

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Stanovení vodního potenciálu vybraných rostlin pěstova-  
ných v podmínkách vodního deficitu**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Denisa Procházková**

**Vedoucí práce: Ing. Helena Hniličková, Ph.D.**

© 2016 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že bakalářskou práci "Stanovení vodního potenciálu vybraných rostlin pěstovaných v podmínkách vodního deficitu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12. 4. 2016

\_\_\_\_\_

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Heleně Hniličkové Ph.D. za ochotu a obětavost při vypracování této práce, za trpělivost při konzultacích a cenné rady.

# Stanovení vodního potenciálu vybraných rostlin pěstovaných v podmínkách vodního deficitu

## Souhrn

Bakalářskou práci jsem zpracovala na téma „Stanovení vodního potenciálu vybraných rostlin pěstovaných v podmínkách vodního deficitu“.

Rajčata a papriky jsou teplomilné rostliny, které jsou velmi náchylné na nedostatek vláhy. Zejména pak paprika, která má menší kořenovou soustavu a sucho snáší hůře. Obě rostliny patří do čeledi *Solanaceae*.

Tato čeleď je velmi významná z hlediska užitkovosti, díky svým plodům, které se konzumují, potřebují ke svému vývoji dostatek vláhy. Proto je sucho jedním z nejvýznamnějších stresových faktorů. Cílem pokusu bylo sledovat průběh stresové reakce a následné vyhodnocení reakce vybraných druhů.

Pokus probíhal v létě roku 2015 s mladými rostlinami rajčete a papriky. Tyto rostliny byly vystaveny řízenému vodnímu stresu ve skleníku Katedry botaniky a fyziologie rostlin FAPPZ ČZU v Praze. Během pokusu měly rostliny přirozené světelné podmínky a byly pěstovány v nádobách se zahradním substrátem. Pokusné rostliny byly rozděleny na dvě varianty a to na kontrolní a stresovanou. U kontrolní varianty probíhala pravidelná zálivka, naopak u varianty stresované byla zálivka během pokusu přerušena. Pokus probíhal po dobu 14 dní a byl ukončen po 7. odběru, kdy byly rostliny zcela dehydratovány. Vodní potenciál byl měřen Dew point meter a hmotnostní vlhkost pomocí přístroje HH<sub>2</sub> moisture meter.

Hodnota vodního potenciálu u stresované varianty během pokusu klesala. U rostlin *Solanum lycopersicum* byly počáteční hodnoty - 1,09 MPa a klesaly až na - 4,07 MPa. K poklesu došlo i u *Capsicum annuum*, jejíž hodnoty se pohybovaly mezi - 1,02 až - 4,15 MPa. Hodnoty naměřené u rostlin stresovaných vodním deficitem byly nižší než tomu bylo u varianty kontrolní.

Hmotnostní vlhkost se u stresovaných rostlin také měnila. U obou stresovaných druhů rostlin došlo během měření k poklesu půdní vlhkosti. U *Solanum lycopersicum* se naměřené hodnoty pohybovaly od 0,38 g.g<sup>-1</sup> do 0 g.g<sup>-1</sup>. U rostlin *Capsicum annuum* se měření pohybovalo v rozmezí od 0,55 g.g<sup>-1</sup> do 0,01 g.g<sup>-1</sup>. Kdy hodnoty naměřené u stresovaných rostlin dosáhly nižších hodnot než u kontrolní varianty. Oba druhy rostlin měly na vodní stres podobnou reakci a nijak zvláště se nelišily.

**Klíčová slova:** vodní stres, vodní potenciál, rajče, paprika setá

# Determination of water potential of selected plants grown in water deficit

Bachelors thesis is processed on the topic Determination of water potential of selected plants grown in water deficit.

Tomatoes and peppers are thermophilic plants which are very prone to lack of moisture. Especially pepper which has smaller root system handles draught much worse. Both of these plants belong to the Solanaceae family.

This family is very important from the aspect of utility. It is because its fruits which can be consumed but they also need enough moisture for its growth. That is the reason why draught is one of the most stressful factors. The first objective of the experiment was to watch the process of the stressful reaction. The second objective was the evaluation of selected species.

The experiment took place in summer 2015 and it focused on young plants of tomatoes and peppers. These plants were exposed to controlled water stress in greenhouse which belongs to the Department of botany and plants physiology (University ČZU in Prague). During the experiment the plants have natural light conditions as they were grown in containers with garden substrate. The experimental plants were divided to two subgroups: first group was the controlled and the second was stressed. The first group was regularly watered but the second group has gradual cancellations of watering. Duration of the experiment was 14 days and it was ended after 7<sup>th</sup> collection when the plants were absolutely dehydrated. Water potential was measured by Dew point meter and mass humidity was measured with machine called HH<sub>2</sub> moisture meter.

The value of water potential with stressed group went down during the experiment. Initial values of *Solanum lycopersicum* were - 1,09 MPa and they were decreasing down to - 4,07 MPa. Decreasing tendency was registered with the *Capsicum annuum* too which values were between - 1,02 MPa - 4,15 MPa. Values measured with stressed plants were lower than values measured with controlled group.

Mass humidity with stressed plants was changing too. Reduction of soil humidity was registered during measurement with both stressed species. Measured values were between 0,38 g.g<sup>-1</sup> – 0 g.g<sup>-1</sup> with *Solanum lycopersicum* and measured values with *Capsicum annuum* were between 0,55 g.g<sup>-1</sup> – 0,01 g.g<sup>-1</sup>. When the value measured in stressed plants were

lower than those in the control variant. Both species had similar reaction with the water stress and they were not that different.

**Keywords:** water stress, water potential, tomato, *Capsicum annuum*

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Literární přehled.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Čeleď <i>Solanaceae</i> .....</b>	<b>12</b>
3.1.1	Klasifikace .....	12
3.1.2	Charakteristika .....	12
<b>3.2</b>	<b><i>Solanum lycopersicum</i> .....</b>	<b>13</b>
3.2.1	Původ a význam.....	13
3.2.2	Botanická charakteristika.....	14
3.2.3	Nároky na prostředí a hnojení.....	15
3.2.4	Pěstování, sklizeň.....	16
3.2.5	Odrůdy .....	17
<b>3.3</b>	<b><i>Capsicum annuum</i> .....</b>	<b>18</b>
3.3.1	Původ a význam.....	18
3.3.2	Botanická charakteristika.....	19
3.3.3	Nároky na prostředí a hnojení.....	19
3.3.4	Pěstování a sklizeň.....	20
3.3.5	Odrůdy .....	21
<b>3.4</b>	<b>Voda.....</b>	<b>22</b>
3.4.1	Fyzikální vlastnosti .....	23
<b>3.5</b>	<b>Vodní režim rostlin .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6</b>	<b>Vodní stres .....</b>	<b>25</b>
3.6.1	Stres a stresová reakce .....	25
3.6.2	Sucho a vodní stres .....	26
3.6.3	Reakce rostlin na nedostatek vody.....	28
<b>3.7</b>	<b>Vodní potenciál.....</b>	<b>28</b>
3.7.1	Vodní potenciál rostlinných buněk.....	28
3.7.2	Složky vodního potenciálu.....	29
<b>3.8</b>	<b>Vodní potenciál a přemístování vody v buňce .....</b>	<b>30</b>
3.8.1	Buňka v hypotonickém prostředí .....	30
3.8.2	Buňka v hypertonickém prostředí – začínající plasmolýza .....	31
<b>3.9</b>	<b>Metody měření vodního potenciálu buněk .....</b>	<b>31</b>
3.9.1	Kompenzační metody .....	31
3.9.1.1	Kompenzační metody v kapalně fázi .....	31
3.9.1.2	Kompenzační metoda v plynné fázi .....	32
3.9.2	Psychrometrické metody.....	33
3.9.3	Metody rosného bodu .....	33
3.9.4	Metoda tlakové komory .....	33

3.9.4.1	Tlaková komora .....	33
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>Charakteristika odrůd .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Kultivace rostlin .....</b>	<b>35</b>
<b>4.3</b>	<b>Stanovení vodního potenciálu .....</b>	<b>36</b>
4.3.1	Postup.....	36
4.3.2	WP4C Dewpoint PotentiaMeter .....	36
<b>4.4</b>	<b>Stanovení hmotnostní vlhkosti .....</b>	<b>37</b>
4.4.1	Definice.....	37
4.4.2	Postup.....	37
4.4.3	HH2 Moisture meter .....	38
4.4.3.1	Princip .....	38
4.4.3.2	Pomůcky.....	39
<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Vodní potenciál.....</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>Hmotnostní vlhkost .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>52</b>



# 1 Úvod

Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum*) a paprika roční (*Capsicum annuum*) jsou jednolité a teplomilné rostliny. Patří do čeledi *Solanaceae*.

Rajče jedlé (*Solanum lycopersicum*) pochází z oblasti Peru. Do Evropy se tato rostlina dostala již v 16. století. Pěstuje se hlavně pro své dužnaté plody, které obsahují mnoho důležitých vitamínů (C, B, provitamin A). Rostliny rajčat mají bohatý kořenový systém, který tvoří postranní kořeny. Pěstování této plodiny má i svá úskalí, rostliny náchylné na různé choroby a škůdce. Dále jsou pro pěstování velmi důležité přírodní podmínky, které tato rostlina k růstu potřebuje, je to hlavně teplo, světlo a voda. Rajče je tedy vlhkomilná plodina, přijímající vodu hlavně kořeny z půdní vláhy.

Největším světovým producentem rajčat je Čína, která ročně vyprodukuje 40 mil. tun zeleniny. Hned za Čínou následuje USA s 14 mil. tun, Indie a Turecko s výnosem okolo 10 mil. tun. V ČR se tato plodina také těší oblibě a je pěstována v mnoha kultivarech. Ročně se v naší republice sklídí okolo 23 tisíc tun rajčat. Této plodině je zde vyhrazeno v průměru 1052 ha sklizňové plochy. Průměrný hektarový výnos rajčat v ČR se pohybuje okolo 22, 7 tun na hektar (2015). V posledních pěti letech dochází k postupnému růstu výnosu.

Paprika roční (*Capsicum annuum*) pochází ze Severní Ameriky. Do Evropy se dostala s Kolumbem a v ČR se významněji rozšířila až po roce 1945. Také se pěstuje hlavně pro své plody, které se používají jako zelenina nebo k výrobě mletého koření. Samozřejmě jsou tyto plody hodnotné pro obsah vitamínu C a kapsaicinu (silice působící palčivost). Rostliny papriky mají poměrně mělce kořenící kulovitý kořen, který tvoří méně adventivních kořenů, proto je tato rostlina náročnější na pravidelnou závlahu. Paprika je tedy teplomilná, vlhkomilná rostlina, náročná na dostatek humusu v půdě. V ČR je paprika oblíbená, její hektarový výnos se pohybuje v průměru 50-60 tun na hektar.

Jak bylo již zmíněno, oba druhy rostlin jsou vlhkomilné, tudíž potřebují dostatek vláhy. K jejich zalévání se nejčastěji používá kapková závlaha nebo závlaha postřikem. Častěji je používána závlaha kapková, protože je ekonomičtější. Hlavní výhodou této závlahy je omezení vzniku houbových chorob (vznikajících z nadměrné vlhkosti na rostlině) a také snížení zašpinění plodů. Touto závlahou je také možné stabilizovat případně i zvýšit výnos, díky přidání hnojiva do závlahy. Samozřejmě jsou i jiné možnosti jak předejít vodnímu deficitu a následnému stresu ze sucha, a to šlechtěním a pěstováním hybridních odrůd odolným suchu.

Cílem této práce bylo uskutečnit pokus na vybraných druzích rostlin (*Solanum lycopersicum* a *Capsicum annuum*) a získat nové informace o reakci těchto plodin na vodní deficit v závislosti na vodním potenciálu a hmotnostní vlhkosti.

## 2 Cíl práce

Rostliny, které jsou delší dobu vystavené vodnímu deficitu, začínají být tímto faktorem limitovány a dochází u nich k fyziologickým změnám. Tomuto problému je v dnešní době věnována velká pozornost a to díky následkům, které na rostlinách působí. Řízený vodní stres je úmyslné nezalévání rostlin za účelem pozorování jejich odolnosti.

Pokus byl zaměřen na sledování dvou hlavních parametrů, vodní potenciál, vodivost substrátu a následné stanovení hmotnostní vlhkosti substrátu. K pokusu byly vybrány rostliny rajčete (*Solanum lycopersicum*) a papriky (*Capsicum annuum*), které byly vystaveny nedostatku vláhy a následně pozorovány.

## 3 Literární přehled

### 3.1 Čeleď *Solanaceae*

#### 3.1.1 Klasifikace

Říše: rostliny (*Plantae*)

Podříše: vyšší rostliny (*Cormobionta*)

Oddělení: krytosemenné (*Magnoliophyta*)

Třída: vyšší dvouděložné (*Rosopsida*)

Řád: lilkotvaré (*Solanales*)

Čeleď: lilkovité (*Solanaceae*)

Rod: lilek (*Solanum*)

#### 3.1.2 Charakteristika

Do této čeledi patří jedno- až dvouleté nebo víceleté až vytrvalé byliny, polokeře, keře, v tropech i menší stromy. U vytrvalých bylin se někdy vytváří podzemní oddenkové hlízy. Lodyhy mají bikolaterální cévní svazky, které jsou sympodiálně větvené. Rostliny z čeledi *Solanaceae* se vyskytují hlavně v tropickém a subtropickém pásu s těžištěm ve Střední a Jižní Americe, ale zastoupeny jsou až do temperátních pásů obou polokoulí, chybějí ve vodním prostředí.

Listy jsou střídavé, někdy v horní části rostliny vstřícné, bez palistů, jednoduché nebo složené.

Květy jsou jednotlivé nebo ve vrcholičnatých květenstvích (většinou vijanech), nápadné, oboupohlavné, pravidelné, vzácněji souměrné. Kalich je srostlolupenný, se (4-)5(-6) cípy, vytrvalý, koruna obvykle pětičetná, trubkovitá, zvonkovitá, nálevkovitá nebo kolovitá. Tyčinky (2-)5(-8), většinou stejně dlouhé, epipetalní, s nitkami do různé výše srostlými s korunní trubkou, s introrzními prašníky. Pylová zrna po dozrání dvoujaderná. Semeník svrchní, většinou dvoupouzdrý, vzácně až pětípouzdrý, někdy s nepravidelnými přehrádkami, v každém pouzdře většinou velký počet vajíček, vzácně jedno. Vajíčka jsou anatropní nebo nepatrně amfitropní. Čnělka je terminální, s celistvou nebo dvoulaločnou bliznou; kolem báze semeníku většinou vyvinut prstencovitý val vylučující nektar.

Plodem je tobolka nebo bobule. Semena jsou s celulárním endospermem, zárodek je svinutý nebo zakřivený, vzácně přímý.

Čeď *Solanaceae* zahrnuje druhy velmi významné z hlediska užitkovosti. Zejména v produkci potravin, kde *Solanum tuberosum* zaujímá čtvrté místo za pšenicí, kukuřicí a rýží. Mezi známé potravinové rostliny patří i mnohé jiné druhy početného rodu *Solanum*, druhy rodu *Capsicum*, *Lycopersicon* a *Physalis*.

Dále se tato čeď využívá v lékařství, farmacii a drogové terapii. Také tabákový průmysl je založen na pěstování druhu rodu *Nicotiana*. V neposlední řadě se také mnoho druhů stalo důležitými okrasnými rostlinami a to díky svým krásným květům. Hlavně rody *Petunia*, *Physalis*, *Nicotiana* a další. Samozřejmě se některé druhy využívají v genetickém a biotechnologickém výzkumu (rody *Lycopersicon*, *Solanum*, *Petunia* a *Nicotiana*). Chemicky je čeď relativně dobře prozkoumána. Nejvýznamnějšími obsahovými látkami jsou jedovaté alkaloidy pěti strukturálních typů: tropanové alkaloidy, steroidní protoalkaloidy, tabákové alkaloidy, terpenoidy a piperidinové alkaloidy. Další obsahové látky jsou polyfenoly, flavonoidy, kumariny, taniny, steroidní saponiny a sapogeniny, steroidní laktony, pentacyklické triterpeny a silice. Obsah alkaloidů je různý v jednotlivých částech rostlin a kolísá v závislosti na ročním období, na klimatických a edafických faktorech (Bělohávková a Slavík, 2000).

### 3.2 *Solanum lycopersicum*

#### 3.2.1 Původ a význam

Rajče pochází z oblasti Peru, Ekvádoru a Bolívie, kde byla tato plodina pěstována od 5. století př. n. l. S objevením Ameriky bylo rajče přivezeno do Španělska, kde se již v 16. století využívalo jako zelenina. V ostatních částech Evropy se rajčatům nedůvěřovalo a považovala se za jedovaté rostliny. Jako zelenina se začala pěstovat v 18. století v Itálii, Francii a dalších zemích (Petříková a Hlušek, 2012).

Pěstuje se pro dužnaté plody, používané za syrova nebo zpracované. Plody obsahují vitaminy (C, B, provitamin A). K pěstování je povoleno množství kultivarů tuzemského i cizího původu s plody různých tvarů a barev (Slavík, 2000).

Čína je ve světovém měřítku největším producentem rajčat, jejíž produkce ročně činí více než 40. mil. tun. Hned za Čínou následuje USA s 14 mil. tun, Indie a Turecko s výnosem okolo 10 mil. tun. Samozřejmě výnos zeleniny je dán demografickým vývojem. Významná je zde také Afrika, kde se produkce rajčat stále zvyšuje. Egypt je s objemem 9 mil. tun největší africkou produkční zemí, následuje Nigérie, Maroko a Tunisko. V Evropě je největším producentem rajčat Itálie s 5 mil. tun. Samozřejmě i u nás má pěstování rajčat velký význam. V ČR nachází v průměru 1052 ha sklizňové plochy pro rajčata, což je ve srovnání s jinou zeleninou

velice slušné. Díky tomu se celková sklizeň pohybuje okolo 23 tisíc tun ročně. Průměrný vyšší celkový výnos mají zeleniny jako je mrkev (31261 t), cibule (44824 t) a hlávkové zelí (34710 t). Průměrný hektarový výnos rajčat v ČR se pohybuje okolo 22,7 tun na hektar. V posledních pěti letech dochází k postupnému růstu výnosu (Buchtová, 2015).

### 3.2.2 Botanická charakteristika

Rajče je jednoletá rostlina. Tvořící bohatý kořenový systém. Z hypokotylu i ze stonku se snadno tvoří postranní kořeny, čehož se využívá při výsadbě (Petříková a kol., 2006).

Stonk je u mladých rostlin z počátku bylinný a později dřevnatí. Na povrchu stonku a listů jsou žláznaté trichomy, které vylučují látku na vzduchu tuhnoucí, která dává rostlinám typickou vůni. Dle růstu hlavního stonku se odrůdy rajčat rozdělují na:

- indeterminantní – tyčkové odrůdy s neomezeným růstem hlavního stonku (ve skleníku dosahuje 13 metrů i více), květenství zakládají za každým 3. listem,
- determinantní – keříčkové odrůdy, stonk ukončuje růst ve výšce 0,4 – 0,6 metrů. Po založení květenství za každým 2. listem dále nerostou, v růstu pokračují jen postranní výhony (Petříková a Hlušek, 2012),
- polodeterminantní – je přechodný typ, kdy se na stonku vytvoří pět až šest vijanů (Petříková a kol., 2006).

Listy jsou peřenodílné, rozdělené hlubokými výřezy na jednotlivé páry. Dle členitosti okraje listové čepele se rozlišují tři typy listů: pravý rajčatový (nejčastější), bramborový (odrůda Imun) a typ mikádo (jednotlivé lístky nejsou vykrajované – odrůda Stupická půdní rané) (Malý a kol., 1998). V úžlabí listů se vytvářejí postranní výhony, které jsou nežádoucí u tyčových odrůd, a proto se odstraňují.

Za každým druhým až třetím listem se tvoří jednoduchý nebo složený vijan (Petříková a kol., 2006). Květy jsou pětičetné až vícečetné se žlutými korunními plátky. Kališní lístky jsou bazálně srostlé, kopinaté, špičaté. Tyčinky mají nitky zkrácené nebo úplně chybějí. Prašníky jsou protáhlé, dvoudílné a kuželovitě srostlé okolo čnělky. Blizna je jednoduchá a kulovitá. Květy jsou samosprašné, přirozená partenokarpie je u rajčat velmi nízká (Malý a kol., 1998). Opylování a oplození zhoršuje vysoká vzdušná vlhkost, nízká teplota a nízká světelná intenzita.

Plodem rajčat je dvou až vícekomorová bobule kulovitého nebo protáhlého tvaru. Barva plodu je červená, když převažuje látka lykopen, oranžová nebo žlutá převažuje-li karoten.

Nezralé plody jsou zelené a obsahují nežádoucí látku solanin, která se při dozrávání plodu odbourává. Semena jsou umístěna ve slizovité hmotě (placenta) (Petříková a kol., 2006).

### 3.2.3 Nároky na prostředí a hnojení

Rajče je teplomilná plodina vyžadující teploty nad 20 °C. Při poklesu teploty pod 10 °C rostliny přestávají růst, při dlouhotrvajících teplotách pod 15 °C rostliny nekvetou. Poruchy růstu nastávají i při vysokých teplotách nad 30 °C. Nízké teploty vedou k opadávání květních pupat, při teplotách pod 13 °C je pyl neklíčivý. Proto minimální teplota pro klíčení semen je 9 °C a optimální teplota je 22 – 25 °C. Červené barvivo plodů - lykopen se tvoří při teplotách nad 16 °C a jeho tvorba ustává při teplotě nad 35 °C. Kromě teploty jsou rajčata závislá na dostatku vláhy. Přestože rostliny mají velkou schopnost vytvářet ze stonku adventivní kořeny, jsou ve srovnání s paprikou vůči suchu odolnější. S nedostatkem váhy se lépe vyrovnávají rostliny z přímého výsevu než rostliny vysazované (jejichž kořenová soustava nedosahuje takové hloubky jako u přímého výsevu) (Malý a kol., 1998).

Závlaha je velmi důležitá, ale vysoká vlhkost může vést k většímu výskytu škůdců a chorob. Naopak suché podnebí je výhodné pro produkci skleníkových rajčat. Pro pěstování jsou nejvhodnější záhřevné, humózní, hlinitopísčité až písčité půdy s pH 5 – 7. Nevhodné jsou zamokřené a těžké půdy, z důvodu toho, že zamokření zvyšuje možnost výskytu bakteriálního vadnutí (FAO, 2015). Rajčata se řadí do I. tratě. V osevním postupu se zařazují rajčata po sobě ve čtyřletém odstupu. Mezi vhodné předplodiny patří obilniny, jeteloviny, okopaniny (kromě brambor), luskoviny případně i kořenová a košťálová zelenina (Petříková a kol., 2006). Dávka hnoje se pohybuje od 30 do 50 tun. Výnos 40 tun plodů na hektar odčerpá 110 – 120 kg N, 35 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 144 kg K<sub>2</sub>O a 20 kg MgO. Rajčata jsou citlivá na čerstvé vápnění, na něž reagují žloutnutím listů. Potřeba dusíku je z počátku nízká, asi 80 kg na hektar a narůstá k maximu v době, kdy první plody dosahují velikosti vlašského ořechu. V tomto stádiu je vhodné přihnojit dávkou 50 – 60 kg N na hektar.

Odběr fosforu závisí na jeho zásobě v půdě a na půdní teplotě. Při jejím poklesu pod 14 °C klesá odběr fosforu, což lze pozorovat dle antokyanového zbarvení spodní strany listů. Dále je důležité optimální zásobení hořčíkem. Draslík má vliv na velikost plodů a je potřebné jej dodávat v síranové formě (Malý a kol., 1998).

### 3.2.4 Pěstování, sklizeň

Rajčata se množí převážně generativně, i když vzhledem k snadné tvorbě adventivních kořenů je možné také vegetativní množení (zakořeňováním postranních řízků). Přesto se tento způsob pěstování v praxi příliš nepoužívá, protože porost z takto získaných sazenic je značně nehomogenní (Pekárková, 2001).

Technologie pěstování:

- pěstování keříčkových (determinantních) odrůd pro průmyslové zpracování, sklizeň je mechanizovaná, pěstují se z přímého výsevu, částečně i z předpěstované sadby,
- pěstování keříčkových odrůd pro přímý konzum, sklizeň je ruční, pěstují se z předpěstované sadby
- pěstování tyčkových (indeterminantních) odrůd k přímému konzumu, velmi intenzivní způsob pěstování využívaný na menších plochách, pěstují se z předpěstované sadby (Petříková a Hlušek, 2012).

Předpěstování rajčatové sadby: rajčatová sadba se předpěstuje ve sklenících, foliových krytech nebo v pařeništích. Mořené osivo se vysévá do výsevních truhlíků s dezinfikovanou zemínou, nebo přímo do záhonu (vzdálenost řádku 70 mm). Dále můžeme sadbu vysadit do minisadbovačů ze 160 nebo 96 buňkami, případně se dopěstuje sadba hrnková. Tyto nádoby je vhodné po setí umístit do klíčící komory s teplotou 22 – 24 °C ve dne a 14 – 16 °C v noci (Malý a kol., 1998). Při pěstování za vysokých teplot má sadba tenká, dlouhá internodia a nelze ji mechanizovaně přesazovat. Vytahování rostlin lze zabránit aplikací retardantů v době, kdy mají rostliny vyvinutých pět pravých listů. Sadba se předpěstovává 40 – 60 dní. Vysazují se otužené rostliny. Tyčkové odrůdy mají mít osm pravých listů, výšku 250 mm a dobře vyvinutý první vijan. Keříčkové odrůdy předpěstované v minisadbovačích jsou menší, na výšku 100 – 150 mm a mají čtyři pravé listy.

Pěstování z přímého výsevu: touto technologií se pěstují keříčková rajčata určená k průmyslovému zpracování. Podniky často na části plochy pěstují i rajčata ze sadby z důvodu rozložení sklizně a snížení rizika sklizně za nepříznivého počasí v září. Rajčata se vysévají mezi 10. – 25. dubnem. Hloubka výsevu je 20 – 35 mm. V době výsevu by měla dosáhnout průměrná teplota půdy v poledních hodinách v hloubce 50 mm, 14 °C, a to po dobu tří dnů. Vysévá se na záhony do dvou řádků vzdálených 0,35 – 0,4 metrů s mezerou 1,2 – 1,3 metrů. Vzdálenost řádku je 0,15 metru. Výsevek je 0,4 – 1 kg (Petříková a kol., 2006).



Rajče plodí postupně po celou dobu vegetace, kterou ukončí až první mráz. Nejvyšší plody získáme sklizením vybarvených zralých plodů (Pekárková, 2001).

Sklizeň rajčat začíná 8 – 10 týdnů po výsadbě. U rajčat tyčkových se sklízí v 4 – 6 denních intervalech. Plody se následně třídí. U keříčkových odrůd k průmyslovému zpracování sklizeň začíná v srpnu a září a měla by proběhnout do konce září. Výnos je minimálně 40 – 50 tun na hektar u tyčkových odrůd a 30 – 40 tun na hektar u keříčkových rajčat (Petříková a kol., 2006).

**Tabulka č. 1 – Rajčata** (Pekárková, 2001)

<b>Hmotnost 1000 semen</b> 4 g	<b>Spotřeba osiva</b> 0,03 g na 1 m <sup>2</sup>	<b>Teplota klíčení</b> 20 – 25 °C	<b>Klíčivost semen</b> 4 – 5 let
-----------------------------------	---	--------------------------------------	-------------------------------------

<b>Prostředí</b>	<b>Výsev</b>	<b>Výsadba</b>	<b>Vzdálenost rostlin (cm)</b>	<b>Sklizeň</b>
Skleník	začátek III.	konec IV.	100 x 50	konec VI – IX.
Fóliovník	polovina III.	začátek V.	100 x 50	začátek VII – IX.
Venkovní záhon	konec III.	polovina V.	100 x 70 (tyčková) 70 x 50 (keříčková)	konec VII – X. polovina IX.

### 3.2.5 Odrůdy

Keříčkové odrůdy rajčat: jsou určeny k průmyslovému zpracování a mají vlastnosti, které umožňují mechanickou sklizeň. Mají pevné plody odolné vůči praskání, hnilobám, oddělují se bez kalichu, po dozrání neopadávají, mají vysoký stupeň refrakce. Pěstují se většinou nehybridní odrůdy.

Tyčkové odrůdy rajčat: jsou určeny k přímé spotřebě a jsou až na výjimky hybridní. Pěstitelé i obchody vyžadují především long live odrůdy vyznačující se dlouhou uchovatelností plodů (plody neměknou a nepraskají). Plody takovýchto odrůd po dozrání z rostliny neopadávají, neměknou a mohou se sklízet teprve za dva až tři týdny. Důraz je kladen na šlech-

tění a rezistenci. Pro zvýšení nabídky se vyšlechtily hroznovité a cherry odrůdy rajčata (Petříková a kol., 2006).

Obrázek č. 1: *Solanum lycopersicum*.



(Barthlow, S.W.)

### 3.3 *Capsicum annuum*

#### 3.3.1 Původ a význam

Paprika pochází ze Severní Ameriky, Mexika. Do Evropy se dostala s Kolumbem. Začala se pěstovat ve Španělsku, Portugalsku, Itálii, do dalších zemí se rozšířila až 18. a 19. století. V ČR se významněji rozšířila až po roce 1945 (Petříková a kol., 2006).

Pěstuje se pro plody, používané jako zelenina nebo k výrobě mletého koření. Čerstvé plody mají vysoký obsah vitamínu C. Významnou složkou je silice kapsaicin, která působí palčivost plodů (Bělohlávková a Slavík, 2000). Tato látka je uznávaným léčivem, vnitřně se používá pro podporu zažívání a zevně k prokrvení, čímž se snižuje bolestivost (Petráková, 2001). Dříve se používala i ve farmacii. K pěstování je povoleno větší množství odrůd jako zelenina s plody světle až tmavozelenými nebo červenými a několik jako koření (Bělohlávková a Slavík, 2000).

### 3.3.2 Botanická charakteristika

Paprika je náročná teplomilná zelenina, kterou lze pěstovat jen v nejjihnějších oblastech ČR. V našich podmínkách je to jednoletá rostlina, při rychlení a v tropických krajích může být i víceletá (Malý a kol., 1998). Koření poměrně mělce, kulový kořen je krátký, adventivních kořenů se tvoří málo oproti rajčatům. Je proto velmi náročná na pravidelnou, častou závlahu a dostatek humusu v půdě.

Stonek se větví sympodiálně, před větvením se tvoří květ a list (Petříková a kol., 2006). Počet listů závisí na množství světla a teplotě a kolísá od sedmi do dvanácti listů. Listy jsou vejcovitého tvaru, celokrajné. Květy jsou oboupohlavné, kališní lístky jsou srostlé. Korunní plátky jsou nejčastěji bílé pěti až sedmičetné. Tyčinek je pět až sedm, pylové váčky jsou namodralé. Semeník je svrchní. Květy jsou samosprašné, za určitých okolností může dojít i k cizosprašení (Malý a kol., 1998).

Plodem je vysýchavá bobule tvaru kuželovitého, jehlancovitého, kvadratického, kulovitého, barvy zelené, žluté, fialové a hnědé. Plody se sklízí v technické zralosti, když dosáhnou charakteristického vybarvení a výrazného lesku, nebo v botanické zralosti, když jsou červené nebo oranžové. Semeno je ploché, ledvinkovitého tvaru s drsným povrchem, citrónově žluté. Semena barvy hnědé jsou neklíčivá (Petříková a kol., 2006).

### 3.3.3 Nároky na prostředí a hnojení

Paprika má vysoké požadavky na světlo, teplo a vodu. Nedostatek světla vede k opadávání květů a květních poupat. Minimální teplota pro růst je 14 °C (Malý a kol., 1998). Teploty nad 30 °C zastavují růst papriky stejně jako teploty okolo 8 °C (Petříková a kol., 2006). Optimální teplota je během dne 22 – 25 °C, v noci 18 – 20 °C. V důsledku menší kořenové soustavy vyžaduje paprika dostatečné zásobení vodou. Optimální zásobení vody v půdě je mezi 60 až 80 % polní vodní kapacity, vlhkost vzduchu má být také v rozmezí 60 až 80 %. Půda pro pěstování papriky má být lehká, záhřevná, s dostatkem humusu (lehké půdy – 2 až 3 %, hlinité půdy – 4 %). Nejvhodnější jsou černozemě, spraše a hnědozemě. Reakce půdy by měla být mírně kyselá (pH 6 až 6,5). Velmi důležitá je také provzdušněnost půdy. Paprika je náročná na obsah a výměnu půdního vzduchu, proto je potřebné věnovat pozornost nejen výběru půdy, ale také kultivaci (Malý a kol., 1998).

Paprika musí být zařazena do I. trati s organickým hnojením plnou dávkou. Vhodnou předplodinou jsou obilniny, krmné směsky a luskoviny. Nevhodnou předplodinou jsou plodiny z čeledi lilkovitých a to i vojtěška, kvůli nebezpečí rozšíření virových chorob. V osevním

postupu se zařazují papriky po sobě ve čtyř až pětiletém odstupu (Petříková a kol., 2006). Dávka chlévského hnoje po organicky nehněných předplodinách je 40 tun na hektar. Při výnosu 20 tun vyžaduje plodina dávky – 20 - 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 70 - 90 K<sub>2</sub>O a 10 - 15 kg MgO na hektar. Dusík při střední zásobě živin v půdě se dodává v dávce 30 – 40 kg ve formě síranu amonného a 20 – 30 kg přihnojením ve formě ledkové. Zásadně se nemají k paprice dodávat chloridové formy draselného hnojiva vzhledem k její citlivosti na chlór (Malý a kol., 1998).

### 3.3.4 Pěstování a sklizeň

V našich podmínkách se paprika pěstuje vždy z předpěstované sadby, přímé výsevy se neosvědčily. Nejvhodnější termín výsevu je do 20. února (Petříková a Hlušek, 2012). Pro klíčení je optimální teplota 20 – 30 °C, při teplotě 20 – 25 °C semeno vyklíčí za 7 – 8 dní, při teplotě 13 – 14 °C za 15 dní. Při teplotě pod 13 °C se klíčení zastavuje. Po vzejití je optimální teplota 15 – 17 °C po dobu jednoho týdne, v dalším období se udržuje teplota 17 – 20 °C přes den a 12 – 14 °C v noci. Mladé rostliny potřebují dostatek světla, jinak se vytahují a zpomaluje se nasazení pupat a květů (Petříková a kol., 2006). Rovněž je nutná pravidelná závlaha a přihnojování vodorozpustnými hnojivy (při pěstování v sadbovačích - jednou za týden). Týden před výsadbou je nutné intenzivně větrat, aby se sadba otužila (Petříková a Hlušek, 2012).

Vysazuje se sadba nižší 0,15 – 0,2 metru, s deseti pravými listy, dobře vyvinutými kořeny a založenými pupaty. Pro výsadbu do volné půdy se předpěstuje sadba po dvou rostlinách. Odrůdy s mohutnějším vzrůstem nebo rostliny pro pěstování ve fóliovníku se předpěstují a vysazují po dvou rostlinách z důvodu lepší stability. Výsadba rostlin se provede na „vodu“. Při výsadbě je nutné počítat se ztrátou 10 – 20 % rostlin a mít rezervu na podsazení. K úhynu rostlin může dojít za teplého i chladného počasí, kdy je omezený růst kořenů. Závlaha se aplikuje postřikem, nebo kapkovou závlahou, která je pro tento případ ideální (Petříková a kol., 2006).

Plody se sklízí během celé vegetace až do mrazů. Otrhají se buď nedozrálé, nebo se nechají na rostlině plně vyzrát a vybarvit. Sklízí se zásadně až v době, kdy dorostou do velikosti typické pro danou odrůdu. Dorostlý ke sklizni vhodný plod se pozná podle hladkého a lesklého povrchu (Pekárková, 2001). Plody se sklízí probírkou. Sklízí se plody s 30 mm dlouhou stopkou, na rostlině se ponechává pět až šest plodů. Přezrálé plody ztrácejí lesk, zbarvují se do tmavě fialova a mají nepříjemnou chuť a dužina měkne (Petříková a kol., 2006). Na větších plochách lze ke sklizni využít sklízecí plošiny (Malý a kol., 1998). Výnos se pohybuje 50 – 60 tun na hektar (Petříková a Hlušek, 2012).

**Tabulka č. 2 – Papriky (Pekárková, 2001)**

<b>Hmotnost 1000 semen</b> 7 g	<b>Spotřeba osiva</b> 0,4 g na 1 m <sup>2</sup>	<b>Teplota klíčení</b> 25 – 30 °C	<b>Klíčivost semen</b> 3 – 5 let
-----------------------------------	--	--------------------------------------	-------------------------------------

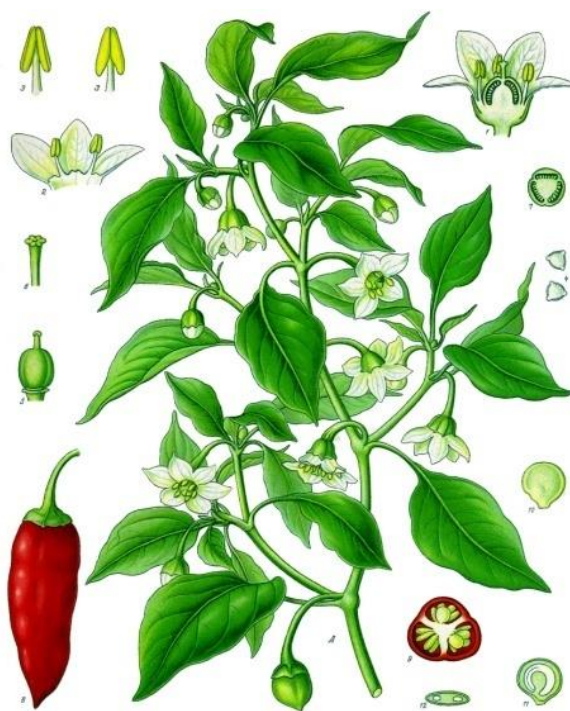
<b>Prostředí</b>	<b>Výsev</b>	<b>Výsadba</b>	<b>Vzdálenost rostlin (cm)</b>	<b>Sklizení</b>
Skleník	začátek III.	konec V.	70 x 40	konec VI – IX.
Fóliovník	polovina III.	polovina V.	70 x 40	začátek VII – IX.
Venkovní záhon	konec III.	konec V.	50 x 40	začátek VII – konec IX.

### 3.3.5 Odrůdy

Odrůdy paprik rozlišujeme na kořeninové a zeleninové. Rozemleté oplodí vyztřálých usušených plodů kořeninové papriky se využívá jako koření, které známe velmi dlouho. Oproti tomu je zeleninová paprika mnohem mladší (Pekárková, 1997).

Od drobnoplodých odrůd papriček neboli feferonek, které se v jižních zemích jedí nebo nakládají v celku, se později odlišily dvě skupiny a to již zmiňované kořeninové a zeleninové papriky. Kořeninové mají dlouhé špičaté plody a tenké, intenzivně červené oplodí. Sklízají se v plné zralosti, po usušení se melou na prášek, který se využívá k obarvení a ochucení pokrmů. Zeleninové papriky jsou výsledkem šlechtění a obliby se těší teprve od minulého století. Vyznačují se velkými plody se stěnou až 1 cm tlustou. Vynikají vysokým obsahem vitamínu C, dále obsahují vitamín B<sub>12</sub> a provitamin A, jehož množství se během dozrávání až desetkrát zvyšuje (Pekárková, 2001).

Obrázek č. 2 – *Capsicum annuum*.



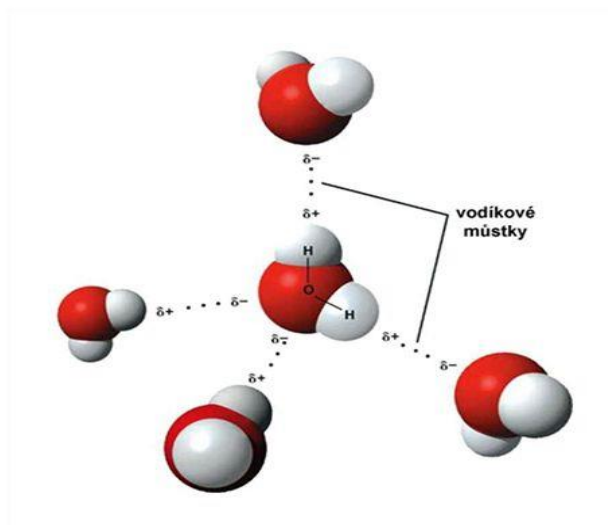
(Köhler, 1897)

### 3.4 Voda

Po podrobném zkoumání izolované molekuly vody, zjistíme, že jde o velmi jednoduchou strukturu. Skládá se ze dvou vodíkových atomů, které jsou spojeny atomem kyslíku pomocí kovalentní vazby. Kyslík je více elektronegativní než vodík, a proto elektrony polárních vazeb stráví více času v blízkosti atomu kyslíku. Tudíž vazby, které drží atomy molekuly vody pohromadě, jsou polární kovalentní vazby, přičemž oblast molekuly v blízkosti kyslíku má parciální záporný náboj a vodíkové atomy získávají parciální náboj kladný.

Molekula vody má tvar do široka otevřeného V a je polární molekulou, což znamená, že opačné konce molekuly mají opačné náboje. Abnormální vlastnosti vody se objevují díky přitažlivosti mezi těmito molárními molekulami. Přitažlivost je elektrická, lehce pozitivní vodík jedné molekuly je přitahován k lehce negativnímu kyslíku molekuly sousední. Dvě molekuly jsou tedy přidržovány u sebe vodíkovými vazbami. Každá molekula vody může vytvářet vodíkové vazby maximálně se čtyřmi sousedními molekulami v daném čase a mnoho molekul ve vzorku kapalně vody je spojeno právě takto. Neobyčejné vlastnosti vody jsou důsledkem vodíkových vazeb, čímž se molekuly vody dostávají na vyšší stupeň strukturální organizace (Campbell and Reece, 2006).

Obrázek č. 3 - Vodíkové vazby (vodíkové můstky) mezi molekulami vody.



(Wikipedia.cz)

### 3.4.1 Fyzikální vlastnosti

Mezi hlavní vlastnosti vody patří koheze, adheze, měrná tepelná kapacita a schopnost vody být rozpouštědlem. Koheze neboli soudržnost je jednou z důležitých vlastností. Tento jev vzniká v důsledku vodíkových vazeb. Tyto vazby se tvoří a následně rozpadají s velmi vysokou frekvencí. Každá vodíková vazba přetrvává pouze několik triliontin sekundy, ale neustále tvoří vazby s novými partnery. Takže v každém okamžiku je značné procento molekul vody svázáno se svými sousedy, což propůjčuje vodě větší strukturální uspořádanost než ostatním kapalinám. Souhrnně řečeno, vodíkové vazby drží molekuly pohromadě. Koheze díky vodíkovým vazbám přispívá k transportu vody proti gravitační síle v rostlinách. Dalším důležitým jevem je adheze neboli přilnavost, která způsobuje přiléhání jedné látky na druhou. Adheze vody ke stěnám cév pomáhá rostlinám překonávat zemskou přitažlivost (Campbell and Reece, 2006).

Voda má vysokou měrnou tepelnou kapacitu, která je dána vodíkovými vazbami. Kdy je teplo absorbováno, když se současně vodíkové vazby rozpadají a teplo je uvolňováno při jejich tvorbě. Tím voda napomáhá k minimalizaci teplotních výkyvů a udržuje teplotu v rozmezí udržující život. Měrná tepelná kapacita je definována, jako množství tepla, které musí 1 g látky absorbovat nebo uvolnit, aby se její teplota změnila o 1 °C.

Další důležitou vlastností vody, je schopnost být univerzálním rozpouštědlem. Je tomu tak, protože jsou její polární molekuly přitahovány k nabitým polárním látkám. Když jsou ionty nebo polární látky obklopeny molekulami vody, rozptýlí se a jsou označovány jako roz-

puštěná látka. Hydrofilní látky mají afinitu (přitažlivost) k vodě. Hydrofóbní látky nejsou iontové ani polární a zdá se, jakoby vodu odpuzovaly (Campbell and Reece, 2006).

### 3.5 Vodní režim rostlin

Zelené rostliny zcela nezbytně potřebují z prostředí jen několik jednoduchých látek: vodu, oxid uhličitý, kyslík a některé minerální látky. Bez vody nemohou v rostlině probíhat prakticky žádné procesy, protože voda je stálou a nenahraditelnou složkou rostlinného těla. Množství vody v rostlinách je různé. Například průměrný obsah vody v nedřevnatých částech se pohybuje okolo 60-90 % hmotnosti čerstvé rostliny, naopak zdřevnatělé části mají obsah vody okolo 50 %.

Mezi hlavní funkce vody patří stavební funkce, kdy je voda využita v metabolických reakcích, jako je fotosyntéza. Jen malá část přijaté vody (2 %) je k tomuto využita. Další v pořadí je funkce zásobní, kdy je voda zadržena v buňkách jako součást vnitřního prostředí pro případ nedostatku. Největší množství přijaté vody (95 %) tvoří voda z transportních funkcí, která rostlinou prochází a transportuje látky. Do vnějšího prostředí se voda uvolňuje ve formě plynné (transpirace) nebo ve formě kapalně (gutace). Tímto způsobem se současně odvádí z rostlinného těla přebytek tepla, takže má voda v rostlinném organismu i funkci termoregulační (Campbell and Reece, 2006).

Dále voda zajišťuje rozpouštění látek, pohyby rostlin a další. Následujícím důležitým článkem je vodní provoz rostlin, který zahrnuje příjem, vedení a výdej vody. Příjem vody je v zásadě možný celým povrchem těla (vodní rostliny a suchozemské stélkaté rostliny). Také vyšší rostliny mohou přijímat část vody nadzemními orgány. Ovšem záleží na tloušťce kutikuly a počtu průduchů. Vyšší rostliny, v zemi kořenující, však přijímají většinu vody kořenovou soustavou.

Kořenový příjem vody se dělí na aktivní a pasivní. Kdy pasivní příjem probíhá pomocí difuze, apoplastickou (mezibuněčnou) cestou. Naopak aktivnímu příjmu napomáhá proces osmózy, který probíhá cestou symplastickou. S tím velmi úzce souvisí vedení vody, které se podílí na příjmu vody a jejím pohybu rostlinou. Tento proces se rozděluje na dvě skupiny: vedení vody na krátké vzdálenosti (bobtnání, difuze a osmóza) a vedení na vzdálenosti dlouhé (transpirační proud, vertikální vedení vody), které je podpořené transpiračním sáním a kořenovým vztlakem. Principem bobtnání neboli hydratace je vázání vody na půdní koloidy, např. makromolekuly bílkovin v cytoplazmě. Tento proces se uplatňuje při příjmu vody buněčnými stěnami kořenových vlásků z povrchu půdních částic, jichž se v půdě dotýkají.



Dalším důležitým procesem při vedení vody na krátké vzdálenosti je difuze. Při difuzi voda proniká z míst s vyšší koncentrací do míst s koncentrací nižší, dle koncentračního spádu. Děj probíhá i tehdy, kdy jsou roztoky odděleny permeabilní (propustnou) membránou. Naopak u osmózy voda proniká z míst nižší koncentrace do míst s koncentrací vyšší, proti koncentračnímu spádu. Na rozdíl od difuze musí u osmózy být roztoky odděleny semipermeabilní membránou. Na druhé straně vedení vody na dlouhé vzdálenosti probíhá systémem trubic, cévami a cévicemi, které jsou součástí dřevních částí cévních svazků (Campbell and Reece, 2006).

### **3.6 Vodní stres**

#### **3.6.1 Stres a stresová reakce**

Stres je pojem, který je v současné době velmi často probíraný. Obecně se týká především lidí a zvířat, ale stres může postihnout i rostliny a to v mnoho podobách.

Na rostliny mohou působit vlivy biotické, což jsou vlivy živých organismů včetně člověka (Bláha a kol., 2003). A abiotické vlivy, jako je slanost, dostupnost vody (nedostatek nebo nadbytek vody), teplotní extrémy (mráz, chlad, nebo vysoká teplota), nadbytek těžkých kovů a stres z nedostatku živin, toto jsou hrozby, které ohrožují globální zemědělství a omezují dosažení plného výnosu (Narendra and Sarvajeet, 2016).

Tyto negativní vnější faktory se nazývají stresory a působí na celou rostlinu a to na kořeny, nadzemní části i na vyvíjející se semena. Působení těchto faktorů umí rostlina do jisté míry regulovat a navodit rovnovážný stav pomocí kompenzačních procesů. Při nezvládnutí velkého vlivu stresorů může dojít až k uhynutí rostliny. Proto existuje rostlinná reakce, která se spustí pod vlivem stresorů. Tato reakce je souborem několika fází:

- Poplachová: tato fáze je zahájena ihned po účinku stresoru nebo kombinací stresorů, kdy jejich působení naruší buněčné struktury a životní fáze rostliny.
- Restituční: v této fázi pracují kompenzační mechanismy a směřují k rezistenční fázi.
- Rezistenční: zde vzniká zvýšená odolnost rostlin k působícím stresorům.
- Vyčerpání: je poslední z fází a dochází k ní při dlouhodobém a intenzivním působením stresorů – zvýšená odolnost není trvalá.

O stresu rostlin lze hovořit, pakliže proměnlivost vnějších faktorů překročí určitou mez (toleranci rostliny). U rostlin se objeví poruchy struktur jednotlivých funkcí a následně i orgánů rostlin. Stres je tedy definován jako rostlinný stav, ve kterém se rostlina nachází pod vlivem stresorů (Bláha a kol., 2003).

### 3.6.2 Sucho a vodní stres

Pojem sucho označuje období chudé na srážky, během něhož se obsah vody v půdě sníží natolik, že rostliny trpí jejím nedostatkem. Tam, kde roční výpar převyšuje celkové roční srážky, nastává sucho pravidelně a dlouhodobě. Podnebí v takových oblastech se nazývá aridní, na rozdíl od humidního podnebí, které je v oblastech s nadbytečnými srážkami. Zhruba třetina plochy povrchu pevnin na Zemi má nedostatek srážek a téměř polovina této plochy je tak suchá, že roční úhrn srážek (méně než 250 mm) neobsahuje ani čtvrtiny hodnoty roční potenciální evaporizace. Rozsáhlé suché oblasti leží hlavně mezi 15 ° a 30 ° severní a jižní šířky a na závětrných stranách vysokých horských pásem, zadržující srážkové větry (Larcher, 1988).

Ve světovém měřítku je sucho nejvýznamnější faktor, který omezuje produktivitu rostlin. Sucho je tedy nedostatkem vody a patří mezi fyzikální abiotické stresy a mezi nejvíce limitující stresory pro rostliny. Příčinou nedostatku vody jsou především klimatické faktory – průběh počasí. Příjem vody rostlinou je také ovlivněn látkami obsaženými v půdě a to obsahem živin a zasolením. Při působení vodního stresu se snižuje především růst a fotosyntéza.

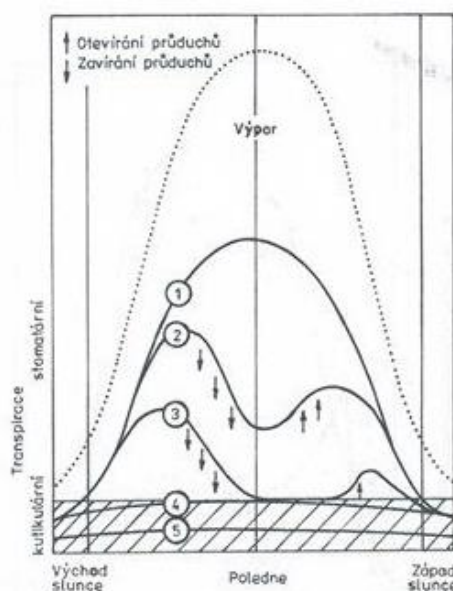
Důležitou úlohou vody je udržování turgidity. Turgor u rostlin má hlavní úlohu při růstu a prodlužování buněk. Jeho další důležitá role je při otvírání průduchů a pohybu listů a květních obalů. Je známo, že při snižování turgoru dochází k redukci prodlužování listů a teprve později k redukci fotosyntézy. Jak již bylo řečeno, nejcitlivěji reaguje na nedostatek vody prodlužovací růst buněk. Růst začíná zvětšováním objemu buňky absorpcí vody do vakuol a zvětšováním plochy povrchu buněčné stěny. K měřitelnému zpomalení růstu dochází již při velmi malých ztrátách vody, kdy turgor klesne jen o 0,1 až 0,2 MPa. Úplné zastavení růstu nastává při poklesu turgoru na – 0,3 až – 0,4 MPa. K zastavení růstu tedy dojde dříve než ke zjevnému vadnutí listu či k ovlivnění hlavních metabolických procesů. Proto se v rostlinách hromadí nevyužité asimiláty.

Růst buněk dále souvisí s rozpínavostí buněčné stěny a rozpínavost a prostor buňky závisí na vodním potenciálu, proto se u nově vyvíjející buňky při nedostatku vody budou stěny rozpínat méně a velikost buňky bude v těchto podmínkách menší. Při dalším poklesu vodního potenciálu buněk zhruba na hodnotu – 0,2 až – 0,8 MPa dochází k rychlým změnám ak-

tivity enzymů, snižuje se aktivita enzymů nitrátoreduktázy, naopak stoupá činnost alfa amylázy, ribonukleázy, hydrolázy. Snižuje se syntéza proteinů a cytokininů a zpomaluje se buněčné dělení. Při větším poklesu vodního potenciálu k hodnotám okolo  $-1,0$  MPa dochází u mnoha druhů k tvorbě aminokyseliny prolinu, cukrů, alkoholů a dalších sloučenin. Při pokračujícím nedostatku vody se začínají projevovat další metabolické změny, a to především u fotosyntézy a transportních pochodů v buňce. Nedostatek vody u vyšších rostlin ovlivňuje v první řadě průduchy, jejichž uzavíráním zpomaluje výměnu  $\text{CO}_2$  (Bláha a kol., 2003).

Tyto rostliny v období sucha snižují spotřebu vody tím, že otevírají průduchy méně a na kratší dobu. Nejdříve se transpirace snižuje v poledních hodinách, pak se přestane objevovat její opětovné odpolední zvýšení a ještě později se průduchy otevírají jen ráno. Nakonec, ale ještě v době, kdy mají rostliny ještě dostatečný obsah vody, zcela ustává stomatární transpirace a rostliny transpirují jen kutikulárně. Postup omezování transpirace viz obrázek č. 4. Naděje rostliny na přežití extrémní zátěže působené suchem jsou tím větší, čím déle může zdržet nebezpečné snížení vodního potenciálu protoplazmy a čím více může protoplazma vyschnout bez poškození (Larcher, 1988).

Obrázek č. 4: Změny denního průběhu transpirace při postupně se zhoršujícím zásobování rostlin vodou.



(Larcher, 1988)

*Změny denního průběhu transpirace při postupně se zhoršujícím zásobování rostlin vodou (křivky 1 až 5). Šipky označují pohyby průduchů (zavírání nebo otevírání) vyvolané změnou vodní bilance rostlin. V dolní části obrázku je vyznačen rozsah, v němž probíhá pouze kutikulární transpirace. Jednotlivé křivky znázorňují: 1 – ničím neomezenou transpiraci, 2 – polední*

*snížení transpirace způsobené částečným uzavřením průduchů, 3 – transpiraci při úplném uzavření průduchů v poledních hodinách, 4 – úplné přerušení stomatární transpirace způsobené trvalým uzavřením průduchů (probíhá jen kutikulární transpirace), 5 – snížení kutikulární transpirace způsobené smršťováním membrán při vysychání (Larcher, 1988).*

### **3.6.3 Reakce rostlin na nedostatek vody**

Odolnost vůči suchu je schopnost rostliny přežít jakýmkoli způsobem období sucha. Rostliny, které v suchých oblastech žijí, se těmto podmínkám značně přizpůsobily, a to zpravidla kořeny, které se rozrůstají hluboko do půdy, a pletivy, v nichž mohou uchovávat vodu, takže nemusí snižovat rychlost transpirace tak brzy (Larcher, 1988). Kapacita rostliny může být spouštěna a vypínána sérií genů, které pomáhají změnit rostlinou fyziologii a morfologii, umožňují rostlině uniknout, tolerovat nebo se vyhnout vodnímu stresu. Mnoho zemí po celém světě má zkušenosti s vodním stresem v různých ohledech, ale vždy tento stres vede ke snížení výnosů plodin. Rozšifrovat princip molekulární odpovědi na stres a mechanismus adaptace a získání tolerance může ulehčit vytvoření kultivaru se zvýšenou tolerancí k suchu.

Reakce na suchu je složitý komplex mechanismů. Odezva rostlin na dehydrataci může být rozsáhle studována v celé řadě druhů s důrazem na vzorové rostliny jako je *Arabidopsis*. Nejznámější spouštěč kaskády signálů sucha je kyselina abscisová (ABA). Je důležité zmínit, že ABA není jediným fytohormonem podílejícím se na stresové reakci (Daszkowska-Golec and Szarejko, 2013). Při nedostatku vody patří kys. abscisová také k významným mediátorům exprese genů pro stresové proteiny. Regulací genové aktivity se zvyšuje nebo snižuje tvorba enzymů i strukturních proteinů, nepřímo pak i ostatních metabolitů (Bláha a kol., 2003). Je tu spousta známek o spolupráci mezi ABA a jinými fytohormony, jako je jasmonates a ethylene (Daszkowska-Golec and Szarejko, 2013).

ABA je tedy fytohormon, který inhibuje otevírání průduchů ve fotosyntetizujících listech. Po dobu sucha je produkována v kořenových špičkách a následně transportována do nadzemní části. Považuje se za chemický signál o suchu v půdě, který zavírá průduchy bez ohledu na změny vodního potenciálu v listech (Tardieu and Davies, 1993).

## **3.7 Vodní potenciál**

### **3.7.1 Vodní potenciál rostlinných buněk**

Dle Slatyera a Taylora (1960) se vodní potenciál rovná rozdílu volné energie na jednotku objemu matričně vázané vody a na jednotku objemu čisté vody. Používání jednotné

terminologie, založené na důsledném a výlučném užívání termínu potenciál, udělalo hodně pro odstranění zdrojů nepřesností v literatuře. V minulosti se pro hodnocení vodního provozu buňky používalo mnoha různých pojmů: osmotický tlak, deficit difuzního tlaku, savé napětí a další. Všechny tyto pojmy byly definovány takovým způsobem, že měly kladné hodnoty. Dnes používáme terminologii založenou výhradně na potenciálech, v níž je vodní potenciál  $\Psi$  (záporný) vyjadřuje výsledek vzájemného působení osmotického potenciálu  $\Psi_{\pi}$  (záporný), matričního potenciálu  $\Psi_{\tau}$  (záporný) a tlakového potenciálu  $\Psi_P$  (kladný) (Larcher, 1988).

Slavík (1965) vyjadřuje vodní potenciál jako celkovou specifickou volnou energii vody v systému, vztaženou k celkové specifické volné energii čisté vody. Jeho hodnoty jsou negativní, protože vodní potenciál v rostlině je menší než vodní potenciál čisté vody, s nímž ho srovnáváme.

### 3.7.2 Složky vodního potenciálu

Vodní potenciál má, jak už je zmíněno tři navzájem nezávislé složky:

- Tlakový potenciál: odpovídá přímo tlaku vody v buňce.
- Osmotický potenciál: je analogický k osmotickému tlaku, obvykle je negativní, jen čistá voda má osmotický potenciál nulový.
- Matriční potenciál: představuje volnou složku specifické volné energie, která je spojená se stavem vody v koloidních a micelárních strukturách buněčných blan, v koloidním systému protoplazmy, kapilárním a ultrakapilárním systému půdy. Tento potenciál je negativní, protože obsah vody v matici je vždycky nižší než obsah vody v čisté vodě (Slavík, 1965).

Vzorec pro vodní potenciál je:

$$\Psi = \Psi_P + \Psi_{\pi} + \Psi_{\tau}$$

Všechny veličiny tohoto vzorce jsou již popsány výše. Avšak složky celkového vodního potenciálu mohou být i trochu odlišné: ve vakuole celkový vodní potenciál vzniká především z osmotických a tlakových potenciálů, zatímco v buněčné stěně je tento potenciál tvořen matričními silami a také z části silami osmotickými. A tak celkový vodní potenciál rostliny je dán:

$$\Psi = \Psi_p + \Psi_\pi \quad = \quad \Psi_p + \Psi_\pi + \Psi_\tau \quad = \quad \Psi_\pi + \Psi_\tau$$

ve vakuole                      v cytoplasmě                      v buněčné stěně (Turner, N. C. 1981).

### 3.8 Vodní potenciál a přemísťování vody v buňce

Mezi místy s různým vodním potenciálem existuje rozdíl potenciálů  $\Delta\Psi$ . Tento stav je analogický stavu elektrického systému, v němž různé body mají různé napětí. Právě tak jako proud protéká z bodů s vyšším napětím do bodů s nižším napětím, mají i živé buňky snahu snižovat rozdíl vodních potenciálů. Tato snaha se projevuje přemísťováním vody nebo jiných látek. Přemísťování vody vždy probíhá ve směru, který vede ke snížení vodního potenciálu systému. Rovnovážný stav uvnitř buňky i mezi buňkami a jejich okolím se obvykle ustavuje rychle. Uvnitř buňky se voda přemísťuje z jedné části do druhé, dokud není dosaženo rovnováhy, při níž jsou vodní potenciály různých částí vyrovnány. Nejlépe lze transport vody vyjádřit na příkladech jednotlivých buněk hypotonickém nebo hypertonickém prostředí (Larcher, 1988).

#### 3.8.1 Buňka v hypotonickém prostředí

Jestliže je buňka s pružnou buněčnou stěnou umístěna v hypotonickém médiu, proniká voda dovnitř buňky, prochází protoplazmou do buněčné šťávy, čímž se zvětšuje objem vakuoly. Rozšiřování vakuoly tlačí protoplazmu proti buněčné stěně (turgorový tlak), která se napíná a vykonává protitlak (tlak buněčné stěny P). Snaha vody pronikat do buňky je určena rozdílem vodních potenciálů buněčného obsahu a vnějšího roztoku. Vodní potenciál buňky je dán součtem osmotického a vodního potenciálu.

$$\Psi = \Psi_\pi + \Psi_p$$

Jak přibývá vody v buňce, zmenšuje se záporná hodnota  $\Psi_\pi$  a zvětšuje se i kladná hodnota  $\Psi_p$ . V důsledku toho se zmenšuje i záporná hodnota  $\Psi$  tak dlouho, dokud se nevyrovná hodnotě vodního potenciálu hypotonického média.

Je-li buňka umístěna v čisté vodě, je rovnováhy dosaženo při hodnotě  $\Psi$  rovnající se nule (Larcher, 1988).

$$\Psi_\pi + \Psi_p = 0 \text{ neboli } \pi = P$$

### 3.8.2 Buňka v hypertonickém prostředí – začínající plazmolýza

Jestliže je buňka umístěna v roztoku, který je koncentrovanější než roztok ve vakuole, je voda z buňky odčerpávána. Tím se zmenšuje objem vakuoly, pružná buněčná stěna je méně napínána a vykonává menší tlak na protoplast. Nakonec se objem buňky stáhne na takovou velikost, pod níž se už buněčná stěna nemůže smrštít. V tomto okamžiku se protoplast začíná od buněčné stěny odtrhávat a tento stav se nazývá začínající plazmolýza. Ve stavu začínající plazmolýzy nevykonává buněčná stěna na protoplast tlak (Larcher, 1988).

$$P = 0, \text{ takže } \Psi = \Psi_{\pi}$$

### 3.9 Metody měření vodního potenciálu buněk

Je popsáno poměrně velké množství metod, kterými se měří vodní potenciál. Tyto metody se snaží změřit vodní potenciál na povrchu rostlinného pletiva nebo buňky. Metody měření vodního potenciálu se dělí na tři skupiny:

- Kompenzační: u těchto metod hledáme roztok o známém osmotickém potenciálu, který se rovná vodnímu potenciálu měřeného pletiva resp. buňky, tedy je s ním isotonický. Vyrovnává mezi vodním potenciálem pletiva (buňky) a osmotickým potenciálem roztoku z odstupňované sady osmotických roztoků může nastávat, buď ve fázi kapalné, nebo plynné.
- Psychrometrické: těmito metodami můžeme měřit relativní vlhkost vzduchu v uzavřené nádobce se vzorkem. K měření se používá termočlánek, resp. několik termočlánků, které fungují nejprve jako suchý teploměr a pak jako teploměr vlhký.
- Volumetricko - tensiometrické: touto metodou zjišťujeme rychlost vyrovnávání partiálního tlaku vodní páry v uzavřeném prostoru mezi měřeným pletivem a známým osmotickým roztokem (Slavík, 1965).

#### 3.9.1 Kompenzační metody

##### 3.9.1.1 Kompenzační metody v kapalné fázi

U této metody ponořujeme vzorky pletiva na určitou expoziční dobu do jednotlivých osmotik a zjišťujeme, zda voda z osmotika difundovala do pletiva (jeho

vodní potenciál je nižší než osmotický potenciál osmotika), nebo zda osmotikum má nižší osmotický potenciál než je vodní potenciál pletiva a voda difundovala z pletiva do roztoku, nebo zda oba potenciály jsou si rovny a nenastal žádný přesun vody mezi pletivem a osmotikem. Přesuny vody můžeme indikovat buď

- a) změnami objemu nebo rozměrů pletiva - buněčná a proužková metoda (pracné a nepřesné),
- b) změnami koncentrace roztoku - refraktometrická šmouhová metoda (pro měření v terénu a vodního potenciálu kořenů),
- c) změnami objemu roztoku - optometrická metoda.

### **Výhody**

1. Nevyžaduje přesnou teplotní regulaci.
2. Vyrovnávání nastává za krátkou dobu (1 – 3 hodiny).

### **Nevýhody**

1. Na řezných plochách pletiv poškozené buňky ovlivňují měření.
2. U pletiv, které jsou osmotikem plasmolyzovány, vniká vnější osmotikum do buněk.
3. Infiltrace osmotika do intercelulár způsobí, že dostáváme příliš vysoké hodnoty (Slavík, 1965).

#### 3.9.1.2 Kompenzační metoda v plynné fázi

V této fázi dochází k vyrovnání tím, že pletivo je umístěno v uzavřeném, přesně vytemperovaném prostoru spolu s osmotickým roztokem a přesun vody nastává ve formě páry podle gradientu parciálního tlaku vodní páry mezi roztokem a pletivem.

Přesuny vody indikujeme buď

- a) změnami váhy pletiva – gravimetrická metoda,
- b) změnami objemu roztoků – kapilárová metoda.

### **Výhody**

1. Je možné jimi měřit ve velkém rozsahu hodnot.
2. Nevznikají chyby způsobené infiltrací intracelulár.



### **Nevýhody**

1. Váhové ztráty dýcháním pletiv způsobují, že dostáváme příliš nízké hodnoty. Nutno provádět korekci dýchání.
2. Vyrovnavání trvá několik hodin nebo i dní.
3. Je nutná poměrně přesná regulace teploty (Slavík, 1965).

### **3.9.2 Psychrometrické metody**

Při těchto metodách se stanoví vlhkost vzduchu v uzavřené atmosféře, která je v rovnováze s pletivem (nebo půdou, roztokem, celým listem), jehož vodní potenciál měříme. K dosažení této rovnováhy je třeba určitý čas (rovnováha se ustaluje v klidné atmosféře difuzí), který musí být tím delší, čím je nad vzorkem větší prostor, v němž měříme relativní vlhkost vzduchu. Dále je pro měření nutná isometrie, což je shodná teplota vzorku, měřené atmosféry a suchého měřicího čidla. K psychrometrickému měření se používá termočlánek, kterým buď měříme střídavě jako s „vlhkým“ a „suchým“ (Slavík, 1965).

### **3.9.3 Metody rosného bodu**

Tato metoda využívá malé kovové zrcátko, pokud je teplota zrcátka menší než teplota měřeného vzduchu, zrcátko se orosí. Teplota, při které dojde k tomuto orosení, se nazývá teplota rosného bodu.

Metoda rosného bodu využívá k měření vodního potenciálu stanovením rosného bodu vzduchu v komoře psychrometru, tj. stanovení teploty, při které je parciální tlak vodní páry v komoře roven tlaku nasycené vodní páry. Pomocí optického systému a zpětné vazby je proud do Peltierova článku regulován tak, aby na zrcátku byla konstantní teplota rosného bodu. Zrcadlová metoda měření rosného bodu využívá senzoru vlhkosti, který se skládá ze zrcátka, ochlazovaného Peltierovým článkem a z optického systému (Scanlon et al., 2002).

Problém u této metody je znečištění zrcátka, které pak zkresluje měřené údaje. Tento problém je často řešen pomocí indikace znečištění a automatického čištění zrcátka (Wiederhold, 1997).

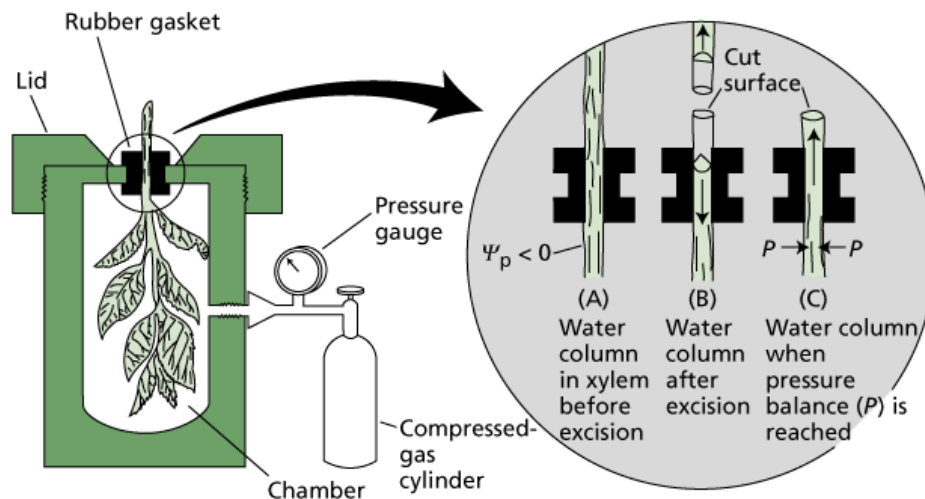
### **3.9.4 Metoda tlakové komory**

#### **3.9.4.1 Tlaková komora**

Při měření vodního potenciálu tlakovou metodou je měřený orgán (nejčastěji list nebo větev) oddělen z rostliny a vložen do tlakové komory. Při oddělení dojde k přerušení kontinuálního vodního sloupce v xylému, voda z xylému přechází osmózou do okolních buněk a je

tedy „odtažena“ z řezné plochy (Obrázek č. 6). Zvyšováním tlaku v komoře pomocí stlačeného plynu je voda vytlačena zpět na řeznou plochu. Okamžik objevení se vody na řezu (a potřebný tlak) je hodnocen vizuálně, zpravidla s pomocí lupy nebo mikroskopu. Pokud je zamezeno transpiraci měřeného listu (např. umístěním listu do plastového sáčku), považuje se naměřená hodnota tlaku za hodnotu tlakového potenciálu xylému. Vodní potenciál netranspirujícího listu je roven vodnímu potenciálu xylému, přičemž osmotická složka vodního potenciálu v xylému je malá ( $> 0,1$  MPa), takže se často zanedbává (Taiz and Zeiger, 2014). Jako přístroj může být například použita tlaková komora PMS 600 (PMS Instrument Company, Albany).

Obrázek č. 5 - Princip měření vodního potenciálu pomocí tlakové komory.



(Taiz and Zeiger, 2015)

Obrázek vlevo představuje část rostliny umístěné v tlakové komoře, která může být pod tlakem díky stlačenému plynu. Pravá část obrázku znázorňuje stav vodních sloupců uvnitř xylému ve třech bodech: A) vodní sloupec v xylému před odstraněním, B) vodní sloupec po odstranění a za C) vodní sloupec, když dosáhne tlakové rovnováhy (Taiz and Zeiger, 2015).

## 4 Metodika

### 4.1 Charakteristika odrůd

Pro tento pokus byly vybrány různé odrůdy rostlin rajčete (*Solanum lycopersicum* L.) a papriky seté (*Capsicum annuum* L.) a to odrůda Pedro F1 u rajčete a Calipso u papriky.

#### **Pedro F1**

Pozdní, indeterminantní, hybridní odrůda, určená pro teplé i studené rychlení ve sklenících i fóliových krytech. V teplejších oblastech ji lze pěstovat i na poli. Rostlina je vzrůstná. Plod je středně velký až velký, kulovitý, hladký, bez žíhání a žeber, odolný proti praskání. Má velmi dlouhou dobu skladovatelnosti a dobrou chuť. Hmotnost plodu je 120 - 135 g (MoravoSeed,2012).

#### **Calipso**

Poloraná až pozdní odrůda silnostěnné papriky pro pěstování ve skleníku a fóliovníku. Plody jsou velké, kvadratické a šťavnaté, v konzumní zralosti žluté. Velikost plodů se pohybuje okolo 8-10 centimetrů.(SEVAMORAVIA, 2014).

### 4.2 Kultivace rostlin

Pokus byl založen 10. března, kdy se semínka vysadila do nádob se zdravým pěstebním substrátem. Nádoby s kulturou se umístily do místnosti s řízenými podmínkami vhodnými pro klíčení.

Poté co rostliny vyklíčily, bylo nutné je přesadit do větších nádob a nového substrátu, aby měly dostatek místa a živin pro vývoj a růst. Následně se nádoby umístily do skleníku (1. dubna), kde celý pokus probíhal v polořízených podmínkách. Rostliny rajčat se sázely po jedné rostlině a papriky po rostlinách dvou. Během prvních týdnů se na rostlinách objevily svilušky, proto byla aplikována chemická ochrana (Vertimec). Zálivka byla pravidelná do doby odběru. První odběr proběhl o měsíc později 4. května, kdy rostliny měly dostatek praxých listů. Oba vybrané druhy byly rozděleny na dvě varianty. První variantě byly ponechány původní podmínky a pravidelná zálivka, tato část byla tedy kontrolní. Druhá polovina rostlin se pěstovala v podmínkách vodního deficitu. Následně se zahájil pokus. Vzorčky byly odebírá-

ny vždy v pondělí ve středu a v pátek. Při každém odběru bylo odebráno deset vzorků a to tři vzorky listů rajčat a dva vzorky listů paprik pěstovaných ve vodním stresu.

U kontrolní varianty to bylo obdobné. Vždy se z rostliny odebral druhý a třetí list od báze stonku. Odebrané listy byly umístěny do injekčních stříkaček a utěsněny parafilmem, aby se k rostlinnému materiálu nedostal vzduch. Následně se odebrané varianty označily a umístily do mrazáku. Během jednotlivých odběrů bylo provedeno i měření vodivosti půdy.

### **4.3 Stanovení vodního potenciálu**

#### **4.3.1 Postup**

Vodní potenciál byl měřen v laboratoři pomocí WP4C Dewpoint PotentiaMeter. Zmražené vzorky byly zbaveny parafilmu a ponechány několik minut v pokojové teplotě, aby zmrzlý rostlinný materiál trochu roztál. Následně se z injekčních stříkaček vytlačila rostlinná tekutina na malá kolečka filtračního papíru, která byla umístěna do kulaté kovové nádoby. Ta se poté vložila do přístroje WP4C Dewpoint PotentiaMeter. Každý vzorek se v průměru analyzoval dvacet minut.

#### **4.3.2 WP4C Dewpoint PotentiaMeter**

WP4C využívá ke měření vodního potenciálu technikou rosného bodu chlazeného zrcadla. V tomto typu zařízení je vzorek ekvilibrován metodou headspace pomocí zapečetěné komory, která obsahuje zrcadlo a prostředky (příslušenství) detekující míru kondenzace na zrcadle. Při rovnováze je vodní potenciál vzduchu v komoře stejný jako vodní potenciál vzorku. V zařízení WP4C je teplota zrcadla přesně kontrolována (regulována) termoelektrickým chladičem. Zjištění přesného bodu, při kterém se kondenzace poprvé objeví na zrcadle, je pozorováno fotoelektrickou buňkou. Paprsek světla je směřován na WP4C PotentiaMeter a dále odražen na fotodetektor. Fotodetektor snímá změny v odrazivosti, když dojde ke kondenzaci na zrcadle. Termočlánek připojený k zrcadlu zaznamená teplotu, při které dochází ke kondenzaci. Počáteční měření jsou uplatněna, když se hodnoty začnou zobrazovat. WP4C signalizuje dosažení konečné hodnoty blikáním (zelenou LED) nebo pípáním.

Zobrazí se konečný vodní potenciál a teplota vzorku. WP4C používá vnitřní ventilátor, který cirkuluje vzduch uvnitř komor, aby dosáhl rovnováhy. WP4C reguluje teplotu vzorku pomocí vnitřního tepelně-elektrického modulu, který monitoruje a stabilizuje teplotu vzorku bloku podle toho, jak je nastaven (WP4C Dew Point PotentiaMeter - Operator's Manual).

Obrázek č. 6: WP4C Dewpoint PotentialMeter



(www.decagon.com)

## 4.4 Stanovení hmotnostní vlhkosti

### 4.4.1 Definice

Půdní hmotnostní vlhkost představuje obsah vody v půdě (v pórech). Kvantitativně můžeme vlhkost půdy rozdělit na dva způsoby:

- Objemová vlhkost: podíl objemu vody z celkového objemu půdy.
- Relativní vlhkost: podíl objemu vody z celkové pórovitosti půdy.

### 4.4.2 Postup

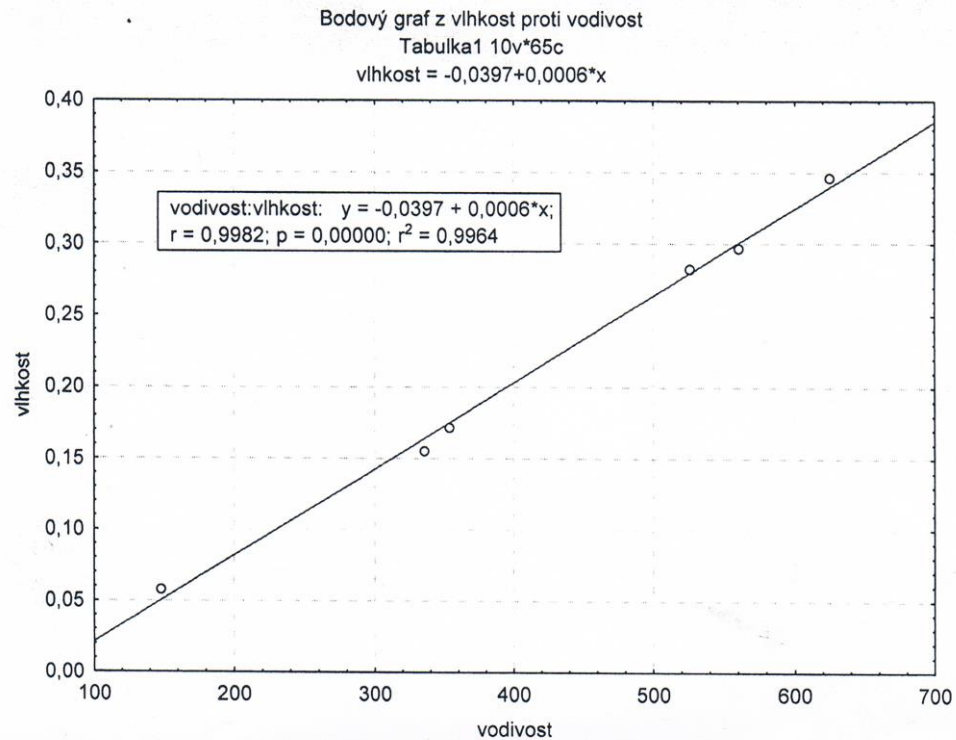
Vodivost substrátu byla měřena (nepřímou metodou) při odběrech všech vzorků, kdy se čidlo přístroje zapichovalo do půdy na třech rozdílných místech a hodnoty byly řádně zapsány. Z těchto hodnot byl následně vypočítán průměr.

Nepřímé metody měření půdní vlhkosti jsou široce využívané ve výzkumu i praktických aplikacích jako alternativa ke gravimetrickému stanovení. "Nepřímé" se nazývají proto, že neměří přímo vlhkost půdy, ale jinou veličinu, která je na vlhkosti půdy závislá, a ze známého vztahu mezi touto měřenou veličinou a vlhkostí lze vlhkost půdy s větší či menší přesností určit. Při kvalitní kalibraci jsou získaná měření dostatečně přesná pro většinu aplikací. Kalibrace se provádí vždy srovnáním s gravimetrickým stanovením vlhkosti půdy (Bařková a kol., 2013).

Hmotnostní vlhkost zeminy pokusných rostlin byla vypočítána z elektrické vodivosti půdy (naměřené přístrojem HH2 Moisture meter v mV). Přepočet byl uskutečněn na základě rovnice odvozené z kalibrační křivky (Obr. č. 7). Při výpočtu hmotnostní vlhkosti bylo vychá-

zeno z rovnice  $y = ax + b$ , kde  $a$  je rovno hodnotě 0,0006,  $b$  je rovno hodnotě - 0,0397. Tyto hodnoty byly získány z kalibrační křivky vyhotovené pro kvěťáky. Neznámá  $x$  vyjadřuje naměřenou vodivost půdy (mV) a neznámá  $y$  v této rovnici vyjadřuje dopočítávanou hmotnostní vlhkost zeminy. Hodnota korelačního koeficientu ( $R^2$ ) blíží se k jedné, zaručuje poměrně přesný přepočítání vodivosti na hmotnostní vlhkost zeminy.

Obrázek č. 7: Kalibrační křivka.



#### 4.4.3 HH2 Moisture meter

Tento vlhkoměr HH2 je univerzální čtecí jednotka s čidly vlhkosti půdy: Profile Probe, ThetaProbe, SM200 a WET Sensor. Pro toto měření byl použit přístroj Theta Probe Soil Moisture Sensor ML2x a čtecí zařízení Moisture Meter HH2 od výrobce Delta-T Devices. Senzor přístroje je typu FDR (Frequency Domain Reflectometry) (Baťková a kol., 2013).

##### 4.4.3.1 Princip

Elektrická kapacita kondenzátoru, kde je jako dielektrikum použita půda, je závislá na půdní vlhkosti  $\theta$ . Pokud je kondenzátor, postavený z kovových destiček nebo jehel umístěný do půdy připojen na oscilátor tak, aby tvořil elektrický obvod, mohou být změny půdní vlh-

kosti detekovány pomocí vyvolaných změn pracovní frekvence obvodu. Změny této frekvence oproti základní frekvenci jsou základem u FD a FDR senzorů pro měření vlhkosti půdy.

V případě kapacitních senzorů (FD), relativní permitivita půdy  $\epsilon$  je stanovena z měření nabíjecí doby kondenzátoru v dané půdě. U FDR je frekvence oscilátoru regulována v určitém rozmezí pro stanovení rezonanční frekvence (které odpovídá nejvyšší amplituda), odpovídající půdní vlhkosti (Muñoz-Carpena et al., 2006).

Sondy jsou tvořeny dvěma nebo více elektrodami (destičkami nebo jehlami), které jsou umístěny do půdy. Když je aplikováno elektrické pole, půda v okolí elektrod funguje jako dielektrikum kondenzátoru a doplní tak oscilační obvod. Měření může být ovlivněno teplotou, salinitou, objemovou hmotností půdy a obsahem jílu v půdě. Proto je doporučováno pro každou jednotlivou půdu uskutečnit kalibraci (Bařková a kol., 2013).

#### 4.4.3.2 Pomůcky

##### **Profile probe**

Přístroj s Profile probe sondou čte a ukládá půdní vlhkost pro čtyři nebo šest hlubin substrátu současně. Také může vypočítat deficit vody v každé hloubce.

##### **ThetaProbes**

Při použití profilu ThebaProbes se na displeji HH2 ukládá jediný bod z měření vlhkosti půdy. To vytváří kompaktní systém pro zjištění půdní vlhkosti na cestách.

(User Manual for the Moisture Meter - type HH2)

Obrázek č. 8: Senzor Theta Probe Soil Moisture ML2x.



(www.delta-t.co.uk)

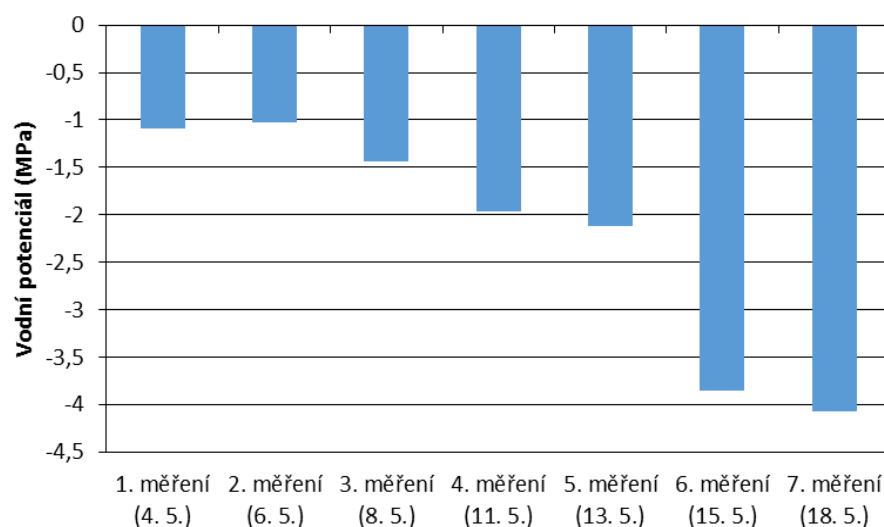
## 5 Výsledky

### 5.1 Vodní potenciál

Graf č. 1 znázorňuje průběh stresové reakce u rostlin *Solanum lycopersicum* pěstovaných v prostředí vodního deficitu. V grafu je patrný pokles vodního potenciálu (dále jen  $\Psi$ ) v závislosti na termínu měření (na době působení vodního deficitu).

Při prvním měření (4. 5.) byla naměřena hodnota  $\Psi$  - 1,09 MPa. Oproti tomu konečná hodnota  $\Psi$  zjištěná při posledním měření (18. 5.) byla - 4,07 MPa. Z toho vyplývá, že celkový pokles  $\Psi$  během pokusu se pohyboval okolo - 2,98 MPa. K největšímu poklesu došlo v druhé polovině měření mezi pátým a šestým měřením (13-15. 5), a to o - 1,74 MPa. Naopak v první polovině pokusu  $\Psi$  klesal víceméně rovnoměrně v průměru okolo - 0,38 MPa.

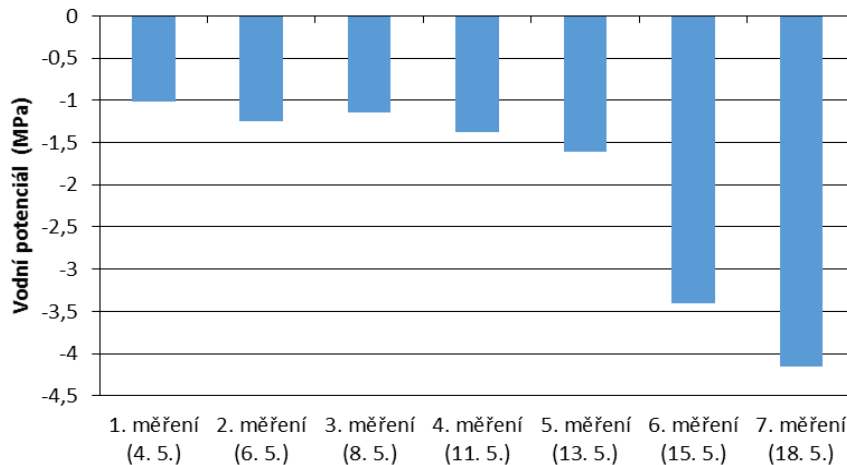




Graf č. 1. Průměrný vodní potenciál (MPa) u stresovaných rostlin *Solanum lycopersicum* v závislosti na termínu měření.

V grafu č. 2 jsou uvedeny změny hodnot vodního potenciálu v průběhu stresové reakce u rostlin *Capsicum annuum* pěstovaných v prostředí vodního deficitu. Na tomto grafu je opět patrný pokles  $\Psi$  v závislosti na termínu měření (na době působení vodního deficitu). Zde je možné pozorovat podobný průběh, jako v grafu č. 1.

V tomto případě dochází k mírnějšímu poklesu hodnot  $\Psi$ . Při prvním měření (4. 5.) byla zjištěna hodnota - 1,02 MPa. V posledním měření (18. 5.) byla naměřená hodnota  $\Psi$ , která byla rovna - 4,15 MPa. Tak byl celkový pokles  $\Psi$  během pokusu - 3,13 MPa. Do pátého měření (13. 5.) hodnoty  $\Psi$  klesaly rovnoměrně v průměru o - 0,31 MPa. Na rozdíl od druhé poloviny pokusu, kde došlo k největšímu poklesu  $\Psi$  mezi pátým a šestým měřením (13-15. 5.) a to o - 1,79 MPa.



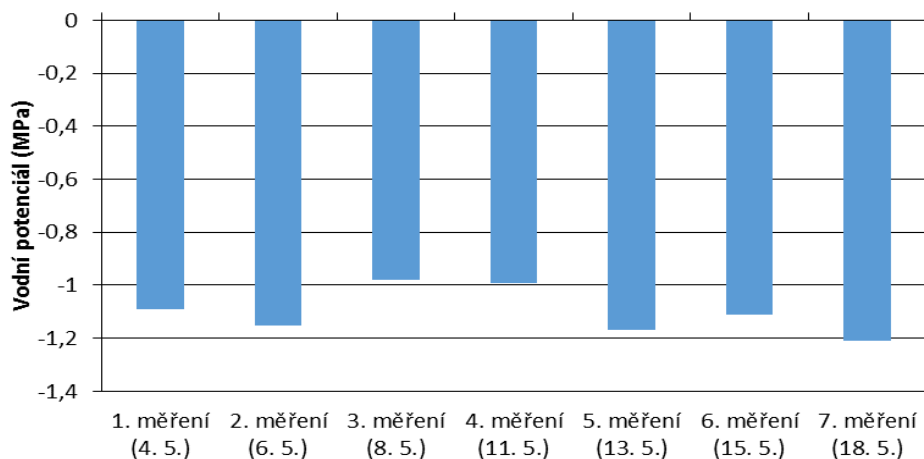
Graf č. 2. Průměrný vodní potenciál (MPa) u stresovaných rostlin *Capsicum annuum* v závislosti na termínu měření.

Při srovnání grafů  $\Psi$  rostlin *Solanum lycopersicum* a *Capsicum annuum* (pěstovaných ve vodním deficitu) se grafy od sebe nijak zásadně neliší. Ovšem pár rozdílů v hodnotách  $\Psi$  je zde možné pozorovat.

V grafu č. 2 dochází v první polovině pokusu k pozvolnějšimu poklesu  $\Psi$  (průměrný pokles - 0,31 MPa) než v grafu č. 1 (průměrná hodnota poklesu - 0,38 MPa). Dalším rozdílem je celkový pokles  $\Psi$  během měření, který je u rostlin *Capsicum annuum* nižší (- 3,13 MPa) než je tomu u rostlin *Solanum lycopersicum*, kde se celková hodnota  $\Psi$  pohybuje okolo - 2,98 MPa.

Graf č. 3 zobrazuje průběh kontrolního měření u rostlin *Solanum lycopersicum*, které byly pěstovány v prostředí s pravidelnou závlivkou. Průměrné hodnoty  $\Psi$  u kontrolních rostlin se pohybovaly v rozmezí od - 1,09 do - 1,21 MPa.

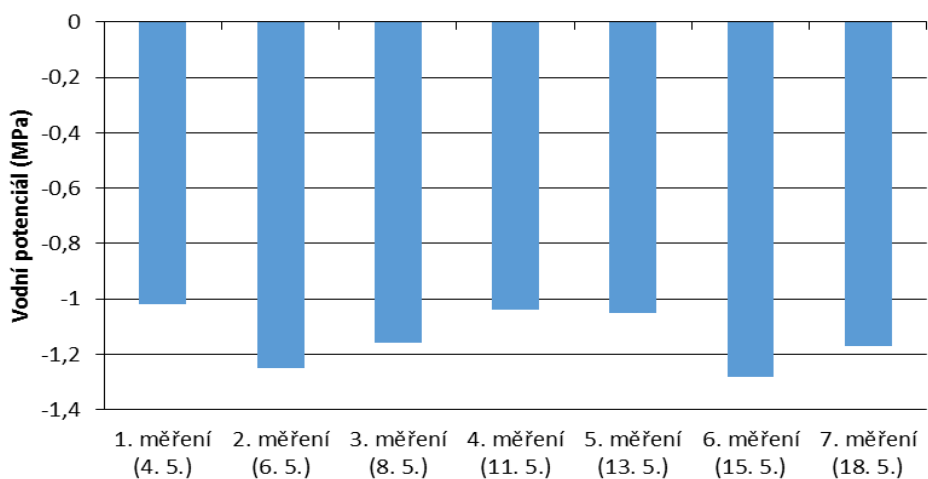
Na místo předpokládaných konstantních hodnot došlo během druhého (6. 5.), pátého (13. 5.) a sedmého (18. 5.) měření k poklesu  $\Psi$ . V těchto termínech je  $\Psi$  nejnižší. Tyto niance mohou být důsledkem nižší závlivky či vyšší teploty, která panovala ve skleníku v době pokusu.



Graf č. 3. Průměrný vodní potenciál (MPa) u kontrolních rostlin *Solanum lycopersicum* v závislosti na termínu měření.

V grafu č. 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty vodního potenciálu u kontrolních rostlin *Capsicum annuum*, které byly pěstovány v prostředí s pravidelnou zálivkou. Hodnoty  $\Psi$  se v tomto grafu pohybují v rozmezí od - 1,02 do - 1,28 MPa.

V porovnání s grafem č. 3 jsou hodnoty  $\Psi$  v průměru o něco nižší (- 0,04 MPa). Opět se zde objevují mírné rozdíly hodnot  $\Psi$  a to v druhém (6. 5.), šestém (15. 5.) a sedmém (18. 5.), měření kdy je  $\Psi$  nejnižší. Což potvrzuje mé domněnky o vlivu vyšší teploty a nižší zálivky na dané měření.

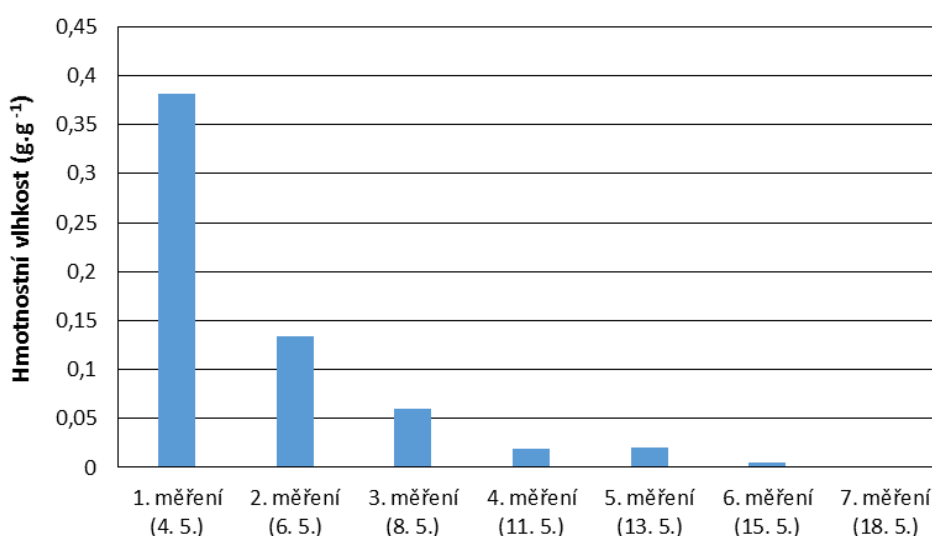


Graf č. 4. Průměrný vodní potenciál (MPa) u kontrolních rostlin *Capsicum annuum* v závislosti na termínu měření.

## 5.2 Hmotnostní vlhkost

Graf č. 5 znázorňuje průměrné hodnoty hmotnostní vlhkosti (dále jen  $w$ ) u rostlin *Solanum lycopersicum*, které byly pěstovány v podmínkách vodního deficitu. Z grafu je patrné postupné klesání  $w$  v závislosti na době, po kterou byla zemina vystavována vodnímu deficitu.

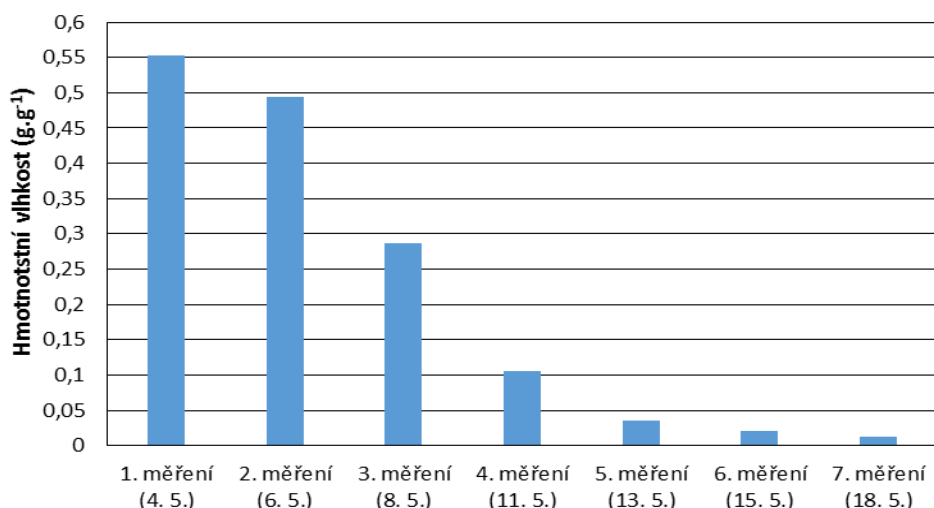
Hodnoty  $w$  se během měření pohybovaly v rozmezí od 0,38 do 0  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Nejvyšší hodnota byla naměřena na začátku pokusu, kdy půda byla nejvíce nasycena vodou. Mezi prvním (4. 5.) a druhým (6. 5.) měřením došlo k největšímu poklesu  $w$  a to o celých 0,25  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Po zbytek pokusu se hodnoty  $w$  snižovaly převážně rovnoměrně.



Graf č. 5 Průměrná hmotnostní vlhkost u stresovaných rostlin *Solanum lycopersicum* v závislosti na termínu měření.

V grafu č. 6 jsou uvedeny hodnoty hmotnostní vlhkosti u rostlin *Capsicum annuum* pěstovaných v podmínkách vodního deficitu. Také v tomto grafu je možné pozorovat postupné klesání  $w$  v závislosti na termínu měření.

Při prvním měření byla zjištěna hodnota 0,55  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  a při posledním měření tohoto pokusu, kdy zemina vykazovala největší vodní deficit, byla naměřena  $w$  mnohem nižší a to 0,01  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . K největšímu poklesu během měření došlo ve třetím (8. 5.) a čtvrtém (11. 5.) měření, při kterém  $w$  klesla v průměru o 0,18  $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ .



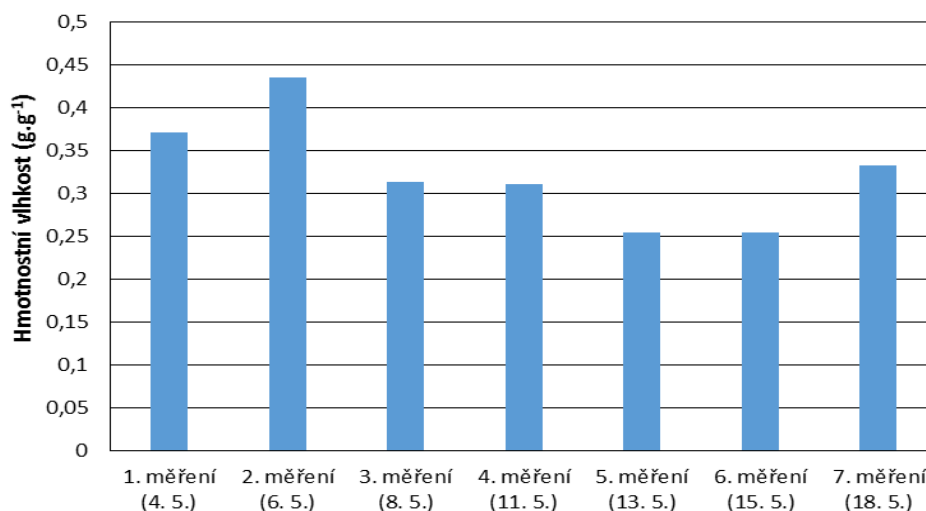
Graf č. 6 Průměrná hmotnostní vlhkost u stresovaných rostlin *Capsicum annuum* v závislosti na termínu měření.

Při porovnávání grafů č. 5 a 6, byly rostliny *Solanum lycopersicum* a *Capsicum annuum* pěstovány ve vodním deficitu a to díky absenci závlivky během celého pokusu. Tato dvě měření se od sebe nijak zvláště neliší, avšak je zde možné pozorovat mírné odchylky.

Kdy u rostlin *Capsicum annuum* v grafu č. 6 je zřejmé, že prvotní měření w jsou vyšší než u rostlin *Solanum lycopersicum*. Tato změna bude zřejmě následkem nižšího vypařování, vyšší závlivkou nebo nižším odběrem vody rostlinou (*Capsicum annuum*) během pokusu. Další odlišností je největší pokles hodnot w, která se u těchto variant objevuje pokaždé v jiný termín měření. V grafu č. 5 je tomu tak u druhého termínu (6. 5.) naopak v grafu č. 6 největší pokles nastal ve třetím (8. 5.) a čtvrtém (11. 5.) měření.

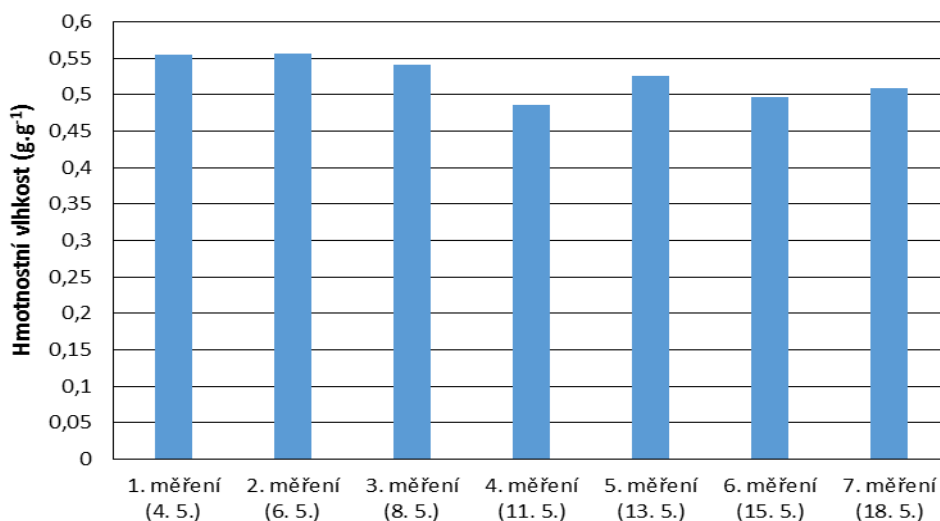
V grafu č. 7 je možné sledovat průběh kontrolního měření u rostlin *Solanum lycopersicum*, které byly pěstovány v prostředí s pravidelnou závlivkou, tudíž tyto rostlin nebyly vystavovány vodnímu stresu.

V tomto grafu se hodnoty w pohybují v průměru okolo 0,32 g.g<sup>-1</sup>. Hodnoty naměřené v tomto pokusu se pohybují v rozmezí od 0,37 g.g<sup>-1</sup> do 0,25 g.g<sup>-1</sup>. Případné odchylky mohou být opět způsobeny nižší závlivkou nebo teplým počasím, které panovalo během pokusu, což už je zmíněno výše.



Graf č. 7 Průměrná hmotnostní vlhkost u kontrolních rostlin *Solanum lycopersicum* v závislosti na termínu měření.

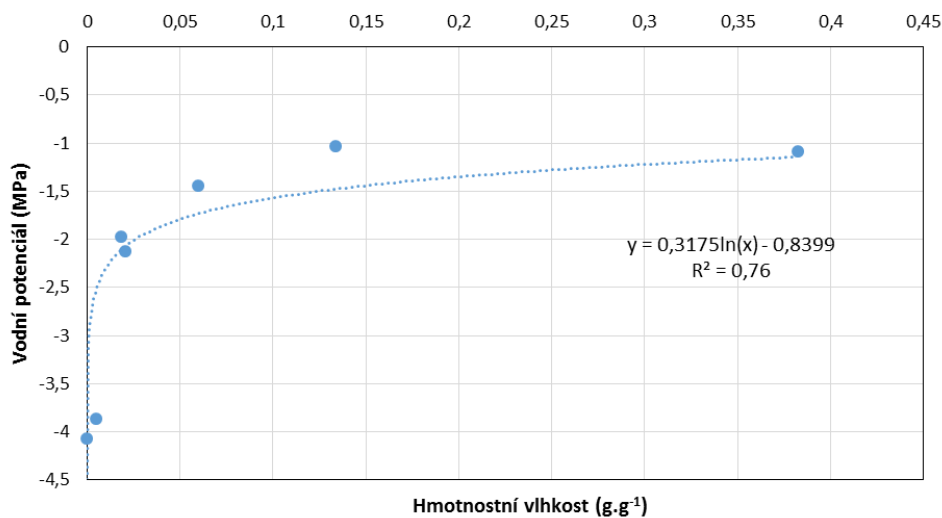
Graf č. 8 zobrazuje průměrné hodnoty kontrolního měření u rostlin *Capsicum annuum* pěstovaných v prostředí s pravidelnou zálivkou. Opět jsou v tomto grafu hodnoty  $w$  o něco vyšší než je tomu u rostlin *Solanum lycopersicum*, kde se průměrné hodnoty pohybovaly okolo  $0,32 \text{ g.g}^{-1}$ . Ale v tomto grafu (č. 8) se průměrná hodnota  $w$  pohybuje okolo  $0,52 \text{ g.g}^{-1}$ , což je podstatně více než v grafu č. 7.



Graf č. 8 Průměrná hmotnostní vlhkost u kontrolních rostlin *Capsicum annuum* v závislosti na termínu měření.

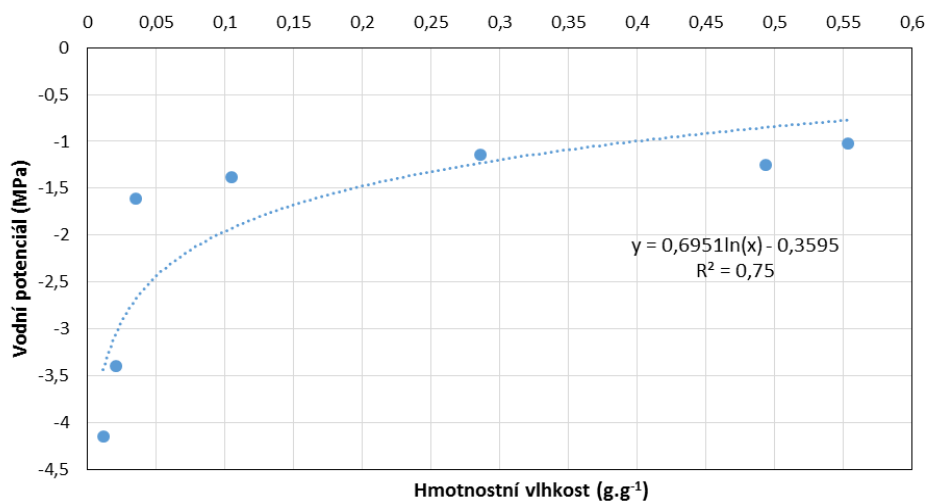
Na grafu č. 9 je možné sledovat těsnou závislost mezi vodním potenciálem a hmotnostní vlhkostí půdy u rostlin *Solanum lycopersicum* pěstovaných ve vodním deficitu. Kdy

hodnota korelačního koeficientu ( $R^2 = 0,76$ ) se blíží k jedné a to značí těsnou závislost mezi těmito měřenými parametry.



Graf č. 9 Těsná závislost vodního potenciálu a hmotnostní vlhkosti u stresovaných rostlin *Solanum lycopersicum*.

Graf č. 10 zobrazuje těsnou závislost mezi vodním potenciálem a hmotnostní vlhkostí půdy u rostlin *Capsicum annuum*, které byly pěstovány ve vodním deficitu. Zde je také možno pozorovat těsnou závislost. Korelační koeficient ( $R^2 = 0,75$ ) se opět blíží k jedné, zde je ale hodnota o něco nižší, než tomu bylo u rostlin *Solanum lycopersicum* (graf č. 9).



Graf č. 10 Těsná závislost vodního potenciálu a hmotnostní vlhkosti u stresovaných rostlin *Capsicum annuum*.

## 6 Diskuze

Rostliny ke svému růstu potřebují několik základních látek, díky kterým se mohou vyvíjet. Těmito látkami jsou oxid uhličitý, kyslík, minerální látky a voda. Jedna z nejdůležitějších látek je voda, díky níž může rostlina růst, respektive prodlužovat své buňky (díky turgoru) a provádět fotosyntézu.

Proto rostlina velmi citlivě reaguje na nedostatek vody neboli na vodní stres. Nedostatkem vody dochází v rostlině ke snižování turgoru a tím k dalším změnám (zastavení růstu až vadnutí), což je pro ni nežádoucí. Rostlina tedy musí odolávat různým stresovým faktorům, které mohou vyvolat stresovou reakci. Samozřejmě tento stres má nepříznivý vliv a proto je velmi důležité věnovat se výzkumu působení faktorů na rostliny a jejich následnou reakce.

Dle výše zmíněné metodiky pokus probíhal ve sklenících ČZU, kde byly založeny dvě varianty dvou rostlinných druhů (*Solanum lycopersicum*, *Capsicum annuum*). A to varianta stresovaná a varianta kontrolní. Oba sledované druhy byly velmi citlivé na nedostatek vláhy, který působil na procesy v buňce a tím docházelo ke změně vodního potenciálu a hmotnostní vlhkosti. Samozřejmě dále vodní deficit působil negativně na růst sledovaných druhů, kdy u stresovaných rostlin byl růst zastaven.

Vodní potenciál se u stresovaných rostlin během měření pohyboval u *Solanum lycopersicum* v rozmezí od - 1,09 MPa (první měření) do - 4,07 MPa (poslední měření) a u *Capsicum annuum* se tyto hodnoty pohybovaly mezi - 1,02 MPa (první měření) až - 4,15 MPa (poslední měření).

Z pokusu vyplývá, že čím déle vodní deficit na rostlinu působí, tím větší jsou následky. S postupem času se tedy závlhka snižovala a docházelo k snižování vodního potenciálu a i k snižování hmotnostní vlhkosti půdy a následnému vadnutí rostliny.

Touto problematikou se již v minulosti zabýval Boyer (1968), který zkoumal vztah vodního potenciálu a růstu listu u rostlin slunečnice. A zjistil, že rostlina slunečnice roste do určité výše vodního potenciálu a následně od této hodnoty svůj růst zastavuje. Což dokládá, že s rostoucím vodním stresem hodnota potenciálu klesá.

Mezi další již historické výzkumy patří práce Sionita a Kramera (1977), kteří zkoumali vliv vodního stresu na rostliny sóji během nasazování květů a kvetení. Dospěli k tomu, že po vystavení rostlin vodnímu stresu, vodní potenciál klesl na - 2,3 MPa. Po zalití se potenciál vrátil do normálu, ale zkoumané rostlin měly méně květů a následně i lusků a semen. Tudiž je zde nepřímo ukazováno na nižší výnos u stresovaných rostlin a také na pokles vodního potenciálu během vodního stresu.



Jeden z hlavních důvodů, proč je o vodní stres takový zájem je, že má tento faktor vliv na výnos. Výnosový faktor je v dnešní době produktivity a ekonomického zisku velmi důležitý. A tímto tématem se ve své práci zabývá Okunlola et al., (2015), který potvrzuje přímý vliv vodního stresu na výnos. Kdy prokázal, že u denně zalévaných rostlin rajčat byl počet nasazených plodů vyšší než u rostlin stresovaných, naopak velikost plodů byla o něco málo větší u skupiny rostlin vystavovaných stresu. Dále tvrdí, že vodní stres nemá nijak významný vliv na snížení růstu rostlin a na morfologické změny. Tímto výzkumem se také zabýval Nuruddin et al., (2003) a potvrdili předešlé tvrzení o vlivu vodního potenciálu na výnos plodin rajčete.

Vliv vodního potenciálu se řeší i v souvislosti se stavem fotosyntetického aparátu, který je v centru pozornosti. Dle Brestiče (2002) během dehydratace rostlin dochází k uzavírání průduchů a obsah vody v listech kolísá. Obsah vody v mezofylu se sníží. Ve své studii předpokládá, že tento stav koresponduje s hodnotou vodního potenciálu a je regulovaný rychlým zavřením průduchů a osmotickou úpravou a tím se limituje přísun  $\text{CO}_2$  do chloroplastů. Snížení vodivosti průduchů má za následek pokles čisté asimilace  $\text{CO}_2$  a snížení interního tlaku  $\text{CO}_2$ . Od tohoto období prakticky neprobíhá výměna plynů mezi atmosférou a listem, avšak tvorba produktů fosforylace (ATP, NADPH) pokračuje. Tudíž vodní potenciál nepřímo souvisí s omezením fotosyntézy během období sucha.

Hmotnostní vlhkost (jak je již zmíněno výše) má také neopomenutelný význam pro vodní potenciál rostliny. Hmotnostní vlhkost se během pokusu měnila. U stresovaných rostlin *Solanum lycopersicum* se naměřené hodnoty pohybovaly od  $0,38 \text{ g.g}^{-1}$  (první měření) do  $0 \text{ g.g}^{-1}$  (poslední měření). U rostlin *Capsicum annuum* se měření pohybovalo v rozmezí od  $0,55 \text{ g.g}^{-1}$  (první měření) do  $0,01 \text{ g.g}^{-1}$  (poslední měření). Hodnoty naměřené u rostlin se sníženou záhlvkou byly nižší, než tomu bylo u kontrolní varianty. Z pokusu vyplývá, že při dlouhodobém deficitu vody dochází k snížení hmotnostní vlhkosti půdy.

Brestič (2002) tvrdí, že důležitým mechanismem pro řízení vodního režimu v polních podmínkách je nerovnoměrné rozložení kořenové soustavy v různých vrstvách půdy s nestejným vodním potenciálem. Pro signalizaci vodního deficitu půdy je dostatečné, aby se jen malé množství kořenů, nacházelo v podmínkách sucha, poté se vytvoří dostatečné množství ABA. Což vede k předpokladu, že u většiny, ne-li u všech druhů vyšších rostlin, je zavírání průduchů během mírné dehydratace, kdy vodní deficit listů není vyšší než 30 %, odpovědné za snížení fotosyntézy vystavených listů.

Dále zde byla prokázána těsná závislost mezi vodním potenciálem a hmotnostní vlhkostí půdy u obou sledovaných druhů (*Solanum lycopersicum*, *Capsicum annuum*). Kdy kore-

lační koeficient ( $R^2$ ) u stresovaných rostlin *Solanum lycopersicum* byl 0,76. U stresovaných rostlin *Capsicum annuum* byl korelační koeficient o něco nižší a to 0,75. Ale v obou případech se jednalo o vysoce těsnou závislost.

Duffková (2005) popisuje podobný problém ve své práci. Tvrdí, že v závislosti na snižující se půdní vlhkosti dochází k rychlému zvyšování odporu porostu v důsledku aktivního uzavírání štěrbin listových průduchů. Brestič a Olšovská (2001) uvádí, že vodivost průduchů je v těsnější korelaci s obsahem vody v půdě než s obsahem vody v listech (vodní listový potenciál).

Tuto závislost potvrzuje i Hniličková et al. (2009). Hnilička et al. (2009) našli silnou závislost mezi těmito dvěma faktory u rostlin kukuřice.

## 7 Závěr

V bakalářské práci jsem pozorovala vliv vodního deficitu na rostliny *Solanum lycopersicum* a *Capsicum annuum*. Na těchto rostlinách jsem se zaměřila na změnu vodního potenciálu a hmotnostní vlhkosti substrátu během vodního stresu. Z výsledků měření získaných během pokusu mohu informace shrnout do několika bodů:

- Vodní potenciál u stresovaných rostlin se během měření pohyboval u *Solanum lycopersicum* v rozmezí od - 1,09 MPa (první měření) do - 4,07 MPa (poslední měření) a u *Capsicum annuum* se tyto hodnoty pohybovaly mezi - 1,02 MPa (první měření) až - 4,15 MPa (poslední měření).
- Tedy u obou druhů stresovaných rostlin byly hodnoty vodního potenciálu na počátku měření nejvyšší a postupně s rostoucím vodním deficitem klesaly a dosáhly nižších hodnot, než tomu bylo u varianty kontrolní, kde hodnoty během pokusu byly konstantní.
- Hmotnostní vlhkost se také během pokusu změnila. U stresovaných rostlin *Solanum lycopersicum* se naměřené hodnoty pohybovaly od 0,38 g.g<sup>-1</sup> (první měření) do 0 g.g<sup>-1</sup> (poslední měření). U rostlin *Capsicum annuum* se měření pohybovalo v rozmezí od 0,55 g.g<sup>-1</sup> (první měření) do 0,01 g.g<sup>-1</sup> (poslední měření). Hodnoty naměřené u rostlin se sníženou zálivkou byly nižší, než u kontrolní varianty.
- U obou stresovaných druhů rostlin dochází během měření (působení vodního deficitu) k poklesu hmotnostní vlhkosti.
- Na vodní stres měly oba druhy rostlin podobnou reakci a nijak zvláště se nelišily.
- Byla prokázána těsná závislost mezi vodním potenciálem rostliny a hmotnostní vlhkostí půdy. Čím déle na rostliny působil vodní deficit, tím nižší byly hodnoty měřených veličin.

## 8 Použitá literatura

- Barthlow, S.W.** Tomato. [Online]. Botanica Illustration. 25. dubna 2015. [cit. 2016-3-14].
- Bát'ková, K., Matula, S., Miháliková, M.** 2013. Multimediální učebnice hydro-pedologických terénních měření. 2. doplněné vydání [on-line]. Česká verze. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. Nestránkováno. ISBN: 978-80-213-2434-3.
- Bělohávková, R., Slavík, B.** 2000. Květena České republiky. Praha: Academia. 770 s. ISBN 8020003061.
- Bláha, L.** (eds) 2003. Rostlina a stes. VÚRV. Praha. 156 s. ISBN: 8086555321.
- Boyer, J. S.** (1968). Relationship of water potential to growth of leaves. *Plant physiology*, 43(7), p. 1056-1062.
- Brestič, M.** 2002. Determinácia citlivých miest fotosyntézy počas dlhodobej dehydratácie rastlín. *Journal of central european agriculture*, 2(3-4), p. 217-226.
- Brestič, M., Olšovská, K.** 2001: Vodný stres rastlín– príčiny, dôsledky, perspektívy, SPU v Nitre. 149 s.
- Buchtová, I.** 2015. Situační a výhledová zpráva zelenina. Praha. Ministerstvo zemědělství. 69 s. ISBN: 987-80-7434-260-8.
- Campbell, A., Reece B.** 2006. Biologie. Computer Press. 1338 s. ISBN: 8025111784.
- Daszkowska-Golec A. & Szarejko I.** 2013. The Molecular Basis of ABA-Mediated Plant Response to Drought. In: *Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture*.
- Duffková, R.** 2005. Hodnocení povrchového odporu travního porostu rc ve vztahu k půdní vlhkosti a hydrolimitům.

**FAO** (Food and Agricultural Organisation, United Nations). 2015. Crop Description and Climate, Tomato. [cit. 2016-2-22]. Dostupné na <<http://www.fao.org>>. InTech. ISBN 978-953-51-1024-8.

**Hnilička, F., Hniličková, H., Holá, D., Kočová, M., Rothová, O.** 2009. Vliv biotických a abiotických stresorů na vlastnosti rostlin. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby Ruzyně. 199-202 s.

**Hniličková, H., Hnilička, F., Svoboda, P., Kořen, J., Martinková, J.,** 2009. The Impact of water deficit on selected physiological characteristics of juvenile hop plants, Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby Ruzyně. 301 – 304 s.

**Köhler, F.** 1897. Köhler's Medizinal-Pflanzen. Wikimedia commons. [Online]. 15. května 2015. [cit. 2015-11-23].

**Larcher, W.** 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia. Praha. 361 s. ISBN: 03/15-4725 21-102-88.

**Malý, I., Bartoš, J., Hlušek, J., Kopec, K., Petříková, K., Rod, J., Spitz, P.** 1998. Polní zelinářství. Agrospoj. Praha. 196 s. ISBN: 8023942328.

**Maňas, M.** Voda. [Online]. Wikipedia 10. února 2014. [cit. 2015-10-6].

**MoravoSeed, Sortiment** - Dostupné odrůdy. [Online]. MoravoSeed. 2012. [cit. 2016-1-26]. Dostupné z <<http://www.moravoseed.cz/>>.

**Muñoz-Carpena, R., Shukla, S., & Morgan, K.** 2004. Field devices for monitoring soil water content. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS.

**Narendra, T., Sarvajeet, S. G.** 2016. Abiotic Stress Response in Plants. WILEY –VCHT. Weinheim. p. 194. ISBN: 978-3-527-33918-1.

**Nuruddin, M. M., Madramootoo, C. A., & Dodds, G. T.** 2003. Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. 38(7), p. 1389-1393.

**Okunlola, G. O., Adelusi, A. A., Olowolaju, E. D., Oseni, O. M., & Akingboye, G. L.** 2015. Effect of water stress on the growth and some yield parameters of *Solanum lycopersicum* L. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(4), p. 1755-1761.

**Pekárková, E.** 1997. *Pěstujeme zeleninu*. Grada Publishing. Praha. 156 s. ISBN:8071694932.

**Pekárková, E.** 2001. *Pěstujeme rajčata, papriky a další plodové zeleniny*. Grada. Publishing. Praha. 68 s. ISBN: 8024701707.

**Petříková, K., Hlušek, J. (eds)** 2012. *Zelenina – pěstování, výživa, ochrana a ekonomika*. Profi Press. Praha. 191 s. ISBN: 9788086726502.

**Petříková, K., Jánský, J., Malý, I., Peza, Z., Poláčková, J., Rod, J.** 2006. *Zelenina – pěstování, ekonomika, prodej*. Praha. 240 s. ISBN: 8086726207.

**Scanlon, B. R., Andraski, B. J., & Bilskie, J.** 2002. Miscellaneous methods for measuring matric or water potential. *Methods of soil analysis, part,4*. 662.

**SEVAMORAVIA, Sortiment.** [Online].Prodej osiv. 2014. [cit. 2016-1-26]. Dostupné z <<http://www.prodejosiv.cz/>>.

**Sionit, N., & Kramer, P. J.** 1977. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. *Agronomy Journal*, 69(2), p. 274-278.

**Slatyer, R. O., Taylor, S. A.** 1960. *Nature*. London. 187: 922-924 (A).

**Slavík, B. (eds)** 1965. *Metody studia vodního provozu rostlin*. Československá akademie věd. Praha. 302 s.

**Tardieu F., Davies W. J.** 1993. Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. *Plant Cell Environment*, 16: p. 341 – 349.

**Taiz, L., Zeiger, E.** 2015. Measuring Water Potential [Online]. Plant Physiology & Development – sixth edition. [cit. 2015-11-20].

**Taiz, L., Zeiger, E.** 2014. Plant Physiology & Development – sixth edition. Sinauer Associates, Incorporated. 761 s. ISBN: 1605353264.

**ThetaProbe Soil Moisture Sensor.** 2016. Delta-t Devices. [cit. 2016-2-10].

**Turner, N. C.** 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and soil, 58(1-3), p. 339-366.

**User Manual for the Moisture - Meter type HH2.** 2013. Delta-T Devices. [cit. 2015-6-13]. Dostupné z: < <http://www.delta-t.co.uk/>>.

**Wiederhold, P. R.** 1997. Water vapor measurement: methods and instrumentation. CRC Press. 384 s. ISBN: 9780824793197.

**WP4C Dew Point PotentialMeter - Operator's Manual.** [cit. 2015-6-15]. Dostupné z: < [http://manuals.decagon.com/Manuals/13588\\_WP4C\\_Web.pdf](http://manuals.decagon.com/Manuals/13588_WP4C_Web.pdf) >.