

## EVALUATION OF ROOT SYSTEM CHARACTERISTICS BY MEASUREMENT OF ELECTRICAL CAPACITY AND IMAGE ANALYSIS

Hajzler, M., Středa, T., Klimešová, J.

Department of Crop Science, Breeding and Plant Medicine, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno, Czech republic

E-mail: martin.hajzler@mendelu.cz

---

### ABSTRACT

The aim of this study is to compare a root system size (RSS) in different moisture conditions using two methods of measurement. The first method involves electrical capacity measurement of the root system, the second one image analysis of roots. A sample must be taken by special tube before analyzing. Consequently, the sample must be strain by grain size analysis to remove soil. A captured roots are selected, colored and scanned. Both these methods were used for evaluation of four varieties of spring barley grown in four moisture conditions. The first mentioned method showed that root system of stressed plants dies back earlier. An effect of root system size on above ground biomass wasn't a statistically proven ( $r = 0.56$ ). When evaluating the second-mentioned method statistically significant relation between length and surface of the root system was found ( $r = 0.98^{**}$ ). Between length, surface of the root system and its electrical capacity, was discovered significant correlation ( $r = 0.72^{**}$ ,  $r = 0.63^{*}$ ).

**Key words:** Root system size, electrical capacity, image analysis, moisture condition

**Acknowledgments:** This work was supported by the grant project IGA SP2100061.

## ÚVOD

Základním systémem zajišťující příjem živin a vody je kořenový systém. Tyto funkce může zajišťovat pouze zdravý a řádně vyvinutý kořenový systém. Studie zkoumá pomocí dvou metod velikost kořenového systému (VKS) v interakci s produkcí nadzemní hmoty za různých podmínek.

VKS je ovlivňována mnoha faktory, mezi kterými dominuje vliv prostředí, ve kterém se rostlina nachází (vlhkost půdy, zásoba živin v půdě a jejich dostupnost, teplota půdy apod.). Žádný z výše vyjmenovaných faktorů není v přirozených podmínkách stabilní. O to větší jsou nároky na kořenový systém. Rostlina se musí během vegetace vypořádat s nedostatkem eventuelně přebytkem vody v půdě, nedostatkem vzduchu v kořenové zóně. Acuna (2007) uvádí, že při vodním deficitu přestávají kořeny rostoucí z odnožovacího uzlu dříve růst a příjem vody zajišťují zárodečné kořeny. Rovněž rozvrstvení živin v půdním profilu udává směr růstu kořenů. Až 80 % celkové délky kořenového systému je tvořena jemnými kořeny a kořenovými vlásky, které jsou menší než 0,30 mm (Costa et al.2001, Zobel, 2008). Hustota kořenového vlášení závislá na přítomnosti fosforu a dusíku (Foese, 1983). Mezi důležitý faktor ovlivňující VKS patří odrůdová variabilita (Středa, 2009). U pšenice ozimé činí dokonce 8-10 % (Chloupek, 2007). Byly proto vybrány a následně vyhodnoceny odrůdy ječmene jarního, u kterých byl předpoklad k rozdílným velikostem kořenového systému. Pro měření VKS byly pro srovnání zvoleny dvě metody. Metoda měření VKS pomocí elektrické kapacity zohledňuje vliv kořenového vlášení a pouze živou část kořenů. Metoda analýzy digitálního obrazu (považována zpravidla za referenční metodu) zachycuje parametry kořenového systému bez kořenových vlásků.

## MATERIÁL A METODIKA

V pokusu byl kořenový systém měřen dvěma způsoby. V průběhu vegetace byla velikost kořenového systému (VKS) měřena pomocí jeho elektrické kapacity. Tato metoda měří přenos elektronů mezi půdou a kořenovým systémem. K přenosu elektronů dochází pouze mezi živou částí kořenového systému, která vykazuje určitou elektrickou aktivitu. K polarizaci dochází u membrán živých buněk a živých buněk jako takových. Mladé kořeny a kořenové vlášení mají tak největší elektrickou kapacitu, protože nemají suberizované buněčné stěny. Leží tak v těsném kontaktu s půdou nebo substrátem a jejich povrch má vysoký obsah vody.

K měření elektrické kapacity byl použit měřicí přístroj VOLTcraft LCR 4080. Měřicí frekvence byla 1 kHz a získané hodnoty byly v jednotkách 1 nF (nanofarad). Měření probíhá tak, že se katoda (kleště) uchytí za stonk rostliny ve výši jednoho centimetru nad půdou. Anoda (jehla) se zasune do půdy v blízkosti rostliny.

Měření bylo prováděno v nádobovém pokusu v areálu Mendelovy univerzity v Brně. Byly použity 4 plastové nádoby o objemu asi 0,19 m<sup>3</sup>. V těchto nádobách byly v řádkovém výsevu ve sponu 10 x 10 cm pěstovány 4 odrůdy ječmene jarního - Aksamit, Blaník, Aktiv a Prestíge. V každém řádku bylo zaseto 10 semen dané odrůdy. V každé nádobě byly simulovány rozdílné vláhové podmínky. V první nádobě byla půda sycena vodou na optimální vlhkost (dle fyzikálních rozborů použité půdy), ve druhé byl udržován mírně deficitní vláhový režim. Substrát v nádobě třetí byl udržován na hranici fyziologického sucha. Tyto tři nádoby byly chráněny proti úhrnu přírodních srážek plastovým přístřeškem. Čtvrtá nádoba byla kontrolní, nekrytá, s přirozeným vláhovým režimem. U všech nádob byla kontinuálně sledována půdní vlhkost pomocí čidel VIRRIB, s manuálním odečítáním dat. Rostliny nebyly nijak hnojeny a chemicky ošetřovány. Likvidace plevelů byla prováděna mechanicky. Měření byla prováděna v několika termínech, od fáze sloupkování po fázi plnění zrna.

Druhá porovnávací metoda je založena na měření kořenového systému pomocí jeho analýzy obrazu vyplavených a naskenovaných kořenů. Naskenované kořeny byly vyhodnocovány speciálním programem WinRHIZO ve verzi Basic. Tento program hodnotí mimo jiné celkovou délku kořenů, celkový povrch kořenů a povrch kořenu v porovnání na jednotku objemu, počet kořenových čepiček apod.

Odběr vzorků byl prováděn ve fázi plnění zrna. Z každého řádku v každé nádobě byl odebrán speciální vzorkovací sondou blok půdy s kořenovým systémem. Průměr odebraného válce byl 6,5 cm a výšce 30 cm. Z válce byly vytvořeny 2 vzorky o výšce válce 10 cm. Podstatná část kořenového systému se vyskytuje právě v hloubce do 20 cm (Russell, 1977). Vzorky byly uchovávány při teplotě -20°C a poté byly plaveny pod tekoucí vodou nad sestavou sít. Síta měla oka o velikosti 1,6 mm a 0,6 mm, a sloužila k zachycení kamínků, rostlinných zbytků včetně kořenového systému. Kořeny byly následně manuálně vybírány a oplachovány ve vodě. Vyplavené kořeny byly uchovávány ve zkumavkách v roztoku alkoholu a vody v poměru 1:3. Byly obarveny v methylenové modři. K obarvení dochází pouze u živých kořenů. Kořeny byly rozprostřeny v tenké vodní vrstvě tak, aby nevznikaly vzduchové bubliny, které by znehodnocovaly naskenovaný obraz. Počítačový program WinRHIZO vyhodnotil naskenovaný obraz a provedl analýzu. Každý vzorek kořenového systému byl poté vysušen a zvážen.

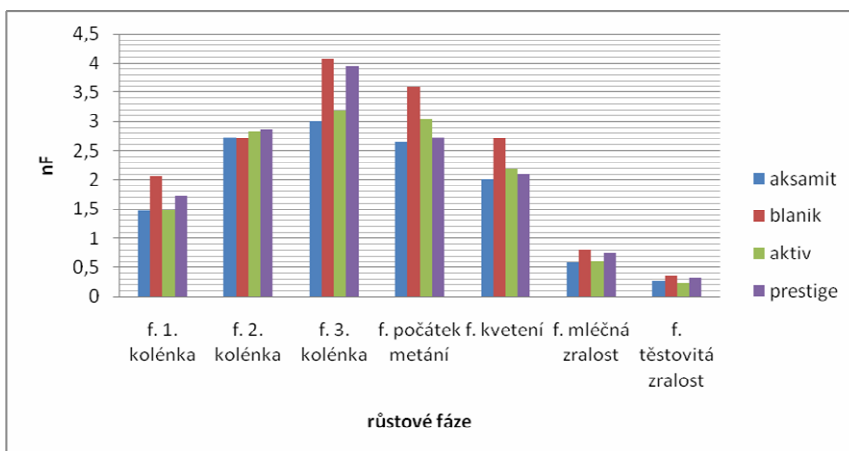
## VÝSLEDKY A DISKUZE

Ve čtyřech nádobových pokusech byly pěstovány 4 odrůdy ječmene jarního. Pomocí měření elektrické kapacity kořenů bylo zjištěno, že rostlina v příznivých vláhových podmínkách udržuje růst kořenového systému do fáze metání a kvetení. V grafech č. 1 a 2 je rovněž vidět, že nejsilnější růst je ve fázi sloupkování. Z grafu č. 3 a 4 lze usuzovat, že pokud je rostlina ve stresu, přestává v době metání a kvetení investovat do kořenového systému, který tak postupně odumírá. V nádobě č. 3 byl totiž udržován silný stres suchem. V nádobě č. 4 byl vlivem deštivého počasí v období pokusu (vegetace roku 2010) simulován do značné míry stres opačného směru. Substrát byl často zaplaven vodou a kořeny trpěly zamokřením a nedostatkem vzduchu. U všech vláhových variant

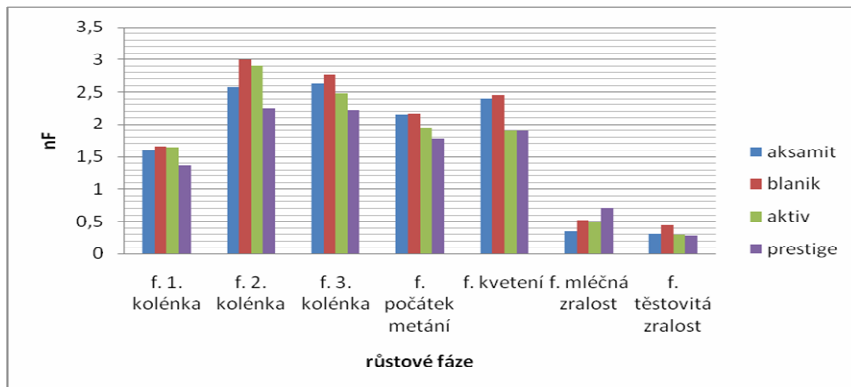
byla však zaznamenána nízká elektrická kapacita kořenů v růstové fázi mléčné a voskové zralosti. V těchto fázích rostlina již ukončuje vegetaci. Ač je nadzemní biomasa fotosynteticky aktivní, kořenový systém je již v silném útlumu.

V příznivých vláhových podmínkách dominuje kořenový systém odrůdy Blaník. I produkci nadzemní biomasy se Blaník spolu s odrůdou Prestige pohybuje na špičce. Prestige v těchto vláhových podmínkách však patří k odrůdám s menším kořenovým systémem. Odrůda Aksamit, u které byl předpoklad k velkému kořenovému systému, měla ve variantě č. 1 malý kořenový systém. U varianty č. 2 měla odrůda Aksamit poměrně velkou elektrickou kapacitu kořenů. Od fáze počátku metání ve čtvrté variantě měla dokonce největší kapacitu, ovšem u všech variant měla tato odrůda nejmenší produkci nadzemní biomasy. Ve stresové variantě suchem měl dominantní kořenový systém Prestige. Na základě výsledků pokusu se tato odrůda vzhledem k produkci nadzemní biomasy zdá být vhodnou k pěstování v extrémních vláhových podmínkách. Při stresu suchem i přemokčením měla totiž největší výnos biomasy (stejně jako ve variantě 1, bez stresu). Pouze ve variantě s mírným stresem měla největší výnos odrůda Blaník.

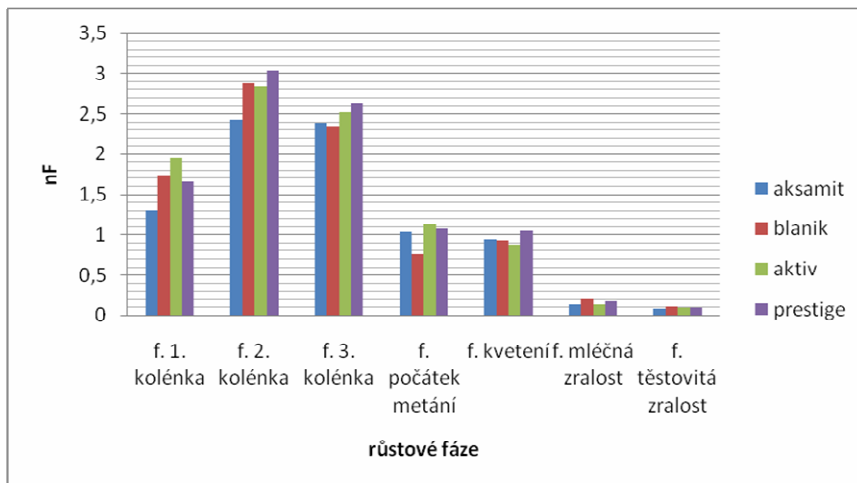
Graf č. 1: Elektrická kapacita kořenu v nádobě č.1, bez vláhového stresu



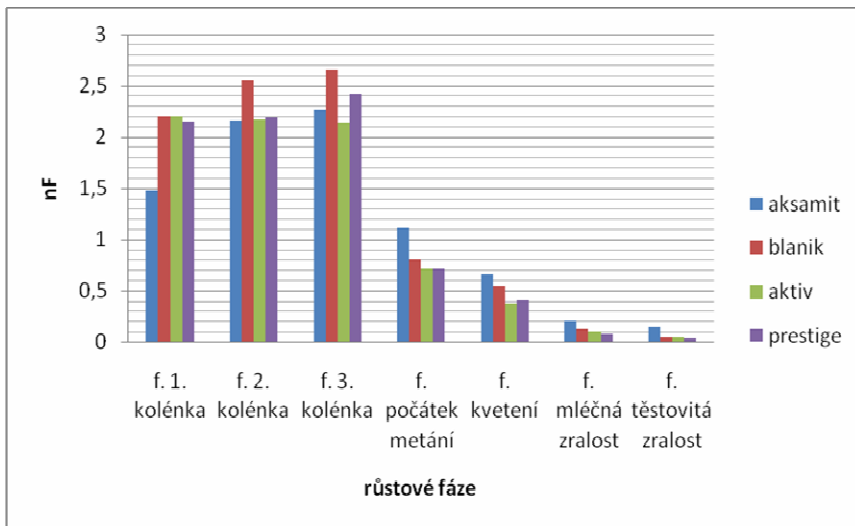
Graf č. 2: Elektrická kapacita kořenů v nádobě č. 2, v mírném vláhovém stresu



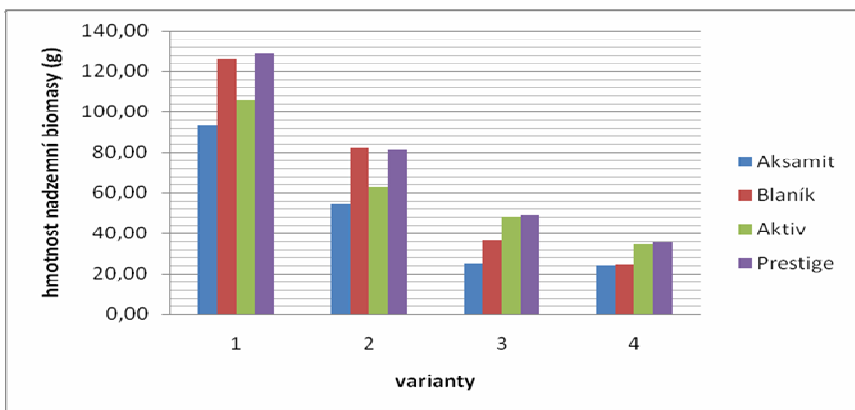
Graf č. 3: Elektrická kapacita kořenů v nádobě č. 3, v silném vláhovém stresu



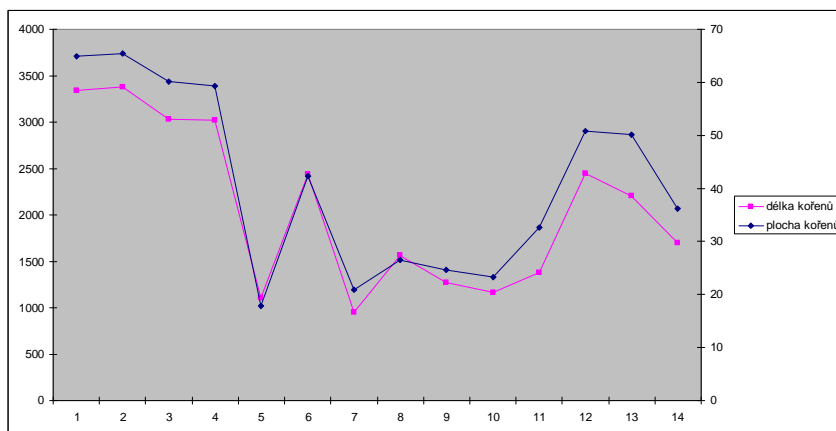
Graf č. 4: Elektrická kapacita kořenů v nádobě č. 4, v přirozených vláhových podmínkách



Graf č. 5: Produkce nadzemní biomasy v různých variantách.



Při vyhodnocování analýzy obrazu byla zjištěna významná korelace mezi délkou kořenového systému a jeho povrchem. Korelační koeficient napříč odrůdami a variantami byl 0,98\*\*. Tato těsná závislost je vidět i z grafu č. 6. Závislost délky či povrchu kořenového systému na velikost jeho elektrické kapacity ovšem už tak těsná není. Korelační koeficient činí 0,72\*\* a 0,63\*.



Byla také provedena analýza korelace elektrické kapacity kořenového systému ve vztahu k výnosu nadzemní biomasy. Korelační koeficient napříč odrůdami i variantami činil 0,92\*\*. Ovšem po očištění od pokusných vlivů činil pouze 0,56, Chloupek (1996). Vliv elektrické kapacity na výnos nadzemní biomasy není dle této metody statisticky průkazný.

## ZÁVĚR

V práci byla porovnáována velikost kořenového systému (VKS) v různých vláhových prostředích za pomoci dvou metod měření kořenového systému. Metoda měření elektrické kapacity kořenového systému a metoda analýzy obrazu kořenového systému. Obě metody byly použity v nádobovém pokusu na 4 odrůdách ječmene jarního. Ve čtyřech nádobách byl simulován různý vláhový režim. Ve všech vláhových režimech byl pozorován nárůst elektrické kapacity kořenového systému ve fázi sloupkování. Ve stresových variátech (3 a 4) byl značný pokles elektrické kapacity již od fáze metání. Ve variátech bez a s mírným vláhovým stresem byl pozorován významný pokles kapacity až od fáze mléčné zralosti. Z toho lze usuzovat, že rostlina ve vláhovém stresu ukončuje aktivitu kořenového systému dříve než rostlina nestresovaná.

Při analýze obrazu kořenového systému byla pozorována vysoká míra korelace ( $r = 0,98^{**}$ ) mezi délkou a povrchem kořenového systému. Korelace mezi povrchem či délkou a elektrickou kapacitou kořenového systému byla však statisticky neprůkazná. Korelace očištěná od pokusných vlivů rovněž statisticky neprokázala vliv VKS (dle jeho elektrické kapacity) na výnos nadzemní biomasy.

**LITERATURA**

ACUNA, T., L., B., Genotypic differences in root penetration ability of wheat through thin wax layers in contrasting water regimes and in the field, 2007, *Plant and Soil*, vol. 301, p. 135-149.

COSTA, C., DWYER, L.M., HAMEL, C., MUAMBA, D.F., WANG, X.L., NANTAIS, L., SMITH, D.L., Root contrast enhancement for measurement with optical scanner-based image analysis, 2001, *Canadian Journal of Botany-Revue Canadienne de Botanique*, vol. 79, p. 23-29.

FOEHSE, D., JUNGK, A., Influence of phosphate and nitrate puppy on root hair formation of rape, spinach and tomato plants, 1983, *Plant and Soil*, vol. 74, p. 359-368.

CHLOUPEK, O. *Zemědělský výzkum. Učebnice Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně*. 1996. Academia. Praha

CHLOUPEK, O., STŘEDA, T., DOSTÁL, O.: Kvalita odrůd pšenice a velikost kořenového systému. 2007. *Úroda*. Č. 11. Str. 11-15.

RUSSELL, R., S., *Plant root systems their function and interaction with the soil*, 1977, McGraw-Hill Book Company, London, UK.

STŘEDA, T. et al.: Je šlechtění na toleranci k suchu náhodný, nebo záměrný proces? XIII. Seminář šlechtitelů. 2009.

ZOBEL, R., W., *Hardware and software efficacy in assessment of fine root diameter distributions*. Elsevier, 2008, *Computers and electronics in agriculture*, vol. 60, p. 178-189, ISSN: 0168-1699.