

MOŽNOSTI MAPOVÁNÍ VÝNOSŮ U SKLÍZECÍCH ŘEZAČEK.

František KUMHÁLA, Milan KROULÍK

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů.

Abstrakt

Mapování výnosů polních plodin je jedním ze základních prvků precizního zemědělství. Nejvíce je zatím rozšířeno u sklízecích mlátiček. Možnosti mapování výnosu u dalších strojů jsou však rovněž intenzivně zkoumány. U sklízecích řezaček je v současné době známo a testováno hned několik systémů.

Čidla zjišťování okamžité průchodnosti jsou založena na různých principech. Nejprve se objevila snaha usuzovat na okamžitou průchodnost materiálu při sklizni z příkonu pracovních mechanismů stroje. Byly sledovány změny příkonu základní jednotky (řezací buben, vkladací válec, žací adaptér) a změny příkonu metače. Příkon základní jednotky se nezdál být tak vhodným ukazatelem, jako příkon metače, protože je značně ovlivňován otupením řezacího bubnu a dalšími vlivy. Při měření příkonu různých částí sklízecí řezačky bylo různými autory dosaženo koeficientu determinace v okolí hodnot $R^2=0,95$.

Další možností je měření mezery mezi vkladacími válci. Podle různých autorů se jedná o přijatelný kompromis mezi náročností technického řešení celého systému a očekávanou přesností. Nevýhodou je kalibrace celého systému pro sklizeň různých plodin. Koeficienty determinace se pro tuto metodu pohybují v rozmezí $R^2=0,95-0,97$.

Zkoušely se také radiometrické metody. Při testech byla prokázána jejich vhodnost, nicméně problém je použití radioaktivního záření, i když má zanedbatelnou intenzitu.

Dalším testovaným principem je měření založené na principu práce nárazové desky. Také zde se podle různých autorů koeficienty determinace pohybují v rozmezí $R^2=0,95-0,97$. Metoda se proto jeví jako vhodná. Byla zkoušena u návěsné i samojízdné sklízecí řezačky.

Byl testován rovněž senzor kapacitní. Zde však platilo, že okamžitou průchodnost lze určit pouze při současné znalosti okamžité vlhkosti sklizeného materiálu nebo naopak. Tato metoda vyžaduje další výzkum.

Pomocí laserového čidla je možno zjišťovat tloušťku vrstvy procházejícího materiálu v odhazové koncovce sklízecí řezačky. Při současném měření jeho rychlosti lze zjistit jeho objem a tím i průchodnost. Koeficienty determinace se pro tato měření pohybovaly okolo $R^2=0,97$.

Z přehledu je patrné, že je vyvinuto a otestováno několik nadějných měřících metod a je asi pouze otázkou času, kdy se mapování výnosů při sklizni sklízecí řezačkou začne tak rozšiřovat, jako mapování výnosů při sklizni sklízecími mlátičkami.

Klíčová slova: sklizeň píce, sklízecí řezačky, mapování výnosů

Úvod

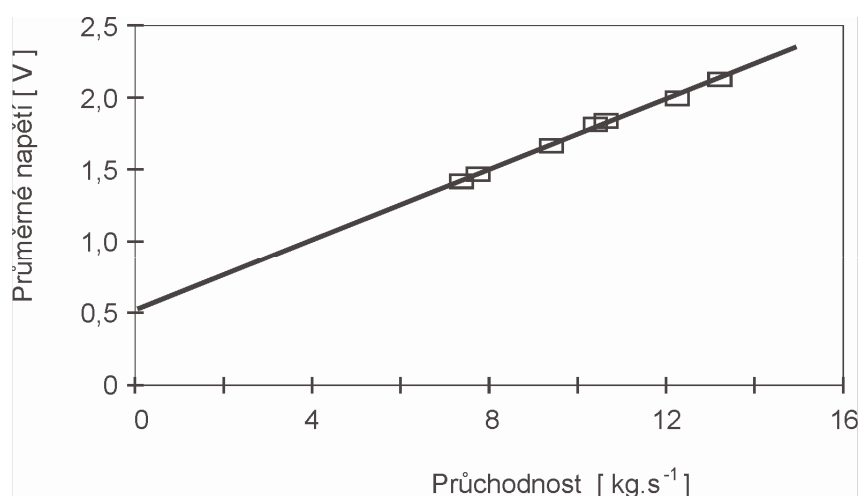
Mapování výnosů polních plodin je jedním ze základních prvků precizního zemědělství. Pro tvorbu výnosových map při sklizni zrnin bylo vyvinuto hned několik systémů, které jsou dnes v praxi rozšířeny. Liší se především metodou zjišťování okamžité průchodnosti sklizeného materiálu. Výnosová čidla pracují na objemovém a hmotnostním principu měření průchodnosti. Poměrně značná pozornost byla věnována také možnosti mapování okamžitého výnosu a následné tvorby výnosových map při sklizni píče sklízecí řezačkou. I zde je dnes známo a vyzkoušeno několik funkčních systémů. V praxi však zatím není mapování výnosů při sklizni sklízecími řezačkami zdaleka tak rozšířeno, jako mapování výnosů obilovin při sklizni sklízecí mlátičkou.

Možnosti mapování výnosů při sklizni pícnin sklízecí řezačkou

Měření průchodnosti založené na principu sledování příkonu základní jednotky a metače.

Vansichen a De Baerdemaeker (1993) sledovali za účelem získávání údajů o okamžité průchodnosti materiálu sklízecí řezačkou příkon na poháněcím hřídeli metače a příkon pohonu řezacího bubnu, vkladacích válců a řádkového kukuřičného žacího adaptéru zároveň. Z důvodů konstrukce řezačky nebylo možno od sebe tyto tři pracovní části stroje oddělit. Uvedené tři části stroje byly autory nazvány základní jednotkou.

Předlohový hřídel pohonu základní jednotky a hřídel pohonu metače byly za tímto účelem vybaveny torzními senzory. Rychlost otáčení hřídelů byla měřena tachometry, které se skládaly z ozubených kol a indukčních snímačů. Rychlost pohybu stroje po pozemku byla měřena radarovým senzorem. Pohyb stroje vpřed a vzad byl také snímán snímačem, který automaticky vypínal celý systém v případě, že se stroj začal pohybovat směrem vzad. Další čidlo bylo použito pro určení začátku a konce sklizených kukuřičných řádků.



Obr. 1: Závislost příkonu metače sklízecí řezačky měřeného prostřednictvím průměrného napětí torzních tenzometrů na průchodnosti podle Vansichena a De Baerdemaekera (1993), upraveno.

Při vyhodnocování výsledků měření průchodnosti se ukazovalo, že hodnoty naměřené na pohonu metače měly pro lineární závislost vyšší koeficient determinace ($R^2 = 0,995$) a menší směrodatnou odchylku. Hodnoty naměřené na pohonu základní jednotky nebyly natolik přesné ($R^2 = 0,949$). Bylo to pravděpodobně způsobeno tím, že měřený točivý moment je do značné míry ovlivněn řeznou silou, která závisí na různých vlastnostech porostu podobně jako na otupení nožů atd. Moment měřený na pohonu metače je méně závislý na těchto fyzikálních vlastnostech. Pro měření výnosu byl z tohoto důvodu použit signál z metače. Na obr. 1 jsou data získaná při měření příkonu metače.

Data pro kalibraci celého systému byla získána pro průchodnosti menší než polovina maximální výkonnosti stroje. Při těchto průchodnostech zůstávala rychlost otáčení metače prakticky konstantní. Jestliže bylo pro určení průchodnosti použito příkonu metače namísto pouze jeho točivého momentu, neznamenal to ve výsledku velkou chybu. Při vyšších průchodnostech by však mohlo docházet ke změně rychlosti otáčení metače. V tom případě by bylo vhodnější použít jeho příkon. Při vyšších průchodnostech také není jisté, že závislost průchodnosti na těchto údajích bude lineární.

Podobný princip měření použili Tremblay a kol. (1994). Zjistili koeficienty determinace $R^2=0,7$ až $0,86$. Autoři použili v tomto případě pro určování průchodnosti materiálu princip měření příkonu řezacího ústrojí včetně metače. Při použití této metody je

nezbytné zjišťovat vlhkost sklizeného materiálu. Další parametry je nutno určovat pro každou sklízecí řezačku zvlášť, protože závisejí na účinnosti řezacího ústrojí a metače každého konkrétního stroje. Vztah mezi příkonem a průchodností materiálu také ovlivňuje otupení nožů a vzdálenost ostří a protiostrí. Snížení takto vznikajících chyb je možno dosáhnout pouze správnou kalibrací.

Měření mezery mezi vkládacími válci.

Jinou možností měření okamžitého výnosu je měřit mezeru mezi horními a spodními vkládacími válci vkladače sklízecí řezačky (Auernhammer a kol., 1994, Ehlert a Schmidt, 1995). Při tomto měření ovlivňovaly různé vlastnosti porostu proces jeho stlačování. Pro každý sklizený porost musela být provedena vždy nová kalibrace. Rozdíly mezi jednotlivými pozemky, rozdílná zralost atd. znamenaly nepřesnosti v měření výnosu.

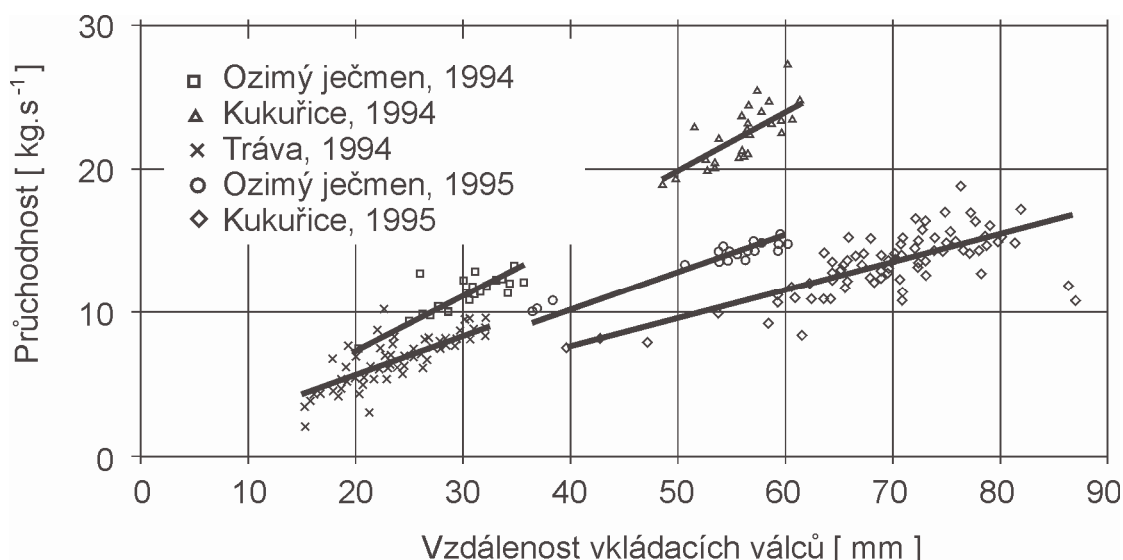
Ehlert a Jürschik (1997) uvádějí, že se jedná o přijatelný kompromis mezi náročností technického řešení celého systému a očekávanou přesností. Tato technika může být použita pro každý typ sklízecí řezačky, protože každá z nich stlačuje válci vkladače řezaný materiál před vstupem do řezacího ústrojí. Za účelem měření vzdálenosti vkládacích válců byly dvě samojízdné sklízecí řezačky vybaveny měřícím zařízením založeným na principu elektronického úhloměru, který měřil měnící se úhel nastavení pohyblivých horních vkládacích válců. Signály získávané z úhloměru byly zaznamenávány na PCMCIA kartu a posléze počítačově zpracovány.

Dalšími doplňujícími snímanými údaji byla rychlost otáčení vkládacích válců řezačky, pojezdová rychlost a okamžitá poloha stroje snímaná v systému DGPS. Na základě těchto snímaných signálů je možno za použití GIS vytvořit výnosovou mapu a provádět statistické analýzy (Ehlert a Schmidt, 1995). Byla zjišťována korelace mezi střední šířkou vrstvy materiálu vkládané do řezného ústí sklízecí řezačky, měřené prostřednictvím vzdálenosti vkládacích válců od sebe, a průchodností.

Měření se uskutečnila při sklizni travin, ozimého ječmene a kukuřice na siláž. Získané závislosti byly lineární avšak s rozdílným sklonem jednotlivých přímk (obr. 2). To bylo způsobeno rozdílnou vlhkostí sklizeného materiálu, druhem sklizeného porostu a rychlostí vkládaného materiálu. Protože všechny sklizené plodiny byly vždy pouze z jednoho pozemku, byly vždy relativně vyrovnané a měly také přibližně stejnou vlhkost při sklizni, bylo možné určit relativní rozdíly mezi jednotlivými místy pozemku. V závěru bylo konstatováno, že tento princip měření ale stále vyžaduje další pokusy pro zlepšení jeho přesnosti a vyřešení otázek zavedení do praxe.

Podobný princip měření použili rovněž Martel a Savoie (1999) s tím rozdílem, že snímali vzdálenost vkládacích válců od sebe (nikoliv úhel natočení nosníku horního vkládacího válce). Údaje z měření vzdálenosti vkládacích válců při sklizni kukuřice vykazovala lineární závislost na průchodnosti s koeficientem determinace $R^2=0,937$. Tato měření byla dosažena při průchodnostech v rozmezí od 15 do 32 kg.s⁻¹ vlhkého materiálu a vlhkosti sklizeného materiálu 78,7 %.

Schmittmann a kol. (2001) rovněž sledovali funkci systému určování průchodnosti založeného na principu zjišťování tloušťky vrstvy vkládaného materiálu na samojízdné sklízecí řezačce Claas Jaguar 690 SL. Ta byla měřena tak, že lineárními potenciometry byla zjišťována změna natažení přitahovacích pružin ramen horních vkládacích válců na obou stranách vkladače stroje. Rychlost vkládaného materiálu byla zjišťována pomocí kontaktního snímače otáček spodního hladkého válce. Pro tuto metodu měření průchodnosti byl naměřen koeficient determinace lineární funkce o hodnotě $R^2 = 0,97$. Průchodnost materiálu se pohybovala v rozmezí od 28,8 do 57,6 kg.h⁻¹.



Obr. 2: Závislost vzdálenosti vkladacích válců sklízecí řezačky na průchodnosti různých plodin podle Ehlerta a Jürschika (1997). Upraveno.

Diekhans (2002) uvádí, že na základě prověřování firmy Claas se jako nejlepší metoda měření okamžité průchodnosti materiálu sklízecí řezačkou jeví měření vzdálenosti posledního horního vkladacího válce. Tato metoda je účinná i v případě, že se bere v potaz množství variabilních rušivých elementů. Senzor je založen na práci bezdotykového potenciometru a z tohoto důvodu poskytuje mnoho výhod díky své jednoduchosti a spolehlivosti.

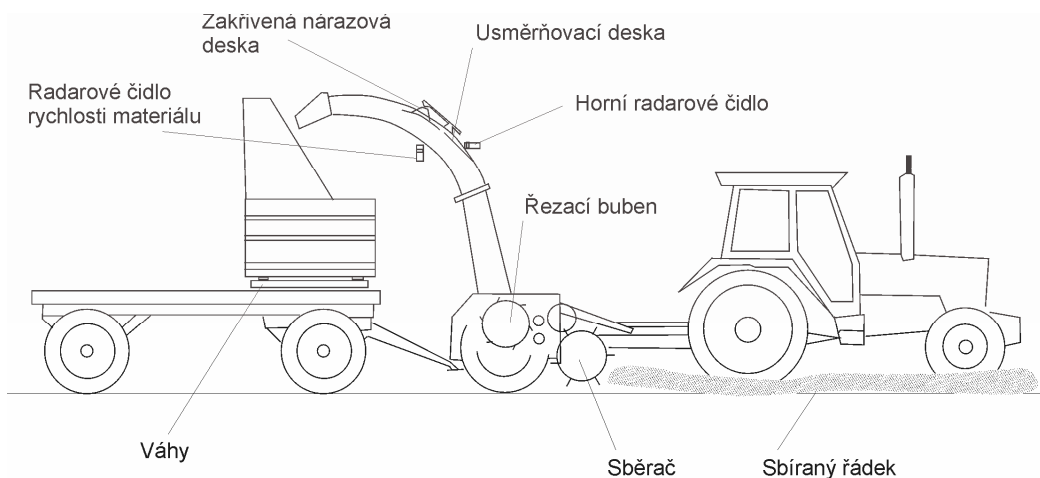
Měření založené na principu práce nárazové desky.

Missotten a kol. (1997) zkoušeli možnost měření průchodnosti materiálu sklízecí řezačkou v odhazové koncovce pomocí zakřivené nárazové desky. První pokusy s tímto typem senzoru prováděli autoři na návěsné sklízecí řezačce. Senzor průchodnosti materiálu se skládal z usměrňovací desky, nárazové desky a radarového čidla rychlosti materiálu. Usměrňovací deska usměrňovala pohyb materiálu na nárazovou desku, která měřila sílu vyvíjenou tokem materiálu s takto určeným směrem nárazu na desku. Síly působící na nárazovou desku (odstředivá síla a síla třecí) jsou závislé na rychlosti materiálu procházejícího odhazovou koncovkou. U sklízecích řezaček tato rychlost závisí na různých parametrech, jako je nastavení stroje, vlastnosti sklízeného materiálu a okamžitá průchodnost strojem (Auernhammer a Demmel, 1996). Za tímto účelem byly instalovány radarové senzory pro korekci rychlosti. Umístění čidel na stroji je na obr. 3.

Z výsledků vyplynulo následující. Měření byla uskutečněna na dvou porostech s různými vlastnostmi. Prvním porostem byla silážní kukuřice, která byla velmi suchá. druhým porostem byl porost zeleného hnojení, který měl vlhkost více než 80 %. Zelené hnojení bylo sklízeno během deštivého počasí. Jednotlivé zkušební jízdy byly uskutečněny s různou jezdovou rychlostí, aby se dosáhlo rozdílných průchodností. Celková hmotnost řezanky získané při zkušební jízdě byla porovnávána s elektrickými signály získanými nárazovou deskou.

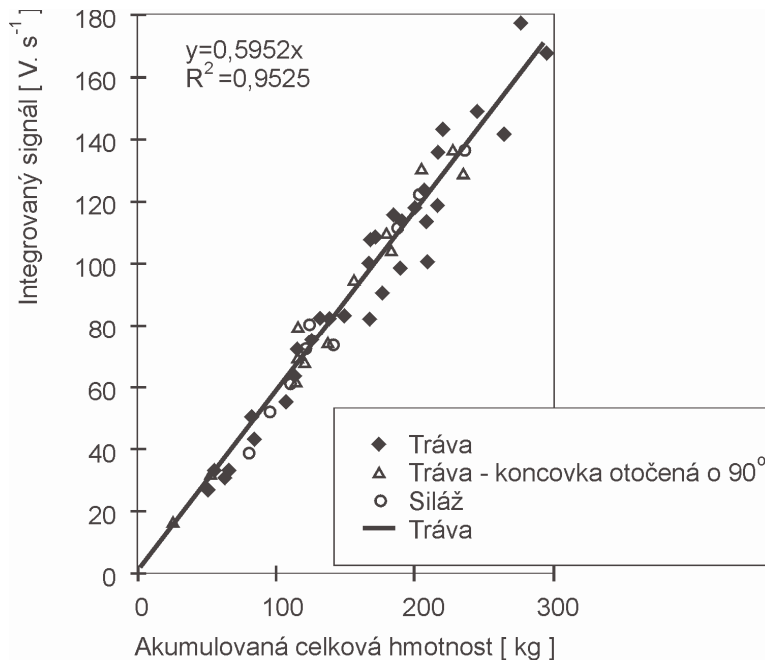
Grafy na obr. 4 jasně ukazují, že typ sklízené plodiny neměl žádný vliv na měření závislosti elektrického signálu na zvažené hmotnosti prošlého materiálu. Naměřené hodnoty jsou okolo jedné přímky přesto, že oba porosty měly naprosto rozdílné vlastnosti. To také znamená, že podobné měření vůbec nezávisí na vlastnostech (např. vlhkosti) sklízeného materiálu. To v praxi znamená, že se snižuje nutnost velkého množství kalibrací pro různé sklízené materiály aniž by se snižovala přesnost měření. Navíc při sklizni není na podobné

kalibrace mnoho času. Grafy na obr. 4 ukazují odchylky jednotlivých měření od kalibrační křivky.



Obr. 3: Vybavení návěsné sklízecí řezačky čidly pro měření průchodnosti materiálu (Missotten a kol., 1997). Upraveno.

Chyby měření běžně překračovaly 15 % a více. Tyto chyby byly způsobeny nerovnoměrnostmi průtoku, změnou rychlosti materiálu, chybami měření (chyba v měřítku, některý materiál nedolétl do vozu) a malou hmotností vzorků. Návěsné sklízecí řezačky nebývají vybaveny metačem. To znamená velmi nerovnoměrný tok materiálu přímo odhazovaného řezacím bubnem v odhazové koncovce. Velmi rychlá změna průchodnosti materiálu z maxima na téměř nulu během 2 sekund znamená velmi nevýhodné podmínky pro měření.



Obr. 4: Závislost signálů z nárazové desky na množství prošlého materiálu. (Missotten a kol., 1997). Upraveno.

Protože se měnila rychlost materiálu, bylo nutno přistoupit ke korekci podle jeho rychlosti. Jestliže se použilo rychlostní korekce podle radarových senzorů, bylo dosaženo toho, že všechny chyby měření byly pod 5 % hmotnosti vzorku. Bylo také naměřeno, že

pootočení odhazové koncovky měnící směr odhozu materiálu o 90^0 nemá vliv na měřené hodnoty.

Barnett a Shinnars (1998) zjistili velmi dobrou závislost nárazové síly měřené zakřivenou nárazovou deskou umístěnou v odhazové koncovce sklízecí řezačky při sklizni vojtěšky ($R^2=0,87$) a kukuřice na siláž ($R^2=0,79$). Autoři publikovali chyby měření $\pm 9 \%$ u vojtěšky a $\pm 12 \%$ u kukuřice.

Martel a Savoie (1999) také získali velmi dobrou závislost údajů nárazové desky na průchodnosti materiálu. Tato závislost byla dosahována při průchodnostech od 15 do 32 kg.s^{-1} . Pro měření použili tenzometrického převodu síly vyvolané materiálem na nárazovou desku. Při polních měřeních byla zjištěna lineární závislost měřené průchodnosti na údajích z nárazové desky s koeficientem determinace $R^2=0,948$ při použití elektronického filtru, který odstínil rušivé vlivy, jako např. chvění stroje atd.

Schmittmann a kol. (2001) rovněž měřili nárazovou sílu materiálu v odhazové koncovce sklízecí řezačky. Uvádějí, že hmotnostní tok materiálu vytváří impuls síly. Ta může být měřena například pomocí usměrňovací desky na konci odhazové koncovky sklízecí řezačky. Z toho důvodu byla směrovací deska odhazové koncovky autory nahrazena nárazovou deskou. Signály z nárazové desky byly rovněž filtrovány pomocí elektronického filtru. Suma signálů nárazové desky byla sledována v závislosti na hmotnostních datech. Lineární regrese ukazovala přijatelný koeficient determinace $R^2 = 0,95$.

Další možnosti měření průchodnosti materiálu při sklizni sklízecí řezačkou

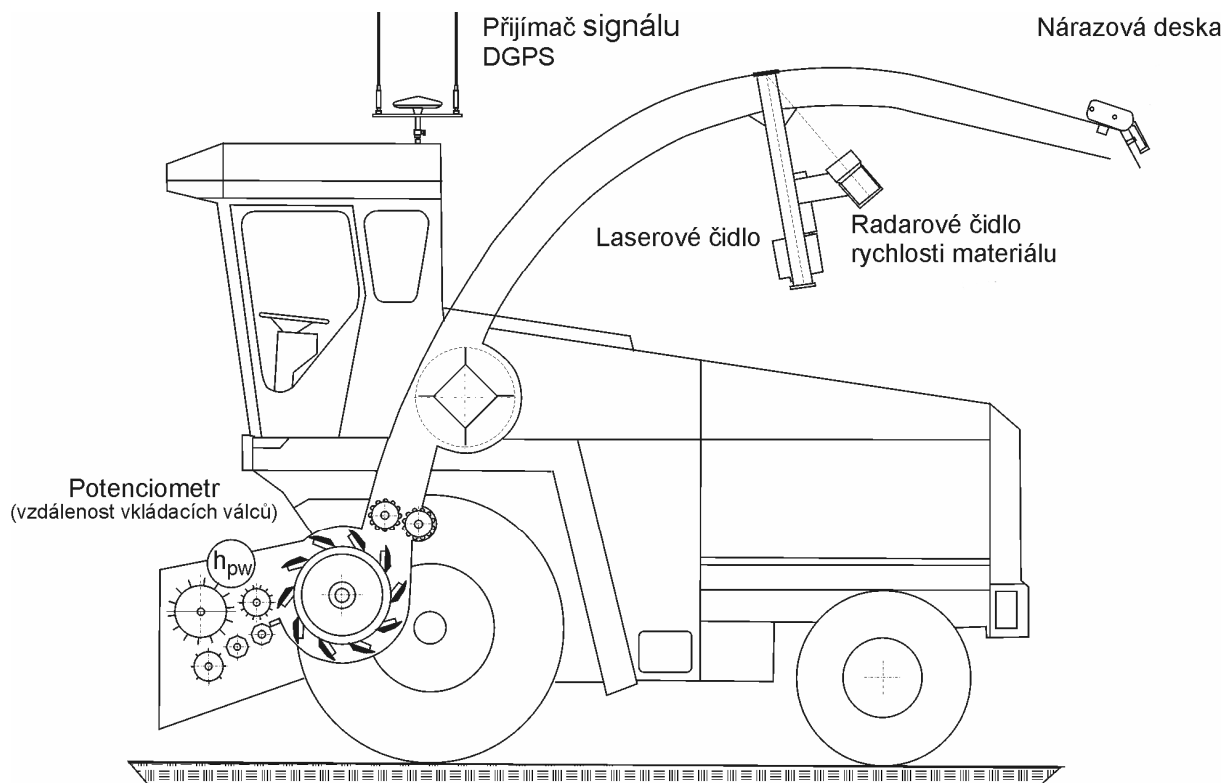
Auernhammer a Demmel (1996) měřili výnos nukleonovým čidlem umístěným v odhazové koncovce samojízdné sklízecí řezačky. Na samojízdnu sklízecí řezačku John Deere 6810 bylo na odhazovou koncovku nainstalováno čidlo založené na radiometrickém principu měření při použití Americia 241. Na spodní stranu koncovky byl za účelem zvýšení přesnosti měření výnosu rovněž přidán radarový senzor pro zjišťování rychlosti materiálu v koncovce. Také rychlost stroje byla snímána radarovým čidlem.

Systém měření průchodnosti kapacitní metodou testovali Martel a Savoie (1999). Průchodnost vlhkého materiálu závisela na kumulativní frekvenci oscilátoru spojeného s kondenzátorem. Pro vojtěšku a kukuřici je však nutná známost různých specifických parametrů stejně jako pro materiály s různou délkou částic. Také je nutná korekce pro různou vlhkost sklizeného materiálu. Tento systém proto nemůže být použit bez současného nezávislého měření vlhkosti sklizeného materiálu.

Když jsou známy tyto parametry, je možné zjistit okamžitou průchodnost materiálu nebo jeho vlhkost za podmínky, že jedna z těchto proměnných je známá. Tak je možno zjistit jednu z těchto veličin, jestliže je druhá určena dalším nezávislým čidlem

Schmittmann a kol. (2001) rovněž měřili tloušťku vrstvy sklizeného materiálu v odhazové koncovce sklízecí řezačky. V tomto případě je nutné kontinuální měření profilu vrstvy odhazovaného materiálu, rychlosti odhazovaného materiálu a jeho hustoty. Profil byl zjišťován laserovým snímacím systémem, který sestával z emitru infračerveného laserového záření a jeho přijímače a vnitřního rotujícího zrcadla. Systém určuje vzdálenost od toku materiálu za použití času cesty od zdroje laserových pulsů. Rotující zrcadlo snímá plochu toku rostlinného materiálu pomocí dvojdimensionálních dat. Rychlost toku rostlinného materiálu byla snímána klasickým radarovým senzorem. Díky získávání těchto dvou skupin dat může systém vypočítat objemovou průchodnost hmoty. Protože byla rovněž paralelně zjišťována hustota následným vážením, mohla tato laserová jednotka určit jak objemový tak hmotnostní průtok sklizeného materiálu. V případě měření objemu odhazovaného materiálu v koncovce byly údaje o objemu materiálu v odhazové koncovce sledovány v závislosti na celkové hmotnosti sklizeného materiálu. Lineární regrese měla koeficient determinace $R^2 = 0,97$.

Na obr. 5 je příklad sklízecí řezačky vybavené různými senzory pro zjišťování okamžité průchodnosti materiálu při sklizni a přijímačem signálu DGPS pro tvorbu výnosové mapy.



Obr. 5: Umístění měřicích systémů pro měření okamžitého výnosu na samojízdné sklízecí řezačce. Schmittmann a kol. (2001). Upraveno.

Další možné směry vývoje

Kormann a Flohr (2002) uvádějí, že kromě měření okamžité průchodnosti sklizeného materiálu sklízecí řezačkou lze také kontinuálně sledovat jeho vlastnosti, jako například vlhkost sklizeného materiálu (tedy vlastně množství vody v něm), obsah proteinů, obsah vlákniny atd. Bylo zjištěno, že je v podstatě možné všechny tyto vlastnosti sledovat pomocí infračerveného čidla. Přesnost tohoto měření je podle prvních výsledků poměrně dobrá. Nicméně pro její zlepšení bude nutno uskutečnit mnoho kalibračních měření. Přesnost práce těchto systémů měření závisí rovněž na přesnosti určování okamžité průchodnosti materiálu strojem. V současné době je však cena všech těchto systémů v případě jejich umístění na samojízdnou sklízecí řezačku poměrně vysoká. Ovšem lze předpokládat, že v případě jejich rozšíření by jejich cena postupně klesala.

Závěr

Ze zde uvedené literární rešerše je patrné, že možnostem mapování výnosů při práci sklízecích řezaček je různými autory věnována značná pozornost jak v Evropě, tak na americkém kontinentě. Zdá se, že mapování výnosů pěstinn je složitější problém, než mapování výnosů zrnin. Je to dáno především velmi rozdílnými vlastnostmi sklizených materiálů. Jejich sklizňová vlhkost se například mění v daleko širším rozsahu, než je tomu u zrnin. Rovněž výnosová hladina je značně rozdílná, ať již v důsledku sklizně různých plodin nebo v důsledku sklizně různých sečí těchto plodin.

V budoucnu však lze předpokládat, že bude stále větší roli hrát kontrola kvality potravin. Některé systémy mapování jsou však schopny vyřešit i tento požadavek, jak bylo v příspěvku rovněž naznačeno.

Literatura

- 1) **Auernhammer, H., Demmel, M., Muhr, T., Rottmeier, J., Wild, K.** (1994): Site Specific Yield Measurement in Combine and Forage Harvesting Machines. (94-D-139) Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering AgEng'94, Miláno
- 2) **Auernhammer, H., Demmel, M., Pirro, P.** (1996): Lokale Ertragsermittlung mit dem Feldhäckslern. Landtechnik 3/96, KTBL Darmstadt, s. 152 – 153
- 3) **Barnett, N. G., Shinnars, K. J.** (1998): Analysis of systems to measure mass-flow-rate and moisture on forage harvesters. ASAE Paper No. 981118. St. Joseph, Michigan, ASAE
- 4) **Diekhans, N.** (2002): Ein praxisnahes Verfahren für eine Ertragsmessung an Feldhäckslern. Proceedings of Conference: Agricultural Engineering, Halle, VDI Verlag GmbH, s. 133 – 137.
- 5) **Ehlert, D., Jürschik, P.** (1997): Techniques for Determining Heterogeneity for Precision Agriculture. Precision Agriculture 1997, BIOS Scientific Publishers Ltd, s. 627 – 634
- 6) **Ehlert, D., Schmidt, H.** (1995): Ertragskartierung mit Feldhäckslern. Landtechnik 4/95, s. 204 – 205.
- 7) **Kormann, G., Flohr, W.** (2002): Ingredients Measurement on Self Propelled Forage Harvesters. Proceedings of AgEng 2002 Budapest, Paper No. 02-PA-009, s. 132-133
- 8) **Martel, H., Savoie, P.** (1999): Sensors to Measure Forage Mass Flow and Moisture Continuously. ASAE Paper No. 991050, St. Joseph, Michigan, ASAE.
- 9) **Missotten, B., Broos, B., Strubbe, G., De Baerdemaeker, J.** (1997): A Yield Sensor for Forage Harvesters. Precision Agriculture 1997, BIOS Scientific Publishers Ltd, s. 529 – 536
- 10) **Schmittmann, O., Kromer, K-H., Weltzien, C.** (2001): Yield Monitoring on Forage Harvester. Proceedings of PMA, CUA Prague, s. 286 – 291.
- 11) **Vansichen, R., De Baerdemaeker, J.** (1993): A Measurement Technique for Yield Mapping of Corn Sillage. J. agric. Engng. Res. 55, s. 1 – 10.