

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra lesnických technologií a staveb



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Vliv vegetačního pokryvu na erozní odolnost svahů
zemního tělesa lesních cest**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Daniel Pytlík

Vedoucí práce: doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Daniel Pytlík

Lesní inženýrství

Název práce

Vliv vegetačního pokryvu na erozní odolnost svahů zemního tělesa lesních cest

Název anglicky

The influence of vegetation cover on the erosion resistance of forest road slopes

Cíle práce

Práce je přímo navázána na výzkumný projekt NAZV QK22020146 „Technická doporučení pro hospodaření s vodou v rámci lesní dopravní sítě“ a novelu TP 53 „Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací“. Zkoumanou plochou jsou strmé zářezové, popř. násypové svahy zemního tělesa lesních cest. Po vystavení těchto svahů simulované dešti bude hodnocen erozní smyv půdy. Cílem diplomové práce je před simulací deště stanovit druhové složení a výšku vegetačního krytu. Následně bude diskutováno vhodné druhového a výškového složení vegetačního pokryvu ve vztahu k protieroznímu zabezpečení povrchu svahu.

Metodika

- 1) Rešerše fytoocenologických dat vymezených lokalit, metod statistického vyhodnocení vegetačního pokryvu
- 2) Zajištění základních informací o přírodních poměrech řešených lokalit
- 3) Vytyčení a geodetické zaměření pracovních ploch
- 4) Provedení fytoocenologických snímků na plochách zařazených do výzkumného projektu; zhotovení dokladového herbáře
- 5) Stanovení výšky vegetačního krytu nedestruktivní metodou, např. vysokorychlostním (pozemním) 3D laserovým skenovacím systémem
- 6) Statistické vyhodnocení získaných dat a porovnání s daty erozního smyvu získanými navazující simulací deště
- 7) Výsledky budou diskutovány s výsledky a doporučeními, které byly získány rešerší vědecké literatury

Harmonogram:

Červen až červenec 2023 – rešerše

Červenec až září 2023 – terénní průzkum

Říjen až prosinec 2023 – statistické vyhodnocení výsledků

Leden 2024 – předložení literární rešerše a předběžných výsledků

Březen 2024 – předložení doplněných a zhodnocených výsledků a diskuse DP



Doporučený rozsah práce

min. 40 normostran textu bez příloh

Klíčová slova

lesní cesta, eroze, druhové složení

Doporučené zdroje informací

BARNES, Burton. *Forest ecology*. NY: J.Wiley, 1998.

BUČEK, Antonín; LACINA, Jan. *Geobiocenologie II..*

ČSN 73 6108:2018 Lesní cestní síť

DYKYJOVÁ-SAJFERTOVÁ, Dagmar. *Metody studia ekosystémů*. Praha: Academia, 1989.

FAO 1998: A Manual for the planning, design and construction of forest roads in steep terrain.

Potočník, I. (1998) The multiple use of forest roads and their classification. In: Proceedings of the Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, Sinaia, Romania 17-22 June, 1996, Rome: Food and agriculture organization of the United Nations, 1998

TP 53 – Protierozní ochrana svahů pozemních komunikací. 2023

VOKURKA, Adam; ZLATUŠKA, Karel; ČESKÁ SPOLEČNOST KRAJINNÝCH INŽENÝRŮ. *Technická doporučení pro hrazení bystřin a strží*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. ISBN 978-80-7434-557-9.

ZLATUŠKA, Karel; ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA LESNICKÝCH TECHNOLOGIÍ A STAVEB. *Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. ISBN 978-80-7434-556-2.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Karel Zlatuška, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra lesnických technologií a staveb

Elektronicky schváleno dne 21. 4. 2023

doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 09. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „*Vliv vegetačního pokryvu na erozní odolnost svahů zemního tělesa lesních cest*“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce, váženému panu docentu Karlu Zlatuškoví, za ochotu a trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat panu doktoru Michalu Allmanovi za odbornou konzultaci statistiky, panu magistru Janu Višínskému za kontrolu správného určení rostlin a celému týmu projektu NAZV QK22020146 za poskytnutá data z měření. Nakonec bych chtěl poděkovat mé přítelkyni a dětem za jejich toleranci, díky které jsem měl čas tuto diplomovou práci vytvořit.

Vliv vegetačního pokryvu na erozní odolnost svahů zemního tělesa lesních cest

Souhrn

Cílem této diplomové práce je hodnocení vlivu druhového složení a výšky vegetačního krytu na protierozní odolnost zemního tělesa lesních cest. Za tímto účelem byly zvoleny dvě lokality – lesy ČZU Kostelec nad Černými Lesy a školní lesní podnik Masarykův les Křtiny, kde bylo celkem vytyčeno 10 výzkumných ploch. Na těchto plochách bylo následně provedeno fytoocenologické snímkování, skenování vegetace za účelem zjištění její pokrývnosti, pedologický průzkum půdy a simulace deště. Po statistickém vyhodnocení výsledků měření bylo zjištěno, že zkoumané vlivy nebyly statisticky významné. Možnými důvody pro tento výstup je design experimentu, zvolená měření a komplexnost zkoumaných vztahů. Získané výsledky také poukazují na vliv vegetační pokrývnosti na protierozní vlastnosti tělesa lesních cest. S ohledem na nejednoznačnost výstupu je doporučeno provedení dalších experimentů, jejichž design bude zohledňovat poznatky z této práce.

Klíčová slova: lesní cesta, eroze, druhové složení

The influence of vegetation cover on the erosion resistance of forest road slopes

Summary

The aim of this diploma thesis is to evaluate the effect of species composition and the height of the vegetation cover on the erosion resistance of forest road slopes. For this purpose, two locations were chosen – the forests of the CZU Kostelec nad Černými Lesy and the Training Forest Enterprise Masaryk Forest Křtiny, where a total of 10 research plots were marked out. Phytocenological imaging, vegetation scanning to determine its coverage, pedological survey and rain simulation were subsequently carried out on these plots. After the statistical evaluation of the measurement results, it was found that the investigated effects were not statistically significant. Possible reasons for this result are the design of the experiment, the chosen measurements and the complexity of the investigated relationships. The obtained results also point to the influence of vegetation cover on the anti-erosion properties of the body of forest roads. Considering the ambiguity of the output, it is recommended to carry out further experiments, the design of which will take into account the findings from this work.

Keywords: forest road, erosion, species composition

Obsah

Seznam použitých zkratek	11
1. Úvod	13
2. Cíle práce	14
3. Literární rešerše	15
3.1. Lesní cesty	15
3.2. Eroze	17
4. Metodika	20
4.1. Popis výzkumných lokalit	20
4.1.1 Lesy ČZU Kostelec nad Černými Lesy	20
Základní informace	20
Klimatické poměry	21
Geologické a pedologické poměry	21
Fytocenologické poměry	22
4.1.2 ŠLP Masarykův les Křtiny	23
Základní informace	23
Klimatické poměry	23
Geologické a pedologické poměry	23
Fytocenologické poměry	24
4.1.3 Porovnání základních charakteristik lokalit	25
4.2. Vytyčení a zaměření pracovních ploch	26
4.3. Fytocenologické snímkování	29
4.4. Vyhotovení dokladového herbáře	31
4.5. Skenování vegetace	31
4.6. Pedologický průzkum	33
4.7. Simulace deště	34
4.8. Zpracování a vyhodnocení získaných dat	35
4.8.1 Pokryvnost dle Braun-Blanquetova stupnice pokryvnosti	35
4.8.2 Modifikovaný počet druhů	35
4.8.3 Statistické vyhodnocení dat	35
5. Výsledky	36
5.1. Fytocenologické snímkování	36
5.2. Statistické vyhodnocení dat	38
5.2.1. Souhrn použitých dat	38
5.2.2. Povrchový odtok	38
ANOVA analýza: Povrchový odtok	38
ANOVA analýza: Modus stupně pokryvnosti dle Braun-Blanquetove stupnice	39

Regresní a korelační analýza: Pokryvnost z fotografie vs. Povrchový odtok	39
Regresní a korelační analýza: Výškově redukováná pokryvnost vs. Povrchový odtok ...	41
Regresní a korelační analýza: Počet rostlinných druhů vs. Povrchový odtok	42
Regresní a korelační analýza: Modifikovaný počet rostlinných druhů vs. Povrchový odtok	43
5.2.3. Ztráta půdy	44
ANOVA analýza: Ztráta půdy	44
ANOVA analýza: Modus stupně pokryvnosti dle Braun-Blanquetovy stupnice	45
Regresní a korelační analýza: Výškově redukováná pokryvnost vs. Ztráta půdy	46
Regresní a korelační analýza: Počet rostlinných druhů vs. Ztráta půdy	47
Regresní a korelační analýza: Modifikovaný počet rostlinných druhů vs. Ztráta půdy ...	48
6. Diskuze.....	49
6.1. Statistický význam výsledků a související faktory	49
6.1.1. Design experimentu.....	49
6.1.2. Problematika měření.....	50
6.1.3. Komplexnost zkoumaných vztahů.....	50
6.2. Interpretace výsledků v rámci stanovených hypotéz	51
6.3. Doporučení pro budoucí výzkum a opatření.....	52
7. Závěr	54
8. Literatura	55
9. Seznam obrázků	59
10. Seznam tabulek	60
11. Samostatné přílohy	61

Seznam použitých zkratek

1L	Lesní cesty pro celoroční provoz
2L	Lesní cesty pro sezónní provoz
3L	Lesní svážnice
4L	Technologické linky
ANOVA	Analýza rozptylu
CH	Chladná klimatická oblast
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
ČZU	Česká zemědělská univerzita v Praze
D-BB-ME	Medián pokryvnosti dle Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti
D-BB-MO	Modus pokryvnost dle Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti
D-HR	Výškově redukováná pokryvnost
D-PH	Pokryvnost z fotografie
H	Hypotéza
KnČL	Kostelec nad Černými lesy
KO	Označení lokality Kostelec nad Černými lesy
KR	Označení lokality Křtiny
LC	Lesní cesty
LCS	Lesní cestní síť
LH	Lesní hospodářství
MNS	Modifikovaný počet druhů
MT	Mírně teplá klimatická oblast

NPR	Národní přírodní rezervace
NS	Počet druhů
PP	Přírodní památka
PR	Přírodní rezervace
RO15	Povrchový odtok 15 minut
RO30	Povrchový odtok 30 minut
SL15	Ztráta půdy 15 minut
SL30	Ztráta půdy 30 minut
ŠLP	Školní lesní podnik
ZT	Zemní těleso

1. Úvod

Lesní cesty (LC) mají velký význam pro lesní hospodářství. Slouží jako dopravní síť pro zpřístupnění pozemků určených k plnění funkcí lesa, včetně propojení s dopravní sítí veřejných pozemních komunikací, usnadňují dopravu osob, materiálu a strojů pro lesní práce a myslivost. Tyto cesty jsou dále důležité pro zprůchodnění terénu pro složky Integrovaného záchranného systému a armády České republiky. Umožňují také veřejnosti bezpečný pohyb v přírodě při rekreačních aktivitách (ÚNMZ, 2018; Zhao et al., 2023).

LC jsou na vybudování a jejich následnou údržbu velmi finančně nákladné (Zlatuška, 2020). Proto je důležité co nejvíce eliminovat faktory, které mají negativní vliv na jejich životnost a kvalitu. Jeden z těchto významných faktorů je eroze půdy. Jedná se o přirozený přírodní proces, při kterém dochází k rozrušování půdy nebo hornin vlivem biotických nebo abiotických činitelů (Evers, 2024). Mezi parametry ovlivňující erozní odolnost patří například: charakteristika půdy, včetně jejích chemických a fyzikálních vlastností, vlastností geologického podloží lokality, sklon terénu a jeho expozice, vegetace a její druhové a početní zastoupení, využití půdy a klimatické podmínky (Deng et al., 2020; Li et al., 2021; Vannoppen et al., 2017).

Zvýšení erozní odolnosti LC lze dosáhnout pomocí různých metod použitých při jejich projektování a následné výstavbě, například dodržováním podélného a příčného sklonu lesní cesty anebo zvolením vhodných odvodňovacích prvků. Dále lze erozi zmírnit zpevněním povrchu vozovky, nebo omezením provozu. Jednou z dalších možností je zpevnění svahů LC za pomoci vegetačních úprav, například podporou přirozeného vegetačního krytu či zatravněním (Akbarimehr a Naghdi, 2012; Alvis et al., 2023; Zlatuška, 2020).

Vegetační pokryv má pozitivní vliv na zvýšení erozní odolnosti, přičemž tento pozitivní účinek se odvíjí od typu vegetace, jejího druhového složení a stupně pokryvnosti. (Chen et al., 2018; Jin et al., 2021; Li a Pan, 2018; Li et al., 2021)

Tato diplomová práce se zabývá stanovením druhového složení a výšky vegetačního krytu na vybraných plochách zemního tělesa lesních cest a vyhodnocení vlivu těchto parametrů na protierozní vlastnosti. Výzkumné aktivity této práce navazují na výzkumný projekt NAZV QK22020146 „Technická doporučení pro hospodaření s vodou v rámci lesní dopravní sítě“ a novelu TP 53 „Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací“.

2. Cíle práce

Tato práce navazuje na výzkumný projekt NAZV QK22020146 „Technická doporučení pro hospodaření s vodou v rámci lesní dopravní sítě“ a novelu TP 53 „Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací“. Výše zmíněný výzkumný projekt se zabývá hodnocením erozního smyvu půdy po vystavení svahů zemního tělesa lesních cest simulovanému dešti.

Cílem této diplomové práce je stanovení druhového složení a výšky vegetačního krytu na vybraných plochách zemního tělesa lesních cest a vyhodnocení vlivu těchto parametrů na protierozní vlastnosti. Za tímto účelem budou provedeny následující terénní práce: vytyčení a geodetické zaměření pracovních ploch, zhotovení fytoecologických snímků a dokladového herbáře, stanovení výšky vegetačního krytu nedestruktivní metodou. Získaná data budou statisticky vyhodnocena a porovnána s daty erozního smyvu získanými simulací deště.

Statistické vyhodnocení dat bude provedeno na základě následujících hypotéz:

- H1 – S rostoucí pokryvností klesá ztráta půdy erozí
- H2 – S rostoucím počtem druhů zastoupených ve společenstvu rostlin na řešené ploše klesá ztráta půdy erozí
- H3 – S rostoucí výškově redukovanou pokryvností klesá ztráta půdy erozí

Výsledky hodnocení budou dále porovnány s již existujícími studii, na základě čehož budou vytvořena doporučení pro zlepšení erozní odolnosti lesních cest.

3. Literární rešerše

3.1. Lesní cesty

Z hlediska legislativy (Zákon č. 13/1997 Sb.) lesní cesty patří do jedné ze čtyř kategorií pozemních komunikací, a to komunikací účelových. Tyto komunikace slouží pro obhospodařování zemědělských a lesních pozemků, anebo pro spojení nemovitostí mezi sebou a s ostatními komunikacemi.

Lesní cesty jsou součástí lesní cestní sítě (LCS), která plní následující klíčové funkce (ÚNMZ, 2018; Zhao et al., 2023):

- Dopravní zpřístupnění lesů včetně propojení se sítí veřejných pozemních komunikací
- Technologická doprava dříví a dalších produktů LH
- Doprava osob, materiálů a strojů pro provoz LH a myslivosti
- Zprůchodnění terénu pro složky Integrovaného záchranného systému ČR
- Rekrece

Z hlediska technického provedení a účelu lze lesní cesty rozdělit do několika tříd (ÚNMZ, 2018):

- Lesní cesty pro celoroční provoz (1L) – často jednoruhové odvozní cesty, jejichž technické parametry umožňují celoroční provoz.
- Lesní cesty pro sezónní provoz (2L) – jednoruhové odvozní cesty umožňující alespoň sezónní provoz.
- Ostatní trasy pro lesní dopravu, které zahrnují:
 - Lesní svážnice (3L) – jednoruhové komunikace sloužící k soustředování dříví, obvykle spojují lesní cesty (1L, 2L) a technologické linky (4L). Nepovažují se za účelové komunikace.
 - Technologické linky (4L) – dopravní trasy sloužící k soustředování dříví z lesních porostů. Povrch této trasy je většinou tvořen neupraveným terénem bez odstranění vrchní vrstvy. Nepovažují se za účelové komunikace.

Technické požadavky pro jednotlivé třídy lesních cest jsou uvedené v Tab. 1.

Tabulka 1. Technické požadavky pro lesní cesty a ostatní trasy pro lesní dopravu. Zdroj: ČSN 73 6108 (ÚNMZ, 2018).

Označení komunikace	1L	2L	3L	4L
Provoz	Celoroční	Sezónní	-	Dočasný
Povrch	Vozovka	Vozovka / Provozní zpevnění / Bez provozního zpevnění	Provozní zpevnění / Úprava podložních zemin/ Zcela bez úpravy	Zcela bez úpravy
Odvodnění	Úplné odvodnění koruny a tělesa lesní cesty	Odvodnění koruny a/nebo tělesa lesní cesty	Základní podélné a příčné odvodnění zemního tělesa	-
Výhybny	Ano	Ano	Nenavrhují se	Nenavrhují se
Minimální šířka jízdního pruhu	3,0 m	3,0 m	-	-
Doporučená šířka jízdního pruhu	3,5 m	-	-	-
Minimální volná šířka	4,0 m	3,5 m	3,0 m	2,0 m
Doporučená volná šířka	4,5 m	-	-	-
Největší podélný sklon	10 (12) %	8-12 %	8-16 %	Podle používaného přibližovacího prostředku

Návrh lesní cesty vychází z jejího předpokládaného využití, zatížení a také druhu využívaných dopravních či těžebních prostředků. Obvyklé návrhové období je 20 let, avšak odvíjí se od účelu a způsobu využití cesty a požadavků vlastníka anebo správce cesty (ÚNMZ, 2018).

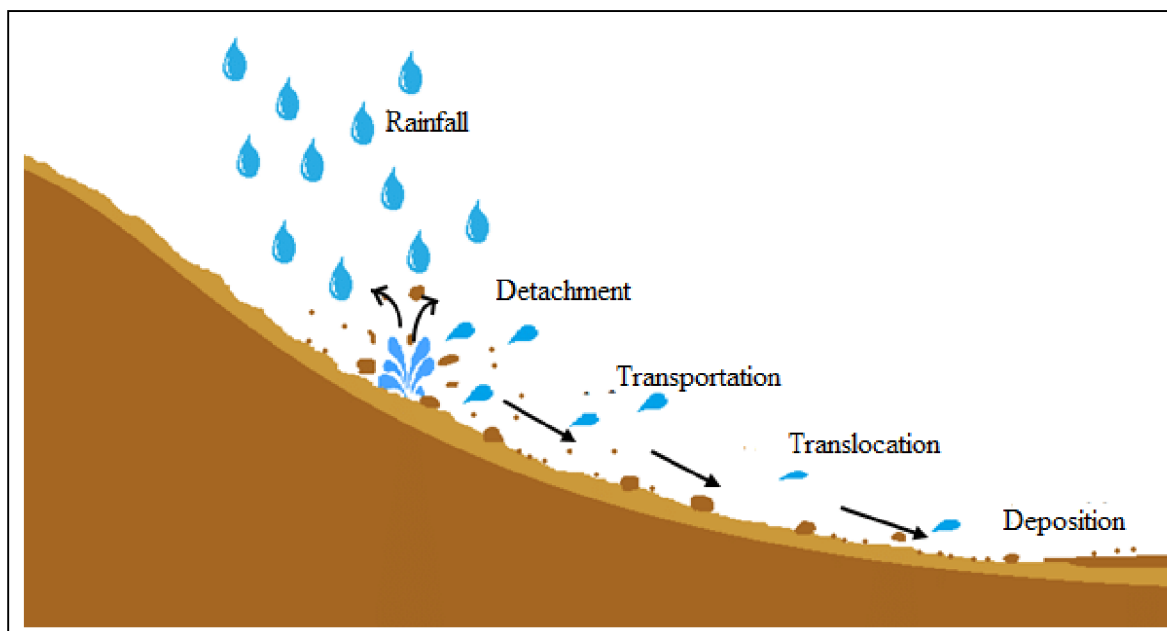
Při navrhování lesních cest a dopravních tras se zohledňuje řada návrhových prvků, mezi něž patří například: návrhová rychlost, délka rozhledu, osa lesní cesty, směrové oblouky, příčný sklon, dostředný sklon, výsledný sklon, klopení, podélný sklon, poloha nivelety, lomy podélného sklonu, rozhled ve směrovém oblouku a prostorové řešení trasy. Podrobnější informace k těmto prvkům lze nalézt v normě ČSN 73 6108 (ÚNMZ, 2018).

Základem lesní cesty je zemní těleso (ZT), jehož návrh a provádění se řídí normou ČSN 73 6133 (ÚNMZ, 2018). Důležitým parametrem ZT jsou sklony svahů, které vycházejí z druhu a vlastností zeminy stanoviště a bezpečnostních požadavků dopravy. V rámci tohoto parametru se zohledňují svahy násypů, zářezů, zpevnění svahů a zemní pláň.

Dalším významným parametrem jsou odvodňovací zařízení pro zabezpečení proti působení povrchových a podzemních vod. Provedení odvodňovacích zařízení lze rozdělit na otevřená, krytá a jejich vzájemnou kombinaci. Mezi tato zařízení patří příkopy, rigoly, svodnice, vsakovací jámy, trativody, drenáže apod. Podrobné popisy jednotlivých zařízení a jejich technické parametry jsou uvedené v normě ČSN 73 6108 (ÚNMZ, 2018) a dalších příslušných normách.

3.2. Eroze

Eroze je přirozený proces, při kterém dochází k rozrušení a přesunu hmoty, například půdy nebo hornin, vlivem biotických či abiotických činitelů (Evers, 2024). Velmi významným druhem eroze je eroze půdy, která může výrazně ovlivnit úrodnost půdy a tím negativně ovlivnit nejen produktivitu zemědělství, ale i další ekologické funkce půdního substrátu (Deng et al., 2020; Wei et al., 2024). Proces eroze půdy je znázorněn na Obr. 1.



Obrázek 1. Proces vodní eroze půdy. Z angl. Rainfall – srážky, detachment – oddělení, transportation – přeprava, translocation – translokace, deposition – uložení. Zdroj: Zafirah et al. (2017).

Ohroženost půdy erozí závisí na řadě faktorů, mezi něž patří (Deng et al., 2020; Li et al., 2021; Ministerstvo dopravy, 2003; Vannoppen et al., 2017):

- Základní charakteristiky půdy (půdní typ, struktura a textura půdy, fyzikální a chemické vlastnosti)
- Vlastnosti geologického podloží lokality
- Topografie lokality (sklonitost terénu) a expozice
- Vegetace (druhové složení, zastoupení jednotlivých druhů, výška rostlin)
- Výchozí vlhkost půdy
- Klimatické podmínky lokality (množství a intenzita srážek, kolísání teplot, vítr)
- Využívání půdy

Půdní eroze úzce souvisí s erozí LCS a může negativně ovlivnit životnost lesních cest a zvýšit náklady na jejich údržbu a přestavbu (Arnáez et al., 2004). Faktory ovlivňující erozi lesních cest zahrnují nejenom výše uvedené činitele, ale také parametry jako je intenzita dopravy, parametry lesní cesty (třída, rozměry cesty, zpevnění povrchu cesty, použité materiály, stavební technologie apod.) a způsob údržby komunikace (Akbarimehr a Naghdi, 2012; McFero Grace III, 2008; Zhao et al., 2023; Zlatuška, 2020).

Zmírnění intenzity a následků eroze půdních cest lze dosáhnout pomocí řady metod, například (Akbarimehr a Naghdi, 2012; Alvis et al., 2023; Ministerstvo dopravy, 2003; Zlatuška, 2020):

- Dodržování optimálního příčného a podélného sklonu při projektování a výstavbě lesní cesty
- Použití vhodných odvodňovacích prvků
- Zpevnění lesních cest
- Omezení provozu
- Protierozní zpevnění svahu pomocí vegetačních úprav (zatrávnění, podpora přirozeného vegetačního krytu)

V případech, kdy lesní cesta je již postavena a omezení provozu není možné z důvodu intenzity provozu LH, vegetační úpravy se jeví jako jeden z nejvhodnějších opatření.

Studie poukazují na pozitivní vliv vegetace jako způsobu pro zvýšení erozní odolnosti, přičemž účinek vegetačního krytu se odvíjí od typu vegetace (např. byliny, keře, stromy), jejího druhového složení a pokryvnosti a také parametrů nadzemní a podzemní části rostlin (Chen et al., 2018; Jin et al., 2021; Li a Pan, 2018; Li et al., 2021). Nadzemní část rostlin pomáhá

zamezit erozi zachycením srážek a s tím spojeným snižováním jejich kinetické energie. Podzemní část rostlin snižuje odtokovou erozní kapacitu, zachycuje srážky a přispívá soudržnosti půdního povrchu pomocí vytvoření půdních agregátů, což následně ovlivňuje mechanické a hydrologické vlastnosti půdy (Li a Pan, 2018; Li et al., 2021; Vannoppen et al., 2017; Wei et al., 2024).

4. Metodika

Tato diplomová práce je součástí projektu NAZV QK22020146 „Technická doporučení pro hospodaření s vodou v rámci lesní dopravní sítě“, který zahrnuje celou řadu výzkumných aktivit. Jedná se tedy o týmovou práci, na jejichž výsledcích se podílel jak autor práce, tak i ostatní účastníci projektu. První podkapitola metodiky obsahuje popis zkoumaných lokalit. Další tři podkapitoly metodiky (Vytyčení a zaměření pracovních ploch, Fytocenologické snímkování, Vyhotovení dokladového herbáře) obsahují podrobný popis aktivit provedených autorem práce. Následující části jsou stručně popsány výzkumné činnosti dalších účastníků projektu nebo činnosti, při kterých autor dostal odbornou konzultaci, nebo již zpracovaná data pro projekt.

4.1. Popis výzkumných lokalit

Pro účely této práce byly vybrány dvě lokality: Lesy ČZU Kostelec nad Černými Lesy a ŠLP Masarykův les Křtiny. V následující podkapitole je uveden přehled jejich základních přírodních poměrů.

4.1.1 Lesy ČZU Kostelec nad Černými Lesy

Základní informace

Lesy ČZU Kostelec nad Černými Lesy se nachází v okrese Praha-východ ve Středočeském kraji (Město Kostelec nad Černými lesy, 2006). Původní lesní podnik byl založen státem již v roce 1935 a jeho základy tvořily pozemky Státních lesů a rybníční kaskády v Jevanech. V roce 1956 vedení podniku převzala Vysoká škola zemědělská se sídlem v Praze (ČZU, 2021b).

Plocha podniku činí přibližně 6900 ha, 32 ha z výčtu tvoří středisko okrasných a lesních školek, kde se pěstuje rozsáhlý sortiment okrasných a lesních dřevin a dalších rostlin, a arboretum o rozloze 12,38 ha s jednou z nejobsáhlejších sbírek stromů v České republice (ČZU, 2021a; ČZU, 2021b). Hlavním cílem lesního podniku je zajištění kvalitních podmínek pro výuku a výzkum, a to jak z teoretického, tak z praktického hlediska. V lesích se odborníci a lesní specialisté snaží hospodařit šetrným způsobem, a podporovat přirozenou obnovu lesa. Kde je to možné, snaží se v maximální míře využívat podrostní hospodářský způsob. Mezi další činnosti podniku spadají např. dřevařská výroba, školkařství, myslivost a rybníkářství (ČZU, 2021b).

Klimatické poměry

Dle Quitta (1971) je celé území zařazeno do nejteplejší mírně teplé oblasti (MT) 11 a kolem Říčan dominuje mírně teplá oblast MT 10, kde je průměrné množství srážek 623 mm a průměrná teplota je 7,8 °C. Oblast kolem Mnichovic dále spadá do chladnější klimatické oblasti MT 9 a MT 7 s průměrnou teplotou 7 °C a průměrnými srážkami 639 mm. Pouze oblast Kostelce nad Černými Lesy patří do mírného srážkového stínu v důsledku přítomnosti vrchu Blaníku, kde jsou průměrné srážky pouze 591 mm.

Culek (1996) zmiňuje, že jsou zde časté teplotní inverze, teplé suché oblasti a vrcholové klima se nachází na Velkém Blaníku. Quitt (1971) charakterizuje klimatické oblasti podrobněji a vyhodnocuje, že oblast KnČL je teplá, na srážky chudá, má dlouhé letní období trvající 40-50 dnů s průměrnou teplotou 15 °C až 16 °C a srážkový úhrn bývá často nižší než 200 mm. 100 dní v roce je srážkový úhrn menší než 1 mm za den. Jaro i podzim jsou často mírné, mají krátké mrazové dny a průměrná teplota je 7 °C až 8 °C. Zima je normálně dlouhá, trvá 50 až 60 dnů, je mírně chladná s průměrnou teplotou - 2 °C až - 3 °C, převládá zde spíše kratší přetrvání sněhové pokrývky v délce cca 50-60 dnů, v zimě je taktéž vyšší četnost srážek až 400 mm.

Geologické a pedologické poměry

V hlavní části území jsou zastoupeny kyselé žuly, občas prostoupené bazickými granodiority a v okolí dané lokality se nacházejí malé ostrovy staršího paleozoika, jako jsou břidlice, fylity, kvarcity, pískovce a vápence. V severní části regionu KnČL se nacházejí Cenomanské pískovce (Culek, 1996; MŽP, 2009).

Podle Culka (1996) reliéf krajiny má převážně ráz členité pahorkatiny s výškovou členitostí 75 až 150 metrů nad mořem a průměrná výška bioregionu je 320 až 540 metrů nad mořem. Nejnižším bodem Posázavského bioregionu je údolí Sázavy u Kamenného Přívozu s výškou cca 230 metrů a nejvyšším bodem je vrch Blaník s výškou 630 metrů.

Podle Hájkové a Svobodové (2017), v oblasti Kostelce nad Černými Lesy se nachází převážně černozem a hnědozem, ale také se zde nachází kambizem nižších poloh, která je zejména v okolí řeky Sázavy. Půdní substráty v této oblasti mají nedostatek CaCO₃ (Culek, 1996). Na území se vyskytují i malé plochy, které tvoří luvizemě a pseudoglejové luvizemě na sprašových hlínách. V sníženinách kolem Kostelce n Č.L. se také nacházejí pseudogleje na polygenetických hlínách. Nejvzácnější lokality tohoto geografického regionu tvoří slatiny s organozeměmi a hořečnaté rendziny na kralovických hadcích (Hraško, 1973).

Fytocenologické poměry

Dle Culka et al. (1996) oblast Kostelce nad Černými Lesy spadá do Posázavského bioregionu 1.22. Podle Zlatníkova systému vegetačních stupňů ČR (1976) spadá tento bioregion do 4 Bukového stupně a v Sázavském údolí do 3 dubovo-bukového stupně. V současnosti se z původních vegetací zachovaly dubohabřiny a ojediněle se zde nacházejí rozsáhlejší plochy bučin a místy kulturní bory a smrčiny. Vegetační stupně území jsou suprakolinní až submontánní (Culek, 1996).

V oblasti KnČL se nacházejí následující fytocenologické skupiny (Neuhäuselová, 1998):

- 7 - Dubohabřiny a lipové doubravy (Carpinion) - černýšová dubohabřina (Melampyro nemorosi-Carpinetum)
- 18 - Květnaté bučiny (Eu-Fagenion) - Bučina s kyčelnicí devítilistou (Dentario enneaphylli-Fagetum)
- 24 - Acidofilní bučiny a jedliny (Luzulo-Fagion) - Biková bučina (Luzulo-Fagetum)
- 36 - Acidofilní bikové, jedlové, březové a borové doubravy (Genisto Germanicae-Quercion) - Biková anebo jedlová doubrava (Luzulo albidae-Quercetum petraeae, Abieti-Quercetum)
- 37 - Acidofilní bikové, jedlové, březové a borové doubravy (Genisto Germanicae-Quercion) - Bezkolencová doubrava (Molinio arundinaceae-Quercetum)

Lesy v okolí KnČL jsou člověkem zpravidla hodně pozměněné, nejcennější původní lesní biotopy se nacházejí v přírodní rezervaci NPR Voděradské Bučiny a NPR ve Studeném. Velice významné lokality z botanického hlediska jsou i PP Na Ostrově a PP Na Stříbrné a PR Podhrázský rybník, které kromě vzácné flóry mají i významnou ornitofaunu (Culek, 1996).

4.1.2 ŠLP Masarykův les Křtiny

Základní informace

Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny se nachází v okrese Blansko v Jihomoravském kraji. ŠLP byl založen v roce 1923 z původního lesního velkostatku Adamov (Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny, 2021).

Celková rozloha podniku činí 19 492 ha, z čehož 10 265 ha jsou lesní pozemky. Přibližně třetina územní rozlohy podniku je součástí Chráněné krajinné oblasti Moravský kras. Součástí ŠLP jsou tři arboreta, která se nacházejí ve Křtinách, Řícmanicích a Habrůvce a také 21 přírodních rezervací a památek, bezzásahových chráněných území o rozloze 863 ha (Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny, 2021).

ŠLP je aktivně využíváno pro vzdělávací a výzkumné činnosti Lesnické a dřevařské fakulty Mendelovy Univerzity v Brně. Lesní hospodaření na území Školního lesního podniku se řídí zásadami přírodě blízkého pěstování lesa. Při pěstování lesa se dbá na jeho adaptaci na klimatickou změnu tím, že se postupně zvyšuje druhová, věková a tloušťková pestrost porostů. Využívá se zejména přirozené obnovy, která v současné době tvoří více než 50 % z celkové obnovy lesa (Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny, 2021). Mezi další funkce podniku patří např. funkce rekreační a estetická (Zouhar, 2016).

Klimatické poměry

Podle Quitta (1971), klimatická oblast je mírně teplá (MT 11), na jižních okrajích (Hádecká plošina, Řečkovicko), s občasným výskytem oblastí MT 10, MT 9 a MT 5. Ve vrcholových částech jsou přítomny oblasti chladné MT 2 a CH 7. Průměrná roční teplota je 7,5 °C a průměrné roční srážky 610 mm, přičemž jednotlivé lokality se od sebe mohou velmi lišit. Terén je velmi členitý, s mnoha hlubokými údolními a žleby, stejně jako svahy a náhorními rovinkami, časté jsou teplotní inverze v údolích a velké teplotní rozdíly mezi různě exponovanými stanovišti (Culek, 1996).

Geologické a pedologické poměry

Křtiny spadají do celku Dražanské vrchoviny, tvořené na západě Adamovskou vrchovinou, ve střední části Moravským krasem a na východě Konickou vrchovinou. Podloží je tvořeno amfibolickými granodiority a diority, kulmskými drobami a v krasovém území devonskými a karbonskými vápenci, půdy jsou kambizemě a rankery, v nivách vodních toků fluvizemě, na vápencích pak rendziny (Culek, 1996).

Lesy ŠLP se nacházejí v nadmořské výšce 210 až 574 m n. m. Nejvyšším vrcholem je Proklost v Konické vrchovině (574 m n. m.). Terén je velmi členitý s výraznými hlubokými údolními a žleby, zvláště řeky Svitavy a Křtinského či Jedovnického potoka (MŽP, 2009).

V nejvyšších oblastech, které se pohybují v rozmezí 500 až 650 metrů, se nacházejí dystrické kambizemě a primární pseudogleje na těžších hlínách a nižší plošiny a okraje svahů pokrývají kyselé kambizemě, jež jsou často oglejené. Ostrůvkovitě se zde nacházejí sprašové hlíny a hnědozemě. V lokalitách, kde jsou vápencové horniny jsou typy půdy rendziny, kambizemě a odvápněné jemnozemě (Culek, 1996).

Fytocenologické poměry

Podle Neuhäuslové a kol. (2001) jsou v oblasti Křtin zastoupeny tyto skupiny potenciální přirozené vegetace:

- 10 - Dubohabřiny a lipové doubravy (Carpinion) - Karpatská ostrícová dubohabřina (Carici-pilosae-carpinetum)
- 16 - Květnaté bučiny (Eu-fagenion) - Strdivková bučina (Melico-Fagetum)
- 17 - Květnaté bučiny – Ostrícová bučina (Carici-pilosae-Fagetum)
- 24 - Acidofilní bučina a jedlina (Luzulo-Fagion) - Biková bučina (Luzulo-Fagetum)
- 29 - Perialpidské bazifilní teplomilné doubravy – Mahalebková anebo dřínová doubrava (Pruno mahaleb-Quercetum pubescentis, Corno-Quercetum)

Na území převládají smíšené porosty (36 % dřeviny jehličnaté a 64 % dřeviny listnaté). Z 63 % převládají stanoviště živná, jen 10 % stanovišť je kyselých, plná čtvrtina pak spadá mezi stanoviště exponovaná (Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny, 2021).

Zmapováno je 138 lesních typů v 5 lesních vegetačních stupních. Z nich 1. (dubový) stupeň se vyskytuje převážně na jižně orientovaných a teplejších expozicích na jihu území, 2. buko-dubový (27 %) převládá ve střední části území v nadmořských výškách kolem 400 m, nejčastěji zastoupený 3. dubo-bukový stupeň (cca 53 % území) především na severu oblasti do 500 m n. m. 4. bukový stupeň dominuje na podmáčených stanovištích a též ve výškách nad 500 m n. m., ale v inverzních údolích a na severních expozicích svahů zasahuje i níže. 5. jedlo-bukový stupeň je zaznamenáván ojediněle, především ve vyšších polohách severovýchodní části území (Školní lesní podnik Masarykův les Křtiny, 2021).

4.1.3 Porovnání základních charakteristik lokalit

Níže je představen souhrn základních charakteristik pro obě zájmová území (Tab. 2).

Tabulka 2. Porovnání základních charakteristik Lesů ČZU Kostelec nad Černými Lesy nad Černými Lesy a ŠLP Masarykův les Křtiny.

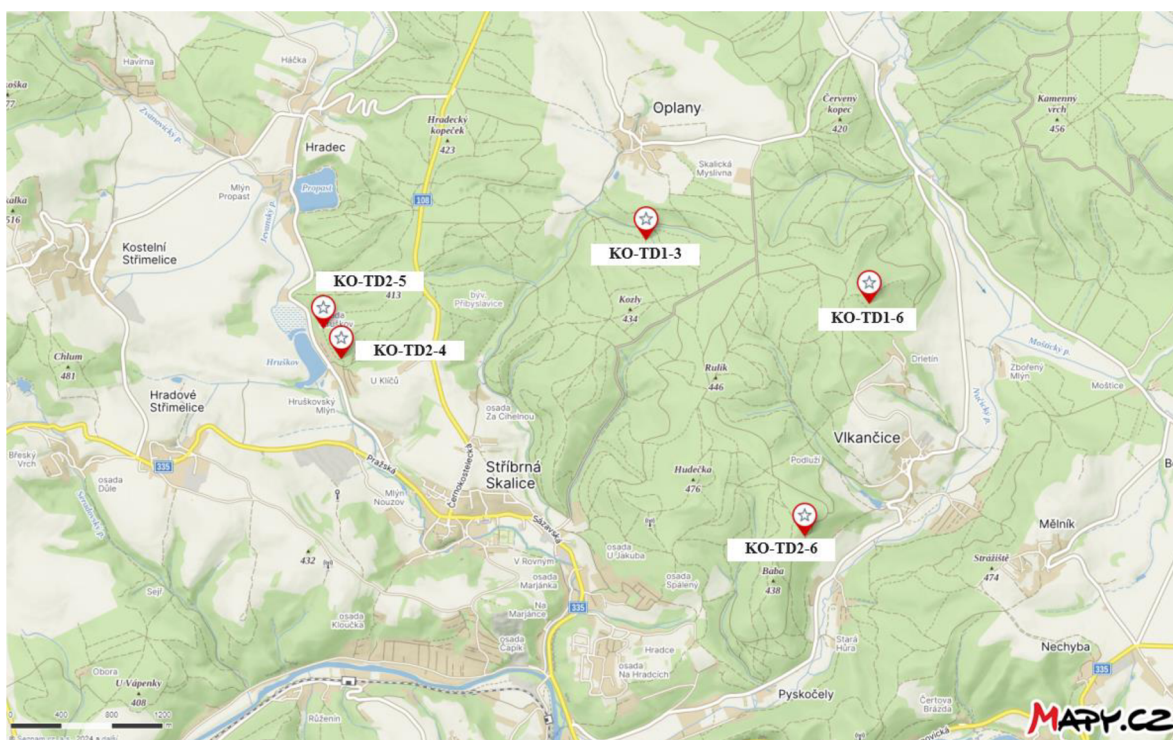
	Lesy ČZU Kostelec nad Černými Lesy	ŠLP Masarykův les Křtiny
Rok založení	1935	1923
Plocha	6 900 ha	10 200 ha
Průměrná teplota	8,14 °C	7,5 °C
Průměrné srážky	662 mm	610 mm
Průměrná výška	320-540 m n.m.	210-574 m n.m.
Převládající horniny	Břidlice, kyselé žuly	Amfibolické granodiority, diority, devonské a karbonské vápence
Převládající půdní typy	Černozem, hnědozem, kambizem	Kambizemě, rankery, fluvizemě, rendziny
Lesní vegetační stupně	3 dubovo-bukový 4 bukový	2 bukovo-dubový 3 dubovo-bukový 4 bukový
Výškové vegetační stupně	Kolinní (pahorkatinný) Submontánní (podhorský)	Kolinní (pahorkatinný) Submontánní (podhorský)
Charakter lesního hospodářství	Podpora přirozené obnovy lesa, podrostní hospodářství, rozsáhlá výzkumná činnost	Přírodě blízké lesní hospodářství, podpora přirozené obnovy lesa, zvyšování druhové a věkové pestrosti porostů, výzkumná činnost

Je patrné, že v obou lokalitách převládají podobné klimatické podmínky a způsob lesního hospodářství. Na druhou stranu, ŠLP Křtiny se nachází na větším území a díky rozmanitějšímu výběru geologických podloží a půdních typů zde můžeme nalézt větší množství vegetačních stupňů.

4.2. Vytyčení a zaměření pracovních ploch

Pro potřeby tohoto konkrétního výzkumu bylo vytyčeno 5 výzkumných ploch na ŠLP v Křtinách a 5 výzkumných ploch v lesích ČZU v Kostelci nad Černými lesy (Obr. 2 a Obr. 3).

Jednotlivé plochy o velikosti cca 3,5 m x 7 m byly vyznačeny dřevěnými kůly a bílo-červenou páskou tak, aby při vytyčení nedošlo k narušení půdního povrchu a přítomné vegetace. Souřadnice ploch byly následně zaměřeny pomocí GPS lokátoru a zaevidovány v rámci souřadnicového systému WGS-84. Výběr umístění jednotlivých ploch probíhal tak, aby každá z nich co nejlépe reprezentovala podmínky daného stanoviště.

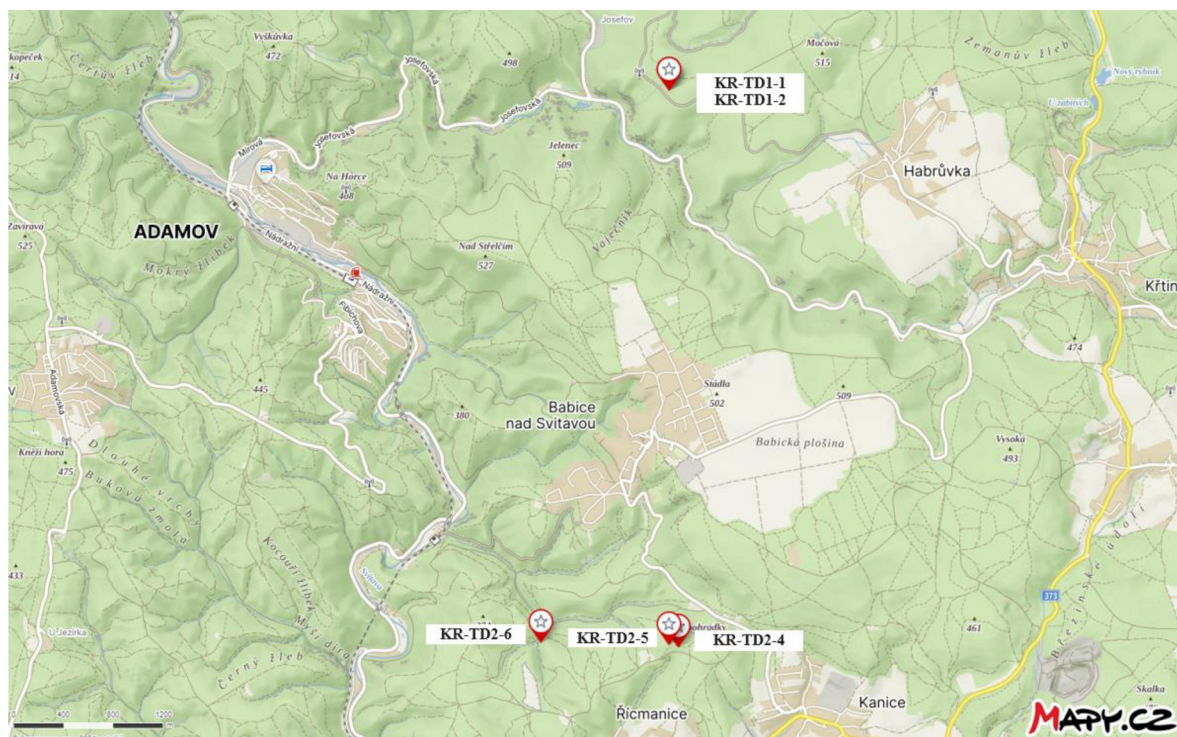


Obrázek 2. Umístění jednotlivých výzkumných ploch v lokalitě Kostelec nad Černými lesy. Mapa byla vytvořena pomocí webových stránek mapy.cz.

Tabulka 3. Základní údaje pro pokusné plochy v lokalitě Kostelec nad Černými lesy. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).

Kód plochy	Souřadnice (dle WGS-84)	Nadmořská výška (m n. m.)	Sklon	Poznámky
KO-TD1-03	49.9173862 14.8680191	377	6° = 11 %	Technologická linka (4L)
KO-TD1-06	49.9128145 14.8926205	441	14° = 25 %	Technologická linka (4L)
KO-TD2-04	49.9089186 14.8343875	320	43° = 93 %	LC „Nad Hruškovem“, KO327 (zářezový svah)
KO-TD2-05	49.9110403 14.8324413	335	38° = 78 %	LC „Nad Hruškovem“, KO327 (zářezový svah)
KO-TD2-06	49.8962821 14.8855090	408	43° = 93 %	LC „Babská cesta“, KO315/01 (zářezový svah)

Každá plocha byla označena speciálním kódem, zahrnujícím označení lokality (KO – Kostelec nad Černými lesy, KR – Křtiny), typ komunikace (TD1 – Technologická linka L4, TD2 – Zářezový svah) a pořadové číslo plochy. Základní údaje pro jednotlivé plochy jsou uvedené v Tab. 3 a Tab. 4.



Obrázek 3. Umístění jednotlivých výzkumných ploch v lokalitě Křtiny. Mapa byla vytvořena pomocí webových stránek mapy.cz.

Tabulka 4. Základní údaje pro pokusné plochy v lokalitě Křtiny. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).

Kód plochy	Souřadnice (dle WGS-84)	Nadmořská výška (m n. m.)	Sklon	Poznámky
KR-TD2-06	49.2691633 16.6846550	319	47° = 107 ‰	LC „Vypálenka“ (zářezový svah)
KR-TD2-05	49.2690033 16.6988517	441.9	38° = 78 ‰	LC „Brněnka“ (zářezový svah)
KR-TD2-04	49.2688233 16.6998333	443.2	35° = 70 ‰	LC „Brněnka“ (zářezový svah)
KR-TD1-01	49.3089033 16.6987783	485,9	19° = 34 ‰	Technologická linka (4L)
KR-TD1-02	49.3089033 16.6987783	485,9	15° = 27 ‰	Technologická linka (4L)

4.3. Fytocenologické snímkování

Fytocenologické snímkování probíhalo na každé ploše v rámci čtverce 1 x 1 m umístěného tak, aby vybrané místo nejlépe reprezentovalo stav vegetace dané plochy (Obr. 4, vlevo).



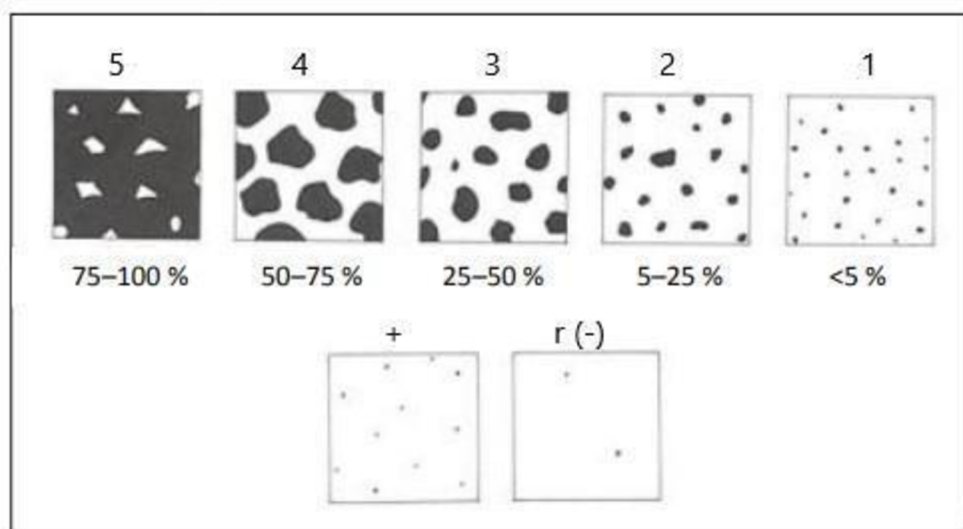
Obrázek 4. Ukázka plochy z fytocenologického průzkumu (vlevo) a měření výšky rostlin (vpravo).

V průběhu snímkování se evidovaly jednotlivé zastoupené rostlinné druhy, jejich počet, procentuální zastoupení a výška. Pro určení druhů rostlin byly použity klíče Květena České republiky (Hejný a Slavík, 2003), Klíč ke květeně České republiky (Kaplan et al., 2019) a Databáze české flóry a vegetace Pladias (2023). Výsledný výčet druhů byl konzultován s botanikem Mgr. Janem Višínským. Měření výšky vegetace bylo provedeno pomocí certifikovaného skládacího metru a certifikovaného svinovacího metru, upevněného na tyči (Obr. 4, vpravo). Výsledky každého měření byly průběžně evidovány do terénního zápisníku. Po fytocenologickém snímkování zvoleného čtverce se prozkoumalo i bližší okolí zkoumané plochy. Rostlinné druhy nalezené v blízkém okolí byly taktéž přidány do fytocenologického zápisu a označené jako „ostatní druhy“.

Tabulka 5. Braun-Blanquetova stupnice pokryvnosti a početnosti. Zdroj: Moravec (1994).

Stupeň podle Braun-Blanqueta	Pokryvnost vegetace %
5	75–100
4	50–75
3	25–50
2	5–25
1	<5
+	zanedbatelná, roztroušená
r (-)	ojediněle

Hodnocení pokryvnosti jednotlivých rostlinných druhů na plochách bylo provedeno za pomoci Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti (Tab. 5) a početnosti dle Moravce, (1994), jejíž grafické znázornění je uvedeno na Obr. 5.



Obrázek 5. Grafické znázornění Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti a početnosti. Zdroj: Moravec (1994).

4.4. Vyhotovení dokladového herbáře

Po ukončení fytoecnologického snímkování a skenování ploch bylo přistoupeno ke sběru vzorků rostlinných druhů pro vyhotovení dokladového herbáře. Rostlinný materiál se odebíral s ohledem na jeho kondici a co nejmenší poškození identifikačních markerů. Na každé ploše byl odebrán vzorek reprezentující každý nalezený rostlinný druh. Odebrané rostliny byly následně zbaveny hrubých nečistot a založeny mezi listy savého papíru tak, aby bylo zachováno co největší množství identifikačních znaků jednotlivých druhů. Papíry s rostlinným materiálem byly dále zatíženy a opatřeny popiskem s uvedením lokality, datumem sběru a rodovým, popřípadě druhovým názvem rostlin.

Po ukončení terénních prací a převozu odebraných materiálů byly vzorky roztrženy podle lokalit pro lepší přehlednost. Savý papír, ve kterém vzorky byly uloženy, se měnil přibližně každé dva dny až do úplného vyschnutí rostlin. Po vyschnutí byly vzorky rostlin nalepeny na tvrzený papír formátu A3 pomocí lepící pásky. Každý z těchto papírů byl dále opatřen speciální schedou, obsahující základní informaci o lokalitě sběru a druhu vzorku. Nakonec byl vytvořen evidenční seznam všech herbářových položek, který spolu se samotným herbářem byl založen do pevných desek.

4.5. Skenování vegetace

Výška vegetačního krytu byla zjišťována za pomoci vysokorychlostního pozemního 3D laserového skenovacího systému Trimble X7 (Obr. 6). Příklad byl před měřením nahrubo urovnán obsluhou tak, aby odchylka od svislé a vodorovné osy nebyla větší než 10 stupňů. Díky zabudovanému systému poté přístroj umí získávat data i bez přesného centrování za pomoci libel. Příklad skenuje vegetační pokryv, potažmo povrch plochy za pomoci laserového paprsku o vlnové délce asi 1550 mikrometrů. Výsledkem skenování je bodové mračno se souřadnicemi jednotlivých bodů (Zlatuška et al., 2023).



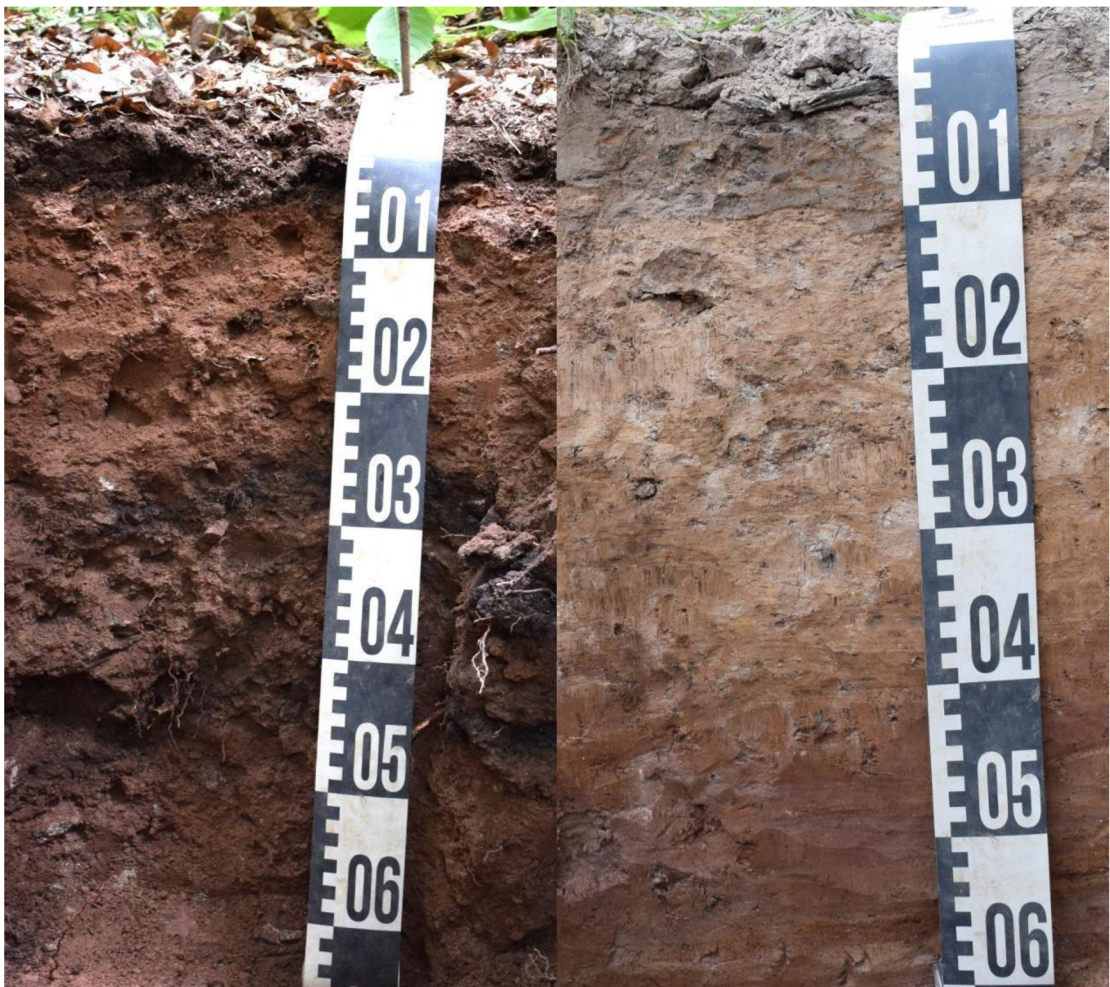
Obrázek 6. laserový skenovací systém Trimble X7. Zdroj: <https://www.bpmidamerica.com/>.

Získaná data (bodové mračno) se následně zpracovala do několika rastrů (podkladní vrstva bez vegetace a vrstva s vegetací) v programu QGIS. Výsledkem skenování je výškově redukovaná (5–15 mm oproti všem bodům) pokrývnost vegetace pro zkoumané lokality (Zlatuška et al., 2023).

Dalším výstupem skenování je pokrývnost vegetace z fotografie. Při měření se použilo výše zmíněné mračno bodů a k tomu ještě sférické fotografie jednotlivých lokalit, pořízené skenerem. Z bodů vyfiltrovaných na základě intenzity zelené barvy byly vytvořeny polygony, z jejichž poměru vůči celkové ploše lokality byla vypočítaná pokrývnost (Zlatuška et al., 2023).

4.6. Pedologický průzkum

V rámci pedologického průzkumu ploch byly vykopány 3 půdní sondy (spodní, horní a kontrolní v přílehlém lesním porostu). Po popisu půdního profilu (Obr. 7) a odběru půdních vzorků byly provedeny laboratorní analýzy pro zjištění základních fyzikálních vlastností půdy např. její měrné hmotnosti, pórovitosti, zrnitosti, obsahu organické hmoty a skeletu (Zlatuška et al., 2023).



Obrázek 7. Půdní profily v lokalitě Kostelec nad Černými Lesy. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).

4.7. Simulace deště

V rámci této části experimentu byly pomocí polního simulátoru deště sledovány dvě hodnoty, a to: ztráta půdy (množství smyté zeminy) a objem povrchového odtoku (Obr. 8). Měření proběhlo na všech plochách za stejných podmínek, tj. postřiková plocha o velikosti 11 m² tvořena kužely dvou trysek, intenzita postřiku 1,2mm/min, provozní tlak 0,5 bar. Zadeštění probíhalo dle následujícího schématu: 30 minut déšť (nesaturovaná půda) – 15 min pauza – 15 minut déšť (saturovaná půda). Vzorky se odebíraly z odtokového žlabu ve spodní části experimentální plochy (Zlatuška et al., 2023).



Obrázek 8. Průběh simulace deště. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).

4.8. Zpracování a vyhodnocení získaných dat

Data získaná z výše uvedených měření byla dále zpracována a vyhodnocena.

4.8.1 Pokryvnost dle Braun-Blanquetova stupnice pokryvnosti

Jedním z výstupů fytoecnologického snímkování ploch bylo hodnocení pokryvnosti jednotlivých druhů rostlin pomocí stupnice pokryvnosti dle Braun-Blanqueta (viz kapitola Fytoecnologické snímkování). Pro získání hodnot reprezentujících pokryvnost vegetace pro každou z vybraných ploch byl zvolen výpočet mediánu a modu. Za tímto účelem se všechny rostlinné druhy na jednotlivých snímcích byly sestupně seřazeny dle stupně pokryvnosti. Stupeň (stupně) pokryvnosti s nejvyšší četností byl zvolen jako modus, prostřední hodnota byla zvolena jako medián.

4.8.2 Modifikovaný počet druhů

S ohledem na velkou početní variabilitu jednotlivých rostlinných druhů se použila modifikace počtu druhů. Touto modifikací se rozumí zpracování jednotlivých podílů počtu jedinců každého rostlinného druhu vůči podílu nejpočetnějšího druhu na dané lokalitě. V každé lokalitě se určil druh (druhy) s nejvyšším počtem jedinců, jemuž byla přiřazena hodnota "1". Hodnota pro ostatní druhy byla pak vypočítána jako poměr počtu jedinců těchto druhů ku počtu jedinců s největším zastoupením. Součet všech takto vypočítaných hodnot reprezentuje hodnotu "modifikovaného počtu druhů" pro jednotlivé lokality. Pomocí této hodnoty lze lépe vyjádřit význam neboli "váhu" druhů s odlišným zastoupením (Zlatuška et al., 2023).

4.8.3 Statistické vyhodnocení dat

Statistické vyhodnocení dat bylo provedeno v programu Statistica 14.0 s pomocí Ing. Michala Allmana, PhD.

Pro ověření normality dat byl použit Shapiro-Wilkův test. Pro následující hodnocení dat bylo využito regresní a korelační analýzy a jednofaktorové analýzy rozptylu (ANOVA). Při všech analýzách nejmenší hladina významnosti p byla 0,05.

5. Výsledky

5.1. Fytocenologické snímkování

V rámci terénních prací byl pro každou pokusnou plochu vytvořen fytocenologický snímek, obsahující základní údaje o ploše, soupis všech nalezených rostlinných druhů, jejich zastoupení podle Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti a jejich průměrná výška. Pro lepší dokumentaci každá plocha byla též vyfotografována.

Dále byl vyhotoven dokladový herbář se vzorky nalezených rostlin a schedou obsahující základní informace o lokalitě, jako např. druh rostliny, nadmořská výška, taxonomické zařazení nebo i souřadnice sběru.

Fytocenologické snímky, fotografická dokumentace a dokladový herbář, jsou součástí příloh této diplomové práce.

Celkově bylo nalezeno 52 unikátních druhů rostlin, přičemž Křtiny se ukázaly jako lokalita s vyšší rozmanitostí rostlinných druhů. Jednotlivé plochy se taktéž navzájem liší druhovou rozmanitostí. Nejchudší plocha je KO-TD1-06, nejrozmanitějšími plochami jsou KO-TD2-04, KR-TD2-06 a KR-TD1-02 (Tab. 6).

Tabulka 6. Počet druhů na jednotlivých plochách. V závorce je uveden celkový počet druhů přítomných na zkoumané ploše včetně rostlin nalezených v těsné blízkosti zkoumané plochy.

Kód lokality	Počet nalezených druhů
KO-TD1-03	6
KO-TD1-06	1
KO-TD2-04	12 (17)
KO-TD2-05	6 (8)
KO-TD2-06	4
KR-TD1-01	7 (12)
KR-TD1-02	11 (16)
KR-TD2-05	8 (12)
KR-TD2-04	8 (13)
KR-TD2-06	11 (18)

Nejfrektovanějšími druhy ve dvou lokalitách jsou *Calamagrostis epigejos* (4x), *Fagus sylvatica* (4x), *Carex sylvatica* (3x), *Impatiens parviflora* (3x), *Poa nemoralis* (3x), *Ranunculus repens* (3x).

Tabulka 7. Počet druhů a modifikovaný počet druhů na zářezových svazích. V závorce je uveden celkový počet druhů přítomných na zkoumané ploše, včetně rostlin nalezených v těsné blízkosti zkoumané plochy.

Kód lokality	Počet nalezených druhů	Modifikovaný počet druhů
KO-TD2-04	12 (17)	2,31
KO-TD2-05	6 (8)	3,33
KO-TD2-06	4	3
KR-TD2-04	8 (13)	4,4
KR-TD2-05	8 (12)	1,91
KR-TD2-06	11 (18)	2,26

Při porovnání zastoupení druhů ploch umístěných na zářezových svazích (Tab. 7) a ploch umístěných na technologických linkách (Tab. 8) lze konstatovat, že první skupina ploch je druhově bohatší, přičemž největší počet druhů se nachází v lokalitě Křtiny.

Druhy s nejčastějším výskytem u zářezových svahů jsou *Fagus sylvatica* (4x) a *Calamagrostis epigejos* (3x). Na technologických linkách nejhojnějšími byly druhy *Plantago major* (2x), *Poa nemoralis* (2x), *Ranunculus repens* (2x) a *Trifolium repens* (2x).

Tabulka 8. Počet druhů a modifikovaný počet druhů na technologických linkách (4L). V závorce je uveden celkový počet druhů přítomných na zkoumané ploše, včetně rostlin nalezených v těsné blízkosti zkoumané plochy.

Kód lokality	Počet nalezených druhů	Modifikovaný počet druhů
KO-TD1-03	6	1,88
KO-TD1-06	1	1
KR-TD1-01	7 (12)	1,63
KR-TD1-02	11 (16)	3,23

5.2. Statistické vyhodnocení dat

5.2.1. Souhrn použitých dat

Pro statistické vyhodnocení dat experimentu byla použita data z jednotlivých měření, uvedených v kapitole Metodika. Tato data, včetně použitých zkratek a vysvětlivek, jsou uvedena v Tabulce 9.

Tabulka 9. Data použitá pro statistické vyhodnocení experimentu. *D-BB-MO* – Modus pokryvnost dle Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti, *D-BB-ME* – Medián pokryvnosti dle Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti, *NS* – Počet druhů, *MNS* – Modifikovaný počet druhů, *D-HR* – Výškově redukovaná pokryvnost, *D-PH* – Pokryvnost z fotografie, *RO15* – Povrchový odtok 15 minut (m³/a), *RO30* – Povrchový odtok 30 minut (m³/a), *SL15* – Ztráta půdy 15 minut (kg/a), *SL30* – Ztráta půdy 30 minut (kg/a).

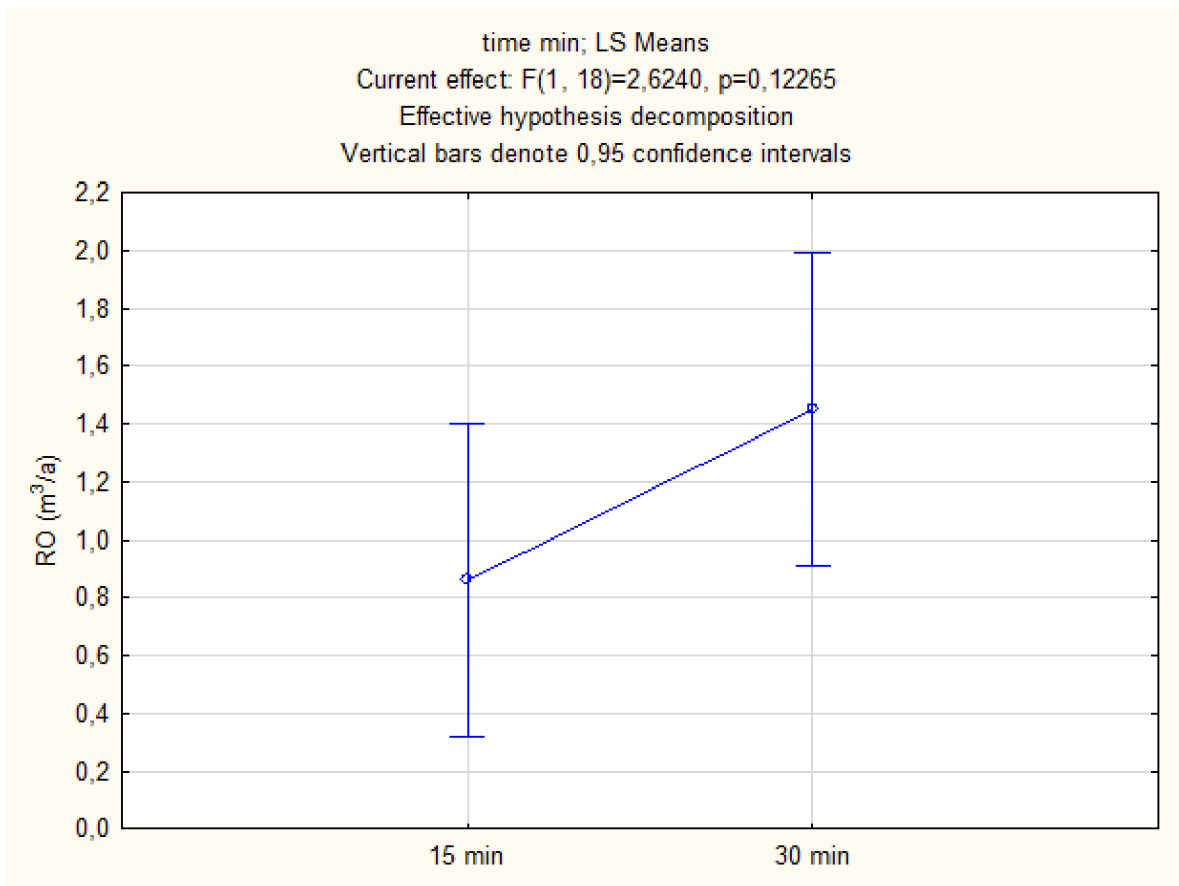
Kód lokality	D-BB-MO	D-BB-ME	NS	MNS	D-HR	D-PH	RO15	RO30	SL15	SL30
KO-TD1-03	+	+	6	1,88	0,46	0,27	1,4	2,6	1,8	5,5
KO-TD1-06	4	4	1	1,00	0,44	0,59	0,8	1,5	0,2	1
KO-TD2-04	1	1	12	2,31	0,66	0,26	1,7	2,4	4	11,2
KO-TD2-05	+	+	6	3,33	0,81	0,37	1	2	4,4	22,3
KO-TD2-06	1	1	4	3,00	0,92	0,16	0,7	1,2	5,2	12,3
KR-TD1-01	+, 1	1	7	1,63	0,59	0,18	1,2	2,1	0,2	1,4
KR-TD1-02	2	1	11	3,23	0,64	0,18	1,3	2,3	1,3	2,3
KR-TD2-04	1	1	8	4,40	0,91	0,46	0	0	0	0
KR-TD2-05	2	1, 2	8	1,91	0,78	0,20	0	0,01	0	0
KR-TD2-06	1	1	11	2,26	0,79	0,24	0,5	0,4	0,2	0,1

5.2.2. Povrchový odtok

V této sekci diplomové práce jsou představeny výsledky statistického vyhodnocení dat spojených s naměřenými hodnoty povrchového odtoku na jednotlivých plochách.

ANOVA analýza: Povrchový odtok

Jednofaktorová ANOVA pro hodnoty povrchového odtoku (RO) během 15minutové a 30minutové simulace nepotvrdila významné rozdíly mezi proměnnými (Obr. 9). Lze tedy konstatovat, že délka simulace neměla významný vliv na objem povrchového odtoku v rámci experimentu.



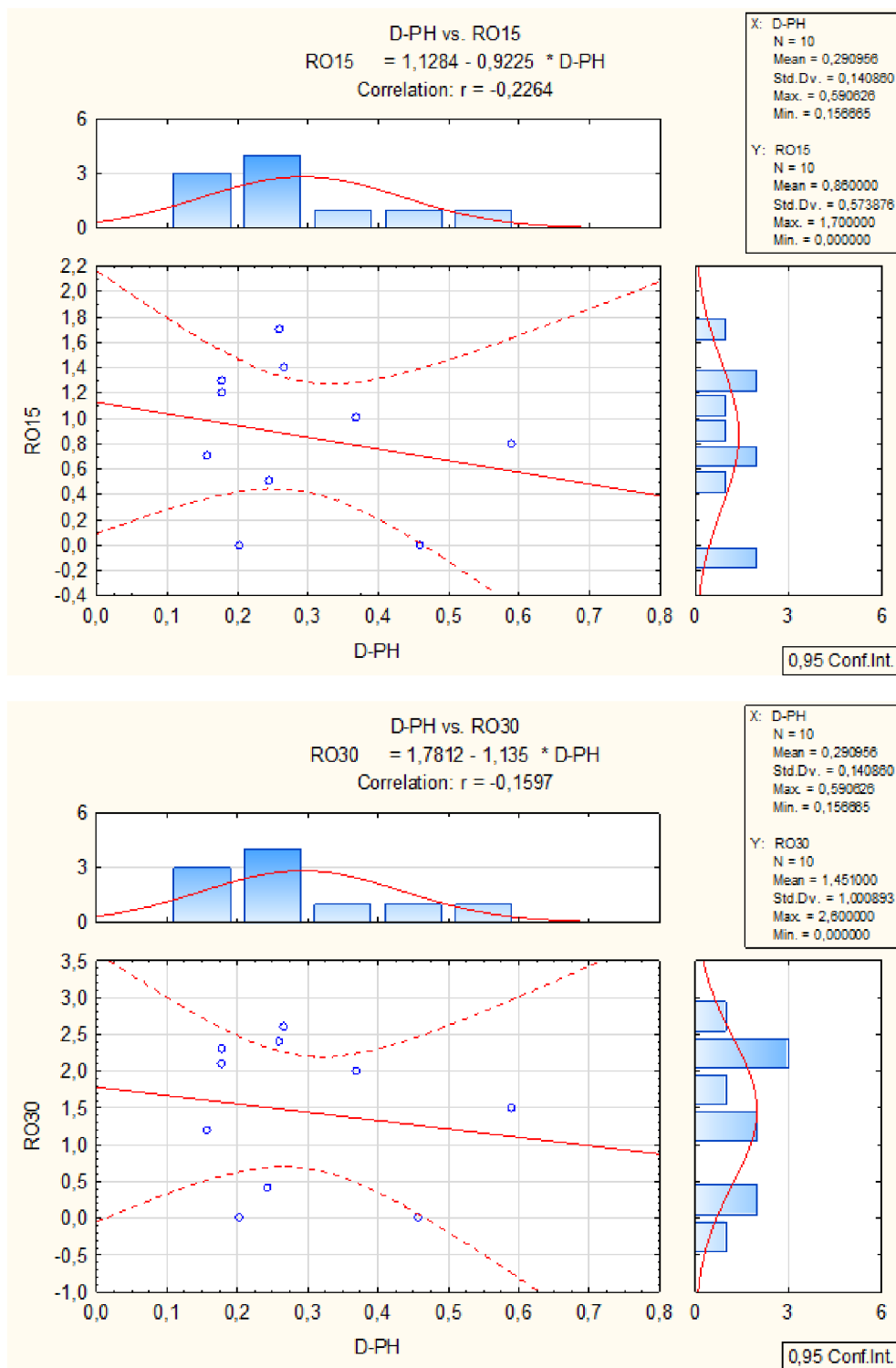
Obrázek 9. Jednofaktorová analýza ANOVA pro hodnoty objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové a 30minutové simulace.

ANOVA analýza: Modus stupně pokryvnosti dle Braun-Blanquetove stupnice

Výsledky jednofaktorové analýzy ANOVA pro modus stupně pokryvnosti dle Braun-Blanquetovy stupnice nebyly statisticky významné ($p > 0,05$) pro žádné z měření objemu povrchového odtoku.

Regresní a korelační analýza: Pokryvnost z fotografie vs. Povrchový odtok

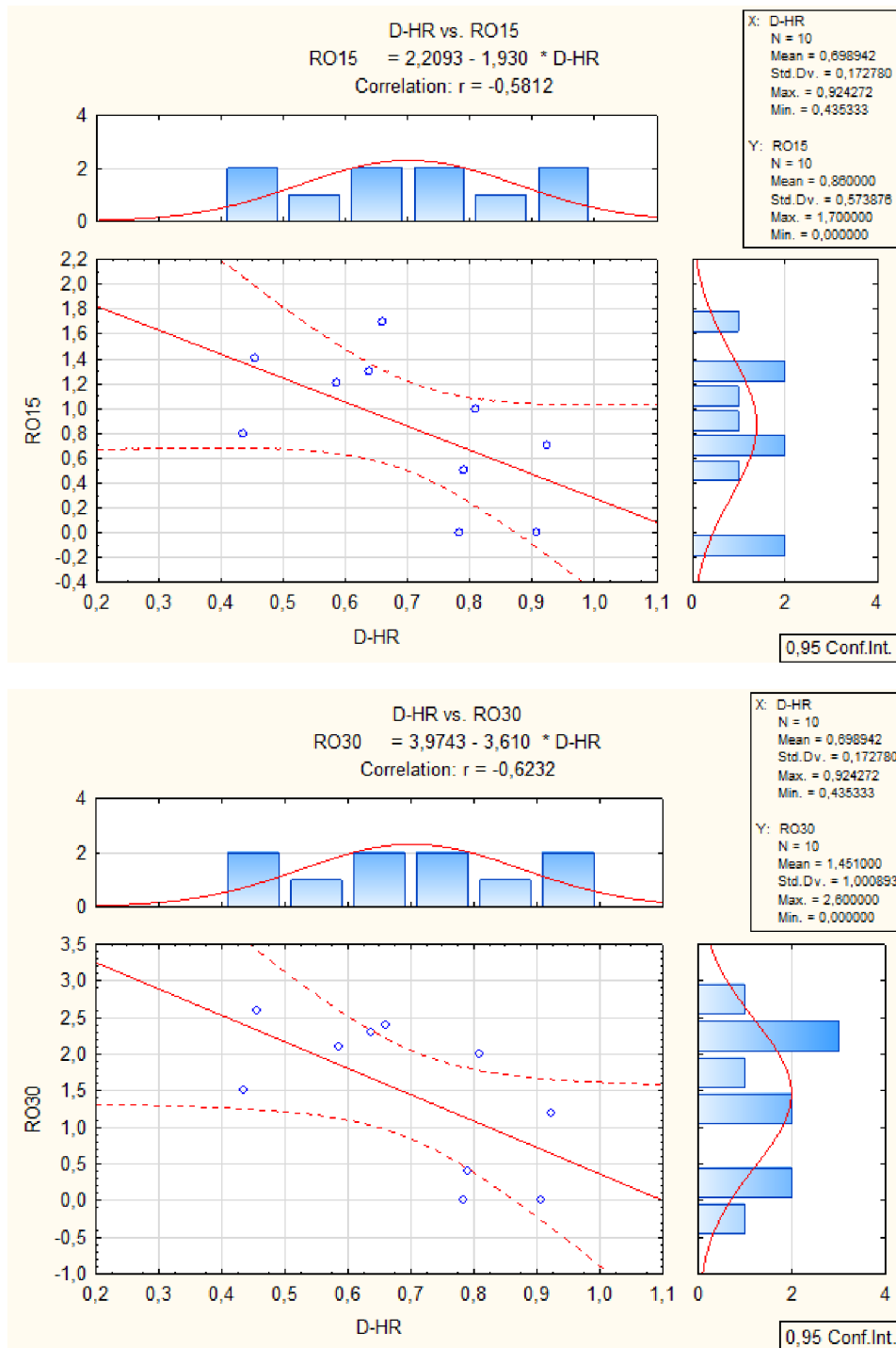
Z analýzy vlivu vegetační pokryvnosti zjištěné z fotografie na objem povrchového odtoku (RO) vyplývá, že v obou případech se jedná o zápornou korelaci, tj. s rostoucí pokryvností klesá povrchový odtok (Obr. 10). Nicméně, v obou případech se statistická závislost jeví nevýznamná ($p > 0,05$), přičemž v případě RO15 je jenom patrná slabá korelace ($r = -0,2264$), zatímco u RO30 je to dokonce pouze velmi slabá korelace ($r = -0,1597$).



Obrázek 10. Korelační analýza pokrývnosti z fotografie (D-PH) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

Regresní a korelační analýza: Výškově redukováná pokrývnost vs. Povrchový odtok

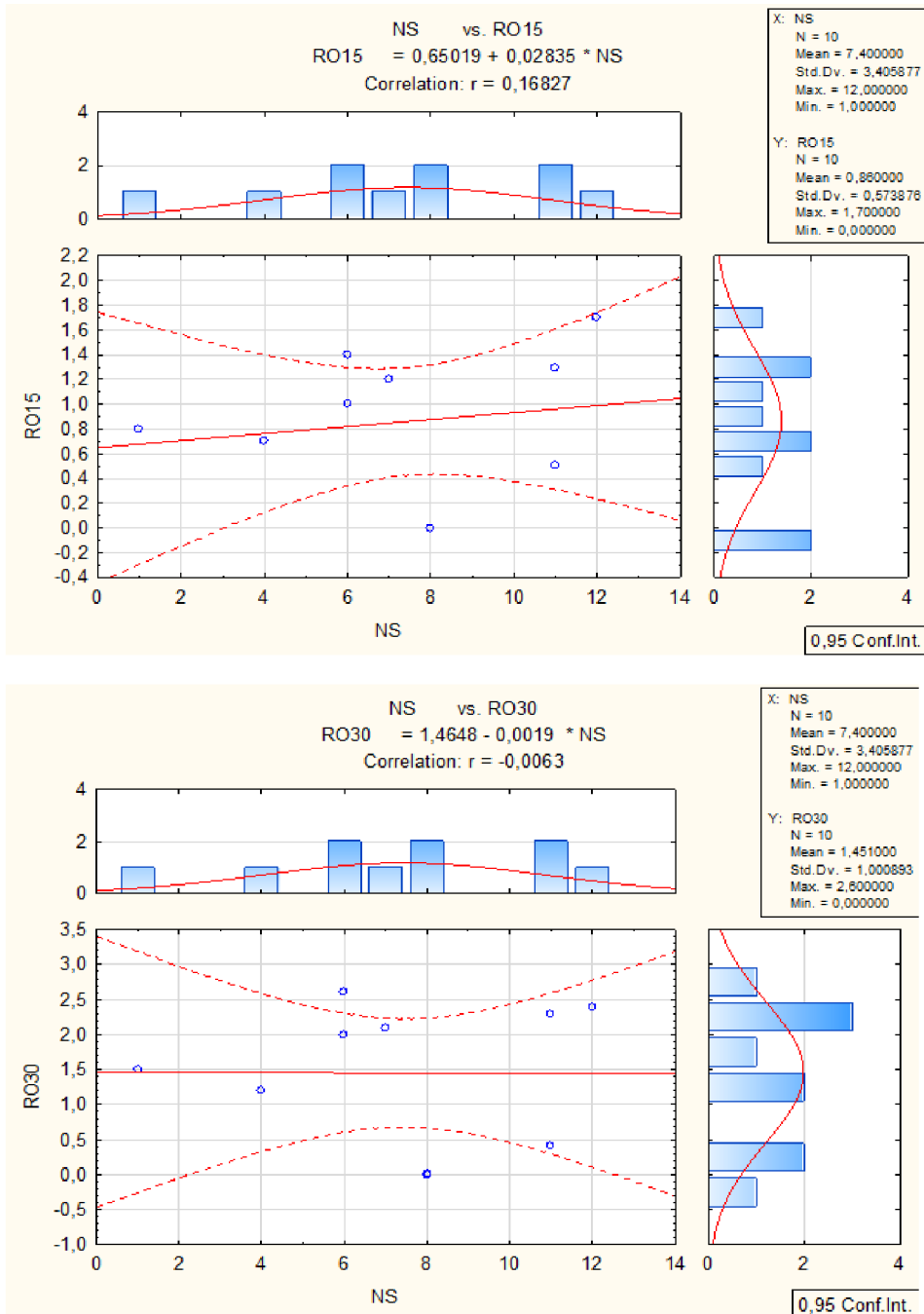
Ve shodě s výsledky analýzy vegetační pokrývnosti z fotografie, analýza vlivu výškově redukováné pokrývnosti poukazuje na zápornou korelaci, tedy vyšší pokrývnost, pomáhá snížit objem povrchového odtoku (Obr. 11). V tomto případě se jedná o statisticky nevýznamnou ($p > 0,05$) středně silnou (PO15) a silnou (PO30) korelaci.



Obrázek 11. Korelační analýza výškově redukováné pokrývnosti (D-HR) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

Regresní a korelační analýza: Počet rostlinných druhů vs. Povrchový odtok

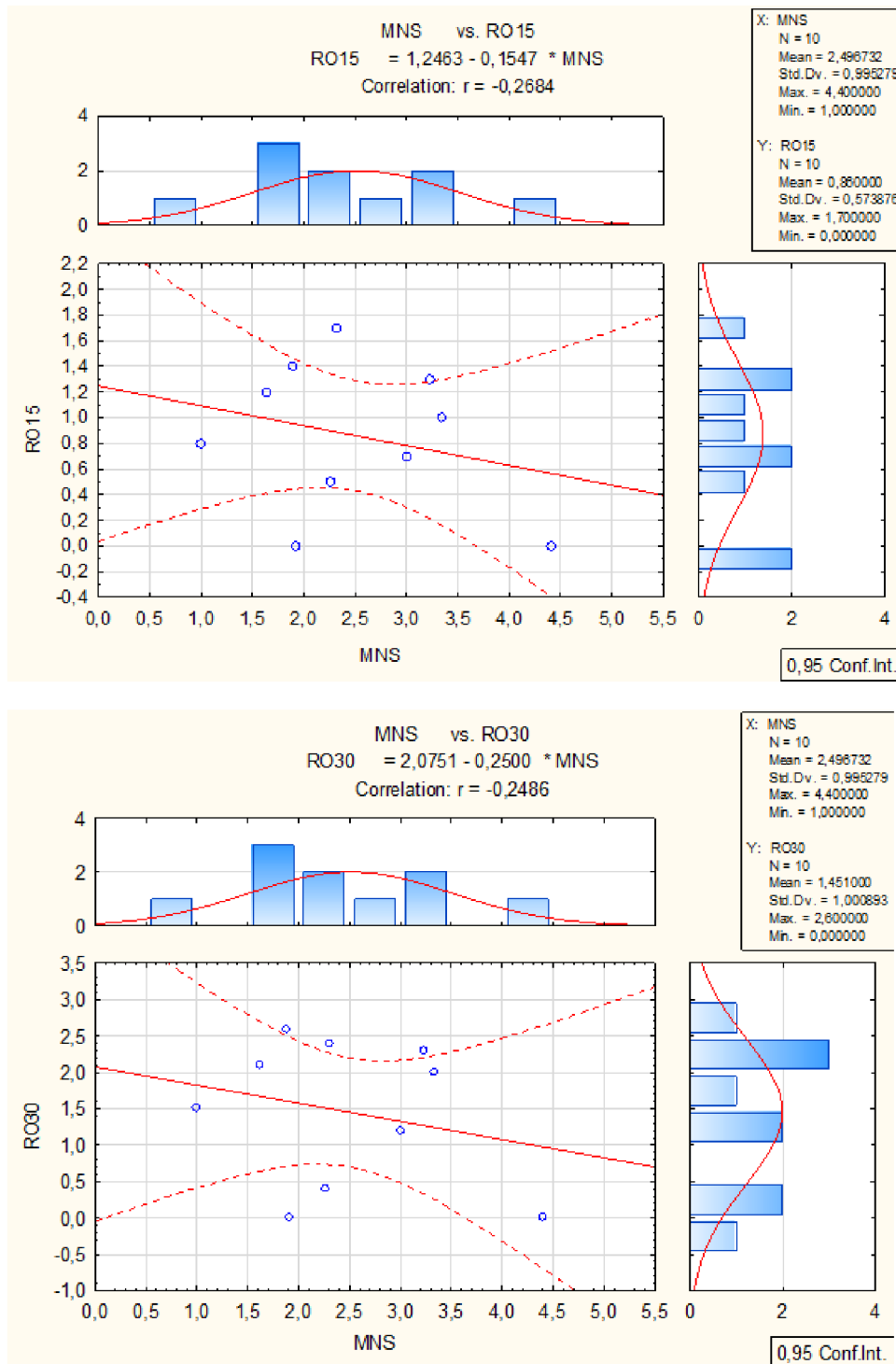
Výsledky regresní a korelační analýzy pro vliv počtů rostlinných druhů na povrchový odtok jsou nejednoznačné. V obou případech se jedná o statisticky nevýznamné slabé korelace (Obr. 12), avšak v případě povrchového odtoku při 15minutové simulaci výsledný koeficient r je kladný (tj. s rostoucím počtem druhů stoupá objem povrchového odtoku), když u 30minutové simulace tento koeficient je záporný (tj. s rostoucím počtem druhů klesá objem povrchového odtoku).



Obrázek 12. Korelační analýza počtu rostlinných druhů (NS) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

Regresní a korelační analýza: Modifikovaný počet rostlinných druhů vs. Povrchový odtok

Statistická analýza vztahů mezi modifikovaným počtem druhů a objemem povrchového odtoku poukázala na další statisticky nevýznamný vliv se slabou zápornou korelací (Obr. 13). Díky této záporné korelaci lze předpokládat, že stoupající počet druhů může zamezit intenzitě povrchového odtoku.



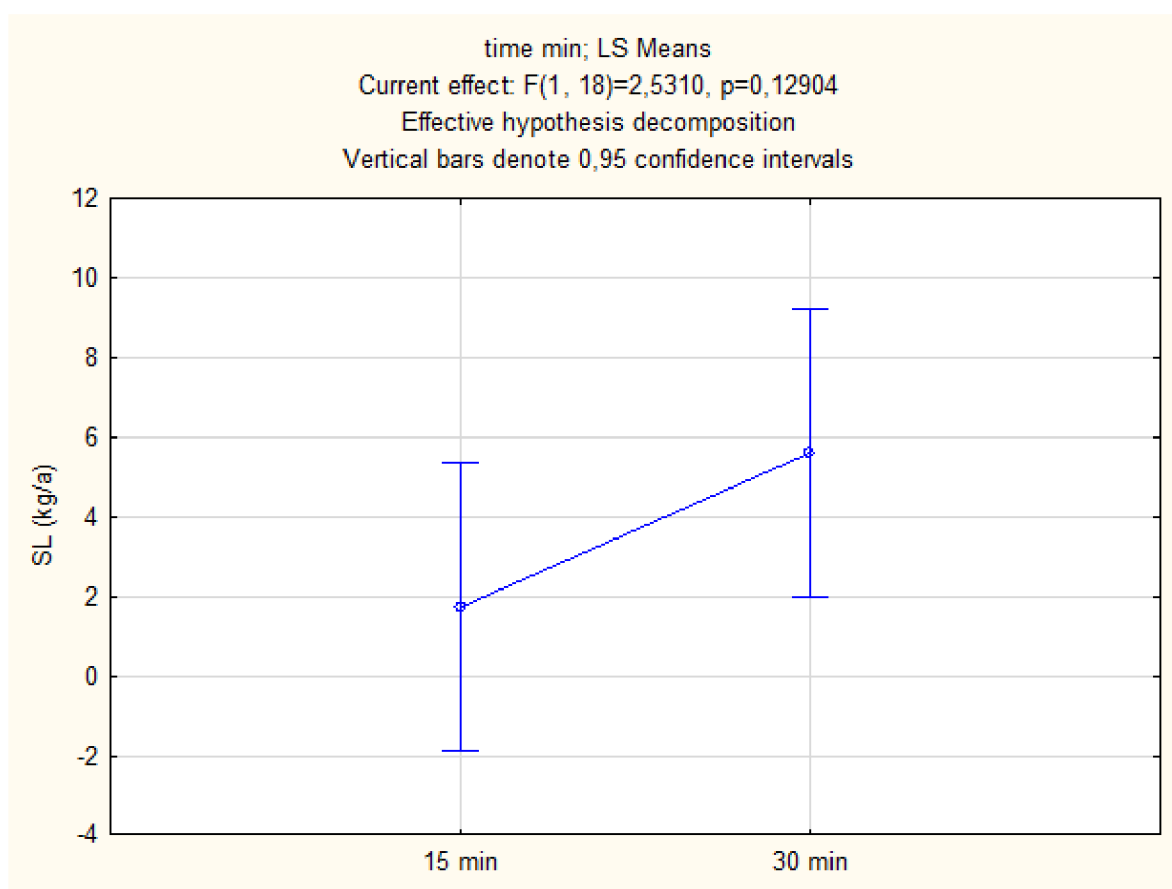
Obrázek 13. Korelační analýza modifikovaného počtu rostlinných druhů (MNS) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

5.2.3. Ztráta půdy

V této sekci diplomové práce jsou představeny výsledky statistického vyhodnocení dat spojených s naměřenými hodnotami ztráty půdy na jednotlivých plochách.

ANOVA analýza: Ztráta půdy

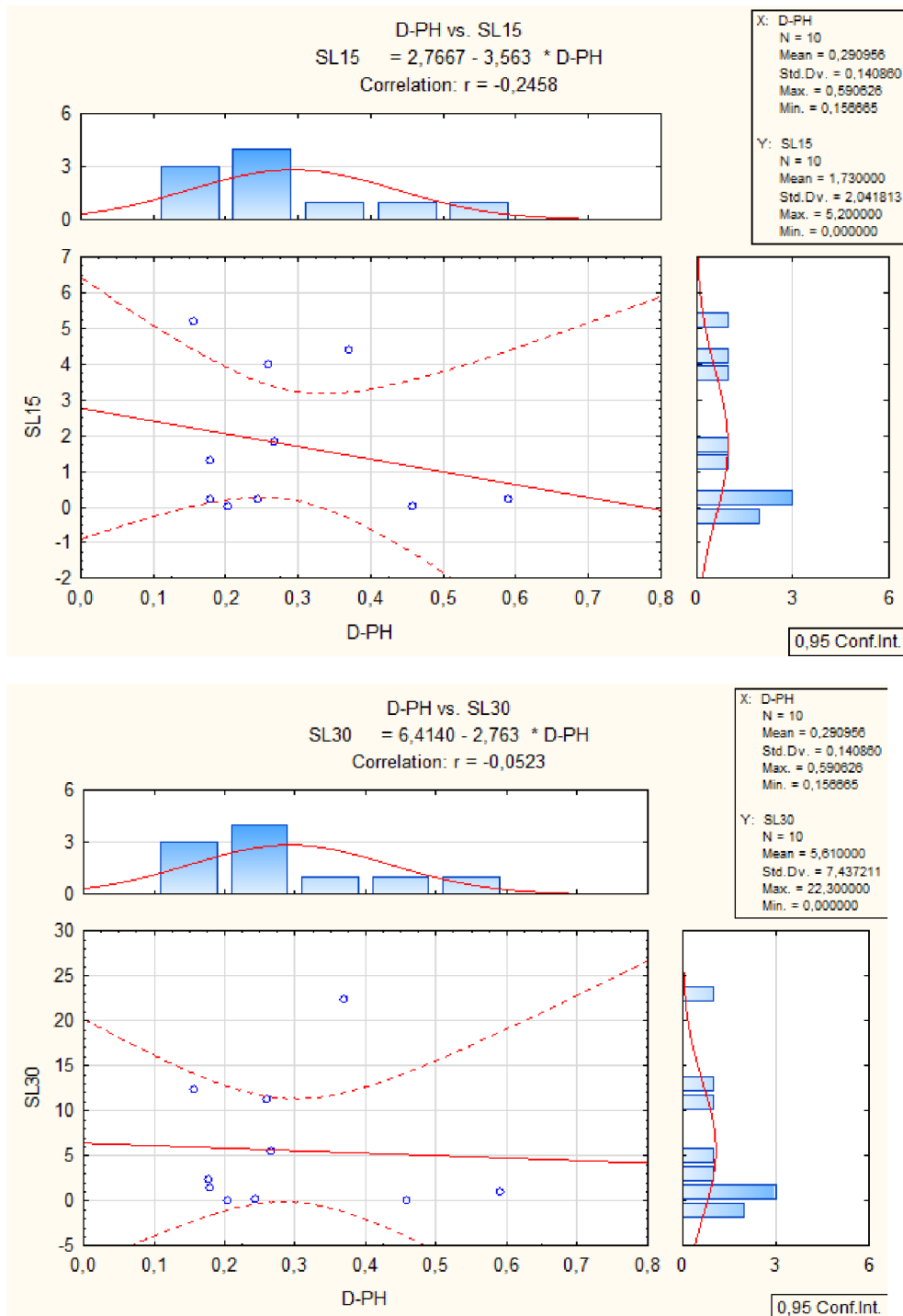
Po provedení jednofaktorové analýzy ANOVA pro ztrátu půdy nebyly nalezeny žádné statisticky významné rozdíly (Obr. 14). Podobně jako v případě hodnoty povrchového odtoku. V rámci daného experimentu se tedy nejedná o výrazný vliv délky simulace na množství smyvu půdy.



Obrázek 14. Jednofaktorová analýza ANOVA pro hodnoty ztráty půdy (SL) během 15minutové a 30minutové simulace.

ANOVA analýza: Modus stupně pokryvnosti dle Braun-Blanquetovy stupnice

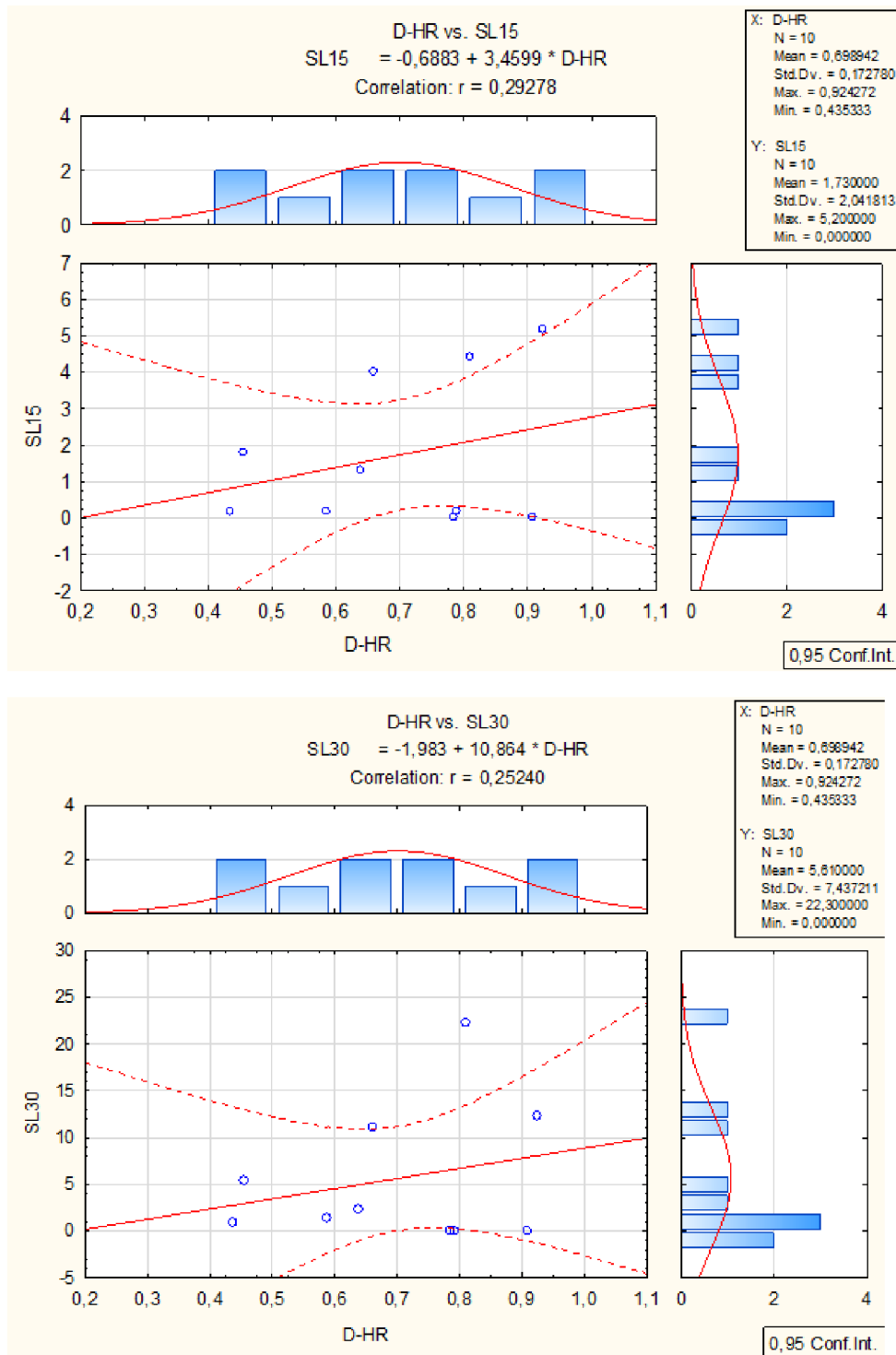
Statistická analýza vlivu vegetační pokryvnosti z fotografie na ztrátu půdy (SL) poukázala na slabou (SL15) až velmi slabou (SL30) zápornou korelaci, kdy při rostoucí pokryvnosti klesá intenzita smyvu půdy (Obr. 15). Ovšem v obou případech byla tato korelace statisticky nevýznamná.



Obrázek 15. Korelační analýza pokryvnosti z fotografie (D-PH) a ztráty půdy (SL) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

Regresní a korelační analýza: Výškově redukovaná pokrývnost vs. Ztráta půdy

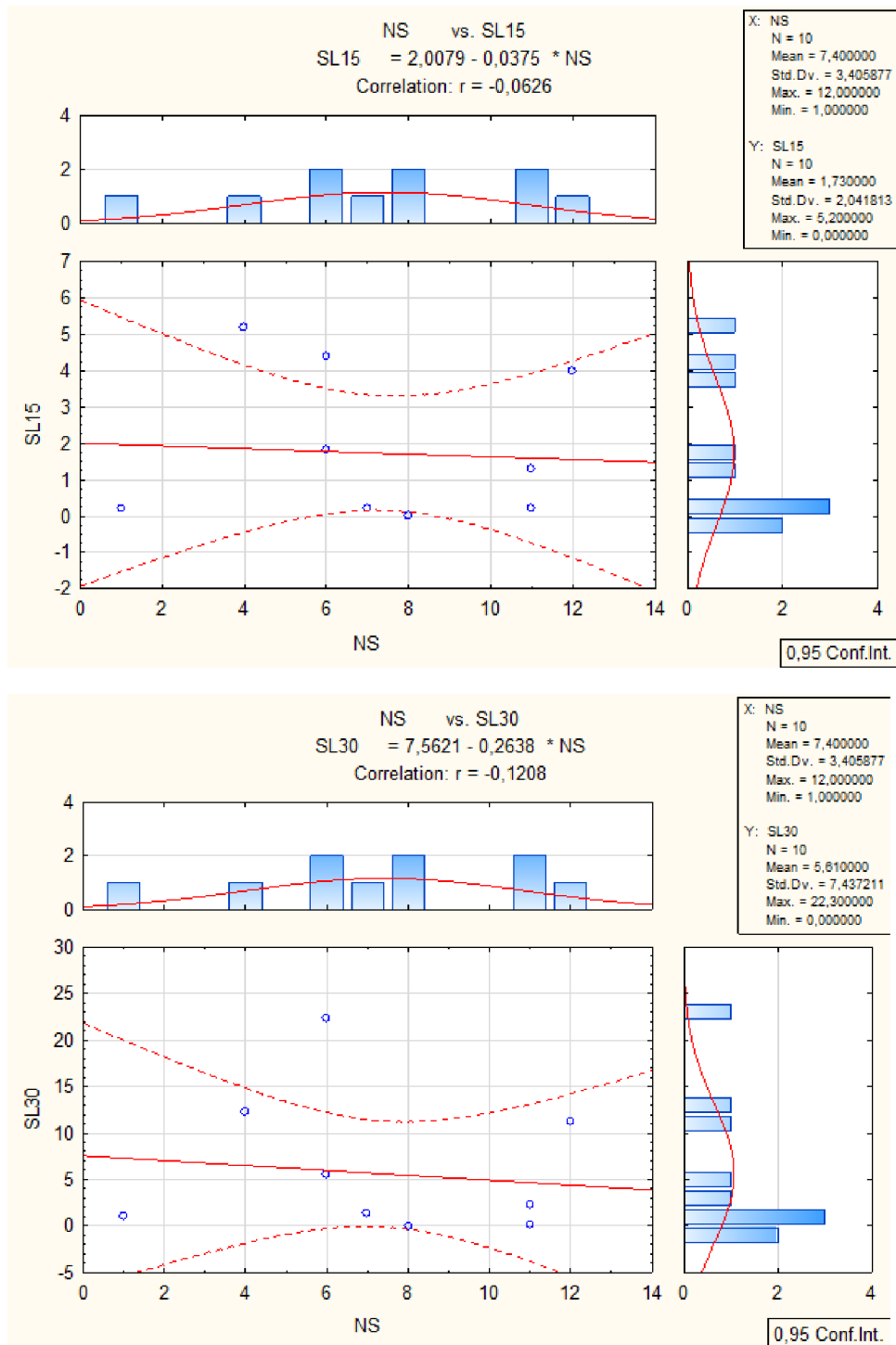
Při provedení statistické analýzy vlivu výškově redukované pokrývnosti na ztrátu půdy se zjistila kladná korelace, tj. s rostoucí výškově redukovanou pokrývností stoupá ztráta půdy (Obr. 16). Tato korelace byla vyhodnocena jako slabá, přičemž výsledky nebyly statisticky významné.



Obrázek 16. Korelační analýza výškově redukované pokrývnosti (D-HR) a Ztráty půdy (SL) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

Regresní a korelační analýza: Počet rostlinných druhů vs. Ztráta půdy

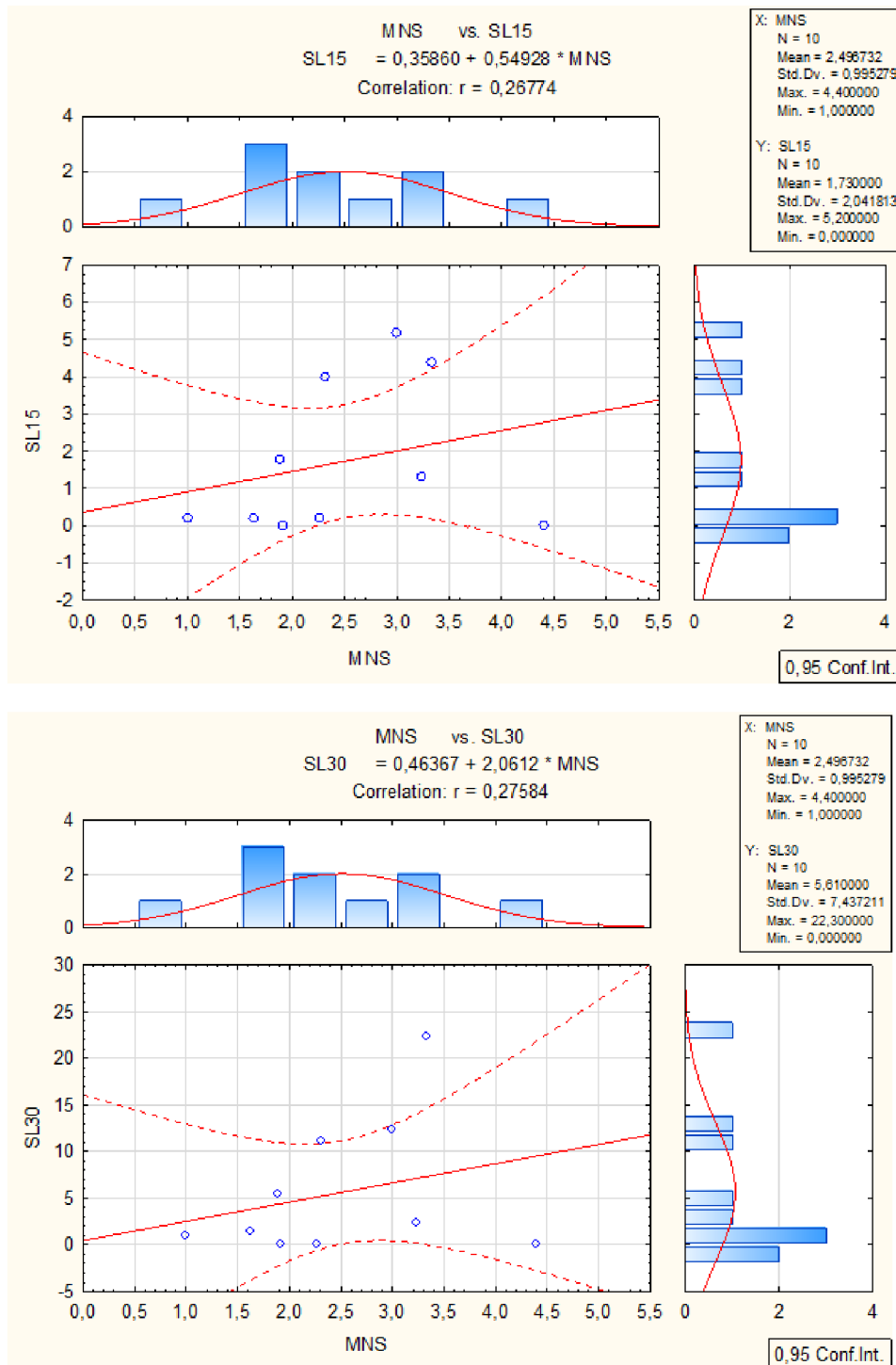
V případě výsledků korelační analýzy vlivu počtu rostlinných druhů na ztrátu půdy se jedná zápornou korelaci, kdy s rostoucím počtem druhů klesá ztráta půdy (Obr. 17). V obou případech výsledná korelace je velmi slabá. Ze statistického hlediska tyto výsledky nejsou významné.



Obrázek 17. Obrázek 17: Korelační analýza počtu rostlinných druhů (NS) a ztráty půdy (SL) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

Regresní a korelační analýza: Modifikovaný počet rostlinných druhů vs. Ztráta půdy

Na rozdíl od předchozích výsledků se korelace modifikovaného počtu rostlinných druhů a ztráty půdy jeví jako kladná, což lze interpretovat jako stoupající ztrátu půdy při zvýšení počtu rostlinných druhů (Obr. 18). Tato korelace je ovšem slabá a ani v tomto případě není staticky významná.



Obrázek 18. Korelační analýza modifikovaného počtu rostlinných druhů (MNS) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.

6. Diskuze

Diskuze této diplomové práce se skládá ze třech základních částí: rozbor potenciálních příčin statistické nevýznamnosti výsledků, hodnocení dat v rámci hypotéz stanovených v kapitole Cíle práce a doporučení pro budoucí experimenty a zlepšení erozní odolnosti lesních cest.

6.1. Statistický význam výsledků a související faktory

Po provedení statických analýz dat získaných v rámci experimentu se ukázalo, že veškeré zkoumané souvislosti mezi jednotlivými ukazateli nejsou statisticky významné. Existuje celá řada faktorů, které tento výsledek mohly způsobit. Mezi tyto faktory patří například design experimentu, chyby měření nebo povaha samotných zkoumaných vztahů mezi ukazateli.

6.1.1. Design experimentu

Plánování a design experimentu mají velký vliv na kvalitu jeho výstupu (Casler, 2015).

Jedním ze základních parametrů experimentu je **počet opakování**, kdy při jejich nedostatečném počtu může dojít k chybným závěrům nebo výsledkům s vysokou p-hodnotou, a tedy nízkou statistickou významností (Casler, 2015; Fraenkel et al., 2011). Provedený experiment zahrnoval pouze 10 opakování, zatímco minimální doporučená velikost vzorku pro korelační analýzy je 30 (Fraenkel et al., 2011). Lze tedy předpokládat, že tento faktor mohl výrazně ovlivnit výsledky provedených statistických analýz.

Dalším faktorem ovlivňujícím kvalitu výstupů experimentu může být absence tzv. **kontrolní plochy**, která pomáhá změřit výchozí hodnoty zkoumaných veličin (např. objem povrchového odtoku a ztráta půdy) a tím poskytnout základnu pro porovnání s měřeními na ostatních plochách. V případě daného experimentu by se jednalo o jednu nebo více ploch bez vegetačního pokryvu s parametry shodnými s ostatními plochami (např. nadmořská výška, půdní typ, sklon apod.). S použitím kontrolních ploch se lze setkat ve studiích s podobnými experimenty (Li a Pan, 2018; Li et al., 2021; Wei et al., 2024).

Dále lze předpokládat, že **zvolené schéma zadešťování** (30 minut déšť – 15 min pauza – 15 minut déšť), mohlo ovlivnit výsledky měření, obzvláště v případě měření pro druhý, 15minutový interval. Během prvních 30 minut zadešťování dochází k saturaci půdy, díky čemuž může narůst povrchový odtok během druhé části simulace. Na druhou stranu, při prvním zadešťování může dojít ke smyvu většiny volné zeminy na povrchu plochy, což

může snížit ztrátu půdy při druhém zadeš'ování (Zlatuška et al., 2023). Oba zmíněné procesy mají potenciál pro zvýšení variability výsledků experimentu.

6.1.2. Problematika měření

Kromě designu experimentu mohou být výsledky ovlivněny i správností jednotlivých měření. Kvalitu výstupů mohou například ovlivnit chyby v postupech měření nebo chybný přenos a interpretace dat.

V případě vybraného výzkumu existuje také riziko zvolení pokusných ploch, které nebudou dostatečně reprezentativní pro celou lokalitu. V rámci fytoecologického průzkumu by se pak mohlo jednat o volbu čtverců, jejichž vegetace nebude dostatečně shodná s vegetací celých ploch. Tento postup může následně zkreslit výstupy experimentu.

Dalším faktorem je volba různých postupů měření. Jedním z příkladů pro daný výzkum je rozdíl mezi hodnotami pokryvnosti D-HR (výškově redukovaná pokryvnost) a D-PH (pokryvnost z fotografie), znázorněny v Tabulce 9. I přes to, že se jedná o měření stejných parametrů, jsou zde patrné rozdíly. Kupříkladu, v případě lokality KO-TD2-06 hodnota D-HR je 0,92, když hodnota D-PH je pouze 0,16. Z tohoto důvodu je nutné zvážit, které z těchto naměřených hodnot jsou více vypovídající a vhodné pro přesnější výsledky experimentu.

6.1.3. Komplexnost zkoumaných vztahů

Statistická nevýznamnost výsledků může být způsobena nejen experimentem, ale také komplexností zkoumaných vztahů, kdy se jedná o hůř předvídatelný vliv více proměnných.

Výzkumné plochy použité pro tuto diplomovou práci vykazují variabilitu ve více parametrech, jako je například sklon svahu, nadmořská výška (Tab. 3 a Tab. 4), množství půdního skeletu a druhy a pokryvnost vegetace (Tab. 9). Variabilita výše zmíněných parametrů může mít vliv na povrchový odtok a ztrátu půdy, i když nebyla zahrnuta do původní statistické analýzy. Se stejným problémem se setkali i Li et al. (2021) a Wang et al. (2016) při provedení podobných experimentů.

Jedním z příkladů vlivu variability parametrů v rámci experimentu této diplomové práce je vysoká infiltrační kapacita zářezových svahů v lokalitě Křtiny, kdy i po druhé fázi zadeš'ování byl zaznamenán velmi nízký objem povrchového odtoku a smyv půdy. Dalším příkladem je vyšší množství ztráty půdy v lokalitě Kostelec nad Černými lesy, způsobený velmi malou vegetační pokryvností na nově založených zářezových svazích (Zlatuška et al., 2023).

6.2. Interpretace výsledků v rámci stanovených hypotéz

I přes to, že výsledky výzkumu této diplomové práce se jeví jako statisticky nevýznamné, je stále možné provést jejich hodnocení alespoň na základě zjištěných korelačních koeficientů.

Při posuzování vlivu vegetační pokrývnosti z fotografie na ztrátu půdy se zjistila slabá až velmi slabá záporná korelace, což potvrzuje hypotézu *H1 – S rostoucí pokrývností klesá ztráta půdy erozí*. Shodná korelace byla nalezena i u hodnot objemu povrchového odtoku. S podobným závěrem přišli ve svých studiích Arnáez et al. (2004), Dunjó et al. (2004), Reid et al., (1999) a Wei et al. (2014). K opačným výsledkům dospěl Wang et al. (2016), kde hlavním důvodem mohlo být druhové složení a typ vegetace, na což upozorňoval i Dunjó et al. (2004) a Chen et al. (2018).

Vliv druhového složení vegetace úzce souvisí s další hypotézou *H2 – S rostoucím počtem druhů zastoupených ve společenstvu rostlin na řešené ploše klesá ztráta půdy erozí*. Statistická analýza vlivu počtu rostlinných druhů na ztrátu půdy poukazuje na velmi slabou zápornou korelaci, zatímco při analýze modifikovaného počtu druhů (MNS) tato korelace je kladná a silnější. Možným vysvětlením pro kladnou korelaci u MNS je to, že tento parametr víc zohledňuje rostliny s nejvyšším zastoupením na zkoumané ploše, i když tyto rostliny nemusejí mít lepší protierozní vlastnosti. Naopak, objem povrchového odtoku měl velmi slabou zápornou (RO15) a slabou kladnou (RO30) korelaci s počtem druhů rostlin, kdežto s rostoucím MNS se povrchový odtok snižoval. Důvodem pro tyto nejednoznačné výsledky může být odlišný mechanismus chování části rostlin, kdy jejich nadzemní část lépe snižuje intenzitu povrchového odtoku, zatímco podzemní část pomáhá zmírnit smyv půdy (Li & Pan, 2018; Vannoppen et al., 2017; Wei et al., 2024). Lze tedy předpokládat, že rostliny přítomné na zkoumaných plochách měly lépe vyvinutou nadzemní část, prospívající zmírnění povrchového odtoku, a hůř vyvinutou část podzemní, zamezující smyv půdy.

Výsledky související s poslední hypotézou *H3 – S rostoucí výškově redukovanou pokrývností klesá ztráta půdy erozí* představují jednou z nejsilnějších korelaci v rámci daného experimentu. I když při posuzování vlivu výškově redukované pokrývnosti na ztrátu půdy byla zjištěná slabá kladná korelace, v případě povrchového odtoku se jednalo o střední až silnou zápornou korelaci. Hypotézu tedy nejde přijmout. Tyto nejednoznačné výsledky je možné vysvětlit dříve zmíněnými velkými rozdíly mezi hodnotami naměřenými pro pokrývnosti z fotografie (D-PH) a výškově redukovanou pokrývnost (D-HR). V dostupné literatuře lze najít studie, které souhlasí jak s očekávanou negativní korelací (Arnáez et al., 2004; Dunjó et al.,

2004; Reid et al., 1999; Wei et al. 2014), tak i s pozitivní korelací (Li et al., 2021; Wang et al., 2016). Podle Li et al. (2021) a Wang et al. (2016), při provedení podobných experimentů je velmi náročné posuzovat vliv jednotlivých parametrů zkoumaných ploch, neboť se jedná o komplexní vazby mezi více faktory, jejichž mechanismus není vždy známý.

6.3. Doporučení pro budoucí výzkum a opatření

S ohledem na různorodost získaných výsledků a jejich statistickou nevýznamnost je velmi žádoucí pokračovat ve výzkumu dané problematiky. Jednou z možností získání lepších výsledků může být změna designu experimentu, která může spočívat ve:

- Větším počtu výzkumných ploch, což umožní provést víc měření, a tedy získání většího vzorků dat. Větší množství dat může pomoci vyloučit extrémní hodnoty z datového souboru a získat statisticky významnější výsledky;
- Snížení množství potenciálních proměnných, tj. provedení více opakování za stejných nebo shodných podmínek (sklon svahu, míra vegetační pokryvnosti, zastoupení rostlinných druhů, půdní vlastnosti apod.). Toto opatření může omezit komplexnost posuzovaných vztahů a poukázat na jasnější korelace mezi vybranými parametry;
- Zavedení jedné nebo více kontrolních ploch bez vegetace pro porovnání s plochami s různými stupni vegetační pokryvnosti. Tento nový datový soubor může přinést novou perspektivu pro posuzování síly vlivu určitých parametrů (např. rozdíl mezi plochou bez vegetace, plochou s nízkou pokryvností a plochou s vysokou pokryvností). Díky tomu lze lépe odhadnout účinnost plánovaných protierozních opatření a jejich lepší finanční vyhodnocení;
- Volbě nejvhodnějších způsobů měření a postupů, které budou nejlépe prezentovat parametry jednotlivých ploch. V rámci daného experimentu lze například zvážit, zda je vhodnější použít měření plochy pomocí fotografie anebo výškové redukce. Další možnosti může být jiné schéma zadešťování.

Na základě výstupů z podobných experimentů z dostupné literatury lze zdůraznit následná opatření pro zlepšení protierozní odolnosti, spojené s vegetací:

- Použití travní vegetace pro zmírnění povrchového odtoku a smyvu půdy, a to díky její dobré pokryvnosti a hustému kořenovému systému (Arnáez et al., 2004; Chen et al., 2018; Li & Pan, 2018; Wang et al., 2016);

- Minimální narušení vegetačního krytu a půdního povrchu, což výrazně přispívá zmírnění eroze půdy (Jin et al., 2021; Li et al., 2021; Wang et al., 2016);
- Navrhování a výstavba lesních cest maximálně přizpůsobených místním topografickým podmínkám, což pomáhá lepší stabilitě terénu a lepší protierozní odolnosti (Arnáez et al., 2004);
- Přizpůsobení parametrů lesních cest lokálním půdním charakteristikám (např. zpevňování povrchu, zatravnění svahů s náchylnějšími půdními typy) (Deng et al., 2020; Vannoppen et al., 2017).

Je nutné podotknout, že při navržení lesních cest a volbě souvisejících protierozních opatření, je důležité zvážit jak terénní poměry lokality, tak v neposlední řadě, finanční a technické možnosti lesních podniků.

7. Závěr

V rámci této diplomové práce bylo provedeno fytoocenologické snímkování na deseti plochách. Na základě dat získaných z tohoto snímkování a dalších terénních měření se statisticky vyhodnotil vliv vegetační pokrývnosti a počtu rostlinných druhů na hodnoty povrchového odtoku a ztráty půdy.

Výsledky vyhodnocení ukázaly, že zjištěné vlivy nejsou statisticky významné. Existuje několik možných důvodů, které mohly tento výstup ovlivnit. Jedním z těchto důvodů je design experimentu, který zahrnuje parametry jako je počet opakování, absence kontrolních ploch a zvolené schéma zadešťování. Dalším potenciálním faktorem je přesnost a vhodnost zvolených způsobů a postupů měření. Posledním důvodem, na který poukazuje nejenom tento výzkum, ale i řada předchozích studií, je komplexnost zkoumaných vztahů, jako je například sklon a půdní vlastnosti stanoviště, druhové složení vegetace anebo narušenost vegetačního a půdního povrchu.

I přes statistickou nevýznamnost dat zjištěné korelační koeficienty částečně potvrzují hypotézu *H1 – S rostoucí pokrývností klesá ztráta půdy erozí*, a to i pro objem povrchového odtoku. Hypotézu *H2 – S rostoucím počtem druhů zastoupených ve společenstvu rostlin na řešené ploše klesá ztráta půdy erozí* nebylo možné ani potvrdit, ani zamítnout, a to pro různorodost získaných výsledků – byly zde přítomné jak kladné, tak i záporné korelace. Jedním z možných vysvětlení pro tento výstup je odlišný mechanismus chování nadzemní a podzemní části rostlin. Výsledky související s poslední hypotézou *H3 – S rostoucí výškově redukovanou pokrývností klesá ztráta půdy erozí* jsou taktéž nejednoznačné, což se shoduje s dostupnou vědeckou literaturou. Proto, i když v případě vlivu výškově redukované pokrývnosti na ztrátu půdy byla zjištěna slabá pozitivní korelace, nelze tuto hypotézu definitivně zamítnout.

Pro nejednoznačnost zjištěných výsledků je doporučeno pokračovat v experimentálním výzkumu faktorů ovlivňujících erozní procesy na lesních cestách. Pro zajištění kvalitních výstupů tohoto výzkumu lze doporučit následující opatření: zvýšení množství výzkumných ploch, snížení množství potenciálních proměnných experimentu (tj. výběr ploch s co nejpodobnějšími podmínkami), použití kontrolních ploch bez vegetačního pokryvu a volbu nejvhodnějších měření a postupů.

Z hlediska zvýšení protierozní odolnosti lesních cest lze doporučit použití travní vegetace, zamezení narušení vegetačního krytu a půdního povrchu, navržení cest s ohledem na topografii stanoviště a přizpůsobení technických parametrů lesních cest místním půdním vlastnostem.

8. Literatura

- AKBARIMEHR, M. a NAGHDI, R. Reducing erosion from forest roads and skid trails by management practices. Online. *Journal of Forest Science*. 2012, roč. 58, č. 4, s. 165-169. ISSN 12124834. Dostupné z: <https://doi.org/10.17221/136/2010-JFS>. [cit. 2023-11-15].
- ALVIS, Amanda D.; LUCE, Charles H. a ISTANBULLUOGLU, Erkan. How does traffic affect erosion of unpaved forest roads? Online. *Environmental Reviews*. 2023, roč. 31, č. 1, s. 182-194. ISSN 1181-8700. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/er-2022-0032>. [cit. 2024-03-21].
- ARNÁEZ, J.; LARREA, V. a ORTIGOSA, L. Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. Online. *CATENA*. 2004, roč. 57, č. 1, s. 1-14. ISSN 03418162. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.09.002>. [cit. 2023-11-21].
- CASLER, Michael D. Fundamentals of Experimental Design: Guidelines for Designing Successful Experiments. Online. *Agronomy Journal*. 2015, roč. 107, č. 2, s. 692-705. ISSN 0002-1962. Dostupné z: <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0114>. [cit. 2024-01-24].
- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE [ČZU]. *Arboretum FLD Kostelec nad Černými Lesy – historie arboreta*. ČZU, ©2021. Dostupné z: <https://arboretum.czu.cz/cs/r-12506-o-arboretu/r-12525-historie-arboreta>. [cit. 2023-08-20].
- ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE [ČZU]. *Lesy ČZU: Představení podniku*. ČZU, ©2021. Dostupné z: <https://lesy.czu.cz/cs/r-11200-o-nas>. [cit. 2023-08-20].
- ČESKO. *Zákon č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích ve znění zák. č. 268/2015 Sb.* Online. In: *Zákony pro lidi*. AION CS, 2010–2024. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-13>. [cit. 2023-10-19].
- CHEN, Hao; ZHANG, Xiaoping; ABLA, Muratjan; LÜ, Du; YAN, Rui et al. Effects of vegetation and rainfall types on surface runoff and soil erosion on steep slopes on the Loess Plateau, China. Online. *CATENA*. 2018, roč. 170, s. 141-149. ISSN 03418162. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.006>. [cit. 2023-11-21].
- CULEK, Martin (ed.). *Biogeografické členění České republiky*. Praha: Enigma, 1996. ISBN 80-85368-80-3.
- DENG, Longzhou; SUN, Tianyu; FEI, Kai; ZHANG, Liping; FAN, Xiaojuan et al. Effects of erosion degree, rainfall intensity and slope gradient on runoff and sediment yield for the bare soils from the weathered granite slopes of SE China. Online. *Geomorphology*. 2020, roč. 352. ISSN 0169555X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106997>. [cit. 2023-11-21].
- DUNJÓ, Gemma; PARDINI, Giovanni a GISPERT, Maria. The role of land use–land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale, in a small Mediterranean catchment. Online. *Journal of Arid Environments*. 2004, roč. 57, č. 2, s. 239-256. ISSN 01401963. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00097-1). [cit. 2024-01-24].

EVERS, Jeannie (ed.). *Erosion*. Online. In: Education. National Geographic Society. 3.1.2024. Dostupné z: <https://education.nationalgeographic.org/resource/erosion/>. [cit. 2024-02-11].

FRAENKEL, Jack; WALLEN, Norman a HYUN, Helen. *How to Design and Evaluate Research in Education*. 8th edition. New York: Mcgraw-Hill, 2011. ISBN 978-0-07-809785-0.

HÁJKOVÁ, Mariana; SVOBODOVÁ, Hana. *Česká Republika – tematický atlas. Půdy*. Online. ©2017. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/js17/cesko_atlas/web/index.html. [cit. 2023-08-20].

HEJNÝ, Slavomil a SLAVÍK, Bohumil (ed.). *Květena České republiky*. 2., nezm. vyd. Praha: Academia, 2003. ISBN 80-200-1090-4.

HRAŠKO, Juraj et al. *Půdní mapa ČSSR. Mapa 1:500 000*. Bratislava: VÚPVR, 1973.

JIN, Fengmei; YANG, Wuchao; FU, Jinxia a LI, Zhi. Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. Online. *Science of The Total Environment*. 2021, roč. 773. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145514>. [cit. 2023-11-21].

KAPLAN, Zdeněk; DANIHELKA, Jiří; CHRTEK, Jindřich; KIRSCHNER, Jan; KUBÁT, Karel et al. *Klíč ke květeně České republiky*. Druhé, aktualizované a zcela přepracované vydání. Ilustrovala Anna SKOUMALOVÁ-HADAČOVÁ, ilustrovala Eva SMRČINOVÁ. Praha: Academia, 2019. ISBN 978-80-200-2660-6.

LI, Changjia a PAN, Chengzhong. The relative importance of different grass components in controlling runoff and erosion on a hillslope under simulated rainfall. Online. *Journal of Hydrology*. 2018, roč. 558, s. 90-103. ISSN 00221694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.007>. [cit. 2023-11-15].

LI, Jianming; LI, Li; WANG, Zhigang; ZHANG, Changwei; WANG, Yifeng et al. The contributions of the roots, stems, and leaves of three grass species to water erosion reduction on spoil heaps. Online. *Journal of Hydrology*. 2021, roč. 603. ISSN 00221694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127003>. [cit. 2023-11-15].

MCFERO GRACE III, J. Determining the Range of Acceptable Forest Road Erosion. Online. In: *2008 Providence, Rhode Island, June 29 - July 2, 2008*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2008, -. Dostupné z: <https://doi.org/10.13031/2013.24916>. [cit. 2024-03-21].

MĚSTO KOSTELEC NAD ČERNÝMI LESY. *Současnost*. Online. Město Kostelec nad Černými lesy, ©2006. Dostupné z: <https://www.kostelecncz.cz/soucasnost/d-1140/p1=17155>. [cit. 2023-08-20].

Ministerstvo dopravy. TP 53, *Protierozní opatření na svazích pozemních komunikací: Technické podmínky*. Brno, 2003.

Ministerstvo životního prostředí [MŽP]. *Atlas krajiny České republiky: Landscape atlas of the Czech Republic*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2009. ISBN 978-80-85116-59-5.

MORAVEC, Jaroslav. *Fytocenologie: (Nauka o vegetaci)*. Praha: Academia, 1994. ISBN 80-200-0457-2.

NEUHÄUSLOVÁ, Zdenka. *Mapa potencionální přirozené vegetace České republiky: = Map of potential natural vegetation of the Czech Republic : textová část*. Praha: Academia, 1998. ISBN 80-200-0687-7.

PLADIAS. *Pladias – databáze české flóry a vegetace*. Online. © 2014–2023. Dostupné z www.pladias.cz. [cit. 2023-08-10].

QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa: Climatic regions of Czechoslovakia*. Studia geographica. Brno: Geografický ústav ČSAV, 1971.

REID, Kevin D.; WILCOX, Bradford P.; BRESHEARS, David D. a MACDONALD, Lee. Runoff and Erosion in a Piñon–Juniper Woodland Influence of Vegetation Patches. Online. *Soil Science Society of America Journal*. 1999, roč. 63, č. 6, s. 1869-1879. ISSN 0361-5995. Dostupné z: <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361869x>. [cit. 2024-01-24].

ŠKOLNÍ LESNÍ PODNIK MASARYKŮV LES KŘTINY. *ŠLP Křtiny*. Online. MENDELU, © 2002—2021. Dostupné z: <https://www.slpkrtiny.cz/>. [cit. 2023-08-20].

ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ [ÚNMZ]. ČSN 73 6108, *Lesní cestní síť*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.

VANNOPPEN, W.; DE BAETS, S.; KEEBLE, J.; DONG, Y. a POESEN, J. How do root and soil characteristics affect the erosion-reducing potential of plant species? Online. *Ecological Engineering*. 2017, roč. 109, s. 186-195. ISSN 09258574. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.001>. [cit. 2023-11-15].

WANG, Zhi-Jie; JIAO, Ju-Ying; RAYBURG, Scott; WANG, Qiao-Li a SU, Yuan. Soil erosion resistance of “Grain for Green” vegetation types under extreme rainfall conditions on the Loess Plateau, China. Online. *CATENA*. 2016, roč. 141, s. 109-116. ISSN 03418162. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.025>. [cit. 2023-11-15].

WEI, Shue; ZHANG, Kuandi; LIU, Chenglong; CEN, Youdong a XIA, Junqiang. Effects of different vegetation components on soil erosion and response to rainfall intensity under simulated rainfall. Online. *CATENA*. 2024, roč. 235. ISSN 03418162. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107652>. [cit. 2023-11-15].

WEI, Wei; JIA, Fuyan; YANG, Lei; CHEN, Liding; ZHANG, Handan et al. Effects of surficial condition and rainfall intensity on runoff in a loess hilly area, China. Online. *Journal of Hydrology*. 2014, roč. 513, s. 115-126. ISSN 00221694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.022>. [cit. 2024-01-24].

ZAFIRAH, N.; NURIN, N. A.; SAMSURIJAN, M. S.; ZUKNIK, M. H.; RAFATULLAH, M. et al. Sustainable Ecosystem Services Framework for Tropical Catchment Management: A Review. Online. *Sustainability*. 2017, roč. 9, č. 4. ISSN 2071-1050. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/su9040546>. [cit. 2024-03-30].

ZHAO, Qinghe; WANG, An; YU, Zaihui; YU, Jinhai; LIU, Yi et al. Factors contributing to rill erosion of forest roads in a mountainous watershed. Online. *Journal of Environmental*

Management. 2023, roč. 326. ISSN 03014797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116829>. [cit. 2023-11-15].

ZLATNÍK, Alois. *Přehled skupin typů geobiocénů původně lesních a křovinných ČSSR*. Brno: Akademie věd, 1976.

ZLATUŠKA, Karel (ed.). *Technická doporučení pro projektování lesní dopravní sítě*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2020. ISBN 978-80-7434-556-2.

ZLATUŠKA, Karel. et al. *NAZV QK22020146. Průběžná zpráva za rok 2023*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2023.

ZOUHAR, Martin. *Analýza stavu a vývoje obnovy lesa na ŠLP Masarykův les Křtiny*. Online, diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita, Lesnická a dřevařská fakulta, 2016. Dostupné z: <https://theses.cz/id/lzrxib/>. [cit. 2023-08-20].

9. Seznam obrázků

Obrázek 1. Proces vodní eroze půdy. Z angl. Rainfall – srážky, detachment – oddělení, transportation – přeprava, translocation – translokace, deposition – uložení. Zdroj: Zafirah et al. (2017).....	17
Obrázek 2. Umístění jednotlivých výzkumných ploch v lokalitě Kostelec nad Černými lesy. Mapa byla vytvořena pomocí webových stránek mapy.cz.	26
Obrázek 3. Umístění jednotlivých výzkumných ploch v lokalitě Křtiny. Mapa byla vytvořena pomocí webových stránek mapy.cz.	27
Obrázek 4. Ukázka plochy z fytoecologického průzkumu (vlevo) a měření výšky rostlin (vpravo).....	29
Obrázek 5. Grafické znázornění Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti a početnosti. Zdroj: Moravec (1994).....	30
Obrázek 6. laserový skenovací systém Trimble X7. Zdroj: https://www.bpmidamerica.com/	32
Obrázek 7. Půdní profily v lokalitě Kostelec nad Černými Lesy. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).	33
Obrázek 8. Průběh simulace deště. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).....	34
Obrázek 9. Jednofaktorová analýza ANOVA pro hodnoty objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové a 30minutové simulace.	39
Obrázek 10. Korelační analýza pokryvnosti z fotografie (D-PH) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	40
Obrázek 11. Korelační analýza výškově redukované pokryvnosti (D-HR) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	41
Obrázek 12. Korelační analýza počtu rostlinných druhů (NS) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	42
Obrázek 13. Korelační analýza modifikovaného počtu rostlinných druhů (MNS) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	43
Obrázek 14. Jednofaktorová analýza ANOVA pro hodnoty ztráty půdy (SL) během 15minutové a 30minutové simulace.	44
Obrázek 15. Korelační analýza pokryvnosti z fotografie (D-PH) a ztráty půdy (SL) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	45
Obrázek 16. Korelační analýza výškově redukované pokryvnosti (D-HR) a Ztráty půdy (SL) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	46
Obrázek 17. Obrázek 17: Korelační analýza počtu rostlinných druhů (NS) a ztráty půdy (SL) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	47
Obrázek 18. Korelační analýza modifikovaného počtu rostlinných druhů (MNS) a objemu povrchového odtoku (RO) během 15minutové (nahore) a 30minutové (dole) simulace.	48

10. Seznam tabulek

Tabulka 1. Technické požadavky pro lesní cesty a ostatní trasy pro lesní dopravu. Zdroj: ČSN 73 6108 (ÚNMZ, 2018).	16
Tabulka 2. Porovnání základních charakteristik Lesů ČZU Kostelec nad Černými Lesy nad Černými Lesy a ŠLP Masarykův les Křtiny.	25
Tabulka 3. Základní údaje pro pokusné plochy v lokalitě Kostelec nad Černými lesy. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).	27
Tabulka 4. Základní údaje pro pokusné plochy v lokalitě Křtiny. Zdroj: Zlatuška et al. (2023).	28
Tabulka 5. Braun-Blanquetova stupnice pokryvnosti a početnosti. Zdroj: Moravec (1994). .	29
Tabulka 6. Počet druhů na jednotlivých plochách. V závorce je uveden celkový počet druhů přítomných na zkoumané ploše včetně rostlin nalezených v těsné blízkosti zkoumané plochy.	36
Tabulka 7. Počet druhů a modifikovaný počet druhů na zářezových svazích. V závorce je uveden celkový počet druhů přítomných na zkoumané ploše, včetně rostlin nalezených v těsné blízkosti zkoumané plochy.	37
Tabulka 8. Počet druhů a modifikovaný počet druhů na technologických linkách (4L). V závorce je uveden celkový počet druhů přítomných na zkoumané ploše, včetně rostlin nalezených v těsné blízkosti zkoumané plochy.	37
Tabulka 9. Data použitá pro statistické vyhodnocení experimentu. D-BB-MO – Modus pokryvnost dle Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti, D-BB-ME – Medián pokryvnosti dle Braun-Blanquetovy stupnice pokryvnosti, NS – Počet druhů, MNS – Modifikovaný počet druhů, D-HR – Výškově redukovaná pokryvnost, D-PH – Pokryvnost z fotografie, RO15 – Povrchový odtok 15 minut (m ³ /a), RO30 – Povrchový odtok 30 minut (m ³ /a), SL15 – Ztráta půdy 15 minut (kg/a), SL30 – Ztráta půdy 30 minut (kg/a).	38

11. Samostatné přílohy

Příloha 1: Fytcenologický snímek č. 1, lokalita KO-TD1-03, Kostelec nad Černými lesy

Snímek č. 1, lokalita KO-TD1-03, Kostelec nad Černými lesy		
		
Nadmořská výška: 377 m n. m.	Inklinace: 6°	
Velikost plochy: 7 x 3,5 m	Index horniny: 2117	
Autor: Bc. Daniel Pytlík	Hornina: pískovec, prachovec a slepenec, vložky vápence, jílovce, rohovce, pelokarbonátu, uhelná slojka	
Datum: 05.07.2023	Půdní typ: kambizem	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Calamagrostis epigejos</i>	2	25-51 cm
<i>Hypericum humifusum</i>	+	7-27 cm
<i>Poa annua</i>	2	5-8,5 cm
<i>Alopecurus aequalis</i>	+	20-30 cm
<i>Arabis sp.</i>	+	3-5 cm
<i>Persicaria sp.</i>	+	4-5 cm
Ostatní druhy: -		

Příloha 2: Fytocenologický snímek č. 2, lokalita KO-TD1-06, Kostelec nad Černými lesy

Snímek č. 2, lokalita KO-TD1-06, Kostelec nad Černými lesy



Nadmořská výška: 441 m n. m.	Inklinace: 14°	
Velikost plochy: 6 x 3,5 m	Index horniny: 2117	
Autor: Bc. Daniel Pytlík	Hornina: pískovec, prachovec a slepenec, vložky vápence, jílovce, rohovce, pelokarbonátu, uhelná slojka	
Datum: 05.07.2023	Půdní typ: kambizem	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Impatiens parviflora</i>	4	12-35 cm
Ostatní druhy: -		

Příloha 3: Fytocenologický snímek č. 3, lokalita KO-TD2-04, Kostelec nad Černými lesy

Snímek č. 3, lokalita KO-TD2-04, Kostelec nad Černými lesy		
		
<p>Nadmořská výška: 320 m n. m.</p> <p>Plocha snímku: 5,5 x 2,5 m</p> <p>Autor: Bc. Daniel Pytlík</p> <p>Datum: 05.07.2023</p>	<p>Inklinace: 43°</p> <p>Index holiny: 2117</p> <p>Hornina: pískovec, prachovec a slepenec, vložky vápence, jílovce, rohovce, pelokarbonátu, uhelná slojka</p> <p>Půdní typ: kambizem</p>	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Impatiens parviflora</i>	2	10-28 cm
<i>Ranunculus repens</i>	2	5-15 cm
<i>Rubus sp.</i>	2	30-57 cm
<i>Fragaria sp.</i>	2	10-23 cm
<i>Carpinus betulus</i>	1	10-20 cm
<i>Coryza canadensis</i>	+	50 cm
<i>Calamagrostis epigejos</i>	-	125 cm
<i>Genista tinctoria</i>	1	90 cm
<i>Alopecurus aequalis</i>	1	12-21 cm
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1	70 cm
<i>Galeopsis tetrahit</i>	1	50-60 cm
<i>Stellaria graminea</i>	1	12-20 cm
<p>Ostatní druhy: <i>Acer platanoides</i>, <i>Betula pendula</i>, <i>Urtica dioica</i>, <i>Rubus sp.</i>, <i>Scrophularia nodosa</i></p>		

Příloha 4: Fytocenologický snímek č. 4, lokalita KO-TD2-05, Kostelec nad Černými lesy

Snímek č. 4, lokalita KO-TD2-05, Kostelec nad Černými lesy



Nadmořská výška: 335 m n. m.	Inklinace: 38°	
Plocha snímku: 4,5 x 2,5 m	Index holiny: 2117	
Autor: Bc. Daniel Pytlík	Hornina: pískovec, prachovec a slepenec, vložky vápence, jílovce, rohovce, pelokarbonátu, uhelná slojka	
Datum: 05.07.2023	Půdní typ: kambizem	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Calamagrostis epigejos</i>	+	27-33 cm
<i>Pinus sylvestris</i>	+	6-15 cm
<i>Sambucus nigra</i>	-	6 cm
<i>Selaginella sp.</i>	1	2 cm
<i>Sorbus aucuparia</i>	-	4 cm
<i>Seneco vulgaris</i>	+	18-23 cm
Ostatní druhy: <i>Quercus robur</i> , <i>Luzula luzuloides</i>		


Příloha 5: Fytcenologický snímek č. 5, lokalita KO-TD2-06, Kostelec nad Černými lesy

Snímek č. 5, lokalita KO-TD2-06, Kostelec nad Černými lesy




Nadmořská výška: 408 m n. m.	Inklinace: 43°	
Plocha snímku: 5 x 2,5 m	Index horniny: 1342	
Autor: Bc. Daniel Pytlík	Hornina: pararula	
Datum: 05.07.2023	Půdní typ: kambizem	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Dryopteris filix-mass</i>	1	26 cm
<i>Acer platanoides</i>	1	46 cm
<i>Fagus sylvatica</i>	1	20-25 cm
<i>Impatiens parviflora</i>	+	8-10 cm
Ostatní druhy: -		

Příloha 6: Fytocenologický snímek č. 6, lokalita KR-TD1-01, Křtiny

Snímek č. 6, lokalita KR-TD1-01, Křtiny		
		
<p>Nadmořská výška: 486 m n. m.</p> <p>Plocha snímku: 5 x 3 m</p> <p>Autor: Bc. Daniel Pytlík</p> <p>Datum: 06.07.2023</p>	<p>Inklinace: 19°</p> <p>Index horniny: 511</p> <p>Hornina: vápence a dolomity</p> <p>Půdní typ: kambizem</p>	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Plantago major</i>	1	4-15 cm
<i>Juncus effusus</i>	1	5 cm
<i>Prunella vulgaris</i>	2	3-15 cm
<i>Trifolium repens</i>	1	3-10 cm
<i>Poa nemoralis</i>	+	50-60 cm
<i>Ranunculus repens</i>	+	5-30 cm
<i>Carex sylvatica</i>	+	10-15 cm
<p>Ostatní druhy: <i>Vicia sylvatica</i>, <i>Pinus sylvestris</i>, <i>Crepis pulchra</i>, <i>Acer pseudoplatanus</i>, <i>Hypericum perforatum</i></p>		

Příloha 7: Fytocenologický snímek č. 7, lokalita KR-TD1-02, Křtiny

Snímek č. 7, lokalita KR-TD1-02, Křtiny		
		
<p>Nadmořská výška: 486 m n. m.</p> <p>Velikost plochy: 6 x 3 m</p> <p>Autor: Bc. Daniel Pytlík</p> <p>Datum: 06.07.2023</p>	<p>Inklinace: 15°</p> <p>Index horniny: 511</p> <p>Hornina: vápence a dolomity</p> <p>Půdní typ: kambizem</p>	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Ranunculus repens</i>	+	5-50 cm
<i>Hypericum perforatum</i>	1	30-43 cm
<i>Epilobium montanum</i>	+	76 cm
<i>Vicia tetrasperma</i>	2	10-21 cm
<i>Carpinus betulus</i>	-	10 cm
<i>Poa nemoralis</i>	2	20-30 cm
<i>Agrostis sp.</i>	2	10-40 cm
<i>Trifolium repens</i>	2	5-15 cm
<i>Clinopodium vulgare</i>	1	15-20 cm
<i>Veronica chamaedrys</i>	+	11-23 cm
<i>Plantago major</i>	1	4-10 cm
<p>Ostatní druhy: <i>Dactylis glomerata</i>, <i>Vicia sylvatica</i>, <i>Fagus sylvatica</i>, <i>Chaerophyllum temulum</i>, <i>Campanula persicifolia</i></p>		

Příloha 8: Fytcenologický snímek č. 8, lokalita KR-TD2-04, Křtiny

Snímek č. 8, lokalita KR-TD2-04, Křtiny



Nadmořská výška: 443 m n. m.

Plocha snímku: 4 x 2,5 m

Autor: Bc. Daniel Pytlík

Datum: 06.07.2023

Inklinace: 35°

Index horniny: 1098

Hornina: biotit

Půdní typ: kambizem

Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Hieracium murorum</i>	1	60-85 cm
<i>Knautia arvensis</i>	1	40-60 cm
<i>Genista tinctoria</i>	1	30-40 cm
<i>Euphorbia cyparissias</i>	+	36 cm
<i>Brachypodium sylvaticum</i>	+	10-35 cm
<i>Poa nemoralis</i>	1	21-31 cm
<i>Calamagrostis epigejos</i>	+	30-65 cm
<i>Fagus sylvatica</i>	2	5-45 cm

Ostatní druhy: *Carpinus betulus*, *Fragaria vesca*, *Galium odoratum*, *Rubus idaeus*, *Quercus petraea*

Příloha 9: Fytocenologický snímek č. 9, lokalita KR-TD2-05, Křtiny

Snímek č. 9, lokalita KR-TD2-05, Křtiny



Nadmořská výška: 442 m
n. m.

Plocha snímku: 4 x 2,5 m

Autor: Bc. Daniel Pytlík

Datum: 06.07.2023

Inklinace: 38°

Index horniny: 1098

Hornina: biotit

Půdní typ: kambizem

Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Cytisus nigricans</i>	2	30-110 cm
<i>Rubus sp.</i>	2	120 cm
<i>Fagus sylvatica</i>	2	30-110 cm
<i>Prunus avium</i>	+	90 cm
<i>Quercus petraea</i>	3	10-45 cm
<i>Fragaria vesca</i>	+	12 cm
<i>Abies alba</i>	-	6 cm
<i>Carex sylvatica</i>	1	20-25 cm

Ostatní druhy: *Pinus sylvestris*, *Carpinus betulus*, *Salix caprea*, *Sambucus ebulus*

Příloha 10: Fytocenologický snímek č. 10, lokalita KR-TD2-06, Křtiny

Snímek č. 10, lokalita KR-TD2-06, Křtiny		
		
<p>Nadmořská výška: 319 m n. m.</p> <p>Plocha snímku: 5 x 2,5 m</p> <p>Autor: Bc. Daniel Pytlík</p> <p>Datum: 06.07.2023</p>	<p>Inklinace: 47°</p> <p>Index horniny: 1097</p> <p>Hornina: amfibol biotitický granodiorit</p> <p>Půdní typ: kambizem</p>	
Název rostliny	Stupeň pokryvnosti	Výška rostliny
<i>Hepatica nobilis</i>	1	12-15 cm
<i>Carex sylvatica</i>	2	40-50 cm
<i>Aegopodium podagraria</i>	2	12-21 cm
<i>Vicia sepium</i>	1	31-50 cm
<i>Galeobdolon luteum</i>	1	10 cm
<i>Acer pseudoplatanus</i>	+	8-20 cm
<i>Fagus sylvatica</i>	2	10-113 cm
<i>Pulmonaria obscura</i>	2	17-20 cm
<i>Fragaria vesca</i>	1	20 cm
<i>Campanula persicifolia</i>	1	52-55 cm
<i>Viola reichenbachiana</i>	1	10-15 cm
<p>Ostatní druhy: <i>Carpinus betulus</i>, <i>Euphorbia amygdaloides</i>, <i>Lathyrus vernus</i>, <i>Ulmus glabra</i>, <i>Tilia cordata</i>, <i>Fraxinus excelsior</i>, <i>Oxalis acetosella</i></p>		

Příloha 11: Seznam položek dokladového herbáře

Lokalita Kostelec nad Černými Lesy	Lokalita Křtiny
<p>KO-TD1-3</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Alopecurus aequalis</i> • <i>Arabis sp.</i> • <i>Calamagrostis epigejos</i> • <i>Hypericum humifusum</i> • <i>Persicaria sp.</i> • <i>Poa annua</i> 	<p>KR-TD1-1</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Juncus effusus</i> • <i>Plantago major</i> • <i>Prunella vulgaris</i> • <i>Trifolium repens</i>
<p>KO-TD1-6</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Impatiens parviflora</i> 	<p>KR-TD1-2</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Agrostis sp.</i> • <i>Clinopodium vulgare</i> • <i>Epilobium montanum</i> • <i>Veronica chamaedrys</i> • <i>Vicia tetrasperma</i>
<p>KO-TD2-4</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Acer pseudoplatanus</i> • <i>Alopecurus aequalis</i> • <i>Carpinus betulus</i> • <i>Conyza canadensis</i> • <i>Fragaria sp.</i> • <i>Galeopsis tetrahit</i> • <i>Ranunculus repens</i> • <i>Rubus sp.</i> • <i>Stellaria graminea</i> 	<p>KR-TD2-4</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Brachypodium sylvaticum</i> • <i>Euphorbia cyparissias</i> • <i>Genista tinctoria</i> • <i>Hieracium murorum</i> • <i>Knautia arvensis</i> • <i>Poa nemoralis</i>
<p>KO-TD2-5</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Pinus sylvestris</i> • <i>Sambucus nigra</i> • <i>Selaginella sp.</i> • <i>Senecio vulgaris</i> • <i>Sorbus aucuparia</i> 	<p>KR-TD2-5</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Abies alba</i> • <i>Cytisus nigricans</i> • <i>Quercus petraea</i>
<p>KO-TD2-6</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Acer platanoides</i> • <i>Dryopteris filix-mass</i> • <i>Fagus sylvatica</i> 	<p>KR-TD2-6</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Aegopodium podagraria</i> • <i>Campanula persicifolia</i> • <i>Carex sylvatica</i> • <i>Galeobdolon luteum</i> • <i>Hepatica nobilis</i> • <i>Pulmonaria obscura</i> • <i>Vicia sepium</i> • <i>Viola reichenbachiana</i>