

Přesnost tvorby výnosových map při sklizni obilovin. Grain yield maps accuracy

Ing. Dr. František Kumhála, Václav Prošek

ČZU Praha, Technická fakulta

Kamýcká 129, 165021 Praha 6-Suchdol

Tel.: +420 224 383 135 Fax: +42020921361, E-mail: kumhala@tf.czu.cz, prosek@tf.czu.cz

Abstract

This paper is a literature review of error sources discovered by many authors during grain yield maps creation. These errors can have impact on yield maps accuracy and it can be useful to know the origin of them.

Many systems are commercially used for yield maps creating. The yield sensors and the position sensors are the most important components of all these systems. Yield sensors can be divided into those, which measure volumetric flow, and those, which measure mass flow of grain. Because of the variation in bulk density and moisture content, a mass flow sensor is preferable.

There are number of other error sources in the yield mapping process. The principle sources include positioning error due to DGPS, errors due to simplified modeling of the threshing process and errors introduced by the assumption that the cutting width is equal to the combine header width and is still the same. Other errors may result from the combine working on a slope, thus changing the pattern of grain flow through the flow sensor, variations in grain moisture content or a changing pattern of grain flow through the flow sensor. All these errors and their impacts from practical point of view are discussed in this article.

Abstrakt.

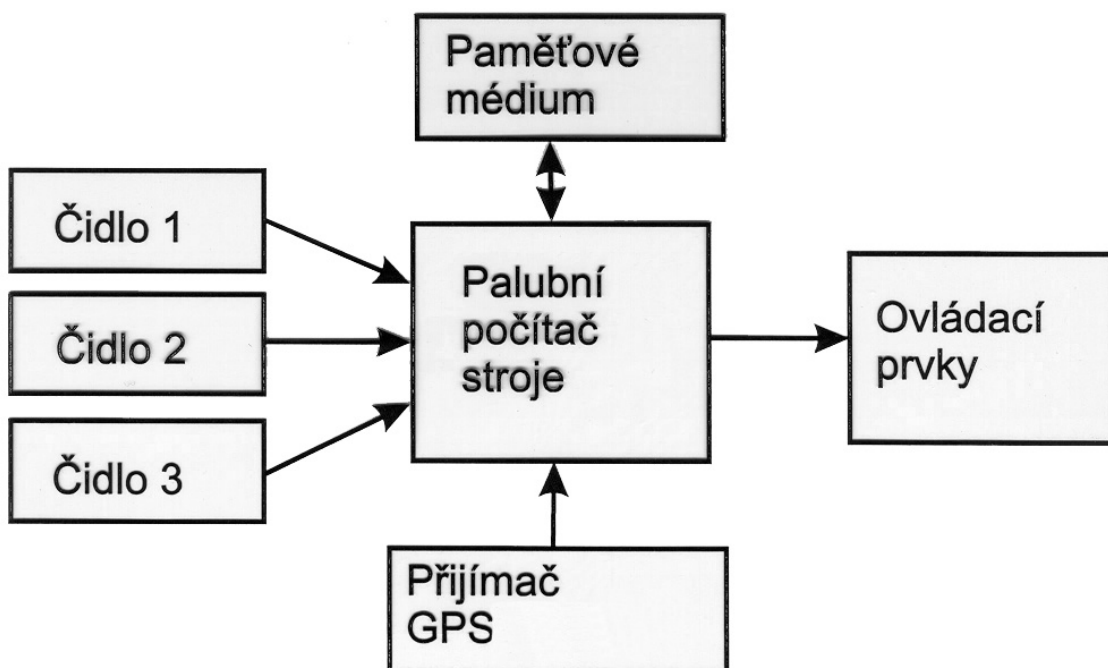
Mapování výnosů polních plodin je jedním ze základních prvků precizního zemědělství. Pro tvorbu výnosových map při sklizni zrnin bylo vyvinuto hned několik systémů, které jsou dnes v praxi rozšířeny. Liší se především metodou zjišťování okamžité průchodnosti sklizeného materiálu. Výnosová čidla pracují na objemovém a hmotnostním principu měření průchodnosti.

Při práci těchto systémů však vznikají určité nepřesnosti, které mají vliv na výslednou přesnost výnosových map. Jedná se o nepřesnosti spojené s určováním polohy stroje, nepřesnosti související s chybami při měření průchodnosti a nepřesnosti vznikající vlivem obsluhy. Jako nejpodstatnější zdroj nepřesností je uváděna kalibrace jednotlivých systémů. Další významné zdroje nepřesností jsou následující: nedodržování stejného pracovního záběru stroje, časová prodleva a nerovnoměrnost průchodu materiálu od žacího válu k místu měření, prudká změna pojezdové rychlosti při sklizni, malá výměra sklizeného pozemku atd.

Kalibrace jednotlivých systémů je nezávislými autory doporučována při různých průchodnostech a to i v případě, že výrobce systému doporučuje kalibraci pouze při jedné průchodnosti. Obecně platí, že čidla založená na měření hmotnosti jsou přesnější než čidla založená na měření objemu. Jako nejpresnější systémy měření se zdají být výnosová čidla radiační nebo rentgenová, která pracují s přesností do 2 %. Přesnost asi nejrozšířenějších nárazových čidel je do 5 % v závislosti na kvalitě jejich kalibrace. Z hlediska obsluhy je pro dobrou práci výnosových monitorů třeba jejich dobrá kalibrace, dodržování pracovního záběru a konstantní pojezdové rychlosti.

Úvod.

Mapování výnosů porostů polních plodin bylo jedním ze základních faktorů rozvoje oboru zemědělské výroby dnes běžně označovaného názvem „precizní zemědělství“. Jako první se objevila možnost mapování výnosů u sklízecích mlátiček, tedy strojů, které slouží ke sklizni zrnin. V současném stádiu vývoje lze konstatovat, že již od roku 1993 jsou zemědělcům komerčně dostupné výnosové monitory, pracující na množství odlišných principů měření okamžitého výnosu. Všechny tyto výnosové monitory však jsou umístěny mezi výstupem vyčištěného zrna z čistidla sklízecí mlátičky a zásobníkem sklízecí mlátičky. Vždy sestávají z čidla okamžité průchodnosti materiálu, přijímače (D)GPS a palubního počítače. Blokové schéma celého zařízení je na (obr. 1). Dají se rozdělit do dvou velkých skupin. Jedny měří objem vyčištěného zrna na jeho cestě do zásobníku sklízecí mlátičky a druhé měří jeho hmotnost (Stafford 1996, Arslan, 2000 a jiní).

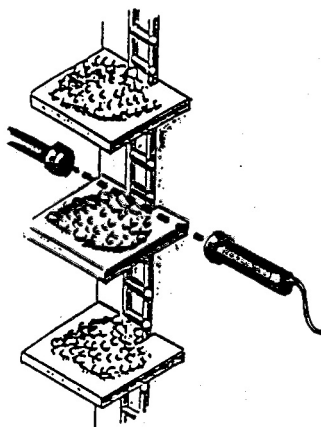


Obr. 1: Blokové schéma výnosového monitoru používaného u sklízecích mlátiček.

Principy měření okamžitého výnosu.

Měření objemu zrna světelným paprskem (princip světelné bariéry).

Tento systém měří objem zrna transportovaného do zásobníku na každé lopatce dopravníku zrna (obr. 2). Měřící čidlo sestává ze dvou částí. První z nich je žárovka, vysílající světelný paprsek a druhou je jeho detektor. Žárovka je umístěna na jednu stranu dopravníku zrna a detektor na jeho druhou stranu proti žárovce. Jestliže je lopatka prázdná, vysílá toto čidlo konstantní signál vyšší hodnoty, protože paprsek světla není na své cestě přerušován. Jestliže je na lopatkách dopravníku zrna, začíná senzor vysílat místo konstantního signálu pulsy, protože světelný paprsek je přerušován vrstvou zrna nahromaděnou na každé lopatce. Jestliže se změří doba, po kterou je čidlem vysílán oslabený signál, je možno určit objem zrna. Popsaný systém měření používá např. firma RDS u systému Ceres.



Obr. 2: Princip práce čidla okamžitého výnosu zrna pracujícího na principu světelného paprsku.

Měření objemu zrna pomocí odměrného kola.

Firma Claas (a jiné) experimentovala se systémem založeným na činnosti lopatkového odměrného kola umístěného za dopravníkem zrna. Zrno musí projít při cestě do zásobníku přes odměrné lopatkové kolo. To je vybaveno senzorem, který měří jeho rychlost otáčení. Nad odměrným kolem je umístěn další senzor, který hlídá hladinu zrna, plnicího jednotlivé prostory mezi lopatkami kola. Jakmile se prostor mezi lopatkami naplní, dovolí otočení kola a plnění dalšího prostoru. Protože objem prostoru mezi lopatkami je známý, lze z otáček kola a objemu tohoto prostoru vypočítat objemovou průchodnost zrna.

Měření hmotnosti zrna pomocí radiačního čidla.

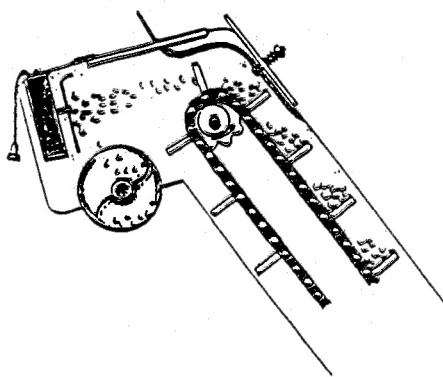
Firma Massey Ferguson vyvíjí a používá od roku 1993 radiační detektor na měření množství zrna, které jím prochází. Čidlo je umístěno na výstupu dopravníku vyčištěného zrna do zásobníku. Zdroj radiačního záření je umístěn přesně pod výpadem zrna. Radiační čidlo umístěné nad výstupem zrna proti zdroji radiačního záření měří množství radiačního záření, které na něj dopadá. Zrno, které prochází přes toto záření pohlcuje určité jeho množství. Množství radiace, které dojde až k radiačnímu čidlu je nepřímo úměrné množství zrna, které prochází tímto prostorem.

Měření hmotnosti zrna pomocí nárazové desky.

Firma Case IH (a další) používají přibližně stejný systém měření okamžitého výnosu založený na činnosti nárazové desky. Tou se měří hmotnost zrna vycházejícího z dopravníku zrna. Zrno odhazované lopatkami dopravníku zrna naráží na zakřivenou desku. Sílu, kterou zrno nárazem na desku vyvíjí lze převodníkem převést na napěťový signál. Tato síla je úměrná hmotnosti zrna, narážejícího na desku.

Na předchozím principu pracuje také čidlo s nárazovými tyčinkami. Pouze jeho konstrukce je odlišná. Místo nárazové desky jsou do proudu sklizeného zrna vloženy měřící tyčinky.

Nárazové desky umístěné tak, aby do ní naráželo zrno u výstupu ze zrnového dopravníku používá také firma John Deere u systému GreenStar. Převod síly vyvinuté zrnem jeho nárazem na nárazovou desku je však řešen pomocí potenciometrického převodníku. Ten mění napětí podle toho, jak velkou silou působí zrno na nárazovou desku.



Obr. 3: Princi práce čidel okamžitého výnosu zrna s nárazovou deskou.

Měření hmotnosti zrna pomocí vážení dopravníku zrna.

K měření hmotnosti zrna byl použit také systém založený na průběžném vážení vodorovné větve dopravníku zrna. Protože u moderních sklízecích mlátiček by bylo nutné dopravník zrna za tímto účelem upravovat, není tento princip v praxi rozšířen.

Měření hmotnosti zrna pomocí kapacitního čidla.

Princip práce kapacitního čidla je dán skutečností, že dielektrická konstanta směsi vzduchu a určitého materiálu se zvyšuje se zvyšujícím se množstvím materiálu mezi deskami kondenzátoru. Z tohoto důvodu lze prostřednictvím měření změny kapacity kondenzátoru určit množství materiálu mezi jeho deskami.

Jsou známy i další systémy měření okamžitého výnosu zrna, např. na principu ultrazvuku nebo infračerveného záření, ale v praxi nejsou rozšířeny.

Z hlediska zvýšení přesnosti naměřených údajů jsou všechny uvedené systémy zpravidla doplněny čidlem zjišťujícím okamžitou vlhkost sklizeného zrna. Popis principu jejich práce a hodnocení jejich přesnosti je však již mimo rámec tohoto příspěvku.

Hlavní zdroje chyb při zjišťování výnosových map.

Jestliže se porovná přesnost práce čidel založených na měření objemu s čidly založenými na měření hmotnosti, zdá se, že čidla měřící hmotnost procházejícího zrna jsou přesnější. Např. podle Stafforda a kol. (1996) během sklizně kolísá jak objem tak vlhkost sklizeného zrna, což více ovlivňuje přesnost měření čidel objemových. Jako nejpřesnější systémy měření se zdají být výnosová čidla radiační, která pracují s přesností do 2 %. Přesnost asi nejrozšířenějších nárazových čidel je do 5 % v závislosti na kvalitě jejich kalibrace. Přesnost čidel založených na principu světelného paprsku je asi do 6 % (Kormann a kol., 1998). Podle různých autorů (např. Sanaei a Yule, 1996) přesnost měření výnosových monitorů na principu světelného paprsku ovlivňuje jak sklon sklizeného pozemku, tak konstrukce lopatkového dopravníku zrna u konkrétního stroje.

Během vývoje a používání různých výnosových čidel se ukázalo, že existuje množství faktorů, které mají vliv na přesnost jejich měření. Jako nejdůležitější faktory lze určit změnu dosahované přesnosti měření při různých průchodnostech zrna (Arslan a kol., 2000) nebo velikost sklizené plochy (Missotten, 1996). V současné době se používají některá čidla, vyžadující několikanásobnou kalibraci aby bylo dosaženo určené přesnosti. Podle Doerga (1997) je však kalibrace čidel výnosu největším potenciálním zdrojem chyb výnosových monitorů. Proto jsou stále snahy vyvinout výnosové čidlo, které by z tohoto pohledu bylo co nejvýhodnější.

Strubbe a kol. (1996) zjišťovali jiný podstatný aspekt mající vliv na činnost nárazových čidel. Dokázali, že údaje získávané nárazovými čidly jsou také závislé na svažitosti sklizeného pozemku a také na vlastnostech a složení zrna. Ovšem čidla pracující na objemovém principu měření jsou těmito skutečnostmi ovlivňována více.

Laboratoř zemědělských strojů Katolické university v Leuvenu, Belgie, vyvíjela z výše uvedených důvodů od roku 1992 výnosové čidlo, jehož princip práce byl rovněž založen na principu práce zakřivené nárazové desky. Díky jeho poněkud odlišnému uspořádání je čidlo pouze velmi málo ovlivňováno fyzikálními vlastnostmi procházejícího materiálu. Nárazová deska se může díky své konstrukci otáčet okolo pevné osy a při měření je zjišťován točivý moment vzbuzovaný procházejícím materiálem. Má to tu výhodu, že tato nárazová deska může být použita pro všechny sklizené plodiny bez nutnosti nové kalibrace. Výzkum byl ukončen v roce 2001 a nyní je vyvinuté čidlo komerčně používáno u sklízecích mlátiček koncernu CNH (New Holland).

Stafford a kol. (1997) zjistili, že chybami vznikajícími při získávání výnosových map jsou chyby vznikající při určování polohy stroje a ty se mění nejen prostorově, ale také časově. Nicméně významnější jsou chyby vznikající změnami okamžitého pracovního záběru stroje (do 10 %) a různou dobou průchodu zrna sklízecí mlátičkou. Na základě výsledků měření lze proto konstatovat, že přesnost měření výnosových map lze zlepšit použitím realističtějšího modelu doby průchodu zrna sklízecí mlátičkou, pomocí kontinuálního měření okamžité šířky záběru žacího válu sklízecí mlátičky a zlepšením přesnosti přijímaného signálu GPS. Další chyby mohou vzniknout při práci stroje na svahu, což může měnit vlastnosti průchodu vyčištěného zrna čidlem, dále při měnění se vlhkostí sklizeného zrna a měněními se vlastnostmi zrna. Autoři dokázali, že měřením okamžitého pracovního záběru sklízecí mlátičky při práci lze zlepšit přesnost tvorby výnosových map.

Reitz a Kutzbach (1996) dále upozorňují, že ne všechno sklizené zrno se dostane do zásobníku sklízecí mlátičky. Ztráty zrna které vypadne na žacím válu a ze zlomených klasů nemohou být určeny žádnou známou měřicí metodou. Naproti tomu lze určit poměr ztrát na vytřásadlech a čistidle sklízecí mlátičky pomocí ztrátoměru.

Dalším problémem, na který narazili různí autoři při testování výnosových monitorů je zhoršená kvalita jejich práce na malých pozemcích. Zde mohou chyby podle různých autorů dosahovat hodnot mezi 10 až 25 %. Např. při sklizni parcely o výměře 20 x 20 m je nutno s chybou 25 % počítat téměř vždy.

Whelan a McBratney (1997) se podrobně věnovali chybám měření okamžité průchodnosti zrna sklízecí mlátičkou, které vznikají časovým zpožděním průchodu zrna na zrnovém dopravníku oproti jeho posečení a také nerovnoměrností jeho toku sklízecí mlátičkou během sklizně. Bylo zjištěno, že časová prodleva zrn než dosáhnou výnosového monitoru má dvě složky, jednu lineární, která je závislá na poloze zrna na určitém místě žacího válu a nelineární, která je daná průchodem zrna mlátičím a dopravními cestami ve sklízecí mlátičce.

Bylo také poukazováno na chyby, související s malou průchodností materiálu na začátku sklizeného řádku, při zastavení a při změně pojezdové rychlosti sklízecí mlátičky během práce. Také kvalita obsluhy stroje má vliv na kvalitu výnosových dat. Kromě nedodržování stálé šířky záběru stroje také rychlé změny pojezdové rychlosti během sklizně znamenají vytvoření nadhodnocených výnosových dat.

Kettle a Peterson (1998) zkoušeli funkci výnosových monitorů na kopcovitých pozemcích v severním Idahu. Zjistili, že přesnost výnosových monitorů je značně závislá na svažitosti sklizených pozemků a změnách okamžitého výnosu. Pozorovali, že výnosové monitory reagovali na změny okamžité průchodnosti zrna spíše exponenciálně než lineárně a že je proto lepší použít vícenásobné kalibrace výnosových monitorů na rozdíl od doporučení výrobce, který doporučoval kalibraci při dvou různých průchodnostech. Pozorovaná chyba

výnosového monitoru byla 20,3 %, když se průchodnost sklizeného zrna pohybovala na 1/3 průchodnosti při kalibraci a asi 5,7 % když byl monitor testován při poloviční průchodnosti. Autoři také zjistili, že chyba výnosových monitorů při jízdě stroje do kopce o svahu 6 % byla až 18 % a při jízdě z kopce o svahu 9 % byla dokonce až 60 %.

Pokud se týče přesnosti určování výnosu z hlediska agronomického, Arslan a kol. (2000) uvádějí, že dostačující přesnost výnosových monitorů je ± 5 až 10 %. Naproti tomu, pokud se používá určení výnosu k obchodním účelům, je požadována přesnost vyšší, asi 0,2 %.

Další možnosti využití mapování výnosů při sklizni zrnin.

Missoten, Strubbe a De Baerdemaeker (1997) sledovali na zkušební sklízecí mlátičce nejenom okamžitou průchodnost vyčištěného zrna, ale také okamžitou průchodnost slámy. Autoři uvádějí, že okamžitá průchodnost slámy může být dalším důležitým údajem pro určování příčin rozdílnosti výnosů zrna na různých místech téhož pozemku. Zajímavé je například použití mapování výnosu slámy při detekci plevelů. Jestliže se zároveň sleduje výnos slámy i zrna, lze určit pravděpodobná místa výskytu plevelů. Je to z toho důvodu, že výnos zrna na těchto místech v důsledku růstu plevelů klesá a naopak, průchodnost slamnatého materiálu sklízecí mlátičkou znatelně stoupá v důsledku často vlhkých stébel plevelů. Jestliže je tedy na stejném místě pozemku viditelně nižší výnos zrna a podstatně vyšší výnos slámy, jde s velkou pravděpodobností o zaplevelené místo. Na základě tohoto zjištění je posléze možno vytvořit mapy zaplevelení pozemku.

Závěry a doporučení.

Z praktického hlediska je možno na základě uvedených poznatků konstatovat přibližně následující:

- Čidla pracující na principu měření hmotnosti zrna jsou přesnější než čidla pracující na principu měření jeho objemu.
- Chyby čidel pracujících na principu světelné bariéry jsou do 6 %
- Chyby nárazových čidel jsou do 5 %
- Chyby radiačních čidel jsou do 2 %

Obsluha může ovlivnit přesnost práce všech čidel především jejich správnou kalibrací. Správně nakalibrované čidlo pracuje s výše uvedenými chybami podle konkrétního principu jeho měření. Při nesprávné kalibraci lze počítat u všech systémů s další chybou až do 12 %. Nedodržování stejné šířky záběru stroje během práce může znamenat chybu až do 10 %. Z této chyby však obsluhu nelze vinit, lepší výsledek není v lidských silách dosáhnout. Při práci na malých pozemcích (kolem 400 m²) je třeba počítat s chybou až 25 %. Při práci na mírném svahu lze počítat s chybou do 6 %, při práci na prudších svazích do 20 %. Obsluha však může také ovlivnit chyby vznikající náhlými změnami pracovní pojezdové rychlosti, které jsou do 5 %.

Kromě obecně rozšířeného mapování výnosů zrnin se zdá, že s technicky i finančně přijatelnými vylepšeními lze tyto systémy použít i k dalším lákavým možnostem, jako je například zjišťování zaplevelení pozemků při sklizni.

Literatura

Arslan, S., Inanc, F., Gray, J., Colvin, T. (2000): Grain Flow Measurements with X-ray Techniques. Computers and Electronics in Agriculture 26, Elsevier Science B. V., s. 65-80.
Doerge, T. (1997): Weigh wagon vs. Yield monitor comparison. Crop Insights 7 (17), s. 1-5.
Kettle, L., Peterson, C. (1998): An evaluation of Yield Monitors and GPS System on Hillside Combines Operating on the Steep Slopes in the Palouse. ASAE Paper No. 981046, St. Joseph, MI, USA.

- Kormann, G., Demmel, M., Auernhammer, H.** (1988) Testing Stand for Yield Measurement Systems of Combine Harvesters. (98-A-054) Proceedings of AgEng Oslo 98, Part 2, s. 653 – 654
- Missotten, B., Strubbe, G., De Baerdemaeker, J.** (1996): Accuracies of Grain and Straw Maps. (96G-009) Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering, Madrid, s. 987 – 988
- Missotten, B., Strubbe, G., De Baerdemaeker, J.** (1997): Straw Yield Mapping: A Tool for Interpretation of Grain Yield Differences Within a Field. Precision Agriculture
- Reitz, P., Kutzbach, H.** (1996): Investigations on a particular yield mapping system for combine harvesters. Computers and Electronics in Agriculture, 14/1996, s. 137-150.
- Sanaei, A., Yule, I.** (1996): Accuracy of Yield Mapping System: The effects of Combine Harvester Performance. (96G-016) Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering, Madrid, s. 1001 – 1002
- Stafford, J., Ambler, B., Lark, R., Catt, J.** (1996): Mapping and interpreting the yield variation in cereal crops. Computers and Electronics in Agriculture, 14/1996, s. 101-119.
- Stafford, J., Ambler, B., Bolam, H.** (1997): Cut Width Sensors to Improve of Yield Mapping Systems. Precision Agriculture 1997, BIOS Scientific Publishers Ltd, s. 519 – 527
- Strubbe, G., Missotten, B., De Baerdemaeker, J.** (1996): Mass flow measurement with a curved plate at the exit of an elevator. In: Robert, P., Rust, R., Larson, W., Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, USA, s. 703-712
- Whelan, B., McBratney, A.** (1997): Sorghum Grain Flow Convolution within a Conventional Combine Harvester. Precision Agriculture 1997, BIOS Scientific Publishers Ltd, s. 759 – 766