

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD

Detekcia potenciálne nebezpečnej zelene pozdĺž líniovej
infraštruktúry pozemnej dopravy pomocou údajov
z bezpilotných lietadiel

BAKALÁRSKA PRÁCA

Vedúci práce: Ing. Jan Komárek, Ph.D.

Bakalarant: Michal Barta

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Barta

Geografické informační systémy a dálkový průzkum Země v životním prostředí

Název práce

Detekcia potenciálne nebezpečnej zelene pozdĺž líniovej infraštruktúry pozemnej dopravy pomocou údajov z bezpilotných lietadiel

Název anglicky

Detection of potentially dangerous greenery along the transport infrastructure using data from unmanned aerial vehicles

Cíle práce

Cieľom práce je analýza zelene pozdĺž pozemnej dopravnej infraštruktúry na území Českej republiky, ktorá by svojim potenciálnym pádom mohla ohroziť bezpečnosť a plynulosť premávky na daných úsekoch. Cieľom je tiež vytvorenie a vizualizácia priestorovej databázy potenciálne nebezpečných stromov na vybraných úsekoch.

Metodika

Študent vypracuje rešerš odbornej literatúry a nastolí súčasnú problematiku vegetácie v ochrannom pásme pozemných líniových komunikácií vrátane legislatívy. Z modelov vzniknutých na základe vyhotovenia bezpilotným prostriedkom stanoví výšku a vzdialenosť vegetácie od dopravnej infraštruktúry prípadne aj ich zdravotný stav a porovná tieto hodnoty s hodnotami nazbieranými počas pozemného výskumu na vybraných lokalitách. Tieto lokality boli zvolené potrebami zadávateľa ŘSD ako rizikové z pohľadu suchých, blízko nachádzajúcich sa drevín pozdĺž líniovej pozemnej dopravnej infraštruktúry. Študent navrhne a vizualizuje databázu obsahujúcu informácie o porastoch a vyhodnotenie, či by prípadným pádom mohli ohroziť dopravu, resp. dopravnú infraštruktúru. Študent zodpovedajúcim spôsobom prezentuje výsledky a stanoví závery práce.

Doporučený rozsah práce

30-50 stran

Klíčová slova

bezpilotný prostředek, pozemná infrastruktúra, cesta, diaľnica, zeleň, detekcia stromov, výpočet výšky stromov, DSM, DTM, CHM, Orthophoto, Point Cloud, Structure from Motion

Doporučené zdroje informací

- Bertacchi, A., Giannini, V., Di Franco, C., & Silvestri, N. (2019). Using unmanned aerial vehicles for vegetation mapping and identification of botanical species in wetlands. *Landscape and Ecological Engineering*, 15(2), 231-240.
- Carbonneau, P.E.; Dietrich, J.T. Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms* 2017, 42, 473-486.
- Hugenholtz, C.; Brown, O.; Walker, J.; Barchyn, T.; Nesbit, P.; Kucharczyk, M.; Myshak, S. Spatial accuracy of UAV-derived orthoimagery and topography: Comparing photogrammetric models processed with direct geo-referencing and ground control points. *Geomatica* 2016, 70, 21-30
- Iglesias, L., Santos-Berbel, D., Pascual, V., & Castro, M. (2019). Using small unmanned aerial vehicle in 3D modeling of highways with tree-covered roadsides to estimate sight distance. *Remote Sensing*, 11(22), 2625.
- James, M.R.; Robson, S.; d'Oleire-Oltmanns, S.; Niethammer, U. Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality, quantity and bundle adjustment. *Geomorphology* 2017, 280, 51-66.
- Kaneko, K., & Nohara, S. (2014). Review of effective vegetation mapping using the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) method. *Journal of Geographic Information System*, 6(06), 733.
- Kučera, M., & Dobesova, Z. (2021). Analysis of the Degree of Threat to Railway Infrastructure by Falling Tree Vegetation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), 292.
- Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of unmanned aerial vehicle (UAV) in road safety, traffic and highway infrastructure management: Recent advances and challenges. *Transportation research part A: policy and practice*, 141, 116-129.
- Tonkin, T.; Midgley, N. Ground-Control Networks for Image Based Surface Reconstruction: An Investigation of Optimum Survey Designs Using UAV Derived Imagery and Structure-from-Motion Photogrammetry. *Remote Sensing* 2016, 8, doi:10.3390/rs8090786
- Verykokou, S.; Ioannidis, C. Oblique aerial images: a review focusing on georeferencing procedures. *International Journal of Remote Sensing* 2018, 39, 3452-3496, doi:10.1080/01431161.2018.1444294.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Jan Komárek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2022

doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 3. 2022

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2022

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému: Detekcia potenciálne nebezpečnej zelene pozdĺž líniovej infraštruktúry pozemnej dopravy pomocou údajov z bezpilotných lietadiel vypracoval samostatne a citoval som všetky informačné zdroje, ktoré som v práci použil a ktoré som rovnako uviedol na konci práce v zozname použitých informačných zdrojov.

Som si vedomý, že na moju bakalársku prácu sa plne vzťahuje zákon č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov, v znení neskorších predpisov, predovšetkým ustanovenie § 35 odst. 3 tohto zákona, t.j. o užití tohto diela.

Som si vedomý, že odovzdaním bakalárskej práce súhlasím s jej zverejnením podľa zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o zmene a doplnení ďalších zákonov, v znení neskorších predpisov, a to aj bez ohľadu na výsledok jej obhajoby.

Svojim podpisom taktiež prehlasujem, že elektronická verzia práce je totožná s verziou tlačенou a že s údajmi uvedenými v práci bolo nakladané v súvislosti s GDPR.

V Prahe dňa 30.03.2022

Pod'akovanie

Rád by som touto cestou pod'akoval vedúcemu práce Ing. Jánovi Komárkovi, Ph.D., za jeho čas, vecné rady, odborné pripomienky, motivujúci prístup a celkovo za vedenie práce. Ďalej patrí moje pod'akovanie rodine, ktorá ma počas celého štúdia podporovala. Táto práca vznikla v rámci projektu Bezpečnostního mapování porostu podél dopravní infrastruktury.

Abstrakt

Dopravná infraštruktúra, predovšetkým pozemné líniové komunikácie patria k neoddeliteľnej zložke krajiny odjakživa. Pozdĺž pozemnej líniovej komunikácie sa nachádza sprievodná zeleň, ktorá plní množstvo funkcií a tvorí aj charakter každej krajiny. V súčasnosti prevažuje monitoring a detekcia tohto porastu pomocou pozemného merania. Je avšak dôležité si uvedomiť, že táto metóda môže byť náročná z hľadiska časového, personálneho vyťaženia a ekonomických aspektov. V posledných rokoch nastal veľký rozmach v bezpilotných prostriedkoch, ktoré sú využívané v rôznych odvetviach. Cieľom práce je vytvorenie a aplikácia algoritmu na detekciu potencionálne nebezpečnej zelene, validácia dát z bezpilotného prostriedku oproti dátam z pozemného merania a substitúcia pozemných dát s dátami z bezpilotných prostriedkov a tvorba výslednej databázy potencionálne nebezpečnej zelene obsahujúcej informácie o polohe, výške a vzdialenosti od dopravnej infraštruktúry. Na identifikáciu tejto zelene boli využité snímky získané náletmi bezpilotného prostriedku a následným použitím fotogrametrickej metódy Structure from Motion boli vytvorené modely povrchu, terénu a ortofotomozaika. Normalizáciou týchto modelov bola ďalej získaná výška porastu a jeho vzdialenosť od dopravnej infraštruktúry. Stromy, ktorých výška presahovala vzdialenosť, boli následne vyhodnotené ako potencionálne nebezpečné. Výsledný algoritmus bol aplikovaný na štyri rôzne lokality. Prvou lokalitou bol úsek diaľnice D1 a ostatné lokality boli úseky ciest prvých tried v okolí obcí Višňová (I18), Neratovice (I9) a Loučeň (I38). Z informácií získaných pomocou aplikácie metodického postupu bola následne vytvorená databáza, ktorá obsahuje potencionálne nebezpečné stromy. Substitúcii predchádzala validácia dát výšok z vytvoreného modelu pomocou dát z bezpilotných prostriedkov náhodne vybraných stromov pri pozemnom meraní. Tieto výsledky potvrdili vhodnosť využitia bezpilotných prostriedkov a následné spracovanie dát pre tieto účely. Tento algoritmus by bolo možné využívať užívateľmi ako sú Ředitelství silnic a dálnic České republiky, Správa železnic a ďalší správcovia komunikácií.

Kľúčové slová: bezpilotný prostriedok, pozemná infraštruktúra, cesta, diaľnica, zeleň, detekcia stromov, výpočet výšky stromov, DSM, DTM, CHM, Orthophoto, Point Cloud, Structure from Motion

Abstract

Transport infrastructure, especially land line roads, has always been an integral part of the landscape. Along the surface line roads there is accompanying greenery, which fulfils several functions and forms the character of any landscape. Currently, the predominant monitoring and detection of this vegetation is by ground measurement. However, it is important to note that this method can be challenging in terms of time, staffing and economic aspects. In recent years, there has been a great boom in unmanned aerial vehicles that are being used in various industries. The aim of this work is to develop and apply an algorithm to detect potentially hazardous greenspace, validate the unmanned vehicle data against ground measurement data, and substitute ground data with unmanned vehicle data to produce a resulting database of potentially hazardous greenspace containing information on location, height, and distance from transport infrastructure. The imagery acquired by the UAV sorties was used to identify this greenspace and subsequent surface, terrain and orthophoto mosaics were created using the Structure from Motion photogrammetric method. By normalizing these models, the height of the vegetation and its distance from the transport infrastructure were further obtained. Trees whose height exceeded the distance were subsequently evaluated as potentially hazardous. The resulting algorithm was applied to four different sites. The first site was a section of the D1 motorway, and the other sites were sections of first-class roads in the vicinity of the villages of Višňová (I18), Neratovice (I9) and Loučeň (I38). From the information obtained by the application of the methodological procedure, a database was subsequently created containing potentially dangerous trees. Substitution was preceded by validation of the height data from the created model using data from unmanned aerial vehicles of randomly selected trees during ground measurement. These results confirmed the suitability of using unmanned aerial vehicles and subsequent data processing for these purposes. This algorithm could be used by users such as Road and Motorway Directorate of the Czech Republic, Railway Administration, and other road administrators.

Keywords: unmanned vehicle, ground infrastructure, road, highway, greenery, tree detection, tree height calculation, DSM, DTM, CHM, Orthophoto, Point Cloud, Structure from Motion

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Ciele práce.....	2
3. Literárna rešerš.....	3
3.1 Základná charakteristika pozemných komunikácií	3
3.1.1 Charakteristika pozemných komunikácií.....	3
3.1.2 Charakteristika cestnej dopravy	3
3.2 História vývoja cestnej dopravy	6
3.3 Vegetácia pozdĺž líniových komunikácií	7
3.3.1 Historický vývoj sprievodnej vegetácie komunikácií.....	7
3.3.2 Charakteristika vegetácie pozdĺž komunikácií	8
3.3.3 Funkcie vegetácie pozdĺž komunikácií.....	9
3.3.4 Legislatíva.....	10
3.3.5 Nehodovosť	11
3.3.6 Význam sprievodnej zelene vo vzťahu k životnému prostrediu.....	13
3.4 Fotogrametria a diaľkový prieskum Zeme	14
3.4.1 Bezpilotné letecké prostriedky.....	15
3.4.2 Pozitíva a negatíva dronov a bezpilotných systémov	16
3.4.3 Structure from Motion	17
3.5 Prehľad domácich a zahraničných odborných štúdií.....	18
4. Charakteristika výskumného územia	20
4.1 Lokalita D1	20
4.2 Lokalita I18	21
4.3 Lokalita I9 - Neratovice	21
4.4 Lokalita I38 - Loučeň.....	21
5. Metodika	22
5.1 Použité prístroje a software	23
5.2 Získanie a spracovanie dát	25
5.3 Detekcia stromov.....	27
5.4 Výška zelene.....	29
5.5 Vzďialenosť porastu od komunikácie.....	29
5.6 Identifikácia výšok stromov z pozemného merania a vypočítané výšky stromov z leteckého výskumu	29

5.7	Tvorba databázy	30
5.8	Štatistické spracovanie výsledkov	30
6.	Výsledky	32
6.1	Ukážka použitia algoritmu na jednotlivých lokalitách.....	32
6.1.1	Lokalita D1	32
6.1.2	Lokalita I18.....	34
6.1.3	Lokalita I9 - Neratovice.....	36
6.1.4	Lokalita I38 – Loučeň.....	37
6.2	Výsledky pozemného merania	39
7.	Diskusia.....	42
8.	Záver a prínos práce	45
9.	Prehľad literatúry a použitých zdrojov.....	46
10.	Zoznam obrázkov a tabuliek	51

Zoznam použitých skratiek

CSV	Comma separated values
CHM	Canopy Height Model
ČR	Česká republika
DPZ	Dial'kový prieskum Zeme
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
GCPs	Ground Control Points
GIS	Geographic Information System
CHM	Canopy Height Model
ID	Identification
nDSM	Normalized Digital Surface Model
ORP	Obec s rozšírenou pôsobnosťou
PČR	Polícia Českej republiky
RMSE	Root Mean Square Error
ŘSD ČR	Ředitelství silnic a dálnic ČR
SfM	Structure for Motion
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

1. Úvod

Ľudstvo už od dávnych čias sprevádza dopravná infraštruktúra, ktorá v sebe zahŕňa pozemné komunikácie, medzi ktoré patria cesty a diaľnice a železnice. Samotná cestná doprava prešla historickým vývojom a vďaka novým vynálezom a technológiám sa značne vyvíjala po celé storočia. Česká republika vďaka svojej polohe, v srdci Európy už od dávnych čias významne prosperovala z lokácie, čo jej pomohlo k napojeniu na tie najznámejšie európske prúdy.

Pozdĺž pozemných komunikácií sa nachádza sprievodná zeleň, známa aj ako vegetačný sprievod (vegetačný pás), ktorá plní mnoho funkcií a v neposlednom rade tvorí charakter krajiny. Naopak rozptýlená zeleň vzniká ako pozostatok pôvodných drevín, samovoľným šírením a výsadbou človeka. Už Karol IV. sa zapríčinil o vedomé vysádzanie ovocných stromov pozdĺž ciest, avšak najväčší rozmach nastal za čias Márie Terézie, ktorá v roku 1752 nariadila povinné vysádzanie stromov z rôznych dôvodov. Jednalo sa o výsadbu divokých ovocných stromov, líp, orechov, bukov a iných. 20. storočie patrilo intenzívnemu vysádzaniu zelene po jednej alebo oboch stranách komunikácií, avšak v tomto období premávka bola neporovnateľne nižšia ako je v 21. storočí, čo spôsobilo, že zeleň je umiestnená pomerne blízko od komunikácie. Samotná ochrana rozptýlenej zelene ale aj jej rúbanie je ukotvené v zákone č. 114/1993 Sb., o ochrane prírody a krajiny.

Sprievodná zeleň sa považuje za pevnú prekážku cestnej premávky, čo spôsobuje aj nehody na cestách, ktoré v roku 2021 dosiahli najvyššiu hodnotu, až 214 nehôd. Sprievodná zeleň avšak nesmie narušiť bezpečnosť premávky, preto je nutná jej pravidelná kontrola a údržba. Okrem iného všeobecne doprava prináša množstvo kladných ale aj záporných stránok. Cestná doprava vo vzťahu k životnému prostrediu prináša významné zdroje znečisťujúcich látok do ovzdušia. Naopak, sprievodná zeleň produkuje kyslík, zachytáva rôzne škodlivé látky a poskytuje domov hmyzu a iným živočíchom.

Monitoring stromov je časovo aj finančne náročný, preto novou možnosťou je získavanie a spracovanie informácií s použitím bezpilotných leteckých prostriedkov, ktoré sú v súčasnosti vo veľkej obľube, najmä pre ich jednoduchosť a cenovú dostupnosť. Ich uplatnenie je možné v rôznych odvetviach a vďaka vhodnému spracovaniu dát je možné fotogrametrickou metódou vytvárať digitálne modely terénu, kde je možné jednotlivé stromy detegovať a hodnotiť.

2. Ciele práce

Cieľom práce je detekcia a monitoring zelene pozdĺž líniovej infraštruktúry pozemnej dopravy vo vybraných lokalitách na území Českej republiky. Cieľom je vytvorenie a aplikácia algoritmu na detekciu potenciálne nebezpečnej zelene, validácia dát z bezpilotného prostriedku oproti dátam získaným z pozemného merania a zistenie možnosti substitúcie pozemných dát dátami z UAV a následná tvorba výslednej databázy potenciálne nebezpečnej zelene v zadávateľom zvolených lokalitách.

3. Literárna rešerš

3.1 Základná charakteristika pozemných komunikácií

3.1.1 Charakteristika pozemných komunikácií

Podľa § 2 zákona č. 13/1997 Sb. o pozemných komunikáciách sa za pozemné komunikácie považuje dopravná cesta určená k užívaniu cestnými a inými vozidlami a chodcami, vrátane pevných zariadení nutných pre zaistenie tohto užívania a jeho bezpečnosti. Spomínané komunikácie sa delia do štyroch kategórií:

- **diaľnice** – sa rozdeľujú podľa svojho určenia a dopravného významu na diaľnice I. a II. triedy a sú sprístupnené iba cestným motorovým vozidlám,
- **cesty** – sa rozdeľujú podľa svojho určenia a dopravného významu do troch tried, pričom I. trieda je určená najmä pre diaľkovú a medzištátnu dopravu, II. trieda je určená pre dopravu medzi okresmi a III. trieda je určená k vzájomnému spojeniu obcí alebo ich napojeniu na ostatné pozemné komunikácie,
- **miestne komunikácie** – sa rozdeľuje podľa dopravného významu, určenia stavebno-technického vybavenia do štyroch tried, pričom slúžia prevažne miestnej doprave na území obce,
- **účelová komunikácia** – slúži k spojeniu jednotlivých nehnuteľností pre potreby vlastníkov týchto nehnuteľností alebo k spojeniu týchto nehnuteľností k ostatným pozemným komunikáciám alebo k obhospodarovaniu poľnohospodárskych a lesných pozemkov.

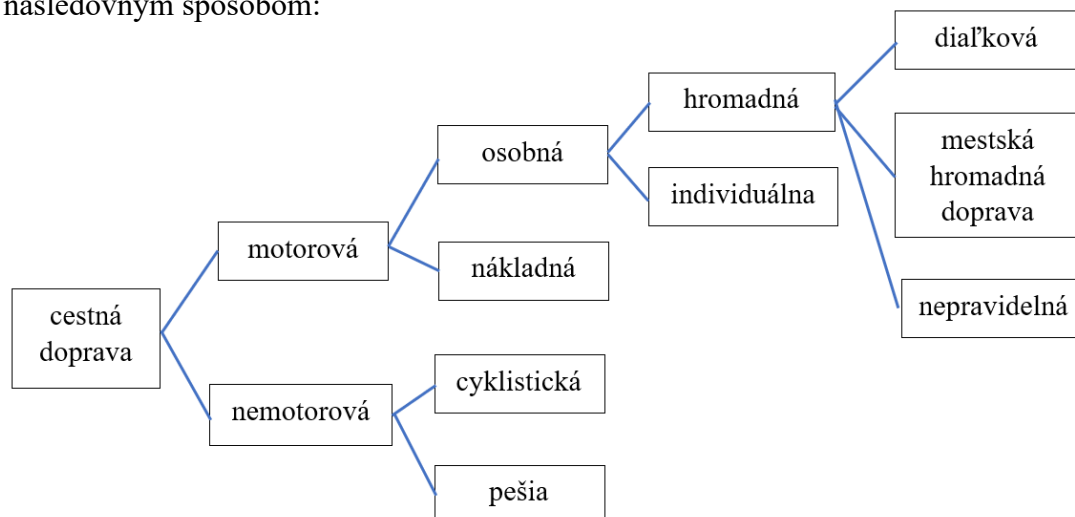
Pozemná komunikácia podľa zákona č. 361/2000 Sb. o prevádzke na pozemných komunikáciách neslúži pre užívanie iba cestných a iných vozidiel a chodcov, ale je určená aj pre okruh ďalších užívateľov, napríklad pre vozíky poťahovaných vozidiel, vodičov trolejbusov, jazdcov na zvieratách a podobne. V neposlednom rade pozemnú komunikáciu nemožno chápať len ako samotnú vozovku, pretože ju tvoria aj ďalšie súčasti a príslušenstvá.

3.1.2 Charakteristika cestnej dopravy

Cestná doprava predstavuje podľa § 2 zákona č. 111/1994 Sb. druh dopravy, ktorá zaisťuje nielen prepravu osôb (osobná, diaľková, kyvadlová, príležitostná

doprava, taxislužba) ale aj doprava zvierat a vecí, tzv. nákladná doprava, resp. dopravnými prostriedkami pohybujúcimi sa po diaľničných, cestných, miestnych komunikáciách a verejne prístupných účelových komunikáciách a voľnom teréne.

Cestnú dopravu klasifikoval vo svojej publikácii aj Adamec (2008) nasledovným spôsobom:



Obrázok 1 Klasifikácia cestnej dopravy, zdroj: vlastné spracovanie, Adamec (2008)

Cestná doprava sa podľa Adamca (2008) používa na prepravu osôb a nákladov. Autor vidí určitú nevýhodu cestnej dopravy v porovnaní s inými druhmi vo finančnej a energetickej náročnosti, vrátane záťaže životného prostredia vzhľadom k produkcii emisií. Šucha a kol. (2016) uviedli, že spomínaná doprava sa najviac využíva pri krátkych a stredných vzdialenostiach pre svoju pomernú rýchlosť a flexibilitu.

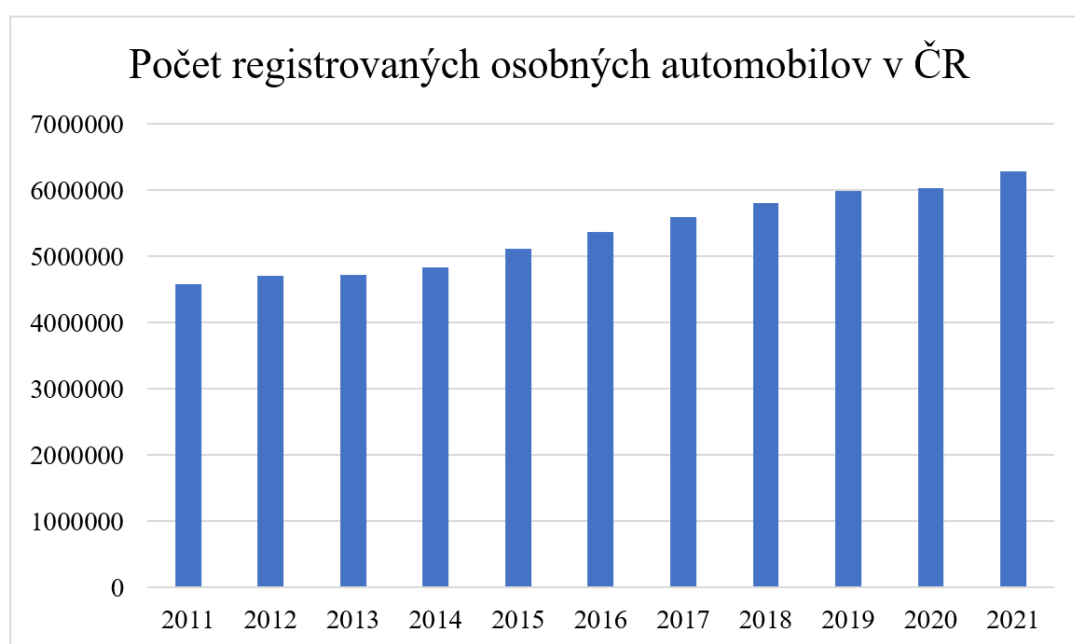
Keďže práve osobné automobily predstavujú podľa rôznych autorov najvyšší podiel v rámci cestnej dopravy, Štatistická ročenka Českej republiky (ďalej len ČR) za rok 2021 poskytuje bližšie informácie o výkonoch cestnej dopravy. Tabuľka 1 zobrazuje informácie o počte prepravených osôb ale aj priemernej vzdialenosti v rámci cestnej dopravy ČR za obdobie rokov 2015–2020.

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
	<i>Osobná doprava</i>					
Prepravené osoby (tis.)	350 920	332 763	329 733	340 179	355 564	232 990
Prepravné výkony (mil. oskm)	9 996	10 257	11 178	10 950	10 345	5 385
Priemerná prepravná vzdialenosť (km)	28	31	34	32	29	23

Tabuľka 1 Výkon cestnej dopravy ČR, zdroj: vlastné spracovanie podľa Štatistickej ročenky ČR za rok 2021

Podľa tabuľky 1 je zrejmé, že počet prepravených osôb do roku 2019 presiahol hodnotu 300 000. Najvyšší počet bol zaznamenaný v roku 2019, až 355 564 prepravených osôb. Čo sa týka priemernej vzdialenosti za sledované obdobia, dosiahla výšku 29,5 km. V roku 2020 sa počet prepravených osôb rapídne znížil, čo bolo spôsobené pandemiou COVID-19, ktorá zasiahla všetky sektory, ako aj výkon cestnej dopravy.

Zaujímavým ukazovateľom je aj počet registrovaných automobilov v ČR za obdobie rokov 2011–2021. Ministerstvo dopravy ČR uvádza štatistiku centrálného registra vozidiel, pričom priemerný vek automobilov stúpa s rastúcim počtom registrovaných vozidiel. Obrázok 2 zobrazuje nasledovné skutočnosti:



Obrázok 2 Počet registrovaných vozidiel v ČR, zdroj: vlastné spracovanie podľa Ministerstva dopravy ČR

V roku 2021 počet osobných automobilov stúpol na 6 293 125, čo je o 263 360 osobných automobilov viac, než bolo v registri v roku 2020. Z obrázku 2 je zrejmé, že počet registrovaných vozidiel za sledované obdobie mal rastúci charakter. Kým v roku 2011 sa v registri ČR nachádzalo 4 581 642 osobných vozidiel, o 10 rokov neskôr, v poslednom skúmanom roku sa počet registrovaných osobných automobilov zvýšil až o 1 711 483 vozidiel.

3.2 História vývoja cestnej dopravy

Vývoj cestných dopravných prostriedkov v rámci svetového kontextu

Medzi prvé dopravné prostriedky, ktoré sa používali v preprave nákladov na dlhšie vzdialenosti patria podľa autora Ryba (2004) smyky, tzv. predchodcovia saní. S rozmachom ciest dochádzalo k profilovaniu vozidiel. Príkladom sú luxusné vozidlá nazývané pilentum, vozidlá pre kuriérske účely nazývané cisium či eesedum. Taktiež sa používali aj ťažké nákladné vozidlá ťahané hovädzím dobytkom označované aj ako plaustrum.

Autor vo svojej publikácii ďalej píše, že v roku 1769 N. Cugnot, pochádzajúci z Francúzska, skonštruoval prvé parné cestné vozidlo s rýchlosťou 7,5 km/h. V roku 1801 R. Trevithick, pochádzajúci z Anglicka, vytvoril vozidlo s rýchlostnou skriňou, vďaka ktorej dosahovalo rýchlosť 14 km/h. Vývinom doby prišlo k postupnému zlepšovaniu parných vozidiel, pomocou vynálezov ako diferenciál, prevodové zariadenia, kúrenie pomocou tekutých palív a podobne. Práve vďaka tomu vznikla aj konkurencia železničným spoločnostiam, ktoré si v Anglicku vymáhali obmedzovanie prevádzky cestnej dopravy určením maximálnej rýchlosti. Rok 1874 bol rok, v ktorom A. Mollé zostrojil prvý parný automobil, ktorý disponoval rýchlosťou 35 km/h.

Stredobodom pozornosti medzi vozidlami poháňanými parou a vozidlami so spaľovacím motorom sa stal podľa autora Ryba (2008) elektromobil, ktorý ako prvý skonštruoval N. J. Raffard. Postupne vznikali vozidlá s benzínovým pohonom, napríklad C. Benz vytvoril takéto vozidlo v roku 1886 so štvorbodovým piestovým spaľovacím motorom. R. Diesel v roku 1893 naopak zostavil motor s naftovým pohonom.

Vývoj cestnej dopravy na území ČR

Česká republika leží v samotnom srdci Európy, čo krajinu predurčuje k napojeniu na hlavné dopravné európske prúdy. Už približne z roku 805 pochádzajú podľa autora Ryba (2008) prvé správy o dopravných cestách na území ČR. Medzi tie najvýznamnejšie cesty tohto obdobia patria Zlatý, Trtenický, Jantárový a Podyjský chodník. V 15. storočí sa objavili prví podnikatelia zaoberajúci sa furmanskou a poštovou dopravou, pričom prvé poštovné spojenie medzi Viedňou a Prahou vzniklo v roku 1527.

Žemlička, Mynářík (2008) uvádzajú, že v 17. storočí sa na stave ciest podpísala negatívnym spôsobom tridsaťročná vojna, preto mali richtári nariadené sa postarať o zlepšenie stavu ciest. J. Božek v roku 1815 vytvoril prvé parné vozidlo a o dva roky neskôr aj parník. Naopak v roku 1894 F. Křížík skonštruoval elektromobil. ČR sa v roku 1918 nachádzala na štvrtom mieste v hustote ciest v Európe, hneď za Anglickom, Francúzskom a Belgickom, čo dokumentovala aj medzivojnová vyspelosť Československa.

3.3 Vegetácia pozdĺž líniových komunikácií

3.3.1 Historický vývoj sprievodnej vegetácie komunikácií

Bulíř (1988) uvádza, že písomné zmienky pochádzajúce z vlády Karola IV. ukazujú na zmenu, pretože sa začalo vykonávať vedomé vysádzanie ovocných alejí pozdĺž ciest a súčasne sa jednalo o pomerne vzácny jav. V 16. a 17. storočí sa z dôvodu stále trvajúcich zlých bezpečnostných pomerov okolo ciest nariadilo odstrániť lesy po oboch stranách ciest a zároveň aj skvalitniť cestné povrchy.

Veličková, Velička (2013) uviedli, že panovanie cisára Karola VI. začalo s výstavbou štátnych, tzn. cisárskych ciest a zároveň došlo k cieľavedomej tvorbe zelene pozdĺž ciest.

K rozmachu budovania cestnej siete a rozkvetu cestnej zelene prišlo podľa Hruškovej, Vetvičkovej (2013) za vlády Márie Terézie a neskôr aj Jozefa II. Prípis z roku 1752 hovoril o tom, aby sa u nových ciest povinne vysádzali stromy z dôvodu hospodárskeho, estetického, orientačného a v neposlednom rade bezpečnostného. Okolo ciest sa odporúčalo vysádzať lipy, moruše, divoké ovocné stromy, jasany, orechy, buky a bresty.

Na začiatku 19. storočia prebehla podľa Bulířa (1988) výstavba ciest ako odozva na rozmach priemyslu, ktorá zároveň zaznamenala silný nárast výsadby, predovšetkým ovocných stromov, ktoré mali spevňovať základy, tvoriť tieň a v neposlednom rade byť hospodársky prospešné. História záznamov avšak uvádza nezaujím poddaných o tieto výsadby, ktoré sa vysádzali nedbalo a boli veľmi zlej kvality.

Autor ďalej píše, že v 20. storočí bol pomerne sľubný rozvoj cestného staviteľstva prerušený prvou svetovou vojnou, ktorá veľmi silne a negatívne

ovplyvnila stav ciest k horšiemu. Po skončení vojny sa venovala len nepatrná starostlivosť o existujúce aleje, avšak vďaka Štátnemu cestnému fondu boli poskytované prostriedky nielen na úpravu ciest, ale aj na dosádzanie a výsadbu ovocných stromov. V menšej mierke sa uplatňovali okrasné dreviny ako lipy, javory, jasany, jeřáby, bresty, topole, najviac však v podhorských a horských oblastiach. Výsadba bola v pravidelných alejách, buď po jednej alebo oboch stranách ciest.

Veličková, Velička (2013) uviedli, že v rámci nových budovaných komunikácií bola zeleň vždy súčasťou stavby. Uplatnenie ovocných stromov bolo možné vykonávať s ohľadom na vhodné pôdne a klimatické pomery, vplyv exhalácií a iných škodlivých vplyvov. Podľa novely zákona o pozemných komunikáciách z roku 1984 boli stromy vyrastajúce na krajnici prehlásené za pevnú prekážku cestnej premávky.

3.3.2 Charakteristika vegetácie pozdĺž komunikácií

Vegetácia pozdĺž pozemných komunikácií sa podľa Sklenička (2003) radí do skupiny líniovej rozptýlenej zelene, často označovanej aj ako vegetačný sprievod alebo cestná zeleň. Vzniká ako pozostatok pôvodných drevín, spontánnym šírením alebo výsadbou človekom. Jedná sa o drevinové a bylinné spoločenstvá, ktoré sú súčasťou trvalej krajinnej štruktúry. Spomínaná vegetácia je pomerne odolná voči disturbancii, t.j. vonkajším faktorom prostredia spôsobujúcim zničenie – poškodenie vetrom, mrazom, eróziou a ich ekologická stabilita zostáva nezmenená.

Veľmi významným spôsobom upravuje postavenie cestnej vegetácie aj zákon č. 13/1997 Sb. o pozemných komunikáciách, ktorý cestnú vegetáciu zaraduje k príslušenstvu pozemnej komunikácie ktorá zároveň nesmie ohrozovať bezpečnosť užívania pozemnej komunikácie.

K samotnému rozdeleniu vegetačného sprievodu pozdĺž komunikácií existuje niekoľko prístupov. Autori Bulíř, Škorpík (1987) vykonali rozdelenie podľa jednej či viacerých línií, ktoré možno ďalej rozdeliť do troch typov:

- stromoradie – stromy zasadené v jednej rade, v pravidelnej vzdialenosti od seba,
- pás – hustá výsadba a náhodný výber kríkov, stromov alebo iba stromov, ktorý dosahuje maximálnu šírku 5 m,
- pruh – viacradová výsadba alebo výskyt drevín v šírke 5 – 30 m.

Autori Bulíř, Škorpík (1987) rozdelili porast podľa umiestnenia v teréne nasledovne:

- sprievodné, tzn. vegetačné sprievody – doprevádzané technickými prvkami (cesty, kanál, nádrž rybník) alebo prírodné prvky (potom, rieka) v krajine,
- samostatné – vznikajú, poprípade sú tvorené na pôdnom fonde samostatne, bez toho že by tvorili časť nejakého potencionalneho alebo prírodného prvku (vetrolam, skupina, solitéra).

Pri novej výsadbe sa podľa Šerej (2005) komunikácia osadzuje obojstranne a je vhodné voliť dreviny podľa ich funkcií a prírodných podmienok na danej lokalite. Avšak je dôležité klásť dôraz na vhodnú a pravidelnú údržbu. Riziko predstavujú aj invázne druhy a rýchlo rastúce dreviny. Dôležitý je preto pravidelný monitoring zdravotného stavu, prípadná prerezávka.

3.3.3 Funkcie vegetácie pozdĺž komunikácií

Vegetácia vo všeobecnosti vytvára štruktúru a charakter krajiny. V súčasnosti sú porasty pozdĺž komunikácií z väčšiny tvorené rozptýlenou zeleňou. Jedná sa najmä o ovocné a okrasné dreviny či nálety. Preto samotné ich rozdelenie funkcií sa líši u rôznych autorov, avšak všetci sa zhodli v tom, že tieto funkcie sú dôležité, mnohostranné a ničím nezastupiteľné. Sklenička (2003) popisuje funkcie líniovej zelene v prírode nasledovne:

- ekologická – zeleň poskytuje útočisko veľkému počtu druhov rastlín a živočíchov. Zeleň zlepšuje a stabilizuje systémy pretvorené poľnohospodárskou činnosťou s narušenou samoregulačnou schopnosťou.
- estetická – stromy sú viditeľné zďaleka a tým určujú typický charakter krajiny, ktorý je výsledkom kultivácie krajiny človekom niekoľko storočí. Ďalšou funkciou stromov je ich schopnosť plniť funkciu krajinných dominant, preto pre svoje estetické pôsobenie sú jednotlivé stromy či aleje vyhlásené ako pamätne stromy.
- orientačná – pomáhajú väčšine živočíchov ale aj ľuďom orientovať sa v krajine.
- pôdo-ochranná – prvky líniovej zelene majú protieróznou funkciu. V ČR je veternou eróziou ohrozených 26 % celkovej výmery poľnohospodárskej

pôdy od Lovosic k Hradci Králové, preto je veľmi dôležité vytvárať veterné bariéry formou vetrolamov.

- organizačná – boli a aj stále sú využívané k vyznačovaniu, resp. zviditeľneniu významných majetkových či správnych hraníc v krajine.
- produkčná – priama funkcia spočíva v schopnosti poskytovať drevo a ovocie. Nepriama funkcia obsahuje vplyv líniovej zelene na výnosové parametre poľnohospodárskych plodín susedných pozemkov.
- rekreačná – poskytujú zdroj tieňa pre človeka a iné živočíchy.
- sakrálna a rituálna – stromy sprevádzajú sakrálné stavby, typické výsadby u Božích muk v najčastejšom počte 1–4 stromy.
- zdravotne hygienická – táto funkcia je výsledkom rady mnohých už uvedených priaznivých účinkov, napríklad obohatenie vzduchu kyslíkom, filtračná schopnosť, tlmenie zvuku a iné. Líniová zeleň vyprodukuje omnoho viac kyslíku než plošná jednotka poľnohospodárskych plodín. Zároveň zeleň zbavuje vzduch aj škodlivých plynov, akými sú kyslík siričitý, kyslík dusíku. Zeleň zachytáva aj veľké množstvo prachu a rôznych nečistôt. Účinnosť zelene na znižovaní prašnosti ovzdušia je mimoriadne dôležitá.

3.3.4 Legislatíva

Ochrana rozptýlenej zelene

Zákon č. 114/1992 Sb. o ochrane prírody a krajiny uvádza, že dreviny sú chránené podľa tohto ustanovenia pred poškodzovaním a ničením, pokiaľ sa naň nevzťahuje prísnejšia ochrana podľa zvláštnych predpisov. Tento zákon poukazuje na to, že starostlivosť o dreviny, najmä ich ošetrovanie a udržiavanie je povinnosťou vlastníkov. Pri výskyte nákazy drevín epidemiologickými alebo inými závažnými chorobami môže orgán ochrany prírody uložiť vlastníkom prevedenie neodkladných zásahov, vrátane rúbania drevín.

Rúbanie rozptýlenej zelene

Zákon č. 114/1992 Sb. o ochrane prírody a krajiny upravuje rúbanie drevín rastúcich mimo les. K vyrúbaniu drevín je nutné od orgánov ochrany prírody povolenie, ktoré sa vydáva zo závažných dôvodov po vyhodnotení estetického a funkčného významu drevín. Všetky dreviny sú týmto zákonom chránené pod

hrozbou pokút a o ich vyrúbaní sa väčšinou rozhoduje v správnom konaní. Vo výnimočných prípadoch je prípustný aj oznamovací režim. Stromy určitej veľkosti je možné rúbať aj bez oznámenia. Samotné rúbanie musí byť oznámené písomne, najmenej 15 dní dopredu orgánu ochrany prírody, ktorý môže výrub pozastaviť, obmedziť alebo zakázať, pokiaľ odporuje požiadavkám na ochranu prírody.

Rúbanie cestnej zelene

Podľa zákona č. 13/1997 Sb. o pozemných komunikáciách má oprávnenie k rúbaniu podľa zvláštnych predpisov vlastník diaľnice, cesty a miestnej komunikácie na návrh alebo po prejednaní s príslušným orgánom Polície ČR alebo na návrh po prejednaní s príslušným cestným správnym úradom. Posledné slovo o rúbaní, resp. o ponechaní vegetácie má vždy orgán ochrany prírody.

Ochranné pásma

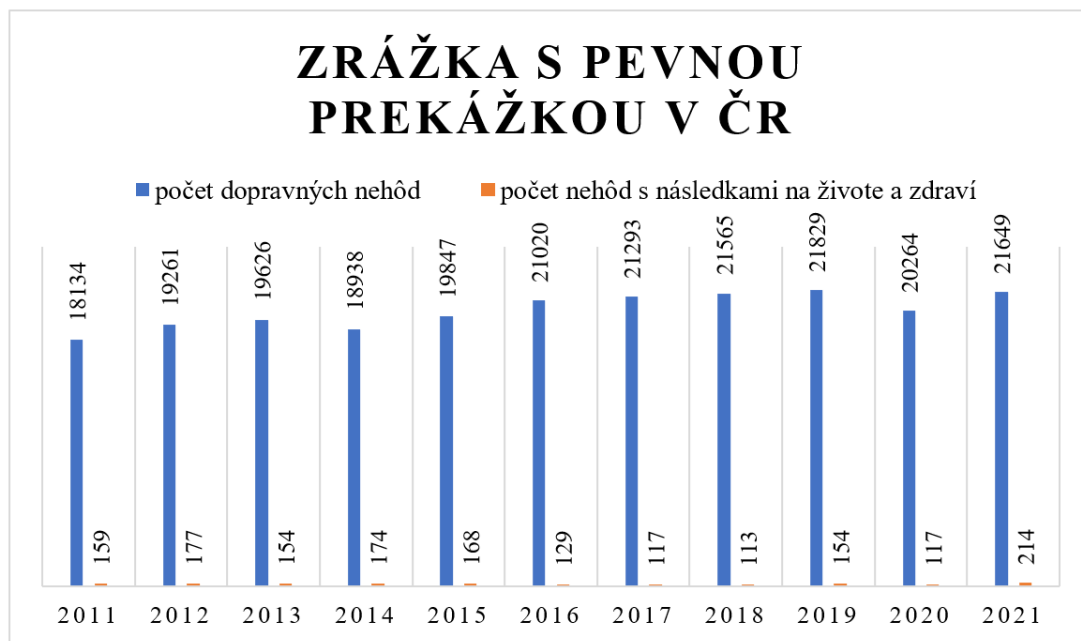
Podľa zákona č. 13/1997 Sb. o pozemných komunikáciách s aktuálnym znením od 1. februára 2022 vzniká cestné ochranné pásmo pre novo vybudovanú alebo rekonštruovanú diaľnicu, cestu a miestnu komunikáciu I. alebo II. triedy na základe rozhodnutia o umiestnení stavby alebo spoločnom povolaní, ktorým sa stavba umiestňuje a povoľuje. Cestné ochranné pásmo sa podľa § 30 odst. 2 príslušného zákona rozumie priestor ohraničený zvislými plochami vedenými do výšky 50 m a vo vzdialenosti 15–100 m od osi vozovky.

3.3.5 Nehodovosť

Na dopravné nehody má vplyv veľké množstvo faktorov, ktoré je možné podľa Striegler, Ambros a kol. (2014) rozdeliť do troch kategórií, a to účastníci premávky, dopravné prostriedky, dopravná infraštruktúra a okolie. Jedná sa tak o vodičov, vozidlo a prostredie. Dopravnú nehodovosť je možné označovať aj ako multifaktorový jav, pretože zohľadňuje pôsobenie viac než jedného vplyvu, resp. faktorov. Je možné skonštatovať, že dopravné nehody tak nevznikajú iba pochybením vodiča, ale jedná sa vždy o kombináciu niekoľkých faktorov.

Polícia Českej republiky (ďalej len PČR) vydáva každý rok informácie o nehodovosti v ČR. V tomto dokumente PČR (2021) je možné nájsť informácie o dopravných nehodách podľa zavinenia, podľa hlavných príčin nehôd, podľa miesta nehody a ich následkov. Sledovanie nehôd je nielen v krajoch ale aj okresoch ČR.

Obrázok 3 poukazuje na druh dopravnej nehody zrážka s pevnou prekážkou, udáva celkový počet dopravných nehôd ale aj počet usmrtení v rámci ČR, a to za obdobie rokov 2011–2021.

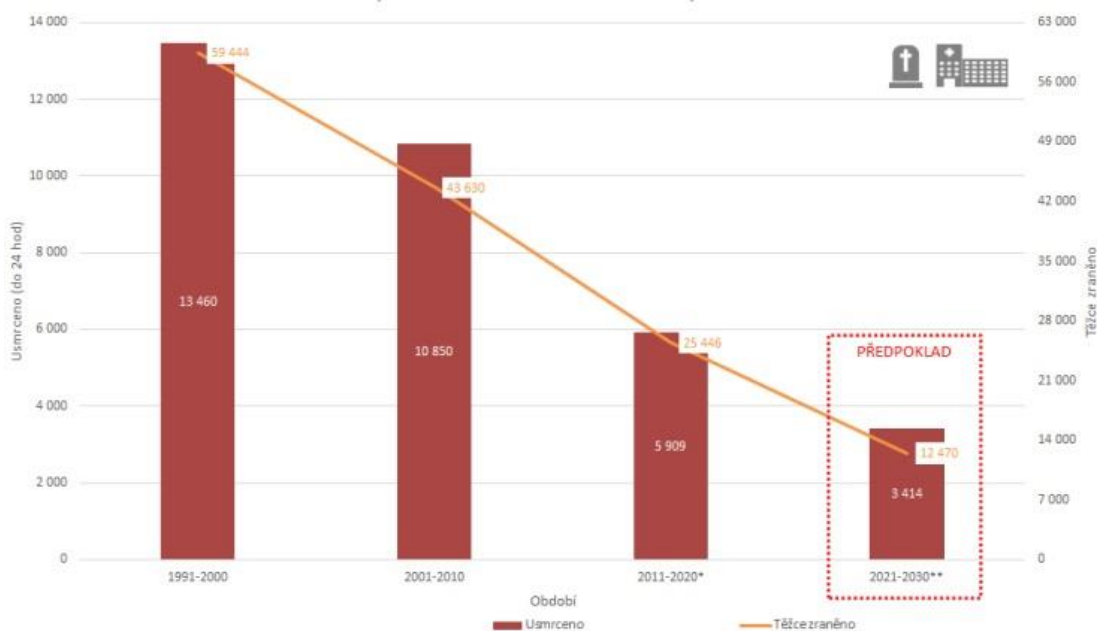


Obrázok 3 Zrážka s pevnou prekážkou v ČR, zdroj: vlastné spracovanie podľa Štatistických ročeniek PČR

V Českej republike sa za sledované obdobie stalo 223 426 dopravných nehôd spôsobených zrážkou s pevnou prekážkou. Kým v roku 2011 bolo v ČR evidovaných 18 134 dopravných nehôd tohto druhu, v poslednom roku 2021 sa počet dopravných nehôd zvýšil na 21 649, čo je o 3 515 dopravných nehôd viac ako v roku 2011. V Českej republike sa za sledované obdobie stalo 1 676 dopravných nehôd spôsobených zrážkou s pevnou prekážkou s následkami na živote a zdraví. Kým v roku 2011 bolo zaznamenaných 159 dopravných nehôd tohto typu, v roku 2021 sa ich počet zvýšil o 55, t.j. 214. Počet dopravných nehôd má veľmi úzku nadväznosť na intenzitu cestnej prevádzky a taktiež na rastúci trend počtu automobilov.

V rámci stratégie BESIP 2021–2030 vytvorenou Ministerstvom dopravy ČR mala ČR pre obdobie rokov 2011–2020 nastavené dva strategické ciele, a to znížiť počet usmrtených na 40 % a počet ťažko zranených na 60 % roku 2009. Z obrázku 4, ktorý porovnáva jednotlivé dekády je viditeľné postupné znižovanie ako smrteľných, tak aj závažných následkov v dôsledku dopravných nehôd. Na základe vytýčených strategických cieľov sa avšak predpokladá, že v dekáde 2021–2030 nebude v dôsledku

dopravných nehôd usmrtených viac než 3 500 a ťažko zranených viac než 12 500 osôb.



Obrázok 4 Reálny a predpokladaný vývoj usmrtených a zranených osôb, zdroj: Ministerstvo dopravy a BESIP

3.3.6 Význam sprievodnej zelene vo vzťahu k životnému prostrediu

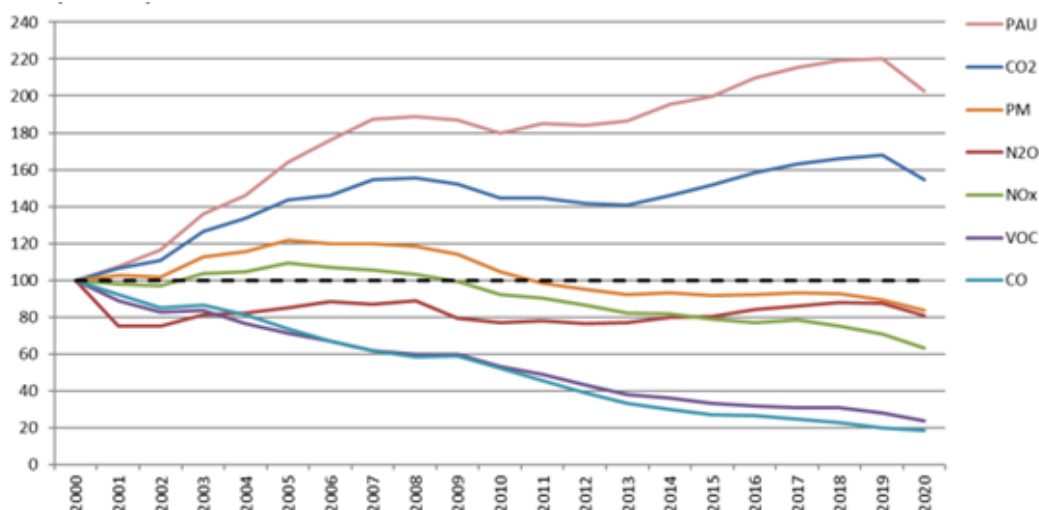
Doprava so sebou nesie podľa Cenia (2013) v mnohých pohľadoch veľké množstvo výhod, avšak nedá sa nespomenúť aj jej negatívnu stránku. Najmä cestná doprava je zdrojom emisií skleníkových plynov, produkuje škodliviny do ovzdušia, ktoré vyvolávajú zdravotné problémy.

Správa o životnom prostredí Českej republiky (2020) obsahuje aj kapitolu zaoberajúcu sa emisiami z dopravy. Uvedená správa uvádza, že doprava je významným zdrojom látok znečisťujúcich ovzdušie s dopadom na jeho kvalitu najmä v okolí hlavných cestných komunikácií s veľkou intenzitou prevádzky a vo veľkých mestách. Doprava je zároveň aj značným producentom emisií skleníkových plynov.

Ďalej sa v správe píše, že emisie oxidu dusíka (NO_x), tekutých organických látok (VOC), oxidu uhličitého (CO) a suspendované častice (PM) z dopravy v priebehu obdobia rokov 2000–2020 poklesli, čo je možné vidieť aj na obrázku 5. Počas týchto rokov sa znížili emisie NO_x o 36,9 %, emisie VOC o 76,4 %, CO o 81,7 % a PM o 16,5 %. Tento priaznivý vývoj emisií spomínaných látok ovplyvnila najmä

modernizácia vozového parku rast podielu emisne menej náročných vozidiel, ktoré spĺňajú aj vyššie EURO emisné normy.

Jeden z najväčších znečisťovateľov ovzdušia v doprave ale aj zdrojom emisií skleníkových plynov sa zaraďuje individuálna automobilová doprava, ktorej podiel na celkových emisiách z dopravy bol najväčší u emisií CO, až 83,1 % a VOC, až 81,5 %.



Obrázok 5 Emisie znečisťujúcich látok a plynov z dopravy, zdroj: správa o ŽPČR za rok 2020

Zeleň je podľa Trnku (2001) najvýznamnejším producentom kyslíku, je schopná zachytiť rôzne typy látok a filtrovať pachy. Samotné dreviny zachycujú prach. Zeleň poskytuje útočisko množstvu užitočnému hmyzu, vtákom a iným zvieratám, ktoré prispievajú v boji proti škodcom. Sprievodné zelene sú schopné znižovať hluk a vibrácie, preto ich výskyt v okolí pozemných komunikácií poukazuje na pozitívny vplyv na životné prostredie.

3.4 Fotogrametria a diaľkový prieskum Zeme

Pavelka (2009) uviedol, že fotogrametria je veda, spôsob a technológia, ktorá sa zaoberá získavaním ďalej využiteľných meraní, máp, digitálneho modelu terénu a ďalších produktov, ktoré možno získať z obrazového, najčastejšie fotografického záznamu.

Pojem fotogrametria vznikol podľa Scaioni a kol. (2014) spojením troch gréckych slov, *photos* čo znamená svetlo, *gramma* čo znamená záznam a *metron* čo znamená merať. Práve kombinácia týchto slov má vystihovať podstatu tejto metódy,

ktorou je získavanie využiteľných meraní, máp, digitálnych modelov ale aj ďalších informácií získaných z fotografických záznamov.

Šmidrkal (1985) uviedol, že priekopníkom fotogrametrie sa v ČR stal profesor pražskej techniky Dr. K. Kořistka, ktorý sa s touto metódou stretol na svojej študijnej ceste. Po jej návrate fotogrametrickú metódu po prvý krát použil v hlavnom meste Praha, kde autor určil dve stanovištia, na Hradčanoch a na Petříne, z ktorých vytvoril fotografické snímky a pomocou priesekovej fotogrametrii stanovil polohu veží a iných významných bodov.

S fotogrametriou je veľmi úzko spojená aj metóda diaľkového prieskumu Zeme (ďalej len DPZ). DPZ si za obdobie viac ako 60 rokov získal mnoho definícií. Autori Lillesand, Kiefer (2015) uviedli, že DPZ je veda, umenie, získavať užitočné informácie o objektoch, plochách či javoch prostredníctvom dát meraných na zariadeniach, ktoré so skúmanými objektmi, javmi či plochami nie sú v priamom kontakte.

Schejbal a kol. (2004) tvrdia, že diaľkový prieskum Zeme, známy pod pojmom *Remote sensing*, je vedná disciplína, ktorá sa zaoberá získavaním potrebných informácií o skúmanom objekte bez priameho fyzického kontaktu. Ide najmä o zber informácií z výšky a podľa autorov činnosti DPZ sa rozdeľujú na zber, predspracovanie, spracovanie a interpretáciu dát.

Kropáček a kol. (2020) uviedli, že český názov DPZ vznikol po dlhej debate preložením ruského označenia *Дистанционное зондирование Земли*. Tento názov je podľa autorov trochu nešikovný, pretože explicitne limituje objekt snímania na planétu Zem. Snímanie ostatných planét avšak funguje na rovnakých princípoch a používa prakticky rovnaké prístroje. Naopak, spomínané anglické označenie *Remote sensing* je dvojslovné a slovo Zem v názve ani neobsahuje.

3.4.1 Bezpilotné letecké prostriedky

Bezpilotné prostriedky majú predpoklad podľa autorov Horcher, Visser (2010) na časté využitie v budúcnosti. S rozmachom technológií a klesajúcimi nákladmi sa stávajú bezpilotné prostriedky čoraz častejšie využívanými vo vedeckých, vojenských ale aj v súkromných oblastiach. Pokrok bol zaznamenaný najmä v technológiách spojených s bezpilotnými lietadlami, ako sú digitálne fotografie, odolnosť, riadiace systémy a spoľahlivosť lietadiel.

Bezpilotné získavanie snímok je často označované anglickým pojmom Unmanned Aerial Vehicle (ďalej len UAV) a ako uvádza Baker (2019), je charakteristické získavanie snímok bez pilota na palube. Snímkujúce lietadlo môže byť naprogramované a vykonávať úlohu bez ovládania ďalšej osoby. Omnoho častejšie sa využíva možnosť manuálneho ovládania lietadiel zo vzdialeného stanovišťa na zemi.

UAV fotogrametria je typ tzv. bezpilotného snímkovania. V súčasnej dobe je tento typ využívaný veľmi často. UAV je bezpilotné lietadlo, ktoré môže byť riadené na diaľku alebo môže lietať samostatne pomocou dopredu určených letových plánov. Táto metóda kombinuje výhody fotogrametrie leteckej aj pozemnej, píše Žižala, Krása (2016).

UAS je bezpilotný systém, ktorý sa skladá z bezpilotného lietadla, riadiacej stanice a akéhokoľvek ďalšieho prvku nevyhnutného k umožneniu letu, ako napr. komunikačného spojenia a zariadenia pre vypustenie a návrat, uvádza doplnok X, ktorý je súčasťou predpisu L2.

Ako píše Miřijovský (2013), oblasť UAV platforiem a snímkovania je vo svete ale aj v Českej republike často diskutovaná. V drvinej väčšine sa až do súčasnosti jednalo najmä o amatérske lietania a snímkovania. Na začiatku 20. storočia sa uskutočnili už prvé pokusy s UAV. V roku 1858 bola prvá fotografia urobená z riadiaceho balónu nad Parížom. Najstarší pokus s motorovým UAV modelom ktorý mal pevné krídlo, sa uskutočnil v roku 1979, avšak jeho výsledky boli značne obmedzené z dôvodu rýchlosti a vibrácie modelu. Začiatok 90. rokov 20. storočia bol poznačený útlmom a až v dnešnej dobe, vďaka rozvoju GPS systémov sa používajú UAV modely už s väčším úspechom.

3.4.2 Pozitíva a negatíva dronov a bezpilotných systémov

Drony sa podľa Karasa a kol. (2017) neustále vyvíjajú a nemajú zatiaľ dlhú históriu. Postupom času sa zdokonaľujú a dbá sa najmä nato, aby ich prevádzka bola bezpečná pre zúčastnené osoby, ale hlavne aj pre osoby nezúčastnených pri ich prevádzke.

Aby bolo možné výhody a nevýhody objektívne posúdiť, autori uviedli porovnanie napríklad s pilotovanými prostriedkami, alebo porovnanie rôznych možností využitia dronov s určitými činnosťami.

Medzi hlavné pozitíva autori zaradili:

- výrazne lacnejšia prevádzka oproti využitiu pilotovaných strojov,
- jednoduchá manipulácia,
- vysoká flexibilita nasadenia dronov do akcie,
- použitie (štart a pristátie) na ťažko prístupných miestach,
- online prenos obrazu z dronu na veľkú vzdialenosť,
- vysoké rozlíšenie fotiek a videí,
- nízka hlučnosť prevádzky,
- využitie za nízkej oblačnosti.

Medzi hlavné negatíva autori zaradili:

- dolet iba niekoľko metrov až kilometrov,
- letový čas iba niekoľko desiatok minút,
- nízka hmotnosť v kilogramoch,
- nejednotná medzinárodná legislatíva pre drony a bezpilotné zariadenia, nakoľko pravidlá v každej krajine sú v rámci EÚ iné.

3.4.3 Structure from Motion

Lisein a kol. (2013) vo svojej publikácii uviedli, že spolu s rastúcim využívaním UAS sa spustila hustá trojrozmerná rekonštrukcia kombináciou fotogrametrie a najmodernejšej techniky Structure from Motion (ďalej len SfM). Moderná doba prináša používanie digitálnych fotografií namiesto analógových a neustále zlepšovanie aj počítačového výpočtového výkonu zmenili digitálnu fotometriu na životaschopnú náhradu namiesto laserového skenovania.

Cieľom algoritmov SfM je podľa Hollaus a kol. (2014) automaticky určiť geometriu scény, kalibráciu kamery, polohu a orientáciu z neusporiadanej kolekcie prekrývajúcich sa snímok. Výsledkom je riedke mračno 3D bodov, ktoré sa následne používa na porovnávanie hustého obrazu z viacerých pohľadov. Autori ďalej píšú, že mraky bodov ako výsledok porovnávania obrazu možno ďalej spracovať podobným spôsobom ako mračná bodov z leteckého alebo pozemného laserového skenovania a dokonca ich možno kombinovať s dátami laserového skenovania.

3.5 Prehľad domácich a zahraničných odborných štúdií

poradie	dátum publikácie článku	autori článku	mesto a štát skúmanej lokality	typ plochy	rozloha plochy [ha]	počet analyzovaných stromov	typ analýzy	RMSE (m)
1	Máj 2019	Yurtseven, H., Akgul, M., Coban, S., Gulci, S.	Istanbul, Turecko	univerzitný park	2,35	125	výška stromov koruny stromov	0,57 2,33
2	November 2015	Näsi, R., Honkavaara, E., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Blomqvist, M., Litkey, P., Hakala, T., Viljanen, N., Kantola, T., Tanhuanpää, T., Holopainen, M.	Lahti, Fínsko	les	7,7	78	vrcholky stromov	-
3	Marec 2019	Krause, S. T. G. M. Sanders, J.-P. Mund, Greve, K.	Britz, Nemecko	les	0,24	289	výška stromov	0,48
4	Január 2017	Panagiotidis, D. Surový, P. Abdollahnejad, A. Chiteculo, V.	Praha, Česká republika	les	0,06 0,06	48 39	výška stromov priemer koruny	3,00 3,08

Tabuľka 2 Prehľad odborných štúdií, zdroj: vlastné spracovanie

Prvá štúdia skúmala koruny stromov pomocou bezpilotných prostriedkov a výšky stromov aj pomocou pozemného merania, taktiež boli rozmiestnené GCPs. Vo výskumnej oblasti, konkrétne univerzitnom parku sa nachádzalo 125 stromov a bola použitá fotogrametrická metóda SfM, pomocou ktorej bolo vytvorené mračno bodov. Mračno bodov bolo pomocou analýzy založenej na Object-Based Image Analysis (OBIA), kde boli segmentované a klasifikované koruny stromov a taktiež z tohto mračna bolo vytvorené DSM a následne nDSM.

V druhej štúdií autori vyvinuli novú metódu spracovania na analýzu spektrálnych charakteristík pre fotogrametrické a hyperspektrálne snímky s vysokým priestorovým rozlíšením v zalesnenom prostredí, ako aj na identifikáciu jednotlivých anomálií na stromoch. Stromy autori zaradili do troch tried, pričom zdravých stromov bolo 36, napadnutých stromov bolo 15 a odumretých stromov 27. Identifikácia a výška stromov bola zistená z CHM, upraveného nDSM.

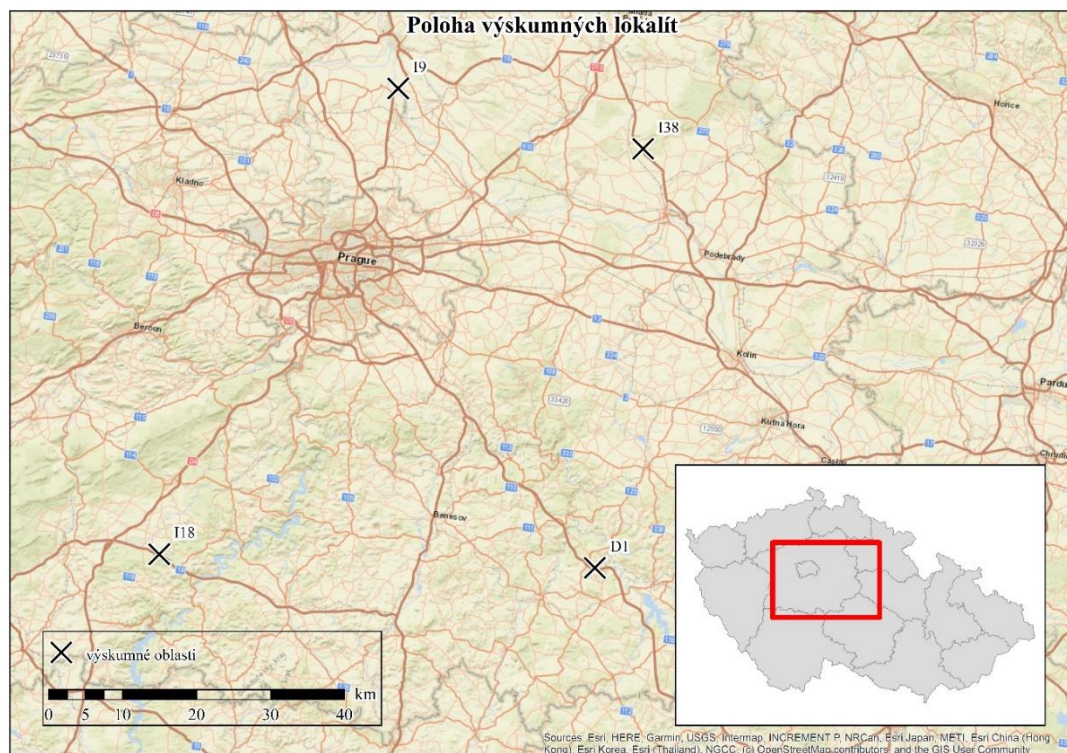
Tretia štúdia sa zameriavala na určenie presnosti meraní výšky stromov pomocou UAV. Monitorovaná lokalita bola pokrytá vlícovacými bodmi (GCPs) meranými pomocou totálnej stanice. Tieto GCPs slúžili na zalícovanie k fotogrametrickému spracovaniu. Mračná bodov a ortofotomozaika boli generované pomocou SfM. Z výsledného CHM boli extrahované výšky stromov a nesprávne zistené boli nájdené manuálnym upravením vrcholku stromu pomocou ortofotomozaiky. Výšky stromov z dát z leteckých prostriedkov boli validované oproti meraniam v teréne, jednalo sa o 289 stromov.

Štvrtá popisovaná štúdia sa zameriavala na odhad výšky a priemeru korún stromov. Výskumné lokality boli dve, pričom prvá mala počet stromov 48 a druhá

mala počet stromov 39. Postup autorov spočíval v získaní dát pomocou UAV na ktorom sa nachádzala klasická RGB kamera, spracovaní mračna bodov, z využitia modelu CHM na extrakciu výšky. Autori na záver overili presnosť týchto dvoch metód porovnaním výsledkov UAV s pozemnými meraniami.

4. Charakteristika výskumného územia

Výskumné oblasti boli celkovo štyri – D1, I18, I9 a I38. Všetky lokality sa nachádzajú na území Českej republiky v Stredočeskom kraji a na obrázku 6 sú znázornené čiernym krížikom. V rohu mapky sa nachádza prehľadná mapa krajov ČR.



Obrázok 6 Poloha výskumných oblastí, zdroj: vlastné spracovanie

4.1 Lokalita D1

Prvá lokalita výskumu s názvom D1 bola pozdĺž diaľnice D1. Medzinárodné značenie tejto diaľnice je E50. Prvá skúmaná lokalita sa nachádza približne 1 km od dedinky Dubovka, ktorá je súčasťou obce Psáře. Čiastočne zvolená plocha výskumu zasahuje do katastrálneho územia (ďalej len k.ú.) Psáře. Južná časť pod diaľnicou prevažne patrí k.ú. Psáře, pričom tá severná nad diaľnicou zasahuje do k.ú. obce Střechev nad Sázavou. Oblasť sa nachádzala v obci s rozšírenou pôsobnosťou (ďalej iba ORP) Vlašim, pričom súradnice centroidu záujmového územia boli 49°45'1.44"N a 14°59'26.16"E. Rozloha územia pre tvorbu analýz zaberala plochu 22,33 ha.

4.2 Lokalita I18

Druhá lokalita tzv. I18 sa rozlieha pozdĺž cesty I. triedy s číslom 18, z veľkej časti severná strana v k.ú. Nečín a južná v k.ú. Obory, pri obci Višňová v k.ú. Višňová. Hranica k.ú. Nečín a Obory je zároveň hranicou ORP Nečín a Obory. Súradnice centroidu záujmovej oblasti boli $49^{\circ}41'45.6''\text{N}$ a $14^{\circ}10'36.48''\text{E}$. Výskumná plocha zaberala rozlohu 11,74 ha.

4.3 Lokalita I9 - Neratovice

Výskumná oblasť I9 - Neratovice sa nachádza približne 2 km severne od mesta Neratovice v ORP Mělník. Južná časť lokality od rieky Labe patrila k.ú. Kly a severná k.ú. Tuhaň. Súradnice centroidu pre túto oblasť boli $50^{\circ}17'47.04''\text{N}$ a $14^{\circ}30'11.16''\text{E}$. Plocha územia 11,06 ha.

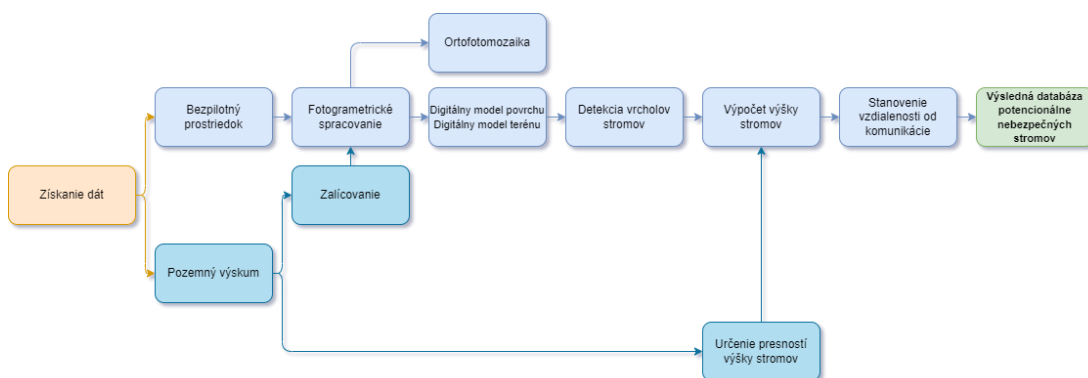
4.4 Lokalita I38 - Loučeň

Lokalita I38 - Loučeň sa rozprestiera približne 1 km od obce Jizbice. Takmer celá záujmová oblasť sa nachádzala v k.ú. Všejaný v ORP Mladá Boleslav. Iba malá časť lokality spadala do k.ú. Jizbice u Nymburka v ORP Nymburk. Súradnice centroidu boli $50^{\circ}15'46.08''\text{N}$ a $14^{\circ}58'44.4''\text{E}$. Lokalita zaberala plochu o rozlohe 8 ha.

5. Metodika

V tejto kapitole sa nachádza detailný popis postupu vytvorenia výsledného hodnotenia porastov pozdĺž pozemnej komunikácie t.j. v ochrannom pásme, z hľadiska jej bezpečnosti a vzdialenosti.

Táto zjednodušená schéma popisuje jednotlivé kroky, ktoré viedli k vytvoreniu výslednej databázy potenciálne nebezpečnej zelene.



Obrázok 7 Schéma spracovania dát, zdroj: vlastné spracovanie

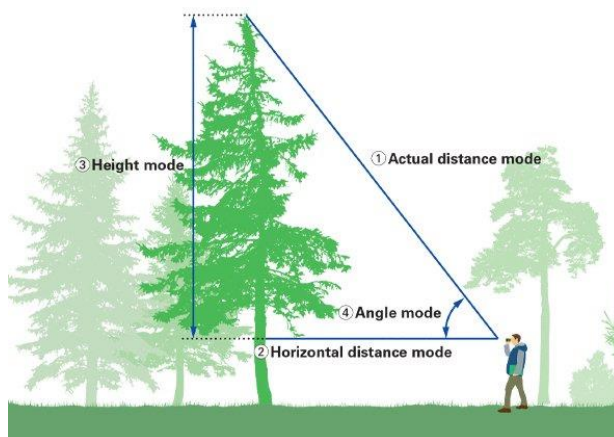
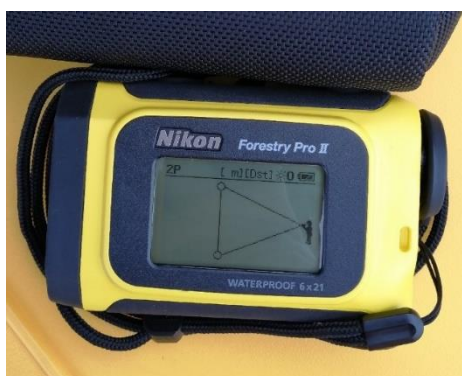
Schéma popisuje získanie dát z pozemného výskumu a taktiež pomocou bezpilotného prostriedku, ktorému predchádzala predletová príprava. Pomocou vlícovacích bodov rozmiestnených a zameraných v pozemnom výskume, vstupuje zalícovanie mračna bodov do fotogrametrickej metódy *Structure from Motion*, ktorá je použitá na vytvorenie DSM, DTM a ortofotomozaiky. Vzniknuté zalícované modely DSM a DTM sa pomocou patričného software ďalej spracovali a z nich sa detegovali jednotlivé vrcholky stromov. Výsledná ortofotomozaika slúži na lepšiu orientáciu v oblasti a tiež na presné určenie náhodne vybraných nameraných stromov počas pozemného merania. Ďalšie analýzy či procesy na nej neprebehli.

Výpočtom výšky či stanovením vzdialenosti od komunikácie vznikla obsiahla atribútová tabuľka, ktorú je možné následne generovať a upravovať tak, aby z nej bolo možné vytvoriť výslednú databázu potenciálne nebezpečných stromov.

5.1 Použité prístroje a software

Nikon Forestry Pro II

Forestry Pro II je laserový diaľkomer od firmy Nikon. Je to inovovaná verzia modelu Forestry Pro, ktorá sa veľmi často používa na prieskum v oblasti lesníctva. Táto aktualizovaná verzia má rozsah merania vzdialenosti od 7,5 do 1 600 metrov. Merania zahŕňajú aktuálnu vzdialenosť, horizontálnu vzdialenosť, výšku, uhol a vertikálny odstup – rozdiel medzi výškami dvoch objektov. Meranie v troch bodoch presne hodnotí výšku, aj keď je základňa alebo vrchol objektu skrytý. Disponuje funkciou HYPER READ. Táto technológia zaručuje stabilné meranie a zobrazenie výsledku na internom displeji do 0,3 sekundy. Výsledky sa tiež zobrazujú na externom displeji. Jeho súčasťou je aj vysokokvalitný monokulárny ďalekohľad so šesťnásobným zväčšením a viacnásobnými antireflexnými vrstvami pre jasný a zreteľný obraz. Pri meraní je nutné držať prístroj vo vodorovnej polohe a taktiež ho nenakláňať do strán, aby nedošlo k skresleniu uhlov. Vzdialenosť od meraného objektu by sa mala približne rovnať výške daného objektu.



Obrázok 8 Nikon Forestry Pro II, zdroj: vlastné spracovanie

Obrázok 9 Ukážka merania, zdroj: web Nikon

senseFly eBee X

Všetky výskumné oblasti boli nalietané krídlom eBee X od švajčiarskej firmy senseFly. Tento bezpilotný prostriedok je vhodný na rozsiahle rovinné lokality až do 200 hektárov. Výdrž batérie dosahuje dobu približne 90 minút a vie vyvinúť maximálnu rýchlosť 110 km/h. Maximálny dosah je 8 000 m, v Európe (napr. v ČR) platí obmedzenie na 3 000 m. Pre tento typ bezpilotného prostriedku je vhodné použiť software eMotion na plánovanie letovej misie.



Obrázok 10 senseFly eBee X, zdroj: web senseFly

Obrázok 11 senseFly eBee X, zdroj: vlastné spracovanie

senseFly S.O.D.A.

Je prvá profesionálna fotogrametrická kamera vyrobená špeciálne pre použitie na bezpilotnom prostriedku, konkrétne na krídlach eBee X a eBee Geo. Sníma v RGB farbách s rozlíšením 5 472 x 3 648 px (3:2). Jeden palcový senzor je schopný pokrývať zorné pole 64°. Z ostrých leteckých snímok naprieč svetelnými podmienkami je možné vytvárať presné a detailné ortofotomozaiky či digitálne modely povrchu. Snímky je možné ukladať buď do formátu JPEG alebo DNG + JPEG.



Obrázok 12 senseFly S.O.D.A, zdroj: web senseFly

Agisoft Metashape Professional

Predstavuje riešenie pre fotogrametrické spracovanie digitálnych snímok. Výstupné 3D dáta je následne možné použiť pre prácu napríklad v GIS aplikáciách. Software je z pohľadu užívateľa veľmi priateľský (User-friendly) ako pre nováčikov na poli fotogrametrie, tak aj pre odborníkov, ktorým umožňuje nastaviť parametre pre špecifické úlohy a rôzne typy dát.

ArcGIS

ArcGIS je systém od spoločnosti ESRI. Spoločnosť ESRI sa zaoberá vývojom software určeného pre prácu s geografickými informačnými systémami (GIS). ArcGIS obsahuje hotové nástroje a komponenty, ktoré sa dajú programovať a prepájať s inými technológiami. Jednotlivé produkty sú buď desktopové, serverové alebo taktiež mobilné, vrátane prostredia pre vývoj a správu webových služieb. Pre prácu bola použitá hlavne aplikácia ArcMap 10.8.1. s rozšírením *Spatial Analyst*, na vytvorenie algoritmu pre analýzu potencionálne nebezpečných stromov a tiež webová aplikácia na tvorbu databázy potencionálne nebezpečných stromov pre pozemnú líniovú dopravu.

5.2 Získanie a spracovanie dát

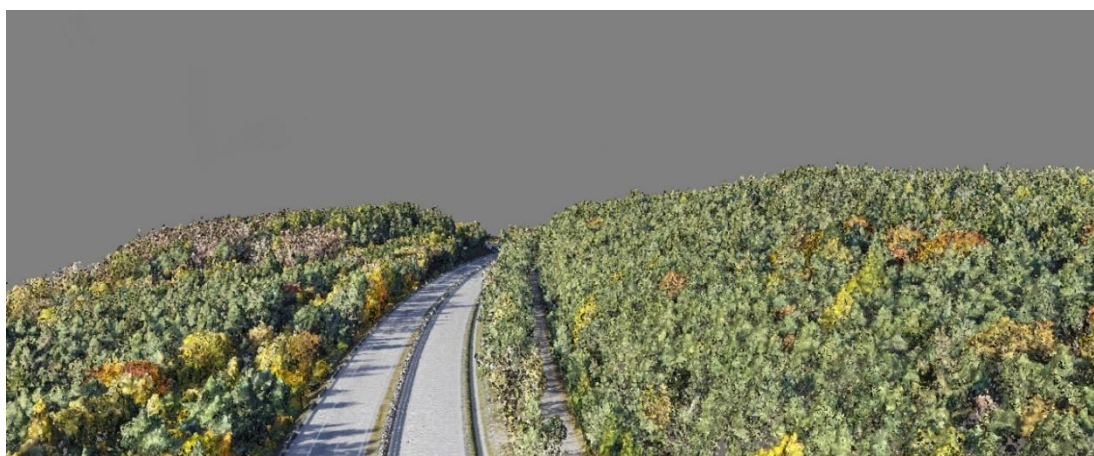
Získanie dát prebehlo na zemi aj vo vzduchu, keďže terénnym výskumom sa získali údaje výšok náhodne vybraných stromov a vo vzduchu sa vykonalo snímkovanie vybraných lokalít na vytvorenie digitálnych modelov a ďalších analýz s nimi spojených. Vybrané lokality boli dopredu zadané potrebami zadávateľa ŘSD ČR. Dáta sa získali na štyroch lokalitách zadaných zadávateľom – diaľnica D1, cesty I. triedy I18, I9 a I38.

V rámci pozemného výskumu boli na zemi rozmiestnené vlícovacie body. Jednalo sa o body pre postprocessing zalícovanie modelu k jeho ďalšiemu presnejšiemu spracovaniu a vyhodnoteniu oproti pozemskému meraniu výšok stromov. Vlícovacie body boli štvorcového tvaru s hranou dlhou 50 cm, s dvomi štvorcami bielej a dvomi štvorcami čiernej farby diagonálne, s očkami na každom rohu pre ukotvenie do zeme. Hneď vedľa, resp. v blízkom okolí mohli byť náhodne vybrané stromy, merané pomocou prístroja Nikon Forestry Pro II, na porovnanie s výškami z vytvoreného modelu, ktorý je vytvorený z dát bezpilotného prostriedku.

Každý strom bol nameraný sedemkrát za sebou a z týchto siedmich meraní bol v postprocessing vypočítaný priemer výšky každého stromu. V lokalite D1 bolo nameraných 9 stromov, v lokalite I18 bolo nameraných 10 stromov, lokalita I9 mala 16 nameraných stromov a I38 zahŕňala 26 stromov.

Namerané stromy pri pozemnom meraní boli spracované do CSV tabuľky, kde každý strom mal svoje ID, súradnice X, Y, Z a taktiež jeho zmeranú výšku (priemer siedmich meraní).

Všetky nasnímané snímky boli spracované fotogrametrickou metódou *Structure from Motion*. Na základe tejto metódy boli vypracované mračná bodov, ktoré obsahujú informácie o X, Y, Z súradniciach. Bodové mračno prvej skúmanej lokality je možné vidieť na obrázku 13.



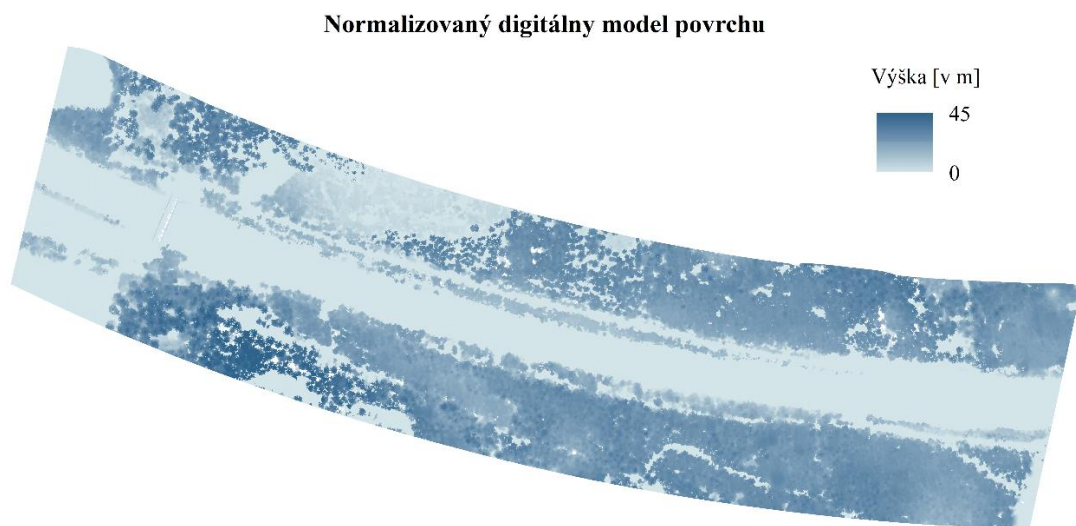
Obrázok 13 Mračno bodov v úseku diaľnice D1, zdroj: vlastné spracovanie v programe Agisoft Metashape Professional

Z bodových mračien boli vytvorené modely DSM, DTM a ortofotomozaika. Tieto výstupy boli upravené na základe ochranného pásma jednotlivých ciest, pričom zvolené ochranné pásmo bolo určené na 100 metrov pri lokalite D1 (ochranné pásmo diaľnic 100 m) a 50 metrov pri cestách I. triedy z dôvodu, že v bezprostrednom okolí skúmaných lokalít a ani na ich území sa nenachádzal strom vyšší ako šírka zvoleného ochranného pásma.

Tento krok bol spracovaný pomocou software *ArcMap 10.8.1.*, kde bola po osi komunikácie vedená línia, na ktorú bola vytvorená prvá obalová zóna, ktorá pokrývala celý rozsah plochy komunikácie, t.j. vrátane krajnice. Následne bola vytvorená ďalšia obalová zóna, tzv. ochranné pásmo od prvej obalovej zóny komunikácie, ktoré pokrývalo vyššie uvedené územie 50 metrov, resp. 100 metrov v prípade diaľnice.

5.3 Detekcia stromov

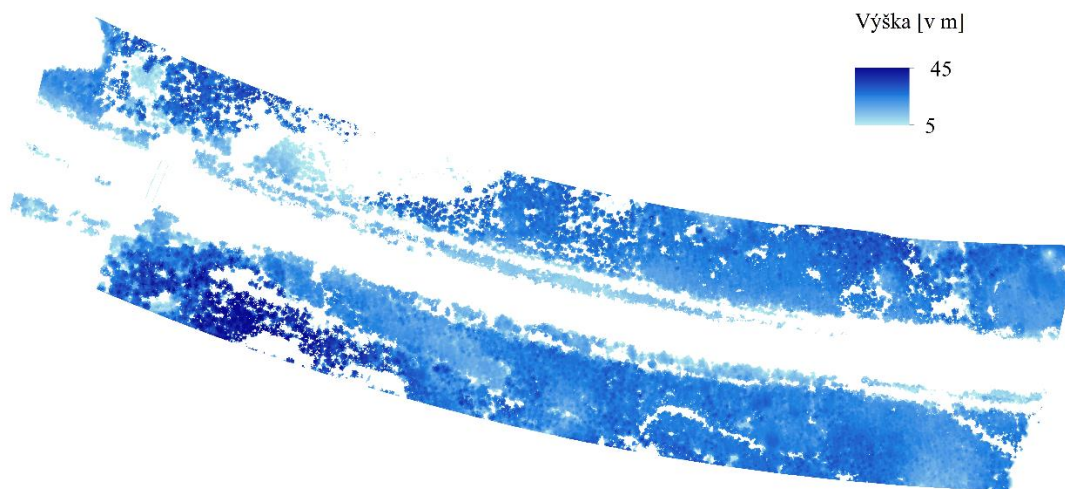
Algoritmus na detekciu stromu bol vypracovaný v prostredí *ArcMap 10.8.1*. Pre detekciu jednotlivých vrcholov stromov bolo potrebné vytvoriť *Normalized Digital Surface Model* (nDSM). Tento model vznikol odpočítaním digitálneho terénneho modelu (DTM) od *Digital Surface Model* (DSM) použitím nástroja *Minus*. Vzniknutý model znázorňuje výšku vegetácie v rovine. Pri odčítaní modelu mnohokrát vznikajú nepresnosti a výsledný model nDSM môže obsahovať záporné hodnoty. Túto nedokonalosť bolo potrebné odstrániť použitím nástroja *Con* s podmienkou *Value > 0*, ktorý vymaže záporné hodnoty, ktoré by mohli negatívne ovplyvniť výslednú analýzu.



Obrázok 14 Ukážka nDSM v prostredí ArcMap 10. 8. 1., zdroj: vlastné spracovanie

Model nDSM môže byť v určitom zmysle totožný s tzv. výškovým modelom korún, z anglického jazyka *Canopy Height Model* (CHM). V našom prípade sa nDSM od CHM líšil použitím parametra *Value > 5*.

Canopy Height Model



Obrázok 15 Ukážka CHM v prostredí ArcMap 10. 8. 1., zdroj: vlastné spracovanie

V rámci priestoru okolo komunikácií sa nachádzajú rôzne nežiadúce prvky, napríklad značky, zvodidlá, ploty, cedule, mosty a iné nevhodné predmety k ďalším analýzám.

Ďalším záporným prvkom môže byť príliš detailné rozlíšenie dát získaných z bezpilotných prostriedkov. V rámci detekcie korún stromov môže nastať situácia, kedy viacej vrcholov pripadá na jeden strom. Pre elimináciu tejto chyby je vhodné použiť nízkofrekvenčný filter, ktorý redukuje chybné vrcholy a zahradí model. V ideálnom prípade bude pripadať na jeden strom jeden vrchol stromu. Na túto úpravu bolo možné použiť nástroj *Filter* s nastaveným typom filtru *LOW*.

Na tento krok bezprostredne nasleduje fokálna štatistika, ktorá aplikuje vybranú štatistickú funkciu na stanovenú veľkosť plávajúceho okna zadanú užívateľom, vďaka čomu nastane oddelenie jednotlivých korún stromov. Nástroj s názvom *Focal Statistics* stanoví pre každú bunku rastru požadovanú hodnotu z hodnôt susedných buniek. Parameter *Neighborhood* bol nastavený na hodnotu 1,5 metra v tvare kruhu a *Statistics type* na *Maximum*.

S využitím nástroja *Raster Calculator* a jeho podmienkovou funkciou *Con* je možné nahradiť rovnaké hodnoty v CHM hodnotami z vytvoreného rastru z fokálnej štatistiky číslom 1. Ďalším nevyhnutným krokom bol prevod rastrového formátu na vektorový formát, resp. na body, pretože výsledkom detekcie by mala byť bodová vrstva, kde jeden bod predstavuje jedinečný strom. Tento prevod bolo možné

realizovať nástrojom *Raster to Point*, ktorý transformuje bunky rastru na body. Výstupom sa dosiahla bodová vrstva analyzovaných stromov.

5.4 Výška zelene

Výška jednotlivých objektov je známa z CHM. Tieto hodnoty bolo nutné priradiť k bodovej vrstve analyzovaných stromov, čo sa docielilo nástrojom *Extract Values to Point*. Tento nástroj priradí každému bodu hodnotu zo zadaného rastru do existujúcej bodovej vrstvy stromov. Výstupom bola bodová vrstva detegovaných stromov doplnená o výškovú informáciu *výška* jednotlivých hodnôt drevín.

5.5 Vzďialenosť porastu od komunikácie

Vzďialenosť porastu od komunikácie bolo možné vypočítať využitím nástroja *Near*, ktorý dokáže určiť vzďialenosť jednotlivých prvkov. Vstupom boli dve vrstvy, pričom v rámci výstupu do bodovej vrstvy reprezentujúcu jednotlivé stromy vznikne v atribútovej tabuľke nový stĺpec *vzďialenosť* zo vzďialenosťami každého stromu od hranice druhej vrstvy. Druhá vrstva odpovedá ploche pokrývajúcej celú komunikáciu.

Posledným krokom bol výber tých drevín, ktorých výška presahuje vzďialenosť od komunikácie, čo znamená, že sú potenciálne nebezpečné, resp. mohli by prípadným pádom ohroziť bezpečnosť a plynulosť cestnej premávky. Tento krok bolo možné vykonať pomocou nástroja *Select*, s podmienkovou funkciou "*výška*" > "*vzďialenosť*", ktorý vyberie spomínané potenciálne nebezpečné stromy.

5.6 Identifikácia výšok stromov z pozemného merania a vypočítané výšky stromov z leteckého výskumu

Pre tento krok bolo nutné vyhľadať každý náhodne vybraný strom pozemného výskumu na vzniknutom modeli. Z CSV tabuľky s nameranými hodnotami stromov bola vytvorená bodová vrstva, ktorá obsahovala atribúty (bližšie popísané v podkapitole 5.2 v rámci Metodiky). Následne bolo nutné identifikovať náhodne vybrané stromy pozemného výskumu na vytvorenom modeli. Pre lepšiu orientáciu a identifikáciu stromu bola použitá taktiež ortofotomozaika.

5.7 Tvorba databázy

Zo získaných informácií o polohe, výške, vzdialenosti od komunikácie bolo možné vytvoriť databázu potencionálne nebezpečných stromov, ktoré by svojim prípadným pádom mohli ohroziť bezpečnosť a plynulosť premávky. Tieto porasty je možné naďalej upravovať, spracovávať alebo aktualizovať v prípade odstránenia.

Výslednou databázou je tabuľka, ktorú je možné vygenerovať z výslednej vrstvy napríklad vo formáte dBASE Table. Taktiež výstupnou databázou je webová aplikácia, kde je možné zobrazenie či už modelov alebo danej vrstvy s potencionálne nebezpečnými stromami.

5.8 Štatistické spracovanie výsledkov

V prvom kroku bolo nevyhnutné vypočítať odchýlku medzi výškami stromov z pozemného merania a s tými z leteckého výskumu. To bolo docielené odčítaním výškami stromov z leteckého výskumu od nameraných výšok z terénneho výskumu. Z výsledných odchýlok bola vypočítaná deskriptívna štatistika, a to konkrétne charakteristiky: minimum, maximum, priemer, medián, rozptyl a stredná kvadratická chyba (RMSE).

- *min* predstavuje najnižšiu číselnú hodnotu v skupine čísel,
- *max* predstavuje najvyššiu číselnú hodnotu v skupine čísel,
- *priemer* je súčtom hodnôt skupiny čísel vydelených počtom čísel v skupine. Priemer možno chápať ako zhrnutie čísel do jedného čísla,
- *medián* je hodnota, ktorá súbor zistených hodnôt delí na dve rovnako početné skupiny; pričom prvá obsahuje 50 % štatistických jednotiek, ktoré majú hodnotu menšiu ako medián, druhá obsahuje 50 % zvyšných štatistických jednotiek, ktoré majú hodnotu väčšiu ako medián,
- *rozptyl* predstavuje aritmetický priemer druhých mocnín (štvorcov) odchýlok od priemeru,
- *RMSE*, známa ako odmocnina so štvorcovou chybou, je druhá odmocnina strednej mocniny všetkých chýb. Použitie RMSE je veľmi bežné a považuje sa za vynikajúcu metriku pre numerické predpovede.

Vyhodnotením rozptylov bolo možné aplikovať t-test zhody stredných hodnôt. Hypotézy t-testu zhody stredných hodnôt dvoch nezávislých súborov možno nasledovne zapísať:

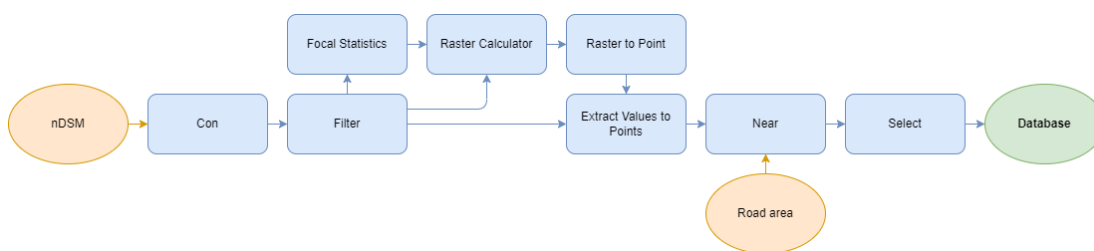
$$H_0: \mu_1^2 - \mu_2^2 = 0$$

$$H_1: \mu_1^2 - \mu_2^2 \neq 0$$

kde μ_1 a μ_2 sú stredné hodnoty jednotlivých súborov meraní, z ktorých boli koncipované náhodné výbery. Výsledky t-testu zhody stredných hodnôt dvoch nezávislých súborov boli vyhodnotené na základe porovnania p-hodnoty s bežnou hladinou významnosti $\alpha = 0,05$.

6. Výsledky

Výsledkom tejto práce je použitie algoritmu na analýzu drevín, ktoré by mohli ohroziť bezpečnosť a plynulosť premávky na pozemných komunikáciách vo vybraných úsekoch. Zjednodušená schéma použitých nástrojov v prostredí ArcGIS je na obrázku 16. Vstupom do tohto algoritmu je vždy nDSM danej lokality, ktorý je následne spracovaný na CHM. Aplikáciou fokálnej štatistiky je postupne detegovaná zeleň a následnými čiastkovými výsledkami pomocou nástrojov *Extract Values to Points*, *Near* a *Select* sú zistené parametre v tomto poradí: výška porastu, vzdialenosť od komunikácie a výber tých drevín, ktoré by svojim potencionálnym pádom mohli narušiť či ohroziť bezpečnosť a plynulosť premávky na daných úsekoch, resp. sú vyhodnotené ako potencionálne nebezpečné stromy. Výstupom je prehľadná databáza obsahujúca tieto informácie o každom potencionálne nebezpečnom strome.

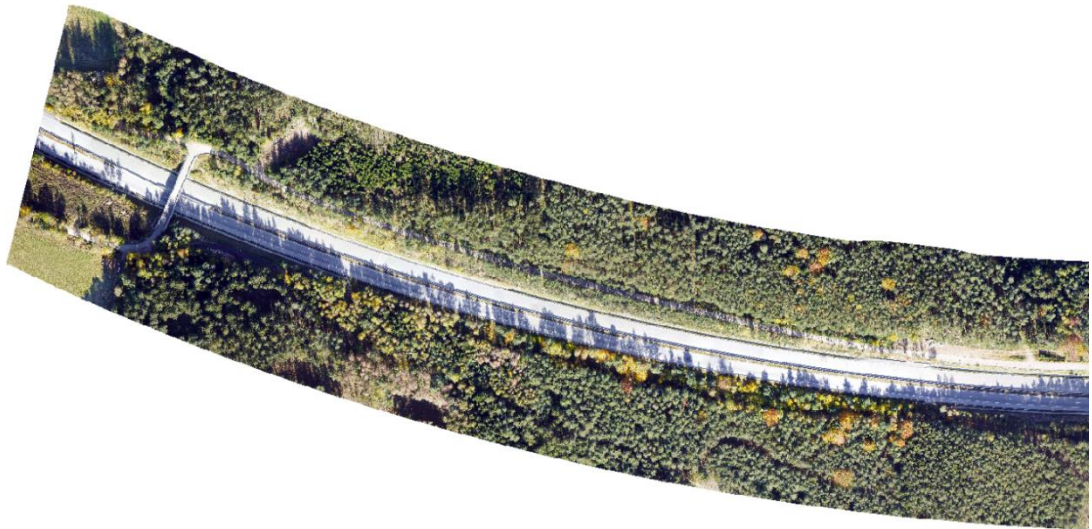


Obrázok 16 Súhrnná schéma algoritmu, zdroj: vlastné spracovanie

6.1 Ukážka použitia algoritmu na jednotlivých lokalitách

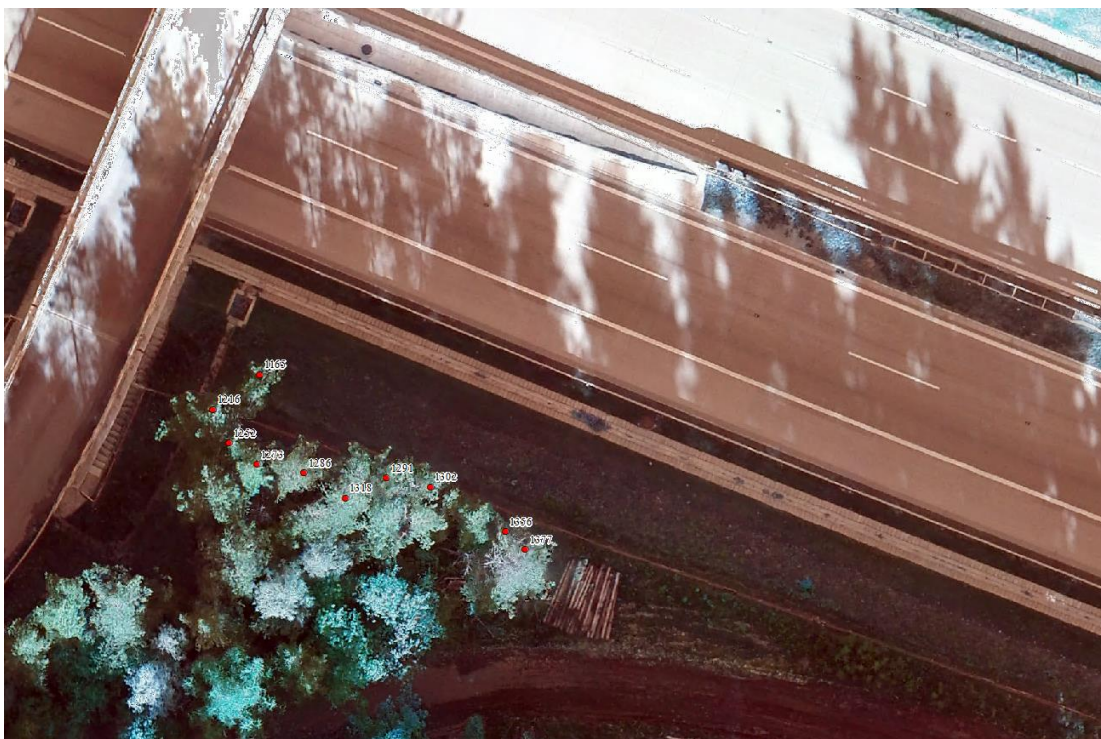
6.1.1 Lokalita D1

Prvá záujmová lokalita sa nachádza na úseku diaľnice D1, na 49,5-51. kilometri. Takmer v celom tomto úseku je pozdĺž diaľnice hustý zmiešaný les na oboch stranách komunikácie. Dĺžka hodnoteného úseku je takmer 1 000 m, pričom šírka ochranného pásma bola z dôvodu diaľnice 100 m. Súčasťou komunikácie je most, odstavňový pás približne 60 metrov dlhý a vedľajšia cesta, ktorá sa tiahne severne od diaľnice po ľavej strane. Nálet v tejto lokalite sa uskutočnil koncom októbra 2021.



Obrázok 18 Ortofotomozaika lokality D1, zdroj: vlastné spracovanie

Použitím algoritmu detekcie stromov sa dosiahla výstupná databáza (ukážka tabuľky 3), ktorá obsahuje základné informácie o každom strome, jeho ID, výške a vzdialenosti od krajnici. Obrázok 18 reprezentuje časť lokality úseku a na ňom vybrané, detegované potencionálne nebezpečné stromy, ktoré sú na obrázku označené červeným bodom s ID stromu.



Tabuľka 3 zobrazuje ukážku vyhodnotených potencionálne nebezpečných stromov, ich ID, výšku z CHM z leteckých dát a taktiež vzdialenosť od krajnici komunikácie.

ID	výška [m]	vzdialenosť [m]
1165	12,98	12,98
1216	14,03	14,03
1252	13,90	13,90
1273	14,50	14,50
1286	15,64	15,64
1291	13,49	13,49
1302	13,29	13,29
1318	15,04	15,04
1356	12,88	12,88
1377	12,59	12,59

Tabuľka 3 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie

6.1.2 Lokalita I18

Druhá záujmová lokalita, kde sa použil algoritmus, je časť cesty prvej triedy I18. Vyhodnocovaná oblasť predstavuje dĺžku vyše 1 km a ochranné pásmo podľa cesty prvej triedy je 50 metrov na obe strany od krajnice komunikácie. Nálet prebehol v polovici novembra 2021. Pozdĺž cesty sa nachádzajú zmiešané dreviny, prevažujú však najmä ihličnaté stromy. Porast sa tu však v niektorých miestach nevyskytuje takmer vôbec, v iných miestach hustejšie ale taktiež aj redšie. Na severnej strane sa vyskytujú stromy veľmi blízko krajnice komunikácie.



Obrázok 19 Ukážka vyhodnotených potencionálne nebezpečných stromov, zdroj: vlastné spracovanie

Použitím algoritmu detekcie stromov je vytvorená výstupná databáza (ukážka tabuľky 4), ktorá obsahuje základné informácie o každom strome, jeho ID, výške z CHM a vzdialenosti od krajnice. Na obrázku 19 je možné vidieť ukážku časti lokality s potencionálne nebezpečnými stromami, ktoré sú označené červenými bodmi s ID každého stromu. Zeleným bodom sa rozumie strom, ktorý sa namerlal pri pozemnom meraní a použil sa na ďalšie štatistické spracovanie (viď podkapitola 6.2 Štatistické spracovanie) určenie odchýlky jednotlivých lokalít.

ID	výška [m]	vzdialenosť [m]	ID	výška [m]	vzdialenosť [m]
415	22,08	9,90	501	21,95	7,11
416	23,32	15,50	522	20,90	2,64
417	16,08	1,11	525	26,03	11,84
421	23,00	10,42	532	21,90	11,82
425	25,61	17,30	550	27,33	15,57
428	21,86	2,45	560	23,61	8,15
429	23,62	18,61	564	20,23	10,83
430	24,31	10,53	566	27,89	18,03
435	23,33	4,76	569	19,95	12,32
438	24,95	16,56	573	21,99	6,90
442	23,46	14,10	574	19,78	10,78
454	24,03	15,24	577	26,99	18,56
456	22,17	5,01	585	23,56	9,94
464	24,45	1,31	590	27,74	18,47
468	26,51	14,34	592	21,36	8,20
470	20,08	4,11	595	21,87	10,27
471	22,90	5,72	609	27,06	24,12
473	23,99	11,50	614	22,06	11,24
479	16,83	1,37	628	28,13	25,37
483	21,08	7,33	640	20,51	14,11
489	17,34	2,82	642	28,69	26,42
492	21,58	7,16	647	29,00	26,32
494	21,17	3,28	656	20,52	15,36

Tabuľka 4 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie

6.1.3 Lokalita I9 - Neratovice

Algoritmus sa použil taktiež na ďalšej, v poradí tretej lokalite, ktorá sa nachádza na ceste prvej triedy I9 neďaleko mesta Neratovice. Lokalita sa nasnímala začiatkom februára 2022. Úsek pokrýva dĺžku komunikácie viac ako 1 100 m s ochranným pásmom cesty prvej triedy 50 metrov. Vyskytujú sa tu listnaté stromy v bezprostrednej blízkosti krajnice komunikácie, nie však po celej dĺžke. Jedná sa hlavne o rozptýlenú zeleň ale taktiež aj o časť lesa.



Obrázok 20 Ukážka časti vyhodnotených potencionálne nebezpečných stromov, zdroj: vlastné spracovanie

Použitím algoritmu na detekcie stromov je vytvorená výstupná databáza (ukážka tabuľky 5), ktorá obsahuje základné informácie o každom strome, jeho ID, výške z CHM a vzdialenosti od krajnice. Na obrázku 20 je možné vidieť ukážku časti lokality I9 s potencionálne nebezpečnými stromami, ktoré sú označené červenými bodmi s ID každého stromu.

ID	výška [m]	vzdialenosť [m]	ID	výška [m]	vzdialenosť [m]
40,00	5,57	5,46	71	6,22	2,59
46,00	13,30	6,01	81	9,26	7,67
47,00	15,31	8,52	84	10,78	4,58
48,00	16,33	6,80	85	9,05	6,82
49,00	16,17	10,29	86	9,13	8,42
50,00	13,19	6,59	89	10,09	8,70
51,00	12,90	5,13	91	9,85	3,91
52,00	14,77	7,91	92	11,48	5,59
53,00	15,18	9,81	93	10,37	7,87
59,00	12,93	8,40	95	12,38	6,06
61,00	10,62	6,61	96	10,16	8,67
65,00	7,11	5,30	99	11,27	8,14
67,00	11,30	8,73	101	10,87	7,71
69,00	6,29	2,15			

Tabuľka 5 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie

6.1.4 Lokalita I38 – Loučeň

Poslednou lokalitou, kde sa taktiež použil algoritmus na detekciu potencionálne nebezpečnej zelene pozdĺž dopravnej infraštruktúry, je lokalita cesty prvej triedy I38. Výskumná časť zaberala dĺžku približne 750 metrov, s ochranným pásmom 50 metrov na obe strany od krajnice komunikácie. Nálet tejto lokality prebehol taktiež začiatkom februára 2022. Pozdĺž komunikácie sa vyskytujú v bezprostrednej blízkosti pri smere jazdy na severozápad po ľavej strane prevažne ihličnaté stromy a napravo od cesty hlavne listnaté stromy. Na obrázku 21 je ukážka vyhodnotenia potencionálne nebezpečných stromov podľa použitého algoritmu. Červenými bodmi sú vyznačené potencionálne nebezpečné stromy, zelenými bodmi sú označené stromy, ktoré boli náhodne vybrané a zmerané pri pozemnom výskume, a taktiež sa tu nachádza ružový štvorec, ktorý predstavuje vlícovací bod.



Obrázok 21 Ukážka časti vyhodnotených potencionálne nebezpečných stromov, zdroj: vlastné spracovanie

Výsledná databáza obsahuje údaje o konkrétnych stromoch z ukážky obrázka 21 a to ID, výšku z CHM a vzdialenosti od krajnice komunikácie.

ID	výška [m]	vzdialenosť [m]	ID	výška [m]	vzdialenosť [m]
192	8,20	2,58	272	13,97	2,74
193	13,36	5,55	136	12,79	4,03
197	8,76	5,99	137	16,01	12,88
201	15,18	3,65	144	15,77	10,32
205	13,03	10,98	145	17,15	11,70
210	11,60	7,10	147	10,57	2,75
214	15,16	2,45	150	16,90	14,25
215	14,09	4,44	151	17,58	15,60
222	14,22	12,01	154	12,23	9,54
226	13,29	5,08	158	9,86	4,27
227	14,47	9,47	159	16,73	15,38
230	13,54	6,63	162	10,17	6,10
233	8,10	4,82	166	15,04	13,18
237	8,62	2,11	168	11,98	7,37
247	15,71	10,09	170	8,83	2,31
249	12,14	7,11	171	8,59	3,90
253	12,30	4,28	172	16,36	13,11
270	10,07	8,49	175	5,02	4,33

Tabuľka 6 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie

6.2 Výsledky pozemného merania

Ďalším výsledkom práce je zhodnotenie presnosti dát pozemného merania a presnosti CHM vytvoreného z dát z bezpilotného prostriedku. Tabuľka 7 je výsledkom merania pozemného výskumu, konkrétne 61 náhodne vybraných a zmeraných stromov, rozdelených do jednotlivých lokalít. K ďalšiemu štatistickému spracovaniu je potrebné zistiť práve odchýlky, ktoré sa vypočítali rozdielom výšky z pozemného merania a výšky z CHM spracovaného pomocou dát z bezpilotného prostriedku. Z týchto odchýlok sa vypočítali popisné charakteristiky minimum, maximum, priemer, medián, rozptyl a RMSE, ktoré sú zobrazené v tabuľke 8.

lokality	ID	pozemné meranie [m]	výška stanovená z CHM z náletu [m]	rozdiel výšky z pozemného merania a výšky z CHM [m]	lokality	ID	pozemné meranie [m]	výška stanovená z CHM z náletu [m]	rozdiel výšky z pozemného merania a výšky z CHM [m]
D1	1	19,90	20,36	-0,46	I38	40	22,60	22,99	-0,39
	2	25,30	25,13	0,17		41	24,60	24,69	-0,09
	3	28,30	28,49	-0,19		42	6,90	7,00	-0,10
	4	20,10	20,34	-0,24		43	24,20	24,20	0,00
	5	19,60	19,27	0,33		44	8,00	8,02	-0,02
	6	20,10	20,89	-0,79		45	7,85	7,86	-0,01
	7	12,00	11,35	0,65		46	9,10	8,49	0,61
	8	14,70	14,86	-0,16		47	9,70	10,48	-0,78
	9	16,70	16,40	0,30		48	10,50	10,56	-0,06
I18	10	18,30	17,84	0,46		49	9,80	9,82	-0,02
	11	26,20	26,15	0,05		50	10,80	10,03	0,77
	12	23,20	22,35	0,85		51	7,30	7,13	0,17
	13	19,10	19,01	0,09		52	14,40	14,63	-0,23
	14	14,00	14,29	-0,29		53	9,60	9,36	0,24
	15	17,80	18,03	-0,23		54	10,40	11,22	-0,82
	16	6,20	6,79	-0,59		55	11,10	11,13	-0,03
	17	20,10	20,41	-0,31		56	16,00	16,36	-0,36
	18	14,90	15,30	-0,40		57	14,60	15,04	-0,44
19	17,70	18,50	-0,80	58		16,60	16,74	-0,14	
I19	20	12,60	11,90	0,70		59	16,00	15,61	0,39
	21	17,70	18,50	-0,80		60	11,50	11,99	-0,49
	22	30,00	29,39	0,61		61	14,60	15,45	-0,85
	23	32,30	32,66	-0,36		62	16,60	16,24	0,36
	24	27,70	27,75	-0,05		63	17,30	17,15	0,15
	25	27,40	27,11	0,29		64	14,60	15,04	-0,44
	26	24,10	24,09	0,01		65	11,70	12,43	-0,73
	27	23,70	24,03	-0,33					
	28	17,50	17,00	0,50					
	29	15,90	15,38	0,52					
	30	15,20	14,57	0,63					
	31	8,00	8,74	-0,74					
	32	23,00	23,52	-0,52					
	33	23,50	23,22	0,28					
	34	15,50	14,72	0,78					
	35	16,20	15,47	0,73					

Tabuľka 7 Porovnanie jednotlivých výšok stromov podľa lokalít, zdroj: vlastné spracovanie

popisné charakteristiky	D1	I18	I9	I38	spolu
minimum	-0,79	-0,80	-0,80	-0,85	-0,85
maximum	0,65	0,85	0,78	0,77	0,85
priemer	-0,04	-0,12	0,14	-0,13	-0,04
medián	-0,16	-0,26	0,29	-0,07	-0,12
rozptyl	0,18	0,23	0,30	0,19	0,05
RMSE	0,42	0,48	0,55	0,43	0,23

Tabuľka 8 Popisné charakteristiky pre jednotlivé lokality, zdroj: vlastné spracovanie

Z danej tabuľky 8 je zrejmé, že najvyššie hodnoty charakteristík minima a maxima, čo znamená, že najväčšie odchýlky mali oblasti I38 a I18. Lokalita I9 zaznamenala najvyššie hodnoty priemeru, mediánu a rozptylu, čo sa prejavilo na hodnote RMSE. Pri charakteristike RMSE platí, že čím sú hodnoty dvoch rôznych meraní podobnejšie, to znamená, že odchýlka je v menších hodnotách, tým bude výsledná hodnota strednej kvadratickej chyby nižšia, bližšia k nule.

t-Test: One-Sample	D1	I18	I9	I38
Mean	-0,0421	-0,1176	0,1411	-0,1271
Variance	0,1993	0,2443	0,2978	0,1793
Observations	9	10	16	26
Hypothesized Mean	0,3924	0,3924	0,3924	0,3924
df	8	9	15	25
t Stat	-2,9204	-3,2628	-1,8419	-6,2567
P(T<=t) one-tail	0,0096	0,0049	0,0427	0,0000
t Critical one-tail	1,8595	1,8331	1,7531	1,7081
P(T<=t) two-tail	0,0193	0,0098	0,0853	0,0000
t Critical two-tail	2,3060	2,2622	2,1314	2,0595

Tabuľka 9 Výsledky jedno-výberového t-testu pre jednotlivé lokality, zdroj: vlastné spracovanie

Výsledky t-testu poukazujú na skutočnosť, že v štvrtej lokalite I38 bol náhodne vybraný a zmeraný najväčší počet stromov spomedzi všetkých štyroch lokalít, čo sa prejavilo na najnižšej *p-value* (v tabuľke 8 pod názvom P(T<=t) one-tail), ktorá sa porovnáva zo štatistickou hladinou významnosti $\alpha = 0,05$.

Pre všetky výskumné lokality platí, že hladina významnosti α je vyššia ako hodnota *p-value*, čo znamená, že výsledok testu je zamietnutie nulovej hypotézy (H_0), prijatie alternatívnej hypotézy (H_1). Zamietnutím H_0 je možné tvrdiť, že stredné hodnoty nie sú zhodné, čiže existuje štatisticky významná závislosť medzi výsledkami výšok z pozemného merania a výšok z CHM z dát z bezpilotného prostriedku.

7. Diskusia

Zameranie tejto práce bolo vytvorenie súhrnnej databázy o zeleni v ochrannom pásme komunikácie, ktoré môžu predstavovať riziko z hľadiska pádu do priestoru pozemnej líniovej dopravnej infraštruktúry. Podkladom pre takéto vyhodnotenie boli snímky získané pomocou bezpilotného prostriedku, ktoré boli následne spracované vo vybraných programoch metódou Structure from Motion. Vytvorené digitálne modely slúžili na získavanie informácií o polohe, výške a vzdialenosti jednotlivých stromov od krajnice komunikácie. Tento algoritmus bol aplikovaný na štyroch lokalitách – na úseku jednej diaľnice a troch ciest prvej triedy. Vstupný parameter minimálnej výšky porastu bol rovnaký vo všetkých lokalitách, a to konkrétne na hodnotu viac ako 5 metrov. V bezprostrednej blízkosti komunikácie sa častokrát vyskytovali rôzne nežiaduce prvky, ktoré by negatívne ovplyvnili analýzu a následné výsledky. Týmito prvkami boli zvislé dopravné značky, ploty, zvodidlá, tabule.

Výslednú ortofotomozaiku veľmi ovplyvňuje aj počasie, v rámci ktorého výskum prebieha. Príkladom je druhá lokalita (I18), v ktorej počasie spôsobilo, že vďaka nedostatku svetla, príliš veľkej oblačnosti je výsledná ortofotomozaika v nižšom rozlíšení ako ostatné lokality. Nedá sa však povedať, že ortofotomozaika nám neposkytla dostatočné informácie potrebné z nej vyzistiť.

Vo vytvorenom algoritme boli použité extrakcie výšok z nDSM. Extrahovaným výškam stromov z dát z leteckého prostriedku, predchádzalo použitie fokálnej štatistiky na upravený nDSM, ktorá stanovením veľkosti plávajúceho okna oddelí jednotlivé susedné rastri s podobnou hodnotou a priradí im hodnotu najvyššieho rastu v danom kernely. tak aby sa predišlo k extrakcii bodu s hraničnou hodnotu medzi dvomi korunami stromov, čím by výsledná výška neodpovedala vrcholu stromu, iba jeho časti. Parameter Neighborhood bol nastavený na hodnotu 1,5 metra v tvare kruhu a Statistics type na Maximum.

Práci podliehal pozemný výskum spolu s leteckým zberom dát, nakoľko bola nutná validácia dát z leteckého prostriedku oproti dátam z pozemného výskumu. Bolo potrebné zistiť, či sa dajú substituovať pozemné merania práve leteckým spracovaním dát. Najväčší rozdiel výšky stromu medzi pozemným meraním a leteckým dátami bola hodnota jedného stromu odchýlená o 0,85 m. Takéto stromy boli dva, pričom mohlo dôjsť aj k chybe v pozemnom meraní v dôsledku hustého porastu blízkych okolitých stromov tým, že strom bol rozvetvený na minimálne dva väčšie konáre a taktiež mohol

byť vyhodnotený nesprávny vrchol. Počas algoritmu mohol byť analyzovaný taktiež nesprávny vrchol stromu. Tomuto javu je možné predísť napríklad už pri výbere meraného stromu. Vznikom väčších odchýlok pozemného merania od dát z leteckého prostriedku sa dá predísť pomocou väčšieho množstva nameraných stromov počas pozemného výskumu.

V súčasnosti existuje množstvo vedeckých prác, kde sa autori špecializujú a zameriavajú na snímkovanie a analyzovanie pomocou rôznych prostriedkov a metód. Autori Ganz et al. (2019) porovnávajú lidarové a fotogrametricky spracované dáta z bezpilotného prostriedku. Výsledné hodnoty ďalej porovnávajú s hodnotami z pozemného merania a následne z výška spílených stromov. Výskum dokazuje vyššiu presnosť získania výšky stromu s využitím laserového skenovania ako pozemným terénnym meraním, rovnako ako autori Sibona et al. (2017), kde autori porovnávajú dáta z laserového skenovania s bežným meraním v teréne. Vytváranie digitálnych modelov a následná detekcia stromov je stále predmetom mnohých výskumov, ako aj štúdie autorov Li et al. (2012), pretože získanie vhodného DTM z náletu býva obťažné hlavne v husto prekrývajúcej sa zelene a to z dôvodu, že bežnými kamerami v takomto prostredí nie je možné detegovať holú zem. Tento problém je možné vyriešiť u laserového skenovania, ktorý preniká cez koruny stromov. Z tohto dôvodu je pre detekciu a následné zisťovanie charakteristík jednotlivých stromov vhodné použiť bezpilotné prostriedky iba v prípade lokalít bez husto prekrývajúceho sa porastu (White et al., 2015), poprípade snímať úseky ako zalesnené tak aj s odkrytou pôdou. Autori Tomášik et al. (2017) uvádzajú ďalšiu možnosť snímania lokalít v rôznych obdobiach roka, t.j. stromy s listím a v druhej časti roku bez listia. Vyššiu presnosť modelu reliéfu vytvoreného snímaním bezlistých listnatých lesov je možné dosiahnuť pomocou bežnej kamery ako s použitím lidar, tvrdia vo svojej štúdií autori Moudrý et al. (20YY). Vhodnosť použitia len snímok z náletov bezpilotných prostriedkov na otvorených nezalesnených plochách opisujú autori Birdal et al. (2017). Taktiež uvádzajú možnosť vytvorenia presného modelu a následné stanovenie výšok porastov, avšak len u človekom vytvorených lesov. V lesoch prírodného charakteru dochádza k prekrytiu jednotlivých korún stromov, to znamená, že koruny sú chybné detegované. Autori Zarco-Tejada et al. (2014) a Guerra-Hernández et al. (2016) taktiež potvrdzujú vhodnosť použitia snímok z bezpilotných prostriedkov a následne fotogrametrického spracovania pre tvorbu týchto modelov. Keďže sa jednalo o ihličnaté stromy a ovocné

sady, v oboch prípadoch boli dreviny roztrúsené tak povediac bolo možné medzi nimi detegovať holú zem. Predpoklad vytvorenia vhodného DTM z náletu bezpilotným prostriedkom potvrdzuje taktiež Ganz et al. (2019).

Výsledkom je finálna databáza vo webovej aplikácii ArcGIS Online, ktorá obsahuje všetkých potencionálne nebezpečných 4 447 stromov pozdĺž dopravnej infraštruktúry pozemnej líniovej komunikácií, ktoré by svojim prípadným pádom mohli ohroziť bezpečnosť a plynulosť premávky na vybraných úsekoch. Jednotlivé stromy sú rozdelené do lokalít a obsahujú ID, informáciu o presnej polohe, výšku a vzdialenosti od krajnice komunikácie. V lokalite D1 bolo analyzovaných 585 potencionálne nebezpečných stromov, lokalitu I18 pokrýva 949 potencionálne nebezpečných stromov pozdĺž komunikácie, 1 275 potencionálne nebezpečných stromov sa nachádza v lokalite I9 a v skúmanej oblasti I38 bolo detegovaných 1 638 potencionálne nebezpečných stromov.

8. Záver a prínos práce

Využívanie bezpilotných prostriedkov neustále rastie na obľube naprieč rôznymi odvetviami a obormi aj vďaka cenovej dostupnosti a schopnosti monitorovať aj ťažko prístupné lokality. Pri vhodnom spracovaní dát je možné dostať presné informácie o mieste, resp. objekte, ktoré je možné ďalej vyhodnocovať a analyzovať. Pomocou automatizácie procesov je možné docieľiť uplatnenie v širokej škále oborov a vytvoriť tak alternatívu k pomerne často náročnému pozemnému získavaniu informácií. Výnimkou nie sú ani obory lesníctva a dopravy, aplikácia je preto možná aj v tejto bakalárskej práci, nakoľko sa v práci rozoberá problematika potencionálne nebezpečnej zelene pozdĺž líniovej dopravnej infraštruktúry pozemnej komunikácie. Stromy, ktoré by mohli svojim prípadným pádom zasiahnuť priestor komunikácie a tým ohroziť bezpečnosť a plynulosť premávky, predstavujú riziko, ktoré je možné eliminovať a to ich analýzou a monitoringom. Proces detekcie a vyhodnotenia takýchto drevín bol predmetom tejto práce. Výstupom práce je funkčný algoritmus, ktorý z digitálnych modelov identifikuje jednotlivé stromy, stanoví ich výšku, určí ich presnú polohu a vzdialenosť od krajnice komunikácie. Tieto parametre hrajú kľúčovú rolu pri ich vyhodnocovaní a následného odstránenia. Navrhnutý algoritmus bol aplikovaný na štyroch lokalitách, kde výstupom bola prehľadná databáza s vymenovanými parametrami. Tento postup poukazuje na možnosť efektívneho mapovania, pretože výsledný algoritmus automatizuje detekciu a zhodnotenie zelene. Algoritmus je možné taktiež aplikovať na väčšiu časť územia v krajine, na ktorom by zisťovanie jednotlivých parametrov bolo časovo náročné. Takýto proces môže uľahčiť pravidelný monitoring a výsledná databáza môže slúžiť ako podklad pre výberové konania na údržbu zelene.

9. Prehľad literatúry a použitých zdrojov

Odborné publikácie

Adamec, A., 2008. *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Praha: Grada, 160 s. ISBN 978-80-247-2156-9.

Birdal A.C., Avdan U., Türk T., 2017: Estimating tree heights with images from an unmanned aerial vehicle. In: *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, roč. 8, č. 2, 1144-1156 s.

Bulíř, P., 1988. *Vegetační doprovody silnic*. Průhonice: VŠÚOZ, 198 s.

Bulíř, P., Škorpík, M., 1987. Rozptýlená zeleň v krajině: Typologie, rozšíření, navrhování, základání a pěstování. Praha: Sempra, 110 s.

Ganz, S., Käber, Y., Adler, P., 2019. Measuring tree height with remote sensing – A comparison of photogrammetric and LiDAR data with different field measurements. In: *Forests*, roč. 10, č. 8, 694 s.

Guerra-Hernández J., González-Ferreiro E., Sarmiento A., Silva J., Nunes A., Correia A.C., Fontes L., Tomé M., Díaz-Varela R., 2016: Using high resolution UAV imagery to estimate tree variables in Pinus pinea plantation In: *Forest Systems* roč. 25, eSC09.

Hollaus, M. a kol., 2014. *High resolution aerial images from UAV for forest applications state-of-the-art*. The consortium of the project Interreg Alpine Space, Forest Resources & LiDAR, 2-3-2-FR.

Hrušková, M., Větvička, V., 2013. *Aleje: krása ohroženého světa*. Praha: Mladá fronta, 184 s. ISBN 978-80-204-2783-0.

Karas, J., 2017. *222 tipů a triků pro drony*. Brno: ComputerPress, 208 s. ISBN 978-80-251-4874-7.

Krause, S., Sanders, T.G.M., Mund, J-P., Greve, K., 2019. UAV-Based Photogrammetric Tree Height Measurement for Intensive Forest Monitoring. In: *Remote Sens*, roč. 11, č. 7, 758 s.

Kropáček, J., Moravec, D., Komárek, J., 2020. *Dálkový průzkum – I*. Praha: ČZU, 122 s.

Li, W., Guo, Q., Jakubowski, M. K., Kelly, M. 2012. A new method for segmenting individual trees from the lidar point cloud. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, roč. 78, č. 1, 75-84 s.

- Lillesand, T., Chipman, J., Kiefer, R., 2015. *Remote Sensing and Image Interpretation, 7th Edition*. New York: John Wiley & Sons Inc., 736 s. ISBN 978-1-118-34328-9.
- Lisein, J., Pierrot-Deseilligny, M., Bonnet, S., Lejeune, O., 2013. A Photogrammetric Workflow for the Creation of a Forest Canopy Height Model from Small Unmanned Aerial System Imagery. In: *Forests*. roč. 4, č. 4, 922-944 s.
- Miřijovský, J., 2013. *Bezpilotní systémy: sběr dat a využití ve fotogrammetrii*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 169 s. ISBN 978-80-244-3923-5.
- Moudrý V., Urban R., Štroner M., Komárek J., Brouček J., et Prošek J. 2019. Comparison of a commercial and home-assembled fixed-wing UAV for terrain mapping of a post-mining site under leaf-off conditions. In: *International journal of remote sensing* 40(2), 555-572 s.
- Näsi, R., Honkavaara, E., Lyytikäinen-Saarenmaa, P., Blomqvist, M., Litkey, P., Hatala, T., Holopainen, M., 2015. Using UAV-based photogrammetry and hyperspectral imaging for mapping bark beetle damage at tree-level. In: *Remote Sensing*, roč. 7, č. 11, 15467-15493 s.
- Panagiotidis, D., Abdollahnejad, A., Surový, P., Chiteculo, V., 2017. Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. In: *International Journal of Remote Sensing*, č. 38, 8-10 s.
- Pavelka, K., 2009. *Fotogrammetrie I: praktická cvičení*. Praha: ČVUT, 200 s. ISBN 978-80-01-04249-6.
- Ryba, J., 2004. *K historii silniční dopravy na území České republiky*. Pardubice: Institut Jana Pernera, 182 s. ISBN 80-86530-14-0.
- Scaioni, M., Longoni, L., Melillo, V., Papini, M., 2014. Remote Sensing for Landslide Investigations: An Overview of Recent Achievements and Perspectives. In: *Remote Sensing*. roč. 6, č. 10, 53 s. ISSN 9600-9652.
- Schejbal, C., Homola, V., Staněk, F., 2004. *Geoinformatika*. Košice: PONT, 209 s. ISBN 80-967611-8-8.
- Sibona, E., Vitali, A., Meloni, F., Caffo, L., Dotta, A., Lingua, E., Motta, R., Garbarino, M., 2017. Direct measurement of tree height provides different results on the assessment of lidar accuracy. In: *Forest*, roč. 8, č. 7
- Sklenička, P., 2003. *Základy krajinného plánování*. Praha: Skleničková, 321 s. ISBN 80-903206-1-9.

- Striegler, R., Ambros, J., a kol., 2014. *Multifaktorová analýza dopravní nehodovosti: metodika provádění*. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 39 s. ISBN 978-80-88074-01-4.
- Šerá, B., 2005. Zelené doprovody silnic ve volné krajině. In *Životné prostredie*. roč. 39, č. 4, 208 – 211 s. ISSN 0044-4863.
- Šmidrkal, J., 1985. *Fotogrammetrie I – Teoretické základy*. Praha: ČVUT, 228 s.
- Šucha, M., Vlčková, I., Černochová, D., Zámečník, P., Rehnová, V., Plíhal, J., 2016. *Terminologický a výkladový slovník dopravní psychologie, česko-slovensko-anglicko-německý*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 340 – 352 s. ISBN 978-80-244-5138-1.
- Tomašík J., Mokroš M., Saloň Š., Chudý F., Tunák D., 2017. Accuracy of photogrammetric uav-based point clouds under conditions of partially-open forest canopy. In: *Forests* roč. 8, 151 s.
- Trnka, P., 2001. Ekologické aspekty plošné a bodové zeleně v krajině. In: *Obnova plošné a bodové zeleně v krajině*. Brno: MZLU, 99-106 s.
- Veličková M., Velička, P. a kol., 2013. *Aleje české a moravské krajiny: historie a současný význam*. Praha: Dokořán, 245 s. ISBN 978-80-7363-413-1.
- White, J.C., Stepper, C., Tompalski, P., Coops, N.C., Wulder, M.A., 2015. Comparing ALS and image-based point cloud metrics and modelled forest inventory attributes in a complex coasted forest environment. In: *Forests*, roč. 6, č. 10, 3704-3732 s.
- Yurtseven, H., Akful, M., Coban, S., Gulci, S., 2019. Determination and accuracy analysis of individual tree crown parameters using UAV based imagery and OBIA techniques, In: *Measurement*, č. 145, 51-664 s.
- Zarco-Tejada P. J., Diaz-Varela R., Angileri V., Loudjani P., 2014. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. In: *European journal of agronomy*, č. 55, 89-99 s.
- Žemlička, Z., Mynářik, J., 2008. *Doprava a přeprava*. Praha: Nadatur, 161 s. ISBN 978-80-7270-030-1.
- Žížala, D., Krása, J. a kol., 2016. *Monitoring erozního poškození půd v ČR nástroji dálkového průzkumu Země: metodika*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 154 s. ISBN 978-80-87361-63-4.

Legislatívne zdroje

Zákon č. 111/1994 Sb., o cestnej doprave.

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochrane prírody a krajiny.

Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemných komunikáciách, v platnom znení.

Zákon č. 361/2000 Sb., o premávke na pozemných komunikáciách a o zmenách niektorých zákonov.

Internetové zdroje

Baker, B. 2019. UAV evolution – how natural selection directed the drone revolution. In: Army technology (online) [cit.2022-17-03], dostupné z <https://www.army-technology.com/features/featureuav-evolution-natural-selection-drone-revolution/>

CENIA, ©2013: Vítejte na Zemi ... : Multimediální ročenka životního prostředí (online) [cit.2022-17-03], dostupné z <https://invenio.nusl.cz/record/363473?ln=en>

ČSÚ, ©2021: Štatistická ročenka Českej republiky 2021 (online) [cit.2022-03-18], dostupné

[z https://www.czso.cz/documents/10180/143520724/32019821.pdf/b741d5a1-5ea0-4698-843d-4bcaa3ac6c20?version=1.1](https://www.czso.cz/documents/10180/143520724/32019821.pdf/b741d5a1-5ea0-4698-843d-4bcaa3ac6c20?version=1.1)

Horcher, A., Visser, R., 2010. Unmanned Aerial Vehicles: Applications for Natural Resource Management and Monitoring (online) [cit.2022-17-03], dostupné z <https://www.semanticscholar.org/paper/Unmanned-Aerial-Vehicles%3A-Applications-for-Natural-Horcher-Visser/73bff6485b079f8915249f827cd43f5a1ffc412a>

MDČR, ©2013: Letecký předpis: Pravidla létání – L2 (online) [cit.2022-15-03], dostupné z <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

MDČR, ©2020: Stratégia BESIP 2021-2030 (online) [cit.2022-18-03], dostupné z <https://www.ibesip.cz/Besip/media/Besip/data/web/Strategie-BESIP-2021-2030.pdf>

MDČR, ©2021: Centrálny register vozidiel – štatistiky cestnej dopravy (online) [cit.2022-18-03], dostupné z <https://www.mdcz.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Centralni-registr-vozidel>

MŽP, ©2020: Správa o životnom prostredí Českej republiky (online) [cit.2022-17-03], dostupné z <<https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2021/11/Zprava2020.pdf>>

PČR, ©2021: Štatistika nehodovosti (online) [cit.2022-17-03], dostupné z <<https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09MQ%3d%3d>>

Ostatné zdroje

Nikon Forestry Pro II laser range finder

Drone eBee X: fixed wing drone, senseFly

S.O.D.A. photogrammetry camera, senseFly

10. Zoznam obrázkov a tabuliek

Obrázok 1 Klasifikácia cestnej dopravy, zdroj: vlastné spracovanie, Adamec (2008)	4
Obrázok 2 Počet registrovaných vozidiel v ČR, zdroj: vlastné spracovanie podľa Ministerstva dopravy ČR	5
Obrázok 3 Zrážka s pevnou prekážkou v ČR, zdroj: vlastné spracovanie podľa Štatistických ročeniek PČR.....	12
Obrázok 4 Reálny a predpokladaný vývoj usmrtených a zranených osôb, zdroj: Ministerstvo dopravy a BESIP	13
Obrázok 5 Emisie znečisťujúcich látok a plynov z dopravy, zdroj: správa o ŽPČR za rok 2020	14
Obrázok 6 Poloha výskumných oblastí, zdroj: vlastné spracovanie	20
Obrázok 7 Schéma spracovania dát, zdroj: vlastné spracovanie.....	22
Obrázok 8 Nikon Forestry Pro II, zdroj: vlastné spracovanie.....	23
Obrázok 9 Ukážka merania, zdroj: web Nikon.....	23
Obrázok 10 senseFly eBee X, zdroj: web senseFly	24
Obrázok 11 senseFly eBee X, zdroj: vlastné spracovanie	24
Obrázok 12 senseFly S.O.D.A, zdroj: web senseFly	24
Obrázok 13 Mračno bodov v úseku diaľnice D1, zdroj: vlastné spracovanie v programe Agisoft Metashape Professional.....	26
Obrázok 14 Ukážka nDSM v prostredí ArcMap 10. 8. 1., zdroj: vlastné spracovanie	27
Obrázok 15 Ukážka CHM v prostredí ArcMap 10. 8. 1., zdroj: vlastné spracovanie	28
Obrázok 16 Súhrnná schéma algoritmu, zdroj: vlastné spracovanie	32
Obrázok 17 Ukážka v nepravých farbách, vyhodnotenú potencionálne nebezpečné stromy, zdroj: vlastné spracovanie	33
Obrázok 18 Ortofotomozaika lokality D1, zdroj: vlastné spracovanie.....	33
Obrázok 19 Ukážka vyhodnotených potencionálne nebezpečných stromov, zdroj: vlastné spracovanie	34
Obrázok 20 Ukážka časti vyhodnotených potencionálne nebezpečných stromov, zdroj: vlastné spracovanie	36
Obrázok 21 Ukážka časti vyhodnotených potencionálne nebezpečných stromov, zdroj: vlastné spracovanie	38

Tabuľka 1 Výkon cestnej dopravy ČR, zdroj: vlastné spracovanie podľa Štatistickej ročenky ČR za rok 2021	4
Tabuľka 2 Prehľad odborných štúdií, zdroj: vlastné spracovanie.....	18
Tabuľka 3 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie	34
Tabuľka 4 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie	35
Tabuľka 5 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie	37
Tabuľka 6 Ukážka výstupnej databázy, zdroj: vlastné spracovanie	38
Tabuľka 7 Porovnanie jednotlivých výšok stromov podľa lokalít, zdroj: vlastné spracovanie.....	40
Tabuľka 8 Popisné charakteristiky pre jednotlivé lokality, zdroj: vlastné spracovanie	41
Tabuľka 9 Výsledky jedno-výberového t-testu pre jednotlivé lokality, zdroj: vlastné spracovanie.....	41