

---

## YIELD AND QUALITY OF SPRING BARLEY IN RELATION TO ROOT SYSTEM SIZE

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

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

E-mail: [jana.klimesova@mendelu.cz](mailto:jana.klimesova@mendelu.cz)

---

### ABSTRACT

The work deals with statistic evaluation of the root system size of 19 barley varieties according to electrical capacity measurement in two locations with crops in 2009 and 2010. Statistically significant positive correlation between root system size (RSS) in the elongation phase and production ( $r = 0.610^*$ ) was ascertained in one of the locations in 2010. Relation between production and average RSS ( $r = 0.41$ ) was discovered throughout the years and locations. RSS in both of the locations was compared to the qualitative parameters of the grain of the varieties grown in four official trials stations. Mostly, significant correlation between RSS and relative extract at 45 °C, and between RSS and the Kolbach Index was found in the heading phase. Between the RSS detected using digital image analysis and grain yield was found negative correlation ( $r = -0.88^*$ ) only in the locality Hrubčice in 2010. It was found significant relation between the RSS and qualitative characteristics at any location.

**Key words:** root system, barley, electric capacitance, image analysis, grain yield, quality

**Acknowledgement:** This work was supported by the grant project NAZV QH11C080

## ÚVOD

Kořenový systém zajišťuje pro rostlinu příjem živin, vody a ukotvení v substrátu. Vývoj a struktura kořenů jsou významně ovlivněny genetickou dědičností (Bláha et Vyvadilová, 2010), a tudíž můžeme rozeznávat mezi rostlinami druhově i mezidruhově odlišné vlastnosti (délka a průměr kořenů, růstový potenciál, životnost) (Fitter, 2002). Při reakci na stres u obilnin z čeledi Poaceae včetně kukuřice je důležitá především schopnost změny morfologie kořenového systému, zvýšit hloubku jeho pronikání a vytvořit vhodný poměr mezi nadzemní a podzemní částí rostliny. V případě, že nedostatek vody trvá pouze po určité části vegetace je velmi důležitá reverzibilní změna. Významná je také velikost a funkčnost kořenového systému během fáze plnění zrna (Bláha et Vyvadilová, 2010). Výběrem jedinců s vyhovujícími znaky kořenového systému pro další šlechtění je možné získat např. odrůdy odolné proti suchu

Příjem vody kořeny je závislý na hloubce pronikání kořenů, ale nenastává v nehlubších vrstvách okamžitě, ale až za nedostatku vody ve svrchní části půdního profilu. Zároveň je příjem vody ovlivněn i rozdílnými agroklimatickými podmínkami, růstem a stářím kořenů (Gregory, 2006) Eshel et al. (2000) uvádějí, že efektivita příjmu vody je úměrně závislá na ploše a průměru kořenů. Obecně lze říci, že kořenový systém se stává hlubším, když se prostředí stává sušším (Schenk et Jackson, 2002). Podobně i s ubývajícími srážkami se mění poměr mezi nadzemní a podzemní částí rostlin ve prospěch kořenového systému u bylinných druhů (Gregory, 2006).

Velikost kořenového systému byla vybrána jako selekční kritérium pro výběr genotypů odolných proti suchu při šlechtění ječmene jarního (Chloupek et al., 2010). Možný vliv velikosti kořenového systému na odolnost rostlin vůči abiotickým stresům a využití této vlastnosti ve šlechtění byl nastíněn v práci de Dorlodot et al., (2007).

## MATERIÁLY A METODIKA

Pokus s vybranými odrůdami ječmene jarního (*Hordeum vulgare*, L.) byl založen na dvou lokalitách Hrubčice a Želešice v roce 2009 a 2010. Bylo vybráno 19 odrůd ječmene. U odrůd byla ve třech růstových fázích zjišťována velikost kořenového systému (VKS) pomocí metody měření elektrické kapacity kořenového systému (Chloupek, 1977) Zároveň bylo vybráno 6 odrůd pro zhodnocení VKS pomocí analýzy obrazu. Byly hledány korelace mezi VKS a výnosem odrůd zjištěným na zkušebních stanicích Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) a mezi VKS a jednotlivými kvalitativními parametry zrna a sladovnické jakosti. Hodnoty parametrů byly poskytnuty Výzkumným ústavem pivovarským a sladařským v Brně (VÚPS).

## Měření elektrické kapacity

Pro hodnocení meziodrůdových rozdílů a vlivu VKS na výnos a kvalitu ječmene byla použita Metoda měření elektrické kapacity (Chloupek, 1977). Elektrická kapacita vzniká akumulací náboje v soustavě dvou izolovaných vodičů - desek (kondenzátor), kterou prochází střídavý elektrický proud. Desky v tomto případě tvoří povrch kořenů a půdní prostředí. Velikost náboje tzn. i kapacity je určována velikostí účinné plochy desek, vzdáleností mezi deskami (při zmenšování vzdálenosti se kapacita zvětšuje) a vlastnostmi prostředí (dielektrika), které izoluje obě desky. Kořenový systém projevuje nejvyšší funkční aktivitu především v laterálních kořenech. Předpokládá se, že kapacita je spíše mírou aktivního povrchu kořenů a tedy obecně rozměrů kořenové soustavy (Dalton, 1995).

Elektrická kapacita kořenového systému byla měřena ve třech růstových fázích (sloupkování, metání, plnění zrn) v Želešicích v roce 2009 a v Hrubčicích v roce 2010. Pouze ve dvou fázích (sloupkování a plnění zrn) byla měřena v Hrubčicích v roce 2009 a v Želešicích v roce 2010. Elektrická kapacita [nF] byla měřena LCR metrem (Extech Instruments) při frekvenci 1 kHz. Jedna elektroda (kleště) byla umístěna na bázi stébla rostliny tak, aby byly spojeny všechny odnože, druhá elektroda byla asi v polovině sponu zasunuta do půdy (Obr. 1).

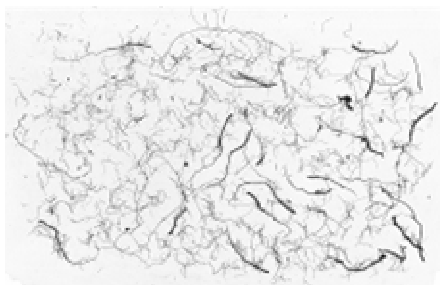


Obr. 1: Měření elektrické kapacity kořenového systému ve fázi sloupkování

Při měření elektrické kapacity jsou měřeny pouze živé části kořenů schopné polarizace membrán buněk procházejícím elektrickým proudem. Proto největší kapacitu mají mladé kořeny. Starší suberinizované kořeny vykazují větší vzdálenost mezi deskami, proto je naměřena menší kapacita. Vzhledem k závislosti měřených hodnot na půdní vlhkosti, stupni vývoje rostliny a umístění elektrod, byla kapacita měřena pouze mezi rostlinami na jedné lokalitě (stejně podmínky prostředí) a v jednom čase. Je také nutné dodržovat stejný způsob umístění elektrod. Naměřené hodnoty nejsou srovnatelné mezi lokalitami a mezi jednotlivými měřeními. Vlhkost půdního byla snímána automatickými elektromagnetickými čidly VIRIB s dataloggerem v hodinovém kroku.

## Digitální analýza obrazu

Vzorky půdy a kořenů byly odebírány soil – core metodou. Protože tato metoda je destruktivní, byl kořenový systém hodnocen až po fázi plnění zrn. Vzorek byl odebrán po odstranění nadzemní část rostliny přímo v místě růstu rostliny do hloubky 60 cm. Dílčí vzorky, byly co nejdříve zamrazeny při teplotě  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  v polyetylenových sáčcích tak, aby nedošlo k nežádoucímu rozkladu kořenů. Po rozmrazení byl vzorek půdy ručně rozplaven pod tekoucí vodou nad soustavou sít o průměru ok 1,6 a 0,6 mm. Na sítěch zachycené kořeny byly separovány od ostatního organického materiálu, mrtvých kořenů a kamínků a skladovány ve zkumavkách v roztoku vody a alkoholu. Při přípravě vzorku na skenování je nutné kořeny omýt vodou a následně barvit v roztoku methylenové modři po dobu 15 minut. Barvení se provádí z důvodu dosažení ostrého kontrastu mezi skenovanými kořeny a pozadím. Obarvené kořeny se propláchnou vodou, aby nedocházelo k zabarvení nádoby, ve které jsou skenovány. Připravené kořeny jsou rozprostřeny po ploše tácu ve vrstvě vody tak, aby se pokud možno nepřekrývaly (Obr. 2). Vzorek je následně naskenován pomocí skeneru Epson perfection 700 photo a analyzován programem WinRHIZO, verze Basic (Régent Instruments Inc., Quebec, Kanada). Analyzované kořeny byly následně vysušeny a zváženy.



Obr. 2: Vzorek kořenového systému odrůdy Aksamit z vrstvy 0 – 10 cm připravený na skenování

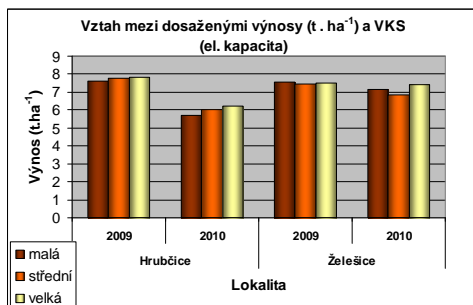
## VÝSLEDKY A DISKUZE

### Srovnání VKS zjištěné metodou měření elektrické kapacity s výnosy

V roce 2010 na lokalitě Hrubčice byla zjištěna vysoce průkazná pozitivní korelace mezi velikostí kořenového systému ve fázi sloupkování a výnosem ( $r = 0,610^{**}$ ). Zároveň byl zjištěn průkazný vztah mezi průměrnou VKS a výnosem ( $r = 0,461^{*}$ ). Avšak v roce 2009 nebyla korelace prokázána. V Želešicích se neprojevil vztah mezi výnosem a velikostí kořenového systému v žádné růstové fázi rostlin v žádném roce. Napříč lokalitami a ročníky byla nalezena souvislost mezi výnosem a průměrnou VKS ( $r = 0,41$ ).

Hodnocené odrůdy byly rozděleny do třech skupin podle průměrné velikosti kořenového systému. Nebyla zjištěna průkazná korelace mezi VKS a výnosem. Na lokalitě Hrubčice v roce 2009 dosáhla skupina odrůd s nejmenší VKS nejnižšího výnosu ( $7,61\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) ve srovnání se skupinou odrůd se

střední ( $7,77 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) a velkou VKS ( $7,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Obdobný trend byl prokázán na této lokalitě i v roce 2010. Na lokalitě Želešice se tento vztah neprojevil, ale v obou ročnících dosáhla nejmenšího výnosu skupina odrůd se středně velkým kořenovým systémem (Obr. 3).



Obr. 3: Vztah mezi dosaženými výnosy ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) a VKS (el. kapacita)

### Srovnání VKS zjištěné metodou měření el. kapacity s ukazateli kvality

Hodnoty velikosti kořenového systému z obou lokalit byly srovnány s kvalitativními parametry pro dané odrůdy z pokusů ÚKZÚZ v roce 2010 na čtyřech zkušebních stanicích – Lednice, Chrlice, Čáslav, Vysoká. Hodnocena byla hmotnost tisíce semen, objemová hmotnost, podíl zrn na 2,5 mm a ukazatele sladovnické jakosti – bílkoviny v zru, relativní extrakt při  $45^\circ\text{C}$ , extrakt v sušině sladu, Kolbachovo číslo, diastatická mohutnost, dosažitelný stupeň prokvašení, friabilita,  $\beta$ -glukany ve sladině, obsah bílkovin ve sladu, obsah dusíku ve sladu, glycidový extrakt, obsah škrobu v zru a výtěžnost v sušině. Zjištěné průkazné korelační koeficienty u jednotlivých vlastností a růstových fází zobrazuje Tab. 1 a Tab. 2.

Mezi kvalitativními parametry a velikostí kořenového systému byly nalezeny průkazné korelace na obou lokalitách ve všech růstových fázích. Ve fázi sloupkování na lokalitě Hrubčice VKS negativně korelovala v polovině případů s  $\beta$  – glukany, s obsahem škrobu v zru a s obsahem extraktu v sušině sladu. V dalších fázích se významněji projevil pouze obsah škrobu v zru při metání, který byl zaznamenán i u průměrných hodnot VKS. Např. všemi zkušebními stanicemi se se zvětšující VKS na lokalitě Hrubčice ve fázi metání průkazně snižoval relativní extrakt při  $45^\circ\text{C}$  a Kolbachovo číslo. Byla zjištěna i průkazná pozitivní souvislost s podílem zrn nad 2,5 mm. Fáze plnění zrn prokázala vliv především na kvalitu a množství bílkovin. Rostliny s větším kořenovým systémem měly průkazně vyšší obsah bílkovin v zru i ve sladu a diastatickou mohutnost. Při srovnání průměrné VKS ze všech tří fází se všemi parametry, byla ve třech případech prokázán záporný vztah s relativním extraktem při  $45^\circ\text{C}$ , stejně jako tomu bylo ve fázi metání.

Při srovnání výsledků z Hrubčic s hodnotami kvality zrna se projevilo nejvíce korelací především se stanicí Lednice (16 případů korelace z 41 průkazných korelací u všech stanic), což je pravděpodobně dáno obdobnou úrodností půd a průběhem počasí. Hodnoty naměřené v Chrlicích

korelovaly především ve fázích sloupkování a metání; v Čáslavi ve fázích metání a plnění zrn. Parametry zjištěné na stanici Vysoká projevily vztah pouze v šesti případech.

Tab. 1: Srovnání kvalitativních parametrů s VKS odrůd na lokalitě Hrubčice (2010)

Růstová fáze	Kvalitativní parametr	Lednice	Chrlice	Čáslav	Vysoká
sloupkování	relativní extrakt při 45 °C	-0,464*			
	β – glukany	-0,498*	-0,740*		
	škrob v zrn	-0,615*	-0,483*		
	podíl zrn nad 2,5 mm				0,516*
	extrakt v sušině sladu		-0,469*	-	
metání	relativní extrakt při 45 °C	-0,586*	-0,494*	-	-0,483*
	β – glukany	0,643*			
	škrob v zrn	-0,679*	-0,720*		
	Kolbachovo číslo	-0,776*	-0,528*	-	-0,560*
	Friabilita	-0,709*			
	podíl zrn nad 2,5 mm		0,463*		0,548*
	objemová hmotnost			0,536*	
plnění zrn	obsah bílkovin v zrn	0,505*		0,531*	
	diastatická mohutnost	0,508*	0,526*		
	obsah bílkovin v sladu	0,595*		0,527*	
	obsah dusíku v sušině sladu			0,541*	
průměrná kapacita	relativní extrakt při 45 °C	-0,527*	-0,472*		-0,483*
	Kolbachovo číslo	-0,600*			
	friabilita	-0,492*			
	β – glukany	0,525*			
	škrob v zrn	-0,681*	-0,649*		
	podíl nad 2,5 mm				0,611*
	extrakt v sušině			-	

Tab. 2: Srovnání kvalitativních parametrů s VKS odrůd na lokalitě Želešice (2010)

Růstová fáze	Kvalitativní	Lednice	Chrlice	Čáslav	Vysoká
sloupkování	obsah škrobu v zrn	-0,534*	-0,467*		0,536*
	podíl zrn nad 2,5 mm			0,488*	
plnění zrn	obsah škrobu v zrn				0,520*
průměrná kapacita	obsah škrobu v zrn	-0,507*			
	podíl zrn nad 2,5 mm			0,462*	0,544*

Na lokalitě Želešice se projevil průkazné korelace pouze mezi VKS a obsahem škrobu. Ve třech případech měly rostliny s větším kořenovým systémem ve fázi sloupkování menší obsah škrobu v znu. Tato souvislost se projevila i ve fázi plnění zrn a u průměrné VKS, ale již pouze u jedné lokality. Dále byla zjištěn pozitivní vztah mezi podílem zrn nad 2,5 mm a průměrnou VKS v polovině případů. Při porovnávání VKS na lokalitě Želešice s výsledky ze zkušebních stanic bylo nejvíce korelací zjištěno u stanice Vysoká, ačkoliv se od sebe obě stanoviště liší výrazně nadmořskou výškou, dlouhodobými průměrnými srážkami, teplotou i půdním typem. Naopak u stanice Chrlice, která má srovnatelné podmínky se Želešicemi byl nalezen pouze jediný případ průkazné korelace.

Variabilita vztahů mezi kvalitativními parametry a velikostí kořenového systému je ovlivněna genotypem rostliny, podmínkami prostředí a interakcemi mezi nimi. Vzhledem ke značné různorodosti zjištěných dat je nutné pro potvrzení možných korelací hodnotit víceleté výsledky.

### Srovnání VKS zjištěné metodou digitální analýzy obrazu s výnosy (2010)

Tab.3: Srovnání VKS zjištěné metodou digitální analýzy obrazu s výnosy zrna (2010)

Lokalita	Hrubčice		Želešice	
	VKS	Výnos zrna	VKS	Výnos zrna
Blaník	17,18	5,5	17,08	7,1
Aksamit	15,73	5,9	13,69	6,1
Prestige	12,69	5,8	10,92	6,8
Boios	11,50	6,2	10,29	6,8
Radegast	11,22	6,4	9,99	7,1
Aktiv	10,55	6,3	6,50	6,9

Hodnoty velikosti kořenového systému zjištěné metodou digitální analýzy obrazu u rostlin z lokality Hrubčice vykazovaly průkaznou zápornou korelaci ( $r = -0,88^*$ ) s výnosy jednotlivých odrůd. Tedy, že se zvětšujícím se kořenovým systémem klesá úroveň výnosů. Tyto výsledky potvrzují i pokusy s pšenicí. Kdy rozsáhlý kořenový systém rostlin pěstovaných na stanovišti s optimálními vláhovými i nutričními podmínkami snižoval výnos zrna (Manske et Vlek, 2002). Na lokalitě Želešice nebyl nalezen vztah mezi VKS a výnosy zrna ( $r = -0,1$ ). Taktéž při srovnání VKS a kvalitativních parametrů nebylo dosaženo statisticky průkazných hodnot na žádné lokalitě.

## ZÁVĚR

Měření velikosti kořenového systému (VKS) vybraných odrůd ječmene jarního bylo provedeno pomocí metody měření elektrické kapacity kořenového systému a digitální analýzy obrazu. Větší kořenový systém byl faktorem výnosu obilnin. Zároveň se předpokládá pozitivní vliv VKS na výnos plodin za vláhově nepříznivých podmínek a nízkých vstupů minerálních hnojiv a prostředků na ochranu rostlin. Při měření VKS na dvou lokalitách – Hrubčice a Želešice ve dvou ročnících – 2009 a 2010 u devatenácti odrůd ječmene byla zjištěna vysoce průkazná pozitivní korelace mezi

VKS ve fázi sloupkování a výnosem ( $r = 0,610^{**}$ ) a průkazný vztah mezi průměrnou VKS a výnosem ( $r = 0,461^*$ ) na lokalitě Hrubčice v roce 2010. Napříč lokalitami a ročníky byla zaznamenána souvislost mezi výnosem a průměrnou VKS ( $r = 0,41$ ). Je tedy statisticky prokázáno, že velikost kořenového systému se podílí na tvorbě výnosu. Rostliny s větší VKS by měly dosahovat vyšších výnosů zrna. Avšak VKS vybraných odrůd zjištěná metodou digitální analýzy obrazu ve srovnání s dosaženými výnosy ( $r = -0,88^*$ ) poukazuje na náročnost udržování rozsáhlého kořenového systému rostlinou v optimálních agroklimatických podmínkách. Rostliny s větším kořenovým systémem tak dosáhly nižších výnosů. Zároveň byla hodnocena velikost kořenového systému z obou lokalit v roce 2010 ve vztahu ke kvalitativním parametrům sladovnického ječmene zjišťovaným na čtyřech zkušebních stanicích ÚKZÚZ. Průkazné pozitivní i negativní korelace byly nalezeny napříč růstovými fázemi rostlin i zkušebními stanicemi. Nejčastěji se shoda projevila u ukazatelů, jako například relativní extrakt při 45 °C, Kolbachovo číslo a obsah škrobu v zrně. Dané výsledky ovšem nevykazují statisticky průkazný trend, dle kterého by bylo možné učinit závěry, je však patrný vztah mezi VKS, výnosem a kvalitou produkce ječmene.

## LITERATURA

Bláha, L., Vyvadilová, M.: Současné možnosti využití hodnocení kořenového systému při pěstování a šlechtění rostlin. 2010, s. 276 – 296. In: Bláha, L., Hnilička, F., Martinková, J. (ed): *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly)*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 307 s.

Dalton, F. N.: In-situ root extent measurements by electrical capacitance methods, *Plant and Soil*. 1995, Vol. 173, p. 157 – 165.

De Dorlodot, S., Forster, B., Pages, L., Price, A., Tuberosa, R. Draye, X.: Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. *Trends in Plant Science*, 2007, vol. 12, p. 474 – 481.

Eshel, A., Waisel, Y.: Multifunction and multifunction of various constituents of one root system, 1996, p. 175 - 192 In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U.(eds): *Plant Roots: The Hidden Half*. 2nd ed., Marcel Dekker, Inc., New York Fitter, A.: Characteristics and functions of root systems. 2002, s. 15 – 32 In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (ed.) : *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, 1120

Gregory, P.: *Plant roots, growth, activity and interaction with soils*. 2006, Blackwell Publishing, Oxford, 318 s.

Chloupek, O.: Evaluation of the size of a plant's root system using its electrical capacitance, *Plant and Soil*. 1977, Vol. 48, p. 525 – 532.

Chloupek, O., Dostál, V., Středa, T., Psota, V., Dvořáčková, O.: Drought tolerance of barley varieties in relation to their root system size, *Plant Breeding*. 2010, Vol. 129, p. 630 – 636.

Manske, G. B., Vlek, P. L. G.: Root Architecture – Wheat as a Model Plant, 2002, p. 249 – 260, In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (ed.) : *Plant roots: The hidden half*. Marcel Dekker Inc., New York, 1120 s.

Schenk, H. J., Jackson, R. B.: The global biogeography of roots. *Ecological Monographs*. 2002, Vol. 72, p. 311–328.