

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra fyziky**



**Bakalářská práce**

**Vývoj automatizovaného zařízení pro odběr  
půdních vzorků**

**Josef Kořínek**

**© 2021 ČZU v Praze**



# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Josef Kořínek

Zemědělské inženýrství

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Vývoj automatizovaného zařízení pro odběr půdních vzorků**

Název anglicky

**Development of automated soil sampling equipment**

---

### Cíle práce

Na základě literární rešerše zhodnotit současný stav robotických systémů pro odběr půdních vzorů. Navrhnout a zrealizovat technické řešení pro automatizované odebírání půdních vzorků.

### Metodika

Student vypracuje literární rešerši s využitím nejnovějších vědeckých poznatků. Získané poznatky pak využije pro návrh a realizaci technického řešení pro automatizované odebírání půdních vzorků.

## **Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

## **Klíčová slova**

Robotizace, půda, precizní zemědělství

---

## **Doporučené zdroje informací**

- Bechar, A., Vigneault, C. 2016. Agricultural robots for field operations: Concepts and components. *Biosystems Engineering*, 149, 94-111.
- Hemmat, A., Adamchuk, V.I. 2008. Sensor systems for measuring soil compaction: Review and analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 89-103.
- Sinfield, J.V., Fagerman, D., Colic, O. 2010. Evaluation of sensing technologies for on-the-go detection of macro-nutrients in cultivated soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70, 1-18.
- Zhang, Q., Pierce, F. J. *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*. CRC Press, 2013. ISBN 9781439880579 .

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2020/2021 LS – TF

## **Vedoucí práce**

Ing. Jakub Lev, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra fyziky

---

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2021

**prof. Ing. Martin Libra, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 14. 05. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vývoj automatizovaného zařízení pro odběr půdních vzorků" 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 14. 5. 2020

---

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Jakobovi Lvovi, Ph.D. za přijetí tématu bakalářské práce, které jsme spolu vymysleli a za přínosné konzultace. Dále bych rád poděkoval své rodině za poskytnutí zázemí a jejich podporu. Za podporu bych také chtěl poděkovat mým blízkým přátelům, se kterými jsem měl tu čest a potěšení studovat.

# Vývoj automatizovaného zařízení pro odběr půdních vzorků

## **Abstrakt**

Práce se zabývá automatizací procesu testování půdy. Testování vlastností půdy je klíčovým faktorem budoucnosti zemědělství. Cílem práce bylo navrhnout automatické zařízení na odběr vzorků půdy. Byla vytvořena rešerše zkoumající současný stav sledované problematiky. Cíle bylo dosaženo za využití robotického ramena a polního robota. Návrh byl vytvořen jako 3D model. Také byl vytvořen script, který je možno implementovat do robotického ramena. Celé řešení je možno realizovat dle schémat popsaných v práci. Do budoucna by mohlo zařízení zároveň měřit penetrometrický odpor a robotické rameno by mohlo být vybaveno dalšími nástroji.

**Klíčová slova:** robotizace, půda, precizní zemědělství, odběr vzorků půdy

# **Development of automated soil sampling equipment**

## **Abstract**

The bachelor thesis is focused on automation of the soil testing process. Testing of soil properties is a key factor in the future of agriculture. The aim of the paper was to design an automatic device for soil sampling. The current state of the problematics was summarized. The goal was achieved using a robotic arm and a field robot. The design of the hardware was created as a 3D model. Also, a script that, can be implemented in the robotic arm, was created. The whole solution can be realized using the described schemes. In the future, the device could also measure penetrometric resistance and the robotic arm could be equipped with other tools.

**Keywords:** Robotics, soil, precision agriculture, soil sampling



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Současný stav sledované problematiky</b> .....	<b>2</b>
2.1	Půda.....	2
2.1.1	Stavba půdy a její fyzikální vlastnosti .....	2
2.1.2	Půdotvorné procesy.....	5
2.1.3	Způsoby analýzy půdy .....	7
2.1.3.1	Terénní .....	7
2.1.3.2	Laboratorní testování .....	9
2.1.4	Vzorkovací síť .....	9
2.2	Klasické metody odběru vzorku půdy.....	10
2.2.1	Odběr neporušeného půdního vzorku .....	10
2.2.2	Odběr porušeného půdního vzorku.....	11
2.3	Semi-automatický odběr .....	14
2.4	Automatický odběr.....	18
2.5	Automatické testování.....	21
2.6	Autonomní univerzální polní platformy.....	23
<b>3</b>	<b>Cíl práce</b> .....	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>24</b>
4.1	Použitý software.....	24
4.2	Výchozí zařízení.....	24
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuse</b> .....	<b>26</b>
5.1	Návrh.....	26
5.2	Simulace.....	28
5.3	Kontrola šroubu.....	32
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>35</b>
<b>7</b>	<b>Reference</b> .....	<b>36</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1. Objemové složení jílovité povrchové půdy za dobrých podmínek pro růst rostlin [1] (přeloženo).....	2
Obr. 2. Schematické znázornění půdy jako třífázového systému [3] (přeloženo).....	3
Obr.3. Trojúhelníkový diagram pro určování půdních druhů [2].....	4
Obr. 4. Struktura půdy – centrální atribut [5].....	5
Obr. 5. ASD FieldSpec 4 Hi-Res – použití v terénu[9].....	7
Obr. 6. 3S-HeD sonda (vpravo) a její kalibrace (vlevo) [10].....	8
Obr. 7. A. Nanášení laku na povrch sondy B. Desky lak-filmu připravené v krabicích pro přepravu [24].....	10
Obr. 8. Půdní monolity z Pobřeží slonoviny[26].....	11
Obr. 9 Kovové odběrové válečky, odběrová hlava a palička [27].....	11
Obr. 10 Výkopová metoda, polní postup. a) Vyrovnání povrchu půdy b) výkop díry c) naplnění pískem d) odstranění přebytečného písku a změření jeho objemu [28].....	12
Obr. 11 Spirálový vrták, spodní část [29].....	12
Obr. 12. Edelmannův vrták a) kombinovaný b) hrubý písek c) písek d) jílu[30].....	13
Obr. 13. Vrták na kamenitou půdu[31].....	13
Obr. 14 Upravený kořenový vrták a jeho použití v terénu s vymežovací závlačkou [32]...	13
Obr. 15. Falcon 5000 [35].....	14
Obr. 16. Speedprob (vlevo) seškrábnutí vzorku půdy (vpravo) [36].....	15
Obr. 17. Vzorkovací jednotka a úložná plošina namontované na zadní části terénní tříkolky [37].....	15
Obr. 18. Schéma jednotky na vzorkování půdy [37].....	16
Obr. 19. Odběrné boxy pro vzorky odebrané z různých hloubek. WINTEX 3000.....	16
Obr. 20. Odběrné boxy pro vzorky odebrané z různých hloubek Multiprob 120-UP [40] .	17
Obr. 21. RTC-I s (a) vzorkovačem měkké půdy namontovaným vpředu a (b) vrtákem vzadu.[44].....	18
Obr. 22 ROBOSAMPLER pohled z boku[46].....	19
Obr. 23 Detail na robotické rameno (vlevo), sondovací trubku (uprostřed) a sběrný koš (vpravo)[46].....	19
Obr. 24 Hecada agronaut[49].....	20
Obr. 25 Autonomní robot Smartcore [52].....	20
Obr. 26 Měřicí zařízení (vlevo), robot v polním testu (vpravo) [54].....	21

Obr. 27 Detail na měřecí modul (vlevo), BoniRob s modulem penetrometru (vpravo) [57]	21
Obr. 28 Robotický manipulátor (vlevo), MARIA robot (vpravo) [58].	22
Obr. 29 Venkovní mobilní robot Thorvald[59]	22
Obr. 30 Yanmar SMASH mobilní platforma [61]	23
Obr. 31 Původní sekačka (vlevo)[66], polní robot (vpravo) [foto: Jakub Lev]	24
Obr. 32 Momentální stav (vlevo), navrhovaná sestava (vpravo)	26
Obr. 33 Plošina	26
Obr. 34 Nádoba na vzorky	27
Obr. 35 Nástroj	27
Obr. 36 Výchozí pozice (a), pozice nad půdou (b), narušení půdy (c), dosažení hloubky (d), návrat do výchozí pozice (e)	28
Obr. 37 Pozice nad půdou (a), vtlačování lopatky do půdy (b), dosažení hloubky (c), vytažení lopatky s změnou úhlu (d), skloněná pozice nad půdou(e)	29
Obr. 38 Výchozí pozice (a), přiblížení nad nádobu (b), nástroj nad nádobou (c), vysypání (d), kontakt s škrabkou (e), seškrábnutí (f), nástroj nad nádobou (g), návrat do výchozí pozice (h)	30
Obr. 39 Exportovaný kód extrakce	31
Obr. 40 Exportovaný kód vysypání a seškrábnutí vzorku	31
Obr. 41 Detail na šrouby – aktuální stav (vlevo), síla a reakce (vpravo)	33

## Seznam tabulek

Tab. 1. Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií [2]	3
Tab. 2. Půdní druhy podle Nováka [2]	4

# 1 Úvod

Analýza půdy je odedávna nedílnou součástí zemědělství. Proces analýzy půdy začíná ve většině případů odběrem vzorku, pokračuje chemickou, fyzikální či jinou analýzou půdy a končí interpretací naměřených dat a závěrem.

Odběr vzorků je velmi podstatnou součástí procesu, protože na jeho správném provedení závisí následná činnost. Zavedenou praxí je manuální odběr dále se setkáváme se stroji obsluhovanými člověkem. Na plné automatizaci procesu pracuje mnoho vývojářů po celém světě, avšak komerční využití je otázkou budoucnosti.

Další metody hodnotí vlastnosti půdy přímo na poli. Tyto metody nám však neposkytnou tolik zásadních informací jako analýza vzorků v laboratoři. Jejich výhodou je však vyšší rychlost, a tak jsme za stejný časový interval nasbírat mnohem větší počet dat. Optimálním řešením je tak kombinace jednotlivých metod.

## 2 Současný stav sledované problematiky

### 2.1 Půda

Půda je důležitou součástí našich životů. V urbanizovaném světě se může zdát, že jsou zde důležitější věci. Ztrácíme k půdě vztah, narozdíl od farmářů, kteří jsou na jejím stavu existenčně závislí. Dobrý farmář ví, že kvalita jeho rostlin přímo závisí na vlastnostech půdy, na které roste. Půda vznikla fyzikálním a chemickým narušováním matečné horniny [1].

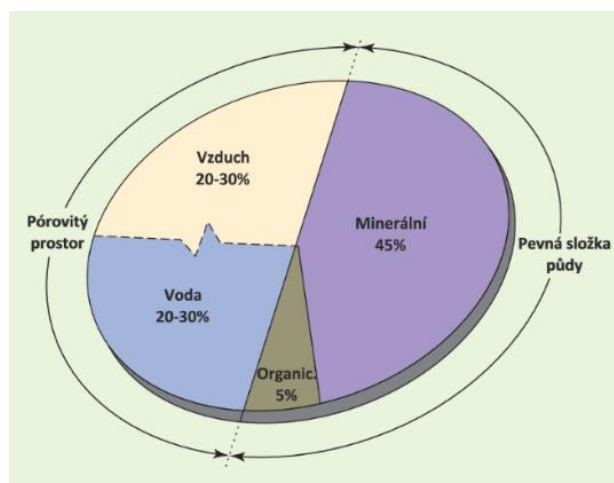
Hlavními funkcemi půdy jsou:

- produkce potravin a biomasy,
- zdroj surovin,
- zadržování vody,
- filtrace a transformace látek,
- prostředí pro organismy,
- genová zásobárna a podklad staveb [2].

#### 2.1.1 Stavba půdy a její fyzikální vlastnosti

##### *Skupenství*

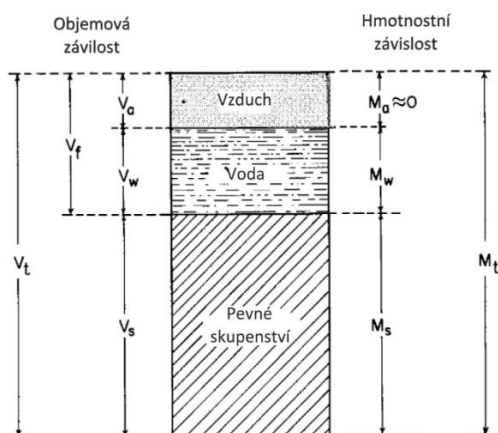
Každá půda je složena ze tří skupenství. Různé půdy mají různé poměry jednotlivých skupenství a na těchto poměrech závisí obhospodařovatelnost dané půdy. Různé rostliny jsou adaptovány na různé půdní podmínky. Běžné objemové zastoupení pórovitého prostoru je 40–50 % z celkového objemu půdy [1, 2]. Dobré poměry složek pro růst rostlin jsou znázorněny na Obr. 1.



Obr. 1. Objemové složení jílovité povrchové půdy za dobrých podmínek pro růst rostlin [1] (přeloženo)

### Hmotnost a objem jednotlivých půdních složek

Součet hmotností a objemů jednotlivých složek, jak je vidět na Obr. 2 vypovídá o hustotě mokré půdy, tu jsme schopni zjistit vážením vzorku o daném objemu. Jelikož můžeme hmotnost vzduchu ( $M_a$ ) zanedbat, můžeme po vysušení dopočítat pórovitost. K tomu však musíme znát hustotu pevné části půdy, střední hustota půdních částic je u většiny případů podobná  $2,6\text{--}2,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Aluminosilikátové jílové minerály mají podobnou hustotu. Přítomnost oxidů železa a různých těžkých minerálů zvyšuje průměrnou hustotu, zatímco přítomnost organických látek ji snižuje [3].



Obr. 2. Schematické znázornění půdy jako třífázového systému [3] (přeloženo)

### Půdní druhy

Narušování horniny probíhá postupně z větších bloků (kamenní) na menší. Podle velikosti částic řadíme jednotlivé frakce do kategorií (viz tab. 1). Tento proces určitý čas trvá proto jsou v půdě zastoupeny různé velikosti částic.

Název frakce	Průměr zrna [mm]	kategorie
Koloidní jíl	<0,0001	I. kategorie
Fyzikální jíl	0,0001 – 0,002	
Jemný prach	0,002 – 0,01	
Prach	0,01 – 0,05	II. kategorie
Práškový písek	0,05 – 0,1	III. kategorie
Písek	0,1 – 2	IV. kategorie
Hrubý písek	2–4	skelet
Štěrk	4–30	
Kamenní	>30	

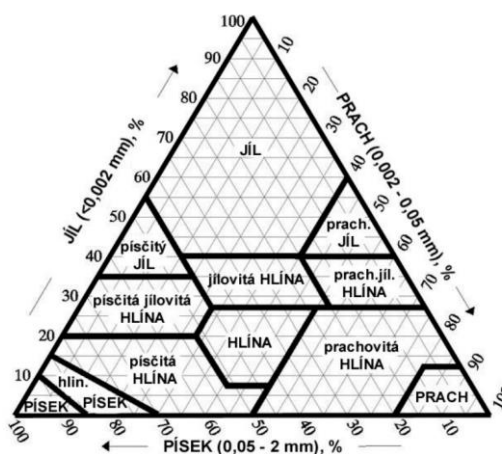
Tab. 1. Vymezení zrnitostních frakcí a kategorií [2]

Podle procentového zastoupení frakcí hodnotíme půdní druhy. Novákova klasifikace je jednoduchá, avšak hodnotí i písčitost, a to, aniž by frakci písku zjišťovala. V praxi je často používána. Jednotlivé půdní druhy řadíme do skupin tak jak je vidět v **Tab. 2** [2].

Půdní druh	Obsah I. kategorie	Skupina
Písčítá	<10 %	Lehké půdy
Hlinito písčítá	10–20 %	
Písčitohlinitá	20–30 %	Středně těžké půdy
Hlinitá	30–45 %	
Jílovitohlinitá	45–70 %	Těžké půdy
Jílovitá	60–75 %	
Jíl	> 75 %	

Tab. 2. Půdní druhy podle Nováka [2]

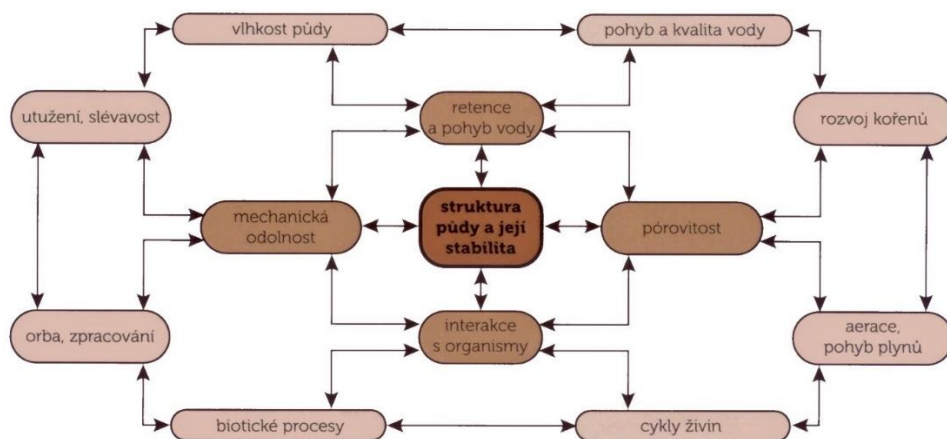
V celosvětové měřítku se k hodnocení zrnitostního složení půdy používá tzv. trojúhelníkový diagram (viz **Obr.3**). Na polích, kde se s testováním půdy setkáváme je častým půdním druhem hlína a další kategorie hlínu obsahující [1, 2].



Obr.3. Trojúhelníkový diagram pro určování půdních druhů [2]

### Struktura půdy

Samotné optimální zastoupení všech frakcí nezajistí optimální podmínky pro růst plodin. Struktura vypovídá o uspořádání půdních částic. Částice písku, prachu a jílu jsou obvykle uspořádány do sekundárních částic zvaných agregáty. Agregáty se vytvářejí buď spojováním částic nebo rozpadem hrud. Proces vytváření je ovlivňován různými fyzikálními, chemickými nebo biologickými faktory. Struktura půdy je důležitým faktorem, který ovlivňuje celou řadu dalších vlastností půdy (viz **Obr. 4**) [4, 5].



Obr. 4. Struktura půdy – centrální atribut [5]

### *Technologické vlastnosti půdy*

Technologické vlastnosti půd se uplatňují při jejich mechanickém zpracování. Technologické vlastnosti půd v určitém vyváženém stavu jsou předpokladem pro optimální využití půdy pro pěstování plodin. Hlavní technologické vlastnosti jsou **koheze, adheze, konzistence, uléhavost a hutnost** [2, 5].

### **2.1.2 Půdotvorné procesy**

To, jaká půda se vytvoří na určitém místě je ovlivněno půdotvornými faktory. V praxi se k popisu těchto procesů používá model SCORPAN. Model SCORPAN usnadňuje kvantifikaci vztahů mezi proměnnými prostředí a třídami půdy. Rovněž usnadňuje odhad chyby nebo nejistoty prostorové predikce tříd nebo vlastností půdy [6].

Každé písmeno označuje půdotvorný faktor. Stav půdy ovlivňují tyto faktory:

#### *Půda (s)*

Půda se tvoří a zaniká v závislosti na tom o jaký půdní druh se jedná. Vliv na půdotvornost má každý půdní druh rozdílný. Tuto proměnou (s) odvozujeme na základě laboratorních měření, dálkově snímaných spektrálních dat nebo již existujících půdních map [6].

#### *Klima (c)*

Sledováním klimatu působícího v dané oblasti zjišťujeme zásadní data jako jsou množství srážek, teplota a sluneční záření. Klima ovlivňuje poloha, a to jak nadmořská výška, vzdálenost od rovníku, tak i vzdálenost od moře a další faktory. Modely slunečního záření jsou široce dostupné a mohou být vypočteny v různých softwarových balíčcích GIS (geografický informační systém) [6].



### *Organismy a lidská činnost (o)*

Hlavními půdotvornými organismy jsou rostliny nebo lidé. Fauna může mít znatelný půdotvorný účinek spíše lokálně [7]. Organismy jsou obvykle reprezentovány digitálními údaji o vegetaci nebo krajinném krytu, obsahující již existující data o krajinném krytu a dálkově snímaná spektrální data. Stávající údaje o krajinném pokryvu mohou zahrnovat mapy vegetace, využití půdy a rozšíření druhů [6].

### *Reliéf (r)*

Sklon a zakřivení terénu ovlivňuje půdní erozi a distribuci srážkové vody. Orientace svahu je důležitá nejen kvůli slunečnímu záření, ale i z hlediska větrných podmínek [2]. Atributy terénu se dají získat dálkovým průzkumem země jako je technologie LiDAR (Light Detection And Ranging) a IFSAR (Interferometric synthetic aperture radar) [6].

Zdrojem údajů o nadmořské výšce může být digitalizace vrstevnic a zjednodušených údajů, dále bodová měření nadmořské výšky z tradičních průzkumů půdy nebo z přijímačů GPS (Global Positioning System) s vysokým rozlišením, namontovaných na vozidle [7].

### *Mateční hornina (p)*

Informace o mateční hornině lze získat z digitalizovaných geologických map. Pro predikci půdy jsou užitečné mapy zaměřené na litologii [7]. Mateční hornina se také určuje využitím gama radiometrických dat. Dále také pomocí dálkově snímaných spektrálních dat můžeme rozlišit mineralogické vlastnosti mateřského materiálu [6]. Důležitou roli hraje minerální složení, struktura a textura hornin [2].

### *Stáří půdy (a)*

Stáří půdy má zásadní vliv na stupeň vývoje profilu [6]. Jedním z užitečných odhadů je věk podkladu [7].

### 2.1.3 Způsoby analýzy půdy

Francouzský matematik Pierre de Laplace ve své *Mécanique Céleste* napsal:

*„Intelligence, která by v daném časovém okamžiku znala všechny síly působící na přírodu stejně jako okamžité polohy všech věcí, by byla schopna předvídat pohyby největších těles vesmíru i nejmenších atomů na základě jediného prostého vzorce. Pokud by její intelekt byl dosti mohutný, aby podrobil všechna data rozboru, nezůstalo by jí nic utajeno, minulost i budoucnost by ležely před jejíma očima“ [8].*

Zatím nejsme schopni znát všechny půdotvorné faktory (*síly působící na přírodu*) naprosto přesně. Proto musíme informaci zjišťovat analýzou. Analýza nás pak může informovat o chemickém složení a fyzikálních vlastnostech půdy na daném místě. Znalost stavu půdy je klíčovým faktorem při navrhování úspěšného osevního postupu a hnojení.

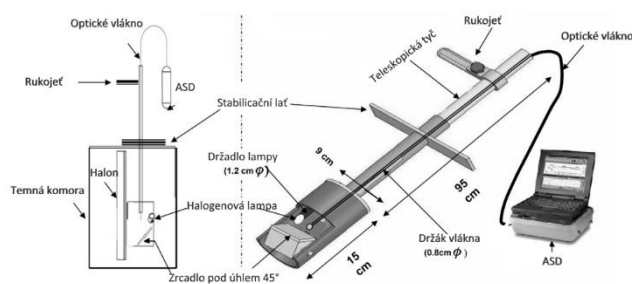
S větším počtem nasbíraných vysoce přesných dat, nám ubývají nejistoty ve výpočtech modelů fungování půdního systému, což umožňuje spolehlivější predikci vývoje.

#### 2.1.3.1 Terénní

ASD (analytical spectral device) je zařízení pro sběr dat terénním pracovníkem. Pokročilý senzor snímá vlnové délky světla, které půda odráží. Různé vlnové délky odpovídají různým vlastnostem půdy. Sběr dat se provádí buď z povrchu (Obr. 5) nebo z požadované hloubky (Obr. 6.)



Obr. 5. ASD FieldSpec 4 Hi-Res – použití v terénu[9]



Obr. 6. **3S-HeD sonda** (vpravo) a její kalibrace (vlevo) [10]

**Cosmic-ray sensor** využívá kosmického záření. Neutrony generovány kosmickým zářením se odrážejí od půdy. Počet odražených neutronů je přímo úměrný obsahu půdní vlhkosti. Tyto senzory jsou používány na statických místech pokrývajících velké plochy země, ale také jako varianty s vysokým rozlišením se sníženým zorným polem a zvýšenou citlivostí [11]. Daný senzor byl použit u víceúčelového robota Thorvald II [12].

Monitorování zemědělských polí pomocí **satelitů** umožňuje zjišťovat podmínky růstu rostlin na velkých oblastech a umožňuje specifický management pro danou lokalitu. Radarové snímky se syntetickou aperturou (SAR) jsou zvláště vhodné pro zemědělské monitorování [13].

### **Elektromagnetická indukce**

Dvě malé cívky jsou rozmístěny v určité vzdálenosti od sebe a jsou umístěny na povrchu země nebo v krátké vzdálenosti nad povrchem. Střídavý elektrický proud prochází jednou z cívek. Aplikovaný proud produkuje elektromagnetické pole kolem cívky, přičemž část elektromagnetického pole sahá pod povrch. Toto elektromagnetické pole, nazývané primární pole, indukuje střídavý elektrický proud v zemi a vytváří sekundární elektromagnetické pole. Část sekundárního pole se šíří zpět nad povrch. Druhá cívka funguje jako přijímač, který měří rezultativní amplitudové a fázové složky primárního i sekundárního pole. Amplitudové a fázové rozdíly mezi primárním a výsledným polem se poté použijí spolu s roztečí mezi cívkami k výpočtu „zdánlivé“ hodnoty pro elektrickou vodivost půdy [14]. Vlečné zařízení tohoto typu bylo použito univerzitou v Brně [15].

Při provádění měření odolnosti proti průniku **penetrometrem** se provádějí dva typy testů: statický test nebo dynamický test. Ve statickém testu penetrace je penetrometr rovnoměrně tlačěn do půdy. Příkladem statického testu penetrace je použití kuželového penetrometru. Při dynamickém penetračním testu je penetrometr vražen do půdy kladivem nebo padajícím závažím. Dynamický test penetrace lze provést pomocí tzv. stříkacího zařízení [16].

### **Kapacitní snímací tyče zapuštěné do země**

Tato metoda zahrnuje půdu jako součást kondenzátoru, ve kterém jsou trvalé dipóly vody v půdě rovnány elektrickým polem a následně polarizovány [17]. Kapacitní snímače využívají elektronický obvod zvaný oscilátor, který vytváří opakující se sinusový průběh. Měřenou vlastností je frekvence kmitání, která klesá s rostoucí objemovou elektrickou permitivitou půdy (a obsahem vody) [18].

### **Odporové**

Průzkumy ERT typicky používají k měření čtyři elektrody, při kterém je proud injektován mezi dvě elektrody a rozdíl elektrického potenciálu je měřen mezi dvěma ostatními, přičemž se mění jak umístění elektrod podél profilu, tak vzdálenost mezi nimi [19, 20].

#### **2.1.3.2 Laboratorní testování**

Vzorek půdy v porušeném nebo neporušeném stavu je odvezen z pole na detailní rozbor v laboratoři. Existuje mnoho metod pro rozbor různých vlastností půdy. Příklady používaných rozborů jsou dobře popsány v knize Pedologické praktikum z roku 2008 [21]

#### **2.1.4 Vzorkovací síť**

##### **Vzorkovací mříž**

Nejběžněji používaným designem vzorkování pro mnoho terénních studií je systematické vzorkování buď pomocí mřížek. Snadnost jejich použití a účinnost, s jakou shromažďují informace, je činí populárními v oblasti věd o Zemi. Avšak systematické návrhy vzorkování nejsou statisticky nejvhodnější [22].

##### **Řízený odběr**

Řízený odběr začleňuje předchozí znalosti o variabilitě půdy do designu odběru, aby se sladila distribuce a intenzita odběru se známými půdními vzory. K určení místa odběru jsou studovány příslušné základní mapy. [23]

## 2.2 Klasické metody odběru vzorku půdy

### 2.2.1 Odběr neporušeného půdního vzorku

#### Metoda lak-filmu

Tenký film zředěného laku se nanáší stříkáním nebo štětcem na vyhlazený povrch profilu jámy (viz Obr. 7). Nanese se jedna nebo více vrstev laku a lak je nechán zaschnout. Film je obvykle vyztužený látkou. Zaschnutí trvá až jeden den poté se lak uvolní z čela sondy.

Půdní materiál zůstane přichycen k vytvrzenému laku, čímž získáme přirozenou repliku půdního profilu ve formě tenké slupky laku nebo profilu laku. Tato relativně snadná metoda je vhodná pro suché půdy s písčitou až lehce jílovitou strukturou. Profil by měl být dostatečně suchý, protože většina používaných chemikálií reaguje s vodou a zbledá. Metoda je také nevhodná, pokud sonda obsahuje skelet, ten není touto metodou zachycen [24, 25].



Obr. 7. A. Nanášení laku na povrch sondy B. Desky lak-filmu připravené v krabicích pro přepravu [24]

#### Metoda půdního monolitu

Půdní monolit je svislý výběr půdy, která byla obnažena, profilována a připevněna k desce. Zachovává si fyzikální vlastnosti jako barva, struktura a horizont. Do zarovnaného čela sondy se opatrně zatlačí kovový rám. Poté co se uvolní půda z vnějšku rámu se k rámu přimontuje deska, která zamezí tomu, aby se monolit při extrakci rozpadl. Následuje odříznutí od zbývajících ploch a bezpečné přesunutí na rovný povrch. Zde je monolit zarovnán, očištěn a připevněn na dřevěnou desku lepidlem, která má hřeby a rám, lepidlo je vylité na textilií. Odstraní se první deska a kovový rám. V laboratoři se propichováním obnoví původní půdní struktura a monolit se nechá uschnout. Posléze je monolit zalit lepidlem a po zaschnutí je připraven k vystavení [25, 26]. Tato a předchozí metoda se používají pro studijní a muzejní účely. Důvodem je jejich celková náročnost malá objektivně vypovídající schopnost.



Obr. 8. Půdní monolity z Pobřeží slonoviny [26]

### Kopeckého válečky

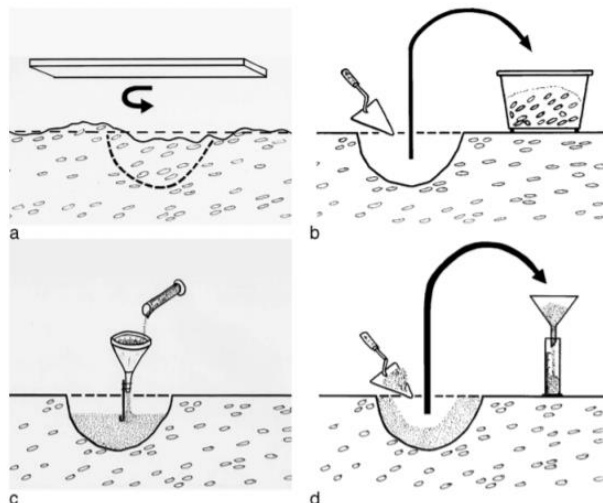
Obvykle se používají v kopaných sondách, ve výklenku, ze středu jednotlivých horizontů [21]. Váleček je opatrně rovně a plynule zatlačen. Omezujeme použití paličky na minimum. Po zatlačení se odstraní okolní zemina, následně je váleček vyrýpnut. Dále je seříznuta přebytečná zemina [27].



Obr. 9 Kovové odběrové válečky, odběrová hlava a palička [27]

### 2.2.2 Odběr porušeného půdního vzorku

V urovnané půdě je vykopána díra tak aby se zabránilo zhutnění stran. Vykopaná zemina je vložena do pytlů nebo do nádob pro laboratorní analýzu. Díra je vyložena plastovou fólií a naplněna pískem o známém objemu [28].



Obr. 10 Výkopová metoda, polní postup. a) Vyrovnání povrchu půdy  
 b) výkop díry c) naplnění pískem d) odstranění přebytečného písku a změření jeho objemu [28]

V praxi se často kopají sondy. Ty umožňují popsat hlavní morfologické znaky. Odběr porušených vzorků se provádí na čele sondy uprostřed jednotlivých horizontů. Vzorky jsou odebrány do předem popsaných sáčků. Místo odběru se zaznamenává do půdní mapy [21].

**Spirálový vrták** funguje podobně jako vývrtka a nezařezává půdu. Vrták se obvykle aplikuje, když je třeba proniknout tvrdými vrstvami. Úzký spirálový vrták při vrtání tlačí kameny stranou [29].



Obr. 11 Spirálový vrták, spodní část [29]

### **Edelmannův vrták**

Každý typ půdy klade různé požadavky na různé modely vzorkovačů půdy. V průběhu let bylo vyvinuto mnoho modelů. Na Obr. 12 jsou vidět nejpoužívanější z nich. Vrták na kamenitou půdu (Obr. 13) se používá pro půdy s velkým obsahem štěrku.

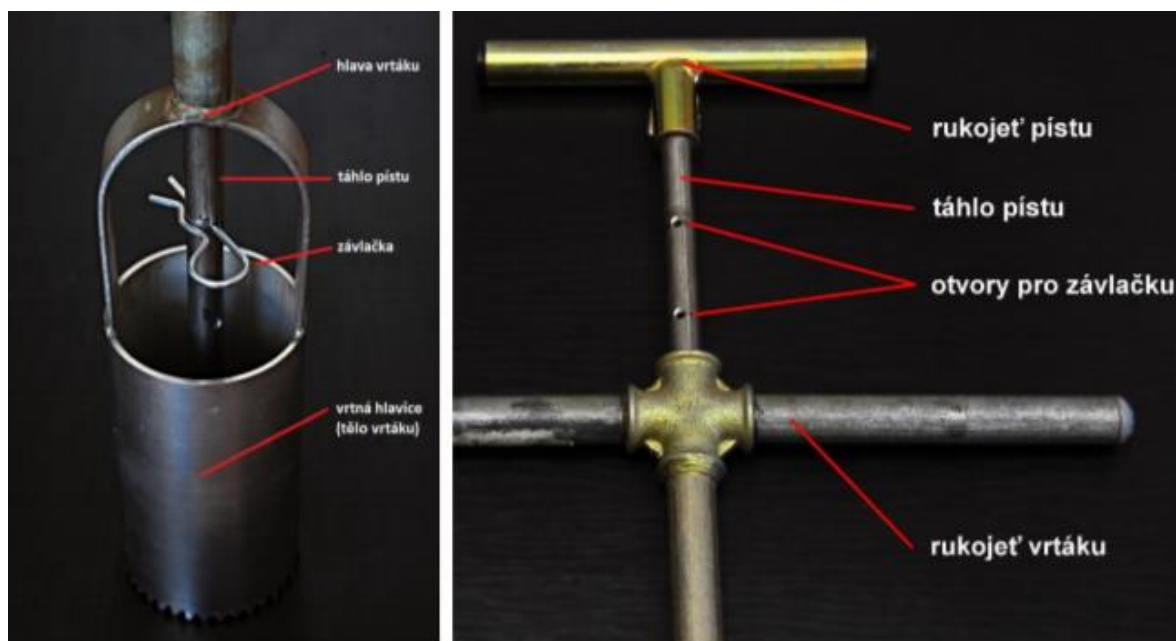


Obr. 12. Edelmannův vrták a) kombinovaný b) hrubý písek c) písek d) jíl[30]



Obr. 13. Vrták na kamenitou půdu[31]

**Kořenový vrták** je vhodný pro měkčí, lehčí až středně těžké půdy. Umožňuje odběr kompaktního vzorku do hloubky 15 cm. Řezná hrana je vybavena zuby což umožňuje přetrhání kořínků vegetace. Je nevhodný pro půdy s většími kameny [32].



Obr. 14 Upravený kořenový vrták a jeho použití v terénu s vymezovací závlačkou [32]



## 2.3 Semi-automatický odběr

### AutoProbe

Sonda umístěná na pásu, který se valí za traktorem, automaticky proniká do půdy v pravidelných intervalech, sbírá vzorky půdy a posílá jej hadicí do vaku instalovaného v kabině [33]. Zařízení může být taženo nákladními automobily, jeepy, traktory nebo SUV [34].

### Falcon 5000

Broušený nerezový buben o průměru 1,5 metru, který lze vidět na Obr. 15. Falcon 5000, sbírá a míchá vzorky každých 4,5 metru. V závislosti na požadované hloubce vzorku, se může vyměnit sondovací hrot, a to v rozmezí cca 75 a 215 mm. Ten je připevněn na obvodu bubnu, buben se otáčí a při každém otočení se hrot zaboří do půdy. Z hrotu půda odpadá gravitací a zároveň je očištěn čistícím kartáčem. Posléze jsou vzorky promíchány a násypkou dopraveny do nádoby, která je umístěna v zásobníku. Každá nádoba může mít vlastní čárkový kód a k němu později přiřazené GPS souřadnice [35].



Obr. 15. Falcon 5000 [35]

### Speedprob

Speedprob je tažené pracovní zařízení pro extrakci vzorků půdy z hloubky 12-30 cm. Zařízení je taženo rychlostí 8-12 km/h. Sonda na otočném rameni pronikne do půdy a synchronně s rychlostí se pohybuje vzad. Jakmile se otočné rameno dostane do svislé polohy, sonda se začne zasouvat. Po zasunutí je vzorek seškrábnut a násypkou odveden do válcové nádoby viz Obr. 16. Do jedné nádoby se vejde 16 vzorků. Extrakční cyklus trvá přibližně 8–10 sekund [36].



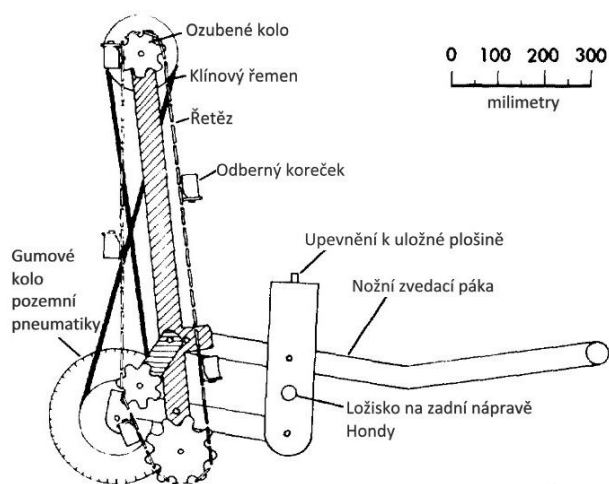
Obr. 16. Speedprob (vlevo) seškrábnutí vzorku půdy (vpravo) [36]

### Metoda rychlého vzorkování povrchové půdy

Pozemní kolo potažené gumou pohání horní ozubené kolo klínovým řemenem. Válcovité korečky procházejí pod spodním řetězovým kolem, kde odebírají část povrchové půdy, když korečky procházejí přes horní ozubené kolo, vyprazdňují se do odnímatelné válcové nádoby (jde vidět na Obr. 17, průměr 10 cm × hloubka 30 cm). Vzdálenost mezi místy odběru vzorků je přibližně 2,3 m. Nožní páka, která je vidět na Obr. 18, zvedne celou jednotku 5 cm od země, čímž se přeruší vzorkování. Horní část vzorkovací jednotky je zakryta krytem řetězu [37].



Obr. 17. Vzorkovací jednotka a úložná plošina namontované na zadní části terénní tříkolky [37]

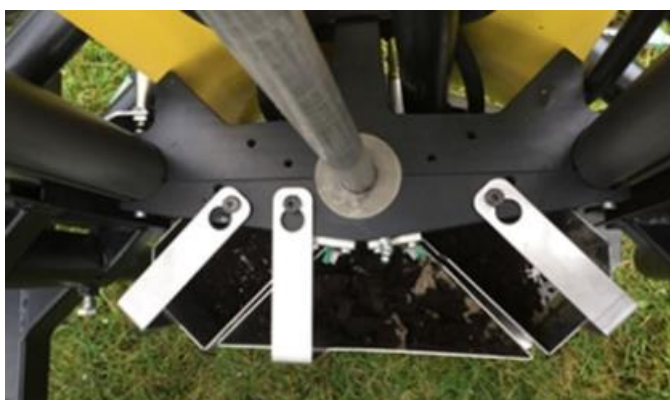


Obr. 18. Schéma jednotky na vzorkování půdy [37]

### Hydraulické kladivo

WINTEX 3000 odebírá vzorky půdy od 0 do 90 cm. Je možné odebírat vzorky půdy z jedné, dvou nebo tří různých vrstev současně. Hloubku a bod, kde je vzorek rozdělen, lze upravit podle potřeb uživatele [38].

Sonda je do země zatlučována hydraulickým kladivem. Když dosáhne sonda požadované hloubky, otočí se a zachytí půdu. Při vytahování sondy, pomocí řetězu, jsou homogenní vzorky seškrábnuty do připravených boxů. Boxy jsou vidět na Obr. 19. V závislosti na pootočení sondy padá vzorek do tří různých nádob v závislosti na tom, v jaké hloubce byl vzorek pořízen. Půdu lze poté pomocí násypky plnit do pytlů nebo krabic, které jsou připraveny k odeslání do laboratoře [38].

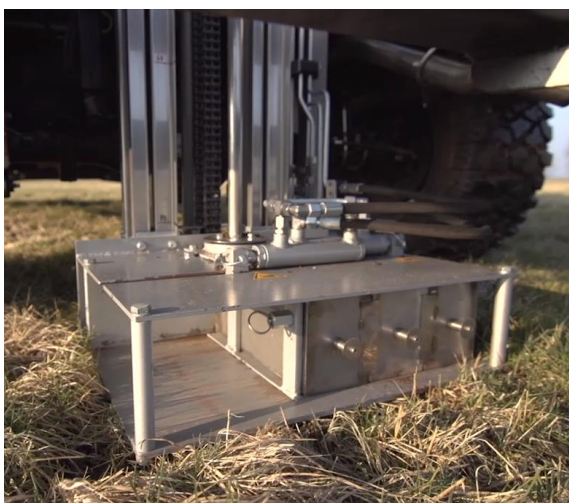


Obr. 19. Odběrné boxy pro vzorky odebrané z různých hloubek. WINTEX 3000

Pokud sonda narazí na překážku a odebere tak pouze poloviční vzorek, vzorek není odebrán do boxů a je z odběru vyřazen [38].

Zařízení funguje jako samostatný modul a je možnost jej instalovat na různé mobilní prostředky např. čtyřkolky, pickupy nebo traktory [39].

**Multiprob 120-UP** funguje na obdobném principu jako WINTEX 3000. Odlišuje se v technice rozdělení vzorků do boxů. V případě multiprob se sonda otočí jen v první pozici. Následné rozdělení do boxů (Obr. 20) provádí hydraulický přímočarý pohon [40].



Obr. 20. Odběrné boxy pro vzorky odebrané z různých hloubek Multiprob 120-UP [40]

### **Hydraulický válec**

K odběru je použita hydraulická energie. Stroj na vzorkování půdy odebírá energii z hydraulické pohonné jednotky traktoru. V hydraulickém systému je použit elektromagnetický ventil a elektricky ovládané koncové spínače. Odběr vykonává hydraulický válec o průměru 30 mm a zdvihu válce 300 mm. Zdvih je pomocí řetězového mechanismu zvýšen na 600 mm. Na stroji je tyč použita k vytlačení půdy ze sondy [41].

K hydraulickému systému je připojen manometr, aby bylo možné sledovat pracovní tlak stroje, který je nastaven pomocí tlakového pojistného ventilu. Je možné změnit provozní rychlost stroje, pomocí regulačního ventilu průtoku. Měřením tlaku se dá zjistit penetrometrický odpor [41].

### **SoilHawk**

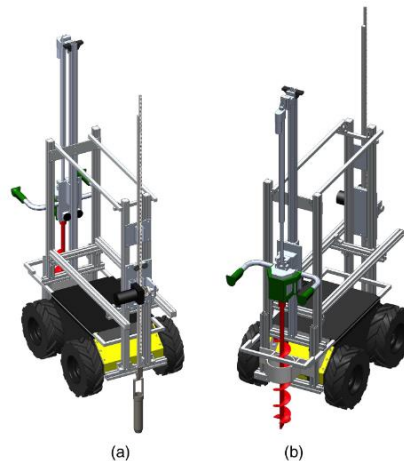
Jedná se o tažné zařízení obsluhované z vozidla. Kontrola procesu je prováděna přes kameru nainstalovanou na zařízení. Než sonda odebere vzorek jádra, zařízení seškrábne veškeré

povrchové zbytky, tak aby sonda odebrala pokaždé čisté vzorky. Hloubka odběru je konzistentní díky nastavitelnému senzoru. Půda je ze sondy vytlačena pístem do zásobníku s vzorkovacími sáčky. Výhodou zařízení je velký zásobník na vzorkovací sáčky. [42, 43]

## 2.4 Automatický odběr

### Robotický systém pro odběr hlušiny

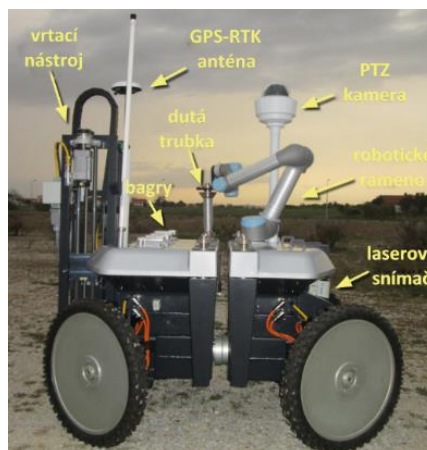
Povrch je napřed navrtán vrtákem. Následně se robot posune zpět a pomocí hřebenového mechanismu je nádoba na vzorky spuštěna skrz tvárný, rozrušený materiál. Výhodou robota oproti terénnímu pracovníkovi je, že nehrozí jeho uvíznutí v hlušině, jelikož je lehčí. K zaznamenání místa, ze kterého byl odebrán vzorek, je použit modul GPS [44].



Obr. 21. RTC-I s (a) vzorkovačem měkké půdy namontovaným vpředu a (b) vrtákem vzadu.[44]

### ROBOSAMPLER pro odběr bahna v ústí řek

Portugalský tým ve spolupráci s firmou Introsys vyvinul autonomního robota ROBOSAMPLER, který se využívá pro odběr bahna v ústí řek. Robot je rozdělen na přední část a zadní část, každá ovládaná dvěma koly viz Obr. 22. Tyto dvě části jsou spojeny pomocí pasivního podélného kloubu. Pasivní kloub zlepšuje kontakt všech čtyř kol se zemí [45].



Obr. 22 ROBOSAMPLER pohled z boku[46]

Zařízení je díky robotickému ramenu schopno autonomně měnit odebírající nástavce (Obr. 23 vlevo). Jedná se o sondovací trubky a sběrné ocelové koše. Zařízení dokáže pojmout 9 trubek a 4 koše. Uvnitř ocelových trubek se nachází trubky z PVC podélně rozříznuté, tak aby se vzorek půdy dal jednoduše vyjmout pracovníkem [46].

Akční člen ve vrtacím nástroji (Obr. 23 uprostřed) otáčí válcovou kovovou trubkou s vnitřním průřezem 45 mm a délkou 500 mm, která je současně tlačena lineárním pohonem dolů. Ocelové koše jsou navrženy pro odběr vegetace a drobné fauny. Koš využívá stejný lineární pohon jako válcové trubky viz Obr. 23 vpravo [46]



Obr. 23 Detail na robotické rameno (vlevo), sondovací trubku (uprostřed) a sběrný koš (vpravo)[46]

### Hecada agronaut

Tým z estonské univerzity společně s firmou Hecada pracují na prototypu autonomního zařízení na odběr vzorků půdy s vidinou dalších aplikací v agronomii. Zařízení se skládá z přední a zadní části. Zadní část obsahuje motor a hydraulické čerpadlo. Přední část

obsahuje mechanismus odebírání a skladování vzorků půdy, specializovaný hardware pro autonomní činnost, měření různých vlastností půdy, značení a skladování vzorku[47].

Odebrání vzorků se provádí trubkovou sondou o průměru 25 mm a délce 300 mm. Řešení používá elektrický 3osý souřadnicový systém, který je zabudován do přední části ta obsahuje 140 zásobníků pro vzorky [48]. Současně s odběrem vzorku je možné měřit zhutnění půdy a vlhkost pomocí samostatných senzorů [49]



Obr. 24 Hecada agronaut[49]

## Rogo

Společnost Rogo z Indiany v USA jako řešení deficitu terénních pracovníků vyvinula autonomního robota pro odběr vzorků půdy [50]. Společnost neprodává roboty SmartCore konzultantům ani farmářům. Rogo najímá zaměstnance, kteří je obsluhují [51].

„Smartcore“, autonomní robot je navržen tak, aby shromažďoval přesné a opakovatelné vzorkování půdy v polích a odvezl je na okraj pole k odeslání do laboratoře [52]. K odběru robot používá vysokorychlostní vrták. Vzorek je po vyvrtání přesunut pomocí podtlakového systému do foliových vaků jejichž konce jsou hermeticky zavařeny. Mezi přednosti systému patří vysoká přesnost, jelikož vzorky nejsou ovlivněny chybovostí pracovníků [50].



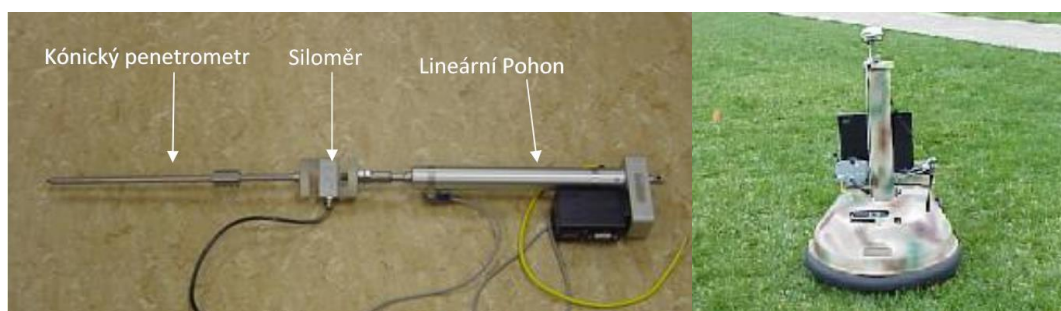
Obr. 25 Autonomní robot Smartcore [52]

## Modul pro rover

Na automatizaci procesu sběru vzorků půdy se zaměřují také na univerzitě v Polsku. Základem vrtné části je ocelová trubka, zakončená speciálně navrženým jádrovým vrtákem. Uvnitř ocelové trubky se nachází trubka z PVC. Konstrukce umožňuje odebrat vzorek z hloubky od 35 do 40 cm pod zemí. Výsledný vzorek si zachovává viditelné vrstvy jednotlivých půdních horizontů [53].

### 2.5 Automatické testování

**Automatický penetrometr** je schopný zaznamenávat sílu a hloubku zahloubení konického penetrometru. Zařízení je navrženo do bojových podmínek (na Obr. 26 vpravo je vidět maskování). Kónický penetrometr má průměr 12,7 mm. Maximální zdvih lineárního pohonu (pohon je vidět na Obr. 26 vlevo) je 200 mm a maximální tlačná síla cca 1 700 N [54].



Obr. 26 Měřicí zařízení (vlevo), robot v polním testu (vpravo) [54]

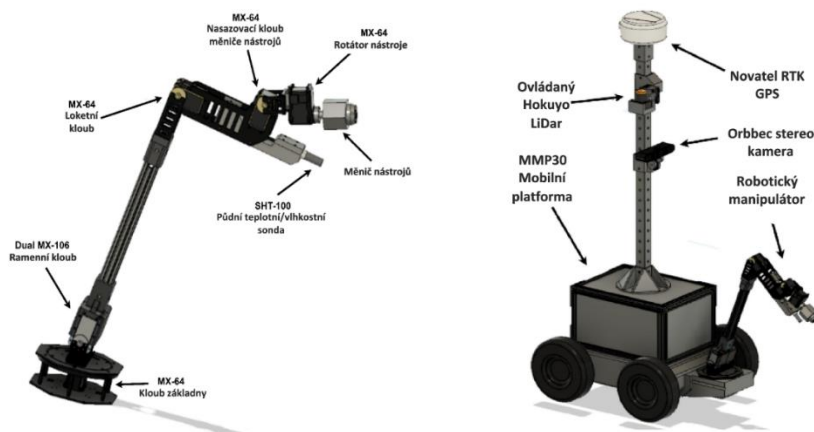
**BoniRob** je víceúčelový robot s výměnnými moduly. Jedním ze modulu je modul penetrometru (detail na Obr. 27 vlevo), který kromě penetrometrického odporu měří teplotu a vlhkost půdy [55]. Penetrometr je schopen měřit vlastnosti půdy až do hloubky asi 800 mm. S nastavitelnou roztečí kol a vysokým podvozkem (je vidět na Obr. 27 vpravo) je schopen zajet na pole i v době vegetace [56].



Obr. 27 Detail na měřicí modul (vlevo), BoniRob s modulem penetrometru (vpravo) [57]



**MARIA** je autonomní rover s různými fenotypovacími senzory a manipulátorem. Jedním z koncových nástavců manipulátoru je vrták, který umožňuje zavedení sondy teploty a vlhkosti. Dále byl navržen prototyp patrony pro odběr vzorků půdy [58].



Obr. 28 Robotický manipulátor (vlevo), MARIA robot (vpravo) [58].

**Thorvald II** je víceúčelová přestavitelná modulární polní platforma. Platforma může být vybavena penetrem a zdroje z těchto měření můžou sloužit pro vytváření 3D map zhutnění půdy. Maximální tlačná síla penetromu je 600 N až do hloubky 500 mm. Jeden test se skládá z 300 odečtů síly, zatímco je penetrom tlačén do půdy konstantní rychlostí  $250 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Celý postup vzorkování včetně snímání, odběru sondy a bezpečnostních zpoždění na jednom místě trvá přibližně 50 s [59].



Obr. 29 Venkovní mobilní robot Thorvald[59]

## 2.6 Autonomní univerzální polní platformy

### Yanmar SMASH

Firma Yanmar vyvíjí robotický systém na vinicích v Itálii. Robotické rameno je vybaveno 3D kamerou a je vybaveno připevněno na mobilní platformě. Platforma je součástí autonomního systému. Dalšími součástmi systému jsou stacionární polní senzory, drony a mobilní základna [60].



Obr. 30 Yanmar SMASH mobilní platforma [61]

Jedním ze způsobů využití autonomních zařízení je z půdního průzkumu obsahu dusíku generovat předpisové aplikační mapy a následně hnojit brambory pomocí proměnlivých tekutých organických hnojiv z faremní produkce se systémem přesné aplikace dávky dusíku na jednotku plochy [62]

### 3 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout automatické zařízení na odběr vzorků půdy. Zařízení by mělo sloužit jako přídatný modul pro polního robota Spider, který bude mít v budoucnu i další využití. Automatizované procesy budou prováděny pomocí robotického ramene UR5, které bude hrát v celém procesu stěžejní roly.

### 4 Metodika

#### 4.1 Použitý software

K modelování 3D modelů byl použit program **Fusion 360** [63]. Ten umožnil zjistit přibližné hmotnosti navrhovaných součástí a těžiště soustavy, dále také vykreslit 3D součásti a jejich převedení do 2D nákresu. Jeho studentskou licenci poskytuje studentům škola.

Druhým použitým softwarem je software **RoboDK**. Software slouží k simulaci a programování především stacionárních průmyslových robotů. Software byl použit pouze ve verzi Free. Do programu byly vloženy 3D modely z programu Fusion 360. Bylo nutné tyto modely nejdříve exportovat do formátu iges. RoboDK podporuje i další formáty např. STEP nebo STL [64]. RoboDK v plné verzi umožňuje na základě simulace generovat ovládací kód robota.

#### 4.2 Výchozí zařízení

Terénní sekačka **Spider 3RIDER** byla přestavěna robotickým týmem z centra polní robotiky při technické fakultě české zemědělské univerzity v Praze [65] na prototyp autonomního polního robota s vestavěnými senzory. Její maximální rychlost je  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a je poháněna vznětový tříválcovým motorem [66].



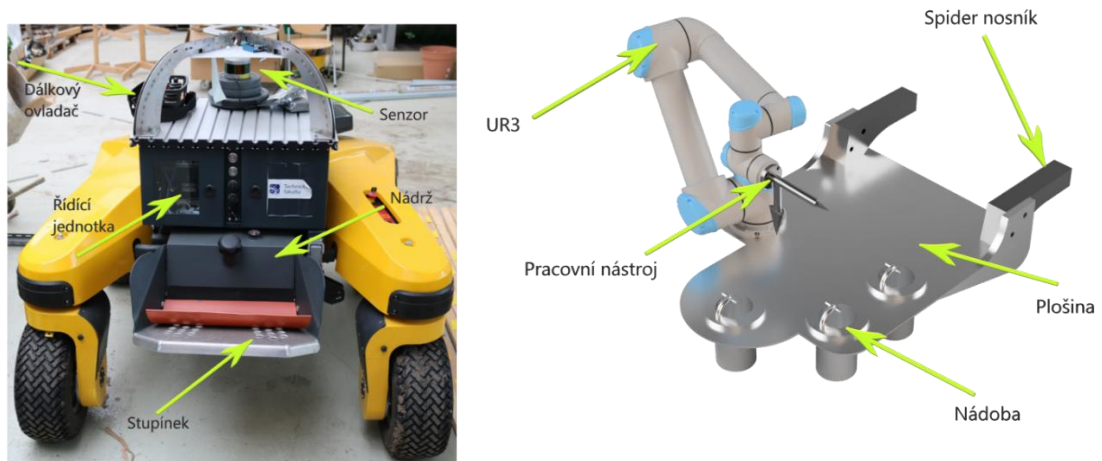
Obr. 31 Původní sekačka (vlevo)[66], polní robot (vpravo) [foto: Jakub Lev]

**Robotické rameno UR5** je též jedním ze zařízení polní robotiky na ČZU. Jeho hmotnost je 18,4kg, užitečné zatížení 5 kg a stupeň krytí IP54 (Ingress Protection). Robotické rameno má 6 kloubů. Každý kloub je schopný rotace o 360° do obou směrů [67]

## 5 Výsledky a diskuse

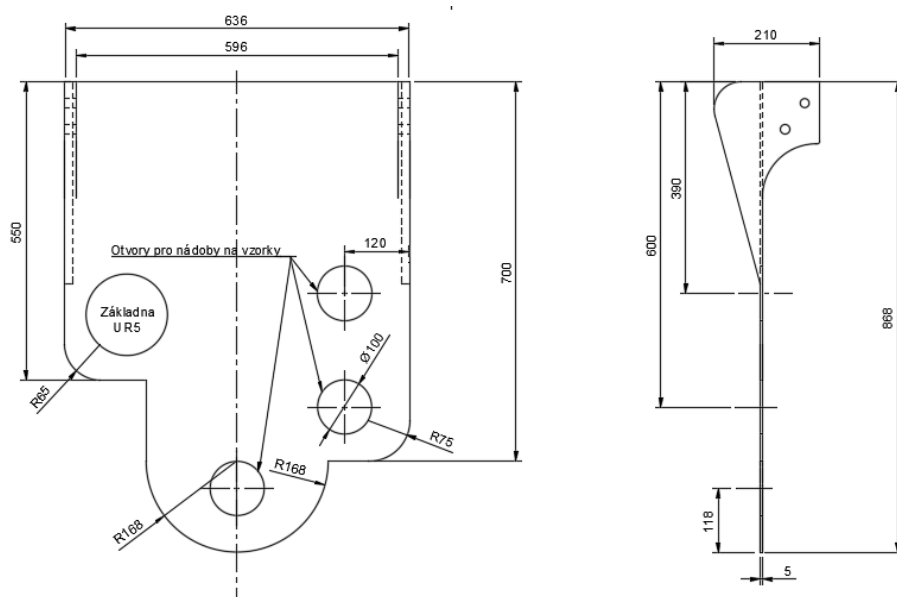
### 5.1 Návrh

Navrhovaná plošina bude připevněna namísto stupínku pod nádrž (viz Obr. 32). Plošina je osazena třemi nádobami na směsné vzorky a robotickým ramenem. Rameno je vybaveno kombinovaným nástrojem.



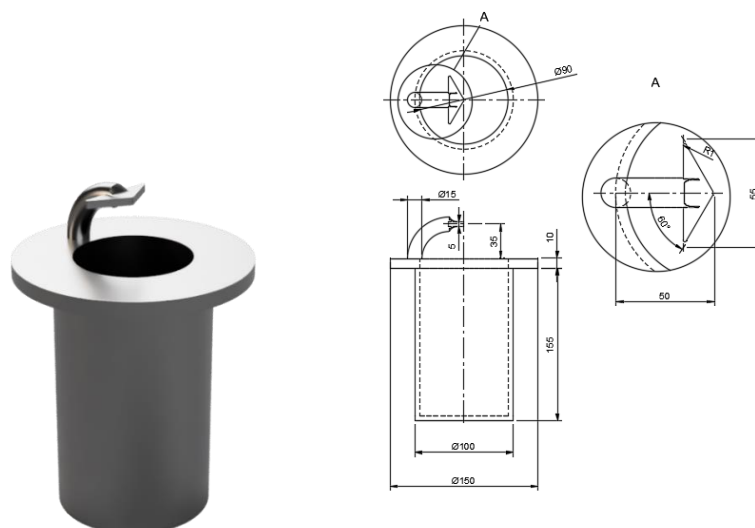
Obr. 32 Momentální stav (vlevo), navrhovaná sestava (vpravo)

**Plošina** je navržena tak aby pasovala na nosníky polního robota. Je navržena z hliníkové desky o tloušťce 5 mm. Je podepřena podpěrami o tloušťce 20 mm (viz obr. Obr. 33) tak aby nedošlo k ohnutí vlivem zatížení robotickým ramenem. Celková hmotnost zjištěná pomocí programu Fusion 360 byla 8,87 kg.



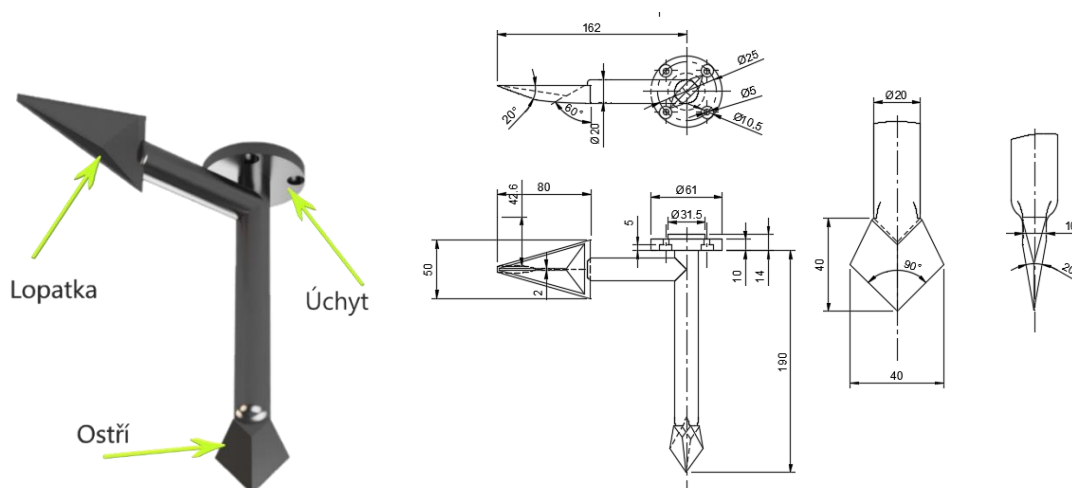
Obr. 33 Plošina

Materiál **nádoby** je hliník. Dle programu Fusion 360 je hmotnost nádoby 1,05 kg. Je vybavena škrabkou (viz Obr. 34), která slouží nejen k seškrábnutí vzorku z lopatky, ale také k pohodlnému vytažení nádoby z plošiny. Díky třem nádobám je možno rozlišit vlastnosti půdy ze tří lokalit.



Obr. 34 Nádoba na vzorky

**Nástroj** se skládá ze dvou pracovních částí lopatky a ostří (viz Obr. 35). Nástroj je připevněn na robotické rameno čtyřmi šroby s M6x12 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem. Hmotnost nástroje zjištěná programem Fusion 360 je 0,94kg.

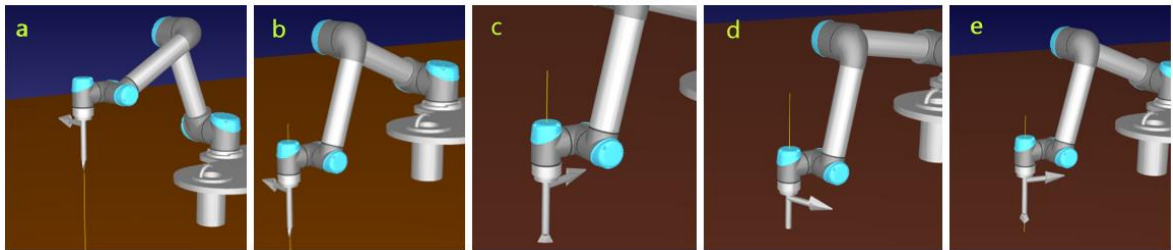


Obr. 35 Nástroj

## 5.2 Simulace

Celý proces je rozdělen na tři části. Část narušení, extrakce a vysypání do nádoby. Celý navrhovaný proces se provádí přibližně minutu. Rychlost pohybů by se mohla v budoucnu změnit v závislosti na skutečném namáhání nástroje a ramena.

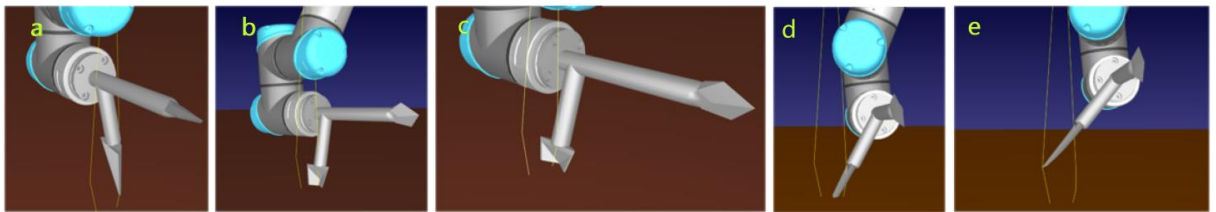
**Narušení** půdy je důležitá část předcházející extrakci. Z výchozí pozice (Obr. 36a) se ostří přiblíží rychloposuvem 50 mm nad zem (Obr. 36b). Odsud je již pomalým pohybem svisle vtlačován do půdy. Tento pohyb je doprovázen otočným pohybem o 180° kolem osy nástroje (Obr. 36c). Po pootočení nástroje se nástroj vrací do předchozí pozice. Poté se krok provede znovu. Následně se ostří vtlačí hlouběji a ostří se otáčí v opačném směru a pootočení o 180° se vrací do pozice zpět stejně jako v opačném směru. Takto narušuje ostří půdu do hloubky 90 mm (Obr. 36d). Po dosažení hloubky se pomalým pohybem za doprovodu otočného pohybu vrací do pozice nad půdou. Z pozice nad půdou se vrací do výchozí pozice (Obr. 36e) a následuje další operace. Výsledkem je narušená půda ve tvaru válce. Na Obr. 36 je trajektorie nástroje zvýrazněna žlutě.



Obr. 36 Výchozí pozice (a), pozice nad půdou (b), narušení půdy (c), dosažení hloubky (d), návrat do výchozí pozice (e)

## Extrakce

Lopatka se z výchozí pozice rychloposuvem přesune nad půdu o 30 mm posunutá oproti trajektorii operace narušení. Následně je lopatka skloněná o  $20^\circ$  k ose válce narušené půdy (Obr. 37a). Následuje pohyb složený ze svislého pohybu do hloubky 70 mm, vodorovného pohybu zpět o 30 mm do středu narušeného válce a zároveň změna úhlu o  $40^\circ$  od osy válce narušené půdy (Obr. 37b,c). Tímto pohybem je lopatkou odříznuta malá část neporušené půdy. Následuje vytažení lopatky nad povrch doprovázené změnou úhlu o  $50^\circ$  a vodorovné pozice o 20mm (Obr. 37d,e), tak aby materiál zůstal na lopatce. Následně se lopatka vrací do výchozí pozice, avšak zůstává skloněná pod stejným úhlem. Trajektorie nástroje je na Obr. 37 žlutě.

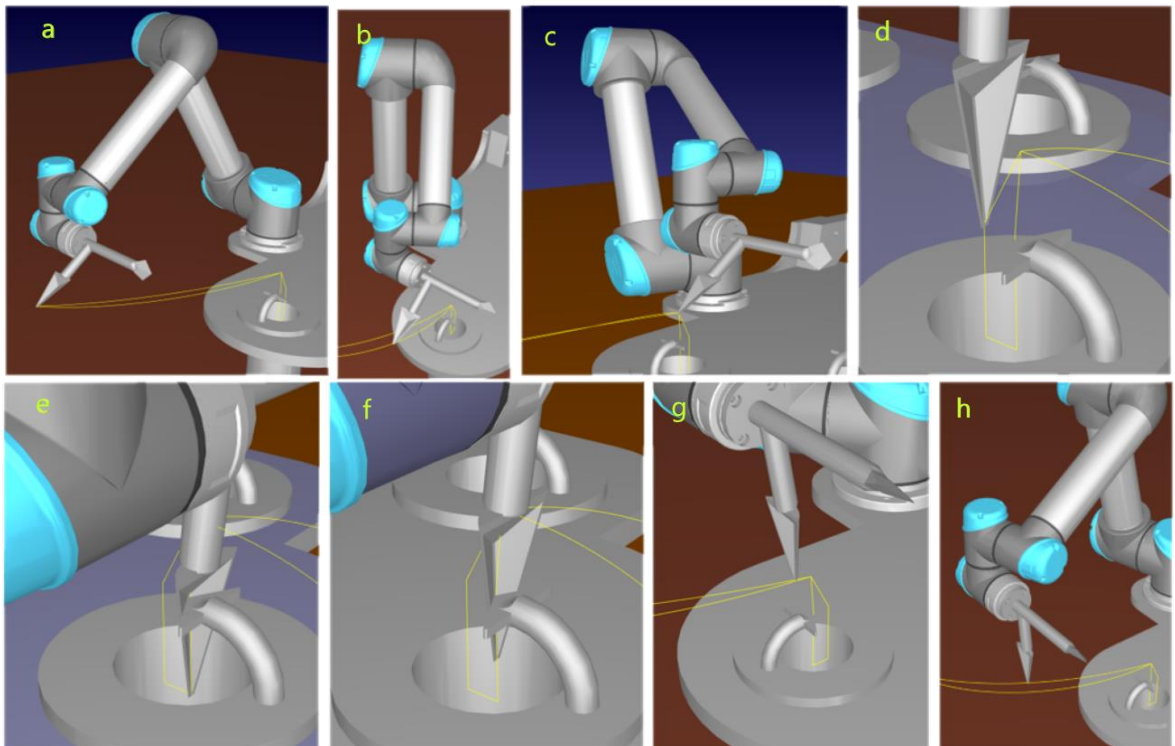


Obr. 37 Pozice nad půdou (a), vtlačování lopatky do půdy (b), dosažení hloubky (c), vytažení lopatky s změnou úhlu (d), skloněná pozice nad půdou(e)



## Uložení vzorku

Lopatka skloněná pod úhlem již z předchozí operace a se přemístí 70 mm nad nádobu. Následně se lopatka sklopí o 90° čímž vysype obsah do nádoby. Následuje zasunutí lopatky do nádoby, posunutí do středu nádoby a seškrábnutí vzorku z lopatky (viz Obr. 38e,f,g). Čistá lopatka se následně vrací do výchozí polohy (viz Obr. 38h). Trajektorie je znázorněna žlutou křivkou na Obr. 38.



Obr. 38 Výchozí pozice (a), přiblížení nad nádobu (b), nástroj nad nádobou (c), vysypání (d), kontakt s škrabkou (e), seškrábnutí (f), nástroj nad nádobou (g), návrat do výchozí pozice (h)

Jelikož bylo rameno do simulace importováno z online knihovny, program automaticky zvolil vhodný postprocesor (Universal Robots). V opačném případě by bylo potřeba zvolit tento postprocesor ručně. Simulace byla následně generována do kódu, který je schopné rameno provést (Obr. 39 a Obr. 40). Verze Free má možnost generování omezenou na 50 řádků kódu, proto nebylo možné vygenerovat kód pro operaci narušení půdy ani celý proces jako jeden program.

```

1  def lopatka():
2  # Global parameters:
3  global speed_ms = 0.250
4  global speed_rads = 0.750
5  global accel_mss = 1.200
6  global accel_radss = 1.200
7  global blend_radius_m = 0.001
8
9  # Main program:
10 # Program generated by RoboDK v5.2.1 for UR5 on 12/05/2021 23:10:57
11 # Using nominal kinematics.
12 # set_reference(p[0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000])
13 set_tcp(p[0.160000, -0.005000, 0.026000, 0.000000, 1.570796, 0.000000])
14 movel(p[-0.095157, -0.600530, 0.000000, 0.000000, 3.141593, 0.000000], accel_mss, speed_ms, 0, 0) # end trace
15 speed_ms = 0.500
16 movel(p[-0.095157, -0.580000, -0.400000, 0.000000, 3.141593, 0.000000], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
17 movel(p[-0.095157, -0.580000, -0.430000, -0.000001, 3.123389, 0.337654], accel_mss, speed_ms, 0, 0) # end trace
18 speed_ms = 0.020
19 movel(p[-0.095157, -0.600000, -0.520000, 0.004936, 3.076211, -0.542419], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
20 movel(p[-0.095157, -0.625530, -0.400000, 0.016049, 2.578156, -1.768972], accel_mss, speed_ms, 0, 0) # end trace
21 speed_ms = 0.040
22 movel(p[-0.095157, -0.600530, 0.000000, -0.000000, 2.492393, -1.912480], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
23 # End of main program
24 end
25
26 lopatka()
27 |

```

Obr. 39 Exportovaný kód extrakce

```

1  def nadoba1():
2  # Global parameters:
3  global speed_ms = 0.250
4  global speed_rads = 0.750
5  global accel_mss = 1.200
6  global accel_radss = 1.200
7  global blend_radius_m = 0.001
8
9  # Main program:
10 # Program generated by RoboDK v5.2.1 for UR5 on 12/05/2021 23:14:37
11 # Using nominal kinematics.
12 # set_reference(p[0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000, 0.000000])
13 set_tcp(p[0.160000, -0.005000, 0.026000, 0.000000, 1.570796, 0.000000])
14 movel(p[-0.095157, -0.600530, 0.000000, -0.000000, 2.492393, -1.912480], accel_mss, speed_ms, 0, 0) # end trace
15 speed_ms = 0.040
16 movej([-0.191705, -1.237840, -2.664699, -2.380716, 4.520717, -2.879811], accel_radss, speed_rads, 0, blend_radius_m)
17 movel(p[0.229843, -0.270530, 0.050000, 0.000022, -3.138521, -0.137031], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
18 movel(p[0.229843, -0.270530, -0.010000, 0.000022, -3.138521, -0.137031], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
19 movel(p[0.229843, -0.288530, -0.010000, 0.000019, -3.135641, -0.191784], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
20 movel(p[0.229843, -0.287530, 0.050000, 0.000019, -3.135641, -0.191784], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
21 movel(p[0.229843, -0.290530, 0.090000, -0.000064, -3.129575, -0.273802], accel_mss, speed_ms, 0, 0.000)
22 # Skipping rounding for move with angle 180.0 deg
23 movej([-1.547700, -1.971995, -1.699799, -1.040600, 1.570796, 0.023096], accel_radss, speed_rads, 0, 0)
24 # End of main program
25 end
26
27 nadoba1()
28 |

```

Obr. 40 Exportovaný kód vysypání a seškrábnutí vzorku

### 5.3 Kontrola šroubu

Gravitační síla byla vypočítána z celkové hmotnosti zařízení  $m_c$  gravitační konstanty  $g$ . Jelikož byla počítána potřebná síla působící na jednu stykovou plochu je počítaná gravitační síla  $F_G$  poloviční, neboť je rozložena na dva nosníky. Avšak kvůli poloze umístění ramena nebyla poloha těžiště v polovině, a tak byla nutná korekce o velikosti jedné poloviny hmotnosti ramena  $m_r$ .

$$F_G = \frac{m_c \cdot g}{2} + \frac{m_r \cdot g}{2} = \frac{31,36 \cdot 9,81}{2} + \frac{18,4 \cdot 9,81}{2} = 244,1 \text{ N}$$

$F_G$  – gravitační síla

$g$  – gravitační zrychlení =  $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$m_c$  – hmotnost celková

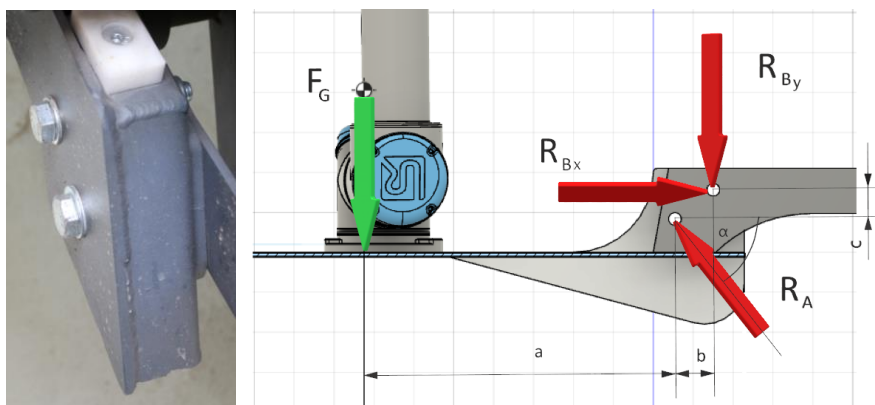
$$m_c = m_p + m_r + 3 \cdot m_n + m_t = 8,87 + 18,4 + 3 \cdot 1,05 + 0,94 = 31,36 \text{ kg}$$

$m_p$  – hmotnost plošiny  $m_p = 8,87 \text{ kg}$

$m_r$  – hmotnost ramene  $m_r = 18,4 \text{ kg}$

$m_n$  – hmotnost nádoby  $m_n = 1,05 \text{ kg}$

$m_t$  – hmotnost nástroje  $m_t = 0,94 \text{ kg}$



Obr. 41 Detail na šrouby – aktuální stav (vlevo), síla a reakce (vpravo)

$$a = 395 \text{ mm} \quad b = 48 \text{ mm} \quad c = 30 \text{ mm}$$

$$d = \sqrt{b^2 + c^2} = \sqrt{48^2 + 30^2} = 56,6 \text{ mm} \quad \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{b}{c}\right) = 58^\circ$$

$$F_G = 244,1 \text{ N}$$

Reakce  $R_A$  byla spočítána z momentové rovnice k bodu  $B$ .

$$\sum F_x = 0 \quad R_{Bx} - R_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_G - R_{Ay} + R_{By} = 0$$

$$\sum M_B = 0 \quad R_A \cdot d - F_G \cdot (a + b) = 0$$

$$R_A = \frac{F_G \cdot (a + b)}{d} = \frac{244,1 \cdot (395 + 48)}{56,6} = 1\,910,54 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = R_{Ax} \quad R_{By} = R_{Ay} - F_G \quad \rightarrow R_B < R_A$$

Aby nedošlo k namáhání šroubů na stříh musela být třecí síla  $F_t$  větší než reakce  $R_A$

$$F_t \geq R_A$$

Úpravou rovnice smykového tření se dopočítala mezní přítláčná síla  $F_N$ . Za třecí sílu byla dosazena reakční síla  $R_A$

$$F_t = f \cdot F_N \rightarrow F_N = \frac{F_t}{f} = \frac{1\,910,54}{0,15} = 12\,736,9 \text{ N}$$

$F_N$  – normálová / přítláčná síla

$f$  – koeficient tření = 0,15

$$F_t = R_A = 1\,910,54\text{N}$$

Následně byla spočítána síla působící na jeden šroub.

$$F_{\xi} = \frac{F_N}{2} = \frac{12\,736,9}{2} = 6\,368,45\text{ N}$$

Byl zvolen šroub pevnostní třídy 8.8. Dle [69] bylo zjištěno  $R_{p0,2}$

$$R_{p0,2} = 640\text{MPa}$$

Dále byl použit vztah pro výpočet dovoleného napětí dle [70]

$$\sigma_{Dt} = \frac{R_{p0,2}}{k} = \frac{640}{2} = 320\text{ MPa}$$

$$k = 2$$

Koeficient bezpečnosti  $k$  se dle[68] pro ocel volil v rozmezí 1,7-2.

Následně byl zkontrolován šroub M16

$$\sigma_{Dt} \geq \frac{F}{S} \rightarrow F \leq \sigma_{Dt} \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = 320 \cdot \frac{\pi \cdot 13,546^2}{4} = 46\,117,1\text{N}$$

Průměr  $d_3$  pro šroub M16 byl zjištěn dle [68]

$$d_3 = 13,546\text{ mm}$$

$$F_D \gg F_{\xi} \rightarrow \text{šroub vyhovuje}$$

Jelikož je  $F_D$  mnohonásobně vyšší než  $F_{\xi}$  není šroub potřeba kontrolovat na kombinované namáhání vzniklé zkrutem při dotahování.

## 6 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout automatické zařízení na odběr vzorků půdy. Odběr vzorků je prováděn robotickým ramenem, které je připevněno k prototypu polního robota. Návrh byl vytvořen jako 3D model.

Rešeršní prací bylo zjištěno, že v momentální době zůstává odběr vzorků půdy na lidech. Autonomní pozemní zařízení pro odběr půdy se stále vyvíjejí a nejsou komerčně dostupná. Vzrůstající trend zaznamenal vývoj terénního testování, jehož výhodou je jednodušší automatizace sběru dat. Na trhu mají zatím své zastoupení pouze zařízení, která lidem usnadňují fyzicky náročné pronikání do půdy.

Bylo navrženo jak fyzické zařízení, tak řídicí program. Součástí návrhu jsou 3D modely nástroje, plošiny a nádob na odebrané vzorky. Pohyby nástroje v simulaci jsou vytvořeny s ohledem na vlastnosti robota. Díky simulaci byl koncept prověřen ještě před výrobou. Šrouby držící plošinu byly pevnostně zkontrolovány.

Pro realizaci návrhu, je potřeba vytvořit program, který bude zodpovědný za pohyb polního robota po poli a spouštění řídicího programu. Do budoucna by mohlo zařízení měřit penetrometrický odpor a robotické rameno by mohlo být vybaveno např. 3D kamerou nebo vlhkoměrem, který by využíval rozrušené půdy po odebrání vzorku.

Návrh umožňuje poměrně snadno vyměnit pracovní nástroj a tím změnit účel robota. Dalšími možnými způsoby využití robota by mohly být např. mechanická likvidace plevelů nebo sběr plodin. Víceúčelovost zařízení je důležitá, neboť pořízení většího počtu zařízení je nákladné.

## 7 Reference

- [1] WEIL, Raymond and Nyle BRADY. *The Nature and Properties of Soils. 15th edition*. 2017. ISBN 978-0133254488.
- [2] PAVLŮ, Lenka. *Základy pedologie a ochrany půdy*. Vydavatel: Česká zemědělská univerzita, 2019. ISBN 9788021329522.
- [3] HILLEL, Daniel. *Fundamentals of Soil Physics* [online]. Vydavatel: Elsevier, 1980. ISBN 9780080918709. Dostupné z: doi:10.1016/C2009-0-03109-2
- [4] FOTH, Henry, D. *Fundamentals of Soil Science*. Vydavatel: Wiley, 1984. Wiley international ed. ISBN 9780471889267.
- [5] ŠIMEK, Miloslav, Dana ELHOTTOVÁ, Pavel FUSKA and Jaroslav HYNŠT. *Živá půda: praktický manuál*. Pracovní výtisk. 2019.
- [6] SOIL SCIENCE DIVISION STAFF. *Soil Survey Manual*. Agriculture Handbook. Vydavatel: United States Department of Agriculture, 2017.
- [7] MCBRATNEY, A.B, M.L MENDONÇA SANTOS and B MINASNY. On digital soil mapping. *Geoderma* [online]. 2003, **117**(1–2). ISSN 00167061. Dostupné z: doi:10.1016/S0016-7061(03)00223-4
- [8] MARTIN, Gardner. *Mystérium svobodné vůle* [online]. 2000 [vid. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://www.physics.muni.cz/kof/clanky/myster.pdf>
- [9] *ASD FieldSpec 4 Hi-Res: High Resolution Spectroradiometer - Analyzer - LICA United Technology Limited* [online]. [vid. 2021-03-04]. Dostupné z: <http://n.lica.com>
- [10] BEN-DOR, Eyal, Daniela HELLER and Alexandra CHUDNOVSKY. A Novel Method of Classifying Soil Profiles in the Field using Optical Means. *Soil Science Society of America Journal* [online]. 2008, **72**(4). ISSN 03615995. Dostupné z: doi:10.2136/sssaj2006.0059
- [11] ZREDA, M., W. J. SHUTTLEWORTH, X. ZENG, C. ZWECK, D. DESILETS, T. FRANZ and R. ROSOLEM. COSMOS: the COsmic-ray Soil Moisture Observing System. *Hydrology and Earth System Sciences* [online]. 2012, **16**(11). ISSN 1607-7938. Dostupné z: doi:10.5194/hess-16-4079-2012
- [12] PULIDO FENTANES, Jaime, Amir BADIEE, Tom DUCKETT, Jonathan EVANS, Simon PEARSON and Grzegorz CIELNIAK. Kriging-based robotic exploration for soil moisture mapping using a cosmic-ray sensor. *Journal of Field Robotics*

- [online]. 2020, **37**(1), 122–136 [vid. 2020-12-16]. ISSN 15564967.  
Dostupné z: doi:10.1002/rob.21914
- [13] HARFENMEISTER, Katharina, Sibylle ITZEROTT, Cornelia WELTZIEN and Daniel SPENGLER. Agricultural Monitoring Using Polarimetric Decomposition Parameters of Sentinel-1 Data. *Remote Sensing* [online]. 2021, **13**(4). ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs13040575
- [14] ALLRED, B, J J DANIELS and M R EHSANI. *Handbook of Agricultural Geophysics*. Vydavatel: CRC Press, 2008. Books in Soils, Plants, and the Environment. ISBN 9781420019353.
- [15] LUKAS, Vojtěch,. *Redakčně upravená zpráva projektu Optimalizace využití produkčního potenciálu půdy lokálně cílenou agrotechnikou za rok 2016* [online]. 2017 [vid. 2021-01-25]. Dostupné z: <https://knihovna.vumop.cz/documents/1575>
- [16] KIRKHAM, M.B. Penetrometers. V: *Principles of Soil and Plant Water Relations* [online]. Vydavatel: Elsevier, 2014. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-420022-7.00011-2
- [17] PALTINEANU, I. C. and J. L. STARR. Real-time Soil Water Dynamics Using Multisensor Capacitance Probes: Laboratory Calibration. *Soil Science Society of America Journal* [online]. 1997, **61**(6). ISSN 03615995.  
Dostupné z: doi:10.2136/sssaj1997.03615995006100060006x
- [18] ROBINSON, David A. Field Estimation of Soil Water Content: A Practical Guide to Methods, Instrumentation and Sensor Technology. *Soil Science Society of America Journal* [online]. 2009, **73**(4). ISSN 03615995.  
Dostupné z: doi:10.2136/sssaj2008.0016br
- [19] HUBBARD, Susan S., Myriam SCHMUTZ, Abdoulaye BALDE, Nicola FALCO, Luca PERUZZO, Baptiste DAFFLON, Emmanuel LÉGER and Yuxin WU. Estimation of soil classes and their relationship to grapevine vigor in a Bordeaux vineyard: advancing the practical joint use of electromagnetic induction (EMI) and NDVI datasets for precision viticulture. *Precision Agriculture* [online]. 2021. ISSN 1385-2256. Dostupné z: doi:10.1007/s11119-021-09788-w
- [20] BINLEY, Andrew and Andreas KEMNA. DC Resistivity and Induced Polarization Methods. V: *Hydrogeophysics* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, no date. Dostupné z: doi:10.1007/1-4020-3102-5\_5
- [21] VALLA, Miloš, Josef KOZÁK, Jan NĚMEČEK and Svatopluk MATULA. *Pedologické praktikum*. 2008. ISBN 978-80-213-0914-2.



- [22] BRAIDEK, Jeff, Dan PENNOCK and Thomas YATES. Soil Sampling Designs. V: *Soil Sampling and Methods of Analysis, Second Edition* [online]. Vydavatel: CRC Press, 2007. Dostupné z: doi:10.1201/9781420005271.ch1
- [23] POCKNEE, S., B.C. BOYDELL, H.M. GREEN, D.J. WATERS and C.K. KVIEN. Directed Soil Sampling. V: [online]. 2015. Dostupné z: doi:10.2134/1996.precisionagproc3.c16
- [24] DOUILLET, Guilhem Amin, Ulrich KUEPPERS, Célia MATO, Quentin CHAFFAUT, Mélanie BOUYSSON, Renate RESCHETIZKA, Inga HOELSCHER, Patrick WITTING, Kai-Uwe HESS, Alexander CERWENKA, Donald B DINGWELL and Benjamin BERNARD. Revisiting the lacquer peels method with pyroclastic deposits: sediment plates, a precise, fine scale imaging method and powerful outreach tool. *Journal of Applied Volcanology* [online]. 2018, 7(1). ISSN 2191-5040. Dostupné z: doi:10.1186/s13617-018-0080-2
- [25] VAN BAREN, J H v and W BOMER. *PROCEDURES FOR THE COLLECTION AND PRESERVATION OF SOIL PROFILES*. no date.
- [26] *Making a Soil Monolith* [online]. [vid. 2021-03-02]. Dostupné z: [https://serc.carleton.edu/introgeo/field\\_lab/examples/soil\\_monolith.html](https://serc.carleton.edu/introgeo/field_lab/examples/soil_monolith.html)
- [27] *Neporušený půdní vzorek* [online]. 2011 [vid. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://hydropedologie.agrobiologie.cz/neporuseny.html>
- [28] MARGESIN, Rosa and Franz SCHINNER. *Monitoring and Assessing Soil Bioremediation* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. ISBN 978-3-540-25346-4. Dostupné z: doi:10.1007/3-540-28904-6
- [29] Spiral auger - Augering & soil sampling equipment. *Eijkelkamp* [online]. [vid. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://en.eijkelkamp.com/products/augering-soil-sampling-equipment/Spiral-auger.html>
- [30] *STEP Systems GmbH - Soil - Water - Climate Testing Equipment* [online]. [vid. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.stepsystems.de/en/products/soil-properties/soil-samplers/edelman-augers/>
- [31] *ISO 9001-CERTIFIED manufacturer of environmental research equipment P1 SOIL CONTENTS* [online]. no date [vid. 2021-03-01]. Dostupné z: [www.eijkelkamp.com](http://www.eijkelkamp.com)
- [32] SETNIČKA, Michal and René MAREK. Výběr vhodného odběrového nástroje pro vzorkování kontaminovaných zemín při monitorování radiační situace chemickými laboratořemi HZS ČR. *The science for population protection* [online]. 2017, 2

- [vid. 2021-03-12]. Dostupné z: <http://www.population-protection.eu/prilohy/casopis/35/295.pdf>
- [33] WILLIAMS, Nat. Machine makes soil sampling faster, more accurate . *AgriNews* [online]. 2015 [vid. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.agrinews-pubs.com/articles/tn/2015/03/28/8a389f4629ed53a88c4973fe6b7284c5/>
- [34] *Product - Agronomic Innovations, LLC* [online]. [vid. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://agronomicinnovations.com/product/>
- [35] *Product Tour* [online]. [vid. 2021-02-13]. Dostupné z: <http://falconsoil.com/product-tour/>
- [36] *Speedprob* [online]. [vid. 2021-02-19]. Dostupné z: <http://www.bodenprobetechnik.de/index.php/de/speedprob-de>
- [37] COOKE, D A, H E MCKINNEY and I J THOMASON. *A Rapid Method for Sampling Surface Soil* [online]. 1978 [vid. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2617955/pdf/202.pdf>
- [38] WINTEX 3000. *Agro Support* [online]. [vid. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://agro-support.nl/en/Wintex-3000/>
- [39] *Wintex 1000 - Automatic Soil Sampler / Wintex Agro, USA* [online]. [vid. 2021-01-21]. Dostupné z: <https://www.wintexagrousa.com/automatic-soil-samplers/wintex-1000>
- [40] *Multiprob 120-UP* [online]. [vid. 2021-02-19]. Dostupné z: <http://www.bodenprobetechnik.de/index.php/en/multiprob-120-up-eng>
- [41] DALMIS, Ibrahim, Bahattin AKDEMIR, Nail TUREN and Korkmaz BELLITÜRK. Development of an Automatic Soil Sampling Machine. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* [online]. 2016, **2016**, 13–16 [vid. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/308310079>
- [42] *Learn More About SoilHawk* [online]. [vid. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.soilhawk.com/about>
- [43] BONADIES, Stephanie, Alan LEFCOURT and S. Andrew GADSDEN. A survey of unmanned ground vehicles with applications to agricultural and environmental sensing. V: John VALASEK and J. Alex THOMASSON, eds. [online]. 2016. Dostupné z: doi:10.1117/12.2224248
- [44] OLMEDO, Nicolas A. and Michael G. LIPSETT. Design and field experimentation of a robotic system for tailings characterization. *Journal of Unmanned Vehicle*

- Systems* [online]. 2016, **4**(3). ISSN 2291-3467. Dostupné z: doi:10.1139/juvs-2015-0034
- [45] DEUSDADO, Pedro, Magno GUEDES, André SILVA, Francisco MARQUES, Eduardo PINTO, Paulo RODRIGUES, André LOURENÇO, Ricardo MENDONÇA, Pedro SANTANA, José CORISCO, Susana ALMEIDA, Luís PORTUGAL, Raquel CALDEIRA, José BARATA and Luis FLORES. Sediment Sampling in Estuarine Mudflats with an Aerial-Ground Robotic Team. *Sensors* [online]. 2016, **16**(9). ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s16091461
- [46] DEUSDADO, Pedro, Eduardo PINTO, Magno GUEDES, Francisco MARQUES, Paulo RODRIGUES, André LOURENÇO, Ricardo MENDONÇA, André SILVA, Pedro SANTANA, José CORISCO, Marta ALMEIDA, Luís PORTUGAL, Raquel CALDEIRA, José BARATA and Luis FLORES. An Aerial-Ground Robotic Team for Systematic Soil and Biota Sampling in Estuarine Mudflats. V: [online]. 2016. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-27149-1\_2
- [47] VAELJAOTS, Eero, Henri LEHISTE, Meelik KIIK and Tonu LEEMET. Soil sampling automation case-study using unmanned ground vehicle. V: [online]. 2018. Dostupné z: doi:10.22616/ERDev2018.17.N503
- [48] VÄLJAOTS, E., H. LEHISTE, M. KIIK and T. LEEMET. Soil sampling automation using mobile robotic platform. *Agronomy Research* [online]. 2018, **16**(3), 917–922 [vid. 2021-04-05]. ISSN 1406894X. Dostupné z: doi:10.15159/AR.18.138
- [49] *Unmanned tractor second prototype – Hecada* [online]. [vid. 2021-04-05]. Dostupné z: <http://hecada.com/en/2018/07/unmanned-tractor-second-prototype/>
- [50] *Ceres Solutions - Rogo* [online]. [vid. 2021-01-23]. Dostupné z: <https://www.rogoag.com/ceres-solutions>
- [51] *Autonomous soil sampling: Robo sampling improves accuracy - Top Crop Manager* [online]. [vid. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://www.topcropmanager.com/autonomous-soil-sampling-robot-sampling-improves-accuracy/>
- [52] *Autonomous robots collect precise soil samples / Morning Ag Clips* [online]. [vid. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.morningagclips.com/autonomous-robots-collect-precise-soil-samples/>
- [53] LUKOWSKA, Aneta, Piotr TOMASZUK, Kazimierz DZIERZEK and Lukasz MAGNUSZEWSKI. Soil sampling mobile platform for Agriculture 4.0. V: 2019

- 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)* [online]. Vydavatel: IEEE, 2019. ISBN 978-1-7281-0702-8.  
Dostupné z: doi:10.1109/CarpathianCC.2019.8765937
- [54] CAO, Peter M., Ernest L. HALL and Evan ZHANG. Soil sampling sensor system on a mobile robot. V: David P. CASASENT, Ernest L. HALL and Juha RONING, eds. [online]. 2003. Dostupné z: doi:10.1117/12.516367
- [55] SCHOLZ, Christian, Kim MÖLLER, Arno RUCKELSHAUSEN, Stefan HINCK and Matthias GÖTTINGER. AUTOMATIC SOIL PENETROMETER MEASUREMENTS AND GIS-BASED DOCUMENTATION WITH THE AUTONOMOUS FIELD ROBOT PLATFORM BONIROB. V: . 2014.
- [56] BANGERT, W, A KIELHORN, Florian RAHE, Amos ALBERT, Peter BIBER, S GRZONKA, M HÄNSEL, Sebastian HAUG, A MICHAELS, Daniel MENTRUP, D KINSKI, Kim MÖLLER, Arno RUCKELSHAUSEN, Christian SCHOLZ, F SELLMANN, Wolfram STROTHMANN and Dieter TRAUTZ. Field-Robot-Based Agriculture: " RemoteFarming.1 " and " BoniRob-Apps ". V: [online]. 2013 [vid. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/277325281>
- [57] *BoniRob App-concept BoniRob Multipurpose field robot platform for agricultural applications* [online]. no date [vid. 2021-04-02].  
Dostupné z: <https://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=29417>
- [58] IQBAL, Jawad, Rui XU, Hunter HALLORAN and Changying LI. Development of a Multi-Purpose Autonomous Differential Drive Mobile Robot for Plant Phenotyping and Soil Sensing [online]. no date. Dostupné z: doi:10.3390/electronics9091550
- [59] FENTANES, Jaime Pulido, Iain GOULD, Tom DUCKETT, Simon PEARSON and Grzegorz CIELNIAK. 3-D Soil Compaction Mapping Through Kriging-Based Exploration With a Mobile Robot. *IEEE Robotics and Automation Letters* [online]. 2018, 3(4). ISSN 2377-3766. Dostupné z: doi:10.1109/LRA.2018.2849567
- [60] *Yanmar Makes a SMASH in Italy / Y media / YANMAR* [online]. [vid. 2021-04-18].  
Dostupné z: [https://www.yanmar.com/global/about/ymedia/article/smash\\_in\\_italy.html](https://www.yanmar.com/global/about/ymedia/article/smash_in_italy.html)
- [61] *Yanmar leads agricultural robotics project to develop 'SMASH' system* [online]. [vid. 2021-04-19].  
Dostupné z: <https://roboticsandautomationnews.com/2020/04/20/yanmar-leads-agricultural-robotics-project-to-develop-smash-system/31807/>

- [62] JAVOR, Tomáš, Lenka BERANOVÁ, Jiří SUCHODOL, Jana MARTINCOVÁ and Jana KRATOCHVÍLOVÁ. *Inovace pro precizní zemědělství s pořízením technologie pro přesné dávkování hnojiv* [online]. 2020 [vid. 2021-02-06]. Dostupné z: [http://solmilk.cz/wp-content/uploads/2020/11/ZZ\\_Clanek\\_Solmilk\\_Olesna\\_PRV\\_16.2.1.pdf](http://solmilk.cz/wp-content/uploads/2020/11/ZZ_Clanek_Solmilk_Olesna_PRV_16.2.1.pdf)
- [63] *Fusion 360 / 3D CAD, CAM, CAE & PCB Cloud-Based Software | Autodesk* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR>
- [64] *Import 3D objects - RoboDK Documentation* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://robodk.com/doc/en/Getting-Started-Import-3D-objects.html>
- [65] *Centrum polní robotiky* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://cpr.czu.cz/cs/r-14702-projekty-a-aktivita/r-14710-spider>
- [66] *Spider 3RIDER - Sekačky do svahu | Spider.cz* [online]. [vid. 2021-05-10]. Dostupné z: [https://www.spider-cz.com/spider-3rider\\_p33.html](https://www.spider-cz.com/spider-3rider_p33.html)
- [67] *UR5 Technical specifications* [online]. September 2016 [vid. 2021-05-09]. Dostupné z: [https://www.universal-robots.com/media/50588/ur5\\_en.pdf](https://www.universal-robots.com/media/50588/ur5_en.pdf)
- [68] LEINVEBER, Jiří and Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky : pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5th ed. Úvaly : Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [69] *Mechanické vlastnosti ocelových šroubů | ŠROUB A MATKA.CZ* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.sroubamatka.cz/cs/technicke-informace/mechanicke-vlastnosti-ocelovych-sroubu.html>
- [70] PLÁNIČKA, F, M ZAJÍČEK and V ADÁMEK. *TAH-TLAK* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.kme.zcu.cz/kmet/pp/tah-tlak/shrnuti.pdf>