Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů

Bakalářská práce

Zemědělství 4.0

Josef Buben

© 2023 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Josef Buben

Zemědělské inženýrství
Zemědělská technika

Název práce

Zemědělství 4.0

Název anglicky

Agriculture 4.0

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popis fungování systému precizního zemědělství s využitím prvků Průmyslu 4.0 v oblasti zemědělské výroby a to jak v rostlinné tak i živočišné výroby. Výsledkem bude přehled současných možností prvků smart farmimng v zemědělské výrobě v podmínkách České republiky. Budou popsány výhody a nevýhody zavedení systému do praxe.

Metodika

Na základě studia dostupných literárních zdrojů, statistických dat a informací z praxe budou zhodnoceny možnosti zavedení systému Zemědělství 4.0 v podmínkách ČR.

Osnova práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika práce
3. Vlastní řešení práce
4. Shrnutí a doporučení
5. Závěr
6. Seznam použité literatury

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stran textu včetně obrázků a grafů

Klíčová slova

smart farming; Průmysl 4.0; senzory, mapování,

Doporučené zdroje informací

BRANT, V. – KROULÍK, M. – KRČEK, V. – KRÁSA, J. – KAPIČKA, J. – HAMOUZ, P. – LUKÁŠ, J. – ZÁBRANSKÝ, P. – ŠKEŘÍKOVÁ, M. – ŠKEŘÍK, J. – JOB, Z. – LANG, J. – PETRUS, D. – ČESKO. MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, – AGRA ŘISUTY (FIRMA). *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby.* České Budějovice: Kurent, s.r.o., 2020. ISBN 978-80-87111-81-9.

časopis Mechanizace zemědělství

ČSÚ, FAOSTAT, EUROSTAT

KROULÍK, M. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. STAVEBNÍ FAKULTA. *Technika v technologii precizního zemědělství [rukopis] : habilitační práce.* Disertační práce. Praha: 2013.

MIKLENDA, P. – RYBKA, A. – KUMHÁLA, F. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ. *Precizní technické systémy při pěstování a sklizni pícnin : disertační práce.* 2005.

RYBKA, A. – ŠŤASTNÝ, M. – ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝCH A POTRAVINÁŘSKÝCH INFORMACÍ. *Precizní zemědělství : (studijní zpráva).* Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1998. ISBN 80-7271-038-9.

ŠILHA, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA. FAPPZ KATEDRA AGROCHEMIE A VÝŽIVY ROSTLIN. *Hnojení dusíkem v precizním hospodaření : Disertační práce.* Disertační práce. Praha: 2006.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 15. 11. 2022

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 15. 11. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Zemědělství 4.0" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2023 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu děkanovi doc. Ing. Jiřímu Maškovi, PhD. za ochotnou pomoc při vypracovávání této práce.

Zemědělství 4.0

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá konceptem Zemědělství 4.0 a jeho aplikací v rostlinné i živočišné výrobě. Zemědělství 4.0 je nový přístup k zemědělské výrobě, který využívá moderní technologie, jako jsou senzory, internet věcí a zpracování dat, pro zlepšení efektivity a udržitelnosti zemědělské výroby.

V této práci jsou popsány různé technologie, které jsou používány v Zemědělství 4.0, včetně dronů pro monitorování polí, senzorů pro sledování kvality půdy, rostlin a zvířat a inteligentních systémů pro dojení krav.

Výsledky ukazují, že Zemědělství 4.0 může vést k výraznému zvýšení produktivity a ziskovosti v zemědělské výrobě, zatímco zároveň snižuje negativní dopad na životní prostředí. Kromě toho mohou nové technologie pomoci v boji proti klimatickým změnám a zajišťovat větší bezpečnost potravin.

V závěru práce jsou diskutovány výzvy a příležitosti pro zavedení Zemědělství 4.0 v praxi, včetně finančních nákladů, vzdělávání zemědělců a možnosti přizpůsobení se měnícím se podmínkám na trhu. Celkově lze říci, že Zemědělství 4.0 má potenciál změnit způsob, jakým produkujeme potraviny, a přinést výrazné výhody pro zemědělce, spotřebitele i životní prostředí.

Klíčová slova: životní prostředí, Internet věcí, variabilní aplikace, Big data, dojící roboty, welfare, senzory

Agriculture 4.0

Abstract

This bachelor thesis deals with the concept of Agriculture 4.0 and its application in both plant and animal production. Agriculture 4.0 is a new approach to agricultural production that utilizes modern technologies such as sensors, the internet of things, and data processing to improve the efficiency and sustainability of agricultural production.

Various technologies used in Agriculture 4.0 are described in this thesis, including drones for monitoring fields, sensors for monitoring soil, plants, and animals, and intelligent systems for milking cows.

The results show that Agriculture 4.0 can lead to a significant increase in productivity and profitability in agricultural production while reducing the negative impact on the environment. In addition, new technologies can help in the fight against climate change and provide greater food safety.

Finally, the challenges and opportunities for the implementation of Agriculture 4.0 in practice are discussed, including financial costs, farmer education, and the possibility of adapting to changing market conditions. Overall, it can be said that Agriculture 4.0 has the potential to change the way we produce food and bring significant benefits to farmers, consumers, and the environment.

Keywords: environment, Internet of things, variable applications, Big Data, milking robots, welfare, sensors

Obsah

1 Úvod 10

2 Cíl práce a metodika 11

3 Současné precizní zemědělství v rostlinné produkci 12

3.1 Vztah ke krajině a životnímu prostředí 12

3.1.1 Krajinné plánování 12

3.1.2 Životní prostředí 12

3.2 Prvky Průmyslu 4.0 14

3.2.1 Globální navigační satelitní systémy (GNSS) 14

3.2.2 Automatizované získávání dat 15

3.2.3 Bezpilotní prostředky (UAV) 17

3.2.4 Big data 18

3.2.5 Internet věcí 20

3.3 Aplikace prvků Průmyslu 4.0 v precizním zemědělství 22

3.3.1 Výnosové mapy 22

3.3.2 Aplikační mapy 23

3.3.3 Variabilní zpracování půdy 25

3.3.4 Variabilní setí 25

3.3.5 Variabilní hnojení 26

3.3.6 Ochrana rostlin 27

4 Současné precizní zemědělství v živočišné produkci 28

4.1 Welfare zvířat 28

4.2 Senzory v chovu skotu 29

4.2.1 Mastitidy 30

4.2.2 Plodnost 30

4.2.3 Onemocnění končetin a paznehtů 31

4.2.4 Metabolické poruchy 31

4.3 Robotické dojící systémy (RDS) 32

4.4 Robotika u drůbeže 33

5 Shrnutí a doporučení 35

6 Závěr 37

7 Citovaná literatura 38

Seznam obrázků

Obrázek 1 Fotografie dronem s kamerou pozemku s řepkou olejkou ozimou.....17
Obrázek 2 Součásti digitálního zemědělství 20
Obrázek 3 Využití Internetu věcí na polích.....22
Obrázek 4 Aplikační mapa pro hnojení.....24

Seznam tabulek

Tabulka 1 Diferencovaně prováděné zásahy v rámci precizního zemědělství a jejich významnost pro rostlinnou produkci a ochranu životního prostředí.....13

1 Úvod

Precizní zemědělství v rostlinné výrobě představuje moderní přístup k zemědělství, který využívá pokročilých technologií a analýz dat k maximalizaci výnosů a minimalizaci ztrát v zemědělské produkci. Tento přístup využívá řadu technologií, jako jsou například GPS (globální polohový systém), senzory, drony, robotika, umělá inteligence a další, které umožňují zemědělcům získat velké množství dat o půdě, klimatických podmínkách, stavu rostlin a dalších faktorech ovlivňujících výnosy.

Tyto technologie pak umožňují zemědělcům přesné dávkování hnojiv a pesticidů, řízení zavlažování, rozpoznávání škůdců a nemocí a další operace, které vedou k efektivnějšímu využití zdrojů a zvýšení produktivity. Tento přístup k zemědělství se také často nazývá „precision agriculture“ nebo „smart farming“.

Precizní (přesné) zemědělství je systém, který hospodáři uplatňují už desítky let. Avšak termíny jako „precision farming“ nebo „smart farming“ se začaly používat až ke konci minulého století (Rybka, & Šťastný, 1998).

Myšlenkou tohoto systému v rostlinné výrobě je opustit od vnímání pole jakožto homogenního systému a začít brát v úvahu přirozenou heterogenitu krajiny. Prerekvizitou jsou tedy podrobné informace o pozemku, které umožní adekvátní míru ošetření půdy a rostlin (Brant et al., 2020).

V živočišné výrobě je definováno jako „*využívání senzorů pro automatické měření fyziologických, behaviorálních (týkajících se chování) a produkčních parametrů jednotlivých zvířat, a využívání informačních a komunikačních technologií ke zpracovávání získaných informací, což ve výsledku spěje ke zlepšení strategií v řízení stáda a ke zvýšení ekonomického, společenského a environmentálního výkonu zemědělského podniku*“ (Bartoň, 2019).

Zde je myšlenka taková, že čím spokojenější budou chovaná zvířata, tím spokojenější budou chovatelé, dodavatelé i spotřebitelé. Principem je tedy monitorování zvířat v reálném čase, což umožní přesně stanovit individuální dávku krmiva, čas inseminace, identifikovat blížící se onemocnění nebo porod (Bartoň, 2019).

2 Cíl práce a metodika

Cílem mojí bakalářské práce je popis fungování systému precizního zemědělství s využitím prvků Průmyslu 4.0 v oblasti zemědělství, a to jak v rostlinné, tak i živočišné výrobě. Výsledkem bude přehled současných možností prvků „smart farming“ v zemědělské výrobě v podmínkách České republiky. Budou popsány výhody a nevýhody zavedení systému do praxe.

Metodikou je vypracování literární rešerše na zvolené téma.

3 Současné precizní zemědělství v rostlinné produkci

3.1 Vztah ke krajině a životnímu prostředí

Rostlinná produkce v České republice je prováděna hlavně v krajině. Zákonem je pojem krajina určen jako část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky (zákon č. 114/1992 Sb.). Z pohledu zemědělce je to však pouze prostor pro realizaci jeho produkce (Brant et al., 2020).

3.1.1 Krajinné plánování

S narůstajícím vlivem člověka na změny krajiny však dochází k potřebě stabilizace ekologických funkcí krajiny. To se stává dominantním limitujícím faktorem z hlediska krajinného plánování a dalšího rozvoje pro využití člověkem.

V krajinném plánování ve vztahu k zemědělství se považují za důležité následující cíle:

- Organizace pozemkového uspořádání je v souladu s cíli ochrany přírody
- Propojení zájmů obcí a zemědělců pro dosažení požadovaných změn. Berou při plánování v potaz potřebu turistiky a dalších faktorů přispívajících k rozvoji regionu.
- Eliminace půdních erozních procesů a podpora tvorby krajinných prvků, dopravní dostupnosti a vytváření vodních zdrojů, včetně zvýšení jejich přírodní funkce.
- Správná zemědělská praxe, která omezuje rizika znečištění podzemních a povrchových vod a stabilizuje vodní režim krajiny.
- Při projektování se počítá s výstavbou cestní sítě, zavlažovacích a odvodňovacích systémů (Brant et al., 2020).

3.1.2 Životní prostředí

V rámci ochrany životního prostředí z hlediska precizního zemědělství má největší přímý efekt variabilní aplikace pesticidů a hnojiv, jelikož nejsou aplikovány po celé ploše pozemku nebo alespoň ne ve stejné dávce. Další významné přímé přínosy ve vztahu

k přírodě při zachování velikosti produkce je snižování úniku nitrátového dusíku z ornice, snížení znečištění prostředí zbytky z přípravků na ochranu rostlin, omezení půdní eroze, snížení spotřeby pohonných hmot a další (Neudert, & Lukas, 2015).

Mezi nepřímé efekty související s používáním agrochemických látek a pohonných hmot patří např. snížení spotřeby neobnovitelných surovin a energie při výrobě hnojiv a pohonných hmot, snížení emisí skleníkových plynů, zvýšení biodiverzity v závislosti s aplikací pesticidů jen na kritických místech atd. (Neudert, & Lukas, 2015).

Tabulka 1 Diferencovaně prováděné zásahy v rámci precizního zemědělství a jejich významnost pro rostlinnou produkci a ochranu životního prostředí

Pěstební opatření	Výnosotvorný efekt	Význam pro	
		Rostlinnou produkci	Životní prostředí
Základní zpracování půdy	Hloubka	++	+
	Intenzita	+++	++
Setí	Příprava seťového lůžka	++	+
	Množství osiva	+++	++
	Distribuce rostlin po pozemku	++	0
	Hloubka setí	+++	0
Hnojení	Typ hnojiva	++	+++
	Dávka živiny	+++	+++
Ochrana proti plevelům	Způsob ochrany proti plevelům	0	++
	Výběr herbicidů	++	+++
	Postřiková dávka	+++	+++
Aplikace instekticidů/fungicidů	Typ zásahu	+	+++
	Výběr pesticidů	+	+++
	Postřiková dávka	+++	+++
Regulátory rostlinného růstu	Aplikační dávka	+++	++
Pracovní postup	Kontrola zásahu	+++	+
	Informační toky	+++	0
	Monitoring farmy	+++	+++

0 = bezvýznamný += slabý vliv ++ = střední vliv +++ = silný vliv

(Neudert, & Lukas, 2015)

3.2 Prvky Průmyslu 4.0

S příchodem čtvrté průmyslové revoluce se nevyhnutelně pojí i pokrok ve sběru a analýzy dat v precizním zemědělství. Je to dáno hlavně narůstajícími požadavky na zemědělce ve smyslu regulace používání agrochemických látek (např. hnojiva, přípravky na ochranu rostlin atd.). V rámci ekonomické prosperity by mělo být v zájmu zemědělce regulovat nepotřebné zásahy na půdním bloku vzhledem k výraznému navýšení pořizovací ceny právě těchto látek. K tomu nám mohou významně pomoci data, která můžeme získat a zpracovat pomocí prvků Průmyslu 4.0 („Agmatix", 2021).

3.2.1 Globální navigační satelitní systémy (GNSS)

Systémy určování polohy využívající umělých družic Země jsou obecně známé pod názvem Globální navigační satelitní systém (GNSS). Tyto systémy pracují na základě vyhodnocování rádiových signálů vysílaných družicemi a pasivně přijímaných GNSS přijímači. GNSS jsou globální navigační systémy, které umožňují určování polohy kdekoliv na Zemi.

V současné době dochází k výraznému nárůstu počtu uživatelů GNSS, kdy přijímače se stávají běžnou součástí automobilů i mobilních telefonů. Většina uživatelů potřebuje určení pozice s přesností na několik metrů, avšak existují aplikace, které vyžadují mnohem větší přesnost. Mezi takové aplikace patří například precizní zemědělství, kde je možnost určení polohy v řádu centimetrů klíčová pro dosažení výrazných úspor (Neudert, & Lukas, 2015).

3.2.1.1 GNSS v precizním zemědělství

Satelitní navigační systémy jsou využívány v rámci precizního zemědělství pro mnoho různých úkonů, přičemž každá aplikace má specifické nároky na přesnost určení polohy. Všechny typy GNSS přijímačů tak nacházejí své uplatnění v rámci precizního zemědělství.

Hnojení a mapování jsou příklady prací, které vyžadují nižší přesnost určení polohy, avšak i zde může mít vyšší přesnost pozitivní vliv na účinnost opatření. Na druhé straně automatické řízení zemědělských strojů vyžaduje nejvyšší přesnost, jako například pro zachování stejné stopy a minimalizaci poškození půdy. Pro tento účel je dokonce i přesnost určení polohy s odchylkou 5 cm stále považována za nezbytnou.

V současné době se používání navigačních systémů GPS v zemědělství stává standardem. Tyto systémy postupně nahrazují tradiční metody, jako jsou kotoučové znamenáky při setí, pěnové značkovače při postřikování nebo kolejové mezířádky. Díky navigačním systémům lze řešit problémy s navazováním pracovních jízd rozmetadel minerálních hnojiv. Systémy se také využívají pro navigaci pracovních souprav při podmítce, předseťové přípravě půdy a širokozáběrových sklízecích mlátiček. Tyto příklady ukazují, že lze navigační systémy GPS využít téměř při jakékoliv zemědělské činnosti.

Hlavní výhody polních navigátorů lze shrnout do těchto bodů:

- Snížení únavy řidiče – navigační systém snižuje úsilí potřebné k udržení stroje na správné trase.
- Zvýšení výkonnosti souprav – umožňuje vyšší pracovní rychlost, snadnější a rychlejší otáčení na souvratích.
- Výrazné omezení překryvů a vynechání.
- Možnost efektivní práce přes noc.
- Vyšší bezpečnost práce.
- Vyšší kvalita práce – řidič se může zaměřit na kontrolu kvality práce (Neudert, & Lukas, 2015).

3.2.2 Automatizované získávání dat

3.2.2.1 Pozemní průzkum

Systémy pro pozemní (kontaktní) průzkum se dělí na dvě skupiny. První skupina jsou metody, které za pomoci senzorů jsou schopny rozlišit na půdním bloku množství biomasy a podle toho otevřít nebo uzavřít trysky postřikovače. Jedním z příkladů těchto metod je senzorová detekce, kdy se trysky postřikovače automaticky otevřou, když je překročený stanovený limit zelené vegetace na půdě. V praxi je tato technika snadno uplatnitelná z důvodu jednoduchosti a cenové dostupnosti. Nedokáže však rozeznat plevel od plodiny, a proto se dá používat jen v meziporostním období nebo v mezířádcích širokořádkových plodin (Hamouz, 2014) (Brant et al., 2020)

Druhou skupinou je celá řada metod zahrnujících podrobnou digitální analýzu obrazu. Tyto metody umožňují pomocí odpovídajících algoritmů odlišit plevele od plodiny a některé dokonce umožňují i stanovit druh plevele. Také díky georeferenci a ukládání snímků

umožňují dodatečnou analýzu snímků a vytváření map. Tyto postupy jsou však zdlouhavé a v praxi se zatím neuchytily (Hamouz, 2014).

3.2.2.2 Dálkový průzkum

Z hlediska dálkového průzkumu existuje více možností, jak získávat data o zaplevelení půdního bloku, jako jsou například satelitní snímky, letecký či vrtulníkový monitoring nebo drony. Rozlišení satelitních snímků je však pro časné zachycení plevelů nedostačující, a navíc může být získávání snímků omezeno i oblačností. Proto je v současné době nejvhodnější monitoring pomocí dronů, které mají oproti letadlům či vrtulníkům nižší provozní náklady, malou letovou výšku a tím pádem možnost vysokého rozlišení snímků (Brant et al., 2020).

Většina metod pro dálkový průzkum používá pro detekci vegetace oblast elektromagnetického spektra v rozmezí od 400 do 2500 nm. Významné rozdíly ve spektrální odrazivosti vegetace a půdy lze nalézt hlavně v červeném a NIR (near infrared radiation – blízké infračervené záření) pásmu. U dálkového průzkumu se obvykle snímkuje celý pozemek, a proto odpadá riziko nedostatečné intenzity vzorkování (Hamouz, 2014).

Ukázkou nezpracovaného výstupu z dálkového průzkumu Země je monitoring ohnisek hraboše polního (vprostřed a vlevo dole) a slimáčka síťkovaného (vpravo nahoře) (obr. 1). Dálkovým průzkumem je tedy možno zkoumat i jiné škůdce než plevele.

Obrázek 1 Fotografie dronem s kamerou pozemku s řepkou olejkou ozimou

(foto Ing. Václav Buben)

Mezi další možnosti dálkového průzkumu se řadí optické senzory, které jsou obvykle umístěny přímo na strojích pohybujících se po poli. Těmito senzory se nejčastěji zjišťuje výživný stav porostu, kdy se uplatňuje zejména viditelná a blízká infračervená oblast vlnových délek (Lukas et al., 2011).

3.2.3 Bezpilotní prostředky (UAV)

Nejvýznamnější z těchto technologií pro získávání agronomických dat jsou drony s termokamerou, hyper-spektrální nebo multispektrální kamerou („Telink", n. d.). Sběr dat pomocí těchto bezpilotních letounů je bezkontaktní. V tom spočívá jejich obrovská výhoda, protože oproti kontaktnímu sběru dat neničí rostliny a nedochází k utužování půdy (Brant et al., 2020).

3.2.3.1 Využití dronů

„Bezpilotní letecké prostředky, známé také jako drony (z anglického „drone"), jsou letecké prostředky bez posádky na palubě, které jsou ovládány manuálně na dálku nebo

mohou létat automaticky dle předem nadefinovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů“ (Karas, & Tichý, 2016).

Ještě před setím je možné vytvořit pomocí dronu přesnou 3-D mapu pro analýzu kvality půdy, ze které lze upravit výsevek, popřípadě rozteč řádků, hloubku setí apod. Po následném zasetí a opětovném provedení půdní analýzy je možné získat data o stavu půdního dusíku či potřebě zavlažování (Ahirwar & Swarnkar & Bhukya, & Namwade, 2019).

Bezpilotní letadla mohou skenovat prostor pod sebou a postřikovat jen nutnou dávku kapaliny. Výsledkem je zvýšená efektivita s redukcí množství chemikálií pronikajících do spodní vody. Ve skutečnosti odborníci odhadují, že letecké postřikování může být až pětkrát rychlejší pomocí bezpilotních letadel než s tradičními stroji. Nicméně dnes se zatím využívají pouze pro malé plochy.

Drony s hyperspektrálními, multispektrálními nebo termálními senzory mohou identifikovat části pole, které jsou suché nebo potřebují ošetření. Kromě toho, jakmile plodina vyroste, umožňují drony výpočet vegetačního indexu, který popisuje relativní hustotu a zdraví plodin a zobrazují množství energie nebo tepla, které plodina vydává.

Je nezbytné posoudit zdraví plodin a identifikovat bakteriální nebo houbové infekce. Skenováním plodiny pomocí viditelného a blízkého infračerveného světla mohou zařízení nesená drony identifikovat, které rostliny odrážejí různé množství zeleného světla a NIR světla. Tato informace může produkovat multispektrální obrazy, které sledují změny v rostlinách a ukazují jejich zdravotní stav (Ahirwar & Swarnkar & Bhukya, & Namwade, 2019).

3.2.4 Big data

Technologie velkých dat hrají v digitální revoluci v zemědělství klíčovou roli. V době digitálního zemědělství jsou stroje vybaveny všemi různými druhy senzorů, aby mohly měřit data v okolí. Díky analýze těchto dat lze generovat algoritmy hlubokého učení a chování strojů.

Velká data jsou definována jako techniky, které vyžadují integrační formy pro rozpoznání nepoznaných hodnot z velkých, různorodých a složitých datových sad. Velká data umožnují zemědělcům zobrazovat všechny produkční parametry provozů v reálném čase a zlepšovat procesy rozhodování. Data z interních zdrojů mají pákový efekt, pokud jsou

integrována s daty z externích zdrojů velkých dat, jako jsou například tržní data nebo data o konkurenci.

Proces produkce dat se skládá ze tří etap:

- Data orientovaná na proces z tradičních operačních systémů, související s činnostmi podniku, jeho zákazníků a provozu.
- Data generovaná stroji, odvozená z internetu strojů nebo objektů, získaná z mnoha senzorů používaných k zaznamenávání a měření zemědělských aktivit. Rozsah dat zahrnuje jednoduché záznamy senzorů, ale i složité počítačové záznamy.
- Data získaná člověkem, skládající se z osobních zkušeností, které jsou subjektivně interpretovány. Do této kategorie patří data ze sociálních médií, osobní blogy a komentáře, fotografie a videa (Ozdogan & Gacar, & Aktas, 2017).

Více přístupné zemědělské informace vedou k většímu sběru dat a umožňují hlubší pochopení. Tento cyklus vychází z nashromáždění více dat a rozvoje intenzivnějšího zemědělského znalostního základu během let. V posledních letech se možnosti analýzy zemědělských dat a senzorických dat rozšířily s využitím variačních statistických metod a strojového učení umělé inteligence.

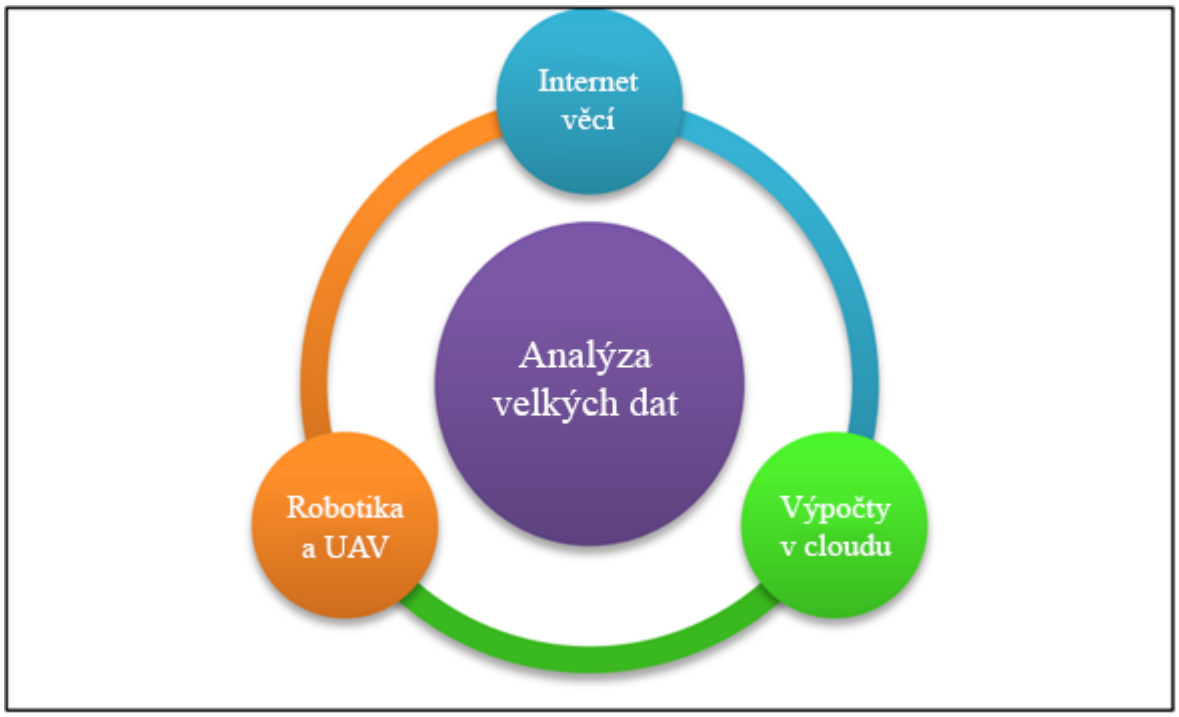
Výpočty v cloudu neboli „cloud computing“ jsou základní infrastrukturou, která umožňuje inteligentní implementace precizního zemědělství, jako jsou různé výpočty, software, přístup k datům a služby pro ukládání dat. Díky cloudovému počítání mohou být velká množství dat uložena s nízkými náklady na investice a je umožněn okamžitý přístup k těmto datům.

Cloud computing přispívá do zemědělského sektoru širokou škálou implementací:

- Monitorování v reálném čase a navigace v zemědělské výrobě: Díky cloud computingu lze zemědělské výrobní procesy neustále sledovat, kontrolovat a v případě potřeby do nich zasáhnout.
- Systém správy farmy: Cloudové systémy pro správu farem umožňují zemědělcům nezávisle vkládat data do systému, a tak mohou být manažerská rozhodnutí stále aktuální.

- Tok dat z externích zdrojů: Cloud computing umožňuje okamžité získávání informací o počasí a dalších klimatických podmínkách, které mohou být potřebné během zemědělských aktivit (Ozdogan & Gacar, & Aktas, 2017).

Obrázek 2 Součásti digitálního zemědělství



(Ozdogan & Gacar, & Aktas, 2017)(upraveno autorem)

3.2.5 Internet věcí

Důležitým aspektem při fungování Zemědělství 4.0 je IoT (Internet of things – Internet věcí). O tom, co Internet věcí je a co umožňuje, je možné dohledat několik výkladů, nicméně všeobecně je možné říci, že umožňuje uživatelům a sdíleným objektům sdílení informací hladkým a automatizovaným způsobem. (Burian, 2014)

Internet věcí má pro precizní zemědělství především tyto významy:

- Přenos velkého množství získávaných dat, jako jsou například: povětrnostní podmínky, kvalita půdy, růstové stádium plodiny atd.
- Lepší kontrola nad interními procesy, s čímž se pojí schopnost předvídat výsledky produkce a možnost plánování na další rok.
- Řízení nákladů a snížení plýtvání díky zvýšené kontrole nad výrobou, jelikož je možné pozorovat jakékoli anomálie v růstu plodin.

- Zvýšená efektivita podnikání díky automatizaci procesů. Použitím chytrých zařízení je možné automatizovat procesy v celém cyklu výroby, například při zavlažování, hnojení nebo ochraně rostlin.
- Zlepšení kvality a objem produktu, dosažení lepší kontroly nad výrobním procesem a udržování vyšších standardů kvality plodin díky automatizaci. (Aleksandrova, 2018)

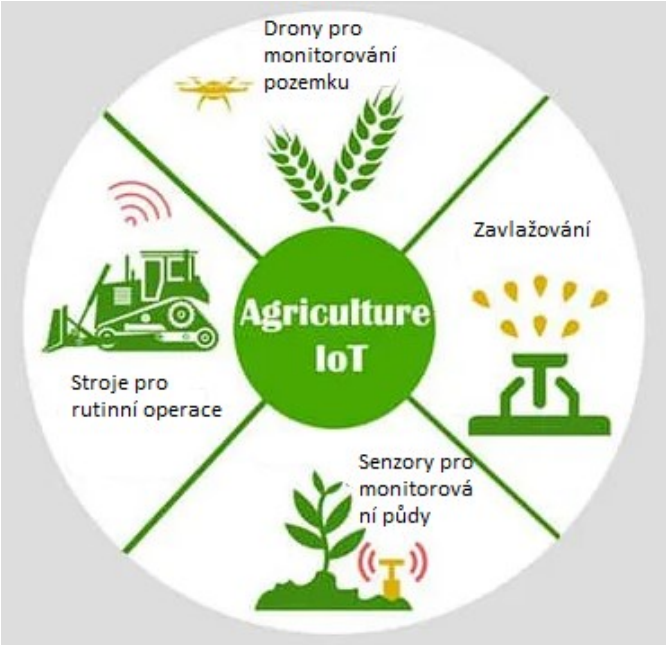
Využití IoT v zemědělství zlepší funkčnost stávajících nástrojů tím, že fyzický svět se stane součástí informačního systému pomocí pokročilých sítěmi propojených inovativních systémů. S kombinací informací z různých senzorů a RFID (radio frequency identificaion – identifikace na rádiové frekvenci) má IoT neomezený potenciál v oblasti monitorování skleníků, zvířat a zemědělské techniky.

Pomocí senzorových sítí lze v zemědělství navázat spojení s Internetem věcí, což umožňuje vznik zemědělství bez ohledu na geografické rozdíly mezi vědci, zemědělci a plodinami. Technologie IoT umožňuje efektivní využití zdrojů tím, že producentům umožňuje časné a vhodné rozhodování s reálnými a přesnými daty.

Internet věcí podporuje zemědělské podniky dostatkem dat k výpočtu, kolik pšenice lze v konkrétní oblasti vypěstovat při určitém množství semen, hnojiva, vody a složení půdy a počasí. Zemědělské podniky mohou připravit přesné dávky pro výrobu, aby zvýšily výnos pomocí propojených inteligentních strojů a cloud computingu založeném na softwaru pro analýzu velkých dat (Ozdogan & Gacar, & Aktas, 2017).

Využití Internetu věcí v zemědělství je názorně zobrazeno graficky (viz obr. 3).

Obrázek 3 Využití Internetu věcí na polích



(Bispendra, 2021)(upraveno autorem)

3.3 Aplikace prvků Průmyslu 4.0 v precizním zemědělství

3.3.1 Výnosové mapy

Sklízecí technologie nyní umožňuje monitorování výnosů sklizené plodiny na celém poli a zaznamenání těchto údajů na mapu. Tyto informace jsou velmi cenné pro optimalizaci zemědělských postupů s ohledem na výnosové rozdíly na jednotlivých částech pole. Před použitím výnosových map však musí být záznamy zpracovány, protože jsou ovlivněny mnoha faktory. Je nutné odstranit chybové, nepřesné a extrémní hodnoty, které jsou způsobeny nesprávným záznamem polohy, průjezdem přes překážky a otáčením stroje apod.

Zpracované výnosové záznamy mohou být významným nástrojem pro popis plošné variability pozemků v precizním zemědělství. Tyto záznamy nejen umožňují vyhodnocení a grafické znázornění ekonomické efektivity pěstování, ale také slouží k výpočtu bilance živin v jednotlivých částech pozemků, na základě úrovně odběru živin odvezené produkcí. Zásadní je však vymezení tzv. produkčních zón, což se dělá kombinací výnosových záznamů z víceletých období. Tímto způsobem lze zhodnotit variabilitu výnosových úrovní a identifikovat nadprůměrně či podprůměrně výnosné oblasti včetně procentuálního vyjádření vůči průměrnému výnosu plodiny. K tomu je nejprve nutné přepočítat výnos zrna

na procentuální hodnotu, která je vztahována k průměrné hodnotě pozemku, což umožňuje srovnání výnosů mezi různými druhy plodin. Následně se vypočte střední hodnota ze všech dostupných výnosových map v relativním vyjádření pro každou jednotku plochy (pixel).

Pokud nejsou k dispozici výnosové záznamy, lze produkční zóny stanovit pomocí dat z dálkového průzkumu, nejčastěji z družicových multispektrálních snímků. Multispektrální snímky se od výnosových záznamů liší tím, že neobsahují informaci o dosaženém výnosu, ale umožňují identifikovat rozdíly v rozložení relativního výnosu na základě analýzy stavu vegetace pomocí spektrálního měření a vegetačních indexů. Tato metoda se běžně využívá pro určení produkčních zón a může být užitečná i v případě nedostatku výnosových záznamů (Lukas, 2021).

3.3.2 Aplikační mapy

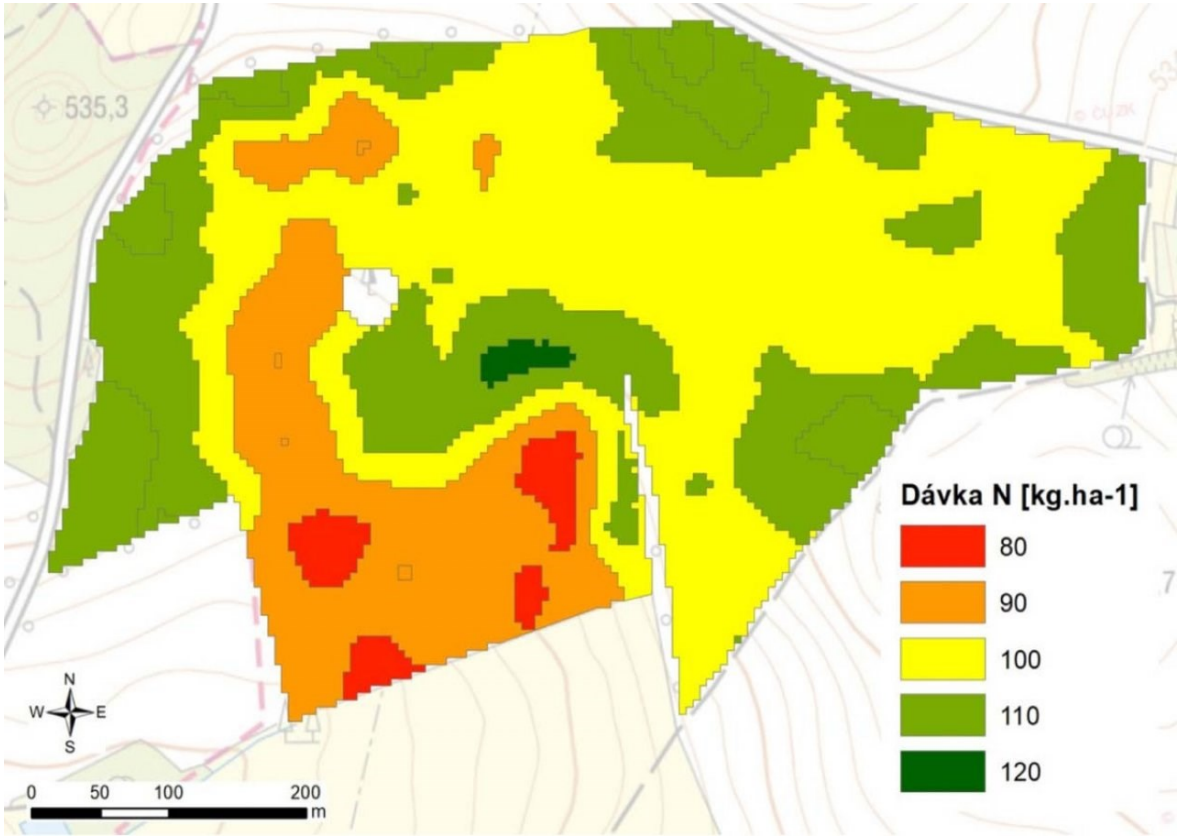
Na základě dat získaných průzkumem pozemku je možné vytvořit aplikační mapy, které definují, které části pozemku budou agrochemickými látkami ošetřeny a které naopak vynechány. Po zjištěné hustotě druhu nebo skupiny plevelů je nutné určit práh škodlivosti, na kterém bude založeno rozhodování o aplikaci látek postřikovačem (Hamouz, 2014).

3.3.2.1 Aplikační mapy pro hnojení

Při stanovení úrovně zásobního hnojení je nutné brát v úvahu dosaženou produkci (výnosové mapy) a obsah přístupných živin (P, K, Mg, Ca) v půdě, aby bylo možné pokrýt odběr živin a zajistit optimální hnojení. Distribuce dávek hnojiv je pak určena výnosovými rozdíly, jelikož odběr živin se může výrazně lišit a ovlivnit zásobu živin v půdě.

Pro stanovení dávky živin P, K a Mg se využívá bilanční metody, při které jsou do půdy vráceny živiny, které byly odebrány sklizenými plodinami. Prvním krokem je stanovení normativní dávky, která zohledňuje úroveň výnosů z výnosových map nebo vymezení zón s relativním výnosovým potenciálem z družicových dat. Následně se normativní dávka upraví na základě hodnocení obsahu přístupných živin, které je získáno z půdního vzorkování a optimalizované pomocí metod senzorového mapování půdy. Posledním krokem je upřesnění bilance živin, kdy se zohlední odběr živin z výnosových map poslední sklizně a přísun živin z aplikace minerálních nebo organických hnojiv v uplynulém období (Lukas, 2021).

Obrázek 4 Aplikační mapa pro hnojení



(Lukas, 2021)

3.3.2.2 Ekonomické prahy

Nejpoužívanějším prahem škodlivosti je ekonomický práh. Za ten je považována taková hustota zaplevelení, při které se náklady na herbicidní ošetření rovnají ekonomickému přínosu tohoto ošetření. Při výpočtu tohoto prahu je třeba zohlednit jak výnosovou ztrátu způsobenou konkurencí plevelů, tak i ostatní ekonomické přínosy ekonomického zásahu jako např. usnadněná sklizeň plodiny a vyšší čistota sklizeného produktu (Hamouz, 2014).

3.3.2.3 Dlouhodobé prahy škodlivosti pro precizní zemědělství

Prahy vhodné pro precizní zemědělství vychází z dlouhodobých prahů, kdy zohledňují populační dynamiku plevelů a počítají se ztrátami způsobenými vysemeněním plevelů na neošetřených plochách, avšak měly by zohledňovat některá další specifika. Při variabilní aplikaci herbicidů je pozemek rozdělen na malé části (tzv. aplikační buňky), kdy by hodnota

použitého prahu měla zohledňovat nejen nárůst plevelů v aplikační buňce, ale také možnost snadného přenosu semen plevelů do vedlejších buněk např. větrem, sklizní nebo zpracováním půdy. Bohužel vzhledem ke komplikovanosti stanovení těchto prahů nejsou doposud k dispozici ani pro základní plodiny (Hamouz, 2014).

3.3.3 Variabilní zpracování půdy

V současné době se prvky precizního zemědělství využívají především při aplikaci hnojiv a pesticidů a při měření výnosů. I když některé prostorově proměnlivé zásahy, které berou v úvahu heterogenitu prostředí a polohu strojů, již nacházejí uplatnění, energeticky velmi náročné zpracování půdy se většinou stále provádí jednotně. Jedním z důvodů může být nedostatečná signalizace, která by upozornila na změny agrofyzikálních vlastností půdy. Pro využívání technologie precizního zemědělství je však potřebná znalost variability fyzikálních a chemických vlastností půdy.

Moderní přístup k hospodaření, který vychází z praktické variability uvnitř pole na základě půdních nebo prostorových vlastností, je hospodaření podle prostorové variability. Na druhé straně konvenční způsob obhospodařování pole předpokládá, že je homogenní a používá stejný postup pro celý pozemek. Tento způsob může být neúčinný kvůli příliš intenzivnímu nebo nedostatečně intenzivnímu zpracování některých částí pozemku, což může zvýšit náklady, snížit čistý zisk a přispět k povrchové a podpovrchové ztrátě vody a marněné energii.

Pro popis prostorových závislostí na základě měření je potřeba zajistit dostatečnou hustotu vzorkování. Existuje několik možností, jak popsat prostorové vlastnosti půdy. Bodový odběr je často používanou metodou, ale informace získané pomocí bodového odběru vzorků často nelze použít ke zhodnocení prostorové variability. Měření elektromagnetické indukčnosti a tahové síly lze využít k mapování půdních vlastností, jako jsou zrnitost, struktura půdy, dostupnost vody a pohyb vody (Neudert, & Lukas, 2015).

3.3.4 Variabilní setí

Cílem setí je rozložit semena na pozemku takovým způsobem, aby rostliny měly během svého růstu optimální podmínky a aby byla sklizeň co nejjednodušší z technologického hlediska. Pro dosažení tohoto cíle se používá konkrétní množství semen, které jsou rozmístěny na ploše. Systémy určování polohy nejen navigují secí stroj, ale také

propojením řídícího počítače s polohovým systémem rozhodují o tom, kde na pozemku se má vysít a jaké množství semen se má použít. Tím se dosahuje variabilního výsevku semen (Neudert, & Lukas, 2015).

Pokroky v technologii setí pro implementaci VRS (variable rate seeding – variabilní výsevek semen) umožňují lepší využití variability půdy. VRS umožňuje přizpůsobit populaci variability pole a pomáhá zajistit přesnou produkci v poli, aby se snížily chyby v procesu setí. Dalším důležitým aspektem je, že zájem o VRS po celém světě roste díky interakci těchto technologií s aktuálními cenami osiva. Optimalizovaná rostlinná populace může zlepšit výnosy plodin a zároveň maximalizovat zisky farmy. Metoda specifického výsevu na místě, kdy je použita proměnná výsevní rychlost pro každou oblast pole zvlášť, umožňuje optimalizovat hustotu plodin s ohledem na nejlepší agronomický a ekonomický efekt. V současné době se k určení variability půdy a plodin používají různé proximální a vzdálené senzorové systémy, kontaktní a bezkontaktní zařízení, mapovací a VRS modelovací technologie. VRS závisí na dobré znalosti charakteristik pole, schopnostech secího stroje, plánovaném výnosu plodin, produktivitě půdy a pochopení interakce strojové technologie s prostředím. Dálkové a pozemní senzory, umístěné na traktorech nebo terénních vozidlech, pomáhají vytvářet mapy polí s proměnlivými vlastnostmi. Přesnost těchto map a správné přiřazení zón pro správu půdy na poli jsou důležitými podklady VRS (Šarauskis et al., 2022).

Variabilní setí však není pouze o změně výsevku. Dalším z významných parametrů je variabilní hloubka setí, avšak dodnes stále není v systémech precizního zemědělství používána (Brant et al., 2020).

3.3.5 Variabilní hnojení

Abychom zaručili dostatečný přísun živin pro růst plodin a dosáhli požadovaného výnosu a kvality produkce, je nutné použít vhodné hnojivo. Při stanovení dávky hnojení je třeba vzít v úvahu různé faktory, jako jsou půdní a klimatické podmínky, předchozí plodina, organické hnojení, úpravy půdy a závlaha, a také legislativní a ekologická omezení.

Pro stanovení potřeby hnojení se často používá tzv. bilanční princip nahrazovacího hnojení, který bere v úvahu množství živin, které jsou odstraněny z pozemku sklizenými plodinami a množství živin, které jsou k dispozici v půdě (podle výsledků Agrochemického zkoušení zemědělských půd - AZZP) nebo v použitých hnojivech.

Při stanovení potřeby dusíku je třeba brát v úvahu také dusík, který je přítomen v půdě, dodávaný organickými hnojivy a přijímaný z předchozích plodin čeledi bobovité. Pro stanovení množství dusíku v půdě se používají stanovištní půdní a klimatické podmínky, předpokládaná intenzita mineralizace během vegetace a množství vytvořeného minerálního dusíku, který je přístupný rostlinám.

Pro efektivní využití dusíkatých hnojiv je doporučena jejich variabilní aplikace (Lukas, 2012).

3.3.6 Ochrana rostlin

Při aplikaci herbicidu pomocí ohniskové metody se aplikuje pouze tam, kde jsou přítomny plevele. Existují dva způsoby, jak tuto metodu uplatnit. První způsob zahrnuje předem mapování plevelů na pozemku pomocí globálních pozičních systémů (GPS) a geografických informačních systémů (GIS) tak, aby bylo možné přesně specifikovat místo aplikace herbicidu. Tento postup začíná vytvořením digitální mapy pozemku s rozmístěním plevelů, kterou palubní počítač postřikovače vyhodnocuje. Následně se pomocí družicového signálu realizuje diferencovaná ochrana. Nevýhodou této metody je její pracnost a časová náročnost v případě, že je monitoring plevelů prováděn formou fytocenologických snímků. Proto se hledají méně pracné alternativy. Lze použít také letecké snímky s velkým rozlišením k mapování hustoty zaplevelení. Tyto metody však ne vždy poskytují dostatečně přesné výsledky. U vytrvalých plevelů se však zdají být perspektivní, protože mají charakteristický ohniskový výskyt a v prostorovém rozmístění se příliš nemění z roku na rok. Na druhé straně u jednoletých plevelů je výskyt ovlivněn různými faktory, jako jsou povětrnostní podmínky, zpracování půdy a pěstovaná plodina. V takovém případě je nutné mapování provádět vždy před plánovaným herbicidním ošetřením, což se v dnešní době provádí pomocí dronů (Neudert, & Lukas, 2015).

4 Současné precizní zemědělství v živočišné produkci

Jedním z možných současných řešení je kontrola a úprava prostředí ve stáji. Metody pro sledování stád se rozvíjejí v souladu s rozvojem fyziologie, reprodukce a užitkovosti. Tyto metody zahrnují sběr, zpracování a analýzu dat, což zvyšuje požadavky na odbornou pracovní sílu, která vyžaduje specializovaný software a znalosti pro práci s daty a jejich interpretaci. S ohledem na nedostatek pracovní síly v zemědělství se firmy a výzkumníci zaměřují na vývoj moderních technologií, které pomáhají omezovat lidskou práci a minimalizovat lidské chyby. V chovu skotu se již před několika desetiletími začalo s využitím technologií jako je například automatický systém pro kontrolu prostředí ve stájích, krmné boxy pro identifikaci zvířat a měření denního nádoje v dojírně pro sledování užitkovosti. Tyto technologie jsou v současné době běžně využívány a rozšiřují se i o další, jako jsou meteostanice pro řízení ventilace a bočních plachet ve stájích, senzory na obojku nebo pedometry pro identifikaci dojnic a sledování jejich pohybové aktivity včetně detekce říje. Tyto senzory jsou v dnešní době již běžné v moderním chovu dojnic a umožňují automatizované sledování zdraví zvířat a jejich reprodukčních cyklů (Ježková, 2021).

4.1 Welfare zvířat

Welfare (pohoda) zvířat je stav, kdy se organismus zvířete snaží vyrovnat s prostředím, ve kterém žije. Welfare může být definován jako stav naplnění všech materiálních a nemateriálních podmínek, které jsou předpokladem zdraví organismu a kdy zvíře žije v souladu se svým životním prostředím. To zahrnuje nejen splnění základních podmínek života a zdraví zvířat, ale také ochranu před fyzickým i psychickým strádáním a týráním (Malá, 2019).

Pro pochopení podstaty welfare zvířat je třeba provést podrobnou analýzu všech faktorů, které na zvířata působí. Podle Farm Animal Welfare Council (FAWC) zahrnuje welfare zvířat jak fyzickou zdatnost, tak i pocit spokojenosti, což je mnohem více než pouhé vyloučení utrpení, jak někteří autoři interpretují. Hlavní zásady, jak zajistit zvířatům život v podmínkách welfare, jsou formulovány do následujících oblastí:

- odstranění hladu, žízně a podvýživy,
- odstranění fyzikálních a tepelných faktorů nepohodlí,

- odstranění příčin vzniku bolesti, zranění a nemocí,
- možností projevů normálního chování,
- odstranění strachu a deprese
- možnost vykonávat svobodně a osobně kontrolu nad vlastní životní pohodou.

Naplňování těchto koncepcí umožňuje zvířatům chovat se přirozeně a uspokojovat své fyziologické a psychické potřeby. Pokud jsou vystaveny stresujícím podnětům, jako je změna klimatu, přesun do jiné technologie nebo narušení biorytmu, zvířata se snaží prostřednictvím adaptačních mechanismů (adaptability a habituace) minimalizovat negativní dopad stresorů na jejich organismus a vyhnout se strádání a utrpení (Filipčík, 2019).

4.2 Senzory v chovu skotu

S rostoucím trendem precizního zemědělství se objevuje stále více metod monitorování a senzorů. To znamená, že chovatelé mají k dispozici mnoho technologií, které mohou implementovat do svého chovu. Nicméně mnozí se v současných technologických novinkách poněkud ztrácejí a celý systém trpí nedostatkem zpětné vazby od uživatelů ohledně toho, jaké technologie přijímají a jak vnímají měřené parametry. V americkém průzkumu provedeném mezi 109 chovateli s různě velkým chovem bylo zjištěno, že nejčastěji měřenými parametry již zavedených technologií jsou denní užitkovost, aktivita zvířat, parametry sloužící pro detekci mastitidy a složky mléka. Chovatelé považovali za nejvíce přínosné parametry detekci mastitidy, sledování říje, denní produkci mléka, aktivitu zvířat a teplotu.

Obecně lze senzory rozdělit do dvou kategorií: senzory umístěné na zvířeti a senzory umístěné mimo zvíře. Senzory umístěné na zvířeti lze dále rozdělit na ty, které jsou uchyceny na povrchu těla zvířete (on-cow) a ty, které jsou uvnitř zvířete (in-cow). Senzory, které jsou mimo tělo zvířete (off-cow), jsou takové, kterými nebo okolo kterých kráva prochází (např. automatická váha). Existují dvě specifické formy takovýchto senzorů: on-line senzory a in-line senzory. V případě měření složek mléka in-line senzory provádějí analýzu mléka kontinuálně v průběhu dojení, zatímco on-line senzory si automaticky vytvářejí vzorky mléka, které dále analyzují. Oba typy senzorů, in-line i on-line, mohou hypoteticky analyzovat i jiné tělní tekutiny, například sliny nebo vaginální hlen, nicméně v praxi se

v současné době zavedena pouze analýza mléka. Do systému přesného zemědělství patří také automatické dojící systémy (dojící roboty), které samy o sobě mohou využívat širokou škálu senzorů, např senzory pro hodnocení kvality mléka nebo automatickou váhu (Bartoň, 2019).

4.2.1 Mastitidy

Detekce mastitid je obvykle prováděna pomocí in-line senzoru měřícího elektrickou konduktivitu mléka (EC), která se zvyšuje v mastitidním mléce díky většímu množství sodných a chloridových iontů. Avšak zvýšená EC může být způsobena i tkáňovým zánětem obecně, což ztěžuje rozlišení mastitidy od jiných zánětů. Proto často není pozorován vztah mezi zvýšenou EC a počtem somatických buněk (PSB) v mléce. Účinnost detekce klinických mastitid se zlepšuje, když se použijí senzory měřící PSB (odhadnuté na základě viskozity mléka) společně s EC, což může být až třikrát účinnější než použití pouze EC. Senzitivita těchto senzorů (schopnost úspěšně identifikovat přítomnost mastitidy) se pohybuje mezi 55 a 89 % a specifita (schopnost přesně identifikovat nepřítomnost mastitidy) mezi 56 a 99 %. Tyto senzory mají obvykle buď vysokou specifitu a nízkou senzitivitu, nebo naopak. Bohužel v současné době neexistuje senzor, který by měl jak vysokou specifitu, tak senzitivitu (Bartoň, 2019).

4.2.2 Plodnost

V minulosti se detekce říje u skotu prováděla zkušenými chovateli, kteří vyhledávali vizuální příznaky estru. Úspěch tohoto tradičního přístupu závisel na schopnostech pozorovatele a na čase, který měl k dispozici pro sledování stáda. V mnoha případech se příznaky říje objevily v noci, kdy zvířata nebyla sledována. Přesné určení říje je však nezbytné, protože neúspěšná inseminace může způsobit náklady na další inseminaci a sníženou pravděpodobnost početí po jedné inseminaci. Navíc reinseminace v rané fázi březosti mohou způsobit iatrogenní embryonální mortalitu (tj. poruchu způsobenou léčebným zákrokem nebo intervencí).

K detekci říje se nejčastěji používají senzory, které měří aktivitu krav, hladinu progesteronu v mléce nebo radiotelemetrické senzory, které detekují typické chování v říji (například skákání nebo ochotu k páření). Senzory pro měření aktivity jsou umístěné přímo na krávě, buď na její končetině (pedometry měřící počet kroků, počet vstávání a ulehnutí) nebo na krku či ušním boltci (3-D akcelerometry měřící počet kroků, monitorující

přežvykování – sledující ruminační pohyby a příjem krmiva). Mezi on-line systémy patří např. senzor pro měření mléčného progesteronu (Bartoň, 2019).

4.2.3 Onemocnění končetin a paznehtů

Obvyklým způsobem, jak detekovat problémy s paznehty a končetinami zvířat, je vizuální kontrola, avšak tato metoda je náchylná k subjektivitě a podle některých studií zachytí pouze 25 % případů laminitidy. Častěji se používají pedometry a akcelerometry, které dosahují vysoké senzitivity a specificity (více než 80 %), pro detekci onemocnění paznehtů a končetin. Pro automatickou detekci kulhání je součástí dojících robotů systém sestávající z čtyř tenzometrů, které umožňují měřit zátěž na každé končetině zvířete. Kromě hmotnosti a rozložení hmotnosti mezi končetinami dokáže systém také vyhodnotit počet kopů každé končetiny a na základě toho určit, u které z nich zvíře pravděpodobně trpí bolestí (Bartoň, 2019).

4.2.4 Metabolické poruchy

Metabolické poruchy u krav jsou běžným problémem, kterými jsou ketóza, jednoduchá bachorová indigeste, subakutní ruminální acidóza (SARA) a levostranná dislokace slezu. Tyto poruchy lze diagnostikovat pomocí různých parametrů, jako jsou pH bachorové tekutiny, tělesná teplota, teplota v bachoru, koncentrace ketolátek v krvi nebo mléce, složení mléka, ruminační pohyby a celková aktivita krav. In-cow senzory, jako senzor pro měření pH bachorové tekutiny a teploty bachoru, se používají pro detekci těchto poruch. Složky mléka lze sledovat pomocí in-line senzorů a ketolátky z mléka jsou vyhodnocovány on-line systémy.

Radiotelemetrický senzor umístěný přímo v bachoru umožňuje spolehlivě a přesně diagnostikovat bachorovou acidózu pomocí měření pH bachorové tekutiny. Současně s poklesem pH bachorové tekutiny stoupá také teplota v bachoru, ale tato změna teploty není pro diagnostiku SARA specifická. Existuje obava, že zavádění těchto senzorů může být příliš invazivní a negativně ovlivnit welfare zvířat, a proto je nutné, aby jejich instalaci prováděli pouze odborníci s dostatečnou zkušeností. Kromě toho lze bachorovou acidózu diagnostikovat měřením poměru obsahu mléčného tuku k proteinu (T:P), kdy hodnota nižší než 1 obvykle indikuje SARA.

Poruchy, jako je ketóza, levostranná dislokace slezu nebo bachorová indigesce, mohou být zjištěny na základě snížení denní aktivity, a to již sedm až deset dní před projevem klinických příznaků. Sledování a hodnocení denní aktivity se stává velmi užitečným nástrojem pro diagnostiku poruch v tranzitivním období a jejich prevenci před tím, než dojde k poklesu mléčné produkce a projevům klinického onemocnění. Pokles ruminačních pohybů může také naznačovat určité zdravotní problémy, ale není specifický a pouze naznačuje, že zvíře je pravděpodobně nemocné, ale nedokáže poskytnout konkrétní diagnostiku (Bartoň, 2019).

4.3 Robotické dojící systémy (RDS)

V současných moderně koncipovaných dojírnách je základní výbavou zařízení pro identifikaci dojnic. U každé dojicí soupravy jsou procesory řízené systémy, které dokážou spouštět stimulaci před dojením, automaticky ovládat pulzaci, monitorovat průběh dojení včetně jeho regulace, řídit automatiku pro dodojení, přesně měřit množství nadojeného mléka, odebírat zkušební vzorek a kontrolovat jeho kvalitu (konduktivitu), automaticky snímat dojicí soupravu, ovládat sanitaci systému a následně veškeré údaje předávat řídícímu počítači (Knížková, 2011).

Automatické dojení mění mnoho aspektů správy farmy, protože se mění jak povaha práce, tak organizace práce. Manuální práce je částečně nahrazována správou a kontrolou, a přítomnost obsluhy v pravidelných dojicích časech již není potřebná. Správa krav, včetně trasy uvnitř stáje, příležitosti pro pastvu a použití kompletně smíchaných krmných dávek, je změněna. Vysoká úroveň řízení a realistická očekávání jsou nezbytná pro úspěšné přijetí automatického dojení.

Když kráva vstoupí do dojicí stanice (podnícena vysoce chutným krmivem v dojící stanici), snímač identifikace přečte identifikační štítek krávy. Tyto údaje jdou do počítače. Pokud byla kráva nedávno dojena, automatický systém ji pošle ven z jednotky bez přístupu krmiva nebo bez dojení. Když je dojení krávy povoleno a kráva přijde do robotizovaného systému na dojení, 3-D kamera a laserová technologie pomáhají robotickému rameni sledovat pohyby krávy a lokalizovat jednotlivé struky. Připojí dojící nádobky a začne postupně dojit každý struk vemena a přizpůsobuje hodnocení pulzace pro každý struk. To vede k optimálnímu dojení a příjemnějšímu zážitku pro krávu. V automatickém systému

jsou začleněny zařízení pro čištění struků a oddělení abnormálního mléka, aby bylo možné pokračovat v dojení. RDS systémy jsou také vybaveny senzory k pozorování a řízení procesu dojení. Údaje jsou automaticky uloženy v databázi a farmář má řídicí program, aby mohl nastavit podmínky a prostředí pro krávy, které mají být dojeny. Seznamy a zprávy jsou prezentovány farmáři prostřednictvím obrazovky nebo tiskových zpráv.

Vizuální kontrola zdraví krav a struktury mléčných žláz při dojení jsou alespoň částečně nahrazovány automatickými systémy. Přítomnost farmáře při pravidelných dojících intervalech již není nutná. Povaha a organizace práce na farmě se mění tak, že ruční práce související s dojením je významně nahrazována řídicími a správcovskými činnostmi. Pravidelné vizuální kontroly zdraví krav a mléčných žláz během dojení jsou nahrazovány automatizovaným monitorováním pomocí inteligentní senzorové technologie.

Po návštěvě dojícího systému by kráva měla mít přístup do oblasti s krmením. V nuceném provozu musí projít dojícím systémem, aby získala přístup. V kontrolovaném provozu jednosměrné brány s možností identifikace omezují krávy, aby se dostaly do oblasti s krmením pouze tehdy, když interval od posledního dojení přesahuje přednastavené minimum (Brouček, & Tongel, 2015).

4.4 Robotika u drůbeže

Producenti drůbeže mohou díky robotice snížit pracnost a zlepšit environmentální sledování uvnitř hal. Automatizovaná zařízení, která sledují ptáky a měří data, se postupně stanou zcela běžnou technologií.

Chov drůbeže na farmě je provázen řadou prací a problémů, jako jsou nemoci, sběr vajec, udržování zdraví kuřat, likvidace mrtvých ptáků, zajištění krmiva, vody, vzduchu a čistoty prostor. Tyto úkoly se dříve řešily manuálně nebo s pomocí různých přístrojů, ale některé z nich byly stále neřešitelné. S automatizovanými prvky a roboty však mohou být nyní některé úkoly monitorovány. Například pro sběr vajec lze použít robotické sběrače s řadou senzorů, které vajíčka najdou a bez rušení ptáků je odnáší pryč. Roboty mohou také pomoci udržet nosnice v hnízdech, aby snášely vejce tam, a nikoli na podlahu. Pro kontrolu rovnoměrně rozptýlené teploty v halách mohou být použity termovize a kamery, které také dokážou detekovat přítomnost dravců nebo vetřelců.

Roboty jsou vybaveny speciálním metabolickým systémem, který sleduje a upravuje krmné linky tak, aby bylo krmení ptáků přizpůsobeno jejich aktuální poloze. Roboty využívají kombinaci světelných a zvukových signálů k přilákání kuřat brojlerů k různým krmítkům a napáječkám. Díky tomu se zvyšuje účinnost využití krmiv minimálně o 5 % a díky rovnoměrnějšímu rozdělení krmiva se zvyšuje i procento zdravých kuřat (Ježková, 2021).

5 Shrnutí a doporučení

Zemědělství 4.0 je moderní koncept, který se zaměřuje na využití technologií Průmyslu 4.0 v zemědělském sektoru. Tento přístup umožňuje výrazné zlepšení efektivity zemědělské výroby a současně snižuje vliv zemědělství na životní prostředí.

Principy Zemědělství 4.0 zahrnují aplikaci senzorů a Internetu věcí, které umožňují sběr a analýzu velkého množství dat o půdě, rostlinách, zvířatech a celkového prostředí, aby se výroba mohla přizpůsobit aktuálním podmínkám. Variabilní hnojení a ochrana rostlin jsou dalšími důležitými aspekty, které umožňují optimalizovat využití hnojiv a pesticidů a zároveň snižovat ztráty.

V oblasti živočišné výroby se dojící roboty stávají stále běžnějšími a umožňují automatizaci této části výroby. Senzory umístěné na zvířatech pak mohou poskytovat informace o jejich zdravotním stavu a chování, což umožňuje časnou detekci případných problémů.

Doporučení pro farmáře v oblasti Zemědělství 4.0 zahrnují investice do moderních technologií, jako jsou senzory, dojící roboty a správný software pro analýzu dat. Zároveň je důležité zajistit kvalitní vzdělávání pro zemědělce, aby mohli efektivně využívat tyto technologie a získávat maximální výhody pro svou výrobu. Farmáři by měli také využívat dostupné informace o půdě, rostlinách a zvířatech, aby mohli co nejúčinněji přizpůsobit svou výrobu měnícím se podmínkám a dosáhnout maximální úrovně výnosů.

Nicméně existují také určité nevýhody, které by farmáři měli při implementaci těchto systémů zvážit:

- Vysoké náklady na pořízení a údržbu technologií – Nákup a údržba technologií potřebných pro Zemědělství 4.0 může být velmi nákladné pro farmáře, zejména pro ty s menšími farmami.
- Potřeba školení a odborného vzdělání – Implementace systémů Zemědělství 4.0 vyžaduje specifické znalosti a dovednosti. Pokud farmáři nejsou školeni, mohou mít problémy s úspěšným využitím těchto technologií.
- Ochrana dat – Sběr velkého množství dat o půdě, rostlinách a zvířatech může být citlivou záležitostí z hlediska ochrany osobních údajů a zabezpečení dat. Správné zabezpečení dat a ochrana soukromí jsou klíčové.

- Závislost na technologiích – Zemědělství 4.0 vyžaduje vysokou úroveň závislosti na technologiích, a tedy také vysokou závislost na fungování těchto technologií. Selhání systému může vést k významným ztrátám.
- Potřeba konstantního vývoje – Technologie Zemědělství 4.0 se stále vyvíjejí a farmáři musí být schopni udržet krok s novými trendy a inovacemi, aby mohli udržet konkurenceschopnost svého podnikání.

V závislosti na konkrétních podmínkách každé farmy mohou tyto nevýhody být různě významné a rozhodnutí o implementaci systémů Zemědělství 4.0 by mělo být důkladně promyšleno.

6 Závěr

Závěrem lze konstatovat, že zavedení konceptu Zemědělství 4.0 s využitím moderních technologií, jako je internet věcí, zpracování dat a senzorů do rostlinné i živočišné produkce, může přinést řadu výhod pro zemědělství a životní prostředí. Nové technologie mohou zvýšit efektivitu a udržitelnost zemědělské výroby, přispět ke snížení negativního dopadu na životní prostředí a zároveň zlepšit kvalitu potravin.

Dále je však třeba zdůraznit, že implementace Zemědělství 4.0 není bez výzev. Je nezbytné zohlednit finanční náklady, vzdělávání zemědělců a přizpůsobení se měnícím se podmínkám na trhu. Je důležité zajistit dostatečnou podporu a připravit vhodný právní a regulační rámec, který umožní využití nových technologií v zemědělství a zároveň ochrání životní prostředí a zvířata.

Výsledky této práce ukazují, že Zemědělství 4.0 má velký potenciál přinést pozitivní změny do zemědělství a životního prostředí, ale je nutné postupovat opatrně a zodpovědně a zohlednit všechny aspekty implementace nových technologií do praxe.

7 Citovaná literatura

Agmatix. (2021). *Agmatix*. Retrieved from: https://www.agmatix.com/blog/the-role-of-industry-4-0-in-agriculture/

Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of Drone in Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, *8*(1), pp. 2500-2505.

Aleksandrova, M. (2018). IoT in Agriculture: Five Technology Uses for Smart Farming and Challenges to Consider. *DZone*. Retrieved from: https://dzone.com/articles/iot-in-agriculture-five-technology-uses-for-smart

Bartoň, L. (2019). Nástroje precizního zemědělství v chovech dojeného skotu. *Česká technologická platforma pro zemědělství*. Retrieved from: https://www.ctpz.cz/vyzkum/nastroje-precizniho-zemedelstvi-v-chovech-dojeneho-skotu-910

Bispendra. (2021). The Benefits of Internet of things (IOT) In Agriculture Industry. In: *bispendra007*. Retrieved from: https://bispendra007.medium.com/the-benefits-of-internet-of-things-iot-in-agriculture-industry-6e76c07cd498

Brant, V., Kroulík, M., Krček, V., Krása, J., Kapička, J., Hamouz, P., Lukáš, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Škeřík, J., Job, Z., Lang, J., & Petrus, D. (2020). *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby.* (1. vydání). České Budějovice: Kurent, s.r.o..

Brouček, J., & Tongel, P. (2015). ADAPTABILITY OF DAIRY COWS TO ROBOTIC MILKING: A REVIEW. *Slovak Journal of Animal Science*, *48*(2), pp. 86-95.

Burian, P. (2014). *Internet inteligentních aktivit.* (Vyd. 1). Praha: Grada.

Filipčík, R. (2019). Zootechnická opatření vedoucí ke zlepšení welfare ovcí. In: *Česká technologická platforma pro zemědělství*. Mendelova univerzita v Brně. Retrieved from: https://www.ctpz.cz/vyzkum/zootechnicka-opatreni-vedouci-ke-zlepseni-welfare-ovci-861

Hamouz, P. (2014). *Metody regulace zaplevelení pro precizní zemědělství: certifikovaná metodika.* (1. vydání). V Praze: Česká zemědělská univerzita.

Ježková, A. (2021). Precizní zemědělství a management stáda dojnic. *Náš chov*, *80*(4), pp. 51-52.

Ježková, A. (2021). Robotika – revoluce i u drůbeže. *Náš chov*, *80*(4), pp. 66.

Karas, J., & Tichý, T. (2016). *Drony.* (1. vydání). Brno: Computer Press.

Knížková, I. (2011). *Automatické dojicí systémy: vybrané faktory ovlivňující proces robotizovaného dojení : certifikovaná metodika.* (1. vydání). Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby.

Lukas, V., Ryant, P., Neudert, L., Dryšlová, T., Gnip, P., & Smutný, V. (2011). *Tvorba aplikačních map pro základní hnojení plodin v precizním zemědělství: metodika pro praxi.* (1. vydání). Brno: Mendelova univerzita v Brně.

Lukas, V. (2012). *Stanovení a optimalizace diferencovaných dávek dusíkatých hnojiv v precizním zemědělství: metodika pro praxi.* (1. vydání). Brno: Mendelova univerzita v Brně.

Lukas, V. (2021). Význam zpracování aplikačních map pro lokálně cílenou agrotechniku zemědělských plodin. In: *Agromanuál*. Retrieved from: https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/precizni-zemedelstvi/vyznam-zpracovani-aplikacnich-map-pro-lokalne-cilenou-agrotechniku-zemedelskych-plodin

Malá, G. (2019). Vliv welfare na zdraví hospodářských zvířat. In: *Česká technologická platforma pro zemědělství*. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i.. Retrieved from: https://www.ctpz.cz/vyzkum/vliv-welfare-na-zdravi-hospodarskych-zvirat-860

Neudert, L., & Lukas, V. (2015). *Precizní zemědělství: technologie a metody v rostlinné produkci.* (první). Brno: Mendelova univerzita v Brně.

Ozdogan, B., Gacar, A., & Aktas, H. (2017). DIGITAL AGRICULTURE PRACTICES IN THE CONTEXT OF AGRICULTURE 4.0. *Journal of Economics, Finance and Accounting (JEFA)*, *4*(2), pp. 184-191.

Rybka, A., & Šťastný, M. (1998). *Precizní zemědělství: (studijní zpráva).* (1. vydání). Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací.

Šarauskis, E., Kazlauskas, M., Naujokiené, V., Bručiné, I., Steponavičius, D., Romaneckas, K., & Jasinskas, A. (2022). Variable Rate Seeding in Precision Agriculture: Recent Advances and Future Perspectives. *Agriculture 2022*, *12*(2), pp. 305.

Telink. (n. d.). *Telink*. Retrieved from: https://www.telink.eu/cs/content/122-drony-v-zemedelstvi-a-lesnictvi