

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra botaniky a fyziologie rostlin**



**Změny koncentrace prolinu a hodnot relativního výtoku  
elektrolytů v listech juvenilních rostlin máku setého v závislosti na  
působení vodního deficitu**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Jiří Kudrna**

**Studijní obor: Rostlinná produkce**

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

**© 2018 ČZU**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Změny koncentrace prolinu a hodnot relativního výtoku elektrolytů v listech juvenilních rostlin máku setého v závislosti na působení vodního deficitu“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiloženém seznamu literatury.

V Praze dne 5. 4. 2018

.....

Jiří Kudrna

## **Poděkování**

Děkuji svému školiteli doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, věcné připomínky, odborné konzultace a trpělivost při zpracování této diplomové práce. Dále děkuji své rodině za poskytnutí prvotřídního zázemí během studia.

# **Změny koncentrace prolinu a hodnot relativního výtoku elektrolytů v listech juvenilních rostlin máku setého v závislosti na působení vodního deficitu**

## **Souhrn**

Tématem diplomové práce je vliv vodního deficitu na změny koncentrace prolinu a hodnoty relativního výtoku elektrolytů u juvenilních rostlin vybraných genotypů máku setého (*Papaver somniferum* L.). Sucho se v posledních letech stává problémem na globální úrovni a ani Česká republika není výjimkou. Vodní deficit způsobený suchem se projevuje u většiny plodin snížením kvality i výnosu produkce. Mák je rostlinou, která všeobecně patří mezi rostliny s vyššími nároky na pěstitelskou technologii a řadí se mezi plodiny citlivější na podmínky vzdálené od optima. Česká produkce máku setého pro potravinářské účely je celosvětově známá a ceněná pro svou kvalitu. Z těchto důvodů je proto účelné zjistit, jak budou jednotlivé vybrané genotypy máku reagovat na stres způsobený vodním deficitem během jejich životního cyklu. Cílem diplomové práce bylo stanovení fyziologické variability u zkoumaného souboru různých genotypů máku setého z hlediska odolnosti ke stresu z vodního deficitu v juvenilních fázích vývoje. A stanovit fyziologickou reakci v podobě změny koncentrace prolinu a hodnoty relativního výtoku elektrolytů (Rel%).

Pro studium vlivu vodního stresu byl založen skleníkový nádobový pokus s 18 vybranými genotypy máku setého: Albín, Aplaus, Florian, Korneuburger weisser, Lazur, Major, Maratón, Mariane, Onyx, Opal, Opex, Orbis, Orel, Orfeus, Postomi, Redy, Tatranský a Zeno. Pokus byl založen ve čtyřech různých variantách: KK (zavlažovaná kontrola), KS (14denní závlivka, 10denní vodní deficit a 4 dny recovery režim), SK (10 dní vodní deficit a 18 dní závlivka) a SS (10 dní vodní deficit, 4 dny režim recovery a 10 dní vodní deficit a 4 dny režim recovery). Pokus byl zahájen ve fázi listové růžice (BBCH 30-39). Hodnoty koncentrace prolinu byly zjišťovány na spektrofotometru UV- Vis Evolution 201 (Thermo Scientific), metodou dle Batese (1973). Relativní výtok elektrolytů (Rel%) byl stanoven na základě měření vodivosti přístrojem GRYF 106 L3 (GRYF HB spol. s.r.o. . Česká republika) podle modifikované metodiky dle Campos et al., (2003).

Nejvyšší maximální naměřené hodnoty koncentrace prolinu byly zaznamenány u rostlin pěstovaných ve variantě SS (2,077 mg.g<sup>-1</sup>). Ve variantě SK byla naměřena nejvyšší maximální hodnota koncentrace 1,267 mg.g<sup>-1</sup> prolinu tedy vyšší než byla zaznamenána u varianty KS (919,21 µg.g<sup>-1</sup>). Nejnižší maximální hodnoty byly naměřeny u kontrolní varianty

KK (587,84  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Nejvyšší hodnoty relativního výtoku elektrolytu Rel% byly zjištěny ve variantě SS u odrůdy Orbis (99,39 Rel%). Maximální naměřené hodnoty Rel% zaznamenané u varianty SK (88,24 Rel%) byly ve srovnání s variantou KS (82,13 Rel%) vyšší. U kontrolní varianty KK se vyskytla nejvyšší hodnota relativního výtoku elektrolytu s hodnotou 92,93 Rel%. Odrůdou, která měla průměrně nejnižší hodnoty Rel% tedy utrpěla v průměru nejmenší poškození na buněčné úrovni je odrůda Major. Naopak odrůdou, která vykazovala průměrně nejvyšší hodnotu Rel% byla odrůda Albín. Odrůda Albín dosahovala ve variantě SS nejvyšší průměrnou koncentraci prolinu v průběhu celého pokusu, ze všech zkoumaných odrůd a zároveň měla nejvyšší hodnoty relativního výtoku elektrolytů Rel%.

**Klíčová slova:** mák setý, vodní stres, prolin, Rel%

# **Changes to the contents of proline and relative electrolyte leakage in leaves by juvenile plants of opium poppy depending on the influence of water deficit**

## **Summary**

The topic of this diploma thesis is the influence of the water deficit on changes in the proline concentration and the relative electrolyte leakage value in juvenile plants of selected genotypes of opium poppy (*Papaver somniferum* L.). In recent years drought has become a global problem and Czech Republic is not an exception. The water deficit caused by drought is reflected in most crops by reducing the quality and quantity of production. Poppy is plant that generally belongs among group of plants with higher demands on agriculture technology and ranks among the most sensitive crops to condition distant out their optimum range. Czech poppy seed production for food purposes is known worldwide and appreciated for its quality. For these reasons, it is useful to find out how do individual genotypes respond to stress caused by water deficit during their lifecycle. The aim of the diploma thesis was to determine the physiological variability in the experimental set of different genotypes of poppy plants in terms of resistance against stress from caused by water deficit during juvenile stages of development. It determines the physiological response in the form of changes in proline concentration and relative electrolyte leakage (Rel%).

To study the effect of water deficit stress, a greenhouse experiment was established with 18 selected genotypes of opium poppy plants. Selected genotypes: Albín, Aplaus, Florian, Korneuburger weisser, Lazur, Major, Maratón, Mariane, Onyx, Opal, Opex, Orbis, Orel, Orfeus, Postomi, Redy, Tatranský and Zeno. The experiment was based on four different variants: KK (irrigated control), KS (14 days irrigation, 10 days water deficit and 4 days recovery irrigation), SK (10 days water deficit and 18 days irrigation) and SS (10 days water deficit, 4 days recovery irrigation, 10 days water deficit and 4 days recovery irrigation). The experiment was launched at the leaf rosette stage of development (BBCH 30-39). Proline concentration values were determined on UV - Vis Evolution 201 (Thermo Scientific) with a method according to Bates (1973). Relative leakage of electrolytes (Rel%) was determined by measuring conductivity with conductometer GRYF 106 L3 (GRYF HB spol. s.r.o . Česká republika) according to modified methodology of Campos et al. (2003).

Highest maximal proline concentrations were recorded in plants grown in SS variant (2,077 mg.g<sup>-1</sup>). In SK variant was the highest maximal concentration value 1,267 mg.g<sup>-1</sup>

which was higher proline concentration level than maximal value recorded in KS variant ( $919,21 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). Lowest values were measured for the control variant KK ( $587,84 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ). The highest value of relative electrolyte leakage Rel% were found in SS variant of Orbis variety ( $99,39 \text{ Rel}\%$ ). The maximal measured value in SK variant was  $88,24 \text{ Rel}\%$  which was higher than KS variant with  $82,13 \text{ Rel}\%$ . In KK variant, the highest value of relative electrolyte leakage was  $92,93 \text{ Rel}\%$ . The variety, which had the lowest average Rel%, therefore suffered the least average damage of cells of the Major variety. On the other hand, the variety, which had the highest mean value of Rel%, was Albín variety. In the SS variant had Albín variety the highest average level of proline concentration of all varieties in our experiment. Albín also had the highest average Rel% value in this variant

**Key words:** opium poppy, water stress, proline, Rel%

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle a hypotézy .....	11
3. Literární rešerše .....	12
3.1 Využití máku.....	12
3.2 Mák ve světě .....	12
3.3 Mák v ČR.....	14
3.4 Zařazení do botanického systému .....	16
3.5 Botanická charakteristika .....	16
3.6 Tvorba výnosu.....	19
3.7 Nároky na pěstování, zakládání porostu .....	21
3.7.1 Produkční faktory .....	21
3.8 Obecná charakteristika stresu.....	25
3.9 Reakce na stres .....	27
3.10 Vodní deficit.....	28
3.11 Vliv vodního deficitu na rostliny .....	29
3.12 Prolin .....	30
4. Materiál a metody .....	32
4.1 Metodika pokusu.....	32
4.2 Pokusný materiál .....	33
4.2.1 Charakteristika vybraných odrůd .....	33
4.3 Metodika měření obsahu antioxidantních a osmoprotektivních látek .....	38
4.3.1 Stanovení obsahu prolinu .....	38
4.3.2 Stanovení Rel% .....	38
4.4 Použité statistické metody.....	39
5. Výsledky .....	40
5.1 Obsah prolinu .....	41
5.1.1 VariantaKK.....	41
5.1.2 Varianta KS .....	42
5.1.3 Varianta SS .....	44
5.1.4 Varianta SK .....	45
5.1.5 Souhrn prolin .....	47
5.2 Relativní výtok elektrolytu.....	48



5.2.1 Varianta KK.....	48
5.2.2 Varianta KS .....	49
5.2.3 Varianta SS .....	51
5.2.4 Varianta SK .....	52
5.2.5 Souhrn Rel%.....	54
6. Diskuze .....	54
6.1 Obsah prolinu .....	54
6.2 Relativní výtok elektrolytů (Rel%) .....	57
7. Závěr .....	59
8. Zdroje:.....	61
9. Přílohy:.....	69
9.1 Grafy jednotlivých odrůd .....	69
9.1.1 Grafy prolin .....	69
9.1.2 Grafy Rel% .....	76
9.2 Tabulky průměrných hodnot měření prolinu .....	82
9.3 Zdroje grafů a tabulek: .....	84
9.4 Použité zkratky:.....	84

## 1. Úvod

Mák je rostlina, která je známá z dávné minulosti, kdy ji již naši předkové pravděpodobně znali a využívali. První zmínka o máku pochází už z období mladší doby kamenné (neolitu) 8 - 5tis. let př. n. l. Mák setý náleží do rodu *Papaver*, ve kterém je zařazeno až 120 rostlinných druhů. Nejvýznamnějším zástupcem tohoto rodu je mák setý (*Papaver somniferum* L.) jehož nejhojnější výskyt je na území mírného pásu severní polokoule. V oblasti Evropy je 7 autochtonních druhů, z nichž 4 jsou pravděpodobně původní na území ČR

Mák byl původně pěstován primárně k potravinářským účelům a nacházel jen marginální využití v lidovém léčitelství. Faktem ale je, že se jedná o rostlinu, která je jednou z nejdéle zneužívaných pro své specifické účinky. Česká republika patří mezi světovou špičku v pěstování máku pro potravinářské účely i v konzumaci makového semene na osobu/rok. V České republice je mák jakýmsi kulturním dědictvím, které si neseme od svých slovanských předků a i možná proto na nás nedolehl celosvětový tlak na omezení pěstování máku byť pro legální využití. Mák je rostlinou, která je poměrně náročná na pěstování, a dokonalé zvládnutí pěstitelské technologie je nutným předpokladem pro stabilní a vysoké výnosy. Výnos rostlin máku je značně ovlivňován řadou faktorů, mezi které patří zejména stanovištní podmínky, dostatečné zásobování vodou a živinami ale také dodržování správné agrotechnické praxe nebo správný výběr odrůd.

Sucho je faktor, který je na našem území samozřejmě přítomen a zemědělci musí tuto skutečnost brát na zřetel při plánování osevních postupů a celkového založení svých porostů. Různé odrůdy mají různé vlastnosti a nachází se mezi nimi výrazné rozdíly ve schopnostech odolávat celému spektru abiotických stresorů. Rozdílné schopnosti odolávat nepříznivým vlivům mohou některé odrůdy předurčovat pro pěstování v oblastech, které dané plodině úplně nenahrávají. Správná volba odrůdy může výrazně přispět k zvýšení kvality produkce. Rostliny, vyskytující s v podmínkách, které pro ně nejsou zcela příznivé, si byly nuceny vyvinout různé mechanismy, které umožňují jejich adaptaci a schopnost dlouhodobě přežít. Mezi mechanismy sloužící k adaptaci a odolání stresům patří produkce látek, které mohou mít charakter osmoticky aktivních látek, sacharidů nebo například aminokyselin. Mezi které patří prolin, jenž je předmětem zkoumání této práce.

## 2. Cíle a hypotézy

Vodní deficit patří mezi nejrizikovější a nejnebezpečnější environmentální stresový faktor, který ovlivňuje metabolismus pěstovaných rostlin a tím v konečném důsledku také úroveň výsledné produkce. Rostliny mají vyvinuté dvě strategie v ochraně proti vodnímu deficitu. První z nich je strategie avoidance, kdy je rostlina schopna stresoru uniknout a další strategií je tolerance. V rámci diplomové práce byl sledován vliv vodního deficitu na fyziologickou reakci u juvenilních rostlin máku setého.

Cílem diplomové práce je:

- 1) Stanovit fyziologickou variabilitu u zkoumaného souboru různých genotypů máku setého z hlediska odolnosti ke stresu z vodního deficitu v juvenilních fázích vývoje.
- 2) Stanovit fyziologickou reakci juvenilních rostlin máku setého na vodní deficit ve vztahu k obsahu alkaloidů.

Na základě toho byly navrženy následující hypotézy:

- 1) Vybrané zkoumané genotypy máku setého (*Papaver somniferum* L.) budou různě reagovat na působení stresu z vodního deficitu.
- 2) Mezi zkoumanými genotypy máku setého se díky vlivu působení vodního deficitu v juvenilních fázích vývoje projeví rozdílná reakce ve sledovaných fyziologických charakteristikách.

Rostliny máku setého byly vybrány z důvodu jejich významu v tuzemské rostlinné produkci a skutečnosti, že v praxi není plně využito jejich potenciál. Vybraných 18 genotypů bylo zvoleno tak, aby došlo k co největší diverzifikaci znaků a vlastností zkoumaných vzorků ve vztahu k možné citlivosti či toleranci k vodnímu deficitu.

### **3. Literární rešerše**

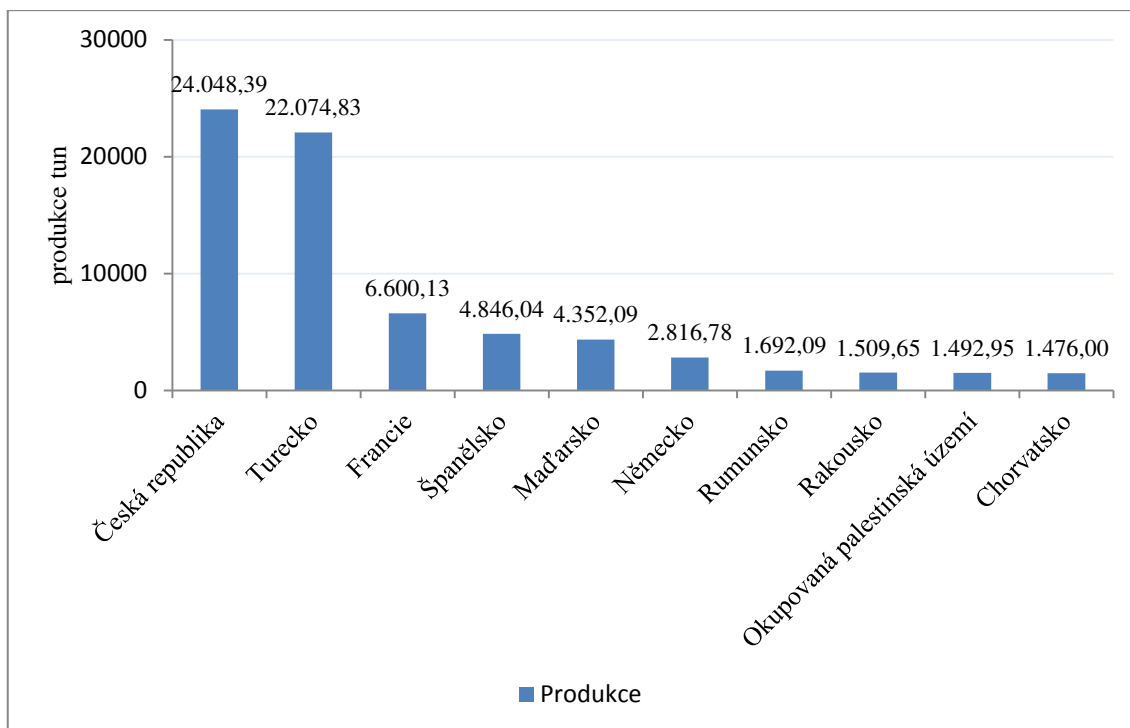
#### **3.1 Využití máku**

Mák setý nachází využití zejména pro potravinářské účely a pro případnou možnost izolování látek, které jsou významné ve farmaceutickém průmyslu. V ČR je drtivá většina produkce máku setého určena pro produkci semene s potravinářským využitím. Vedlejší produkt makovina může sloužit ve farmaceutickém průmyslu jako zdroj alkaloidů pro výrobu léčiv. Z makových alkaloidů se vyrábí široké spektrum léků. Na bázi morfinových a dalších makových alkaloidů jsou založena analgetika, sedativa, antidiarhoika a další. Tento druh léčiv nachází své uplatnění v celé řadě medicínských a biomedicínských oborů (Jirásek a Starý, 1986).

Mezi léčivy jsou nejdůležitějším segmentem vyráběných z morfinových a dalších, v máku se nacházejících, alkaloidů tzv. opiáty, což jsou látky, které mají svojí strukturou blízko k morfinu. Mezi další známé podobné látky patří tzv. opioidy, což jsou látky, které se nemusí shodovat s morfinem svojí chemickou strukturou, ale působí v organismu přes shodné receptory a ve výsledku mají totožný vliv. Do skupiny opioidů patří látky jako petidin, megafon, fenantyl a další, což jsou látky odvozené od molekuly fenypiperazinu. Mezi klasické opiáty patří morfin, kodein, diacetyl-morfin (známý též jako heroin), oxykodon, hydromorfon a další (Marečková et al., 2007).

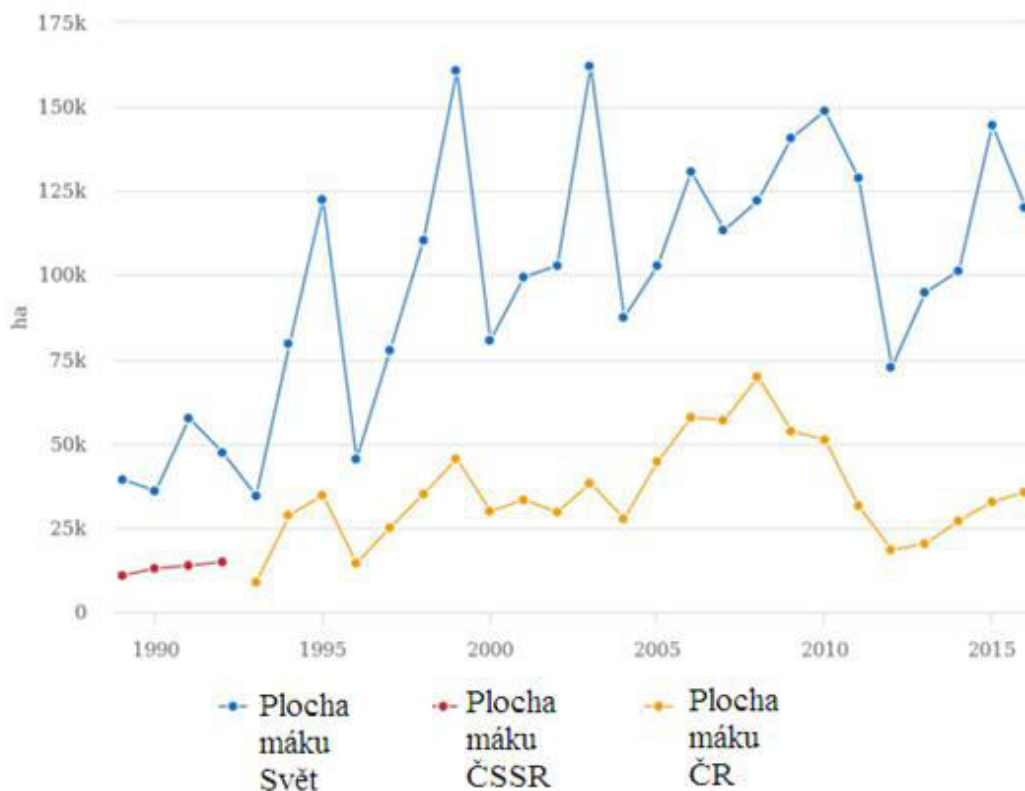
#### **3.2 Mák ve světě**

Z grafu 1 vyplývá, že Česká republika se svou průměrnou dlouhodobou hodnotou produkce přesahující 24 tisíc tun ročně, patří na první místo v množství pěstovaného máku setého pro potravinářské účely. V těsném závěsu za ČR se nachází Turecko s hodnotami přesahující průměrně 22 tisíc tun ročně. Další země produkují zlomek máku oproti prvním dvěma dominujícím zemím. Údaje v grafu 1 jsou průměrné hodnoty z let 1994-2016.



Graf 1: Top 10 světových producentů máku pro potravinářské účely. Zdroj FAO (2018)

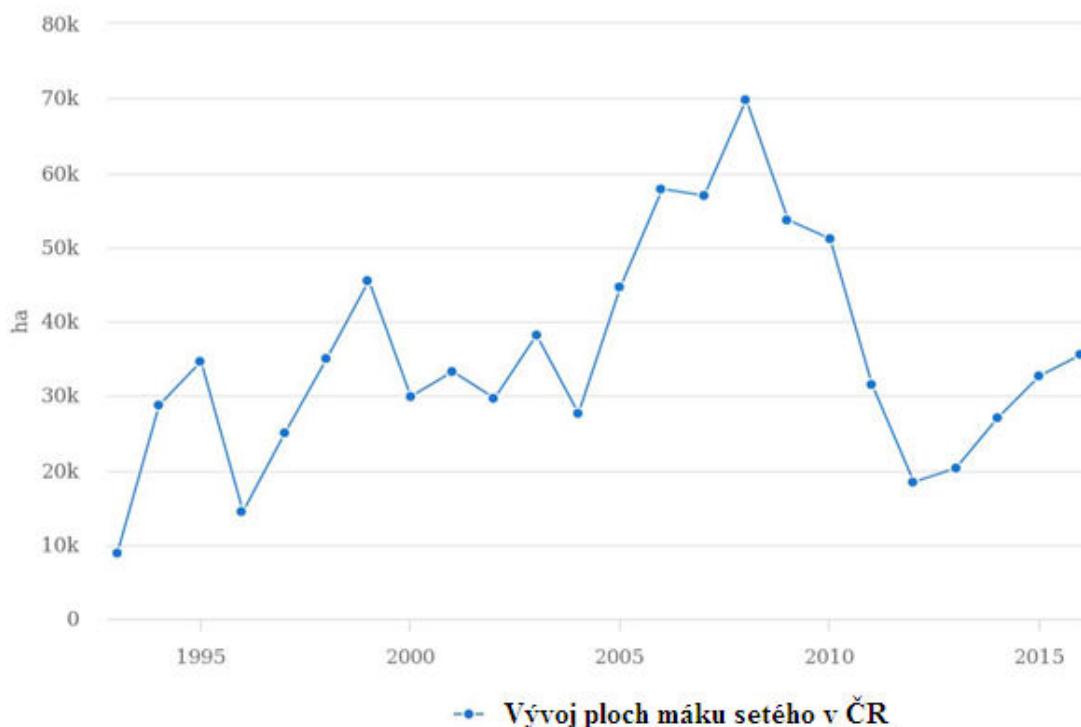
Z grafu 2 je patrné, že Česká republika měla historicky na světové produkci výrazný podíl i za období Československa. Extrémní hodnotou byl ale rok 2008, kdy plochy oseté mákem setým dosahovaly téměř 70 tisíc hektarů a výměra jenom na území ČR, tak měla více než padesátiprocentní podíl na celosvětových plochách, kde se pěstoval mák. Oproti hodnotám světové produkce je vývoj té tuzemské méně rozkolísaný (FAO, 2018). Avšak celková světová produkce máku dosahuje mnohem vyšších hodnot, přičemž velká část této produkce slouží zejména pro nelegální účely a není zcela možné jí statisticky zdokumentovat. Světová produkce máku pro nelegální využití může dosahovat až dvou třetin celosvětové produkce máku setého, z čehož vyplývá, že celková výměra ploch osetých mákem by mohla být až trojnásobná (Vašák et al. 2010). Z grafu 2 dále vyplývá, že tuzemská produkce do jisté míry kopíruje stav celosvětové produkce.



Graf 2: Porovnání vývoje ploch pěstovaného máku České republiky/Československa se světovou produkcí. Zdroj FAO (2018)

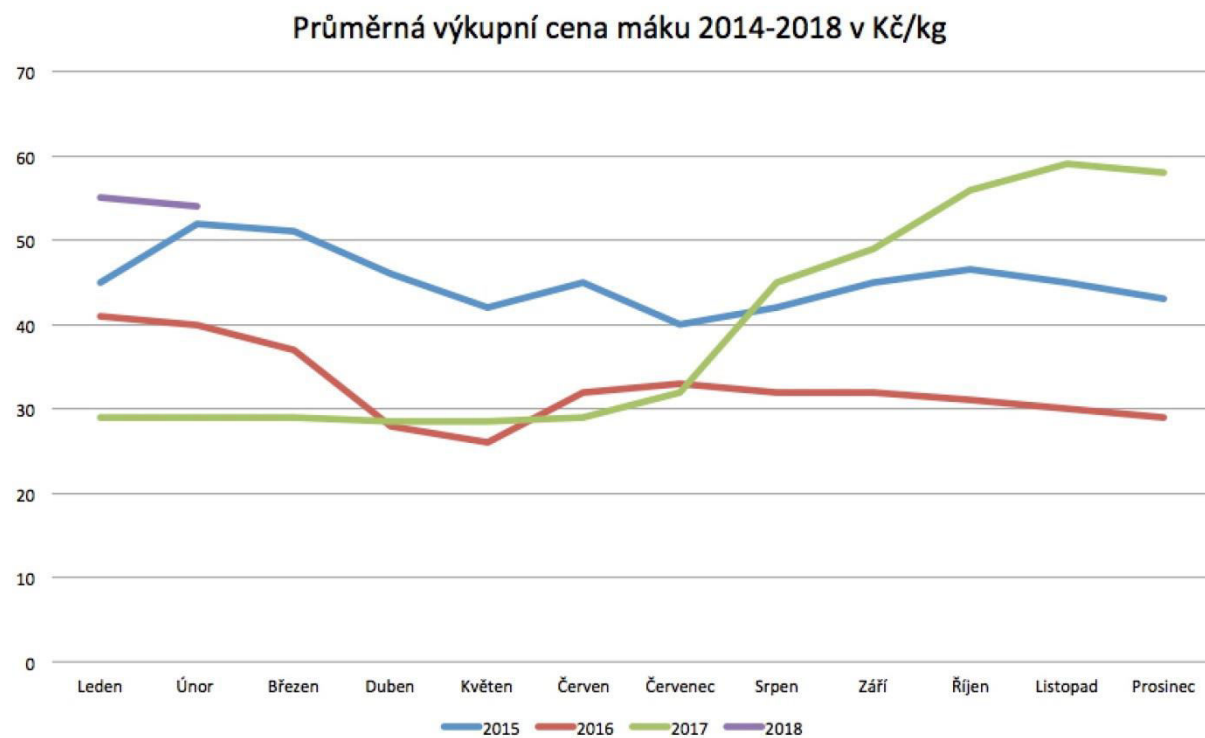
### 3.3 Mák v ČR

Z grafu 3 je zřejmé, že od roku 2008, kdy dosahovaly plochy máku až k 70 tisícům hektarů, došlo k výraznému poklesu produkce. Tento pokles se začal vyrovnávat až od roku 2012. Propad ploch máku v roce 2012 byl zapříčiněn zejména nasycením trhu z předchozího sklizňového roku a také nepříznivým počasím. Dalším faktorem může být používání máku původně určeného pro farmaceutické využití jako levná náhražka kvalitního potravinářského máku. Farmaceutická produkce máku ale rozhodně nedosahuje takových kvalit jako český mák pro potravinářské účely (Potměšilová, 2013).



Graf 3: Vývoj ploch máku v ČR v ha. Zdroj: FAO (2018)

Graf 4 zaznamenává vývoj výkupních cen máků setého v ČR. V posledních době (2. polovina roku 2017 až začátek roku 2018) patří mák mezi velmi zajímavou a rentabilní komoditu s ohledem na cenu kulminující mezi 50 až 60 Kč za kilogram makového semene.



Graf 4: Průměrná výkupní cena máku. Zdroj Labris s.r.o. (2018)

Česká republika patří od nepaměti mezi světově významné pěstitele máku na semeno pro potravinářské využití i jako exportního artiklu (Bechyně, 1993). V poslední době se jedná o komoditu, která je spíše rentabilní. Od roku 1990/91 došlo k nárůstu sklizňových ploch z 9,3 tis. ha až na téměř 70 tis. ha v letech 2008/09. Další roky byly opět ve znamení poklesu osetých ploch avšak opět od let 2012/13 dochází dodnes (2018) k neustálému nárůstu (Procházka a Smutka, 2012). Průměrný výnos za posledních 25 let je 0,68 t.ha<sup>-1</sup>. Výnosy jsou stabilní, ale stále nejsou uspokojivé a mělo by být prioritou pro pěstitele vyvíjet snahu o dosahování lepších výnosů. Dle dlouhodobého průměru dosahuje hodnota exportu hodnot až 87,4%. V průběhu marketingového roku 2008/09 bylo z ČR vyvezeno rekordních 31,4 tisíc tun makového semene mimo osiva. Meziročně poklesla deklarovaná vývozní hodnota z 67 291 Kč.t<sup>-1</sup> na pouhých 37 252 Kč.t<sup>-1</sup>. Následující roky pěstitelé reagovali na nepříznivou situaci kolem máku snížením osetých ploch. Během let 2012/13 dosáhla celková produkce rekordně nízké hodnoty 12,8 tisíc tun, což bylo nejméně od ročníku 1997/98 (Potměšilová, 2013). V tabulce 1 je zaznamenán nárůst ve výnosech semene po kritickém roce 2008/09 avšak přes zvyšující se výkupní cenu a tím i rentabilitu (Graf 4) stále nedochází k výraznému nárůstu osetých ploch.

Období	1920 - 38	1946 - 70	1971 - 89	1990 - 00	2001- 07	2008	2015	2016	2017*
<b>Sklizňová plocha (tis. ha)</b>	5,4-10,7	6,0-25,6	4,4-7,9	8,8-45,5	27,6-57,8	69,8	32,7	35,5	32,6
<b>Výnos semen (t/ha)</b>	0,68-1,01	0,36-0,77	0,24-1,04	0,43-1,13	0,51-0,90	0,71	0,82	0,82	
<b>Produkce (tis. t)</b>	3,9-10,6	3,1-13,6	1,1-7,9	6,9-28,5	16,9-36,4	49,4	26,89	29,26	

Tab. 1: vývoj produkce máku setého v ČR. Zdroj: Český modrý mák z.s. (2018) Vývoj pěstování máku v ČR. Dle ČSÚ, poslední rok odhad spolku ČMM (\*).

### 3.4 Zařazení do botanického systému

Mák setý (*Papaver somniferum* L.) patří do oddělení krytosemenné (*Magnoliophyta*), třídy vyšší dvouděložné (*Rosopsida*), řádu pryskyřníkotvaré (*Ranunculales*), čeledi makovité (*Papaveraceae*) (Jahodář, 2006).

### 3.5 Botanická charakteristika

Kořenová soustava je u rostlin máku setého tvořena hlubokým kulovým kořenem, který může bez problémů kořenit do hloubky 750mm. Na hlavním kořeni bývá několik postranních kořenů a velké množství vláscitých kořínků, které se tvoří těsně pod povrchem půdy. Při bezorebném zpracování půdy dochází k výraznému zkrácení hlavního kořene a k jeho větvení (Bechyně et al., 2001; Vašák et al., 2010). Kořenová hmota může zabírat až



20% celkové hmoty rostliny (Bechyně a Novák, 1987). Mák je plodina, která citlivě reaguje na vysokou půdní kyselost, v důsledku čehož dochází k redukci kořenového systému, což vede k omezení příjmu živin zejména mikroprvky (Škarpa et al., 2013).

Mák má lodyhu přímou, nejčastěji lysou nebo jen mírně ochlupenou, často modře ojínenou (Hejný et al., 1988). Výška lodyhy je odrůdovým znakem, který je ovlivňován počtem rostlin na určité jednotce plochy, výživou, ročníkem, klimatickými podmínkami, agrotechnikou atd. Lodyha má šedozelenou až modrozelenou barvu s voskovitým povlakem. Nafialovělé zbarvení od antokyanů se objevuje ve fázi po dokvětu a intenzita odpovídá zbarvení hypokotylu, tobolky i bazální skvrny okvětních lístků. Z lodyhy vyrůstají v počtu 3-7 jednotlivé větve z míst úžlabí středních listů (Fábry et al., 1992). Větve se mohou dále větvit a je obvyklé, že jsou vzrůstnější než hlavní stonek. Konce větví pod tobolkami jsou lysé, případně pokryté štětinkami a mohou být zbarveny díky antokyanům (Baranyk et al., 2010).

Baranyk et al. (2010) uvádí, že listy máku jsou střídavé, celistvé, podlouhlého až vejčitého tvaru, zubaté. Dolní listy jsou, v řapík zúžené a horní listy jsou poloobjímavé. Jsou bifaciální a mají poměrně variabilní tvar. Listy jsou náchylné k poškození díky své tenké a jemné struktuře. Čepele listů mají zubatý a nepravidelný tvar okraje a jsou pokryté modrozeleným až šedavým povlakem, který tvoří voskovou vrstvu na povrchu (Bechyně a kol., 2001). Listy plní u rostlin máku zejména asimilační funkci, přičemž hlavní úlohu má výrazné olistění hlavní lodyhy. LAI může dosáhnout při počátku kvetení až 0,13. Olistění vedlejších větví je v porovnání s hlavní lodyhou nízké až žádné (Fábry et al., 1992).

Mák je známý pro svou hustou síť mléčnic, protkávajících celé tělo rostliny, jež jsou přítomné ve všech částech rostliny v jejích pletivech s výjimkou semen, jak ve své práci uvádí Jirásek et al. (1957) a Novák (2007). Podle nich při poškození rostliny dochází k prýštění mléčně bílé tekutiny tzv. latexu, který za přítomnosti vzduchu tuhne, čímž vzniká surové opium. Toto opium má již poměrně vysoký obsah alkaloidů, které mohou dosahovat až jedné čtvrtiny celého obsahu. Zbytek směsi tvoří pryskyřice, bílkoviny, vosk, kaučuk, slizy, soli a enzymy.

Blaschek (2008) dále zmiňuje, že v latexu se také nachází tuky, aminokyseliny, polypeptidy a další látky. Z alkaloidů obsažených v opiu se vyrábí řada léčiv s různými mechanismy účinku a širokým spektrem využití. Ať už se jedná o klasická analgetika, léky proti kašli ale i například antimikrobiální prostředek (Desgagné et al., 2012). K syntéze

alkaloidů v rostlině dochází v částech pokožky (epidermis), vnitřní vrstvě primární kůry (endodermis), pericyklu a kortexu (Lee et al., 2013).

Květy jsou oboupohlavné a mohou mít až 10 cm v průměru, jsou bisymetrické, obvykle čtyřčetné, mají různobarevné korunní lístky (fialová, bílá, růžová až červená) často s tmavou skvrnou na bázi (Hejný et al., 1988). Vašák et al. (2010) popisují květ máku jako květ různě zbarvený ale většinou se skvrnou na bázi korunních plátků. Korunní plátky mohou být celokrajné až zubaté případně i silně roztržené. Květy tvoří velké množství pylu. Pylová zrna si zachovávají svou vitalitu po dobu cca 1 týden. Pylová zrna mají eliptický tvar s patrným zploštěním na pólech. Mák setý je v drtivé většině rostlina samosprašná, podíl samosprašení se obvykle pohybuje kolem pěti, maximálně třiceti procent (Voškeruška et al., 1965). Květy mají vysoký počet tyčinek, který může dosahovat až 250 kusů (Vašák et al., 2010). Fábry et al. (1992) uvádí, že k opylení dochází již v poupěti před rozkvetením.

Hejný et al., (1988) konstatují, že plodem je tobolka nabývající různých tvarů, která se dále dělí na trvale zavřenou tobolku tzv. mák slepák (indehiscentní) nebo na tobolku, která se postupně otevírá pod korunkou (původní bliznou), které se říká mák hledák (dehiscencí). Tobolka je připojena ke stonku kolénkem. Tobolka je podle Baranyka et al. (2010) lysá s hladkým povrchem, může být patrné žebrovaní. Barva tobolky je většinou zelená ale může nabývat až hnědofialové barvy díky přítomnosti antokyanů. Vnitřek tobolky bývá rozdělen do 9-15 neúplných přehrádek, jejichž počet je totožný s počtem paprsků na blizně.

Semena jsou nejčastěji modrošedá, ale mohou se vyskytovat i jiné barevné variace (bílá, žlutá, hnědá, okrová, černá, růžová) se silně vyvinutým endospermem. Dorůstají 1-1,5mm velikosti a jsou bohatým zdrojem oleje a bílkovin (Hejný et al., 1988). Baranyk et al. (2010) popisuje semena máku jako ledvinovitá semena s velikostí do 1,5mm. Bechyně et al. (2010) dále uvádí, že semena máku mají drsný povrch, čímž se zvyšuje přilnavost vody a případně práškovitých částic. Průměrná HTS se pohybuje okolo 0,5g. Olejnatost semen může dosahovat k hodnotám 40-45 %, přičemž u bělosemenných odrůd můžeme sledovat průměrně vyšší obsahy oleje. Makový olej je tzv. linolového typu, který obsahuje 70 % kyseliny linolové, 10% kyseliny olejové a 10% kyseliny palmitové (Baranyk et al., 2010). Semena mohou v sušině dosahovat obsahu oleje až 58 % a 20 % bílkovin, 16-24 % sacharidů, také až 6 % minerálních látek a obsah vlákniny může být 8 % (Enspyro, 2006). Mezi minerálními látkami, které mohou semena máku setého obsahovat, převažuje zejména vápník, který může

dosahovat až k hodnotám přesahujícím 1400 mg.100 g<sup>-1</sup> a fosfor, kterého může obsahovat až téměř 900 mg.100 g<sup>-1</sup> (Özcan and Atalay, 2006). Voškeruška et al. (1965) uvádí, že počet semen v jedné tobolce může být až 10 tisíc kusů semen ale v praxi běžně spíše narážíme na poloviční hodnoty kolem 5 tisíc kusů semen. Semena klíčí již při teplotách kolem 2°C, přičemž optimální teplota vhodná pro klíčení je 7-10°C. Pokud se teplota dále zvyšuje, tak již při 20°C je patrná nízká vitalita osiva, případně nedochází ke klíčení (Dobos a Bernáth, 1999). Průměrný výnos z hektaru je 0,4-1,0 t semen, přičemž záleží na vybrané odrůdě, agrotechnice, dále na půdních a klimatických podmínkách (Fábry, et al., 1992).

Na území České republiky se můžeme setkat i s dalšími druhy máku. Jedná se například o mák vlčí (*Papaver rhoeas*), který je velmi významným plevelným druhem. Dále jsou to druhy, které mají pouze okrajový význam, případně se pěstují k okrasným účelům jako například mák pochybný (*Papaver dubium*), mák časný (*Papaver cosine*), mák Lecoqův (*Papaver lecoqui*), mák bělokvětý (*Papaver maculosum*), mák polní (*Papaver argemone*) a příležitostně je na naše území zavlékán mák zvrhlý (*Papaver hybridum*). Další druhy mohou být pěstovány jako okrasné rostliny například mák východní (*Papaver orientale*), mák alpský, (*Papaver alpinum*) a mák lysý (*Papaver croceum*) (Baranyk et al., 2010).

### 3.6 Tvorba výnosu

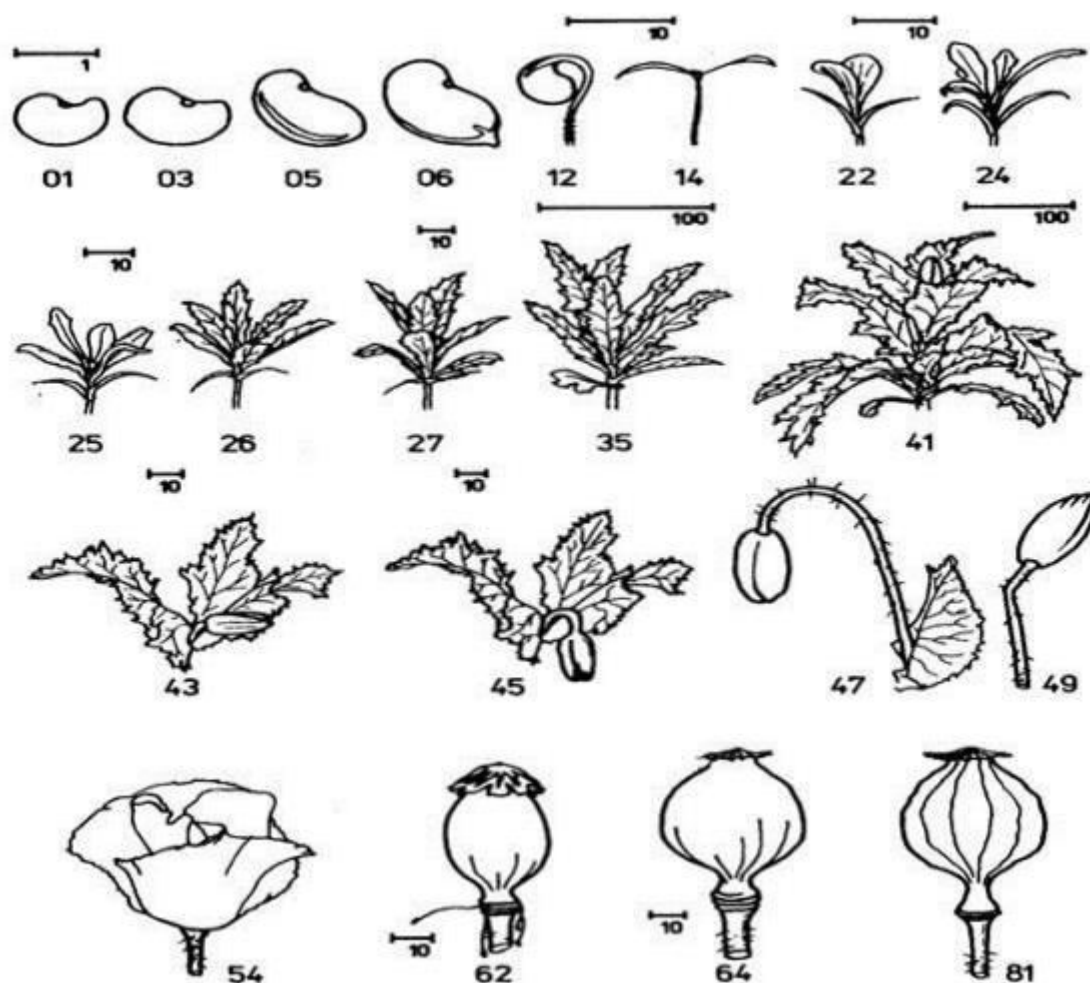
Žádoucí morfologické znaky u dnešního konvenčně pěstovaného máku jsou: výška rostlin kolem 1 m, 1 větev na jedné rostlině, 1 až 2 makovice na jedné rostlině při počtu 65-70 rostlin.m<sup>-2</sup>, středně velké, kulovité až široce oválné makovice s 13-14 paprsky na korunce se střežovitým tvarem, HTS nad 0,55 g s 5-6 tis. semeny v jedné tobolce s celkovou hmotností kolem 2,5 g v jedné makovici. Stonek o šířce 16-20 mm. Kořen 0,8 m hluboký a více bez přílišného větvení (Vašák et al., 2010).

Podle Vašáka et al. (2010) hustota porostu významným způsobem určuje celkový výnos. Jeho optimální hodnoty by měly být optimálně 70, maximálně 100 rostlin.m<sup>-2</sup>. Vyšší hodnoty způsobují nižší výnos tobolek připadající na rostlinu. V extrémně hustých porostech se často objevují malé a výrazně protáhle toboleky (Kubánek, 2008).

Mák může být vzhledem ke svému genetickému základu ve formě jarní i ozimé (Bechyně et Novák, 1987). Baranyk et al., (2010) popisují mák jako dlouhodobou rostlinu s výraznou reakcí na délku dne. Dále uvádí, že mák setý je světlomilný a při nedostatku světla je oslabován. Také zmiňuje, že je mák setý teplomilnou rostlinou, která je však v počátečních fázích vývoje značně otužilá. Důležité pro vývoj je dostatečné a rovnoměrné zásobení vodou.

Na sucho je mák setý citlivý především od období vzházení až do fáze prodlužovacího růstu. Jarní odrůdy máku setého mají vegetační dobu dlouhou 120-130 dní.

Životní cyklus lze rozdělit na tři fáze: fáze pozvolného růstu, fáze nejvýraznější asimilace a fáze zrání a odumírání rostliny (Bechyně et al., 2001). U klíčící rostliny se do 15-20 dní objevují děložní lístky, které se vidlicovitě rozevírají (Bechyně et al., 2001). Děložní lístky jsou zašpičatělé, čárkovité s nevýraznou střední žilkou. Hypokotyl může být zabarven do fialové až tmavě fialové a jeho barva má dále souvislost se zabarvením bazálních skvrn u květů (Bechyně a Novák, 1987). Rostlina začíná přecházet do generativní fáze vývoje již ve fázi 6.-7. pravého listu (Fábry et al., 1990). Další růst již vzešlých rostlin je pomalý. V období 3. - 4. týdne mohou být rostliny ve fázi 4 - 5 páru pravých listů. Fáze přízemní růžice může trvat 45 - 60 dní. Rostlina dále tvoří robustnější listy a dochází k výraznějšímu nárůstu organické hmoty. Poté dochází k založení květních základů. Na konci této fáze (BBCH 39) je rostlina stále ve stavu přízemní listové růžice, může dosahovat výšky až 10cm s šířkou stonku až 2,5 cm (Fábry et al., 1992). V období tvorby stonku dochází k rychlému přírůstku biomasy a až do fáze tvorby tobolek, se jedná o období s nejvyšší intenzitou asimilace (Bechyně et al., 2001). Následný vývoj tobolek můžeme rozřadit do tří fází. V první fázi dochází k tvorbě tobolky a jejího finálního tvaru. Ve druhé fázi dochází k vývoji semen, ale tobolka již výrazně nemění svůj tvar ani objem. Třetí fáze je charakteristická dozráváním semen a zasycháním tobolky. Optimální fáze pro sklizeň je BBCH 81 (Vašák et al., 2010). Jednotlivé fáze vývoje jsou vyobrazené v obr. 1.



Obr. 1: Stupnice růstových fází máku setého (*Papaver somniferum* L) zdroj: SPZO (2013)

### 3.7 Nároky na pěstování, zakládání porostu

#### 3.7.1 Produkční faktory

Z dlouhodobého hlediska nejlepších výsledků v produkci máku setého na semeno pro potravinářské účely dosahuje bramborářská výrobní oblast. Optimální poloha je 300 až 700 m. n. m. V teplejších oblastech pozorujeme vyšší tlak škůdců a chorob (Kuchtová, 2012). Na druhou stranu Cihlář et al., (2012) zmiňují, že ve vyšších polohách jsou podmínky chladnějších teplot, vyšších vlhkostí a mák dozrává později, což může způsobovat potíže se sklizní, skladováním a kvalitou makoviny. Také uvádí, že tyto plochy jsou často vystavené silným větrům, což máku nesvědčí a zvyšuje se jeho poléhavost. Pro výběr oblasti pěstování je tudíž lepší volit polohy s mírnějšími povětrnostními podmínkami.

Máku svědčí úrodné, hlubší a strukturní půdy (Kuchtová, 2012). Nejlepší podmínky jsou pro mák v mírně kopcovitých až rovinatých polohách v nadmořské výšce do 600 m.n.m. Mezi vyloženě nevhodné patří lehké nížinaté půdy a také podmínky horského výrobního typu.

Aridní podmínky kukuřičných oblastí také nepatří mezi nejvhodnější. Mezi důležité hrozby patří tvorba půdního škraloupu, který výrazně poškozuje rostlinky při vzcházení spálou. Volíme tedy půdy tzv. neslévavé (Kulovaná, 2001).

Do základní přípravy půdy patří včasná podmítka, případně lze použít podzimní hluboká orba. Minimalizace operací v předset'ové přípravě bez smyku a válení pouze vláčení. Opakovaná příprava půdy může sloužit jako prostředek k regulaci plevelů (Kuchtová, 2012). Pro založení porostu se nejčastěji využívá tradiční způsob zpracování půdy, do kterého spadá vápnění, ošetřená podmítka, střední orba nechaná přes zimu v hrubé brázdě, během jara ihned po oschnutí brázd dvojí vláčení branami tzv. „natupo“. Příprava by měla mít hloubku 4-5cm tzv. „na půl prstu“. Také je možnost použít bezorebný způsob založení porostu. Na podzim se provede kvalitní podmítka, případně se provede hluboké kypření. V aridních podmínkách a na těžkých půdách se tímto postupem dají dosáhnout přijatelné výsledky a navíc je častým jevem, že se méně projevují projevy fytoxicity herbicidů (Kulovaná, 2001).

Kuchtová (2012) doporučuje, u výběru osiva, řídit se podle seznamu doporučených odrůd (SDO) dle Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ). Je žádoucí klást důraz na odolnost případně vybírat osvědčené odrůdy. Případně zvážit použití ozimých odrůd máku. Volba kvalitního osiva je nezbytným krokem k zajištění vysoké a kvalitní produkce. Aktuálně stále v konvenčním zemědělství dochází k výsevu vyšší dávky osiva, než je nutné pro založení porostu s optimální hustotou. Semena s původně vysokou biologickou hodnotou mohou být znehodnocena například při mechanizované sklizni, případně nevhodnými podmínkami při skladování. Nízká biologická hodnota a vitalita semen hraje významnou roli, kdy se projevuje nízkou energií klíčení, vzcházení a celkovou vitalitou, čímž ovlivňuje koncovou kvalitu produkce.

Cihlár et al. (2017) uvádí, že po zákazu používání mořidel na bázi neonikotinoidů v roce 2014 pěstitelé pozbyli možnost účinné ochrany vzcházejících rostlin máku před škodlivými činiteli. Proto se běžná úprava osiva zaměřuje na aplikaci růstových stimulantů. Dále autoři vidí problém v nedostatečném důrazu kladeném na ochranu množitel'ských porostů a to zejména před houbovými patogeny. Na osivo dobře fungují mořidla na bázi zinku a huminových látek případně jejich kombinace (Cihlár et Tomášek, 2018).

U jarních odrůd probíhá výsev na jaře hned, jakmile to vláhové a půdní poměry dovolí. Nejzazší termín výsevu je konec dubna. U ozimých odrůd se jako optimální jeví výsevek mezi 10. - 20. září. Juvenilní rostlinky jsou odolné vůči nízkým teplotám, avšak

dlouhodobé působení nízkých teplot spolu se sněhovou pokrývkou může rostliny oslabovat a způsobovat větší náchylnost k tlakům chorob (Kulovaná, 2001).

Kuchtová (2012) dále uvádí, že výsevek se pohybuje v rozmezí 1 - 2 kg dle odrůdy. Vyšší výsevek se provádí u podzimního výsevu ozimých odrůd. Výsev by měl navazovat ihned po přípravě set'ového lůžka. Meziřádková vzdálenost je 75-125 mm výjimečně až 250 mm výsevek by měl být 0,8 - 1,2 kg.ha<sup>-1</sup>, což činí cca 200 semen na 1 m<sup>2</sup>. Řidké porosty s 25-30 srostlinami na 1 m<sup>2</sup> se příliš rozvětvují a jejich makovice nejsou schopné dozrávat stejnoměrně. Tento typ porostu je typický u malovýrobců, kde probíhá postupná ruční sklizeň (Kulovaná, 2001). Kuchtová et al. (2013) zmiňují, že do období 60. let byl mák pěstován v širokých řádcích, což umožňovalo plečkování. Již od 70. let se od tohoto způsobu pěstování upouštělo a v konvenčním zemědělství se začal uplatňovat systém úzkých řádku, bez jednocení s využitím herbicidů, následováno přímou sklizní kombajnem.

Při zařazení máku do II. nebo III. trati je možno přihnojit N před setím (Kuchtová, 2012). Organické hnojení není nutné, ale je velmi přínosné. Obvykle se dává dávka 20 t.ha<sup>-1</sup> hnoje nebo kejdy, případně se počátkem října zaorává zelené hnojení. Mák patří mezi plodiny s nižší osvojovací schopností, proto ho můžeme označit za poměrně náročný na výživu. Mák je náročný zejména na fosfor a draslík, přičemž k fosforu má navíc velmi špatnou osvojovací schopnost. P, K výživu je žádoucí dát již k předplodině. Vápnění by mělo probíhat na podzim před přípravou půdy (Kulovaná, 2001).

Optimální hodnota půdní reakce je pH 6,2 - 6,8. Zvýšené nároky na dusík začínají brzy po vzejití až do fáze 6. listu. Důležité pro stanovení dávky hnojení je řídit se trati organického hnojení. 0-40 kg.ha<sup>-1</sup> volíme, když je mák v 1. trati. 60-70 kg N.ha<sup>-1</sup> hnojíme, pokud je mák pěstován po hnojem hnojené předplodině tedy v 2. trati a dávku 70-80 kg N.ha<sup>-1</sup> použijeme, pokud je mák pěstován v třetí trati. Při delším časovém odstupu můžeme zvolit dávku až 90 kg N.ha<sup>-1</sup>. Mezi vhodná hnojiva patří LV, DAM 390 případně LAV (Kuchtová et al, 2013).

V praxi se často používá DAM 390 s preemergentními herbicidy. U máku je také nutné brát v úvahu jeho náročnost na stopové prvky. Zejména bór ale i zinek je nutné přihnojovat, přičemž u bóru bude dostačující dávka 100 g B.ha<sup>-1</sup> a u zinku maximálně 300 g Zn.ha<sup>-1</sup> (Kulovaná, 2001). Při předchozím organickém hnojení musíme dbát na eliminaci vzniku izolační vrstvy, která by mohla bránit vzlínání kapilární vody směrem

k výsevnímu lůžku (Kuchtová et al., 2013). Dlouhodobě se ukazuje mimořádně pozitivní vliv používání hnojiv s obsahem Zn na osivo (Cihlár et al., 2017).

Kuchtová (2012) konstatuje, že mák má dobrý výnos po hnojem hnojených předplodinách případně také po jetelovinách. Časový odstup by měl být, v případě absence řepky olejné v osevním postupu, 5 let. Na záhumencích možné souběžné pěstování s řepou. Mák špatně snáší půdy s rezidui sulfonylmočovín (Husar, Glean, Grodyl, Logran), napropamidu (Devrinol), triazinů (Goltix, Bettix) a podobně.

Mák citlivě reaguje na alelopatické působení pýru, respektive jeho oddenků. Nemělo by docházet k zařazování máku do osevních postupů s řepkou olejnou, neboť obě plodiny si navzájem mohou škodit výdřelem, který se jen velmi obtížně likviduje. Při použití herbicidu Pivot do máku jako ochrana proti řepce dojde k situaci, kdy nelze řadu let v osevním postupu uplatnit řepku olejnou nebo cukrovku. Mák je možno poměrně úspěšně pěstovat po cukrovce, bramborách, luskovinách, pšenici a jarním ječmeni. Již u předplodin máku bychom měli regulovat obtížné plevele (pýr, pcháč, svízel, šťovíky...). Následnou plodinou po máku bývají ozimé obilniny, u nichž se projeví fyto-sanitární a zlepšující vlivy máku setého (Kulovaná, 2001).

Proti škůdcům a chorobám existuje široké spektrum ochranných prostředků (Rotrekl, 2006). Mezi časté choroby patří bílá plísnovitost máku (*Sclerotinia sclerotiorum*), plíseň máku (*Peronospora arborescens*), pleosporová hnědá skvrnitost máku (*Pleospora papaveracea*), šedá plísnovitost máku (*Botryotinia fuckeliana*) a spála máku (*Dendryphon penicillatum*).

Mezi škůdce napadající mák patří například krytonosec kořenový (*Stenocarus ruficornis*), mšice maková (*Aphis fabae*), bejlmorka maková (*Dasineura papaveris*), žlabatka stonková (*Timaspis papaveris*), krytonosec makovicový (*Neoglocianus maculaalba*) (Kolařík et Rotrekl, 2014).

Vašák et al. (2010) zmiňují, že rostliny máku setého mají díky svému pomalému počátečnímu růstu velmi nízkou schopnost konkurence, což může znamenat nevýhodu při zaplevelenosti rychle rostoucími plevele. Výsledkem toho dochází k poměrně vysokým výnosovým ztrátám již při poměrně nízkých úrovních zaplevelení. Mák je zaplevelován celou řadou plevelů. K zaplevelování porostů máku setého dochází všemi skupinami plevelů od ozimých druhů, přes efemérní druhy po jarní druhy plevelů. Vzcházející mák vykazuje



fytotoxické reakce na široké spektrum přípravků, proto je nutné používat vhodnou herbicidní ochranu s ohledem na tento fakt.

Sklizeň je přímá, mechanizovaná, může být případně dělená (Kuchtová, 2012). Předpokladem pro úspěšnou sklizeň je nepolehlý, vyrovnaný, bezplevelný a suchý porost. Optimální chvílí, kdy zahájit sklizeň je v době, kdy již došlo k oddělení semen máku od vnitřních lamel tobolky (mák v makovici „chrastí“) a všechny tobolky jsou suché a hnědé. Semeno v máku by mělo mít světle modře zbarvená semena (případně jiné barvy odpovídající odrůdě), která na vzduchu dále nemění barvu. Sklizeň by měla probíhat po vysušení rosy, když je stonek křehký (Kulovaná, 2001). Sklizení semen s makovinou snižuje míru sklizňových ztrát (Vašák et al., 2010).

### **3.8 Obecná charakteristika stresu**

Levitt (1980) a Ondřej (1992) definují stres jako nepříznivé působení vnějších vlivů na rostlinu, zatímco Larcher (2001) popisuje stres jako situaci, kdy je rostlina vystavena podmínkám, které jsou odlišné od optimálních hodnot pro její životní cyklus. Rostliny jsou během svého životního cyklu, díky přisedlému způsobu života, vystaveny širokému spektru nepříznivých vlivů, které mohou ovlivňovat jejich fyziologické procesy ale i například poškozovat jejich jednotlivé části a orgány a v extrémním případě mohou způsobovat jejich úhyn. Dále je možné jako stres označit situaci kdy se životní podmínky významně odchýlí od normálních optimálních podmínek k životu, nebo se jedná o stav či reakci na jistou situaci celého organismu (Larcher, 2001). Míchal (1994) popisuje stres jako stav, ve kterém se nachází organismus ve fázi mobilizace obraných nebo nápravných procesů vůči vnějšímu podnětu způsobujícího narušení homeostáze. Hnilička et Hniličková (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. Stresové faktory můžeme rozdělit na biotické a abiotické. Do abiotických faktorů spadá nedostatek či nadbytek živin, působení emisí atp. Do biotických faktorů se řadí například patogeny nebo škůdci a jejich negativní působení na rostliny, spásání zvěří ale i vzájemné působení mezi dvěma rostlinami jako například alelopatie nebo parazitismus.

Nielsen et Orcutt (1996) rozdělují stresory do tří kategorií na chemické, fyzikální a biotické. Odolnost vůči stresu nelze jednoznačně označit za geneticky podmíněnou záležitost, protože může být do určité míry modifikována. V odolnosti k určitým podnětům se jedinci

stejného druhu značně odlišují. Rozhodující pro průběh stresové reakce je míra podnětu a jeho délka trvání nebo frekvence (Míchal, 1994).

Hnilička et Hniličková (2016) uvádějí, že abiotické stresové faktory lze rozdělovat např. podle:

- Povahy stresorů (mechanické, chemické, fyzikální)
  - mechanické (tlak, síla),
  - fyzikálně-chemické (záření, voda, teplo, plyn, ionty, pesticidy, soli...).
- Původu stresorů
  - kosmické (sluneční záření),
  - hydrosférické,
  - pedosférické (pH, soli, ionty),
  - atmosférické (oxid uhličitý, kyslík, polutanty).
- Dle doby poškození rostlin stresorem
  - v průběhu vegetace,
  - během sklizně,
  - po sklizni,
  - během skladování.

Rostliny všeobecně mohou na stres reagovat dvěma způsoby: Prvním způsobem je vyhýbaní se stresovému faktoru, kdy se rostlina brání pomocí fyziologických bariér. Tento typ obrany má dlouhodobý účinek a pasivní charakter (Levitt, 1980). Druhý způsob je v podstatě tolerance vůči stresu. Je to komplex aktivních mechanismů, které snižují nebo eliminují negativní dopad stresorů (Procházka et al., 1998). Rostliny jsou neustále vystaveny kolísání vnějších podmínek, což má za následek ovlivnění a zpomalení jejich vitálních funkcí a životního cyklu (Kosová et al., 2011). Rostliny mají schopnost aklimatizace, která vyžaduje celý komplex molekulárních, biochemických a fyziologických změn.

Lze tedy konstatovat, že rostliny mají dvě hlavní strategie, jak mohou reagovat na stres. První varianta je vyhnout se účinkům stresových faktorů ve fyziologicky neaktivní fázi například semen. Nebo rostliny mohou stresové podmínky tolerovat, přičemž se aktivním a reverzibilním způsobem přizpůsobují, tzv. se aklimatizují. Přizpůsobení se na stres probíhá zejména prostřednictvím změny exprese genů, jež vedou ke změnám ve složení transkriptomu a následně proteomu. Je nutné zmínit, že změny na úrovni transkriptomu ještě nutně nemusí

znamenat výsledné odpovídající změny na úrovni proteomu, přestože se obojí mění v závislosti na působení vnějších vlivů (Ahuja et al., 2010; Maksymiec, 2007; Yang et al., 2005). Rostliny mohou projevovat změny v důsledku přizpůsobování vůči stresoru na několika úrovních. Změny mohou probíhat na molekulární, subcelulární, celulární, orgánové ale i systémové úrovni (Šebánek, 2001).

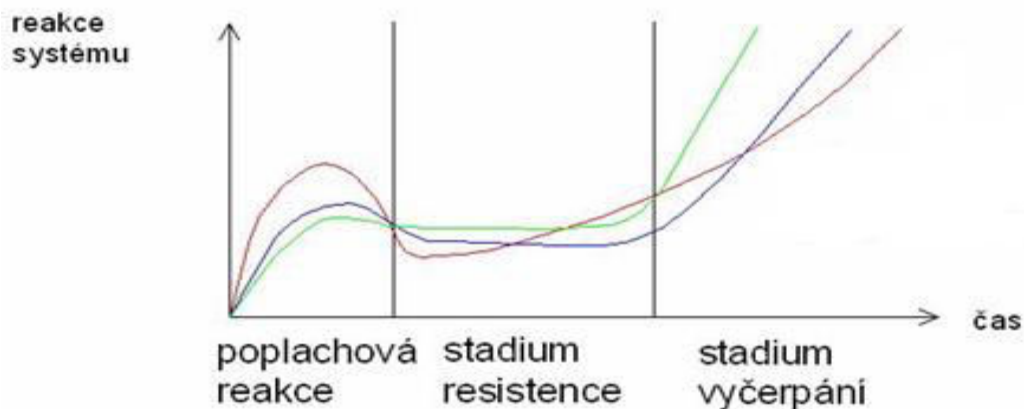
Levitt (1980) používá termíny stress a strain. Kdy pod termínem stress zmiňuje přítomný tlak vnějšího prostředí, zatímco termín strain vysvětluje jako odezvu reagující na poškození fyziologických procesů v rostlině. Typ strain můžeme dále ještě rozdělit na tzv. „plastic strain“ a na „elastic strain“. Plastic strain je moment, kdy se odehrává 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 svojí odezvu, přičemž se jedná o vratnou odezvu.

### 3.9 Reakce na stres

Míchal (1994) uvádí, že stresová reakce má při setrvalém působení stresoru tři stádia.

- Poplachové stádium
  - Dochází k neočekávaně k relativně velké, krátkodobé odezvě v systému, která je pomíjivá. Hrubým měřítkem intenity stresu je rychlost návratu do stavu před počátkem působení stresoru.
- Stádium rezistence
  - Odezva systému je poměrně nízká i při setrvalém působení stresoru. Došlo zdánlivě k vytvoření rezistence vůči stresoru, který vyvolal poplachovou reakci. Působení stresoru nadále trvá, ale příznaky stresu ustupují.
- Stádium vyčerpání
  - V systému dochází k překročení adaptačních schopností. Buď dojde k překročení resilience systému působením stresoru svojí velikostí, nebo byla získaná rezistence vzhledem k hodnotě „intenzita stresoru X doba působení“ nedostatečná.

Schéma 1. popisuje průběh reakce živého organismu během kontinuálního působení stresoru o intenzitě, nepřesahující jeho resilienci a změnách odolnosti. Křivky popisují možné hypotetické reakce systému.



*Schéma 1: Obecné schéma reakce živého organismu na stres nepřesahující jeho resilienci. Zdroj Míchal (1994).*

Rostlina k udržení svých fyziologických procesů potřebuje udržovat vnitrobuněčný turgor, čehož například při nedostatečném příjmu vody není schopná. Rostlina následně snižuje intenzitu růstu, může procházet barevnými změnami. Při delší expozici stresoru dochází k usychání a opadu listů (Procházka et al., 1998). Pro rostliny je opad listů poměrně výhodným kompromisem, kdy se sice zbavují hmoty, která je schopná asimilace ale zároveň se tím zbavují plochy, přes kterou dochází k výparu a dalším ztrátám vody (Bláha, 2011).

### 3.10 Vodní deficit

Sucho je obecné označení pro nedostatek vody v krajině, který je důsledkem nedostatku atmosférických srážek. Může být ovlivňováno mnoha faktory včetně antropogenních. Definice sucha proto není jednoznačná a různí autoři využívají k hodnocení sucha různé indexy. Můžeme vycházet z několika hledisek, které na sebe navazují: meteorologické sucho vyvolává agronomické sucho, hydrologické sucho a socioekonomické sucho. Můžeme rozlišovat tři hlavní druhy sucha:

- 1) stálé sucho, zapříčiňující ariditu klimatu,
- 2) sezónní sucho, které nastává periodicky v určitém období,
- 3) nahodilé sucho, tvořící nepravidelně se vyskytující epizody sucha.

Sucho patří mezi největší meteorologicky podmíněná ohrožení zejména v rozvojových zemích (ČMeS, 2018). Chaves et al. (2003) uvádí, že stres z vodního deficitu patří na celosvětové úrovni mezi nejrozšířenější stresový faktor, který negativně působí na vývoj rostlin. I v ČR patří sucho 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 fungovat za nedostatku vláhy. Stres z deficitu vody vzniká ve chvíli, kdy rostlina během svých fyziologických procesů ztratí víc vody, než jí přijme, dojde k snížení turgoru a nastupuje stres rostliny (Kůdela et al., 2013).

Holá et al. (2009) zmiňují, že na území ČR dochází v posledních letech k poměrně výrazným výkyvům v množství úhrnu srážek. Většina běžně pěstovaných kulturních plodin není na extrémny ve výkyvech počasí přizpůsobená. Proto je nutné neustále vyvíjet nové genotypy a usilovat o zvýšení odolnosti vůči suchu.

Mahajan et Tuteja (2005) tvrdí, že stres ale může vznikat i jako důsledek přemíry vody, kdy například 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.

Rožnovský et al. (2014) zmiňují fyziologické sucho, což je stav rostliny nebo porostu, kdy je produkce biomasy v důsledku dehydratace nižší než jaká je maximální možná v daných meteorologických, nutričních a dalších stanovištních podmínkách.

### **3.11 Vliv vodního deficitu na rostliny**

Důležitou roli v průběhu stresových reakcí hrají fytohormony, které mají významný vliv na fyziologické procesy v rostlinách (Pedrazini et al., 2003).

Podle Šebánka et al.(1997) gibereliny u stresovaných rostlin způsobují rychlejší vadnutí, což lze vysvětlit na základě vyšší náchylnosti rostlin k vodnímu deficitu. Při jejich exogenní aplikaci dochází k většímu nárůstu nadzemní biomasy. U endogenních auxinů (IAA) se jejich obsah, vlivem působení vodního deficitu, zpravidla nemění (Kannangara et al., 1983). Avšak Šebánek et al.(1997) uvádí, že během působení vodního deficitu dochází k poklesu IAA. Auxin způsobuje zvýšení propustnosti protoplazmy pro molekuly vody a jejich výdej vadnoucí rostlinou je urychlován. Tarkowski et al., (2004) zmiňují cytokininy jako jednu z hlavních pěti skupin fytohormonů. Strnad (2006) zmiňuje chemickou látku 6-benzylaminopurin, u níž byla potvrzena její důležitost v řadě fyziologických procesů v souvislosti se stresem. U endogenních cytokininů bylo prokázáno, že vlivem sucha dochází k snížení jejich hladiny, což je důsledek poklesu syntézy v kořenech, čímž dochází k omezování jejich transportu do lodyhy (Šebánek et al., 1997). Gelová et al., (2018) připomíná, že cytokininy zahrnují skupinu fytohormonů s organ-specifickým

způsobem působení. Dále uvádí, že přesto, že jsou mechanismy kontrolující komplexní síť metabolismu cytokininů částečně známé, úloha jednotlivých typů cytokininů stále není průkazně objasněná. Etylén je další látkou, která se vyskytuje jako metabolit u rostlin a plní funkci fytohormonu. Vlivem vodního deficitu může u některých rostlin docházet ke zvýšení produkce etylenu podobně, jak k tomu dochází u jiných stresorů (Wright, 1977). Rostliny, které přirozeně vykazují nižší hodnoty etylenu, obvykle reagují na kolísání množství půdní vláhy s mnohem nižší citlivostí. Nízké hladiny etylenu vedou k růstu kořenového systému a snižují rozvoj a růst listů, čímž může docházet k ovlivnění plochy pro transpiraci vody (Bláha, 2011). Mezi látky a fytohormony, které mohou být fyziologicky aktivní během stresu z vodního deficitu, bezesporu musíme zařadit brassinosteroidy. Při pokusech na rajčatech bylo zjištěno, že po aplikaci 24 - epibrassinolidu může docházet ke zmírnění následků vysokých teplot (Ogwen et al., 2008). Jager et al. (2008) dodává, že po exogenní aplikaci brassinosteroidů dochází ke zlepšení různých aspektů doprovázející růst rostlin pod vlivem vodního deficitu. Další výsledky, tentokrát na řepce olejné (*Brassica napus*) prokazují, že brassinosteroidy mohou mít vliv na zmírnění důsledků vodního deficitu a přispívají k zvýšení vitality rostlin u jedinců rostoucích v nepříznivých podmínkách (Mousavi et al., 2009). Pedrazini et al. (2003) zmiňují jasmonáty, kdy u borovice přímořské (*Pinus pinaster*) došlo k jejich nárůstu přivodním deficitu i při chladovém stresu. Mezi látky s vlivem na fyziologické procesy také patří kyselina salicylová. Při pokusech s rostlinami ječmene (*Hordeum* sp.) se prokázalo, že kyselina salicylová se účastní procesů, které rostlina využívá v obraně proti vodnímu deficitu (Fayez et Bazaid, 2014).

### **3.12 Prolin**

Prolin je aminokyselina, která má zásadní význam pro metabolismus rostlin (Szabados et Saviouré, 2010). U vyšších rostlin dochází k hromadění prolinu jako důsledek působení různých stresů ať už abiotických nebo biotických. Vodní deficit je také jedním ze stresorů, které způsobují zvyšování hodnot prolinu obsažených v těle rostliny (Koç et al., 2010). Theocharis et al., (2012) uvádí, že prolin se účastní celé řady procesů ochrany rostlin proti působení stresu. Funguje v procesech stabilizace proteinů a membrán a působí jako funkční součást v osmotickém uspořádání. Dále je induktorem osmotických genů, které úzce souvisí se stresem, a odbourává reaktivní formy kyslíku. Prolin také reguluje poměr  $\text{NAD}^+$  a NADH. Vlivem prolinu také dochází k zvýšení fotochemické aktivity fotosystému v tylakoidních membránách a dochází k snížení peroxidace lipidů.

Princip biosyntézy prolinu byl popsán již před 40 lety u *E. coli* (*Escherichia Coli*) v rostlinách je prolin syntetizován dvěma způsoby tj. glutamátovou cestou a ornitinovou cestou. Glutamátová cesta představuje proces významné akumulace prolinu během osmotického stresu, kdy je prolin syntetizován z kyseliny glutamové přes intermediální  $\Delta$ -pyrrolin-5-karboxylát. Tato reakce je katalyzovaná pomocí D'-pyrrolin-5-karboxylát syntetázy (P5CS) a  $\Delta$ -pyrrolin-5-karboxylátové reduktázy (P5CR). P5CS je kódován dvěma geny, zatímco P5CR je kódován pouze jedním genem a tento se nachází ve většině druhů rostlin. Prolinový katabolismus se odehrává v mitochondriích pomocí postupného působení prolin dehydrogenázy (PDH) nebo prolin oxidázy (POX), produkující P5C z prolinu a P5C je dále P5C dehydrogenázou převeden na glutamát. Prolin dehydrogenáza je běžně kódována dvěma geny, přičemž byly zjištěny případy u rostlin rodu tabák (*Nicotiana*) a u rodu huseníček (*Arabidopsis*). Transkripce prolin dehydrogenázy je aktivována dehydratací a prolinem, přičemž při dehydrataci dojde k jejímu potlačení, čímž dochází k zastavení degradace prolinu během stresu. (Hayat, 2012).

Alternativním způsobem je syntéza prolinu z aminokyseliny ornitin tzv. ornitinová cesta. Prolin je z ornitinu transaminován na 5PC orinithin- $\delta$ -aminotransferázou. Spekuluje se, že ornitinová cesta hraje důležitou roli při vývoji semen a v některých případech se vyskytuje u rostlin pod vlivem stresu (Hayat, 2012).

Prolin působí jako molekulární chaperon, který pomáhá buňce správně skládat většinu bílkovin do správného prostorového uspořádání a tím je schopen udržet jejich integritu a zvýšit aktivitu různých enzymů (Hayat, 2012). Z prací Matysik et al. (2002); Smirnoff et Cumbes (1989) vyplývá, že by prolin mohl mít funkci jako látka regulující v metabolismu reaktivní formy kyslíku.

## 4. Materiál a metody

Ve skleníkovém pokusu byl sledován vliv vodního deficitu na změny koncentrace prolinu a na hodnoty relativního výtoku elektrolytů (Rel %) v listech juvenilních rostlin, vybraných odrůd, máku setého (*Papaver somniferum* L.).

### 4.1 Metodika pokusu

Pokus byl založen v částečně řízených podmínkách skleníku KBFR FAPPZ. Teplota byla nastavena na 25 °C během dne a na 18 °C v noci. Pokus se uskutečnil za přirozeného světelného režimu (14 hodin světla a 10 hodin tma). Rostliny byly pěstovány v plastových květináčích o velikosti 11x11cm. Jako pěstební medium byla použita směs zahradnického substrátu s říčním pískem. Použitý poměr složek byl 2:1. Zahradní substrát je jemný (max 10% částic nad 10 mm), dobře udržuje vzdušnost prostředí, neslévá se, je nezasolený, hodnota půdní reakce pH ve vodném roztoku je 5,5 - 6,5, neobsahuje semena plevelů a zárodky patogenních organismů a škůdců, obsahuje 55 % spalitelných látek ve vysušeném vzorku, s podílem částic přesahujících 25 mm max 5 %. Obsah živin v substrátu dosahoval: N: 80-120 mg l<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 50 - 100 mg l<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O: 100 - 150 mg l<sup>-1</sup>. Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity mg kg<sup>-1</sup> sušiny. Cd 1; Pb 100; Hg 1; As 10; Cr 100; Cu 100; Ni 50; Zn 200 (Agrocs.cz, 2018).

Schéma pokusu bylo rozvrženo na čtyři pokusné varianty se zachováním 5 opakování od každého genotypu. Varianty pěstování byly: KK (zavlažovaná kontrola), KS (14 dní zálivka, 10 dní vodní deficit a 4 dny recovery režim), SK (10 dní vodní deficit a 18 dní zálivka) a SS (10 dní vodní deficit, 4 dny režim recovery a 10 dní vodní deficit a 4 dny režim recovery), viz schéma. 2. Množství závlahové vody bylo 250ml. K navození vodního deficitu byla použita metoda postupného přirozeného vysychání substrátu. Pokus započal ve fázi přizemní růžice (BBCH 30). Měření sledovaných fyziologických charakteristik se uskutečnilo v 4 denních intervalech po dobu 28 dnů.

Legenda: 

Zálivka
Vodní deficit

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
KK																													
KS																													
SS																													
SK																													

Schéma 2: Rozvržení pokusu



## **4.2 Pokusný materiál**

Osivo pokusných vzorků bylo získáno z Genové banky Oseva PRO s.r.o. a z Výzkumného ústavu olejin Opava. Do pokusu bylo zařazeno celkem 18 odrůd máku setého.

### **4.2.1 Charakteristika vybraných odrůd**

Informace o jednotlivých odrůdách převzaty z rostlinolékařského portálu, z databáze odrůd ÚKZÚZ (databáze odrůd a státní odrůdová kniha) a od genové banky Oseva PRO s.r.o. Odrůdy seřazeny podle osevního sledu v pokusu.

Albín

*Odrůda nenalezena v SDO*

Bělosemenná, středně vysoká odrůda, pěstovaná v omezeném rozsahu. Odrůda výrazně citlivá na poškození herbicidy. Velmi nízký obsah morfinu. Vyhledávána pro svojí výrazně oříškovou chuť.

Korneuburger weisser

*Odrůda nenalezena v SDO*

Rakouská bělosemenná odrůda s velmi nízkým až stopovým množstvím morfinu (kolem 0,097%). Registrována v roce 1991.

Tatranský

*Odrůda nenalezena v SDO*

Bělosemenná, středně vysoká, středně raná odrůda s dobrou odolností proti poléhání. Odrůda typu slepák s nízkým výskytem hledáků. Odrůda je určena pro potravinářské účely. Obsah oleje v semeni středně vysoký. HTS středně vysoká. Má velmi nízký obsah morfinu.

Florian

*Odrůda nenalezena v SDO*

Velmi nízký obsah morfinu.

Lazur

Polská odrůda registrovaná v roce 2000. Odrůda je určena pro produkci makoviny k farmaceutickému využití a semene modré barvy k potravinářským účelům. Odrůda je středně raná, středně vysoká, odolná proti poléhání, středně odolná proti helmintosporiíze a středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s nízkým až středním výskytem hledáků. Obsah oleje v semeni středně vysoký. Obsah morfinu v makovině vysoký. Pěstitelsky vhodná do všech oblastí. HTS středně vysoká.

## Opal

Odrůda registrovaná v roce 1990. Modrosemenná odrůda, která je určena pro produkci semene pro potravinářské účely. Je to odrůda středně raná, středně vysoká, méně odolná proti poléhání, středně odolná proti helmintosporióze a odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s nízkým výskytem hledáků. Obsah oleje v semeni středně vysoký. HTS středně vysoká. Střední obsah morfinu.

## Aplaus

Modrosemenná, středně raná odrůda určená k produkci semene k potravinářskému využití, případně makoviny pro farmaceutický průmysl. Středně vysoká, středně odolná proti poléhání, středně odolná proti helmintosporióze, středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s nízkým výskytem hledáků. Středně vysoký výnos, výnos makoviny nízký až středně vysoký. Obsah oleje v semeni středně vysoký. HTS středně vysoká. Obsah morfinu středně vysoký až vysoký.

## Zeno

Rakouská ozimá odrůda s deklarovanou mrazuvzdorností do -15 °C. Odrůda středně raná, středně vysoká, modrosemenná, určená k produkci semene pro potravinářské účely. Méně až středně odolná proti helmintosporióze, méně až středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s nízkým až středním výskytem hledáků. Výnos semene středně vysoký až vysoký. Obsah oleje v semeni vysoký. HTS středně vysoká. Obsah morfinu v makovině nízký.

## Postomi

*Odrůda nenalezena v SDO*

Vysoký obsah morfinu v makovině (až 1,65%).

## Opex

Modrosemenná, raná až středně raná, nízká až středně vysoká odrůda určená k produkci semene pro potravinářské účely případně pro produkci makoviny pro farmaceutický průmysl. Odolná proti poléhání. Méně až středně odolná proti helmintosporiíze, středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s velmi nízkým výskytem hledáků. Obsah oleje v semeni středně vysoký až vysoký. HTS středně vysoká. Obsah morfinu středně vysoký až vysoký.

## Orfeus

Odrůda registrovaná v roce 2009. Modrosemenná, středně raná, středně vysoká. Středně odolná k helmintosporiíze a středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s velmi nízkým výskytem hledáků. HTS středně vysoká. Obsah morfinu nízký až střední.

## Mariane

### *Odrůda nenalezena v SDO*

Vysoká odrůda, středně dlouhá veg. doba, nízký obsah morfinu, střední HTS.

## Maratón

Modrosemenná, středně raná, středně vysoká odrůda určená k produkci semene pro potravinářské účely i k produkci makoviny pro farmaceutický průmysl. Středně odolná proti poléhání. Středně odolná proti helmintosporiíze a středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s nízkým výskytem hledáků. Vysoký výnos semene. Obsah oleje v semeni středně vysoký. HTS středně vysoká. Obsah morfinu středně vysoký.

## Major

Slovenská odrůda registrovaná od roku 2004. Modrosemenná, středně vysoká odrůda s vysokou odolností proti helmintosporiíze a vysokou odolností proti plísni makové. Univerzální odrůda vhodná do všech výrobních oblastí v ČR. V porovnání s ostatními odrůdami má nejvyšší odolnost proti poškození herbicidy běžně používanými v porostech máku. Odrůda typu slepák s velmi nízkým výskytem hledáků. HTS středně vysoká. Obsah morfinu středně vysoký.

## Orbis

Modrosemenná, středně raná, nízká odrůda určená k produkci semene pro potravinářské využití a makoviny pro farmaceutické využití. Odrůda je středně odolná až odolná proti poléhání. Málo až středně odolná proti helmintosporiíze a středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák nízkým výskytem hledáků. Výnos nízký až středně vysoký. Obsah oleje v semeni nízký až středně vysoký. HTS středně vysoká. Obsah morfinu středně vysoký až vysoký.

## Onyx

Modrosemenná, středně raná, nízká odrůda určená k produkci semene pro potravinářské využití a makoviny pro farmaceutické využití. Odolná proti poléhání, středně odolná proti helmintosporiíze a středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s velmi nízkým obsahem hledáků. Velmi vysoký výnos. Obsah oleje v semeni středně vysoký až vysoký. HTS středně vysoká. Obsah morfinu středně vysoký.

## Orel

Bělosemenná, středně raná, středně vysoká až vysoká odrůda určená k produkci semene pro potravinářské využití. Středně odolná proti poléhání, středně odolná proti helmintosporiíze a středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák s nízkým výskytem hledáků. Mezi bělosemennými odrůdami velmi vysoký výnos jinak střední. Obsah oleje v semeni středně vysoký až vysoký. HTS středně vysoká. Obsah v makovině nízký až středně vysoký.

## Redy

Okrovosemenná, raná, nízká až středně vysoká odrůda určená k produkci semene pro potravinářské využití. Odolná proti poléhání, nízká odolnost proti helmintosporiíze a středně odolná proti plísni makové. Odrůda typu slepák se středně vysokým výskytem hledáků. Středně vysoký výnos. Obsah oleje v semeni vysoký. HTS středně vysoká až vysoká. Obsah morfinu nízký.

### 4.3 Metodika měření obsahu antioxidantních a osmoprotektivních látek

#### 4.3.1 Stanovení obsahu prolinu

Metodika stanovení prolinu vychází z práce Bateše (1973). Bylo odebráno 0,25 g listového pletiva bez středního žebra od každé jednotlivé zkoumané odrůdy z celkového počtu 18 odrůd. Vzorek byl rozmělněn v třecí misce spolu s 1 ml 3% kyseliny sulfosalicylové. Po důkladném rozmělnění byl vzorek doplněn o další 4 ml kyseliny a směs byla řádně promíchána. Poté byla vzniklá směs přefiltrována přes filtrační papír určený pro kvalitativní analýzu. Z filtrátu byl odebrán 1ml vzorku a smíchán s 1 ml koncentrované kyseliny octové a s 1ml ninhydrinu. Tato reakční směs byla následně umístěna do vortexu k promíchání. Po 15 minutách třepání byla směs umístěna do vodní lázně o teplotě 80-90°C na dobu 30 minut k inkubaci. Po inkubaci ve vodní lázni byla směs prudce zchlazena. Do již zchladlé a vytemperované směsi byly přidány 3 ml toluenu. Tato směs byla opět po dobu 15 minut umístěna do vortexu. Po opětovném důkladném protřepání se počkalo na ustálení dvou separovaných vrstev, ze kterých se odebral vzorek z “toluenové“ horní části zkumavky který byl následně měřen na spektrofotometru UV- Vis Evolution 201 (Thermo Scientific). Měření na spektrofotometru probíhalo měřením absorbance horní vrstvy při 520 nm. Jako slepý vzorek nám posloužil čistý toluen. Naměřené hodnoty byly přes kalibrační křivku přepočteny na  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Počet opakování byl 3.

#### 4.3.2 Stanovení Rel %

Stanovení relativního výtoku elektrolytů vychází z, mírně modifikované, metodiky pokusů Campos et al. (2003). Z různých částí listů byly odebrány listové terčíky o průměru 1cm. Terčíky byly nejprve promývány destilovanou vodou po dobu dvou minut a následně byly umístěny do 5ml destilované vody po dobu 24 hodin. Po uplynutí 24 hodin byly vzorky podrobeny měření elektrické vodivosti roztoku. Po naměření byly vzorky umístěny do vodní lázně o teplotě 90°C po dobu 20 minut, tak aby bylo dosaženo maximální poškození na buněčné úrovni. Po vychladnutí vzorků se uskutečnilo druhé měření vodivosti roztoku. Míra poškození (Rel %) byla na základě změny vodivosti roztoku vyjádřena jako poměr  $\text{Rel } 1 / \text{Rel } 2$ . Pro všechna měření a všechny odběry byl použit konduktometr GRYF 106 L3 (GRYF HB spol. s.r.o., Česká republika). Z každé rostliny byl použit, k odběru terčíku, jeden intaktní nejvíce rozvinutý list. Výpočet Rel % byl proveden na základě změn vodivosti roztoku ze vzorce:

$$\text{CMS} = [1 - (T1 - T2)] / [1 - (C1 - C2)] \times 100$$

$$\text{Rel}\% = 100 - \text{CMS}$$

#### **4.4 Použité statistické metody**

K vyhodnocení statistických výsledků byly použity programy STATISTICA 13 a Statgraphics Centurion 18 (64 - bit). Jako metoda byla zvolena multifaktoriální analýza rozptylu - vícefaktorová ANOVA.

## 5. Výsledky

V diplomové práci byl sledován vliv stresu způsobeného vodním deficitem na obsah prolinu a hodnotu relativního výtoku elektrolytů Rel% v listech juvenilních rostlin máku setého (*Papaver somniferum* L.) u 18 vybraných odrůd. Schéma pokusu je založeno ve 4 variantách pěstování: KK - po celou dobu zavlažovaná kontrola, KS - 14 dní závlivka + 10 dní stres + 4 dny recovery režim, SS - 10 dní stres + 4 dny recovery režim + 10 dní stres + 4 dny recovery režim, SK - 10 dní stres + 18 dní závlivka. Vzorokly byly odebírány ve fázi přizemní růžice (BBCH 30 - BBCH 39).

Výsledky byly statisticky vyhodnoceny multifaktoriální analýzou rozptylu pro obsah prolinu a pro Rel% pro jednotlivé varianty pěstování (KK, KS, SS, SK). Byly testovány významné interakce mezi těmito faktory s dostatečným objemem dat. F-testy v tabulce ANOVA umožnili identifikovat významné faktory. Pro každý významný faktor testy s rozšířeným obsahem udávají, které hodnoty se výrazně liší od ostatních. Následující grafy zobrazují střední hodnotu obsahu prolinu a hodnotu Rel% pro každou úroveň vzorku. Také zobrazují intervaly v rámci odchylky od průměru. Intervaly, které jsou aktuálně zobrazeny, jsou založeny na postupu porovnání Scheffeho metodou. Grafy jsou konstruovány tak, aby pokud jsou všechny prostředky stejné, tak aby se intervaly překrývaly nejméně o 0,0% času. Jakýkoliv pár intervalů, který se nepřekrývá, odpovídá páru, mezi kterými existuje statisticky významný rozdíl. Přesný výčet párů, mezi nimiž existuje statisticky významný rozdíl je uveden v příložených tabulkách 2-9 pod příslušnými grafy. Jednotlivé odrůdy jsou v uvedených tabulkách uváděny pod číselnými kódy a to následovně:

Odrůda	Číselné označení
Albín	1
Korneuburger weisser	2
Tatranský	3
Florian	4
Lazur	5
Opal	6
Aplaus	7
Zeno	8

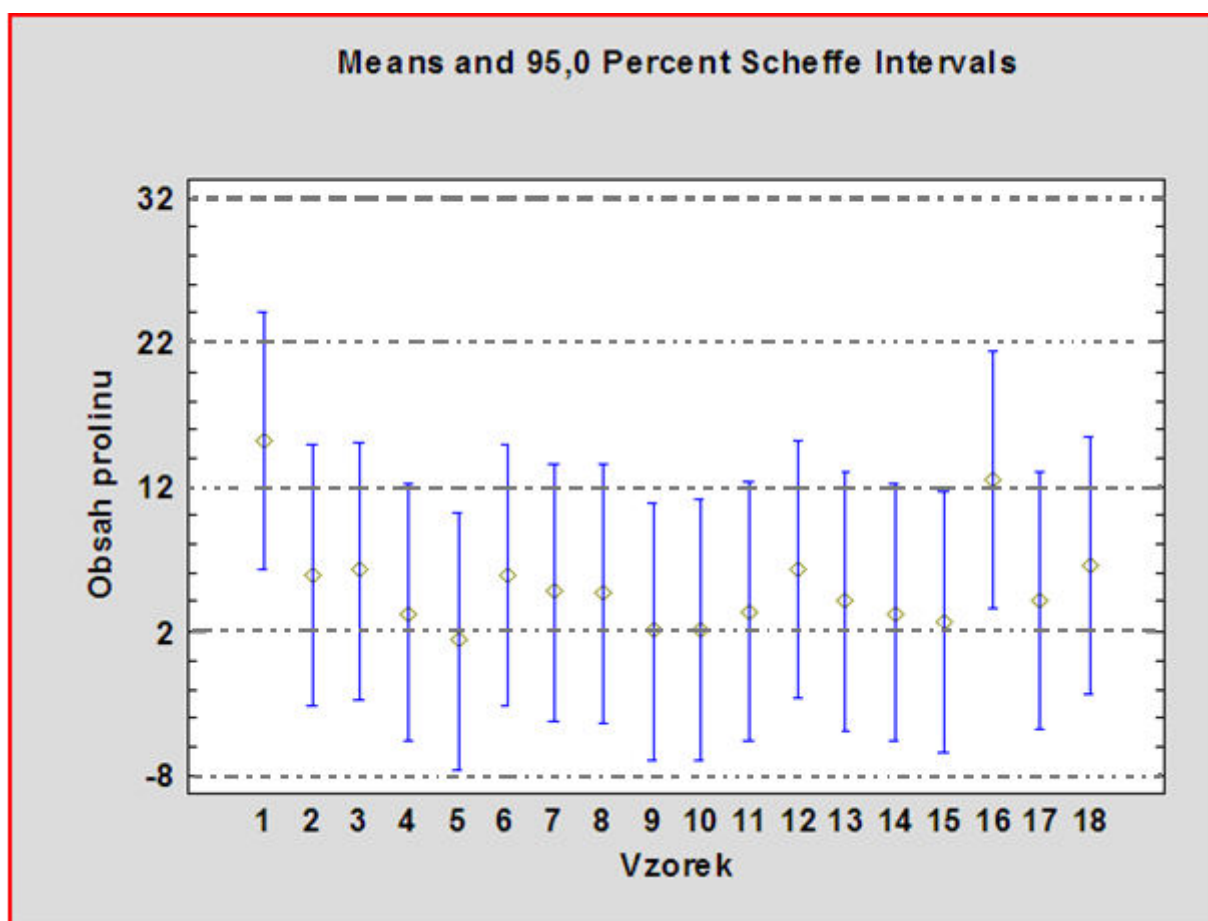
Postomi	9
Opex	10
Orfeus	11
Mariane	12
Maratón	13
Major	14
Orbis	15
Onyx	16
Orel	17
Redy	18



## 5.1 Obsah prolinu

### 5.1.1 Varianta KK

V grafu 5 jsou znázorněny průměrné hodnoty obsahu prolinu u jednotlivých testovaných odrůd v této variantě pěstování. Jedná se o variantu kontrolní - KK, Celý soubor hodnot naměřeného prolinu u jednotlivých zkoumaných odrůd se u této varianty pohyboval v intervalu  $(0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}; 587,84 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$ . U této varianty byly mezi třemi nejvyššími hodnotami naměřeny hodnoty u odrůd: Onyx ( $587,84 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 26. den pokusu), Albín ( $352,63 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 11. den pokusu;  $240,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 18. den pokusu). Nejnížší naměřená hodnota byla změřena jako nezjistitelný podíl zkoumané látky v prostředí. Nulových hodnot dosáhly odrůdy: Florian, Lazur, Opal, Aplaus, Zeno, Postomi, Opex a Orfeus ve druhém dni pokusu.



Graf 5: porovnání testovaných odrůd ve variantě KK podle obsahu prolinu

Dále dosáhly nulových hodnot odrůdy: Korneuburger weisser, Tatranský, Florian, Lazur, Postomi, Opex, Orfeus, Mariane, Maratón, Major, Orbis, Orel a Redy během měření ve 14. den pokusu, jak dokládá graf 5. Z něho dále vyplývá, že v průběhu 26. dne pokusu odrůda Lazur vykazovala opět nulové hodnoty obsahu prolinu. Kromě odrůdy Onyx nastalou

všech zkoumaných odrůd zvýšení obsahu prolinu v období 15. - 18. dne pokusu. U odrůdy Onyx byl zaznamenán ve stejném období pokles hodnot obsahu prolinu z 21,26  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  na 17,80  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . U odrůdy Lazur byla třikrát stanovena nulová hladina prolinu (2. den, 14. den, 26. den). Páry odrůd, které vykazovaly mezi sebou statisticky významnou rozdílnost, jsou uvedeny v tabulce 2. Odrůda Albín má vůči téměř všem ostatním zkoumaným odrůdám statisticky významnou rozdílnost viz tabulka 2.

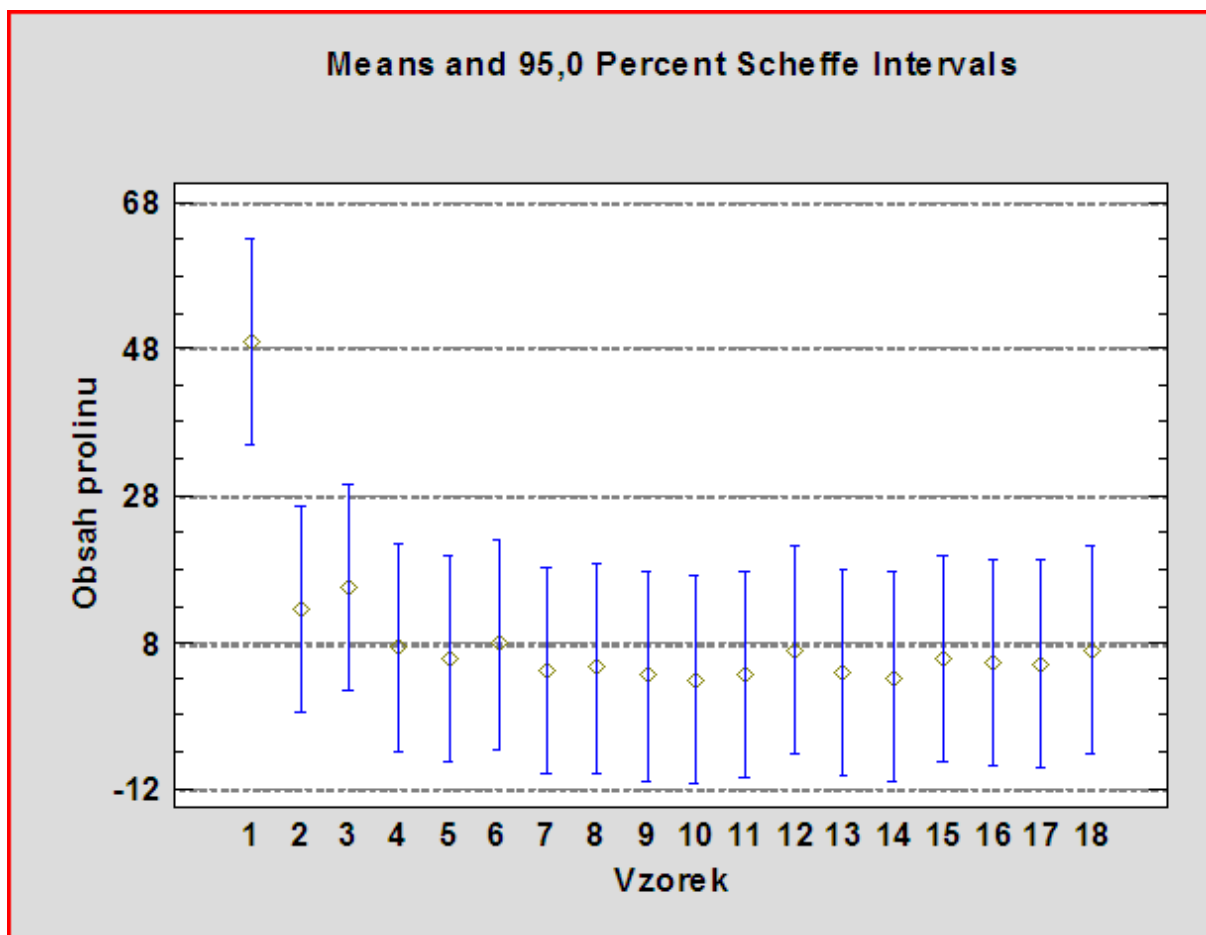
Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity
1 - 2	*	9,25	6,56464
1 - 3	*	9,02	6,56464
1 - 4	*	11,9029	6,56464
1 - 5	*	13,8671	6,56464
1 - 6	*	9,27571	6,56464
1 - 7	*	10,4357	6,56464
1 - 8	*	10,5629	6,56464
1 - 9	*	13,14	6,56464
1 - 10	*	13,04	6,56464
1 - 11	*	11,8343	6,56464
1 - 12	*	8,87286	6,56464
1 - 13	*	11,0643	6,56464
1 - 14	*	11,9143	6,56464
1 - 15	*	12,5771	6,56464

1 - 17	*	11,0271	6,56464
1 - 18	*	8,62143	6,56464
4 - 16	*	-9,20429	6,56464
5 - 16	*	-11,1686	6,56464
6 - 16	*	-6,57714	6,56464
7 - 16	*	-7,73714	6,56464
8 - 16	*	-7,86429	6,56464
9 - 16	*	-10,4414	6,56464
10 - 16	*	-10,3414	6,56464
11 - 16	*	-9,13571	6,56464
13 - 16	*	-8,36571	6,56464
14 - 16	*	-9,21571	6,56464
15 - 16	*	-9,87857	6,56464
16 - 17	*	8,32857	6,56464

Tab. 2: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem - varianta KK

### 5.1.2 Varianta KS

Z grafu 6 jsou zaznamenány průměrné hodnoty obsahu prolinu u jednotlivých testovaných odrůd. Tento graf charakterizuje variantu KS. V celém souboru měřených hodnot se pohybuje hodnota naměřeného prolinu v intervalu hodnot  $\langle 0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}; 919,21 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \rangle$ . Mezi naměřenými hodnotami byly tři nejvyšší hodnoty obsahu prolinu zaznamenány u odrůdy Albín (919,21  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , změřeno 22. den, 899,84  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , změřeno 18. den, 884, 57  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , změřeno 26. den pokusu. V řadě 4. nejvyšší naměřená hodnota prolinu byla zaznamenána u odrůdy Korneuburger weisser (372,69  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ).



Graf 6: porovnání testovaných odrůd ve variantě KS podle obsahu prolinu

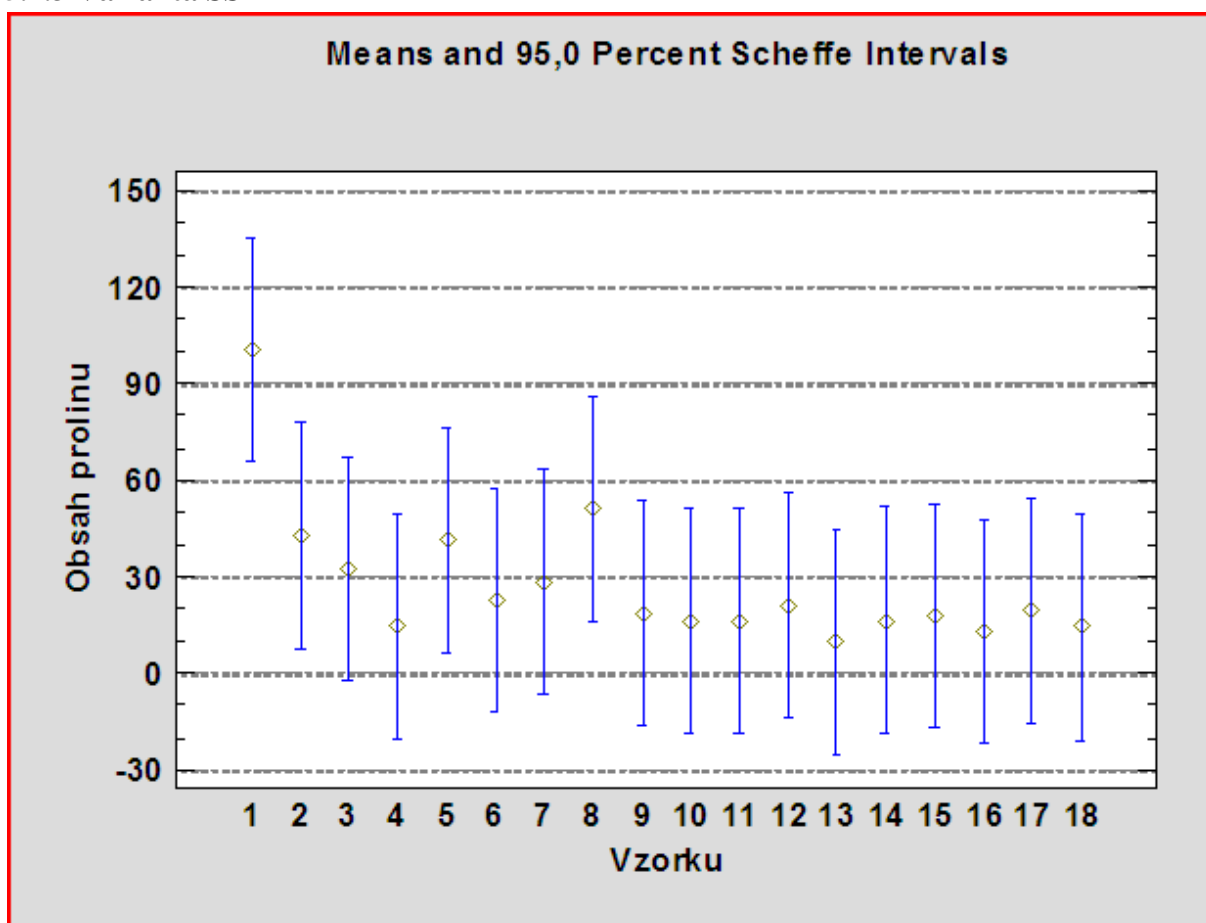
Nulové hodnoty byly zaznamenány 2. den pokusu u odrůd: Florian, Lazur, Opal, Aplaus, Zeno, Postomi, Opex, Orfeus, Mariane, Major a Orbis. Stejně hodnoty, tedy nulové, byly dále stanoveny v 14. den pokusu u odrůd Aplaus, Opex, Orfeus, Major a Orel. U odrůd Aplaus, Opex, Orfeus, Major. V pokusu byl zaznamenán nárůst obsahu prolinu u všech odrůd v této variantě (KS) s výjimkou odrůd Zeno a Postomi, v období 15. - 18. dne pokusu. U odrůdy Zeno byl zaznamenán pokles o  $42,20 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  a u odrůdy Postomi  $21,45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Páry odrůd, mezi kterými byla prokázána statisticky významná rozdílnost, jsou zobrazeny v tabulce 3. Ve variantě KS jsou opět uvedeny statisticky významné odlišnosti odrůdy Albín vůči zbývajícím testovaným odrůdám viz tabulka 3.

Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity
1 - 2	*	36,3657	10,3708
1 - 3	*	33,3871	10,3708
1 - 4	*	41,4971	10,3708
1 - 5	*	43,1929	10,3708
1 - 6	*	41,1543	10,3708
1 - 7	*	44,5757	10,3708
1 - 8	*	44,3386	10,3708
1 - 9	*	45,43	10,3708
1 - 10	*	45,9086	10,3708
1 - 11	*	45,2971	10,3708
1 - 12	*	41,9757	10,3708
1 - 13	*	44,8929	10,3708

1 - 14	*	45,5	10,3708
1 - 15	*	43,1571	10,3708
1 - 16	*	43,5571	10,3708
1 - 17	*	43,7571	10,3708
1 - 18	*	41,9329	10,3708
3 - 7	*	11,1886	10,3708
3 - 8	*	10,9514	10,3708
3 - 9	*	12,0429	10,3708
3 - 10	*	12,5214	10,3708
3 - 11	*	11,91	10,3708
3 - 13	*	11,5057	10,3708
3 - 14	*	12,1129	10,3708

Tab. 3: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem - varianta KS

### 5.1.3 Varianta SS



Graf 7: porovnání testovaných odrůd ve variantě SS podle obsahu prolinu

Graf 7 zobrazuje průměrné hodnoty obsahu prolinu v listech jednotlivých odrůd pěstovaných ve variantě SS. Obsah prolinu se v listech rostlin pěstovaných v podmínkách

opakovaného vodního deficitu pohyboval v intervalu  $\langle 0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}; 2,077 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\rangle$ . Všechny tři nejvyšší hodnoty obsahu prolinu byly opět zaznamenány u odrůdy Albín ( $2,077 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 22. den pokusu,  $1,604 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 26. den pokusu a  $1,267 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 6. den pokusu). V pořadí druhou odrůdou s nejvyšší naměřenou hodnotou obsahu prolinu byla odrůda Aplaus ( $1,126 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 6. den pokusu). Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u odrůd Florian ( $0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 2. den pokusu), Postomi ( $4,66 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 2. den pokusu) a Maratón ( $6,04 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 2. den pokusu). Mezi odrůdami byly zjištěny statisticky významné rozdíly, které jsou uvedeny v tab 4. Opět byly zjištěny průkazné rozdíly mezi odrůdou Albín a zbývajícimi odrůdami. Poměrně výrazná, se jeví také, statisticky průkazná rozdílnost ozimé odrůdy Zeno vůči ostatním testovaným odrůdám viz tabulka 4.

Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity
1 - 2	*	57,5686	25,6412
1 - 3	*	67,6571	25,6412
1 - 4	*	85,6129	25,6412
1 - 5	*	59,1514	25,6412
1 - 6	*	77,8129	25,6412
1 - 7	*	72,1443	25,6412
1 - 8	*	49,3786	25,6412
1 - 9	*	81,5086	25,6412
1 - 10	*	83,9286	25,6412
1 - 11	*	84,2129	25,6412
1 - 12	*	79,0214	25,6412
1 - 13	*	90,6343	25,6412
1 - 14	*	83,8029	25,6412
1 - 15	*	82,2971	25,6412
1 - 16	*	87,2114	25,6412
1 - 17	*	80,6043	25,6412
1 - 18	*	85,9986	25,6412
2 - 4	*	28,0443	25,6412
2 - 10	*	26,36	25,6412
2 - 11	*	26,6443	25,6412

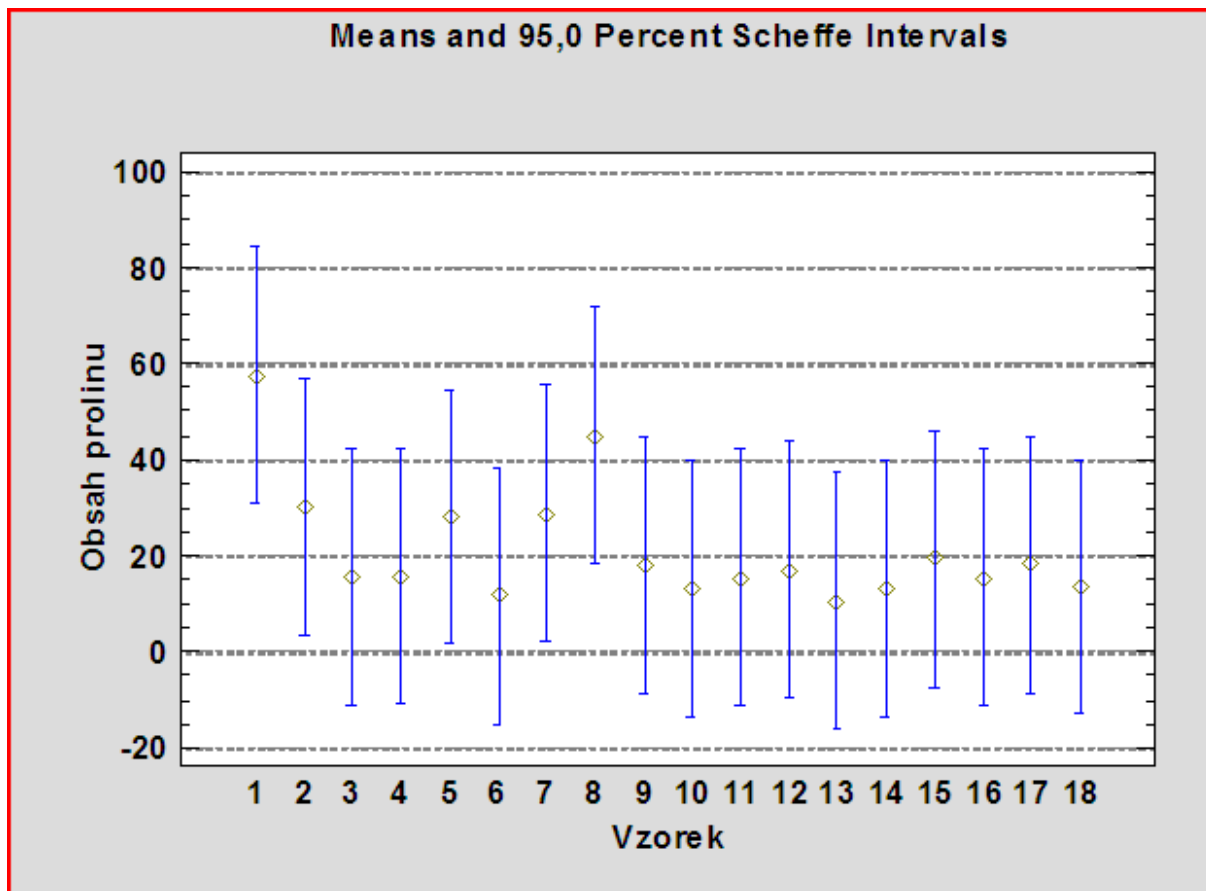
2 - 13	*	33,0657	25,6412
2 - 14	*	26,2343	25,6412
2 - 16	*	29,6429	25,6412
2 - 18	*	28,43	25,6412
4 - 5	*	-26,4614	25,6412
4 - 8	*	-36,2343	25,6412
5 - 13	*	31,4829	25,6412
5 - 16	*	28,06	25,6412
5 - 18	*	26,8471	25,6412
6 - 8	*	-28,4343	25,6412
8 - 9	*	32,13	25,6412
8 - 10	*	34,55	25,6412
8 - 11	*	34,8343	25,6412
8 - 12	*	29,6429	25,6412
8 - 13	*	41,2557	25,6412
8 - 14	*	34,4243	25,6412
8 - 15	*	32,9186	25,6412
8 - 16	*	37,8329	25,6412
8 - 17	*	31,2257	25,6412
8 - 18	*	36,62	25,6412

Tab. 4: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem - varianta SS

#### 5.1.4 Varianta SK

Graf 8 zaznamenává průměrné hodnoty obsahu prolinu u jednotlivých odrůd ve variantě SK. Naměřené hodnoty obsahu prolinu v listech byly v průběhu celého pokusu u této varianty měřeny v intervalu  $\langle 0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}; 1,267 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\rangle$ . Dvě nejvyšší naměřené hodnoty byly zjištěny u odrůdy Albín ( $1,267 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 6. den pokusu a  $1,000 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 18. den pokusu) třetí nevyšší hodnota byla v této variantě stanovena u odrůdy Aplaus ( $1,126 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 6. den pokusu). Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u odrůd Florian

(0,00  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 2. den pokusu), Postomi (4,66  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , naměřeno 2. den pokusu) a u odrůdy Maratón (6,04  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ).



Graf 8: porovnání testovaných odrůd ve variantě SK podle obsahu prolinu

Všechny zjištěné statisticky významné rozdílnosti mezi odrůdami jsou zaznamenány v tabulce 5. Také v rámci této varianty vykazuje odrůda Albín průkazně nejvyšší hodnotu obsahu prolinu v porovnání s ostatními odrůdami. Statisticky významná rozdílnost v obsahu prolinu nebyla zjištěna pouze mezi odrůdami Albín a Zeno. Statisticky průkazné diference dále byly zjištěny také mezi odrůdou Zeno a dalšími pokusnými odrůdami vyznačenými v tabulce 5.

Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity				
1 - 2	*	27,3686	19,5739	1 - 18	*	43,9114	19,5739
1 - 3	*	41,9243	19,5739	2 - 13	*	19,6843	19,5739
1 - 4	*	41,7557	19,5739	3 - 8	*	-29,44	19,5739
1 - 5	*	29,3529	19,5739	4 - 8	*	-29,2714	19,5739
1 - 6	*	45,7486	19,5739	6 - 8	*	-33,2643	19,5739
1 - 7	*	28,6529	19,5739	8 - 9	*	26,9186	19,5739
1 - 9	*	39,4029	19,5739	8 - 10	*	31,8514	19,5739
1 - 10	*	44,3357	19,5739	8 - 11	*	29,5671	19,5739
1 - 11	*	42,0514	19,5739	8 - 12	*	28,0957	19,5739
1 - 12	*	40,58	19,5739	8 - 13	*	34,5686	19,5739
1 - 13	*	47,0529	19,5739	8 - 14	*	31,85	19,5739
1 - 14	*	44,3343	19,5739	8 - 15	*	25,5457	19,5739
1 - 15	*	38,03	19,5739	8 - 16	*	29,6457	19,5739
1 - 16	*	42,13	19,5739	8 - 17	*	26,7643	19,5739
1 - 17	*	39,2486	19,5739	8 - 18	*	31,4271	19,5739

Tab. 5: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem - varianta SK

Vyhodnocením multifaktoriální analýzou rozptylu bylo nalezeno 28 diferentních párů u varianty KK, 24 u KS, 40 u SS a 30 statisticky průkazně rozdílných párů bylo nalezeno u varianty SK. Ve všech případech byla vyhodnocena pravděpodobnost správnosti výpočtů na 95% s 5% pravděpodobností statistické chyby.

### 5.1.5 Souhrn prolin

U hodnot prolinu je patrný vliv varianty v rámci zkoumaných pokusných odrůd máku setého. Nejnížší naměřená hodnota obsahu prolinu byla  $0\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , která byla zaznamenána ve všech variantách, přičemž nejčastěji se tato hodnota objevovala v kontrolní variantě KK (22 případů z celkových 126 výsledků odběrů uskutečněných během celého pokusu) s nejnižší četností byla nulová hodnota naměřena ve variantě SS a SK kdy v obou případech byla naměřená hodnota rovna nule v jednom odběru z celkových 126 měření. U varianty KK také byly zjištěny nejnižší hodnoty celkového rozsahu u jednotlivých odrůd, ve srovnání s dalšími variantami. Ve variantě KK byl nejnižší rozsah měřených hodnot  $39,25\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  naměřený u odrůdy Postomi. Nejvyšší rozsah u KK byl zjištěn u odrůdy Onyx s hodnotou 570,04.

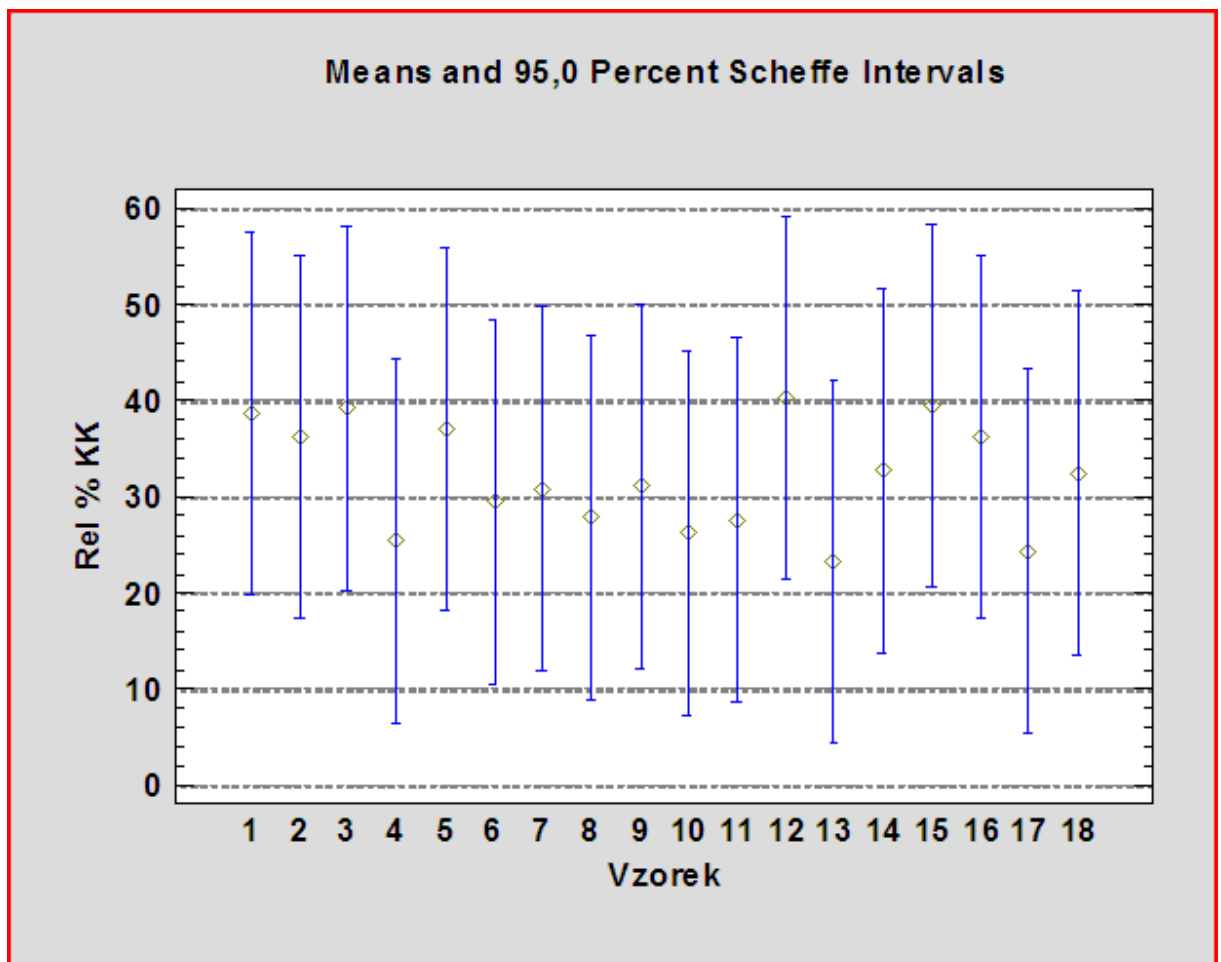
Nejvyšší naměřené hodnoty ze všech pokusných variant byly zaznamenány ve variantě SS s  $2,077\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  u odrůdy Albín. Odrůda Albín měla ve variantě SS nejvyšší průměrnou koncentraci prolinu ze všech zkoumaných odrůd. Ve variantě SS byl nejnižší rozsah naměřených hodnot obsahu prolinu roven  $153,58\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  u odrůdy Major a nejvyšší rozsah byl  $1,086\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  u odrůdy Aplaus. Obecně lze konstatovat, že na základě vyhodnocených výsledků nejnižších obsahů prolinu mezi všemi testovanými variantami dosahovaly odrůdy

pěstované v kontrolní variantě KK (celkový průměr za celou dobu pokusu  $52,22 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), zatímco nejvyšší průměrné obsahy prolinu byly zaznamenány u varianty SS ( $276,13 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ), která byla vystavena nejvýraznějšímu působení stresoru. Dále následuje varianta SK, která má neprůkazně nižší průměry naměřených hodnot. Varianta KS dosahovala průměrně výrazně nižších naměřených hodnot než varianty SS a SK.

## 5.2 Relativní výtok elektrolytu

### 5.2.1 Varianta KK

V grafu 9 jsou uvedeny průměrné hodnoty relativního výtoku elektrolytů rostlin z kontrolních podmínek, které jsou vyjádřeny jako hodnota buněčného poškození Rel%. Naměřené hodnoty relativního výtoku elektrolytů se u zkoumaných odrůd, v této variantě, pohybovaly v intervalu (2,85 %;92,93 %).



Graf 9: porovnání testovaných odrůd ve variantě KK podle hodnot Rel%

U této varianty byly zaznamenány 3 odrůdy s nejvyšší naměřenou hodnotou Rel% což byly odrůdy Orbis (92,93 %, naměřeno 22. den pokusu), Aplaus (87,86 %, naměřeno 18. den



pokusu) a Onyx (85,50 %, naměřeno v 18. den pokusu). Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u ozimé odrůdy Zeno (2,85%, naměřeno 26. den pokusu), Postomi (3,82 %, naměřeno 26. den pokusu), a dále Aplaus, u něhož byla naměřena nejnižší hodnota v 11. den pokusu 4,07 %. U všech testovaných odrůd v této variantě bylo zaznamenáno výrazné navýšení hodnot Rel% v období mezi 15. a 22. dnem pokusu. Nejvyšší rozsah naměřených hodnot Rel% u této varianty (KK) byl zaznamenán u odrůdy Aplaus (rozdíl hodnot 83,79 %) naopak nejmenší rozsah naměřených hodnot byl zaznamenán u odrůdy Maratón (rozdíl hodnot 25,30 %). V tabulce 6 máme zobrazeno porovnání jednotlivých párů odrůd, mezi nimiž byla nalezena statisticky významná rozdílnost. Z tabulky 6 vyplývá, že byl nalezen poměrně nízký počet průkazných diferencí a celkově se jeví, že soubor vybraných odrůd je ve sledovaném parametru homogenní. Nejnižší průměrné hodnoty jsme zaznamenali u odrůdy Maratón (23,18 Rel%), nejvyšší u Marianne (40,20 Rel%).

Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity
1 - 13	*	15,5857	13,8485
1 - 17	*	14,3743	13,8485
3 - 13	*	16,0057	13,8485
3 - 17	*	14,7943	13,8485
4 - 12	*	-14,77	13,8485
4 - 15	*	-14,0671	13,8485

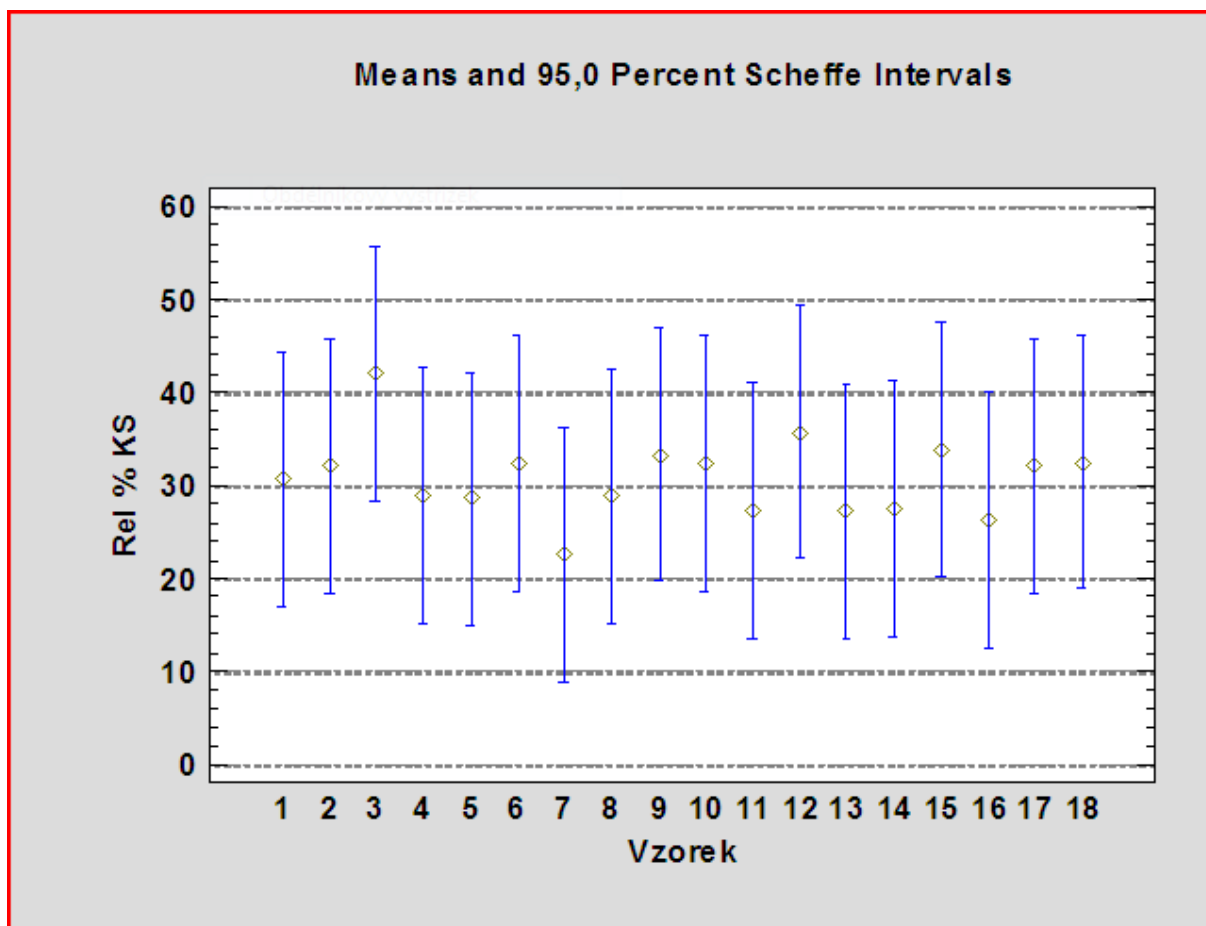
  

5 - 13	*	13,8543	13,8485
10 - 12	*	-14,0357	13,8485
12 - 13	*	17,0171	13,8485
12 - 17	*	15,8057	13,8485
13 - 15	*	-16,3143	13,8485
15 - 17	*	15,1029	13,8485

Tab. 6: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem

### 5.2.2 Varianta KS

V grafu 10 jsou uvedeny průměrné hodnoty relativního výtoku elektrolytů Rel %. Zobrazené hodnoty vyjadřují Rel% v závislosti na odrůdě, kdy rostliny sledovaných odrůd byly pěstovány ve variantě KS, tedy ..... Jak je z grafu patrné, tak hodnoty relativního výtoku elektrolytů se u testovaných odrůd pohybovaly v intervalu hodnot od 4,07 % ; 82,13 %). Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u odrůd Orbis (82,13 %, naměřeno 18. den pokusu), Korneuburger weisser (81,11 % naměřeno, 18. den pokusu) a u odrůdy Tatranský (80,12 %, naměřeno 18. den pokusu). Nejnižší hodnoty byly naměřeny u odrůd Aplaus (4,07 %, naměřeno 11. den pokusu), Orel (5,05 %, naměřeno v 11. den pokusu) a u odrůdy Tatranský (5,80 %, naměřeno 11. den pokusu).



Graf 10: porovnání testovaných odrůd ve variantě KS podle hodnot Rel%

U všech testovaných odrůd byl zaznamenán nárůst poškození membrány, stanovovaný metodou výtoku elektrolytu mezi 15-22. dne pokusu, tedy v době navození vodního deficitu. Nejvýraznější rozdíl mezi průměrnou maximální a minimální hodnotou výtoku elektrolytu byl zjištěn u odrůdy Tatranský (74,32 Rel%). Naopak nejnižší rozdíl byl zaznamenán u odrůdy Onyx, kde rozdíl činil 25,47 %. Páry odrůd, u nichž byla nalezena statisticky významná rozdílnost, jsou uvedeny v tabulce 7. U odrůdy Tatranský byla v průběhu celého pokusu zaznamenána nejvyšší průměrná hodnota Rel% (42,12 Rel%). Nejnižší průměrná hodnota Rel% byla zaznamenána u odrůdy Aplaus (22,63%).

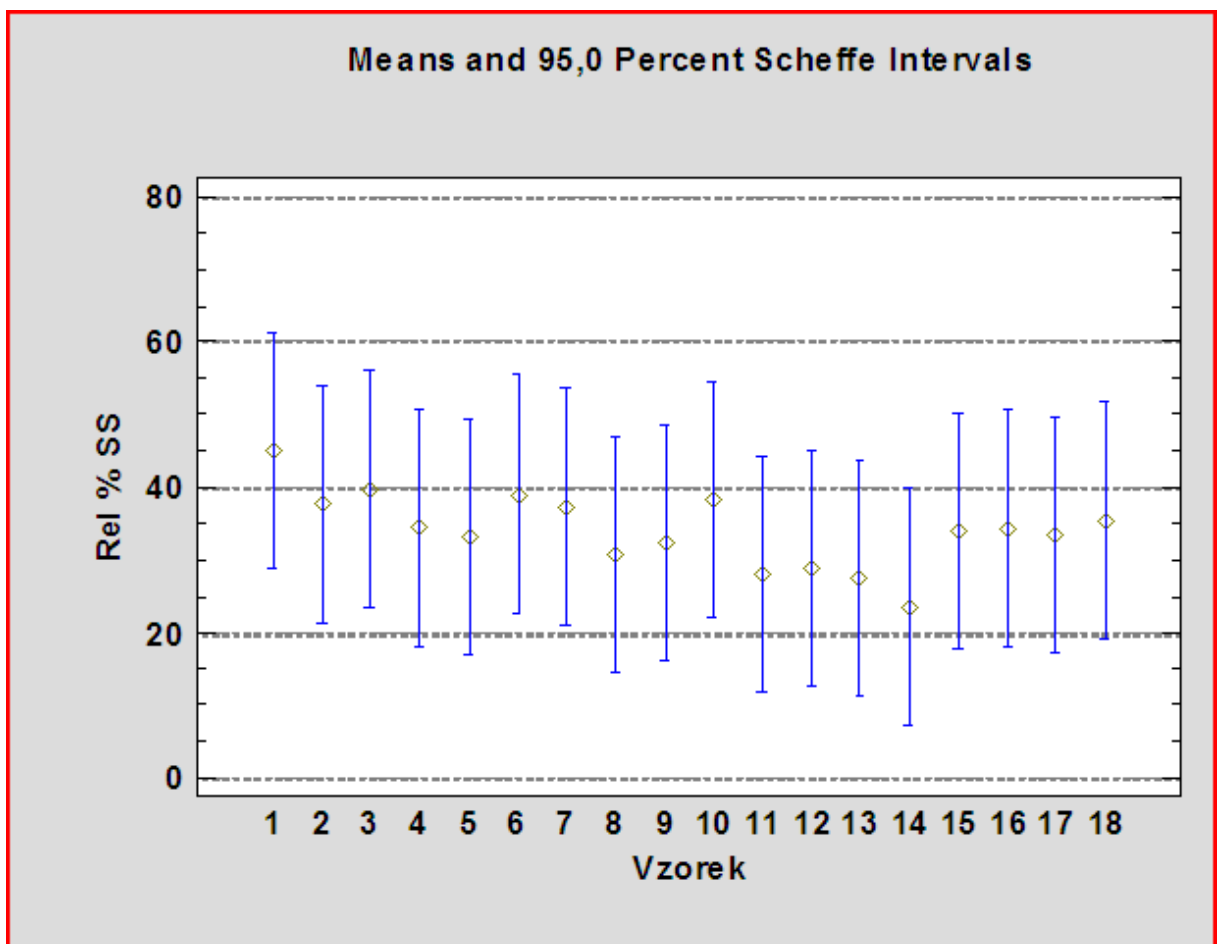
Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity
1 - 3	*	-11,3786	10,014
3 - 4	*	13,2143	10,014
3 - 5	*	13,5214	10,014
3 - 7	*	19,4786	10,014
3 - 8	*	13,2643	10,014
3 - 11	*	14,7829	10,014

3 - 13	*	14,91	10,014
3 - 14	*	14,5286	10,014
3 - 16	*	15,8757	10,014
3 - 17	*	10,0429	10,014
7 - 9	*	-10,6471	10,014
7 - 12	*	-13,1229	10,014
7 - 15	*	-11,1971	10,014

Tab. 7: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem

### 5.2.3 Varianta SS

Graf 11 zaznamenává průměrné hodnoty relativního výtoku elektrolytů Rel% juvenilních rostlin máku pěstovaných v podmínkách varianty SS, tedy varianty s opakujícím se vodním deficitem. Zobrazené hodnoty vyjadřují Rel% v závislosti na odrůdě. Varianta pěstování v grafu 11 je SS. Celkové hodnoty relativního výtoku elektrolytů se u testovaných odrůd, v této variantě, pohybovaly v intervalu (7,58 % ; 99,39 %). 3 nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u odrůd Orbis (99,39 %, naměřeno 18. den pokusu), Redy (85,15 %, naměřeno 18. den pokusu) a u odrůdy Lazur (84,96 %, naměřeno 18. den pokusu). U všech odrůd byl zaznamenán výrazný nárůst hodnot relativního výtoku elektrolytů Rel % v průběhu celého pokusu, ve dvou vlnách. Mírné snížení je u všech odrůd patrné v období 9. - 12. Dne pokusu a následně až ke konci pokusu v období 24-28. den.



Graf 11: porovnání testovaných odrůd ve variantě SS podle hodnot Rel%

Nejvyšší rozsah naměřených hodnot Rel% u této varianty (SS) byl zaznamenán u odrůdy Orbis (rozdíl hodnot 87,76 Rel%), naopak nejnižší rozsah naměřených hodnot byl zaznamenán u odrůdy Major (rozdíl hodnot 24,28 Rel%). Páry vykazující statisticky

významnou rozdílnost, jsou zobrazeny v tabulce 8. Nejnižší průměrné hodnoty v průběhu pokusu byly naměřeny u odrůdy Major (23,60 Rel%) zatímco nejvyšší průměrné hodnoty byly naměřeny u odrůdy Albín (45,06 Rel%).

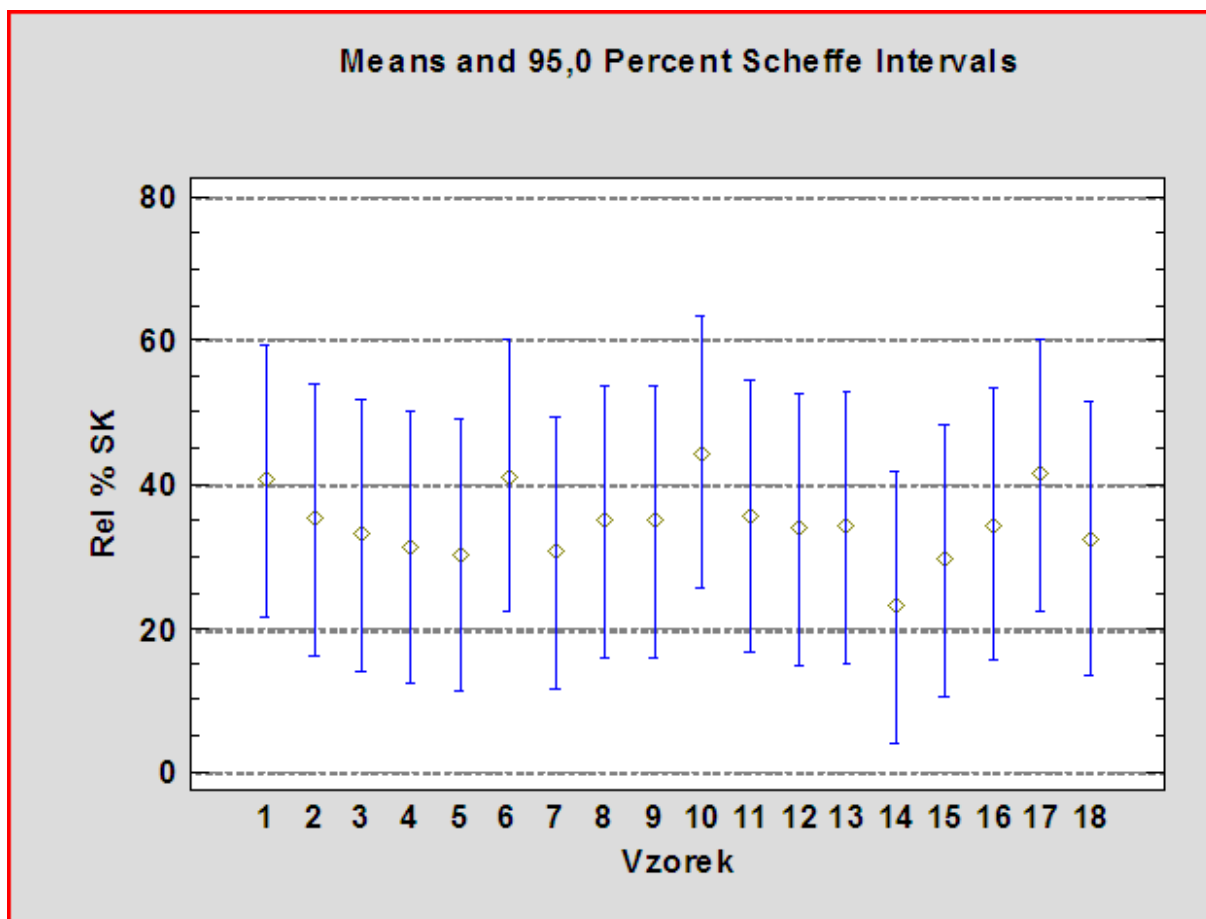
Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity
1 - 8	*	14,4829	11,9484
1 - 9	*	12,5543	11,9484
1 - 11	*	16,9629	11,9484
1 - 12	*	16,1443	11,9484
1 - 13	*	17,5786	11,9484
1 - 14	*	21,4569	11,9484

2 - 14	*	14,1641	11,9484
3 - 13	*	12,2857	11,9484
3 - 14	*	16,1641	11,9484
6 - 14	*	15,4798	11,9484
7 - 14	*	13,6069	11,9484
10 - 14	*	14,6498	11,9484

Tab. 8: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem

#### 5.2.4 Varianta SK

Graf 12 obsahuje průměrné hodnoty relativního výtoku elektrolytů Rel%. Zobrazené hodnoty vyjadřují Rel% v závislosti na odrůdě. Varianta pěstování v grafu 12 je SK. Celkové hodnoty relativního výtoku elektrolytů se u testovaných odrůd, v této variantě, pohybovaly v intervalu (3,79 % ; 88,24 %). Odrůdami s nejvyššími třemi naměřenými hodnotami byly: ozimá odrůda Zeno (88,24%, naměřeno 18. den pokusu), Marianne (84,29 %, naměřeno 18. den pokusu), Maratón (81,80 %, naměřeno 18. den pokusu).



Graf 12: porovnání testovaných odrůd ve variantě SK podle hodnot Rel%

Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u odrůd: Major (3,79 %, naměřeno 26. den pokusu), Korneuburger weisser (7,58 %, naměřeno 11. den pokusu), ozimá odrůda Zeno (7,69 %, naměřeno 11. den pokusu). U ozimé odrůdy Zeno došlo k naměření hodnot, které jsou zmíněny mezi 3 nejvyššími a zároveň i nejnižšími naměřenými. Nadpoloviční většina vykazovala v průběhu druhé poloviny pokusu zvýšení hodnot relativního výtoku elektrolytů Rel%. Nejvyšší hodnoty Rel% u této varianty (SK) byly zaznamenány u ozimé odrůdy Zeno (rozdíl hodnot 80,54 Rel%) naopak nejmenší rozsah naměřených hodnot byl zaznamenán u odrůdy Florian (rozdíl hodnot 26,73 Rel%). Páry testovaných odrůd, mezi nimiž byla nalezena statisticky významná rozdílnost, jsou zobrazeny v tabulce 9. Nejvyšší průměr hodnot byl naměřen u odrůdy Opex (44,35 Rel%) nejnižší průměr jsme zaznamenali u odrůdy Major (22,91 Rel%).

Odrůdy		Rozdílnost	+/- Limity
1 - 14	*	17,6786	13,8575
5 - 10	*	-14,1614	13,8575
6 - 14	*	18,22	13,8575

10 - 14	*	21,4386	13,8575
10 - 15	*	14,8143	13,8575
14 - 17	*	-18,48	13,8575

Tab. 9: výčet odrůd se statisticky významným rozdílem

### **5.2.5 Souhrn Rel%**

V programu, který prováděl multifaktoriální analýzu, bylo ve výsledku vyznačeno vždy různé množství párů zkoumaných odrůd, které mezi sebou mají mít statisticky průkaznou diferenci. Program vyhodnotil 12 diferentních párů u varianty KK, 13 u KS, 12 u SS a 6 u varianty SK. Program vyhodnotil pravděpodobnost správnosti statistické průkaznosti na 95 % s 5 % rizikem statistické chyby. Ze zaznamenaných výsledků vyplývá, že míra poškození buněčné membrány je hodnota, která je statisticky průkazně ovlivněna dle varianty pěstování. Nejnižší naměřená hodnota Rel% byla zjištěna u rostlin v KK variantě, kdy jsme naměřili 2,85 % Rel%. Na druhé straně maximální hodnota byla naměřena u SS varianty, kdy jsme naměřili 99,39 % Rel%. U Varianty KS byly naměřeny maximální hodnoty na úrovni 82,13% Rel% a u varianty SK byly naměřeny maximální hodnoty 88,24 %. Mezi všemi variantami pěstování se jednotlivé genotypy projevovali různým rozsahem hodnot relativního výtoku elektrolytů Rel%. Největší rozsah byl zaznamenán u odrůdy Orbis, která ve variantě SS měla rozsah naměřených hodnot roven 87,76 Rel%. Naopak odrůda Major dosáhla nejnižšího rozsahu naměřených hodnot a to ve stejné variantě pěstování (SS). Souhrnně můžeme uvést, že nejvyšší průměr hodnot Rel% byl zjištěn u varianty SK, mírně nižší hodnotou průměrných výsledků měření zaznamenáváme u varianty SS. Nejnižší průměr naměřených hodnot byl u varianty KS, přičemž varianta KK vykazovala mírně vyšší průměr měřených hodnot v průběhu celého pokusu u všech odrůd. Odrůda, která v průměru dosahovala nejnižších hodnot relativního výtoku elektrolytů Rel% ve variantě s nejvyšší intenzitou stresu SS byla odrůda Major, tudíž jí můžeme označit za odrůdu nejodolnější v této variantě.

## **6. Diskuze**

### **6.1 Obsah prolinu**

Akumulace prolinu je jednou z nejfrekventovanějších metabolických modifikací genotypu na změnu prostředí. Přestože je role prolinu z biochemického pohledu poměrně známou skutečností, skutečný přínos prolinu k rezistenci rostlin vůči stresorům je stále diskutovaným tématem (Tamayo et Bonjoch, 2001). Zvyšování hodnoty koncentrace prolinu lze považovat za reakci rostlin ve vztahu ke stresu způsobeným vodním deficitem. Hodnocení intenzity stresu pouze na základě koncentrace prolinu není dostatečné, a proto je kladen význam i na hodnocení relativního výtoku elektrolytů. Na téma koncentrace aminokyselin v rostlinách vystavených stresoru se uskutečnilo mnoho pokusů (Barnett et Naylor, 1966; Draper, 1972; Handa et al., 1983; Rhodes et al., 1986; Fougere et al., 1991; Kaplan et al.,

2004; Brosche et al., 2005; Zuther et al., 2007; Kempa et al., 2008; Sanchez et al., 2008; Usadel et al., 2008; Lugan et al., 2010). Singh et al., (1973) formulovali na základě svojí práce závěr, že nejvyšší obsah prolinu se nachází u odrůd, které jsou vůči stresu nejvíce odolné. Později ale byl stejný pokus uskutečněn opakovaně a závěr byl opačný (Hanson et al., 1977). Z mnoha prací vyplývá, že prolin je adaptační prostředek rostlin vůči stresu (Nanjo et al., 1994; Bandruska, 2000) Avšak zároveň jsou práce, jejichž výsledky odporují s tímto závěrem (Hanson et al., 1977; Mani et al., 2002).

Vyšší koncentrace prolinu může znamenat posílení tolerance k osmotickému stresu v důsledku působení stresu. Během mírného působení stresu projevuje prolin určitý projektivní efekt, čímž můžeme tvrdit, že je součástí tolerance rostlin ke stresu. Avšak pokud dojde k působení intenzivního a náhlého vodního deficitu, prolin svojí projektivní funkci pozbývá (Bandurska, 2000). To je v souladu s našimi výsledky kdy u Odrůdy Albín bylo zaznamenáno spolu se zvýšením hodnot koncentrace prolinu na hodnotu  $2,077 \text{ mg.g}^{-1}$  zároveň ke zvýšení hodnot relativního výtoku elektrolytů (71,30 Rel%). Munns et Tester (2008) zmiňují, že rostlinné druhy jsou velmi variabilní v nárocích na okolní prostředí a podmínky, které mohou být pro jeden druh letální, tak jinému druhu mohou vyhovovat. Peng et al. (1996) tvrdí, že u vybraných druhů lze souhrnně konstatovat, že vliv stresu způsobuje zvýšení koncentrace prolinu, přičemž po ukončení působení stresoru se hodnota koncentrace prolinu začne vracet k původním hodnotám. Výsledky naší práce toto tvrzení potvrzují, například u rostlin pěstovaných v podmínkách opakovaného stresu (varianta) SS byly většiny sledovaných odrůd zaznamenán výrazný pokles hodnot koncentrace prolinu v tzv. recovery režimu. Nejvyšší rozdíl mezi posledními dvěma měřeními byl zaznamenán u odrůdy Albín, pěstované v podmínkách opakovaného vodního deficitu (SS), kdy došlo ke snížení hodnoty koncentrace prolinu o  $472,70 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$ , z hodnoty ... V případě odrůd Onyx a Redy nebylo zaznamenáno u této varianty průkazné snížení hodnot. Delauney et Verma (1993); Hare et Cress (1997) uvádí, že akumulace prolinu v rostlinách je důsledkem působení abiotického a biotického stresu. Výsledky naměřených hodnot prolinu u jednotlivých odrůd ve všech variantách pokusu vykazovaly nárůst obsahu prolinu u zkoumaných rostlin tím vyšší, čím vyšší byla intenzita stresu. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u varianty SS u odrůdy Albín ( $2,077 \text{ mg.g}^{-1}$ ) druhá nejvyšší hodnota byla naměřena u varianty SK opět u odrůdy Albín ( $1,267 \text{ mg.g}^{-1}$ ), přičemž u varianty KS dosáhla odrůda Albín také nejvyšší naměřené hodnoty  $919,21 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$ . Mezi sledovanými odrůdami měla tato odrůda statisticky nejvyšší průměrné naměřené hodnoty koncentrace prolinu ve všech variantách pokusu.

Nejnižší průměrné naměřené hodnoty u jednotlivých variant měly odrůdy Lazur u kontrolní varianty, Opex u varianty KS a Maratón u variant SS i SK. Naměřené hodnoty koncentrace prolinu celkově ukazují relativně podobné hodnoty, přestože byly nalezeny průkazné diference mezi odrůdami. Toto potvrzuje tvrzení Bandurské (2000), která uvádí, že existuje odrůdová rozdílnost, kterou prokázala u různých genotypů u druhu ječmene setého (*Hordeum vulgare*). Pradhan et al. (2013) konstatují, na základě svých poznatků, že obsah prolinu je ovlivněn genetickým základem rostlin, což potvrzují také Koç et al. (2010), kteří sledovali obsah prolinu v různých částech rostlin papriky roční (*Capsicum annuum*). Tento závěr byl také potvrzen v uvedené diplomové práci, při hodnocení vlivu varianty a odrůdy na obsah prolinu. Mezi sledovanými odrůdami byly prokázány statisticky významné rozdíly hodnot Rel%, viz tabulky 2-5. Ali et al., (2008) ve svém pokusu prokázali, že prolin u rostlin kukuřice seté (*Zea mays*) snižuje negativní efekt vlivu vodního deficitu na vitalitu. Tento závěr potvrzen nebyl, protože nebyla potvrzena korelace mezi úrovní hodnoty koncentrace prolinu a hodnotou relativního výtoku elektrolytu Rel%. Uvedený závěr, že obsah prolinu se zvyšuje v případě rostlin, které jsou ovlivněny stresem, ve své práci zmiňuje také Koç et al. (2010). Toto konstatování potvrzují také Pradhan et al. (2013), kteří popisují vliv stresu na řepku a uvádí, že došlo k zvyšování koncentrace prolinu při vyšší intenzitě působícího stresu. Tento závěr byl potvrzen také v případě hodnocení vlivu varianty na juvenilní rostliny máku.



## 6.2 Relativní výtok elektrolytů (Rel%)

Hodnota relativního výtoku elektrolytů se jeví jako relevantní ukazatel pro stanovení úrovně dopadu stresu z vodního deficitu na rostliny (Alline et al., 2009). Výsledky pokusu se shodují s tvrzením Valentoviče et al. (2006), že vlivem vodního deficitu dochází ke zvýšení poškození buněčných membrán, což lze stanovit na základě měření relativního výtoku elektrolytů. Působením vodního deficitu na rostliny dochází k poškození buněk, stejně jako dalšími stresory, což potvrzuje například výzkum Whitlow et al. (1992), a jejich pokusy s vlivem působení stresu na rostliny řepky (*Brassica napus* L.). Podobné výsledky zaznamenali také Hewezi et al (2006) u rostlin slunečnice (*Helianthus annuus* L.). Zaznamenané hodnoty výtoku elektrolytů u juvenilních rostlin máku ukazují trend, podle kterého dochází u rostlin stresovaných vodním deficitem k nárůstu poškození buněk (zvýšení hodnoty Rel%) jako reakce na stres. U rostlin, které jsou vystaveny intenzivnějšímu stresu, jako například ve variantě SS, dochází průměrně k vyššímu relativnímu výtoku elektrolytů, než u rostlin které jsou pod menším tlakem stresu, jako tomu bylo v kontrolní variantě (KK). Tento závěr byl potvrzen. Obdobné výsledky uvádí ve své práci také Kaya et al., (2001) při jejich pokusech s rostlinami špenátu (*Spinacia oleracea*).

Nejvyšší hodnoty, naměřeného relativního výtoku elektrolytů, byly zaznamenány u odrůdy Orbis (99,39 Rel%) ve variantě SS, zatímco nejnižší naměřené hodnoty byly naměřeny v kontrolní variantě (KK) u odrůdy Zeno (2,85 Rel%). Liu et al. (2013) ve své práci uvádí, že ke zvyšování relativního výtoku elektrolytů dochází i při působení stresem z nízkých teplot, kdy se hodnota Rel% zvyšuje s postupným měřením ve všech zkoumaných variantách včetně kontrolní. Například u kontrolní varianty byl mezi 11. a 14. dnem u všech odrůd zaznamenán nárůst a alespoň 3,34 Rel%, což byla hodnota zaznamenaná u odrůdy Redy. Nejvyšší zaznamenaná změna hodnoty Rel% byla zjištěna u odrůdy Opal (16,90 Rel%).

Vliv genotypu na relativní výtok elektrolytu byl v pokusu s juvenilními rostlinami máku potvrzen při multifaktoriální analýze, kdy došlo u jednotlivých variant k nalezení párů diferentních odrůd, viz tabulky 6-9. U vybraných sledovaných odrůd je patrné, že rostliny pozitivně reagují na obnovení závlivky, kdy dochází, až na výjimky, ke snížení relativního výtoku elektrolytů. V pokusu nebylo zaznamenané snížení Rel% při finálním režimu recovery pouze u odrůdy Orbis ve variantě SS, a u odrůd Opal, Zeno a Aplaus u varianty SK, což je v souladu s výzkumem Baji et al. (2001), kteří zkoumali tuto problematiku u rostlin pšenice (*Triticum* sp.).

U rostlin máku byla prokázána rozdílná reakce jednotlivých sledovaných odrůd na variantu pokusu. U varianty SS například dosáhla odrůda Orbis naměřené hodnoty 99,39 Rel% (měřeno 18. den pokusu), zatímco během stejného odběru bylo u odrůdy Marianne naměřeno 53,29 Rel%, což potvrzuje skutečnost, že existuje významný vliv genotyp rostliny. Stejně závěry uvádí Gnanasiri et al. (1990) u rostlin kukuřice seté (*Zea mays*), stresované vodním deficitem. Tvrzení, že genotyp má významný vliv podporují i Mousa et al. (2008), kteří porovnávali vliv stresu z vodního deficitu u dvou genotypů kukuřice seté. Během pokusu bylo zaznamenáno, že u variant KS i SK, tedy variant, které byly alespoň částečně zavlažované, dochází k vyššímu relativnímu výtoku elektrolytů oproti kontrolní variantě KK. Ze sledovaných genotypů vykazovala nejvyšší hodnoty relativního výtoku elektrolytů odrůda Orbis, u které bylo naměřeno ve třech variantách (KK, KS, SS) vždy jedno z nejvyšších měřených Rel% mezi všemi 18 zkoumanými odrůdami. Pokud by byla hodnota Rel% ukazatelem odolnosti vůči stresu, tak by se jako nejodolnější jevila odrůda Aplaus, dále odrůda Major

## 7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo sledovat vliv vodního deficitu na juvenilní rostliny máku setého. Sledovanými parametry byly obsah prolinu a hodnota relativního výtoku elektrolytů. Cílem bylo sledovat fyziologickou variabilitu jednotlivých odrůd máku setého s ohledem na odezvu ke stresu z vodního deficitu. A dále stanovit vliv vodního deficitu na koncentraci prolinu a relativní výtok elektrolytů u juvenilních rostlin máku setého.

Ze zaznamenaných výsledků vyplývá:

1. Nejvyšší naměřené průměrné hodnoty koncentrace prolinu ve vztahu k variantě pokusu byly zaznamenány u rostlin pěstovaných ve variantě SS (2,077 mg.g<sup>-1</sup>). Ve variantě SK byla naměřena nejvyšší hodnota koncentrace 1,267 mg.g<sup>-1</sup> prolinu tedy vyšší než ve variantě KS (919,21 μg.g<sup>-1</sup>). Nejnižší hodnoty byly naměřeny u varianty KK (587,84 μg.g<sup>-1</sup>).
2. Nejvyšší hodnotu koncentrace prolinu ze všech genotypů vykazovala odrůda Albín (2,077 mg.g<sup>-1</sup>) ve variantě s nejvyšší intenzitou stresu (SS). Odrůda Albín měla nejvyšší koncentraci v porovnání s ostatními genotypy i ve variantách SK (1,267 mg.g<sup>-1</sup>) a KS (919,21 μg.g<sup>-1</sup>).
3. Nejnižší hodnoty koncentrace prolinu, v průběhu pokusu, byly ve variantě SS naměřeny u odrůdy Florian (0,00 μg.g<sup>-1</sup>).
4. Nejvyšší hodnoty relativního výtoku elektrolytu Rel% byly zjištěny ve variantě SS u odrůdy Orbis (99,39 Rel%). Vyšší maximální naměřené hodnoty Rel% byly zaznamenány u varianty SK (88,24 Rel%) ve srovnání s variantou KS (82,13 Rel%). U kontrolní varianty KK se vyskytla nejvyšší hodnota relativního výtoku elektrolytu s hodnotou 92,93 Rel%.
5. Odrůda, která měla průměrně nejnižší hodnoty Rel% tedy utrpěla v průměru nejnižší poškození na buněčné úrovni je odrůda Major. Naopak odrůda s nejvyšším poškozením byla odrůda Albín.
6. Odrůda Albín měla ve variantě SS nejvyšší průměrnou koncentraci prolinu v průběhu celého pokusu, ze všech zkoumaných odrůd a zároveň měla nejvyšší hodnoty relativního výtoku elektrolytů Rel%.
7. Hypotéza, založená na tvrzení, že budou vybrané genotypy máku setého (*Papaver somniferum* L.), různě reagovat na působení stresu vlivem vodního deficitu nebyla vyvrácena.

8. Nebyla vyvrácena hypotéza o projevu rozdílných reakcí mezi genotypy ve sledovaných fyziologických charakteristikách vlivem působení vodního deficitu.
9. Jako odrůda nejvíce tolerantní k suchu s ohledem na nejnižší průměrné naměřené hodnoty Rel% po celou dobu pokusu ve variantě SS byla vyhodnocena odrůda Major.
10. Odrůdou, která je nejméně tolerantní k suchu, byla v našem pokusu ve variantě odrůda Albín, u které jsme v průběhu pokusu zaznamenali nejvyšší průměrné hodnoty Rel% ze všech zkoumaných odrůd.
11. Na základě výsledků vyplývá, že odrůda s velmi nízkým udávaným obsahem Albín patřila mezi odrůdy, které snášely stresové podmínky prokazatelně nejhůř. Zatímco odrůda Major, která byla vyhodnocena jako nejodolnější odrůda, je běžně pěstovaná, díky svému vyššímu obsahu morfinu, i pro farmaceutické využití. Avšak přímá korelace mezi obsahem morfinu a odolností vůči stresu nebyla prokázána.

## 8. Zdroje:

- Ahuja, I., De Vos, R., C., H., Bones, A., M., Hall, R., D., 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in Plant Science*. Roč 15. č. 12. S. 664-675.
- Ali, Q., Ashraf, M., Shahbaz, M., Humera, H. 2008. Ameliorating effect of foliar applied proline on nutrient uptake in water stressed maize (*Zea mays* L.) plants. *Pakistan Journal of Botany*. 2008;40:211-9.
- Allinne, C., Maury, P., Sarrafi, A., Grieu, P. 2009. Genetic control of physiological traits associated to low temperature growth in sunflower under early sowing conditions. *Plant Science*. 177. 349-359.
- Baji, M., Kinet, J. M., Lutts, S. 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*. 100. 1-10.
- Bandurska, H. 2000. Does proline accumulated in leaves of water deficit stressed barley plants confine cell membrane injury? I. Free proline accumulation and membrane injury index in drought and osmotically stressed plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 22 (4). p. 409-415.
- Baranyk, P., Balík, J., Hájková, M., Havel, J., Kazda, J., Lošák, T., Málek, B., Markytán, P., Plachká E., Richter, R., Soukup, J., Stražil, Z., Šaroun, J., Škeřík, J., Šmirous, P., Štranc, P., Volf, M., Vrbovský, V., Zehnálek, P., Zelený, V. 2010. *Olejníny*. Profi Press. Praha. 206 s. ISBN: 987-80-86726-28-0.
- Barnett, N., M., Naylor, A., W. 1966. Amino Acid and protein metabolism in bermuda grass during water stress. *Plant Physiology*. 1966 Sep; 41(7):1222-30.
- Bates L, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, roč. 39, č.1. s 205-207.
- Bechyně, M. 1993. *Základy pěstování máku*. Institut výchovy a vzdělávání MZ ČR v Praze, 36 s. ISBN: 80-7105-037-7.
- Bechyně M., Novák J. 1987. *Biologie máku a systém jeho produkce*. VŠZ. Praha. 92s.
- Bechyně, M., Kadlec, R., Vašák, J. 2001. *Mák*. Agrospoj. Praha. s. 127. ISBN: 80-239-4237-9.
- Bechyně, M., Novák, J., Vašák, J., Zupalová, H. 2010. *Biologie máku, požadavky na prostředí, ideotyp, alkaloidy*. In: Kolektiv autorů pod vedením Jana Vašáka (eds.). *Mák*. Powerprint. Praha. s.33-64. ISBN: 978-80-904011-8-1.
- Bláha, L., Hnilička, F. (ed.). 2011. *Aktuální kapitoly z fyziologie rostlin a zemědělského výzkumu 2011*. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. ISBN: 978-80-7427-069-7.

Blaschek, W., Ebel, S., Hilgenfeldt, U., Holzgrabe, U., Reichling, J., et al, 2008, Hagers Enzyklopädie der Arzneistoffe und Drogen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 20 000 s. ISBN 978-3804723849.

Campos, P., S., Quartin, V., Ramalho, J., C., Nunes, M., A. 2003. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of Coffea sp. Plants. Journal of Plant Physiology. Roč. 160, č.3. s283-292. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161704704046>.

Cihlář, P., Tomášek, J. Zakládání porostu máku a regulace plevelů [online]. Agromanuál. 27.únor 2018 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/zakladani-porostu-maku-a-regulace-plevelu>>.

Cihlář, P., Tomášek, J., Vašák, J. Zakládání porostů máku - známé skutečnosti a možnosti podpory vzcházení rostlin [online]. Agromanuál. 27.březen 2017 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/zakladani-porostu-maku-zname-skutecnosti-a-moznosti-podpory-vzchazeni-rostlin>>.

Cihlář, P., Vašák, J., Vlatný, P. 2012: Vybrané výsledky z pokusů s mákem v Červeném Újezdě v roce 2011, Makový občasník 2012.

Delauney, A., J., Verma, D., P., S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. Plant Journal. 1993;4:215-223.

Desgagné-Penix I., Farrow S. C., Cram D., Nowak J., Facchini P. J. (2012): Integration of deep transcript and targeted metabolite profiles for eight cultivars of opium poppy. Plant molecular biology, 79(3), str. 295-313.

Dobos, J., Bernáth, J. 1999. Poppy, The Genus Papaver. CRC press, Florida. 366.s. ISBN: 9057022710.

Draper, S., R. 1972 Amino-acid changes associated with low-temperature treatment of *Lolium-perenne*. Phytochemistry. 1972;11:639-641.

Enspyro, Encyklopedie psychotropních rostlin [online]. Enspyro Biotox. 2006 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <<http://www.biotox.cz/enpsyro/pj3rpas.html>>.

Fayez, A., K., Bazaid, S., A. 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Leden 2014. roč. 13. č. 1. S 45-55.

Fábry, A., Schreier, J., Šinský, T., Škaloud, V., Štaud, J., Vašák, J. 1990. Jarní olejniny. Ministerstvo zemědělství a výživy ČR. Č. Budějovice. s. 241. ISBN: 8070840269.

Fábry, A., Bartoška, J., Bechyně, M., Janovec, J., Kadlec, T., Kosek, Z., Kovačik, A., Kohout, V., Kutina, J., Novák, J., Malěř, J., Pawlica, R., Schreier, J., Souček, J., Sýkora, L., Šedivý, J.,

- Škaloud, V., Tábořský, V., Vašák, J., Vincenc, J., Voškeruša, J., Zbuzek, B., Zukalová, H. 1992. Olejníny. Ministerstvo zemědělství ČR. Praha. s. 419. ISBN: 80-7084-043-9.
- Gelová, Z., Hoopen, P., Novák, O., Motyka, V., Pernisová, M., Dabravolski, S., Didi, V., Tillack, I., Oklešťková, J., Strnad, M., Hause, B., Haruštiaková, D., Conrad, U., Janda, L., Hejátko, J., 2018. Antibody-mediated modulation of cytokinins in tobacco: organ-specific changes in cytokinin homeostasis. *Journal of Experimental Botany*. roč. 69. č. 3 s 441-454.
- Gnanasiri, S., P., Hirohumi, S., Kounosuke, F., Shoitsu, O. 1990. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by phosphorus nutrition under stress in maize. *Soil Science and Plants Nutrition*. roč. 36 (4). 661-666.
- Hanson, A. D., Nelsen, C. E., Everson, E. H. 1977. Evaluation of free accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. *Crop Science*. 17. p. 720-726.
- Handa, S., Bressan, R., A., Handa, A., K., Carpita, N., C., Hasegawa, P., M. 1983. Solutes contributing to osmotic adjustment in cultured plant cells adapted to water stress. *Plant Physiology*. 1983 Nov; 73(3):834-43.
- Hare, P., D., Cress, W., A. 1997. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*. Kluwer Academic Publishers roč 21. č. 2.
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M., N., Wani, A., S., Pitchel, J., Ahmad, A. 2012. . roč 7.
- Hejný, S., Slavík, B., Čvančara, A., Dvořáková, M., Hrouda, L., Husar, Š., Chrtěk, J., Chrtková, A., Kovanda, M., Křisa, B., Kubát, K., Ložek, V., Moravec, J., Neuhausl, R., Osvačilová, V., Skalická, A., Skalický, V., Slavíková, Z., Smejkal, M., Sutorý, K., Šourková, M., Tomšivíc, P., Zelený, V. 1988. Květena České socialistické republiky 1. Academia. Praha. s. 557. ISBN: (80-200-0643-5).
- Hewezi, T., Leger, M., El Kayal, W., Gentzittel, L. 2006. Transcriptional profiling of sunflower plants growing under low temperatures reveals an extensive down-regulation of gene expression associated with chilling sensitivity. *Journal of Experimental Botany*. 57. 3109-3122..
- 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.
- Holá, D., Benešová, M., Haisel, D., Hnilička, F., Hniličková, H., Honnerová, J., Kočová, M., Kučera, T., Rothová, O., Procházková, D., Wilhelmová, N. 2009. Fyziologické a biochemické parametry inbredních a hybridních genotypů kukuřice vystavených vodnímu deficitu. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2009. 5. Březen 2009. s. 130 - 135. ISBN: 978-80-213-1874-8.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Perena, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*. 30 (3). p. 239 - 264.

- Chu, T., M., Aspinall, D., Paleg, L., G. 1974. Stress Metabolism. Temperature Stress and the Accumulation of Proline in Barley and Radish. *Australian Journal of Plant Physiology* roč.1(1) 87 - 97 .
- Jager, C. E., Symons, G. M., Ross, J. J., Reid, J. B. 2008. Do brassinosteroids mediate the water stress response? *Physiologia Plantarum*. 113 (2). 417-425.
- Jahodář L. (2006): *Farmakobotanika, semenné rostliny*, Karolinum Praha, 258 s ISBN: 80-246-1225-9.
- Jirásek, V., Starý, F. 1986. *Kapesní atlas léčivých rostlin*. Státní pedagogické nakladatelství. Praha. 319 s.
- Jirásek V., Zadina R., Blažek Z. (1957): *Naše jedovaté rostliny*. 1.vyd. Praha: ČSAV - sekce biologická, str. 112-114; 234-239.
- Kannangara, T., Seetharana, N., Durley, P. C., Simpson, G. M. 1983. Drought resistance of *Sorghum-bicolor*.6. Changes in endogenous growth - regulators of plants grown across an irrigation gradient. *Canadian Journal of Plant Science*. 63 (1). 147-155.
- Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H. 2001. The effects of high salinity (NaCl) and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach. *Bulgarian journal of plant fysiology*. Vol. 27. p. 47-59. Také dostupné z: <[http://www.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-27/01\\_3-4\\_47-59.pdf](http://www.bio21.bas.bg/ipp/gapbfiles/v-27/01_3-4_47-59.pdf)>.
- Kubánek, V. 2008: *Konopí a mák (pěstování, výrobky, legislativa)*. 1. vydání. Brno: Tribun EU s.r.o., 152 s. ISBN: 978-80-7399-438-9.
- Kuchtová, P. *Ekologické zemědělství - Mák setý v ekologickém zemědělství* [online]. *Zemědělec* 36/2012. [cit. 2018-03-01]. Dostupné z <[https://aa.ecn.cz/img\\_upload/8d8825f1d3b154e160e6e5c97cf9b8b3/zemedelec\\_36\\_2012\\_mak.pdf](https://aa.ecn.cz/img_upload/8d8825f1d3b154e160e6e5c97cf9b8b3/zemedelec_36_2012_mak.pdf)>.
- Kuchtová, P., Hájková, M., Havel, J., Kazda, J., Plachká, E., Dvořák, P., 2013. *Pěstitelská technologie máku pro ekologické zemědělství*. ČZU v Praze, katedra rostlinné výroby FAPPZ. Praha. 53 s. ISBN: 978-80-213-2429-9
- Kuhn, V. 1936. *Mák jako olejnina a rostlina narkotická*. Praha. Novina, 127 s.
- Kulovaná, E. *Agrotechnika máku* [online]. *Úroda*. 11.září 2001 [cit. 2018-02-02]. Dostupné z <<http://uroda.cz/agrotechnika-maku/>>.
- Kulovaná, E. *Sklizeň makoviny* [online]. *Úroda*. 13.září 2001 [cit. 2018-02-02]. Dostupné z <<http://uroda.cz/sklizen-makoviny/>>.
- Kůdela, V., Ackermann, P., Prášil, I., T., Rod, J., Veverka, K. 2013. *Abiotikózy rostlin: poruchy, poškození a poranění*. Academia. Praha. *Živá příroda*. 568 s. ISBN: 978-80-200-2262-2.



- Koç, E., İlek, C., Üstün, A., S. 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. *G.U. Journal of Science*, Ankara, 6 s
- Kolařík, P., Rotrekl, J. Hmyzí škůdci máku [online]. *Agromanuál*. 9.květen 2014 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z <<https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/hmyzi-skudci-maku-krytonosec-makovicovy-a-bejlmorka-makova/>>.
- 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. *Journal of Proteomics*. 2011. Roč. 74, č.8, s 1301-1319
- Larcher, W. 2001. *Ökophysiologie der Pflanzen*. Eugen Ulmer-Verlag, Stuttgart. 408 s. ISBN: 978-3-8252-8074-1
- Lee E. J., Hagel J., Facchini P. 2013: Role of the phloem in the biochemistry and ecophysiology of benzylisoquinoline alkaloid metabolism. *Frontiers in plant science*, 4, str. 182
- Levitt, J. 1980: *Responses of plants to environmental stresses: water, radiation, salt and other stresses*. Academic Press, New York, 1980. 350 s. ISBN: 0124455026.
- Liu, D., Sui, G., He, Y., Liu, J., Qin, W. 2013. Effect of ice - temperature and spermidine on chilling sensitivity of pepper. *Food and nutrition sciences*. roč. 4 č. 2, s. 156-162
- Lugan, R., Niogret, M., F., Leport, L., Guégan, J., P., Larher, F., R., Savouré, A., Kopka, J., Bouchereau, A. 2010. Metabolome and water homeostasis analysis of *Thellungiella salsuginea* suggests that dehydration tolerance is a key response to osmotic stress in this halophyte. *Plant Journal*. 2010 Oct; 64(2):215-29.
- Mahajan, S., Tuteja N. 2005. Cold, salinity and drought stresses: An overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2005 (444). p. 137-159
- Maksymiec, W., 2007. Signaling responses in plants to heavy metal stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2007 roč. 29. č.3 s 177-188
- Mani, S., Van De Cotte, B., Van Montagu, M., Verbruggen, N. 2002. Altered levels of proline dehydrogenase cause hypersensitivity to proline and its analogs in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. 128 (1). p. 73-83
- Marečková, J., Orlíková, B., Minařík, J., Koryntová, G., Justinová, J., Kubů, J. 2007. *Drogy: otázky a odpovědi*. Portál s.r.o. Praha. 198 s. ISBN 978-80-7367-223-2
- Matysik, J., Alia., B., Bhalu, B., Mohanty, P. 2002. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*. 2002; roč. 82: č. 5. S 25-32.
- Míchal, I. 1994. *Ekologická stabilita. Veronica*. Brno. 276 s. ISBN: 8085368226

- Moussa, H. R., Abdel- Aziz, S. M. 2008. Comparative response of drought tolerance and drought sensitive maize genotypes to water stress. *Australian Journal of Crops Science* 1(1). 31-36.
- Mousavi, E. A., Kalantari, K. M., Jafari, S. R. 2009. Change of Some Osmolytes Accumulation in Water- stresses Colza (*Brassica napus* L.) as Affected by 24 - Epibrassinolid. *Iranian Journal of Science and Technology Transaction A - Science*. 33 (A1). 1-11.
- Munns, R., Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 2008; 59():651-81.
- Nanjo, T., Kobayashi, M., Yoshiba, Y., Sanada, Y., Wada, K., Tsukaya, H., Kakubari, Y., YamaguchiShinozaki, K., Shinozaki, K. 1999. Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*. 18 (2). p. 185-193.
- Nielsen, T. E., Orcutt, D. M. 1996. *The psysiology of plants under stress*. John Wiley & Sons. New York. 689 p. ISBN: 0471031526
- Novák, J. 2007. *Jedovaté rostliny kolem nás*. Grada Publishing a.s. Praha. 176 s. ISBN 978-80-247-1549-0.
- Ondřej, M. 1992. *Genové inženýrství kulturních rostlin*. Academia. Praha. 232 s. ISBN: 802000310X.
- Ogweno, J. O. , Song, X. S., Shi, K., Hu, W. H., Mao, W. H., Zhou, Y. H., Yu, J. Q., Nogues, S. 2008. Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *Journal of Plant Growth Regulation*. 27 (1). 49-57.
- Özcan, M., M., Atalay, C. Determination of seed and oil properties of some poppy (*Papaver somniferum* L.) varieties. *Grasas y aceites*. 2006, vol. 57, No. 2, p. 169-174. ISSN: 0017-3495.
- Pedranzani, H., Sierra-de-Grado, R., Vigliocco, A., Miersch, O., Abdala G. 2003. Cold and water stresses produce changes in endogenous jasmonates in two populations of *Pinus pinaster* Ait. *Plant Growth Regul.* 2003; 52:111-6. doi: 10.1007/s10725-007-9166-2.
- Peng, Z., Lu, Q., Verma, D., P., S. 1996. Reciprocal regulation of  $\Delta^1$ -pyrroline-5-carboxylate synthetase and proline dehydrogenase genes controls proline levels during and after osmotic stress in plants. *Molecular and General Genetics MGG*. roč 253. č. 3.
- Potměšilová, J. Mák - neuvěřitelný vzestup, velký pád [online]. *Úroda*. 11.ledna 2013 [cit. 2018-02-02]. Dostupné z <<http://zemedelec.cz/mak-neuveritelny-vzestup-velky-pad-2/>>.

Pradhan, S., K., Gupta, R., C., Kumar, M. 2013. Effect of 24-Epibrassinolide on lipid peroxidation and proline in three Brassica species under temperature stress. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 9 (3).

Procházka, S. 1998. *Fyziologie rostlin*. Academia. Praha. ISBN 80-200-0586-2

Procházka, P., Smutka, L. Czech Republic as an Important Producer of Poppy Seed. *Agris On-Line Papers in Economics & Informatics*. 2012, roč. 4, č. 2, s. 13-47. ISSN 18041930.

Rotrekl, J. Moření osiva máku [online]. Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r.o. 2006 [cit. 2017-12-12]. Dostupné z <[http://www.vuvt.cz/content/files/pub\\_06/rot\\_06\\_01.pdf/](http://www.vuvt.cz/content/files/pub_06/rot_06_01.pdf/)>.

Rožnovský, J., Litschmann, T., Středa, T., Středová, H., (eds). 2014 Extrémy oběhu vody v krajině. Mikulov, 8. - 9.4. 2014, ISBN 978-80-87577-30-1

Sanchez, D., H., Siahpoosh, M., R., Roessner, U., Udvardi, M., Kopka J. Plant metabolomics reveals conserved and divergent metabolic responses to salinity. *Plant Physiology*. 2008 Feb; 132(2):209-19.

Singh, T. N., Paleg, L. G., Aspinall, D. 1973. Stress metabolism I. Nitrogen metabolism and growth in the barley plant during water stress. *Australian Journal of Biological Science*. 26. p. 45-46.

Smirnoff, N., Cumbes, Q., J. 1989. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. *Phytochemistry*. 1989; roč. 28, č. 4.

Strnad, M. Zakládání The aromatic cytokinins [online]. *Physiologia Plantarum*. 28.duben 2006 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01052.x>>.

Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. Semináře pro pěstitelů máku, slunečnice a řepky olejné s exkurzí na polní přehlídky odrůdových pokusů [online]. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin. [cit. 2018-01-02] Dostupné z: <<http://www.spzo.cz/wp-content/uploads/2013/05/Sbornik-mak-slunecni2013.pdf>> ISBN 978-80-87065-46-4

Szabados, L., Saviouré, A. 2010. Proline: a multifunctional amino acid [online]. *Trends in plant science*, ročník 15, č.: 2. [cit. 2018-01-02] Dostupné také z: <[http://www.plantstress.com/articles/up\\_general\\_files/Proline%202010.pdf](http://www.plantstress.com/articles/up_general_files/Proline%202010.pdf)>

Šebánek, J., Čížková, R., Klíčová, Š. 1997. Růstové regulátory a rezistence vůči suchu, nepříznivým teplotám a imisím. In: Procházka, S., Šebánek, J., Macháčková, I., Krekule, J., Kamínek, M., Borkovec, V., Hradilík, J., Havel, L., Ondřej, M., Psota, V., Luxová, M., Rauscherová, L., Sladký, Z., Vizárová, G., Čížková, R., Klíčová, Š., Rozkošová, V. *Regulátory rostlinného růstu*. Academia. Praha. s. 350-365. ISBN:8020005978.

Šebánek, J. 2001. Stres. In: Mareček, F., Šebánek, J., Pazourek, J., Vodičková, V., Zmrhal, Z., Rod, J., Pikálek, P., Pekárková, E., Nováková, J., Šedivý, J., Kolář, L., Hron, F., Hadač, E., Coufal, V., Bečvářová, V., Haš, S., Blažek, J., Moravec, J., Obdržálek, J., Kraus, V.,

Mareček, J., Starý, F., Šašek, V., Kyzlink V., Kopec, K., Valíček, P., Zelený, V., Hieke, K., Hurych, V., Tempír, Z. (edit.). Zahradnický slovník naučný 5. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 685 s. ISBN: 8072710753.

Škarpa, P., Richter, R., Lošák, T. Výživa a hnojení potravinářského máku [online]. Úroda. 11. ledna 2013 [cit. 2018-01-04]. Dostupné z <<http://zemedelec.cz/vyziva-a-hnojeni-potravinarskeho-maku-2/>>.

Tamayo, P., R., Bonjoch, N. P. 2001. Free proline quantification. In Handbook of Plant Ecophysiology. Také dostupné z : [https://www.researchgate.net/profile/Nuria\\_Pedrol/publication/226689552\\_Free\\_Proline\\_Quantification/links/56a0e6a108ae2c638ebe0aea/Free-Proline-Quantification.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Nuria_Pedrol/publication/226689552_Free_Proline_Quantification/links/56a0e6a108ae2c638ebe0aea/Free-Proline-Quantification.pdf)

Tarkowski, P., Doležal, K., Strnad, M. 2004. Analytické metody studia cytokininů. Chemické listy. 98: 834-841.

Theocharis, A., Clément, Ch., Barka, E., A. 2012. Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures. Planta, France, 15 s.

Usadel, B., Bläsing, O., E., Gibon, Y., Poree, F., Höhne, M., Günter, M., Trethewey, R., Kamlage, B., Poorter, H., Stitt, M. 2008. Multilevel genomic analysis of the response of transcripts, enzyme activities and metabolites in Arabidopsis rosettes to a progressive decrease of temperature in the non-freezing range. Plant Cell Environ. 2008 Apr; 31(4):518-47.

Valentovič, P., Luxová, M., Kolárovič, L., Gašparíková, O. 2006. Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant, Soil and Environment. 52 (4). 186-191.

Vašak, J., Cihlář, P., Zukalová, H., Doležalová, J., Kuchtová, P., Pšenička, P.. 2010. Mák. Powerprint. Praha. s. 352. ISBN: 978-80-904011-8-1.

Voškeruška, J. a kol. 1965. Pěstování olejnin v ČSSR. Praha: Státní Zemědělské Nakladatelství. 327 s.

Whitlow, T., H., Bassuk, N., L., Ranney, T., G., Reichert, D., L. An Improved Method for Using Electrolyte Leakage to Assess Membrane Competence in Plant Tissues. Plant Physiology. 1992 (98). s 198-205.

Wright, S. T. C. 1977. The relationship between leaf water potential  $\psi$  leaf and the levels of abscisic acid and ethylene in excised wheat leaves. Planta. 134 (2). 183-184.

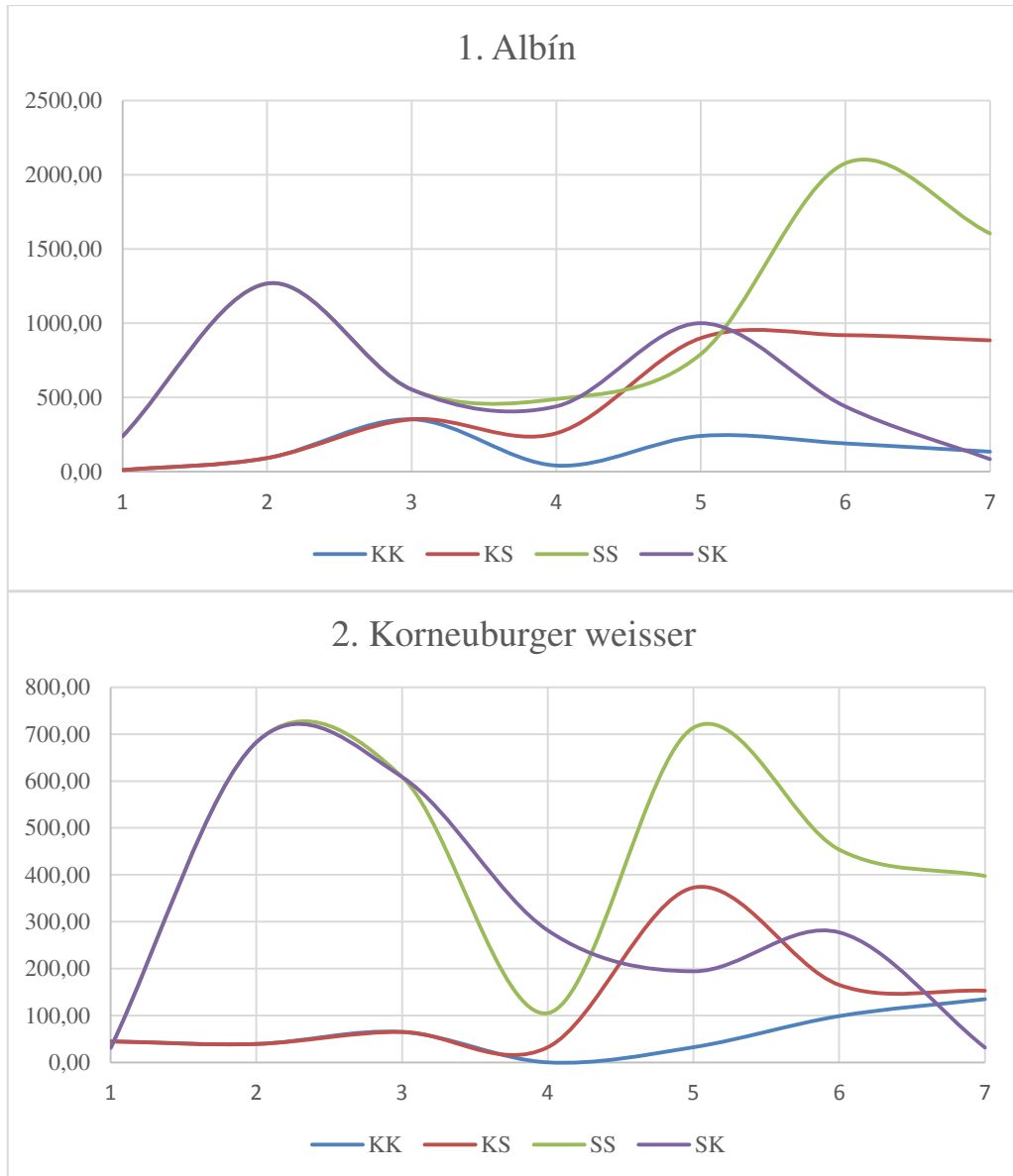
Yang, X., E., Jin, X., F., Feng, Y., Islam, E. 2005. Molecular mechanisms and genetic basis of heavy metal tolerance/hyperaccumulation in plants. Journal of Integrative Plant Biology. Roč 47, č. 9, s 1024-1034

## 9. Přílohy:

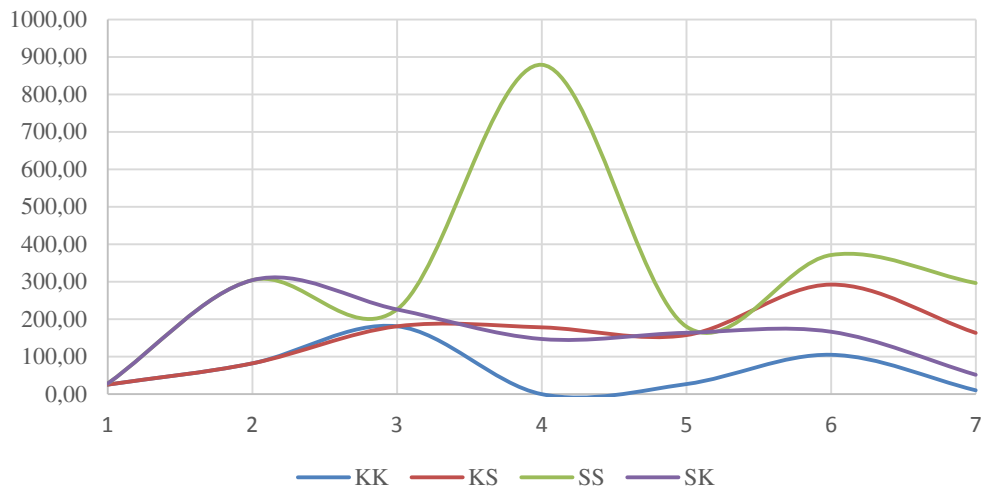
### 9.1 Grafy jednotlivých odrůd

#### 9.1.1 Grafy prolin

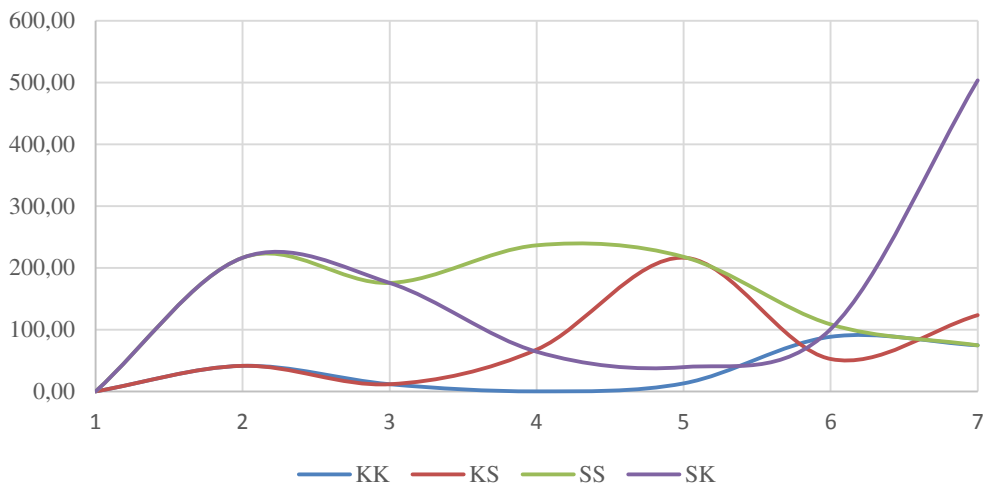
Grafy zobrazují hodnotu prolinu v  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  v průběhu pokusu



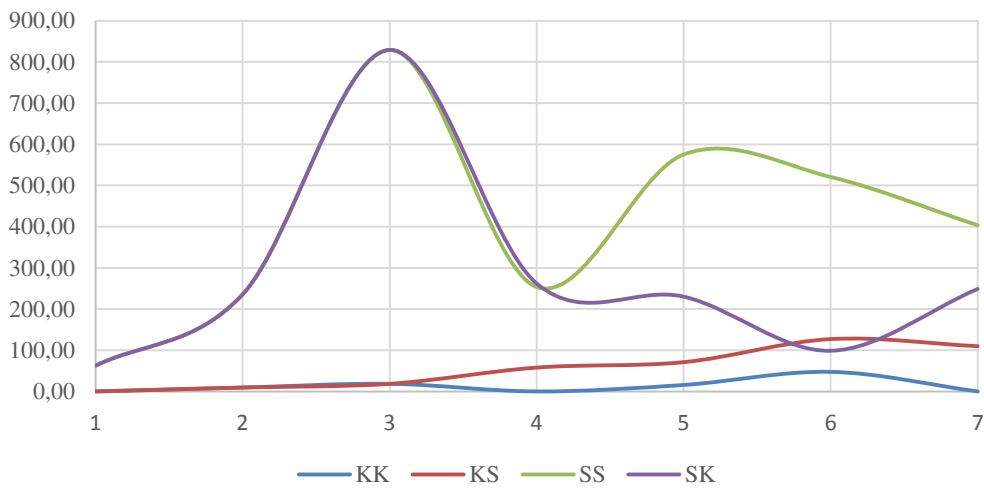
### 3. Tatranský



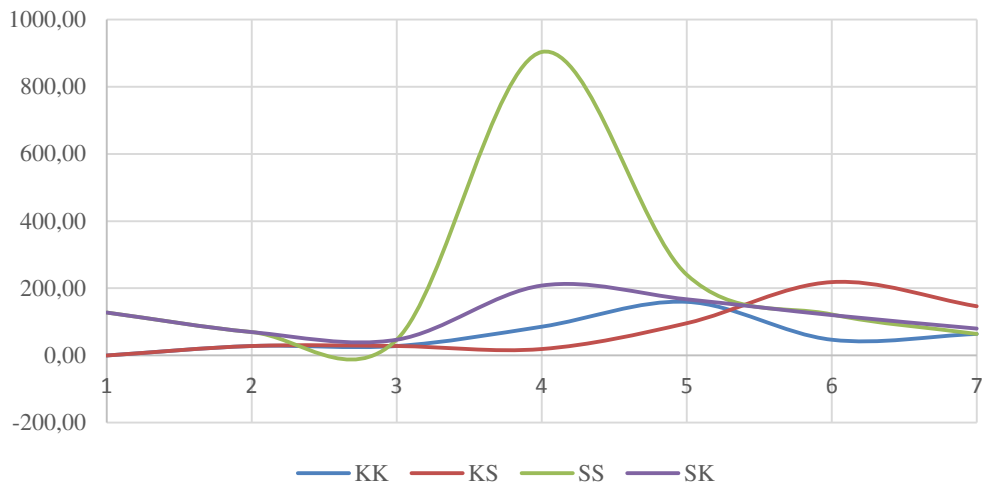
### 4. Florian



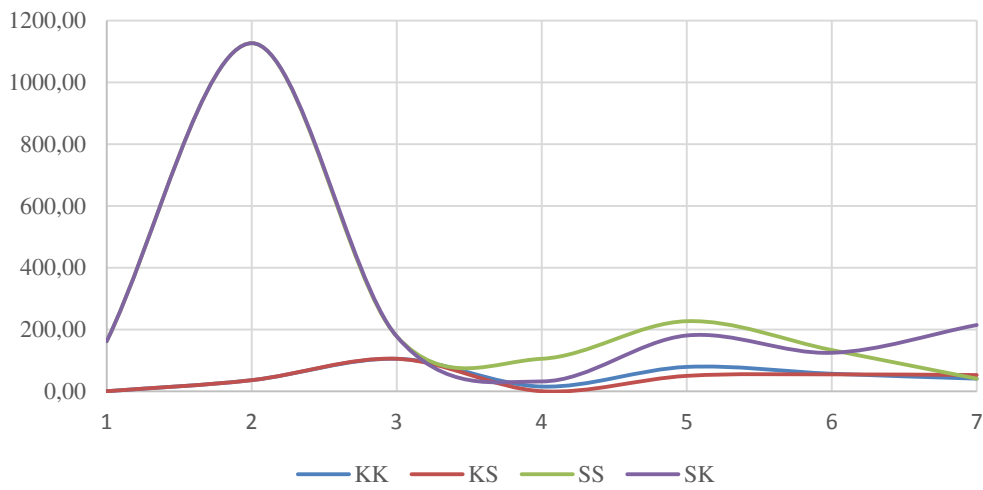
### 5. Lazur



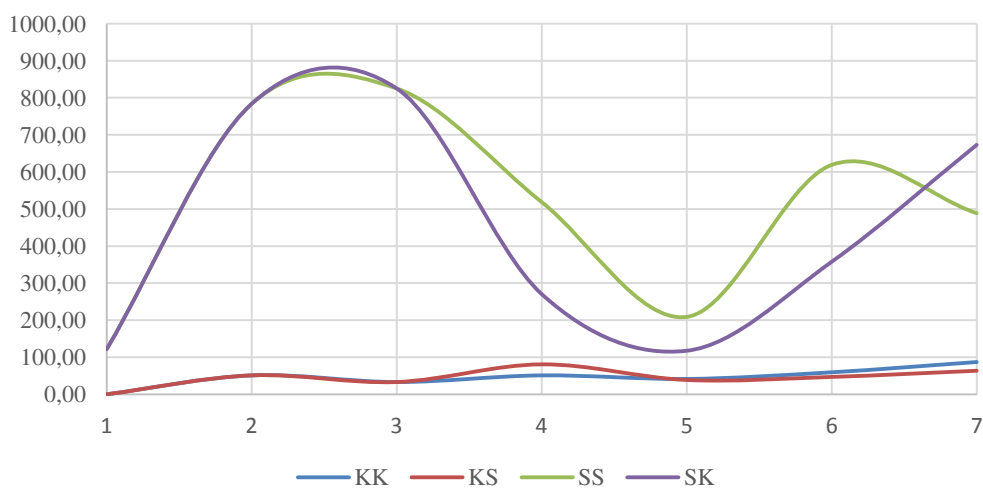
### 6. Opal



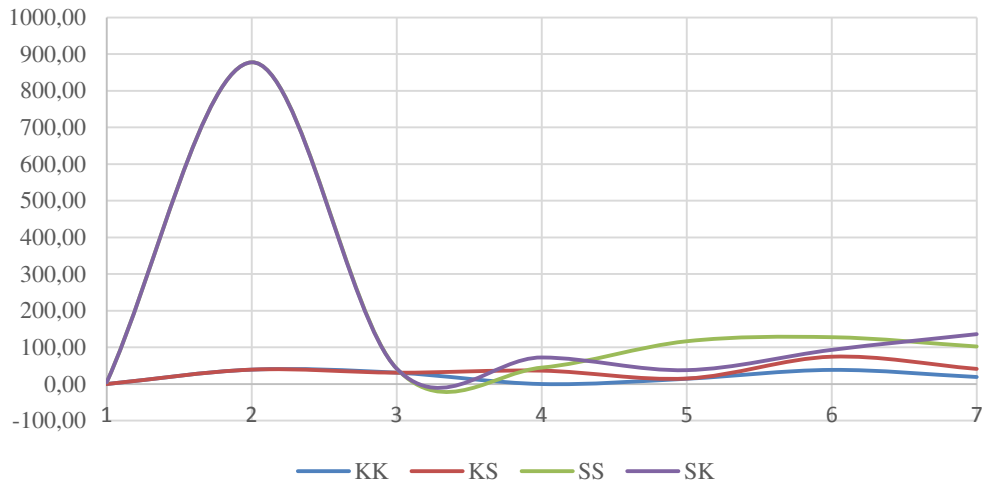
### 7. Aplaus



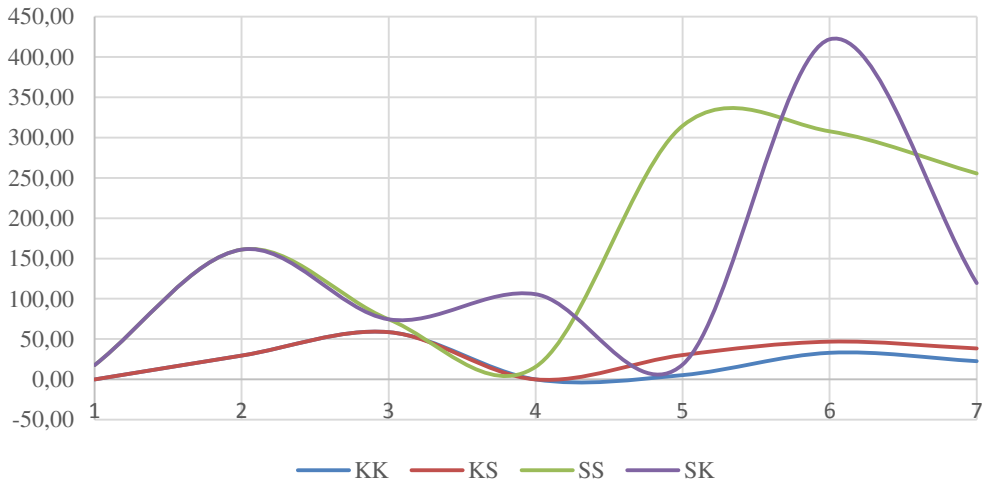
### 8. Zeno



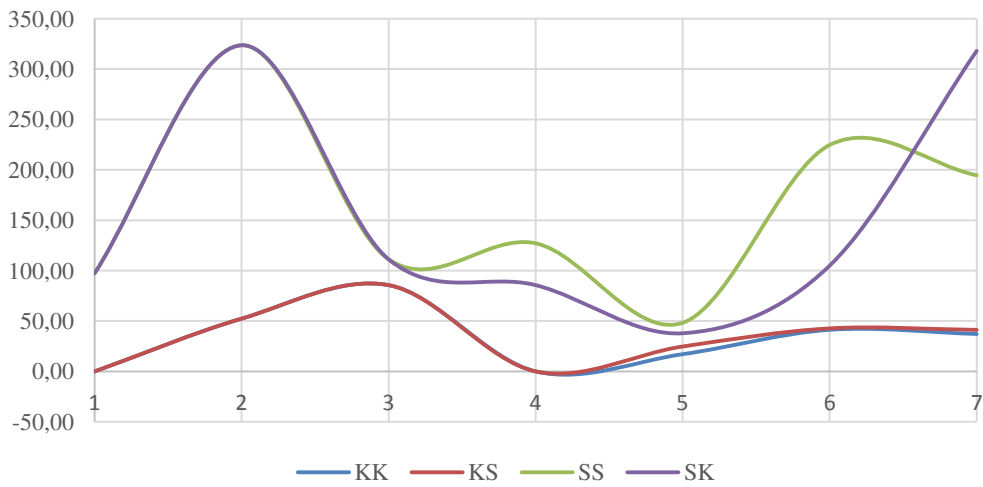
### 9. Postomi



### 10. Opex

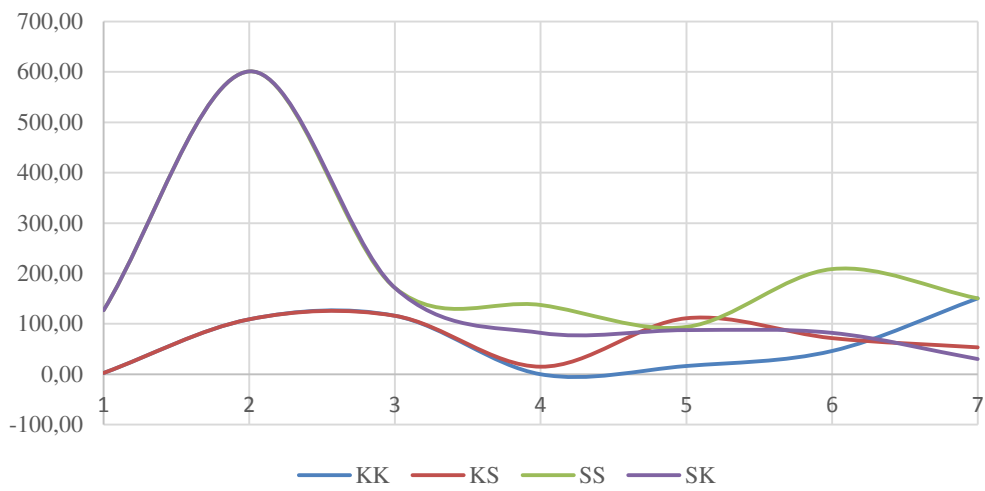


### 11. Orfeus

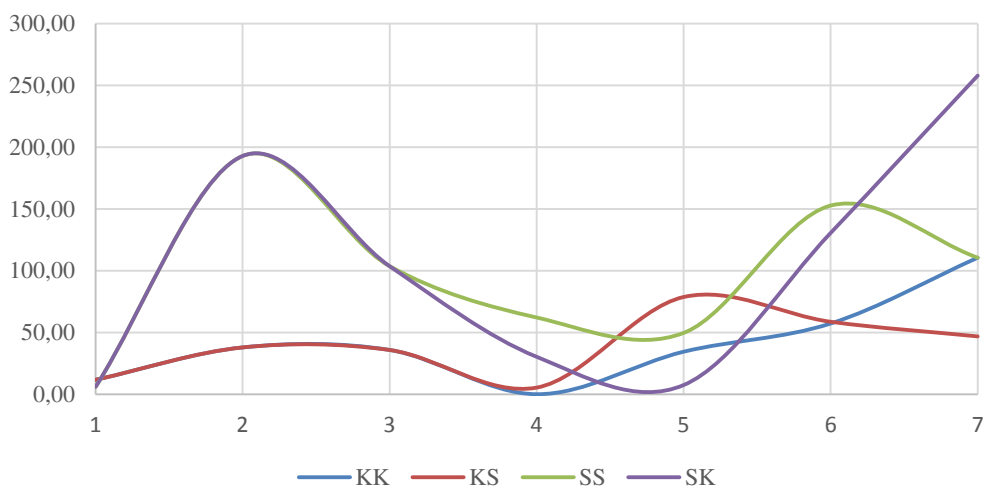




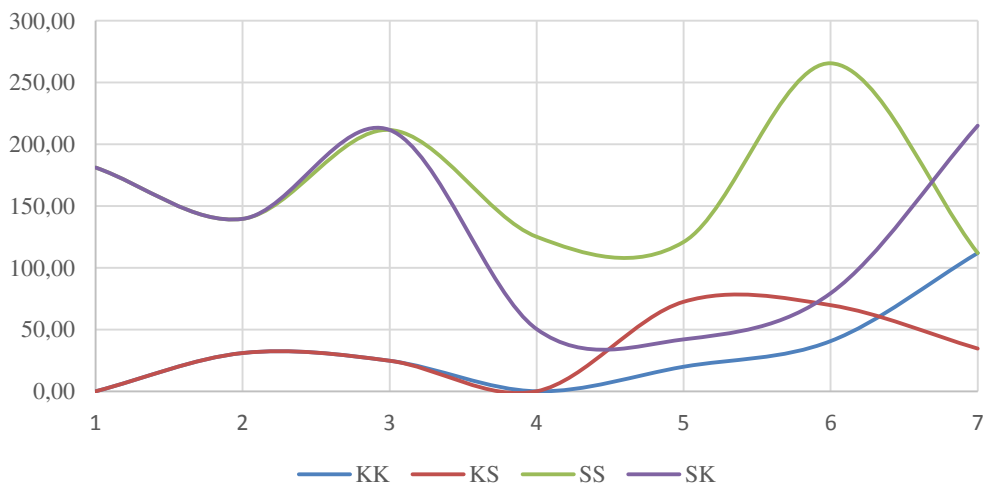
### 12. Mariane



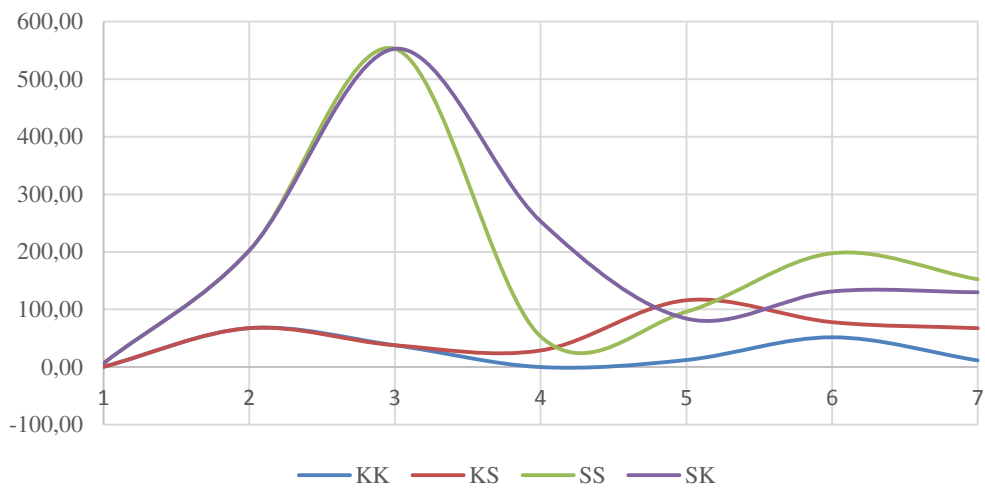
### 13. Maratón



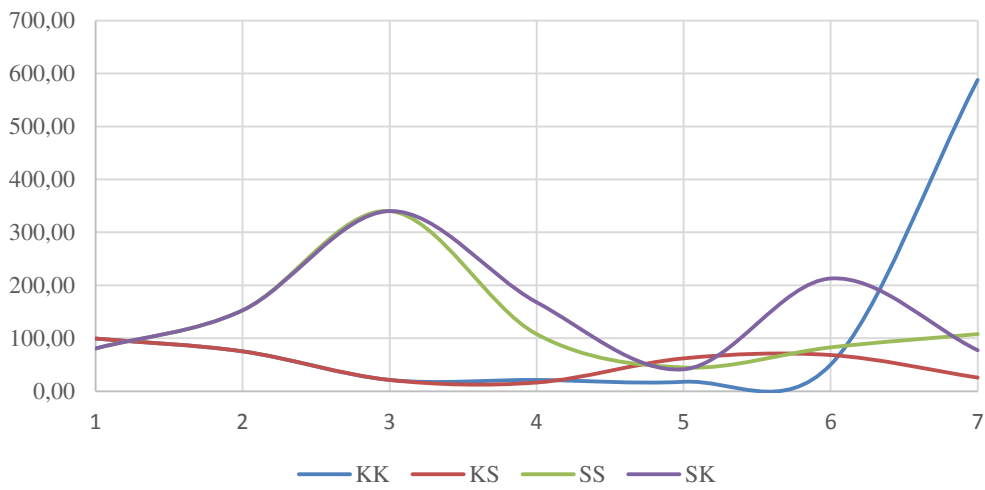
### 14. Major



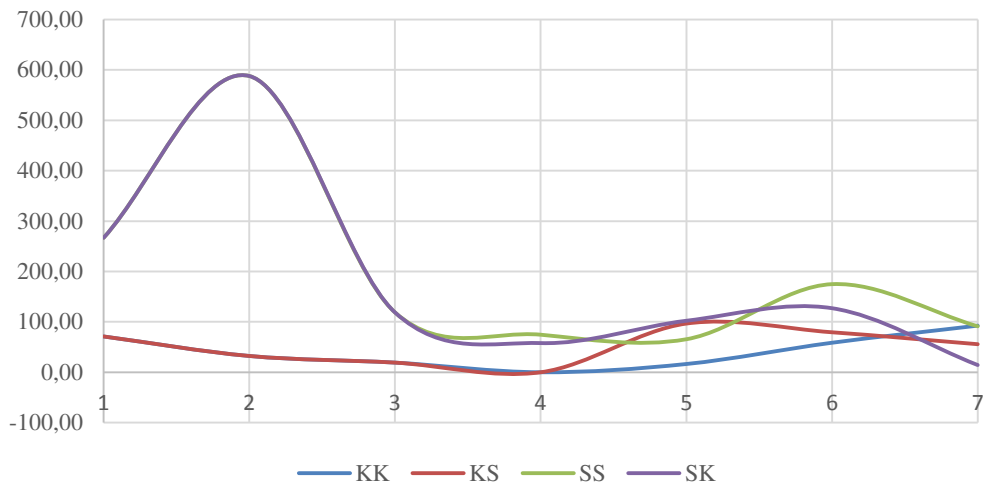
### 15. Orbis



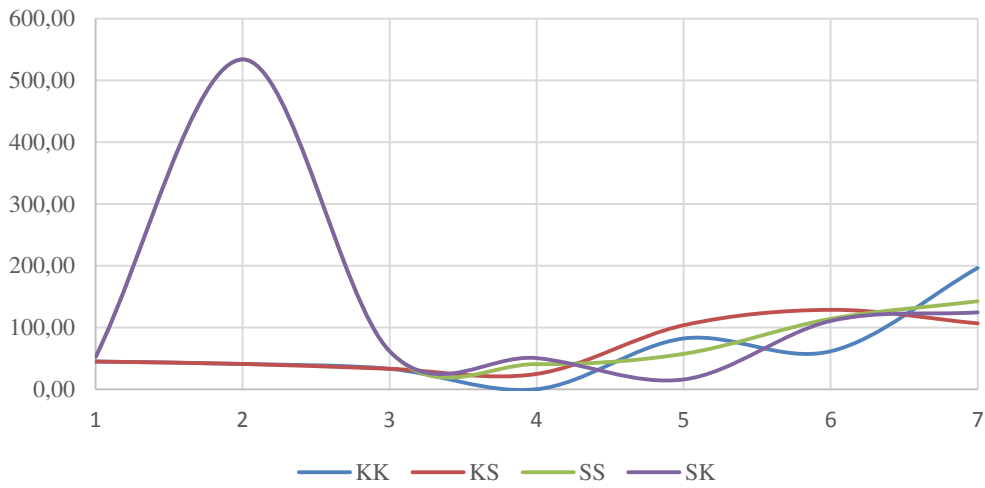
### 16. Onyx



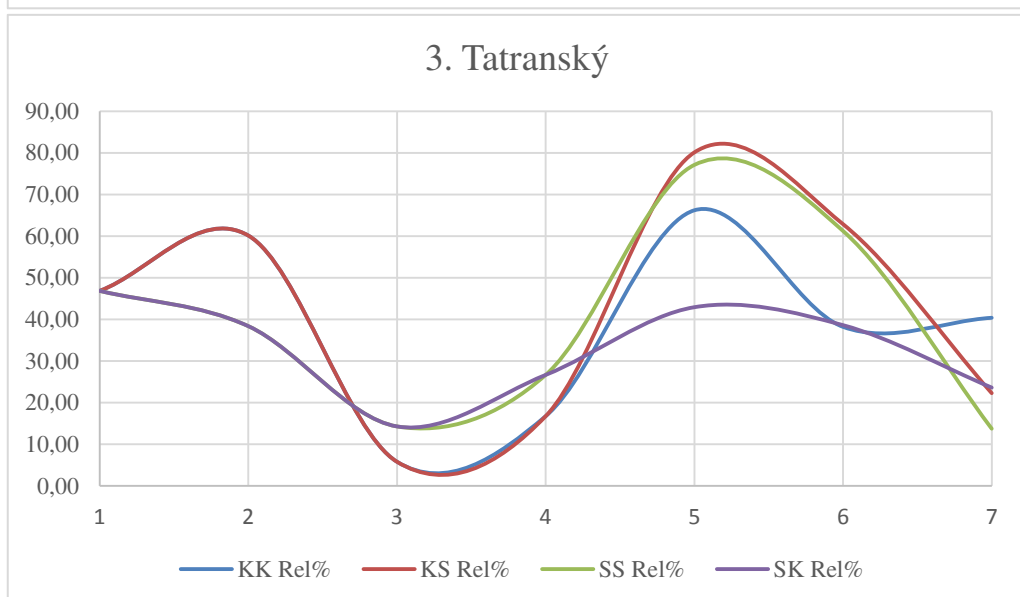
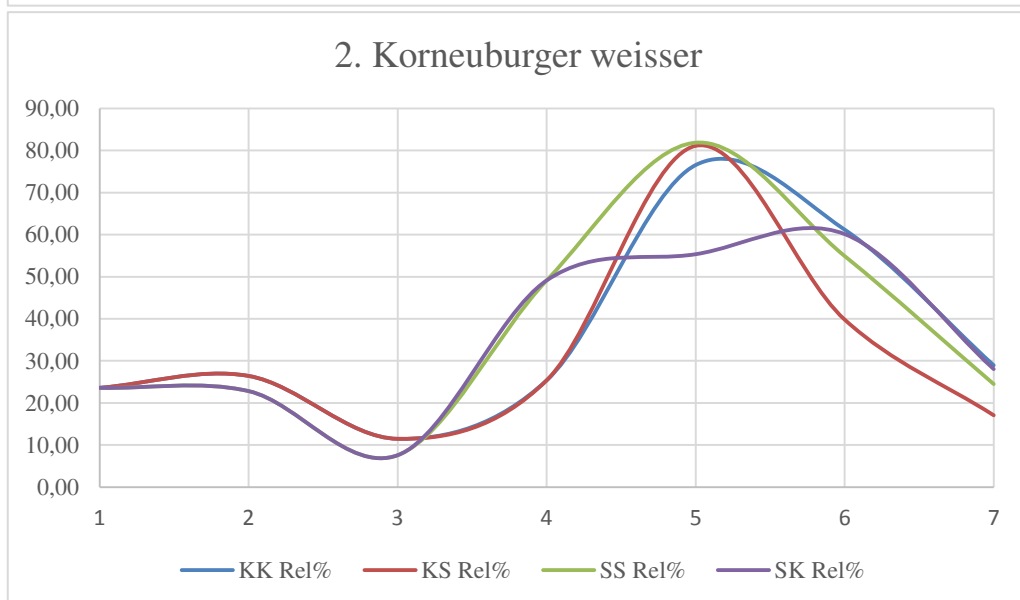
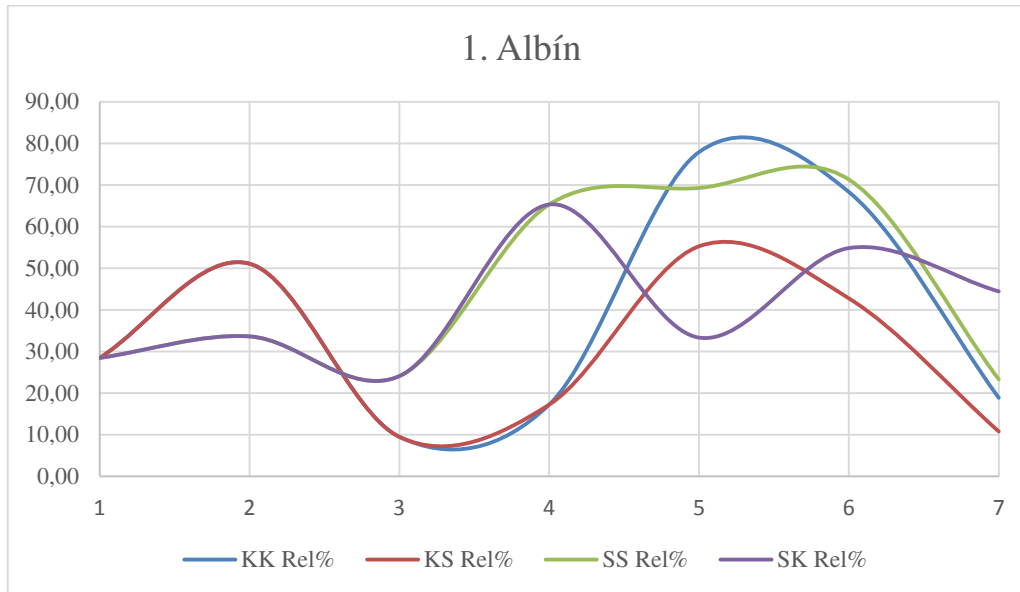
17. Orel



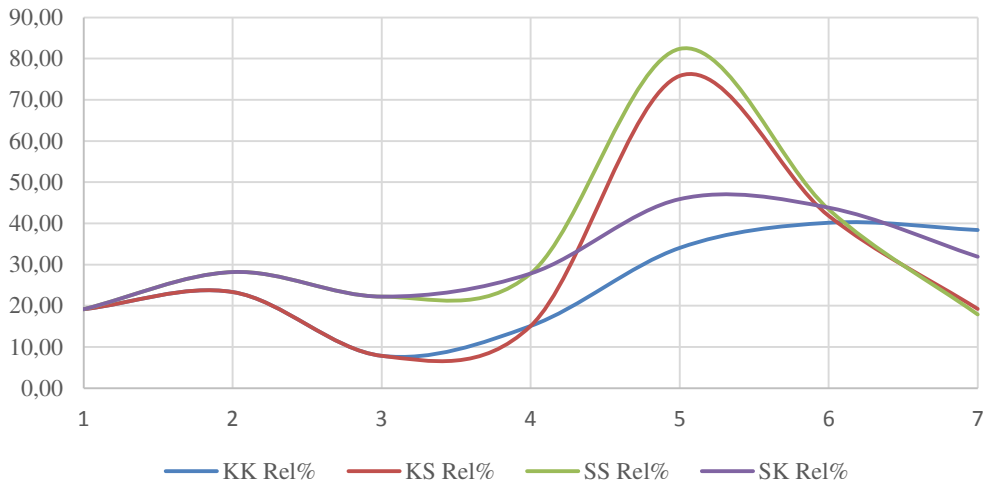
18. Redy



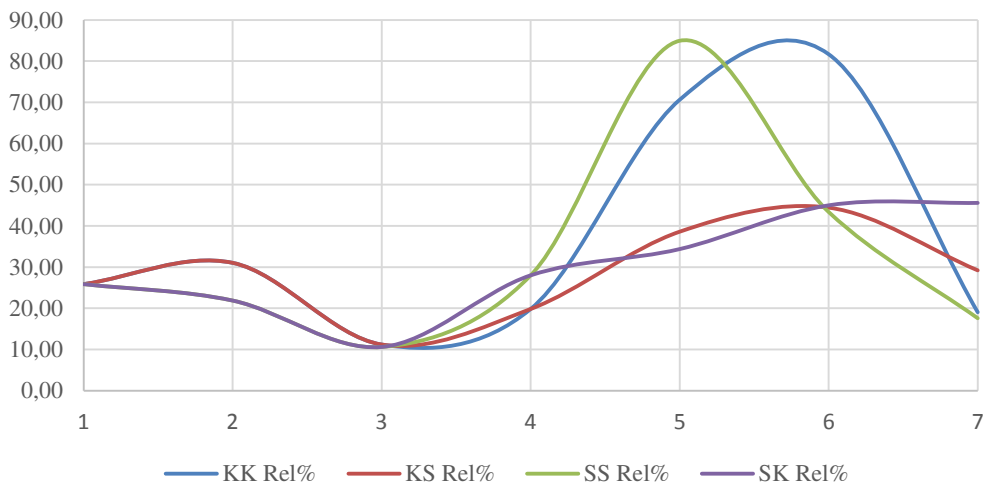
### 9.1.2 Grafy Rel%



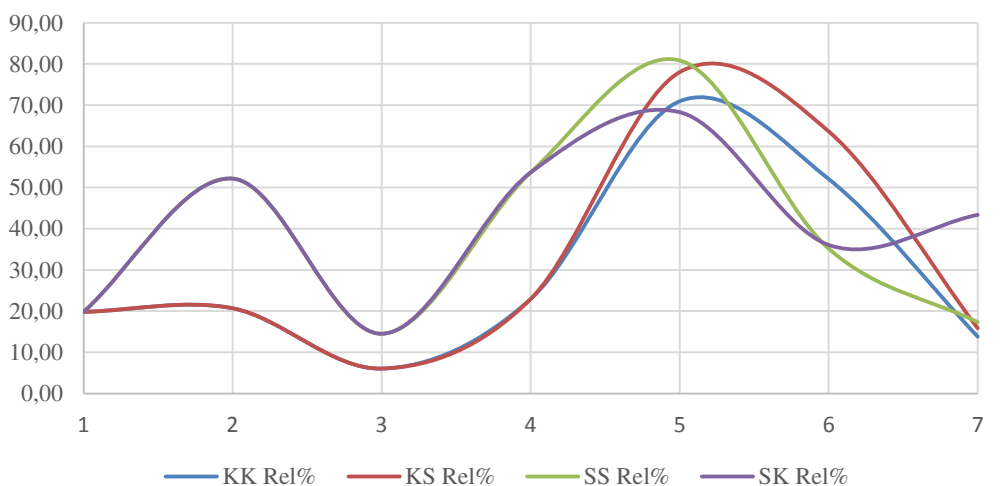
#### 4. Florian



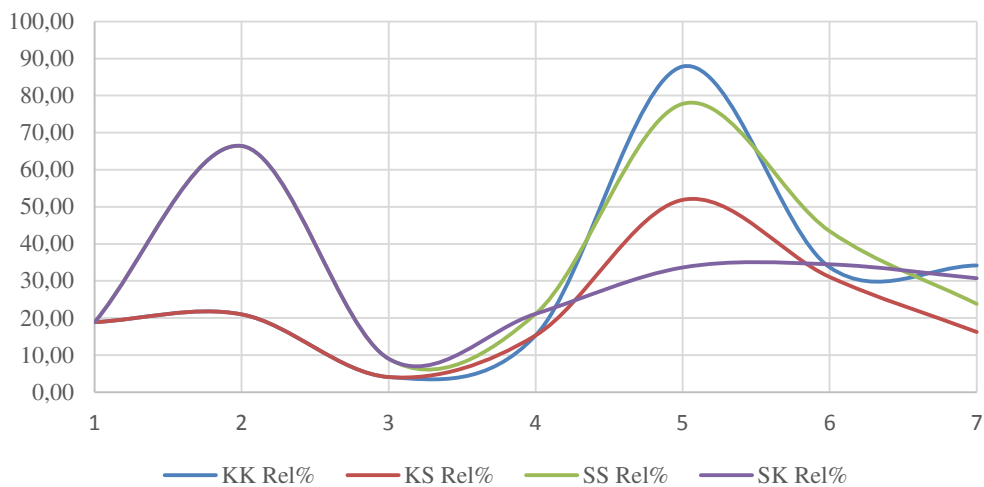
#### 5. Lazur



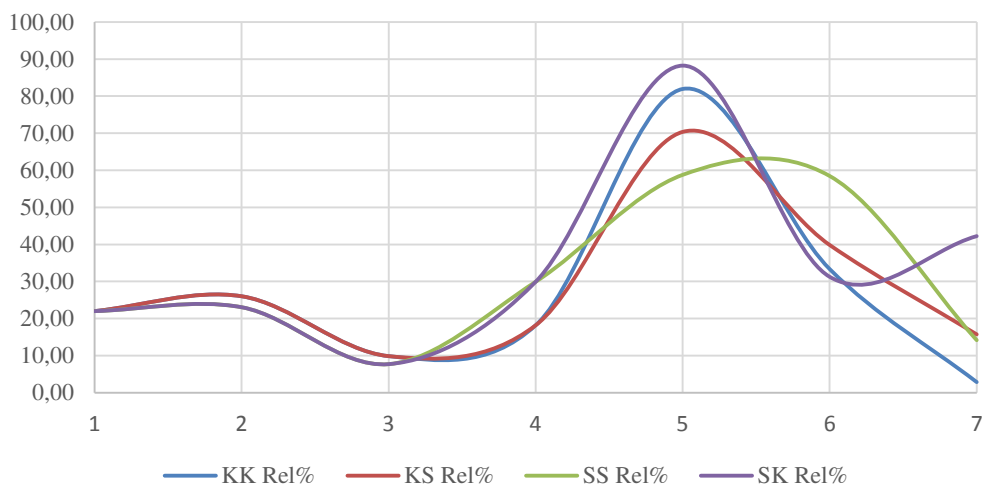
#### 6. Opal



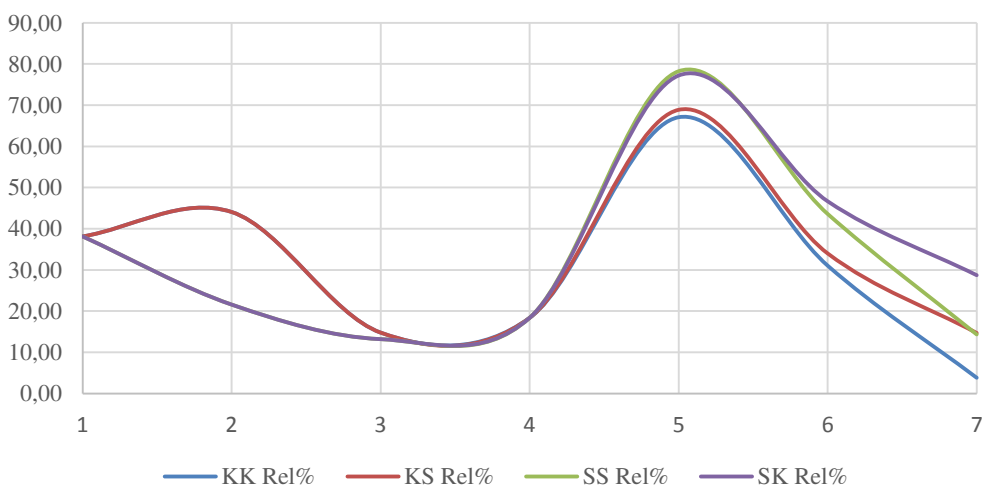
### 7. Aplaus

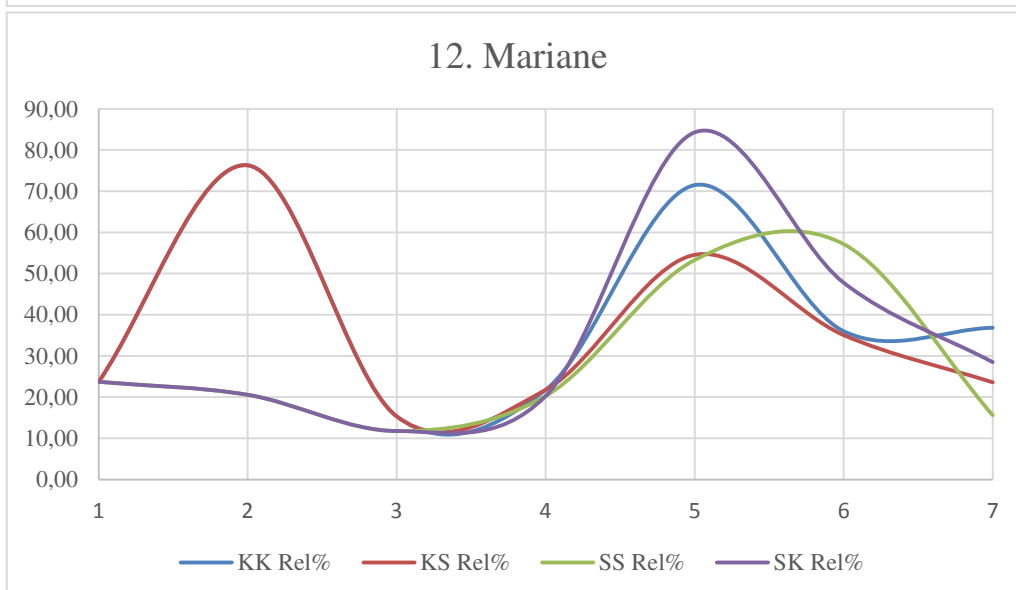
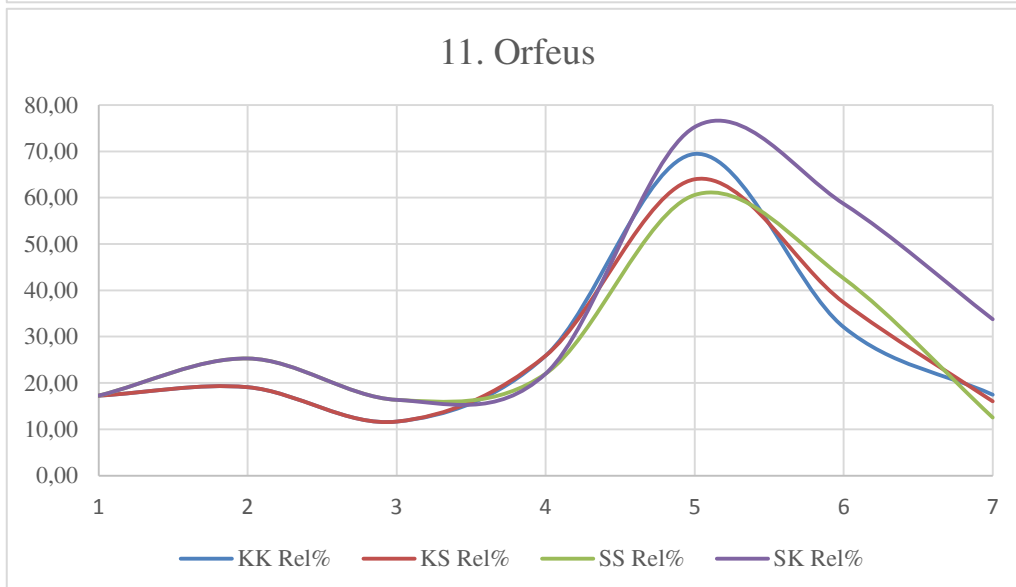


### 8. Zeno

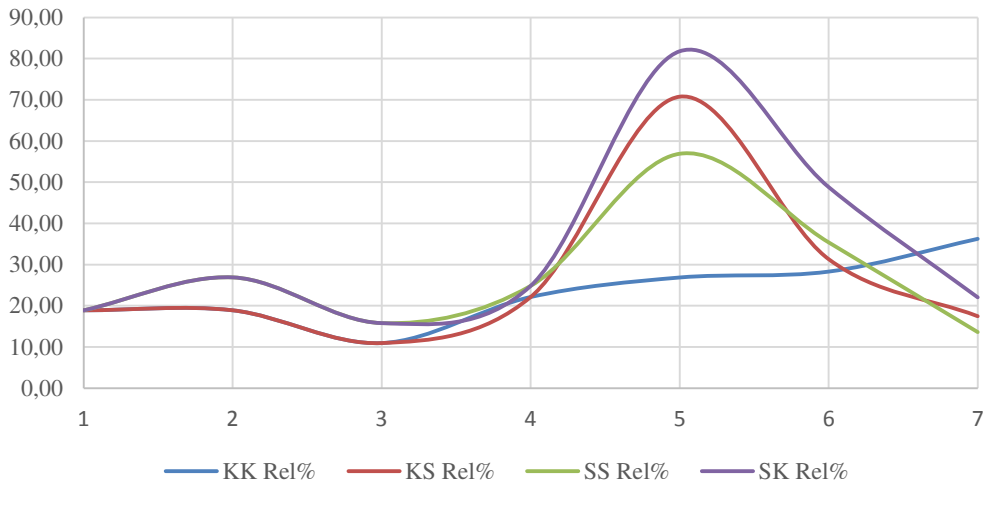


### 9. Postomi

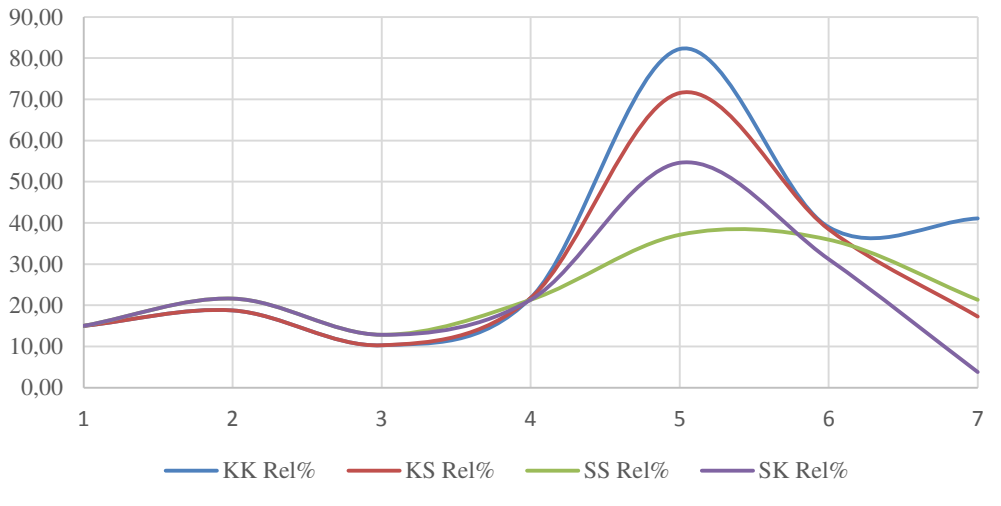




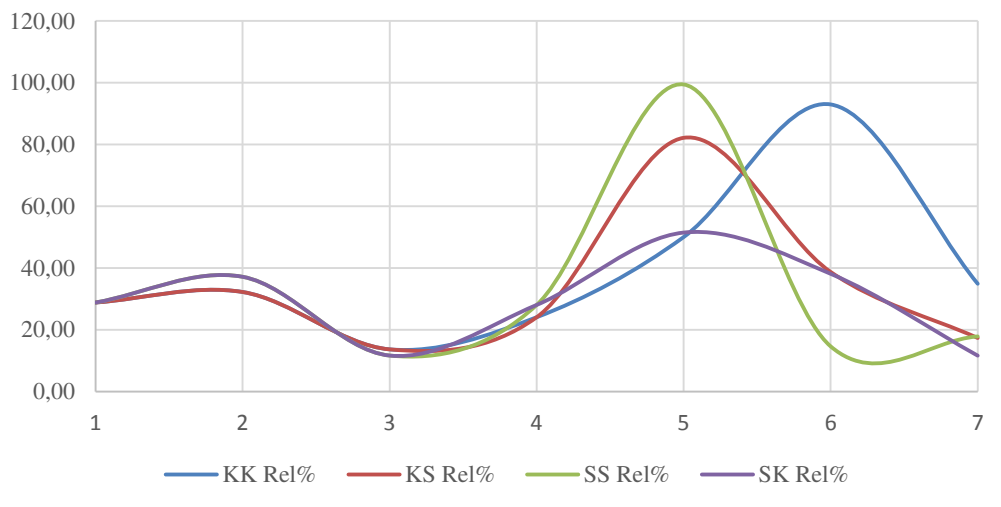
### 13. Maratón



### 14. Major

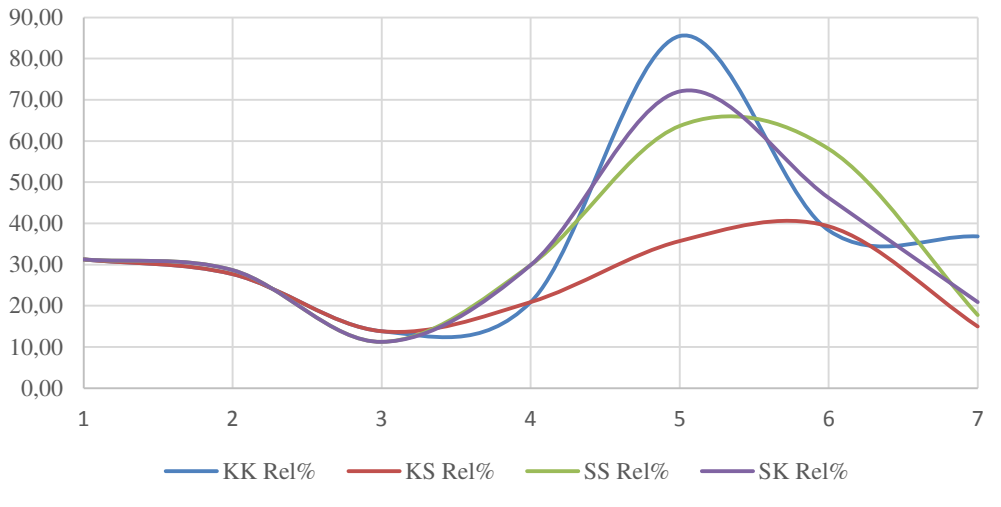


### 15. Orbis

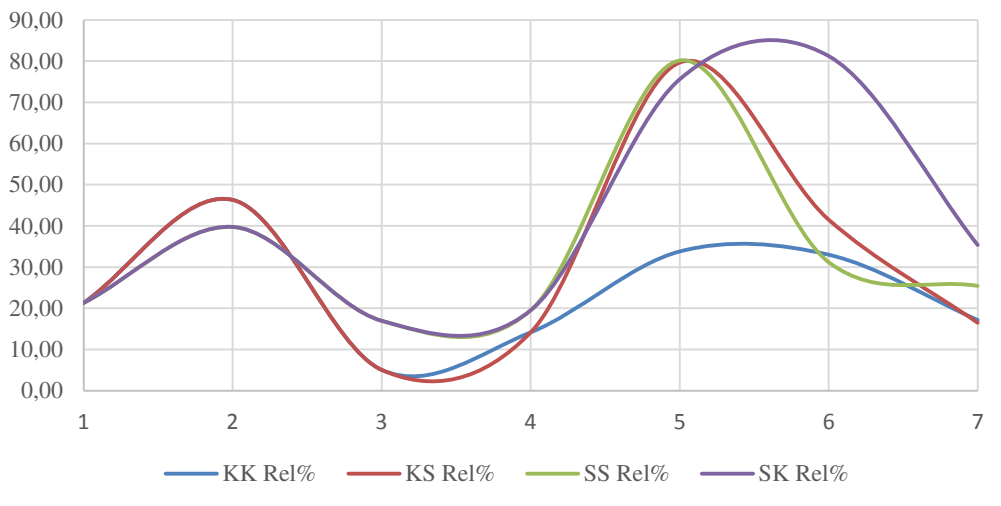




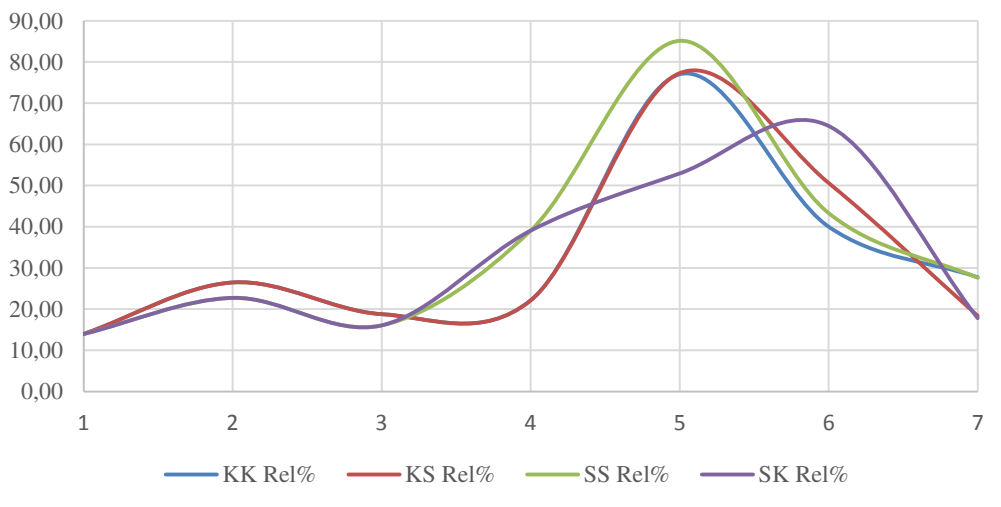
### 16. Onyx



### 17. Orel



### 18. Redy



## 9.2 Tabulky průměrných hodnot měření prolínů

KK							
odběr	2.12	6.12	11.12	14.12	18.12	22.12	28.12
odrůda	1	2	3	4	5	6	7
1	10,89	91,83	352,63	41,33	240,56	190,06	134,72
2	44,78	39,25	64,85	0,00	32,33	98,74	134,72
3	25,41	82,14	181,07	0,00	26,80	104,97	10,19
4	0,00	41,33	11,58	0,00	12,96	88,37	74,53
5	0,00	9,50	18,50	0,00	15,73	47,55	0,00
6	0,00	28,18	28,18	85,60	159,62	46,86	64,15
7	0,00	35,72	104,97	15,04	78,68	56,54	40,63
8	0,00	51,01	33,02	51,01	41,33	59,31	86,98
9	0,00	39,25	30,95	0,00	14,35	38,56	19,19
10	0,00	29,56	58,62	0,00	5,35	33,02	22,65
11	0,00	52,39	85,60	0,00	17,11	41,33	37,17
12	2,58	109,12	116,04	0,00	16,42	46,17	150,63
13	11,68	37,87	35,79	0,00	34,41	57,24	110,50
14	0,00	30,95	24,72	0,00	19,88	40,63	111,89
15	0,51	67,61	37,87	0,00	12,27	51,70	11,58
16	99,44	75,22	21,26	21,26	17,80	50,32	587,84
17	71,07	32,33	19,19	0,00	16,42	58,62	92,52
18	44,78	40,87	33,02	0,00	82,14	61,39	196,29
KS							
odběr	2.12	6.12	11.12	14.12	18.12	22.12	28.12
odrůda	1	2	3	4	5	6	7
1	10,89	91,83	352,63	258,55	899,84	919,21	884,57
2	44,78	39,25	64,85	32,33	372,69	165,16	152,75
3	25,41	82,14	181,07	178,30	157,55	292,45	163,45
4	0,00	41,33	11,58	67,61	216,35	52,39	123,41
5	0,00	9,50	18,50	57,93	71,07	127,11	109,83
6	0,00	28,18	28,18	19,19	95,98	218,42	146,57
7	0,00	35,72	104,97	0,00	49,63	54,47	52,31
8	0,00	51,01	33,02	80,76	38,56	46,86	63,43
9	0,00	39,25	30,95	36,48	15,04	74,53	41,24
10	0,00	29,56	58,62	0,00	30,26	46,86	38,42
11	0,00	52,39	85,60	0,00	24,72	42,71	41,21
12	2,58	109,12	116,04	15,04	111,20	71,76	53,42
13	11,68	37,87	35,79	5,35	78,68	58,62	46,79
14	0,00	30,95	24,72	0,00	72,46	69,69	34,56
15	0,51	67,61	37,87	28,87	116,04	77,99	67,52
16	99,44	75,22	21,26	16,42	62,08	68,31	25,68
17	71,07	32,33	19,19	0,00	96,67	79,37	55,68
18	44,78	40,87	33,02	24,72	103,59	128,49	106,58

SS							
odběr	2.12	6.12	11.12	14.12	18.12	22.12	28.12
odrůda	1	2	3	4	5	6	7
1	238,49	1267,18	553,25	488,92	791,92	2077,27	1604,57
2	30,95	682,62	608,60	104,97	713,75	453,63	397,53
3	28,18	304,21	226,03	879,09	180,38	371,31	296,53
4	0,00	216,35	175,53	236,41	217,73	108,43	74,53
5	62,77	235,72	829,28	253,71	575,39	520,74	403,46
6	127,80	69,69	46,86	903,30	240,56	122,26	64,15
7	161,70	1126,75	177,61	104,97	226,73	133,33	40,63
8	121,57	783,62	825,13	518,66	208,74	618,97	488,46
9	4,66	877,70	42,02	44,78	116,73	127,80	102,39
10	17,80	161,01	74,53	15,73	314,58	307,67	255,44
11	97,36	323,58	111,20	127,11	48,24	224,65	194,56
12	127,11	600,99	171,38	137,48	93,90	208,74	150,63
13	6,04	192,83	103,59	62,08	49,63	152,70	110,50
14	181,07	139,56	211,51	125,03	120,88	265,47	111,89
15	6,74	202,51	552,56	53,09	95,98	197,67	152,34
16	80,76	152,83	340,18	107,74	44,78	82,83	107,84
17	266,85	587,84	118,81	74,53	65,54	174,84	91,23
18	52,39	533,88	61,39	40,63	57,24	113,96	142,35
SK							
odběr	2.12	6.12	11.12	14.12	18.12	22.12	28.12
odrůda	1	2	3	4	5	6	7
1	238,49	1267,18	553,25	439,80	1000,15	439,11	84,22
2	30,95	682,62	608,60	281,38	194,21	277,23	31,64
3	28,18	304,21	226,03	147,17	163,77	166,54	51,70
4	0,00	216,35	175,53	64,15	39,25	100,82	503,44
5	62,77	235,72	829,28	262,01	230,18	98,74	248,86
6	127,80	69,69	46,86	208,05	167,23	120,19	80,07
7	161,70	1126,75	177,61	31,64	180,38	124,34	214,27
8	121,57	783,62	825,13	270,31	117,42	357,47	672,93
9	4,66	877,70	42,02	72,46	37,87	93,21	136,10
10	17,80	161,01	74,53	105,66	18,50	421,81	119,50
11	97,36	323,58	111,20	85,60	37,87	104,97	318,04
12	127,11	600,99	171,38	82,14	87,68	82,14	30,26
13	6,04	192,83	103,59	30,26	7,43	130,57	257,86
14	181,07	139,56	211,51	50,32	42,02	79,37	214,97
15	6,74	202,51	552,56	253,01	84,22	131,26	129,87
16	80,76	152,83	340,18	167,92	41,33	212,89	77,30
17	266,85	587,84	118,81	57,93	102,20	127,11	14,35
18	52,39	533,88	61,39	50,32	15,73	110,50	124,34

### **9.3 Zdroje grafů a tabulek:**

**FAO:** <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (Grafy FAOSTAT)

**Labris s.r.o.:** <http://www.labris.cz/cena-maku> (Vývoj ceny máku 2015 - 2018)

**Český modrý mák z.s.:** <http://ceskymodrymak.cz/mak/obecne-informace/> (tabulka vývoje produkce na území ČR)

### **9.4 Použité zkratky:**

ABA - kyselina abscisová

BR - brassinosteroidy

GA - gibbereliny (fytohormony)

HTS - hmotnost tisíce semen

IAA - kyselina indolyl-3-octová (fytohormon)

LAI - index listové plochy

NAD - Nikotinamidadenindinukleotid (oxidovaná nikotinamidová část)

NADH -Nikotinamidadenindinukleotid (redukovaná ni nikotinamidová část)

P5CS - D'-pyrrolin-5-karboxylát syntetáza

P5CR -  $\Delta'$ -pyrrolin-5-karboxylátová reduktáza

PDH - prolindehydrogenáza

POX - prolin oxidáza

SDO - seznam doporučených odrůd

SPZO - svaz pěstitelů a zpracovatelů olejin

ÚKZÚZ - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský