



KATEDRA GEOINFORMATIKY

Univerzita Palackého v Olomouci | Přírodovědecká fakulta

HODNOCENÍ VNĚJŠÍCH VLIVŮ NA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVU POMOCÍ GEOINFORMATICKÝCH METOD

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

Studijní program: P1314 Geografie

Obor studia: 1302V011 Geoinformatika a kartografie

Školitel: doc. Ing. Zdena DOBEŠOVÁ, Ph.D.

Mgr. Michal KUČERA

ASSESSMENT OF EXTERNAL INFLUENCES ON RAIL TRANSPORT USING GEOINFORMATIC METHODS

PH.D. THESIS SUMMARY

Study Programme: Geography

Specialisation: Geoinformatics and Cartography

Supervisor: doc. Ing. Zdena DOBEŠOVÁ, Ph.D.

Department of Geoinformatics
Faculty of Science, Palacký University Olomouc

Olomouc 2024

Disertační práce byla vypracována v distanční formě doktorského studia na Katedře geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

Dissertation thesis was compiled within Ph.D. studies at the Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University Olomouc, Czech Republic.

Předkladatel / Submitter:

Mgr. Michal KUČERA

Školitel / Supervisor:

doc. Ing. Zdena DOBEŠOVÁ, Ph.D.

Katedra geoinformatiky

Přírodovědecká fakulta

Univerzita Palackého v Olomouci

17. listopadu 50

771 46 Olomouc

Obhajoba disertační práce se koná před komisí pro obhajoby disertačních prací doktorského studia v oboru P1314 Geografie, studijním oboru 1302V011 Geoinformatika a kartografie, v prostorách Katedry geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, 17. listopadu 50, 771 46 Olomouc.

The defence of the dissertation thesis will be held at the commission for the defence of dissertation thesis of Ph.D. degree in study programme P1301 Geography, specialisation Geoinformatics and Cartography, in the premises of the Department of Geoinformatics, Faculty of Science, Palacký University Olomouc, 17. listopadu 50, 771 46 Olomouc.

S disertační prací je možno se seznámit na studijním oddělení Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, 17. listopadu 12, 77 46 Olomouc.

The dissertation thesis is available at the Study Department, Faculty of Science, Palacký University in Olomouc, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc.

© Michal Kučera, 2024

© Univerzita Palackého v Olomouci, 2024

ISSN 1805-7500

ISBN 978-80-244-6527-2

OBSAH

1. ÚVOD.....	4
2. CÍLE PRÁCE.....	5
3. METODY ŘEŠENÍ A POSTUP.....	6
4. VÝSLEDKY	8
5. DISKUZE	21
6. ZÁVĚR	23
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	26
Summary	27
Životopis	28
Průběh studia	29
Publikační činnost	30

1. ÚVOD

V současné době dochází k zaznamenávání a uchovávání velkého množství dat, včetně dat s prostorovou lokalizací. Většina z nich však nachází uplatnění pouze pro účely, ke kterým byla pořizována. Často se tak děje pro jejich nízkou povědomost či dokonce nepřístupnost. Tím ovšem nedochází k využití jejich plného možného potenciálu. Není zajištěna maximalizace přínosu již vynaložených prostředků a zdrojů nutných k jejich pořízení. Postupně však v této oblasti dochází k pozitivnímu vývoji, kdy zejména subjekty veřejné správy státu zřizují dostupné datové sklady. Již existující zdroje tak mohou sloužit dalším studiím a být přínosné pro rozvoj státu. Problematické může být sdílení dat soukromého sektoru, kdy náklady nese pořizovatel a musí zajistit jejich úhradu.

Hlavní myšlenka této disertační práce cílí na využití nejvyššího možného potenciálu již existujících datových sad pro hodnocení vlivů na železniční dopravu. Snahou je vhodně zkombinovat informace pocházející z různých zdrojů, tedy i těch, které nebyly primárně pořizovány za účelem využití v oblasti dopravy.

Tato práce využívá vybrané datové sady pro stanovení úrovně rizikovitosti stromové vegetace nacházející se v blízkosti železniční infrastruktury. V případě nepříznivých povětrnostních podmínek představují tyto porosty ohrožení pro drážní provoz. Cílem je vhodnou kombinací několika datových zdrojů o stromové vegetaci stanovit míru ohrožení jednotlivých traťových úseků a tím umožnit zajištění opatření. Stav porostu se může velice dynamicky měnit, proto je vhodné ho sledovat dlouhodobě a zajistit pravidelnou aktualizaci dat. Sběr dat s vysokou periodicitou aktualizace může být však značně nákladný. Vhodným řešením je využití družicových snímků, které poskytují aktuální informace v pravidelných cyklech. Tato data mohou najít uplatnění zejména při posouzení nejproměnlivějšího parametru stromů a to jejich zdravotního stavu. Tento stav především ovlivňuje odolnost proti působení vnějších vlivů. Nižší prostorové rozlišení dat je kompenzováno rozsahem pokrytého území. Je tak umožněno pravidelné vyhodnocení stavu porostu nacházejícího se v blízkosti železniční infrastruktury při minimálních nákladech.

Přínos této disertační práce spočívá především ve vytvoření metodiky, kombinující různé datové zdroje pro stanovení ohrožení drážní infrastruktury. Na základě získaných informací mohou být přijata opatření vedoucí k prevenci před mimořádnými událostmi. Rovněž dochází k získání aktuálního přehledu o stavu vegetace v blízkosti této infrastruktury, který může být přínosný především pro jejího správce.

2. CÍLE PRÁCE

Hlavní cíl této práce je zaměřen na návrh metodiky k vyhodnocení rizika pro železniční infrastrukturu, které vyplývá ze stromové vegetace nacházející se v její blízkosti. Hlavní výzkumnou otázkou disertační práce je:

- *Je možné na základě dostupných dat stanovit ohrožení železniční infrastruktury přilehlou vegetací?*

Úroveň ohrožení bude stanovena na základě parametrů vegetačního pokryvu: *druhá skladba, výška a zdravotní stav porostu*. Vyhodnocení zdravotního stavu je žádoucí provádět opakovaně a v pravidelných periodách. Díky tomu by docházelo vždy k posouzení aktuálního stavu a současně ke sledování jeho vývoje. Z tohoto důvodu je vhodné proces založit na využití družicových snímků, které představují dostupný zdroj dat pokrývající rozsáhlé území s pravidelnou aktualizací. Kvůli jejich nižšímu prostorovému rozlišení by tato data sloužila především pro získání úplného přehledu o zdravotním stavu vegetace v blízkosti infrastruktury na celém území ČR. Zjištěné problematické oblasti by v případě potřeby byly následně vyhodnoceny ve větším detailu prostřednictvím přesnějších dat a pozemního šetření. Metodika bude kvůli charakteru použitých dat cílit zejména na stanovení rizik rozsáhlejších souvislých stromových porostů.

Na základě znalosti ohrožení jednotlivých železničních úseků bude možné zavádět opatření vedoucí ke zvýšení bezpečnosti provozu. Tím by došlo ke snížení počtu mimořádných událostí a zajištění plynulosti dopravy, především v období nepříznivých povětrnostních podmínek. Současně by byly sníženy ekonomické dopady způsobené pádem dřevin na železnici.

Proces vyhodnocení bude založen na geoinformatických metodách a bude snahou ho automatizovat a snížit tak potřebu lidského zásahu. Základem bude zpracování rastrových dat, na které bude aplikována mapová algebra. Vážený součet vstupních rastrů bude sloužit pro sestavení výsledného rastru s mírou ohrožení v ochranném pásmu kolem železniční infrastruktury. Toto pásmo bude vymezeno z vektorových dat. Úroveň ohrožení v jednotlivých úsecích tratě budou posuzovány prostřednictvím prostorových analýz v geografickém informačním systému (GIS).

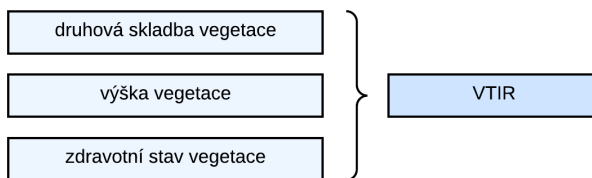
3. METODY ŘEŠENÍ A POSTUP

Disertační práce analyzuje ohrožení železniční tratě stromovou vegetací pomocí geoinformatických metod a metod dálkového průzkumu Země.

Hlavní úkol spočívá ve vytvoření metodiky pro stanovení míry ohrožení železnice přilehlou stromovou vegetací. Na základě posouzení několika vybraných parametrů porostu, bude stanoveno riziko, které představuje. Výběr parametrů bude proveden na základě odborné literatury a názorů odborníků. Budou vybrány ty, které mají významný vliv na vznik nebezpečí. Mezi ně se řadí zdravotní stav vegetace. Jeho určení bude založeno na vyhodnocení vegetačního indexu z družicových snímků Sentinel-2 (ESA, 2022). Tento zdroj dat byl vybrán pro častou periodicitu snímování a dostupnost. Nižší prostorové rozlišení se nejeví jako problematické, protože cílem je pravidelné hodnocení zdravotního stavu vegetace na území České republiky. Metodika primárně necílí na identifikaci rizik samostatně stojících stromů, pro kterou by muselo být užito prostorově detailnějších datových zdrojů.

Snímky byly nejprve předzpracovány ve smyslu aplikace atmosférických korekcí a zároveň došlo k odstranění pixelů zasažených vysokou oblačností. V dalším kroku byly použity pro výpočet vegetačního indexu NDVI (Normalized difference vegetation index). Ten byl stanoven pro vybraná období (květen, červen, září) dvou po sobě následujících roků. Volba byla přizpůsobena počtu dostupných bezoblačných expozic. Následně došlo k porovnání shodných období v jednotlivých letech a byla tak zjištěna meziroční změna hodnoty indexu. Hodnota indexu závisí na množství chlorofylu ve vegetaci, tato znalost může být následně využita k určení zdravotního stavu. V případě, že dochází k výraznému poklesu hodnoty indexu, je možné předpokládat negativní vývoj zdravotního stavu porostu. Během vyhodnocení je nutné zohlednit vegetační dobu porostu, ve které se nachází v době pořízení snímků.

Zdravotní stav stromové vegetace byl doplněn o další zdroje, které porost charakterizují. Konkrétně se jednalo o *výšku porostu a typ druhové skladby*. Cílem bylo stanovit objektivnější rizikovost porostu založenou na více jeho parametrech. Data o výšce porostu a druhové skladbě byla zapůjčena pro účely disertační práce z Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL). Hodnoty jednotlivých vstupních rastrových dat byly převedeny do formy vážených hodnot. Stanovené váhy odpovídají předpokládané míře ohrožení vyplývající z dané vlastnosti a její úrovně. Vhodnou kombinací všech vstupních parametrů došlo k výpočtu indexu **VTIR (Vegetation Threat Index on the Railway infrastructure)**, který vyjadřuje předpokládanou míru ohrožení železnice přilehlou vegetací (obr. 1). Způsob výpočtu indexu VTIR je vlastním návrhem autora disertační práce M. Kučery.



Obr. 1 Použitá data pro výpočet míry ohrožení železnice přilehlou vegetací (VTIR)

Metodika byla aplikována jako **pilotní studie na území Libereckého kraje**, kde se nachází větší počet železničních úseků procházejících lesním porostem. Celé území České republiky nebylo v první fázi vyhodnoceno z důvodu vysoké výpočetní náročnosti. Důležité je zejména ověření správnosti navrženého postupu a zvolených hodnot vah vstupních parametrů na vybraném testovacím území. Metodika by v případě potřeby mohla být rozšířena o další datové zdroje pro zpřesnění výsledku, např. sklon reliéfu, orientace terénu, srážkový úhrn a další.

Využití metodiky na území Liberecké kraje bylo publikováno v článku:

KUČERA, M., DOBEŠOVÁ, Z. Analysis of the Degree of Threat to Railway Infrastructure by Falling Tree Vegetation, MDPI-Basel, ISPRS Int. J. Geo-Inf. Switzerland, 2021, 10 (292), 24 p. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050292>, Special Issue GIS in Sustainable Transportation.

Metodika byla prezentována také na dvou konferencích:

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z., Využití QGIS pro zpracování dat míry ohrožení železnice, Žilina: OSSCONF 2019.

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z., Železniční trať a hodnocení lesní vegetace, Praha: GIS Esri 2019.

Výsledkem pilotní části byl především návrh prvotní metodiky pro stanovení míry ohrožení železnice přilehlou stromovou vegetací.

Následně byla metodika upravena zejména ve smyslu změny hodnot vstupních vah parametrů, podle názoru expertů prostřednictvím aplikace metody AHP (Ramík, 1999). Podle upraveného postupu byla následně spočítána míra ohrožení v ochranném pásmu železnice na celém území České republiky jako **Studie 2**. Vypočítaná velikost ohrožení byla vyjádřena indexem **IVTIR (Improved Vegetation Threat Index on the Railway infrastructure)**. Mírná úprava názvu indexu slouží především k jednoznačnému odlišení výsledků stanovených první pilotní studií a druhou studií pro celé území ČR.

Pro zpracování byla nejvýznamnější data získaná od Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů, konkrétně se jednalo o druhovou skladbu lesů (ÚHÚL, 2018a) a jejich výška (ÚHÚL, 2018b). Ve Studii 2 byly výška porostu vyhodnocena prostřednictvím dat globálního výškového modelu, který kombinuje zdroj GEDI a Sentinel-2 (Lang et al., 2023). Pro vyhodnocení zdravotního stavu ve formě posouzení meziroční změny vegetačního indexu NDVI, bylo využito družicových snímků Sentinel-2 (ESA, 2022). Pro lokalizaci železniční infrastruktury byly použita data Správy železnice, státní organizace (SŽ). Jednalo se o vektorovou vrstvu průběhu kolejí s vymezením jejich ochranného pásma (SŽ, 2019b) (SŽ, 2023). Pro vyhodnocení získaných výsledků se skutečným stavem bylo využito databáze od SŽ se záznamy mimořádných událostí způsobených pádem stromu do kolejíště nebo srážkou vlaku se stromem (SŽ, 2019a).

4. VÝSLEDKY

Výsledky je možné rozdělit na dvě části, kdy první se zaměřuje především na návrh metodiky pro vyhodnocení ohrožení plynoucího pro železnici z přilehlé vegetace a výběr vhodných dat. Tato část je označována jako pilotní studie. Druhá část na ni navazuje a navrženou metodiku dále rozvíjí pro zpřesnění a zkvalitnění výsledku.

Obě části jsou založeny na třech vybraných attributech stromové vegetace nacházející se v ochranném pásmu železnice. První část provádí vyhodnocení ohrožení pouze na území Libereckého kraje. Díky tomu se může zaměřit především na posouzení vhodného sestavení metodiky. Druhá část pak vyhodnocuje již celé území ČR. Jednotlivé vstupní atributy jsou v obou případech syntetizovány do výsledné hodnoty indexu ohrožení železnice, který zároveň vypovídá o rizikovosti porostu. Dochází tak k popisu stavu vegetace v okolí dráhy a současně k identifikaci míst, které se jeví jako nebezpečné, zejména za intenzivních povětrnostních podmínek.

Pro jednoznačné rozlišení výsledku získaných v obou částech je výsledný index ohrožení označován v pilotní studii jako VTIR a po jeho úpravě v navazující studii pak jako IVTIR.

Celková rozloha ochranného pásma železniční dráhy v České republice je 1 140 km². Více než pětinu pak pokrývají lesy, téměř 250 km². Z tohoto důvodu je sledování stavu dřevin pro zajištění bezpečného a plynulého provozu vysoce žádoucí.

Sestavené výsledné rastery jsou dostupné ke stažení na webové adrese <https://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/phd/kucera24>.

Pilotní studie

Celková míra ohrožení železnice blízkou stromovou vegetací byla sestavena kombinací hodnot vybraných porostních atributů (*zdravotní stav, výška, druh*). Jejich původní hodnoty byly upraveny do podoby vážených hodnot, a to dle předpokládané hrozby vybraného parametru a jeho úrovně. Tyto váhy byly následně mezi sebou násobeny a byla získána hodnota korespondující s úrovní vykazovaného nebezpečí.

Index ohrožení železnice stromovou vegetací (VTIR) byl vypočítán pro všechny lesní plochy nacházející se na území Libereckého kraje. V této formě je výsledek nutné označovat jako index ohrožení stromovou vegetací. Pokud dojde k výběru pouze těch ploch, které se nachází v blízkosti železnice, pak dochází k jeho zkonkretizování na index ohrožení železnice stromovou vegetací.

Kategorie s nejnižší mírou ohrožení pokrývá 21,8 % ochranného pásma železnice. Její rozloha je 1 183 ha z celkové rozlohy pásma 5 411 ha. Tato oblast nevykazuje zvýšené riziko ohrožení, a proto není nutné věnovat jí zvýšenou pozornost.

Na rozloze 291 ha (5,3 %) se nachází druhá kategorie se střední mírou ohrožení (tab. 1). Zde je již vhodné zajistit pravidelný dohled nad stavem stromových porostů. Na tomto území také vzrůstá význam případných přijímaných opatření, zejména provádění pravidelného prořezu dřevin. Nejvyšší míra ohrožení se nachází v oblasti 49 ha (0,9 %). V případě pokračujícího chřadnutí způsobeného suchem (zaznamenáno na území během roku 2018), je zde předpoklad vysokého rizika vzniku mimořádných událostí. V těchto oblastech se jeví jako žádoucí vymýcení ochranného pásma železnice, které by bylo následně obnoveno mladým porostem či nejlépe keři.

Ve zbývajícím prostoru ochranného pásma se nenachází lesní vegetace, nebo ji tvoří porosty, jež získaly v druhovém ohodnocení váhu 0 (borovice kleč, mladé porosty nízkého vzrůstu – kultura), tedy nepředstavují ohrožení.

Tab. 1 Rozloha ochranného pásma železnice s vegetací podle úrovně ohrožení

	Kategorie ohrožení	Rozloha [ha]	Zastoupení na území ochranného pásma [%]
nízké	1 (<i>Index 1-99</i>)	1183	21,8
střední	2 (<i>Index 100-199</i>)	291	5,3
vysoké	3 (<i>Index 200-360</i>)	49	0,9

Studie 2: Výška porostu

Vyhodnocení výškového stavu vegetace v roce 2020 bylo provedeno pro ochranné pásmo železnice. Plochy bez vegetace nebo se zaznamenanou těžbou byly z analýzy odstraněny, protože nepředstavují pro přilehlou infrastrukturu ohrožení. V rasterových datech je každému pixelu přiřazena hodnota výšky v metrech, pro zpřehlednění výsledků však byly v tab. 2 kategorizovány po 5 m.

V zalesněných oblastech ochranného pásma železnice mají nejčtenější zastoupení stromy ve výškovém rozsahu 20 až 24 m. Konkrétně zaujímají 31,2 % posuzovaného území, což odpovídá rozloze 77 km². Do této kategorie spadají tři nejpočetnější výšky datového souboru a to 20, 21 a 22 m. Každá pokrývá území o rozloze mírně přes 16 km².

Z výsledků je patrné, že téměř 80 % stromů spadá do rozmezí výšek 15 až 29 m. Menších než 15 m je necelých 14 % a vyšších než 29 m pak 7,5 %. Nejvyšší stromy přesahující 40 m pokrývají 0,02 % zájmového území, které odpovídá ploše 0,05 km². Tyto nejvyšší stromy představují největší hrozbu.

Tab. 2 Výška dřevin nacházejících se v ochranném pásmu železnice

Výška [m]	méně než 5	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-40	více než 40
Plocha [km ²]	0,14	4,13	29,95	70,81	76,99	46,07	16,28	2,29	0,05
Zastoupení [%]	0,06	1,67	12,14	28,69	31,20	18,67	6,60	0,93	0,02

Pro výpočet výsledného ohrožení železnice byly vytvořeny čtyři kategorie s různým výškovým rozsahem:

- méně než 5 m
- 5-10 m
- 10-20 m
- více než 20 m

Toto zjednodušení bylo nutné zejména kvůli zvolenému postupu pro stanovení vah jednotlivých atributů, tedy pomocí dotazníkového šetření. Větší množství kategorií by mohlo být pro respondenty matoucí a negativně ovlivnit jejich rozhodování. Sestavené 4 skupiny vhodně pokrývají úroveň ohrožení vyplývající z výšky porostu, a proto se jeví jejich počet jako dostačující. Zastoupení dřevin v jednotlivých kategoriích je uvedeno v tabulce 3.

Tab. 3 Zastoupení dřevin v ochranném pásmu železnice podle kategorií výšky

Výška [m]	méně než 5	5-10	10-20	více než 20
Plocha [km ²]	4,27	2,25	102,63	157,97
Zastoupení [%]	1,60	0,84	38,42	59,14

Studie 2: Zdravotní stav porostu

Dílčí výsledek obsahuje informace o změně hodnoty vegetačního indexu NDVI mezi roky 2019 a 2020. Zjištěná hodnota vypovídá o vývoji zdravotního stavu v dané lokalitě. V případě zaznamenání jeho poklesu, dochází k úbytku biomasy, který je charakteristický pro chřadnutí. Opačný vývoj pak značí prospívání a rozrůstání vegetace. Při vyhodnocení je nutné zohlednit rozdílné růstové podmínky rostlin během dvou srovnávaných let, především rozložení srážkového úhrnu a teplotního ročního průběhu. Vyhodnocením tří vybraných období v každém roce a stanovení výsledné roční hodnoty prostřednictvím mediánu dílčích změn, byl však tento dopad významně snížen. Zjištěné záporné změny není možné přímo označit za místa s výskytem vegetace ve špatném zdravotním stavu, ale za lokality, na kterých dochází k jeho zhoršování. Hodnota změny pak odpovídá jeho intenzitě. Negativní vývoj vede ke snížení odolnosti dřevin a tím k narůstání rizika pro přilehlou železniční infrastrukturu. Hodnocení bylo provedeno pouze pro území v ochranném pásmu železnice, pokryté lesním porostem. Rovněž došlo k vyloučení míst, na kterých byla zaznamenána těžba. Ta případné riziko eliminuje. Jednotlivé pixely byly kategorizovány dle úrovně zjištěné změny vegetačního indexu do 7 kategorií:

- nárůst: *vysoký* (0,5; ∞); *střední* (0,3; 0,5>); *nízký* (0,1; 0,3>
- stagnace <-0,1; 0,1>
- pokles: *nízký* <-0,3; -0,1); *střední* <-0,5; -0,3); *vysoký* (- ∞; -0,5)

Celkový meziroční vývoj hodnoty vegetačního indexu NDVI, byl stanoven jako medián hodnot odpovídajících si pixelů ze všech tří ročních období. Tento postup zaručuje dosažení neobjektivnějšího výsledku, protože eliminuje mimořádné propady způsobené výrazně odlišnými růstovými podmínkami. Lokality, na kterých byl ve všech případech zjištěn negativní průběh, je možné jednoznačně označit za ohrožené.

Tab. 4 Lesní plochy v ochranném pásmu železnice dle meziroční změny vegetačního indexu NDVI

Kategorie		Změna NDVI indexu [-]	Zastoupení v zalesněném ochranném pásmu železnice [%]
nárůst	vysoký	více než 0,5	0,00
	střední	0,3 – 0,5	0,02
	nízký	0,1 – 0,3	1,55
stagnace		-0,1 – 0,1	95,99
pokles	nízký	-0,1 – -0,3	2,34
	střední	-0,3 – -0,5	0,10
	vysoký	méně než -0,5	0,00

Zjištěné změny indexu NDVI jsou uvedeny v tabulce 4. Z výsledku je patrné, že většina lesního porostu, který se nachází v ochranném pásmu železnice, vykazuje příznivý vývoj. Konkrétně téměř 96 % vegetace spadá do kategorie v rozmezí zaznamenané

meziroční změny -0,1 až 0,1. Pro ni je charakteristický vyrovnaný stav. Pozornost je však nutné věnovat lesním porostům, které pokrývají téměř 2,5 % zalesněných ploch ochranného pásma železnice. Ty vykazují meziroční propad hodnoty indexu NDVI v rozmezí -0,1 až -0,3.

Studie 2: Druhá skladba vegetace

Druhá skladba byla vyhodnocena u souvislých porostů nacházejících se v ochranném pásmu železnice, mimo ploch, na kterých byla zjištěna těžba, protože tyto lokality nepředstavují ohrožení.

Největší zastoupení mají dvě nejednoznačně vymezené kategorie: *ostatní jehličnaté* a *ostatní listnaté*. U nich nebylo na základě spektrálního chování možné přesně určit vyskytující se druh stromu, případně se může jednat o místa vícedruhového porostu. Na základě odborné literatury je znám fakt, že takové porosty se jeví jako odolnější proti působení vnějších vlivů (Vicena, 2006). Je tedy možné na ně nahlížet jako na lokality, od kterých lze očekávat nižší ohrožení.

Kategorie ostatní listnaté pokrývá plochu 123,6 km², která odpovídá podílu na porostu o velikosti 49,6 %. Tedy téměř polovinu souvislé stromové vegetace v ochranném pásmu dráhy tvoří smíšené listnaté porosty. Tyto struktury, jak již bylo zmíněno, vykazují vyšší úroveň odolnosti a jsou tedy vhodné pro umístění v blízkosti dopravní infrastruktury. Kategorie ostatní jehličnaté se nachází na území o velikosti 49,6 km², což odpovídá podílu téměř 20 %. I tyto smíšené porosty se vyznačují vyšší rezistencí než v případě monokultur.

Tab. 5 Druhá skladba lesního porostu v ochranném pásmu železnice

Druh dřeviny	Rozloha [km ²]	Zastoupení v ochranném pásmu železnice [%]
borovice	18,4	7,3
buk	10,6	4,2
dub	19,4	7,8
smrk	23,0	9,2
ostatní jehličnaté	49,6	19,9
ostatní listnaté	123,6	49,6
kultura	3,1	1,2

Rozlišenou dřevinou, jejíž výskyt je v posuzovaném území nejčtenější, je smrk (tab. 5). Ten se nachází na území o rozloze 23 km² a dosahuje 9% podíl na celkovém porostu. Především kvůli vzrůstajícím teplotám se v současnosti stávají porosty dominantně smrkové problematické. Zejména proto, že pro ně vhodné růstové klima se přesouvá do chladnějších vyšších nadmořských výšek. U stávajících porostů může docházet

ke chřadnutí, které snižuje jejich rezistenci vůči parazitům. To ve výsledku vede k celkovému poklesu odolnosti dřevin a nárůstu jejich rizikovosti. Méně rozsáhlé území pokrývají dubové porosty, konkrétně pak plochu o velikosti 19,4 km² (7,8 %). Pouze mírně menší plochu, a to 18,4 km² (7,3 %), zaujímá borovice. Téměř poloviční podíl vůči ostatním druhům pak vykazuje bukový porost, jeho zastoupení je pouze 4,2 %, to odpovídá území 10,6 km². Poslední obsaženou kategorií je kultura. Ta zahrnuje nově vysazený les, ve kterém je výška dřevin v rozmezí 1 až 1,5 m. Z této definice je patrné, že tyto stromy riziko pro přilehlou železnici nepředstavují.

Studie 2: Dotazníková šetření

Dotazníkové šetření bylo rozděleno do tří částí. První obsahovala posouzení hlavních parametrů porostu sloužící pro stanovení jeho míry hrozby. Druhá obsahovala jednotlivé druhy stromů a poslední sestavené výškové rozsahy vegetace. Každá část byla vyhodnocena samostatně. Celkové se do testování zapojilo 15 odborných respondentů (z celkového počtu 30 oslovených).

Výsledky první části cílily na posouzení hlavních parametrů porostu využívaných v této studii, tedy druhové skladby, výšky porostu a zdravotního stavu. Získané odpovědi účastníků vykazují míru homogenity priorit 72,6 %. Tato hodnota vypovídá o relativně vysoké shodě mezi dotazovanými. Průměrná shoda mezi účastníky byla 83,9 %. Na základě těchto zjištění je zřejmé, že výsledky jsou poměrně jednoznačné. Dle výsledku je nejdůležitějším atributem pro stanovení rizikovosti porostu zdravotní stav. S výjimkou dvou případů byl vždy vybrán respondenty jako nejvýznamnější, a to velice výrazně při srovnání s ostatními parametry (tab. 6). Jeho celková hodnota priority je 63,6 %. Druhou úroveň významnosti obsadil atribut výška porostu s výslednou prioritou 23,6 %. Pouze dva respondenti mu přisuzovali významně vyšší význam. Druhá skladba má výslednou prioritu 12,80 %.

Součástí výsledků nástroje AHP Online System (Goepel, 2018) je i údaj CR_{max} , ten vypovídá o konzistenci názoru v odpovědích respondenta. Jeho hodnota by neměla překročit úroveň 20 %. V takovém případě by se jednalo o rozporuplný výsledek, který by neposkytoval jednoznačný názor. V celém dotazníkovém šetření však takový případ nebyl zaznamenán. Při posouzení hlavních parametrů porostu dokonce v žádném případě nepřekročil hodnotu 4 %. Z toho je patrné, že respondenti měli v této části jednoznačný názor. Jeho nízká hodnota rovněž odráží menší počet dostupných možností, ze kterých mohl dotazovaný vybírat.

Tab. 6 Stanovené váhy jednotlivých parametrů porostu

Parametr	Přiřazená váha
Druhá skladba (V_{PD})	0,128
Výška porostu (V_{PV})	0,236
Zdravotní stav (V_{PZ})	0,636

Studie 2: Dotazníková šetření – Výška porostu

Jednotlivé hodnoty výšky porostu z datové sady byly rozděleny do 4 kategorií. Jejich hranice byly stanoveny na základě předpokládaného rizika ohrožení stromy tohoto vzrůstu. Rovněž v rámci zvoleného výškovém rozsahu by stromy měly představovat obdobnou úroveň nebezpečí. Správné sestavení kategorií je obtížné, a proto byl v dotazníku zahrnut i prostor pro možné vyjádření příhodnějšího vymezení výškových rozsahů. Ani jeden odborný respondent prostor pro návrh lepšího členění nevyužil a je ho tak možné považovat za vhodně sestavený.

Odpovědi v této části dotazníku opět vykazují vysokou míru homogenity priorit a to konkrétně 97,8 %. To vypovídá o opravdu vysokém vzájemném souladu priorit respondentů. Průměrná shoda mezi účastníky byla 97,8 %.

Výsledky potvrzují předpoklad, že vyšší strom představuje i vyšší úroveň ohrožení. Současně s tím dochází k posouzení úrovně rizikovosti mezi vymezenými výškovými kategoriemi. Z tabulky 7 je patrné, že většina respondentů očekává téměř dvojnásobné možné ohrožení u stromů dosahujících vzrůstu nad 20 m, než u stromů v rozsahu 10 až 20 m. Celková hodnota priority nejvyšších stromů je 59,1 %, u kategorie 10 až 20 m pak 25,8 %.

Výrazně nižší rizikovost je očekávaná u zbývajících dvou kategorií pokrývajících stromy nižšího vzrůstu. Ty patřící do rozsahu 5 až 10 m dosáhly celkové hodnoty priority 10,0 %, menší než 5 m pak 5,0 %.

Hodnota parametru CR_{max} , vypovídajícím o konzistenci odpovědí respondenta, ve většině případů nepřekračuje hodnotu 10 %. Pouze u 4 dotazovaných byla tato úroveň mírně překročena. Nedosáhla však limitní hodnoty 20 % a nemuselo tedy dojít k jejich vyřazení. Při porovnání jednotlivých částí dotazníkového šetření je však patrné, že tato část byla pro rozhodování nejnáročnější.

Tab. 7 *Váhy jednotlivých kategorií výšky porostu: váha vedlejší dle výšky stromu (V_{vv})*

Výška stromu [m]	Přiřazená váha
méně než 5	0,050
5-10	0,100
10,1–20	0,258
více než 20	0,591

Studie 2: Dotazníková šetření – Druhá skladba

V této části dotazníkového šetření došlo k posouzení rizikovosti 4 stromových druhů, které v krajině převládají (tab. 8). Jednalo se o borovici, buk, dub a smrk. Homogenita priorit dosáhla v této části úrovně 84,3 %, průměrná shoda mezi účastníky pak 91,2 %.

Kromě dvou dotazovaných byl za nejrizikovější druh označen smrkový porost. Ten ve srovnání s ostatními dosahuje výrazně vyšších hodnot priority okolo 60 %. Z toho vyplývá, že byl zvolen za nejproblematičtější dřevinu. Smrk výrazně převyšuje druhý zahrnutý jehličnatý druh a to borovici. V povědomí respondentů je zřetelný fakt, že očekávají menší úroveň odolnosti právě u jehličnanů. Tato skutečnost vyplývá z pro ně typického kořenového systému, který nedosahuje takových hloubek jako u listnatých stromů.

Na druhém místě se umístila borovice, pouze dva respondenti ji zvolili jako nejrizikovější druh. Zbývající účastníci u ní volili hodnoty priority pohybující se okolo 20 %, celková priorita pak dosáhla 22,6 %. U dvou respondentů byla zvolena jako bezpečnější dřevina než buk a dub. V porovnání vzniku možného nebezpečí u dvou listnatých druhů dopadl lépe dub, který dosáhl celkové hodnoty priority 6,9 %. Buk pak získal téměř dvojnásobnou hodnotu a to 10,4 %. Parametr CR_{max} pouze u 6 respondentů přesahuje hodnotu 10 %. Jeho nejvyšší úroveň je 15,6 %, nebylo tedy nutné přistoupit k vyřazení žádného záznamu šetření. Váhy jednotlivých stromových druhů jsou uvedeny v tabulce 8. Nejvyšší získal smrk (0,602), dále následovala s třetinovou hodnotou borovice (0,226), dále buk (0,104) a nejnižší hodnotu dosáhl dub (0,069). Mezi nejvíce a nejméně ohrožující dřevinou je patrný velice výrazný rozdíl, který dosahuje téměř desetinásobku předpokládaného rizika.

Tab. 8 Stanovené váhy jednotlivých druhů stromů: váha vedlejší dle druhu stromu (V_{VD})

Druh stromu	Přirazená váha
Borovice	0,226
Buk	0,104
Dub	0,069
Smrk	0,602
Ostatní listnaté*	0,069
Ostatní jehličnaté*	0,226

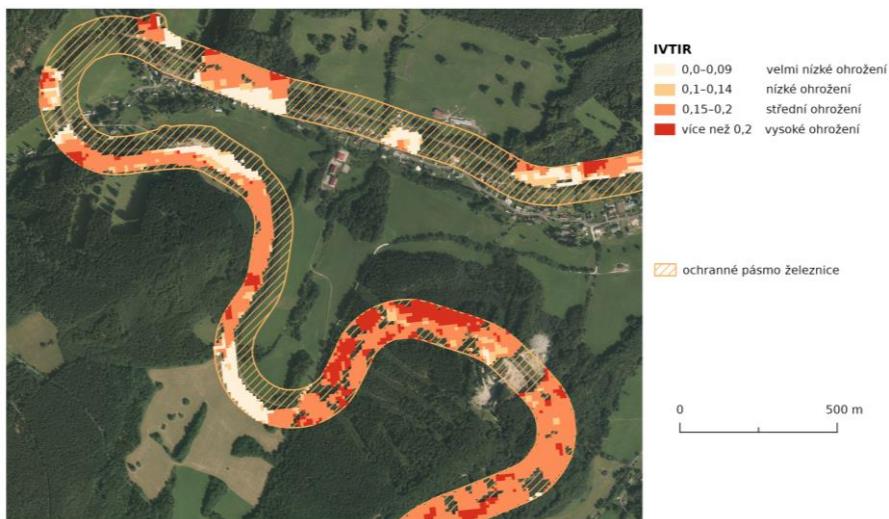
**Odvozeno z výsledků dotazníkového šetření. Na základě předpokladu vyšší odolnosti smíšeného porostu, získala každá kategorie nižší váhu z dvojice stromů, které do ní patří.*

Úplné vyhodnocení použité datové sady je problematické kvůli dvěma v ní vymezeným kategoriím: ostatní listnaté a ostatní jehličnaté. U nich nebylo možné na základě spektrálního chování provést jednoznačnou identifikaci výskytu konkrétního druhu stromu ve zdrojových datech, proto je obtížné stanovit rizikovost porostu. Rovněž se může jednat o vícedruhový porost, který je kvůli své pestré skladbě odolnější vůči vnějším vlivům. Na základě předpokladu vyšší odolnosti smíšeného porostu, získala každá kategorie nižší váhu z dvojice stromů, které do ní patří. Druh ostatní listnaté má přiřazenou váhu jako dub, ostatní jehličnaté má přiřazenou váhu jako borovice.

Studie 2: Index ohrožení IVTIR

Z vrstev sestavených v předchozích krocích byla sestavena výsledná vrstva, která poskytuje informaci o úrovni ohrožení vegetací prostřednictvím indexu IVTIR. Ten byl vypočítán pro všechny lesní porosty nacházející se na území České republiky. Cílem disertační práce je však vyhodnocení míry ohrožení pro železnici, z tohoto důvodu bylo zájmové území zúženo pouze na její ochranné pásmo. Index IVTIR však může najít své uplatnění i v jiných oblastech zájmu, mezi ty může patřit například vyhodnocení ohrožení silniční sítě.

Index IVTIR na území ČR pro období 2019/2020 nabývá hodnot v rozmezí -0,3 až 0,4. Záporné hodnoty odpovídají místům, na kterých došlo k meziročnímu nárůstu vegetačního indexu. Na základě dotazníkového šetření byl zdravotní stav vyhodnocen jako nejvýznamnější pro stanovení úrovně ohrožení vegetací z použitých parametrů. Jeho významný pozitivní nárůst se pak ve výpočtu projeví právě zápornou hodnotou indexu. Tato místa je možné považovat za plochy s nízkou úrovní ohrožení právě díky pozitivnímu rozvoji vegetace.



Obr. 2 Kategorizovaný index IVTIR dle úrovně ohrožení mezi roky 2019 a 2020 na vybraném území

Obrázek 2 znázorňuje stav vegetace, jež vykazuje vysoké úrovně indexu ohrožení. V těchto místech by mělo dojít k pozemnímu šetření a v případě identifikace ohrožení zajistit opatření. Díky nim by se zvýšila bezpečnost provozu a snížilo ohrožení železnice během mimořádných povětrnostních podmínek.

Studie 2: Stanovení kategorií indexu IVTIR

Z rasterového souboru s hodnotami indexu IVTIR byly vybrány pouze plochy nacházející se v ochranném pásmu železnice. Tento krok vychází z hlavního cíle disertační práce, který cílí na vyhodnocení úrovně ohrožení železnice přilehlou lesní stromovou vegetací. Zmenšení posuzovaného území rovněž umožňuje vyhodnotit úroveň ohrožení ve větším detailu.

Tab. 9 Hodnoty indexu IVTIR na lesních plochách v ochranném pásmu železnice mezi roky 2019 a 2020

Kategorie	IVTIR	Rozloha [ha]	Zastoupení [%]
bez ohrožení	méně než 0,0	356	1,6
velmi nízké ohrožení	0,0–0,09	7 583	34,6
nízké ohrožení	0,1–0,14	4 665	21,3
střední ohrožení	0,15–0,2	6 795	31,0
vysoké ohrožení	více než 0,2	2 537	11,6

Nejnižší zjištěná hodnota indexu IVTIR v ochranném pásmu železnice na území ČR pro období 2019/2020 byla $-0,285$, nejvyšší pak $0,426$. Z tohoto zjištění je patrné, že velikost ohrožení jednotlivých lesních porostů je silně variabilní. Tento fakt potvrzuje i rozložení hodnot v tabulce 9. Žádné ohrožení vykazuje 1,6 % lesních ploch v ochranném pásmu železnice, kdy jejich úroveň indexu IVTIR nepřesáhla 0. Velmi nízké ohrožení bylo zaznamenáno u téměř 35 % ploch, střední ohrožení u 31 % a vysoké u 11,6 %.

Hranice indexu IVTIR, při níž se stává porost pro přilehlou infrastrukturu nebezpečným, byla identifikována pomocí srovnání jeho hodnot v rasteru s *výskytem skutečných mimořádných událostí z let 2021 až 2024 způsobených pádem stromu*. Celkem se jednalo o 380 událostí, z nichž 65 se nacházelo mimo lesní vegetaci. Hodnotu indexu k nim tedy nebylo možné přiřadit. V těchto případech mohla být nehoda způsobena samostatně rostoucími stromy, které není navrhovaná metodika schopna odhalit. Avšak u zbývajících **315 událostí** (82 % z celkového počtu) by v případě identifikace ohrožení mohlo dojít k zajištění opatření a nehodám tak předejit.

Úroveň indexu IVTIR pro jednotlivé mimořádné události byla spočítána dvěma způsoby a to pomocí průměru a mediánu hodnot pixelů nacházejících se v jejich 20m okolí. Cílem tohoto kroku bylo zjištění dominantních hodnot indexu v okolí každé události. Mezi oběma hodnotami však byly zjištěny minimální diference. Z toho vyplývá, že okolní hodnoty k mimořádnostem jsou bez výraznějších rozdílů.

Výsledná hodnota pixelu nevychází pouze z hodnoty nacházející se v konkrétním místě výskytu mimořádnosti, ale bere v potaz úroveň ohrožení v okolní vymezené oblasti. Tím dochází k potlačení vlivu ploch bez stanovené úrovně indexu. Rovněž je zajištěno stanovení charakteristického ohrožení pro danou lokalitu. Je potlačen dopad případných extrémních samostatně vyskytujících se hodnot. V případě nepřesné lokalizace bodu pořizovatelem dat, je zvoleným postupem rovněž zajištěna korekce.

K identifikaci meze indexu VTIR, při kterém se stává porost významně ohrožujícím své okolí, byl využit opět průměr a medián všech hodnot IVTIR jednotlivých mimořádných událostí zmíněných v předchozím odstavci. Celková mediánová hodnota pro 315 událostí dosáhla úrovně 0,155 a průměrná pak 0,149. Je tak možné hovořit o zanedbatelném rozdílu výsledku pro obě spočítané charakteristiky.

Na základě zjištěných skutečností byly vymezeny kategorie indexu IVTIR dle očekávané úrovně ohrožení. Žádné ohrožení lze předpokládat u hodnoty indexu nižší než 0. Jeho záporné hodnoty vypovídají o meziročním zlepšení zdravotního stavu porostu. Velmi nízká úroveň ohrožení je v rozmezí 0,0 až 0,09, nízké ohrožení pak mezi 0,1 až 0,14. Následující kategorie již vypovídají o vyšší úrovni očekávaného ohrožení. Spodní hranice kategorie středního ohrožení byla odvozena od porovnání indexu IVTIR s výskytem skutečných mimořádných událostí. Její rozsah byl zvolen v rozmezí 0,15 až 0,2. Opravdu vysoké ohrožení lze očekávat u hodnot indexu vyšších než 0,2. K určení rozsahu vymezených kategorií bylo využito posouzení parametrů stromů do nich spadajících, dle předpokládaného vlivu na míru ohrožení.

IVTIR v krajích ČR

Detailnější analýza hodnot indexu ohrožení IVTIR byla provedena pro území jednotlivých krajů ČR. Na základě zjištění, že průměrná hodnota indexu ohrožení nabývá v blízkosti skutečných mimořádných událostí způsobených stromy hodnoty 1,5, je důraz kladem zejména na kategorie středního a vysokého ohrožení.

Nejvíce ohrožená železniční infrastruktura se nachází v Jihočeském kraji. Nejvyšší úroveň vysokého ohrožení, kdy index IVTIR přesahuje hodnotu 0,2 vykazuje zalesněná plocha ochranného pásma železnice o rozloze 511 ha. Střední úroveň pak byla zaznamenána na území 867 ha. Takto vysoké úrovně vyžadují detailnější posouzení a případné zajištění nápravných opatření vedoucích ke snížení úrovně ohrožení. Příčina vysokých hodnot indexu spočívá především v silném zastoupení jehličnatých lesů vysokého vzrůstu na území kraje. Počet mimořádností způsobených stromem však i přes takto vysoké hodnoty indexu dosahuje až 6. nejvyšší úrovně ze všech krajů. Hustota železniční sítě je v tomto kraji nejnižší, jedná se 94 km železnice na 1 000 km² území.

Nejvyšší počet mimořádností a to konkrétně 77, byl zaznamenán ve Středočeském kraji. Tato úroveň významně převyšuje hodnoty ostatních krajů, kdy druhý nejvyšší počet byl v Plzeňském kraji. Jednalo se o 44 mimořádností, což je nižší počet o 42 %. Středočeský kraj vykazuje index IVTIR středního ohrožení na 135 ha a nejvyššího ohrožení pak

na 974 ha. Tyto hodnoty v součtu dosahují 2. nejvyšší úrovně, je zde tedy patrná souvislost indexu s výskytem skutečných mimořádných událostí.

Je však nutné brát v potaz, že počet mimořádností významně ovlivňuje nahodilost výskytu mimořádných povětrnostních situací v jednotlivých krajích. Pokud nejsou na rizikové porosty kladeny zvýšené vnější tlaky, mohou odolat a nezpůsobit tak žádnou škodu. Přesto však představují potencionální ohrožení v budoucnosti a jejich identifikaci je možné jim předcházet.

Další kraje s nejvyšším zastoupením ohrožených ploch jsou Karlovarský a Liberecký kraj. Příčina souvisí s výskytem zalesněného hornatého území. Tratě procházející těmito odlehlými lokalitami je obtížné udržovat bez vzrostlé vegetace a mnohdy je to dokonce nemožné. Přesto však díky přesné identifikaci silně ohrožených území může dojít k zajištění lokálních opatření, tedy není nutné jejich celoplošné provedení. Tím roste reálná možnost zajištění bezpečného okolí železniční infrastruktury. Silné ohrožení v Libereckém kraji podporuje i počet zjištěných mimořádností, které dosahují 4. nejvyšší úrovně a to 33. V Karlovarském kraji pak došlo k zaznamenání 8. nejvyššího počtu nehod se stromem, konkrétně 24.

Druhou nejnižší rozlohu ohrožených ploch vykazuje Praha, tento region je však kvůli své silné urbanizaci, vyplývající z umístění hlavního města, atypický. Je tak na něj nutné nahlížet vůči ostatním krajům specificky. Také se zde nachází nejhustší železniční síť odpovídající 745 km železnice připadající na 1 000 km² území. Počet mimořádných událostí způsobených srážkou se stromem či jeho pádem na infrastrukturu byl mezi roky 2021 a 2024 pouze ve 4 případech. Území je tak možné charakterizovat jako bezpečné. Hodnota indexu IVTIR, spadajícího do dvou nejvyšších kategorií, vykazuje pouze 60 ha plochy.

Nejmenší hodnotu středního a vysokého ohrožení vykazuje Zlínský kraj, a to konkrétně na 50 ha území. Zjištěný fakt potvrzuje i nejnižší počet mimořádností v počtu 11 výskytů. Stejně hodnoty dosáhl i Pardubický kraj, který v součtu dvou nejvyšších úrovní ohrožení dosahuje 4. nejnižší úrovně.

Procentuální zastoupení ohrožených ploch stromovou vegetací na celkové rozloze zalesněného ochranného pásma železnice je uvedeno v tabulce 10. Nejvyšší hodnoty středního a vysokého ohrožení o velikosti 64 % dosáhl Olomoucký kraj. Takto vysoký podíl je možné spojovat s lokalitou CHKO Litovelské Pomoraví a pohořím Jeseníků, kde se nachází CHKO Jeseníky. Na těchto územích se nachází rozlehlé stromové porosty vysokého vzrůstu. Kvůli ochraně přírody a průchodem tratí horským územím není často možné zajistit dostatečné provádění údržby v okolí tratí, které by snížilo ohrožení. Dále následují s nejvyšším podílem ohrožených ploch Královéhradecký (61,1 %) a Liberecký kraj (60,2 %).

Nejnižší zastoupení dvou nejvíce ohrožených kategorií indexu IVTIR vykazuje Praha (14,1 %), Jihomoravský kraj (14,2 %) a Zlínský kraj (15 %).

Zjištěné skutečnosti potvrzují souvislost mezi vypočítanými hodnotami indexu IVTIR a skutečným výskytem mimořádných událostí způsobených stromovou vegetací. Na základě tohoto zjištění je možné sestavenou metodiku pro stanovení úrovně ohrožení železnice stromovou vegetací hodnotit jako správně navrženou.

Tab. 10 Kategorizované zastoupení hodnot indexu IVTIR v zalesněném ochranném pásmu železnice mezi roky 2019 a 2020 podle krajů

		Zastoupení v zalesněném ochranném železničním pásmu [%]						
		Kraj						
Kategorie	IVTIR	JHČ	JHM	KVK	HKK	LBK	MSK	OLK
bez ohrožení	méně než 0,0	1,2	2,6	2,2	0,5	1,4	1,0	0,6
velmi nízké ohrožení	0,0–0,09	19,9	64,2	27,4	16,9	19,9	39,3	21,9
nízké ohrožení	0,1–0,14	24,8	19,0	21,6	21,4	18,6	23,4	13,6
střední ohrožení	0,15–0,2	34,0	13,1	28,8	46,6	45,4	30,4	40,0
vysoké ohrožení	více než 0,2	20,0	1,1	20,1	14,5	14,8	5,9	24,0
Kategorie	IVTIR	PAK	PLK	PHA	STČ	ULK	VYS	ZLK
bez ohrožení	méně než 0,0	1,0	2,4	3,8	1,5	1,8	1,5	2,6
velmi nízké ohrožení	0,0–0,09	31,5	30,7	61,6	38,8	49,4	35,1	50,0
nízké ohrožení	0,1–0,14	17,2	23,6	20,5	23,6	20,0	17,9	32,5
střední ohrožení	0,15–0,2	35,6	32,9	13,9	31,7	23,5	27,5	12,8
vysoké ohrožení	více než 0,2	14,7	10,4	0,2	4,4	5,4	18,0	2,2

5. DISKUZE

Problematika pro vyhodnocení rizika přilehlou stromovou vegetací patří u nás i ve světě mezi velice málo zpracovávaná témata. Tuto skutečnost lze přisuzovat odlišnému způsobu výstavby tratí, která obvykle nedosahuje takové hustoty. Rovněž bývá ve většině případů zajištěno ochranné pásmo železnice bez vegetace, případně nízkého vzrůstu. Z tohoto důvodu nebylo možné čerpat existující zdroje v sobě přímo zahrnující zkoumanou oblast. Práce je však založena na výběru studií, které se dotýkají vyhodnocovaných okruhů, z nichž je tato studie sestavena. Rovněž došlo ke konzultaci navrženého postupu s odborníky v oboru dendrologie, lesnictví a dálkového průzkumu Země. Jejich návrhy a připomínky byly do metodiky zapracovány. Konkrétně byl do výzkumu zapojen například prof. RNDr. Vilém PECHANEC, Ph.D. (UPOL), RNDr. Jan BRUS, Ph.D. (UPOL), Ing. Pavel SAMEC, Ph.D. (Czech Globe), Ing. Tomáš ZAMEC (ÚHÚL), Ing. Jan HUBENÝ (ÚHÚL), Ing. Zdeněk SOUŠEK (ÚHÚL), Ing. Filip HÁJEK, Ph.D. (ÚHÚL), Ing. Roman ŠIMEK (ÚHÚL), Ing. Soňa TICHÁ, Ph.D. (MENDELU), Ing. Zdeněk ŠUP (Flora Olomouc) a další.

Vyhodnocení zdravotního stavu bylo provedeno na základě snímků družice Sentinel-2. Pomocí korekčních vrstev byla snaha o odstranění vlivu oblačnosti, avšak i přesto je její mírný projev ve výsledku patrný. Budoucí zlepšení je možné zajistit rozšířením časového období, ze kterého pochází vyhodnocované snímky. Rovněž by bylo možné provést kombinaci více zdrojů satelitních dat a pomocí korekčních přepočtů zajistit jejich kompatibilitu.

Výpočet rizikovitosti vegetace v pilotní studii prostřednictvím indexu VTIR je založen na vzájemném pronásobení vah vybraných parametrů porostu. Tím může docházet k zesílení jejich vlivu na výsledek v případě jejich vyšších hodnot. Cílem této části bylo zejména sestavení vhodného postupu zpracování a výběr dat. Významný vliv na výsledek VTIR má zjištěný zdravotní stav vegetace, tento předpoklad byl založen na existující odborné literatuře. Prostřednictvím dotazníkového šetření mezi odborníky v rámci Studie 2, byl významný vliv zdravotního stavu potvrzen i pro výpočet hodnoty indexu IVTIR.

Jednotlivé váhy sledovaných parametrů v pilotní studii byly stanoveny na základě teoretických znalostí a provedených analýz z oblasti lesnictví. Ve druhé Studii 2 pak byly váhy stanoveny prostřednictvím odborného názoru odborníků, zabývajících se řešenou problematikou. Váhy byly stanoveny pomocí metody AHP. Tento postup závisí na zkušenostech a znalostech jednotlivých respondentů a může být částečně zkreslen. Vyšším počtem dotazovaných byla snaha získat co nejobjektivnější informace, ale přesto je k tomuto faktu nutné přihlídnout. Výsledky šetření však poskytují jednoznačné informace a názory respondentů ve většině případů spolu silně

korespondují. Aplikací této studie do praxe bude možné případnou nepřesnost ve stanovení vah atributů porostu identifikovat a zajistit jeho korekci.

Prostorové rozlišení výsledné vrstvy ohrožení, které odráží vlastnosti vstupních dat, je 20 m. Díky tomu není možné provést přesnou identifikaci jednotlivých ohrožujících stromů. Avšak výsledek lze použít jako nástroj pro obecnou lokalizaci ohrožených míst a pro ně v případě potřeby provést detailnější nasnímkování. Pozitivní stránkou navržené metodiky vyhodnocení je použití volně dostupných dat s vysokou periodicitou aktualizace.

Z důvodu využití družicových snímků v navržené metodice je detekce určena především pro identifikaci ohrožení železnice plynoucího z přilehlých souvislých lesních struktur. Navržená metodika má schopnost analyzovat i nedostupné a odlehle lokality, kde je odhalení a odstranění zjištěného negativního stavu složitější. Samostatně rostoucí stromy lze považovat kvůli jejich nechráněnému umístění rovněž za rizikové, ale zvolené datové prostředky, které umožňují pravidelné vyhodnocení při minimálních nákladech, nejsou pro stanovení jejich úrovně ohrožení vhodné. K jejich vyhodnocení by bylo nutné zajistit nasnímkování okolí tratě prostřednictvím dronu či kamery umístěné na lokomotivě.

Navržený postup je možné automatizovat prostřednictvím programovacích jazyků. Součástí této práce jsou skripty v jazyce Python, které ze stažených družicových snímků provádí sestavení mozaik a výpočet vegetačního indexu NDVI. Jejich zdrojové kódy jsou umístěny na webové adrese <https://github.com/kuceraIVTIR>. Dalším rozšířením je možné vytvořit autonomní proces, který bude průběžně vyhodnocovat míru rizika v okolí železnice. V případě detekce vysoké úrovně ohrožení může dojít k navržené možných opatření. Pro zajištění kvalitního výsledku této studie bylo nutné provést výběr družicových snímků Sentinel-2 manuálně. Zejména kvůli formě výskytu oblačnosti. Informace o její úrovni je vyjádřena prostřednictvím procentuálního zastoupení zasažených pixelů na celkové ploše snímku. V některých případech však zasahují území mimo zájmovou lokalitu. Výběrem takovýchto snímků i s případně vyšší celkovou úrovní oblačnosti tak může dojít k získání kvalitnějšího výsledku.

Proces stanovení ohrožení železnice přilehlým porostem je založen na vyhodnocení tří parametrů porostu, které patří dle odborné literatury mezi nejvýznamnější. Samozřejmě je možné proces rozšířit i o další a výsledek dále zpřesňovat. Ukázka potenciálně vhodných datových sad je uvedena v závěrečné části kapitoly Výsledky. Navržená metodika tak tvoří základní pilíř pro stanovení úrovně ohrožení, který je možné dále rozšiřovat dle možností zpracovatele.

6. ZÁVĚR

Studie využívá několik již existujících datových zdrojů z oblasti lesnictví a dálkového průzkumu Země. Cílem je vytvoření metodiky k detekci rizika ohrožení železniční infrastruktury přílehlou stromovou vegetací. Snahou je navrhnout takový postup, který by byl snadno udržitelný a aplikovatelný s důrazem na minimalizaci možných nákladů. Díky tomu by bylo možné provádět aktualizaci stavu v pravidelných intervalech a reagovat tak na aktuální vývoj.

Součástí práce jsou dvě studie. **První pilotní studie** měla za úkol především navrhnout metodiku pro stanovení úrovně ohrožení železnice lesním porostem nacházejícím se v jejím ochranném pásmu, včetně výběru vhodných dostupných datových sad. Navržený postup byl aplikován na území Libereckého kraje, na kterém došlo k ověření jeho správnosti. Výsledkem je **index VTIR** vypovídající o míře ohrožení porostem.

Na základě něj bylo identifikováno nejnižší ohrožení porostem mezi roky 2016 a 2017 na ploše ochranného pásma železnice 1 183 ha. Jedná se o 21,8 % jeho celkové rozlohy. Střední míra byla identifikována na 291 ha (5,3 %) a vysoké ohrožení pak na 49 ha (0,9 %). Zbývající území nebylo pokryto lesním porostem.

Studie 2 navazovala na první s cílem vylepšení metodiky výpočtu. Také bylo rozšířeno hodnocené území na celou plochu ČR. Díky tomu došlo k získání kompletního obrazu stavu lesních porostů nacházejících se v blízkosti železniční infrastruktury. Významným rozdílem ve srovnání s pilotní studií, je způsob stanovení vah parametrů porostu využitých pro výpočet ohrožení. V první studii byl založen na odborných publikacích, ve druhé pak bylo uplatněno dotazníkové šetření mezi experty na řešenou problematiku a to bylo ve výsledku vyhodnoceno metodou AHP. Způsob výpočtu indexu ohrožení byl rovněž upraven a pro zajištění snadného rozlišení byl přejmenován na IVTIR. Hodnoty **indexu ohrožení IVTIR** byly klasifikovány do pěti kategorií právě dle míry očekávaného ohrožení železnice (tab. 11).

Tab. 11 Úrovně ohrožení vegetací dle hodnot indexu IVTIR

IVTIR	Ohrožení
méně než 0,0	bez ohrožení
0,0 – 0,09	velmi nízké ohrožení
0,1 – 0,14	nízké ohrožení
0,15 – 0,2	střední ohrožení
více než 0,2	vysoké ohrožení

Výsledný vzorec pro výpočet indexu ohrožení IVTIR po dosazení tří hlavních vah je uveden ve vzorci 1.

$$IVTIR = -(0,636 \times Z_{NDVI}) + 0,128 \times V_{VD} + 0,236 \times V_{VV}$$

IVTIR – vylepšený index rizikivosti vegetace (Improved Vegetation Threat Index for Railway infrastructure)

Z_{NDVI} – meziroční změna vegetačního indexu NDVI

V_{VD} – váha vedlejší dle druhu stromu

V_{VV} – váha vedlejší dle výšky stromu

Vzorec 1 Vzorec pro výpočet rizika ohrožení železniční infrastruktury stromovou vegetací

V ochranném zalesněném pásmu železnice bylo v roce 2020 identifikováno vysoké a střední ohrožení na 42,6 % jeho plochy. Na základě porovnání hodnot indexu IVTIR s výskytem skutečných mimořádných událostí způsobených pádem stromu či srážkou s ním, byly tyto dvě kategorie označeny jako vysoce rizikové. Na zbývajícím území se nachází porost, který představuje nízké či žádné ohrožení. Přesto je však nutné jeho stav nadále sledovat, protože může dojít například vlivem zhoršení jeho zdravotního stavu k nárůstu úrovně ohrožení.

Vypočítané hodnoty indexu IVTIR byly porovnány se skutečným výskytem mimořádných událostí v jednotlivých krajích ČR. Dále bylo provedeno i terénní šetření na lokalitách s různou hodnotou indexu (Obr. 3). Na základě porovnání skutečných výskytů mimořádností a terénního šetření je možné sestavenou metodiku pro stanovení úrovně ohrožení železnice stromovou vegetací hodnotit jako správně navrženou.

Navržená metodika a zjištěné výsledky mohou správci infrastruktury pomoci s identifikací ohrožených lokalit, na kterých by mělo dojít k přijetí nápravných opatření. Tím by došlo ke zvýšení bezpečnosti a zajištění plynulosti provozu i za mimořádných povětrnostních podmínek. Kromě železnice může najít uplatnění sestavená metodika také v dalších oblastech jako je například silniční doprava, energetika a další.

Mezi hlavní přínosy této práce lze řadit využití, v současnosti již existujících, datových zdrojů pro zvýšení bezpečnosti provozu železnice. Snahou je celý postup zautomatizovat a zajistit tak správci infrastruktury nástroj pro detekci ohrožení a umožnit zajištění opatření. Zdravotní stav v okolí tratě není posuzován v celorepublikovém měřítku a pozemní šetření představuje nákladný a zdlouhavý proces. Periodické snímkování systémem Sentinel-2 však přináší možnost pravidelného celorepublikového vyhodnocení.



(a)



(b)



(c)

Obr. 3 Porovnání skutečného stavu traťového úseku a vypočítaného indexu IVTIR mezi stanicemi Červenka a Moravičany:

(a) nízká úroveň ohrožení přilehlou vegetací,

(b) vysoká úroveň ohrožení přilehlou vegetací

(c) kombinace nízké a vysoké úrovně ohrožení přilehlou vegetací

Vybrané sestavené rastery jsou dostupné na webové stránce disertační práce <https://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/phd/kucera24>.

Konkrétně se jedná o rastery:

1. Hodnoty IVTIR v ochranném pásmu železnice
2. Meziroční změny vegetačního indexu NDVI (2019/2020)
3. Vybrané hydričké řady v ochranném pásmu železnice
4. Nebezpečné sklony terénu v ochranném pásmu železnice
5. Větrné polomy v ochranném pásmu železnice

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ESA. (2022). Sentinel. In Open Access Hub. ESA. <https://scihub.copernicus.eu>
- Goepel, K. D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(3). <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>
- Lang, N., Jetz, W., Schindler, K., & Wegner, J. D. (2023). A high-resolution canopy height model of the Earth. *Nature Ecology & Evolution*, 7(11), 1778–1789. <https://doi.org/10.1038/s41559-023-02206-6>
- Ramík, J. (1999). *Vícekriteriální rozhodování - analytický hierarchický proces (AHP)*. Slezská univerzita.
- SŽ (2019a). *Data mimořádných událostí*. Praha: SŽ.
- SŽ (2019b). *Data železniční infrastruktury*. Praha: SŽ.
- SŽ (2023). *Data železniční infrastruktury*. Praha: SŽ.
- ÚHÚL. (2018a). *Druhová skladba dřevin*. ÚHUL.
- ÚHÚL. (2018b). *Výšková skladba porostních segmentů*. ÚHUL.
- Vicena, I. (2006). Současný stav ochrany lesa proti polomům. *Lesnická práce*. č. 11/06, ročník 85.

Autoreferát je výběrem z textu disertační práce:

Kučera, M. (2024). *Hodnocení vnějších vlivů na železniční dopravu pomocí geoinformatických metod [in print]*. Disertační práce. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.

Summary

The dissertation proposed a methodology for detecting the threat to railway infrastructure by adjacent tree vegetation in the railway protection buffer zone. The methodology uses existing data sources from forestry and remote sensing.

The source for the threat assessment is characteristics such as the height of the tree vegetation, its species composition, and its health, as determined from satellite imagery. This dissertation proposed a formula for calculating the IVTIR - Improved Vegetation Threat Index for Railway infrastructure. The threat calculation was constructed as a weighted sum of tree height, species composition and health status of tree vegetation. The weights of the parameters in the formula for calculating IVTRI were determined based on a questionnaire survey among experts and then evaluated using the AHP method. The final values of the IVTIR index were classified into five categories: without danger, very low threat, low threat, medium threat and high threat.

The study assesses the threat in the railway protection zone for the whole territory of the Czech Republic. High and medium threats in the forested railway buffer zone were identified in 42.6% of its area in 2020. Based on comparing the IVTIR index values with the previous incidents caused by a tree fall or collision, two categories (medium threat and high threat) were identified as high risk. The remaining area contains vegetation that poses low or no risk. Nevertheless, its condition must continue to be monitored, as the threat level may increase, for example, due to deterioration in its health.

Based on a comparison of actual occurrences of outliers and field investigation, the methodology developed to determine the level of threat to railroads by tree vegetation can be judged as well-designed.

The methodology aimed to design a threat detection procedure that would be easily sustainable and applicable, emphasising minimum potential costs. The methodology would allow status updates to be carried out regularly to respond to current developments.

The proposed methodology and the results can help the infrastructure manager identify vulnerable sites where corrective action should be taken. The application of methodology would improve safety and ensure the continuity of traffic even in extreme weather conditions. In addition to railways, the methodology can also be applied to other areas such as road transport, energy, and others.

Životopis

OSOBNÍ ÚDAJE **Jméno a příjmení:** Mgr. Michal Kučera

Bydliště: Olomouc, Česko

Email: m.kucera@email.cz

VZDĚLÁNÍ *2018–doposud:* doktorské studium, Přírodovědecká fakulta
Univerzity Palackého v Olomouci, obor **Geoinformatika
a kartografie**

2014–2016: magisterské studium, Přírodovědecká fakulta
Univerzity Palackého v Olomouci, obor **Geoinformatika**

2010–2014: bakalářské studium, Přírodovědecká fakulta
Univerzity Palackého v Olomouci, obor **Geoinformatika
a geografie**

**PRACOVNÍ
ZKUŠENOSTI**

Správa železnic, s. o.

2017–doposud, systémový specialista

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů

2016–2017, specialista dálkového průzkumu země a GIS

PROJEKTY

**IGA_PrF_2021_020 Aplikace geoinformačních technologií
pro prostorové analýzy, modelování a vizualizace
prostorových jevů**

2021

**IGA_PrF_2022_027 Analýza, modelování a vizualizace
prostorových jevů pomocí geoinformačních technologií**

2022

**IGA_PrF_2023_017 Analýza, modelování a vizualizace
prostorových jevů pomocí geoinformačních technologií II.**

2023

Průběh studia

Publikace studenta a veškeré uvedené činnosti vycházejí z náplně doktorského studia a z vědecko-výzkumných aktivit, na kterých se na Katedře geoinformatiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci podílel.

Studijní povinnosti

Absolvované zkoušky

- 7. 1. 2019 **Management vědy a výzkumu** (PRF/PGS00)
- 31. 8. 2019 **Vývoj softwarových prostředků pro open-source GIS** (KGI/PGSVS)
doc. Mgr. Jaroslav HOFIERKA, PhD.
- 8. 9. 2020 **Mapování krajinné pokrývky a jejich změn** (KGI/PGSKP)
doc. RNDr. Ján FERANEC, DrSc.
- 9. 9. 2020 **Programování pro GIS** (KGI/PGSVG)
doc. Ing. Zdena DOBEŠOVÁ, Ph.D.
- 16. 12. 2020 **Vědecko-výzkumná stáž** (PRF/PGS01)
- 20. 5. 2022 **Anglický jazyk pro doktorské studium** (VCJ/PGSAJ)
- 12. 10. 2022 **Prostorové analýzy geodat** (KGI/PGSPA)
prof. Ing. Jiří HORÁK, Dr.

Zahraniční stáže

2021	Žilinská univerzita, Žilina, Slovensko Fakulta riadenia a informatiky	12 týdnů
------	--	-----------------

Výuka

KGI/PRG2	Programování 2 (akademické roky 2018/2019, 2019/2020, 2020/2021)	22 hodin
KGI/DAMIN	Data mining (akademický rok 2019/2020)	4 hodiny
	<i>Celkem</i>	26 hodin

Publikační činnost

VZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU DISERTACE

Odborný časopis a sborník v mezinárodní databázi (WoS, Scopus)

DOBEŠOVÁ, Z., KUČERA, M. Time series of workload on railway routes, In Silhavy, R. (ed.) CSOC 2019. Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems, book series Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 985, pp. 370-380, 2020, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-19810-7_37

KUČERA, M., DOBEŠOVÁ, Z. Analysis of the Degree of Threat to Railway Infrastructure by Falling Tree Vegetation, MDPI-Basel, ISPRS Int. J. Geo-Inf. Switzerland, 2021, 10 (292), 24 p. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050292>, Special Issue GIS in Sustainable Transportation

Konferenční příspěvky

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z. Železniční doprava v roce 2020, Sympozium GIS Ostrava 2022, Smart City – vize a realita, 16. – 18. 3. 2022, 15 s., ISBN 978-80-248-4607-1, ISSN 1213-239X, VŠB-TUO, Ostrava, <https://doi.org/10.31490/9788024846071-161>

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z. Charakter změn v osobní a nákladní železniční dopravě v roce 2020 a 2021, XXV. kongres České geografické společnosti a 18. kongres Slovenskej geografickej spoločnosti, Sborník abstraktů, Eds. Fiedor, Minxová, Smolová, 6.-8. 9. 2022, Olomouc, Univerzita Palackého, <https://doi.org/10.5507/prf.22.24461786>, ISBN 978-80-244-6178-6

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z. Hodnocení změn železničního provozu s využitím shlukových metod, Dopravně-geografický workshop 2022 (workshop mezioborové platformy), Brno 15.-16. 9. 2022, Ekonomicko-správní fakulta, Masarykova univerzita Brno

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z. Změny v železniční dopravě v období pandemie, Dopravně-geografický workshop 2021 (workshop mezioborové platformy), Ekonomicko-správní fakulta, Masarykova Univerzita Brno, 23. -24. 9. 2021

Další účasti na konferencích bez sborníku

BARVÍŘ, R., BRUS, J., VONDRÁKOVÁ, A. (2019). Redukce náplně tyflomap prostřednictvím technologie TouchIt3D. Praha: GIS Esri 2019.

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z., Využití QGIS pro zpracování dat míry ohrožení železnice, Žilina: OSSCONF 2019.

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z., Železniční trať a hodnocení lesní vegetace, Praha: GIS Esri 2019.

KUČERA M., DOBEŠOVÁ Z., Dopad pandemických restrikcí na železniční dopravu, Olomouc: 15. Kartografický den 2020.

OSTATNÍ PUBLIKACE

Odborný časopis a sborník mezinárodní konference (WoS, Scopus)

BRUS, J., **KUČERA M.**, POPELKA, S. Intuitiveness of geospatial uncertainty visualisations: a user study on point symbols. *Geografie*. Praha: Česká geografická společnost, 19/2, 2019.

Konferenční příspěvky

DOBEŠOVÁ Z., MACKŮ K., **KUČERA M.** Výuka geoinformatických předmětů na příkladech dat Evropské unie, Sympozium GIS Ostrava 2022, Smart City – vize a realita, 16. – 18. 3. 2022, 12 s., ISBN 978-80-248-4607-1, ISSN 1213-239X, VŠB-TUO, Ostrava, <https://doi.org/10.31490/9788024846071-153>

Mgr. Michal KUČERA

**HODNOCENÍ VNĚJŠÍCH VLVIVŮ NA ŽELEZNIČNÍ DOPRAVU POMOCÍ
GEOINFORMATICKÝCH METOD**

**ASSESSMENT OF EXTERNAL INFLUENCES ON RAIL TRANSPORT USING
GEOINFORMATIC METHODS**

Určeno pro studenty, partnerská akademická pracoviště a odbornou veřejnost.

Odpovědná redaktorka: Mgr. Tereza Vintrová

Technická redakce: Mgr. Michal Kučera

Publikace neprošla redakční jazykovou úpravou.

Vydala a vytiskla Univerzita Palackého v Olomouci

Křížkovského 8, 771 47 Olomouc

www.vydavatelstvi.upol.cz

www.e-shop.upol.cz

vup@upol.cz

1. vydání

Olomouc 2024

Edice GEOINFO-CARTO-THESIS, svazek XXVI.

ISSN 1805-7500

ISBN 978-80-244-6527-2

VUP 2024-0369

Neprodejná publikace