

# Presné poľnohospodárstvo

príloha časopisu **naše pole**<sup>®</sup>

Využitie navigačných  
systémov

Riadený pohyb  
strojov po poli

Variabilná  
aplikácia hnojív

Monitoring porastov  
pomocou satelitov







**Tomáš Baran**  
redaktor

## Prichádza druhá zelená revolúcia?

*Vývoj poľnohospodárstva sprevádzalo niekoľko významných míľnikov. Tým posledným bola bezpochyby tzv. zelená revolúcia, ktorá ho posunula na ďalšiu kvantitatívnu a kvalitatívnu úroveň. Na rozdiel od priemyslu, v ktorom je pokrok v technológiách veľmi výrazný, sa poľnohospodárska výroba opiera o princípy, ktorých pôvod sa väčšinou datuje do prvej poloviny minulého storočia. Samozrejme, technologický pokrok je vidieť aj v tomto odvetví, avšak často ide len o modernizáciu a vyššiu sofistikovanosť pôvodných technológií. Máme výkonnejšie a prepracovanejšie stroje, lepší biologický materiál, hnojivá a prípravky na ochranu rastlín. Aj napriek tomu však pôdu obhospodarujeme tak ako generácie pred nami, hnojíme a striekame plošne a veľmi obmedzene analyzujeme pôdu a rastliny. Súčasná poľnohospodárska výroba pomaly ale isto začína narážať na svoje limity. A to všetko na pozadí rastúcej ľudskej populácie a jej spotrebe potravín, zhoršujúcom sa životnom prostredí a čoraz citeľnejšej zmeny klímy.*

*Ak chceme posunúť výrobu potravín o ďalší krok dopredu, je potrebné integrovať najnovšie technológie a prostriedky k tomu, aby sa bez ďalšieho zvyšovania energetických vstupov podarilo zefektívniť výrobu potravín a zároveň dosiahnuť jej trvalú udržateľnosť.*

*Kým ešte pred pár rokmi boli GPS navigácie na traktoroch veľmi ojedinelé, dnes predstavujú akýsi štandard. Doba napreduje a s ňou aj využívanie moderných technológií v poľnohospodárstve. Ich rozširovanie spôsobuje znižovanie ceny a preto, ak sa dnes pozeráme na výstavách na nové technológie a myslíme si, že je to niečo vzdialené, opak je pravdou. Kým o využití dronov v poľnohospodárstve sa ešte pred pár rokmi písalo ako o technológii budúcnosti, dnes ich na mapovanie polí využívajú už aj podniky na Slovensku. O implementácii moderných technológií a prvkov presného poľnohospodárstva sa už nehovorí len vo vedeckých kruhoch, skloňujú ho v súvislosti s potrebou zefektívnenia výroby potravín už aj najvyšší štátni činitelia. V tejto súvislosti sa začína hovoriť o druhej zelenej revolúcii.*

*V redakcii sme sa preto rozhodli pripraviť samostatnú prílohu venovanú práve problematike moderných trendov v poľnohospodárstve, ktorú práve držíte v ruke.*

## ▼ strana 4

## Presné poľnohospodárstvo

- 4 Presné poľnohospodárstvo
- 6 Využitie navigačných systémov v presnom poľnohospodárstve



S pojmom Presné poľnohospodárstvo sa na Slovensku stretávame takmer 30 rokov. Postupne sa udomácnil a dostal sa do povedomia v poľnohospodárskej praxi. Po počítačových rozpakoch a prirodzenej nedôvere k netradičným novinkám sa postupne filozofia presného poľnohospodárstva dostáva do bežných riadiacich nástrojov.

- 12 Správne manažérske riešenia

vyžadujú správnu techniku

- 14 Riadený pohyb strojov po poli

## ▼ strana 6

## Využitie navigačných systémov v presnom poľnohospodárstve

- 20 Variabilná aplikácia dusíkatých

hnojív na základe informácií

získaných proximálnym

snímaním porastu



Výkonnostný potenciál stroja môže byť totiž optimálne využitý len vtedy, ak sa obsluha môže sústrediť na podstatné úlohy spojené s ovládaním a správnym nastavením pracovných mechanizmov, a nie je zaťažovaná úkonmi súvisiacimi s udržiavaním správneho smeru jazdy strojovej súpravy.

- 24 Monitoring vývoja porastov

pomocou satelitov

- 28 Mapovanie priestorovej

variability vlastností pôdy a ich

využitie

## ▼ strana 14

## Riadený pohyb strojov po poli



Jedným z parametrov, ktorý významne ovplyvňuje kvalitu pôdneho prostredia, je zhutnenie pôdy. Ak je zhutnenie podmienené genetickými vlastnosťami pôdy, hovoríme o primárnom zhutnení. Ak zhutnenie vzniká činnosťou človeka, ide o sekundárne zhutnenie. Vo vzťahu k pohybu strojov po poli hovoríme o vplyve technogénnych faktorov a zhutnenie je definované ako utlačenie pôdy.

- 34 Anketa

## ▼ strana 28

## Mapovanie priestorovej variability vlastností pôdy a ich využitie

- 35 TRIBLE EZ-PILOT –

najrozšírenejší systém

asistovaného riadenia pre

traktory



V rámci poľnohospodárskeho výskumu a výrobných praxí máme definovaných viacero fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy, ktoré charakterizujú pôdnu úrodnosť. Poznanie týchto vlastností je dôležité pre optimalizáciu pestovateľských technológií.

# Presné poľnohospodárstvo

S pojmom Presné poľnohospodárstvo sa na Slovensku stretávame takmer 30 rokov. Postupne sa udomácnil a dostal sa do povedomia v poľnohospodárskej praxi. Po počiatkových rozpakoch a prirodzenej nedôvere k netradičným novinkám sa postupne filozofia presného poľnohospodárstva dostáva do bežných riadiacich nástrojov. Súčasne, žiaľ, často svedkami stavu, že sa s týmto pojmom narába v komerčnom zameraní pri preferovaní svojich záujmov, bez logickej a odbornej väzby na podstatu veci.

prof. Ing. Vladimír Rataj, PhD., Katedra strojov a výrobných biosystémov, TF, SPU v Nitre

Čo teda presné poľnohospodárstvo znamená? Vo všeobecnosti ide o životný postoj poľnohospodára k hospodáreniu na pôde. Ide o rozumné riadenie pracovných operácií a nakladania so zdrojmi, s cieľom dosiahnuť efektívnu výrobu a vytvoriť predpoklady pre dlhodobé hospodárenie v zdravej krajine. Takáto úvaha je isto prijateľná. Ak ju však posudzujeme pohľadom človeka na prelome tisícročí, musíme rátať s vplyvom vývoja.

Všetkých nás svojím spôsobom ovplyvňuje narastajúca informatizácia a digitalizácia, ktorá sa často označuje ako 4. priemyselná revolúcia. Úlohy, ako ziskávať a posudzovať nebyvalé množstvá informácií, spresňovať evidenciu činností a výkonov, presúvať rozhodovanie z človeka na technické zariadenia, automatizovať procesy a mnohé iné, sú riešiteľné len vplyvom zdokonaľovania technického vybavenia. Napriek tomu, že sa hovorí o novej priemyselnej revolúcii (Industry 4.0), čoraz častejšie sa stretávame s výrazom „Poľnohospodárstvo 4.0“. Výrobné procesy v poľnohospodárstve sú tiež vybavené množstvom snímačov, stroje a zariadenia majú svoje riadiace počítače a všetko zastrešujú informačné systémy. Presné riadenie výroby v poľnohospodársko-potravinárskom sektore sa dlhodobo vyvíja spolu s technickým pokrokom. Ide predovšetkým o činnosti v uzatvorených priestoroch, kde okrem výrobných prevádzok patria ustajňovacie, ale aj uskladňovacie priestory. V začiatkoch išlo napríklad len o automatické úpravy kŕmnych dávok podľa úžitkovosti dojníc a dnes ich nahrádzajú robotizované pracoviská, ktoré

okrem dojenia sprostredkujú aj prvotný screening zdravotného stavu dojnice s odoslaním správy. Mnohé technológie možno plne automatizovať a manuálny zásah človeka je priam nežiaduci (napr. hydroponické pestovanie zeleniny s digitálnym riadením mikroklimy a zásobovaním vodou a živinami). Podobne sa informatika využíva aj v otvorenom priestore poľnohospodárskej výroby – na poliach, sadoch a viniciach. Keďže je rastlinná výroba významne ovplyvňovaná počasím, čo v súčasnom období klimatických zmien je čoraz významnejšie, k základným zdrojom informácií, s možnosťou ich využitia v riadení procesov, patria meteorologické údaje. Tie možno získať vlastným pozorovaním, ale možno ich preberať aj z externých pozemných alebo satelitných zdrojov. Pre rozhodovanie je však treba spracovávať ďalšie informácie o pôdnom prostredí, o stave zelenej aj neželanej vegetácie, o škodcoch a chorobách, o pohybe strojov a vykonaných prácach. Informácie možno získať v predstihu (off line) alebo priamo, počas pracovného procesu (on line), najčastejšie pri prejazde strojov. Zabezpečenie informácií umožňuje celý rad snímačov a spracovanie dát zabezpečujú nadradené informačné a expertné systémy. Známe a využívané sú informačné mapy úrody, vytvorené počas zberu plodín (zrnín, okopanín, krmovín), dlhodobé dobré skúsenosti sú s priestorovo variabilným hnojením a v začiatkoch je využitie na úpravu porastov pred zberom (desikácia). Spracovaním meteorologických dát v súvislosti s vegetačným štádiom rastliny a s hydrolimitami pôdy, na ktorej je

pestovaná, možno v konfrontácii s aktuálnym stavom vlhkosti pôdy automatizovať nasadenie závlahových systémov. Zhodnotením klimatických parametrov (teplota a vlhkosť vzduchu, stupeň ovlhčenia listov, slnečný svit, prúdenie vzduchu) v závislosti na rastových štádiách plodín možno expertne posudzovať stupeň rizika napadnutia kultúrnych rastlín škodcami, hubovitými chorobami alebo ohrozenie jarnými mrazmi. Aj v tomto režime možno signalizovať ohrozenie, resp. možno využiť automatický ochranný systém. Na základe informačných máp o úrovni elektrickej vodivosti pôdy, možno na základe algoritmov riadiť variabilnú hĺbku obrábania pôdy alebo dávku výsevu. Pomocou analýzy obrazu klasických (RGB), multispektrálnych alebo termovízií snímok, získaných preletom satelitov alebo dronov, možno lokalizovať problémové miesta v porastoch a určiť ich polohu na vykonanie následných opatrení. Medzi najvyužívanejšie prvky automatizácie v oblasti poľnej rastlinnej výroby patrí navigácia strojov a s ňou spojené informačné systémy. Všeobecne očakávaný efekt, ktorým je sledovanie aktuálnej polohy pri pohybe stroja v teréne, je len základnou informáciou. Z technologického hľadiska ide predovšetkým o problematiku vedenia stroja po požadovanej dráhe. Benefity možno hodnotiť podľa vykonania pracovných operácií - dodržiavanie pracovného záberu stroja, eliminácia prekrývania alebo vynechávok pri hnojení, resp. pri chemickej ochrane, správne zakladanie kofajových riadkov pri sejbe, dodržiavanie jazdných dráh pri riadenom pohybe strojov

a pod. Benefity navigačných systémov možno hodnotiť aj z pohľadu nasadenia strojov, správneho pracovného režimu, spotreby paliva a termínov údržby, čo vedie k aktuálnemu hodnoteniu efektívnosti nasadenia strojov. Navigácia poľnohospodárskych strojov sa využíva pri riadení samohybných strojov (napr. obilné kombajny, postrekovače), strojových súprav (vo všeobecnosti ide o traktory, ku ktorým je pripojený stroj), alebo pracovných orgánov strojov (napr. priečne pohyblivé sekcie plečiek). V kontexte pojmu navigácia sa vžila predstava satelitnej navigácie, často nepresne označovaná ako GPS (Global Positioning System). Vedenie stroja, alebo jeho pracovných orgánov však zabezpečujú aj mechanické prvky, optické a kamerové systémy, laserové či ultrazvukové zariadenia a pod. Skúsenosti z využívaných zariadení sú inšpiráciou pre sofistikované riadiace algoritmy, ktoré sú v súčasnosti aplikované do navádzania autonómnych robotov. V spojení s registrovaním ďalších fyzikálnych veličín (napr. teplota a farba), speje výskum riadenia strojov k identifikácii druhu a stavu plodov či plodiny, čo je predpoklad expertného rozhodovania na vykonanie pracovného zásahu (napr. zber zrelých plodov). Ak sú získané informácie zisťovateľné spolu s informáciou o geografickej polohe stroja, možno ich v prostredí GIS (Geografický informačný systém) spracovať do informačných máp. V takomto prípade sú k dispozícii napríklad informácie o priestorovom rozložení úrody, zásoby živín v pôde, spotrebe paliva, ale aj o priestorovom rozložení vynaložených nákladov.

Hovorí sa, že poľnohospodárstvo je konzervatívne a zmeny napredujú pomaly. Ale ak sa pred 25 rokmi poľnohospodári len zhovievavo usmievali na prednáškach o satelitnej podpore výroby a mnohí tvrdili, že na Slovensko to nikdy nepríde, tak dnes oni, alebo ich nástupcovia pracujú s hranicami pôdnych blokov evidovaných v LPIS (Land Parcel Information System), využívajú satelitnú navigáciu pri riadení pohybu strojov,

alebo vyplňujú geopriestorovú žiadosť o podporu v poľnohospodárstve (GSAA - Geo-Spatial Aid Application) a digitálne zakresľujú hranice užívania svojich pozemkov.

Do tohto sveta patria aj myšlienky presného poľnohospodárstva. Renomovaní odborníci (Gebbers, Adamchuck, 2010) definujú presné poľnohospodárstvo ako súbor technológií, ktorý kombinuje využitie senzorov, informačných technológií, modernej techniky a manažmentu s cieľom optimalizovať výrobu, pričom rešpektuje variabilitu a neistotu poľnohospodárskeho systému.

Filozofiu systému presného poľnohospodárstva možno definovať ako stav, kedy poľnohospodár chce a dokáže, pri rešpektovaní meniacich sa lokálnych podmienok, usmerňovať vstupy a technológie tak, aby boli zodpovedajúce zásahy vykonané optimálnym spôsobom v správnom čase, na potrebnom mieste (Rataj, V. et al., 2014). Základným predpokladom uplatnenia technológie presného poľnohospodárstva je poznanie variability vlastností prostredia, vplyvujúcich na rastlinnú výrobu, ktorá je svojím charakterom lokalizovaná na rôzne veľkých plochách v krajine, a teda na ňu pôsobí veľké množstvo vplyvov. Parcely majú rôznu terénnu expozíciu, pôdy na parcelách majú rôzne vlastnosti, rôznu obsah živín, rôznu schopnosť viazať vlahu, rôznu odolnosť pôdy proti vnikaniu pracovných orgánov, rôznu úrodnosť a pod. Proces výroby podlieha poveternostným vplyvom a v rámci vývoja pestovaných plodín agronomickým, ochranným a technickým zásahom. Poznaním vonkajších vplyvov s často významnou variabilitou možno výrobné podmienky dávať do súladu s optimálnym stavom. Pre technológie presného poľnohospodárstva je dôležité túto variabilitu poznať a priestorovo určiť (geograficky lokalizovať). Pojem priestorová premenlivosť obsahuje poznanie variability sledovaných vlastností vo vzťahu k miestu ich výskytu.

Rozdiel medzi klasickým obrábaním a obrábaním v systéme presného poľnohospodárstva je v tom, že pracovné zásahy a vstupy, určené napr. na základe potrieb pôdy alebo plodiny, sa nevykonávajú uniformne na celej parcele,

ale rešpektujú rozdielne potreby a teda úroveň vstupov je v rámci jednej parcely na jednotlivých miestach rôzna.

Vážnosť problematiky presného poľnohospodárstva v kontexte digitalizácie a informatizácie podčiarkuje fakt, že sa s touto problematikou zaoberá aj Európska komisia a ďalšie zväzy a združenia (napr. Európska asociácia farmárov (COPA), predovšetkým pri otázkach tvorby rozpočtu a podpory poľnohospodárstva po roku 2020. Digitalizácia poľnohospodárstva je aj spoločnou témou ministrov agrárnych rezortov, ktorí sú jednotní v otázke svetového rozvoja digitalizácie poľnohospodárstva.

Cieľom je zvýšiť produktivitu výroby, vyrobiť viac s nižšími zdrojmi a súčasne chrániť životné prostredie rozumným využívaním, často aj menšieho množstva zdrojov. Ide o optimalizáciu vstupov (hnojivá, ochranné látky, pohonné hmoty a zavlažovacia voda), čo má pozitívny vplyv na životné prostredie. Výhodou je aj vyššia kvalita produkcie a výrazne nižšia spotreba energie.

Digitalizácia vnáša do systému presnosť, pružnosť a poriadok. V sektore poľnohospodárstva ide o obrovské množstvá údajov (Big

Data), ktoré je treba spracovávať a pre všeobecné využívanie transformovať. Súčasne narastá otázka ochrany týchto dát a definovania práv ich využívania, vrátane mobilného prístupu k nim. Reálna je vzia, že zodpovedné využívanie dostupných dát (vrátane satelitných) môže zjednodušiť celú európsku poľnohospodársku politiku.

Myšlienky presného poľnohospodárstva spolu so zodpovedajúcimi informačnými systémami môžu podporiť transparentné pestovanie (Traceability), čo v poľnohospodársko-potravinárskom komplexe prispieva k bezpečnosti potravín.

Ďalším z dôvodov je súčasná situácia, keď sa veková hranica pracovníkov v poľnohospodárstve neúmerne zvyšuje, prebieha čas generáčnej výmeny, no záujem mladých ľudí pre prácu v poľnohospodárstve je slabý. V podmienkach Slovenska je tento fenomén výrazný. Je predpoklad, že moderné technológie a potreba pracovať v digitálnom prostredí bude pre mladú generáciu, s digitálnou gramotnosťou, zaujímavá. Očakáva sa, že zavádzanie informatizácie by mohlo priniesť nové výroby, služby a nové pracovné miesta v sektore.

Aplikácia zásad presného poľnohospodárstva v celej vertikále

rastlinnej výroby môže byť predpokladom a požiadavkou pre úpravu niektorých doteraz platných predpisov a nariadení. Vývoj ukazuje, že je potrebné vytvoriť poľnohospodárom flexibilné prostredie, aby mohli nové postupy prispôbiť rôznorodým poľnohospodárskym a environmentálnym podmienkam. Napríklad pri aplikovaní dusíka môže ísť o korekciu predpisov, založených na klasickom plošnom prístupe. Veľký priestor na zjednodušenie administratívnej záťaže sa odкрýva v oblasti kontroly využívania dotácií z EÚ. Klasické inšpekcie na mieste môžu byť v blízkej budúcnosti nahradené monitorovaním pozemkov pomocou satelitných dát. Využitie je smerované na satelity Sentinel, ktoré sú súčasťou európskeho programu pozorovania Zeme (Copernicus).

Presné poľnohospodárstvo je výrobná filozofia, kedy používané technológie rešpektujú lokálne vlastnosti a z nich plynúce požiadavky. Zjednodušene sa presné poľnohospodárstvo tiež nazýva ako technológia s priestorovo diferencovanými vstupmi, kde pojem vstup treba chápať v materiálnej povahe, ale aj v intenzite realizovaných pracovných operácií (Rataj, V. et al., 2014).

Problematikou presného poľnohospodárstva sa zaoberajú výskumné tímy renomovaných univerzít (napr. University of Minnesota, Cornell University, Purdue University (USA), University of New England (Australia), organizácie, poradenské centrá výskumných a univerzitných pracovníkov (International Society of Precision Agriculture, American Society of Agronomy - USA, CTF Europe, National Centre for Precision Farming – Harper Adams University - Veľká Británia, ale aj uznávané vedecké časopisy – Precision Agriculture, Biosystems Engineering a pod.)

Pojem presné poľnohospodárstvo vychádza z anglického Precision Farming. V niektorých európskych jazykoch sa uvádza ako: Precizní zemědělství, Teilschlagbezogene Landwirtschaft, Precizió szgazdálkodás, Rolnictwo precyzyjne, Точное земледелие, Precizna poljoprivreda a pod. Na Slovensku sa v odbornej komunite ustálil preklad PRESNÉ POĽNOHOSPODÁRSTVO. □



Schéma uzatvoreného kruhu činností tvoriacich myšlienku presného poľnohospodárstva.



# Využitie navigačných systémov v presnom poľnohospodárstve

Efektívnosť využitia a samotná prevádzka strojov závisí predovšetkým od charakteristík pracovnej jazdy stroja. Pri pohybe stroja po poli dochádza v dôsledku pôsobenia rôznych faktorov (subjektívneho a objektívneho charakteru) k premenlivému využívaniu konštrukčnej šírky záberu stroja. Rozsah využívania šírky záberu stroja následne ovplyvňuje množstvo aplikovaných vstupov (CHOL, hnojivá, osivá a pod.). Výkonnostný potenciál stroja môže byť totiž optimálne využitý len vtedy, ak sa obsluha môže sústrediť na podstatné úlohy spojené s ovládaním a správnym nastavením pracovných mechanizmov, a nie je zaťažovaná úkonmi súvisiacimi s udržiavaním správneho smeru jazdy strojovej súpravy.

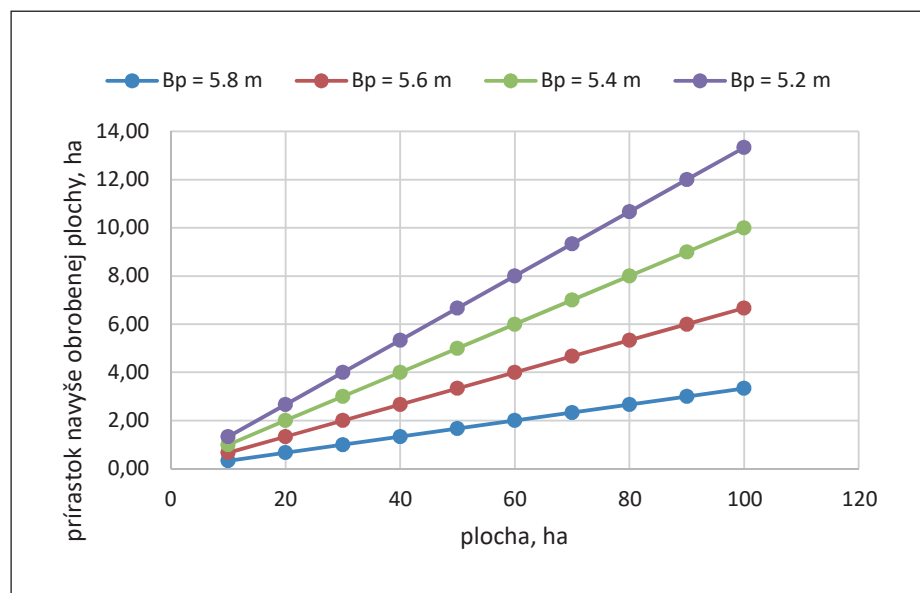
Ing. Miroslav Macák, PhD., Katedra strojov a výrobných biosystémov, TF, SPU v Nitre

## 1. Technologická presnosť pracovných operácií v RV

Technologická presnosť vykonania pracovnej operácie je základom každej zodpovednej vykonanej práce. V poľnohospodárskej rastlinnej výrobe to platí rovnako ako pre každý iný výrobný sektor. Častým javom nerovnomernosti vykonania aplikácie alebo zásahu je „rezerva“, ktorá vzniká vedomým prekryvaním susedných pracovných záberov. Tento postoj má obvykle obsluha (napr. pri obrábaní pôdy, pri sejbe alebo pri zbere) v snahe nenechať za sebou viditeľ-

ne neobrobenú alebo neošetrenú plochu.

Ako príklad uvádzame modelovú situáciu na obr. 1, kde je simulovaná práca súpravy s konštrukčným záberom 6 m a štyri úrovne prekryvania. Pri 10 % prekryvaní (t.j.  $B_p = 5,4$  m) narastie množstvo obrábanej plochy zo 100 ha na 110 ha. Ak si zoberieme do úvahy len niekoľko hlavných nákladových položiek, ktoré súvisia s vykonaním danej pracovnej operácie (napr. PHM, mzda obsluhy, navýšená aplikácia vstupov, navýšené opotrebovanie stroja



Obr. 1: Navýšenie obrábanej plochy vplyvom rôznej úrovne prekryvania pracovného náradia. ( $B_p$  – pracovný záber stroja s konštrukčným záberom  $B_k=6$  m).

súvisiace so servisom a opravami...), uvedomíme si dopady nevhodného a nepresného pohybu strojov na ekonomickú efektívnosť výrobného systému.

## 2. Počiatky navigácie strojov po poli

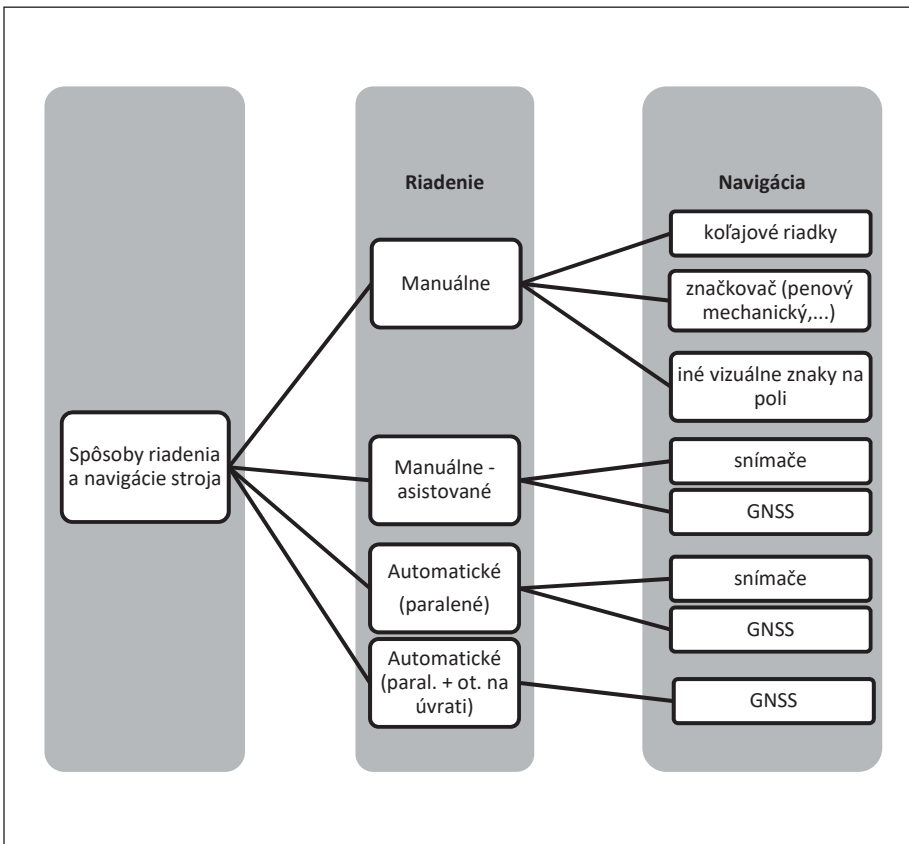
Samozrejme, už od počiatku vzniku a vývoja prvých výkonnejších mechanizačných prostriedkov pracujúcich v rastlinnej výrobe, vznikala otázka, ako sa po poli pohybovať tak, aby bol konštrukčný záber stroja čo najviac využitý.

Požiadavky agronomickej praxe jasne definujú, že pracovná operácia má byť vykonaná s čo najmenším počtom prejazdov po parcele a nemajú vznikáť neobrobené (resp. nezasiaté, nepohnojené a pod.) časti pozemku (tzv. vynechávky). Rovnako nemajú vznikáť viacnásobne obrábané plochy zbytočným prekryvaním prejazdov strojovej súpravy.

Ako v minulosti, tak aj dnes sa ešte stále využívajú klasické spôsoby navigácie stroja po poli. Medzi najznámejšie patrí **navigácia pomocou značkovačov** či už mechanických, alebo penových. Pomocou tohto zariadenia dokáže obsluha stroja navigovať stroj na správny smer. Zariadenia sú jednoduché a lacné. Ich nevýhodou je, že priamočiarosť trajektórie závisí od presnosti vykonania prvej jazdy. Riadenie stroja má v rukách obsluha, ktorá vplyvom rôznych faktorov nemusí túto trajektóriu pohybu presne dodržať.

Ďalším spôsobom navigácie sú **koľajové riadky** založené v poraste pestovanej kultúrnej plodiny. Vznikajú obvykle za pomoci mechanického značkovača, pri sejbe plodiny vynechaním (nezasiatím) určitého počtu výsevných riadkov. Tieto koľaje sa využívajú pre vstup strojov na ošetrovanie porastu a hnojenie počas vegetačného obdobia. Keďže z hľadiska dosahovania efektívnosti výroby sa pestovatelia snažia maximálne využiť pestovanú plochu, koľajové riadky majú malú šírku. Na strojoch vstupujúcich do porastu sa vymieňajú kolesá s menšou šírkou, čo v konečnom dôsledku sťažuje obsluhu riadenia stroja.

Uvedené spôsoby navigácie, i napriek ich jednoduchosti a relatívne dobrej spoľahlivosti, nie je možné použiť pri všetkých pracovných operáciách. Typickým príkladom je aplikácia tuhých priemyselných hnojív mimo vegetačného obdobia. Konštrukcia odstredivého rozhadzovača a šírka aplikácie (obvykle 18 – 52 m) hnojív nedovoľuje



Obr. 2: Kombinácie rôznych spôsobov navigácie a riadenia poľnohospodárskych strojov.

v tomto prípade montáž mechanického značkovača. Obsluha je nútená vykonávať jazdy tak povediac „od oka“. Presnosť takto vykonaných, paralelne nadväzujúcich prejazdov je častokrát  $\pm 1 - 5$  m, a v niektorých prípadoch aj viac.

Už v 70. a 80. rokoch minulého storočia sa viacerí autori pokúšali riešiť tento problém konštrukciou jednoduchých optických zariadení, ktoré sa snažili sledovať stopy kolies traktora z predchádzajúcej paralelne vykonanej jazdy. Jedným z príkladov je aj

konštrukcia optického zrkadlového zariadenia doc. Paulenom (TF, SPU v Nitre).

### 3. Elektronické systémy navigácie strojov v poľnohospodárstve

Na prelome 80. a 90. rokov minulého storočia začínajú do priemyselnej výroby prenikať prvky elektronickej regulácie a automatizácia výroby sa stáva postupne bežnou súčasťou všetkých odvetví hospodárstva. V poľnohospodárskej rastlinnej výrobe sa prvé elektronické automatizačné

systémy objavujú v traktoroch (napr. úvrťový manažment).

Vznik elektronických navigačných systémov, ktoré optimalizujú pohyb strojov, datujeme do druhej polovice 90. rokov minulého storočia. V tomto období, okrem prudkého vývoja elektroniky (výroba rôznych snímačov), dochádza k sprístupneniu globálneho navigačného satelitného systému (GNSS) pre civilný sektor a komerčné využitie. Prvým takýmto systémom bol tzv. GPS (USA), neskôr boli dokončené sprístupnené aj ďalšie (GLONASS – Rusko; Galileo – EU; Beidou – Čína, QZSS – Japonsko). Elektronické navigačné systémy rozdelujeme do dvoch základných skupín:

- navigačné systémy s podporou snímačov,
- navigačné systémy s podporou GNSS.

#### Navigácia a riadenie stroja

Prvé technické riešenia elektronických navigačných systémov, ktoré v tomto období vznikali, napomáhali obsluhu stroja navigovaním pomocou optického znaku (zväčša pomocou svetelnej lišty, alebo šípky na displeji). Takéto technické riešenie sa nazývalo „manuálne asistované riadenie“ a vyžadovalo si stále ručné riadenie stroja. Aj keď sa pomocou tohto spôsobu podarilo zvýšiť presnosť paralelne nadväzujúcich jásd (najmä pri spomínanej aplikácii PH), od obsluhy sa vyžadovalo nepretržité sústredenie sa na svietiaci LED displej, ktorý spôsoboval únavu očí najmä pri dlhšom používaní (> 1 hod.). Dokonalejším riešením, ktoré v plnej miere začalo poskytovať plnohodnotné benefity, bolo prepojenie elektronických navigačných systémov s automatickým riadením stroja. Rozdelenie jednotlivých spôsobov riadenia a navigácie strojov v poľnohospodárstve je na obr. 2. V ďalšej časti sa budeme zameriavať práve na automatické navigačné systé-



Obr. 3: Systém navigácie pomocou 3D kamery Agrom AYE-Drive, A: pri navádzaní stroja na riadok pokosenej trávy, B: pri navádzaní stroja počas plečkovania a lokálnej aplikácii chemických ochranných látok (claas.com).



## ■ navigačné systémy



Obr. 4: Princíp práce laserovej navigácie obilného kombajnu, A – systém Claas LaserPilot, B – systém New Holland SmartSteer (claas.com, newholland.com).

my, ich rozdelenie, charakteristiku a princípy práce.

### 3.1 Automatické navigačné systémy s podporou snímačov

Na navigáciu strojových súprav v rastlinnej výrobe je možné využiť aj informácie poskytované rôznymi typmi snímačov. Tieto snímače odosielať riadiacej jednotke elektronické signály, potrebné na riadenie stroja pozdĺž určitej navigačnej stopy. Snímač v podstate transformuje pravidelnú vizuálnu stopu na elektronický signál. Touto vizuálnou stopou môže byť napr. stena porastu, vytvorená počas zberu obilným kombajnom, pokosené riadky krmovín či slamy, riadky vysadenej/vysiatej plodiny, strnisko po zbere plodiny a pod.

V súčasnej dobe sa používajú v rámci navigačných systémov tieto zariadenia:

- optická kamera (2D, 3D),
- laserový snímač,
- ultrazvukový snímač,
- mechanický hmatač.

#### Navigácia pomocou kamery

Pri tomto systéme navigácie sa ako snímač využíva optická kamera s vysokým rozlíšením, ktorá sníma povrch poľa. Získané informácie sú počas jazdy stroja priebežne vyhodnocované v riadiacej jednotke. Výstupné informácie môžu byť použité ako pre manuálne asistované riadenie, tak aj v rámci automatického riadenia, keď je riadiaci signál privádzaný priamo do akčných členov riadenia smeru traktora. Týmto spôsobom môže byť zabezpečené riadenie stroja požadovaným smerom bez zásahu obsluhy. V praxi sa používajú dva typy kamier tzv. „2D“ a „3D“ s tým, že pri 3D kamerách sme schopní dosiahnuť vyššiu presnosť ( $\pm 3$  až  $5$  cm) a ich použitie je možné v širšom rozsahu rôznych druhov vyššie spomínaných navigačných stôp. Tento spôsob navigácie je určený hlavne v zeleninárstve, a to jednak na riadenie po-

žadovaného smeru jazdy a/alebo na nastavenie posuvu pracovných častí náradia voči rámu stroja. V rastlinnej výrobe je možné zariadenie využiť napr. pri zbere krmovín – na navigáciu pohybu samohybnej rezačky na nakosený riadok (obr. 3).

#### Navigácia pomocou laserového snímača

Systémy laserovej navigácie sú predovšetkým určené na navádzanie obilných kombajnov a iných zberových strojov, pri ktorých možno využiť kolmú a rovnú stenu odkoseného porastu. Jeho použitie sa odporúča najmä pri záberoch nad 6 metrov, ale jeho využitie nie je technicky obmedzené ani pri menších záberoch, no návratnosť vynaložených investícií sa v tomto prípade predlžuje.

Základnou časťou tohto systému je laserový snímač, ktorý býva umiestnený buď na okrajoch žacieho stola, alebo pod strechou kabíny obilného kombajnu (obr. 4). V prípade systému SmartSteer od firmy New Holland sa pod strechou kabíny nachádza len jeden snímač, ktorý funguje pre obe strany žacieho stola. Pri otáčaní obilného kombajnu na úvrati sa tento laserový snímač pootáča pomocou servomotora na príslušnú stranu, na ktorej sa nachádza odkosená stena porastu.



Obr. 5: Nastavenie ultrazvukových snímačov Reichhardt - PSR SONIC (reichhardt.com).

#### Navigácia pomocou ultrazvukového snímača

Ultrazvukové snímače snímajú členitosť terénu, napr. koľajový riadok, ryhy v pôde, vytvorenej po mechanickom značkovači, riadok slamy alebo pokosených krmovín, resp. vysadené riadky v zeleninárstve. Snímače sa umiestňujú v pároch na rám v prednej časti traktora (resp. samohybného stroja). Jedným z príkladov využitia predstavuje systém ultrazvukovej navigácie (obr. 5) PSR SONIC od firmy Reichhardt®.

#### Navigácia pomocou mechanického hmatača riadkov porastu

Tento systém je určený najčastejšie na sledovanie riadku v porastoch širokoriadkových kultúrnych plodín, ako je napr. kukurica, slnečnica alebo repa a to vo viacerých operáciách (plečkovanie, chemická ochrana, prihnojovanie, zber obilným kombajnom, rezačkou či vyorávačom repy). Ako príklad možno uviesť AutoTrack RowSense System (John Deere), alebo Reichhardt® PSR TAC pre kukuricu (obr. 6) a PSR MEC pre vyorávače repy cukrovej. Najdôležitejšou časťou je pár mechanic-



Obr. 6: Umiestnenie hmatača riadku na adaptéri na zber kukuričných šúľkov obilného kombajnu (reichhardt.com).

kých hmatačov, ktoré sú spojené elektrickými potenciometrami. Počas jazdy v poraste



sú hmatače stebľami porastu vychýľované do pravej alebo ľavej strany. Vychýľovaním hmatačov sa priamo úmerne mení elektrická veličina (zväčša: prúd alebo napätie), ktorá je spracovaná v riadiacej jednotke do formy signálov. Signály sú riadiacou informáciou pre príslušné akčné členy stroja (hydraulické riadiace obvody natáčania kolies) pri jeho riadení do príslušnej strany tak, aby bol zachovaný smer jazdy rovno-bežný s vysiatymi riadkami porastu. Limitujúcim faktorom použitia tohto typu snímača je mechanická pevnosť tej časti rastliny, o ktorú sa rameno snímača počas práce opiera.

*Nevýhody navigácie pomocou snímačov:*

- potreba iného vizuálneho znaku na poli pre navigáciu,
- potreba kalibrácie, nastavenia a čistenia (optická kamera, laser),
- cenový rozdiel (obstarávacia cena a prevádzkové náklady) v porovnaní so satelitnými navigačnými systémami sa postupne znižuje a začína sa vyrovnávať,
- použiteľné len na paralelné navádzanie stroja,
- ľudský faktor (zlé nastavenie, neochota učiť sa a prijímať nové technológie, kon-

zervatívny spôsob myslenia).

Výhody navigácie pomocou snímačov:

- relatívne vysoká presnosť ( $\pm 3$  až  $15$  cm) v závislosti od konkrétneho typu a podmienok,
- nie sú potrebné žiadne ďalšie poplatky počas prevádzky (napr. korekčné signály, SIM karty, a pod.) s výnimkou servisu, čím odpadá komunikácia a zmluvné vzťahy s ďalšími subjektami (poskytovateľ kor. signálu, mobilný operátor).

### 3.2 Automatické navigačné systémy s podporou GNSS

Satelitné navigačné systémy patria medzi najsofistikovanejšie navigačné systémy strojových súprav v rastlinnej výrobe. Na svoju činnosť nepotrebujú vytvárať žiadne značky na povrchu pôdy, ani ďalšie prídavné snímače pre udržanie požadovaného smeru jazdy. Ich činnosť je predovšetkým závislá na šírení satelitných signálov GNSS systému.

Satelitné navigačné systémy v sebe zahŕňajú všetky výhody predchádzajúcich spôsobov navigácie. Tento spôsob možno prakticky použiť takmer pri všetkých (približne 95 %) pracovných operáciách v rast-

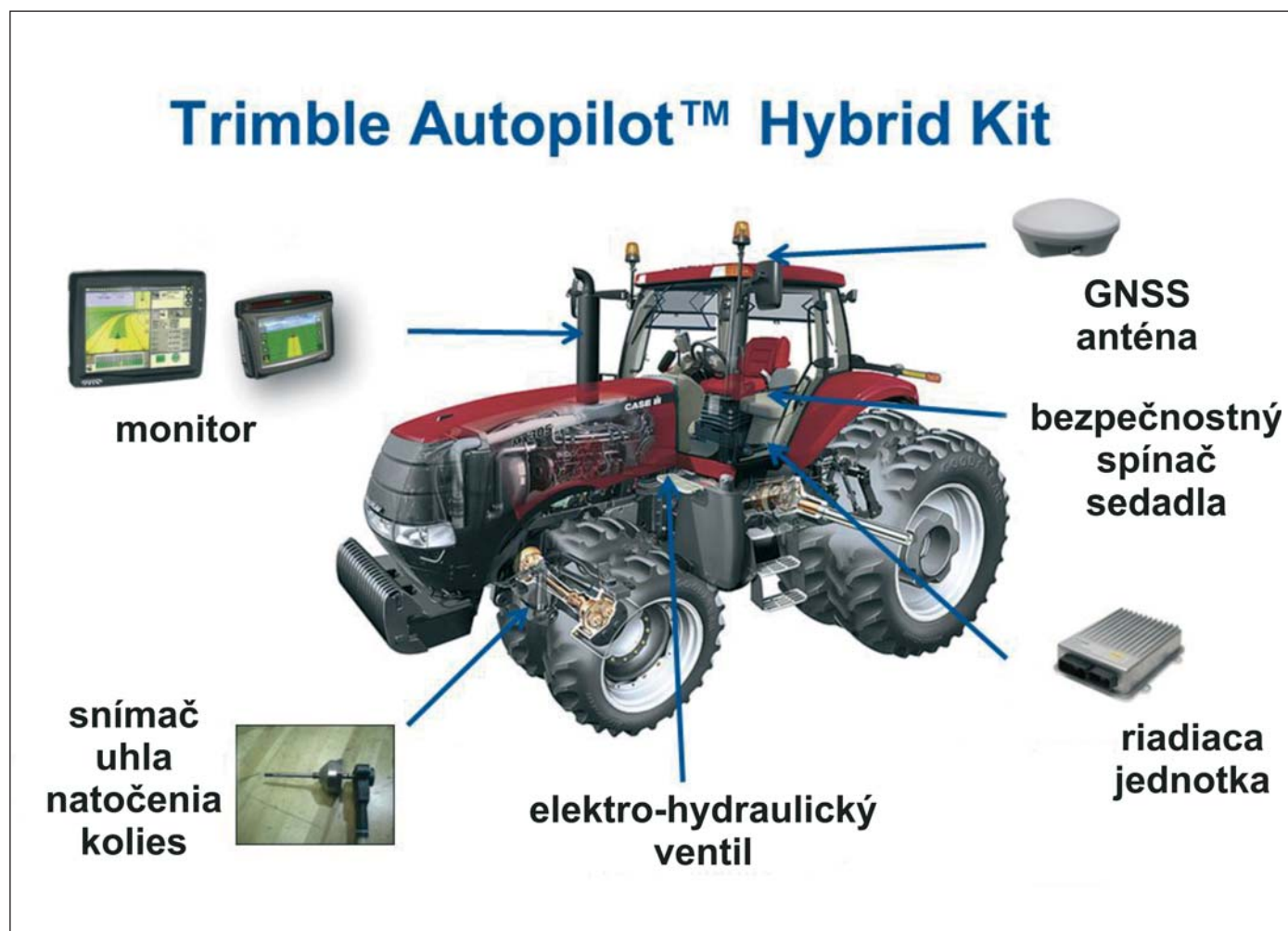
linnej výrobe. Ich široké uplatnenie v kombinácii s automatickým riadením stroja, úvratovou automatikou a inými systémami umožňuje znížiť dobu návratnosti vynaložených finančných prostriedkov na ich zakúpenie a prevádzku. Sú využitelné ako v traktoroch, tak aj v samohybných jednoúčelových strojoch.

V súčasnej dobe možno na trhu nájsť rôzne systémy navigácie strojových súprav postavených na využívaní GNSS. Tieto systémy sa odlišujú svojim technickým riešením, celkovou koncepciou, presnosťou, kompatibilitou a cenou.

**Medzi základné komponenty satelitných navigačných systémov patrí (obr. 7):**

- a) prijímač satelitného signálu a korekčných signálov,
- b) modul kompenzácie náklonu terénu,
- c) monitor,
- d) riadiaca jednotka,
- e) snímač natočenia kolies riadenej nápravy,
- f) akčné členy (napr. elektro-hydraulický ventil riadenia, elektromotor umiestnený na tyči riadenia).

**Prijímač GNSS** je relatívne zložitý, veľmi citlivé elektronické zariadenie. Skladá sa



Obr. 7: Základné komponenty satelitného navigačného systému (upravené podľa: trimble.com).

## ■ navigačné systémy

z utesnenej kopule a dvojplášťového krytu, v ktorom sa nachádza samotný elektronický prijímač družicových signálov. Pri konštrukcii antény je dôležitá odolnosť vnútorných prvkov voči nárazu. Najnovšie GNSS antény umožňujú prijímanie satelitných signálov z viacerých družicových signálov, čo umožňuje stanovenie polohy aj vo veľmi náročných podmienkach (napr. členitosť terénu na úvraťiach, lokalizácia pozemku pri lese...).

Súčasťou kopule GNSS antény môže byť aj prijímač rádiových (FM) vln a mobilného telefónneho signálu (2G, 3G, 4G-LTE). Tieto prijímače slúžia na príjem korekčných signálov šírených buď z vlastnej bázevej (základňovej) stanice cez FM vysielanie, alebo cez sieť mobilných operátorov.

Súčasťou GNSS antény je častokrát aj 3-osový gyroskop (tzv. **modul kompenzácie terénu**). Ten má za úlohu kompenzovať náklony stroja v 3 rovinách (obr. 8). Keďže je prijímač GNSS umiestnený zvyčajne v hornej časti stroja (na streche) z dôvodu najlepšieho príjmu signálu, býva jeho poloha od povrchu poľa vo výške približne 2,5 až 4 metre (v závislosti od výšky stroja). Keďže stroje pracujúce v rastlinnej výrobe častokrát pracujú v nerovnom teréne, je kompenzácia sklonu veľmi potrebná.

**Monitor** je zariadenie, s ktorým prichádza užívateľ stroja do styku najčastejšie. Moderné monitory sú dotykové a sú konštruované na báze odolných tabletov, preto je práca s nimi intuitívna a ľahko zvládnuteľná. Monitor poskytuje množstvo informácií a umožňuje nastavovať pracovné parametre používaného náradia, ale predovšetkým informuje užívateľa o polohe stroja na poli, o spracovanej a nespracovanej časti pozemku a zobrazuje navigačný smer pohybu strojovej súpravy po poli. Najdôležitejšou informáciou, ktorá sa pomocou monitora navigačných systémov zadáva, je požado-

vaný rozstup pracovných jázd. Táto hodnota musí byť vzhľadom na pracovný záber použitého náradia a na presnosť použitého korekčného signálu zvolená správne. V opačnom prípade sa môže stať, že satelitný navigačný systém bude pracovať neefektívne (pri jazdách môžu vznikáť prekrytia alebo vynechávky podobne ako pri manuálnom riadení).

**Riadiaca jednotka** má za úlohu spracovávať informácie:

- o polohe (cez GNSS prijímač a prípadne GSM/2G/3G/4G modem), vyhodnocuje satelitné a korekčné signály (DGPS, RTK), vypočítava a určuje polohu),
- o uhle natočených kolies voči osi stroja,
- o pracovnej rýchlosti stroja,
- o potrebe kompenzácie polohy v teréne,
- o zadaných údajoch (pracovná šírka stroja, nastavený záber, typ riadiacej krivky a pod.), ktoré užívateľ zadáva cez monitor,
- o aktuálnej odchýlke v smere jazdy pri dodržiavaní zvoleného tvaru navigačnej krivky,
- môže spolupracovať s inými automatickými systémami priamo integrovanými v stroji (úvratová automatika, telematika a jej rôzne moduly, a iné).

### Akčný člen

Akčným členom sa v rámci automatického riadenia myslí ten prvok, ktorý zabezpečuje požadovaný úkon zmeny smeru jazdy. V našom prípade je to najčastejšie natáčanie kolies riaditeľnej nápravy stroja. Akčným členom môže byť buď elektro-hydraulický ventil servo-riadenia, alebo elektromotor otáčajúci volantom. V prípade použitia iných podvozkov (napr. pásových) je to zväčša sústava viacerých elektro-hydraulických ventilov riadenia stroja.

### Presnosť práce

Užívateľ hodnotí presnosť podľa odchýlky,

ktorá vzniká od nastavenej vzdialenosti medzi jednotlivými paralelne vykonanými prejazdmi ako (ISO 12188):

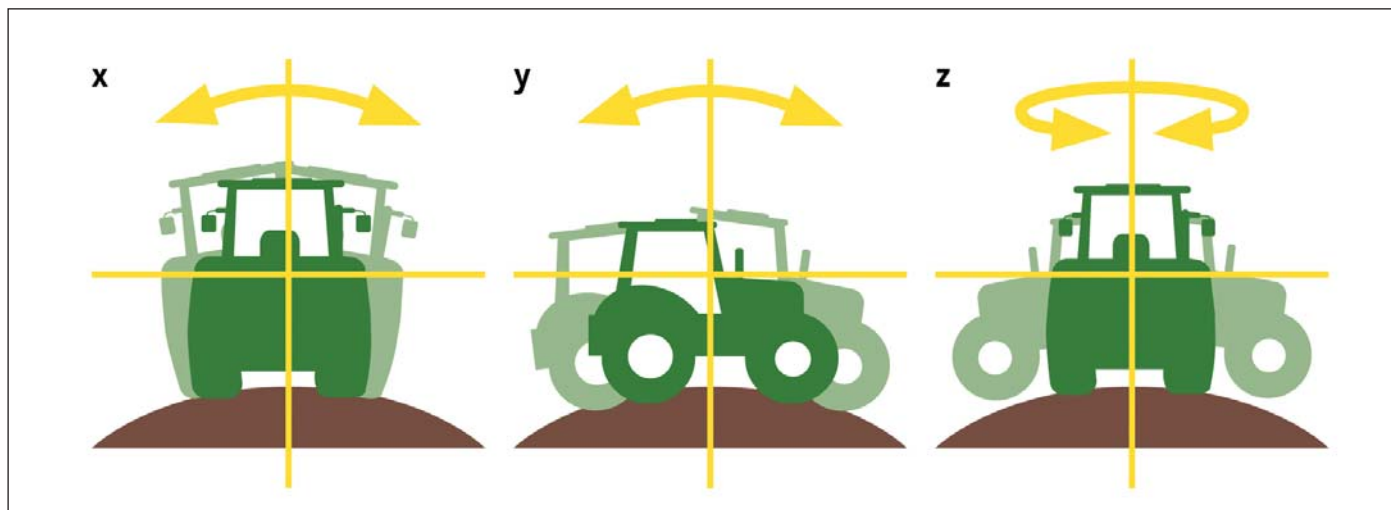
- **relatívnu presnosť** – od jazdy po jazdu (pass to pass accuracy),
- **absolútnu presnosť** – presnosť z roka na rok (year to year accuracy).

Rozdiel medzi týmito dvomi typmi presností uvidíme na praktickom príklade. Hodnota *relatívnej presnosti* uvádza presnosť, s akou je daný navigačný systém (s príjmom určitého korekčného signálu) schopný dodržiavať paralelné vedenie stroja. Zjednodušene možno povedať, že určuje maximálnu hodnotu odchýlky kolmého smeru dvoch rovnobežných prejazdov.

**Absolútna presnosť** súvisí s presnosťou, s akou sa dokáže stroj pohybovať po tej istej trajektórii s odstupom času min. 24 hod. Napríklad, ak porast kukurice založím v apríli a koncom mája budem potrebovať vykonať plečkovanie, tak údaj o absolútnej presnosti mi hovorí o odchýlke, s akou viem túto trasu späť vyhľadať.

Relatívna presnosť dosahuje menšie hodnoty odchýlok ako absolútna. Hodnotu relatívnej aj absolútnej presnosti vie užívateľ ovplyvniť úrovňou (druhom) korekčného signálu, ktorý prijíma; prípadne vie túto polohu čiastočne skorigovať, ak presne pozná fyzické miesto, kde sa má daná vopred uložená navigačná krivka nachádzať (napr. viacnásobný opätovný návrat počas vegetačného obdobia do koľajových riadkov obilnín).

Samotná presnosť navigačného systému len s využitím autonómneho signálu GNSS (čiže bez akéhokoľvek dodatočného korekčného signálu) sa pohybuje na úrovni  $\pm 1$  až  $3$  m (relatívna presnosť), a  $\pm 3$  až  $15$  m (absolútna presnosť), čo je pre účely riadenia pohybu strojov nedostačujúce. Navigácia stroja s využitím voľne šíreného korekčného signálu EGNOS (dostupného pre oblasť Európy), dosahuje presnosť  $\pm 20$  až  $30$  cm (relat.) a  $\pm 90$  až  $100$  cm



Obr. 8: Princíp funkcie kompenzácie sklonu terénu (deere.com).



(absol.). Najpresnejšie hodnoty poskytuje korekčný signál typu RTK ( $\pm 2 - 5$  cm; platí pre relat. aj absol. presnosť), avšak tento signál je spolplatnený a taktiež sa vyžaduje mobilné dátové pripojenie (väčšinou cez SIM mobilného operátora). Niektorí výrobcovia poľnohospodárskej techniky poskytujú k svojim zariadeniam komplexný servis, ktorý zahŕňa okrem hardvérovej konfigurácie navigačného systému aj prístup k vlastným korekčným signálom šíreným cez vlastné, alebo prenajaté geostacionárne satelity.

Faktory limitujúce presnosť navádzania strojových súprav pomocou GNSS:

- kvalita a dostupnosť signálu GNSS (tienenie družicového signálu, v niektorých prípadoch v tesnej blízkosti vysokých prekážok - stromy, údolia svahovitých pozemkov... môže dochádzať ku krátkodobej strate družicových signálov),
- počet prijímaných GNSS systémov; možnosť príjmu viacerých GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou) súčasne umožňuje eliminovať horšie podmienky pri určovaní polohy vplyvom tienenia družicových signálov spomínaných v predchádzajúcom bode,
- použitý korekčný signál, jeho presnosť a dostupnosť,
- správne nastavenie systému; ľudský faktor (zlé nastavenie, neochota učiť sa a prijímať nové technológie, konzervatívny spôsob myslenia).

### Nevýhody automatických navigačných systémov s podporou GNSS

- potreba príjmu korekčného signálu na spresnenie geografickej polohy (čo za určitých okolností - v závislosti na cene korekčného signálu, môže znížiť ekonomickú návratnosť prvotných investícií súvisiacich s obstaraním systému),
- v niektorých prípadoch je potrebný prístup aj k mobilným dátovým službám (2G, 3G, 4G siete, ich dostupnosť a cena).

### Výhody automatických navigačných systémov s podporou GNSS

Oproti navigačným systémom s podporou snímačov má tento spôsob navigácie nasledovné výhody:

- možnosť pracovať za zníženej viditeľnosti bez potreby vizuálnych znakov na poli,
- možnosť výberu z rôznych tvarov charakteristických kriviek navádzania (priama línia, zakrivená trasa, oblúk, adaptívna krivka, center pivot...),
- uvedené systémy je možné využiť v rámci implementácie komplexu riadeného pohybu strojov po poli (tzv. CTF).

Informácie o polohe získané cez GNSS anténu je možné využiť aj:

- v rámci variabilnej aplikácie vstupov (presné poľnohospodárstvo),
- pri komplexnom riadení strojového parku - pri Telematike (t.j. napr.: riadenie strojov v skupine, systém synchronnej práce strojov, monitoring pohybu a nasadenia strojov, a iné moduly telematiky súvisiace s operatívnym riadením výroby),
- v rámci možnosti prepájania a kom-

binovania s inými systémami (napr. s navigačnými systémami s podporou snímačov, s úvratovým manažmentom traktora, systémom aktívnej kontroly plnenia...).

### **Slovník skratiek a vybraných pojmov:**

**GNSS** – Globálny navigačný satelitný systém (všeobecné pomenovanie niektorého z jestvujúcich, alebo v blízkej dobe dokončených samostatne pracujúcich systémov, napr.: GPS, GLONASS, Galileo, BEIDOU, QZSS; užívateľ má v praxi možnosť využívať viaceré tieto GNSS súčasne, v závislosti ako mu to umožňuje hardvérová a softvérová konfigurácia jeho prijímača).

**GPS** – Globálny navigačný systém vytvorený a prevádzkovaný USA (presné označenie **NAVSTAR-GPS**)

**GLONASS** - Globálny navigačný systém vytvorený a prevádzkovaný Ruskom

**Galileo** – Globálny navigačný systém vytvorený a prevádzkovaný Európskou vesmírnou agentúrou - ESA

**BEIDOU (COMPASS)** - Globálny navigačný systém vytvorený a prevádzkovaný Čínou (pilotná prevádzka, spustenie je plánované na rok 2020)

**QZSS** - Quasi-Zenith Satellite System; Navigačný systém prevádzkovaný Japonskom (nie je ešte dokončený, pracuje len na lokálnej úrovni)

**PH** – priemyselné hnojivo

**CTF** – Controlled Traffic Farming (Riadený pohyb strojov po poli)

*Použitá literatúra dostupná u autora.*



*Najpresnejšie hodnoty poskytuje korekčný signál typu RTK.*

# Správne manažérske riešenia vyžadujú správnu techniku

Technologické inovácie v poľnohospodárstve napredujú míľovými krokmi. Digitalizácia dnes zohráva kľúčovú úlohu pri maximalizácii a efektívnosti prevádzky moderných poľnohospodárskych podnikov. Spoločnosť John Deere patrí v tejto oblasti medzi priekopníkov, pričom jej produkty a riešenia prinášajú do oblasti poľnohospodárskeho manažmentu významné zmeny.

## Dôležitá presnosť

Systém navádzania prostredníctvom GPS signálu je na trhu už dlhé roky. Jeho stálym vylepšovaním však spoločnosť John Deere dosiahla vynikajúcu presnosť, stabilitu signálu a jeho širší dosah. Vďaka prijímačom **StarFire 6000** je tak v praxi možné dosiahnuť lepšiu prevádzkyschopnosť systému. Prijímač sleduje paralelne až 3 satelitné korekčné signály, čo znamená oproti predchádzajúcim generáciám prijímača až trikrát lepšiu prevádzkyschopnosť. Zlepšený signál SF1 poskytuje medzi jednotlivými prejazdmi presnosť +/- 15 cm.

Minulosťou sú aj posuny navádzacej línie. Signál **SF3** môže priniesť 9 mesiacov sezónnej opakovateľnosti. Takže je možné používať tie isté navádzacie línie pre mnohonásobné prechody bez posunutia línií, alebo nového mapovania hraníc. Signál poskytuje presnosť +/- 3 cm.

Pre užívateľov vyžadujúcich maximálnu presnosť a opakovateľnosť a rýchlu dobu aktivácie je riešením **RTK**. Tá eliminuje každú možnosť posunu navigačných satelitných systémov a tak ponúka vynikajúcu presnosť +/- 2,5 cm medzi jednotlivými

prejazdmi. S RTK používateľ potrebuje zaznamenať hranice polí iba raz. Mobilný signál RTK od spoločnosti John Deere je jedným z najpokročilejších, najintegrovanejších a najúčinnějších na trhu.

## Navádzanie a automatizácia stroja

John Deere vytvoril priekopnícky navádzací systém pre stroje, na základe ktorého ponúka kompletný sortiment integrovaných navádzacích systémov od jednoduchých až po plne automatizované. Riešenia ponúka aj v prípade zmiešaného vozového parku, keď je systém možné integrovať aj do iných značiek strojov.

Navádzacia jednotka John Deere **AutoTrack** znižuje vynechávky a presahy, čo znižuje vstupné náklady a spotrebu paliva, zatiaľ čo sa výrazne zvýši pracovné tempo. V závislosti od použitej aplikácie je možné očakávať vstupné úspory až do výšky 8 až 14 %. Keďže je presnosť zaručená, obsluha je odľahčená od stresu a únavného riadenia a môže sa tak sústrediť na zlepšenie práce náradia, čo sú dobré správy pre produktivitu operácií.

9:47 Podrobnosti o činnosti

Google

ZA VINICOU, DOKONČENÉ 03/13/19

Typ operácie	Použitie
Plodina	--
Stav	Dokončené
Odhadov. percent. dokončenie	100%

**PRODUKTIVITA**

Obrobená plocha	41,1 ha
-----------------	---------

**KVALITA**

Metrika celkovej prevádzky

Skutočná dávka	254,64 kg/ha
Cieľová dávka	255 kg/ha
Použitý produkt celkom	10 463,76 kg

Dávkovania produktu

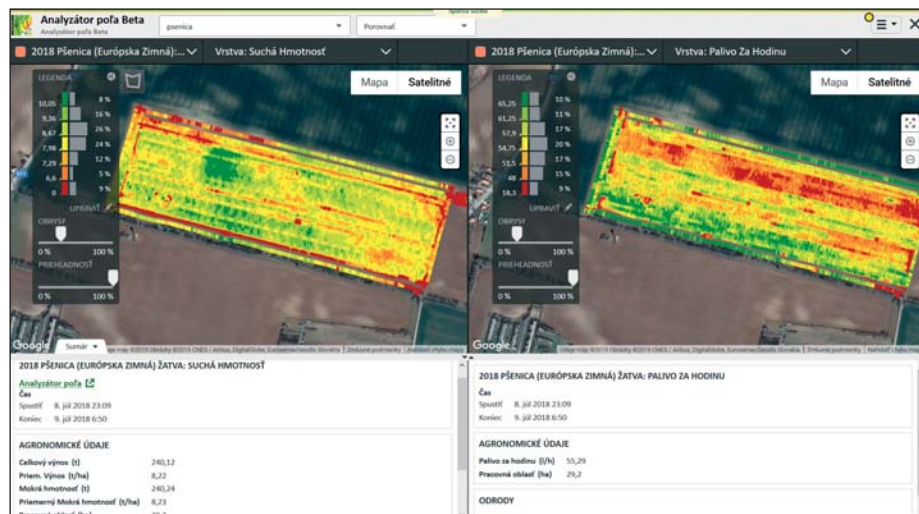
Liadok Amónny 27 %	254,64 kg/ha
--------------------	--------------

**Výkon stroja**

John Deere 8370R Demo KN

Podrobnosti o činnosti na parcele v jednom okne mobilnej aplikácie MyOperations.

Systém **AutoTrack Turn Automation** na traktoroch radu 6R až 9R automaticky riadi celé otáčanie na úvrati. Systém **AutoTrack Vision** používa vpredu namontovanú kameru, ktorá vidí rastliny kukurice alebo sóje s výškou aspoň 15 cm a funguje aj v prípade kolajových riadkov v obilninách. Udržiava kolesá vozidla v strede medzi radmi aj v prípade, ak boli vysiate bez automatického navádzacieho systému, alebo pre ne nie sú k dispozícii línie navádzania. Prostredníctvom kombinácie týchto dvoch systémom môže byť riešené aj aktívne navádzanie náradia, čo umožňuje vysokorychlostné plečkovanie rýchlosťou až 16 km/h.



Úrodové mapy získané z kombajnu. V ľavo suchá hmotnosť zrna, v pravo spotreba paliva.



V prípade sejacích a aplikačných strojov ponúka spoločnosť riešenie ovládania pracovných sekcií. To automaticky zapína a vypína jednotlivé sekcie náradia na vopred definovaných miestach na poli. Tento systém je kompatibilný so všetkým náradím John Deere, ktoré podporuje funkciu ovládania sekcií, ako aj s náradím iných značiek v súlade s protokolom AEF ISOBUS TC-SC. Eliminácia presahov a vnechávok umožňuje aplikovať presné množstvá hnojív, osív, alebo prípravkov na ochranu rastlín tak, ako je potrebné. Výsledkom je zníženie vstupných nákladov a zvýšenie účinnosti.

Jeden snímač, tri druhy použitia  
Technológia **HarvestLab 3000** používa spektroskopiu NIR, vyvinutú a patentovanú spoločnosťou Carl Zeiss na analýzu rôznych zložiek v zozbieraných plodinách, siláži alebo kale. Tento hardvér je možné použiť s rezačkou, kedy je priebežne analyzovaná vlhkosť zberanej hmoty na dĺžku rezanky. Okrem toho je tiež možné v reálnom čase získavať údaje o obsahu bielkovín, škrobe, vláknine, cukre a sušine.

HarvestLab je možné tiež použiť s aplikátorom hnojovice, kedy je možné presne aplikovať N,P,K na základe cieľového obsahu živín a limitného množstva v kg/ha a dokonca využiť predpisové mapy pre danú lokalitu. Snímač dokáže analyzovať jednotlivé zložky nielen počas plnenia, ale aj počas aplikácie tesne predtým, než sa živiny dostanú do pôdy. Na základe týchto informácií je možné pomocou aplikačných máp optimalizovať následné minerálne hnojenie.

## Úrodové mapy

Skúsenosti z oblasti monitoringu porastov potvrdzujú, že úrodové mapy získavané prostredníctvom kombajnov pri zbere jednotlivých plodín poskytujú dostatočne presné údaje o variabilite jednotlivých plôch. Technológia John Deere umožňuje okrem získavania informácií o úrode v jednotlivých častiach polí aj analýzu vlhkosti, spotreby pohonných hmôt a ďalších údajov potrebných pre dôkladnú analýzu pracovnej efektivity a variability pôdnych blokov. Úrodové mapy sú tak neoceniteľným zdrojom informácií pre manažment poľnohospodárskeho podniku a jeho ďalšie rozhodovanie.

## Riadenie prepojenej farmy

Na efektívne riadenie poľnohospodárskeho podniku je nevyhnutné mať aktuálny prehľad o tom, kde sa nachádzajú vaše stroje. Služba **Prevádzkové centrum** na webovom portáli MyJohnDeere.com to umožňuje. Spája manažment so strojami, obsluhou a poliami v jednej centrálnej lokácii. S touto službou máte vašu farmu



Vďaka navigáciám StarFire je možné dosiahnuť presnosť +/- 3 cm.

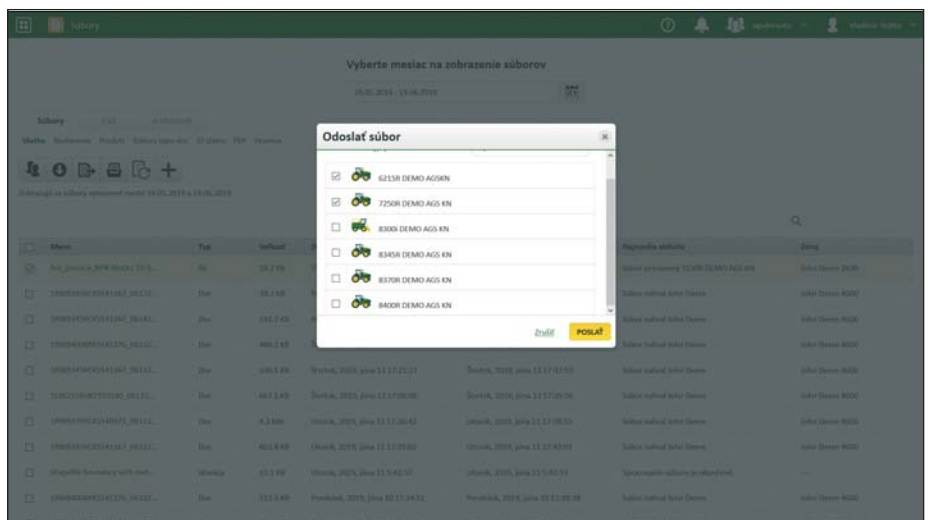
vo vrecku. V mimosezónnom období je možné naplánovať budúce práce tak, aby počas pracovnej špičky išlo všetko hladko. Dáta je možné bezdrôtovo presunúť do všetkých vybratých strojov stlačením tlačidla, čím sa predíde ručnému nastavovaniu na viacerých displejoch v teréne, ktoré je časovo náročné a náchylné na chyby. To vedie k zlepšeniu účinnosti vozového parku, kedy jedna mapa poskytne kompletný prehľad o vašich poliach a strojoch. Kedykoľvek je možné vzdialene kontrolovať nastavenie stroja, jeho využitie a údaje

o výkonnosti.



Kontakt:  
AGROSERVIS, spol. s r. o.  
Hadovská cesta 6  
945 01 Komárno

Tel: 035 774 0557  
e-mail: info@agroservis.sk



Jednoduchý prenos dát do požadovaných strojov.



# Riadený pohyb strojov po poli

Pôda je základný a nenahraditeľný výrobný prostriedok pre poľnohospodárov, je jedinečné prostredie na výrobu potravín a nenahraditeľná súčasť životného prostredia. Pôda sprevádza ľudstvo po celý život. V mnohých prípadoch ju však považujeme za prirodzenú súčasť života a nevenujeme jej potrebnú pozornosť. Len zdravá a kvalitná pôda dokáže byť nápomocná pri zabezpečovaní potravín pre súčasných 7,7 miliardy obyvateľov Zeme.

prof. Ing. Vladimír Rataj, PhD., Katedra strojov a výrobných biosystémov, TF, SPU v Nitre

Jedným z parametrov, ktorý významne ovplyvňuje kvalitu pôdneho prostredia, je zhutnenie pôdy. Ak je zhutnenie podmienené genetickými vlastnosťami pôdy,

hovoríme o primárnom zhutnení. Ak zhutnenie vzniká činnosťou človeka, ide o sekundárne zhutnenie. Vo vzťahu k pohybu strojov po poli hovoríme o vplyve technogénnych faktorov a zhutnenie je definované ako utlačenie pôdy.

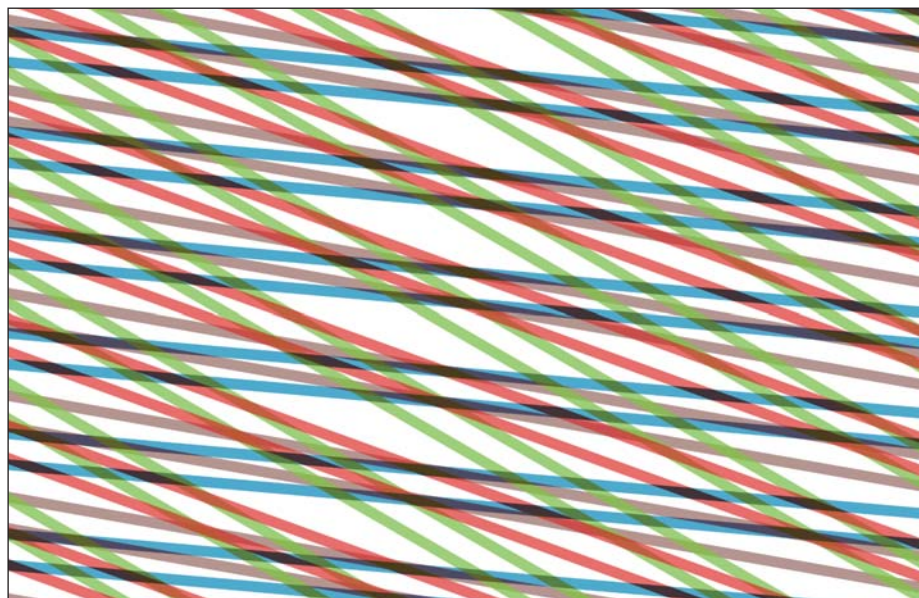
Prejazdy strojov po poliach ovplyvňujú jednoznačne kvalitu pôdy, resp. jej fyzikálne vlastnosti. Utlačená pôda vykazuje vyšší odpor pri vnikaní náradia do pôdy, má vyššiu objemovú hmotnosť, vykazuje úbytok pórov v pôde, zhoršuje infiltráciu vody do pôdy, vytvára predpoklady pre vodnú a veternú eróziu, vplýva na nedobrá cirkuláciu živín v pôde, vytvára nepriaznivé prostredie pre koreňový systém a pôdny edafon a pod. Stupeň utlačenia, pri aktuálnej vlhkosti pôdy, možno posudzovať merateľnými veličinami, ako sú penetrometrický odpor pôdy, pórovitosť a objemová hmotnosť. Limitné hodnoty pre optimálny vývoj jednotlivých plodín sú pre každý pôdny druh iné.

Utlačená pôda v konečnom dôsledku zhoršuje rentabilitu výroby.

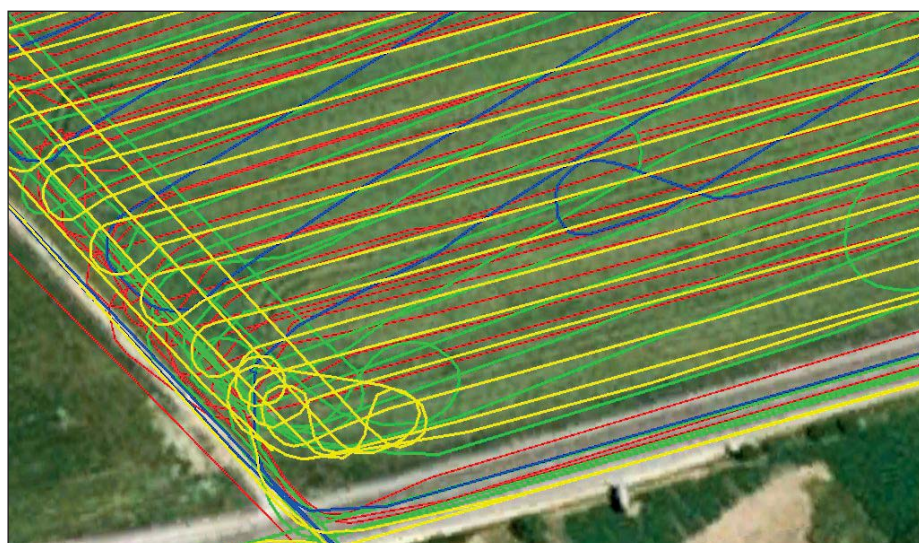
Obmedziť utlačenie pôdy možno technickým riešením, najčastejšie znížením merného tlaku strojov na pôdu. Tu sa využíva celý rad riešení od variabilného hustenia pneumatík, cez používanie špeciálnych nízkotlakových pneumatík a rozloženia hmotnosti na viac náprav, až po opätovný návrat pásových podvozkov. Každé technické riešenie niečo stojí. Hospodár sa v snahe udržať rentabilitu výroby uberá cestou znižovania, v lepšom prípade nezvyšovania nákladov. Ochrana pôdy je hodná investície – veď napríklad odstraňovanie následkov zhutnenia hĺbkovým kyprením je vysoko nákladné.

Existujú však aj možnosti, ako zhutnenie pôdy, vyvolané prejazdmi techniky, obmedziť alebo redukovať. Priestor poskytuje organizovanie pohybu strojov po poli. V súčasnosti sme svedkami stavu, keď sa v mnohých prípadoch voľným a často zbytočným prejazdom nekladie potrebná dôležitosť. V odbornej literatúre sa voľný pohyb po poli označuje ako „Randomized Traffic Farming – RTF“.

Ako vyplýva z mnohých štúdií, je dobré si uvedomiť, že najväčšie zhutnenie (merané pomocou penetrometrického odporu pôdy) vyvolá prvý prejazd, kedy nárast hodnoty je až 50 % (Varga, F. 2011; Kroulík, M. 2013; Rataj, V. et al. 2014). Každý nasledovný prejazd vyvoláva ďalší nárast zhutnenia (2. prejazd 24 %, 3. prejazd 13 % a pod.). Rovnako sa málo kladie dôraz na viacnásobné, často ľubovoľné prejazdy po parcelách. Za „nevyhnutné“ sa rovnako po-



Obr. 1: Schéma náhodného pohybu 4 strojových súprav.



Obr. 2: Záznam monitorovaných dráh pohybu strojov.





Obr. 3: Stopy rôzneho smeru jazdy pracovných súprav.

važujú aj prejazdy a technologické operácie vykonávané na úvratiach, vrátane rýchleho otáčania súprav a pod.

Voľnosť výberu smeru jazdy vzniká hlavne pri spracovaní pôdy. Zvyčajne ide o viac pracovných operácií (prejazdov), v rôznej časovej postupnosti. Smer pohybu súpravy je daný subjektívnym pocitom obsluhy, s cieľom vyrovnáť povrch pôdy pred sejbou. Často ide o tradičné pravidlo – pôdu spracovávať pod 45° uhlom na predchádzajúcu jazdu. Toto bolo nevyhnutné v klasickej agronomickej praxi, keď boli využívané súpravy s malým pracovným záberom (napr. pluhy so záberom 1,05 – 2,10 m a pod.). Pri súčasných technológiách a pracovných záberoch strojov zvyčajne nie je potrebné takéto pravidlo využívať.

Príklady možno uviesť z viacerých štúdií (Harper Adams University – Anglicko; Česká zemědělská univerzita v Prahe), ale aj z výsledkov pozorovaní, ktoré sa robili na Technickej fakulte, SPU v Nitre.

V technológii pestovania pšenice boli sledované len 4 pracovné operácie spracovania pôdy, ktorých smer bol vedený v uhloch 15°, 25°, 35° a 40° na smer budúcej sejby (obr. 1).

Rozborom plochy po stopách pneumatík možno konštatovať, že 39 % plochy bolo bez prejazdu, 39 % plochy bolo prejdenej

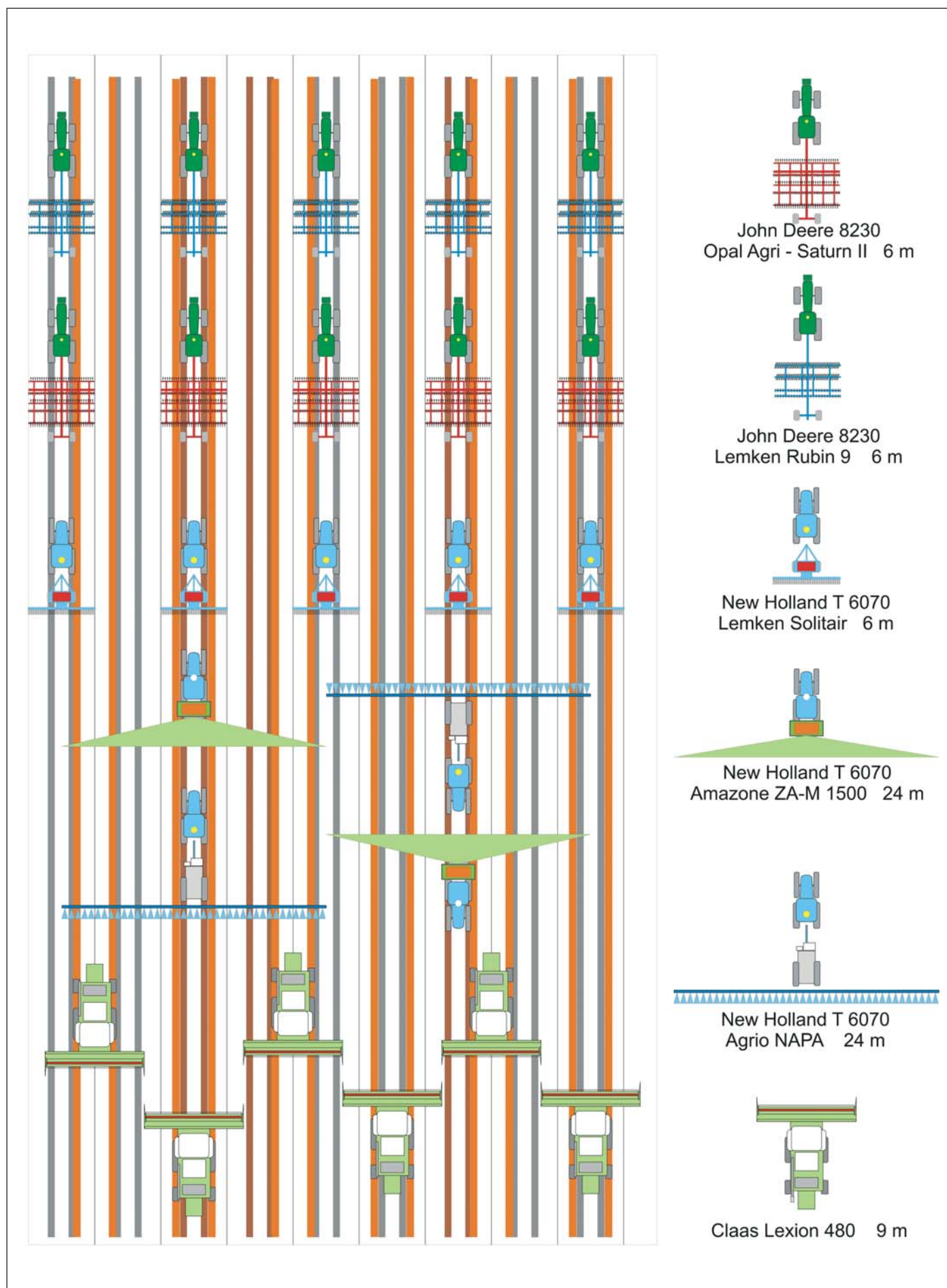
1x, 19 % plochy bolo prejdenej 2x a 3 % plochy bolo prejdenej 3 násobne. Hodnoty pokrytia plochy stopami pochopiteľne závisia od zvolených uhlov. Z rozborov iných štúdií merania dokazujú, že pri konvenčnej technológii spracovania pôdy bolo 85,4 % celkovej plochy pojazdených aspoň jedenkrát a 77,9 % bolo pojazdených viac-

násobne (Kroulík, M. 2013).

Monitorovaním pohybu strojov po poli možno v inom prípade pozorovať obdobný stav. Ide o situáciu jesennej podmietky, 2 násobnej jarnej prípravy pôdy a jarnej sejby (obr. 2). Osobitne zaujímavý je stav na úvratiach.



Obr. 4: Obilný kombajn so záberom 12,2 m, nasadený v systéme CTF (podľa: CTF Europe).



Obr. 5: Schéma organizácie riadeného pohybu strojov (CTF).



Následky náhodne zvoleného spôsobu jazdy sú zreteľné na pôde aj s odstupom času nielen vizuálne (obr. 3), ale ich dôsledky sa prenášajú aj na následne pestovaný porast.

Jednu z ciest, ako možno utlačenie pôdy prejazdom techniky výrazne obmedziť, poskytuje systém riadeného pohybu po poli (Controlled Traffic Farming – CTF).

Základným pravidlom je trvalo oddeliť plochu bez prejazdov techniky a plochu potrebnú na prejazdy. Cieľom je teda koncentrovať zhutnenie pôdy na najmenšiu možnú plochu.

Myšlienka (USA – 50. roky 20 storočia) bola inšpirovaná portálovými technológiami, kde sú všetky operácie realizované pomocou tzv. permanentných koľají. V poľnej výrobe však absentoval systém presného vedenia strojov, čo rieši v súčasnosti satelitná navigácia. Opätovný nástup portálových riešení ponúkajú štúdie autonómnych robotov.

Metóda CTF je vo svete využívaná na veľkých výmerách, predovšetkým v Austrálii (viac než 1 mil. ha), v USA, v Anglicku, Dánsku, Poľsku a v ČR. Šírenie myšlienok a skúseností s CTF podporuje združenie CTF Europe (<http://ctfeurope.com>).

Na Slovensku sa systém CTF overuje na Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku SPU v Kolíňanoch, kde je vybudovaná unikátna, v súčasnosti už 10 rokov sledovaná, experimentálna báza. Na základe dosiahnutých výsledkov a popularizácie systému CTF sa aj na Slovensku objavuje záujem o jej praktické uplatnenie.

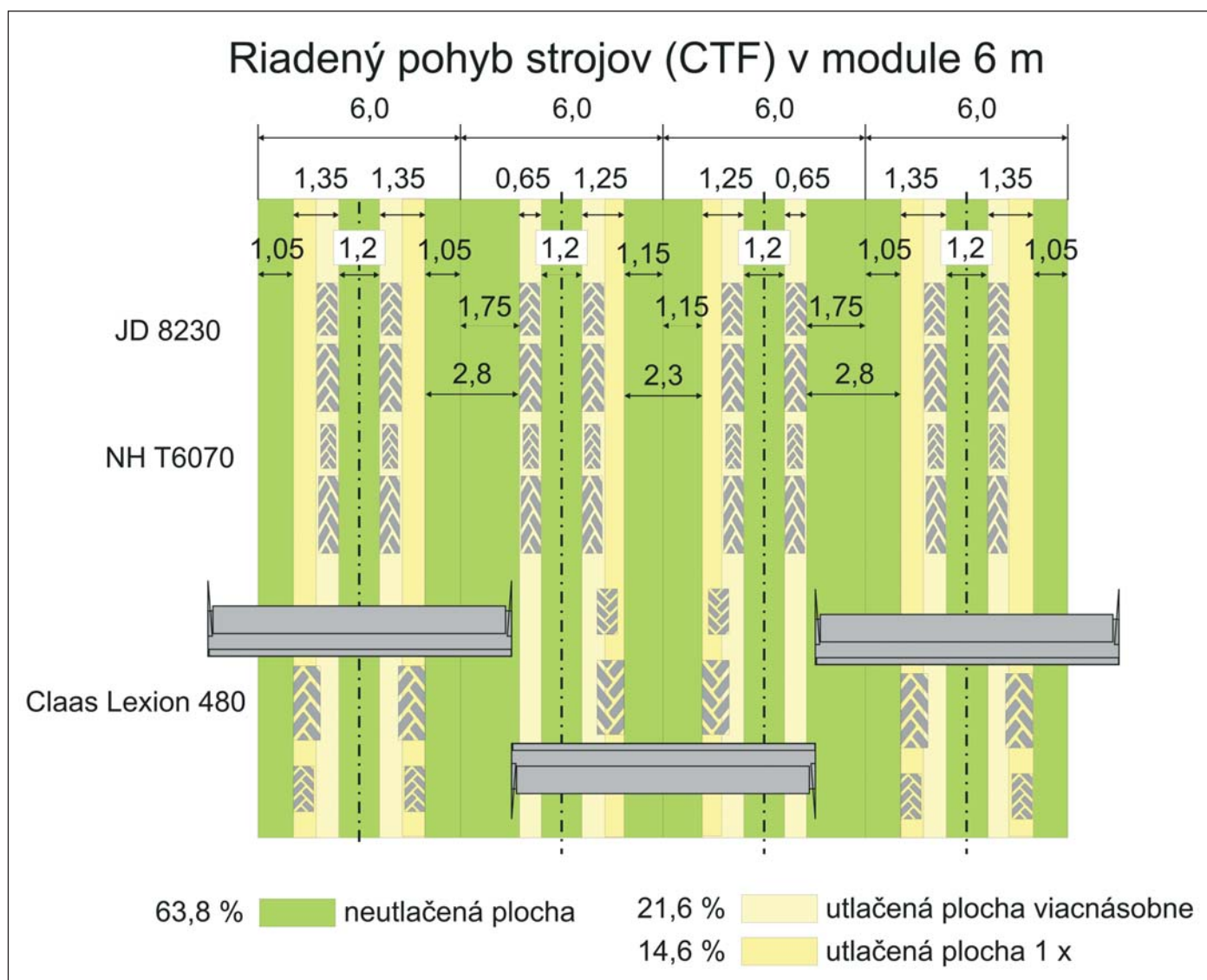
Princíp riadeného pohybu strojov po poli (CTF) pozostáva predovšetkým z disciplinovanej organizácie pohybu strojov. Všetky potrebné jazdy po parcele sú vedené stále po rovnakých (permanentných) stopách. Tieto stopy sa však obrábajú, teda nie sú to tradičné, pri sejbě vytvorené a nezasiate, koľajové riadky. Pôda neutlačená (bez prejazdu techniky) má lepšiu štruktúru, pórovi-

tosť, fyzikálne vlastnosti, infiltráciu (vsakovanie) vody a pod. Z dostupných výsledkov možno uviesť, že systém CTF prináša na neutlačených plochách priemerné zvýšenie úrody o 10 % a zníženie spotreby paliva až o 25 %. Na základe publikovaných údajov (Vermeulen G. D. et al., 2010) možno konštatovať, že pri rôznych systémoch boli dosiahnuté úspory energie až do 70 %.

V Austrálii, kde systém CTF využíva približne 15 % pestovateľov zrnín, sa v prevažnej miere využíva 3 m rozchod kolies, 9 m záber stroja pri sejbě a zbere a 27 m záber stroja pri chemickej ochrane. Pri šírke koľají približne 0,5 m predstavuje pojazdená plocha iba 8 – 12 %.

Zavedenie systému CTF do praxe po technickej stránke vyžaduje:

- zabezpečiť každý prejazd strojov po stálych „permanentných“ koľajách (stroje musia byť vybavené vhodnou navigáciou),
- zladíť rozchody kolies používaných stro-



Obr. 6: Rozmerová schéma použitého systému riadeného pohybu strojov po poli.

## ■ navigačné systémy

šov,

- zosúladiť pracovné zábery strojov (na rovnakú šírku, alebo na jej násobok – napr. 6 m, 9 m, 12 m, 24 m a pod.).

Z uvedeného vyplýva otázka, či a ako je potrebné technicky upravovať rozchody kolies. Pri rôznych spôsoboch pestovania poľných plodín, pri širokej palete používaných strojov a pri premenlivej veľkosti výrobných plôch neexistuje jednoduchá odpoveď. Vo väčšine prípadov sa systém CTF uplatňuje pri pestovaní zrnín na veľkých plochách. Tam je prípadná technická prestavba strojov rentabilná.

Na základe poznatkov, ktoré vychádzajú z praktického používania CTF vo svete, možno predstaviť nasledovné systémy:

- modul 12 m – stroje so záberom 12 m a upraveným rozchodom kolies na 3 m. Svetlá šírka medzi kolesami je podľa použitých pneumatík cca 2,2 m pre všetky stroje,
- modul 9 m – stroje so záberom 9 m a upraveným rozchodom kolies na 2,65 m. Svetlá šírka medzi kolesami je podľa použitých pneumatík cca 2 m pre všetky stroje,
- modul 6 m – stroje so záberom 6 m. Rozchod kolies traktorov je bez úpravy. Svetlá šírka medzi kolesami je daná použitým typom traktora a použitými pne-

umatikami cca 1,2 m,

- kombinovaný modul – stroje majú záber od 4 do 9 m. Rozchod kolies traktorov je bez úpravy. Svetlá šírka medzi kolesami je daná použitým typom traktora a použitými pneumatikami.

Rôzne systémy sa podľa výberu strojov a organizácie jazdy nazývajú aj Out Track, Half Track, Twin Track a Ad Track (Rataj, V. et al., 2014).

V podmienkach európskeho poľnohospodárstva, kde je potrebné zvažovať časté presuny techniky po verejných komunikáciách, je každé rozšírenie rozchodu kolies strojov nad hranicu homologovaných rozmerov problém.

Pracovníci Technickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre založili v roku 2009 unikátny dlhoročný experiment určený na sledovanie efektu CTF, ktorý je postavený na komerčne využívanej technike, bez dodatočných úprav. Cieľom je zistiť efekty CTF bez prvotných vkladov do úpravy techniky. Na parcele Vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku SPU v Nitre (plocha 18 ha) sa využíva systém CTF postavený na module 6 m. Stroje na obrábanie pôdy a sejbu majú záber 6 m, stroje na hnojenie a chemickú ochranu majú záber 24 m a obilný kombajn má pracovný záber 9 m. Striedanie plodín je

v zmysle plánu podniku. Doteraz boli pestované pšenica ozimná, jačmeň jarný aj ozimný, kukurica, repka olejka a hrach. Technologicky sa využívajú bezorbové postupy, so založením a využitím kofajových riadkov na hnojenie a chemickú ochranu. Slama je pri zbere drvená a zapravená do pôdy. Schéma riadeného pohybu je uvedená na obr. 5.

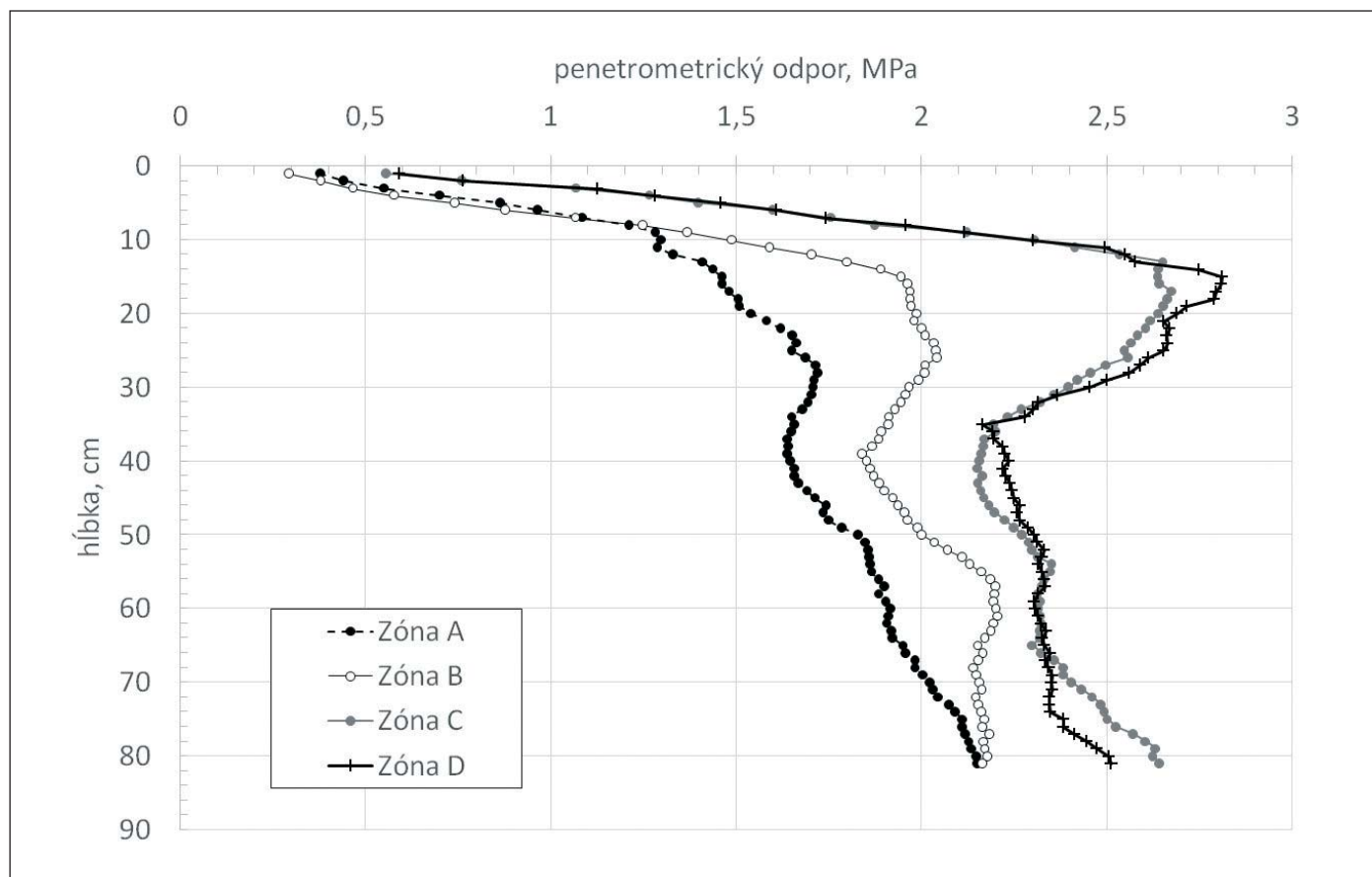
V princípe ide o adaptovaný systém Ad Track. Rozmerová interpretácia je zrejماً zo schémy na obr. 6.

Z rozmerov vyplýva že:

- plocha, z ktorej sú vylúčené všetky prejazdy predstavuje 63,8 %,
- viacnásobne utlačená plocha prejazdmi traktorov a z časti kolesami obilného kombajnu predstavuje 21,6 %,
- vplyvom väčšieho rozchodu kolies obilného kombajnu je pri zbere jednorázovo utlačená plocha 14,6 %.

Na základe 10 ročných výsledkov, získaných výskumom na experimentálnej báze so zriadeným systémom CTF, možno formulovať priebežné závery.

**Výrazne sa mení štruktúra a fyzikálne vlastnosti pôdy.** Neutlačená pôda (pri rovnakom obrábaní) má výraznú drobnohrudkovú štruktúru s výrazným zastúpením



Obr. 7: Penetrovacieho odporu pôdy v zónach: A - neutlačená pôda, B - pôda s jedným prejazdom, C a D - pôda s viacnásobnými prejazdmi.



pôdneho edafónu. Penetrometrický odpor pôdy po prejazdoch strojov narastá (obr. 7).

Rovnako aj sila potrebná na prekonanie odporu náradia je takmer dvojnásobná v utlačenej pôde oproti pôde neutlačenej (obr. 8).

**Zlepšuje sa hospodárenie pôdy s vodou.** Neutlačená pôda má lepšiu infiltráciu. Vodná erózia nenastala ani po výraznom daždi, resp. po rýchlom topení snehu. Na utlačenej pôde má zrážková voda tendenciu vytvárať kaluže, alebo odtekať po povrchu.

**Mení sa zastúpenie burín.** Na utlačenej pôde (oproti neutlačenej) sú výrazne ohraňované spoločnosti burín. Tento poznatok možno použiť na cieľnú a lokálnu aplikáciu ochranných látok.

**Efekty sa prejavujú aj v úrode,** ktorá je však dominantne závislá od klimatických pomerov – najmä od zrážok a teploty vzduchu. Počas dlhodobého sledovania sa vystriedali roky optimálne, ale aj roky s nadpriemernými zrážkami, ale aj roky s výrazným deficitom zrážok a rekordnými, dlhotrvajúcimi teplotami vzduchu. Uvedené klimatické periódy sa svojím spôsobom podpisujú na tvorbe úrody. Všeobecne možno uviesť, že efekt neutlačenej pôdy sa prejavil na zvýšení úrody o cca 10 % najmä v obilninách. Zvýšenie úrody v systéme CTF však úzko



*Všeobecne možno uviesť, že efekt neutlačenej pôdy sa prejavil na zvýšení úrody o cca 10 % najmä v obilninách.*

súvisí s použitým modelom, teda s počtom potrebných jázd. V module s pracovným záberom strojov 6 m sa v sledovaných rokoch zvýšila úroda v priemere o cca 13 %. Modelovaním pre modul 8 m, kde je potrebný menší počet jázd, možno očakávať zvýšenie úrody o takmer 17 %.

Zo skúseností možno potvrdiť, že pozitívny

efekt systému CTF sa dostaví. Nebude to však okamžité. Výsledky sa dostavia až po čase (často po niekoľkých rokoch), no jeho dopad bude trvalý – až do opätovných neriadených prejazdov.

*Použitá literatúra dostupná u autora.*



*Obr. 8: Zisťovanie sily potrebnej na prekonanie odporu pôdy v rôznej utlačenej pôde.*



# Variabilná aplikácia dusíkatých hnojív na základe informácií získaných proximálnym snímaním porastu

Implementácia moderných technológií v poľnohospodárstve je akcelerovaná predovšetkým potrebou zvyšovania efektívnosti výroby a súčasne udržateľnosťou zabezpečenia výroby potravín. Pozornosť už nie je venovaná iba znižovaniu nákladov, do centra pozornosti sa dostáva zvyšovanie úrod, udržateľnosť úrod v kontexte klimatických zmien a ochrana životného prostredia. V tomto zmysle sa vyvíjajú aj trendy vo variabilnej aplikácii dusíka.

doc. Ing. Jana Galambošová, MPhil., PhD., Katedra strojov a výrobných biosystémov, TF, SPU v Nitre

Stratégie hnojenia obilnín dusíkom dnes rešpektujú potrebu dosahovať optimálnu úrodu nie len na každom pozemku, ale aj na každej jeho časti. Moderná aplikačná technika je už štandardne vybavená satelitnou navigáciou a riadiacimi počítačmi, ktoré umožňujú plynule meniť dávku aplikovaného hnojiva počas jazdy. Prvým a najkritickejším krokom je získanie informácií o variabilite zásobenosti porastu dusíkom. Vzhľadom k tomu, že získanie tejto informácie by malo byť rýchle, presné a geograficky lokalizované využívajú sa predovšetkým údaje zo satelitných snímok, leteckých snímok, snímkovaním pomocou dronov, resp. využitím senzorov nesených na strojových súpravách. Tieto technológie sú farmárom dostupné na všetkých úrovniach. V praxi však stále

absentuje využitie týchto informácií až po koncovku, teda zvolenie vhodnej stratégie pre určenie dávky dusíka a samotná variabilná aplikácia. Príspevok popisuje princípy snímania porastu senzormi, ktoré umožňujú určiť variabilitu zásobenosti porastu dusíkom a dostupné stratégie pre variabilnú aplikáciu. V poslednej časti sú zosumarizované doterajšie výsledky experimentov na Slovensku a v ČR.

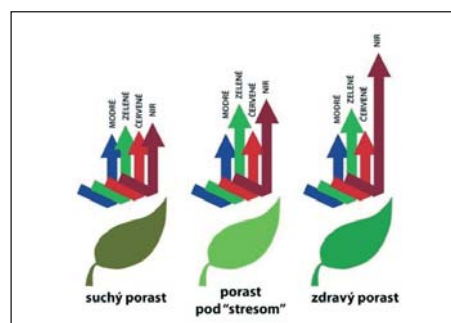
Bezkontaktné snímanie je technológia, ktorou sa už vyše 30 rokov určuje variabilita porastov. Ide o snímanie odrazivosti jednotlivých vlnových dĺžok elektromagnetického spektra. Ako záznamové zariadenia sú využívané spektrometre, multispektrálne kamery, RGB kamery a pod., ktoré

môžu byť nesené na satelitoch, lietadlách, dronoch, resp. poľných strojových súpravách.

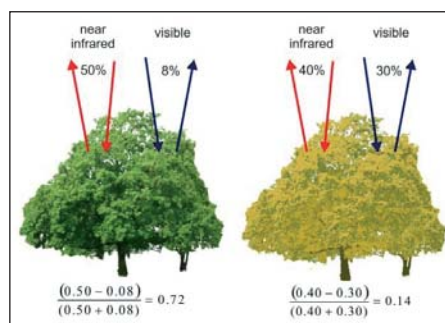
Z tohto hľadiska môžeme hovoriť o Diaľkovom prieskume zeme (snímanie zo satelitov, lietadiel a dronov), resp. o tzv. proximálnom snímaní. Proximálnym snímaním rozumieme získavanie informácie pomocou senzorov, ktoré sú buď v bezprostrednom kontakte s porastom, resp. snímajú zo vzdialenosti do cca 2 m.

Všetky tieto spôsoby pracujú na rovnakom princípe. Rozdiel je vo vzdialenosti snímača od porastu.

Odrazivosť jednotlivých vlnových dĺžok od vegetácie je závislá od buniek obsahujúcich pigmenty (chlorofyl) a od buniek, ktoré tvoria štruktúru bunky (mezofyl). V prípade zdravej vegetácie bunky s pigmentami absorbujú modré a červené svetlo a odrážajú zelenú časť viditeľného spektra. Preto sa pri pozorovaní voľným okom javí porast ako zelený. Mezofylné bunky súčasne odrážajú až 60 % blízkeho infračerveného žiarenia označovaného ako NIR (Near Infrared) (obr. 1). Ak je vegetácia pod stresom (deficit dusíka, vody a pod.), začína byť odrazené aj červené a modré svetlo a v oblasti NIR odrazivosť klesne. Preto sa listy pod stresom javia ako žlté, resp. hnedé. Hodnoty odrazivosti sa prepočítavajú na tzv. vegetačné indexy, ktoré sú už priamo korelované s charakteristikami porastu, ako je obsah chlorofylu, počet odnoží, obsah dusíka na m<sup>2</sup> a pod. Princíp výpočtu je uvedený na obr. 2.



Obr. 1: Intenzita odrazenej energie pre suchý porast, porast pod stresom a zdravý porast.



Obr. 2: Princíp výpočtu vegetačného indexu na základe množstva odrazenej energie.

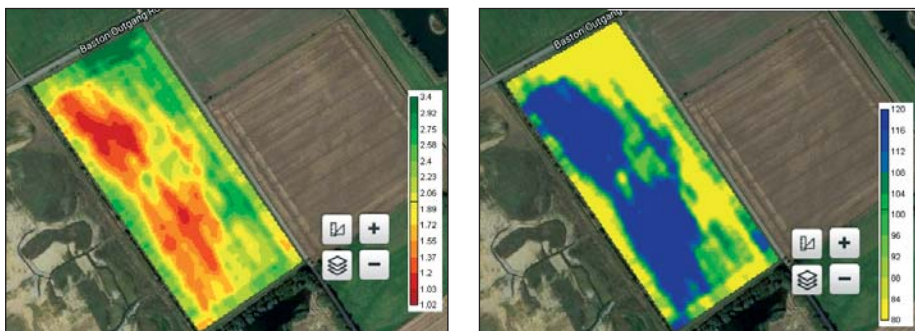
Výsledkom bezkontaktného snímania porastu zo satelitnej, leteckej platformy, resp. z bezpilotných lietadiel je mapa variability porastu (jeho zásobenosti dusíkom, hustoty a pod.), na základe ktorej je možné vytvoriť mapu odporúčaných dávok dusíka. V tomto prípade farmár/poskytovateľ služby priamo určuje, aká dávka hnojiva bude aplikovaná pre zistenú hodnotu zásobenosti porastu (obr. 3). Takáto mapa je potom vyexportovaná v príslušnom formáte a je vložená do riadiaceho počítača aplikáčného stroja. Na jej základe je realizo-



vaná variabilná aplikácia. Výhodou tohto prístupu, ktorý označujeme ako „off-line“, je úplná kontrola aplikovaných dávok farmárom, možnosť kombinovania informácie z mapy s inými informáciami o danej parcele (úrodné mapy, mapy variability pôdných vlastností a pod.). Nevýhodou je časový odstup od získania informácie po samotnú aplikáciu, čo v prípade hnojenia dusíkom môže byť kritické. V zahraničí komerčne tieto služby poskytuje napr. spoločnosti SOYL ([www.soyl.com](http://www.soyl.com)) a FARMSTAR ([www.myfarmstar.com](http://www.myfarmstar.com)).

Potenciál pre slovenských farmárov predstavuje aj technológia variabilnej aplikácie dusíka na základe snímania odrazivosti senzormi priamo pri hnojení, tzv. **on-line prístup**. V tomto prípade je porast snímaný, údaje sú vyhodnotené a je realizovaná variabilná aplikácia pri jednom prejazde strojovej súpravy. V súčasnosti sú na trhu dostupné viaceré komerčné riešenia. V nasledovnej časti popíšeme princíp ich práce a rôzne stratégie, ktoré si môže farmár vybrať pri on-line variabilnej aplikácii dusíka. Historicky prvým riešením on-line variabilnej aplikácie dusíka bol YARA N sensor, ktorý je v Európe využívaný už od roku 1990. Spoločnosť YARA uviedla na trh ako prvý pasívny senzor (ktorý sníma odrazivosť slnečného žiarenia), následne aktívny senzor N-Sensor® ALS (Active Light Source), ktorý má vlastný zdroj svetla a umožňuje aj prácu pri zníženej viditeľnosti. Od roku 2019 je na trhu inovovaná verzia YARA N-Sensor ALS 2 (obr. 4).

YARA N-Sensor ALS 2 (‘‘Active Light Source’’) pozostáva z dvoch samostatných snímacích jednotiek (hláv) vložených do krytu umiestnenom na streche stroja. Každá jednotka pozostáva z LED svetidla, ktoré osvetľuje porast a 4 kanálového optického snímača. Senzor počas jazdy sníma odrazené svetlo v oblasti červeného a blízkeho infračerveného spektra a to pre vlnové dĺžky 670, 730, 740 a 770 nm (obr. 5). Vzhľadom na to, že ide o aktívny systém, funguje rovnako cez deň, ako aj v noci. Systém je riadený pomocou termínálu. Údaje zo senzora sú ukladané spolu s údajmi o geografickej polohe. Systém N-Sensor Win umožňuje komunikovať prostredníctvom interface s operačným systémom Windows, takže na riadenie možno používať počítače typu PDA, tablety a pod. Ako aplikačný stroj (rozhadzovač alebo postrekovač) môže byť použitá väčšina strojov, vyrábaných renomovanými výrobcami. Na základe zistených a automaticky ukladaných dát možno následne spracovať pomocou voľne dostupnej internetovej aplikácie Sensor Office ([www.sensoroffice.com](http://www.sensoroffice.com)) informačnú mapu biomasy (variability porastu) a aplikačnú mapu.

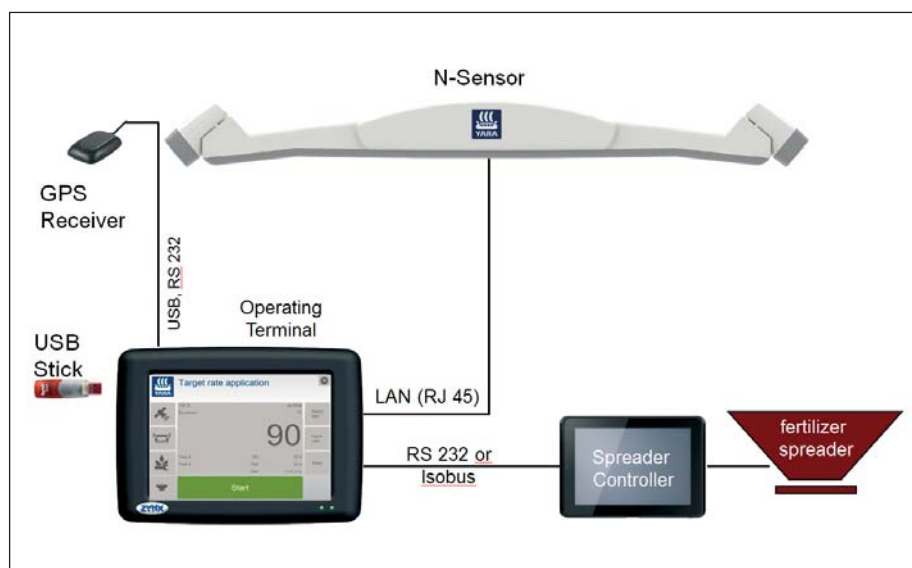


Obr. 3: Informačná mapa variabilnej zásoby dusíka (vpravo) a aplikačná mapa odporúčanej dávky dusíka (vľavo).

Samotná aplikácia začína založením novej úlohy cez termínál, zadaním základných údajov, ako je plodina, odroda, rastová fáza, minimálna a maximálna dávka hnojiva a obsah dusíka v hnojive. Po príchode na pozemok je potrebné nasnímať priemerný porast na pozemku (získať referenčné hodnoty odrazivosti) a pomocou ručného chlorofylmetra (označovaného ako N tester) odmerať obsah chlorofylu v poraste. Na základe odporúčaní, ktoré spoločnosť

poskytuje, je danej hodnote odrazivosti následne priradené množstvo aplikovaného hnojiva. Tieto informácie sú zadané do riadiacej jednotky senzora a na základe kalibračnej krivky senzor riadi aplikáciu dusíka (obr. 6).

Z hľadiska stratégie variabilnej aplikácie je dusík aplikovaný tak, aby bol porast vyrovnávaný (homogenizovaný). Preto sú na miesta so slabším porastom aplikované vyššie dávky a na miesta s lepším po-



Obr. 4: Schéma zapojenia YARA N-Sensor ALS 2.



Obr. 5: Schéma snímania porastu YARA N senzorom (Leadingfarmers, 2019).

## ■ monitoring

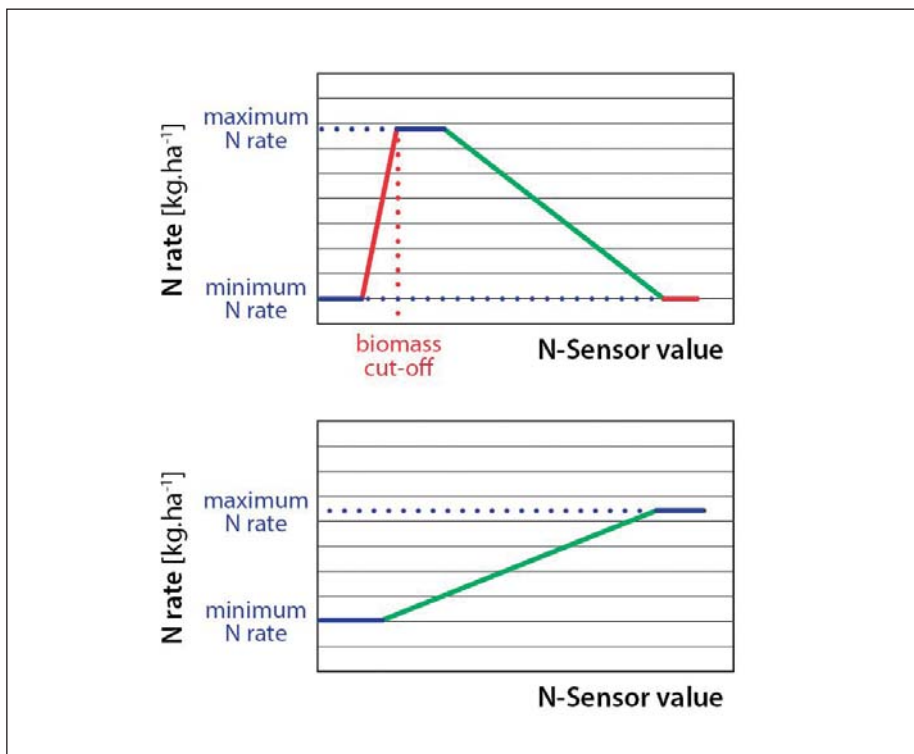
rastom sú aplikované dávky nižšie (obr. 6 hore). Pri kvalitatívnom prihnojovaní je použitý opačný sklon krivky a teda silnejší porast dostane vyššiu dávku.

Senzor je možné využiť pri produkčnom a kvalitatívnom prihnojovaní pšenice, jačmeňa, pri pestovaní kukurice, repky olejky, zemiakov a vybraných druhov zeleniny. Perspektívne sa pripravuje jeho použitie v cukrovej repe a ďalších plodinách.

Vyrovnaním (homogenizáciou) porastu je dosahovaná úspora na aplikovanom N, vyššia efektívnosť práce pri zbere a vyššie úrody. Spoločnosť Leading Farmers CZ, a. s. deklaruje, že v Českej republike bolo pomocou N senzora dosiahnuté navýšenie úrod o 3,52 %, pričom bolo dosiahnuté efektívnejšie využitie aplikovaného dusíka. Medzi ďalšie benefity patrí zvýšenie efektívnosti pri zbere plodiny o 12 – 20 %, rovnomernejšia kvalita produktu, zníženie času potrebného na zber o 18,5 % (YARA, 2017).

Využitie N senzora farmármi na Slovensku výrazne zaostáva oproti Európe. Systém N senzor v roku 2017 využívali farmári v 38 krajinách sveta, 739 senzorov bolo predaných v Nemecku, 72 v ČR a 10 v SR. Katedra strojov a výrobných biosystémov Technickej fakulty SPU v Nitre realizovala analýzu z plôch, na ktorých bol N senzor využitý v rokoch 2007 a 2008. Na ploche 1 227,06 ha bola dosiahnutá úspora od 7,85 až do 19,83 kg.ha<sup>-1</sup> N. Zároveň údaje zo senzora potvrdili významnú heterogenitu pozemkov a to nie len v rámci pozemkov, ale aj medzi pozemkami.

Vzhľadom k tomu, že využiteľnosť dusíka je ovplyvnená aj ostatnými faktormi prostredia (najmä dostupnou vodou) a že výslednú úrodu tak v konečnom dôsledku môžu ovplyvniť aj iné faktory (Liebigov zákon), je pre variabilnú aplikáciu možné využiť aj kombináciu snímania aktuálneho stavu porastu a podkladovej mapy. Na tomto princípe pracuje napr. aj sen-



Obr. 6: Princíp kalibračných kriviek využívaných pri variabilnej aplikácii dusíka YARA N senzorom, hore – princíp využívaný pri produkčnom hnojení, dolu - princíp využívaný pri kvalitatívnom prihnojovaní.

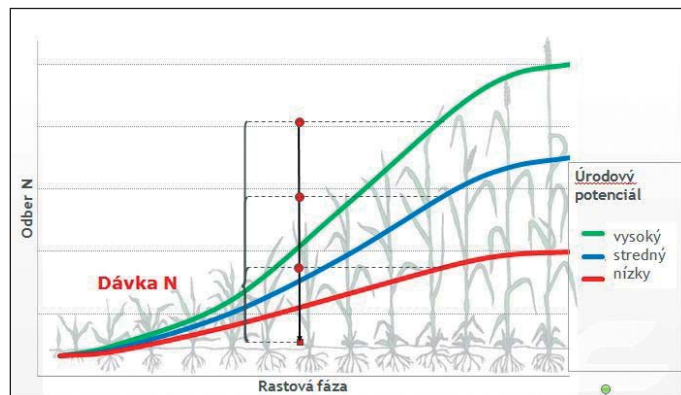
zor ISARIA, ktorý bol vyvinutý firmou Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG v spolupráci s Technickou univerzitou v Mníchove. Využíva meranie odrazivosti 4 vybraných vlnových dĺžok, z ktorých je vypočítavaný vlastný vegetačný index - IR-MI. Snímače sú zvyčajne inštalované na čelne nesených ramenách (obr. 7).

Uprostred je riadiaca jednotka, spolu s prijímačom globálneho navigačného satelitného systému (GNSS). Ovládanie ramien a senzorov je riešené pomocou terminálu (tablet), ktorý je spojený so snímačmi pomocou technológie bluetooth. Zariadenie je komerčne dostupné aj v prevedení CLAS Crop Sensor ISARIA, s prepojením na

systém CEBIS Mobile, alebo ako CropXplorer v rámci CNH AGXTEND™. Zariadenie možno pripojiť aj na iné riadiace počítače kompatibilné s normou ISO. V súčasnosti ide o jediný komerčne dostupný systém, ktorý okrem informácie o okamžitom stave porastu (vegetačný index) používa na spresnenie určenia dávky hnojiva aj ďalšie informácie. V tomto prípade ide o mapu potenciálu úrody, ktorá je spracovaná na základe satelitných snímok z predchádzajúcich rokov a definuje miesta, kde boli v histórii dosahované nadpriemerné, priemerné a podpriemerné úrody. Pre každú takto definovanú časť parcely využíva systém počas hnojenia príslušnú krivku potrebnej zásobenosti porastu



Obr. 7: Senzor ISARIA počas variabilnej aplikácie.



Obr. 8: Princíp určovania dávky dusíka (podľa Fritzmeier Umwelttechnik - upravené).



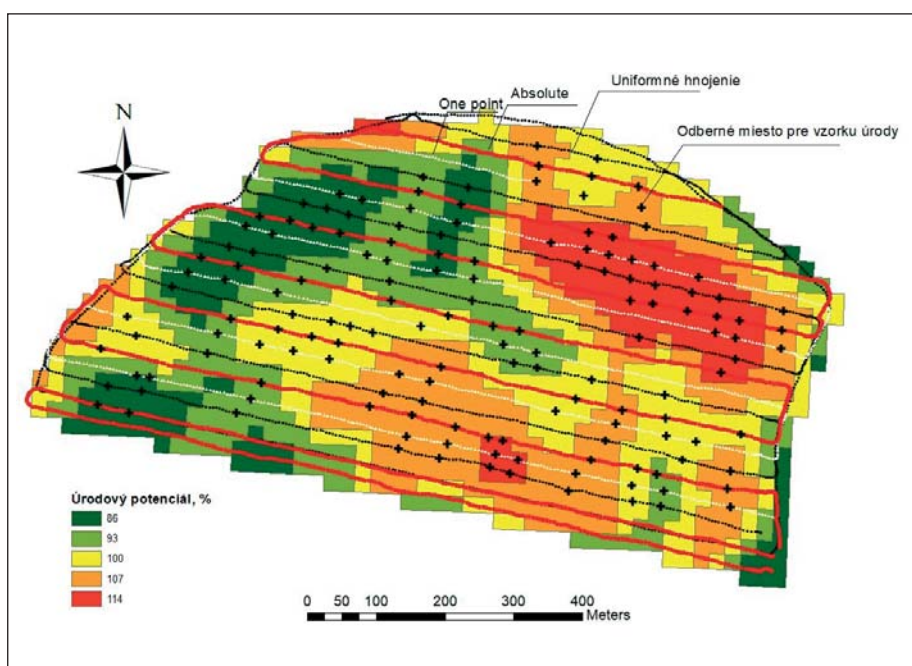
dusíkom (obr. 8). Červená, modrá a zelená krivka predstavujú potrebný odber dusíka v rastline pre rôzne úrodné potenciály parcely na danej parcele. Dávka dusíka počas hnojenia je stanovená takto. Cieľová zásobenosť porastu dusíkom na danom mieste pozemku je stanovená na základe krivky odberu, ktorá vychádza z predpokladaného úrodného potenciálu daného miesta (napr. na pozemku sú definované 3 úrodné potenciály: priemerný - 7 t/ha, podpriemerný - 6 t/ha a nadpriemerný - 8 t/ha – zelená, modrá a červená krivka). Senzor snímaním porastu počas jazdy stanoví aktuálnu zásobenosť porastu. Potreba doplnenia dusíka (t.j. aplikačná dávka) je následne stanovená z rozdielu aktuálnej zásobenosti a cieľovej zásobenosti pre danú časť parcely. Z uvedeného teda vyplýva, že porast, ktorý v danom okamihu vykazuje rovnakú aktuálnu zásobenosť, môže byť hnojený rôznymi dávkami podľa toho, v akej zóne sa nachádza.

Podľa systému ISARIA je cieľom variabilnej aplikácie dosiahnuť optimálne množstvo živín, ktoré zabezpečia požadovanú úrodu. Systém je flexibilný, užívateľ si môže sám zvoliť, akú stratégiu použije pri hnojení. V Českej republike v ostatných 2 rokoch prevládali aplikácie, kde boli počas produkčného hnojenia obilnín podporované miesta s vysokým úrodným potenciálom a redukovaním aplikácie živín na miestach s nízkym úrodným potenciálom. Ak sa farmár rozhodne, že chce pri kvalitatívnom prihnojovaní podporiť kvalitu, systém bude pracovať opačne.

V roku 2019 firma Fritzscheier predstaví na výstave Agritechnika senzor v menšom prevedení. Ďalšou novinkou bude variabilná aplikácia regulátorov rastu a fungicídov.

Senzor ISARIA bol na Slovensku testovaný v rámci spolupráce Katedry strojov a výrobných biosystémov Technickej fakulty SPU v Nitre so spoločnosťou Fritzscheier Umwelttechnik GmbH & Co. KG v rokoch 2014 – 2016. Experimenty prebehli na plochách VPP SPU Kolíňany, s. r. o. stredisko Oponice a na farme Turčiansky Ďur spoločnosti Oragro, spol. s r. o. Oravské Veselé. Počas týchto experimentov bol senzor porovnávaný s uniformnou dávkou. Na každom pozemku sa striedali pásy (zábery postrekovača) hnojené senzorom a hnojené uniformnou dávkou stanovenou agronomom podniku (obr. 9). Okrem skutočne aplikovaného hnojiva bola pomocou odobratých vzoriek vyhodnotená aj úroda týchto plodín.

Pri všetkých experimentoch bol dosiahnutý pozitívny ekonomický efekt plynúci predovšetkým z nárastu úrody. Navýšenie úrody sa pohybovalo od 0,4 po 1,25 t.ha<sup>-1</sup>



Obr. 9: Schéma experimentu pri overovaní senzora ISARIA na VPP SPU Kolíňany, stredisko Oponice (One point Absolute – overované stratégie variabilného hnojenia).

v závislosti od pestovateľských podmienok. Vo všetkých testovaných variantoch bola dosiahnutá vyššia využiteľnosť aplikovaného dusíka porastom. Výsledky teda poukazujú na elimináciu negatívnych vplyvov na životné prostredie tým, že bola dosiahnutá lepšia využiteľnosť aplikovaných hnojív. Výsledky zo Slovenska sú potvrdené aj experimentálnym testovaním tohto senzora v ČR, kde sa medzichasom jeho praktické využitie farmármi znásobilo.

Užívateľa okrem dosiahnutých efektov vždy zaujímajú aj celkové náklady na prevádzku senzorov. V prípade online aplikácie náklady predstavujú najmä počiatočnú investíciu do senzora. Samozrejme je potrebné, aby bol senzor kompatibilný s riadiacim počítačom aplikáčného stroja (rozhadzovača, postrekovača). V prípade, že sa farmár rozhodne využívať okrem údajov zo senzora aj podkladové mapy úrodného potenciálu, je potrebné počítať s nákladmi na obstaranie týchto máp.

Jednoduchým ekonomickým výpočtom je možné stanoviť aj potrebný nárast úrody, ktorý by mal pokryť náklady na senzor. Ak by bol senzor využitý ročne na ploche 500 ha, je potrebné, aby pri súčasných cenách aspoň 25 % plochy (t.j. 125 ha) reagovalo zvýšením úrody o 0,5 t.ha<sup>-1</sup>. Doterajšie výsledky deklarujú, že tie hodnoty sú realistické.

Pri zohľadnení nákladov (obstarávací cena, náklady na mapy úrodného potenciálu, náklady na prípadnú zvýšenú dávku N a pod.) vo vzťahu k overeným očakávaným efektom nastáva bod zvratu (hodnota, kedy sa náklady vyrovnajú s výnosmi) pri nasadení na ploche cca 400 ha.

Každý pestovateľ môže následne, podľa svojej pestovateľskej plochy, prijať rozhodnutie o zavedení technológie.

Okrem horeuvedených zariadení sú komerčne dostupné aj iné senzory ako napr. GreenSeeker (N tech Industries), CropSpec™ Canopy Sensor (Topcon), OptRX (AgLeader), Crop Circle (Holland Sicientific) a pod. Vo väčšine prípadov ide o jednoduchšie, prevažne aktívne senzory, ktoré snímajú odrazivosť vybraných spektrier a ponúkajú tak ekonomicky menej náročnú alternatívu pre snímanie porastu a získanie vegetačných indexov. Ich nedostatkom býva náročnosť pri ich využití priamo vo variabilnej aplikácii z pohľadu užívateľa. Vzhľadom k tomu, že každá plodina a odroda má svoju typickú hodnotu odrazivosti, je potrebné namerané hodnoty kalibrovať. Toto je možné fyzickým meraním na mieste ručným chlorofylmetrom, resp. metódami, ako je „N rich strip“ využívanými predovšetkým v USA.

Záverom možno konštatovať, že technológia variabilnej aplikácie dusíka na základe informácií zo senzorov, resp. kombinácie senzora a mapy predstavuje potenciál pre slovenských farmárov. Riešenia sú technicky aj ekonomicky dostupné. Výsledky poukazujú na zvýšenie úrody a lepšie priestorové rozloženie aplikovaného dusíka, čo umožňuje optimalizovať efektívnosť jeho aplikácie. Miera využitia tohto prístupu pri aplikácii hnojív je však na Slovensku stále veľmi nízka.

Použitá literatúra dostupná u autora.

# Monitoring vývoja porastov pomocou satelitov

Je všeobecne známe, že na úrodu plodín vplyvajú rôzne faktory, ktoré môžu byť časovo nezávislé (napr. topografia, typ pôdy a hĺbka ornice), alebo sú v čase premenlivé, teda sezónne. Medzi premenlivé, teda sezónne faktory ovplyvňujúce rast a vývin rastlín, potom patria predovšetkým počasie, choroby a buriny a v súčasnosti aj toľko diskutované klimatické zmeny, prejavujúce sa suchom, alebo nadpriemernými zrážkami. S cieľom pochopiť aktuálny stav plodín a ich vývoj, je vhodné tieto faktory a ich vplyv na porast sledovať.

doc. Mgr. J. Kumhálová, Ph.D., Technická fakulta, ČZU v Praze

Rast poľných plodín, alebo odhad ich úrod možno monitorovať rôznymi metódami. Jedna z nedeštruktívnych metód je využitie spektrálnej odrazivosti skúmaného porastu. Spektrálne charakteristiky porastu možno získať pomocou prístrojov umiestnených na strojoch (napr. N sensor, CropSpec, Cropcircle ACS, OptRX, ISARIA či GreenSeeker), pričom niektoré prístroje sú určené pre ručné použitie (napr. GreenSeeker Handheld Crop Sensor, ručné spektrometre). V ostatnej dobe sú veľmi obľúbené bezpilotné prostriedky vybavené kamerami s rôznym počtom a šírkou spektrálnych pásiem.

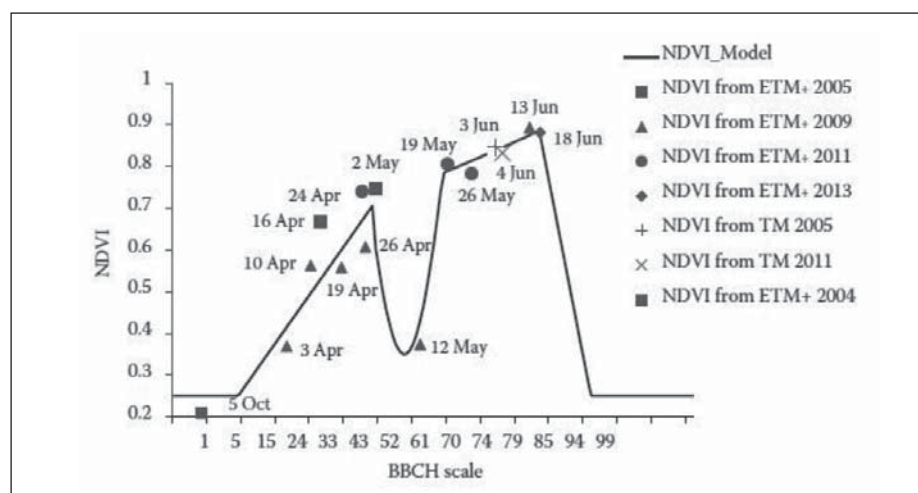
Snímky z bezpilotných prostriedkov sú užitočné predovšetkým svojim vysokým priestorovým rozlíšením (rádovo až niekoľko cm/pixel) a časovou flexibilitou ich získania. Ich alternatívou môžu byť družicové snímky. Družicové snímky možno členiť podľa priestorového rozlíšenia (od veľmi

vysokého a vysokého, napr. 30 cm/pixel, až po stredné a nízke priestorové rozlíšenie s veľkosťou pixelu v stovkách až desiatkach metrov). Veľmi dôležitý parameter je tiež časové rozlíšenie, teda ako často senzor zachytáva snímky daného územia a samozrejme aj spektrálne rozlíšenie, ktoré udáva, v ktorých častiach elektromagnetického spektra satelit sníma, teda počet a rozsah jednotlivých spektrálnych pásiem. Medzi tradičné družicové systémy patrí Landsat. Ide o snímky v optickej časti spektra. Ich benefit spočíva vo voľnej dostupnosti snímok (napr. <https://earthexplorer.usgs.gov/>) s historickou nadväznosťou, ktorá zaručuje overenú kvalitu výsledkov už niekoľko desaťročí. Snímky obsahujú viac než 7 spektrálnych pásiem. Nevýhodou je nízke až stredné priestorové rozlíšenie (veľkosť pixelu je 30 m) a základná frekvencia snímania jedného územia je 16 dní. V súčasnosti možno využívať snímky z družice

Landsat 8 s 11 spektrálnymi pásmami. Na systém družíc Landsat nadväzuje program Copernicus s družicami Sentinel. Družica Sentinel 2 sníma v optickej časti spektra (13 spektrálnych pásiem, priestorové rozlíšenie od 10 do 60 m pre individuálne pásma, základné časové rozlíšenie je 5 dní). Družica Sentinel 1 sníma v mikrovlnnej časti spektra. Tieto snímky sú tiež voľne dostupné (napr. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) vrátane spracovateľského softwaru (<http://step.esa.int/main/download/>).

Interpretácia optických dát dosiahla v súčasnosti takú úroveň, že možno na ich základe vytvárať podklady pre konkrétne agrotechnické zásahy a rovnako je ich možné využívať pre relatívne spoľahlivé odhady úrody. Informácie z družice Sentinel 1 sú, žiaľ, v súčasnosti v tejto fáze v oblasti vývoja a výskumu, hoci je z dát zrejma využiteľnosť pre poľnohospodársku prax na základe vývojovej krivky (Radar Vegetation Index).

Zásadnú úlohu v interpretácii stavu porastov v rastlinnej výrobe zohráva tzv. spektrálna krivka odrazivosti, ktorá vyjadruje tzv. spektrálny prejav skúmaných povrchov, v tomto prípade porastov. Krivky spektrálneho prejavu majú pre daný typ povrchu typický priebeh. Akékoľvek odchýlky od tohto štandardného priebehu môžu naznačovať rôzne anomálie spôsobené vplyvom biotických alebo abiotických faktorov. Priebeh spektrálnej krivky teda môže ovplyvňovať ako fyzikálny stav skúmaného porastu (napr. obsah vody), tak aj jeho chemické zloženie (napr. obsah živín). Priebeh spektrálnej krivky tiež spravidla naznačuje aktuálny stav porastov, ktorý sa môže meniť, pričom tento stav nemusí byť rozoznateľný bežným vizuálnym pozorovaním ľudským okom. Keďže sú družicové snímky získavané z veľkej výšky, prejavujú sa tieto snímky ako kolmé. Z tohto dôvodu je snímaný len povrch vegetačného pokryvu, čo znamená, že v prípade poľnohospodárskych plodín ide, v závislosti na fenologickej fáze porastu, spravidla o horné listy (alebo kvety). Možno teda povedať, že k popisu spektrálnych vlastností vegetačného pokryvu (povrchu porastu) sa využívajú odrazové vlastnosti listov. Na správne pochopenie a interpretáciu spektrálnej krivky odrazivosti zohráva dôležitú úlohu tiež geometria povrchu porastu (výška rastlín, počet a rozmiestnenie listov, farba listov a tiež veľkosť a postavenie listov), kto-



Obr. 1: Vývoj hodnôt normalizovaného diferencného vegetačného indexu (NDVI) pšenice ozimnej v závislosti od fenologickej fázy, podľa stupnice BBCH. Snímky sú z družíc Landsat 5 TM a Landsat 7 ETM+.

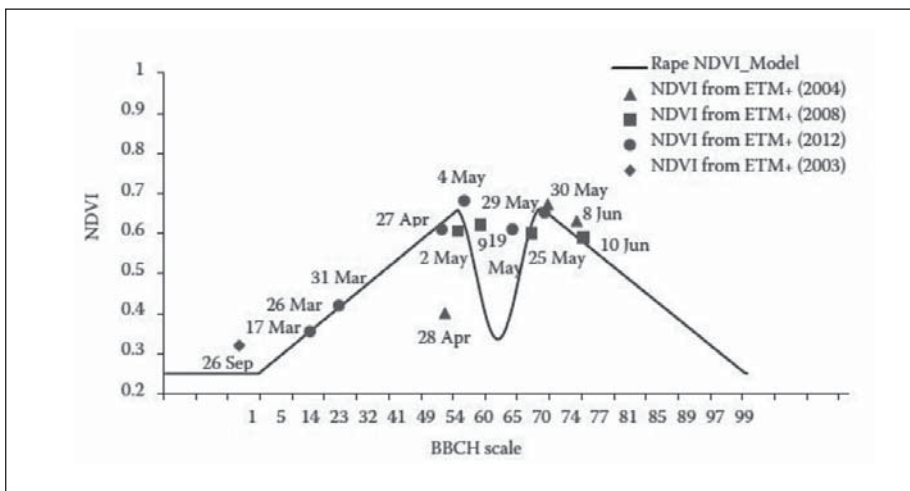


rá môže byť do značnej miery ovplyvnená práve stresovými faktormi. Je tiež dôležité brať do úvahy, že rôzne odrody poľnohospodárskych plodín môžu mať odlišné spektrálne vlastnosti založené na rôznom vplyve stresu a na ich odolnosti voči nemu.

Ako už bolo uvedené, štruktúra a fyziológia porastu, alebo jednotlivých rastlín, ovplyvňuje ich spektrálnu odrazivosť, teda množstvo odrazeného žiarenia. Snímky, zobrazené vo viditeľnej časti spektra (tzv. RGB snímky, teda snímky v skutočných farbách) môžu o stave porastu poskytnúť len obmedzenú informáciu. Na to, aby bol zistený jav, ktorý nemožno pozorovať voľným okom, treba postupovať odlišne. Je potrebné využiť kombináciu iných spektrálnych pásiem danej dátovej sady, ak sú k dispozícii, a potom hovoríme o tzv. nepravých farbách, alebo možno odvodiť tzv. spektrálny alebo vegetačný index vo vopred definovanom tvare.

Každý index má svoj účel použitia. Širokopásmové indexy využívajú pásma z multispektrálnych kamier a sú závislé najmä na spektrálnom rozlíšení snímku. Spektrálne indexy obsahujú zvyčajne kombináciu pásiem, kde možno detekovať vysokú odrazivosť (pásma GREEN a NIR), alebo pásma, kde nastáva absorpcia elektromagnetického žiarenia (napr. pásmo RED). Vegetačné indexy možno rozdeliť podľa rôznych kategórií. Pre koncového užívateľa, teda napr. agrónoma, je najvhodnejším kritériom počet a rozsah spektrálnych pásiem, ktoré možno využiť a predovšetkým účel ich využitia.

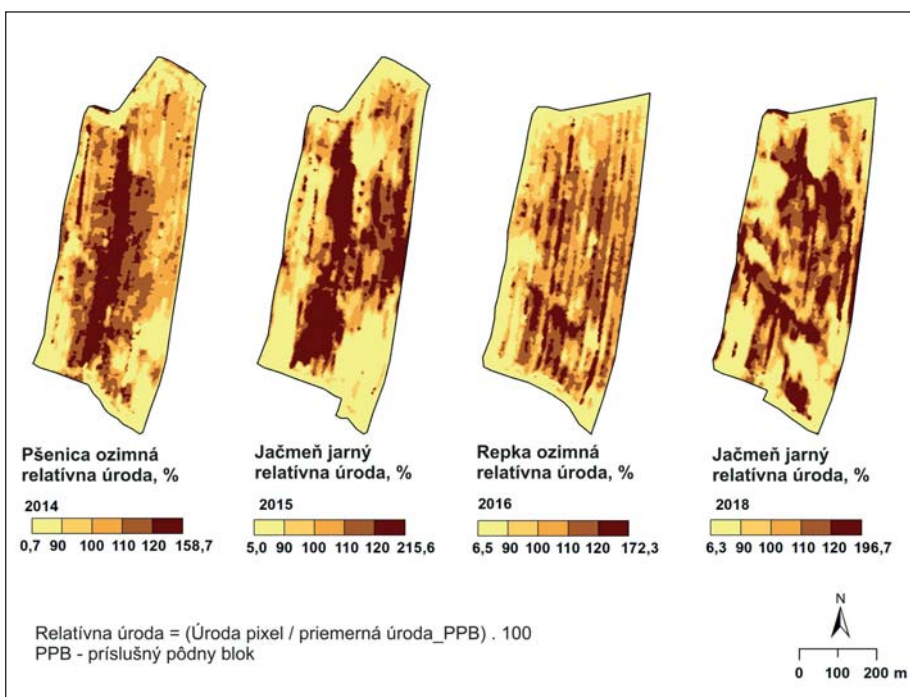
Každý z indexov hodnotí určité vlastnosti porastu. Tieto sú dané vlnovou dĺžkou a rozsahom všetkých pásiem, ktoré vstupujú do výpočtu. Spracovateľ sa musí rozhodnúť, ktorý index vyberie a použije. Tu treba zobrať do úvahy, že každý index je vhodný pre iné hodnotenie vlastností porastu. Rovnako dôležitú úlohu zohrávajú aj unikátne vlastnosti stanovišťa, na ktorom sú porasty hodnotené. Do výslednej interpretácie by sa mali teda zahrnúť aj všetky vonkajšie vplyvy, ktoré môžu vplývať na výsledky výpočtov. Z tohto dôvodu nie je vhodné prísne zrovnávať výsledky výpočtov rovnakého indexu, ktorý bol ale zistený na rôznych pozemkoch. Z unikátnych vlastností každého pozemku, alebo plodín vyplýva aj cieľené využitie indexu. Hoci je jeden index vhodný na výpočet vlastností určitých plodín, nemusí byť ale vhodný na určenie vlastností iných porastov, resp. plodín. Toto isté platí aj pri výpočtoch v rôznych fenologických fázach vývoja porastu. V skorších fázach vývoja môže v poraste presvitať pôda, čo môže výsledky výpočtu ovplyvniť. Vždy teda závisí na skúsenostiach a zvažovaní spracovateľa, ktorý index použije.



Obr. 2: Vývoj hodnôt normalizovaného diferenčného vegetačného indexu (NDVI) repky ozimnej v závislosti od fenologickej fázy, podľa stupnice BBCH. Snímky sú z družíc Landsat 7 ETM+.

Pred každým výpočtom spektrálnych indexov by malo byť vykonané dokonalé spracovanie snímok, osobitne atmosférických korekcií na úroveň hodnôt odrazivosti povrchu. Len takto možno dosiahnuť výsledky s jasnou výpoveďou. Najznámejší a najviac odskúšaný vegetačný index je normalizovaný diferenčný vegetačný index (NDVI). Prvý raz bol publikovaný v roku 1974 autormi Rouse a kol. s cieľom monitorovať trávne porasty v oblasti Veľkých prérií v USA. Tento index pracuje so spektrálnymi pásmami RED (červené viditeľné pásmo) a NIR (blízke infračervené pásmo). Index je veľmi rozšírený v rôznych odboroch pri rôznych účeloch hodnotenia. Veľmi jednoducho poskytuje predstavu o zdravotnom stave rastlín a ná-

raste biomasy, ale aj štruktúre porastu. K tomuto, rokmi overenému indexu však snímky z družíc Sentinel 2, vďaka možnostiam využívať tri spektrálne pásma v tzv. oblasti rededge (úzka časť infračerveného pásma v rozsahu cca 680 až 720 nm, ktorá je veľmi citlivá na stresové prejavy rastlín), už poskytujú plnohodnotnú a možno aj lepšiu alternatívu. Na rozdiel od indexu NDVI tu nedochádza k tzv. efektu nasýtenia, čo znamená, že hodnoty NDVI môžu pri vysokých hodnotách listovej plochy dosiahnuť maximálny limit (hodnota 1) a už sa ďalej nevyvíjajú, hoci porast môže vykazovať ešte malé zmeny. Vývoj spektrálneho indexu pšenice a repky ozimnej odvodeného z voľne dostupných družicových snímok a meraných v pod-



Obr. 3: Mapy relatívnych úrod (v %) pre roky 2014 (pšenica ozimná), 2015 (jačmeň jarný), 2016 (repka ozimná), 2018 (jačmeň jarný).

Tabuľka 1: Koefficienty determinácie medzi úrodou sledovaných rokov a dlhoročnými mapami úrody a NDVI (na 5 % hladine významnosti).

Modely	Úroda 18	Úroda 16	Úroda 15	Úroda 14
Plodina	Jačmeň jarný	Repka ozimná	Jačmeň jarný	Pšenica ozimná
YFMobil	0.56	0.15	0.59	0.45
YFMvse	0.24	0.16	0.46	0.44
NDVIFMobil	0.12	0.01	0.22	0.14
NDVIFMobil10	0.24	0.03	0.24	0.13
NDVIFMvse	0.10	0.31	0.07	0.07
NDVIFMvse10	0.30	0.08	0.36	0.16
NDVI180617	0.52	0.10	0.36	0.16
NDVI170620	0.27	0.08	0.34	0.16
NDVI160605	0.05	0.13	0.05	0.03
NDVI150704	0.18	0.09	0.27	0.08
NDVI140707	0.06	0.05	0.26	0.19

NDVI = Normalizovaný diferenčný vegetačný index; YFMobil = yield frequency map = dlhoročná úrodová mapa odvodená len pre obiloviny; YFMvse = dlhoročná úrodová mapa odvodená pre všetky plodiny; NDVIFMobil = dlhoročná NDVI mapa odvodená len pre obiloviny; NDVIFMobil10 = dlhoročná NDVI mapa odvodená pre obiloviny bez snímky Landsat z roku 2014 (len v rozlíšení 10 m/pixel); NDVIFMvse = dlhoročná NDVI mapa pre všetky roky a plodiny; NDVIFMvse10 = dlhoročná NDVI mapa pre všetky roky bez snímok Landsat z roku 2014.

Tabuľka 2: Koefficienty determinácie medzi NDVI a dlhoročnou úrodovou/NDVI mapou (na 5 % hladine významnosti).

	NDVI180617	NDVI170620	NDVI160605	NDVI150704	NDVI140707
	Jačmeň jarný	Pšenica ozimná	Repka ozimná	Jačmeň jarný	Pšenica ozimná
YFMobil	0.38	0.24	0.04	0.17	0.14
YFMvse	0.18	0.16	0.08	0.12	0.14
NDVIFMobil	0.20	0.31	0.006	0.12	0.35
NDVIFMobil10	0.18	0.38	0.008	0.07	0.14
NDVIFMvse	0.06	0.03	0.14	0.06	0.05
NDVIFMvse10	0.26	0.96	0.02	0.12	0.18

NDVI = Normalizovaný diferenčný vegetačný index; YFMobil = yield frequency map = dlhoročná úrodová mapa odvodená len pre obiloviny; YFMvse = dlhoročná úrodová mapa odvodená pre všetky plodiny; NDVIFMobil = dlhoročná NDVI mapa odvodená len pre obiloviny; NDVIFMobil10 = dlhoročná NDVI mapa odvodená pre obiloviny bez snímky Landsat z roku 2014 (len v rozlíšení 10 m/pixel); NDVIFMvse = dlhoročná NDVI mapa pre všetky roky a plodiny; NDVIFMvse10 = dlhoročná NDVI mapa pre všetky roky bez snímok Landsat z roku 2014.

mienkach Českej republiky popísali vo svojej štúdií Domínguez a kol. (2015). Štúdiá je okrem iného zameraná aj na predikciu vývoja rastu plodín v závislosti na stupnici BBCH (fenologické fázy rastlín) a na odvodenie modelu vývoja hodnôt NDVI počas rastu pšenice a repky ozimnej. Aby sa model čo najviac priblížil reálnemu stavu, bolo potrebné spracovať čo najviac snímok z rôzneho obdobia rastu počas viacerých rokov. Tak, ako sa morfológicky líšia vybrané plodiny v závislosti na rode, kde patria, tak sa odlišujú aj grafy popisujúce vývoj NDVI počas ich rastu. Krivky obidvoch modelov začínajú na hodnote 0,25, čo je hodnota NDVI holej pôdy sledovaného pozemku. Hodnoty NDVI pšenice ozimnej následne rastú až do fenologickej fázy BBCH 49, kedy sa začínajú objavovať ostiny. Následne začínajú hodnoty NDVI prudko klesať a kvitnutia. Pokles hodnôt spôsobuje zmena štruktúry a farby povrchu porastu. Po ukončení fázy kvitnutia (BBCH 69) hodnoty NDVI opäť rastú až do fázy BBCH 80 (dozrievanie). Farba porastu sa začína meniť zo zelenej na žltú a odrazivosť porastu začína klesať.

Hodnoty NDVI u repky ozimnej narastajú do fenologickej fázy 60 (začiatok kvitnutia). Nastáva zmena farby zo zelenej na žltú

a logicky sa tak znižuje spektrálna odrazivosť povrchu porastu. Počas tohto obdobia môžu nastať výkyvy hodnôt NDVI vplyvom nerovnomerného vývoja rastlín. Niektoré rastliny už môžu kvitnúť a iné ešte nie. Tento jav sa môže vyskytovať predovšetkým na svahovitých pozemkoch. Po odkvitnutí začína hodnota NDVI opäť narastať až do fázy zrenia, kedy sa znovu menia farby a hodnoty NDVI začínajú klesať. Modely vývoja hodnôt NDVI pre pšenicu ozimnú sú na obrázku 1 a pre repku ozimnú sú na obrázku 2. Na základe modelov odhadov vývoja bol spočítaný koeficient determinácie medzi vytvorenými modelmi a reálnymi hodnotami NDVI, ktoré boli vypočítané na základe družicových snímok.

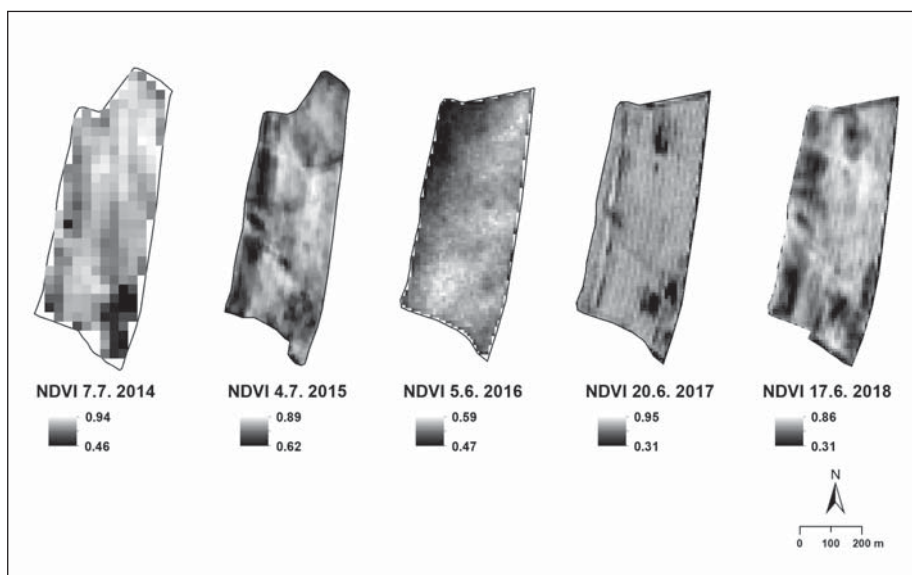
Pre repku ozimnú bol koeficient determinácie 0,77 a pre pšenicu ozimnú bol 0,93. Výsledok znamená, že model odvodený pre reku ozimnú vysvetľuje reálny priebeh vývoja hodnôt NDVI na 77 % a model pre pšenicu ozimnú na 93 % (na hladine významnosti 0,05). Rozdiely medzi reálnym stavom porastu a modelom popisujú aj ďalší autori, ktorí pripisujú zistené rozdiely hlavne rôznemu spôsobu obhospodarovania pozemkov, iným pôdnym podmienkam, alebo rozdielnej aplikácii hnojív. Táto publikácia preukázala použiteľnosť snímok z družíc Landsat aj na úkor men-

šieho priestorového rozlíšenia (30 m/pixel). Zohľadňujúc termíny snímania, boli využité snímky z družice Landsat 7 ETM+ a Landsat 5. Nevýhodou a stabilným problémom pre územie Českej a Slovenskej republiky je častá oblačnosť, ktorá limituje frekvenciu použitia družicových snímok. Ďalším limitujúcim faktorom bolo využitie snímok z družice Landsat 7 ETM+. Od 31. 5. 2003 je poškodený tzv. Scan Line Corrector na senzore tejto družice, čoho dôsledkom sú pruhy na okrajoch snímok, ktoré snímky čiastočne znehodnocujú. Mohli teda nastať situácie, že hoci bolo snímokovanie vykonané v bezoblačnom počasí, tak záujmovú oblasť prekryval uvedený pruh. Týmto sa výrazne zúžil výber vhodných snímok na vyhodnocovanie.

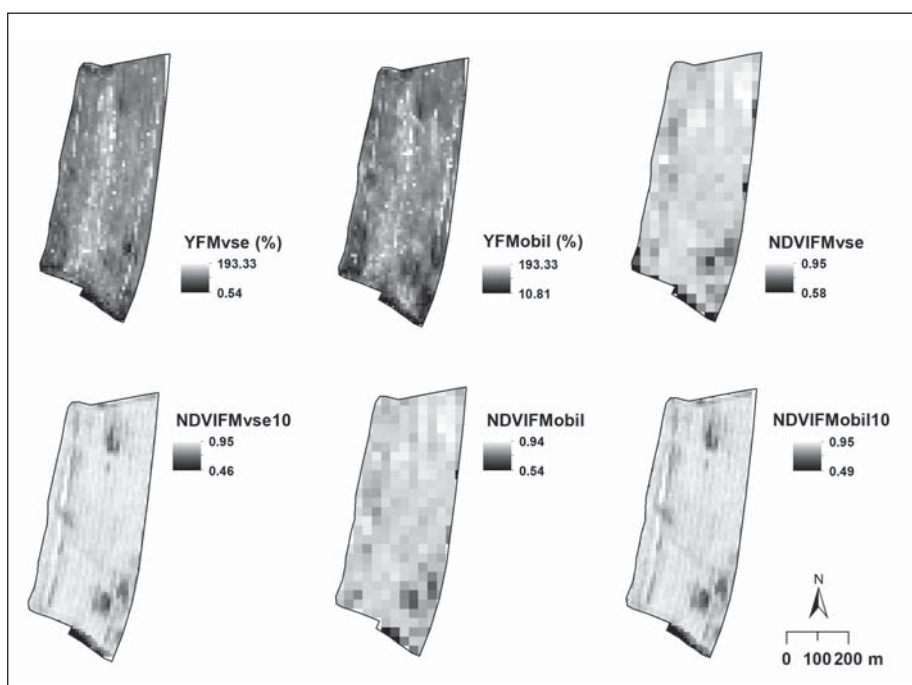
Pretože je odhad úrod poľných plodín jedným z veľmi dôležitých cieľov rastlinnej produkcie, preto sa na presnosť odhadov zameriava množstvo výskumných tímov. Využitie družicových snímok tu zohráva kľúčovú úlohu. V literatúre, ktorá sa týka sledovania poľnohospodárskych plodín metódami diaľkového prieskumu Zeme, sa často uvádza, že fenologické fázy pšenice po BBCH 69 (koniec kvitnutia) sú úzko spojené s finálnou úrodou zrna. V dobrej zhode sú najmä hodnoty NDVI z multitemporálnych družicových snímok získaných



po fáze kvitnutia. Odhad úrody úzko súvisí s pojmom „úrodový potenciál“. Ide o úrodu poľnohospodárskej plodiny, alebo jej odrody, pri pestovaní v priaznivých podmienkach, s dostatkom vody a živín a bez stresu spôsobeného chorobami a škodcami. Pre ľubovoľnú lokalitu a vegetačné obdobie je úrodový potenciál určený tromi faktormi: a) snečným žiarením; b) teplotou; c) dostupnosťou vody. Neefektívne nakladanie s poľnohospodárskou pôdou môže vyvolať odchýlky skutočnej úrody od potenciálnej úrody – úrodový rozdiel. Ten je definovaný ako rozdiel medzi úrodovým potenciálom a dosiahnutými priemernými úrodami vo vzťahu k určitému stanovenému priestorovému a časovému záujmu. Na výpočet úrodového potenciálu sa často využívajú družicové snímky rôznych foriem a účelov. V odbornej literatúre existuje pojem „normalized yield frequency map“, čo predstavuje v podstate dlhodobú normalizovanú úrodovú mapu. Voľným prekladom ide o výslednú úrodovú mapu, ktorá bola vytvorená z úrodových máp počas viacerých rokov a jej hodnoty boli normalizované prevedením absolútnych hodnôt na hodnoty relatívne. Takáto mapa môže byť veľmi užitočná pri porovnaní s aktuálnou snímkou prepočítanou na spektrálny index (najlepšie po odkvitnutí). Rovnako, ako možno vytvoriť dlhodobú úrodovú mapu, možno vytvoriť zložením máp spektrálnych indexov za viac rokov aj dlhodobý spektrálny index. Takéto mapy môžu byť vodítkom na identifikáciu produkčných zón na sledovaných pozemkoch. Príklad využitia dlhodobých máp a odvodených modelov na účely odhadu úrod v podmienkach pestovateľskej praxe v Českej republike je publikácia Jelínek a kol. (2019). Na sledovanom pozemku bola od roku 2014 každoročne zisťovaná úroda (pšenice ozimnej, jačmeňa jarného a repky ozimnej v danom oševnom postupe – obr. 3) a rovnako boli stiahnuté a spracované družicové snímky do podoby spektrálneho indexu NDVI (obr. 4). Išlo o snímky, ktoré zachytávajú porast v poslednej novej rastovej fáze, keď je ešte zelený, a tak bolo možné vypočítať NDVI (bola zohľadnená dostupnosť dát a oblačnosť). Jednotlivé úrodové mapy a odvodené indexy boli spracované do modelov (obr. 5). Jednotlivé modely sa vo vopred definovaných parametroch (ktoré vstupovali do kombinácie) vzájomne odlišovali. Vznikli tak modely, ako napr. „Dlhodobá úrodová mapa odvodená len pre roky s obilninami“, „Dlhodobá úrodová mapa odvodená pre všetky roky bez ohľadu na plodinu“ (obiloviny aj repka), alebo „Dlhodobá mapa NDVI zohľadňujúca ako plodiny, tak aj priestorové rozlíšenie vstupujúcich snímok“. V roku 2014 boli k dispozícii len snímky z družice Landsat s priestorovým rozlíšením 30 m/pixel. V roku 2015



Obr. 4: Mapy NDVI pre jednotlivé sledované roky.



Obr. 5: Dlhoročné mapy úrody a NDVI, kde YFMobil = yield frequency map = dlhoročná úrodová mapa odvodená len pre obiloviny; YFMvse = dlhoročná úrodová mapa odvodená pre všetky plodiny; NDVIFMobil = dlhoročná NDVI mapa odvodená len pre obiloviny; NDVIFMobil10 = dlhoročná NDVI mapa odvodená pre obiloviny bez snímky Landsat z roku 2014 (len v rozlíšení 10 m/pixel); NDVIFMvse = dlhoročná NDVI mapa pre všetky roky a plodiny; NDVIFMvse10 = dlhoročná NDVI mapa pre všetky roky bez snímok Landsat z roku 2014.

bola využitá snímka z francúzskej družice SPOT s priestorovým rozlíšením 6 m/pixel a od roku 2016 boli už k dispozícii snímky z družice Sentinel 2 s priestorovým rozlíšením 10 m/pixel. Modely boli spracované za všetky roky ako s úrodovými mapami, tak aj s jednotlivými spektrálnymi indexami NDVI. Výsledky porovnávania ukázali, že najlepším modelom pre odhad úrody plodín bol v tejto štúdii model dlhoročnej úrodovej mapy odvodené len pre obiloviny (bez úrody repky ozimnej), ktorý vysvetľuje variabilitu úrody v priemere na 44 % za

všetky sledované roky. Najlepší model na odhad stavu, alebo variability porastov bol „Dlhoročný model NDVI v priestorovom rozlíšení 10 m/pixel“ z družice Sentinel 2 (výpočet z roku 2014 bol vylúčený). Tento model vysvetľuje štruktúru porastov pšenice ozimnej až na 96 % - v roku 2017. Za všetky sledované roky to je hodnota 38 %. Modely boli významnejšie na odhad úrodovotvorných faktorov a úrody obilnín, než pre repku ozimnú. Toto platí predovšetkým pre suchšie a teplejšie roky (Tabuľka 1 a 2).

Použitá literatúra dostupná u autora

# Mapovanie priestorovej variability vlastností pôdy a ich využitie

Stanovenie vlastností pôdy patrí medzi základné znalosti, ktoré sú potrebné pre rozhodovacie procesy vo výrobnom prostredí presného poľnohospodárstva. Ako uvádza Fulajtár (2006), v rámci poľnohospodárskeho výskumu a výrobnjej praxe máme definovaných viacero fyzikálnych, chemických a biologických vlastností pôdy, ktoré charakterizujú pôdnu úrodnosť. Poznanie týchto vlastností je dôležité pre optimalizáciu pestovateľských technológií.

Ing. Miroslav Macák, PhD., doc. Ing. Jana Galambošová, MPhil., PhD., Katedra strojov a výrobných biosystémov, TF, SPU v Nitre

Vlastnosti ovplyvňujúce pôdnu úrodnosť môžeme rozdeľovať do dvoch hlavných skupín (Gebbers, 2019):

- vlastnosti pôdy, ktoré dokážeme ovplyvniť rozumne vynaloženým úsilím a v rámci rozumného času, (napr. obsah živín, pH, objemová hmotnosť),
- vlastnosti pôdy neovplyvniteľné, t.j. z dlhodobého hľadiska považované za konštantné (pôdny druh, pôdny typ, zrnitostné zloženie, hĺbka humusového horizontu, svahovitost pozemku...).

Vzhľadom na to, že pôda je súčasťou prírodného komplexu, hodnotiť a stanoviť jej úrodnosť je veľmi obťažné. Pôda sa skladá z jednotlivých zložiek (tuhej, kvapalnej a plynnej), ktoré sú v nej rôznorodo rozptýlené. Variabilita pôdy a jej vlastností sa vy-

skytuje jednak v priestore (parcela, región) a jednak v čase.

Výskumná sféra, ako aj agronomická prax zisťuje priestorové a časové zmeny pôdnych vlastností nasledovnými spôsobmi:

- na základe vlastných skúseností (využitie ľudských vnemov),
- odberom pôdnych vzoriek a ich následnou analýzou v laboratóriu,
- použitím snímačov, ktoré sú v priamom kontakte s pôdou („in situ“ – priamo na mieste), alebo zbierajú údaje vzdialene (ex situ, napr. snímkovanie povrchu poľa - kamery v lietadlách).

Pozorovania, ktoré prioritne určujú priestorové rozloženie (variabilitu) pôdnych vlastností, sú často nazývané ako „mapovanie

pôdy“, pokiaľ termín „monitorovanie pôdy“ je často používaný v spojitosti so sledovaním časových zmien týchto vlastností (De Gruiter et al., 2006).

Praktickým využitím monitorovania a mapovania pôdy v presnom poľnohospodárstve je určenie variability vlastností pôdy a využitie tejto informácie pri agrotechnických zásahoch. Tabuľka 1 uvádza príčiny variability alebo nízkej úrody, ktoré sa viažu na vlastnosti pôdy, spôsob ich merania a následný variabilný zásah (agrotechnickú operáciu). Vzhľadom k tomu, že poznanie a správne využitie metód merania variability vlastností pôdy je pri implementácii presného poľnohospodárstva kľúčové, v príspevku sa venujeme najmä metódam stanovenia pôdnych vlastností a následne uvádzame konkrétne príklady z aplikácie pri pestovaní poľných plodín.

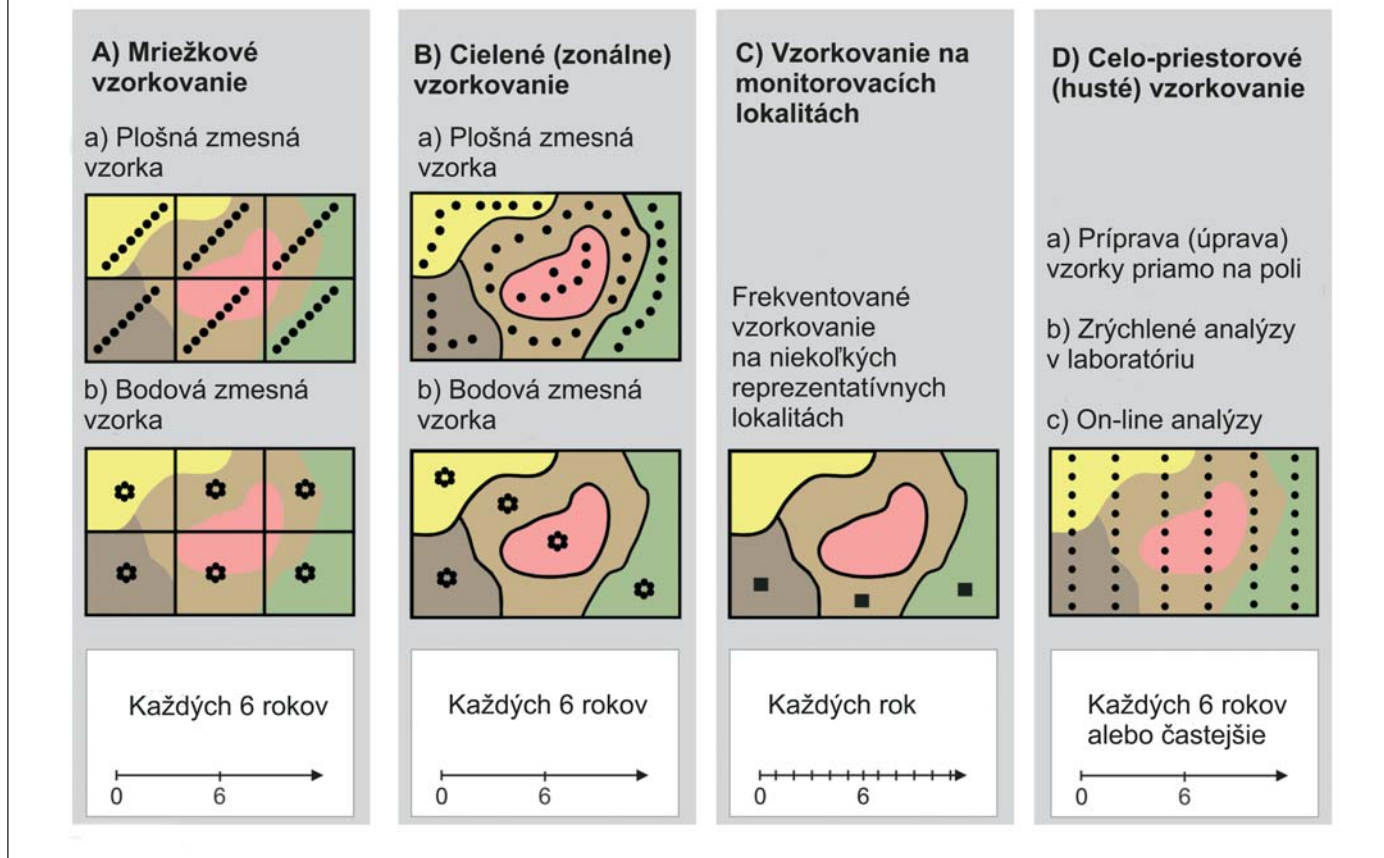
Z tabuľky je zrejmé, že pri určení variability parametrov pôdy možno využiť 2 základné spôsoby. Prvým, tradičným spôsobom zisťovania parametrov pôdnej úrodnosti (napr. chemického zloženia – obsah živín, zrnitostné zloženie), je terénny odber vzoriek a následná príprava a analýzy týchto vzoriek v laboratóriu. Tieto metódy sú však veľmi pomalé, veľmi prácne a často ekonomicky nákladné. Vzhľadom k tomu, že zachytenie priestorovo-časovej variability pôdy je jednou zo základných a nevyhnutných funkcií presného poľnohospodárstva, je použitie týchto tradičných metód v praxi

Tabuľka 1: Vybrané faktory ovplyvňujúce úrodu, možnosti ich merania a následných opatrení (Galambošová – Godwin, 2012– upravené).

Príčina variability alebo nízkej úrody vo vzťahu k pôde	Informácia/technológia potrebná na stanovenie variability	Následný krok
Nedostatočná, resp. nadmerná aplikácia živín mikro a makroprvkov do pôdy	Odber vzoriek a ich analýza v laboratóriu	Variabilné hnojenie
Pôdna reakcia (pH pôdy)	Odber vzoriek pôdy a ich analýza v laboratóriu Odber vzoriek pôdy a ich analýza pomocou snímačov priamo na poli	Variabilné vápnenie
Utlačenie pôdy	Meranie vodivosti pôdy, meranie penetrometrického odporu, mapovanie pohybu strojov po poli	Variabilné obrábanie pôdy, lokálne obrábanie pôdy
Rôzne pôdne druhy, schopnosť zadržať vodu, dostupnosť vlahy	Meranie vodivosti pôdy, odber vzoriek pôdy	Variabilná sejba, variabilné obrábanie pôdy, variabilné zavlažovanie



## Metódy vzorkovania pôdy v poľnohospodárstve



Obr. 1: Metódy vzorkovania pôdy v poľnohospodárstve (upravené podľa: Gebbers, 2019).

veľmi ťažko uskutočniteľné. Hlavnou potrebou realizovateľnosti presného poľnohospodárstva je včasná dostupnosť geograficky lokalizovaných informácií. Z tohto dôvodu sa do popredia dostávajú nové

inovatívne technológie. Keďže diaľkový prieskum Zeme (označovaný aj ako: DPZ, alebo Remotesensing) má pri mapovaní pôdy prostredníctvom satelitnej a leteckej platformy veľmi limitované uplatnenie,

vznikajú technológie založené na využití rôznych snímačov, ktoré zberajú údaje o vlastnostiach pôdy priamo na poli. V súčasnosti existuje veľké spektrum dostupných snímačov pre meranie fyzikálnych,



Obr. 2: Zariadenia na meranie utlačenia pôdy (A - ručný vertikálny penetrometer; B - automatický vertikálny penetrometer (Domsch et al., 2006).

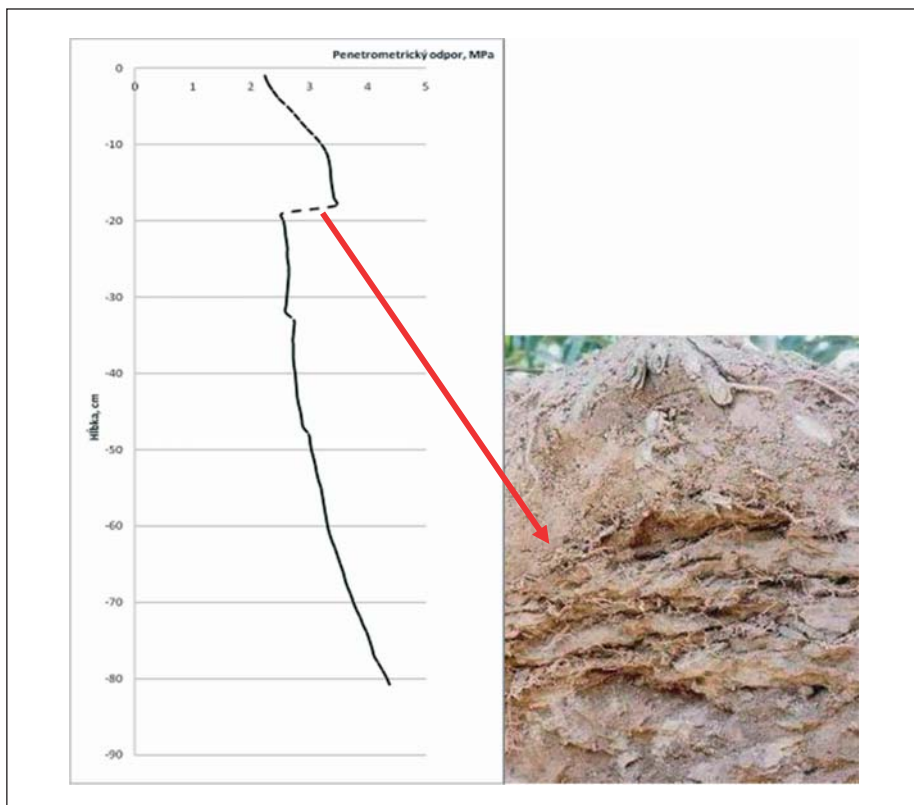
## ■ monitoring

chemických a biologických vlastností pôdy v rôznych priemyselných aplikáciách, avšak len niekoľko z nich si nachádza svoje uplatnenie aj pri sledovaní vlastností pôd v poľnohospodárskej praxi.

Metódy mapovania pôdných vlastností môžeme klasifikovať z hľadiska plošnej hustoty získaných informácií (obr. 1). Jednotlivé prístupy odzrkadľujú aj historický vývoj v tejto oblasti.

### Pôdne vzorkovanie

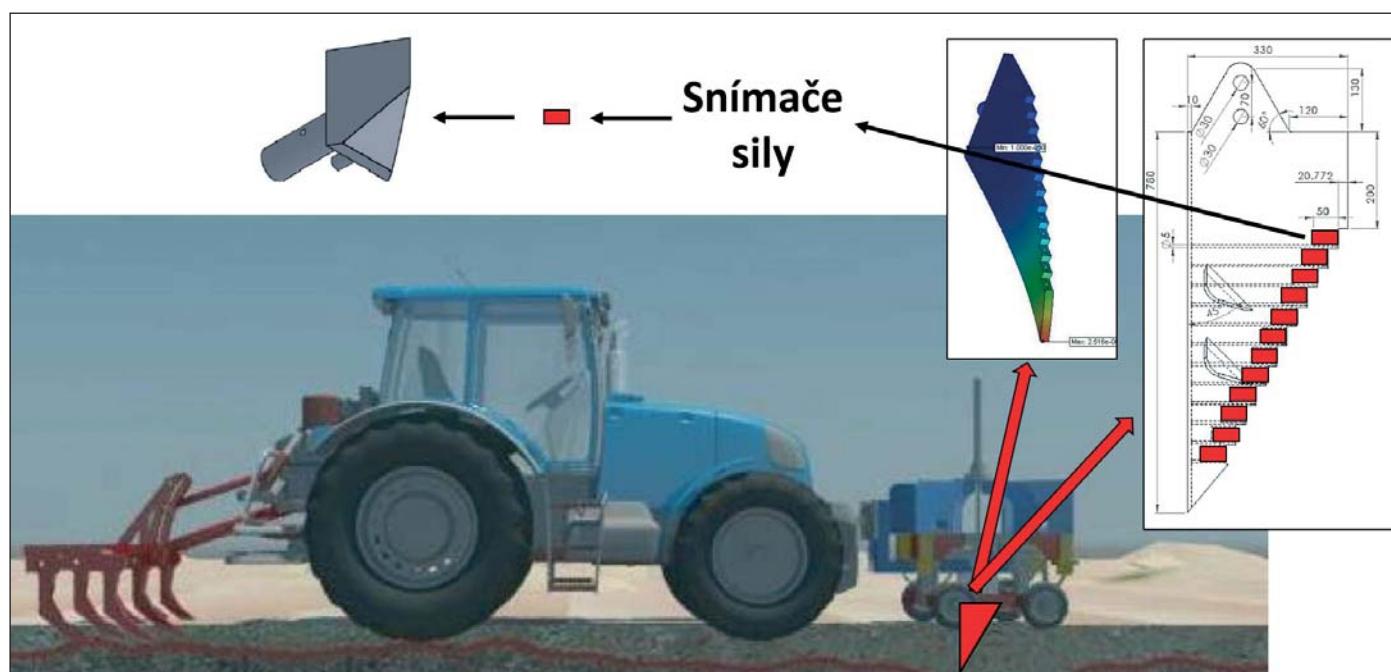
Ako už bolo uvedené, základným spôsobom zisťovania vlastností pôdy je odobranie pôdných vzoriek na poli s vrtákmi a ich analýza v laboratóriu. Z hľadiska rozmiestnenia odberných miest po parcele je **historicky najstarším spôsobom určovania variability pôdných vlastností - mriežkový odber vzoriek s vytváraním zmesnej vzorky** (obr. 1 A). Vzdialenosť medzi odbernými miestami menších vzoriek je rôzna. Závisí to od toho, či je výsledná zmesná vzorka odobieraná ako plošná, alebo bodová. Odber týchto menších vzoriek je riešený v rámci celého plošného rozsahu danej bunky mriežky v určitom tvare (napr. po diagonále, alebo tvare písmena „Z“; „V“ alebo „W“). Počet vzoriek je daný veľkosťou plochy, ktorá je daná hranicami parcely. Konečný počet vzoriek by mal byť korigovaný na základe ekonomického hľadiska (finančné zdroje vynaložené na získanie informácie verzus očakávané benefity). V niektorých prípadoch musí byť tento počet upravený aj na základe legislatívnych nariadení (napr. národné zákony, ktoré uvádzajú minimálny počet odobratých vzoriek na hektár a jeden pozemok, (napr. ASP, zisťovanie prítomnosti ťažkých kovov pri in-



Obr. 3: Příklad priebehu penetrometrického odporu v rámci pôdneho profilu s vyznačenou podorničnou podlahou (Rataj a kol., 2014).

tegrovanej produkcii, a pod.). Časová opakovateľnosť odberov je realizovaná na základe agronomickej praxe. Vzhľadom k tomu, že mriežkový odber vzoriek je časovo a finančne veľmi náročný, je dnes využívaný iba v prípade, ak o parcele nie je možné získať žiadne pomocné informácie ako napr. pedologické pôdne mapy, DPZ snímky, úrodné mapy získané pri

zbere plodiny obilným kombajnom alebo mapy vytvorené pomocou proximálneho snímania pôdy. V súčasnosti sa preferuje tzv. **cielený (zonálny) odber vzoriek s vytváraním zmesnej vzorky**. Tento spôsob je založený na pomocných údajoch o danom stanovišti získaných z minulosti (niekedy označovaných ako historických informáciách). Cílený (zonálny) odber vzoriek môže



Obr. 4: Horizontálny automatický penetrometer (upravené podľa: Tekin a Yalcin (2014)).



byť efektívnejší a presnejší ako mriežkový odber. Keďže sa pri voľbe odberných miest rešpektuje priestorové rozloženie jestvujúcej variability, môže byť počet vzoriek znížený a zameraný (cieľený) na tie miesta pozemku, ktoré sa predikciou pomocných údajov javia odlišne voči ostatnej ploche parcely (alebo voči ostatným zónam). Využitie pomocných údajov o stanovišti tak môže výrazne ekonomicky zefektívniť odber vzoriek pôdy.

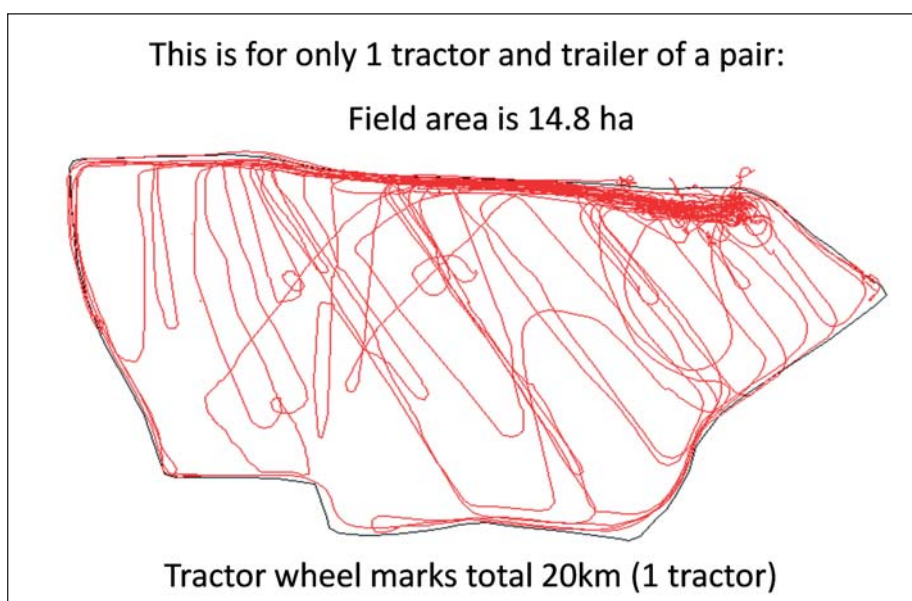
V špeciálnych prípadoch je potrebné niektoré vlastnosti pôdy sledovať dlhodobo (napr. vlhkosť pôdy a pod.), za týmto účelom je možné použiť ďalší spôsob a to tzv. využívanie **monitorovacích lokalít**. Na týchto miestach je napr. inštalovaný snímač vlhkosti pôdy a pod.

Trendom v oblasti mapovania pôdných vlastností je tzv. **celopriestorové (husté) vzorkovanie**. Cieľom je získanie detailnej pôdnej mapy, rýchlym a ekonomicky efektívnym spôsobom. V tomto prípade nastupuje do popredia automatizácia pri odbere a balení vzoriek (napr. Speed Probesystem vyrábaný firmou Bodenprobentechnik, Niefeld Nemecko), analýza vzoriek priamo na poli v mobilnom laboratóriu s využitím robustných zariadení urýchľujúcich proces analýzy (napr. mobilné laboratórium „lab-in-box“ vyrábané firmou SoilCares, Wageningen Holandsko), ale najmä využitie snímačov.

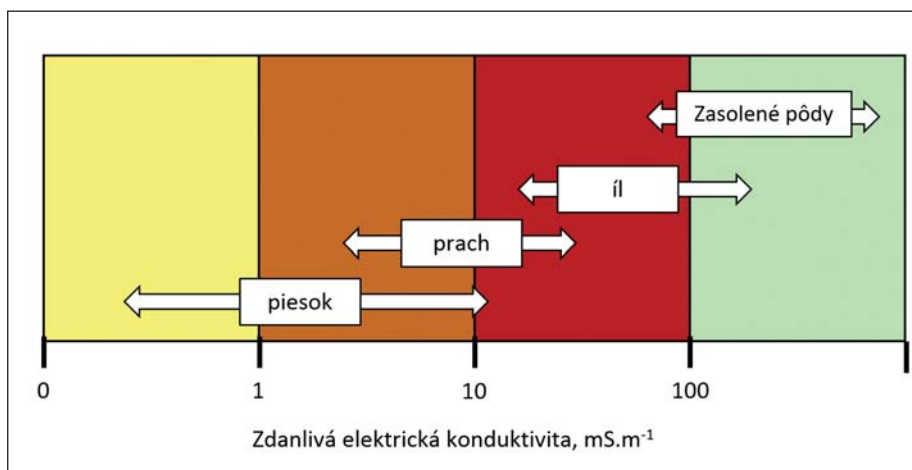
Analýza pôdy v podmienkach „in situ“ s využitím stacionárnych a mobilných snímačov je označovaná pojmom „**Proximálne snímanie pôdy**“ (Gebbers, 2019). Tento prístup získavania informácií o vlastnostiach pôdy sa stáva **klúčovým prostriedkom v presnom poľnohospodárstve**

pre vytváranie pôdných máp s vysokým rozlíšením. Zariadenia pre proximálne snímanie pôdy pozostávajú z jedného, alebo viacerých snímačov pôdy a jednotky pre záznam a spracovanie údajov (napr. priradenie údajov zo senzora ku geografickej pozícii a časovému údaju z GNSS prijímača; kalibráciu a/alebo prenos údajov do centrálnej jednotky). Komplexnejšie systémy, ktoré bývajú mobilné a automatické môžu okrem vyššie uvedených častí obsahovať aj podvozok (motorickú alebo nemotorickú) platformu na nosenie snímačov, jednotky pre odber vzoriek, hlavíc snímačov, zariadení na úpravu a balenie vzorky, ako aj príslušenstva pre určenie geografickej polohy v systéme GNSS.

Snímače využívané v proximálnom snímaní pôdy môžu byť klasifikované z viacerých hľadísk. Z hľadiska fyzikálnej veličiny, ktorú merajú, ide o snímače elektrické, mechanické, teplotné, optické a pod. Z hľadiska mobility, môžu byť stacionárne a mobilné, z hľadiska porušenia pôdnej štruktúry ide o invazívne a neinvazívne zariadenia. Vzhľadom na obmedzený rozsah tohto prí-



Obr. 5: Záznam pohybu strojových súprav pri zbere hrášku (Galambošová – Godwin, 2012 - upravené).

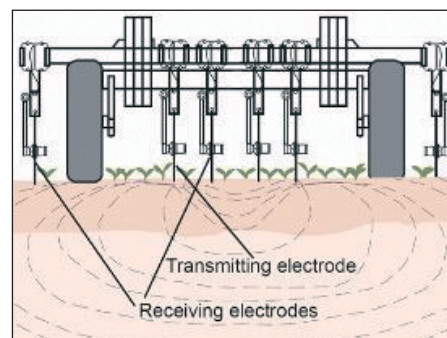


Obr. 6: Rozsahy zdanlivej elektrickej konduktivity v závislosti na zrnitostnom zložení a zasolenosti pôdy (www.veristech.com; upravené podľa: Gebbers, 2019).

spevku neuvádzame ich kompletný popis. V nasledujúcej časti sú popísané iba tie metódy, ktoré sú pri implementácii presného poľnohospodárstva najviac využívané a to pri hodnotení štruktúry pôdy (najmä vo vzťahu k utlačeniu pôdy) a pri určovaní

zrnitostného zloženia pôdy.

Najbežnejšou metódou hodnotenia štruktúrnych vlastností pôdy (utlačenia pôdy) je meranie penetrometrického odporu pôdy pomocou vertikálneho penetrometra (obr. 2 A). Ak má byť na základe týchto



Obr. 7: Zariadenie na merania elektrického odporu pôdy (Veris Technologies) a schématický pohľad (Naderi-Boldaji et al., 2014).

## ■ monitoring

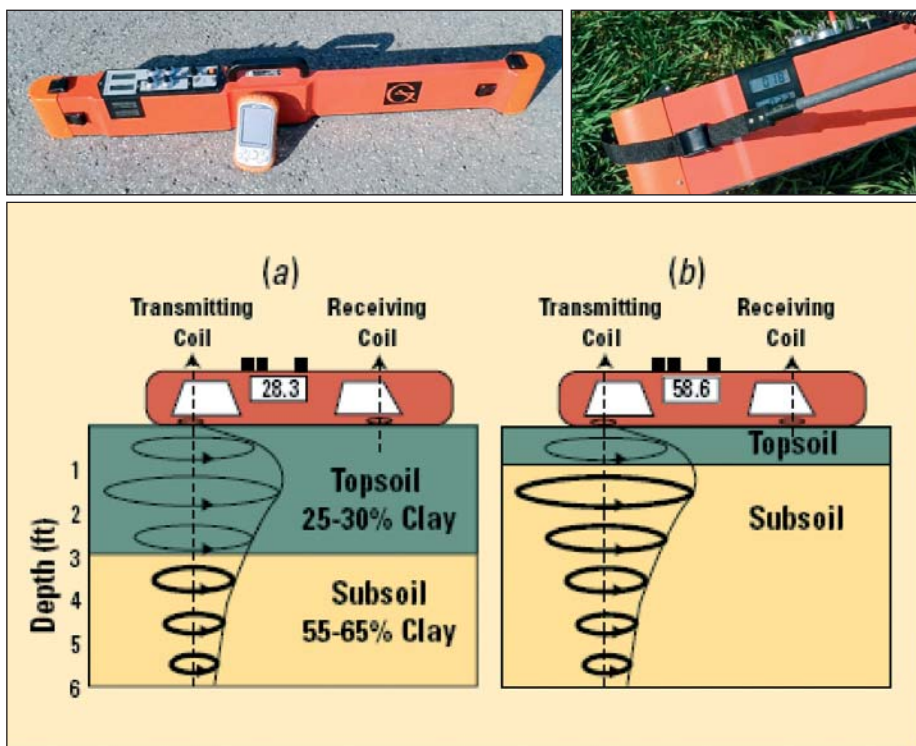
informácií vytvorená mapa variability utlačenia pôdy, je potrebné spolu s meraním penetrometrického odporu zaznamenávať aj geografickú polohu. V praxi si našli uplatnenie ručné, ako aj strojovo nesené penetrometre (obr. 2). Ich prednosťou je najmä identifikácia rozdielov v rámci pôdneho profilu, teda napr. identifikácia tzv. podorničnej podlahy. Na základe údajov zistených z penetrometra je tak možné spracovať mapu pre ciele podryvanie pozemku. Meranie utlačenia vertikálnym penetrometrom je samozrejme pri veľkých plochách časovo náročné, práve z tohto dôvodu si našli uplatnenie tzv. horizontálne penetrometre (obr. 4), senzory ťahovej sily a pod., ktoré umožňujú kontinuálne snímanie pôdy. Pre všetky tieto metódy platí, že spolu s meraním je potrebné získať informáciu o textúre pôdy (pôdnom druhu) a okamžitej vlhkosti pôdy.

Mieru utlačenia pôdy strojovými súpravami je možné stanoviť aj v kombinácii s nepriamymi metódami. Sem patrí napr. využitie záznamov o pohybe strojov a následné určenie zón s najfrekvencovanejšími prejazdmi. V týchto je možné následne zmerať mieru utlačenia (napr. penetrometrom) a opäť vytvoriť mapu pre priestorovo ciele obrábanie pôdy (podryvanie).

### Elektrická vodivosť pôdy

Azda najbežnejšou metódou snímania pôdnych vlastností, využívanou v presnom poľnohospodárstve, je mapovanie elektrickej vodivosti pôdy (ECA). Vodivosť pôdy (označovaná aj ako konduktivita pôdy) je korelovaná s obsahom ílovitých častí v pôde, t.j. so zrnitosťným zložením, ďalej vlhkosťou pôdy, obsahom organickej hmoty, pH, ale aj utlačením pôdy. Hodnoty sú vzhľadom na charakter snímanej veličiny, samozrejme, ovplyvnené najmä vlhkosťou pôdy a zasolenosťou pôdy. Ak chceme eliminovať vplyv vlhkosti, je vhodné využívať tieto zariadenia pri plnej vodnej kapacite pôdy (skoro na jar, neskoro na jeseň). V tomto prípade je možné z mapy vodivosti pôdy určovať napr. rôzne pôdne druhy na pozemku a pod. Toto vychádza z poznatkov, že hrubý piesok, s nízkou kontaktnou plochou častíc, s nízkou schopnosťou zadržať vodu a nízkym obsahom povrchových nábojov je veľmi zlým vodičom elektrického prúdu a naopak ťažký íl, s veľkou kontaktnou plochou medzi jednotlivými časticami, s vysokou schopnosťou zadržať vlhkosť a s veľkým počtom nábojov na povrchu vytvára veľmi dobré podmienky pre vedenie elektrického prúdu. Rozsahy vodivosti pôdy pre rôzne zrnitosťné zloženie sú uvedené na obr. 6.

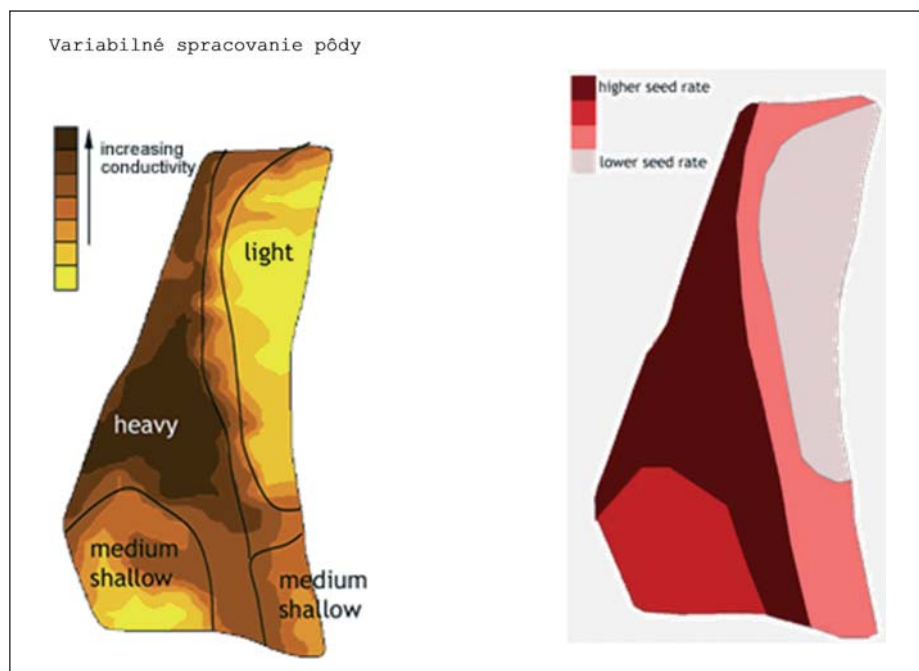
Na meranie vodivosti pôdy sa využívajú dva rôzne princípy. Prvým princípom je meranie elektrického odporu pôdy. Je to



Obr. 8: Bezkontaktné zariadenie na meranie mernej elektrickej vodivosti pôdy Geonics EM38 (hore) (foto autori) a siločiar elektromagnetického poľa vytvoreného metódou EMI (upravené podľa: Davis et al., 1997).

kontaktná priama metóda založená na vytvorení elektrického obvodu, ktorý slúži na zavedenie elektrického prúdu do pôdy pomocou 2 kovových elektród (Krajčo, 2010) (obr. 7). Elektrický odpor pôdy spôsobuje úbytok napätia, ktorý je snímaný jedným, alebo dvomi párami diskových elektród, pričom elektródy vnikajú do pôdy len niekoľko centimetrov. Rozmiestnenie elektród je

veľmi flexibilné, čo umožňuje merať rôzne množstvo pôdy (rádovo od  $\text{cm}^3$  až po  $\text{m}^3$ ). Rozsah meraných hĺbkových intervalov závisí tiež od vzájomnej vzdialenosti medzi jednotlivými diskovými elektródami (Krajčo, 2010). Ako uvádzajú viacerí autori (napr.: Gebbers, 2019, Milsom, 2003 a iní) táto metóda je relatívne ekonomicky nenáročná a výkonná. Na meranie je možné po-



Obr. 9: Určenie hraníc pôdnych druhov pomocou merania EMI (vľavo) a aplikačná mapa pre variabilnú sejbu (vpravo) (www.soyl.com).



užiť lacné ohmmetre a elektródy môžu byť vyrobené z ocele. Potreba ťahového výkonu je nízka a metóda nie je citlivá na vplyvy okolitých zdrojov elektromagnetického žiarenia. Hlavnými nevýhodami metódy je to, že ide o invazívnu metódu. V zamrznutých, suchých a kamenistých pôdach sa môže stať, že meranie zlyhá, pretože elektródy potrebujú dobrý galvanický kontakt s pôdou. Tieto obmedzenia sú prekonané pri meraniach vodivosti pôdy s využitím metód elektromagnetickej indukcie (EMI), ktoré predstavujú alternatívu k meraniu elektrického odporu pôdy.

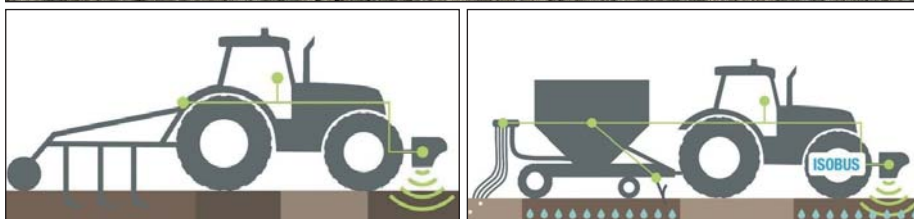
Meranie elektromagnetickej vodivosti pôdy je metóda založená na využití dvoch, alebo viacerých magnetických cievok, pričom tzv. vysielacia cievka vytvára primárne magnetické pole, ktoré preniká pôdnym prostredím. Vodivé zóny v pôde reagujú vytvorením sekundárneho poľa. Vrstvením a samotným prekrývaním primárneho a sekundárneho magnetického poľa dostávame výsledné celkové magnetické pole, ktoré je zachytené prijímacou cievkou. Najznámejšie zariadenie, ktoré sa v poľnohospodárskej praxi používa, je EM38 (vyrábané firmou Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada) (obr. 8).

Mapy vodivosti pôdy, vytvorené pomocou hore uvedených zariadení, môžu byť využité buď priamo pri agrotechnickom zásahu, alebo ako pomocná – vysvetľujúca informácia pri určovaní variability pôdneho prostredia parcely.

Ako príklad využitia pri variabilnom zásahu uvádzame možnosť variabilnej sejby (zmeny výsevu pre rôzne pôdne druhy) s cieľom dosiahnuť rovnaký počet odnoží pri hustosiatych obilninách (obr. 9). Farmár sa však pri rozhodovaní nemusí opierať iba o informáciu o vodivosti pôdy. V praxi sa tieto mapy kombinujú aj s inými informáciami. Napr. s úrodovými mapami, satelitnými snímkami, mapami zásobenosti živín, pH pôdy a pod. Priestorovou analýzou týchto dát je možné na pozemkoch vytvoriť tzv. manažment zóny. Ide o oblasti – časti parcely, ktoré sú svojimi vlastnosťami v rámci daného pozemku homogénne. Pre rôzne manažment zóny na pozemku je



Obr. 11: Platforma MSP3 – Veris Technologies ([www.veristech.com](http://www.veristech.com)).



Obr. 10: SoilXplorer - zariadenie na meranie elektrickej vodivosti pôdy využiteľné pri on-line variabilnom zásahu (obrábanie pôdy, sejba) (<http://www.geoprospectors.com/gb/products-services/agriculture/>).

následne možné navrhnuť napr. pestovanie rôznych hybridov, alebo rôzne úrovne hnojenia pôdy a pod. Mapa vodivosti pôdy nachádza uplatnenie aj pri optimalizácii počtu odoberaných vzoriek pôdy - teda pri tzv. cieleňom vzorkovaní (ako je popísané vyššie). Aj v tomto prípade sa mapa vodivosti kombinuje najmä so satelitnými snímkami, alebo s úrodovými mapami získanými počas zberu plodiny obilným kombajnom.

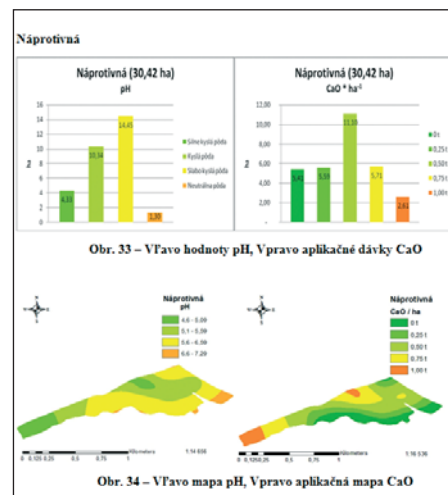
Na základe najnovších experimentálnych poznatkov je v ostatnom období meranie elektrickej vodivosti pôdy využívané aj na detekciu utlačenia pôdy na pozemku a následné variabilné obrábanie pôdy. Príkladom je zariadenie SoilXplorer (Geoprospectors) uvedené na obr. 10.

Okrem zariadení, ktoré využívajú jeden snímač, sú na trhu dostupné aj tzv. „viacnásobné senzorové platformy“ (označované aj pojmom: „multi-senzor platform“, alebo „senzor fusionplatform“. Pri viacnásobnej senzorovej platforme pracujú snímače častokrát v tom istom čase - súbežne. Nakoľko existuje viacero meracích metód, môže dochádzať pri činnosti snímačov k vzájomnému ovplyvňovaniu. Je otázkou budúceho vývoja, ako sa podarí jednotlivé druhy navzájom kombinovať. Príkladom komerčne dostupnej viacnásobnej senzorovej platformy je zariadenie Veris MSP-3 (obr. 11), ktoré dokáže súčasne merať elektrickú konduktivitu, pH pôdy a obsah orga-

nických látok.

Možno predpokladať, že práve on-line meranie pH pôdy (spolu s ostatnými parametrami) bude predstavovať pre slovenských farmárov potenciál pre racionálne vápnenie pozemkov. Na obr. 12 je uvedená mapa variability pH pôdy a aplikačné mapy CaO vytvorené na jej základe. Štúdie poukazujú na veľký potenciál úspor a efektívnosti pri variabilnom vápnení.

Použitá literatúra dostupná u autora.



Obr. 12: Príklad mapy variability pH na pozemku a aplikačnej mapy CaO vytvorenej na jej základe (Odrážka, 2012).

# Opýtali sme sa ľudí z praxe, aké prvky presného poľnohospodárstva využívajú na ich podnikoch

Bc. Benjamín Brocka  
junior mechanizátor, Agromačaj a.s.

Spoločnosť Agromačaj, s.r.o. obhospodaruje výmeru 5500 hektárov. V štruktúre výroby dominuje pestovanie zemiakov a zeleniny, ktoré je v rámci osevného postupu doplnené o hustosiate obilniny, sóju a mak. V rámci navádzacích systémov pracujeme najmä so spoločnosťou Tribble, ktorá nám poskytuje presnosť pri pracovných operáciách +/- 2 cm. Najväčší problém, s ktorým sa potýkame, je pri vytyčovaní kruhov, keďže na viacerých plochách máme kruhové zavlažovacie pivoty. V rámci variabilnej aplikácie postrekov riešime ohniskovú likvidáciu burín, najmä pichliaču. Po zmapovaní pozemku dronom sú v aplikačnej mape vytýčené zóny zaburinenia. Pomocou postrekovača Agrifac Condor vybaveného 144 sekciami po 25 cm, opatrenými tryskami s elektromagnetickými ventilmi, vieme lokálne aplikovať herbicíd. Tento systém sme využili na vyčistenie plôch pred sejbou sóje. Vďaka lokálnej aplikácii glyfosátu na ohniská pichliaču sme oproti plošnej aplikácii ušetrili až 78 % prípravku. Pomocou dronu lokalizujeme aj neúrodné, erodované časti zavlažovaných plôch. Tie by sme následne chceli rekultivovať vyššími dávkami organických hnojív. V zeleninárskej výrobe využívame opticky riadené plečky. Do budúcnosti uvažujeme nad inštaláciou úrodomerov do vyorávačov zemiakov, uvidíme však, či by tento spôsob mapovania mal ekonomické opodstatnenie. Keďže na intenzívne zavlažovaných plochách nám spôsobuje z hľadiska erózie problém aj mierna svahovitosť, do budúcnosti tak zvažujeme vyrovnávanie parciel pomocou systému „field leveling“. Jedná sa však o energeticky a ekonomicky veľmi náročnú operáciu.

Ing. Erik Ivanič  
agronóm, Donau Farm Kalná, s.r.o.

Naša spoločnosť obhospodaruje v regióne Kalná 9650 hektárov pôd. Štruktúra výroby je zameraná na klasické poľné plodiny ako obilniny, olejninu, strukovinu a repu cukrovú.

V rámci strojového parku využívame traktory John Deere. Tie sú vybavené navigáciou StarFire 3000 a 6000 so signálom SF 1, SF 3 až RTK. Pre presnú sejbu, plečkovanie a postrekujeme výhradne systém RTK. To má svoje veľké opodstatnenie najmä pri plečkovaní cukrovej repy, kukurice a tak isto úspore chémie, hnojív a osív.

Každý stroj monitorujeme prostredníctvom systému JDLink, vďaka ktorému máme detailný prehľad o činnosti každého stroja, čo nám poskytuje veľké úspory času pri organizácii práce. Každá obsluha vďaka tomu vie, čo má presne robiť. Nahraté hranice parciel a AB línie poľí urýchľujú jej rozhodovanie, kde začať danú operáciu. Manažment má pritom presný prehľad o pohybe stroja, jeho vyťažení, či prípadných poruchách, čo je pri veľkosti nášho podniku neoceniteľnou pomocou.

V súčasnosti pracujeme na tom, aby sme do roku 2020 mali plne funkčný systém fixných koľajových riadkov (CTF). Postupne nadobúdame techniku so zábermi 6, 12, 36 m. Ako sa však ukazuje, zavedenie CTF je komplikovanejšie, ako sme si mysleli. Je to komplex viacerých vstupov a výstupov s ktorými dennodenne zápasieme.

Od roku 2018 zbierame dáta aj z úrodových máp tak, aby sme postupne získavali databázu, na základe ktorej budeme realizovať opatrenia na ďalšie zvyšovanie efektivity prác.





# TRIMBLE EZ-PILOT – najrozšírenejší systém asistovaného riadenia pre traktory

EZ-Pilot v spojení s novým navigačným displejom TRIMBLE GFX-750 umožňuje vybaviť traktory alebo iné poľnohospodárske stroje asistovaným riadením vo viacerých variantoch tak, aby presne zodpovedali potrebám používateľa.

Pred asi 10 rokmi, keď sa začali v našich končinách častejšie objavovať stroje, ktoré využívali GPS technológie pre podporu riadenia traktorov, súčasťou predajných aktív boli kalkulácie návratnosti investície. Rátalo sa percentuálne zníženie prekrytia pri príprave pôdy, postrekovali alebo rozmetaní a z toho rezultujúce úspory nafty, času, osiva a pod. Tieto vzorce platia dodnes a ich pomocou je možné vyjadriť finančné úspory, ktoré priniesie nasadenie GPS technológie, avšak nezahŕňajú jeden veľmi dôležitý aspekt – pohodlie obsluhy. Pod pohodlím je myslené to, že obsluha je odbremenená od nutnosti neustále sa počas dlhej smeny sústrediť na riadenie, naopak má čas mať lepší prehľad o náradí, kvalite práce a pod., celkovo je práca menej vyčerpávajúca a menej náročná. Tento fakt je ťažko možné vyjadriť finančne, avšak má čoraz väčší význam pri aktuálnej situácii na trhu práce, keď získať alebo udržať kvalitného pracovníka nie je ľahké. Trimble EZ-Pilot je univerzálne riešenie,



ktoré umožňuje vybaviť traktory plnohodnotným systémom asistovaného riadenia. Jedná sa hlavne o stroje, ktoré sú už v prevádzke na farme a neboli z výroby vybavené predprípravou pre využitie GPS zariadenia. Aktuálna tabuľka podporovaných strojov

obsahuje vyše 200 typov v kategórii kolesových traktorov, takže inštalácia aj na starší stroj nie je prekážkou. Hlavne pri inštalácii pre takýto starší stroj je dobré vedieť, že kedykoľvek je možné systém zmontovať a v priebehu toho istého dňa preniesť na iný, prípadne nový traktor. V praxi využívame aj možnosť inštalácie kabeláže do 2 traktorov tak, aby jedno GPS zariadenie mohol byť po skončení prác využité na druhom traktore – obvykle po sebe prípadne plečkovani kukurice sa riadenie prenesie na výkonnejší traktor na prípravu pôdy a pod. Pre nosné činnosti počas roka je tak zabezpečená maximálna presnosť práce. Uvedením nového systému Trimble GFX-750 sa rozšírili možnosti využitia EZ-Pilota, pre ľahšiu orientáciu sa zaviedlo aj nové označenie EZ-Pilot PRO a APMD (AutoPilot MotorDrive). Všetky kombinácie vlastností sú v tabuľke č. 1.

Kombinácia GFX-750 a EZ-Pilot PRO bude určite dôstojným nástupcom doteraz najrozšírenejšej kombinácie CFX-750 a EZ-Pilot. Prináša viacero nových funkcií, ISOBUS komunikáciu, moderný design, mnohonásobne vyššiu kapacitu a výkonnosť samotného hardware pri zachovaní veľmi atraktívneho pomeru ceny a výkonu.

V prípade Vášho záujmu radi zodpovieme Vaše otázky.

Ján Soták, LEADING FARMERS SK, s.r.o.

Vlastnosť	NAVIGAČNÝ DISPLEJ		
	CFX-750	GFX-750	
Označenie riadenia	EZ-PILOT	EZ-PILOT PRO	APMD
Možnosť využitia RTK	Áno	Áno	Áno
Maximálny uhol pripojenia	45°	45°	90°
Pomalé rýchlosti od 350 m.h <sup>-1</sup>	Nie	Nie	Áno
Zostane aktívny po zastavení	Nie	Áno, 15 sekúnd	Áno
Riadenie pri cúvaní	Nie	Áno, 15 sekúnd	Áno
NextSwath automatické otáčanie na úvrati	Nie	Nie	Áno
ISOBUS TC	Nie	Áno	Áno

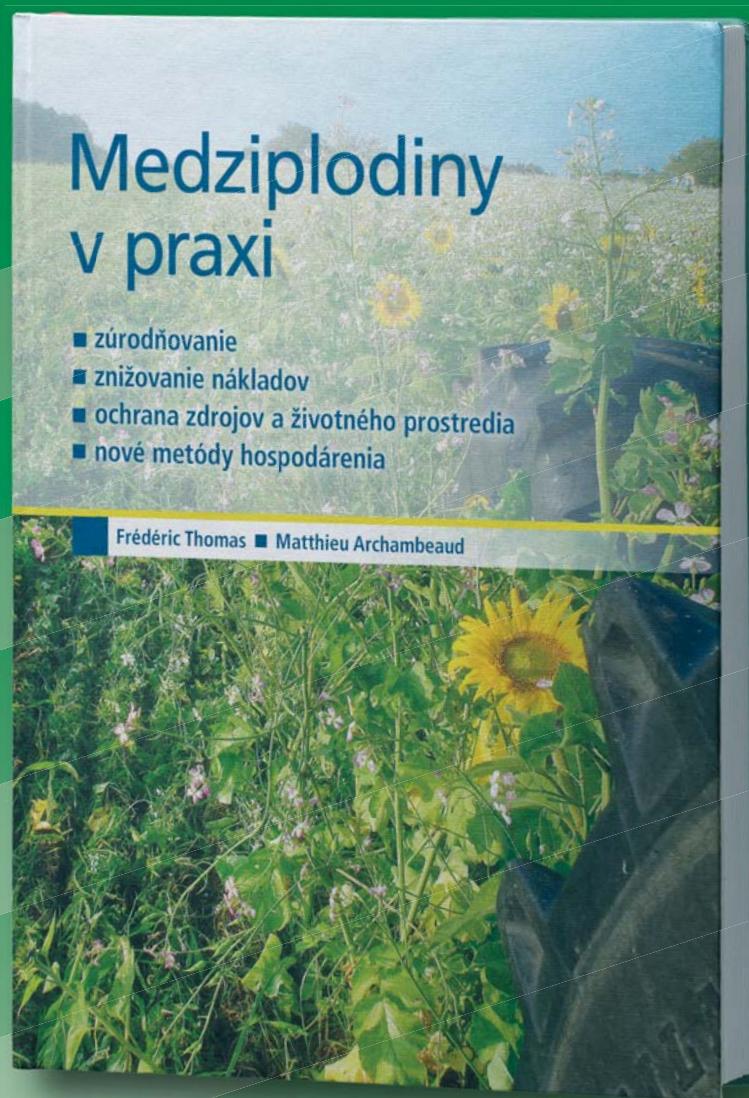
# Knihá Medziplodiny v praxi v predaji

**NOVINKA 2019**

Zaujímá Váš problematika medziplodín v širších súvislostiach?

Pripravili sme pre Váš jedinečnú knihu, ktorá vznikla na základe 20 ročných skúseností s medziplodinami od autorov Frédéric Thomas a Matthieu Archaubeaud. Okrem iného sa v nej dočítate:

- Štruktúra, organizácia a život v pôde
- Ochrana pôdy
- Organická hmota a hospodárenie s vodou
- Medziplodiny, škodcovia a pomocníci
- Ekonomický dopad medziplodín
- Ako používať medziplodiny
- Medziplodiny a kontrola zaburinenosti
- Starostlivosť o porast, jeho využitie a likvidácia
- Prehľad využívaných druhov rastlín
- Medziplodiny a integrácia živočíšnej výroby
- Rastlinné pokrytie a zdvojené pestovanie plodín
- Všeobecné zásady pokrývania pôdy v sadoch a viniciach



Knihu v hodnote 35 € si môžete objednať na: [www.nasepole.sk](http://www.nasepole.sk)  
alebo e-mailom na [redakcia@nasepole.sk](mailto:redakcia@nasepole.sk).

Vydanie knihy podporili:

**HORSCH**

Polnohospodárstvo z vášne

