

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav inženýrských staveb, tvorby a ochrany krajiny

**Kvalitativní zhodnocení stávajícího stavu konstrukčních
vrstev vozovek s krytovou vrstvou MZK na ŠLP Křtiny**

Bakalářská práce

Vedoucí práce

Ing. Lenka Ševelová, Ph.D.

Autor práce

Hana Minářová

Akademický rok 2014/2015



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Hana Minářová**
Studijní program: Krajinářství
Obor: Krajinářství
Název tématu: **Kvalitativní zhodnocení stávajícího stavu konstrukčních vrstev vozovek, s krytovou vrstvou z MZK, na ŠLP Křtiny**
Rozsah práce: 30 stran + přílohy

Zásady pro vypracování:

1. Popis lokality – administrativně správní zařazení, přírodní a hospodářské poměry. Rešerše dané problematiky.
2. Výběr konkrétního revíru pro analýzu vozovek s krytem z MZK: příprava podkladů o době realizace LC, množství srovnatelné hmoty, rekonstrukci pro zhodnocení současného stavu.
3. Hydrogeologický průzkum lokality ve vybraných místech poruch, event. nejnepříznivějších podmínkách s následným laboratorním vyhodnocením a klasifikací dle EN ČSN 19 971-2 A ČSN 73 6133 a stanovení parametrů únosnosti použitých materiálů (CBR).
4. Zhodnocení stávající únosnosti na základě laboratorní analýzy kvality krytu doplněné a posouzení únosnosti.
5. V diskusi okomentujte a závěr shrňte dosažené výsledky

Seznam odborné literatury:

1. HANÁK, K. *Zpřístupnění lesa – vybrané statě II*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002. 100 s. ISBN 80-7157-569-0.
2. GSCHWENDT, I. *Vozovky. Konštrukcie a ich dimenzovanie*. Bratislava: Jaga Group, 1999.
3. VANÍČEK, I. *Geomechanika 10 : Mechanika zemin*. 3. vyd. Praha: ČVUT, 2000. 229 s. ISBN 80-01-01437-1.
4. HAUSER, J. – KOZUMPLÍKOVÁ, A. – ŠEVELOVÁ, L. Vlhkost a míra zhutnění ve zkušebnictví zemin pro dopravní stavby. In *Realizácia a ekonomika staveb*. 1. vyd. Košice: Etela Bačenková – Dom techniky, 2009, s. 73–78. ISBN 978-80-232-0301-1.
5. HAUSER, J. – KOZUMPLÍKOVÁ, A. – ŠEVELOVÁ, L. Zkouška CBR pro navrhování konstrukcí vozovek. In *Geotechnical engineering in the road construction*. Bratislava: KONGRES management s.r.o., 2009, s. 41–47. ISBN 978-80-89275-21-2.

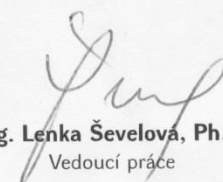
Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2013


Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2015

L. S.


Hana Minářová
Autorka práce




Ing. Lenka Ševelová, Ph.D.
Vedoucí práce


doc. Dr. Ing. Miloslav Šlezinger
Vedoucí ústavu


prof. Dr. Ing. Petr Horáček
Děkan LDF MENDELU

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Kvalitativní zhodnocení stávajícího stavu konstrukčních vrstev vozovek s krytovou vrstvou z MZK na ŠLP Křtiny“ zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:.....

PODĚKOVÁNÍ

Na této stránce bych ráda poděkovala několika lidem, bez kterých by mi nebylo umožněno tuto bakalářskou práci vypracovat. Děkuji paní Ing. Lance Ševelové, Ph.D. za ochotu při vypracování této bakalářské práce. Na druhém místě děkuji kolektivu firmy KOLEJCONSULT & servis, spol. s. r. o. za možnost využití techniky, zpracování výsledků v laboratoři a čas, který mi věnovali.

Abstract

MINÁŘOVÁ, H. Qualitative assessment of current state of structural layers of roads with a cover layer of MZK, on ŠLP Křtiny. Bachelor thesis. Brno 2015

Status of forest roads is an important factor in making the forest. We try to keep them in the best possible quality due to the ease of access not only heavy equipment.

Monitoring and assessment of the cover layer on the designated forest roads around the village Křtiny. Assessed the current technical condition, and whether the parameters correspond MZK. They were measured physical and mechanical properties of the cover layer with field and laboratory tests. Was monitored compactability, load capacity, humidity and grain.

Keywords: soil mechanics, cover layer, compactability, load capacity, humidity, grain

Abstrakt

MINÁŘOVÁ, H. Kvalitativní zhodnocení stávajícího stavu konstrukčních vrstev vozovek s krytovou vrstvou z MZK, na ŠLP Křtiny. Bakalářská práce. Brno 2015

Stav lesních cest je důležitým faktorem zpřístupnění lesa. Snahou je zachovat je v co nejlepší kvalitě kvůli usnadnění přístupu nejen těžké techniky.

Sledování a hodnocení stavu krytové vrstvy na vymezených lesních cestách v okolí obce Křtiny. Hodnocen byl stávající technický stav, a to zda parametry odpovídají MZK. Byly zjišťovány fyzikální a mechanické vlastnosti krytové vrstvy pomocí polních a laboratorních zkoušek. Sledována byla zhutnitelnost, únosnost, vlhkost a zrnitost. Součástí je návrh na zlepšení či zachování stavu lesních cest.

Klíčová slova: mechanika zemin, krytová vrstva, zhutnitelnost, únosnost, vlhkost, zrnitost

Obsah

1	Úvod a cíl práce	9
2	Charakteristika zájmového území.....	10
2.1	Biogeografická poloha	10
2.1.1	Základní údaje zájmového území	10
2.2	Širší územní vztahy	11
2.3	Geomorfologie	12
2.4	Přírodní poměry	12
2.4.1	Geologie.....	12
2.4.2	Pedologie	13
2.4.3	Hydrologie	13
2.4.4	Klimatické poměry	14
2.4.5	Biota.....	14
3	Metody zkoušení.....	15
3.1	Horniny a zeminy	15
3.2	Fyzikálně mechanické vlastnosti zemin.....	17
3.2.1	Stanovení vlhkosti.....	17
3.2.2	Zatřídění materiálu dle zrnitosti.....	18
3.2.3	Zkouška zhutnitelnosti.....	22
3.2.4	Stanovení poměru únosnosti zemin	24
3.2.5	Modul pružnosti.....	25
3.3	Geofyzikální měření – Georadar	25
3.4	Charakteristika posuzované konstrukční vrstvy z MZK.....	26
4	Metodický postup	27
4.1	Geotechnický průzkum	27
4.2	Provedení laboratorních a polních zkoušek	28

5	Výsledky polních a laboratorních zkoušek.....	29
5.1	Polní zkoušky.....	29
5.2	Laboratorní zkoušky.....	29
5.3	Výsledky zkoušek	29
5.3.1	Lesní cesta Hradská	29
5.3.2	Lesní cesta Pokojná	34
5.4	Lesní cesta Poutnická.....	38
6	Vyhodnocení výsledků zkoušek a návrhové opatření.....	43
6.1	Lesní cesta Hradská.....	43
6.2	Lesní cesta Pokojná.....	44
6.3	Lesní cesta Poutnická.....	45
7	Diskuze	47
8	Závěr	48
9	Seznam použitých zdrojů.....	49
10	Seznam grafů	51
11	Seznam obrázků.....	51
12	Seznam rovnic.....	52
13	Seznam tabulek.....	52
14	Seznam příloh	Chyba! Záložka není definována.

1 Úvod a cíl práce

Tato bakalářská práce je zaměřena na hodnocení lesních cest s krytovou vrstvou Mechanicky zpevněného kameniva (dále „MZK“). MZK také nazývané minerální beton patří mezi nestmelené vozovky, jde o směs nejméně dvou frakcí kameniva, a to buď přírodního, nebo umělého, s vodou. MZK může sloužit nejen jako podkladní vrstva, ale využití nalezne i jako vrstva krytová.

Stav a kvalita MZK má zásadní význam pro zpřístupnění lesa dané lokality. Pro hodnocení stavu a získávání výsledků kvality se používá metoda stavební mechaniky. Tato metoda je zaměřena na testování kvality zemin a hornin, tedy stavebního materiálu a stavební konstrukce. V tomto případě probíhaly zkoušky a odběry pouze v krytové vrstvě a rostlém terénu. Proto je závěrem hodnocení pouze krytové vrstvy a ne celé cestní konstrukce. Na základě mechaniky zemin byl zhodnocen stav krytové vrstvy a v návaznosti byl navržen postup na rekonstrukci a údržbu.

Cílem bakalářské práce na téma: „Kvalitativní zhodnocení stávajícího stavu konstrukčních vrstev vozovek s krytovou vrstvou z MZK na ŠLP Křtiny“, je vyhodnocení stávajícího stavu konstrukčních vrstev sledovaných vozovek.

Vyhodnocení je zaměřeno na zdokumentování kvality materiálů použitých pro krytové vrstvy, stávajícího stavebně-technického stavu krytu a návrh opatření na prodloužení jejich funkčnosti resp. životnosti.

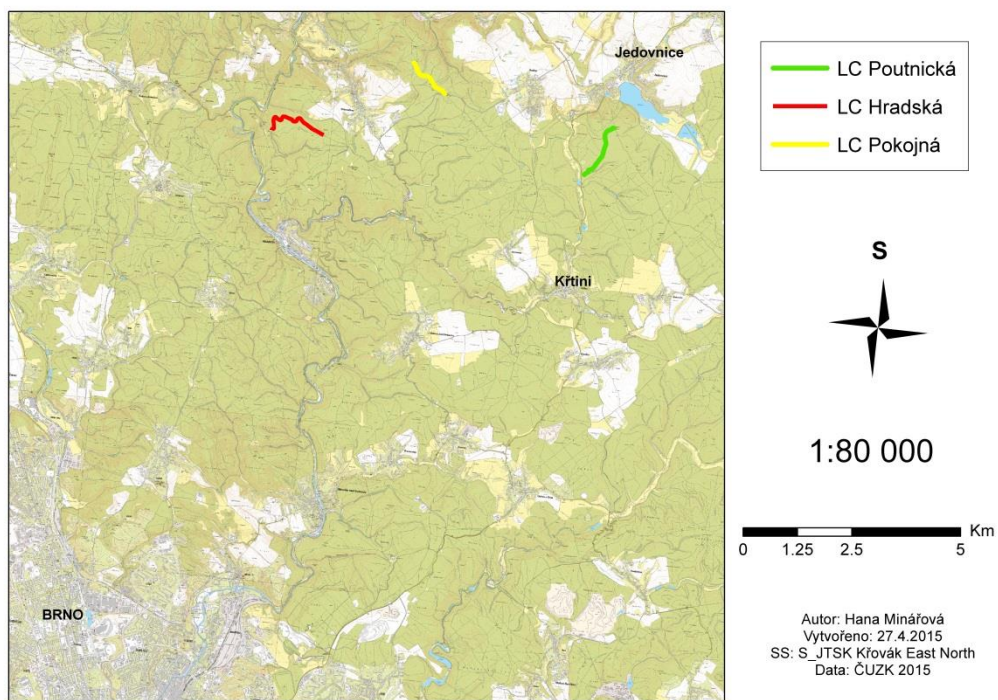
Předmětem bakalářské práce není hodnocení materiálů zemní pláně a jejich vlastností, ale pouze materiálů konstrukčních vrstev. U materiálů konstrukčních vrstev byly sledovány vybrané parametry, které nevyžadovaly zásah do konstrukce vozovek (výkopy, sondy apod.) a nasazení mechanizace (rypadla apod.). Z výše popsanych důvodů proto byly sledovány pouze vybrané parametry materiálů, a to únosnost, CBR, míra zhutnění, případně zhutnitelnost, vlhkost a zrnitost.

2 Charakteristika zájmového území

2.1 Biogeografická poloha

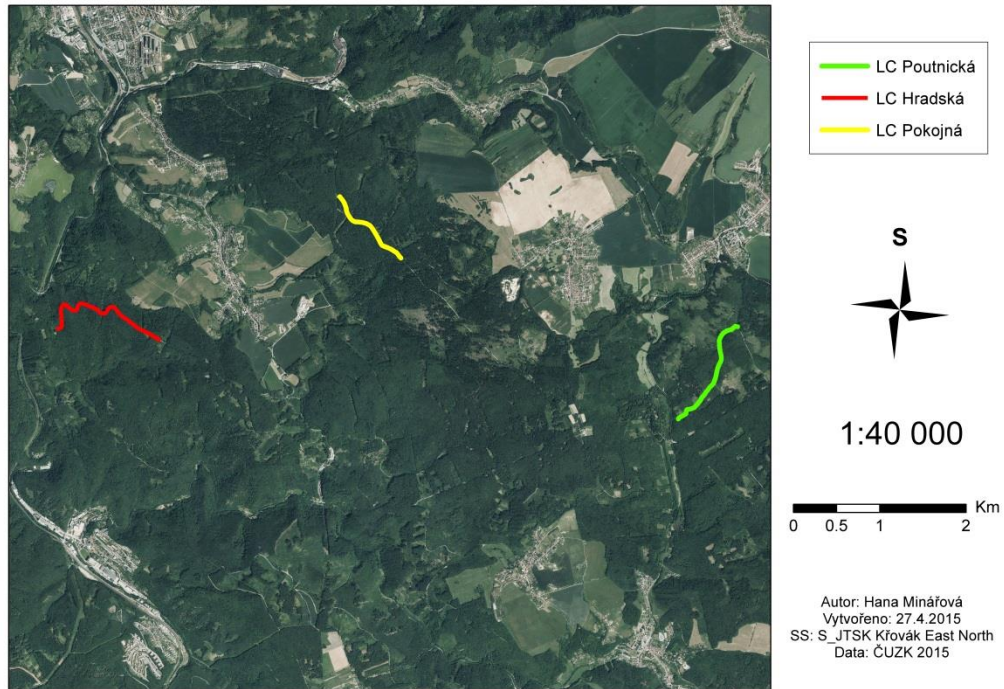
2.1.1 Základní údaje zájmového území

Území, ve kterém se nachází analyzované vozovky lesních cest, se nalézá v Jihomoravském kraji asi 16 km od města Brna, v okolí obce Křtiny. Území, ve kterém se nachází lesní cesty Hradská a Pokojná, patří do katastrálního území Olomoučany (KÚ 710954). Lesní cesta Poutnická spadá do katastru Křtiny (KÚ 676730). Nadmořská výška se pohybuje od 390 do 510 m n. m. Všechny ze zkoumaných oblastí spadají podle Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů do přírodní lesní oblasti č. 30 – Dražanská vrchovina.



Obrázek 1: Mapa širšího okolí vybraných lesních cest¹

¹ Vlastní zdroj



Obrázek 2: Poloha vybraných lesních cest²

2.2 Širší územní vztahy

Z důvodu rozdílné polohy jednotlivých řešených lesních cest je i klasifikace územních vztahů rozdílná. Podle Culka (2013)³ se lokality nacházejí ve třech různých bioregionech a to v Brněnském, Macošském a Drahánském.

Brněnský bioregion je tvořen okrajovou vrchovinou hercynika, leží na východním okraji hercynské podprovincie a sousedí s Jevišovickým bioregionem. Bioregion tvoří soustava granodioritových hřbetů a prolomů se sprašemi. Leží převážně v 2. vegetačním stupni, avšak vyšší místa zasahují až do 3. vegetačního stupně.

Vápencové území je charakteristické pro Macošský bioregion rozkládající se na geomorfologickém podcelku Moravský kras. V bioregionu se nachází převážně 4. bukový vegetační stupeň, avšak na dnech žlebů s inverzí i 5. vegetační stupeň.

Poslední zmiňovaný Drahánský bioregion zabírá z těchto tří bioregionů největší plochu a zároveň je nejvýchodněji položený. Rozkládá se na geomorfologickém celku Drahánské vrchoviny a částečně zasahuje svoji jižní částí do Zábřežské vrchoviny. Typické jsou zde sedimenty kulmu, můžeme však narazit i na sedimenty permu na křídových pískovcích.

² Vlastní zdroj

³ CULEK, Martin. *Biogeografické členění České republiky*. Praha: Enigma, 1996

2.3 Geomorfologie

Česká Republika se z geomorfologického hlediska dělí do dvou systémů, Hercynský a Alpsko-himálajský. Zkoumané území spadá do východní části systému Hercynského. Dalším členěním pak zasahuje do provincie Česká vysočina, která vznikla během kaledonského a pozdějšího hercynského vrásnění. Lokalita se nachází ve východní části subprovincie česko-moravská soustava rozkládající se v jihovýchodních Čechách, jihozápadní Moravě a svojí malou částí zasahuje do Rakouska. Česko-moravská soustava se dále dělí na čtyři oblasti. Předmětem zájmu bude však jen jedna oblast a to Brněnská vrchovina, ve které se zkoumané území nachází. Tato oblast se, jak již název napovídá, nachází v okolí města Brna, přesněji severně a částečně jihozápadně od něj. Dalším členěním jsou celky, z nichž bude zmíněn pouze jeden, Dražanská vrchovina, ta se dále člení na podcelky. Lokalita, na které byl dělán výzkum, se nachází na podcelku Adamovská vrchovina a částečně i na Konické vrchovině. Z okrsků zasahuje na Vyškůvku, Rozsocháč a Hornoříčskou vrchovinu.

- Systém – Hercynský
 - Provincie – Česká vysočina
 - Subprovincie – Česko-moravská soustava
 - Oblast – Brněnská vrchovina
 - Celek – Dražanská vrchovina
 - Podcelky – Adamovská vrchovina
Konická vrchovina
 - Okrsky – Vyškůvka
Rozsocháč
Hornoříčská vrchovina

2.4 Přírodní poměry

2.4.1 Geologie

Lesní cesty, na kterých byly dělány rozbory, se nacházejí na různých geologických podložích. Lesní cesta Hradská leží převážnou částí na skupině magmatických hornin hlubinného typu. Nejrozšířenější je zde biotitický granodiorit, který patří do skupiny hlubinných hornin s křemenem. V menším zastoupení se zde vyskytují sedimentární horniny nezpevněné. Zejména písčitohlinité až hlinitopísčité sedimenty deluviálního

typu. Lesní cesta Pokojná leží po celé své délce na nezpevněných kontinentálních sedimentech typu jíl a písek. Střídají se zde písky s kaolinitovými jíly, které jsou díky příměsí železa zbarveny až do červenohnědé barvy. Převážně zpevněné sedimenty, konkrétně droba, se nachází na poslední Poutnické lesní cestě. Droba je hlavní horninou kulmu Dražanské vysočiny. Stejně jako na lesní cestě Hradská se i zde nacházejí písčitohlinité až hlinitopísčité sedimenty diluviální. Především ve spodní a horní části cesty.

2.4.2 Pedologie

Na převážné části zkoumaného území se nachází referenční třída kambisoly, zastoupena půdním typem kambizem. V menším zastoupení se zde nalézají luvisoly s půdním typem luvizem. Kambizemě jsou půdy velice texturní, trofické, skeletovité i hloubkové různorodosti. Nalézají se na různých geologických podložích, zejména pak ve svažitých podmínkách pahorkatin či vrchovin. Jedná se o trojfázové půdy, kde hlavním diagnostickým horizontem je horizont kambický Bv. Tento horizont navazuje na horizont A a přechází v horizont C. Hlavní půdní variantou zastoupenou na všech třech lesních cestách je kambizem mesobazická. Na lesní cestě Hradské a Poutnické se místy nalézá subtyp kambizem rankerová, která je charakteristická výrazně skeletovitým profilem, a to i v horizontu A. Luvizemě, které jsou zastoupeny na lesní cestě Hradská a Pokojná, jsou půdy, na kterých dochází k posunu jílu do spodních vrstev. Hlavní horizonty luvizemě jsou dva, a to jílem obohacený horizont luvický Bt. Do něj jazykovitě zasahuje eluviální luvický horizont El, který je naopak o jílu ochuzený. Eluviální horizont navazuje na humusový horizont, na horizont B pak navazuje půdotvorný substrát. Luvizem je v této lokalitě zastoupena subtypem modálním.

2.4.3 Hydrologie

Svojí polohou patří zkoumaná oblast k povodí Moravy a tím spadá do úmoří Černého moře. V okolí lesní cesty Hradská protékají dva bezejmenné potoky, které jsou pravými přítoky řeky Svratky. Další bezejmenný potok se pod lesní cestou Poutnická vlévá jako pravostranný přítok do Zemanova žlebu a protéká tak rybníkem u křtinského arboreta.

2.4.4 Klimatické poměry

Jak již bylo zmíněno výše, lesní cesty na kterých byly prováděny zkoušky, se nacházejí každá v jiném bioregionu. Podle Quitta⁴ se lokalita nachází v mírně teplé oblasti MT11, v údolích zasahují oblasti MT10, MT 9 a MT5. Klima se zde pohybuje od teplého a mírně suchého, které je zapříčiněno srážkovým stínem Českomoravské vrchoviny až k chladnějšímu a vlhčímu klimatu. Průměrné teploty v Olomoučanech jsou 7,7 °C. Průměrné roční srážky v Olomoučanech jsou 620 mm. Extrémní teplotní inverze jsou na dně nedaleké propasti Macocha.

2.4.5 Biota

Culek (2013)⁵ uvádí, že se území nachází na hranici termofitika a mezofitika. Přirozenou vegetací jsou zde dubohabřiny. Nižší polohy odpovídají dubohabřinám hercynským (*Melampyro nemorosi-Carpinetum betuli*), místy i karpatským (*Carci pilosae-Carpinetum betuli*). Ostrůvkovitě se na lokalitě vyskytují teplomilné doubravy (*Corno-Quercetum petraeae*). Naopak na výše položených místech jsou přirozené bučiny (*Melico uniflorae-Fagetum silvaticae*). Flóra je zastoupena středoevropskými, hercynskými i karpatskými druhy, jako jsou ostřice chlupatá (*Carex pilosa*), kakost hnědočervený (*Geranium phaeum*). Objevují se pryšec mandloňovitý (*Euphorbia amygdaloides*), pcháč bělohlavý (*Girsium eriophorum*), ostřice tlapkatá (*Carex pediformis*). Na území je zachována fauna přirozených bučin s ovlivněním karpatských a hercynských prvků. V chladnějších částech bylo pozorováno rozmnožování a hromadné zimování netopýra severního (*Eptesicus nilssonii*). Mezi významné druhy území se řadí ježek západní (*Erinaceus europaeus*), vrápenec malý (*Rhinolophus hipposideros*), netopýr severní (*Eptesicus nilssonii*). U ptáků je to pak především sýc rousný (*Aegolius funereus*), lejsek malý (*Ficedula parva*). Mlok skvrnitý (*Salamandra salamandra*) a čolek horský (*Ichthyosaura alpestris*) patří mezi významné obojživelníky. Za zmínku určitě stojí i hmyz, do kterého se řadí střevlík nepravidelný (*Carabus irregularis*), šedokřídlec říjnový (*Epirrita christyi*) a štětconoš smrkový (*Calliteara abietis*).

⁴ CULEK, Martin. *Biogeografické členění České republiky*. Praha: Enigma, 1996,

⁵ QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia, 1971

3 Metody zkoušení

Pro stavbu či hodnocení kvality lesních cest je nesporně důležité znát fyzikální a mechanické vlastnosti materiálů. A to nejen materiálu použitého pro stavbu konstrukčních vrstev, ale také mít povědomí o horninách a zeminách ležících v podloží pozemní komunikace. Pro zjištění vlastností a kvality materiálu se používají polní a laboratorní zkoušky podle platných norem.

3.1 Horniny a zeminy

Podloží lesních cest, ale i ostatních dopravních cest tvoří podle technického označení dvě velké skupiny: horniny a zeminy. Druh podloží má nesporný význam pro stavbu pozemních komunikací a jejich trvanlivost, neboť různá řešení tras mohou být, se zřetelem na druh hornin a zemin v trase, technicky i ekonomicky více nebo méně přijatelná, popř. vůbec nepřijatelná.

„Horniny jsou přírodní inhomogenní minerální asociace různého složení, textury a struktury, které vznikly působením geologických procesů a v podobě různých horninových těles vytvářejí zemskou kůru.“⁶ Podle geologického prostředí a podmínek, ve kterých horniny vznikly, se rozdělují do tří základních skupin. Horniny vyvřelé neboli magmatické s krystalickou, celistvou strukturou. „Vyvřelé horniny vznikají krystalizací přirozené silikátové taveniny označené jako magma.“⁷ Horniny usazené (sedimentární), které mají zpravidla vrstevnatou strukturu, vznikají usazením produktů zvětrávání jiných hornin přímo na místě zvětrávání či po jejich přemístění. Poslední skupinou jsou horniny přeměněné (metamorfované). „Metamorfované horniny vznikají metamorfózou (přeměnou) magmatických sedimentárních nebo starších metamorfovaných hornin.“⁸

„Zemina, jako směs zrn pevné horniny, vody, vzduchu, organických a jiných přímísenin, je produktem zvětrávání a denudace podložních skalních hornin mechanickými

⁶ ŠAMALÍKOVÁ Milena, LOCKER Jiří, POSPÍŠIL Pavel. *Geologie*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 6

⁷ ŠAMALÍKOVÁ Milena, LOCKER Jiří, POSPÍŠIL Pavel. *Geologie*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 14

⁸ ŠAMALÍKOVÁ Milena, LOCKER Jiří, POSPÍŠIL Pavel. *Geologie*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 43

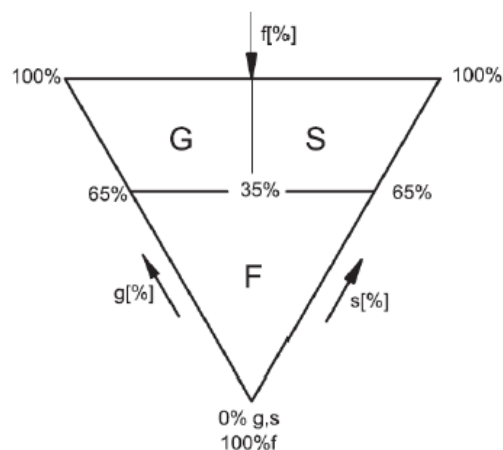
a chemickými procesy, probíhajícími v litosféře, tedy v povrchových vrstvách zemské kůry.⁹

Podle skladby zeminy jde tedy říct, že zemina se skládá ze tří fází. Pevnou fází tvoří zrna horniny, popřípadě i její přímíseniny. Druhá fáze je kapalná, která je zastoupena vodou a vodními roztoky. Poslední, plynnou fází je vzduch a půdní plyny. Zeminy jsou složeny z jemných, písčitých a šterkových částic. Jejich procentuální podíl je určen na základě křivky zrnitosti. U částic větší než 60 mm je zaznamenán hmotnostní podíl z celkového vzorku a před klasifikací vyjmut. Zbytek zeminy s částicemi menšími než 60 mm je klasifikován podle trojúhelníkového diagramu.

„Trojúhelníkový diagram (obr. č. 3) rozlišuje výchozí skupiny klasifikačního systému:

- a) Zeminy jemnozrné – základní název je jemnozrná zemina – symbol *F*
(pro upřesnění jíl – symbol *C*, nebo hlína – symbol *M*),
- b) Zeminy písčité – základní název písek – symbol *S*,
- c) Zeminy šterkovité – základní název šterk – symbol *G*.¹⁰

Na základě zatřídění zeminy dle trojúhelníkového diagramu se tvoří názvy dané zeminy. Symboly velkých písmen tvoří základ názvu zeminy a stojí na prvním místě. Druhé místo je tvořeno doplňujícím písmenem, které určuje přívlastek zeminy.

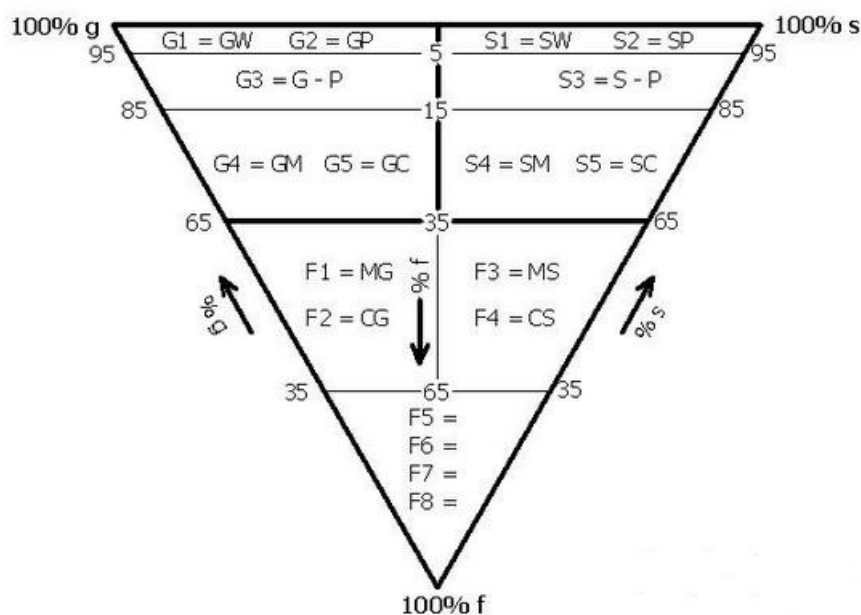


Obrázek 3: Trojúhelníkový diagram s rozlišením tří základních skupin¹¹

⁹ HANÁK, Karel. *Zpřístupnění lesa - vybrané statě II.* 2. vyd. / . Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, str. 4. ISBN 80-7157-569-0

¹⁰ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb.* Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 7. ISBN 80-214-2367-5

¹¹ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb.* Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 7. ISBN 80-214-2367-5



Obrázek 4: Trojúhelníkový diagram s označením 18 tříd zemin podle revize ČSN 73 1001¹²

3.2 Fyzikálně mechanické vlastnosti zemin

Následující kapitola se bude zabývat popisem jednotlivých polních a laboratorních zkoušek. Znalost postupů zkoušek a jejich výpočtů je nesmírně důležité pro správné vyhotovení výsledků. Vyhodnocení fyzikálních vlastností zemin se používá pro klasifikaci podložních zemin, stanovení jejich vlhkosti, zrnitosti či plasticity. Mechanické vlastnosti pak určují smykovou pevnost, zhutnitelnost a únosnost zemin. Na základě výsledků jednotlivých zkoušek lze předvídat a určit chování, jak jednotlivých vrstev stavebního materiálu, tak celé stavební konstrukce.

3.2.1 Stanovení vlhkosti

Vlhkost je jednou ze základních fyzikálních vlastností. „Voda, která zcela nebo zčásti vyplňuje mezery mezi pevnými částmi zeminy se nazývá vodou volnou. Množství této vody výrazně ovlivňuje vlastnosti zeminy, neboť se výrazně podílí na její smykové pevnosti, tedy únosnosti a stlačitelnosti při zatížení.“¹³

¹² WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 9. ISBN 80-214-2367-5

¹³ HANÁK, Karel. *Zpřístupnění lesa - vybrané statě II*. 2. vyd. / Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, str. 13. ISBN 80-7157-569-0

Vlhkost zeminy (w) je množství vody obsažené v zemině. Tuto vodu lze odstranit vysušením, aniž by docházelo k chemickým změnám materiálu. Je definována jako poměr hmotnosti vody odstraněné vysušením k hmotnosti vysušené zeminy a je vyjádřena v procentech.

Postup při stanovení vlhkosti zemin podle ČSN CEN ISO/TS 17892-1:

Stanovení vlhkosti se provádí co nejdříve po odebrání v terénu. Odběr zkušební vzorku se provádí po řádné homogenizaci. Minimální množství odebraného vzorku je stanoveno tabulkou na základě průměru zrna. Minimální hmotnost se pohybuje od 25 g pro zrna o průměru 1 mm do 5000 g u zrn průměru 63 mm. Zkušební vzorek je vložen do předem odvážené vysoušecí nádoby, následně se stanoví hmotnost nádoby se vzorkem. Zemina ve vysoušecí nádobě je vložena do sušárny a je vysušena při 110 ± 5 °C na ustálenou hmotnost. Doba sušení závisí na typu zeminy a na velikosti zkušební vzorku. Následně je vysušený vzorek vyjmut ze sušárny a ihned uzavřen. Po vychladnutí na teplotu, při které je možné se vzorkem manipulovat se opět vysoušecí nádoba s vysušeným vzorkem zváží.

Rovnice 1: Výpočet vlhkosti¹⁴

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \times 100 = \frac{m_w}{m_d} \times 100$$

kde:

w – vlhkost zeminy (%)

m_1 – hmotnost vysoušecí nádoby a vlhkého zkušební vzorku (g)

m_2 – hmotnost zkoušecí nádoby a suchého zkušební vzorku (g)

m_c – hmotnost vysoušecí nádoby (g)

m_w – hmotnost vody odstraněné vysušením (g)

m_d – hmotnost vysušeného zkušební vzorku (g)

3.2.2 Zatřídění materiálu dle zrnitosti

„Zrnitost, nebo-li granulometrické složení udává podíl určitých velikostních skupin zrn na celkové složení zeminy“¹⁵. Zastoupení každé frakce v zemině je stanoveno laboratorními metodami, síťovým rozbořem neboli prosévací zkouškou či hustoměrem.

¹⁴ STEHLÍK, Dušan. *Laboratorní zkoušení zemin a materiálů podle ŠN EN školení pracovníků silničních laboratoří BLOK III*. Vysoké učení technické v Brně, únor 2006. str.9

¹⁵ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 23. ISBN 80-214-2367-5

Obě metody se často používají ve vzájemné kombinaci. Pro nesoudržný podíl frakcí o průměru větším jak 0,063 mm je vhodný síťový rozbor. Hustoměrná zkouška se provádí, pokud je v odebraném vzorku 5-10 % materiálu pod 0,063 mm. Prosévací zkouška se provádí na souboru sít s otvory o různých velikostech. V procentech hmotnosti se zaznamenává propad na jednotlivých sítích. Hustoměrná metoda spočívá v tom, že se zemina o frakci menší jak 0,063 mm rozmíchá v suspenzi destilované vody a dispergační přísady. Tím se vytvoří směs zeminy a suspenze, následně se stanoví její hustota ve stanovených časových intervalech. „*Hustota se postupně snižuje s rostoucím usazením zrn a z toho se odvozuje množství a velikost zrn, jež v jednotlivém okamžiku ještě nesedimentovaly.*“¹⁶ „*Výsledky zkoušky zrnitosti se vynášejí graficky v křivce zrnitosti, která je součtovou čarou hmotnostního obsahu jednotlivých frakcí.*“¹⁷ Podle zrnitosti lze usuzovat na další fyzikální vlastnosti zeminy, například na propustnost, vzlínavost, objemové změny, plastické vlastnosti, soudržnost apod.

„*Ve spojitosti se stanovením hrubé frakce zeminy může být upřesněn charakter zrnění na zeminu „dobře zrněnou“, „špatně zrněnou“ a „přerušovaně zrněnou“.*“¹⁸

Pro popsání tvaru křivky zrnitosti se používají kvantitativní ukazatele součinitel křivosti (C_c) a číslo nestejnzrnnosti (C_u). Číslo křivosti charakterizuje tvar křivky zrnitosti a vypočítá se z následujícího vztahu.

Rovnice 2: Výpočet čísla křivosti¹⁹

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}}$$

Kde:

d₁₀ – velikost zrn při 10% propadu

d₃₀ – velikost zrn při 30% propadu

d₆₀ – velikost zrn při 60% propadu

¹⁶ ŠPŮREK Josef. *Silniční stavitelství II-Stavba silnic a dálnic*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p. Praha 1979 str. 38

¹⁷ ŠPŮREK Josef. *Silniční stavitelství II-Stavba silnic a dálnic*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p. Praha 1979 str. 38

¹⁸ ČSN EN ISO 14688-2:Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování zemin – Část 2: Zásady pro zařídování, 2005

¹⁹ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 24. ISBN 80-214-2367-5

Číslo nestejnozrnnosti charakterizuje sklon střední části zrnitostní křivky. Je definováno vztahem:

Rovnice 3: výpočet čísla nestejnozrnnosti²⁰

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Pro správné vyhodnocení jsou výsledky srovnány s hodnotami v následující tabulce.

Tabulka 1: Tvar křivky zrnitosti²¹

Tvar křivky zrnitosti	C_u	C_c
Dobře zrněná	> 15	$1 < C_c < 3$
Středně zrněná	6 až 15	< 1
Stejnozrnná	< 6	< 1
Přerušovaně zrněná	většinou vysoký	blízký nule (většinou < 0,5)

Plasticita

Samostatně nebo ve směsi s hrubším materiálem se vyskytuje jemná frakce zeminy. Ta je zastoupena jílem, siltem nebo jílovými materiály a klasifikuje se podle plasticity. „Plasticita se stanovuje laboratorními zkouškami meze tekutosti W_L a meze plasticity W_P .“²² „Mez tekutosti W_L je vlhkost zeminy vyjádřená v % hmotnosti vysušené zeminy (při 105 °C) do stálé hmotnosti, při které zemina přechází ze stavu plastického do stavu tekutého.“²³ Mezi plasticity W_P rozumíme vlhkost, při níž zemina přechází z plastické konzistence do konzistence pevné. Z rozdílu meze tekutosti a meze plasticity stanovíme index plasticity I_p , který vyjadřuje rozsah vlhkosti, ve kterém je zemina plastická. Index plasticity ukazuje schopnost zeminy vázat vodu bez změny jejího stavu.

²⁰ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 24. ISBN 80-214-2367-

²¹ ČSN EN ISO 14688-2 *Geotechnický průzkum a zkoušení – pojmenování a zařídění zemin – Část 2: Zásady pro zařídění*, 2005

²² ČSN EN ISO 14688-2:Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídění zemin – Část 2: Zásady pro zařídění, 2005

²³ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 20. ISBN 80-214-2367-5

Tabulka 2: stupně plasticity v závislosti na indexu plasticity²⁴

Kategorie zemin	Index plasticity	Plasticita
Zeminy písčité	< 1	bez plasticity
Písčité hlíny	1-10	nízká
Písčité a prachové jíly	10-20	střední
jíly	>20	vysoká

Pro další zatřídění zeminy je vhodné určit stavy ulehlosti, a stupeň konzistence.

Stavy ulehlosti

Stavy ulehlosti se vyhodnocují pro nesoudržné materiály, kterými jsou šterky a písky. Podle relativní ulehlosti I_D se určují následující stavy ulehlosti, které jsou určeny z následující tabulky.

Tabulka 3: Názvosloví pro jednotlivé meze indexu ulehlosti²⁵

Název	Relativní ulehlost I_D [%]
Velmi kyprý	0 až 15
Kyprý	15 až 35
Středně ulehlý	35 až 65
Ulehlý	65 až 85
Velmi ulehlý	85 až 100

Stupeň konzistence

Stupeň konzistence I_c se používá k číselné charakteristice konzistenčního stavu. Vypočte se podle nadcházející rovnice.

²⁴ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 21. ISBN 80-214-2367-5

²⁵ ČSN EN ISO 14688-2 *Geotechnický průzkum a zkoušení – pojmenování a zatřídění zemin – Část 2: Zásady pro zatřídění*, 2005

Rovnice 4: Stupeň konzistence²⁶

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_P} = \frac{w_L - w}{I_P}$$

Kde:

w – původní vlhkost zeminy

w_L – mez tekutosti

w_P – mez plasticity

I_P – index plasticity

Na základě hodnot stupně konzistence určíme pomocí tabulky (č. 4) konzistenci zeminy.

Tabulka 4: Index konzistence I_c prachů a jílu²⁷

Konzistence hlín a jílu	Index konzistence I_c
Velmi měkké	< 0,25
Měkké	0,25 až 0,50
Tuhé	0,50 až 0,75
Pevné	0,75 až 1,0
Velmi pevné	> 1,00

3.2.3 Zkouška zhutnitelnosti

Zhutněním zemin rozumíme každý umělý způsob zvyšování objemové hmotnosti suché zeminy a zároveň redukci jejího objemu. „Zhutnitelností zeminy je stanovení maximální objemové hmotnosti suché zeminy $\rho_{d \max}$, které lze dosáhnout předepsaným způsobem zhutňování při optimální vlhkosti w_{opt} .“²⁸ Optimální vlhkost se zjišťuje Proctorovou zkouškou. Proctorovu zkoušku provádíme pýchováním vzorku zeminy s postupně

²⁶ WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, str. 22. ISBN 80-214-2367-5

²⁷ ČSN EN ISO 14688-2 *Geotechnický průzkum a zkoušení – pojmenování a zařazení zemin – Část 2: Zásady pro zařazení*, 2005

²⁸ HANÁK, Karel. *Zpřístupnění lesa - vybrané statě II*. 2. vyd. / . Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, str. 31. ISBN 80-7157-569-0

upravovanou vlhkostí do ocelového válce známého objemu. Pro Proctor standard volíme pěch o hmotnosti 2,5 kg, která spouštíme na zhutňovanou zeminu z výšky 30 cm. Zeminu hutníme ve třech vrstvách, každou vrstvu 25 úderů. „Zhutněný vzorek se váží a výpočtem se zjistí objemová hmotnost γ v kg/m^3 .“²⁹ Výsledek se vyhodnotí graficky. Závislost objemové hmotnosti a vlhkost má parabolický průběh. Vrchol křivky udává optimální vlhkost a k ní odpovídající maximální zhutnění, tedy maximální objemovou hmotnost.

Míru zhutnění neboli relativní ulehlost (I_D) konstrukční vrstvy je také možné stanovit pomocí půdního objemového denzitometru. Při zhotovování zkoušky je nejdříve umístěna základní deska půdního objemového denzitometru na vrstvu zkoušené vrstvy. Na tuto ukotvenou desku je umístěn denzitometr naplněný 10 litry destilované vody. Následně je přístroj odvzdušněn, membrána se přitiskne k povrchu měřené vrstvy a je zaznamenána hodnota objemu vody v počátečním stavu. Po sejmutí denzitometru ze základní kruhové desky je vykopána měrná jamka o hloubce cca 20 cm, jejíž průměr je dán otvorem v základové desce. Vykopaná zemina z jamky se uloží do odběrného pytle. Nad jamku se opět umístí denzitometr se základní kruhovou deskou. Membránou se vyplní prostor vytvořené jamky a je opět odečtena hodnota na stupnici. Odebraná zemina je v laboratoři zvážena a vysušena. Relativní ulehlost je pak vypočítána z rovnice č. 5

Rovnice 5: Výpočet relativní ulehlosti k vyjádření míry zhutnění³⁰

$$I_D = \frac{\rho_{d,\max}(\rho_d - \rho_{d,\min})}{\rho_d(\rho_{d,\max} - \rho_{d,\min})}$$

Kde:

I_D – relativní ulehlost

$\rho_{d,\max}$ – maximální objemová hmotnost podle ČSN 72 1018 v kg.m^{-3}

$\rho_{d,\min}$ – minimální objemová hmotnost podle ČSN 72 1018 v kg.m^{-3}

ρ_d – objemová hmotnost zhutněné suché zeminy dosažená na stavbě, určená podle ČSN 72 1018 v kg.m^{-3}

²⁹ HANÁK, Karel. *Lesní dopravní síť: vybrané statě*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1992, str 53. ISBN 80-7157-054-0

³⁰ ČSN 72 1006: *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*, 1998



Obrázek 5: Měření půdním objemovým denzitometrem³¹

3.2.4 Stanovení poměru únosnosti zemin

Jde o mezinárodně uznávaný laboratorní test vyvinutý v USA (CBR – Kalifornský index únosnosti – California bearing ratio of soil). „Poměr únosnosti zeminy CBR je definován jako poměr síly, kterou je třeba vyvodit k zatlačení penetračního válce do zeminy danou rychlostí ku síle, kterou je třeba vyvodit k zatlačení téhož válce do normového materiálu. Vyjadřuje se v % CBR.“³² Penetrační válec má průměr 50 mm a je zatlačován konstantní rychlostí do zeminy zhutněné dle Proctorovy standardní zkoušky. Zaznamenává se napětí „p“ pro zatlačení trnu po 0,5 mm až do celkové penetrace 10,0 mm. Do grafu je vynesena závislost penetrace k síle a body je proložena křivka. Z grafu jsou odečteny hodnoty síly pro hloubku 2,5 mm a 5,0 mm. Procento CBR vypočítáme ze vztahu:

³¹ Vlastní zpracování

³² HANÁK, Karel. *Zpřístupnění lesa - vybrané statě II.* 2. vyd. / . Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, str. 33. ISBN 80-7157-569-0

Rovnice 6: Výpočet procent CBR³³

$$\text{CBR} = \frac{p}{p_s} \times 100$$

kde:

p – síly v hloubkách 2,5 a 5,0 mm v kN

p_s – standartní síly potřebné k zatlačení válce do těchto hloubek v normovém materiálu:

$$p_{2,5} = 13,2 \text{ kN}; p_{5,0} = 20,0 \text{ kN}$$

3.2.5 Modul pružnosti

U modulu pružnosti zemin jde o krátkodobé zatížení zkoumané vrstvy. U dlouhodobějšího zatížení se používá pojem modul deformace. Modul pružnosti je tedy měřen převážně dynamickými zkouškami. Možná je i metoda statická, která spočívá v zatlačování kruhové ocelové tuhé desky do půdního povrchu, při níž je sledována hloubka zatlačení a jí odpovídající tlak. Obě metody jsou prováděny přímo v terénu. Dynamické metody využívají tlumeného rázu. „Podstatou je zatížení vozovky tlumeným mechanickým rázem závaží dopadajícího svisle volným pádem podél vodícího zařízení přes tlumící vložky (ocelové pružiny nebo pryžové kotouče) na měřenou vrstvu.“³⁴ Pro zhotovení statické metody je zapotřebí dopravit na místo zhotovování zkoušek těžkou techniku. Ta má sloužit jako protizátěž kruhové desky. Na lesní cesty, kde byly prováděny zkoušky v rámci této bakalářské práce, nebylo možné danou techniku zajistit. Z tohoto důvodu nemohla být použita statická metoda. Pro snadné použití a manipulaci byla použita metoda dynamická.

3.3 Geofyzikální měření – Georadar

Další použitou metodou při analyzování lesních cest bylo geofyzikální měření za pomoci georadaru. Georadar neboli GPR patří mezi nedestruktivní metody pro monitoring podloží. Přístroj je schopen rozlišit materiály a jednotlivé vrstvy na základě jejich vodivosti a permitivity. K analyzování využívá vysokofrekvenční elektromagnetických vln, které jsou vysílány do podloží a následně odrazeny. Odražené

³³ HANÁK, Karel. *Lesní dopravní síť: vybrané statě*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1992, str 54. ISBN 80-7157-054-0

³⁴ HANÁK, Karel. *Lesní dopravní síť: vybrané statě*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1992, str 56. ISBN 80-7157-054-0

vlny jsou okamžitě zaznamenány na digitálním displeji přístroje. Georadar je tedy schopen zaznamenat signál a vykreslit časový řez přímo v terénu. Tato metoda byla použita pro zjištění tloušťky vrstvy z MZK.

3.4 Charakteristika posuzované konstrukční vrstvy z MZK

V této bakalářské práci jsou posuzovány lesní cesty s krytovou vrstvou z MZK. Proto je vhodné tuto konstrukční vrstvu blíže charakterizovat.

Definice mechanicky zpevněného kameniva zní: „*vrstva vozovky vyrobená z nestmelené směsi drceného kameniva s optimální vlhkostí, rozprostřená a zhutněná za podmínek zajišťujících maximální únosnost.*“³⁵ Směsi drceného kameniva jsou míchány na cyklických míchacích zařízeních s kontinuální míchačkou.



Obrázek 6: Fotografie mobilního míchacího zařízení pro výrobu MZK³⁶

Při konstrukci vozovek z MZK jsou striktně dány technické podmínky, které je třeba dodržet. Tyto podmínky jsou dány normou ČSN 73 6126-1, v níž jsou stanoveny optimální parametry pro zrnitostní skladbu, optimální vlhkost a dostatečného zhutnění. Zrnitostní skladba je dána plynulou křivkou zrnitosti, která musí za optimálních podmínek probíhat ve vymezených mezích. Za tímto účelem je kamenivo sestaveno do směsi obsahujících frakce 0/32 mm nebo 0/45 mm. U takto sestavené směsi tvoří hrubé kamenivo, tedy kamenivo o průměru zrn větších jak 4 mm, kostru směsi. Kamenivo se zrna menší jak 4 mm pak tvoří výplň.

³⁵ HRŮZA, Petr. Prezentace – Zpevňování účelových komunikací, str. 75

³⁶ WIESNWR, Pavel. *Míchací zařízení pro výrobu MZK* [online] citováno 27. Dubna 2015. Dostupné na World Wide Web: <<http://tvstav.cz/clanek/375-michaci-zarizeni-pro-vyrobu-mzk>>.

4 Metodický postup

Metodika práce zhodnocení stávajícího stavu vozovek s krytovou vrstvou z MZK spočívala ve vytipování vhodných lesních cest LC na území lesního školního podniku (ŠLP) Křtiny. Na základě konzultace na ředitelství ŠLP bylo vybráno šest cest a to LC Hradská, Klepačovská, Křivá borovice, Pokojná, Zemanův žleb a LC Poutnická. Tyto lesní cesty byly následně navštíveny a vizuálně zhodnoceny. Z šesti navštívených cest byly vybrány tři k podrobné, jedná se o lesní cesty Hradská, Pokojná a Poutnická. Tyto tři lesní cesty s krytem MZK byly vybrány na základě jejich vzhledu a technického stavu. Kritériem pro výběr těchto lesních cest byl stav krytu vozovky, především vyhloubení či vyplavení částí krytu dále pak podélný sklon lesní cesty s ohledem na přítomnost či absenci příčného odvodňovacího systému.

Před podrobným geotechnickým průzkumem byly zjištěny širší územní vztahy jakožto zařazení do katastrálního území, bioregionů či geomorfologie daného území.

4.1 Geotechnický průzkum

Geotechnický průzkum byl zahájen v říjnu 2014 návštěvou vybraných lesních cest. Na každé lesní cestě byly vymezeny příčné profily, na kterých se v následujících měsících vykonávaly polní zkoušky a odebíraly vzorky pro zkoušky laboratorní. Tyto profily byly stanoveny na vizuálně problematických místech (vymletí, vyplavení částí krytu MZK). V daném profilu se krytová vrstva odebírala a zkoušela v pravé, levé jízdě stopě a/nebo v ose cesty. Z polních zkoušek se v každém příčném profilu vyhotovil dynamický modul pružnosti ze zkoušky lehkou dynamickou deskou (LDD). Dále byla vyhodnocena únosnost na základě zkoušky únosnosti CBR, zkouška byla provedena polním přístrojem CBR. Na každé lesní cestě byla provedena zkouška míry zhutnění pomocí denzitometru, výsledky z odběru byly vyhodnoceny laboratorně. Mezi laboratorními zkouškami prováděné na základě odběrů byly zkoušky pro klasifikaci a Proctrova zkouška.

4.2 Provedení laboratorních a polních zkoušek

Veškeré polní a laboratorní zkoušky – stanovení vlhkosti, zrnitosti, konzistenční meze, zkoušky únosnosti dle CBR, zkouška zhutnitelnosti dle Proctor standard a denzitometru byly vyhotoveny ve spolupráci firmy KOLEJCONSULT & servis spol. s. r. o. Ke zpracování byla využívána firemní akreditovaná laboratoř č. 1305 dle ČIA. Postupy jednotlivých laboratorních zkoušek jsou uvedeny v kapitole „Metodika zkoušek“.

5 Výsledky polních a laboratorních zkoušek

Polní zkoušky byly prováděny na lesních cestách Hradská, Pokojná a Poutnická v měsících říjen a listopad 2014. Měření bylo provedeno v několika příčných profilech jednotlivých lesních cest, u nichž se zjišťovali hodnoty jak v jízdnicích stopách, tak v ose cesty. Místa jednotlivých příčných profilů byly vytipovány na vizuálně nejproblématictějších místech. Výsledky z těchto profilů jsou u každé lesní cesty zaneseny do tabulek.

5.1 Polní zkoušky

Všechny hodnocené lesní cesty byly podrobeny polním zkouškám, konkrétně zkoušce LDD, CBR a denzitometru. (Viz tab. č. 5, 7, 9) V rámci provádění polních zkoušek byly odebrány i vzorky materiálů pro zkoušky laboratorní a to jak z krytu MZK, tak i z podloží. Vzorky byly odebrány v předem stanovených příčných profilech.

5.2 Laboratorní zkoušky

Na odebraných reprezentativních vzorcích materiálu MZK a zeminy zemní pláně byly provedeny laboratorní zkoušky. Zkoušky spočívaly ve stanovení křivky zrnitosti a kvalifikovaného zatřídění jednotlivých materiálů.

U vzorku materiálu zemní pláně bylo současně vyhodnoceno zhutnění metodou Proctor standard (PS) (Viz tab. č. 5, 7, 9 a přílohy E, J, O). Zjištěné parametry jsou zpracovány v přílohách. U vzorků materiálů MZK byla vyhodnocena i zhutnitelnost konstrukční vrstvy lesní cesty.

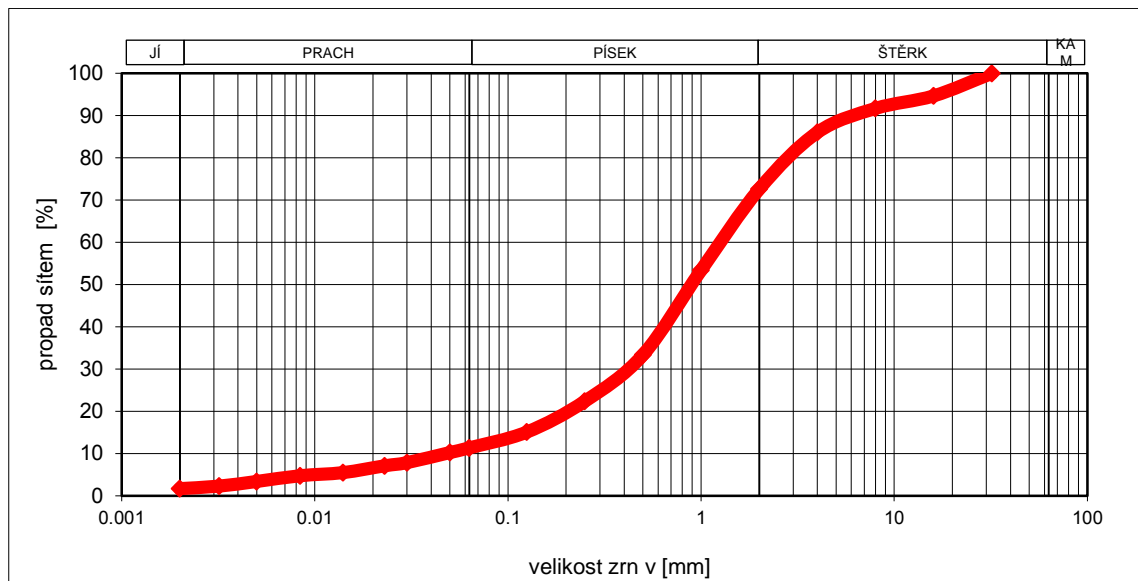
5.3 Výsledky zkoušek

Výsledky polních zkoušek společně s laboratorními výsledky pro jednotlivé lesní cesty jsou přehledně sestaveny v následujících tabulkách v pořadí dynamický modul pružnosti, poměr únosnosti CBR, míra zhutnění a PS.

5.3.1 Lesní cesta Hradská

Na lesní cestě Hradská se provádělo měření na celkem šesti příčných profilech (P1-P6 Tab. č. 5). Z nivelety zemní pláně byl odebrán reprezentativní vzorek materiálu zemin pro zatřídění a stanovení zhutnitelnosti. Výsledky jsou přehledně sestaveny v protokolech A-F a v grafech č. 1,2.

Graf 1: Křivka zrnitosti zeminy zemní pláně³⁷



V grafu je uvedena křivka zrnitosti zeminy zemní pláně. Z granulometrického rozboru byla zemina zatříděna, dle normy ČSN EN ISO 14688-2 do třídy grSa (S3 S-F písek s příměsí jemnozrnné zeminy).

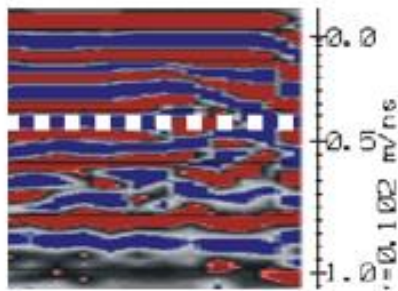
Zkoušky vrstvy MZK probíhaly se zaměřením především na levou jízdní stopu lesní cesty. Důvodem byla probíhající vodní eroze, která vymílá drobné částice krytu vozovky. Zkouška zhutnitelnosti pomocí denzitometru byla uskutečněna ve čtyřech profilech (P1, P3, P4 a P6) Vzorky pro laboratorní testy se odebíraly ve třech vybraných příčných profilech (P2, P4, P5).

³⁷ Vlastní zdroj



Obrázek 7: LC Hradská, stanoviště příčného profilu (P5)

Tloušťka konstrukce lesní cesty Hradská byla orientačně zjištěna georadarem na příčném profilu P 2. Tloušťka konstrukce lesní cesty je cca 400 mm. Záznam GPR je na obr. č. 8.



Obrázek 8: Záznam z georadaru, LC Hradská³⁸

³⁸ Vlastní zdroj

Tabulka 5: Tabulka výsledků E_{VD} , CBR, ID, PS v jednotlivých profilech, LC Hradská³⁹

Lesní cesta Hradská						
Příčný profil	Místo měření	E_{VD} [MPa]	Přepočtené hodnoty E_{def2}	CBR [%]	I_D [-]	PS [%]
P1	rostlý terén	18.2	36.4	22	---	95
	levá stopa	37.5	75.0	---	0.96	---
P2	levá stopa	45.7	91.4	94	---	---
P3	levá stopa	41.7	83.4	96	---	---
	osa cesty	41.2	82.4	71	---	---
	pravá stopa	50.6	101.2	107	0.98	---
P4	rostlý terén	22.4	44.8	22	---	---
	levá stopa	55.9	111.8	100	0.97	---
P5	levá stopa	62.8	125.6	99	---	---
	osa cesty	46.6	93.2	83	---	---
P6	levá stopa	56.6	113.2	98	---	---
	pravá stopa	57.9	115.8	96	0.97	---
	rostlý terén	17.9	35.8	17	---	---

V tabulce č. 5 jsou vidět výsledky zkoušek dynamického modulu pružnosti E_{VD} , únosnosti CBR, PS a zhutnitelnosti pro jednotlivé příčné profily na LC Hradská.

³⁹ Vlastní zdroj

Tabulka 6: Granulometrické složení odebraných vzorků z LC Hradské a jejich stanovená vlhkost⁴⁰

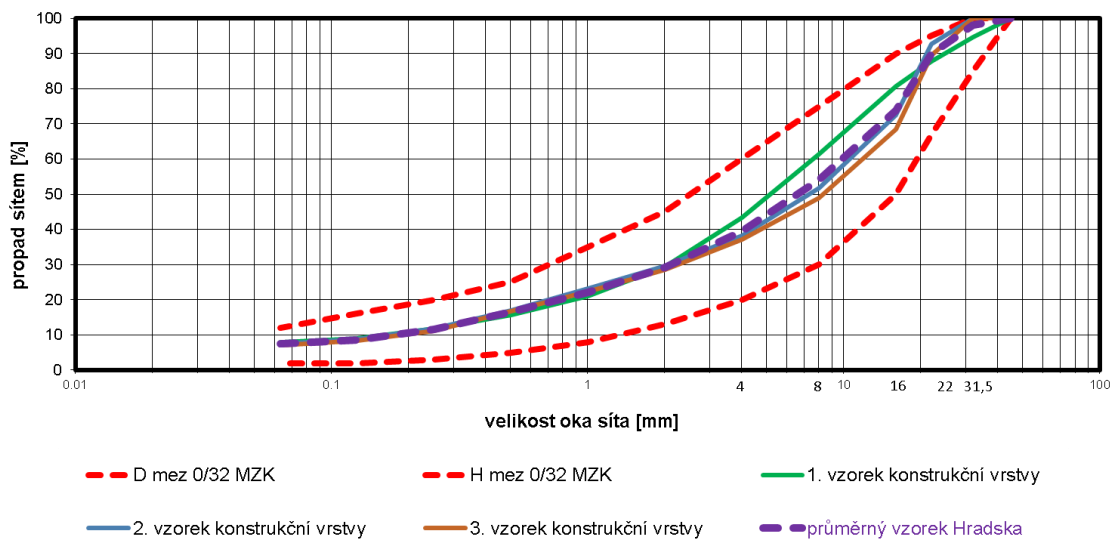
průměr ok na síť	Normové meze MZK	1. vzorek konstrukční vrstvy	2. vzorek konstrukční vrstvy	3. vzorek konstrukční vrstvy	průměrné hodnoty propadu
Vlhkost [%]		3.3	2.8	2.1	
zatřídění materiálu		GP	GW	GW	
45	100 - 100	100	100	100	100.0
32	100 - 85	94.6	100	100	98.2
22	95 - 67	87.8	92.7	89.5	90.0
16	90 - 50	80.7	72.6	68.5	73.9
8	75 - 30	61.4	51.8	48.9	54.0
4	60 - 20	43.3	38.2	37.1	39.5
2	45 - 13	29.3	29.7	28.6	29.2
1	35 - 8	21.0	23.1	22.3	22.1
0.5	25 - 5	15.7	16.9	16.7	16.4
0.25	20 - 3	11.7	11.8	11.2	11.6
0.125	16 - 2	8.9	8.7	8.4	8.7
0.063	12 - 2	8.0	7.4	7.0	7.5

Tabulka č. 6 odkazuje na granulometrické složení jednotlivých odebraných vzorků z krytové vrstvy MZK v profilech P2, P4, P5. Analýza je založena na porovnání stávající granulometrické skladby směsi MZK s normovými hodnotami granulometrické skladby. U každého vzorku je uveden procentuální zůstatek zeminy na jednotlivých sítích, tyto hodnoty je možné srovnat s mezními hodnotami. Zároveň jsou hodnoty z těchto vzorků zprůměrovány pro každé síto. Pro každý odebraný vzorek byla zjištěna a zaznamenána vlhkost.

Hodnoty granulometrického složení vzorků 1-3 jsou pro větší přehlednost zpracovány graficky a to křivkou zrnitosti.

⁴⁰ Vlastní zdroj

Graf 2: Křivky zrnitosti a průměrná křivka zrnitosti ze vzorků vrstvy MZK frakce 0/32, LC Hradská⁴¹



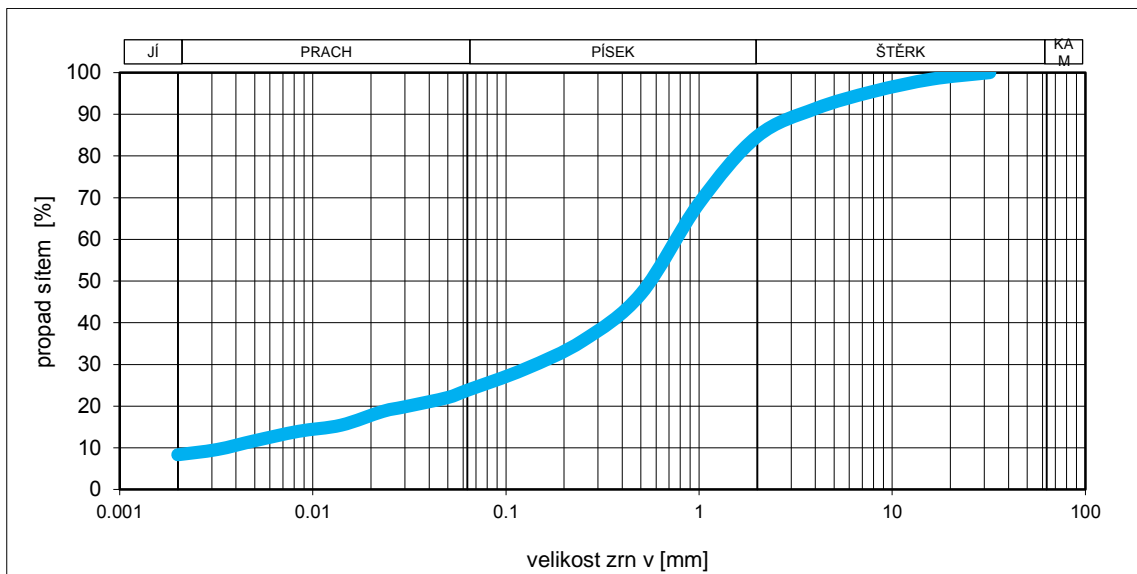
Ze třech vzorků konstrukční vrstvy MZK odebraných v příčných profilech P2, P4 a P5 lesní cesty Hradská byly vyhotoveny křivky zrnitosti a pro přehlednost vloženy do jednoho grafu. V grafu č. 2 jsou také vymezeny meze pro frakci 0/32 mm konstrukční vrstvy MZK. Na základě vyhodnocení jednotlivých křivek zrnitosti a jejich statistického vyhodnocení je zkonstruována i průměrná křivka zrnitosti.

5.3.2 Lesní cesta Pokojná

Zkoušky pro lesní cestu Pokojná byly udělány ve čtyřech příčných profilech (P1-P4 viz tab. č. 7), odběry pro laboratorní zkoušky byly odebrány na všech příčných profilech, tedy P1 až P4. Zkouška zhutnitelnosti denzitometrem na profilech P2, P3 a P4. Z nivelety zemní pláně byl odebrán reprezentativní vzorek materiálu zemin pro zařazení a stanovení zhutnitelnosti. Zemina byla odebrána v příčném profilu P4 na krajnici v těsné blízkosti lesní cesty Pokojná. Výsledky jsou opět přehledně sestaveny v protokolech G-K.

⁴¹ Vlastní zdroj

Graf 3: Křivka zrnitosti zeminy zemní pláně LC Pokojné⁴²



Křivka zrnitosti zeminy zemní pláně LC Pokojná je zobrazena v předchozím grafu č 3. Podle granulometrického rozboru byla zemina zaříděna podle normy ČSN EN ISO 14688-2 do třídy c1Sa (S5 SC písek jílovitý).



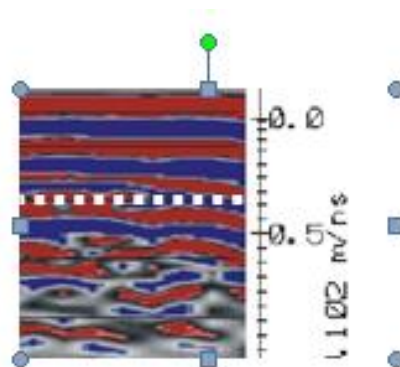
Obrázek 9: Lesní cesta Pokojná⁴³

⁴² Vlastní zdroj

⁴³ Vlastní zdroj

Tloušťka konstrukce lesní cesty Pokojné byla orientačně zjištěna georadarem na příčném profilu P 4. Tloušťka konstrukce lesní cesty je cca 400 mm. Záznam GPR je na obr. č. 10.

Obrázek 10: Záznam z georadaru, LC Pokojná⁴⁴



Stejně jako u předchozí lesní cesty jsou výsledky z krytové vrstvy MZK lesní cesty Pokojná sestaveny do jednotlivých tabulek. Do první tabulky (tab. č. 7) jsou vepsány hodnoty pro E_{VD} , CBR, I_D a PS a to pro jednotlivé body a profily.

Tabulka 7: Tabulka výsledků E_{VD} , CBR, I_D , PS v jednotlivých profilech, LC Pokojná⁴⁵

Lesní cesta Pokojná						
Příčný profil	Místo měření	E_{VD} [MPa]	Přepočtené hodnoty E_{def2}	CBR [%]	I_D [-]	PS [%]
P1	levá stopa	61.2	122.4	93	---	
	osa cesty	57.4	114.8	88	---	
P2	pravá stopa	68.8	137.6	92	0.94	
P3	levá stopa	68.4	136.8	95	0.93	
	osa cesty	48.4	96.8	82	---	
	pravá stopa	70.0	140.0	96	---	
P4	pravá stopa	72.9	143.8	97	0.94	
	rostlý terén	21.2	42.4	20	---	99

⁴⁴ Vlastní zdroj

⁴⁵ Vlastní zdroj

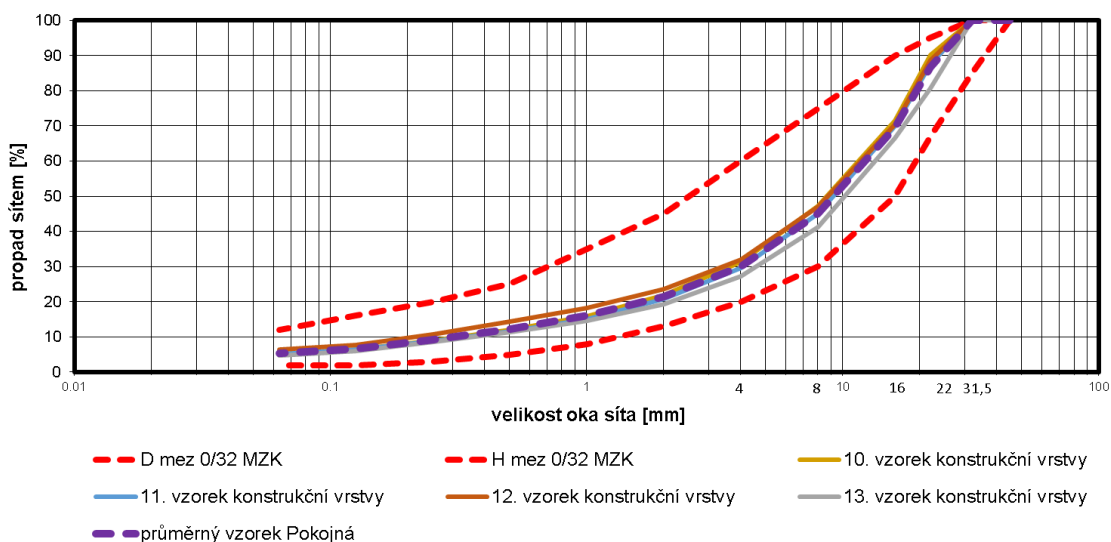
Tabulka 8: Granulometrické složení vzorků MZK, vlhkost a zatřídění materiálu, LC Pokojná⁴⁶

průměr ok na síť	Normové meze MZK	10. vzorek konstrukční vrstvy	11. vzorek konstrukční vrstvy	12. vzorek konstrukční vrstvy	13. vzorek konstrukční vrstvy	průměrné hodnoty propadu
Vlhkost [%]		2.9	3.0	3.2	3.0	
Zatřídění materiálu		GW	GW	GW	GW	
45	100 - 100	100	100	100	100	100.00
32	100 - 85	100	100	100	100	100.00
22	95 - 67	90.2	87.5	88.6	80.8	86.78
16	90 - 50	71.5	69.9	70.4	66.5	69.58
8	75 - 30	47.3	45	47	41.1	45.10
4	60 - 20	31.3	29.5	32	27.3	30.03
2	45 - 13	21.9	20.7	23.5	19.3	21.35
1	35 - 8	15.9	15.1	18.3	14.6	15.98
0.5	25 - 5	11.9	11.5	14.3	11.4	12.28
0.25	20 - 3	8.9	8.8	10.6	8.6	9.23
0.125	16 - 2	6.5	6.5	7.7	6	6.68
0.063	12 - 2	5.1	5.1	6.5	4.8	5.38

V předchozí tabulce jsou přehledně sestaveny výsledky odebraných vzorků. Vzorky byly odebrány z krytové vrstvy MZK na profilech P1 až P4. Jedná se o stanovení granulometrického složení tedy hodnoty procentuálních propadů na jednotlivých sítích a to pro každý vzorek, který byl odebrán. Následně jsou na základě hodnot granulometrického složení zhotoveny křivky zrnitosti, jež jsou uvedena níže. V křivce zrnitosti je uvedena průměrná křivka ze všech čtyř vzorků. Jedná se o materiál frakcí 0/32, v grafu jsou proto vymezeny i normové meze pro tuto frakci konstrukční vrstvy MZK.

⁴⁶ Vlastní zdroj

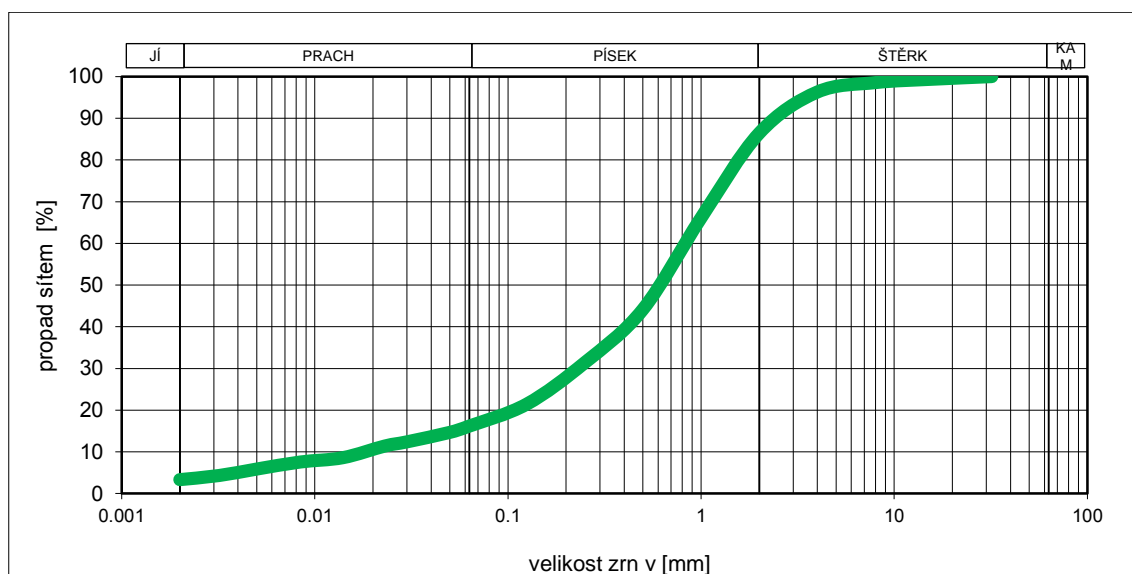
Graf 4: Křivky zrnitosti a průměrná křivka zrnitosti ze vzorků vrstvy MZK frakce 0/32, LC Pokojná⁴⁷



5.4 Lesní cesta Poutnická

Poslední z analyzovaných lesních cest je LC Poutnická, na které bylo vymezeno pět příčných profilů (P1-P5, viz tab. č. 9). Vzorky krytové vrstvy MZK pro laboratoř byly odebrány na každém příčném profilu, to znamená na profilech P1 až P5. Denzitometr byl proveden ve třech místech, konkrétně v profilech P2, P3, P4. Z nivelety zemní pláně v profilu P3 byl odebrán vzorek materiálu zemin pro zatřídění a stanovení zhutnitelnosti. Protokoly výsledků jsou uvedeny v přílohách L-P

Graf 5: Křivka zrnitosti zeminy zemní pláně, LC Poutnická⁴⁸



⁴⁷ Vlastní zdroj

⁴⁸ Vlastní zdroj

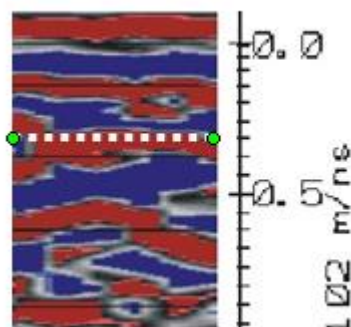
V grafu č. 5 je uvedena křivka zrnitosti zemin zemní pláně lesní cesty Poutnická. Z granulometrického rozboru byla zemina zatříděna dle normy ČSN EN ISO 14688-2 do třídy grSa (S3 S-F písek s příměsí jemnozrné zeminy).



Obrázek 11: Lesní cesta Poutnická, příčný profil P3⁴⁹

Tloušťka konstrukce lesní cesty byla orientačně zjištěna georadarem na příčném profilu P 1. Tloušťka konstrukce lesní cesty je cca 350 mm. Záznam GPR je na obr. č. 12.

Obrázek 12: Záznam z georadaru, LC Poutnická⁵⁰



Výsledky polních a laboratorních zkoušek konstrukční vrstvy MZK z této lesní cesty, LC Poutnické jsou opět sestaveny v jednotlivých tabulkách. Následující tabulka č. 9.

⁴⁹ Vlastní zdroj

⁵⁰ Vlastní zdroj

poskytuje informace o výsledcích naměřených hodnot dynamického modulu pružnosti, poměru únosnosti zeminy, zhutnitelnosti a relativní ulehlosti a to v návaznosti na jednotlivé profily a vymezené místa právě v těchto profilech.

Tabulka 9: Tabulka výsledků E_{VD} , CBR, ID, PS v jednotlivých profilech, LC Poutnická⁵¹

Lesní cesta Poutnická						
Příčný profil	Místo měření	E_{VD} [MPa]	Přepočtené hodnoty E_{def2}	CBR [%]	ID [-]	PS [%]
P1	levá stopa	59.8	119.6	81	---	---
	osa cesty	52.3	104.6	75	---	---
P2	pravá stopa	58.4	116.8	92	0.96	---
P3	levá stopa	61.2	122.4	85	---	---
	rostlý terén	23.7	47.4	21	---	93
	levá stopa	58.9	117.8	90	0.97	---
P4	pravá stopa	66.7	123.4	95	0.98	---
	osa cesty	52.3	104.6	80	---	---
P5	levá stopa	59.8	119.6	81	---	---

⁵¹ Vlastní zdroj

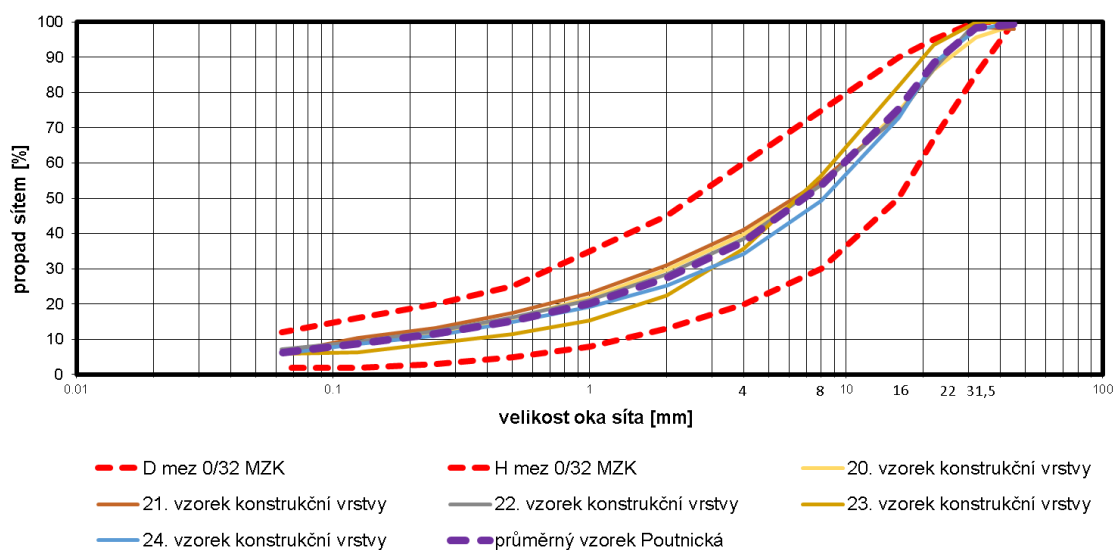
Tabulka 10: Granulometrické složení odebraných vzorků, stanovená vlhkost a zatřídění materiálu, LC Poutnická⁵²

průměr ok na síť	Normové meze MZK	20. vzorek konstrukční vrstvy	21. vzorek konstrukční vrstvy	22. vzorek konstrukční vrstvy	23. vzorek konstrukční vrstvy	24. vzorek konstrukční vrstvy	průměrné hodnoty propadu
vlhkost		2.8	3.0	2.9	2.7	2.7	
Zatřídění materiálu		GP	GP	GW	GW	GP	
45	100 - 100	99	98	100	100	100	99.4
32	100 - 85	95.6	98.7	100	100	97.8	98.42
22	95 - 67	86.5	87.1	86.7	93.5	88.3	88.42
16	90 - 50	74.7	73.5	73.9	81.9	72.8	75.36
8	75 - 30	53.8	54.9	53.7	56.3	49.2	53.58
4	60 - 20	39.7	41	38.5	35.8	34.2	37.84
2	45 - 13	29.7	31	28.5	22.5	25.2	27.38
1	35 - 8	21.7	23	21.2	15.4	19.1	20.08
0.5	25 - 5	16	17.4	16.2	11.5	14.8	15.18
0.25	20 - 3	11.9	13.2	12.3	8.8	11.1	11.46
0.125	16 - 2	9	10.3	9.3	6.2	8.6	8.68
0.063	12 - 2	5.1	5.1	6.5	4.8		7.5

Předchozí tabulka č. 10 opět odkazuje na granulometrické složení odebraných vzorků z krytové vrstvy MZK na lesní cestě Poutnická. Zaznamenány jsou jednotlivé procentuální propady na sítích. V tabulce č. 10 jsou pro přehlednost opět uvedeny i hodnoty průměrné, zjištěná vlhkost vzorků a jejich zatřídění. Podle hodnot granulometrického složení je vyhodnocen následující graf křivky zrnitosti, uvedena v grafu č. 6.

⁵² Vlastní zdroj

Graf 6: Křivky zrnitosti a průměrná křivka zrnitosti ze vzorků vrstvy MZK frakce 0/32, LC Poutnická



Do grafu křivky zrnitosti jsou zaneseny granulometrické složení vzorků 20-24. Z těchto hodnot je sestavena průměrná křivka zrnitosti, které je vyznačena fialovou přerušovanou čarou. V grafu jsou dále vyznačeny normové meze pro krytovou vrstvu MZK frakce 0/32.

6 Vyhodnocení výsledků zkoušek a návrhové opatření

Vyhodnocení výsledků zkoušek a parametrů materiálů je popsáno samostatně pro jednotlivé cesty. V rámci přípravné rekognoskace byla provedena podrobná vizuální kontrola lesních cest na analyzovaných profilech, ke které bylo při vyhodnocování přihlédnuto. Návrhová opatření pro jednotlivé cesty vycházejí z vyhodnocených zkoušek a jsou zaměřena na zajištění životnosti a funkčnosti lesních cest.

6.1 Lesní cesta Hradská

Lesní cesta Hradská je trasována převážně v podélném sklonu a je vedena po úbočí zalesněného svahu. Lesní cesta je provedena na zemní pláni tvořené zeminami grSa (S3 S-F písek s příměsí jemnozrné zeminy) s únosností LDD 17-22 MPa. Konstrukce lesní cesty je provedena z vrstvy tloušťky do 400 mm z mechanicky zpevněného kameniva (MZK) frakce 0/32 mm. Odvodnění cesty je řešeno povrchově, které je zajištěno příčným a podélným sklonem cesty s lokálně umístěnými příčnými svodnicemi.

Vlivem konfigurace cesty a působením klimatických srážek v kombinaci s provozním dopravním zařízením dochází lokálně ke vzniku negativních jevů, které způsobují zrychlenou amortizaci a destrukci konstrukce lesní cesty. Klimatické srážky z důvodů poddimenzovaného povrchového odvodnění vytvářejí lokálně erozní rýhy, které v kombinaci s umístěním v jízdní stopě způsobují hluboké „koleje“. Lokálně dochází na lesní cestě ke splavování jemných hlinitých částic zemin ze zemních svahů a nezpevněných cest.

Působením provozu dochází k vyjždění respektive k segregaci jemnozrné frakce v ploše jízdních stop, které také vytvářejí podmínky pro vznik vyjetých „kolejí“. Lokálně je jemná frakce vlivem odstředivých sil od kol zcela segregována a v jízdních stopách zůstává pouze kostra z hrubozrného materiálu.

Spolupůsobením všech těchto výše uvedených jevů dochází lokálně ke zvýšené amortizaci a destrukci konstrukce lesní cesty.

Kvalitativní parametr materiálu zemní pláň byl zkoušen na okraji konstrukce cesty po obnažení vrstvy MZK na zemní pláň. Naměřené hodnoty vyhovují (Graf. č. 1).

Zkoušky materiálu MZK frakce 0/32 mm prokázaly jeho správné granulometrické složení, které vyhovuje normovým mezním křivkám (viz tab. č. 6 a graf. č. 2). Únosnost zemní pláň má u vysokého zatížení splňovat minimální požadavek $E_{\text{def},2} 30 = \text{MPa}$.

Naměřené hodnoty únosnosti E_{VD} lesní pláně LC Hradská jsou tedy na hranici požadovaných parametrů. Požadované minimální hodnoty pojezdové plochy jsou $E_{def,2} 100 = \text{MPa}$. Požadované hodnoty nejsou splněny v profilech P1, P2, P3 a P5. Snížené hodnoty mohou být zapříčiněny nedostatečným odvodněním v kombinaci s působením eroze a saturace zemin zemní pláně. Veškeré naměřené hodnoty jsou podpořeny zkouškou CBR. Míra zhutnění materiálu MZK splňuje minimální parametry (tab. č. 5). Celkové vyhodnocení výsledků materiálu MZK a materiálu zemní pláně na lesní cestě Hradská vyhovují minimálním požadovaným parametrům.

Stávající stav cesty však vyžaduje průběžnou údržbu a opatření. Lesní cesta Hradská z důvodu sklonových poměrů vyžaduje zkapacitnění a reprofilaci povrchového odvodnění, včetně zahuštění systémů příčných svodnic v exponovaných úsecích, aby nedocházelo k erozi konstrukce cesty. Déle je nutné pro udržení životnosti a sjízdnosti provádět údržbu pojezdové plochy tak, aby se odstranily podélné „koleje“. Konstrukci z MZK je nutné upravit do požadovaného podélného a příčného sklonu např.: grejdrem, doplnit vrstvu z MZK novým materiálem a provést jeho zhutnění na požadované hodnoty.

6.2 Lesní cesta Pokojná

Lesní cesta Pokojná je vedena jako náhorní a svahová trasa. Podélný sklon není tak výrazný jako u lesní cesty Hradská. Lesní cesta Pokojná je provedena na zemní pláni tvořené zeminami cISa (S5 SC písek jílovitý) s únosností cca 20 MPa. Konstrukce lesní cesty je provedena z vrstvy o tloušťce do 400 mm z mechanicky zpevněného kameniva (MZK) frakce 0/32 mm. Odvodnění cesty je zajištěno příčným a podélným sklonem cesty a povrchovými oboustrannými otevřenými nezpevněnými příkopy.

Na lesní cestě Pokojná dochází lokálně k degradaci konstrukce lesní cesty. K těmto negativním vlivům dochází vlivem konfigurace cesty, působením klimatických srážek v kombinaci s provozním dopravním zatížením. Lokálně dochází vlivem klimatických srážek k vytváření mělkých erozních rýh. Působením provozu dochází k vyjíždění respektive k segregaci jemnozrné frakce v ploše jízdních stop, které se vyskytují pouze lokálně. Celkový stav této cesty je vyhovující.

Materiál zemní pláň byl zkoušen na okraji konstrukce cesty po obnažení vrstvy MZK na zemní pláň. Tyto naměřené hodnoty vyhovují požadavkům.

Zkoušky materiálu MZK frakce 0/32 mm prokázaly jeho správné granulometrické složení, které vyhovuje mezním křivkám a je velice rovnoměrný - homogenní. (Graf č. 4). Naměřené hodnoty únosnosti E_{VD} splňují požadované minimální hodnoty a jsou v celé šíři cesty rovnoměrné. Rovnoměrnost vykazují i hodnoty CBR. Míra zhutnění materiálu MZK splňuje minimální parametry a vykazuje velmi dobrou zhutnitelnost.

Parametry materiálu MZK a výsledky zkoušek na lesní cestě Pokojná vyhovují minimálním požadovaným parametrům.

Stávající stav cesty vyžaduje nenáročnou údržbu a opatření. Lesní cesta Pokojná vyžaduje doplnění příčných odvodňovacích svodnic v exponovaných úsecích. Povrchová úprava lesní cesty vyžaduje doplnění materiálu směsi MZK a jeho zhutnění na požadované hodnoty.

6.3 Lesní cesta Poutnická

Lesní cesta Poutnická je vedena jako svahová a náhorní trasa. Kombinace vedení trasy a vliv dopravního zatížení se značně projevuje na stavebně-technickém stavu konstrukce lesní cesty. Lesní cesta je provedena na zemní pláni tvořené zeminami cI_{Sa} (S4 SM písek hlinitý) s únosností do 21 MPa. Konstrukce lesní cesty je provedena z vrstvy tloušťky do 350 mm z mechanicky zpevněného kameniva (MZK) frakce 0/32 mm. Odvodnění cesty je řešeno povrchově, které je zajištěno příčným a podélným sklonem cesty s lokálně umístěnými příčnými svodnicemi a oboustrannými příkopy.

Vlivem konfigurace cesty v poměrně výrazném podélném sklonu na jejím začátku a působením klimatických srážek dochází poměrně plošně k destrukci krytu lesní cesty. Klimatické srážky z důvodů sklonových poměrů a absenci příčných svodnic vyplavují jemnozrnné frakce, čímž dochází k otevření konstrukce krytu lesní cesty. Při současném působení dopravního zatížení (značné pojezdové a brzděné síly ve svahu) vytvářejí podmínky pro hluboké „koleje“ respektive erozní rýhy. V jízdnicích stopách zůstává pouze kostra z hrubozrnného materiálu.

Kvalitativní parametr materiálu zemní pláň byl zkoušen na okraji konstrukce cesty po obnažení vrstvy MZK na zemní pláň. Naměřené hodnoty PS 93 % vyhovují.

Zkoušky materiálu MZK frakce 0/32 mm prokázaly jeho správné granulometrické složení, které vyhovuje mezním křivkám. Naměřené hodnoty únosnosti E_{VD} splňují požadované minimální hodnoty a jsou v celé šíři cesty rovnoměrné. Rovnoměrnost vykazují i hodnoty CBR. Míra zhutnění materiálu MZK splňuje minimální parametry a vykazuje velmi dobrou zhutnitelnost. Míra zhutnění materiálu MZK splňuje minimální parametry.

Stávající stav cesty však vyžaduje průběžnou údržbu a opatření. Lesní cesta Poutnická vyžaduje vzhledem ke sklonovým poměrům zkapacitnění a reprofilaci povrchového odvodnění, včetně zahuštění systémů příčných svodnic v exponovaných úsecích tak, aby nedocházelo k erozi konstrukce cesty. Dále je nutné pro udržení životnosti a sjízdnosti provádět údržbu pojezdové plochy tak, aby se odstranily podélné „koleje“. Konstrukci z MZK je nutné upravit do požadovaného podélného a příčného sklonu např.: grejdrem a doplnit vrstvu z MZK novým materiálem, který bude zhutněn na požadované hodnoty. Na základě naměřených výsledků na lesní cestě Poutnická se doporučuje v rámci údržby její zesílení na minimální tloušťku MZK 400 mm.

7 Diskuze

Lesní dopravní síť a její dobrá kvalita je důležitou součástí lesního hospodářství. Při navrhování a stavbě lesních cest se musí počítat s vysokým zatížením z důvodu pojezdu těžké odvozní techniky. Krytové vrstvy, ale i podloží, musí být upraveno tak, aby vydržely časté přejezdy těžké techniky a to nejen jí samotné, ale především naložené například odtěženými stromy.

Pro zachování dlouhodobého optimálního stavu a prevenci oprav lesních cest je potřebná pravidelná údržba, která spočívá v pravidelné péči účelem obnovy plného provozního stavu a prevenci oprav. Bohužel se nepodařilo zjistit informace o stáří jednotlivých analyzovaných cest, ani zda byly v průběhu let vykonávány nějaké udržovací práce. Můžeme tedy jen odhadovat, jestli jsou pravidelné udržovací práce vykonávány. Podle stavu povrchového odvodňovacího systému jak podélného, tak příčného a stavu krytové vrstvy bych usuzovala, že lesní cesty nejsou udržovány. Alespoň ne pravidelně. Klimatické vlivy jsou jedním z hlavních důvodů stávajícího stavebně-technického stavu analyzovaných lesních cest. Lze odhadovat, že technický stav by byl na lepší úrovni, pokud by byl udržován odvodňovací systém a zbudováno více svodnic na povrchu lesních cest. Na lesní cestě Hradské byla změřena hraniční hodnota v podloží. I tyto hodnoty mohou být zapříčiněny saturací vodou, které by šlo předejít správným odvodněním.

Z důvodu zanedbání pravidelné údržby bude uvedení do původního či plného provozního stavu technicky i finančně náročnější. Údržby a opravy by se měly zahájit v co nejbližším termínu, aby nedošlo k většímu rozkladu krytové vrstvy a celkovému zhoršení technického stavu stavební konstrukce.

8 Závěr

Bakalářská práce byla řešena na území ŠLP Křtiny, v této lokalitě byly vybrány tři lesní cesty k bližší analýze. Lesní cesty Hradská a Pokojná se nacházejí na katastrálním území Olomoučany, LC Poutnická v katastru Křtiny. Všechny tři cesty byly podrobeny podrobnému vizuálnímu průzkumu. Dále byly na každé lesní cestě vymezeny příčné profily, na kterých se následně prováděly polní zkoušky, a byly odebrány vzorky pro zkoušky laboratorní. Z důvodu nedostatku informací o vrstvách cestní konstrukce a její krytové vrstvy z MZK byl k analýze tloušťky použit georadar. Z polních zkoušek byla na krytové vrstvě z MZK zjištěna míra zhutnění pomocí půdního objemového denzitometru a modul pružnosti lehkou dynamickou deskou. Přímo v terénu byl s polním přístrojem CBR stanoven i poměr ulehlosti zeminy. Z odebraných vzorků vrstvy z MZK bylo laboratorní metodou zjištěno granulometrické složení, následně stanovena křivka zrnitosti a zhutnitelnost zkouškou Proctor standard. U odběrů zemní pláně bylo navíc provedeno zatřídění materiálů. Součástí vyhodnocení je i návrh případného řešení úprav jednotlivých lesních cest.

Po navštívení a vizuálním zhodnocení se v nejhorším technickém stavu jevila LC Poutnická. Avšak po provedení polních a laboratorních zkoušek byl zjištěn jako nejhorší stav na LC Hradská.

Bylo navrženo srovnání podélného a příčného sklonu u všech hodnocených lesních cest, reprofilace povrchového odvodňovacího systému a doplnění příčných svodnic v exponovaných úsecích. Dále pak doplnění materiálu konstrukční vrstvy MZK a její zhutnění.

9 Seznam použitých zdrojů

TIŠTĚNÉ ZDROJE

- CULEK, M. *Biogeografické členění České republiky*. Praha: Enigma, 1996, 347 s.
ISBN 978-80-210-6693-9
- ČSN EN 13286-2: Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivky-Část 2: Zkušební metody pro stanovení laboratorní srovnávací objemové hmotnosti a vlhkosti – Proctorova zkouška, 2007.
- ČSN EN ISO 14688-2: *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřídování zemín – Část 2: Zásady pro zatřídování*, 2005.
- ČSN 72 1006: *Kontrola zhutnění zemín a sypanin*, 1998.
- ČSN 72 1015: *Laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemín*, 1988
- GÖBEL C., LIEBERENZ K., *Handbuch Erdbauwerke der bahnen*, Eurailpress Tetzlaff-Hestra GmbH & Co. KG, 2004, ISBN 3-7771-0317-9
- HANÁK, Karel. *Lesní dopravní síť: vybrané statě*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1992, 53 s. ISBN 80-7157-054-0
- HANÁK, Karel. *Zpřístupnění lesa - vybrané statě II*. 2. vyd. / . Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, 100 s. ISBN 80-7157-569-0
- HRŮZA, Petr. *Prezentace – Zpevnování účelových komunikací*
- QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa*. Praha: Academia, 1971
- STEHLÍK, Dušan. *Laboratorní zkoušení zemín a materiálů podle ŠN EN školení pracovníků silničních laboratoří BLOK III*. Vysoké učení technické v Brně, 2006.
- ŠAMALÍKOVÁ Milena, LOCKER Jiří, POSPÍŠIL Pavel. *Geologie*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, 119 s
- ŠPŮREK Josef. *Silniční stavitelství II-Stavba silnic a dálnic*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p. Praha 1979, 759 s.
- VAVŘÍČEK D., ŠIMKOVÁ P., *Atlas lesních půd ČR*. Mendelova univerzita v Brně, 2014, 108 s. ISBN 978-80-7509-007-2
- WIEGLOVÁ Kamila, GLISNÍKOVÁ Věra, MASOPUST Jan. *Mechanika zemín a zakládání staveb*. Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, 156 s. ISBN 80-214-2376-5

INTERNETOVÉ ZDROJE

WIESNWR, Pavel. *Michací zařízení pro výrobu MZK* [online] citováno 27. Dubna 2015. Dostupné na World Wide Web: <<http://tvstav.cz/clanek/375-michaci-zarizeni-pro-vyrobu-mzk>>.

Česká geologická služba [online] citováno 10. prosince 2014. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>>

Geo portal [online] citováno 4. Listopadu 2014. Dostupné na World Wide Web: <<http://geoportal.gov.cz/web/guest/map>>

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem [online] citováno 5. prosince 2014. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.uhul.cz/nase-cinnost/oblastni-plany-rozvoje-lesu/prirodni-lesni-oblasti-plo/188-prirodni-lesni-oblast-c-30-drahanska-vrchovina>>

10 Seznam grafů

Graf 1: Křivka zrnitosti zeminy zemní pláně.....	30
Graf 2: Křivky zrnitosti a průměrná křivka zrnitosti ze vzorků vrstvy MZK frakce 0/32, LC Hradská	34
Graf 3: Křivka zrnitosti zeminy zemní pláně LC Pokojné	35
Graf 4: Křivky zrnitosti a průměrná křivka zrnitosti ze vzorků vrstvy MZK frakce 0/32, LC Pokojná	38
Graf 5: Křivka zrnitosti zeminy zemní pláně, LC Poutnická	38
Graf 6: Křivky zrnitosti a průměrná křivka zrnitosti ze vzorků vrstvy MZK frakce 0/32, LC Poutnická	42

11 Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa širšího okolí vybraných lesních cest	10
Obrázek 2: Poloha vybraných lesních cest	11
Obrázek 3: Trojúhelníkový diagram s rozlišením tří základních skupin.....	16
Obrázek 4: Trojúhelníkový diagram s označením 18 tříd zemin podle revize ČSN 73 1001.....	17
Obrázek 5: Měření půdním objemovým denzitometrem.....	24
Obrázek 6: Fotografie mobilního míchacího zařízení pro výrobu MZK.....	26
Obrázek 7: LC Hradská, stanoviště příčného profilu (P5).....	31
Obrázek 8: Záznam z georadaru, LC Hradská.....	31
Obrázek 9: Lesní cesta Pokojná.....	35
Obrázek 10: Záznam z georadaru, LC Pokojná	36
Obrázek 11: Lesní cesta Poutnická, příčný profil P3.....	39
Obrázek 12: Záznam z georadaru, LC Poutnická	39

12 Seznam rovnic

Rovnice 1: Výpočet vlhkosti.....	18
Rovnice 2: Výpočet čísla křivosti.....	19
Rovnice 3: výpočet čísla nestejnozrnosti.....	20
Rovnice 4: Stupeň konzistence	22
Rovnice 5: Výpočet relativní ulehlosti k vyjádření míry zhutnění	23
Rovnice 6: Výpočet procent CBR	25

13 Seznam tabulek

Tabulka 1: Tvar křivky zrnitosti	20
Tabulka 2: stupně plasticity v závislosti na indexu plasticity.....	21
Tabulka 3: Názvosloví pro jednotlivé meze indexu ulehlosti.....	21
Tabulka 4: Index konzistence I_c prachů a jílu.....	22
Tabulka 5: Tabulka výsledků E_{VD} , CBR, ID, PS v jednotlivých profilech, LC Hradská32	
Tabulka 6: Granulometrické složení odebraných vzorků z LC Hradské a jejich stanovená vlhkost.....	33
Tabulka 7: Tabulka výsledků E_{VD} , CBR, ID, PS v jednotlivých profilech, LC Pokojná	36
Tabulka 8: Granulometrické složení vzorků MZK, vlhkost a zatřídění materiálu, LC Pokojná	37
Tabulka 9: Tabulka výsledků E_{VD} , CBR, ID, PS v jednotlivých profilech, LC Poutnická	40
Tabulka 10: Granulometrické složení odebraných vzorků, stanovená vlhkost a zatřídění materiálu, LC Poutnická	41