

Detekování a eliminace sršně asijské při napadení úlů

Bc. Lukáš Borovský

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Lukáš Borovský
Osobní číslo: A22579
Studijní program: N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management
Specializace: Bezpečnostní management
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Detekování a eliminace sršně asijské při napadení úlů
Téma práce anglicky: Detection and Elimination of Asian Hornets When Attacking Beehives'

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte celkové přínosy včel a jejich ohrožení člověkem.
2. Vysvětlete rozdíl mezi sršní asijskou a evropskou a jejich hrozby pro včely.
3. Popište základní principy detekce objektů.
4. Navrhněte experimentální sestavu pro detekci sršně asijské.
5. Zpracujte metodu vyhlášení poplachu o výskytu sršně asijské.
6. Vymyslete zařízení pro eliminaci sršně asijské.
7. Odhadněte další vývoj v této oblasti.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. LUKÁŠ, Luděk. *Teorie bezpečnosti II.: Institucionalizace bezpečnosti ve vybraných státních útvarech*. Zlín: VerBuM, 2020. ISBN 978-80-88356-06-6.
2. LUKÁŠ, Luděk. *Konvergovaná bezpečnost*. Zlín: VerBuM, 2019. ISBN 978-80-87500-99-6.
3. Sršeň asijská poprvé v ČR. *Moderní včelař*. 2023, roč. XX, ročník, č. 11, s. 48. ISSN 9771214579002.
4. CRAMP, David. *A Practical Manual Of Beekeeping: How to Keep Bees and Develop Your Full Potential as an Apiarist*. Bell & Bain Ltd, Glasgow: Little, Brown Book Group, 2008. ISBN 978-1-84803-485-3.
5. SZELISKI, Richard. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Online. Second edition. Springer Cham, 2022. ISBN 978-3-030-34372-9. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9>. [cit. 2023-11-20].

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Rudolf Drga, Ph.D.**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **20. listopadu 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2024**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. prosince 2023

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Bc. Borovský Lukáš v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Práce se bude zabývat ochranou včelstev proti napadení sršní asijskou. V teoretické části vysvětlí základní principy včelaření a ochrany včelstev proti jiným živočichům, popíše vlastnosti invazivního druhu sršně asijské a škody, které způsobuje. V praktické části pak navrhne technické řešení pro jejich detekci, vyhlášení poplachu a jeho dalšího zpracování, případně navrhne zařízení pro jejich eliminaci.

Klíčová slova: Sršeň asijská, včela medonosná, umělá inteligence, detekce, poplach

ABSTRACT

"The work will focus on protecting beehives against Asian hornet attacks. In the theoretical part, it will explain the basic principles of beekeeping and safeguarding beehives against other organisms, describe the characteristics of the invasive species of the Asian hornet, and the damages it causes. In the practical part, it will propose a technical solution for their detection, alarm signaling, and subsequent processing, possibly suggesting devices for their elimination."

Keywords: Asian hornet, honey bee, artificial intelligence, detection, alarm

Chci poděkovat panu Ing. Rudolfu Drgovi, Ph.D. za odborné rady a spolupráci na diplomové práci. Poděkování patří i všem, kteří se svými zkušenostmi podíleli na diplomové práci. Speciální poděkování patří panu Mgr. et Mgr Janu Walterovi ze Západočeského muzea v Plzni, který dodal vzorky potřebné k praktické části diplomové práce. Dále chci poděkovat za trpělivost všem, kteří byli po čas mého studia v mé blízkosti.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 CELKOVÉ PŘÍNOSY VČEL A JEJICH OHROŽENÍ ČLOVĚKEM	11
1.1 DEFINICE SOCIÁLNÍHO HMYZU	11
1.2 ŽIVOTNÍ CYKLUS A VÝVOJOVÁ STÁDIA VČELY MEDONOSNÉ.....	13
1.3 ROZDĚLENÍ VČEL PODLE FUNKCE	15
1.3.1 Práce dělnice ve včelím úlu.....	16
1.4 PŘÍNOSY VČEL PRO LIDSKOU SPOLEČNOST	17
1.4.1 Ekonomické a ekologické aspekty včelích produktů	20
1.5 OHROŽENÍ VČEL A DŮVODY ÚBYTKU JEJICH POPULACE.....	21
1.5.1 Nemoci a škůdci včel	23
1.5.2 Dopady úbytku včel na životní prostředí a společnost.....	23
2 SRŠEŇ ASIJSKÁ	25
2.1 ROZDÍL MEZI SRŠNÍ EVROPSKOU A SRŠNÍ ASIJSKOU A JEJÍ HROZBY PRO VČELY.....	25
2.2 CHARAKTERISTIKA SRŠNĚ ASIJSKÉ A SRŠNĚ OBECNÉ.....	25
2.2.1 Vzhled sršně asijské	26
2.2.2 Vzhled sršně obecné.....	26
2.3 SRŠEŇ ASIJSKÁ A JEJÍ DOPADY NA OKOLÍ.....	26
2.3.1 Nebezpečná oblast a důvod zahnízdění sršně asijské.....	29
2.3.2 Biologický cyklus sršně asijské	30
2.4 HROZBY PRO VČELY ZPŮSOBENÉ SRŠNĚMI	33
2.4.1 Rozdíly v hrozbách pro včely mezi sršní asijskou a evropskou.....	33
2.4.1.1 Sršeň obecná	33
2.4.1.2 Sršeň asijská.....	34
2.5 OCHRANA VČEL PŘED HROZBAMI SRŠNÍ	34
3 POPIŠTE ZÁKLADÍ PRINCIPY DETEKCE OBJEKTU	35
3.1 DĚLENÍ SENZORŮ DLE SNÍMANÝCH VELIČIN	36
3.2 HLUBOKÉ UČENÍ V DETEKCI OBJEKTU	37
3.2.1 Metody detekce objektu	39
3.2.2 Jednostupňové detektory objektu	40
3.2.3 Dvoustupňové detektory objektu	41
3.3 HODNOCENÍ DETEKČNÍCH MODELŮ	42
3.3.1 Recall a Precision	43
3.3.2 mAP.....	44
3.3.3 IoU.....	45
II PRAKTICKÁ ČÁST	46
4 NAVRHNĚTE EXPERIMENTÁLNÍ SESTAVU PRO DETEKCI SRŠNĚ ASIJSKÉ	47
4.1 ANOTOVÁNÍ FOTEK PŘES ROBOFLOW	48
4.2 TRÉNOVÁNÍ AI POMOCÍ ULTRALYTICS	51
4.2.1 Příprava a spuštění trénování modelu	51
4.2.2 Postup a výsledky prvního pokusu.....	53

4.2.3	Výsledky a postup druhého pokusu	55
4.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ TRÉNOVÁNÍ.....	57
4.3.1	Rozdíl mezi prvním a druhým pokusem	62
4.4	INSTALACE RASPBERRY PI – PYTHON.....	62
4.5	ZAPOJENÍ A INSTALACE IDS KAMERY	63
4.5.1	Popsání kódu pro kameru IDS	64
4.6	ZAPOJENÍ A INSTALACE MIKROPOČÍTAČE ARDUINO UNO	67
4.7	ZAPOJENÍ A INSTALACE GSM KOMUNIKÁTORU.....	68
5	ZPRACUJTE METODU VYHLÁŠENÍ POPLACHU O VÝSKYTU SRŠNĚ ASIJSKÉ	71
5.1	BLOKOVÉ SCHÉMA A VÝVOJOVÝ DIAGRAM	71
5.2	PRINCIP KÓDU A DETEKCE SRŠNĚ ASIJSKÉ	72
6	VYMYSLTE ZAŘÍZENÍ PRO ELIMINACI SRŠNĚ ASIJSKÉ	77
6.1	PŘÍKLADY AKTUÁLNÍCH PASTÍ	77
6.2	VYMYŠLENÉ ZAŘÍZENÍ PRO ELIMINACI SRŠNĚ ASIJSKÉ	79
7	ODHADNĚTE DALŠÍ VÝVOJ V TÉTO OBLASTI	81
7.1	TECHNOLOGICKÉ INOVACE.....	81
7.2	VÝVOJE PASTÍ NA SRŠEŇ ASIJSKOU.....	81
7.3	BIOLOGICKÝ A CHEMICKÝ VÝVOJ OBRANÝCH METOD	82
7.4	ODHAD VÝVOJE MONITOROVÁNÍ A KONTROLY	82
	ZÁVĚR	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	85
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	96
	SEZNAM OBRÁZKŮ	98
	SEZNAM TABULEK.....	101
	SEZNAM PŘÍLOH.....	102

ÚVOD

Invazní druhy hmyzu jsou poslední dobou stále častější. S rychle narůstající změnou celosvětového klimatu se rozvíjí i vhodné prostředí a podnebí a podnebí pro hmyz, který se v evropských končinách nikdy neobjevoval. Od roku 2004 byl zaznamenán první výskyt invaze sršně asijské na evropskou půdu, konkrétně do Francie. Odkud se postupem času dostává do celého území Evropy.

Jelikož se jedná o druh hmyzu, který se zde samovolně nevyskytuje, neexistuje zde žádný konkrétní predátor, který by redukoval počty invazního druhu. Tento fakt vede k rychlému přemnožení a rozšíření se do blízkého okolí a decimování původní rovnováhy ekosystému. Sršeň asijská způsobuje svou přítomností největší škody včelám, respektive včelařům, kteří se chovu včel věnují za účelem zisku.

Český svaz včelařů se snaží zabránit expanzi invazního druhu hmyzu na české území, ovšem nelze tomu nijak úplně zabránit.

Cílem práce je poskytnout základní koncept systému, který by mohl zdokonalit detekování sršně asijské na území české republiky a pomohl by včelařům ochránit své cenné úly. V práci bude popsáno využití umělé inteligence v boji proti invazním druhům hmyzu, ať už se jedná o sršeň asijskou, nebo i jiný hmyz, který expanduje na naše území, nebo u kterého se dá očekávat expanze.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CELKOVÉ PŘÍNOSY VČEL A JEJICH OHROŽENÍ ČLOVĚKEM

Včela medonosná latinsky též známá, pod názvem, jako *Apis mellifera*, spadá do skupiny blanokřídlého hmyzu. Tento druh je považován za jednoho z nejznámějších druhů sociálního hmyzu. [1], [2], [3]

Do skupiny sociálního druhu patří například včely, vosy, mravenci a termity. [2], [3]

Oproti jiným druhům, jako jsou mravenci, termity a podobně, včely nedělí svou specializaci v úlu. Dělnice umí vykonávat každou práci v úlu a podle potřeby ji zastane. Normální rozdělení včelích prací je podle jejich stáří. Ale i u včel jsou jedinci, kteří jsou svým chováním podobní právě zmíněným mravencům a termitům. Je to proto, protože svojí práci dědí z generace na generaci. Jsou to trubci a královny, mají za svůj život jen jediný úkol. Královna se stará o včelí populaci, tím že klade oplozená a neoplozená vajíčka. Trubci mají za úkol oplodnit královnu. [4], [5]

1.1 Definice sociálního hmyzu

Aby se dalo jednat o užití slova sociální hmyz, musí být splněny následující podmínky, jako jsou například tyto: [1]

- Spolupráce,
- Komunikace,
- Centrální autorita,
- Kooperativní péče o potomstvo,
- Specializace rolí,
- Společenská organizace,
- Mezigenerační soužití.

Význam podmínek je následovný:

Spolupráce – Spolupráce je proces, nebo soubor procesů, které vedou ke společnému cíli jednotlivce, nebo skupiny. U včel je spolupráce základním kamenem úspěchu včelstva. Včely musí spolupracovat na budování úlu, jeho obraně, sbírání potravy, úklidu a starání se o matku a další nové potomky. [6]

Komunikace – Cílem komunikace je sdílení myšlenek, pocitů, informací, názorů a mnoho jiných, mezi jednotlivci, nebo skupinou. Účelem je předat určitou zprávu takovým způsobem, aby byla porozuměná a pochopená správně. [7]

V úlu mezi sebou včely komunikují, aby pracovali více jako tým a jejich spolupráce měla smysl. Pro komunikaci včely používají doteky tykadel, včelím taneček, zvuk a některé druhy feromonů. [8], [9]

Centrální autorita – Včely mají pouze jedinou centrální autoritu a tou je jejich královna. Královna má v úlu vedoucí roli celé kolonie. Její primární funkce je kladení vajíček, aby celé včelstvo přežilo. Zároveň královna působí svým chováním na kolonii. [10]

Kooperativní péče o potomstvo – Aby včely mohly fungovat jako jeden celek, je v úlu rozdělena dělba práce podle stáří včely. Dělnice spolupracují při plnění jejich úkolů a celkově se každá včela podílí na chodu úlu. Jsou rozděleny podle vybraných úkonů. Včely, které se starají o líhnoucí se nové přírůstky. Dorůstající potomci jsou krmeni od pečujících dělnic. Poté co se z kukli vylíhne včela, stará se o vajíčka a larvy ona. Tato dělba práce a vzájemná spolupráce zaručuje úspěšné fungování včel. Zajišťuje a zvyšuje přežití včelího společenstva. [11], [12]

Specializace rolí – Dělnice mají v úlu rozdělené role, které se jim postupem času mění. Když jsou včely mladé, zůstávají v úlu a věnují se pracím jako je čištění, krmení potomků i královny. Čím je včela starší, začíná přebírat úkoly, které vyžadují vylétávání z úlu. Jsou to úkoly ohledně sběru, pylu, nektaru, vody a podobně. Včely nemají určenou jednu specializaci, například jako mravenci. Proto když je potřeba může každá dělnice v úlu vykonávat práci, která je zrovna potřeba udělat. [13]

Společenská organizace – Společenská organizace, nebo též označováno jako včelstvo. Ve včelstvu funguje řád a organizace. Každý jedinec ví, kdy je jaký úkol je potřeba vykonávat. Nejdůležitější jedinec v úlu je královna. Ta svým dělnicím vylučuje feromony. Každý jedinec ve včelstvu je odkázán na spolupráci s ostatními. Sami bez ostatních jsou odkázání ke smrti. [14], [15], [16], [17]

Mezigenerační soužití – Ve včelstvu spolu žijí generace včel pospolu. Když jsou dělnice mladé, specializují se hlavně na úkoly uvnitř v úlu. Starší jedinci mají úkoly hlavně mimo úl, jako je sběr potravy. Nicméně každá včela, pokud je zrovna potřeba může dělat jakýkoliv úkol. I když je včela stará, může znovu obnovit funkce pro výrobu vosku, nebo mateří kašičky, které mají spíše mladší jedinci. [18], [19]

Včelstvo tak funguje jako jeden celek, který spolupracuje, nejsou zde rozdíly mezi starší a mladší generací včel. Největší práci v úlu vytvoří letní včelstvo, které na podzim vymění generace zimních včel. [18], [19]

1.2 Životní cyklus a vývojová stádia včely medonosné

Královna má ve včelí kolonii za úkol klást vajíčka. Z oplozených vajec se líhou dělnice, z neoplozených se líhnou trubci. Královna naklade oplozené vajíčko do plástu. Stádia růstu včely, jak ukazuje obrázek (Obrázek 1), jsou následovné: [14]

- Vajíčko,
- Larva,
- Předkukla,
- Kukla,
- Dospělec (imago).

Vajíčko – Královna naklade vajíčko do plástu, nebo do mateří misky. Vajíčka se dělí na oplozená a neoplozená. Oplozená vajíčka jsou kladena do dělničí buňky, nebo mateří misky. Neoplozená vajíčka jsou kladena do trubčí buňky. Vajíčko včely medonosné má bílou barvu. [14]

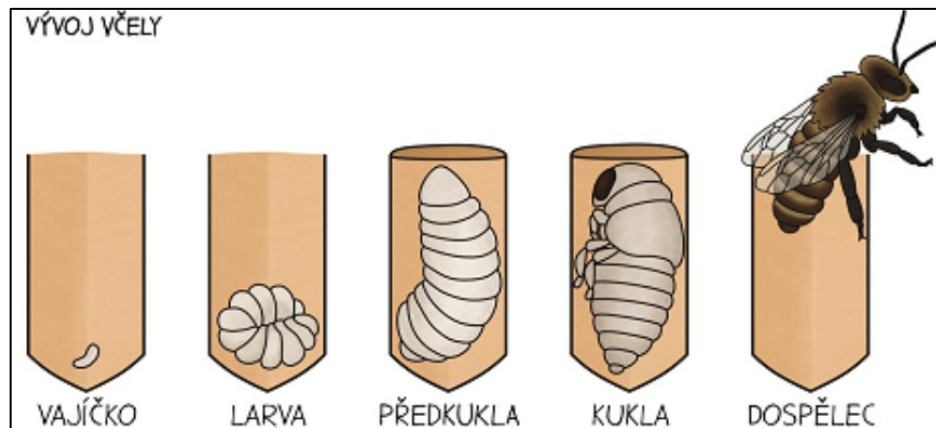
Larva – Z vajíčka se vylíhne larva. Larva je dalšími včelími dělnicemi bohatě živena, a proto může rychle vyrůst. Larvy postupem času, jak dorůstají, zabírají celý prostor v buňce, ve které jsou uloženy. [4], [14], [20]

Předkukla – Když larva dosáhne potřebné síly a velikosti, je na čase se zabalit do zámotku. Ve vrchní části si předkukla vytvoří zámotek, který je i na bocích buňky, ve které je uložena. V této fázi už se začíná formulovat stavba těla a dorůstat končetiny podobné dospělému jedinci. [4], [14], [20]

Kukla – Předposledním stádiem vývoje včely medonosné je kukla. Uvnitř buňky probíhá řada fyziologických procesů. Kulka je natočena v buňce hlavou směrem k otvoru. Zásoby potřebné pro vývin bere z uskladněných zásob, které si nastřádala ve fázi larvy. Po vylíhnutí z kukly už včela dále neroste, jenom dospívá a stárne. [4], [14]

Dospělec – Dospělá včela prokouše víčko buňky a vylézá. Ihned po vylíhnutí se v úlu zapojuje do dělby práce a podílí se na správném fungování včelstva. [4], [14]

Celý cyklus od vajíčka po zrození včely je ukázán na obrázku (Obrázek 1).



Obrázek 1: Vývoj včely [21]

Tabulka 1 Životní cyklus matky, dělnice a trubce (zdroj vlastní)

Měsíc	Týden	Den	Královna	Dělnice	Trubec	
1.	1.	1.	Oplozené vajíčko	Oplozené vajíčko	Neoplozené vajíčko	
		4.	Vylíhnutí larvy	Vylíhnutí larvy	Vylíhnutí larvy	
		6.		Změna potravy	Změna potravy	
	2.	9.	Zavíčkování larvy			
		10.		Zavíčkování larvy		
		11.			Zavíčkování larvy	
	3.	16.	Líhnutí matky			
		21.		Líhnutí dělnice		
	4.	22.	Páření		Čistička	
		24.				Líhnutí trubce
25.				Krmička		
27.		Kladení vajíček		Kojička		
2.	5.	33.		Stavitelka		
		34.			Páření	
	6.	39.		Strážkyně		
		42.		Létavka		
7.	...		Letní generace včel umírá	Trubci umírají		
8.	...		Zimní generace včel umírá			
7.				
...	Královna se děžívá až 5. let			

Životní cyklus včel, jak znázorňuje tabulka (Tabulka 1), se snaží ukázat délku života jednotlivých rolí ve včelím úlu. Královna (matka) žije nejdéle, až 5 let. Dělnice se dělí na Letní generaci včel a zimní generaci včel. Letní generace žije v průměru 6-8 týdnů, naopak zimní generace žije 7-9 měsíců. Trubci žijí podobně jako letní generace včel v průměru 6 týdnů. [22], [23], [24]

1.3 Rozdělení včel podle funkce

Ve včelím úlu jsou zastoupeny pozice, které jednotlivé včely vykonávají. Jedná se o tyto funkce: [4]

- Královna,
- Dělnice,
- Trubci.

Každá funkce má velký vliv na fungování celého včelstva a od jejich vykonávání se odvíjí budoucnost celé včelí kolonie.

Královna – Ve včelstvu, které se nachází v úlu, může být královna, též označována jako matka) jen jedna. Královna má hlavní funkci v úlu plodit vajíčka. Denně jich dokáže snést okolo 1 000 až 2 000 vajec. Je to nejdůležitější úkol, který zajišťuje, že včelstvo bude mít stále plno dělnic. Aby královna mohla plodit oplodněná vajíčka, musí vylétnout z úlu a nechat se oplodnit trubci. Poté je schopna produkovat oplozená vajíčka, ze kterých se líhnou dělnice a neoplozená vajíčka, ze kterých se líhnou trubci. Tento let probíhá pouze jednou za život královny. O včelí královnu se v úlu pečlivě starají její dělnice, které ji krmí, čistí, brání. Za tyto služby královna vylučuje feromony, které jsou prospěšné pro celý roj. [25], [26]

Dělnice – Včelí dělnice jde rozdělit na dvě skupiny, jsou to:

- Mladušky,
- Létavky.

V úle dělnice zastupují nejpočetnější část populace. Dorůstají v rozměrech od 12 do 14 mm s váhou okolo 100 mg. Život dělnice závisí na ročním období. V letním období je život dělnice okolo 38 dnů, zatímco zimní generace včel dokáže přežít až 6 měsíců, kvůli přezimování v úlu. Dělnicím se nevyvíjejí pohlavní orgány, proto nedokáží plodit vejce, jako královna. Dělničí práce se pro mladušky a létavky liší. Včely plní úkoly, které jim předává královna skrze feromony.[26], [27]

Jedná se o úkoly: [25]

- Čištění buněk pro vajíčka,
- Stavba pláství a vylučování vosku,
- Péče o nové larvy,
- Krmení matky, trubců a nových plodů,

- Strážení česna,
- Udržování teploty v úlu,
- Sběr a shromažďování potravy.

Mladušky – Za mladušky jsou označovány mladé dělnice. Mladé dělnice mají za úkoly primárně krmit královnu, plody a mladé trubce. Dále vykonávají práce, jako jsou: [4]

- Zahřívání plodu,
- Vylučování vosku,
- Udržování vlhkosti a teploty v úlu,
- Čištění a stavění pláství,
- Čištění úlu, zadělávání trhlin, tmelení škvír.

Létavky – Primárním úkolem včelích létavek je vyletování z úlu a sběr nektaru, vody, propolisu. Mimo tyto úkoly se podílejí i na teplotě v úlu, čištění úlu, odpařování vody a střežení česna. [4]

Trubci – Z neoplozeného vajíčka se rodí trubci. Jsou to včelí samečci. V úlu, respektive ve včelstvu trubci nemají zásadní vliv na fungování, nezúčastňují se žádné činnosti, kterou dělají dělnice. Jednou z mála funkcí, kterou trubec vykonává, je udržení konstantní teploty v úlu. V době rozvoje včelstva je možné v úlu vidět trubce, to zpravidla bývá v době od jara do podzimu. Trubců se můžou v úlu nacházet stovky, okolo 200–700 jedinců. Mají za úkol osemnit včelí královnu, která vylítne z úlu na „snubní let“. Trubci, kterým se podaří spářit s královnou ihned umírají, ostatní alespoň přispívají udržování teploty v úlu. Při vylíhnutí trubce se o něj starají včelí dělnice (mladušky). Před přípravou na zimu, to znamená konec podzimu, se včely trubců zbavují. Vytlačí je z úlu na česno, nebo je vyženou. Trubci jsou poté odkázáni k záhubě. [4], [25], [27]

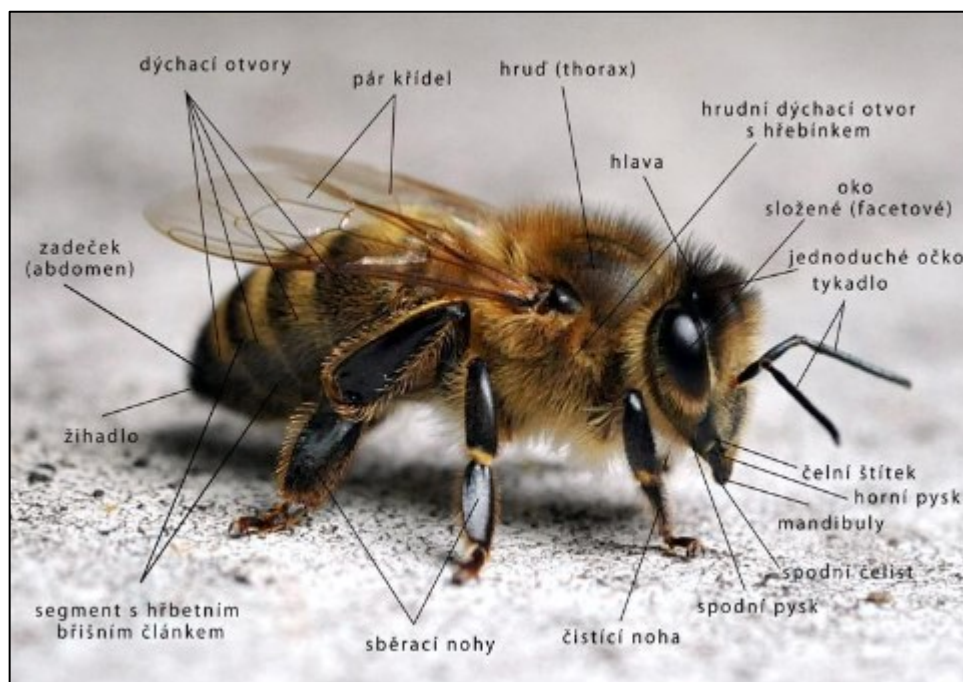
1.3.1 Práce dělnice ve včelím úlu

V tabulce níže (Tabulka 2) je popsáno jaký má životní cyklus včelí dělnice v úlu od narození až po svou smrt. Mezi první úlohy patří práce v úlu. Rozdělení úloh včelích dělnic je dán podle jejich věku, podle kterého dostávají své specializace. [28]

Tabulka 2: Vývojová stádia dělnice po vylíhnutí (zdroj vlastní)

Dny	Hodiny	Stádium	Činnost
1.	2 - 3	čistička	čištění buněk
4.	96	krmička	Zásobování larev potravou
6.	144	kojička	Krmení matky mateří kašičkou
12.	288	stavitelka	stavění včelího díla
18.	432	strážkyně česna (vchodu do úlu)	střežení vchodu do úlu
21.	504	létavka	dopravování potravy do úlu

Rozdělení určitých specializací mezi jednotlivé dělnice je hlavní důvod efektivity včel. V úlu panuje naprostý řád, každá dělnice ví, jaký má úkol a spolupracuje s ostatními. Tento jev má za následek zajištění optimálních podmínek pro chov larev, celkovou stabilitu a vitalitu včelí kolonie. [22], [23], [29]



Obrázek 2: Popis dělnice [30]

1.4 Přínosy včel pro lidskou společnost

Včely mají pro lidskou společnost obrovský přínos. Jsou nejučinnější opylovači mezi hmyzem. Včely opylují až 97 % kulturních plodin a volné vegetace. Mezi hmyzem jsou i jiní opylovači, jako jsou: včely samotářky, čmeláci a jiní opylovači. Ti dokáží opylovat jen přibližně 3 % rostlin. Včely přispívají svou prací k udržení životního prostředí a k zachování biodiverzity. Dokáží produkovat biologicky cenné a pro lidi prospěšné látky, jako jsou například: [5], [31], [32]

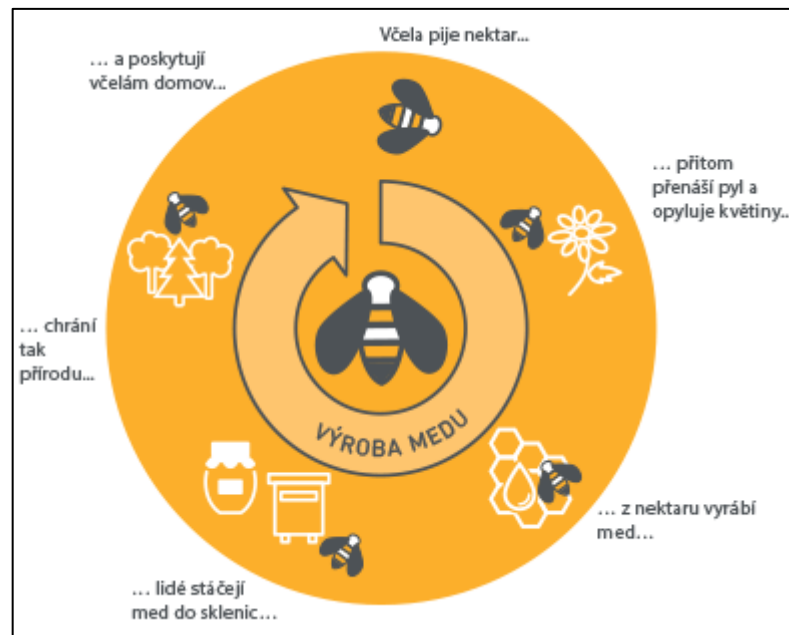
- Med,
- Pyl,
- Propolis,
- Mateří kašička,
- Včelí jed,
- Vosk,
- Opylovací činnost.

Med – Pro včely je med zásobou energie a potravy. Med je přírodní produkt produkovaný včelami medonosnými. Jde o přírodní sladidlo, které je pro člověka přijatelné a prospěšné, na rozdíl od cukru. [33], [34], [35], [36], [37]

Med jde rozdělit na několik druhů, jsou to:

- Květový med – včely vytváří med z nektaru, který získávají z rostlin,
- Medovicový med – vzniká sbíráním medovice, kterou produkují převážně mšice,
- Smíšený med – smíšený med je kombinací květového medu a medovicového medu,
- Pastový med – pastový med vzniká z květového, medovicového, nebo smíšeného medu pomocí řízené krystalizace,
- Med o uměle krmených včel – jde o med, který je vyroben včelami, ale byly jim uměle poskytovány sladké šťávy s různou příchutí,
- Jedovatý med – výskyt jedovatého medu je spíše v zahraničí (Turecko, Řecko, USA). Včely sbírají nektar od jedovatých rostlin a z toho důsledku se jedovaté látky přenesou i do medu.

Obrázek níže (Obrázek 3) ukazuje a popisuje výrobu včelího medu. Při výrobě medu včela zároveň opyluje květiny.



Obrázek 3: Výroba včelího mdu [38]

Pyl a opylovací činnost – Pyl je potřebný nejen pro včely, ale hlavně pro rostliny. Včely z posbíraného pylu vyrábí med, propolis i mateří kašičku. Květiny dokáží produkovat více pylu, než samy potřebují k rozmnožení. Aby přilákaly opylovače, například včely, produkují květiny ještě nektar, který slouží jako sladké lákadlo a odměna pro opylovače. Díky přelétání včel z jednoho květu na druhý, nasbírá na své tělo pyl, kterým pomáhá opylovat rostliny. Za letu včela vyrábí rousky, kvůli tření nohou. Na výrobu jednoho páru rousků je potřeba aby včela obletěla nejméně 80 květů. [39], [40], [41], [42], [43]

Propolis – Propolis, nebo také označován jako včelí tmel, vzniká smícháním pryskyřice, kterou sbírají na stromech, a svými výměškami. Do úlu přinesou propolis podobně jako pyl, na zadních nohách. Při napadení úlu nepřítelem, například sršněm, dokáží včely pokrýt propolisem celé tělo útočníka, aby zabránili rozkladu těla a případným infekcím. Včely využívají dva druhy propolisu:

- Řídký – na natírání stěn úlu a těl útočníků, kteří zůstali v úlu. Z důvodu zabránění rozkladu těla a z dezinfekčních důvodů
- Hustý – pro tmelení skulin v úlu

Složení propolisu se mění v závislosti na sbíraných látkách. Propolis má silné antibiotické účinky, eliminuje rozvoj širokého spektra bakterií a všech plísní. Propolis lze získat dvěma způsoby:

- Z rámků,

- Ze sítě.

Využití propolisu může být ve formě masti, tinktury a mnoho dalšího. [44], [45], [46]

Mateří kašička – Mateří kašičku produkují mladé dělnice (mladušky) ve věku 3. až 10. dní svými hltanovými žlázami. Včely využívají mateří kašičku jako potravu pro své larvy a pro matku, kterou těmito výměšky krmí celý její život. Získávání mateří kašičky je z buněk matečnicků. Využití mateří kašičky je v kosmetickém průmyslu, jako doplněk stravy, nebo jako výživa zvířat. [47], [48]

Včelí jed – Včelí jed se vyskytuje v největším množství u včel v 2. až 3. týdnu života. Včely v případě ohrožení sebe sama, nebo v ohrožení úlu bodnou nepřítele pomocí svého žihadla. Tím pádem vypustí jed, který má za následek útočníka odradit. Když včela ztratí žihadlo, vyloučí feromon, který nabádá další včely k bodnutí a ochraně úlu. Včela bez žihadla za chvíli umře. [49], [50]

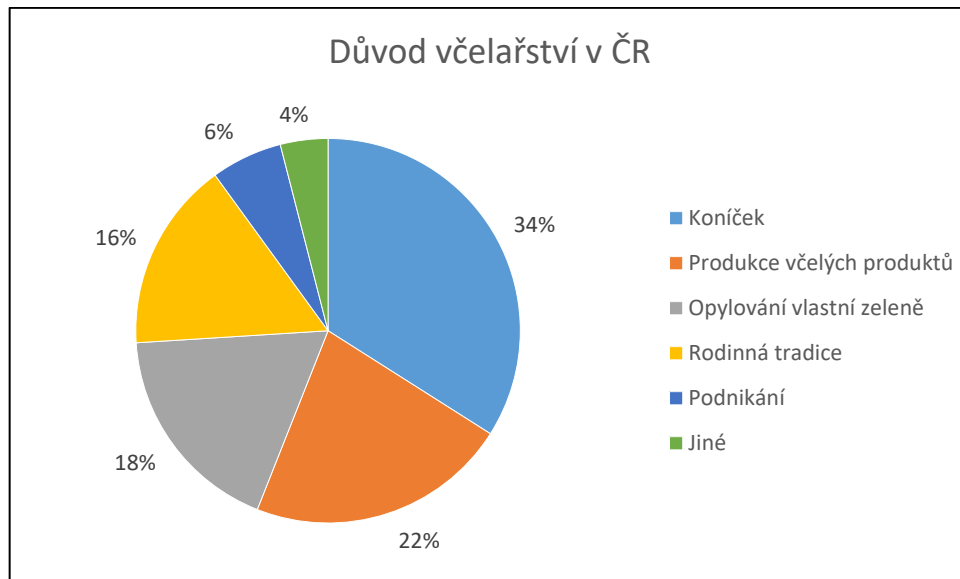
Při využití včelího jedu je sbírán buď samotný jed, nebo rovnou celá žihadla s jedovým váčkem. Včelí dělnice jsou položeny na nádobku s plastovou fólií, jeli fólie tenká, včela nepřijde o žihadlo. Včely jsou drážděny, aby instinktivně žihadlem propíchny fólii a vypustily jed. Pokud je fólie pevnější, včela ztratí při bodnutí i své žihadlo. Odebraný jed se nechá zkrystalizovat a následně se použije na výrobu léků a zkoumání. Včelí jed se používá při léčbě alergií a podobně. [49], [50]

Vosk – Včely produkují vosk svými voskotvornými žlázami. Vzniká přeměnou medu a pylu v těle dělnice. Včelí dělnice mají nejaktivnější voskotvorné žlázy mezi 9. až 18. dnem života. Je tedy produkován hlavně mladšími včelami. Starší včely mohou znovu produkovat vosk změnou potravy, pokud je v úlu nedostatek stavitelek. Využití včelího vosku je na výrobu dekorací, v kosmetickém průmyslu, potravinářském průmyslu a podobně. Pro včely slouží vosk jako hlavní stavební materiál při budování úlu. [51], [52], [53]

1.4.1 Ekonomické a ekologické aspekty včelích produktů

Včely, zejména chov včel, má významný přínos pro celou lidskou společnost. Včelstvo přispívá svým působením ke správnému fungování biohospodářství. Z hlediska přínosu pro lidskou společnost je většina, až 90 %, přínosu včel tvořena opylovací činností a schopností. Zbylých, přibližně, 10 % jsou včelí produkty, které lidé zpracovávají a využívají pro svůj prospěch. [54], [55]

Graf (Obrázek 4) znázorňuje jaký je důvod chovu včel v České republice.



Obrázek 4: Důvody chovu včel v ČR (Zdroj vlastní)

Ekonomické přínosy bývají pro včelaře jedním z hlavních důvodů chovu včel. Z vyrobených včelích produktů (med, propolis, vosk, včelí jed, mateří kašička, pyl) včelař získá finanční ohodnocení jejich prodejem. [54], [56], [57]

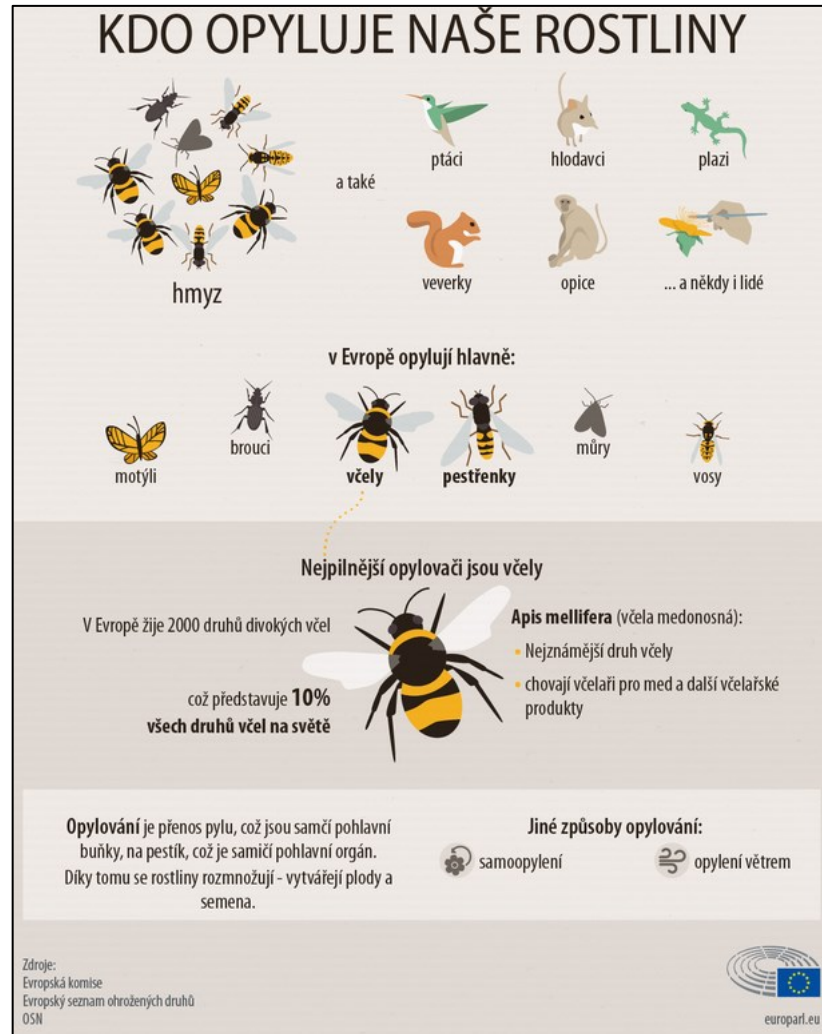
Z ekologického pohledu jsou včely důležité hlavně z důvodu opylovací schopnosti. Díky opylování pomocí opylovačů mohou existovat druhy rostlin, které ke svému rozmnožení potřebují pomoc. [54], [56], [57]

1.5 Ohrožení včel a důvody úbytku jejich populace

Opylovači jsou nejdůležitější skupina pro udržení biodiverzity. Mnoho rostlin potřebují k rozmnožení pomoc od hmyzu, zvířat, větru, nebo dokonce vody, aby byl jejich pyl přenesen a rostliny se mohli rozmnožit. Malé procento rostlin je samosprašných a ke svému rozmnožení opylovače nepotřebuje. Opylovači nemusí být nutně jen včely, nebo různý hmyz. Mezi opylovače patří například:

- Ptáci,
- Ještěrky,
- Veverky,
- Hlodavci.

Jak je patrné z obrázku (Obrázek 4), v Evropě patří mezi významné opylovače hlavně včely. Proto by měla být jejich bezpečnost na prvním místě zájmů. [58]



Obrázek 5: Opylovači [58]

Úbytek opylovačů má více příčin. Všechny druhy opylovačů jsou vystavováni mnoha různým vlivům, které v dlouhodobém období jsou fatální. Ohrožení může být dáno například těmito faktory: [54], [58], [59], [60]

- Urbanizace,
- Degradace přírodních stanovišť,
- Klimatická změna,
- Zemědělství,
- Monokulturní krajina,
- Zhoršování životního prostředí,
- Pesticidy a znečištění,
 - Insekticidy a fungicidy,
 - Herbicidy,

- Nemoci,
- Škůdci a predátoři.

1.5.1 Nemoci a škůdci včel

Nemoci a škůdci pro včely a včelstvo samotné se dá rozdělit více dopodrobna. Jsou to například: [14], [60], [61], [62], [63], [64]

- Nemoci plodu,
 - Varoáza,
 - Mor včelího plodu,
 - Zvápenatění plodu,
 - Virus deformovaných křídel,
 - Hniloba,
 - Virus černání matečnicků,
- Nemoci dospělých včel,
 - Varoáza,
 - Akarapidóza,
 - Nosemóza,
 - Virus chronické a akutní paralýzy,
- Škůdci,
 - Kleštík včelí,
 - Včelomorka obecná,
 - Zavíječ malý i voskový,
 - Majka fialová.

1.5.2 Dopady úbytku včel na životní prostředí a společnost

Včely mají ohromný význam, co se týče světové populace rostlin. Úkolem včel je opylovat květiny i rostliny, které jsou součástí lidského života, například ke konzumaci. Likvidace včel přispívá ke ztrátě reprodukci rostlin, které jsou na opylení závislé. Když zmizí včely, přestanou, nebo se drasticky sníží výskyt hmyzosubných rostlin. A vzrostl by výskyt rostlin větrosrubných. [65]

Rozdíl mezi větrosrubnými a hmyzosubnými rostlinami: [65]

- Větrosrubné rostliny – jsou opylovány větrem (např. obiloviny – pšenice, ječmen, žito, aj.)

- Hmyzosnubné rostliny – jsou opylovány hmyzem (např. především ovocné dřeviny – jabloň, hrušeň, ořech, ale i maliny, ostružiny, aj.)

Taková změna by nesla následky v podobě vyhynutí živočišných a hmyzích druhů, které jsou závislé na hmyzosnubných rostlinách. Pro zachování optimální biodiverzity a potravního řetězce, jsou včely nepostradatelnou součástí. [58], [66], [67]

2 SRŠEŇ ASIJSKÁ

Vzhledem k neustálému dlouhodobému měnící se podnebí na celém světě, se rozšiřuje i působení nejen hmyzu, které je našich podmínkách bráno jako invazní druh. V české republice se můžeme setkat s invazním druhem sršní asijskou, která se k nám dostala z hnízd nalezených ve Francii. [68]

Sršeň asijská neboli Vespa velutina, se v průběhu roku 2004 rozšířila po většině území Francie. Odtud se postupně rozšířila do Španělska, Portugalska, severní Itálie, Belgie, ale také Nizozemsko, Německo, Maďarsko, Česko a Slovensko. V České republice se poprvé objevila v plzni v roce 2023. Od té doby se její další hnízdo objevilo v Hrádku u Rokycan v únoru 2024. [69], [70]

Tento specifický druh sršně se na krátké vzdálenosti šíří relativně lehce. Na delší vzdálenosti je sršeň převezena většinou uvnitř převážejícího dřeva. Pro opylovače má tato sršeň negativní vliv. Jde o dravý hmyz, který útočí na včely medonosné. [68], [70], [71]

2.1 Rozdíl mezi sršní evropskou a sršní asijskou a její hrozby pro včely

Existuje mnoho druhů sršní. Mezi nejznámější zástupce rodu blanokřídlých patří: [68]

- Sršeň obecná (evropská) – *Vespa crabro*,
- Sršeň asijská – *Vespa velutina*,
- Sršeň mandarínská – *Vespa mandarinia*,
- Sršeň východní – *Vespa orientalis*,
- Sršeň žlutavá – *Vespa simillima*.

V České republice jsou pozorovatelné pouze dva druhy sršně.

- Sršeň obecná – původní druh,
- Sršeň asijská – invazní druh.

2.2 Charakteristika sršně asijské a sršně obecné

Charakteristika sršně asijské a sršně obecné je podrobněji popsána v dalších podkapitolách, které se věnují konkrétnímu zbarvení obou druhů a rozdílů mezi nimi. Obrázek níže (obrázek 6) ukazuje oba druhy sršní, na první pohled je patrný jejich odlišný vzhled. [70], [72], [73]



Obrázek 6: Rozdíl mezi Sršní asijskou a sršní obecnou [73]

2.2.1 Vzhled sršně asijské

Na obrázku více (Obrázek 6) je vidět zbarvení sršně asijské v porovnání se sršní obecnou. Sršeň asijská dorůstá v délce 19–35 mm. Královna se pohybuje v rozsahu 30–35 mm. Sršeň asijská disponuje žlutou, až žlutooranžovou hlavou. Tělo je zbarvené do tmavě hnědé až černé barvy. Zadeček sršně je hnědý, se žlutým, nebo až hnědožlutým zbarvením. Poslední segment je téměř celý žlutohnědý. Typické je pro sršeň asijskou její zbarvení nohou. Nohy jsou černé se žlutými konečky. [70], [74]

2.2.2 Vzhled sršně obecné

Tělo sršně obecné se může dorůstat délky od 19–40 mm. Velikost královny je 35–40 mm, je o přibližně 10 mm větší než dělnice. Zbarvení, jak ukazuje obrázek více (Obrázek 6), je žluto-hnědo-červené na hlavě. Zbytek těla sršně pokrývají převážně barvy žlutá a hnědá. Barva nohou je převážně červenohnědé, nebo černé. [75]

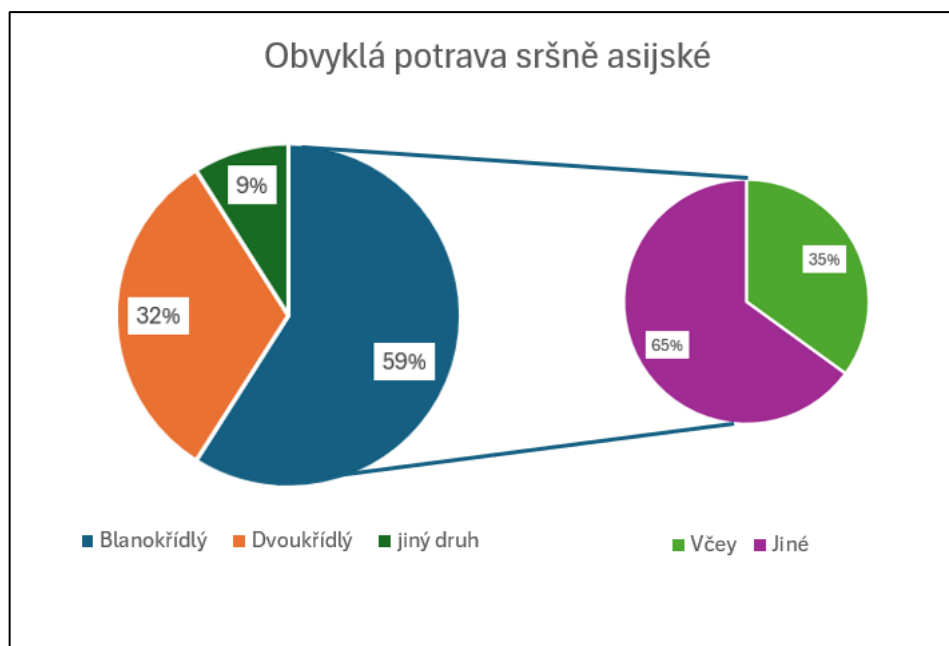
2.3 Sršeň asijská a její dopady na okolí

Sršeň asijská svým působením negativně ovlivňuje biodiverzitu zemí, ve kterých působí jako invazní druh. Jsou to zejména evropské země. [68], [76]

V průběhu sezóny, což je mezi září až listopadem, se v sršním hnízdu nachází 1500 až 2000 jedinců. V takto osídleném hnízdu může být až 500 královen, které je potřeba nakrmit, aby mohli vylétnout a rozšířit své působení do dalšího teritoria. [68], [76]

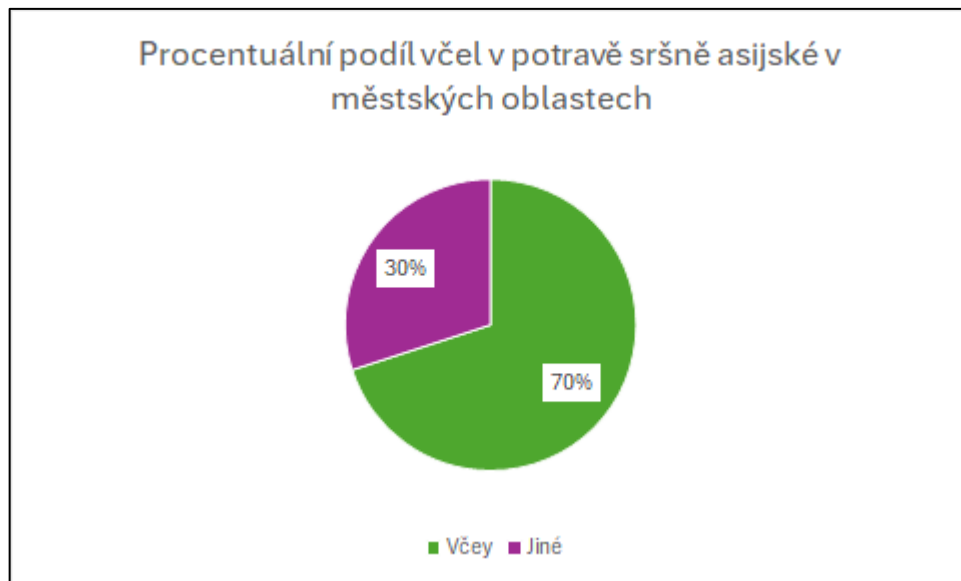
Jedna kolonie sršně asijské dokáže zkonsumovat přibližně milion jedinců hmyzu za pouhou jednu sezónu. Tento invazní druh se v evropských zemích neživí pouze včelami. Různorodost potravy se liší podle geolokace hnízda. Spektrum potravní rozmanitosti je od hmyzu, ovoce až po mrtvoly ptáků a savců. [68], [76]

Potrava sršně asijské je názorně patrná z nadcházejících grafů. (Obrázek 7, Obrázek 8, Obrázek 9)



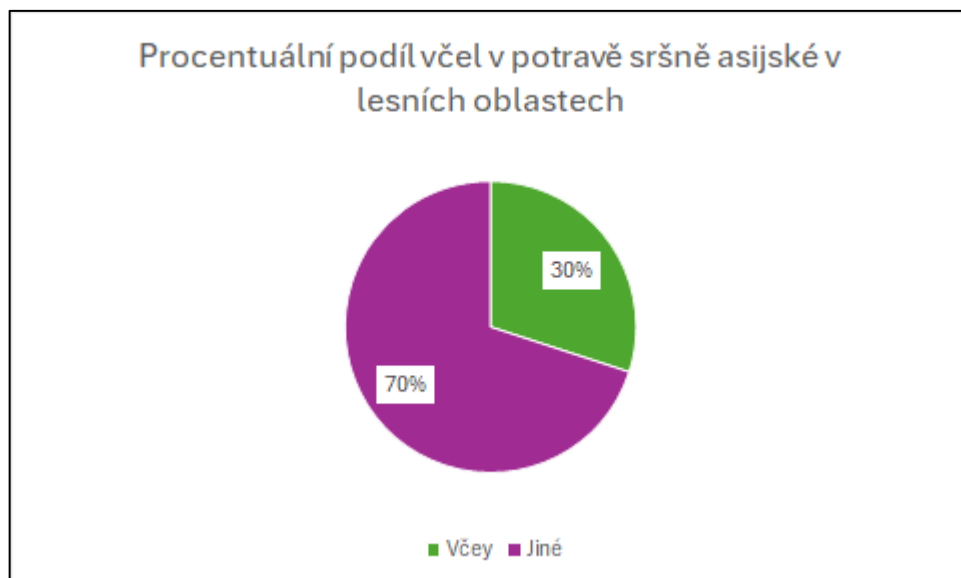
Obrázek 7: Klasická potrava sršní asijských (Zdroj vlastní)

Graf výše (Obrázek 7) znázorňuje dva výsečové grafy. Graf nalevo znázorňuje celkové spektrum kořisti sršně asijské za normálních podmínek. Potravu tvoří z 59 % blanokřídlý hmyz (včely, vosy, mravenci, čmeláci, aj.), 32 % jsou zástupci dvoukřídleho hmyzu (moucha, komár, ovád, bzikavka, aj.) a zbylých 9 % tvoří jiný druh. Do zbylých 9 % patří i mrtvoly ptáků a savců. Za normálních podmínek se největší zástupce potravy, blanokřídlý hmyz, dá rozdělit ještě do konkrétnější kategorie, jak ukazuje výsečový graf vpravo na obrázku výše (Obrázek 7). Z celkových 59 % jsou včely potravou pro sršně asijské jen v 35 %, zbylých 65 % tvoří ostatní zástupci, jak již bylo zmíněno (mravenci, vosy, čmeláci, aj.). [76], [77], [78]



Obrázek 8: Procentuální podíl včel medonosných v potravě sršně asijské v městských oblastech (Zdroj vlastní)

Potrava sršně asijské v městských oblastech je značně omezena lidským působením. Proto zde sršeň asijská loví převážně včely, které tvoří 70 % sršního potravy. Včely medonosné jsou chovány lidmi pro různé účely, jak ukazuje graf v kapitole 1.4.1 (Obrázek 4). V tomto případě jsou včelí úly ohroženy nejvíce. Časté útoky sršně asijské způsobuje oslabení, či zcela vyhubení celého včelího úlu. [76]



Obrázek 9: Procentuální podíl včel medonosných v potravě sršně asijské v lesních oblastech (Zdroj vlastní)

V lesních oblastech je potrava rozmanitější, a proto zde nehrají včely dominantní roli. Pouhých 30 % potravy sršně asijské zde tvoří včely. Včely mohou být uměle chované v úlech a umístěny v lesích, aby sbírali med. Nebo se zde nachází i včely divoké, které jsou také sršní potravou. [76], [79]

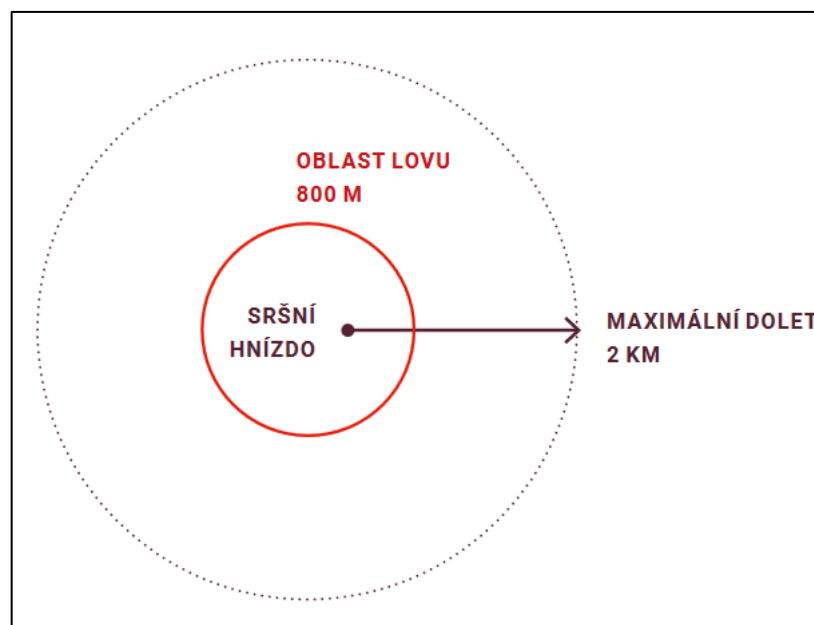
2.3.1 Nebezpečná oblast a důvod zahnízdění sršně asijské

K zahnízdění sršně asijské je potřeba několik přírodních podmínek. Jsou to např.: [79]

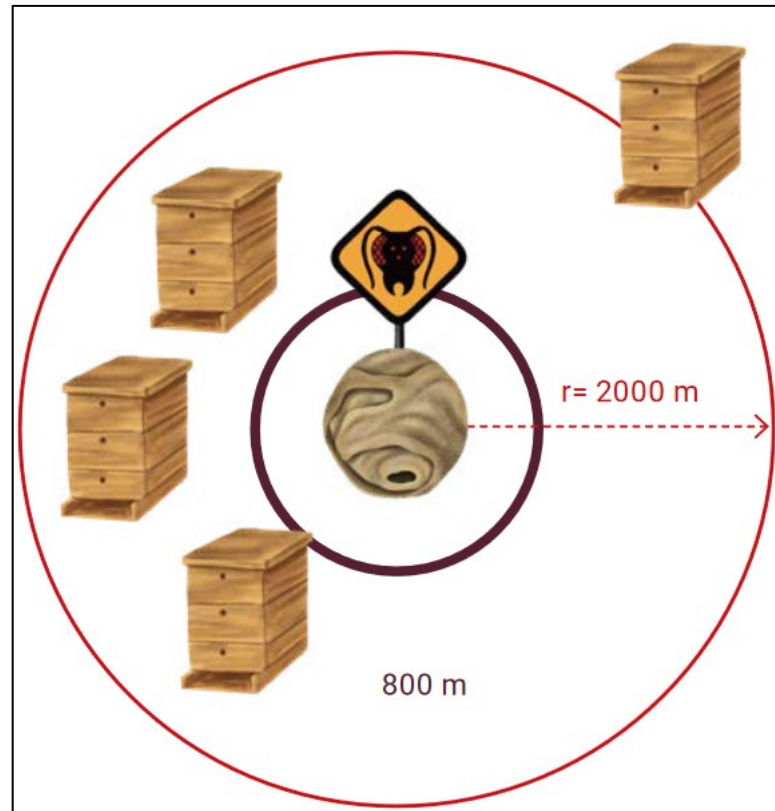
- Dostupnost říčních toků,
- Přítomnost vysokých stromů,
- Velká hustota včelstev.

Hustota včelstev je pro sršně asijské primární rozhodovací faktor. Jedná se totiž o spoustu potravy pro jejich kolonii. [79]

Sršeň asijská loví potravu do určité vzdálenosti od svého sekundárního hnízda. Obrázky níže (Obrázek 10 a Obrázek 11) ukazují a vysvětlují maximální dolet sršně asijské od svého úlu při shánění potravy. Maximální dolet sršně asijské, jak je znázorněno (Obrázek 10) je 2 km, lovná oblast se pohybuje. [76]



Obrázek 10: Maximální dolet sršně asijské od hnízda [76]



Obrázek 11: Maximální dolet sršně asijské od hnízda o okruh vzdálenosti ohrožených včelích úlů [76]

Obrázek 11 vyznačuje včelí úly, které jsou v přímém nebezpečí z pohledu útoků sršně asijské. Když jsou včelí kolonie dostatečně silná, dokáží útokům sršně asijské odolávat a vyrovnat se se ztrátou dělnic, které skončí jako kořist. Přispět včelám může včelař jejich krmením po čas útoků, nebo jejich přemístěním, kde se nevyskytuje sršeň asijská. Sršně asijské stačí přibližně 600 metrů od hnízda, aby našla dostatek potravy pro svou kolonii. Proto jsou včelí úly v poloměru do 2 km od sršního hnízda v nebezpečí. [76], [79]

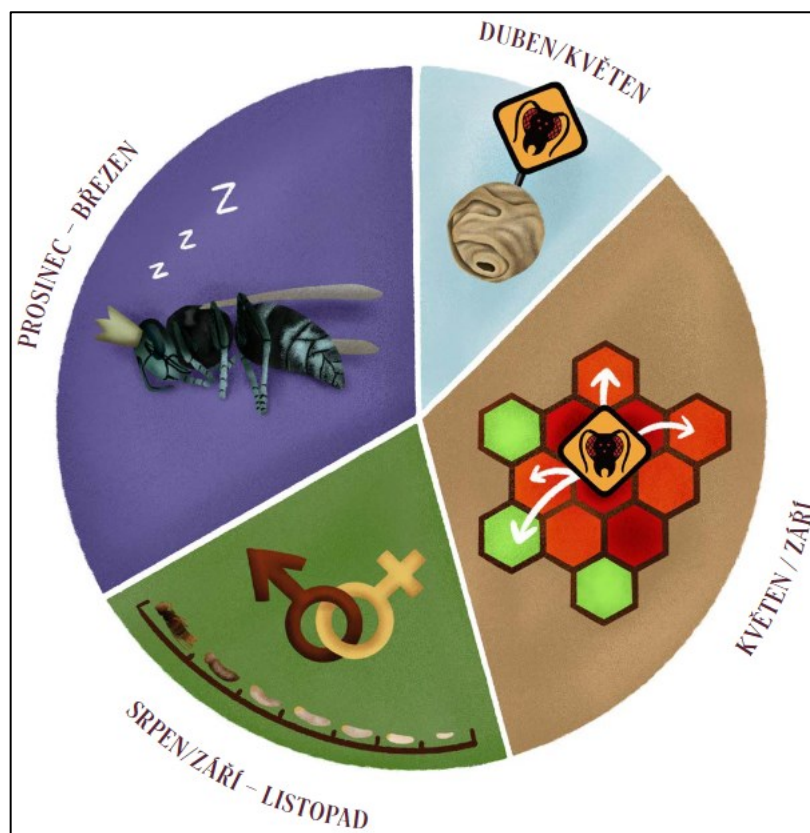
2.3.2 Biologický cyklus sršně asijské

Biologický cyklus sršně asijské se dá rozdělit do 4 segmentů, jsou to: [76], [79], [80], [81]

- Jaro,
- Léto,
- Podzim,
- Zima.

Jaro – Jedná se o měsíce duben až květen (Obrázek 12). Sršně královna je po zimním spánku. V jarní fázi je sama a začíná shánět potravu a stavět primární hnízdo. Po postavení

primárního hnízda začíná snášet vajíčka, ze kterých se líhnou dělnice. Pokud už primární hnízdo nestačí, dělnice jej zvětší, nebo se přemístí jinam celá kolonie. [76], [79], [80], [81]



Obrázek 12: Biologický cyklus sršně asijské [76]

Léto – V letní fázi je celá sršňí kolonie nejsilnější. Jedná se převážně o měsíce květen až září (Obrázek 12). Sršňí kolonie se rozrůstá a od července až do konce listopadu začínají lovit včely medonosné, aby nakrmili sebe a své potomstvo. [76], [79], [80], [81]




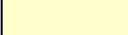

Podzim – Podzimní fáze je určena na měsíce od srpna až do konce listopadu (Obrázek 12). Během této fáze se sršňí kolonie přeorientovává primárně na produkci nových královen, ovšem nálety na včelí úly, kvůli potravě, zůstávají až do konce podzimní fáze. V průměru se jedná až o 500 královen a samců k páření. Ne všechny budoucí královny se spáří a přežijí. Po páření budoucí královny vylétají z hnízda a začínají si nacházet vhodné místo na přezimování. Aby na jaře mohla vzniknout nová kolonie. [76], [79], [80], [81]

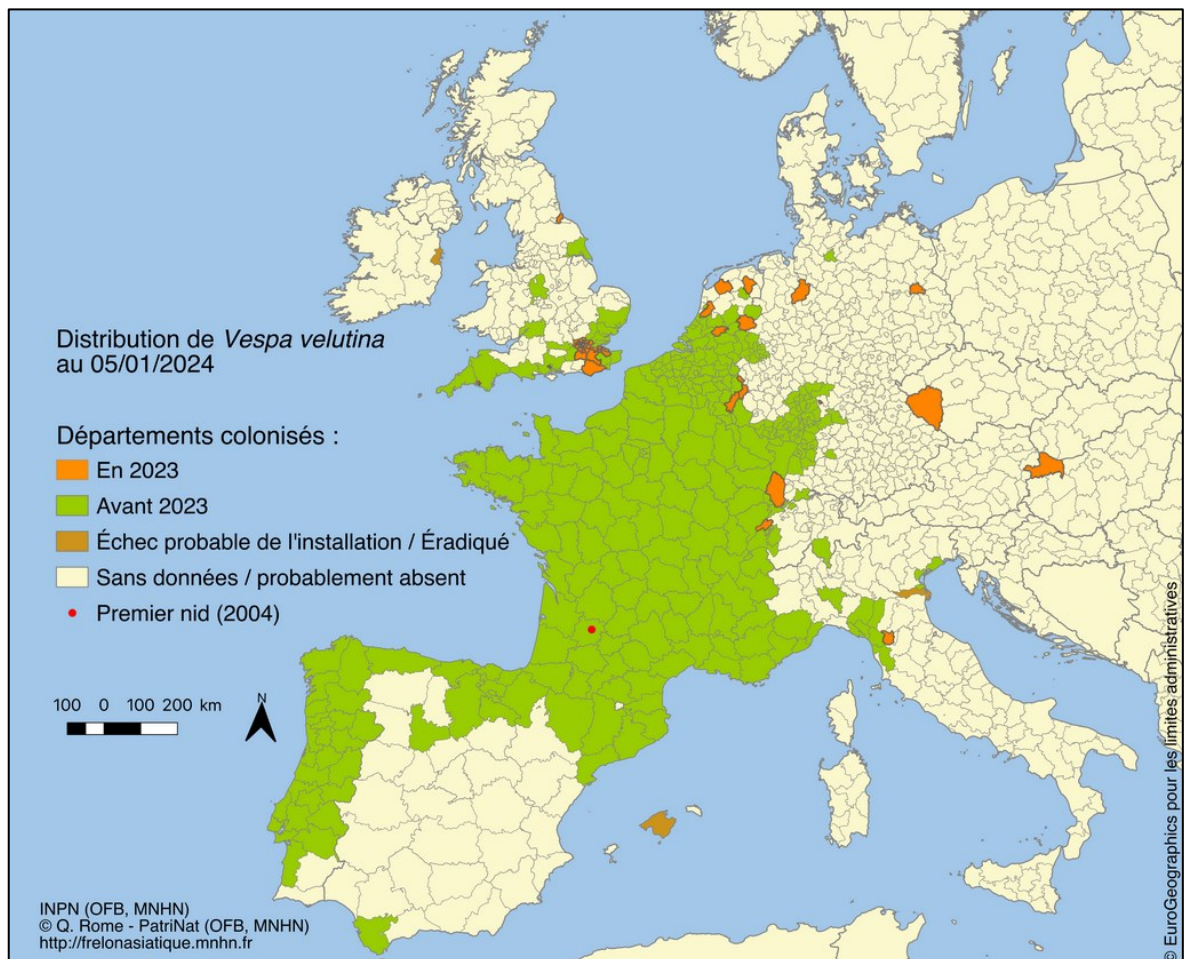
Zima – Sršňí královny jsou schované na bezpečných místech, kde přezimují a na jaře začnou celý koloběh znovu (Obrázek 12). [76], [79], [80], [81]

Mapa na obrázku níže (Obrázek 13) ukazuje rozšíření sršně asijské od prvního zaznamenaného hnízda ve Francii v roce 2004. Zobrazení invazního druhu je aktuální z data 5. ledna 2024.

Legenda k obrázku:

Tabulka 3: Legenda k Obrázku 13 (Zdroj vlastní)

Legenda	
Barva	Popis
	Před rokem 2023
	V roce 2023
	Pravděpodobné nezahnízdění sršně asijské
	Nejsou data
	Místo prvního výskytu



Obrázek 13: Rozšíření Sršně Asijské [82]

2.4 Hrozby pro včely způsobené sršněmi

Sršeň asijská je nebezpečná pro včely v evropských zemích. Díky své rychlé expanzi a predaci na včelách medonosných a dalších opylovačů. Sršeň asijská může způsobit rozsáhlé škody v oblasti ekosystému přírody, ekonomické škody včelařům a biologickou nerovnováhu původních opylovačů. [76], [81]

Vysoká míra reprodukce jedinců s rychlou expanzí do svého okolí dělá z tohoto invazivního druhu nebezpečí, proti kterému nejsou včely medonosné samy schopny dlouhodobě bojovat. Mezi hlavní negativní dopady, které způsobuje sršeň asijská, patří: [76], [81]

- Ekonomické hrozby,
- Ekologické hrozby,
- Hrozby na zdraví.

Ekonomické hrozby – mají negativní dopad pro včelaře, který přišel o včelstvo kvůli sršni asijské. [76], [81]

Ekologické hrozby – kvůli ztrátě včel, bude výrazně ovlivněné opylování. Včely tvoří největší zastoupení opylovačů. Kvůli jejich ztrátě můžou převládnout větrosnubné rostliny. [76], [81]

Hrozby na zdraví – sršeň asijská může mít dopad i na lidské životy z důvodu pobodání žihadlem. Jelikož je výskyt v blízkosti lidských obydlí. [76], [81]

2.4.1 Rozdíly v hrozbách pro včely mezi sršní asijskou a evropskou

Sršeň obecná a sršeň asijská mají zcela odlišný dopad na biodiverzitu na evropských zemích. Zatímco místní druh, sršeň obecná, má spíše pozitivní dopady na včely, sršeň asijská má výrazné negativní dopady pro včely medonosné. [83], [84]

2.4.1.1 *Sršeň obecná*

Sršeň obecná není pro včelu medonosnou nebezpečnější než sršeň asijská. Včely a sršně obecné žijí v evropských zemích ve vzájemném „partnerství“. Sršeň obecná sice loví včely, ale nejsou hlavní prioritou. Včely jsou pro sršně jakožto zásoba, když v přírodě ubývá hmyz na začátku podzimu. Sršeň obecná se oproti asijským sršním nesnaží vyhubit celé včelstvo, ale loví pouze létavky, které vylétají z úlu a vracejí se zpět. Na konci léta to jsou převážně letní včely, které by stejně nepřežily zimu. Sršeň obecná má pro včely i pozitivní dopad, loví hmyz, který je přirozený škůdce pro včely medonosné, např. vosy útočné. [76]

2.4.1.2 *Sršeň asijská*

Sršeň asijská má obrovský dopad právě pro včelaře, kteří chovají včely medonosné pro svou vlastní obživu. Kvůli dravosti jsou útoky na včely výrazné a zánik celé včelí kolonie je běžný. Kvůli ztrátám celých úlů dochází k úbytku včelích produktů a ke ztrátě opylovací schopnosti v přírodě. [79]

Sršeň asijská je zodpovědná za ztrátu až 30 % všech včelstev ve Francii, kde je nejvíce rozšířená. Tyto ztráty mají za následek finanční náročnost na chov včel, jejich opatření, kontrolu a ochranu. Zároveň roste cena včelích produktů a snižuje se opylovací schopnost. [85]

V přítomnosti sršně asijské v blízkosti včelího úlu byl zaznamenán nárůst stresu u včel. Tento stav může z dlouhodobého hlediska ovlivnit zdraví včel, stejně jako pesticidy. Snižování počtu hmyzu a včel, kvůli vysoké predátorské aktivitě, má negativní vliv na biodiverzitu a ekosystému, ve kterém se predátor pohybuje. [81]

2.5 Ochrana včel před hrozbami sršní

Mezi ochranu včel lze poskytnout 3 základní kroky, které budou předcházet zamezení vyhubení včelstva sršní asijskou. Jsou to: [76], [81]

- Prevence,
- Monitorování,
- Kontrola.

Prevence – Preventivní péče o včely a kontrola okolí a úlů by měla být prioritou každého včelaře. Při včasném zjištění predátora, se dá dohledat hnízdo a škůdce zlikvidovat. [76], [81]

Monitorování – Monitorování zpráv a informací o pohybu a detekci sršních hnízd může zabránit zbytečnému vyhynutí včelí kolonie. Když bude zjištěno, že se invazní druh nachází v blízkosti včelí kolonie, je potřeba jednat. Včely mohou být přesunuty na místo, kde se predátor nevyskytuje. Pro eliminaci se používají i pasti, které jsou napuštěné návnadou, ovšem pasti chytí i spoustu chráněných druhů hmyzu a nejsou zcela 100 %. [76], [81]

Kontrola – Kontrolování včelích úlů a okolí může být pro včasné chycení a zastavení sršně asijské klíčové. Kolonie sršně asijské je nejzranitelnější na začátku jara. Ovšem nález královny je opravdu složitý. Na konci léta a na podzim je sršní hnízdo relativně lehce objevitelné a včasná likvidace je pro včely klíčová. [76], [81]

3 POPIŠTE ZÁKLADÍ PRINCIPY DETEKCE OBJEKTU

Forma detekování obrazu je v poslední době důležitější, než tomu bylo v dobách minulých. V době, kdy kriminalita roste obrovskou rychlostí, je detekce objektu vhodná i pro ochranu majetku před pachateli kriminální činnosti. Dle detekce objektu lze pomocí kamery snadno detekovat pohyb pachatele na chráněném území. [87], [88]

Detekce objektů je obecný termín, který zahrnuje různé techniky pro získání cenných informací. Je jedním ze základních problémů počítačového vidění. Detekce zahrnuje identifikaci objektů na fotkách, obrázcích, nebo videích, rozhodování a strojové nebo hluboké učení (deep learning) a souvisí s počítačovým zpracováním obrazu. [89], [90], [91], [92], [93]

Detekování a zpracování obrazu a následné získání informací pomáhá mnoha aplikacích, které využívají detekci objektu. Jedná se o robotiku, autonomní vozidla, kybernetickou bezpečnost, nebo kontrolování operační linky výroby. Důležitá data z detekce objektu jsou získány pomocí transformace a manipulace s obrázkem, videi. Cílem detekce objektů je vyvinout výpočetní modely, které budou poskytovat základní informace pro aplikace počítačového vidění. [89], [90], [91], [92], [93]

Detekci objektu můžeme rozdělit na části, jakou jsou: [89], [90], [91], [92], [93]

- Segmentace,
- Lokalizace,
- Klasifikace,
- Sledování.

Segmentace – Segmentace obrazu je jeden z mnoha hlavních úloh, které se zabývají automatizovaným zpracováním obrazových dat. Segmentace je metoda, která pracuje na automatickém zpracování a rozdělení obrazu do oblastí, které jsou smysluplné a se společným významem. Jedná se o rozdělení obrazu na segmenty (části), které představují, nebo odpovídají objektům na původním obrázku. Tento proces je první z celé řady strojového učení. Pomocí segmentace můžeme rozpoznávat určité objekty, detekovat, sledovat, nebo vyhledávat data z obrázku. [94], [95]

Lokalizace – Lokalizace objektů v obrazu, spočívá ve vyhledání určitého naučeného objektu a označení jeho souřadnic na obrazu. Označení objektu spočívá v ohraničení pomocí rámečku vystředěného na naučený rozpoznávací objekt. Navržený objekt, označený rámem je považovaný za správné umístění, pokud překrývá objekt, který byl zvolen a označen

člověkem. Lokalizace využívá princip hlubokého učení, pomocí něj dokáže předpovídat umístění daného objektu v obraze. Hluboké učení (deep learning) je technika strojového učení, která pomáhá v učení konkrétního objektu, aby bylo možné jej rozeznat od ostatních. Na učení této techniky slouží např. YOLO (You only look once – podíváš se pouze jednou), Faster R-CNN a další. [96], [97], [98], [99]

Klasifikace – Cílem klasifikace dat je rozdělení zvolených objektů do skupin. Skupiny mohou být předem definované, ale také nemusí. Před samotnou klasifikací dat je potřeba ještě jeden mezikrok, tzv. předzpracování dat. Předzpracování dat se vypořádává s chybějícími hodnoty, transformací dat, nebo jiné úpravy dat před samotnou klasifikací. Použití klasifikace objektových dat se využívá v jakémkoliv odvětví, které využívá strojové a hluboké učení. Může se s pomocí rozpoznávat hmyz, rozdíl mezi sršní asijskou a včelou medonosnou, využití je i u výrobní linky, při kontrole produktů, v lékařství a mnoho dalších. [100], [101]

Sledování – Sledování, nebo trasování objektů využívá více objektů z obrázků, které jsou umístěny po sobě z časového hlediska pořízení. Sledování objektů spojí více dat z obrázků, po sobě jdoucí vzhledem času a spojí, nebo integruje přijatá data do jednoho objektu, který se pohybuje časem i prostorem. [102], [103]

3.1 Dělení senzorů dle snímaných veličin

Detekce objektů se dá rozdělit do více skupin, dle senzorů. Sensory jsou klíčový prvek v oblasti detekce, díky využití lze s nimi detekovat parametry jakou jsou: [104]

- Chemické a fyzikální,
- Vlastnosti prostředí,
- Vlastnosti přístrojů,
- Vlastnosti objektů, aj.

Díky převodníkům jsou senzory, reagující na různé vstupní fyzikální podněty, schopné reagovat. Fyzikální veličiny jsou převedeny na elektrický signál pomocí převodníků. Elektrické signály posílají získané informace do elektrických obvodů, nebo pomocí vizuálního zobrazení. [104]

Vizuální detekce: Vizuální detekce je prováděna pomocí kamer, fotoaparátů, nebo jiných obrazových médií, které dokáží zaznamenat obraz dění v reálném čase. Je využívána k identifikace objektů dle vizuálních vlastností. [105], [106]

Zvuková detekce: Zvuková detekce využívá ke svému snímání mikrofon. Pomocí zvuků, vibračních a dalších akustik detekuje a identifikuje objekt. Mikrofon zaznamená zvuk, pomocí převodníku jej převede na elektrický signál, který si můžeme následně zobrazit na zobrazovacím zařízení. Zvuková detekce zahrnuje snímání lidského hlasu, zvuky strojů, přírodní jevy, nebo zvuky zvířat. [104], [107]

Tepelná detekce: Tepelná detekce pracuje se sledováním teplot v různých objektech. Využívá infračervené záření, které vydávají různé objekty s ohledem na jejich tepelnou stránku. Sledování teplot je možné u předmětů, živých tvorů, kapalin, aj. Jedná se o bezkontaktní měření. Vyzařované teplo má jiné parametry než okolní teplota vzduchu. Například lidské tělo, nebo hmyz vyzařuje, za normálních podmínek, tepelné záření, které je silnější než okolní teplota. Díky těmto změnám lze detekovat změnu teploty. [104], [107]

Chemická detekce: Chemické senzory, které jsou použity při chemické detekci a identifikaci objektů na základě chemického složení. Jednoduché chemické látky, které jdou snadno detekovat je např. kyslík, oxid uhličitý, alkohol apod. Složitější je detekce samotných molekul a metabolitů. Chemická detekce je nejčastěji využívána k identifikaci látek ve vodě, nebo vzduchu. [104], [107]

Optická detekce: optická detekce využívá změny záření ve spektru od infračerveného až po ultrafialové. Využití optické můžeme znát u lamp, veřejného, nebo i soukromého osvětlení, mobilní telefony (změna jasu), chytré hodinky, zdravotnictví apod. Mezi aplikace optické detekce patří i Dopplerův vibrometr a senzor přiblížení. [104], [107]

Mechanická a elektrická detekce: Mechanické a elektronické senzory využívají ke své činnosti sledování informací, které souvisí s tělesnými aktivitami a jeho polohy v čase. Detekovány jsou např. síla, tlak, výška, zrychlení apod. [104], [107]

Detekce pomocí biosenzorů: Obdobně jako chemická detekce, akorát biosenzory se využívají převážně za účelem zkoumání biologických vzorků, jejich složení, struktury apod. Využití tohoto typu detekce je v zdravotnictví, zemědělství, průmyslu, kontrola kvality a v čistíčkách vod. [104], [107]

3.2 Hluboké učení v detekci objektu

Detekci objektů je možné rozdělit na dvě základní kategorie, jsou to:

- Hluboké učení,
- Strojové učení.

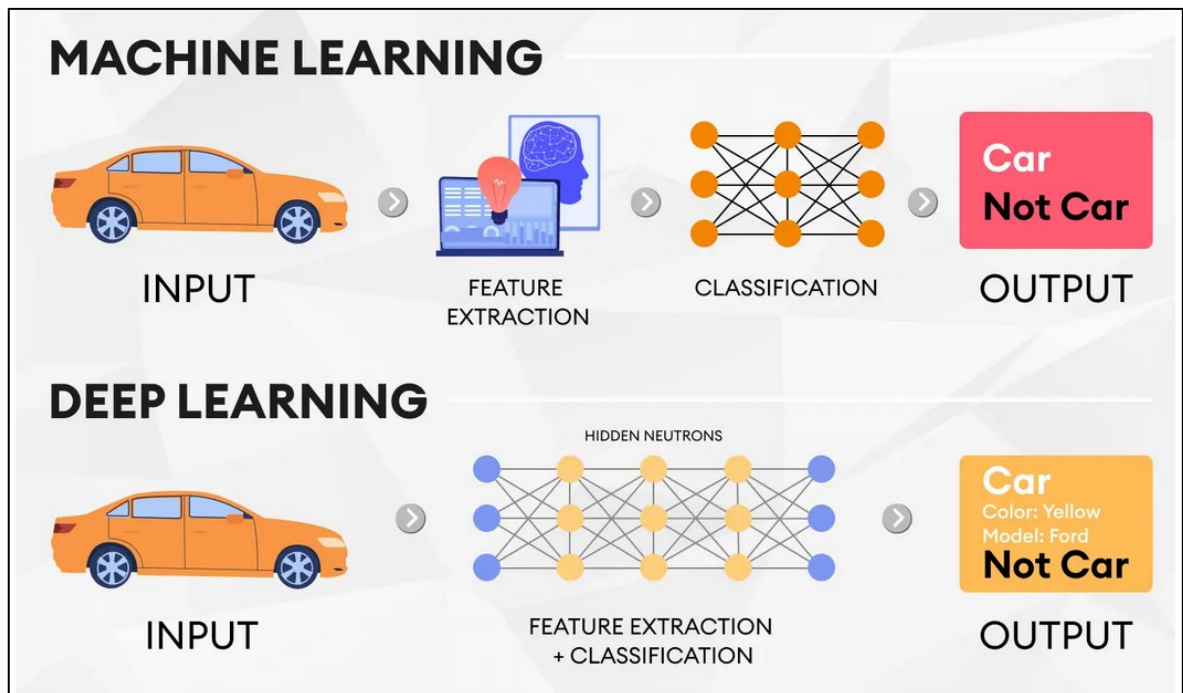
Obecně lze říci, že hluboké učení (Deep learning) je brán jako modernější způsob, jelikož nevyžaduje tolik lidského zásahu jako právě strojové učení (Machine learning). Detekce objektů využívá konvoluční neuronové sítě (CNN), které tuto mechaniku odlišují od alternativních přístupů. Neuronové sítě se dají přirovnat k neuronové soustavě lidského mozku. [92], [93], [108], [109]

Neuronová síť se skládá z:

- Vstupní vrstva,
- Skryté vnitřní vrstvy,
- Výstupní vrstvy.

Učení a zdokonalování těchto neuronových sítí probíhá pod dohledem lidského faktoru, částečně pod dohledem, nebo úplně bez dohledu člověka. CNN poskytuje možnost nejrychlejších a nejspolehlivějších výsledků pro detekci objektů. [92], [93], [108], [109]

Obrázek níže (Obrázek 14) zobrazuje rozdíl mezi strojovým učení (Machine learning) a hlubokým učení (deep learning). Rozdíl je v tom, že na začátku každého učení je auto. Strojové učení využívá více lidské pomoci než hluboké učení. Pomocí učení se daného objektu pomocí několikaset fotek, dokáže strojové učení rozeznat, že se jedná, nebo nejedná o automobil. Hluboké učení využívá ke svému cvičení neuronové sítě. Po skončení cvičení, dokáže rozeznat, že jedná o automobil, který má žlutou barvu a takéž model auta. [92], [93], [108], [109]



Obrázek 14: Rozdíl mezi hlubokým učením a strojním učením [109]

3.2.1 Metody detekce objektu

Modely detekce objektu jsou trénovány se stovky tisíc dat, kde je vyobrazen učený objekt, aby v budoucnu už byla přesnost automaticky optimalizována. Bez těchto modelů není možná detekce objektu. Pomocí datových sad se zefektivňuje zpřesňování a trénování modelu. [93], [105], [109]

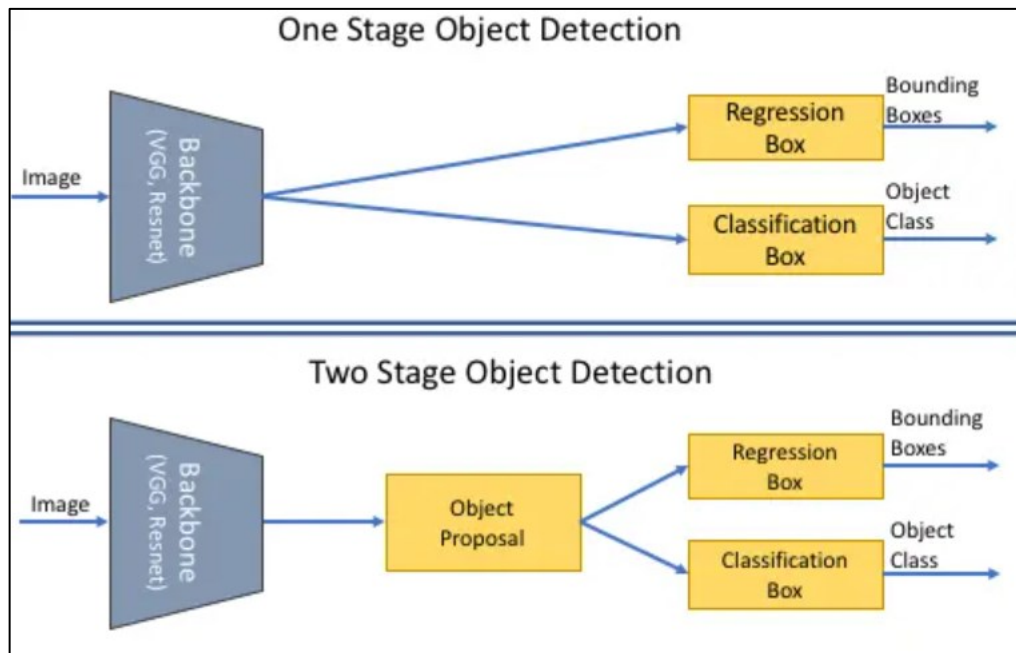
Modely detekce objektu byly rozdělené na dvě skupiny, jsou to:

- Jednostupňové detektory objektu,
- Dvoustupňové detektory objektu.

Obrázek níže (Obrázek 15) ukazuje rozdíl mezi jednostupňovým a dvoustupňovým detekováním objektu.

Jednostupňové detektory objektu nemají návrh oblasti, tudíž poskytují pouze přímou predikci, kde by se hledaný objekt mohl nacházet a co to je za kategorii objektu. [93], [105], [109]

Dvoustupňové detektory objektu jsou od jednostupňových odlišeny právě návrhem objektu. Je nejdřív predikováno kde se objekt nachází a teprve potom následuje zpřesnění a kategorizace objektu. [93], [105], [109]



Obrázek 15: Rozdíl mezi jednostupňovými a dvoustupňovými detektory objektu [109]

3.2.2 Jednostupňové detektory objektu

Jednostupňové modely detekce objektu přeskakují fázi návrhu oblasti hledaného objektu. Mají za cíl zjednodušit detekci objektu předpovídáním, kde by se mohl objekt nacházet. Spouští přímo detekci nad místy s hustým vzorkováním. Tento zajišťuje vyšší rychlost odvozování, přičemž jsou oblíbenější při volbě detekce v reálném čase. Mezi jednostupňové modely detekce objektů patří např.: [93], [109], [110], [111]

- YOLO,
- SSD,
- RetinaNet,
- FCOS,
- CPN apod.

YOLO – Model YOLO (You Only Look Once – podíváš se pouze jednou) vezme celý obrázek, který následně rozdělí do mřížky. Poté předpovídá, kde by byl umístěn ohraničující rámeček a pravděpodobnost třídy pro každý kousek mřížky. Model YOLO se na celý obrázek podívá pouze jednou, na rozdíl od jiných modelů, které využívají techniku založenou na posuvných oknech. YOLO má několik verzí, díky čemuž jsou novější verze rychlejší, přesnější a mají lepší a širší schopnost detekovat rozsáhlé velikosti objektu. YOLO je

vhodný pro detekci v reálném čase, díky své vybalancované přesnosti a úplnosti a rychlosti. [93], [109], [110], [111]

SSD – Model SSD (Single Shot Multibox Detector – jednorázový detektor multiboxů) předpovídá ohraničující pole a třídy těchto polí v jednom průchodu. Pomocí různých měřítek a map funkcí, dokáže dělat více věcí. Používá základní síť pro získání funkcí. Přínosem SSD modelu je využívání map funkcí z různých vrstev v síti, pomocí kterých dokáže předpovídat detekci objektu v různých měřítkách. Díky této výhodě dokáže model SSD model detekovat objekty různých velikostí. [93], [109], [110], [111]

RetinaNet – Model RetinaNet je jednostupňový, ale při své činnosti využívá funkci ohniskové ztráty, která je nazývána jako Focal Loss – ohnisková ztráta. Ohnisková ztráta řeší problém nerovnováhy třídy, během tréninku modelu. Tato změna dokázala RetinaNet dosáhnout přesnosti, která je srovnatelná s dvoustupňovými metody. Avšak zanechává si rychlost jednostupňové detekční metody objektu. [93], [109], [110], [111]

FCOS – Model FCOS (Fully Convolutional One-Stage Object Detection – Plně konvoluční jednostupňová detekce objektu) je jednostupňový model. Model FCOS nedisponuje návrhem, ani kotevními boxy při detekci objektu. Díky odstranění kotevních boxů se model FCOS dokáže vyhnout výpočtem, které s těmito boxy souvisí. Např. se vyhne výpočtu překrývání, během svého trénování. [93], [109], [110], [111]

CPN – Síť CPN (Contour Proposal Network – síť návrhů obrysů) může pro svou práci využívat nejmodernější architektury detekce objektu. Jsou to např. páteří síť do jednostupňového modelu, který lze trénovat. CPN dokáže detekovat objekty, jenž se v obraze překrývají a rovněž přizpůsobí obrys objektu. [93], [109], [110], [111]

3.2.3 Dvoustupňové detektory objektu

Skupina R-CNN a její variace jsou už dlouho dobu nejmodernějším modelem detekce objektů. Ve skupině modelů R-CNN je zajímavý vývoj a obsažení poznatků, které jsou aplikovány do jakékoliv oblasti využití hlubokého učení modelů. [93], [112]

Modelů je celé množství, pro ukázkou byly vybrány tyto modely:

- R-CNN,
- Fast R-CNN,
- Faster R-CNN apod.

R-CNN – Regionální konvoluční neuronová síť (R-CNN) generuje sadu návrhů oblastí pomocí externího algoritmu. Nejdříve je modelu podán obrázek. Poté aplikuje CNN, kterou má předem natrénovanou na každý návrh, který je vhodný k extrakci funkcí. Poté vyhodnotí další všechny návrhy díky podpůrnému vektorovému stroji díky selektivnímu algoritmu. Následuje třetí krok, který prochází každou oblast a extrahuje příznaky. Dalším krokem, tedy krokem číslo 4, je analýza plně propojených vrstev, díky čemuž dochází ke klasifikaci. Nevýhodou této metody je její pomalá rychlost. Pro každou oblast se opakují kroky 3 a 4. [113], [114], [115]

Fast R-CNN – Rychlá konvoluční síť se oproti R-CNN liší ve vylepšené rychlosti a přesnosti detekce objektů. Díky pouze jedné CNN extrahuje funkce z celého obrazu. Tento rozdíl urychlí celý proces, jelikož obrázek projde první částí pouze jedenkrát. Pomocí vrstvy RoI (Region of Interest – Oblast zájmu) extrahuje vektory funkcí pro každý návrh oblasti. Tímto způsobem vznikne mapa příznaků a pevné a stanovené velikosti. Tyto vektorové prvky jsou poté převáděny plně propojeným vrstvám, které se dělí na dvě části. Jedna část klasifikuje oblast a druhá část zpřesní ohraničující rámeček. [113], [114], [115]

Faster R-CNN – Rychlejší konvoluční neuronová síť dokazuje průlom v detekci obrazu a hlubokého učení. Model nepoužívá ke své práci externí algoritmy, ale generuje návrhy oblastí přímo z funkcí CNN. Oproti předchozí metodě využívá místo selektivního výběru pomocí algoritmu, neuronovou síť, která je vycvičená k výběru možné oblasti. Tato změna urychlila novou verzi oproti předešlé přibližně desetkrát. Metoda Faster R-CNN využívá předdefinovaných rámečků rozměrů, což zlepšuje přesnost predikce. I přes své změny oproti předešlé verzi, je tato metoda považována za nejpřesnější, ale zároveň díky pomalé rychlosti a výpočetní náročnosti je využití v reálném čase celkově omezené. [113], [114], [115]

3.3 Hodnocení detekčních modelů

Pomocí metrik detekce objektů se využívají k posouzení přesnosti algoritmu v počítačovém zpracování obrazu. Tyto metriky se skládají ze skutečného umístění objektů a tříd, které jsou označeny pomocí lidského faktoru. Metriky dokáží vyhodnotit přesnost detekce, lokalizace a klasifikace objektů na obrázku, nebo na snímku videa. Díky tomuto vyhodnocení můžeme dále optimalizovat výkon modelu pro zlepšení klasifikace objektů. [116]

3.3.1 Recall a Precision

Před samotným vysvětlováním pojmů Precision (přesnost) a Recall je potřeba zmýtl tzv. confusion matrix. Ta uvádí 4 prvky, které jsou použity při výpočtu Precision a Recall (Tabulka 4)

Tabulka 4: Prvky confusion matrix (Zdroj vlastní)

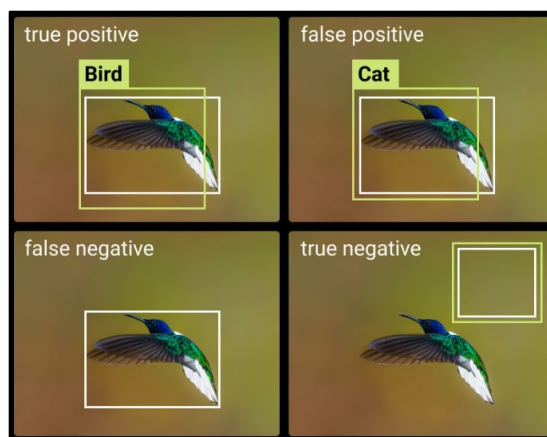
True Positive (TP) Pravdivě pozitivní	Kolik výsledků rozpoznávání bylo skutečně pozitivních
False Positive (FP) Falešně pozitivní	Kolik výsledků rozpoznávání bylo falešně pozitivních
False Negative (FN) Falešně negativní	Kolik výsledků rozpoznávání bylo falešně negativních
True Negative (TN) Pravdivě negativní	Kolik výsledků rozpoznávání bylo skutečně negativních

TP – na fotce je anotovaný objekt, který chceme, aby model detekoval, pokud model predikuje ohraničující box na stejné, nebo velmi podobné souřadnice a správně určí třídu objektu, jedná se o True Positive

FP – na fotce je anotovaný objekt, který chceme, aby model detekoval, pokud model predikuje ohraničující box na stejné, nebo velmi podobné souřadnice, ale nesprávně určí třídu objektu, jedná se o False Positive

FN – na fotce je anotovaný objekt, který chceme, aby model detekoval, pokud model nepredikuje žádný ohraničující box, jedná se o False Negative

TN – Jedná se o potvrzení nepřítomnosti objektu na obrázku. Je ohraničená část, kde není hledaný objekt. Pokud model predikuje ohraničující box na stejných, nebo velmi podobných souřadnicích, jedná se True Negative



Obrázek 16: Zobrazení TP, FT, FN, TN v praxi [116]

Výpočet hodnoty Precision je následovný:

$$Precision = \frac{True\ Positive(TP)}{True\ Positive(TP) + False\ Positive(FP)}$$

Obrázek 17: Výpočet Precision [117]

Precision je rovno pravdivě pozitivních hodnot děleno součtem pravdivě pozitivních a falešně pozitivních hodnot.

Precision říká, jak model hádá detekovaný objekt a jak často hádá správně. Tato hodnota je lehce zavádějící, protože nebere v potaz nedetekované objekty na fotografii. [118]

Výpočet hodnoty Recall je následovný:

$$Recall = \frac{True\ Positive(TP)}{True\ Positive(TP) + False\ Negative(FN)}$$

Obrázek 18: Výpočet Recall [117]

Recall je rovno pravdivě pozitivních hodnot děleno součtem pravdivě pozitivních a falešně negativních hodnot.

Recall, na rozdíl od precision říká, že na kolik procent model pokaždé uhodl, když měl uhodnout. Je to lehce přesnější veličina než precision. [118]

3.3.2 mAP

Střední průměrná přesnost (Mean Average Precision – mAP) definuje průměrnou přesnost modelu pro každou třídu. Nejdříve se vypočítá průměr **AP** (average Precision) pro každou třídu (**k**) zvlášť, poté se zprůměruje tento průměr do jednoho celku (**n** – je počet tříd), jak ukazuje obrázek níže (Obrázek 19). [119]

$$mAP = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} AP_k$$

AP_k = the AP of class k
 n = the number of classes

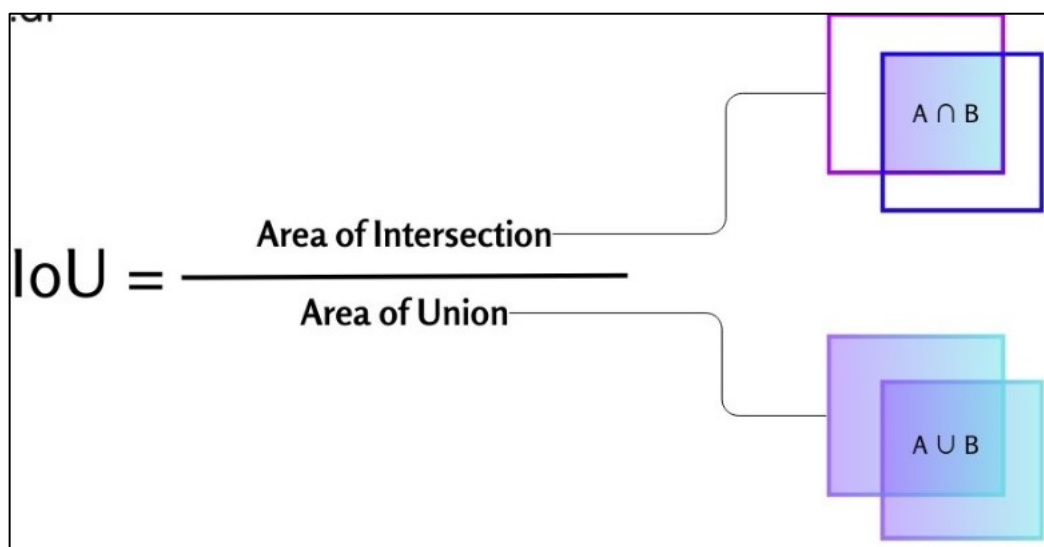
Obrázek 19: Výpočet mAP [119]

Nejlepší je samozřejmě hodnota okolo 100 %, to udává, že model je vycvičený zcela přesně a není potřeba dalšího cvičení. Menší hodnoty jsou ukazatelem, že model je pořád připravený na případné zlepšení. [119]

3.3.3 IoU

Průnik přes sjednocení (Intersection over Union – IoU) se udává též jako poměr mezi plochou průniku děleno plochou sjednocení (Obrázek 20) mezi předpovězeným a původním ohraničujícím boxem. [120]

Výsledkem vzorečku IoU je hodnota, jak přesně se predikovaný ohraničující box rovná s původním ohraničujícím boxem okolo objektu. Přijatelné hodnoty se pohybují okolo 0,5 a výše. [120]



Obrázek 20: Výpočet IoU [120]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

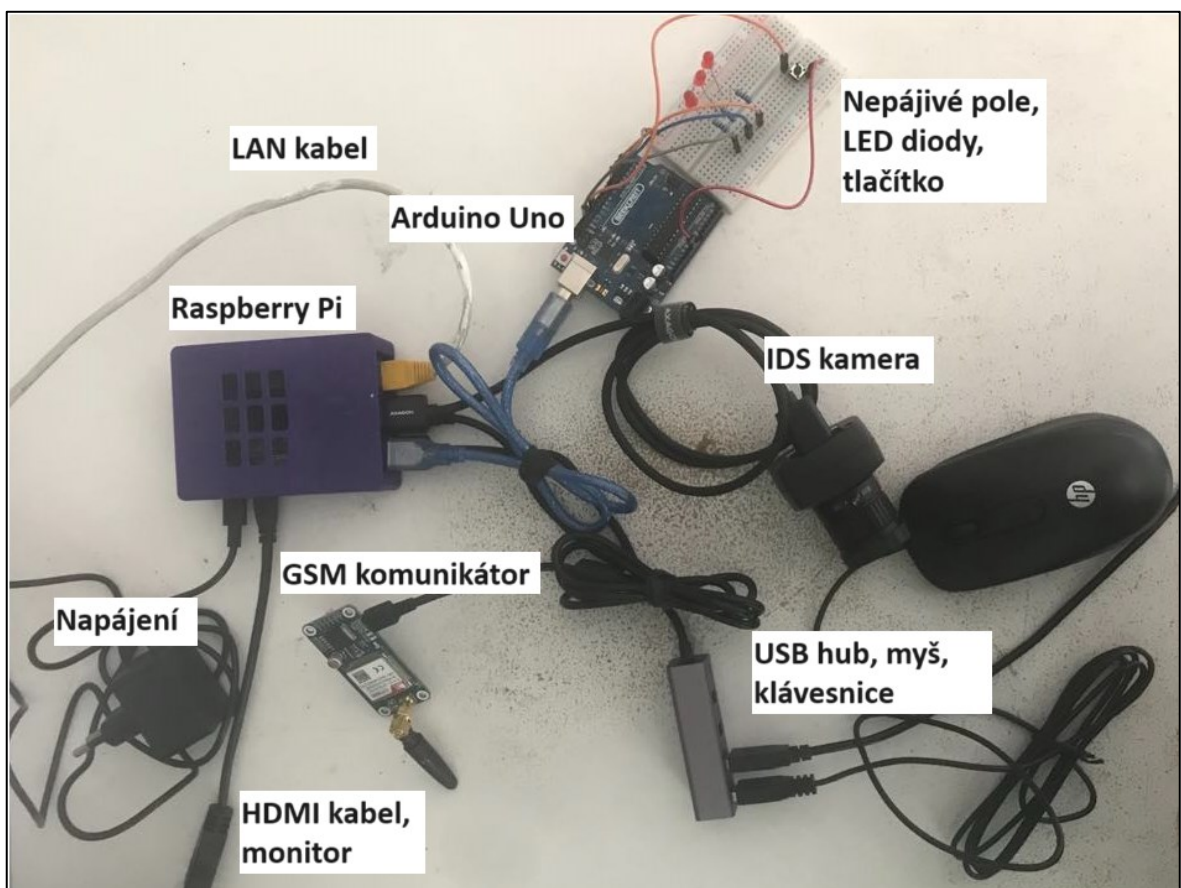
4 NAVRHNĚTE EXPERIMENTÁLNÍ SESTAVU PRO DETEKCI SRŠNĚ ASIJSKÉ

Při sestavování experimentální sestavy byly použity tyto komponenty:

- Raspberry Pi 4,
- Arduino Uno,
- GSM komunikátor,
- IDS kamera

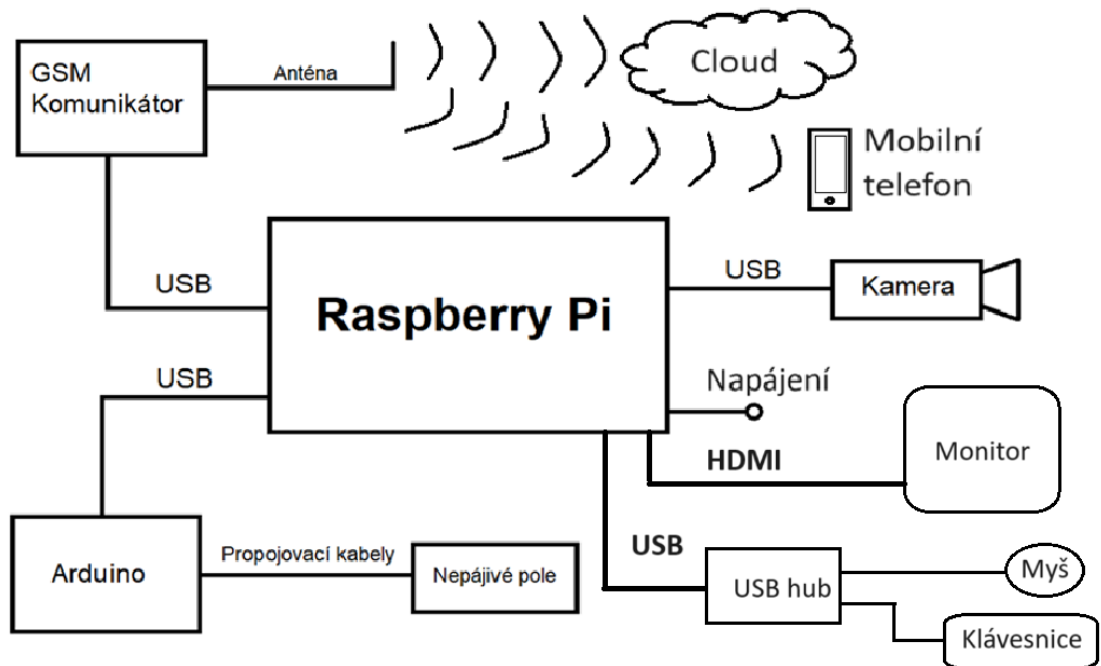
Na obrázku níže (Obrázek 21 lze vidět zapojení všech použitých komponent. Na experimentální sestavu je napojena ještě klávesnice, myš a monitor.

V běžném použití by potřeba klávesnice, myši a monitoru byla pouze u počátečního nastavení sestavy, dále už by potřebné nebyly.



Obrázek 21: Přehled komponent experimentální sestavy (Zdroj vlastní)

Blokové schéma experimentální sestavy (Obrázek 22), které vychází z obrázku výše.

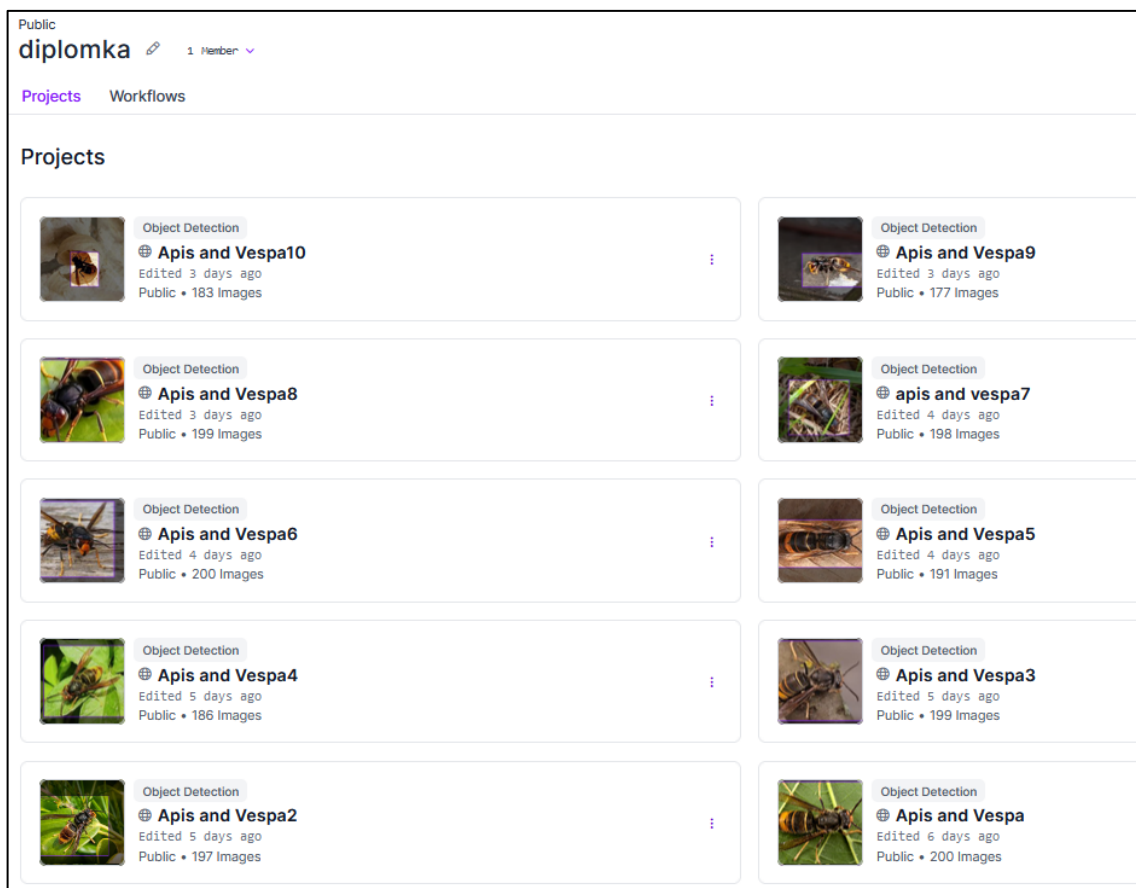


Obrázek 22: Blokové schéma experimentální sestavy (Zdroj vlastní)

4.1 Anotování fotek přes roboflow

Jako bylo potřeba vytrénovat umělou inteligenci (dále jen AI). Pomocí webové stránky roboflow byly anotovány fotky. Webová stránka roboflow.com nabízí možnost bezplatného anotování fotek. Při práci byl eliminující faktor limit 200 fotek na jeden projekt.

Projekty jsou rozdělené do deseti skupin přibližně po 200 fotkách. Obrázek níže (Obrázek 23) ukazuje vytvoření projektů s fotkami.

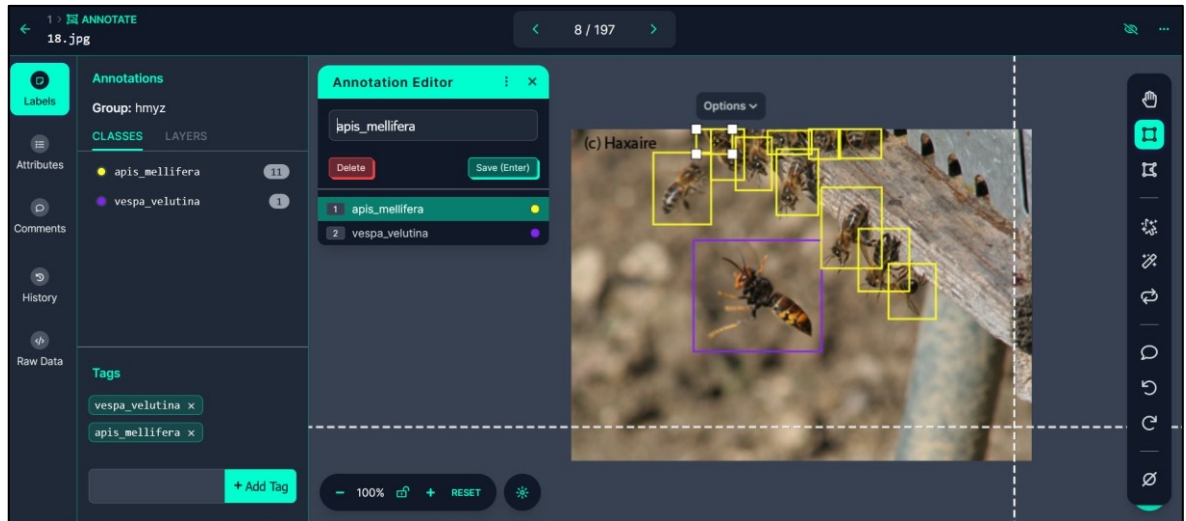


Obrázek 23: Vytvoření projektů na anotování fotek (Zdroj vlastní)

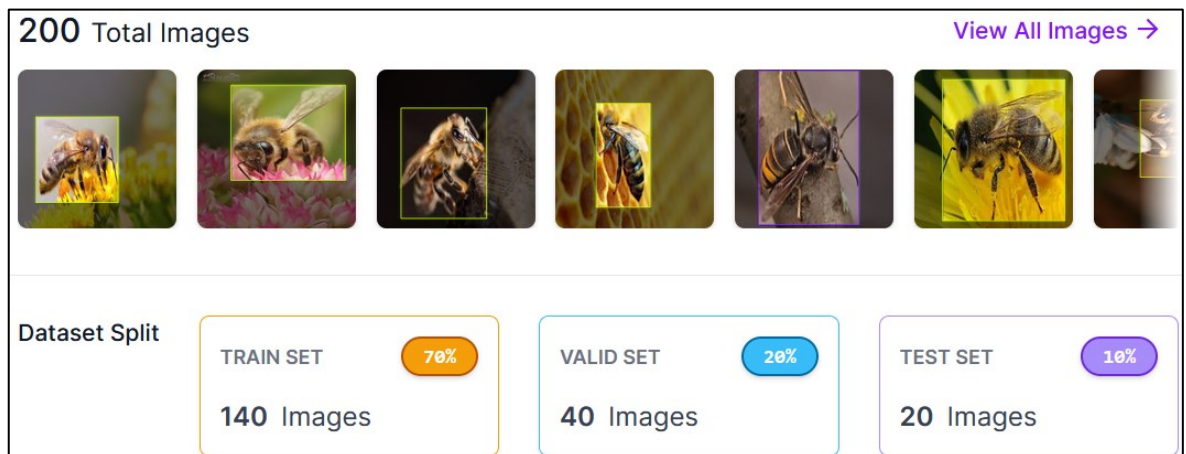
Během prvního pokusu byla AI trénována pouze na detekování a rozpoznání sršně asijské (pracovně nazvána jejím vědeckým názvem *Vespa velutina*). Při první zkoušce bylo nahráno 900+ fotek. Ty byly anotovány, jak ukazuje obrázek (Obrázek 24). Po skončení anotace byly fotky přímo v na stránce roboflow rozděleny na 3 skupiny, jsou to:

- Trénovací sada,
- Ověřovací sada,
- Testovací sada.

Tyto 3 skupiny jsou rozděleny v poměru 70 % :20 % :10 % jak vysvětluje obrázek níže (Obrázek 25). Tohle rozdělení se dá různě upravovat na různé poměry. Pro potřebu trénování bylo zachováno 70 % fotek použito pro trénování AI. 20 % bylo využito pro ověření a zbylých 10 % je testování, zda se AI naučila správně detekovat a rozeznávat určený označený objekt.

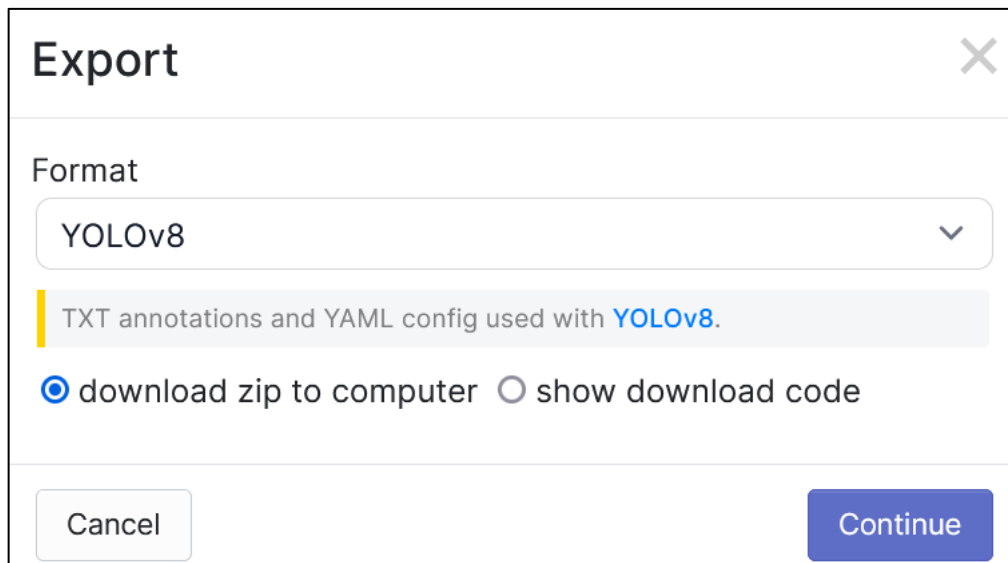


Obrázek 24: Anotace fotek pro cvičení umělé inteligence (Zdroj vlastní)



Obrázek 25: Rozdělení do 3 skupin (zdroj vlastní)

Po rozdělení fotek na sada byly extrahovány data do formátu YOLOv8. Model YOLOv8 ne poslední řada modelu YOLO. Je výkonnější a flexibilnější než předchozí verze, proto byl zvolen tento formát (Obrázek 26).



Obrázek 26: Export anotovaných fotek ve formátu YOLOv8 (Zdroj vlastní)

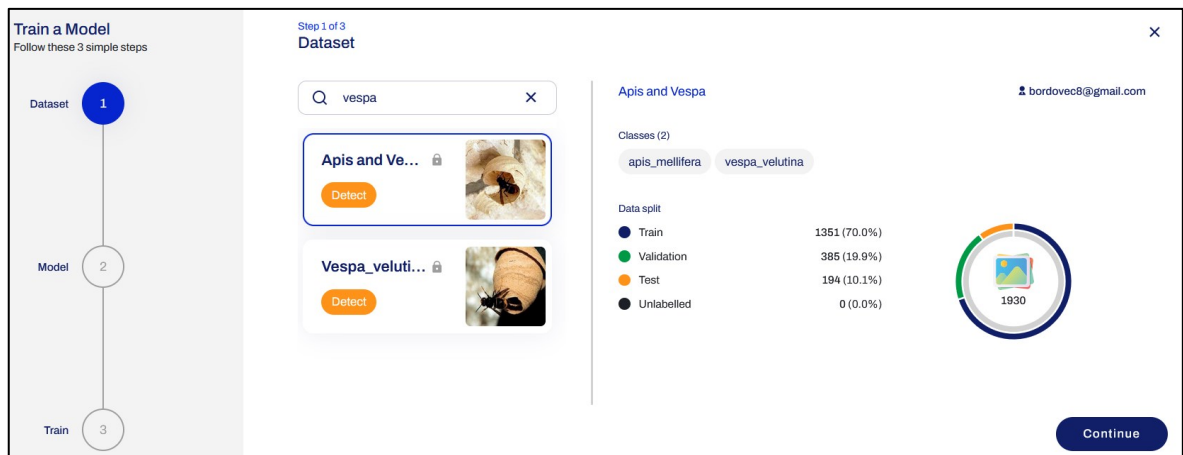
Kvůli omezení 200 fotek na jeden projekt bylo potřeba extrahovat stažený soubor a zbylé fotky přidat pouze do jednoho souboru, aby byla další práce jednodušší a všechny anotované fotky byly pohromadě při následném trénování.

4.2 Trénování AI pomocí ultralytics

Trénování AI bylo provedeno pomocí webové stránky ultralytics HUB, která nabízí trénování vlastních modelových sad.

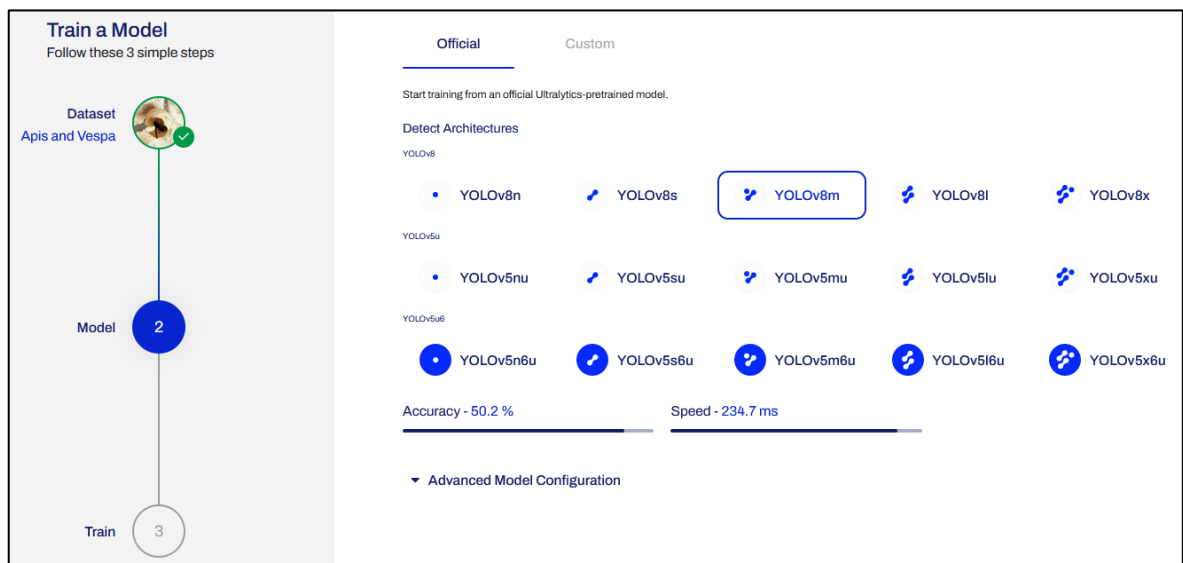
4.2.1 Příprava a spuštění trénování modelu

Obrázky (Obrázek 27 a Obrázek 28) ukazují postup při tvoření modelu k trénování AI. Nejdříve je potřeba vybrat nahranou sadu fotek. Jsou k výběru dvě datové sady k prvnímu pokusu byla vybrána datová sada pojmenována pracovním názvem „Vespa_velutina“ Dále je na obrázku níže vyobrazeno počet tříd a procentuální rozložení dle určitých skupin. Trénovací data, ověřovací data, testovací data.



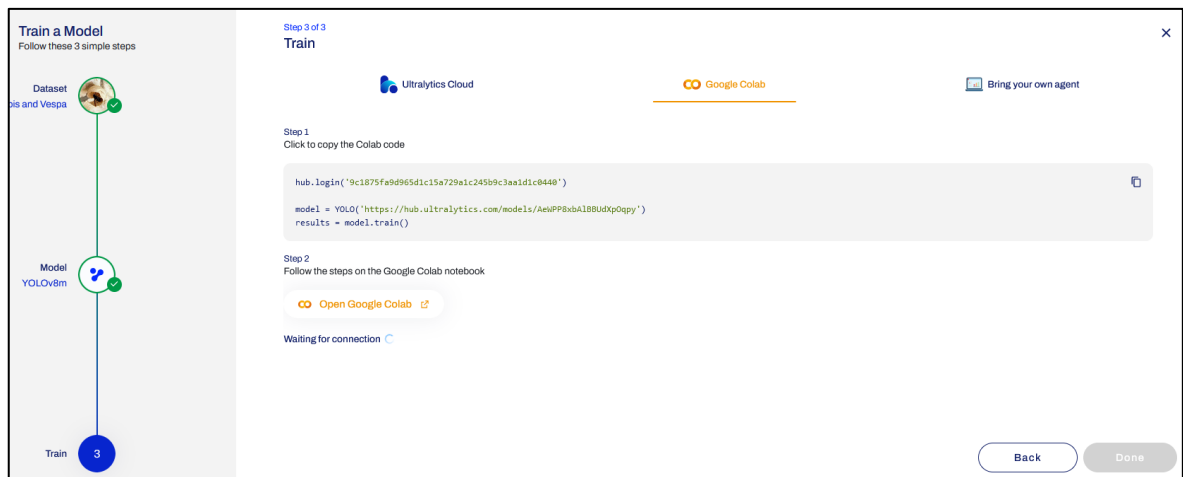
Obrázek 27: Založení trénovaného modelu (Zdroj vlastní)

Dalším krokem je výběr vhodné verze modelu trénování. Oba pokusy byly trénovány na verzi „YOLOv8m“. S výběrem verze jsou ovlivňovány vlastnosti Accuracy (přesnost) a Speed (rychlost) YOLOv8m je zlatý střed s bilancí rychlosti zpracování a přesnosti (Obrázek 27).



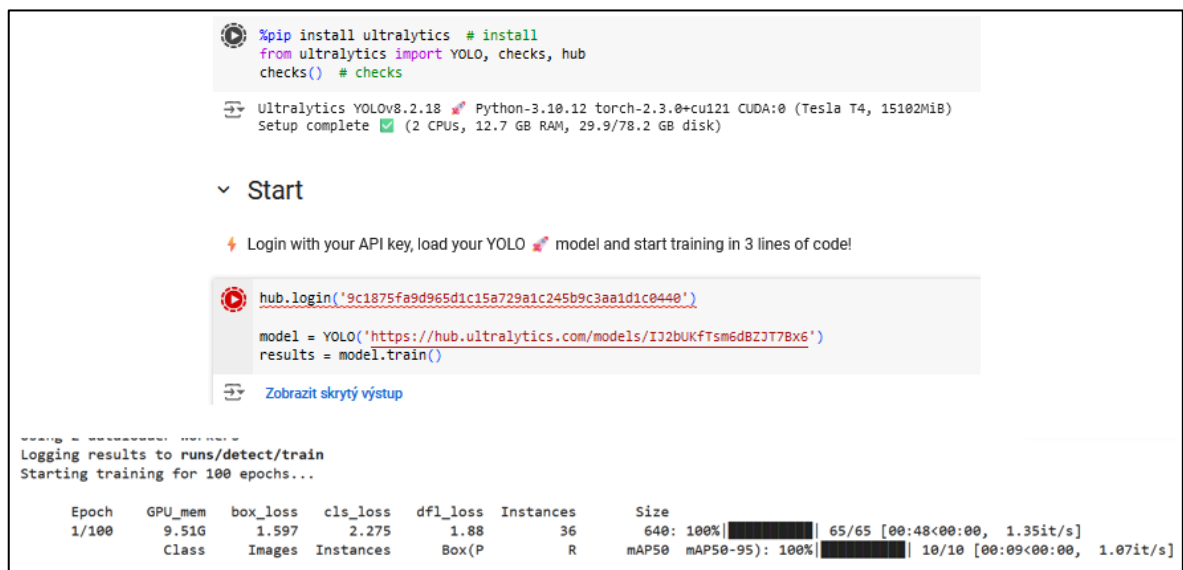
Obrázek 28: Výběr verze YOLO (Zdroj vlastní)

Po nastavení parametrů potřebných k trénování AI bylo potřeba vycvičený model otestovat, zda detekuje sršeň asijskou správně, aby bylo možné s modelem dále pracovat. Trénování modelu na detekci sršně asijské bylo provedeno prostřednictvím Google Colab. Google Colab poskytuje na trénování grafické karty Tesla K80 pro bezplatnou verzi, díky čemuž je testování rychlejší než na procesoru Raspberry PI.



Obrázek 29: Trénování přes Google Colab (Zdroj vlastní)

Na obrázku (Obrázek 29) je vidět, že první krok je potřeba kopírovat kód, který je představený. Kód byl zkopírován a vložen do Google Colab (Obrázek 30). Následně jsem spustil instalaci ultralytics a poté spustil samotné trénování, jak je vidět na obrázku níže. Celý cyklus je rozdělen do 100 epoch.

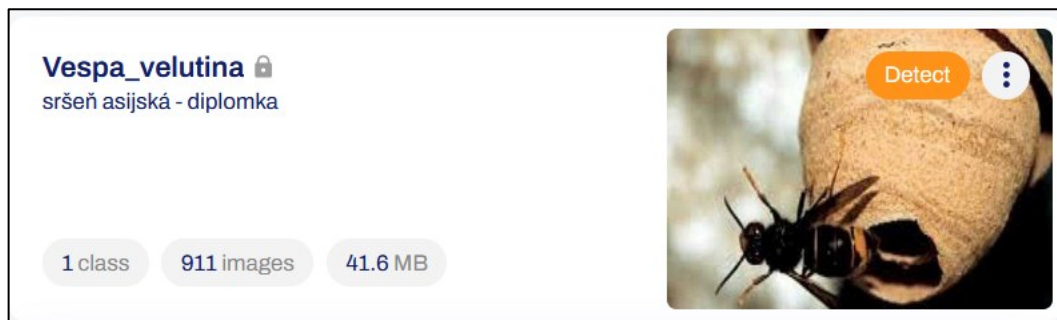


Obrázek 30: Spuštění trénování (Zdroj vlastní)

4.2.2 Postup a výsledky prvního pokusu

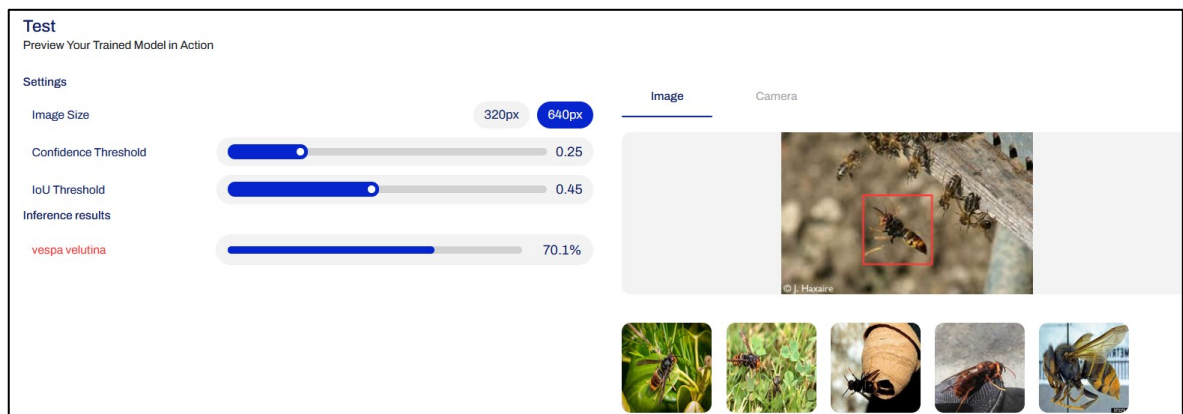
Aby bylo možné trénovat AI na detekci zvoleného objektu sršně asijské, bylo potřeba nahrát modelovou sadu, která byla vytvořena ve webovém rozhraní roboflow (předchozí kapitola). Při prvním pokusu bylo implementováno přes 900 fotek, které byly anotovány pouze v jedné

třídě (Obrázek 31). Vize jedné třídy byla v detekování pouze sršně asijské a vize zrychlení vyhodnocení.



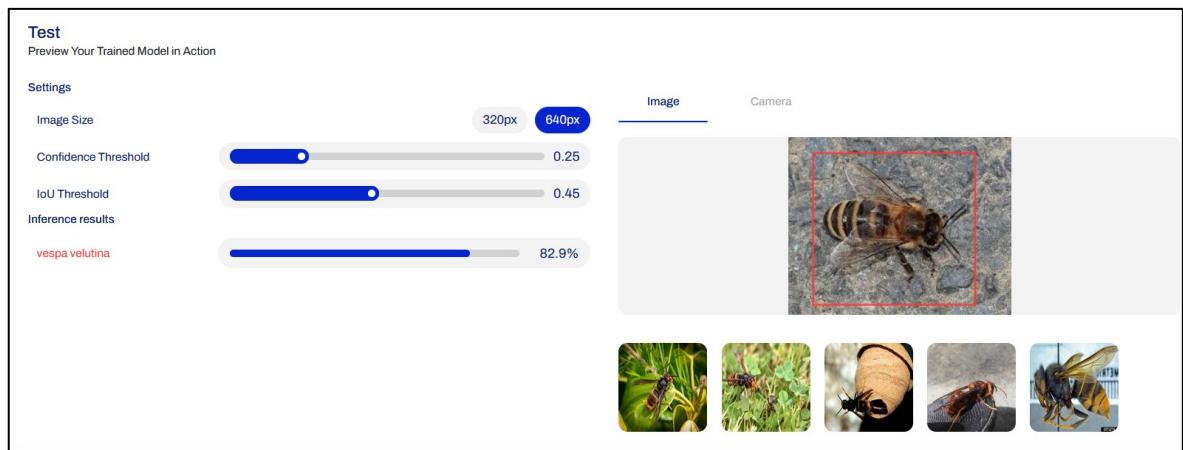
Obrázek 31: Nahrání první detekční datové sady (Zdroj vlastní)

V prvním modelu byla anotována pouze sršeň asijská. Při testování vycvičení modelu byla nahrána cvičná fotka (Obrázek 32), aby se zjistilo, s jakou přesností je model schopný detekce. Při prvním pokusu model detekoval pouze sršeň asijskou a včely na fotce ignoroval. AI si byla jistá na 70,1 % že objekt v ohraničeném rámečku je sršeň asijská.



Obrázek 32: Vytrénovaný první model při detekci pouze sršně asijské (Zdroj vlastní)

Při druhém pokusu na stejném prvním trénovaném modelu byla nahrána fotka pouze včely medonosné. Bohužel model detekoval včelu jakožto sršeň asijskou, jak ukazuje obrázek níže (Obrázek 33). První trénovaný model tedy odhalil úskalí pouze jedné učené třídy.

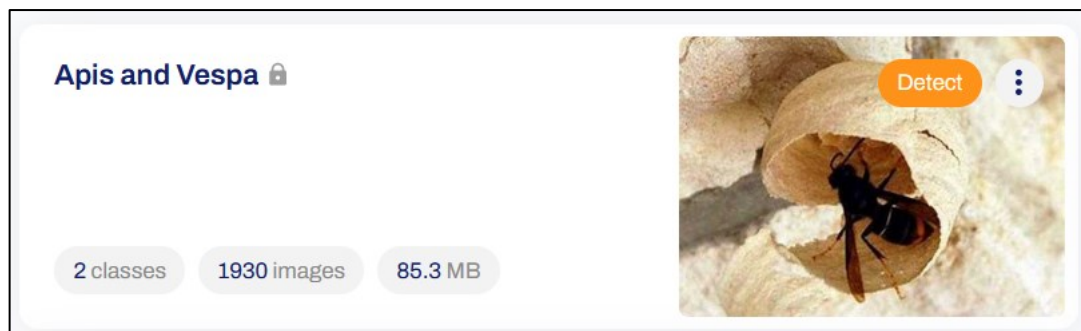


Obrázek 33: Vytřénovaný první model při chybné detekci (Zdroj vlastní)

4.2.3 Výsledky a postup druhého pokusu

Druhý trénovaný model vycházel z chyb prvního modelu. V druhé verzi jsou nyní anotovány dvě detekční třídy a je přidáno více fotek pro zlepšení trénování a rozpoznání AI. Před založením projektu byla nahrána druhá detekční sada, která byla anotována pomocí stránky roboflow. Obrázek níže (Obrázek 34) zobrazuje novou datovou sadu.

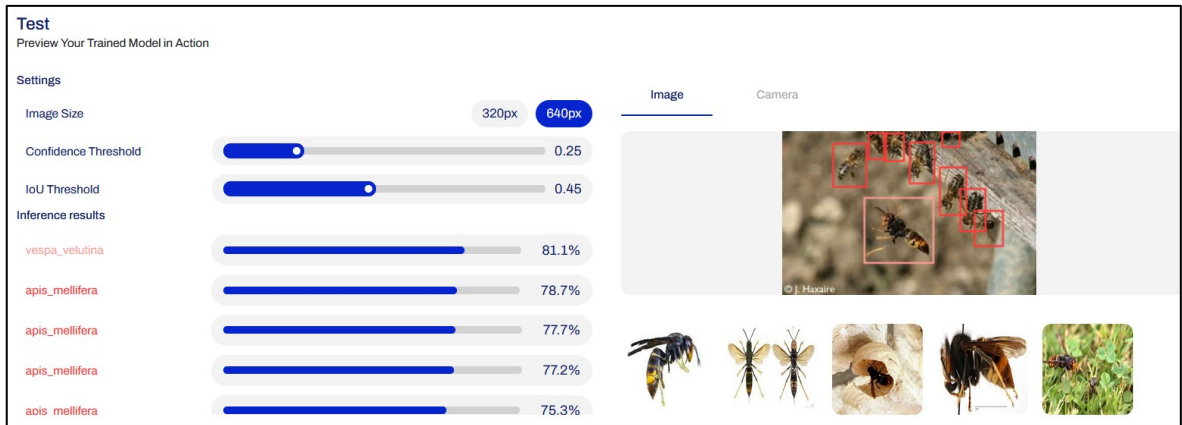
V datové sadě se nachází dvě detekční třídy a 1930 fotografií sršně asijské a včely medonosné.



Obrázek 34: Vložená druhá trénovací sada (Zdroj vlastní)

Nastavení druhého modelu bylo stejné jako u první verze. Byla použita verze modelu „YOLOv8m“.

Na obrázku (Obrázek 35) lze vidět, že nový model detekuje nejen sršň asijskou, ale i včelu medonosnou s průměrnou přesností okolo 75 %.

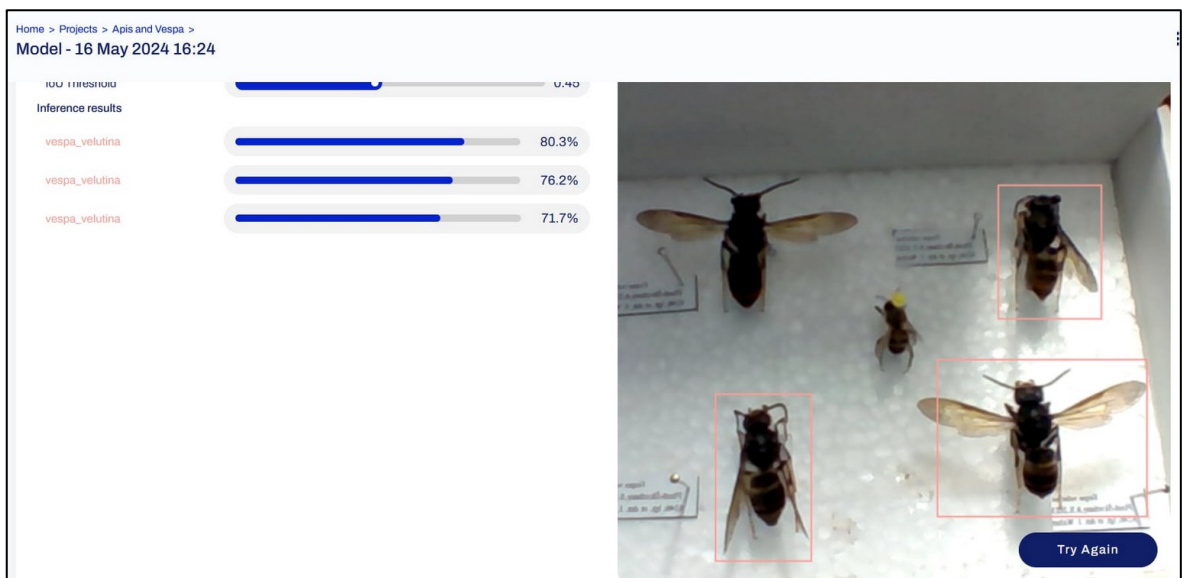


Obrázek 35: Detekce druhého vycvičeného modelu (Zdroj vlastní)

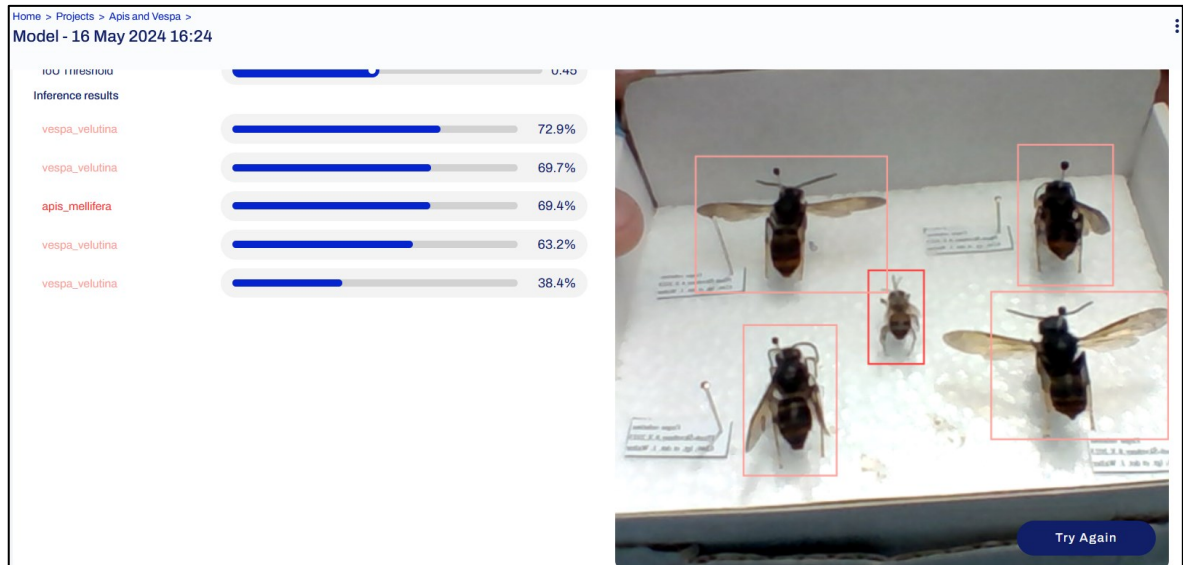
Při uspokojivém výsledku detekce byla zkouška provedena i na detekci z kamery notebooku a provedena na usušených vzorcích sršně asijské a včely medonosné obrázky níže (Obrázek 36, Obrázek 37).

Obrázek (Obrázek 36) prokázal nedokonalosti detekce přes kameru notebooku. Detekci ovlivňovaly špatné světelné podmínky a nevhodně zvolený preparační špendlík u včely medonosné, který zakryl celé její tělo.

Po odstranění špatného preparačního špendlíku a přidání osvětlení byl model schopen rozeznat každý druh (Obrázek 37).



Obrázek 36: Detekce z kamery notebooku – nedokonalosti v detekci v detekci (Zdroj vlastní)



Obrázek 37: Detekce z kamery notebooku – přesná detekce (Zdroj vlastní)

4.3 Vyhodnocení výsledků trénování

Z trénování AI na detekci sršně asijské a včely medonosné byly výstupem grafy. Jak lze vidět na obrázku níže (Obrázek 38) jsou na hlavním grafu vyhodnoceny celkem 4 parametry.

Jsou to parametry:

- mAP50,
- mAP50-95,
- precision,
- recall.

Na grafu jsou na Y-ové ose znázorněny hodnoty v procentech. Na ose X jsou vyobrazeny epochy. Bylo provedeno 100 epoch od 0 až 99. Každá tato úroveň epochy znamená, že model projde celou trénovací sadou dat (1930 fotek), spočítá si váhy, otestuje svou přesnost na validační (ověřovací) sadě dat (fotek) a potom pokračuje znovu. Každá epocha je vlastně úplné opakování datové sady přes neuronovou síť, během tréninku.

V průběhu trénování je vidět zlepšování modelu. Na začátku jde z grafu vyčíst, že model nedokázal detekovat objekty, které měl, nebo si nebyl při detekci jistý. S průběhem času je vidět zlepšující se tendence trénovaného modelu.

Tabulka 5: Hodnoty natrénovaného modelu (Zdroj vlastní)

Parametry	Hodnota	Hodnota v %
mAP50	0,922	92,2
mAP50 - 95	0,664	66,4
precision	0,949	94,9
recall	0,892	89,2

Hodnoty znázorněné na grafu byly převedeny do procent (Tabulka 5). Jednotlivé hodnoty mají svůj vlastní význam.

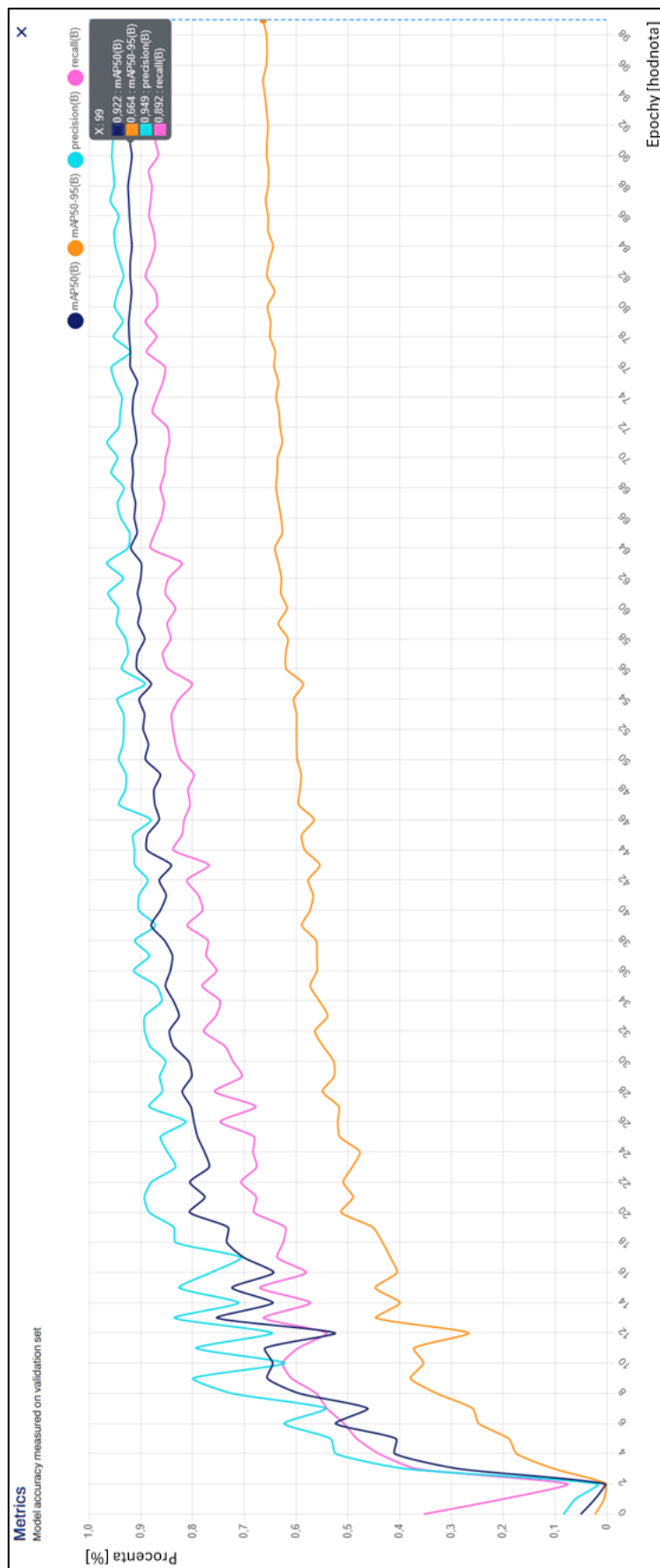
Hodnota precision udává hodnotu 94,9 %. To znamená že model hádá objekty právně téměř na 100 %. Bohužel to není úplně pravda. Precision nebere v potaz negativní nálezy, které model najde, jak je vysvětleno v tabulce více (Tabulka 4) v teoretické části v kapitole „Recall a Precision“. Tento fakt znatelně ovlivňuje výsledný výsledek, jelikož model udává pouze hodnoty správně uhodnutých objektů, nebo které jsou vyhodnoceny jako něco jiného, ale myslí si, že jsou správné. Proto je tato hodnota v grafu na prvním místě. Tudíž je tato hodnota zavádějící.

Hodnota recall je podobná hodnotě precision, avšak započítává i špatné váhy a negativní nálezy. To logicky snižuje míru úspěšnosti oproti hodnotě precision. Tudíž když trénovaný model nedokáže rozpoznat objekt na fotografii, snižuje se hodnota recall oproti precision. Tato hodnota je přesnější než hodnota precision, jelikož už je více reálná.

Hodnota mAP50 je střední průměrná přesnost, která je vypočítána jako průnik ohraničujících boxů lomeno jejich sjednocení. Viz teoretická část IoU. mAP50 se vypočítá zprůměrováním AP křížem všemi detekčními třídami. Číselná hodnota 50 udává, že jsou na detekování stanoveny mírnější nároky na přesnost.

Hodnota mAP50 – 95 pokrývá má přísnější požadavky na úspěšnost oproti mAP50. Tudíž hodnota mAP50 – 95 je považována za nejpřesnější z hlediska tohoto konkrétního modelového příkladu. Dá se říci, že tento konkrétní model je vytrénovaný na detekci z 66,4 procent, že je schopný detekovat sršeň asijskou a včelu medonosnou. Ovšem reálné výsledky mohou být zcela jiné, kvůli působení světla, vzdálenosti od snímací čočky a podobně.

Pro zlepšení výsledků by se dalo nahrát více vstupních dat, na kterých model trénuje a zvětšit učicí cyklus o více epoch fází. Dokonalými výsledky jsou takové, které se blíží 100 %.



Obrázek 38: Graf výsledků testování druhého modelu (Zdroj vlastní)

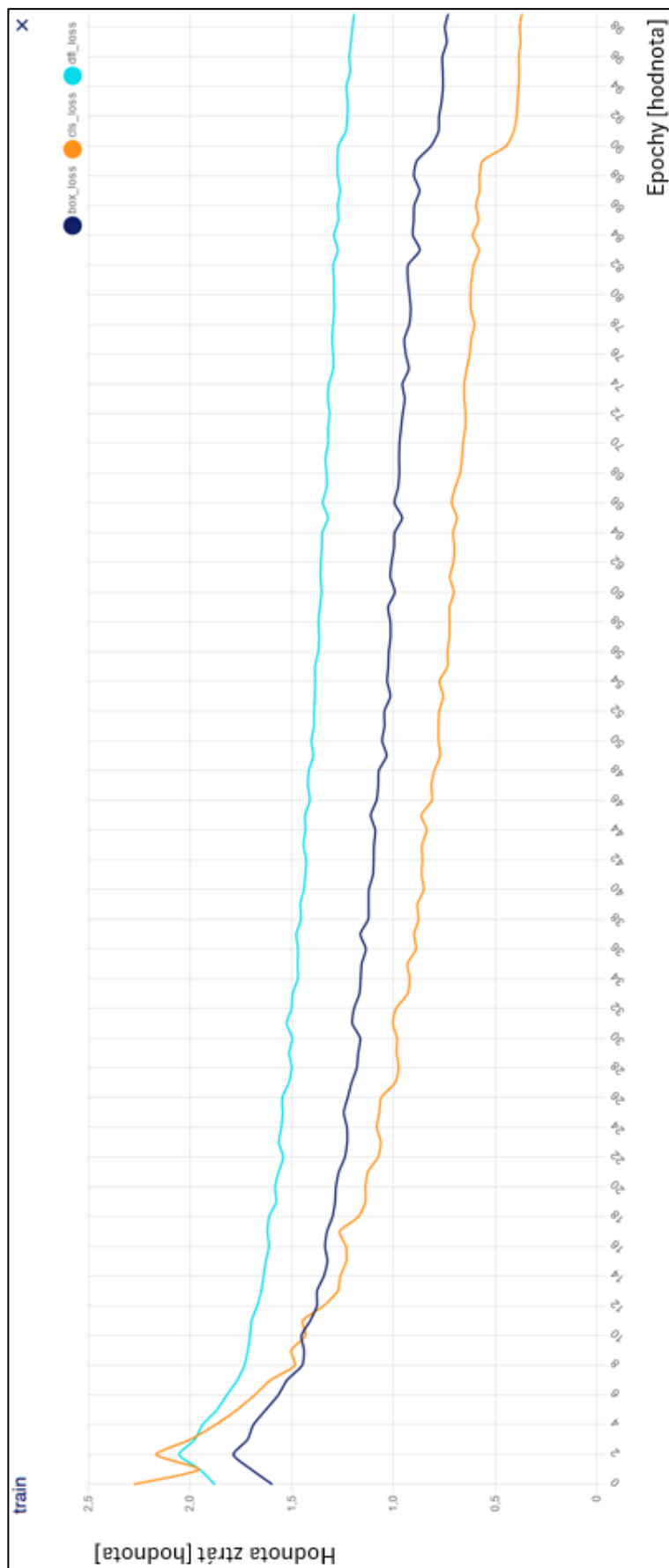
Oproti předchozímu grafu, tak ztrátové funkce modelu jsou lepší, když se blíží hodnotě 0. Nižší hodnoty ztrát představují lépe vytrénovaný model, zatímco když jsou ztrátové hodnoty příliš vysoké, model není dokonalý. Na grafu (Obrázek 39) je na horizontální ose (osa X) vyobrazeno počet epoch. Vertikální osa (Osa Y) představuje hodnotu ztráty. Na grafu lze vidět 3 hodnoty:

- box loss,
- cls loss,
- dfl loss.

Box loss měří chybu předpokládaných souřadnic ohraničujícího rámečku ve srovnání s definovaným rámečkem. Nižší hodnota znamená, že predikované rámečky, které model určuje, jsou přesnější s těmi původními.

Cls loss měří chybovost v předpokládaných tříd. Třídy jsou v module dvě `apis_mellifera` a `vespa_velutina`. Čím menší hodnota této ztrátové funkce znamená, že trénovaný model dokáže přesněji předpovídat třídu objektu.

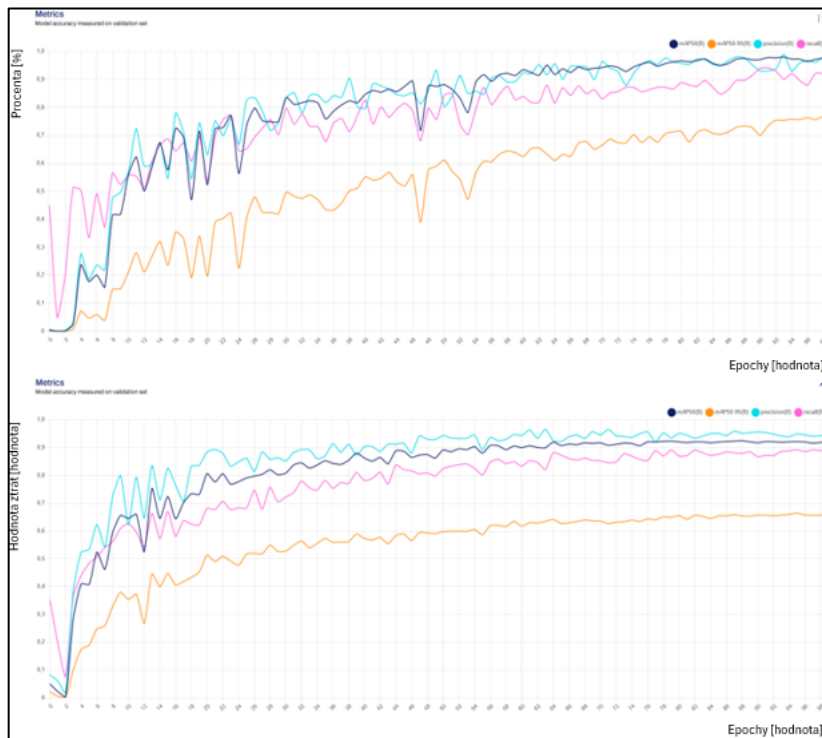
Dfl loss se stará o zlepšování schopnosti modelu detekovat objekty s různými měřítky, nižší hodnoty říkají, že trénovaný model dokáže lépe zvládnout deformaci objektu a rozpoznat jej.



Obrázek 39: Ztrátové funkce modelu (Zdroj vlastní)

4.3.1 Rozdíl mezi prvním a druhým pokusem

Rozdíl ve vyhodnocení celkové přesnosti prvního a druhého modelu je zřejmý i pouze z výstupních grafů (Obrázek 40)



Obrázek 40: Nahoře výsledek prvního pokusu, dole výsledek druhého pokusu
(Zdroj vlastní)

Ačkoliv se z grafu může zdát, že první trénovací model má ve finále lepší hodnoty než druhý, není tomu zcela tak. Druhý model měl minimálně dvakrát více dat na trénování, tudíž je výsledný graf od prvního celkem uhlazený s mírnou stoupající tendencí na konci.

Kdežto první model má velké kolísání a na konci trénování si pletl rozdíl mezi sršní a včelou, tudíž první model trpěl hodně na chyby typu FP (False Positive), se kterým počítá hodnota precision.

4.4 Instalace Raspberry Pi – python

Dalším krokem v postupu práce bylo rozběhnutí mikropočítače Raspberry Pi 4 a následná instalace programovacího jazyka Python. Společně s instalací jazyka python jsou instalovány i další knihovny a různé balíčky (Obrázek 41).

```
hornet@raspberrypi:~ $ sudo apt-get install python3.11
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
Reading state information... Done
python3.11 is already the newest version (3.11.2-6).
python3.11 set to manually installed.
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  libcamera0.1 libssl1.1
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 120 not upgraded.
hornet@raspberrypi:~ $ sudo apt install -y python3-pip
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
Reading state information... Done
python3-pip is already the newest version (23.0.1+dfsg-1+rpt1).
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  libcamera0.1 libssl1.1
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 120 not upgraded.
```

Obrázek 41: Instalace jazyka Python (Zdroj vlastní)

4.5 Zapojení a instalace IDS kamery

Při instalaci IDS kamery se postupovalo následovně. Kamera se zapojila do mikropočítače. Při instalaci byl automaticky vytvořen soubor „sources.list, který je vytvořen po instalaci OS Raspberry Pi. Zde se dále zapisují odkazy na ovladače, které nejsou na debian serverech, nebo jiných linuxových distribucích.

Prvním krokem bylo kopírování vytvořeného souboru „sources.list“ a vytvoření jeho kopie „sources.list.bak. Kopie slouží pro účely zálohy, před poškozením, přepsáním, smazáním a mnoho dalšího. Sem se zapisují zdroje, ze kterého jsou použity ovladače (Obrázek 42, Obrázek 43).

```
hornet@raspberrypi:~ $ sudo cp /etc/apt/sources.list /etc/apt/sources.list.bak
```

Obrázek 42: Vytvoření kopie (Zdroj vlastní)

```
hornet@raspberrypi:~ $ sudo - 'echo "deb https://jmeno@mail.cz:heslo@report.ids-
imaging.com/debian bullseye main" >> /etc/apt/sources.list'
```

Obrázek 43: Přihlášení se pomocí jména a hesla (Zdroj vlastní)

Přidání uEye repositáře a přihlašovacích údajů na webovou stránku. Toto se uloží do souboru „sources“. Identifikátory, jakou jsou jméno a heslo nejsou v diplomové práci skutečně zveřejněny, kvůli zachování soukromí autora práce (Obrázek 44).

```
hornet@raspberrypi:~$ sudo bash -c 'wget --http-user=jmeno@mail.cz --http-password=heslo -O - https://repo.ids-imagining.com/gpg.key | apt-key add -'
```

Obrázek 44: Stažení souboru z konkrétní URL (Zdroj vlastní)

Tento příkaz slouží ke stažení souboru s veřejným klíčem z dané URL adresy, který slouží k podpisu balíčku při instalaci a ověření identity (Obrázek 45).

```
hornet@raspberrypi:~$ sudo apt-get update && sudo apt-get install uEye
```

Obrázek 45: Aktualizace a upgrade uEye (Zdroj vlastní)

Nejprve dle příkazu jsou aktualizovány seznamy dostupných instalačních balíčků a poté nainstaluje program uEye, který je potřeba pro práci s kamerou IDS (Obrázek 46).

```
hornet@raspberrypi:~$ pip3 install pyueye --break-system-packages
Defaulting to user installation because normal site-packages is not writeable
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple
Requirement already satisfied: pyueye in ./local/lib/python3.11/site-packages (4.96.952)
Requirement already satisfied: enum-compat in ./local/lib/python3.11/site-packages (from pyueye) (0.0.3)
```

Obrázek 46: Instalace break system packages (Zdroj vlastní)

Instalovaný balíček PyuEye je instalován pomocí pip3. Při této instalaci se instaluje přímo do kořenové složky. Díky instalaci pomocí „pip3“ odpadá problém s nalezením cesty ke kořenové složce Pythonu. Zároveň odpadá problém spojený se špatnou verzí, jelikož na stránkách Python Package Indexu jsou nejaktuálnější verze. Příznak „—break-system-packages“ slouží pro instalování „nezkontrolované“ a podepsané knihovny od Python Package Index.

4.5.1 Popsání kódu pro kameru IDS

Při programování kamery IDS, která se vyskytuje v experimentální sestavě bylo postupováno následovně.

Nejdříve byly přidány knihovny, které budou v celém kódu použity. V opakujícím se cyklu byly napsány příkazy pro nastavení počátečních parametrů samotné IDS kamery. Jsou to proměnné „hcam, pccmem, memID, hWnd“.

Dále jsou v kódu sepsány parametry pro zapnutí kamery, nastavení displeje. Proměnná „sensorinfo“, která vyšle požadavek na rozlišení, zaostření, displej, a podobně a získá zpět informace i snímači kamery.

Příkazy ze série „ueye“ slouží celkově pro kontrolu, zda je kamera připojená. Když je připojená, jestli dokáže a může komunikovat. Pro vyhrazení datového prostoru pro fotografii, kterou kamera pořídí. A při pořízení fotografie se stará o její oříznutí o daný počet pixelů, kvůli velikosti fotografie při jejím dalším pracování.

Poté co je kamera nastavena pomocí základních příkazů, má v proměnné „nret“ definováno, že si z pořizovaného záznamu zastaví video a pořídí fotografii, kterou si uloží do paměti. Při hodnotě „none“, nebo „null“ se kamera odkazuje na poslední uložený snímek v paměti. Celou fotografii ukládá jako soubor „python-test-image.jpg“ na plochu Raspberry Pi a při každém novém snímku tento soubor přepíše (Obrázek 47).

```
while True:
    hcam = ueye.HIDS(0)
    pccmem = ueye.c_mem_p()
    memID = ueye.c_int()
    hWnd = ctypes.c_voidp()
    ueye.is_InitCamera(hcam, hWnd)
    ueye.is_SetDisplayMode(hcam, 0)
    sensorinfo = ueye.SENSORINFO()
    ueye.is_GetSensorInfo(hcam, sensorinfo)
    ueye.is_AllocImageMem(hcam, sensorinfo.nMaxWidth, sensorinfo.nMaxHeight, 24, pccmem, memID)
    ueye.is_SetImageMem(hcam, pccmem, memID)
    ueye.is_SetDisplayPos(hcam, 100, 100)

    nret = ueye.is_FreezeVideo(hcam, ueye.IS_WAIT)
    FileParams = ueye.IMAGE_FILE_PARAMS()
    FileParams.pwchFileName = "python-test-image.jpg"
    FileParams.nFileType = ueye.IS_IMG_JPG
    FileParams.ppcImageMem = None
    FileParams.pnImageID = None
```

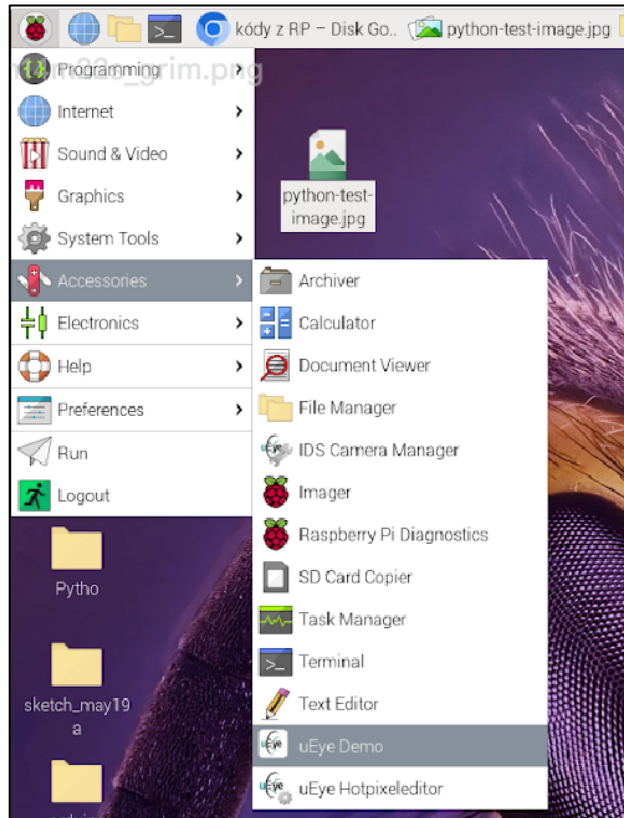
Obrázek 47: Kód pro kameru IDS (Zdroj vlastní)

K vymazání a následnému přepsání fotografie, fotografií novou je definována proměnná „nret“. Příkaz „time.sleep(10)“ je užitečný pro prodlevu mezi pořízením a přepsáním souboru s uloženou fotografií. Po pečlivém výzkumu bylo zjištěno, že hodnota 10, což znamená prodlevu 10 sekund, je dostačující. Kvůli využívání bezplatné verze vyhodnocování fotografií na webové stránce „ultralitics.com“ je omezená i hodnota zasílání dat. Při menší prodlevě vznikali během testování chybové hlášky (Obrázek 48).

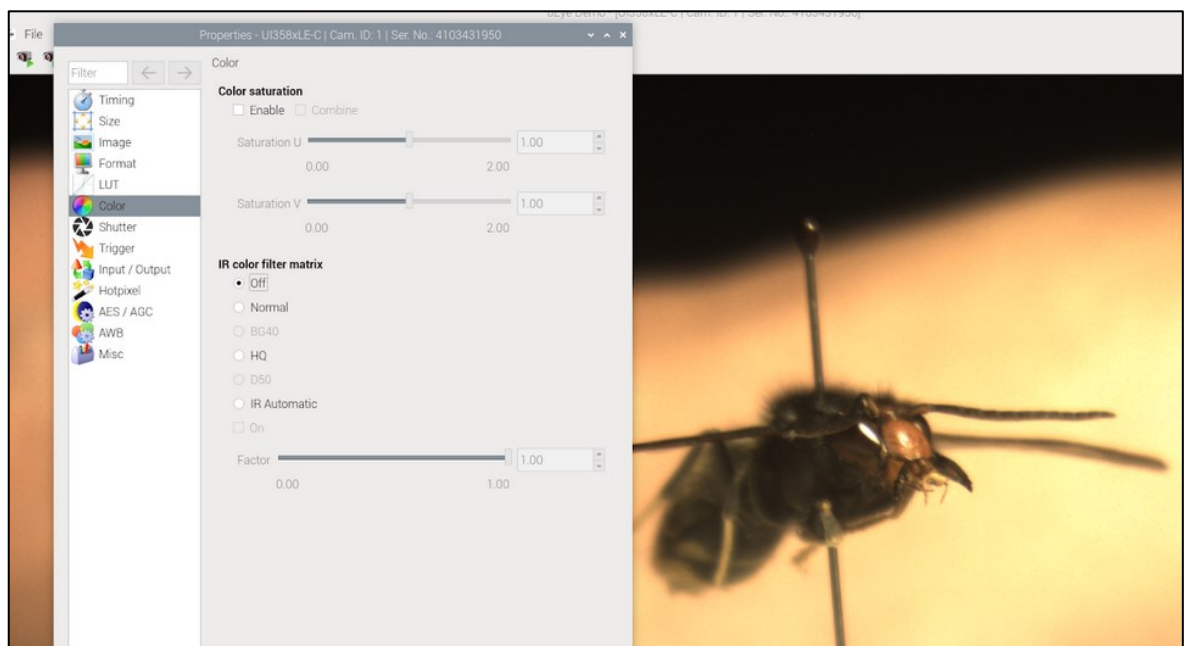
```
nret = ueye.is_ImageFile(hcam, ueye.IS_IMAGE_FILE_CMD_SAVE, FileParams, ueye.sizeof(FileParams))
ueye.is_FreeImageMem(hcam, pccmem, memID)
ueye.is_ExitCamera(hcam)
time.sleep(10)
```

Obrázek 48: Zbytek kódu ke kameře IDS (Zdroj vlastní)

Aby bylo možné se ke kameře dostat, je potřeba otevřít aplikaci „uEye Demo“, která slouží k ovládání a nastavení grafických parametrů kamery IDS. Lze zde měnit kontrast, rozlišení, grafické nástroje pro zlepšování obrazu a mnoho dalších (Obrázek 49, Obrázek 50).



Obrázek 49: Cesta k programu uEye Demo (Zdroj vlastní)



Obrázek 50: Nastavení kamery v uEye Demo (Zdroj vlastní)

4.6 Zapojení a instalace mikropočítače Arduino Uno

Při experimentální sestavě je využit i mikropočítač Arduino Uno. Aby bylo možné jej využít, je potřeba jej nainstalovat. Pomocí příkazu bude v mikropočítači Raspberry Pi nainstalovaný balíček Arduino IDE, což umožní práci s Arduinem a programování požadovaných funkcí (Obrázek 51).

```
hornet@raspberrypi:~ $ sudo apt install arduino
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
Reading state information... Done
arduino is already the newest version (2:1.8.19+dfsg1-1).
The following packages were automatically installed and are no longer required:
  libcamera0.1 libssl1.1
Use 'sudo apt autoremove' to remove them.
0 upgraded, 0 newly installed, 0 to remove and 120 not upgraded.
hornet@raspberrypi:~ $ ls /dev/tty*
/dev/tty      /dev/tty19  /dev/tty3   /dev/tty40  /dev/tty51  /dev/tty62
/dev/tty0     /dev/tty2   /dev/tty30  /dev/tty41  /dev/tty52  /dev/tty63
/dev/tty1     /dev/tty20  /dev/tty31  /dev/tty42  /dev/tty53  /dev/tty7
/dev/tty10    /dev/tty21  /dev/tty32  /dev/tty43  /dev/tty54  /dev/tty8
/dev/tty11    /dev/tty22  /dev/tty33  /dev/tty44  /dev/tty55  /dev/tty9
/dev/tty12    /dev/tty23  /dev/tty34  /dev/tty45  /dev/tty56  /dev/ttyACM0
/dev/tty13    /dev/tty24  /dev/tty35  /dev/tty46  /dev/tty57  /dev/ttyprintk
/dev/tty14    /dev/tty25  /dev/tty36  /dev/tty47  /dev/tty58  /dev/ttyUSB0
/dev/tty15    /dev/tty26  /dev/tty37  /dev/tty48  /dev/tty59  /dev/ttyUSB1
/dev/tty16    /dev/tty27  /dev/tty38  /dev/tty49  /dev/tty6   /dev/ttyUSB2
/dev/tty17    /dev/tty28  /dev/tty39  /dev/tty5   /dev/tty60  /dev/ttyUSB3
/dev/tty18    /dev/tty29  /dev/tty4   /dev/tty50  /dev/tty61  /dev/ttyUSB4
```

Obrázek 51: Instalování Arduina a vyhledání ttyACM0 (Zdroj vlastní)

Pomocí druhého příkazu na obrázku je možné vypsat seznam všech souborů, které se nachází v adresáři „dev“ a jejich název začíná na „tty“ díky tomu jsme našli soubor „ttyACM0“

Nejprve je definování datových typů jednotlivých proměnných. Nastavení sériové komunikace a definování přidáných vstupů a výstupů.

Funkce „Void loop“ funguje následovně. Z pinu 12 je přečten aktuální stav „currentstate“ a uloží se do proměnné „laststate“. Na pinu 12 se nachází resetovací tlačítko, tudíž program čte a vyhodnocuje, jestli je stisknuté, či nikoliv.

Pokud je detekována sršeň a jsou poslány následující znaky, které byly stanoveny, arduino vyhodnotí jejich přijetí. Pro poplach byl stanoven symbol „A“. Pokud je písmeno „A“ uloženo v arduinu do proměnné „warning“ zpusť se cyklus blikání LED diod. Pomocí resetovacího tlačítka se vrátí stav do původního stavu (Obrázek 52).

K psaní programovacího kódu slouží vývojovému prostředí Arduino IDE.

```
char warning;
bool alert = false;
int lastState = HIGH;
int currentState;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Ready");
  pinMode(6, OUTPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  pinMode(12, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
  currentState = digitalRead(12);

  if(lastState == LOW && currentState == HIGH){
    warning = 'N';
  }
  lastState = currentState;

  recieveAlert();
  if(warning == 'A'){
    alert = true;
  }
  else if(warning == 'N'){
    alert = false;
  }
  if(alert){
    digitalWrite(4, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(5, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(6, HIGH);
    delay(100);
    digitalWrite(4, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(5, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(6, LOW);
    delay(100);
  }
  else{
    digitalWrite(4, LOW);
    digitalWrite(5, LOW);
    digitalWrite(6, LOW);
  }
}

void recieveAlert(){
  if (Serial.available() > 0){
    warning = Serial.read();
    Serial.print(alert);
  }
}
```

Obrázek 52: Kód Arduino Una (Zdroj vlastní)

4.7 Zapojení a instalace GSM komunikátoru

Aby mohl GSM komunikátor fungovat v experimentální sestavě je potřeba jej připojit na mikropočítač a nakonfigurovat. Do příkazové řádky byly napsány následující příkazy. Prvně se musel napsat příkaz pro instalaci a poté se teprve mohlo pracovat na konfiguraci samotného GSM. Pomocí příkazu picocom bude komunikováno s GSM modulem. Program picocom komunikuje s terminálem a umí se připojit k sériovému portu (Obrázek 53).

```
hornet@raspberrypi:~ $ sudo apt-get install picocom
Reading package lists... Done
Building dependency tree... Done
Reading state information... Done
picocom is already the newest version (3.1-4).
```

Obrázek 53: Instalace picocom pro GSM (Zdroj vlastní)

Po instalaci picocom, byl napsán do příkazové řádky příkaz „lsusb“, který vypíše informace o zapojení USB a jejich obsazení různými zařízeními. Pomocí tohoto příkazu bylo identifikováno umístění GSM komunikátoru (Obrázek 54).

```
hornet@raspberrypi:~ $ lsusb
Bus 002 Device 003: ID 1409:3580 IDS Imaging Development Systems GmbH USB 3.0 Camera
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0003 Linux Foundation 3.0 root hub
Bus 001 Device 007: ID 046d:c08b Logitech, Inc. G502 SE HERO Gaming Mouse
Bus 001 Device 006: ID 1c4f:0002 Sigma Micro Keyboard TRACER Gamma Ivory
Bus 001 Device 005: ID 05e3:0610 Genesys Logic, Inc. Hub
Bus 001 Device 004: ID 2341:0043 Arduino SA Uno R3 (CDC ACM)
Bus 001 Device 003: ID 1e0e:9001 Qualcomm / Option SimTech SIM7000
Bus 001 Device 002: ID 2109:3431 VIA Labs, Inc. Hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
```

Obrázek 54: Příkaz lsusb (Zdroj vlastní)

Pro hledání komunikačního kanálu pro GSM komunikátor byl použit příkaz dmesg. Příkaz dmesg který detekuje připojený GSM komunikátor. A pošle informaci na příkaz grep, který pomocí definovaných „tty“ zvýrazní všechny slova obsahující tuto informaci (Obrázek 55).

```
hornet@raspberrypi:~ $ dmesg | grep tty
[ 0.000000] Kernel command line: coherent_pool=1M 8250.nr_ua...
.enable_headphones=0 snd_bcm2835.enable_headphones=1 snd_bcm2835.enable_hdmi=1 s...
nd_bcm2835.enable_hdmi=0 smsc95xx.macaddr=DC:A6:32:0E:CB:78 vc_mem.mem_base=0x3...
ec000000 vc_mem.mem_size=0x40000000 console=ttyS0,115200 console=tty1 root=PARTI...
UID=5e96b1c8-02 rootfstype=ext4 fsck.repair=yes rootwait quiet splash plymouth.i...
gnore-serial- consoles cfg80211.ieee80211_regdom=CZ
[ 0.000368] printk: console [tty1] enabled
[ 2.255781] fe201000.serial: ttyAMA1 at MMIO 0xfe201000 (irq = 36, base_baud...
= 0) is a PL011 rev2
[ 2.256029] serial serial0: tty port ttyAMA1 registered
[ 5.982175] systemd[1]: Created slice system-getty.slice - Slice /system/getty...
y.
[ 8.264027] cdc_acm 1-1.3:1.0: ttyACM0: USB ACM device
[ 9.471087] usb 1-1.2: GSM modem (1-port) converter now attached to ttyUSB0
[ 9.658784] usb 1-1.2: GSM modem (1-port) converter now attached to ttyUSB1
[ 9.662523] usb 1-1.2: GSM modem (1-port) converter now attached to ttyUSB2
[ 9.668502] usb 1-1.2: GSM modem (1-port) converter now attached to ttyUSB3
[ 9.704349] usb 1-1.2: GSM modem (1-port) converter now attached to ttyUSB4
```

Obrázek 55: Příkaz dmesg (Zdroj vlastní)

Dále bylo třeba nastavit GSM komunikátor. K nastavení byl využit nástroj picocom. Po vypsání informací jsou položeny další příkazy, které zjistí stav GSM. Příkaz „AT“ – zjišťuje, jestli je GSM schopno přijímat zprávy. Pokud je odpověď „Error“ je někde chyba a musí být vyřešena. Při odpovědi „OK“ komunikace pokračuje. Zjištění, zda je SIM karta odemknutá je pomocí příkazu „AT+CPIN“, když je odpověď opět „Error“, je potřeba zadat PIN. PIN SIM karty, aby GSM mohlo SIM kartu využívat, je napsán takto: „AT+CPIN=1234“. Poté je GSM připraven komunikovat a využít funkci SIM karty (Obrázek 56).

```
FATAL: cannot open ttyUSB3: No such file or directory
hornet@raspberrypi:~$ sudo picocom -l /dev/ttyUSB3
picocom v3.1

port is       : /dev/ttyUSB3
flowcontrol   : none
baudrate is   : 9600
parity is     : none
databits are  : 8
stopbits are  : 1
escape is     : C-a
local echo is : no
noinit is    : no
noreset is   : no
hangup is    : no
nohup is     : yes
send_cmd is   : sz -vv
receive_cmd is : rz -vv -E
imap is      :
omap is      :
wmap is      : crcrif,delbs,
logfile is   : none
initstring   : none
exit_after is : not set
exit is      : no

Type [C-a] [C-h] to see available commands
Terminal ready

*** local echo: yes ***
AT
ERROR
AT
OK
AT+CPIN
ERROR
AT+CPIN=1234
OK
+CPIN: READY
SMS Ready
Terminating...
Thanks for using picocom
hornet@raspberrypi:~$
```

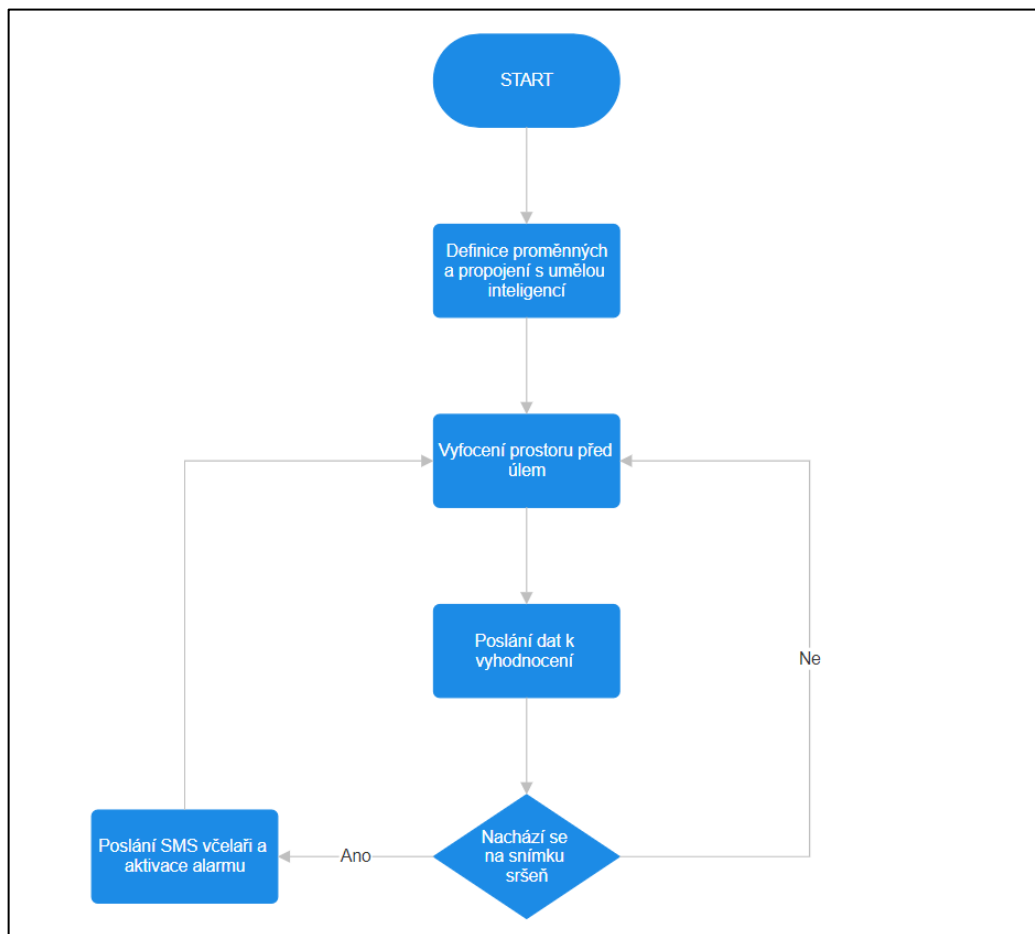
Obrázek 56: Nastavení GSM komunikátoru k odesílání zpráv (Zdroj vlastní)

5 ZPRACUJTE METODU VYHLÁŠENÍ POPLACHU O VÝSKYTU SRŠNĚ ASIJSKÉ

Při sestavení experimentální sestavy bylo požadováno na vyhlášení poplachu o výskytu sršně asijské v blízkosti včelího úlu. V práci byly popsány jednotlivé komponenty a jejich programování. V téhle kapitole je popsáno vyhledávání poplachu a postup práce celé experimentální soustavy jako celku, nikoliv jen jednotlivé komponenty. Daný problém byl řešen následovně.

5.1 Blokové schéma a vývojový diagram

Při sestavování experimentální sestavy byl vytvořen vývojový diagram, který popisuje funkci experimentální sestavy.

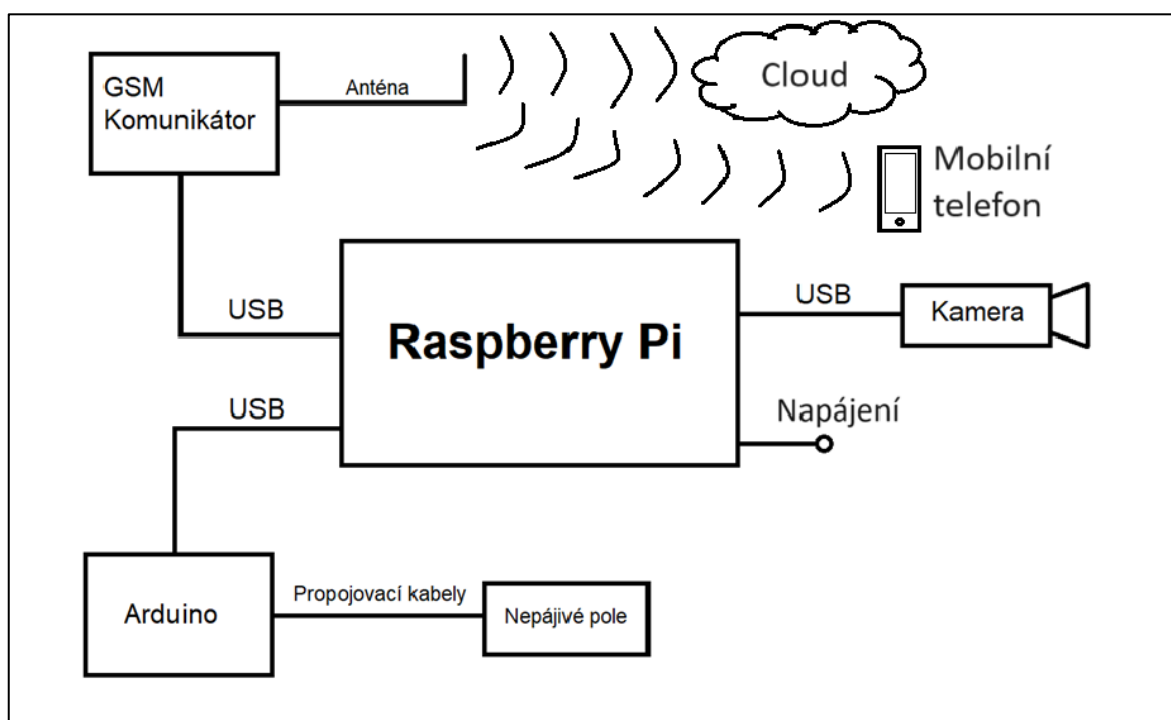


Obrázek 57: Vývojový diagram vyhlášení poplachu (Zdroj vlastní)

Po vytvoření vývojového diagramu bylo nutné jednotlivé komponenty naprogramovat a spojit v jeden celek. Dle vývojového diagramu lze zjednodušeně říci, že kamera snímá prostor

před úlem. Raspberry Pi odešle vyfocenou fotografii k vyhodnocení, pokud je detekována sršeň asijská, je vyhlášen poplach a celý proces se opakuje (Obrázek 57).

Dle blokového schématu lze vidět zapojení jednotlivých komponent. Mikro počítač Raspberry Pi je připojen do sítě (230 V/50 Hz). Na mikro počítač je připojená IDS kamera do slotu USB 3.0, dále je v USB 3.0 připojen i GSM komunikátor. Na mikro počítač Raspberry Pi je připojen i mikro počítač Arduino Uno, pomocí kterého jsou ovládány LED diody signalizující detekování sršně asijské (Obrázek 58).



Obrázek 58: Blokové schéma zapojení experimentální sestavy (Zdroj vlastní)

5.2 Princip kódu a detekce sršně asijské

Jako první krok je definování adresy, na kterou se budou fotografie odesílat a následně vyhodnocovat na přítomnost Vespy velutiny (Sršně asijské). Vyhodnocení je přes webovou stránku „ultralytics“, kde byl vycvičen model pro rozeznávání a detekování vespy velutiny. Kapitola „Trénování AI pomocí ultralytics“. Odeslání přihlašovacích údajů a následné nastavení komunikace s arduinem pomocí sériové komunikace.

Byla napsána funkce, která se zaměřuje pouze na odesílání SMS zpráv. Proměnná „ser“ (zkráceně seriál) navazuje sériovou komunikaci s GSM komunikátorem.

Z obrázku v předchozí kapitole (Obrázek 56) lze vidět komunikaci pomocí sériové komunikace s GSM komunikátorem a následné nastavení SIM karty, aby posílala zprávy s přednastaveným obsahem na konkrétní telefonní číslo (Obrázek 59).

```
url = "https://api.ultralytics.com/v1/predict/qgPl5SZQjmNZl7pPDMuT"
headers = {"x-api-key": "9c1875fa9d965d1c15a729a1c245b9c3aa1d1c0440"}
arduino = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)

def send_sms(message, phone_number):
    ser = serial.Serial('/dev/ttyUSB3', 9600, timeout=1)
    ser.write('AT\r\n'.encode())
    time.sleep(1)
    ser.write('AT+CPIN=1234\r\n'.encode())
    time.sleep(1)
    ser.write('AT+CMGF=1\r\n'.encode())
    time.sleep(1)
    ser.write(f'AT+CMGS="{phone_number}"\r\n'.encode())
    time.sleep(1)
    ser.write(f'{message}\r\n'.encode())
    time.sleep(1)
    ser.write(chr(26).encode())
    ser.close()
```

Obrázek 59: Programování komunikace s GSM (Zdroj vlastní)

Proměnná data v sobě skrývá hodnoty, které jsou totožné s nastavenými parametry při trénování AI na stránce „ultralytics.com“. Uložení fotky pomocí definované adresy a následné čtení fotky jakožto binární kód pro další manipulaci.

Před samotnou podmínkou „if“ byla zobrazena hodnota, kterou stránka „ultralytics“ vrací, Jedná se jen a pouze o pomoc při odladění chyb v kódu. Pokud vrácená hodnota není rovna hodnotě 200 vypíše se „nic“. Pokud je přijatá hodnota rovna 200, kód zjišťuje z dat, jestli je název detekovaného objektu „Vespa velutina“ a její míra přesnosti větší než 50 %. Jestli ano, odešle se SMS zpráva s informací o detekci a rozsvítí se LED diody.

Během optimalizace sestavy byly zjištěny následující nejzávažnější chybové hlášky. Při kontrolování hodnoty 200, jestli dorazila od stránky „ultralytics“ bylo zachyceno několik chybových hlášek. Chybová hláška „Error 404“ znamená, že stránka nebyla nalezena, „Error 500“ znamená chybu na straně poskytovatele stránky. Poslední zachycená chybová hláška byla „Error 429“, neboli příliš žádostí od klienta. S touto poslední chybovou hláškou musel být jeden parametr v kódu upraven. Nejdříve byl čas na pořízení fotografie a následném vyhodnocení stanoven na 3 sekundy. Po chvilkovém spuštění a ladění programu bylo zjištěno,

že při používání bezplatných služeb musí být interval prodloužen na 10 sekund (Obrázek 60).

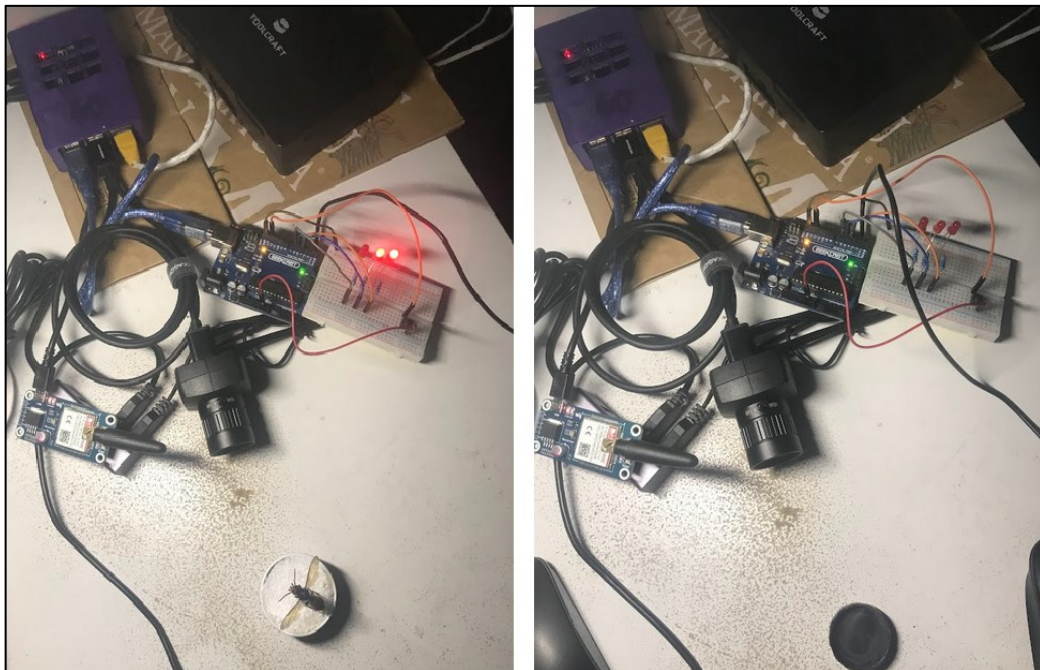
```
data = {"size": 640, "confidence": 0.25, "iou": 0.45}
with open("/home/hornet/Desktop/python-test-image.jpg", "rb") as f:
    response = requests.post(url, headers=headers, data=data, files={"image": f})

print(response.status_code)
if(response.status_code==200):
    if(bool(response.json()["data"])):
        for data in response.json()["data"]:
            if(data["name"] == "vespa_velutina" and data["confidence"] > 0.5):
                print("Srsen detected")
                arduino.write(str.encode('A'))
                send_sms("SRSEN V OKOLI ULU 001", "+420734463677")
else:
    print("nic")
```

Obrázek 60: Hlášení o detekci vespy velutiny (Zdroj vlastní)

Obrázek níže (Obrázek 61) ukazuje zapojenou experimentální sestavu ve stavu detekujícím nebezpečí (levá část) a stavem klidu (pravá část).

Při detekování nebezpečí byla na monitoru vypsána hláška (Obrázek 62) z důvodu funkčnosti experimentální sestavy. Při detekci byla odeslána i varující SMS zpráva (Obrázek 63)



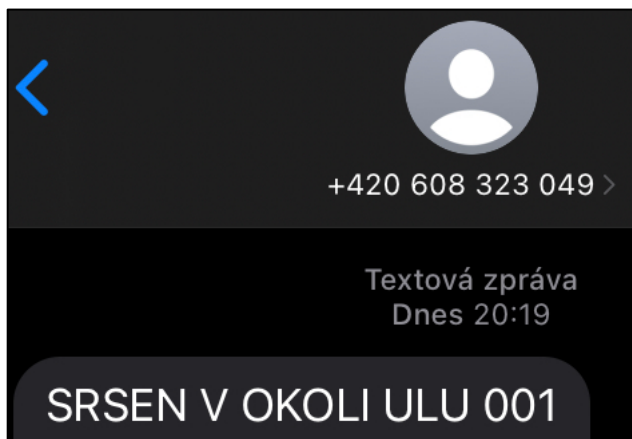
Obrázek 61: Nalevo vyhlášení poplachu, napravo klidový stav (Zdroj vlastní)



Obrázek 62: Detekování sršně asijské pomocí kamery vypsaní v CMD (Zdroj vlastní)

Hodnota 200 udává říká, že byla přijata fotografie zpět z „ultralytics“, ale nevyskytuje se na ní Vespa velutina. Když kamera sršně zaznamená, vypíše hlášku „Sršen detected“.

Při detekci sršně asijské kamerou a vyhodnocenou umělou inteligencí, je poslána SMS zpráva včelaři na mobilní telefon.



Obrázek 63: Odeslaná SMS zpráva (Zdroj vlastní)

Pro účely prezentace v běžném provozu byl sestaven prototyp včelího úlu a následná demonstrace možné detekce sršně asijské na česně úlu (Obrázek 64). Při běžném provozu by bylo vhodné umístění experimentální sestavy pod úlem. Pro názornost je sestava vyobrazena na modelovém úlu.



Obrázek 64: Model úlu s experimentální sestavou (Zdroj vlastní)

6 VYMYSLITE ZAŘÍZENÍ PRO ELIMINACI SRŠNĚ ASIJSKÉ

V této kapitole bude vymyšlen koncept návrhu na eliminaci sršně asijské v blízkosti včelího úlu.

6.1 Příklady aktuálních pastí

Na trhu existují zařízení i jednoduché pasti, které dokáží zadržet i eliminovat sršeň asijskou. Příklady těchto pastí jsou na nadcházejících obrázcích znázorněny.

Lepivé pásy fungují na principu chycení hmyzu na lepivý povrch, ze kterého se už nemá šanci dostat. Následně umře v průběhu času.



Obrázek 65: Lepivá past [121]

Selektivní pasti, uzpůsobené na chytání většího hmyzu jsou vyobrazeny na obrázcích níže. Jedná se o primitivní pasti s návnadou. Návnada může být sladká šťáva, která přiláká hmyz. Na obrázku (Obrázek 65) je řešen únik hmyzu, který je menších rozměrů. V pasti jsou vytvořené mezery, mezi které se vejde menší hmyz, konkrétně velikosti včely. Tudíž když se včela chytne do pasti, může se dostat zpět na svobodu. Větší hmyz vlezle pouze do pasti, ale těmito únikovými otvory už nevyleze. Může se jednat konkrétně o sršeň asijskou. Mezi chycený hmyz bývá detekován i hmyz ohrožený.

Všechny tyto pasti využívají feromony, kterými lákají sršeň asijskou, aby se do pasti nalákala a zahynula.



Obrázek 66: Selektivní past na sršeň asijskou [122]



Obrázek 67: Past na sršeň asijskou [123]

Ochranné nástavce včelstev brání vniknutí sršně asijské do úlu, případně do okolí česna (vstupu) úlu. Včely mají možnost se bránit a vyčkat až predátor odletí. Nevýhodou mechanického nástavce je jeho využití pouze na blízké okolí. Včely jsou sice ochráněny, ale predátor není eliminován a může přiletět znovu, nebo si na včely počká až vyletí z úlu pro sběr vody, nektaru, aj..



Obrázek 68: Nástavec na ochranu včelstva [124]

6.2 Vymyšlené zařízení pro eliminaci sršně asijské

Vymyšlené zařízení pro eliminaci sršně asijské by bylo zcela soběstačné. Solární panel, nebo jiný zdroj energie, například větrná elektrárna, pokud se bude včelí úl nacházet v místě kde je vhodný poryv větru. Vodní elektrárna, pokud se bude úl nacházet v blízkosti vodního toku.

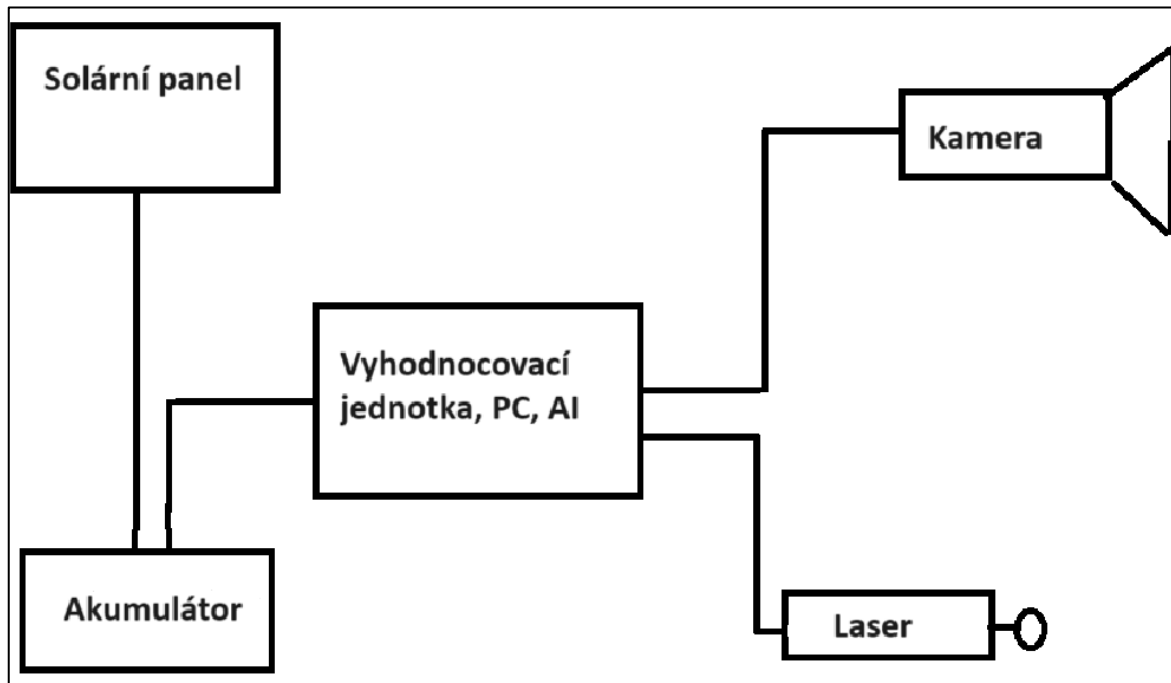
Energie přijatá a vyrobená putuje do série zdrojů, které by byly konstruované tak, aby dokázali celou sestavu napájet nepřetržitě po celou dobu, než se opět bude vytvářet přebytečná energie k uložení do akumulátorů.

Srdce celé soustavy je PC, nebo mikropočítač. Ten v sobě bude mít schopnou AI, která bude vyhodnocovat objekty zachycené kamerou. K identifikaci bude vyhledávat primárně predátory, kteří by mohli ohrozit populaci včel.

Laser slouží k eliminaci škůdce. Konkrétně sršně asijské. Pomocí nejmodernější AI bude sestava schopna predikovat dráhu letu s rychlostí objektu. Objekt (Vespa velutina) by byla následně zlikvidována laserem.

Na včelím úlu by bylo laserové zařízení připevněno konstantně na jednom místě, před vstupem do úlu. Jednalo by se o plošný laser, který pokrývá širokou plochu působnosti. Díky odrazným zrcátkům. Aby bylo možné odrazná zrcátka, popřípadě rotační nebo kmitající, bude nutné postavit před úl stěnu, nebo vhodně zvolená podpůrná konstrukce pro zrcadla, aby laser mohl pokrýt všechny směry vniknutí do česna úlu.

Kvůli nebezpečí pro člověka bude kamera vyhodnocovat pohyb osob v blízkosti úlu. Pokud detekuje člověka, automaticky zastaví činnost laseru. Obrázek níže (Obrázek 69) vyobrazuje blokové schéma možného vývoje zařízení pro eliminaci sršně asijské.



Obrázek 69: Blokové schéma zařízení pro eliminaci sršně asijské (Zdroj vlastní)

7 ODHADNĚTE DALŠÍ VÝVOJ V TĚTO OBLASTI

Vývoj pro detekci a eliminaci sršně asijské je v české republice v ranném stádiu. Neexistuje žádná sestava, která by dokázala tento problém řešit. Na českém i zahraničním včelařském fóru jsou k dispozici různé vychytávky, jak by včelař mohl bránit své úly a zabránit tak vysokým ztrátám na včelstvem, popřípadě na zisku z prodaných služeb a produktů. Avšak jsou to jen rady, kterými by se měl včelař řídit. Tento způsob ovšem neeliminuje počet invazních sršní asijských na našem území, pouze může pomoci snížit následky způsobené jejich invazí.

Budoucí vývoj může představovat scénář jak z vědeckofantastického filmu. Rozvoj a inovace pomůžou k vypořádání se s hrozbou invazního druhu na území celé Evropy.

7.1 Technologické inovace

Mezi technické inovace je možné v budoucnu očekávat plné rozšíření a nasazení kontrolních dronů, které budou skenovat prostředí s vhodnými přírodními podmínkami pro vytvoření sekundárního hnízda sršně asijské.

Drony by mohli být osazeny eliminačními, nebo detekčními prostředky. Hlavní prioritou je však kamera s umělou inteligencí, která by dokázala detekovat vespu velutinu v reálném čase. Zabránilo by se tak chybovostí lidskému faktoru.

7.2 Vývoje pastí na sršeň asijskou

Vzhledem k výraznému rozšiřování invazního druhu sršně asijské na území české republiky, je potřeba vymyslet a sestavit pasti, které budou schopny polapit, popřípadě zlikvidovat invazní druh.

Nyní jsou na trhu pasti, které dokáží přilákat a odchytit jedince sršně asijské, ale i další hmyz, který je mnohdy chráněný českou legislativou.

Odhad pastí je ve zlepšení účinnosti polapení jednotlivců, kteří se mohou pohybovat až přibližně 2 kilometry od svého hnízda.

Pasti mohou mít upravenou návnadu, která bude převážně lákat sršeň asijskou, nikoliv chráněně druhy hmyzu.

7.3 Biologický a chemický vývoj obraných metod

Odhad v oblasti biologického a chemického vývoje obraných metod je spíše vymyšlený scénář, který má na uskutečnění příliš nízkou pravděpodobnost.

Do pastí proti sršni asijské, které jsou momentálně volně dostupné na trhu, bude vymyšlena chemická látka, která bude eliminovat pouze vespu velutinu, nikoliv žádný jiný hmyz, nebo člověka. Takový scénář je ovšem velice nepravděpodobný. Avšak likvidace pomocí chemických látek není dlouhodobě vhodná, kvůli otravě ostatních druhů hmyzu, čímž se razantně sníží jejich stavy. Proto s největší pravděpodobností budou chemické pasti zakázané a nahrazeny jinými způsoby.

Biologický způsob likvidace je přijatelnější oproti chemickému. *Vespa crabro* (Sršeň obecná) je schopna lovení sršně asijské, avšak není její prioritou. Pomocí biologických procesů by mohlo být v budoucnu možné vypěstovat generaci sršně obecné, která se bude specializovat na predaci sršně asijské.

7.4 Odhad vývoje monitorování a kontroly

V kategorii monitorování a kontroly může nastat vývoj z hlediska celorepublikového dosahu. Již nyní jsou spuštěny projekty na nahlašování sršně asijské při jejím detekováním včelařem, nebo obyčejným občanem. V budoucnu by se toto povědomí mohlo dostat mezi všechny občany české republiky.

Rozšíření a nasazení kamer na včelí úly, které budou detekovat narušení perimetru sršní asijskou.

Kontrolování bude prováděno pravidelněji a s přesnější technologií. Využití umělé inteligence k prognóze výskytu primárních hnízd na základě detekce sršně asijské.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo sestavení experimentální sestavy, která dokáže detekovat sršeň asijskou a ohlásit její nález.

Experimentální sestava využívala ke své práci rozpoznávání objektů na obrazu. Respektive bylo potřeba vycvičit umělou inteligenci, aby dokázala správně detekovat požadovaný objekt. V tomto konkrétním případě se jednalo o sršeň asijskou. Umělou inteligenci bylo potřeba vycvičit, jelikož jako malé dítě nemá životní zkušenosti, tak i umělá inteligence neví co přesně chceme, aby uměla detekovat.

Cvičení probíhalo formou učení, ověření a testování se na sérii fotek, které byly ručně anotovány člověkem. Jelikož tato umělá inteligence nemá „selský rozum“ jako člověk, bylo potřeba ji vytrénovat na více druhů hmyzu, které chceme, aby detekovala. Při cvičení pouze na sršeň asijskou, byla záměna se včelou medonosnou na vysoké úrovni. Pro správné fungování bylo potřeba umělou inteligenci vycvičit na objekty, které má a nemá vyhlašovat. Zároveň učení se rozdílů mezi více druhy hmyzu, které jsou si podobné, jen snižuje celkovou chybovost.

Po vycvičení a otestování umělé inteligence bylo potřeba zkonstruovat podobu experimentální sestavy. Experimentální sestava byla složena z mikropočítače Raspberry Pi, IDS kamery, mikropočítače Arduino UNO a GSM komunikátoru.

Po zapojení všech komponent do mikropočítače Raspberry Pi, bylo potřeba naprogramovat jednotlivé komponenty, aby s nimi mohlo být dále pracováno.

IDS kamera funguje na principu neustálého sledování prostoru před včelím úlem. Kontroluje, zda pohyb u vstupu úlu není napaden predátorem, který by dokázal vyhubit celou kolonii včel. Proto kamera snímá obraz, vytvoří si snímek, který odešle na vyhodnocení. Vyhodnocení probíhá pomocí vytrénované umělé inteligence. Pokud se na snímku nenachází nic podezřelého, přejde se kontrole snímku druhého. Avšak, je-li na snímku detekován predátor, na který je umělá inteligence vycvičená, odešle se varovný signál do mikropočítače Raspberry Pi.

Centrální mikropočítač Raspberry Pi rozešle varovný signál zbývajícím komponentům. Gsm komunikátor musel být naprogramován, aby při obdržení varovného signálu dokázal odešle SMS zprávu včelaři. Aduino UNO se stará o zabezpečení vizuální detekce napadeného úlu.

Při obdržení SMS zprávy by si měl včelař jít zkontrolovat své úly, pokud tak učiní, experimentální sestava funguje, jak má. V budoucím vývoji je možné využívat i zasílání a ukládání pořízených fotografií na cloudové uložště. Tato funkce bude sloužit pro fyzické ověření, jestli se opravdu jedná o zvolený detekovaný objekt, nebo o planý poplach. S dobře vycvičenou umělou inteligencí bude ovšem riziko planých poplachů minimální.

Diplomová práce je pouze průkopníkem v této problematice a je zde velké množství příležitostí pro zlepšení. V možném budoucím vývoji by bylo dobré odesílat zachycené škůdce i na předem stanovený e-mail, aby bylo možné ověření přesnosti detekce včelařem.

Budoucí vývoj je možné předpokládat s velkou pomocí umělé inteligence, která se bude starat nejen o rozpoznání obrazu, ale také o celkovou eliminaci daného škůdce. Vzhledem k neustálému zlepšování hardwarových i softwarových komponent, je možné bránit včelí úl proti jakémukoliv druhu škůdce, ať už se jedná o sršeň asijskou, myši, mravenci apod. Praktickému využití se tato práce ovšem úplně nevěnuje, Při sestavování funkčního prototypu se jedná časově v období několika let výzkumu více zkušených lidí v oborech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Tajemství formování společenstev sociálního hmyzu. *SIENCE CAFÉ* [online]. 2019 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.sciencecafe.cz/zaznamy/video/tajemstvi-formovani-spolecenstev-socialniho-hmyzu/>
- [2] TAUTZ, Jürgen. *Včely medonosné a jejich tajemný život v lese*. Grada (GRADA Publishing, a. s.), 2021. ISBN 978-80-271-3224-9.
- [3] ČERMÁK, Květoslav a Karel SLÁDEK. *Ekologie chovu včel*. Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2016. ISBN 978-80-7465-215-8.
- [4] *Etapy v životě včely: od vylíhnutí po poslední zamávání křídly* [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.pleva.cz/a/etapy-v-zivote-vcely-od-vylihnuti-po-posledni-zamavani-kridly>
- [5] *Proč potřebujeme včely?* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://vcelstva.czu.cz/vcely-med/potrebujeme>
- [6] WILCZEK, Martin. Co je to spolupráce? *MARTIN WILCZEK* [online]. 2022 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.martinwilczek.com/blog/co-je-to-spoluprace>
- [7] ŠEDÁ, Vlasta. *Význam komunikace v životě člověka* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://www.pppuk.cz/soubory/ppp_kadan/kadan_clanek_6.pdf
- [8] *Včely přestávají tančit. Na našich polích už to zřejmě nemá smysl* [online]. 2019 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.vcelarstvi.cz/aktuality/vcely-prestavaji-tancit-na-nasich-polich-uz-to-zrejme-nema-smysl/>
- [9] *Zajímavosti o včelách* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.duhajes.cz/krouzky/10-zajimavosti-o-vcelach.html>
- [10] *Včelí matka* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/vceli-matka/>
- [11] FLEGR, Jaroslav. *Evoluční biologie*. 2., opr. a rozš. vyd. Praha: Academia, 2009. ISBN 978-80-200-1767-3.
- [12] ETOLOGIE. *Zoologie frasma* [online]. 2012 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: http://www.zoologie.frasma.cz/Etologie/etologie_C.html
- [13] *Včely a produkce medu: Včelí chování a komunikace* [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://davidovavcelifarma.cz/blogs/news/vcely-a-produkce-medu-vceli-chovani-a-komunikace>

- [14] *Včela Medonosná* [online]. 2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://vcelarstvi-sedlak.cz/vcela-medonosna/>
- [15] DVORSKÝ, Leoš. *SOŠ a SOU Horky nad Jizerou: Včela medonosná* [online]. 2014 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.souhorky.cz/ns-vcela-medonosna>
- [16] *Včeli společenství* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.etiketyna-med.cz/vceli-spolecenstvi/>
- [17] KOSTROUNOVÁ, Jana. *Ze života včel. Nadace na ochranu zvířat* [online]. 2020, 27.4.2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ochrana-zvirat.cz/2020/04/27/vcely/>
- [18] MAYA, Elda Miriam Aldasoro, Ulises Rodríguez ROBLES, María Luisa Martínez GUTIÉRREZ, Guelmy A. Chan MUTUL, Teresita Avilez LÓPEZ, Helda MORALES, Bruce G. FERGUSON a Jorge A. Mérida RIVAS. Stingless bee keeping: Biocultural conservation and agroecological education. *Frontiers* [online]. 2023, **6**, 16 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2022.1081400/full>
- [19] QUEZADA-EUÁN, J. J. G. a R. J. PAXTON. Rapid inter-generational changes in morphology and behaviour in colonies of Africanized and European honey bees (*Apis mellifera*) from tropical Yucatan, Mexico. *Journal of Apicultural Research* [online]. 2015, **38**(1-2) [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00218839.1999.11101000>
- [20] *Včela medonosná* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/vcela-medonosna/>
- [21] *UnoDuo: Včely* [online]. 2023, 31 s. Dostupné také z: <https://www.unoduo.cz/skolak/vcely/>
- [22] *Životní cyklus matky, dělnice a trubce (dělba práce ve včelstvu)* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/zivotni-cyklus.htm>
- [23] BOHÁČ, Jindřich. *Včelnice v podletí a na podzim* [online]. 2004, 12 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.modernivcelar.eu/98-vcelnice-v-podleti-a-na-podzim>
- [24] *Timixi* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.timixi.com/cz/cz/timeline/view/168?noredirect=r9bmp>

- [25] *Druhy včel – královna, dělnice a trubci* [online]. 2023 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://lyson.cz/vcelarske-potreby/2023/08/21/druhy-vcel-kralovna-delnice-a-trubci/>
- [26] NOREK, Adam. *17. Životní cyklus včelstva* [online]. In: . s. 7 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/ptacek/AFH-vypracovane-otazky/17-zivot-cyklus-vcel.htm>
- [27] *Včelí dělnice* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/vceli-delnice/>
- [28] SKOUPÁ, Lenka. *Včela medonosná – příklad společenského hmyzu* [online]. In: . s. 22 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://digifolio.rvp.cz/artefact/file/download.php?file=76002>
- [29] MOŽÍŠ, Pavel. *Jak dlouho žijí včely? BeeInfo* [online]. 2018 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://beeinfo.cz/jak-dlouho-ziji-vcely/>
- [30] BOHÁČ, Jindřich. *Vše, co se týká provozního prostředku - úlu. Včelaři Valašské Klobouky* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://vcelari-valasske-klobouky.webnode.cz/otazky-a-odpovedi/>
- [31] ERLEBACH, Jiří. *Včely, jak je možná neznáte. Zelený grunt* [online]. 2019, 4.9.2019 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.zeleny-grunt.cz/vcely-jak-je-mozna-neznate/>
- [32] *O významu včel v přírodě a pro člověka* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.drevohostice.cz/spolky/vcelari/o-vyznamu-vcel-v-prirode-a-pro-cloveka/>
- [33] LAMKOVÁ, K. *Produkty včely medonosné, jejich vznik a význam pro člověka. Masarykova univerzita Přírodovědecká fakulta* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/ptacek/AFH-vypracovane-otazky/29-Produkty.htm>
- [34] *Produkty včel* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/vceli-produkty-257/>
- [35] *Med* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/med.htm>
- [36] *Včelí med* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.vceli-produkty.cz/vceli-produkty/vceli-med/>
- [37] *O včelích produktech* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.drevohostice.cz/spolky/vcelari/o-vcelich-produktech/>

- [38] *Výroba medu* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://hero-group.ch/en/sustainability/bee-careful>
- [39] *O životě včel* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.jahan.cz/o-zivot-vcel>
- [40] *Pyl* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/pyl.htm>
- [41] *Květový pyl* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/pyl-kvetovy-309/>
- [42] MALEČKOVÁ, Radka. Včelí pyl a jeho příznivé účinky. *Lékárna.cz* [online]. 2020, 4. červen 2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/clanek/pyl/>
- [43] *Opylování* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/opylovani.htm>
- [44] *Propolis* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/propolis.htm>
- [45] *Propolis* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.vcelarstvi-jasovi.cz/c/vceli-produkty/propolis>
- [46] MALEČKOVÁ, Radka. Propolis a jeho využití. *Lékárna.cz* [online]. 2021, 15. září 2021 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.lekarna.cz/clanek/propolis-a-jeho-vyuziti/>
- [47] *Materi kašička* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/materi-kasicka-308/>
- [48] *Materi kašička* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/materi-kasicka.htm>
- [49] *Účinky včelího jedu* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/vceli-jed/>
- [50] *Včelí jed* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/jed.htm>
- [51] *Včelí vosk* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/vosk.htm>
- [52] *Včelí vosk má mnoho využití* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.uull.eu/blog/vceli-vosk-ma-mnogo-vyuziti-b40.html>
- [53] *Tajemství včelího vosku - jak vzniká materiál pro naše svíčky* [online]. 2022 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.damare.cz/tajemstvi-vzniku-vceliho-vosku>

- [54] VRABCOVÁ, Pavla a Miroslav HÁJEK. *The Economic Value of the Ecosystem Services of Beekeeping in the Czech Republic* [online]. 2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/23/10179>
- [55] ŠUJAN, Kristián. *Universitas* [online]. 2019, 30. července 2019 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.universitas.cz/osobnosti/3636-vcely-bez-nas-mohou-zit-my-bez-nich-ne>
- [56] DAFAR, Ajabush. Review of Economical and Ecological Importance of Bee and Bee Products in Ethiopia. *Journal of Animal Husbandry and Dairy Science* [online]. 2018, 2(2), 18-26 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://sryahwapublications.com/journal-of-animal-husbandry-and-dairy-science/pdf/v2-i2/3.pdf>
- [57] DURAZZO, Alessandra, Massimo LUCARINI, Manuela PLUTINO, et al. Bee Products: A Representation of Biodiversity, Sustainability, and Health. *MDPI* [online]. 2021, 1-32 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2075-1729/11/9/970>
- [58] *Proč ubývá včel a dalších opylovačů? (infografika)* [online]. 2019, 09.06.2021 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20191129STO67758/proc-ubyva-vcel-a-dalsich-opylovacu-infografika>
- [59] KAZDA, Jan a Martina STEJSKALOVÁ. Aplikace pesticidů a návštěvnost včel v porostech kvetoucí řepky. *Včelstva online* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://vcelstva.czu.cz/o-postricich/aplikacepesticidu>
- [60] *Nemoci u včel* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/nemoci-a-choroby-vcel/>
- [61] JANDOVÁ, Kamila. Opylovači naší přírody. *Nadace na ochranu zvířat* [online]. 2021, 22.6.2021 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.ochrana-zvirat.cz/2021/06/22/opylovaci-nasi-prirody/>
- [62] *Škůdci včel* [online]. 2020 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.mirdapirada.cz/blog/skudci-vcel>
- [63] *Choroby včel* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/choroby-vcel/>
- [64] *Threats to Bees* [online]. 2022 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.museumoftheearth.org/bees/threats>

- [65] HODÁKOVÁ, Jarmila. 30. Význam opylovací činnosti včely medonosné pro lidstvo a přírodu. *Masarykova univerzita Přírodovědecká fakulta* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/ptacek/AFH-vypracovane-otazky/30-vyznamopylovaci.htm>
- [66] *Proč potřebujeme včely?* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://vcelstva.czu.cz/vcely-med/potrebujeme>
- [67] LIMA, Maria Augusta P., G. Christopher CUTLER, Gaetana MAZZEO a Michael HRNCIR. *Editorial: The decline of wild bees: Causes and consequences* [online]. 2022 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/research-topics/17157/the-decline-of-wild-bees-causes-and-consequences>
- [68] *Sršeň Asijská či Mandarinská? Jsou u nás? Jak je poznat?* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.deratizace-global.cz/clanky/srsen-asijska-mandarinska-zlutava/>
- [69] *Nainstalováno: Pasti pomohou při monitoringu sršně asijské* [online]. 2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20240328_Nainstalovano-Pasti-pomohou-pri-monitoringu-srsne-asijske
- [70] *Sršeň asijská* [online]. 2023 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.najdi.cz/pf/srsen-asijska/>
- [71] *Vespa Velutina A threat to honey bees* [online]. 2018 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.vatorex.com/blog/beekeeping-blog-2/vespa-velutina-200>
- [72] *What is an Asian Hornet, what does it look like & what should I do if I come across one?* [online]. 2018 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.barrettine-env.co.uk/13/2155/what-is-an-asian-hornet-what-does-it-look-like-and-what-should-i-do-if-i-come-across-one>
- [73] *Sršeň asijská v ČR* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.svs-cr.cz/zdravi-zvirat/srsen-asijska/>
- [74] *Další výskyt invazních sršní asijských nebyl zatím potvrzen* [online]. 2023 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://invaznidruhy.nature.cz/-/dalsi-vyskyt-invaznich-srsni-asijskych-nebyl-zatim-potvrzen?redirect=%2F>
- [75] *Sršeň obecná* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://deti.vls.cz/cz/tipy-dolesa/zivot-v-lese/hmyz/srsen-obecna>

- [76] DIAZ, Adriana, Sophie GRÜNEWALD, Helena PROKOVÁ, Wolfgang WIMMER a Marie ŠOTOLOVÁ, GRUNTORÁDOVÁ, Hana, ed. *Sršeň asijská (Vespa velutina), její biologie, monitoring, kontrola a prevence šíření* [online]. Opatovice: Pracovní společnost nástavkových včelařů CZ, 2023, 77 s. [cit. 2024-05-17]. ISBN 978-80-907079-7-9. Dostupné z: <https://www.psnv.cz/attachment/s-49-d469a72334c2/1024-srsen-asijska-prirucka.pdf>
- [77] *Řád Blanokřídli* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: http://old.gymta.cz/kabinety/kab_biologie/videoatlas/hmyz/blanokridli.html
- [78] *Řád Dvoukřídli* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: http://old.gymta.cz/kabinety/kab_biologie/videoatlas/hmyz/dvoukridli.html
- [79] *Vespa velutina* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://entnemdept.ufl.edu/creatures/MISC/BEES/Vespa_velutina.html
- [80] *Asian Hornet* [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.national-beeunit.com/diseases-and-pests/asian-hornet/>
- [81] LAURINO, Daniela, Simone LIOY, Luca CARISIO, Aulo MANINO a Marco PORPORATO. *Vespa velutina: An Alien Driver of Honey Bee Colony Losses* [online]. 2019 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1424-2818/12/1/5>
- [82] *Le Frelon Asiatique Vespa velutina* [online]. 2024n. 1. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://frelonasiatique.mnhn.fr/>
- [83] POIDATZ, Juliette, Christophe BRESSAC, Olivier BONNARD a Denis THIÉRY. [online]. 2018 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022191017304122?via%3Dihub>
- [84] CINI, Alessandro, Federico CAPPÀ, Iacopo PETROCELLI, Irene PEPICIELLO, Laura BORTOLOTTI a Rita CERVO. Competition between the native and the introduced hornets *Vespa crabro* and *Vespa velutina*: a comparison of potentially relevant life-history traits. *Ecological Entomology* [online]. 2018, **43**(3), 351-362 [cit. 2024-05-17]. ISSN 0307-6946. Dostupné z: doi:10.1111/een.12507
- [85] PAJUELO, Antonio. Hive Under Siege: The Growing Threat of Hornets to Bee Colonies. *Véto-pharma* [online]. 2024, 13.2.2024 [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.blog-veto-pharma.com/en/how-to-combat-the-hornet-growing-threat-to-pollinators/>

- [86] *Vespa velutina and bees: here are the advice of beekeepers* [online]. 2021 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.apicolateralterza.com/en/vespa-velutina-and-bees>
- [87] LUKÁŠ, Luděk a kolektiv. *Konvergovaná bezpečnost*. Zlín: VeRBuM, 2019, 206 s. ISBN 978-80-87500-99-6.
- [88] LUKÁŠ, Luděk a kolektiv. *Teorie bezpečnosti II.: Institucionalizace bezpečnosti ve vybraných státních útvarech*. Zlín: VeRBuM, 2020, 298 s. ISBN 978-80-88356-06-6.
- [89] KUMARI, Kajal. A Basic Introduction to Object Detection. *Analytics Vidhya* [online]. 2024, 09.04.2024 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2022/03/a-basic-introduction-to-object-detection/>
- [90] *Image Processing: fundamental principles and practical uses* [online]. 2023 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://datascientest.com/en/image-processing-fundamental-principles-and-practical-uses>
- [91] CHHABRA, Diksha. Fundamentals of Object Detection. *Medium* [online]. 2020, 11.06.2020 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://medium.com/@chhabradiksha12/fundamentals-of-object-detection-e993b0761ada>
- [92] *Hluboké a strojové učení ve službě Azure Machine Learning* [online]. 2024 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/cs-cz/azure/machine-learning/concept-deep-learning-vs-machine-learning?view=azureml-api-2>
- [93] BOESCH, Gaudenz. Object Detection in 2024: The Definitive Guide. *Viso.ai* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://viso.ai/deep-learning/object-detection/>
- [94] *Segmentace obrazu* [online]. 2023 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://training.gismentors.eu/grass-gis-pokrocily/zod/segmentace.html>
- [95] STODŮLKA, Stanislav. *IMAGE DATA SEGMENTATION* [online]. Brno, 2012 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://dspace.vut.cz/server/api/core/bitstreams/630ae2ee-9f31-49a7-8a79-aac43104919b/content>. Diplomová. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, ústav telekomunikací. Vedoucí práce Ing. Radim Burget, Ph.D.
- [96] *Georeferencování obrazových dat* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://training.gismentors.eu/qgis-pokrocily/georeferencovani/index.html>

- [97] *Lokalizace dat v ObjectGears* [online]. 2019 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.objectgears.cz/lokalizace-dat>
- [98] *Object Localization* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://paperswithcode.com/task/object-localization>
- [99] *Getting Started with Object Detection Using Deep Learning* [online]. 2024 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/getting-started-with-object-detection-using-deep-learning.html>
- [100] Klasifikace obrazu I. *Informační systém Masarykovi univerzity* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2009/Z8114/um/9018418/DZO_07_klasifikace_1.pdf
- [101] *Klasifikace dat* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://portal.mate-matickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-hodnoceni-biologickych-dat--viceroz-merne-metody-pro-analyzu-dat--klasifikace--uvod--klasifikace-dat>
- [102] *Trasování - 3D Tracking* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.optixs.cz/slovník-17/trasovani---3d-tracking-56s>
- [103] PILAŘ, Martin. *Digitální zpracování obrazových informací v radiodiagnostice* [online]. České Budějovice, 2010 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: https://theses.cz/id/034d50/downloadPraceContent_adipIdno_16388. Bakalářská. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně Sociální fakulta. Vedoucí práce Ing. Kralovič Eduard.
- [104] MAGALY, Adam. Senzory a průmyslové trendy. *Svět Průmyslu* [online]. 2022, 30. 11. 2022 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/senzory-a-prumyslove-trendy/>
- [105] SLADKÝ, Jiří. *Vizuální detekce malých předmětů pomocí dostupných nástrojů v prostředí MATLAB* [online]. Brno, 2020 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://dspace.vut.cz/server/api/core/bitstreams/5834fc7a-56d2-409c-a363-4fb7d07cd6d0/content#%5B%7B%22num%22%3A73%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C68%2C268%2C0%5D>. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Ing. Martin Appel.

- [106] *Technologie vizuální detekce prasklin vajec!* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.sanovogroup.com/cs/news/news/visual-egg-crack-detection-technology/>
- [107] ULLMANN, Vojtěch. Detekce a spektrometrická analýza fotonového a korpuskulárního záření pro výzkum, technologické aplikace a medicínu. *Astro Nukl Fyzika* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>
- [108] SZELISKI, Richard. *Computer Vision: Algorithms and Applications* [online]. 2. Springer Cham, 2022, 925 s. [cit. 2024-05-18]. ISBN 978-3-030-34372-9. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9)
- [109] *Introduction to object detection with deep learning* [online]. 2023 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.superannotate.com/blog/object-detection-with-deep-learning>
- [110] JORDAN, Jeremy. An overview of object detection: one-stage methods. *Jeremy Jordan* [online]. 2018, 11.07.2018 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.jeremyjordan.me/object-detection-one-stage/>
- [111] *One-Stage Object Detection Models* [online]. [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://paperswithcode.com/methods/category/one-stage-object-detection-models>
- [112] PARK, Sieun. A guide to Two-stage Object Detection: R-CNN, FPN, Mask R-CNN. *Medium* [online]. 2021, 28.07.2021 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://medium.com/codex/a-guide-to-two-stage-object-detection-r-cnn-fpn-mask-r-cnn-and-more-54c2e168438c>
- [113] GIRSHICK, Ross, Jeff DONAHUE, Trevor DARRELL a Jitendra MALIK. *Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation* [online]. Columbus, OH, USA: IEEE, 2014 [cit. 2024-05-18]. ISBN 978-1-4799-5118-5. Dostupné z: [doi:10.1109/CVPR.2014.81](https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.81)
- [114] ALVI, Farooq. Computer Vision and Image Processing: Understanding the Distinction and Interconnection. *OpenCV* [online]. 2023, 13.12.2023 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://opencv.org/blog/computer-vision-and-image-processing/>
- [115] BAHETI, Pragati. Image Recognition: Definition, Algorithms & Uses. *V7* [online]. 2022, 5.8.2022 [cit. 2024-05-18]. Dostupné z: <https://www.v7labs.com/blog/image-recognition-guide>

- [116] KNIAZIEVA, Yuliia. Computer Vision Excellence? *Label Your Data* [online]. 2023, 14.12.2023 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://labelyourdata.com/articles/object-detection-metrics>
- [117] LOWE, Jay. Precision and Recall in Machine Learning. *Roboflow* [online]. 2022, 3.3.2022 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://blog.roboflow.com/precision-and-recall/>
- [118] SOLAWETZ, Jacob. What is Mean Average Precision (mAP) in Object Detection? *Roboflow* [online]. 2020, 6.3.2020 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://blog.roboflow.com/precision-and-recall/>
- [119] BUHL, Nikolaj. Mean Average Precision in Object Detection. *Encord* [online]. 2023, 5.11.2023 [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://encord.com/blog/mean-average-precision-object-detection/>
- [120] BOESCH, Gaudenz. What is Intersection over Union (IoU)? *Viso.ai* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://viso.ai/computer-vision/intersection-over-union-iou/>
- [121] *Lepové desky, pásy a lepidla proti škůdcům* [online]. [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: <https://www.element-shop.cz/lepove-desky--pasy-a-lepidla-proti-skudcum/>
- [122] *Selektivní past na sršeň asijskou* [online]. [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: <https://www.vcelarstvijindra.cz/past-na-srsen-asijskou/>
- [123] *Past na Asijského sršně* [online]. [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/past-na-asijskeho-srsene--ei2290/>
- [124] LAVIGNOTTE, André. Sršeň asijská (*Vespa velutina*), její biologie, monitoring, kontrola a prevence šíření. In: *PSNV* [online]. 2023 [cit. 2024-05-25]. Dostupné z: <https://www.psnv.cz/attachment/s-49-d469a72334c2/1024-srsen-asijska-pri-rucka.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Např.	Například.
Apod.	A podobně.
Aj.	A jiné.
Deep Learning	Hluboké učení
YOLO	Podíváš se pouze jednou
Tzv.	Takzvaný, takzvané
CNN	Konvoluční neuronová síť
SSD	Jednorázový detektor multiboxů
FCOS	Plně konvoluční jedноступňová detekce objektu
CPN	Síť návrhů obrysu
R-CNN	Regionální konvoluční neuronová síť
ROI	Oblast zájmu
AI	Artificial Intelligence
AP	Average Precision
mAP	Mean Average Precision
IDS	Industrial cameras
GSM	Group Special Mobile
SIM	Subscriber Identity Module
USB	Universal Serial Bus
PIN	Personal Identification Number
URL	Uniform Resource Locator
OS	Operační systém
LED	Light-Emitting Diode
CMD	Command Prompt

PC Personal Computer

Laser Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vývoj včely [21]	14
Obrázek 2: Popis dělnice [30].....	17
Obrázek 3: Výroba včelího mdu [38]	19
Obrázek 4: Důvody chovu včel v ČR (Zdroj vlastní).....	21
Obrázek 5: Opylovači [58]	22
Obrázek 6: Rozdíl mezi Sršní asijskou a sršní obecnou [73]	26
Obrázek 7: Klasická potrava sršní asijských (Zdroj vlastní)	27
Obrázek 8: Procentuální podíl včel medonosných v potravě sršně asijské v městských oblastech (Zdroj vlastní).....	28
Obrázek 9: Procentuální podíl včel medonosných v potravě sršně asijské v lesních oblastech (Zdroj vlastní).....	28
Obrázek 10: Maximální dolet sršně asijské od hnízda [76].....	29
Obrázek 11: Maximální dolet sršně asijské od hnízda o okruh vzdálenosti ohrožených včelích úlů [76].....	30
Obrázek 12: Biologický cyklus sršně asijské [76].....	31
Obrázek 13: Rozšíření Sršně Asijské [82].....	32
Obrázek 14: Rozdíl mezi hlubokým učením a strojním učením [109].....	39
Obrázek 15: Rozdíl mezi jednostupňovými a dvoustupňovými detektory objektu [109]	40
Obrázek 16: Zobrazení TP, FT, FN, TN v praxi [116].....	43
Obrázek 17: Výpočet Precision [117].....	44
Obrázek 18: Výpočet Recall [117]	44
Obrázek 19: Výpočet mAP [119]	45
Obrázek 20: Výpočet IoU [120]	45
Obrázek 21: Přehled komponent experimentální sestavy (Zdroj vlastní).....	47
Obrázek 22: Blokové schéma experimentální sestavy (Zdroj vlastní)	48
Obrázek 23: Vytvoření projektů na anotování fotek (Zdroj vlastní)	49
Obrázek 24: Anotace fotek pro cvičení umělé inteligence (Zdroj vlastní).....	50
Obrázek 25: Rozdělení do 3 skupin (zdroj vlastní)	50
Obrázek 26: Export anotovaných fotek ve formátu YOLOv8 (Zdroj vlastní)	51
Obrázek 27: Založení trénovaného modelu (Zdroj vlastní).....	52
Obrázek 28: Výběr verze YOLO (Zdroj vlastní).....	52

Obrázek 29: Trénování přes Google Colab (Zdroj vlastní)	53
Obrázek 30: Spuštění trénování (Zdroj vlastní).....	53
Obrázek 31: Nahrání první detekční datové sady (Zdroj vlastní).....	54
Obrázek 32: Vytrénovaný první model při detekci pouze sršně asijské (Zdroj vlastní)	54
Obrázek 33: Vytrénovaný první model při chybné detekci (Zdroj vlastní).....	55
Obrázek 34: Vložená druhá trénovací sada (Zdroj vlastní)	55
Obrázek 35: Detekce druhého vycvičeného modelu (Zdroj vlastní)	56
Obrázek 36: Detekce z kamery notebooku – nedokonalosti v detekci v detekci (Zdroj vlastní)	56
Obrázek 37: Detekce z kamery notebooku – přesná detekce (Zdroj vlastní)	57
Obrázek 38: Graf výsledků testování druhého modelu (Zdroj vlastní)	59
Obrázek 39: Ztrátové funkce modelu (Zdroj vlastní)	61
Obrázek 40: Nahoře výsledek prvního pokusu, dole výsledek druhého pokusu (Zdroj vlastní).....	62
Obrázek 41: Instalace jazyka Python (Zdroj vlastní).....	63
Obrázek 42: Vytvoření kopie (Zdroj vlastní)	63
Obrázek 43: Přihlášení se pomocí jména a hesla (Zdroj vlastní)	63
Obrázek 44: Stažení souboru z konkrétní URL (Zdroj vlastní).....	64
Obrázek 45: Aktualizace a upgrade uEye (Zdroj vlastní).....	64
Obrázek 46: Instalace break system packages (Zdroj vlastní).....	64
Obrázek 47: Kód pro kameru IDS (Zdroj vlastní)	65
Obrázek 48: Zbytek kódu ke kameře IDS (Zdroj vlastní)	65
Obrázek 49: Cesta k programu uEye Demo (Zdroj vlastní)	66
Obrázek 50: Nastavení kamery v uEye Demo (Zdroj vlastní).....	66
Obrázek 51: Instalování Arduina a vyhledání ttyACM0 (Zdroj vlastní).....	67
Obrázek 52: Kód Arduina Una (Zdroj vlastní).....	68
Obrázek 53: Instalace picocom pro GSM (Zdroj vlastní).....	68
Obrázek 54: Příkaz lsusb (Zdroj vlastní)	69
Obrázek 55: Příkaz dmesg (Zdroj vlastní)	69
Obrázek 56: Nastavení GSM komunikátoru k odesílání zpráv (Zdroj vlastní)	70
Obrázek 57: Vývojový diagram vyhlášení poplachu (Zdroj vlastní)	71
Obrázek 58: Blokové schéma zapojení experimentální sestavy (Zdroj vlastní).....	72

Obrázek 59: Programování komunikace s GSM (Zdroj vlastní)	73
Obrázek 60: Hlášení o detekci vespy velutiny (Zdroj vlastní)	74
Obrázek 61: Nalevo vyhlášení poplachu, napravo klidový stav (Zdroj vlastní)	74
Obrázek 62: Detekování sršně asijské pomocí kamery vypsání v CMD (Zdroj vlastní)	75
Obrázek 63: Odeslaná SMS zpráva (Zdroj vlastní)	75
Obrázek 64: Model úlu s experimentální sestavou (Zdroj vlastní).....	76
Obrázek 65: Lepivá past [121].....	77
Obrázek 66: Selektivní past na sršně asijskou [122]	78
Obrázek 67: Past na sršně asijskou [123]	78
Obrázek 68: Nástavec na ochranu včelstva [124].....	79
Obrázek 69: Blokové schéma zařízení pro eliminaci sršně asijské (Zdroj vlastní)	80

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Životní cyklus matky, dělnice a trubce (zdroj vlastní)	14
Tabulka 2: Vývojová stádia dělnice po vylíhnutí (zdroj vlastní).....	17
Tabulka 3: Legenda k Obrázku 13 (Zdroj vlastní)	32
Tabulka 4: Prvky confusion matrix (Zdroj vlastní)	43
Tabulka 5: Hodnoty natrénovaného modelu (Zdroj vlastní)	58

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: OBSAH NA CD

PŘÍLOHA P I: OBSAH NA CD

test_cam.py

Zdrojový kód celé experimentální sestavy

arduino.ino

Zdrojový kód ovládání LED

modely_apis_vespa

Datová sada k umělé inteligenci