

# Laboratorní testy kapacitního čidla pro měření výnosu cukrové řepy

LABORATORY TESTS WITH CAPACITANCE SENSOR FOR SUGAR BEET YIELD MAPPING

František Kumhála, Milan Kroulík, Jiří Mašek, Václav Prošek – Česká zemědělská univerzita v Praze

Cukrovka stále patří k důležitým plodinám jak v Evropě, tak v Americe, v těchto zeměpisných šířkách je hlavní plodinou pro výrobu cukru. Její význam je značný a je žádoucí, aby si své postavení zachovala (1). Ve vhodných půdních a klimatických podmínkách, u našich i ostatních zemědělců, se objevuje na stejných pozemcích po poměrně krátké době. V systému hospodaření, dnes obecně nazývaném termínem precizní zemědělství, se proto jedná o plodinu, která nemůže být opomíjena.

Jedním z hlavních prvků precizního zemědělství je bezesporu mapování výnosů. Výnosové monitory se již staly běžně komerčně nabízenou součástí strojů pro sklizeň zrnin, tedy sklízecích mlátiček (2), avšak existuje mnoho prací, které řeší mapování výnosů také u jiných strojů, jako jsou například sklízecí řezačky, žací stroje (3), sklízecí brambor (4) a jiné. Z tohoto důvodu jsou rovněž pro sklízecí řepy vyvíjeny rozličné výnosové monitory, pracující na různých principech.

KROULÍK ET AL. (5) se již podobnou problematikou v tomto časopisu zabývali a podali přehled možných systémů mapování výnosů při sklizni cukrové řepy. Asi nejběžněji testovanou metodou byla metoda vážení toku materiálu ve sklízeci.

SCHWENKE ET AL. (6) zkoušeli systém měření okamžité průchodnosti materiálu samojízdným sklízecím řepou, založený na principu vážení čistícího dopravníku cukrové řepy do zásobníku stroje. Společně s příjmem signálu DGPS získával celý systém data nutná pro tvorbu výnosových map. Při práci tohoto zařízení nebyla při vážení čistícího dopravníku zaznamenávána pouze hmotnost řepných bulv, ale také hmotnost příměsí, především hlíny a hrud.

Také ISENSE A LIEDER (7) popisují možnosti měření okamžitého výnosu na principu vážení bulv. Pro osazení vážicími elementy označili autoři jako nejvhodnější okružní dopravník bulv. Podobnou myšlenkou se zabývali také ROTTMEIER ET AL. (4) a obdobné řešení použila firma Kleine.

WALTER A BACKER (8) zkoušeli jiné dva systémy měření okamžitého výnosu cukrovky založené na principu vážení. Jeden z nich byl založen na vážení uvolněné kladky umístěné pod vodorovnou větví dopravníku vyčištěné cukrovky do zásobníku a druhý byl založen na principu vážení části vodorovné větve tohoto dopravníku pomocí pod ním instalované vážicí desky, po které klouzal.

Následně HALL ET AL. (9) zkoušeli vážit poslední sekci čistícího dopravníku řepy, která je u mnoha vyráběných strojů řešena jako téměř vodorovný dopravník. Kromě toho použili rovněž vážení pomocí uvolněné kladky a také snímali točivý moment na kladce pohonu čistícího dopravníku. Polní měření ukázala, že první dva systémy byly přesnější. Na podobném principu práce, tedy uvolněné vážicí kladce, pracuje výnosový monitor firmy HarvestMaster.

Jinou možností, jak sledovat aktuální výnos, je vážení celého zásobníku bulv. Zde je ale požadována poměrně velká citlivost vah při jejich velkém rozsahu vážení a vše je navíc rušeno různými vibracemi vznikajícími v důsledku pohybu stroje po pozemku i v důsledku práce jeho pohonů. Proto pro reálné použití není tento princip doporučován.

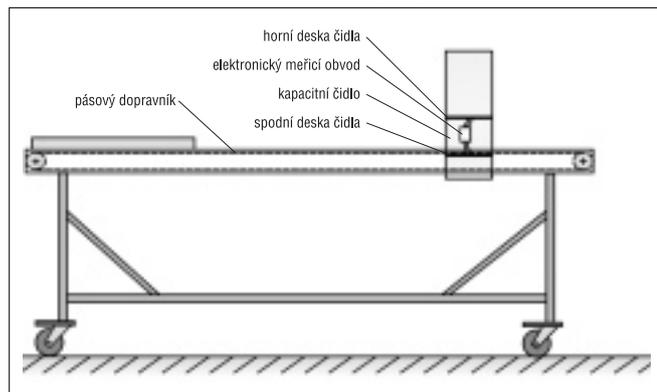
Jiná čidla mohou pracovat na odlišných principech. Tak například HENNENS ET AL. (10) vyvinuli čidlo na principu nárazové desky. Čidlo funguje jako součást čistícího mechanismu u strojů vybavených čistícími mechanismy s rotujícími roštovými čistícími koly se svislou osou otáčení. Práce čidla byla testována na dvou čistících jednotkách, a to na typu Agrifac ZA EH 215 (jednofázový systém čištění) a Dewulf R6000T (spojka dvoufázového systému čištění).

Nevýhodou všech výše uvedených měření je to, že s bulvami jsou váženy také všechny příměsí. Hlavně z tohoto důvodu SCHMITTMANN A KROMER (11) použili on-line systém pro počítání řepných bulv. Nejprve zjišťovali pouze počet řepných bulv při jejich cestě z vyrobáče do dalších pracovních částí stroje. Okamžitý výnos byl počítán jako násobek počtu bulv a průměrné hmotnosti jedné bulvy. Následně celý systém zdokonalili. V druhém případě zjišťovali průměr řepné bulvy ve směru pojezdové rychlosti stroje a její délku. Pomocí zmíněných dvou veličin lze s vysokým koeficientem determinace určit skutečnou hmotnost řepné bulvy. Když se takto zjištěná hmotnost bulv vynásobí jejich počtem, který lze také při sklizni snadno zjišťovat, lze určit okamžitý výnos.

KONSTANTINOVIC ET AL. (12) použili k určování výnosu cukrovky širokopásmového (UWB) radarového systému. Tento systém mapuje výnos cukrovky ještě když je bulva v zemi. Jeho princip je založen na vysílači a přijímači impulsů z radarového systému. Energie přijatých impulsů je větší při jejich odrazu od řepné bulvy, než při jejich odrazu od hlíny. Na základě toho lze v laboratorních podmínkách určit jak polohu cukrové řepy, tak její přibližnou hmotnost. Při praktickém použití však celý systém nepracoval zcela uspokojivě.

Jak vyplývá z literárního přehledu, vývoj vhodných metod pro mapování výnosu cukrové řepy stále není u konce. Metody založené na principu vážení, ale rovněž metody založené na principu měření nárazové síly, budou vždy zatíženy určitou chybou související s množstvím příměsí a s vibracemi stroje. Další dvě popsané bezkontaktní metody jsou poměrně složité a radarový systém navíc zatím ani není vhodný k praktickému použití. Nicméně bezkontaktní metody měření se jeví pro stanovení výnosu cukrové řepy jako výhodnější. Hlavním cílem výzkumu popsaného v tomto příspěvku proto bylo navrhnout jednoduchou bezkontaktní metodu vhodnou k okamžitému měření průchodnosti řepných bulv. Vzhledem k relativně nízké ceně

Obr. 1. Uspořádání měřicího stanoviště pro stanovení okamžité průchodnosti bulev cukrovky kapacitním čidlem



a jednoduchému principu práce se jako vhodná metoda jeví kapacitní metoda měření.

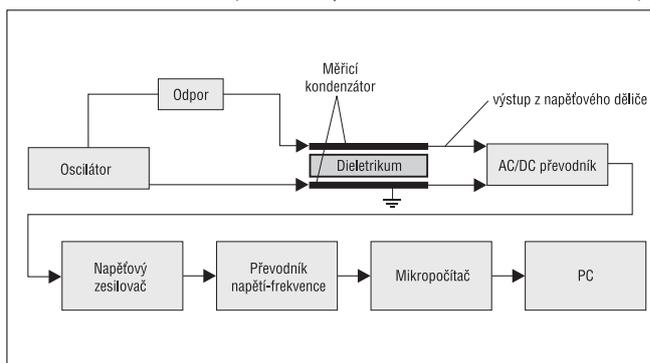
### Materiál a metody

Kapacitní čidlo původně vyvinuté za účelem měření okamžité průchodnosti pícnin (13) bylo upraveno pro měření průchodnosti cukrové řepy. Čidlo se skládá ze dvou nerezových desek z 2 mm tlustého plechu o délce 830 mm a šířce 260 mm. Obě desky byly namontovány na rám z plexiskla ve vzdálenosti 180 mm od sebe. Právě vzdálenost desek byla základní odlišností konstrukce čidla pro cukrovou řepu od konstrukce čidla pro pícniny, kde byla použita vzdálenost desek 300 mm. Vnitřní část desek byla odizolována nalepením plastových desek o tloušťce 1 mm. Plastové desky měly stejné rozměry jako desky nerezové.

Pro účely měření bylo čidlo namontováno na pásový dopravník. Jednalo se o pásový dopravník s gumotextilním pásem typu ND2 133, jehož výrobcem byla STS Pacov. Celková délka dopravníku je 5,1 m a šířka dopravního pásu 490 mm. Čidlo bylo na dopravník umístěno tak, že jeho spodní nerezová deska byla zasunuta pod gumotextilní pás. Střed pásu byl uprostřed délky spodní nerezové desky. Kondenzátor byl umístěn ke konci dopravníku. Jeho vzdálenost od začátku dopravníku byla 4,05 m. Uspořádání měřicí aparatury je na obr. 1.

Kondenzátor byl napájen střídavým proudem z oscilátoru přes odpor. Tento odpor tvořil společně s kondenzátorem, vlivem jeho reaktance, napěťový dělič. Výstupní napětí napěťového děliče záviselo na kapacitě měřicího kondenzátoru a ta se měnila podle množství materiálu, který se nacházel mezi jeho deskami v důsledku měnění se permitivity. Permitivita prostředí mezi deskami měřicího kondenzátoru se měnila v závislosti na poměru vzduchu a měřeného materiálu. Výstupní střídavé napětí z napěťového děliče bylo poté převedeno na napětí stejnosměrné v AC/DC převodníku a následně zesíleno v zesilovači. Toto zesílené stejnosměrné napětí bylo v zápětí převedeno na frekvenci v elektronickém měřicím zařízení vyvinutém rovněž v naší laboratoři. Výstupní frekvence byla přímo úměrně závislá na naměřeném napětí. Frekvenční pulsy z převodníku byly načítány po dobu 0,5 s pomocí jednočipového mikro počítače a získané výsledky byly každou 0,5 s posílány přes port RS 232 do PC a tam ukládány do datového souboru pro následné zpracování. Kondenzátor a celý oscilační obvod pracoval na frekvenci 27 MHz. Schéma zapojení měřicího obvodu je na obr. 2.

Obr. 2. Blokové schéma zapojení elektronické části měřicí aparatury pro stanovení okamžité průchodnosti bulev kapacitním čidlem (oscilátor pracoval na frekvenci 27 MHz)



Pro měření průchodnosti byla použita čerstvě sklizená očištěná cukrová řepa tak, jak byla získána sklizněm při sklizni v roce 2007. Vlhkost bulev cukrové řepy byla zjišťována standardní metodou a pohybovala se okolo 76 %.

Vlastní měření probíhalo tak, že předem odvážené množství cukrové řepy bylo co nejrovnoměrněji rozprostřeno na pásový dopravník před kapacitní čidlo. Poté byl spuštěn pásový dopravník. Cukrová řepa narovnaná na dopravníku prošla mezi deskami kondenzátoru a vypadla za dopravníkem do přepravky. Rychlost pohybu dopravníku nastavená z výroby byla  $0,85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Pro účely našeho měření bylo možno rychlost dopravníku také snížit na polovinu této hodnoty pomocí frekvenčního měniče, přes který byl napájen elektromotor pohonu pásového dopravníku. Tak bylo možno dosáhnout polovičních hodnot nastavené průchodnosti materiálu. Na dopravník bylo rozprostřeno množství materiálu od 25 do 100 kg. Množství materiálu bylo postupně zvyšováno po 12,5 kg. Protože doba průchodu materiálu narovnaného na dopravníku čidlem byla 4 s, odpovídalo měřené množství přibližně průchodnostem od 6 do  $25 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$  při rychlosti dopravníku  $0,85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  nebo od 3 do  $12,5 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$  při poloviční nastavené rychlosti dopravníku. Při každém měření bylo vzhledem k času odečtu 0,5 s získáno 8 respektive 16 údajů. Měření pro každou nastavenou průchodnost materiálu bylo opakováno nejméně třikrát (zkoušky proběhly ve dvou dnech, 19. 10. a 2. 11. 2007).

### Výsledky a diskuse

První série měření s kapacitním čidlem upraveným pro stanovení průchodnosti cukrové řepy se uskutečnila 19. 10. 2007. Vlhkost bulev cukrové řepy byla 75,2 %. Hlavním cílem těchto měření bylo zjistit, zda námi navržená aparatura vyhovuje pro naše účely měření, a zjistit, jak se bude čidlo při zkouškách s cukrovou řepou chovat. Za tímto účelem byla nejprve změřena jedna řada za sebe narovnaných bulev uprostřed pásového dopravníku. Toto uspořádání odpovídalo průchodnosti asi  $6 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ . Posléze bylo použito stejné množství řepy tak, že bulvy byly narovnané střídavě na levou a pravou krajní stranu pásu dopravníku. Při porovnání výsledků z obou těchto měření bylo zřejmé, že rovnoměrnost rozprostření bulev po šířce dopravníku nemá na získané výsledky zásadní vliv.

Dále bylo testováno, zda činnost čidla nějakým způsobem ovlivňuje rychlost pohybu dopravníku. Stejně množství mate-

riálu bylo proto měřeno při rychlosti pohybu dopravníku  $0,85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a posléze při jeho poloviční rychlosti. Výsledky ukázaly, že ani rozdílná rychlost pohybu dopravníku nemá na stanovení průchodnosti zásadní vliv.

Na základě těchto zjištění bylo množství materiálu zvyšováno až na hmotnost cca  $100 \text{ kg}$ , což odpovídalo průchodnosti cca  $25 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ , a bylo to maximum materiálu, které ještě mohlo projít mezi deskami čidla. Na obr. 3. je získaný graf závislosti údajů z měřicí aparatury na průchodnosti cukrovky, do kterého jsou zahrnuta všechna měření, tedy jak při rychlosti pohybu dopravníku  $0,85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , tak při jeho poloviční rychlosti a rovněž s rovnoměrně i nerovnoměrně rozloženými bulvami cukrové řepy. Zjištěná závislost údajů čidla na průchodnosti bulev byla lineární a vypočítaný koeficient determinace dosáhl hodnoty  $R^2 = 0,98$ .

Jak je z obr. 3. patrné, největší rozptyl vykazovala data při měření s nejvyšší průchodností. Bylo to pravděpodobně způsobeno tím, že při spouštění dopravníku s hmotností narovnaného testovaného materiálu i mírně přes  $100 \text{ kg}$  došlo v důsledku setrvačnosti k cuknutí celého dopravníku s namontovaným kapacitním čidlem. Následně došlo k mírnému rozechvění desek čidla a v důsledku toho nemusely získané údaje při této průchodnosti být tak přesné, jako při nižších průchodnostech, kdy se tento vliv tak výrazně neprojevoval.

Po podrobném vyhodnocení výsledků z prvního dne měření bylo rozhodnuto podobnou zkoušku se stejným materiálem zopakovat. Záměrem bylo především potvrdit závislosti získané při prvním stanovení. Druhá série byla uskutečněna o dva týdny později a byla při něm použita stejná cukrová řepa, jako při prvních měření. Řepné bulvy nijak výrazně nezměnily své vlastnosti, protože byly skladovány v chladu. Svědčí o tom i to, že zjištěná vlhkost bulev dosahovala  $77 \%$ , což nebylo výrazně odlišné od vlhkosti zjištěné při první sérii.

Na základě zkušeností z prvního dne měření byl materiál na dopravník rovnán tak, že byla snaha dodržet především jeho podélnou rovnoměrnost. Na příčnou rovnoměrnost rozložení materiálu (zvláště při malých průchodnostech) nebyl brán zvláštní ohled. Na obr. 4. je zobrazena závislost údajů z kapacitního čidla na průchodnosti cukrové řepy při druhém dnu měření. Z obrázku je patrné, že tato závislost byla opět lineární, s koeficientem determinace  $R^2 = 0,98$ .

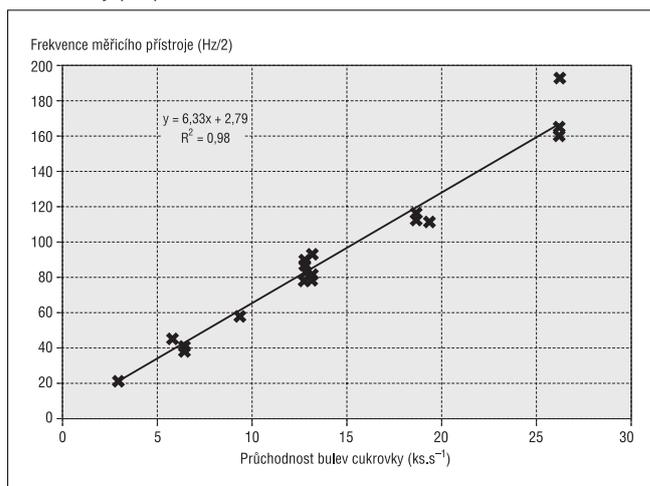
Největší rozptyl naměřených hodnot byl tentokrát zaznamenán při průchodnostech mezi  $10$  a  $15 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ . To mohlo být způsobeno zhoršenou příčnou rovnoměrností narovnání materiálu na dopravník. Ta se mohla více projevit právě při menších průchodnostech. Rozptyl hodnot při průchodnosti  $25 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$  byl také větší a byl pravděpodobně způsoben stejnou příčinou, jako při prvním dnu měření.

Dosažený koeficient determinace byl nicméně stále velmi uspokojivý a dosahoval na třetím desetinném místě dokonce mírně lepší hodnoty, než při prvním dnu měření. Při vizuálním porovnání regresních přímk získaných při první a druhé sérii měření je patrné, že mezi nimi není žádný podstatný rozdíl. Kapacitní čidlo zaznamenávalo při obou měřeních velmi podobné hodnoty, a to svědčí o dobré opakovatelnosti.

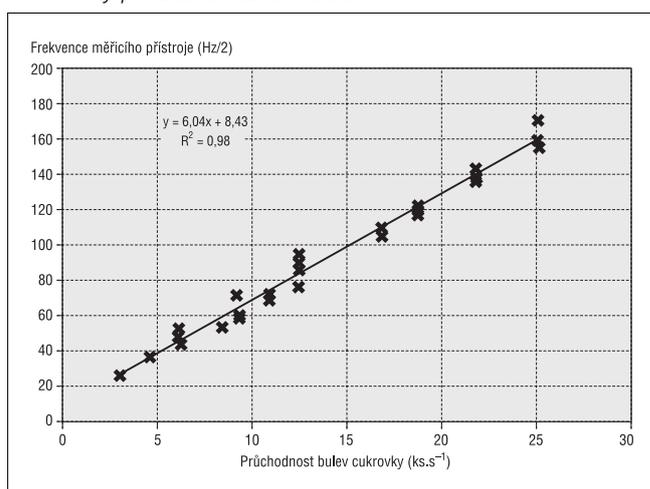
### Závěr

Na základě výsledků našich zkoušek lze kapacitní čidlo tak, jak bylo použito, doporučit pro stanovení okamžitého toku

Obr. 3. Závislost výstupní frekvence elektronické měřicí aparatury s kapacitním čidlem na průchodnosti bulev cukrovky při prvním dnu měření



Obr. 4. Závislost výstupní frekvence elektronické měřicí aparatury s kapacitním čidlem na průchodnosti bulev cukrovky při druhém dnu měření



bulev cukrové řepy. Výhodou čidla je, že se jedná o čidlo bezdotykové. Vliv příměsí (především mokré půdy) na přesnost čidla je třeba zjistit v dalších zkouškách. Testované čidlo by mělo být vhodné pro tvorbu výnosových map při sklizni cukrovky.

*Příspěvek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM6046070905.*

### Souhrn

Příspěvek se zabývá možností měření okamžité průchodnosti bulev cukrové řepy kapacitním čidlem. Za účelem jejího otestování byla vyrobena měřicí aparatura skládající se z kapacitního čidla vyvinutého v naší laboratoři a pásového dopravníku. Testy s průchodností materiálu od  $3$  do  $25 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$  ukázaly, že údaje z čidla závisely lineárně na okamžitém toku materiálu. Zjištěné koeficienty determinace dosahovaly hodnot  $R^2 = 0,98$ . Čidlo lze využít pro tvorbu výnosových map při sklizni cukrovky.

---

## Literatura

1. FRONĚK D.: Dosavadní vývoj restrukturalizace cukrovarnického průmyslu v rámci cukerní reformy. *Listy cukrov. a řep.*, 123, 2007 (5/6), s. 154–157.
2. ARSLAN S., COLVIN T. S.: An Evaluation of the Response of Yield Monitors and Combines to Varying Yields. *Precision Agriculture*, 3, 2002 (2), s. 107–122.
3. KUMHÁLA F., KROULÍK M., PROŠEK V.: Development and Evaluation of Forage Yield Measure Sensors in a Mowing-conditioning Machine. *Computers and Electronics in Agriculture*, 58, 2007 (2), s. 154–163.
4. EHLERT D., ALGERBO P-A.: Yield mapping with potatoes. *Landtechnik*, 55, 2000 (6), s. 436–437.
5. KROULÍK M. ET AL.: Přehled systémů mapování výnosů při sklizni cukrovky. *Listy cukrov. a řep.*, 121, 2005 (1), s. 13–17.
6. SCHWENKE T. ET AL.: Ertragsermittlung im selbstfahrenden Zuckerrüben Köpf-Rode-Bunker. In *Proc. Conference Agricultural Engineering*, Halle, VDI Verlag GmbH, 2002, s. 253–258.
7. ISENSEE E., LIEDER W.: Ertragsmessung in der Rübenernte. *Landtechnik*, 56, 2001 (4), s. 272.
8. WALTER J. D., BACKER L. F.: Sugarbeet Yield Monitoring for Site-Specific Farming Part I-Laboratory Tests and Preliminary Field Tests. *Precision Agriculture*, 4, 2003 (4), s. 421–431.
9. HALL T. L., BACKER L. F., HOFMAN V. L.: Sugarbeet Yield Monitoring for Site-Specific Farming Part II-Field Testing. *Precision Agriculture*, 4, 2003 (4), s. 433–444.
10. HENNENS D. ET AL.: Development of a Flow Model for the Design of a Momentum Type Beet Flow Sensor. *Biosystems Engineering*, 85, 2003 (4), s. 425–436.
11. SCHMITTMANN O., KROMER K-H.: Teilflächenspezifische Ertragsmessung von Zuckerrüben. In *Proc. Conference Agricultural Engineering*, Halle, VDI Verlag GmbH, 2002, s. 259–264.
12. KONSTANTINOVIC M. ET AL.: Evaluation of a UWB Radar System for Yield Mapping of Sugar Beet. *ASABE Paper No. 071051*, ASABE, St. Joseph, Michigan, 2007, 12 s.
13. KUMHÁLA F. ET AL.: Dynamic laboratory measurement with dielectric sensor for forage mass flow determination. *Res. Agr. Eng.*, 53, 2007 (4), s. 149–154.

### **Kumhála F., Kroulík M., Mašek J., Prošek V.: Laboratory tests with capacitance sensor for sugar beet yield mapping**

The main aim of this article was to evaluate the possibility of sugar beet feed rate measurement with capacitance sensor. The measuring device consisted from belt conveyor and capacitance sensor developed in our laboratory was built for that purpose. Laboratory tests with material feed rate from 3 to 25 kg.s<sup>-1</sup> showed that output signals from capacitance sensor depended linearly on material feed rate. Achieved coefficients of determination were calculated to the value  $R^2 = 0.98$ . Tested capacitance sensor is potential approach to yield map creation from a sugar beet harvest.

**Key words:** yield mapping, sugar beet, capacitance sensor, material feed rate.

---

### **Kontaktní adresa – Contact address:**

Doc. Dr. Ing. František Kumhála, Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: kumhala@tf.czu.cz