovat jednotlivé orgány a vést k jejich úhynu jsou označovány jako stresory. Termín stres se používá pro označení stavu, v němž je rostlina pod vlivem stresorů (Levitt 1980).

Nielsen et Orcutt (1996) uvádí, že stres je stav způsobený faktory (stresory), které mění a ovlivňují vyváženou rovnováhu fungujícího organismu. Stresory a stresové faktory jsou extrémní podmínky prostředí, které mohou vyvolat funkční změny u rostlin, vedou k inhibici růstu, fyziologické aklimatizaci, adaptaci nebo nějaké kombinaci těchto změn.

Míchal (1994) popisuje stres jako stav, v němž se nachází organismus ve fázi mobilizace obraných nebo nápravných procesů vůči vnějšímu podnětu, jenž způsobuje narušení homeostáze.

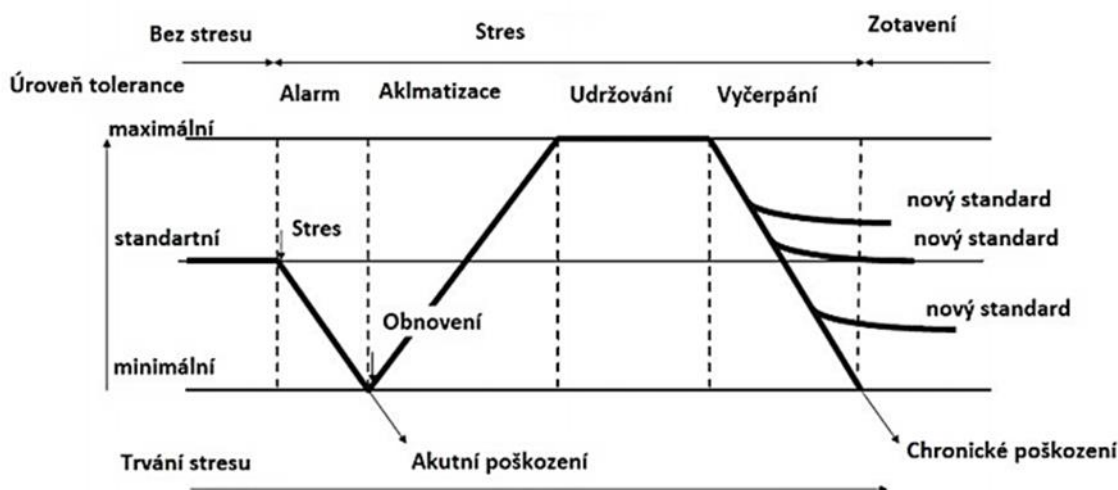
Jones a Jones (1989) definují biologický stres jako nepříznivou sílu či stav, jenž inhibuje normální fungování biologického systému. Hnilička et. al. (2016) uvádí, že pod pojmem stres rozumíme takový vliv okolních podnětů, který poškozují orgány rostlin, zpomaluje jejich vitální funkce a v krajním případě může zapříčinit jejich úhyn.

Levitt (1980) používá termíny stress a strain. Pod termínem stress zmiňuje přítomný tlak vnějšího prostředí, zatímco termín strain vysvětluje jako odezvu reagující na poškození fyziologických procesů v rostlině. Termín strain dále rozděluje na tzv. „plastic strain“ a na „elastic strain“. Plastic strain je nevratná odezva rostliny vůči stresoru, v důsledku čehož dochází k trvalému poškození rostliny. Elastic strain je proces, kdy je rostlina schopná odolávat stresoru a spouští svou odezvu, přičemž se jedná o odezvu vratnou.

Stres je nejčastěji způsoben suchem, zasolením, vyšší či nižší teplotou, nedostatkem nebo nadbytkem živin a rizikových kovů. Následkem jsou morfologické, biochemické, fyziologické a molekulární změny v rostlině. Stres způsobený abiotickými faktory působí na fotosyntézu, respiraci, asimilaci dusíku, syntézu bílkovin, způsobuje poškození membránového systému, změnu rostlinného metabolismu i jiných buněčných procesů. Stres působící dlouhodobě, může vést k redukci růstu a v extrémních případech i k úhynu rostliny (Madhava et al. 2006). Jones et. al. (2008) uvádí, že během působení těchto stresorů dochází k poškození membránového systému, změnám rostlinného metabolismu a buněčných procesů. Může se jednat také o dočasnou ztrátu buněčného turgoru, uzavírání průduchů a následnou změnu v hospodaření s vodou.

Larcher (2003) popisuje průběh stresové reakce, která je zahájena **poplachovou fází** bezprostředně po působení stresového faktoru. Následně dochází k narušení buněčné struktury a životních funkcí. V některých případech, kdy je stresor příliš silný, dochází k odumření rostliny. Pokud intenzita působení stresového faktoru nepřekročí letální úroveň, dochází k mobilizaci kompenzačních mechanismů, jedná se o fázi restituční. **Restituční fáze** směřuje ke zvýšení odolnosti vůči působícímu stresoru ve **fázi rezistence**, ta nemá vždy trvalý charakter. **Fáze vyčerpání** nastává při dlouhodobějším působení stresorů, kdy rostlina není schopna stresu dále odolávat a dochází k odumření rostliny. Průběh stresové reakce a její konečný výsledek závisí nejen na délce a intenzitě stresového faktoru, ale i na geneticky vázaných

předpokladech, které nazýváme adaptační schopnosti. Z toho vyplývá, že stres je stavem, při kterém zvýšené nároky na rostlinu vedou nejprve k destabilizaci jejich funkcí, s následnou normalizací a zvýšenou odolností (Larcher 2003). Jones et Jones (1989) poukazují na to, že biologický stav, který může být stresem pro jednu rostlinu, může být optimální pro rostlinu jinou. Schéma dynamiky reakce rostlin na abiotické stresové faktory zpracovala Kosová et al. (2011) na obrázku 3. Stresovou reakci dělí na období bez stresu, období stresu a období zotavení. Při poklesu hodnoty tolerance dochází k poplachové fázi (alarm) a začíná období stresu. Následuje období aklimatizace. Hodnota tolerance v tomto období dosahuje maxima. Nastává období udržovací, po kterém následuje období poklesu označené jako vyčerpání. Dále z uvedeného schématu vyplývá, že na rostliny působí různé stresory, na které rostliny reagují nejprve prudkou změnou úrovně tolerance. Pokud nastane změna podmínek na původní hodnotu, rostlina přejde do fáze označené jako nový standart, nedojde-li k této změně, nastává u rostlin trvalé poškození.



Obrázek 3. Průběh stresové reakce (Kosová et al. 2011)

Na základě různých okolností vzniku je možné rozdělit rostlinné stresory na přirozené (abiotické, biotické) a antropogenní, jenž vznikly působením lidské činnosti (Jones et al. 2008). Biotické a abiotické stresy obvykle dělíme do podkategorií na základě rozlišování stresorů, například voda, světlo, chlad atd. (Kadukova & Kavulicova 2010).

Kůdela et al. (2013) dle povahy abiotických stresorů a místa jejich působení rozlišují stresory do třech skupin:

1. Dle povahy stresorů:

- a. **fyzikální** – nedostatek nebo nadbytek záření, vysoká nebo nízká teplota, mechanické účinky větru a těles,
- b. **chemické** – nedostatek či nadbytek vody, živin, nedostatek kyslíku, nadbytek iontů, toxické plyny a látky, pesticidy.

2. Dle původu či místa výskytu stresorů:
  - a. **kosmické** – sluneční záření (např. ultrafialové, infračervené, fotosynteticky aktivní či viditelné),
  - b. **atmosférické** – toxické plyny a nečistoty v ovzduší,
  - c. **hydrosférické** – voda v ovzduší a půdě, ale i závlahová voda,
  - d. **pedosférické** – soli, ionty, koncentrace vodíkových iontů (pH) v půdě.
  
3. Dle ekologického a ekonomického významu stresorů:
  - a. dle rizika **ohrožení** přežití rostlinných druhů a narušení rovnovážného stavu ekosystémů,
  - b. dle rizika **narušení** zdraví rostlin a způsobilosti limitovat produkční schopnosti užitkových rostlin,
  - c. dle **způsobilosti** predisponovat užitkové rostliny k původcům infekčních chorob.

Vnější abiotické faktory, které u rostlin vyvolávají stres, se v různé intenzitě a délce trvání mohou vyskytovat po celou délku života organismu. Čím je délka života rostliny delší, tím se možnost vystavení abiotickým stresorům zvyšuje (Larcher 2003).

### 3.1.2.1 Voda v rostlinném těle

Shao et al. (2008) uvádí, že voda je životně důležitá pro růst a rozvoj rostlin. Dlouho trvající nebo dočasný stres z nedostatku vody omezuje růst a průběh přirozené vegetace a efektivitu pěstovaných rostlin více než jakékoli jiné faktory prostředí. Nedostatek vody v průběhu vegetace způsobuje rostlinám trvalé nebo dočasné omezení růstu a dochází k narušení jejich přirozeného vývoje (Kůdela et al. 2013).

Voda v rostlinném těle udržuje turgiditu buněk, tím umožňuje růst, ovlivňuje termoregulaci a uplatňuje se jako univerzální rozpouštědlo a transportní médium nejrůznějších látek. Voda je také nezbytná pro průběh metabolických procesů (Ehlers et Goss 2016). Kůdela et al. (2013) uvádí, že nezbytnost udržení vnitrobuněčného napětí je důležitá pro udržení pevnosti a mechanické stability nedřevnatých částí rostlin.

V rostlinné buňce se voda vyskytuje ve dvou základních formách. Ve formě volné a vázané. Podíl vody vázané se pohybuje okolo 5 až 10 % z celkového obsahu a je pro život buňky zásadní. I drobný úbytek vede k závažnému poškození protoplazmatické struktury a k následné smrti buňky. Voda volná se vyznačuje různými obsahovými změnami a je v buňce snadněji přemístitelná. Pro optimální biologickou aktivitu protoplazmy je důležitější dostupnost vody než její větší množství (Kůdela et al. 2013).

### 3.1.2.2 Vodní deficit a jeho vliv na rostliny

Rostliny jsou v přírodě nepřetržitě vystaveny biotickým a abiotickým stresorům. Stres z nedostatku vláhy je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících růst a produktivitu rostlin. Sucho je hrozbou z hlediska udržitelnosti produkce plodin v podmínkách měnícího se klimatu

(Anjum et al. 2011), protože srážky nejsou rovnoměrně rozděleny během vegetace (Hnilička et al. 2003). Při nedostatku vláhy v průběhu vegetace rostliny trvale nebo dočasně omezují růst a je narušen jejich přirozený vývoj. Mezi abiotické faktory, které snižují růst a produktivitu rostlin, je nejvíce ovlivňujícím faktorem nedostatek vody. V období nedostatku vody jsou rostliny citlivější k působení dalších stresorů, např. ke zvýšené teplotě okolí, protože při vodním deficitu dochází k uzavírání průduchů a snižuje se transpirace, přispívající k ochlazení rostliny (Kůdela et al. 2013).

Kostrej (1992) rozlišuje způsoby vyvolání vodního stresu a následné poškození rostlin na přímé, či nepřímé poškození rostliny a na poškození rostliny sekundárním stresem. Příмым poškozením mohou být rostliny usmrceny krátkým působením stresu (např. zamrznutí organismu). K nepřímému poškození rostliny dochází při déle trvajícím působení stresu, jehož následkem je zpomalení reakcí růstu vyvoláním určitého deficitu nebo produkcí toxických látek. Při déletrvajícím primárním stresu může nastat stres sekundární, jenž vyvolá přímé, či nepřímé poškození. Například stres z vysoké teploty vyvolá vodní deficit přímo či nepřímo poškozující rostlinu, více než vysoká teplota.

Bláha (2011) uvádí, že je přirozenou snahou vyšlechtit genotypově takové druhy, které by reagovaly pozitivně na měnící se podmínky prostředí a byly tolerantní vůči působení abiotického stresu, a to nejlépe v kombinaci několika stresorů současně (sucho, chlad, teplo, salinita). Sucho patří mezi faktory, které mají významný vliv na kvalitu zemědělské produkce a mohou být významným limitujícím faktorem. Většina rostlin, které na našem území pěstujeme, není schopna dlouhodobě odolávat nedostatku vláhy.

### **Vodní deficit**

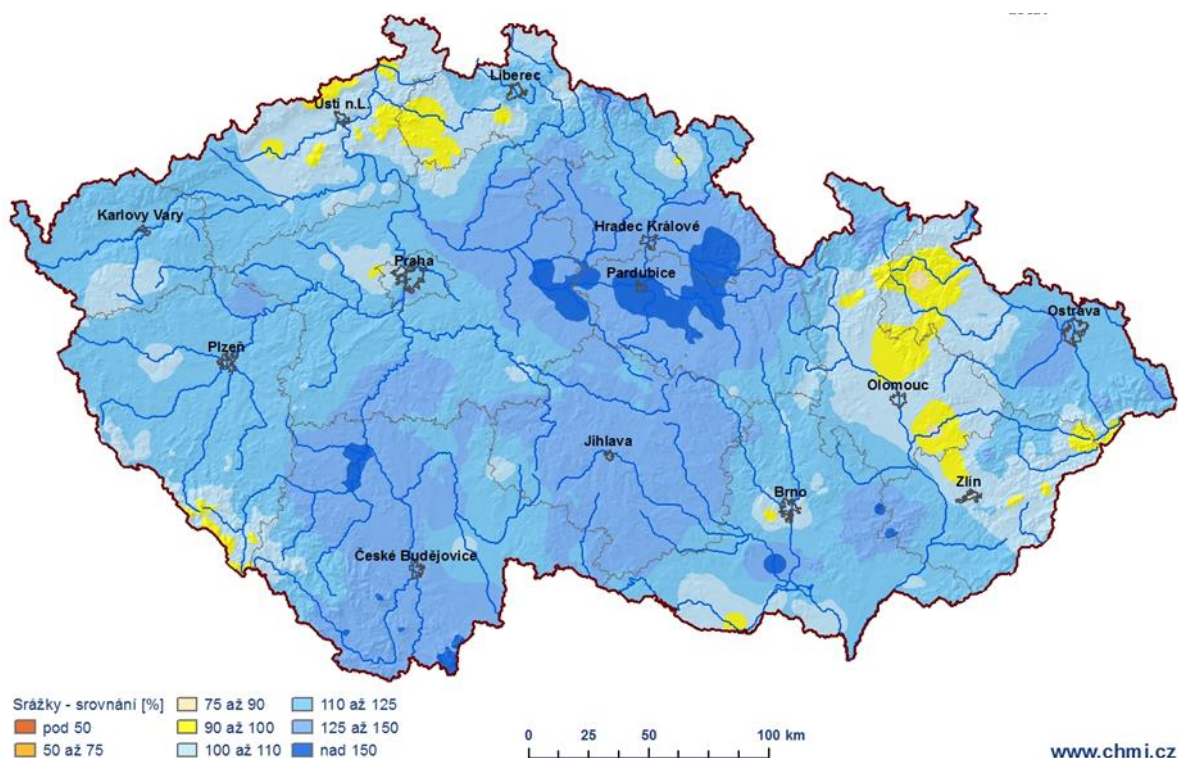
Jako vodní deficit označujeme stav, při němž objem vody obsažený v rostlině je nižší než při nejvyšším nasycení. Stres z deficitu vody vzniká ve chvíli, kdy rostlina během svých fyziologických procesů ztratí více vody, než jí přijme. Vzhledem ke složitým vztahům mezi množstvím vody v rostlině a v okolním prostředí, nelze zavést jednoduché kritérium, dle kterého se hodnotí, jak velkému stresu je rostlina vystavována následkem nedostatku vody (Kůdela et al. 2013). Kadukova a Kavulicova (2010) uvádějí, že stres suchem je definován jako snížená dostupnost vody a snížený vodní potenciál.

### **Sucho**

Český hydrometeorologický ústav (2020) definuje sucho jako nedostatek vody v atmosféře, půdě či rostlinách. Jedná se o jev nahodilý, který se vyskytuje z velké části nepravidelně v období s dlouhodobým nedostatkem srážek. Sucho bývá velmi často doprovázeno nadnormálními teplotami vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a větším počtem hodin slunečního svitu. Důsledkem těchto faktorů je vyšší výpar (evapotranspirace) a další prohlubování nedostatku vody (www.chmi.cz 2020). Kůdela et al. (2013) definují sucho jako stav prostředí při výrazném a dlouhodobém nedostatku vody, který je současně ovlivněn působením klimatických, povětrnostních a půdních faktorů, jenž mají nepříznivý vliv na vegetaci, zvířata a člověka. Dále rozlišují sucho na tzv. atmosférické, meteorologické, půdní a fyziologické.

## Atmosférické a meteorologické sucho

Atmosférické sucho definuje Kůdela et al. (2013) jako nízkou relativní vlhkost vzduchu, při níž rostliny nejsou schopny nahradit vodu odpařenou transpirací příjmem vody kořeny. Meteorologické sucho je nejčastěji definováno srovnáním srážkových poměrů aktuálního období k období dlouhodobému. Také je nutné zohlednit velikost tohoto deficitu spolu s časovým rozložením srážek v příslušném období. Kromě množství a intenzity spadlých srážek vztažených k dlouhodobým srážkovým poměrům pro dané místo a roční dobu, stanovují autoři různé definice klimatického sucha pomocí klimatologických indexů, a to v závislosti na dalších meteorologických prvcích (teplota vzduchu, výpar, rychlost větru, sluneční svit, vlhkost vzduchu aj.), tyto hodnoty mohou v příslušném období dopady srážkového deficitu na sucho zmírnit, či naopak výrazně prohloubit. Základním předpokladem identifikace možného klimatického sucha je srovnávací analýza hodnot vybraných klimatických prvků (především srážek a výparu, resp. evapotranspirace) dosažených v aktuálním období a v dlouhodobém průměru (www.chmi.cz 2020).



Obrázek 4. Srovnání úhrnu srážek za období od 1.1. do 28.6. 2020 s dlouhodobým průměrem (www.chmi.cz 2020).

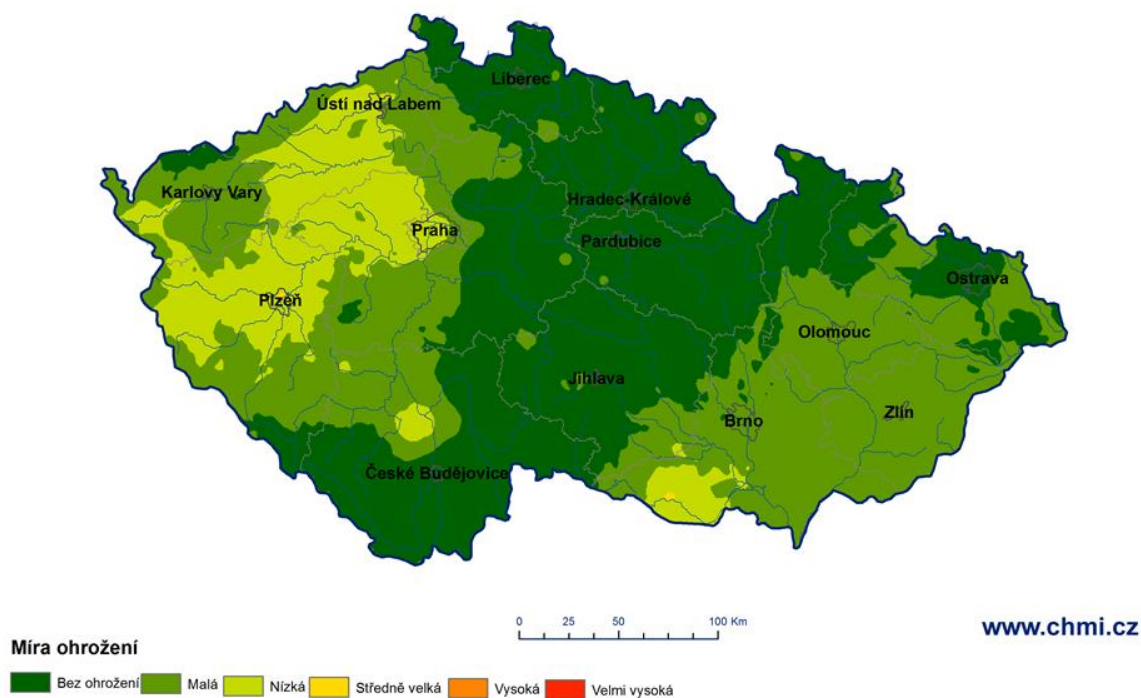
Na obr. 4. jsou znázorněny srážky na území České republiky v procentuálním podílu úhrnu za období od 1.1. do 28.6. 2020 s dlouhodobým průměrem. Z mapy vyplývá, že objem srážek dosahuje v procentuálním přepočtu na většině území České republiky více jak 125 % dlouhodobého průměru srážek v sledovaném období.

Srážky představují v našich podmínkách většinou jediný zdroj půdní vláhy a jsou základním předpokladem pro zásobování rostlin vodou. Ze spadlých srážek však pouze část je využitelná rostlinami. Při stejném množství srážek závisí procento využití na řadě činitelů, z nichž nejvýznamnější jsou fyzikální vlastnosti půdy, stav půdního povrchu, stupeň nasycení půdy vodou a svažitost pozemku (Litschmann 2014). Pro rok 2020 je předpoklad dostatku vláhy pro vzházení a růst rostlin.

#### Půdní sucho

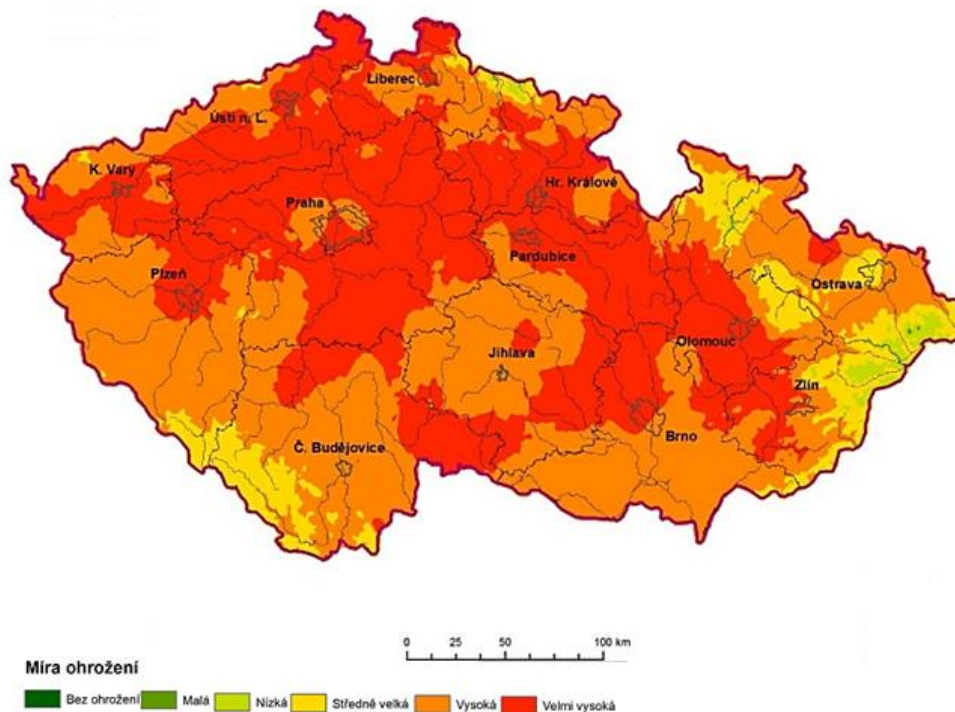
Půdní sucho lze obecně definovat jako nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, který způsobuje poruchy ve vodním režimu rostlin (www.chmi.cz 2020). V přírodě je obvykle způsobeno výparem vody z půdy při déletrvajícím atmosférickém suchu (Kůdela et al. 2013). Účinky půdního sucha se projevují u jednotlivých druhů rostlin různě. Závisí na vývojové fázi rostliny, nárocích na vodu v různých obdobích vývoje, na stáří rostliny apod. Vlhkost a teplota půdy, spolu s teplotou vzduchu, je nejdůležitějším meteorologickým faktorem, jenž ovlivňuje vývoj rostlin. Je závislá na množství, intenzitě a časovém rozložení srážek, výparu a na vlastnostech půdy, vyjadřovaných v tzv. hydrolimitech (www.chmi.cz 2020).

Půdní sucho je základním předpokladem vzniku sucha zemědělského. Jedná se o převedení půdního sucha do zemědělské praxe (www.chmi.cz 2020). Seifert (1994) uvádí, že při nedostatku půdní vláhy potřebné pro růst a produkci pěstovaných rostlin, v důsledku čehož dochází k redukci výnosů, hovoříme o suchu agronomickém. Intenzita a dopady zemědělského sucha jsou ovšem kromě vlastního deficitu vody v půdě ovlivňovány řadou dalších faktorů biologických (momentální stav porostů, odolnost jednotlivých odrůd vůči suchu), technických (způsob zpracování půdy, úroveň zemědělských strojů) i ekonomických (využití závlah) (www.chmi.cz 2020).



Obrázek 5. Míra ohrožení půdním suchem v hloubce 0-40 cm ke dni 29.6.2020 (www.chmi.cz 2020).

Na obr. 5. je zobrazena míra ohrožení suchem v půdě pod travním porostem v hloubce 0 až 40 cm. Z uvedené mapy lze vyčíst, že míra ohrožení půdním suchem, ke dni 29. 6. 2020, je malá a na části území České republiky bez ohrožení.



Obrázek 6. Míra ohrožení půdním suchem v hloubce 0-40 cm ke dni 20.8.2018 (www.chmi.cz 2020).

Na obrázku 6. je zobrazen stav půdního sucha v půdě pod travním porostem v hloubce 0 až 40 cm z roku 2018. V tomto roce byla míra ohrožení půdním suchem vysoká až velmi vysoká na většině území České republiky.

Z obr. 5. a 6. vyplývá, že míra ohrožení půdním suchem se v jednotlivých letech velmi liší. Důvodem těchto rozdílů je odlišný průběh meteorologických jevů, které vznik či průběh půdního sucha ovlivňují.

### Fyziologické sucho

Fyziologické sucho označuje nedostatek půdní vody, která je pro rostliny fyziologicky přístupná, volná nebo povrchovými silami jen slabě vázaná. U některých druhů půd nastupuje fyziologické sucho i při celkově značném obsahu půdní vody. Jedná se například o půdy jílovité či rašelinné (Kůdela et al. 2013).

### Vliv vodního stresu na rostliny

Kadukova a Kavulicova (2010) uvádějí, že i malé změny v zásobování vodou z půdy mohou zhoršit denní vzory (pravidelné změny vodního potenciálu v závislosti na části dne). V těchto vzorech jsou rostliny náchylné k dehydrataci, stomata jsou otevřená a relativní vlhkost vzduchu je během dne nízká. Následná rehydratace probíhá v noci, kdy jsou průduchy zavřené. Pokud období sucha přetrvává a vysušení půdy se stává vážnějším, bude rostlina schopna udržet hydrataci nakonec tak, že zůstanou stomata zavřená. Rostliny se tímto chrání před stresem ze sucha. Pokud sucho přetrvává delší dobu, upravuje rostlina svůj růst a dehydrataci pomocí ochranných mechanismů. Například zvětšení kořenového systému, za účelem zvýšení kapacity příjmu vody. Období sucha může zahrnovat i dodatečné stresové faktory, které následně ovlivní růst rostlin.

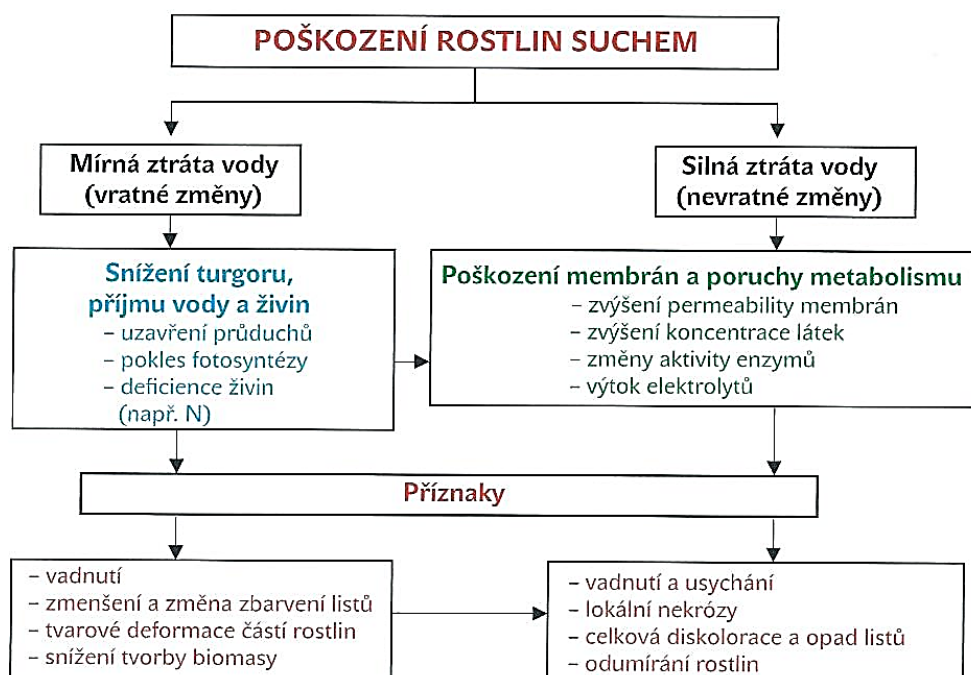
Podle Brestiče et al. (2008) je vyhnutí se suchu adaptační mechanismus, jenž je odvozen od schopnosti rostlin udržet v pletivech vysoký turgor během vodního stresu. K tomu dochází zlepšenou činností kořenové soustavy v příjmu vody, efektivním zavřením průduchů a redukcí neúčinného výparu vody listy, či schopností redukovat osmotický a vodní potenciál některými anatomickými a morfologickými charakteristikami. Klesá-li turgorový tlak, rostlina snižuje intenzitu růstu. Při delším působení stresoru dochází k usychání a opadu listů. Bláha (2011) uvádí, že je pro rostliny opad listů výhodným kompromisem. Zbavují se hmoty se schopností asimilace, současně se tím zbavují plochy, kterou dochází k výparu a dalším ztrátám vody. Na nedostatek vody reaguje rostlina zvýšeným růstem kořenů na úkor nadzemních částí. Silný vodní stres však růst kořenů snižuje, protože rostlina nemá dostatek asimilátů (Haberle et al. 2008). Mělce kořenicí rostliny jsou ke stresu náchylnější než rostliny s hlubším kořenovým systémem, který se dokáže dostat ke spodní vodě (Vadez et al. 2012). Kušniarová et al. (2017) prokázali, že v podmínkách dehydratace došlo k výrazné redukci absorpční plochy kořenů. Postupná dehydratace vedla k intenzivnímu růstu kořenů do délky, nikoliv do hloubky.

Nízký habitus, redukce plochy listů a další patří mezi ochranné faktory pro předcházení větších ztrát vody a jedná se o obranu reakci na sucho (Mitchell et al. 1998). Pazderů (2010) také uvádí, že sucho je jedním ze stresových faktorů, který způsobuje zpomalení růstu, ale také ovlivňuje příjem a transport kyslíku, oxidu uhličitého, hromadění prolinu a toxických látek, stavbu kutikuly a počet průduchů. Guilioni et al. (2003) uvádějí, že



nedostatek vody ovlivňuje také výkonnost fotosyntézy. Nižší intenzita fotosyntézy vede ke snížení výnosu, ale také k tvorbě méně kvalitních semen. Na rostlinách se stres projevuje vadnutím listů, inhibicí růstu nadzemní části a kořenů, opadem listů, opadem květních poutat, zasycháním a poškozením květů (Guilioni et al. 2003).

Při reakci na nedostatek vody se v rostlině spouští řada biochemických a fyziologických procesů a morfologických změn, kterými se rostlina adaptuje na sníženou dostupnost vody. Například urychlený vývoj, vadnutí či stáčení listu během větrných a horkých dnů nebo žloutnutí a opad spodních pater listů (Haberle et al. 2008) viz obr. 7.



Obrázek 7. Mechanismus poškození rostlin suchem (Kůdela et al. 2013)

Ali et al. (1998) ve své studii prokázali, že kyselina abscisová (ABA) vycházející z kořenů může působit jako časný signál o vysušení půdy. Totéž potvrzuje i Atwell et al. (1999), jenž uvádí, že chemickým signálem stresu suchem je pravděpodobně ABA. Při vadnutí listů se rychle zvyšuje hladina ABA v rostlině, to způsobuje uzavírání průduchů, vede ke snížení vodivosti průduchů, příjmu plynů, a tím i rychlosti fotosyntézy a transpirace. Liu et al. (2006) uvádí, že ve skutečnosti otevírání a zavírání průduchů je důsledkem interakce mezi ABA, hladinou CO<sub>2</sub> a světlem. Jensen et al. (2010) uskutečnili studii, kdy aplikovali závlahu na základě kořenové signalizace ABA v půdě. Dosáhli vyšších výnosů, velikosti a kvality hlíz s výraznou úsporou vody.

Nedostatek vody dle Brestiče & Olšovské (2005) vede kromě akumulace ABA k inhibici růstu, akumulaci prolinu, mannitolu a sorbitolu, také k tvorbě složek pro zachycování volných radikálů, k uzavření průduchů a snížení transpirace, změnám vodního potenciálu pletiv, fotosyntetické činnosti a k syntéze nových proteinů.

Akumulaci aminokyseliny prolinu v listech, jako reakci na nedostatek půdní vláhy uvádí i Levy (1983), jenž charakterizuje prolin jako organickou sloučeninu zapojenou do

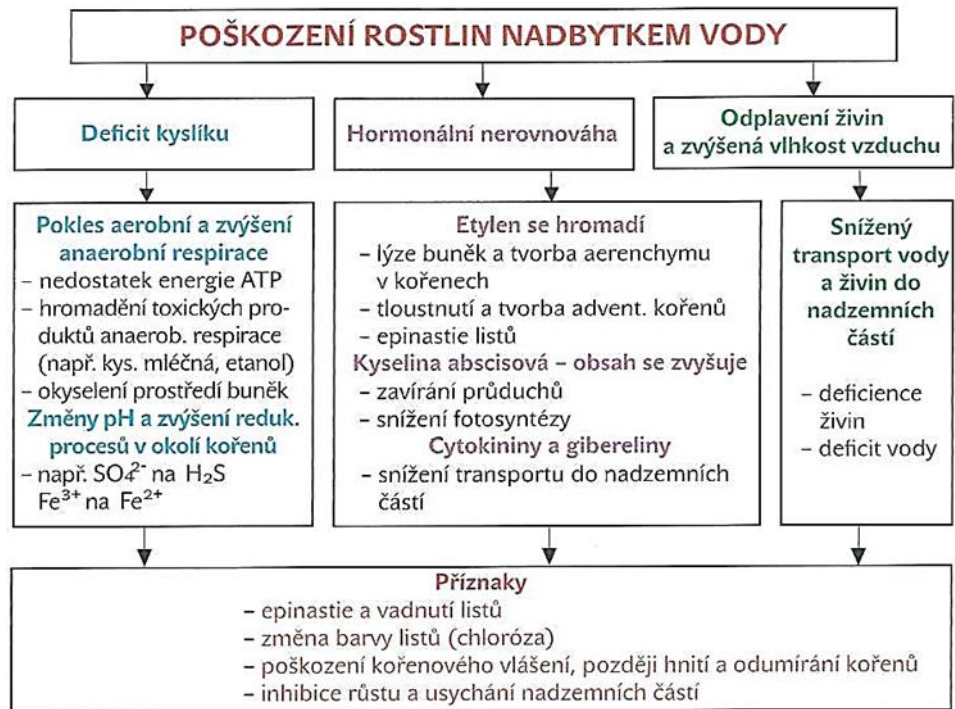
metabolismu rostlin. Prolin jako kompatibilní osmolyt představuje regulační mechanismus ztráty vody zvyšováním koncentrace buněčné šťávy. Slouží také jako biochemický marker metabolických změn při působení stresu. Dle Crusciola et al. (2009) se při působení stresu zvyšuje hodnota prolinu v hlízách brambor. Tato reakce je geneticky podmíněna, což způsobuje odlišnost jednotlivých genotypů. Prolin se akumuluje v cytoplazmě a nachází se v listech, stoncích i kořenech. Akumulační a koncentrační kapacita se snižuje s věkem listů. Avšak Knipp et al. (2006) uvádí, že nízký obsah prolinu v listech lilku bramboru během působení vodního stresu nemá přímý vliv na odolnost rostlin vůči suchu.

Kůdela et al. (2013) uvádějí tři kategorie mechanismů rezistence. Uniknutí suchu (schopnost rostlin dokončit svůj životní cyklus před nástupem nedostatku vody), zamezení suchu (schopnost rostlin zachovat si v pletivech vysoký vodní potenciál i při nedostatku vody) a tolerance sucha. Adaptačními mechanismy jsou také tvorba suchem indukovaných proteinů, prolinu, dehydrinů apod. (Petříková et al. 2012). Rezistence pro každý stres má své molekulární a genetické mechanismy, současně mají různé druhy rezistence mnohé společné proteiny, enzymy a geny (Řepková 2013). Stres je pro rostliny spouštěčem mnoha biochemických a fyziologických změn. Díky proteinům mají rostliny schopnost transkripce DNA, která je odpovědí na působení nepříznivých vlivů a spuštění adaptačních mechanismů (např.: velikost kořene, tloušťka kutikuly, velikost průduchů, ad.) (Bláha 2011).

### 3.1.2.3 Nadbytek vody a jeho vliv na rostliny

Mahajan et Tuteja (2005) uvádějí, že stres může vznikat nejen z nedostatku vody, ale i jako důsledek nadbytku vody. Půdní vlhko charakterizuje celkový obsah vody v půdě. K přemokření půdy dochází nasycením půdy nadměrným množstvím vody, které může být způsobeno přívalovým deštěm, rychlým táním sněhu, vystoupením podzemní vody na povrch nebo vylitím vody z břehů za povodně. Zamokřená půda je neprovzdušněná. U rostlin dochází následkem špatného provzdušnění půdy k hypoxii a anoxii. Při hypoxii dochází ke snížení kyslíku v pletivech rostlin pod optimální úroveň. Vyskytuje se i během krátkodobého zaplavení, kdy jsou kořeny rostliny ponořeny pod vodu, ale výhon zůstává v ovzduší. Hypoxií trpí také podpovrchové kořeny pod déletrvající záplavovou vodou. Naprostý nedostatek kyslíku je označován jako anoxie. Bezokyslíkaté prostředí nastává v půdě, která je dlouhodobě zaplavená, u rostlin úplně ponořených ve vodě, u hlubokých kořenů pod záplavovou vodou, nebo u rostlin, které jsou úplně uzavřeny v ledu (Kůdela et al. 2013)

Při dlouhodobém zatopení kořenového systému dojde k vytvoření anaerobního prostředí, ve kterém nemohou probíhat procesy s příjmem živin nebo kyslíku. Tím u rostlin opět dochází k narušení fyziologických procesů, které mohou mít v konečném důsledku za příčinu úhyn rostliny (Mahajan et Tuteja 2005). V anaerobních podmínkách dochází k snížení vitality rostlin. Snižuje se aerobní dýchání a zvyšuje se dýchání anaerobní, které má velmi nízkou energetickou účinnost. Dochází k narušení hormonální rovnováhy, buněčné dělení a prodlužovací růst se zpomaluje. Kořeny rostlin jsou ztloustlé, velmi málo větvené a při delším nedostatku kyslíku v půdě dochází k odumírání vlásečnicových kořínků. V kořenech se přestávají tvořit cytokininy, což má za následek degradaci chlorofylu, následné blednutí a uvadání listů. V rostlině se hromadí toxické látky (Kůdela et al. 2013) viz obr. 8.



Obrázek 8. Mechanismus poškození rostlin nadbytkem vody (Kůdela et al. 2013)

Mechanismus rezistence k nadbytku vody u rostlin spočívá v přenosu kyslíku z nadzemních částí do kořenů a zabránění průniku vody do kořene. Dále v oddálení hromadění toxických produktů anaerobního dýchání změnou fyziologických pochodů, nebo tolerancí toxických produktů, například změnou ve složení membrán, či tvorbou ochranných proteinů (Kůdela et al. 2013).

### 3.1.2.4 Lilek brambor a vodní stres

Deficit vody je běžným stresem v produkci brambor, což často vede k snížení výnosu a kvality hlíz. Proto je nezbytné studovat toleranci různých odrůd lilku bramboru vůči stresu z nedostatku vody. Identifikovat agronomické znaky a určit potřebu vody u nových odrůd brambor a tím zlepšit jejich kvalitu a zvýšit výnos (Hassanpanah et al., 2010).

Citlivost rostlin lilku bramboru na vodní stres je přičítána jejich relativně mělkým a řídkým kořenům (Fuchs 1990, Jefferies 1993). Costa et al. (1997) uvádí, že kořeny lilku bramboru jsou nejen mělké, ale také relativně málo široké. Hloubka kořenů se může pohybovat mezi 0,5 až 1,0 m dle kultivaru a typu půdy. Velký podíl délky kořene (asi 85 %) je koncentrován v horních 0,3 m.

Příčinou vysoké citlivosti brambor na sucho je také nízká schopnost udržet vyšší rozdíl mezi vodním potenciálem půdy a listů. Transpirace v rostlinách brambor je výrazně redukována uzavřením průduchů ještě při relativně vysokých hodnotách vodního potenciálu. Důsledkem je omezení fotosyntézy vedoucí ke snížení produkce asimilátů a růstu, jenž zapříčiní nižší výnos a zhoršení kvality hlíz (Costa et al. 1997). Rybáček a kol. (1988)

zmiňují, že i krátkodobé zamokření pozemku zvyšuje intenzitu dýchání. Trsy hlíz lilku bramboru jsou velmi citlivé na intramolekulární dýchání, a tak při zaplavení porostu hynou. Zamokření půdy je škodlivé zejména v době klíčení, kvetení a dozrávání hlíz lilku bramboru.

Vlivem nedostatku nebo nadbytku vody se brambory stávají náchylnějšími k některým chorobám. V období sucha může docházet k rozpraskání hlíz a jejich nejruznějším deformacím. S nedostatkem vláhy a vysokých teplot je často spojován druhotný růst hlíz. Dále se na lehkých a vysychavých půdách s vyšším pH častěji vyskytuje aktinobakteriální obecná strupovitost brambor (Vos & MacKerron 2000) obr. 9.



Obrázek 9. Hlízy poškozené nedostatkem vody (tvorba dceřiných hlíz, rozpraskání hlíz, obecná strupovitost bramboru) (Vokál et al. 2013)

Vlhkostní a teplotní stres může způsobovat tvarové deformity hlíz, které vznikají vlivem přerušování růstu. Při nedostatečném okysličení půdy se na hlízách bramboru mohou objevovat zvětšené lenticely. Dále může docházet ke vzniku nehtových prasklin. K tomuto poškození dochází zejména v případě, jsou-li plně turgescenční hlízy po sklizni vystaveny suchému vzduchu (Kúdela et al. 2013) viz obr. 10. Vysoká vlhkost půdy také podporuje šíření jedné z nejvýznamnějších chorob brambor, plísňě bramborové. Škody způsobené tímto patogenem způsobují značné ztráty (Vokál et al. 2013).



Obrázek 10. Hlízy poškozené nadbytkem vody (tvarová deformita hlízy, zvětšené lenticely na hlíze bramboru, nehtovité praskliny slupky) (Kúdela et al. 2013)

## 4 Metodika

U rostlin lilku brambor byl sledován ve skleníkových podmínkách vliv vodního deficitu a hypoxického stresu na relativní obsah vody a vodní potenciál v listech. Jako pokusný materiál byly použity čtyři odrůdy brambor: Laura, Marabel, Milva a Valfi.

### 4.1 Charakteristika odrůd

#### 4.1.1 Laura

Poloraná, velmi kvalitní konzumní odrůda. Hlízy jsou středně velké, oválné s velmi mělkými očky, velikostně vyrovnané, nárůst pomalý. Červená slupka hlíz je hladká a barva dužniny tmavě žlutá, viz obr. 11. Kvalita hlíz: varný typ B-BC, středně pevné konzistence, středně moučnaté, netmavne. Odrůda je odolná proti napadení virovými chorobami, středně odolná proti napadení plísní bramboru na nati, středně odolná proti napadení aktinomycetovou strupovitostí bramboru, k napadení rakovinou bramboru slabě náchylná, proti napadení hád'átkem bramborovým rezistentní (Europlant 2020).

Rostlina je středně vysoká až vysoká, polovzpřímená. Tloušťka stonku je tenká až střední, typ trsu přechodný. List středně a lístek středně velký, úzký až středně široký, zvlnění okraje slabé až střední. Četnost květů u odrůdy Laura je střední až vysoká, zbarvení květů je červenofialové. Klíček je vejčitý, červenofialový s řídkým ochmýřením báze (VÚB 2018).



Obrázek 11. Hlízy odrůdy Laura (Europlant 2020)

### 4.1.2 Marabel

Výnosná konzumní raná odrůda. Hlízy jsou středně velké, oválné s mělkými očky, jemnou a hladkou slupkou. Barva dužiny je tmavě žlutá, jak dokládá obr. 12. Výnos této odrůdy je středně vysoký až vysoký. Středně vysoká až nízká škrobnatost. Odrůda Marabel je odolná proti napadení virovými chorobami, méně odolná proti napadení plísni bramboru na nati, středně odolná proti napadení aktinomycetovou strupovitostí bramboru. K napadení rakovinou bramboru je náchylná, proti napadení hád'átkem bramborovým rezistentní (Europlant 2020). Počáteční růst natě je středně rychlý. Rostlina je nízkého až středního vzrůstu, polovzpřímená, tloušťka stonku tenká až střední, typ trsu přechodný, list střední až velký, lístek středně velký, středně široký, zvlnění okraje slabé až střední, květ bílý, střední, četnost květů velmi nízká až nízká. Popis hlíz: varný typ BA-B, středně pevné konzistence, slabě moučnaté, struktura jemná, velmi chutná, po uvaření netmavne, vhodná pro úpravu loupáním (VÚB 2018).



Obrázek 12. Hlíza odrůdy Marabel (Europlant 2020)

### 4.1.3 Milva

Poloraná konzumní odrůda s vysokými výnosy hlíz. Hlízy jsou kulovitěho tvaru s mělkými očky. Barva slupky a dužiny je žlutá, viz obr. 13. Odolné vůči hád'átku a strupovitosti. Méně odolná k virovým chorobám a silně náchylná k rakovině. Odrůda vznikla německým šlechtěním (VÚB 2018).



Obrázek 13. Hlíza odrůdy Milva (Europlant 2020)

#### 4.1.4 Valfi

Jedná se o odrůdu vyšlechtěnou ve Výzkumném ústavu bramborářském v Havlíčkově Brodě. V roce 2005 byla zaregistrována v České republice. Valfi je poloraná až pozdní odrůda určená pro speciální použití. Hlízy jsou oválné se středně hlubokými očky a modrofialovou slupkou. Barva dužiny je také modrofialová s mramorováním, jak je patrné z obr. 14. Odrůda je středně odolná vůči mechanickému poškození a středně až méně odolná vůči aktinobakteriální obecné strupovitosti. Valfi je náchylná na plíseň bramboru v nati (VÚB 2018).



Obrázek 14. Hlízy odrůdy Valfi (Europlant 2020)

#### 4.2 Založení pokusu

Nádobový pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Rostliny brambor byly pěstovány za přirozených světelných podmínek, kde délka dne byla 13 hodin a noci 11 hodin. Teplotní režim byl nastaven na 22 ° C ve dne a 17 ° C v noci. Relativní vlhkost vzduchu činila 70 %.

V nádobách o objemu 5 l byla vypěstována jedna rostlina v substrátu Hawita (bílá rašelina 70%, černá rašelina 30%, struktura jemná 0-5mm, hodnota pH 5,8, HAWITA Gruppe GmbH, Vechta, Německo). Před zahájením experimentu byly do nádoby přidány 2 g hnojiva NPK (8-24-24).

Schéma nádobového pokusu zahrnuje tři varianty (kontrolní a dvě stresované). Rostliny kontrolní byly pěstovány v podmínkách normoxie a optimální závlahy destilovanou vodou ve třídenním intervalu. Množství vody činilo 450 ml na nádobu. Rostliny stresované hypoxií byly vystaveny hypoxickému stresu po celou dobu vegetace. Stres zaplavením byl navozen umístěním rostlin do nádob s destilovanou vodou tak, aby substrát v nádobách byl plně saturován vodou. U rostlin pěstovaných v podmínkách vodního deficitu byly rostliny vystaveny vodnímu deficitu po celou dobu vegetace, metodou postupného, přirozeného vysychání substrátu. Rostliny všech experimentálních variant byly dvakrát hnojeny 3% roztokem NPK (8-24-24) ve 450 ml zálivky v době kvetení (26. den pokusu) a v době tvorby hlíz (53. den pokusu). U rostlin brambor v rámci jejich ontogenetického vývoje se uskutečnilo 11 měření relativního obsahu vody a 12 měření vodního režimu rostlin.

## 4.3 Měřené charakteristiky

### 4.3.1 Stanovení relativního obsahu vody

Relativní obsah vody (RWC = Relative Water Content) vyjadřuje, kolik vody z maximálního množství rostlina skutečně obsahuje. Vypočte se dle následujícího vzorce:

$$\text{RWC (\%)} = (\text{FW} - \text{DW} / \text{TW} - \text{DW}) \times 100$$

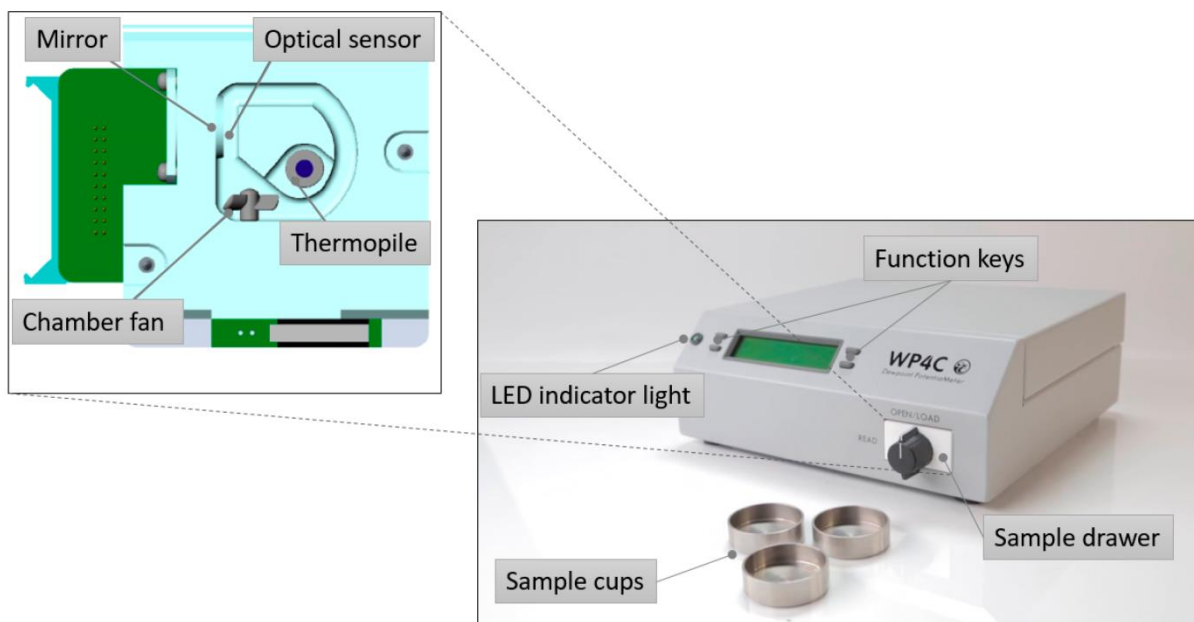
Z čerstvých listů sledovaných odrůd brambor se pomocí korkotvoru vytvoří terčíky, které se zváží (FW) na laboratorní váze. Následně se nechají se po dobu 3 hodin nasytit destilovanou vodou. Po saturaci se terčíky znovu zváží (TW) a nechají se vysušit. Proces sušení probíhá při 70 °C po dobu 48 hodin. Sušina se posléze naposledy zváží (DW) (Orsák et al. 2020).

### 4.3.2 Stanovení vodního potenciálu

Vodní potenciál vyjadřuje o kolik je aktivita vody v pletivech nižší než aktivita chemicky čisté vody (Ehlers & Goss 2016). Vodní potenciál jednotlivých vzorků byl stanoven pomocí přístroje WP4C viz obr. 15.

Přístroj WP4C používá techniku rosného bodu chlazeného zrcadla k měření potenciálu vody ve vzorku. Uvnitř komory je 15 ml nádoba na vzorek utěsněna proti bloku senzoru obsahujícímu vnitřní ventilátor, snímač rosného bodu, teplotní senzor a infračervený teploměr. Vzduch uvnitř komory vzorku cirkuluje ventilátorem, což pomáhá urychlit rovnovážný čas a také řídit vodivost mezní vrstvy snímače rosného bodu. Senzory rosného bodu a infračerveného teploměru současně měří teplotu rosného bodu vzduchu a teplotu vzorku. Teplota vzorku je monitorována a stabilizována pomocí interního termoelektrického modulu. Rovnováha vody v kapalně fázi vzorku s vodou v plynné fázi v horní části uzavřené komory dosáhne, když je vodní potenciál vzorku stejný jako vodní potenciál vzduchu. Přístroj nasměruje paprsek světla na zrcadlo, na kterém se objevila kondenzace, a za použití fotodetektoru dojde k přesnému určení změny odraznosti. V bodě kondenzace se teplota zaznamenává pomocí termočlánku připojeného k zrcadlu. Při rovnováze je tlak par ve vzduchu v prostoru nad hlavou stanoven jako tlak nasycených par při teplotě rosného bodu a tlak nasycených par se vypočítává z teploty vzorku. Nakonec se vodní potenciál vzorku vypočítá pomocí hodnot tlaku prostoru a saturačních par (Haghverdi et al. 2020). Přístrojem naměřené hodnoty u rostlinného materiálu se mohou pohybovat v rozmezí -0,1 až -300 MPa. Měření jednoho rostlinného vzorku trvá 20 až 25 minut.





Obrázek 15. Přístroj WP4C (Haghverdi et al. 2020)

#### 4.4 Statistické vyhodnocení výsledků

Naměřené výsledky byly statisticky vyhodnoceny a zpracovány pomocí počítačového softwaru STATISTICA 12 (StatSoft CR s.r.o.). Pro statistické zpracování dat v programu STATISTICA 12 byla použita metoda ANOVA (vícefaktorová analýza rozptylu). Data byla testována při hladině významnosti  $\alpha=0,05$ .

## 5 Výsledky

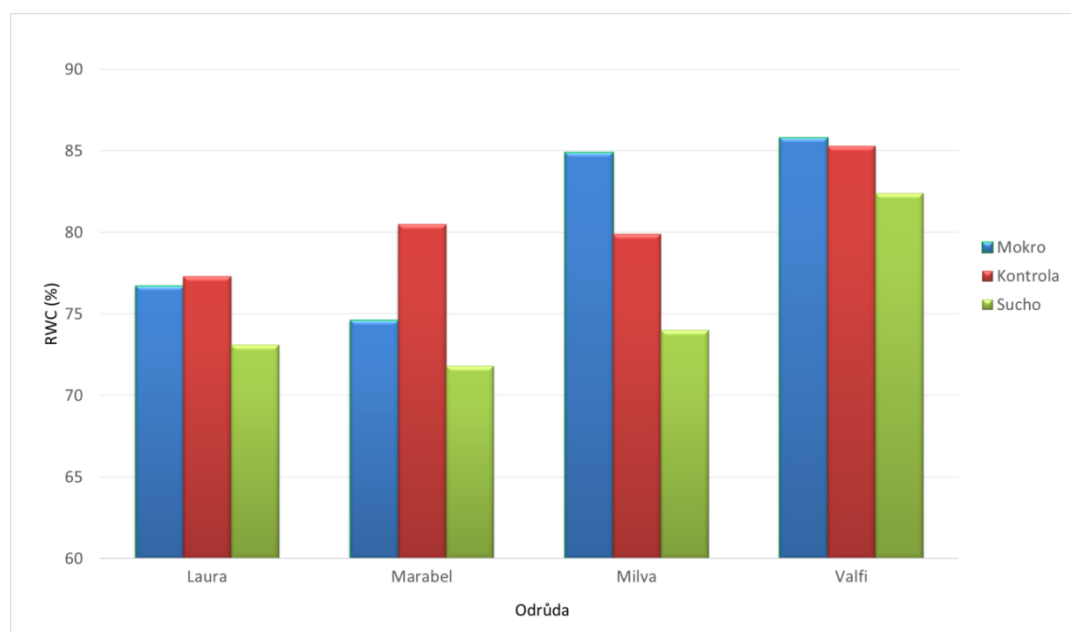
Pokusným materiálem byly zvoleny čtyři odrůdy lilku bramboru. Raná odrůda Marabel, poloraná odrůda Milva a Laura, čtvrtým pokusným materiálem byla odrůda poloraná až pozdní Valfi. Nádoby s pokusným materiálem byly umístěny ve skleníku s částečně řízenými podmínkami. U jednotlivých odrůd byl pozorován vliv vodního stresu na rostlinu ve třech variantách. Varianta stresu zaplavením – hypoxie (Mokro), normoxie (Kontrola) a vodním deficitem (Sucho). Ke stanovení osmotického potenciálu u jednotlivých vzorků byl použit přístroj WP4C.

### 5.1 Relativní obsah vody

Graf č. 1 zobrazuje rozdíly průměrných hodnot relativního obsahu vody u vybraných odrůd. Odrůda Valfi dosahovala vyšších hodnot RWC než ostatní odrůdy. Ve variantě stresu Mokro byly zjištěny nejvyšší hodnoty u odrůdy Valfi (85,8 %), avšak hodnota odrůdy Milva byla nižší pouze o 0,9 %. Nejnížší hodnoty byly zaznamenány u odrůdy Marabel (74,6 %). U varianty stresu způsobeného vodním deficitem byla nejvíce stresovanou odrůdou Marabel s hodnotou RWC 71,8 %. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u odrůdy Valfi (82,4 %).

V porovnání s rostlinami z kontrolní varianty byly vyšší rozdíly relativního obsahu vody naměřeny u varianty stresované vodním deficitem. Průměrná hodnota RWC u rostlin ve variantě Sucho činila 75,3 % a ve variantě Mokro 80,5 %.

Z uvedeného grafu je dále patrné, že vůči stresu hypoxií nejcitlivěji reagovala odrůda Marabel, kde rozdíl hodnot mezi variantou Mokro a Kontrola činil 5,9 %. Vůči stresu způsobeného vodním deficitem reagovala s nejvyšší citlivostí odrůda Marabel s rozdílem hodnot oproti kontrolní variantě 8,7 %. Nejnížší rozdíl mezi stresovanými variantami a kontrolní variantou byl zjištěn u odrůdy Valfi.



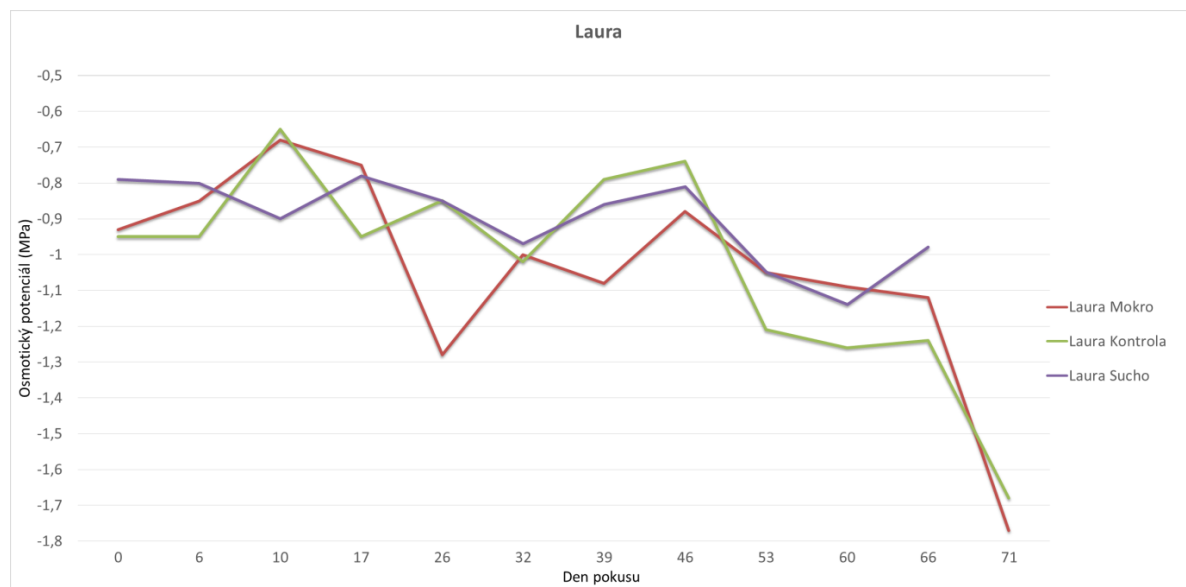
Graf 1. Relativní obsah vody (%) u vybraných odrůd ( $s=0,4,9937$ )

## 5.2 Osmotický potenciál

Graf 2 znázorňuje vliv vodního stresu na rostlinu odrůdy Laura v závislosti na délce působení stresu. U varianty stresu nadměrným zamokřením (Mokro) lze pozorovat od 0. až do 10. dne pokusu růst hodnot od -0,93 MPa do -0,68 MPa. Od 17. dne následoval prudký pokles až do odběru 26. dne. Rozdíl tohoto poklesu činil -0,53 MPa. Od 32. dne pokusu je patrné mírné kolísání hodnot až do 66. dne. Po 66. dni nastal prudký pokles hodnot osmotického potenciálu, který klesl z hodnoty -1,12 MPa až na hodnotu -1,77 MPa. Naměřená hodnota osmotického potenciálu při zahájení pokusu u varianty Laura – Mokro činila -0,93 MPa a při posledním odběru -1,77 MPa. Rozdíl u této varianty byl -0,84 MPa. U varianty Laura – Mokro byl zaznamenán statisticky průkazný pokles hodnot osmotického potenciálu.

U kontrolního vzorku odrůdy Laura se hodnota osmotického potenciálu 0. - 6. den nelišila. Mezi 6. a 10. dnem pokusu byl naměřen nárůst hodnot o -0,3 MPa a následovalo statisticky neprůkazné kolísání hodnot do 46. dne. Od 46. dne nastal prudký pokles hodnot osmotického potenciálu, jenž trval až do ukončení pokusu. Rozdíl naměřených hodnot mezi 46. a 71. dnem činil -0,94 MPa. U této varianty byl mezi 46. a 71. dnem odběru statisticky významný rozdíl.

Stresovaná varianta vodním deficitem (Sucho) nevykazovala průkazný pokles hodnot. Pokles osmotického potenciálu nastal mezi 17. – 32. dnem (rozdíl činil -0,19 MPa) a mezi 46. - 60. dnem pokusu s rozdílem -0,33 MPa. Od šedesátého dne do 66. dne byl zjištěn nárůst hodnot z -1,14 MPa na -0,98 MPa a následoval úhyn rostliny. Rozdíl mezi prvním a posledním odběrem činil -0,19 MPa.



Graf 2. Osmotický potenciál v listech odrůdy Laura v závislosti na délce působení stresu ( $s=0,2454$ )

V tabulce č. 2 je uveden přehled rozdílů hodnot mezi kontrolní variantou a stresovanými variantami. Uvedená data jsou přepočtena na %, kdy kontrolní varianta činí 100%.

Den pokusu	0	6	10	17	26	32	39	46	53	60	66	71
Mokro	2,1	10,2	4,6	21	50,6	2	36,7	18,9	13,2	13,5	9,7	5,4
Sucho	16,8	15,8	38,5	17,9	0	4,9	8,9	9,5	13,2	9,5	21	-

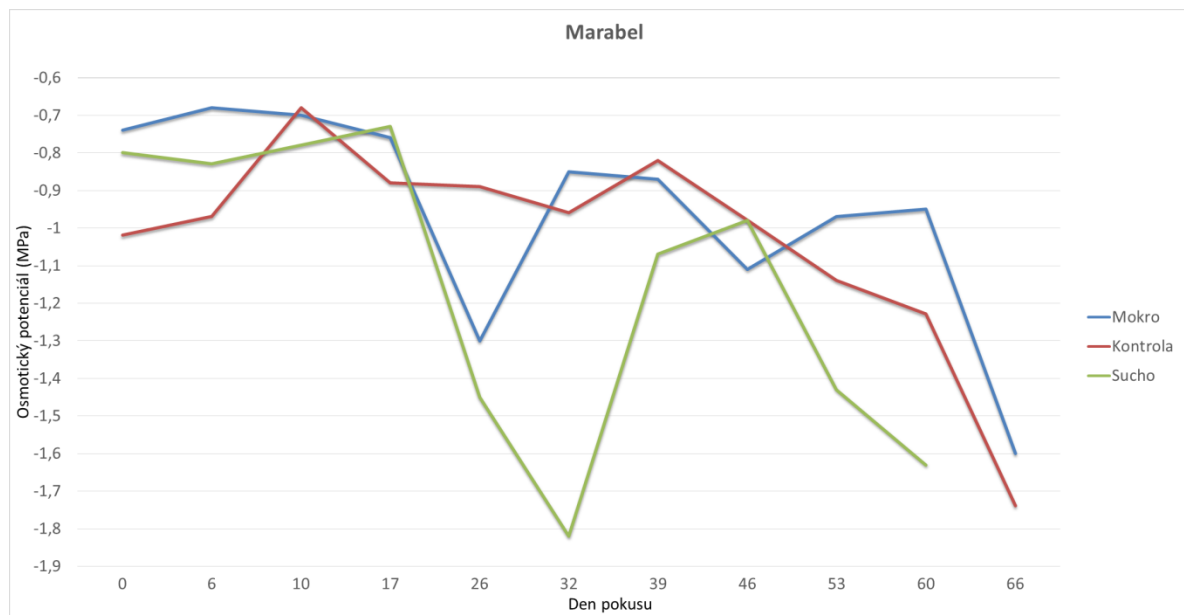
Tabulka 2. Procentuální rozdíl mezi kontrolní variantou a stresovanými variantami u odrůdy Laura

Osmotický potenciál v listech odrůdy Marabel v závislosti na délce působení stresu znázorňuje graf č. 3. Z tohoto grafu je patrné, že reakce na nadměrné zamokření substrátu nastala po 17. dni pokusu. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami 17. a 26. den odběru činil -0,54 MPa. Další pokles hodnot nastal v období mezi 39. – 46. dnem a k výraznému poklesu došlo také 66. den, jehož následkem došlo k úhynu rostliny.

Kontrolní varianta odrůdy Marabel vykazovala nárůst hodnot od zahájení pokusu až do 10. dne. Od 10. dne následoval pokles hodnot, který se zastavil 32. den a následoval mírný nárůst o 0,14 MPa. Od 39. dne následoval pokles hodnot až do úhynu rostliny.

U rostlin pěstovaných ve variantě Sucho je patrné počáteční zásobení rostliny vodou z použitého substrátu. K výraznému vodnímu deficitu došlo až 17. den, kdy hodnota osmotického potenciálu klesla z -0,73 MPa na -1,82 MPa. Jedná se o pokles hodnot o -1,09 MPa. Následkem vodního deficitu dochází k poklesu hodnot osmotického potenciálu. Rozdíl mezi prvním a desátým odběrem činil -0,83 MPa. U varianty Marabel – Sucho byl zaznamenán statisticky průkazný pokles hodnot osmotického potenciálu.

Podrobný přehled působení stresu v porovnání s kontrolní variantou je uveden v tabulce č. 3.



Graf 3. Osmotický potenciál v listech odrůdy Marabel v závislosti na délce působení stresu ( $s=0,3138$ )

Den pokusu	0	6	10	17	26	32	39	46	53	60	66	71
Mokro	27,5	29,9	2,9	13,6	46	11,5	6,1	13,3	14,9	22,8	8,1	4,9
Sucho	21,6	14,4	14,7	17,1	62,9	89,6	30,5	0	25,4	32,5	-	-

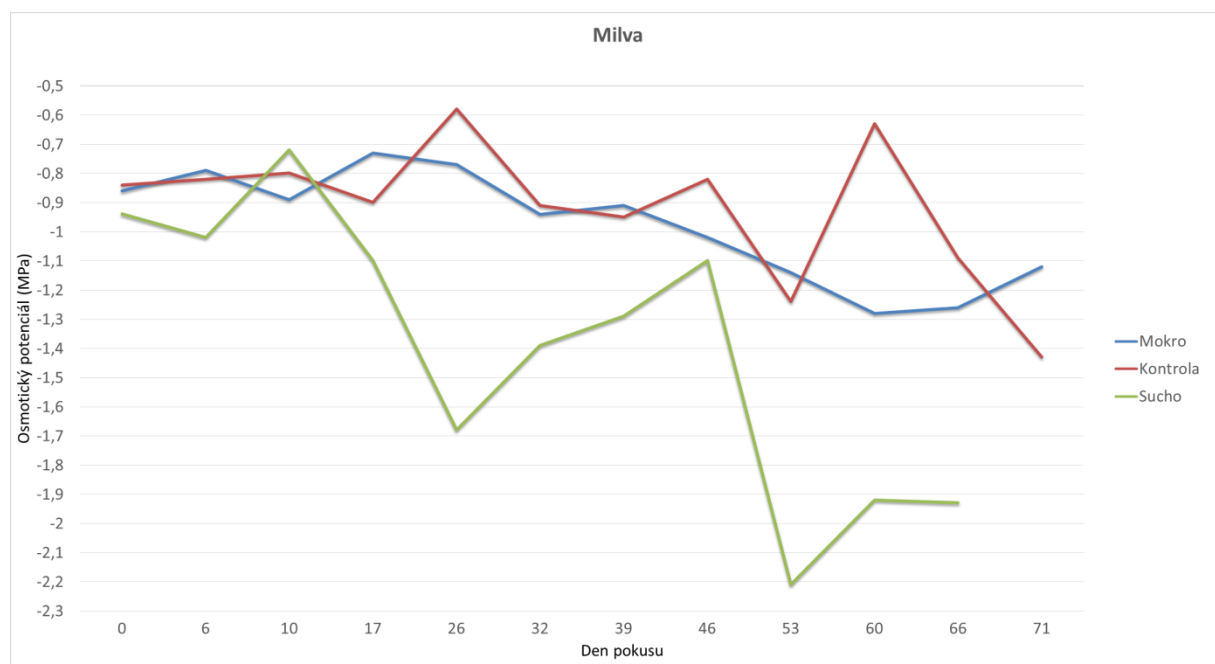
Tabulka 3. Procentuální rozdíl mezi kontrolní variantou a stresovanými variantami u odrůdy Marabel

Graf č. 4 zobrazuje osmotický potenciál v listech odrůdy Milva v závislosti na délce působení stresu. U rostliny ve variantě hypoxie nebyl v prvních deseti dnech zaznamenán statisticky významný rozdíl. Mezi 10. a 17. dnem nastal nárůst hodnot z -0,89 MPa na -0,73 MPa. Od 17. dne až do 32. dne pokusu hodnoty osmotického potenciálu klesaly. Významný pokles hodnot byl zaznamenán mezi 39. a 60. dnem, kdy rozdíl hodnot činil -0,37 MPa.

U kontrolní varianty odrůdy Milva bylo zaznamenáno kolísání hodnot osmotického potenciálu. Významný nárůst byl zaznamenán mezi 17. a 26. dnem, dále pak mezi 39. a 46. dnem a k nárůstu z -1,24 MPa na -0,63 MPa došlo 53. až 60. den. Naopak k významnému poklesu hodnot osmotického potenciálu došlo mezi 26. a 32., 46. a 53. dnem, k poklesu o -0,8 MPa došlo od 60. do 71. dne, kdy byl pokus ukončen.

Rostlina stresovaná nedostatkem vody vykazovala výrazný pokles hodnot osmotického potenciálu. Rozdíl mezi odběrem při zahájení pokusu a 66. dnem činil -0,99 MPa. K mírnému poklesu došlo již mezi 0. a 6. dnem (0,08 MPa), kdy rostlina čerpala vláhu z půdních zásob. K statisticky významným poklesům hodnot osmotického potenciálu došlo mezi 10. dnem (z -0,72 MPa) a 26. dnem (na -1,68 MPa), dále pak mezi 46. a 53. dnem, kdy rozdíl hodnot činil -1,11 MPa. Na konci působení vodního deficitu byla dosažena hodnota -1,93 MPa.

V tabulce č.4 je uveden procentuální přehled rozdílu hodnot mezi kontrolní variantou a stresovanými variantami.



Graf 4. Osmotický potenciál v listech odrůdy Milva v závislosti na délce působení stresu ( $s=0,3767$ )

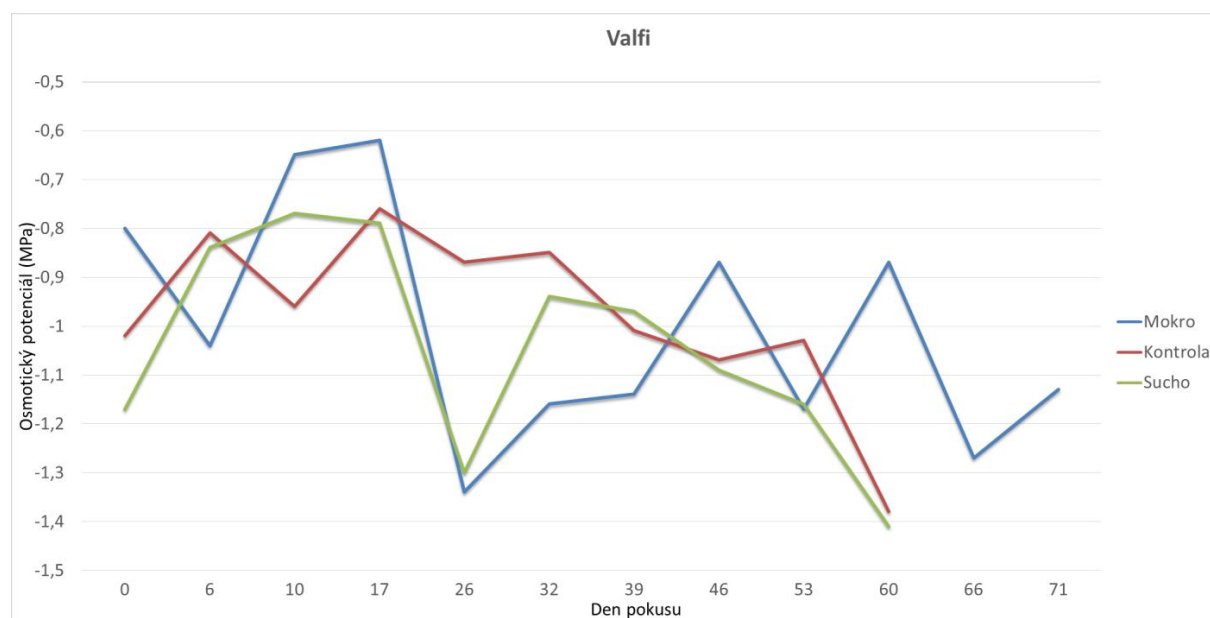
Den pokusu	0	6	10	17	26	32	39	46	53	60	66	71
<b>M</b>	2,3	3,7	11,3	18,9	32,8	3,3	4,2	24,4	8,1	103,2	15,6	21,7
<b>S</b>	11,9	24,4	10	22,2	189,7	52,7	35,8	34,1	78,2	204,8	77,1	-

Tabulka 4. Procentuální rozdíl mezi kontrolní variantou a stresovanými variantami u odrůdy Milva

Na grafu č. 5 jsou znázorněny tři varianty pokusu na rostlině odrůdy Valfi. Na uvedeném grafu je patrné, že stres hypoxií u této odrůdy nastal ihned po saturaci substrátu vodou. Rozdíl mezi prvním a druhým měření je -0,21 MPa. Mezi 6. a 17. dnem nastal nárůst hodnot z -1,04 MPa na -0,62 MPa a 26. den následoval prudký pokles na -1,34 MPa. Od 26. do 46. dne pokusu se hodnoty zvyšovaly. Pokles nastal mezi 46. a 53. dnem a mezi 60. a 66. dnem. Při posledním měření dosáhla hodnota osmotického potenciálu -1,13 MPa.

Kontrolní varianta odrůdy Valfi vykazovala nárůst hodnot mezi 0. a 6. dnem pokusu. Desátý den hodnota klesla na -0,96 MPa a od 17. dne, kdy hodnota osmotického potenciálu činila -0,76 MPa, došlo k poklesu až na -1,07 MPa. Od 53. dne následuje statisticky významný pokles hodnot až do 60. dne pokusu, po němž následoval úhyn rostliny.

Stres z vodního deficitu u odrůdy Valfi nastal až 17. den, kdy došlo k významnému poklesu hodnoty o -0,51 MPa. Po aplikaci závlivky s hnojivem se hodnoty po 26. dni pokusu zvýšily na -0,94 MPa. Od 32. dne jsme zaznamenali opět pokles hodnot, který přetrvával až do úhynu rostliny.



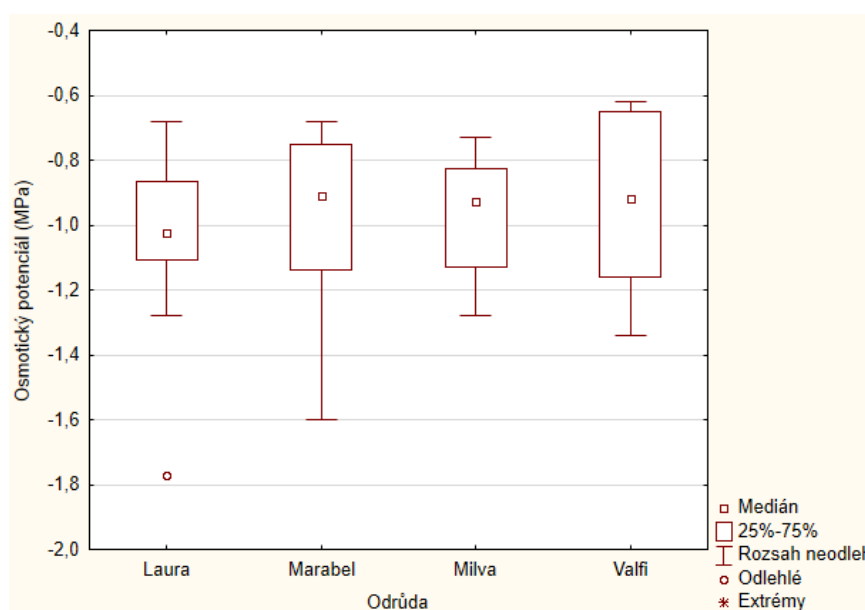
Graf 5. Osmotický potenciál v listech odrůdy Valfi v závislosti na délce působení stresu (s=0,2089)

Podrobný přehled působení stresu v porovnání s kontrolní variantou je uveden v tabulce č. 5.

Den pokusu	0	6	10	17	26	32	39	46	53	60
<b>Mokro</b>	21,6	28,4	32,3	18,4	54	36,5	12,9	18,7	13,6	37
<b>Sucho</b>	14,7	3,7	19,8	3,9	49,4	10,6	4	1,9	12,6	2,2

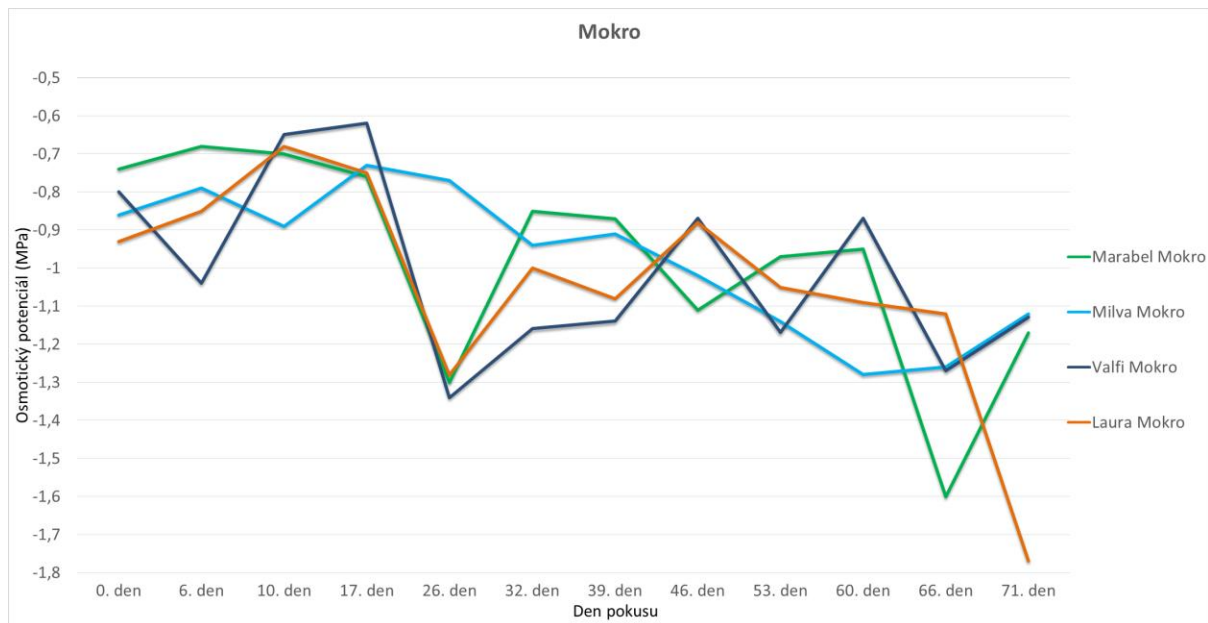
Tabulka 5. Procentuální rozdíl mezi kontrolní variantou a stresovanými variantami u odrůdy Valfi

V grafu 6 je patrný rozdíl v hodnotách osmotického potenciálu u jednotlivých odrůd lilku bramboru při plné saturaci substrátu vodou. Nejvyšších středních hodnot dosahuje odrůda Marabel -0,91 MPa, naopak nejnižších středních hodnot osmotického potenciálu dosahuje odrůda Laura -1,03 MPa. Z uvedeného grafu je patrné, že se většina naměřených hodnot překrývá. U odrůdy Laura byla naměřena hodnota osmotického potenciálu, která je odlehlá od ostatních měření. Jedná se o hodnotu -1,77 MPa, jenž byla naměřena 71. den od založení pokusu. U této varianty nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.



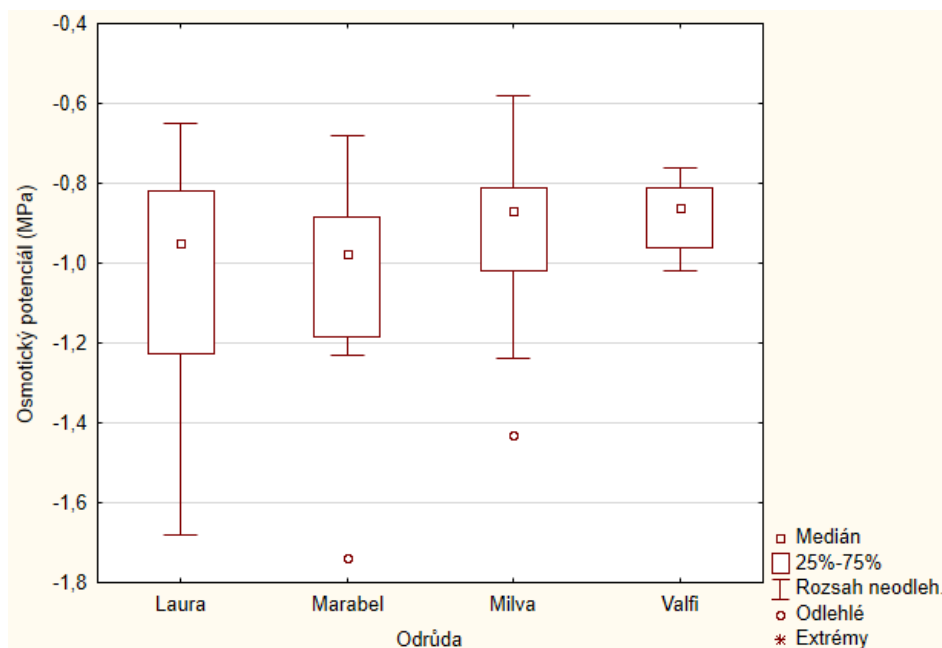
Graf 6. Osmotický potenciál (MPa) u varianty Mokro v závislosti na odrůdě bramboru (s=0,243)

Graf č. 7 znázorňuje průběh stresové reakce způsobené zaplavením u jednotlivých odrůd v závislosti na délce pokusu. Na znázorněném grafu je patrné, že u odrůd Marabel, Laura a Milva nastal pokles hodnot až mezi 6. – 10. dnem pokusu, zatímco u odrůdy Valfi nastal pokles hodnot okamžitě po založení pokusu. Při měření vzorků, odebraných 26. den pokusu byl zjištěn u odrůd Marabel, Laura a Valfi výrazný pokles hodnot. U odrůdy Milva tento pokles zaznamenán nebyl. U této odrůdy nastal výrazný pokles hodnot osmotického potenciálu 60. den pokusu, kdy naměřená hodnota činila -1,26 MPa. U odrůdy Marabel byla nejnižší dosažená hodnota -1,6 MPa 66. den pokusu.



Graf 7. Osmotický potenciál v listech rostlin bramboru při plné saturaci substrátu vodou ( $s=0,243$ )

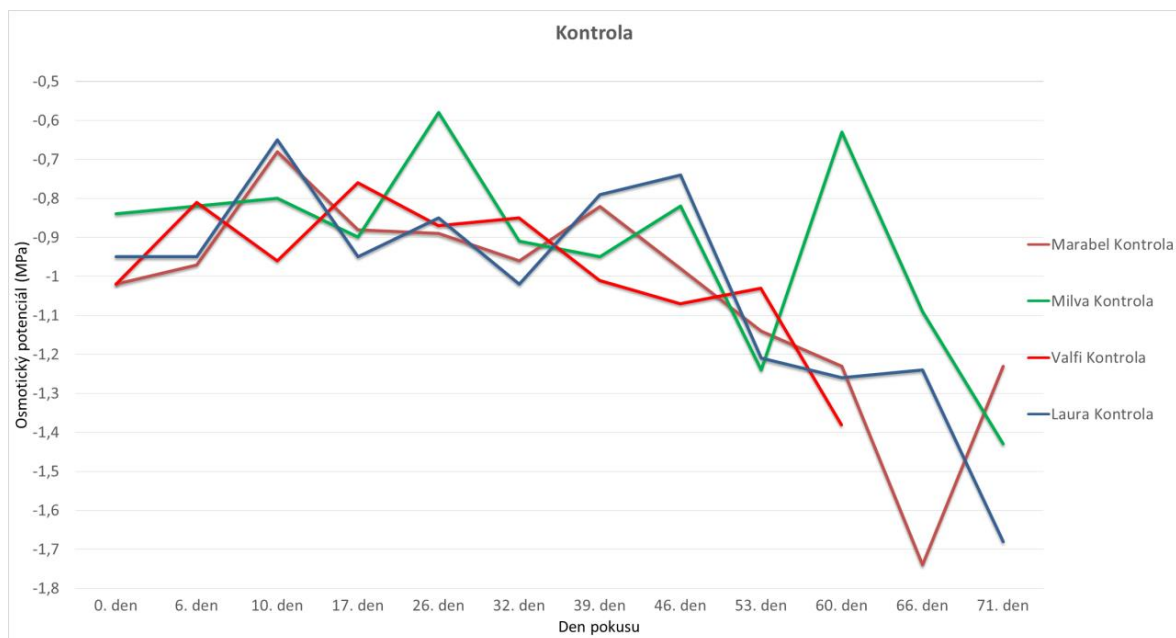
Osmotický potenciál u kontrolní varianty v závislosti na odrůdě bramboru znázorňuje graf č. 8. Střední hodnoty získané měřením se u jednotlivých odrůd výrazně neliší a naměřené hodnoty se překrývají. Nejvyšších středních hodnot dosáhla odrůda Milva (-0,87 MPa) a nejnižších odrůda Marabel (-0,98 MPa). U kontrolní varianty rostlin byla naměřeny dvě odlehlá měření oproti ostatním měřením. Odlehlé měření u odrůdy Marabel -1,74 MPa (66. den) a u odrůdy Milva -1,24 MPa (53.den). Ve variantě Kontrola nebyl dosažen statisticky významný rozdíl mezi odrůdami.



Graf 8. Osmotický potenciál (MPa) u varianty Kontrola v závislosti na odrůdě bramboru ( $s=0,2463$ )

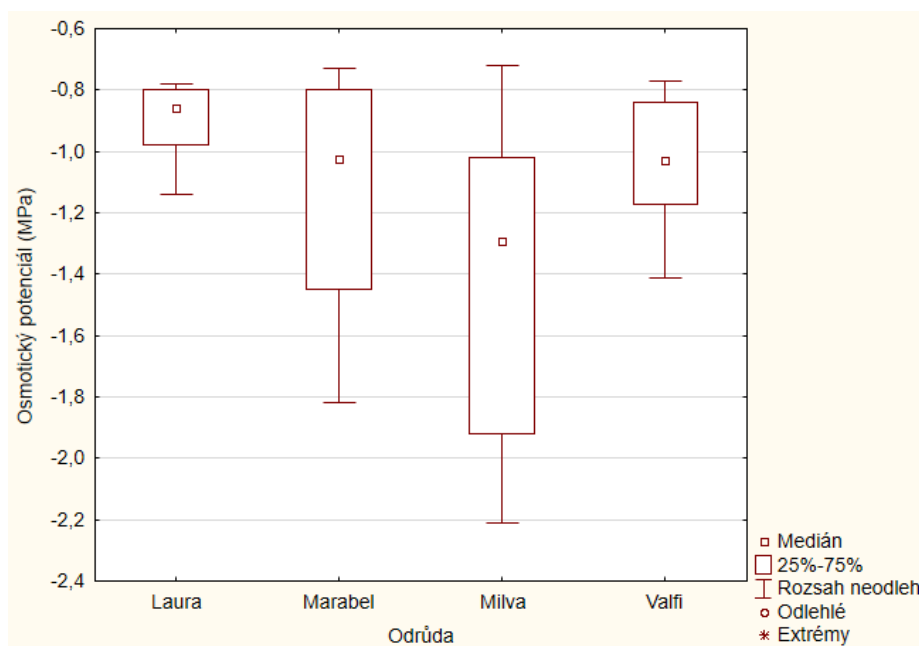


Na grafu č. 9 jsou znázorněny naměřené hodnoty osmotického potenciálu v listech rostlin bramboru u kontrolní varianty rostlin. Z grafu je patrný výrazný vzestup hodnot u odrůdy Milva mezi 53. – 60. dnem. K výraznému kolísání hodnot došlo u odrůdy Marabel mezi 60. a 71. dnem.



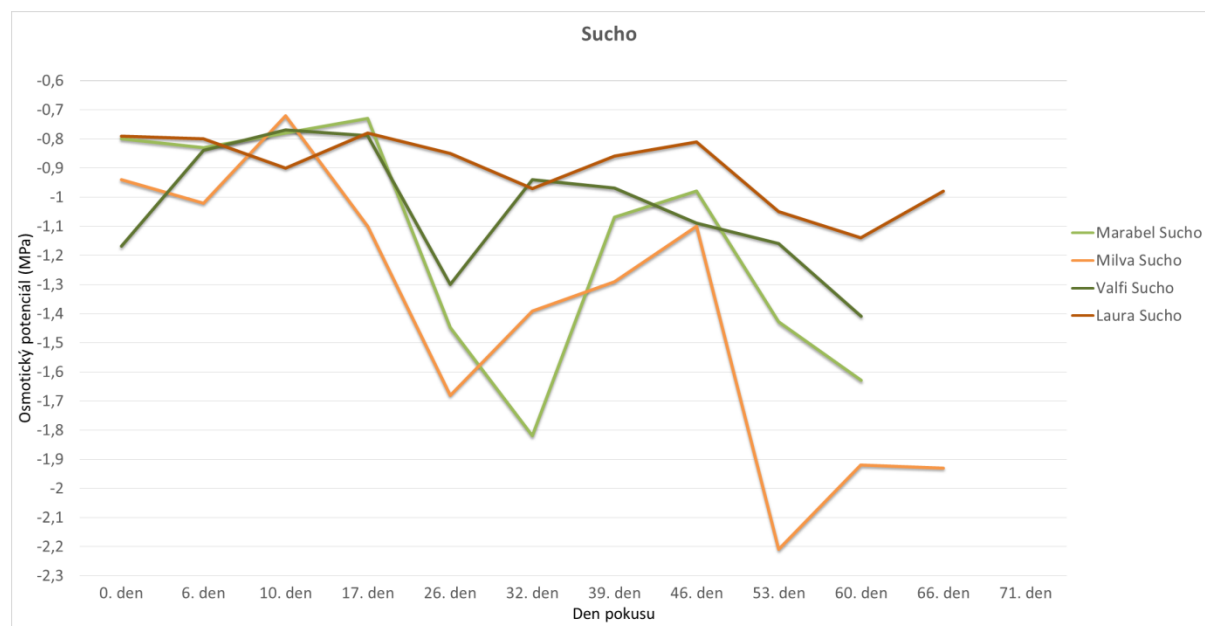
Graf 9. Osmotický potenciál v listech rostlin bramboru u kontrolní varianty v závislosti na délce pokusu ( $s=0,2463$ )

Reakci vodního deficitu na jednotlivé odrůdy lilku bramboru znázorňuje graf č. 10. Průměrné hodnoty u této varianty jsou u odrůdy Laura -0,86 MPa, Marabel -1,03 MPa, Milva -1,29 MPa a u odrůdy Valfi -1,03 MPa. Dále na základě uvedeného grafu je patrné, že se naměřené hodnoty nepřekrývají u odrůdy Laura a Milva.



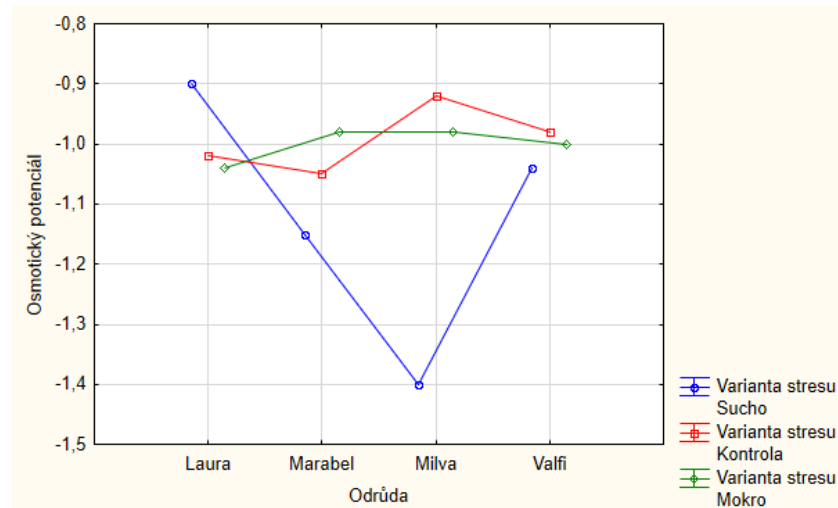
Graf 10. Osmotický potenciál (MPa) u varianty Sucho v závislosti na odrůdě bramboru ( $s=0,3722$ )

Graf 11 zachycuje naměřené hodnoty osmotického potenciálu v listech rostlin bramboru při působení vodního deficitu v závislosti na délce pokusu. V uvedeném grafu je patrný pokles hodnot u všech odrůd mezi 10. a 26. dnem pokusu, kdy došlo k vyčerpání vláhy z použitého substrátu. Zálivka s rozpuštěným hnojivem byla aplikována 26. den pokusu a na uvedeném grafu je patrný nárůst hodnot osmotického potenciálu. Z uvedeného grafu je patrné, že na vodní deficit nejlépe reagovala odrůda Laura s průměrem všech měření u suché varianty -0,9 MPa. Naopak špatná tolerance vodního deficitu se projevila u odrůdy Milva s průměrnou hodnotou ze všech měření u suché varianty -1,4 MPa. U varianty stresu způsobené suchem byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi odrůdami.

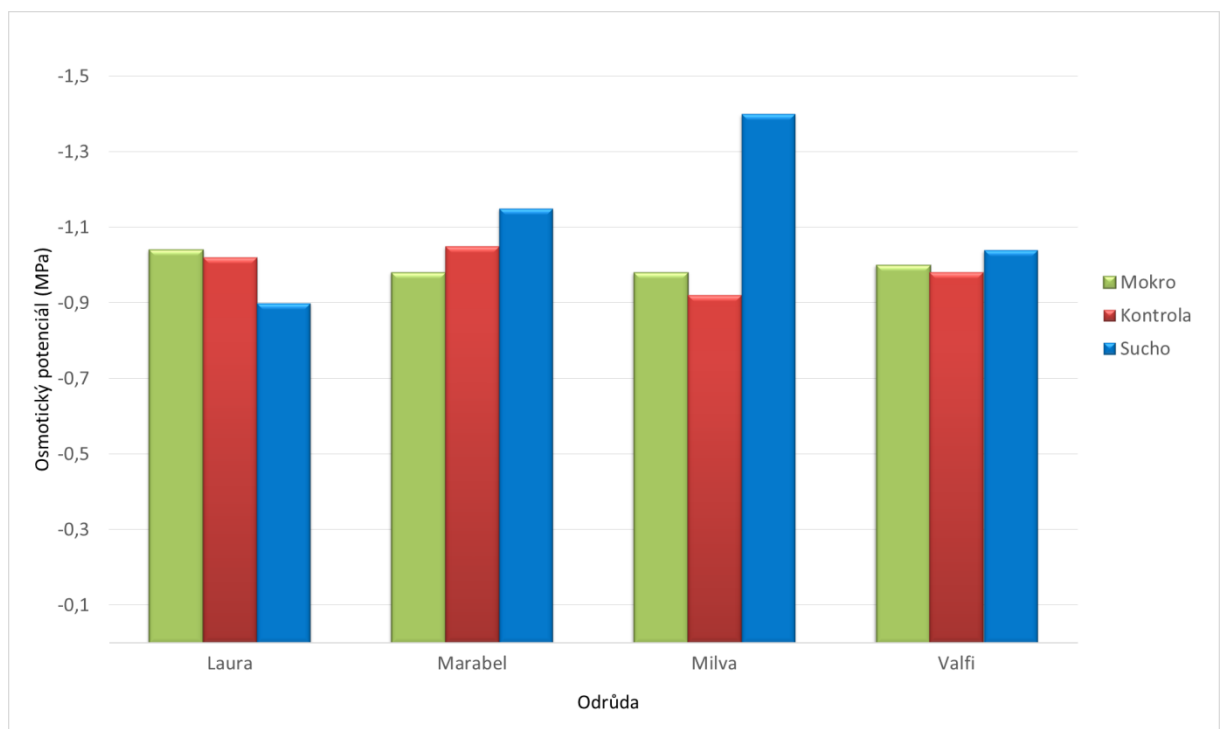


**Graf 11. Osmotický potenciál v listech rostlin bramboru při působení vodního deficitu v závislosti na délce pokusu (s=0,3722)**

Na grafu č. 12 a 13 jsou zobrazeny průměrné hodnoty ze všech měření osmotického potenciálu u jednotlivých variant stresu a jednotlivých odrůd. Z tohoto grafu je patrné, že mezi variantami Mokro a Kontrola nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. U varianty stresu Sucho byla zjištěna různá reakce odrůd na vodní deficit.



Graf 12. Osmotický potenciál (MPa) a varianty stresu u jednotlivých odrůd (s=0,1309)



Graf 13. Vliv stresované varianty na vodní potenciál u jednotlivých odrůd (s=0,1309)

## 6 Diskuze

### 6.1 Relativní obsah vody (RWC)

U rostlin dobře zásobených vodou je hodnota RWC obvykle vyšší než 88 %. Jestliže se hodnoty RWC pohybují mezi 72 % a 88 %, turgorový tlak se zpravidla přibližuje nulovému bodu (začíná plazmolýza). V tomto rozhraní dochází k viditelnému povadnutí listů a k snížení fotosyntézy (Hsiao 1990 in Ehlers & Goss 2016). Vliv snížení relativního obsahu vody na rychlost fotosyntézy uvádí i Cornic (2000). Pokud i nadále dochází k poklesu RWC až na hodnotu mezi 50 % a 60 %, rostliny jsou nenávratně poškozeny (stav křečové plazmolýzy) a hynou (Hsiao 1990 in Ehlers & Goss 2016).

Ze získaných výsledků vyplývá, že u kontrolní varianty byla průměrná hodnota relativního obsahu vody v listech 80,75 %. U varianty stresované suchem byly průměrné hodnoty 75,3 %, u varianty stresované trvalým zamokřením 80,5 %. Na základě tohoto pokusu se uvedená odrůda brambor jeví jako relativně tolerantní vůči zamokření. Nejvyšších průměrných hodnot RWC u kontrolní varianty dosáhla odrůda Valfi (85,3 %), následována odrůdou Marabel (80,5 %), Milva (79,9 %) a Laura (77,3 %). Nejvyšší citlivosti a rozdílu průměrných hodnot mezi kontrolní variantou a trvale zamokřenou bylo dosaženo u odrůdy Marabel (5,9 %) a Milva (5 %). U odrůdy Laura a Valfi činil rozdíl pouze 0,5 %. Nejvyššího rozdílu průměrných hodnot mezi kontrolní variantou a stresovanou vodním deficitem bylo dosaženo opět u odrůdy Marabel (8,7 %), následovanou odrůdou Milva (5,9 %), Laura (4,2 %) a u odrůdy Valfi byl rozdíl nejnižší (2,9 %). Nejnižší hodnota RWC byla naměřena 27,3 % (53. den pokusu) u odrůdy Laura u stresované varianty trvalým zamokřením. Nejvyšší hodnotu jsme zaznamenali u kontrolní varianty odrůdy Valfi (97,8 %) 17. den pokusu.

Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že odrůda Marabel reagovala nejcitlivěji na vodní stres. Jako nejodolnější vůči vodnímu stresu na základě hodnot RWC se jevila odrůda Valfi. Kušniarová et al. (2017) prokázali u rostlin sóji fazolové, že sucho vedlo k výraznému poklesu RWC hodnot, což můžeme na základě pokusu s rostlinou lilku bramboru také potvrdit. Orsák et al. (2020) ve své studii uvádějí, že rostliny dosahující vyšších hodnot RWC u varianty s nedostatkem vláhy dosahují vyšších výnosů. Liu et al. (2005) potvrdili pokles hodnot RWC u rostlin lilku bramboru a dodávají, že nejvyššímu poklesu hodnot RWC došlo v době kvetení a v době tvorby hlíz. Pokles hodnot v těchto fázích ontogenetického vývoje můžeme na základě získaných dat také potvrdit. Ve studiích, které byly provedeny na odrůdách pšenice, zaznamenali pokles RWC z 88% na 45% následkem vodního stresu (Siddique et al. 2000). Podobné závěry o poklesu objemu RWC publikovali u odrůd ječmene Mationn et al. (1989) a Khadem et al. (2010), kteří se zabývali působením stresu suchem na vybrané kultivary kukuřice (*Zea mays* L.).

Provedenou studií byl zjištěn vliv deficitu vody na relativní obsah vody u testovaných genotypů lilku bramboru.

### 6.2 Osmotický potenciál

Vodní potenciál vyjadřuje o kolik je aktivita vody v pletivech nižší než aktivita chemicky čisté vody (Ehlers & Goss 2016). Shabala (2002) uvádí, že vodní potenciál

vyjadřuje energii, která umožňuje pohyb vody v rostlině. Hassanpanah (2010) provedl studii, kde sledoval průměrný počet hlíz, jejich hmotnost na jednotlivých odrůdách brambor při působení vodního deficitu. Nejvíce hlíz bylo napočítáno u rostlin, u kterých byl naměřen osmotický potenciál 0 bar. Méně hlíz napočítal při hodnotě osmotického potenciálu -2 bar (-0,2 MPa) a u rostlin s naměřenou hodnotou -3 bar (-0,3 MPa) nebyly hlízy pozorovány.

Ze získaných výsledků vyplývá, že u kontrolní varianty byla průměrná hodnota osmotického potenciálu -0,99 MPa. U varianty stresované suchem byly průměrné hodnoty vodního potenciálu -1,12 MPa, u varianty stresované trvalým zamokřením -1 MPa. Jak dokládají výsledky, nejnižší hodnoty vodního potenciálu byly zaznamenány u varianty stresované suchem. Costa et al. (1997) uvádějí, že citlivost brambor vůči suchu dokládá i jejich brzké zavírání průduchů, ke kterému dochází již při hodnotách mezi -0,4 MPa až -0,6 MPa. Nejvyšší rozdíl u rostlin pěstovaných v podmínkách sucha byl naměřen mezi odrůdami Milva (-1,4 MPa) a Laura (-0,9 MPa). Nejvyšší tolerance vůči suchu byla zjištěna u odrůdy Laura s průměrem všech měření u suché varianty -0,9 MPa. Jako méně tolerantní vůči suchu se na základě této charakteristiky jeví odrůdy Marabel (-1,15 MPa) a Valfi (-1,04 MPa). Odrůdou, která reagovala nejcitlivěji na vodní deficit, byla Milva (-1,39 MPa). Postupné snižování hodnot vodního potenciálu od zahájení pokusu bylo u rostlin stresovaných suchem potvrzeno u všech sledovaných odrůd. Pokles hodnot vodního potenciálu v listech rostlin vlivem působení stresu z nedostatku vody potvrzuje např. i Siddique et al. (2000) u kukuřice (*Zea mays* L.).

U varianty vystavené hypoxii nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi odrůdami. Od prvního měření do 39. dne pokusu vykazovala odolnost vůči hypoxii odrůda Milva. Okamžitou reakci na plnou saturaci substrátu vodou jsme zaznamenali u odrůdy Valfi, kdy rozdíl mezi prvním a druhým odběrem činil -0,24 MPa. U varianty s vodním deficitem jsme zaznamenali pokles hodnot osmotického potenciálu u odrůdy Milva 10. den, u odrůd Laura, Marabel a Valfi 17. den pokusu, což mohlo být způsobeno čerpáním vlhkosti z použitého substrátu. 26. den pokusu byla aplikována zálivka a přihnojení rostlin. Odrůdy Valfi a Milva zareagovaly nárůstem hodnot, který byl naměřen 32. den odběru, u odrůdy Laura a Marabel došlo k nárůstu hodnot až 39. den. U odrůd Laura, Marabel a Valfi byla u varianty stresu zamokřením pozorována příznivá reakce na zálivku s rozpuštěným hnojivem. Naproti tomu Rud et al. (2014) uvádějí, že rostliny lilku bramboru pod 50 % závlahou vykazovaly lepší stav, než rostliny pod 100 % závlahou.

Na základě získaných dat můžeme konstatovat, že odrůdou tolerantní vůči vodnímu deficitu je odrůda Laura. Odrůdou citlivou na vodní deficit je Milva. Rozdíly mezi sledovanými genotypy brambor Laura, Marabel, Milva a Valfi na vodní stres existují. Rozdílnou reakci genotypů brambor na vodní stres potvrdili ve své studii i Hirut et al. (2017). Ti uvádějí, že vodní stres má vliv na výnos brambor, a že rozhodujícím faktorem je délka trvání stresu, závažnost stresu a genotyp brambor.

Byl zjištěn vliv nadbytku a deficitu vody na vodní potenciál. U stresovaných rostlin byly hodnoty vodního potenciálu s nástupem stresu nižší než u kontrolní varianty. Výraznější rozdíly byly zaznamenány u rostlin stresovaných suchem, než u rostlin pěstovaných v podmínkách hypoxie.

## 7 Závěr

Navrženým cílem této diplomové práce bylo na základě experimentálního vyhodnocení zjistit rozdíly v relativním obsahu vody a vodním potenciálu listů lilku bramboru v průběhu ontogenetického vývoje rostlin v závislosti na působení nedostatku a nadbytku vody. Ze získaných výsledků lze konstatovat následující závěry:

1. Vodní stres u jednotlivých odrůd lilku bramboru způsobil pokles hodnot osmotického potenciálu a snížení hodnot relativního obsahu vody u varianty stresované suchem.
2. Při stanovení relativního obsahu vody byla prokázána nejvyšší odolnost vůči vodnímu deficitu u odrůdy Valfi (82,4 %) naopak nejcitlivěji reagovala odrůda Marabel (71,8 %).
3. Nejvyšší odolnost vůči hypoxii byla zaznamenána u odrůdy Valfi (85,8 %) a nejcitlivěji reagovala odrůda Marabel (74,6 %).
4. Na základě stanovení vodního potenciálu vykazovala nejvyšší odolnost vůči suchu odrůda Laura (-0,9 MPa), nejcitlivěji reagovala odrůda Milva (-1,4 MPa).
5. Hodnoty naměřeného osmotického potenciálu u rostlin stresovaných nadbytkem vody byly konstantní.

### Stanovisko k výzkumným hypotézám:

#### 1. Existují rozdíly mezi sledovanými genotypy brambor na vodní stres?

Na základě získaných dat byly prokázány rozdíly mezi sledovanými genotypy lilku bramboru na vodní stres. Odrůdou s nejvyšší tolerancí vůči suchu byla odrůda Laura následovaná odrůdou Valfi. Poměrně nízká citlivost na suchu byla zaznamenána u odrůdy Milva. Odrůdu s nejvyšší tolerancí nebo citlivostí vůči nadbytku vody nelze jednoznačně určit. Hypotéza existence rozdílů mezi sledovanými genotypy při působení vodního stresu byla potvrzena.

#### 2. Existuje vliv nadbytku a deficitu vody na relativní obsah vody a vodní potenciál?

Sledované genotypy brambor v podmínkách s nedostatkem vody reagovaly poklesem hodnot relativního obsahu vody a vodního potenciálu. U rostlin stresovaných zamokřením byly hodnoty vodního potenciálu s nástupem stresu nižší. I tato hypotéza byla potvrzena.

#### 3. Reagují sledované genotypy brambor lépe na nadbytek nebo nedostatek vody v substrátu?

Rozdíly v citlivosti způsobené stresem byly více průkazné u rostlin stresovaných nedostatkem vody. U rostlin pěstovaných v podmínkách hypoxie nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl.

## 8 Literatura

Adobe Stock. 2020. Parts of plant. Morphology of potato plant. Available from: <https://stock.adobe.com/cz/images/parts-of-plant-morphology-of-potato-plant/178926654> (accessed March 2020)

Ali, M., Jensen, C.R., Morgensen, V.O., 1998. Early signals in field grown wheat in response to hallow soil drying. *Aust. J. Plant Physiol.* 25, 871-882.

Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research* 6 (9): 2026-2032.

Atwell, B., Kriedeman, P., Turnbull, C. 1999. *Plants in action*. The Australian Society of Plant Physiologists and The New Zealand Society for Horticultural Science, p. 202-300.

Bláha, L., Hnilička, F. (ed.). 2011. *Aktuální kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu 2011*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. ISBN: 978-80-213-2159-5.

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 56.

Brestič, M., Olšovská, K., 2005. Funkcia chemickej a hydraulickej signalizácie o vodnom strese pri hodnotení suchovzdornosti juvenilných rastlín. *Slovenská poľnohospodárska univerzita Nitra*.

Brestič, M., Živčák, M., Olšovská, K., Slamka, P. 2008. Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. *L. Plant Soil Enviromen* 54(4): 133-139

Cornic, G. 2000. Drought stress inhibits Photosynthesis By decreasing stomatal aperture- Not by affecting ATP synthesis. *Trends plant science.* 5: 187-198

Costa, L. D., Gianquinto, G., Vedove, G. D., Giovanardi, R. 1997. Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: Influence of drought stress. *Potato Research*, DOI: 10.1007/BF02407559.

Crusciol, C. A. C., Pulz, A. L., Lemos, L. B., Soratto, R. P., LIMA G. P. P. 2009. Effects os silicon and drought stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato. *Crop Science* DOI: 10.2135/cropsci2008.04.0233.

Český hydrometeorologický ústav. 2020. Available from: [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz). (accessed June 2020).

Český Statistický Úřad. 2020. Veřejná databáze. Vývoj ploch, hektarových výnosů a sklizní zemědělských plodin. Praha. Available from: [https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02G&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&evo=v1442\\_!\\_ZEM02G-celek\\_1](https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&pvo=ZEM02G&z=T&f=TABULKA&skupId=386&katalog=30840&pvo=ZEM02G&evo=v1442_!_ZEM02G-celek_1) (accessed June 2020)

Domkářová, J., Krejča, V., Kopačka, V., Štefánek, F., Vokál, B. 2019 České odrůdy konzumních brambor 2019. Praha: ČMŠSA, 2019

Ehlers, W., Goss, M. 2016. Water dynamics in plant production, 2nd Edition. CABI, Boston.

Europlant. 2020. Katalog odrůd. Europlant šlechtitelská s. r. o. Praha. Available from: <https://europlant.cz/katalog-odrud> (accessed January 2020)

Fuchs, M. 1990. Infrared measurement of canopy temperature of detection of plant water-stress. *Theoretical Applied Climatology*, 42, 253-261

Guilioni, L. W., Lecoecur, J. J. 2003. High temperature and water deficit may reduce seed number in field pea purely by decreasing plant growth rate. *Functional Plant Biology - Funct Plant Biol.* 30. 10.1071/FP03105.

Haberle, J., Trčková, M., Růžek, P. 2008. Příčiny nepříznivého působení sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha.

Haghverdi, A.; Najarchi, M.; Öztürk, H.S.; Durner, W. 2020 Studying Unimodal, Bimodal, PDI and Bimodal-PDI Variants of Multiple Soil Water Retention Models: I. Direct Model Fit Using the Extended Evaporation and Dewpoint Methods. *Water* 2020, 12, 900.

Hassanpanah, D. 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo conditions. *Biotechnology*. 9 (2). 164-169.

Hirut, B.G., Shimelis, H., Fentahun, M., Bonierbale, M., Gastelo, M., Asfaw, A. 2017: Combining ability of highland tropic adapted potato for tuber yield and yield components under drought. *PLoS ONE* 12, e0181541. (Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181541>), (accessed June 2020)

Hnilička, F. 2003. Působení vnějších negativních faktorů na rostliny, abiotické stresory. In. *Rostlina a stres*. Praha. VÚRV. 34. S.



- Hnilička, F., Středa, T. (ed.). 2016. Rostliny v podmínkách stresu - abiotické stresory. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 233 s. ISBN: 978-80-213-2680-4.
- Hruška, L. 1974. Brambory. Státní zemědělské nakladatelství, Praha
- Jefferies, R. A. 1993. Responses of potato genotypes to drought. 1. Expansion of individual leaves and osmotic adjustment. *Annals of Applied Biology* 122, 93–104.
- Jensen, C. R., Battilani, A., Plauborg, F., Psarras, G., Chartzoulakis, K., Janowiak, F., Stikuc, R., Jovanovic, Z., Li, G., Qi, X., Liu, F. 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signalling in potatoes and tomatoes. *Agricultural Water Management*. 98 (3). 403-413
- Jones, H. G., Flowers, T. J, Jones, M. B. (eds.). 2008. *Plants under Stress*. Cambridge University Press. Cambridge
- Jones, H. G., Jones, M. B. 1989. Introducing: some terminology and common mechanisms. Pages 1-10 in Jones HG, Flowers TJ, Jones MB, editors. *Plants Under Stress*. Cambridge university Press. Cambridge.
- Jun, J. 2017. Z historie vzniku a vývoje výzkumné stanice Valečov. Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, Havlíčkův Brod. ISBN 978-80-86940-73-1.
- Jun, J., Novák, F. 2008. 100 let organizovaného českého bramborářství: 1908-2008. Ústřední bramborářský svaz České republiky, Havlíčkův Brod. ISBN 978-80-904212-0-2.
- Kadukova, J., Kavulicova, J. 2010. *Phytoremediation and Stress: evaluation of heavy metalinduced stress in plants*. Nova. New York.
- Khadem, S. H., Galavi, M., Mousavi, S. R., Maghaddam, P. R. 2010. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorofyl content under dry condition. *Australian Journal of Crop Science* 4(8):642-647.
- Knipp, G., Honermeier, B. 2006. Effect of water stress on proline accumulation of genetically modified potatoes (*Solanum tuberosum* L.) generating fructans. *Journal of Plant Physiology*. 163 (4). 392-397.
- Kosová, K., Vítámvás, P., Prášil, I. T., Renaut, J. 2011. Plant proteome changes under abiotic stress--contribution of proteomics studies to understanding plant stress response. *J Proteomics*. 74(8):1301-1322. doi:10.1016/j.jprot.2011.02.006
- Kostrej, A., Danko J, Gáborčík N, Jureková Z, Kubová A, Repka J, Zima M. 1992. Fyziológia porastu poľných plodín. Slovenská poľnohospodárska univerzita Nitra
- Kúdela V. 2013. Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění. Živá příroda. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-.

- Kušniarová, P., Kovár, M., Olšovská, K., Brestič, M., 2017. Image analysis as a tool for phenotyping soybean roots. Slovenská poľnohospodárska univerzita, Nitra
- Kutnar, F. 2005. Malé dějiny brambor: 2. přeprac. a rozš. vyd. Pelhřimov: Nová tiskárna Pelhřimov. ISBN 80-86559-30-0.
- Larcher, W. 2003. Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups. Springer. Berlin. 513 p. ISBN: 3-540-43516-6
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses: water, radiation, salt and other stresses. Academic Press. London.
- Levy, D. 1983. Water deficit enhancement of proline and  $\alpha$ -amino nitrogen accumulation in potato plants and its association with susceptibility to drought. *Physiol Plant*. 57:169-73
- Litschmann, T., Doležal, P., Hausvater, E. 2014. Sledování meteorologických faktorů v rostlinné výrobě. Havlíčkův Brod: Výzkumný ústav bramborářský. Praktické informace, č. 56. ISBN 978-80-86940-61-8
- Liu, F., Jensen, C. R., Shahanzari, A., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E. 2005. ABA regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. *Plant Science*. 168 (3). 831-836.
- Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E., Jensen, C. R. 2006. Physiological responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root-zone drying: ABA signalling, leaf gas exchange, and water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*. 57 (14). 3727-3735.
- Madhava, R., Raghavendra, K. V. 2006. Physiology and molekula biology of stress tolerance in plants. Dordrecht, Springer, 345 p. ISBN: 1-4020-4225-6.
- Mahajan, S., Tuteja N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. (444). p. 137-159
- Mationn, M. A., Brown, J. H., Ferguson, H. 1989. Leaf water potential, relative water content and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agron. J.* 81:100-105.
- Míchal, I. 1994. Ekologická stabilita. Veronica. Brno. 276 s. ISBN: 8085368226
- Mitchell, S. D., et al., 1998. The use of seedling leaf death score for evaluation of drought resistance of rice.

- Nielsen, E. T., Orcutt, D. M. 1996. *Physiology of Plants under Stress. Abiotic factors*. New York: John Wiley a Sons, 704 p. ISBN: 978-0-471-03152-9.
- Orsák, M., Kotíková, Z., Hnilička, F., Lachman, J., Stanovič, R. 2020. Effect of drought and waterlogging on hydrophilic antioxidants and their activity in potato tubers. *Plant Soil Environ.*, 66: 128-134.
- Pazderů, K. 2010. *Semena a stresové podmínky*. 1. vyd. Praha. Česká zemědělská univerzita. 10 s. ISBN: 978-80-7427-023-9
- Petříková, K., Pokluda, R., Koudela, M., Hnilička, F., Jezdinský, A., Vojtíšková, J., Nedorost, L., Kopta, T., Martinková, J. 2012. Omezení negativních důsledků vláhového deficitu na hospodářské ukazatele zeleniny. Mendelova univerzita. Brno.
- Rybáček, V. 1988. *Brambory*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha
- Řepková, J. 2013. *Odolnost rostlin k abiotickým stresovým faktorům*. Genetika rostlin, Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity: dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js13/genetika/web/pages/08rezistence-k-abiotickym-faktorum.html>
- Seifert, V. 1994. *Počasí kolem nás*. Praha, ISBN: 80-7169-053-8.
- Shabala, S. N., Lew, R. R. 2002. Turgor regulation in osmotically stressed *Arabidopsis* epidermal root cells. Direct support for the role of inorganic ion uptake as revealed by concurrent flux and cell turgor measurements. *Plant physiology*, 129.1: 290-299.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Lu, Z. H., Kang, C. M. 2008. Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plant cells. 4: 8-14.
- Siddique, M. R. B., Hamid A., Islam M. S. 2000. Drought stress effects on water relations of wheat. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 41:35-39.
- Slavík, B., Bělohávková, R., 2000. *Květena České republiky*. 6. Academia. Praha. ISBN 80-200-0306-1
- Vadez, B. J. 2012. Adaptation of grain legumes to climate change. *Agronomy for Sustainable Development*, 32.
- Vokál, B. 2013. *Brambory: šlechtění, pěstování, užití, ekonomika*. Profí Přes., Praha. ISBN 978-80-86726-54-0.
- Vos, J., Mackeron, D. K. L. 2000. Basic concepts of the management of supply of nitrogen and water in potato production. Pages 15–33 in Haverkort, A. J., MacKerron, editors.

Management of nitrogen and water in potato production. Wageningen Pers, Wageningen.

Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, Ch., Govers, F., Taylor, M. A., Mackerron, D. K. L., Ross, H. A. 2011. Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives, Elsevier, ISBN 0080525059, 9780080525051

VÚB. 2018. Odrůdy bramboru a topinamburu Výzkumného ústavu bramborářského Havlíčkův Brod: rady pro spotřebitele a zahrádkáře, recepty k inspiraci. Havlíčkův Brod: Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod, Praktické informace, číslo 69. ISBN 978-80-86940-77-9.

Rud, R., Cohen, Y., Alchanatis, V., Levi, A., Brikman, R., Shenderey, C., Heuer, B., Markovitch, T., Dar, Z., Rosen, C., Mulla, D., Nigon, T. 2014. Crop water stress index derived from multi-year ground and aerial thermal images as an indicator of potato water status. Precision agriculture. 15 (3). 273-289.

Žižka, J. 2019. MZE, Brambory: situační a výhledová zpráva. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, ISBN 978-80-7434-516-6

