

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra lesnických technologií a staveb



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Vliv porušení a konstrukční skladby vozovky lesní cesty na její únosnost

Diplomová práce

Autor: Bc. Petr Kubka

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Tománek, Ph.D.

2018

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Kubka

Lesní inženýrství

Název práce

Vliv porušení a konstrukční skladby vozovky lesní cesty na její únosnost

Název anglicky

Influence of damage and construction of the forest road roadway on its load capacity

Cíle práce

Cílem práce je zhodnotit vliv porušení a konstrukční skladby vozovky lesní cesty na její únosnost.

Metodika

Bude vypracována literární rešerše popisující metody diagnostického průzkumu, hodnocení poruch vozovek a rázové zatěžovací zkoušky konstrukce vozovky. V praktické části bude na vybraných modelových lesních cestách provedeno měření průhybů vozovky rázovým zařízením deflektometrem FWD. Zjištěné výsledky budou vyhodnoceny.

Doporučený rozsah práce

řešerše min. 50 s., výsledky min. 20 s. + přílohy

Klíčová slova

únosnost vozovky, diagnostika vozovek, poruchy vozovek, lesní cesta

Doporučené zdroje informací

- ČSN 73 6108. Lesní cestní síť. Praha: Český normalizační institut, 2016. 41 s.
- ČSN 73 6192. Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží. Praha: Český normalizační institut, 1996. 20 s.
- GSCHWENDT, Ivan. Vozovky: obnova, zesilování a rekonstrukce. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-005-5.
- GUCINSKI, Hermann. Forest Roads: A Synthesis of Scientific Information. Portland: U.S. Department of Agriculture, 2001, 108 s. ISBN 1428961429.
- HANÁK, K. Stavby pro plnění funkcí lesa. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 300 s. ISBN 978-80-87093-76-4.
- KLČ, P., KRÁLIK, A. Katalóg porušení a závad na lesných cestách. Bratislava: Príroda, 1991. 84 s. Odborná lesnícka aktualita. ISBN 80-070-0273-1.
- KLČ P., ŽÁČEK J. Výstavba, rekonstrukce a modernizace lesní dopravní sítě. Praha: Kostelec nad Černými lesy, 2006. 152 s. ISBN 80-86386-20-1.
- RICCI, A. The Falling weight deflectometer for nondestructive evaluation of rigid pavements. Austin: The Center, 1985. 87 p. Research report (University of Texas at Austin. Center for Transportation Research), no. 387-3F.
- TOMÁNEK, Jaroslav. Projektování lesních cest – cvičení. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2015. ISBN 978-80-213-2610-1.
- VÉBR, L., GALLO, P. Katalog vozovek polních cest – Technické podmínky. Praha: Roadconsult, 2011. 62 s.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Jaroslav Tománek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra lesnických technologií a staveb

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2017

doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 14. 02. 2018

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv porušení a konstrukční skladby vozovky lesní cesty na její únosnost“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Jaroslava Tománka, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 4.4.2018

Bc. Petr Kubka

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jaroslavu Tománkovi, Ph.D. za ochotu, pomoc a cenné rady. Dále děkuji vedoucímu polesí Mníšek pod Brdy panu Ing. Petru Čechovi za umožnění výzkumu lesních cest.

Abstrakt

Únosnost vyjadřuje schopnost vozovky přenášet zatížení vyvolané dopravou. Zatížení vozovky způsobuje porušování její konstrukce. Únosnost se odvozuje z charakteristik průhybu účinkem definovaného zatížení nebo z charakteristik konstrukčních vrstev vozovky a podloží. Za kritéria únosnosti konstrukce vozovky se považuje splnění podmínek spolehlivosti, kterými se omezuje porušení konstrukčních vrstev a podloží.

V textu se zabývám měřením odezvy konstrukce vozovky na zatížení modelující účinek nápravy těžkého nákladního vozidla. Dále se v textu zabývám diagnostickým průzkumem konstrukce vozovky popisujícím metody a činnosti hodnocení stavu vozovky pro technicky správné a podložené posouzení únosnosti vozovky.

Klíčová slova: diagnostika vozovek, únosnost vozovky, poruchy vozovek, lesní cesta

Abstract

The load-bearing capacity of pavement states the ability of pavement to carry the traffic load. The pavement load causes damage to the pavement construction. The load-bearing capacity is derived from the characteristics of deflection caused by the defined load or from the characteristics of construction layers of the pavement and the subsoil. Criteria for the load-bearing capacity of the pavement construction are fulfilment of reliability conditions, which are used to limit the damage to the construction layers and the subsoil.

The thesis focuses on measuring the pavement construction response to the load that models the effect of a heavy truck's axle. Next, the thesis also concentrates on a diagnostic survey of the pavement construction. The survey describes methods and procedures of the pavement condition assessment to achieve a technically correct and evidence-based assessment of the load-bearing capacity of pavement.

Keywords: pavement diagnostics, load-bearing capacity of pavement, pavement defects, forest road

Obsah

Seznam tabulek	9
Seznam obrázků	10
Seznam grafů.....	11
1 Úvod	12
2 Cíl.....	13
3 Literární rešerše	13
3.1 Lesní cesty v historickém kontextu	13
3.1.1 Historický vývoj dopravy dříví	13
3.1.2 Doprava dříví v současnosti	15
3.1.3 Rozvoj lesní cestní sítě	15
3.1.4 Zpřístupnění lesů.....	16
3.2 Lesní cesty	17
3.2.1 Lesní dopravní síť	17
3.2.2 Lesní cestní síť - lesní cesty a dopravní trasy	18
3.2.3 Rozdělení lesní cestní sítě	18
3.2.4 Návrhové kategorie lesních cest	21
3.2.5 Lesní cesty podle konstrukční skladby	21
3.2.6 Dopravní zpřístupnění lesů v současnosti.....	24
3.3 Návrh konstrukce vozovky lesní cesty.....	25
3.3.1 Vozovka	25
3.3.2 Členění vozovek	26
3.3.3 Zemní těleso	28
3.3.4 Návrhová úroveň porušení.....	29
3.4 Komplexní péče o lesní dopravní síť	29
3.5 Klasifikace porušení a závad na lesní cestní síti	30

3.5.1 Klasifikace porušení.....	30
3.5.2 Zjišťování stavu lesních cest.....	31
3.6 Klasifikace poruch vozovky	32
3.6.1 Přehled poruch netuhých vozovek lesních cest	33
3.6.2 Přehled poruch netuhých vozovek podle TP 82.....	35
3.7 Diagnostický průzkum vozovek.....	38
3.7.1 Všeobecně.....	38
3.7.2 Vizualní prohlídka.....	39
3.7.3 Jádřové vývrty	40
3.7.4 Geotechnické vrtané nebo kopané sondy	40
3.7.5 Laboratorní zkoušky a stanovení na odebraných materiálech	41
3.7.6 Měření únosnosti	43
3.7.7 Georadarové měření kontinuálních tlouštěk konstrukčních vrstev.....	48
3.7.8 Stanovení příčin poruch	49
3.7.9 Návrh způsobu a technologie opravy.....	49
3.7.10 Výstup diagnostického průzkumu.....	50
4 Metodika	50
4.1 Přípravné práce	50
4.2 Charakteristika polesí Mníšek pod Brdy.....	50
4.3 Specifikace jednotlivých vybraných úseků lesních cest podle UHÚL.....	51
4.3.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva	51
4.3.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem.....	53
4.4 Vizualní prohlídka povrchu vozovky.....	56
4.5 Geotechnické kopané sondy.....	56
4.6 Georadarové měření vozovky	56
4.7 Měření únosnosti vozovky	57

4.8 Zpracování naměřených a zjištěných hodnot	60
5 Výsledky	60
5.1. Vizualní prohlídka.....	60
5.1.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva	60
5.1.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem.....	61
5.2 Geotechnické kopané sondy	62
5.2.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva	62
5.2.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem.....	64
5.2.3 Zatřídění zemin	66
5.3 Georadarové měření vozovky	66
5.3.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva	66
5.3.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem.....	66
5.4 Měření únosnosti vozovky	67
5.4.1 Lesní cesty se krytem z nestmeleného kameniva	67
5.4.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem.....	71
6 Diskuse	77
7 Závěr.....	79
8 Seznam literatury a použitých zdrojů.....	82
9 Přílohy	88
9.1 Seznam příloh.....	88
9.2 Přílohy	89

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Celková délka lesních cest v ČR (MZe, 2016).....	24
Tabulka 2 – Zastoupení druhů povrchů pro jednotlivé třídy lesních cest v ČR (MZe, 2016)	25

Tabulka 3 – Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa	29
Tabulka 4 – Tloušťky krytu lesních cest s krytem z nestmeleného kameniva.....	66
Tabulka 5 – Tloušťky krytu lesních cest s asfaltobetonovým krytem	67
Tabulka 6 – Výsledky měření únosnosti lesní cesta U boudy / 6 měsíců.....	68
Tabulka 7 – Výsledky měření únosnosti lesní cesta V Loužku / 4 roky	69
Tabulka 8 – Výsledky měření únosnosti lesní cesta U boudy / 15 roků.....	70
Tabulka 9 – Výsledky měření únosnosti lesní cesty K boudě / 1 rok	72
Tabulka 10 – Výsledky měření únosnosti lesní cesty Vojenská / 10 roků.....	73
Tabulka 11 – Výsledky měření únosnosti lesní cesty Hřebenská / 20 roků	74
Tabulka 12 – Vyhodnocení únosnosti lesní cesty K boudě / 1 rok.....	76
Tabulka 13 – Vyhodnocení únosnosti lesní cesty Vojenská / 10 roků	76
Tabulka 14 – Vyhodnocení únosnosti lesní cesty Hřebenská / 20 roků.....	77

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Lesní cesta 1L s asfaltobetonovým krytem	19
Obrázek 2 – Lesní cesta 2L s krytem z nestmeleného kameniva	20
Obrázek 3 – Zatřídění poruch postihující povrch až celou konstrukcí vozovky (TP 82, 2010)	32
Obrázek 4 – Porušená ohrubná vrstva na lesní cestě s asfaltobetonovým krytem	33
Obrázek 5 – Počínající výtlupek na lesní cestě s krytem z nestmeleného kameniva.....	34
Obrázek 6 – Koleje na lesní svážnici se zemním krytem	34
Obrázek 7 – Výtlupek na asfaltobetonovém krytu vozovky.....	35
Obrázek 8 – Síťové trhliny na asfaltobetonovém krytu vozovky	36
Obrázek 9 – Trvalé deformace na asfaltobetonovém krytu vozovky	37
Obrázek 10 – Vrtačka s hydraulickým pohonem na odběr jádrových vývrtů	40
Obrázek 11 – Hydraulická vrtná souprava na odběr geotechnických sond.....	41
Obrázek 12 – Princip měření únosnosti rázovým zařízením FWD (Kudrna, 2007)	45
Obrázek 13 – Deflektometr s tažným vozidlem	47
Obrázek 14 – Lesní cesta U boudy	52
Obrázek 15 – Lesní cesta V loužku	52
Obrázek 16 – Lesní cesta U boudy	53
Obrázek 17 – Lesní cesta K boudě.....	54

Obrázek 18 – Lesní cesta Vojenská	54
Obrázek 19 – Lesní cesta Hřebenská.....	55
Obrázek 20 – Přehledová mapa s vyznačenými úseky lesních cest	55
Obrázek 21 – Georadar zavěšený na vozidle	57
Obrázek 22 – Deflektometr FWD	58
Obrázek 23 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty U boudy / stáří 6 měsíců	62
Obrázek 24 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty V loužku / stáří 4 roky	63
Obrázek 25 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty U boudy / stáří 15 roků	63
Obrázek 26 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty K boudě / stáří 1 rok	64
Obrázek 27 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty Vojenská / stáří 10 roků	65
Obrázek 28 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty Hřebenská / stáří 20 roků	65

Seznam grafů

Graf 1 – 85 % kvantil naměřených průhybů vozovek s krytem z nestmeleného kameniva.....	71
Graf 2 – 85 % kvantil naměřených průhybů vozovek s asfaltobetonovým krytem	75

1 Úvod

Vozovka lesní cesty je během své životnosti vystavena nepříznivým klimatickým účinkům, teplotním změnám a vlivu zatížení provozem. Konstrukce vozovky pak podléhá poškozování a porušování. Lesní cesty jsou stavěny na rozsáhlých územích v různorodém prostředí s různými geotechnickými, hydrologickými, geologickými a klimatickými vlivy. Nejčastěji jsou stavěny z materiálů, které se nacházejí v místě stavby, dále z recyklovaných a odpadních materiálů. Jsou stavěny pro splnění požadavků lesního hospodářství a dále poskytují veřejný užitek při přímém nebo nepřímém využívání ve společnosti. Jsou stavěny s nejasnou představou o budoucích objemech a způsobu přepravy materiálů, přitom obvykle slouží svému účelu po dlouhou dobu. Toto vše jsou důvody k mnohotvárnému a rozdílnému zhoršování provozních funkcí lesních cest, vzniku poškozování těchto finančně nákladných staveb, které jsou často budovány s nízkou spolehlivostí. Je tedy v zájmu každého správce lesních cest je udržovat a opravovat tak, aby jejich stav odpovídal současným požadavkům. Ke splnění tohoto cíle slouží diagnostický průzkum vozovky, který je nedílnou a velmi důležitou součástí péče o lesní cestní síť. Stejně jako se musí provést návrh vozovky při její výstavbě, musí se v určitém období její životnosti navrhnout i způsob její opravy a údržby. Diagnostický průzkum vozovky je zaměřen na identifikaci konstrukčních vrstev, popis poruch, stanovení jejich příčin, posouzení únosnosti vozovky a na návrh způsobu technologie opravy. Výsledky průzkumu jsou určeny pro plánování, navrhování, údržbu a opravy vozovek lesních cest a ostatních ploch zatěžovaných provozem. Cílem plánování a navrhování údržby a oprav je zachování nebo zlepšování spolehlivosti vozovek pozemních komunikací při optimalizaci nákladů a jiných zvolených priorit. Diagnostický průzkum se skládá z postupů a metod pro splnění těchto cílů a je sestaven tak, aby byly dodrženy požadavky platných technických předpisů a zároveň byl diagnostický průzkum dostatečný a plně vypovídající. Technické podmínky TP 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek, TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací, TP 82 Katalog poruch netuhých vozovek popisují způsoby a vyhodnocování těchto postupů a metod.

2 Cíl

Prvním cílem práce je popsat diagnostický průzkum vozovky standardně používaný při plánování, navrhování a provádění její údržby a opravy. Dále popsat postupy a metody při sběru proměnných a neproměnných parametrů vozovky, zhodnotit a popsat vliv porušení a konstrukční skladby vozovky lesní cesty na její únosnost a schopnost plnit její provozní funkce. Druhým cílem práce je zjistit konstrukční skladbu vozovky na vybraných úsecích modelových lesních cest pomocí kopaných sond, použitím georadaru ověřit zjištěnou tloušťku krytu vozovky a zdokumentovat její průběh v podélném směru. Třetím cílem práce je zjistit únosnost konstrukce vozovky vybraných úseků modelových lesních cest deflektometrem FWD, naměřit průhyby vozovky, provést zpětné výpočty a zjištěné výsledky vyhodnotit.

3 Literární rešerše

3.1 Lesní cesty v historickém kontextu

3.1.1 Historický vývoj dopravy dříví

Dopravou dříví rozumíme jeho přemísťování z místa těžby k místu jeho zpracování. První etapu tohoto procesu označujeme jako primární dopravu dříví. V ní se jedná o přemísťování dříví neupraveným nebo částečně upraveným terénem, případně transport dříví vzduchem. Druhou etapu označujeme jako sekundární dopravu dříví, při níž se dříví transportuje po komunikačních spojích. Těmi mohou být cesty, železnice a plavební dráhy (Neruda et al, 2006). S hospodářským a průmyslovým rozvojem lidské společnosti se historicky vyvíjelo i lesní hospodářství, v návaznosti na tento rozvoj se měnily požadavky i na způsoby dopravy dřeva.

Doprava dříví zpočátku využívala gravitační dopravu kmenů, kdy se dříví smýkalo po sněhu a zmrzlé půdě, a to hlavně z důvodu, že těžba dříví probíhala zejména v zimním období. Zmrzlý povrch a sněhová pokrývka chránily půdu před erozí, docházelo však k poškozování okolních stromů a dále i k poškozování dopravovaného dříví (Hanák et al, 1992).

Dalším rozšířeným způsobem dopravy dříví, převážně z horských poloh, bylo v zimním období sáňkování. Dříví bylo připevněno jedním koncem na sáně a druhý konec byl smýkán po povrchu (Hanák et al, 1992).

Z horských strání se dříví dopravovalo také smyky. Rozděleno podle typů na smyky dřevěné, dřevěné polévané vodou, zemní, případně smyky vodní (Neruda et al, 2006).

Vodní dopravu umožnily splavné potoky a řeky, jejichž koryta se stavebně upravovala pro plavbu krátkého, většinou metrového, dřeví (Hanák et al, 1992). Splavné potoky a řeky se staly nejlevnějšími dopravními cestami (Nožička, 1957). Častým způsobem dopravy dříví bylo také voraření. Jedná se o plavení celých i krácených kmenů po splavných řekách. Na vodních tocích se proto začala stavět důmyslná vodotechnická zařízení jako vodní nádrže nebo plavební kanály (Makovník et al, 1973).

Krátkodobou úlohu sehrály v dopravě dříví lesní železnice. Začaly se budovat v druhé polovině 19. století, kdy jednotlivé trasy dosahovaly až 30 km délky. Sloužily primárně k přepravě dříví, lesního personálu, ale i veřejnosti, vyznačovaly se šetrným přístupem k přírodnímu prostředí (Hanák et al, 1992). Výhody lesní železnice byly převážně ve vysoké výkonnosti, spolehlivosti a bezpečnosti. Ve své době převyšovaly ostatní lesní dopravní zařízení. Nevýhodou byly vysoké investiční náklady na stavbu železnic a nákup vozového parku. Vhodné využití našla ve velkých oblastech s trvalou těžbou dříví (Binder, 1958). Lesní železnice zanikly díky rychlému rozvoji nákladní automobilové dopravy a výstavbě lesních cest moderními stavebními stroji (Hanák et al, 1992).

V padesátých letech 20. století se v horských oblastech, v pahorkatinách a členitém terénu začaly prosazovat lanovky, lanové jeřáby a traktorové lanové systémy. Lanové systémy se používají pro přepravu dříví v terénech o sklonitosti nad 40 %, dále pak v rovinných terénech se sníženou únosností (Janeček et al, 2006).

Do padesátých let 20. století byl hlavní tažnou silou v přepravě dřeva kůň (Lysý, 1989). Trasované a stavěné lesní cesty proto odpovídaly požadavkům a možnostem koňských potahů. Cesty byly úzké a většinou nezpevněné. Převážná většina tras vedla po údolní nivě, podél vodního toku. Jelikož i stavba přibližovacích cest se v minulých stoletích umísťovala do bočních údolí, podél potoků, obsahuje současná lesní dopravní síť převážně údolní cesty (Hanák et al, 1992).

Mechanizovaná přeprava dříví je již několik desetiletí naprosto převládající formou přepravy. Dominantní místo při soustřeďování dříví zaujímají traktory, vyvážecí soupravy a nákladní automobily a tahače. (Hanák et al, 1992).

3.1.2 Doprava dříví v současnosti

Změny v dřevařském zpracovatelském průmyslu, které se udály v posledních letech, mají za následek vznik velkých zpracovatelských kapacit a následně i nárůst přepravních vzdáleností dříví. S nárůstem těchto přepravních vzdáleností souvisí i nové konfigurace odvozních souprav (Bercha et al, 2006). K přepravě dříví se v současnosti nejvíce uplatňují stále větší odvozní soupravy se stále vyšší nosností (Skoupý et al, 2006). Jedná se zejména o kategorii návěsových odvozních souprav s moderními výkonnými tažnými vozidly, které se donedávna používaly pouze v mezinárodní dopravě. Současný způsob přepravy dříví znamená větší objem přepravy děleného materiálu mezi manipulačními sklady, což je zpravidla většinou přeprava po zpevněných komunikacích (Lukášová, 2006). Mezi další vozidla zatěžující lesní cesty a technologické linky jsou například harvestory a vyvážecí soupravy.

Doprava dříví v sobě skrývá i mnoho nevýhod, například vyšší finanční náklady na pořízení i provoz dopravních prostředků, větší opotřebení a kratší životnost dopravních prostředků vlivem těžších provozních podmínek. Mezi další omezující faktory lze také zařadit specifickou povahu dopravovaného materiálu, složitější logistiku a vyšší odbornou kvalifikaci řidičů (Bercha, 2006).

Při dopravě dříví dochází velmi často k přetěžování odvozních souprav, které má za následek větší namáhání vozovky a s tím spojenou tvorbu poruch, které jsou charakteristické pro nedostatečnou únosnost konstrukce vozovky. Podle vyhlášky Ministerstva dopravy a spojů č. 341/2014 Sb. nesmí povolená hmotnost vozidla překročit hodnotu největší technicky přípustné hmotnosti vozidla. Největší povolená hmotnost jízdní soupravy nesmí překročit hodnotu největší technicky přípustné hmotnosti jízdní soupravy. Největší povolená hmotnost na nápravu nesmí překročit hodnotu největší technicky přípustné hmotnosti na nápravu. Například největší povolená hmotnost u motorových vozidel se třemi nápravami nesmí překročit 25 t, u jízdní soupravy nesmí překročit 48 t.

3.1.3 Rozvoj lesní cestní sítě

Lesní cesty jako takové, se začaly budovat začátkem 19. století. Nezpevněné cesty se stavěly v šířce 3 až 4 m, zpevněné cesty v šířce 4 m (Makovník et al, 1973). Kolem roku 1920 se začínají vyrábět nákladní automobily, konstruované speciálně na odvoz dříví. Po 2. světové válce

nastává přechod od animální dopravy dříví koňskými potahy k mechanizované dopravě nákladními automobily a traktory, začíná plánovaná výstavba lesních cest (Lysý, 1989). V návaznosti na rozvoj lesní cestní sítě se začíná uplatňovat celoroční těžba dříví (Hanák et al, 1992). V období mezi roky 1952 až 1957 byl pro lesy s rozlohou nad 50 ha vypracován generální plán lesní dopravní sítě. V následujícím období došlo k budování především nepevněných cest a cest přibližovacích. V 60. letech minulého století probíhá další komplexní plánování výstavby lesních cest a rozvoj lesní cestní sítě, který souvisí s dalším rozvojem automobilové dopravy (Makovník et al, 1973).

K hlavnímu rozvoji lesní cestní sítě došlo v období od 50. do 70 let minulého století. Budování bylo vyvoláno rozvojem automobilové dopravy a nárůstem jejího využívání pro odvoz dříví. V současnosti je na území České republiky lesní cestní síť dostatečně rozvinuta a nedostatečně zpřístupněné plochy, které mají hospodářský význam, tvoří jen malou část lesních porostů. Nové lesní cesty jsou dnes budovány jen v omezené míře, investice směřují především do oprav a rekonstrukcí stávajících lesních cest (Tománek, 2017).

V současnosti probíhá zlepšování kvality cestní sítě, zlepšování technických parametrů lesních cest tak, aby odpovídaly současným odvozním soupravám. Cesty jsou opatřovány vozovkou. Při budování je dbáno na ekonomickou efektivnost výstavby a omezení vlivu na lesní prostředí. Stoupají také požadavky na využívání lesní cestní sítě veřejností pro sport a rekreaci (Tománek, 2017).

3.1.4 Zpřístupnění lesů

Základem dopravního procesu dříví v lese a optimálního obhospodařování lesů a lesních porostů je jejich racionální zpřístupnění a optimálně vybudovaná lesní cestní síť. Zpřístupněním lesů a lesních komplexů rozumíme optimální rozmístění tras lesních cest, pozemních komunikací a dopravních drah s jejich racionální strukturou realizovanou v rámci lesní cestní sítě tak, aby délka budovaných komunikací a jejich výměra byla co nejmenší a zároveň se dosáhlo nejvyšší procento zpřístupnění uvažované plochy území a optimální přibližovací vzdálenost pro uplatnění nejnovějších technologií dopravy dříví v lese (Klč et al, 1991). Zpřístupnění lesa je základním předpokladem jeho obhospodařování, hlavním prostředkem zpřístupnění je lesní cesta. Hustota a kvalita lesní dopravní sítě je důležitým ukazatelem

vypěstlosti lesního hospodářství (Hanák et al, 1992). Se zpřístupňováním lesů, respektive s určitým plánováním zpřístupňování lesů se začalo až při masové potřebě a využívání dřeva při rozvoji těžby nerostných surovin (Klč et al, 1991).

Faktory ovlivňující tvorbu lesní dopravní sítě lze rozdělit na přírodní a hospodářské. K přírodním faktorům řadíme geologické, klimatické a morfologii terénu. Hospodářské faktory jsou určovány stavem lesních porostů, úrovní a vypěstlosti lesního hospodářství, rozvojem techniky, politickým vlivem a pomocí zákonných ustanovení. Základní problematiku tvoří cesty odvozní, jelikož se podle nich určuje kvantita a kvalita zpřístupnění lesa (Hanák et al, 2008).

3.2 Lesní cesty

3.2.1 Lesní dopravní síť

Podle Tománka (2017) lze prvky lesní dopravní sítě rozdělit na lesní cesty – účelové pozemní komunikace sloužící odvozu dříví a obhospodařování lesů; dopravní trasy pro produkční funkce lesa – trasy sloužící k soustředování dříví; lesní sklady – upravené plochy sloužící k dočasnému skladování dříví; lesní lanovkové systémy – lanovkové jeřáby pro soustředování dříví, mající dočasný charakter; pozemní objekty vzdušné dopravy dříví – heliporty (lesní sklady s vhodnými parametry); lesní stezky – stezky pro nemotoristickou dopravu sloužící lesnímu hospodářství.

V souvislosti s dopravními stavbami v lese Tománek (2017) uvádí používané termíny jako lesní dopravní síť – všechna dopravní zařízení určená k přibližování a odvozu dříví, k dopravě osob a materiálu v souvislosti s hospodařením v lese; lesní cestní síť – síť účelových pozemních komunikací, lesních cest 1L a 2L, které zabezpečují zpřístupňování lesních komplexů pro odvozní soupravy; lesní cesty – účelové pozemní komunikace určené k odvozu dříví, dopravě lesnického personálu, materiálu a pro průjezd vozidel integrovaného záchranného systému (IZS), v současnosti mají dále velký význam pro turistiku a rekreaci; dopravní trasy pro produkční funkce lesa – síť dopravních tras nižší technické úrovně určené pro soustředování dříví pomocí traktorů, forwarderů nebo jiných prostředků vlečením nebo vyvážením.

3.2.2 Lesní cestní síť - lesní cesty a dopravní trasy

Norma ČSN 73 6108 (2016) „Lesní cestní síť“ definuje lesní cestu jako účelovou pozemní komunikaci, která je součástí lesní dopravní sítě, je určena k odvozu dříví, dopravě osob, materiálu pouze v zájmu vlastníka a pro průjezd speciálních vozidel. Umožňuje bezpečný celoroční nebo sezónní provoz. Může plnit i jinou dopravní funkci, např. trasy pro cyklisty či pro chodce, hipotrasy apod. Podle zákona o lesích 289/1995 Sb., jsou všechny nezpevněné lesní cesty, nejsou-li širší než 4,0 m a také zpevněné lesní cesty, součástí pozemků určených k plnění funkcí lesa. Podle vyhlášky č. 433/2001 Sb., kterou se stanoví technické požadavky pro stavby pro plnění funkcí lesa, se lesní cestou rozumí účelová komunikace, která je součástí lesní dopravní sítě, určená k odvozu dříví, dopravě osob a materiálu pouze v zájmu vlastníka lesa a pro průjezd speciálních vozidel. Umožňuje bezpečný celoroční nebo sezónní provoz. Podle zákona o pozemních komunikacích č. 13/1997 Sb. se účelová komunikace definuje jako pozemní komunikace, která slouží ke spojení jednotlivých nemovitostí pro potřeby vlastníků, k obhospodařování zemědělských a lesních pozemků nebo se nachází v uzavřeném prostoru objektu. Podle Hanáka (1992) se lesní cesty odlišují od veřejných komunikací přírodním prostředím, ve kterém byly vybudovány a intenzitou dopravy.

Lesní dopravní síť je podle Tománka (2017) nezbytným prostředkem efektivního hospodaření v lesích a její míra rozvinutosti je měřítkem vyspělosti lesního hospodářství v dané lokalitě, řeší se komplexně, v návaznosti na technologické postupy těžby a na ostatní využití. ČSN 73 6108 (2016) definuje lesní dopravní síť, jako dopravní zařízení všeho druhu sloužící k dopravnímu zpřístupnění lesů a jejich propojení se sítí veřejných pozemních komunikací a dále k zajištění všech činností v souvislosti s hospodařením v lese.

3.2.3 Rozdělení lesní cestní sítě

3.2.3.1 Lesní cestní síť podle dopravní důležitosti a účelu

Podle ČSN 73 6108 (2016) jsou lesní cesty 1 třídy (1L) obvykle jednopruhové, umožňující svým prostorovým uspořádáním a technickou vybaveností celoroční provoz, za předpokladu zimní údržby. Tyto cesty jsou vždy opatřeny vozovkou, úplným odvodněním koruny a tělesa lesní cesty a musí být vybaveny výhybnami. Podle Tománka (2017) jsou lesní cesty třídy 1L páteřní

odvozní cesty, umožňující celoroční provoz a velké zatížení dopravou, jsou opatřeny vozovkou z různých stavebních materiálů a jsou odvodněny.



Obrázek 1 – Lesní cesta 1L s asfaltobetonovým krytem

Podle ČSN 73 6108 (2016) jsou lesní cesty 2 třídy (2L) jednopruhové lesní odvozní cesty umožňující svým prostorovým uspořádáním a nezbytnou technickou vybaveností alespoň celoroční provoz, zimní údržba se nepředpokládá. Povrch cesty se doporučuje podle podmínek v podloží buďto opatřit provozním zpevněním nebo vozovkou. V případě únosného a dobře odvodněného podloží mohou být lesní cesty i bez provozního zpevnění povrchu. Cesty musí být opatřeny odpovídajícím odvodněním koruny nebo tělesa lesní cesty a musí být vybaveny výhybnami. Podle Tománka (2017) jsou lesní cesty třídy 2L odvozní cesty, umožňující sezónní provoz a pohyb odvozních souprav, jsou opatřeny jednoduchou vozovkou s prašným povrchem nebo provozním zpevněním a jsou odvodněny.



Obrázek 2 – Lesní cesta 2L s krytem z nestmeleného kameniva

3.2.3.2 Dopravní trasy pro produkční funkce lesa

Podle ČSN 73 6108 (2016) slouží lesní svážnice (3L) k soustředování dříví, jsou sjízdné pro traktory, speciální vyvážecí a přibližovací prostředky. Omezujícím faktorem je únosnost podloží a jeho náchylnost k erozi. Vozovka se nenavrhuje, povrch lesní svážnice může být opatřen provozním zpevněním nebo úpravou podložních zemin, anebo může být zcela bez úpravy. Lesní svážnice by měly být opatřeny základním podélným a příčným odvodněním zemního tělesa. Podle Tománka (2017) jsou lesní svážnice 3L upravené trasy sloužící k soustředování dříví, povrch bývá nezpevněný, v odůvodněných případech opatřen provozním zpevněním, sjízdné pro traktory a speciální vyvážecí prostředky, mají vybudováno zemní těleso a nutné odvodnění.

Podle ČSN 73 6108 (2016) slouží technologické linky (4L) k soustředování dříví z lesního porostu. Jsou zpravidla dočasné, budují se operativně v návaznosti na rozsah a způsob výchovných zásahů v lesním porostu. Jsou vedeny nejčastěji po spádnici. Povrch je vždy nezpevněný, zpravidla se neodstraňuje ani vrchní organická vrstva. Zemní práce se provádí jen ve výjimečných případech, jsou bez technické vybavenosti anebo jen s minimální technickou vybaveností. Podle Tománka (2017) jsou technologické linky 4L dočasné trasy sloužící k soustředování dříví z porostu, jsou vedeny po spádnici, povrch je vždy nezpevněný a neupravený, zemní práce se zpravidla neprovádí.

3.2.3.3 Lesní stezky

Podle ČSN 73 6108 (2016) se lesní stezky navrhují s parametry vyhovujícími lesnickému provozu, ostatní stezky v lese se navrhují podle příslušných předpisů. Povrch stezky může být zpevněn odpovídajícím způsobem nebo může být bez zpevnění. V nepříznivých terénních podmínkách musí být stezka zajištěna proti nepříznivým vlivům povrchové vody.

3.2.4 Návrhové kategorie lesních cest

Podle Tománka (2017) návrhová kategorie lesní cesty slouží k definování základních parametrů lesní cesty, od kterých se odvozují konkrétní řešení projektu stavby. Návrhová kategorie udává účel, dopravní význam a prostorové uspořádání.

Podle ČSN 73 6108 (2016) se v závislosti na dopravním významu a účelu lesní cesty volí její návrhová kategorie. Ta je charakterizována zlomkem obsahujícím v čitateli číslo a písmenný znak (L) označující třídu lesní cesty a volnou šířku lesní cesty v metrech, ve jmenovateli návrhovou rychlost v km/h.

Každá lesní cesta má mít podle ČSN 73 6108 (2016) v co možná největší délce stejnou návrhovou kategorii. Dvoupruhové lesní cesty se používají pouze v odůvodněných případech. Návrh lesní odvozní cesty (1L a 2L) musí vycházet z předpokládaného účelu, kterému bude cesta sloužit, z očekávaného dopravního zatížení, druhu dopravních prostředků, kterými bude převážně využívána. Návrhové období se stanovuje obvykle na 20 roků. Pro lesní svážnice (3L), technologické linky (4L) a lesní stezky se návrhové kategorie nenavrhují.

3.2.5 Lesní cesty podle konstrukční skladby

3.2.5.1 Lesní cesty s netuhou vozovkou

Podle Hanáka (2000) se lesní cesty s netuhou vozovkou nejčastěji skládají ze tří konstrukčních vrstev. Ochranná vrstva s doporučenými stavebními materiály jako štěrkopísek ŠP a mechanicky zpevněná zemina MZ. Podkladní vrstva s doporučenými stavebními materiály jako štěrkodrt' ŠD, vibrovaný štěrk VŠ, mechanicky zpevněné kamenivo MZK. Kryt s doporučenými stavebními materiály pro stmelené vrstvy jako penetrační makadam PM,

asfaltový beton AC, cementová stabilizace SC. Pro nestmelené vrstvy jako mechanicky zpevněné kamenivo MZK, štěrkodrt' ŠD.

Vozovky z nestmeleného kameniva mají podle Klče (1991) kryt ze zaválcované vrstvy kameniva, kdy mezery mezi zrny jsou z důvodu zvýšení pevnosti a z důvodu zlepšení nepropustnosti vyplněny hlinitopísčítým pojivem nebo zavibrovaným výplňovým kamenivem. V minulosti se tyto vozovky často používány na lesních odvozních cestách, s rozvojem automobilové dopravy se začaly ukazovat jejich nedostatky. V současnosti se nahrazují vozovkami z asfaltového betonu. Hanák (2000) popisuje štěrk částečně vyplněný cementovou maltou ŠCM, jako vrstvu vzniklou z kamenné kostry a vyplněnou cementovou maltou a vibrovaný štěrk VŠ, jako vrstvu vytvořenou kostrou z hrubého kameniva se zavibrovaným drobným výplňovým kamenivem. Podle Tománka (2017) se vozovky z nestmeleného kameniva využívají především pro lesní cesty třídy 2L. Kryt není stmelen pojivy a kvůli jeho snadné náchylnosti k erozi vodou je nutné vozovku osazovat svodnicemi. Povrch může zarůstat vegetací a vozovky jsou určeny pro sezónní využití.

Mechanicky zpevněné kamenivo je konstrukční vrstva vytvořená ze směsi nejméně dvou frakcí přírodního nebo umělého kameniva, která je rozprostřená a zhutněná za takových podmínek, které zajišťují maximální dosažitelnou únosnost. Vyrábí se přímo na povrchu lesní cesty nebo v cyklickém míchacím zařízení (Hanák et al, 2000).

Penetrační makadam se na lesních cestách používá k vytvoření podkladové vrstvy vozovky ze stmeleného kameniva. Jeho podstatou je přelití vrstvy drceného kameniva asfaltem a vyplnění mezer suchou drtí se zhutněním. Podle použité frakce kameniva rozlišujeme penetrační makadam jemnozrnný PMJ a penetrační makadam hrubozrnný PMH (Klč et al, 1991).

Asfaltový beton se podle Klče (1991) pokládá v jedné nebo více vrstvách na zhutněnou podkladní vrstvu. Podle účelu, který v asfaltovém souvrství má plnit se složení jednotlivých směsí od sebe vzájemně odlišuje. Hlavní znaky určující charakteristiku směsi jsou průběh křivky zrnitosti, mezerovitost, obsah pojiva a použitý druh asfaltového pojiva. Tománek (2017) uvádí, že vozovky mají krytovou vrstvu stmelenou asfaltovými pojivy, nepodléhají vodní erozi, jsou bezprašné a nepoškozují se při provádění zimní údržby. Nevýhodou je však jejich vysoká cena, která činí přibližně dvojnásobek oproti vozovkám s nestmeleným krytem.

Cementová stabilizace vzniká úpravou nesoudržných zemin, směsí zemin nebo jiného zrnitého materiálu a druhotných surovin s použitím cementového pojiva. Takto stabilizované materiály získají požadovanou odolnost a pevnost (Hanák et al, 2000).

Mechanicky zpevněná zemina vzniká rozprostřením a zhutněním zemin předepsaných vlastností. Základní požadované vlastnosti jsou nenamrzavost a zhutnitelnost, která charakterizuje odpovídající únosnost. Podstatou úpravy je tedy intenzivně zhutněná zemina s rovnoměrnou křivkou zrnitosti (Hanák et al, 2000).

3.2.5.2 Lesní cesty s tuhou vozovkou

Podle Klče (1991) se vozovky z cementovým krytem se uplatňují na lesních cestách jenom zřídka, a to zejména na křižovatkách nebo skladech. Jejich charakteristikou je vysoká hmotnost, rovný povrch, odolnost proti vodní erozi a nenáročná údržba. Vozovky z cementobetonových prefabrikovaných desek se využívají na lesních cestách budovaných na méně únosných podložích a při kalamitních těžbách. Podle Tománka (2017) se kryt ze silničních dílců sestavený ze železobetonových prefabrikátů kladených na štěrkopísčité podklad v lesnictví používá při celoplošném nebo kolejovém zpevnění cest zbudovaných na málo únosných podložích.

3.2.5.3 Lesní cesty a svážnice s provozním zpevněním

Zpevnění jízdního pásu se provádí u lesní cesty 2. třídy a lesní svážnice, připojení či samostatných sjezdů, kterým se zajistí jeho nezbytná únosnost pro požadovaný provoz vozidel a lesnických strojů. Zřízením provozního zpevněním nevzniká vozovka (ČSN 73 6108, 2016). Podle Dobiáše (2001) vzniká provozní zpevnění zpracováním různých stavebních materiálů, kterými se zajistí jeho nezbytná únosnost pro požadovaný provoz vozidel a mechanismů.

3.2.5.4 Lesní cesty, svážnice a technologické linky s povrchem nezpevněným

Podle ČSN 73 6108 (2016) dělíme lesní cesty, svážnice a technologické linky s povrchem nezpevněným na zemní, přírodní nebo uměle vybudované s úpravou podložních zemin podle ČSN 73 6133. Dobiáš (2001) uvádí, že tyto lesní cesty nejsou opatřeny vozovkou, jsou zbudované na únosných zeminách s vhodnými geologickými podmínkami a povrch je určen k přímému poježdění vozidly.

3.2.6 Dopravní zpřístupnění lesů v současnosti

Informace o dopravním zpřístupnění lesů v České republice jsou získávány při periodické inventarizaci lesní cestní sítě a jsou obsaženy v oblastních plánech rozvoje lesů. Pro tyto účely se lesní cesty v souladu s ČSN 73 6108 (2016) dělí na lesní cesty 1. třídy (1L), lesní cesty 2. třídy (2L) a navrhované lesní cesty (N). Navrhované lesní cesty představují návrhy na doplnění lesní cestní sítě o nové cesty, případně návrhy na rekonstrukce existujících lesních cest, které neodpovídají požadovaným parametrům nebo v důsledku opotřebení a poškození ztratily charakter své třídy (MZe, 2016).

Podle MZe (2016) se lesní cesty v rámci inventarizace lesní cestní sítě rozdělují podle druhu povrchu na asfaltové a panelové cesty; kalené nebo tvrdé lesní cesty; lesní cesty jinak dostatečně zpevněné (nejčastěji provozním zpevněním); lesní cesty nedostatečně zpevněné i jen v části úseku (jízdou návrhového vozidla vznikají koleje); lesní cesty na nosném terénu (nevyžadují ani provozní zpevnění).

Tabulka 1 – Celková délka lesních cest v ČR (MZe, 2016)

	1L	2L	N	Celkem
Celková délka cest [km]	12 881	26 645	6 928	46 454

Tabulka 2 – Zastoupení druhů povrchů pro jednotlivé třídy lesních cest v ČR (MZe, 2016)

	1L	2L	N	Celkem
Asfaltové a panelové cesty	11 427	317	-	11 744
Kalené nebo tvrdé cesty	1 454	1 180	-	2 634
Jinak dostatečně zpevněné cesty	-	18 926	-	18 926
Nedostatečně zpevněné cesty	-	5 412	573	5 985
Cesty na nosném terénu	-	810	-	810
Návrh nové cesty	-	-	6 355	6 355
Celkový součet	12 881	26 645	6 928	46 454

3.3 Návrh konstrukce vozovky lesní cesty

Podle Tománka (2017) se pro navrhování konstrukce vozovek lesních cest nejčastěji používá Katalog vozovek polních cest. Tento katalog je primárně určen pro návrh vozovek jiných účelových komunikací, lze jej však využít i pro lesní cesty, jelikož nároky na tyto dva typy účelových komunikací jsou téměř shodné. Katalog obsahuje pouze vozovky s návrhovou úrovní porušení D2. Podle zákona 13/1997 Sb. účelová komunikace slouží ke spojení jednotlivých nemovitostí pro potřeby vlastníků těchto nemovitostí nebo ke spojení těchto nemovitostí s ostatními pozemními komunikacemi nebo k obhospodařování zemědělských a lesních pozemků.

3.3.1 Vozovka

Tománek (2017) popisuje vozovku jako část cesty, která zabezpečuje únosnost jejího povrchu. Jejím vybudováním se zvyšuje užitná hodnota cesty, bezpečnost, rychlost a ekonomičnost provozu. Odvozní cesty mohou být i bez vozovky, pokud má zemní pláň pro dané určení cesty dostatečnou únosnost. Vozovka je budována z několika samostatně zhutněných vrstev z různých materiálů. Při budování je vytvořen střešovitý nebo jednostranný sklon, který umožňuje příčný odtok vody. Podle Zajíčka (2014) je konstrukce vozovky tvořena z několika vrstev, kde každá vrstva plní svoji funkci a jejich vzájemné spolupůsobení musí odolávat účinkům dopravního zatížení i účinkům klimatických vlivů. Tvoří ji kryt, podkladní

vrstva a ochranná vrstva. Krytová a podkladní vrstva mívá zpravidla několik vrstev (horní a spodní část), ale i v některých případech rovněž mezivrstvy, vyztužovací mříže a tkaniny, postřiky a nátěry. Podle Tománka (2017) se složení jednotlivých konstrukčních vrstev vozovky navrhuje s ohledem na zatížení a význam stavby, volí se vhodná skladba vozovky a odpovídající tloušťka konstrukčních vrstev.

3.3.2 Členění vozovek

3.3.2.1 Podle deformačních vlastností

Podle Zajíčka (2014) jsou netuhé vozovky nejrozšířenějším typem vozovek a používají se pro komunikace všech tříd dopravního zatížení, polotuhé vozovky představují kompromis mezi požadavkem na pevnost podkladní vrstvy a snahou zabránit tvorbě trhlin v podkladní vrstvě a jejich kopírování do krytu vozovky, tuhé vozovky se vyznačují dlouhou životností krytu a velkou odolností proti tvorbě trvalých deformací a jsou vhodné pro nejvyšší dopravní zatížení.

3.3.2.2 Podle funkce konstrukčních vrstev

Vozovky se staví z více vrstev vzájemně rozdílného složení, kde každá vrstva plní svoji specifickou úlohu v závislosti na způsobu jejího namáhání. Nejvíce namáhanou částí konstrukce vozovky je kryt, s přibývajícím hloubkou účinky namáhání klesají nebo úplně zanikají. Základem je spolupůsobení podloží a konstrukčních vrstev, kdy únosnost konstrukce vozovky by měla postupně stoupat od spodu nahoru. Jestliže se postupný nárůst únosnosti vrstev výrazným způsobem poruší, mohou vznikat poruchy v konstrukci vozovky (Zajíček et al, 2014).

Obrusná vrstva svrchní vrstva krytu vozovky, je přímo vystavena působení klimatických vlivů a dopravnímu zatížení, musí tedy splňovat nejvyšší nároky z hlediska kvality materiálů i technologie provádění (Zajíček et al, 2014). Podle Hanáka (2008) obrusná vrstva uzavírá horní konstrukční vrstva vozovky, budována z nejkvalitnějších materiálů, které musí mít dostatečnou tuhost, pevnost v tlaku, odolnost proti erozivním účinkům dopravy a srážkové vody.

Ložní vrstva je chráněna obrusnou vrstvou před mechanickým namáháním a klimatickými vlivy, preferuje se u ní odolnost proti tvorbě trvalých deformací a celková tuhost. Spolupůsobí s obrusnou vrstvou a tím přispívá k potřebné únosnosti konstrukce vozovky (Zajíček et al, 2014).

Podkladní vrstva je hlavní nosná vrstva vozovky, může být konstruována z jedné nebo více vrstev různých materiálů, roznáší tlak vozidla na zemní pláň (Tománek, 2017). ČSN 73 6100-1, (2008) popisuje podkladní vrstvu jako spodní část konstrukce vozovky mezi krytem a zemní plání, je určena k roznášení tlaků od kol projíždějících vozidel z krytu do podloží, skládá se buď z jedné, nebo z více konstrukčních vrstev, případně označovaných jako horní podkladní vrstva a spodní podkladní vrstva. Podle Hanáka (2008) je podkladní vrstva rozhodující pro výslednou únosnost, stabilitu a životnost vozovky.

Ochranná vrstva se buduje se pouze v odůvodněných případech na jílovitých a hlinitojílovitých podložích (Tománek, 2017). Podle Hanáka (2008) je nejspodnější vrstvou vozovky, která je zřizována na zhutněné zemní pláni a plní funkci ochrannou, izolační a částečně i nosnou. Zajíček (2014) uvádí, že tato vrstva plní i další ochranné funkce jako zabránění pronikání zeminy z podloží do konstrukce, odvedení průsaků vody z podloží a ochrana podloží před promrzáním

3.3.2.3 Podle technologie výroby a použitého pojiva

Nestmelené vrstvy neobsahují žádné pojivo a jsou soudržné jen díky tření mezi jednotlivými zrny kameniva. Vyznačují se malou odolností povrchu proti mechanickému namáhání, proto je jejich uplatnění zejména v podkladních vrstvách. Jejich výhodou je snadná dostupnost vhodného materiálu, jednoduchost provádění a relativně nízká cena. (Zajíček et al, 2014).

Stmelené vrstvy jsou podle Zajíčka (2014) asfaltové vrstvy, které jsou nejrozšířenějším typem vrstev používaných pro kryt vozovky; cementobetonové kryty, které jsou určeny pro velmi vysoké dopravní zatížení; vrstvy stmelené hydraulickými pojivy, které se používají jako podkladní vrstvy; vrstvy prolévané, které vzniknou vyplněním hrubé kamenné kostry výplňovým a současně tmelícím materiálem; vozovky z dlažeb, dílců a silničních panelů, které se uplatňují při stavbě dočasných vozovek nebo zpevněných manipulačních ploch; tenké

povrchové úpravy, které se používají pro zlepšení protismykových vlastností nebo jako prevence proti korozi povrchu.

3.3.2.4 Členění vozovek podle dopravního zatížení

Konstrukce vozovky se navrhuje podle intenzity dopravy, která je vyjádřena třídou dopravního zatížení TDZ s průměrnou hodnotou denní intenzity provozu těžkých nákladních vozidel TNV za 24 hodin. Tyto intenzity dopravy jsou stanoveny z výsledků ručních průzkumů pomocí přepočtových koeficientů variací intenzit dopravy. Koeficienty jsou zpřesněny a diferencovány podle charakteru provozu na komunikaci (TP 170, 2004). Podle Tománka (2017) je intenzita dopravního provozu návrhový ukazatel udávající počet vozidel, které projedou po určité lesní cestě za zvolené časové období. Intenzitu je možné zjišťovat sčítáním vozidel nebo výpočtem na základě celkového objemu přepravovaných hmot za návrhové období vozovky, obvykle 20 roků.

3.3.3 Zemní těleso

Konstrukce vozovky musí být vybudována na stabilním zemním tělese, jehož horní část musí pro vozovku tvořit dostatečně únosné aktivní zónu (podloží). Materiály zemního tělesa tvoří horniny a zeminy. Zeminy rozlišujeme na nesoudržné, sypká zrna nejsou vázána žádnými silami a soudržné, schopné plastické deformace, kdy mezi částčkami zeminy jsou molekulární a chemické vazby (Zajíček et al, 2014). Podle Hanáka (2008) je pláň zemního tělesa upravená povrchová plocha určená k vybudování vozovky, krajnic nebo jiného zpevnění.

Podle normy ČSN 73 6133 (2010) lze zeminy pro dopravní stavby zatřídit podle kritéria použitelnosti na nepoužitelné, nevhodné, podmíněčně vhodné a vhodné. Podle účelu použití dle vhodnosti do aktivní zóny a do násypu. Zatříděním zemin mezi nevhodné a podmíněčně vhodné ještě nemusí znamenat jejich výměnu, tyto zeminy lze upravit příměsí pojiva nebo mísením s jinou zeminou. Zatřídění zeminy do příslušné skupiny záleží na namrzavosti zemin, granulometrickém složení, fyzikálních a technických vlastnostech.

Tabulka 3 – Použitelnost zemin pro stavbu zemního tělesa

	NEPOUŽITELNÉ k jakémukoliv použití	NEVHODNÉ k přímému použití bez úpravy	PODMÍNEČNĚ VHODNÉ k přímému použití bez úpravy	VHODNÉ k přímému použití bez úpravy
Podmínky použití	Nelze upravit běžnými technologemi, použití se zpravidla vylučuje	Musí se vždy upravit	Podle dalších vlastností se rozhodne, zda lze použít přímo bez úpravy nebo zda se musí upravit	Lze použít přímo bez úpravy

3.3.4 Návrhová úroveň porušení

Návrhová úroveň porušení je předpokládaný vývoj porušování vozovky, který je vyjádřen přípustnou plochou výskytu konstrukčních poruch na konci návrhového období. TP 170 uvádí úrovně podle dopravního významu pozemní komunikace. Lesní cesty se navrhují na návrhovou úroveň porušení D2, kdy plocha s konstrukčními poruchami vykazuje < 25 % celkové plochy komunikace (Tománek, 2017).

3.4 Komplexní péče o lesní dopravní síť

Podle Klče (1991) je komplexní péče o lesní dopravní síť soubor plánovaných, technických, dopravně-hospodářských opatření na udržování lesní dopravní sítě v provozuschopném stavu tak, aby plnila svůj účel. Hlavním úkolem je zachování, obnovování, zvyšování užitkových vlastností sítě a snižování nepříznivého ekologického dopadu na okolní krajinu, cílem je snižování národohospodářských škod. Podle Zajíčka (2014) je základním cílem plánování a navrhování údržby a oprav zachování nebo zlepšování spolehlivosti vozovek v síti pozemních komunikací při optimalizaci společenských nákladů.

Klč (1991) dále podle druhu vykonávaných činností rozdělujeme komplexní péči na oblast přípravy a plánování a na oblast vlastních prací. Oblast přípravy a plánování péče o dopravní síť zahrnuje činnosti jako výkon správy, evidence a hospodaření. Oblast vlastních prací dále rozděluje na prevenci, údržbu, opravy a rekonstrukce.

Prevence slouží k rozpoznávání příčin vzniku porušení a závad na lesní dopravní síti a předcházení jim volbou správného technologického postupu opatření. Tyto jednotlivá opatření vedou k odstranění možnosti vzniku větších porušení (Klč et al, 1991).

Údržba je pravidelná péče o lesní dopravní síť, která je potřebná k zajištění jejich provozuschopnosti. Její součástí je odstraňování drobných porušení a závad, které se vykonávají soustavně na celé dopravní síti (Klč et al, 1991). Podle TP 87 (2010) je údržba definována, jako soubor technologií zaměřených k odstranění nebo omezení vývoje poruch povrchu vozovky prováděná v souvislé ploše, zpravidla cyklicky. Podle Hanáka (2008) údržba zahrnuje zejména péči o vozovku a krajnice, odvodňování podloží, zajištění stability svahů, zajištění funkčnosti cestních stavebních prvků a bezpečnostních zařízení.

Oprava je soubor technologií a činností, kterými se odstraňuje fyzické opotřebení nebo porušení a obnovuje se kvalita, užitkovost a bezpečnost lesní dopravní sítě. Při opravách se uplatňují nejnovější poznatky vědeckotechnické poznatky, hlavně při volbě technologií a materiálů (Klč et al, 1991). Podle TP 87 (2010) je oprava soubor technologií k odstranění poruch nejméně obrusné vrstvy vozovky výměnou obrusné vrstvy nebo krytu, zesílením nebo recyklací. Podle Hanáka (2008) oprava odstraňuje vady, opotřebení a poškození cesty většího rozsahu.

Rekonstrukce je činnost, kterou se mění prostorové uspořádání, skladba a hodnota komunikace, nebo se cesta zařazuje do vyšší kategorie. Zahrnuje práce, které překračují rozsah stanovení pro údržbu a opravu (Klč et al, 1991). Podle TP 87 (2010) je rekonstrukce soubor technologií, kterými se nahrazují konstrukční vrstvy stávající vozovky vrstvami novými nebo recyklovanými a případně se upravuje podloží.

3.5 Klasifikace porušení a závad na lesní cestní síti

3.5.1 Klasifikace porušení

Podle Klče (1991) je porušení měřitelná odchylka od původního stavu cesty, který zabezpečuje její provozní způsobilost. Poškození je následek porušení, který se dá reálně ohodnotit, je to tedy vizuálně zjevné zhoršení stavu lesní cesty z hlediska provozní způsobilosti a výkonosti. Závada je překážka na cestě nebo změna funkčních vlastností cesty s negativním

dopadem na její stav. Výkoností se rozumí schopnost cesty přenášet dopravní zatížení při předepsané údržbě a opravách až do konce své životnosti. Porušení a závady na lesních cestách se hodnotí podle Katalogu porušení a závad na lesních cestách, v kterém se na jednotlivých katalogových listech uvádějí všechny základní druhy porušení a závad, zjišťuje se jejich délkový, či plošný rozsah.

Při klasifikaci porušení a závad se vychází z druhu lesní cesty, typu vozovky, rozsahu porušení, z převahy výskytu některých druhů poruch a způsobu technologie opravy porušení. Mezi hlavní druhy porušení je možné zařadit zásypy paty svahu, vytlačený střed nebo okraj povrchu vozovky, plošnou erozi, erozní rýhy, vyjeté koleje, jámy, výtluky, zlom vozovky a poškození krytu. Mezi hlavní závady patří zanesené odvodnění, poškození propusti, poškozené svodnice (Klč et al, 1991).

Klč (1991) dále uvádí jednotlivé zóny vzniku porušení. Povrchové porušení zapříčiňují činitelé působící na povrchu vozovky nebo tělesa cesty, zejména dopravní zatížení, eroze a klimatické vlivy. Konstrukční porušení způsobují jevy vznikající v podloží vozovky, použitím nekvalitních stavebních materiálů nebo nedodržením předepsané technologie výstavby vozovky. Ostatní poruchy způsobují rozliční činitelé jako zanedbaná údržba, přetěžování konstrukce vozovky, chemické reakce použitých materiálů a mechanické porušení.

3.5.2 Zjišťování stavu lesních cest

Podle Klče (1991) kritéria hodnocení porušení jednotlivých druhů lesních cest používají pět stupňů porušení, celkovou plochu porušení [m^2], celkový objem porušení [m^3] a druh péče. Tyto stupnice se zároveň používají při orientační i při monitorovací metodě hodnocení stavu lesních cest a relativně přesně vyjadřují stav porušení a také potřebnou péči o konkrétní lesní cestu. Skutečný stav lesních cest se ověřuje přiměřeným průzkumem, kdy se stav lesní dopravní sítě navrhuje zjišťovat následujícími způsoby.

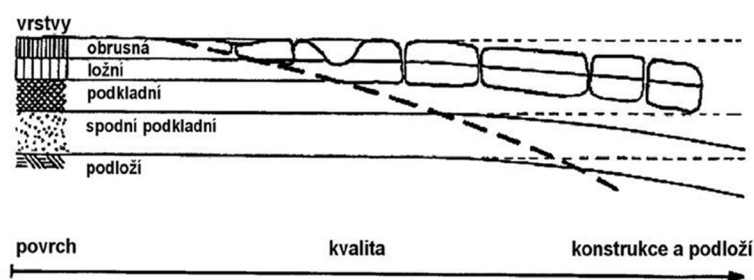
Běžná prohlídka se provádí cyklicky za účelem přípravy údržby, čištění nebo zimní údržby. Současně se určují druhy porušení a jejich velikost, stanoví se harmonogram a způsob odstranění porušení a závad. Provádí se alespoň jednou ročně, nejlépe na jaře.

Mimořádná prohlídka je forma kontroly celkového stavu lesní cestní sítě se zřetelem na stav koruny cesty, vozovky, krajnic, svahů, odvodnění, sjízdnosti a průjezdnosti po mimořádných událostech. Může být provedena jako jednorázová kontrola celkového stavu cestní dopravní sítě nebo jako kontrola připravenosti na zimní období

Hlavní prohlídka je kontrola ihned po kolaudaci cesty, před jejím zařazením do lesní cestní sítě. Provádí se jako podrobná prohlídka za účelem zjištění základních ukazatelů, průzkum při obnově lesních hospodářských plánů, podklad pro plánování obhospodařování, náhodná kontrola plnění plánovaných úkolů.

3.6 Klasifikace poruch vozovky

Každý materiál účinky klimatického prostředí, teplotními změnami a zatížením provozem podléhá poškozování a porušování. Obrusná vrstva vozovky i celá konstrukce vozovky vlivem zatížení a různých klimatických podmínek vykazuje podle svých vlastností porušování. Tato poškozování a porušování se vyskytují zákonitě a náhodně, lze je však výběrem stavebních materiálů, jejich složením a provedením ovlivnit, omezit nežádoucí vlastnosti a snížit pravděpodobnost jejich výskytu (TP 82, 2010). Podle Kudrny (2007) se nejprve projevují poškození a porušení povrchu vozovky, následně se vyvíjí porušování nosných částí vozovky a poté se šíří do celé konstrukce vozovky včetně zemního tělesa. S poruchami se zároveň mění charakteristiky provozní způsobilosti a únosnosti. Podle TP 82 (2010) je účelem klasifikace poruch vztah: porucha → odstranění poruchy.



Obrázek 3 – Zatřídění poruch postihující povrch až celou konstrukcí vozovky (TP 82, 2010)

3.6.1 Přehled poruch netuhých vozovek lesních cest

Klč (1991) charakterizuje druhy poruch, které se vyskytují na netuhých vozovkách lesních cest podle krytové vrstvy.

Asfaltobetonový kryt – příčná deformace, podélná deformace a plošná změna, porušená obrusná vrstva, odtrhnutá obrusná vrstva, podélná žebrovitost, mozaikovitě trhliny, mozaikovitě trhliny s hlavní trhlinou, trhlinka, výtlupek, zlom, přelomený okraj vozovky, rýha a jiné porušení, obrus obrusné vrstvy.



Obrázek 4 – Porušená obrusná vrstva na lesní cestě s asfaltobetonovým krytem

Kryt z nestmeleného kameniva – zasypaná pata svahu, vytlačený střed vozovky, vytlačený okraj vozovky a zdvihnutá krajnice, plošná eroze vozovky, erozní rýhy na vozovce, miskovité koleje, výtlupek, odhrnutý násyp nebo výkop.



Obrázek 5 – Počínající výtluk na lesní cestě s krytem z nestmeleného kameniva

Zemní kryt – zasypaná pata svahu, vytlačený střed povrchu pláně, vytlačený okraj povrchu pláně, plošná eroze pláně, erozní rýhy na pláni, koleje, jáma, odtrhnutý násyp nebo výkop zemního tělesa cesty.



Obrázek 6 – Koleje na lesní svážnici se zemním krytem

3.6.2 Přehled poruch netuhých vozovek podle TP 82

Přehled typů poruch, tak jak je specifikují TP 82 (2010) Katalog poruch netuhých vozovek.

Ztráta protismykových vlastností povrchu vozovky se vyskytuje zejména v jízdnicích stopách vozidel. Uzavřením povrchu do hladké plochy bez vystupujících zrn kameniva, dojde ke *ztrátě makrotextury* povrchu vozovky. Vyhlazením zrn kameniva v povrchu vozovky vlivem dotyku s pneumatikami dojde ke *ztrátě mikrotextury* povrchu vozovky.

Ztráta hmoty z krytu vzniká účinkem zatížení, působením vody, stárnutím asfaltu, drobením kameniva, kdy je spojení zrn narušováno. *Kaverny* v povrchu vozovky vznikají na místech, kde se v asfaltové směsi na povrchu nachází málo odolná nebo porušená zrna kameniva. Vlivem dopravního zatížení a klimatických vlivů se zrna poruší a vypadnou. *Opotřebení emulzního kalového zákrytu* vzniká opotřebením nebo odlupováním EKZ od původní ohrubné vrstvy. *Ztráta kameniva z nátěru* se projevuje uvolněním kameniva z nátěru, čímž na povrchu vozovky prakticky zůstává pouze asfaltové pojivo. *Ztráta asfaltového tmelu* se projevuje uvolňováním asfaltového tmelu (směs asfaltu, jemných částic a drobného kameniva) z asfaltové směsi, povrch se jeví jako otevřený. *Hlubková koroze* je pokračováním poruchy ztráty asfaltového tmelu, kdy dochází k dalšímu uvolňování zrn kameniva asfaltové směsi dále do hloubky. U penetračního makadamu je porucha pokračováním ztráty kameniva z nátěru, kdy dochází k obnažení hrubé kamenné kostry a postupné ztrátě výplňového kameniva. *Výtluky* jsou dalším stádiem hlubkové koroze, kdy dojde ke ztrátě hmoty celých vrstev a vytvoří se ohraničená díra.



Obrázek 7 – Výtluky na asfaltobetonovém krytu vozovky

Mrazové trhliny vznikají při velmi nízkých teplotách, kdy dochází k smršťování asfaltu. Jestliže teploty poklesnou pod -20°C nebo při rychlém poklesu teploty povrchu se na povrchu vytvoří smršťovací trhlina, která se v povrchu a hloubce vrstvy dále šíří a oslabí asfaltové vrstvy.

Reflexní trhliny vznikají v důsledku použití podkladů stmelnými hydraulickými pojivy, kdy dochází při tvrdnutí ke smršťování, které pokud vyvolá ve vrstvě tahové napětí vyšší, než je pevnost materiálu vrstvy, dojde ke vzniku příčných trhlin přes celou šířku vozovky. Pokud je taková vrstva překryta asfaltovými vrstvami, přenáší se teplotní roztažnost do těchto vrstev a trhliny začnou prorůstat až na povrch vozovky.

Nepravidelné a mozaikové trhliny vznikají při zvýšeném stárnutí asfaltu za nízké teploty spolu s účinky dopravního zatížení, na místech nejvíce namáhaných a oslabených. Těmito trhlinami vniká do konstrukce voda, která účinkem vozidel pod tlakem proniká a narušuje spojení jednotlivých asfaltových vrstev. Další příčinou je nespojení vrstev již při pokládce. Trhliny se šíří souběžně se směrem pohybu vozidel, spojují a zahušťují se, napomáhají tvorbě výtluků.

Síťové trhliny vznikají v místech nejvyššího namáhání opakovaným zatěžováním, kdy na spodním líci asfaltových vrstev dojde ke vzniku narušení spojení mezi zrny. Trhliny se šíří do délky, dochází ke zvýšenému namáhání trhlinami oslabenému průřezu a zvýšenému namáhání podloží. Dosáhne-li trhlina povrchu vozovky, vozovkou se dostane voda do podloží a následně dochází ke vzniku trvalých deformací. Síťové trhliny jsou základním typem poruchy konstrukce vozovky.



Obrázek 8 – Síťové trhliny na asfaltobetonovém krytu vozovky

Porušení pracovních spár vzniká na napojení postupně pokládaných obrusných vrstev, kdy vzniká oslabení průřezu spojením pokládaných pásů, vrstvy se špatně spojují.

Jiné trhliny např. ve tvaru *srpu* vznikají posunem nespojené obrusné vrstvy vodorovným zatížením, např. brzděním a rozjížděním vozidel. *Smykové* trhliny lemují poruchy zemního tělesa usmýknutím, poklesem nebo propadem. *Podélné* trhliny způsobené mrazovým zdvihem středu vozovky.

Deformace vozovky vznikají kumulací nepružných přetvoření v asfaltových vrstvách, v nestmelených vrstvách vozovky a podloží, vlivem objemových změn v podloží, zemním tělese, podloží násypu nebo poruch zemního tělesa. *Trvalé deformace krytu* vznikají při vysokých teplotách povrchu jako výsledek nepružného přetváření asfaltových vrstev za působení pomalé dopravy nebo vysokým zatížením. *Deformace snížením povrchu vozovky* vznikají následkem dohutnění vrstev vozovky, porušením stability zemního tělesa, opakovaným namáháním podloží, ztráty únosnosti vozovky pronikáním vodou, dohutněním zásypů, vyplavením zemního tělesa. *Vyjeté koleje* vznikají v jízdnicích stopách těžkých nákladních vozidel při vysokém dopravní zatížení, dále při pomalu jedoucí a zastavující dopravě. Další vlivy na tvorbu kolejí jsou vysoké teploty a nevhodná skladba konstrukce vozovky. Koleje se mohou tvořit i na vozovkách s neúnosným podloží, kdy se konstrukce v jízdnicích stopách vozidel do podloží zatlačuje. *Prolomení vozovky* vzniká jako důsledek výskytu síťových trhlin, kdy se vozovka zdeformuje a dojde k její celkové degradaci.



Obrázek 9 – Trvalé deformace na asfaltobetonovém krytu vozovky

Hrboly vznikají použitím nevhodných materiálů podléhajících objemovým změnám v konstrukční skladbě, vznikem mrazových zdvihů nebo prorůstáním okolní vegetace do konstrukce vozovky. Často se tyto poruchy objevují také při nekvalitním provedení zásypů různých překopů.

Jiné poruchy jako nefunkční odvodnění podloží má podstatný vliv na životnost vozovky, zvýšená nezpevněná krajnice, poruchy na poklopech, vpustích, hydrantech a poruchy, které jsou výsledkem kombinace vlivů a mechanismů porušování.

3.7 Diagnostický průzkum vozovek

3.7.1 Všeobecně

Diagnostický průzkum vozovky je soubor činností a objektivních metod potřebných k hodnocení stavu vozovek pozemních komunikací, ke stanovení příčin poruch a k vypracování návrhu způsobu technologie opravy vozovky. Diagnostika je poznávací proces, jehož cílem je získat o vozovce co nejkomplexnější poznatky. Podle Zajíčka et al (2014) se diagnostický průzkum vozovky provádí v určitém období její životnosti jako sled pracovních činností, vykonávaných s cílem zjistit stav konstrukce vozovky a navrhnout technicky a ekonomicky optimální způsob její opravy, provádí se v určitém období její životnosti. Podle TP 87 (2010) je průzkum vozovky zaměřen na popis poruch, stanovení jejich příčin, posouzení únosnosti vozovky a návrh opravy. Jde tedy o proměnné parametry vozovky, které se mění působením dopravního zatížení, klimatickými vlivy a stárnutím materiálu. Neproměnné parametry vozovky jsou takové, které se bez stavebního zásahu nemění.

Podle Zajíčka (2014) se diagnostický průzkum skládá z následujících kroků:

- vizuální prohlídka s digitálním záznamem stavu povrchu a záznamem poruch;
- jádrové vývrty ze stmelěných vrstev krytu vozovky;
- vrtané nebo kopané hloubkové geotechnické sondy do podkladních vrstev a podloží;
- laboratorní zkoušky a stanovení na odebraných vzorcích konstrukčních vrstev a materiálu podloží;
- měření únosnosti vozovky rázovým zařízením s vyhodnocením modulů pružnosti konstrukčních vrstev;

- měření georadarem pro stanovení kontinuálního průběhu tloušťek konstrukčních vrstev vozovky;
- stanovení příčin poruch a celkové zhodnocení stavu vozovky;
- variantní návrhy způsobu a technologie opravy s uvedením předpokládané životnosti opravené vozovky;
- výstup z diagnostického průzkumu.

Při diagnostickém průzkumu není vždy nutné provádět všechny výše uvedené kroky, v některých případech to ani není možné. Některým krokům je naopak třeba věnovat zvýšenou pozornost, například při měření únosnosti vozovky při proměnlivé kvalitě podkladních vrstev nebo při zjišťování kontinuálních tloušťek konstrukce pomocí georadaru. Komunikace, které se liší svým významem, konstrukční skladbou a výskytem poruch, budou vyžadovat i různý rozsah diagnostických prací. Podle konkrétních podmínek je nutné každý diagnostický průzkum pečlivě připravit a naplánovat zpracováním programu diagnostického průzkumu s podrobným rozsahem diagnostických prací. Správné provedení diagnostického průzkumu rovněž záleží na jeho správném zadání. V odůvodněných případech by mělo být možné druh a rozsah diagnostických prací v již probíhajícím diagnostickém průzkumu upravit, jelikož je běžné, že teprve po zahájení prací se objeví nové důležité skutečnosti (Zajíček et al, 2014).

3.7.2 Vizuální prohlídka

Obsahem vizuální prohlídky je záznam vyskytujících se poruch na povrchu vozovky a v jejím nejbližším okolí, zjištění druhu obrusné vrstvy, záznam a inventarizace druhu a plošného, respektive délkového rozsahu poruch, vymezení rozdílných úseků na homogenních úseky podle typu krytu nebo typu a rozsahu poruch a další důležité informace jako šířkové uspořádání, stav krajnic, funkčnost odvodnění, vyskytující se objekty. V současnosti se vizuální prohlídka provádí z pomalu jedoucího vozidla s lokací pomocí GPS a záznamem poruch nebo multifunkčním vozidlem s digitálním záznamem s vysokým rozlišením a s možností provádění dalších měření proměnných a neproměnných parametrů (Zajíček et al, 2014).

3.7.3 Jádrové vývrty

Jádrové vývrty se provádí na asfaltových a cementobetonových krytech nejčastěji o průměru 150 mm. Odběr se provádí pomocí kovové korunky osazené diamantovými segmenty, jejich uspořádání na těle korunky musí odpovídat charakteru řezaného materiálu a výkonu vrtačky. Při jádrovém vrtání se používá vodní chlazení korunky. Doporučená průměrná vzdálenost mezi odběrnými místy vývrťů se pohybuje v rozmezí 250 – 300 m, tzn. 3 – 4 jádrové vývrty / 1000 m. Odebrané materiály je možné slučovat pouze v rámci homogenního úseku. Odebrané jádrové vývrty slouží jako materiál pro laboratorní zkoušky a stanovení, pro stanovení tloušťek jednotlivých asfaltových vrstev a pro identifikaci a sledování vývoje poruch v asfaltovém souvrství (Zajíček et al, 2014).



Obrázek 10 – Vrtačka s hydraulickým pohonem na odběr jádrových vývrťů

3.7.4 Geotechnické vrtané nebo kopané sondy

Podle Zajíčka (2014) se vrtané nebo kopané hloubkové sondy se provádí do nestmelených podkladních vrstev a podloží. Vrtané sondy se nejčastěji vrtají za nízkých otáček bez vodního chlazení, kopané sondy se nejčastěji provádí v okraji vozovky ručně nebo pomocí mechanizace. Nevýhodou kopaných sond v okraji vozovky je fakt, že zjištěná skladba často nereprezentuje konstrukční skladbu použitou přímo ve vozovce. Daleko častější a méně destruktivní jsou sondy vrtané pomocí hydraulické vrtné soupravy. Vrtání je obvykle prováděno jednoduchou jádrovnicí, o řezném průměru 150 mm, osazenou roubíkovou korunkou. Odebraný materiál se z jádrovnice nejčastěji vytlačuje vzduchem.

Zajíček (2014) dále uvádí, že pro potřeby diagnostického průzkumu se sondy provádí do hloubky 1 - 2 m, vzdálenost mezi odběrnými místy se nejčastěji pohybuje v rozmezí 300 – 500 m, tzn. 2 – 3 sondy / 1000 m. Odebraný materiál geotechnické sondy slouží pro laboratorní zkoušky a stanovení, pro stanovení druhu a stavu zeminy v podloží, pro identifikaci a sledování vývoje poruch zasahujících do podkladních vrstev, pro zjištění celkové konstrukční skladby a pro zjišťování přítomnosti vody v podloží.



Obrázek 11 – Hydraulická vrtná souprava na odběr geotechnických sond

3.7.5 Laboratorní zkoušky a stanovení na odebraných materiálech

Laboratorní zkoušky se provádí za účelem přesnější identifikace typu a kvality vrstev, zatřídění zeminy podloží nebo k objasnění příčiny poruch tam, kde je to potřebné pro stanovení způsobu opravy nebo míry zavinění vzniku poruchy. Obecně platí, že laboratorní zkoušky jsou potřebné pro stanovení správného způsobu a technologie opravy a rozsah se odvíjí od významu pozemní komunikace a velikosti dopravního zatížení. V odůvodněných případech, zejména u komunikací s nízkým dopravním zatížením, je možné některé laboratorní zkoušky omezit nebo nahradit vizuálním posouzením nebo polními zkouškami (Zajíček et al, 2014).

Asfaltové souvrství - prováděné zkoušky:

- rozbor asfaltové směsi se provádí pro stanovení obsahu pojiva podle normy ČSN EN 12697-1 (2012) a zrnitosti směsi kameniva podle ČSN EN 12697-2 (2015), každá

asfaltová směs má navržené optimální množství pojiva a optimální křivku zrnitosti kameniva;

- mezerovitost asfaltové směsi ovlivňuje její trvanlivost a proto je jedním z hlavních parametrů hodnocení zhutněné směsi, stanovuje se podle normy ČSN EN 12697-8 (2004);
- míra zhutnění a mezerovitost vrstvy jsou důležité parametry určující životnost celé vrstvy, stanovuje se podle normy ČSN 73 6160 (2008);
- vlastnosti zpětně získaného asfaltového pojiva lze ověřit pomocí empirických zkoušek, které vycházejí z dlouhodobého sledování vlastností pojiva, mezi tyto zkoušky řadíme stanovení penetrace podle ČSN EN 1426 (2015), stanovení bodu měknutí podle ČSN EN 1427 (2015), stanovení bodu lámavosti podle Fraasse podle ČSN EN 12593 (2015);
- tloušťka asfaltové vrstvy má rozhodující vliv na správnou funkci celé konstrukční skladby vozovky, stanovuje se podle normy ČSN EN 12697-36 (2004);
- spojení vrstev ovlivňuje spolupůsobení asfaltového souvrství při přenášení dopravního zatížení, stanovuje se podle normy ČSN EN 12697-27 (2018).

Vrstvy stmelené hydraulickými pojivy - prováděné zkoušky:

- vizuální posouzení stavu odebraného materiálu;
- stanovení pevnosti v tlaku se provádí na válcovém zkušebním tělese, které je vystaveno tlaku v kolmém směru, stanovuje se podle normy ČSN EN 12390-3 (2009);
- stanovení pevnosti v příčném tahu se provádí na válcovém zkušebním tělese, které je vystaveno tlaku v úzkém pruhu po jeho délce, stanovuje se podle normy ČSN 73 1318 (1987).

Vrstvy nestmelené - prováděné zkoušky:

- aktuální vlhkost materiálu nám udává obsah vody ve vzorku k hmotnosti vysušeného vzorku, stanovuje se podle normy ČSN EN ISO 17892-1 (2015);
- zrnitost směsi kameniva se zjišťuje pomocí zkušebních sít a zahrnuje mechanické roztřídění zrn podle velikosti, stanovuje se podle normy ČSN EN 933-1 (2012);

- ekvivalent písku nám ověřuje přítomnost jemných částic bez plastických vlastností, stanovuje se podle normy ČSN EN 933-8 (2016);
- posouzení namrzavosti se provádí u materiálů s vysokým obsahem jemných částic, které jsou namrzavé, stanovuje se podle normy ČSN 72 1191 (2013).

Podloží - prováděné zkoušky:

- aktuální vlhkost a posouzení namrzavosti – tyto zkoušky jsou totožné se zkouškami jako pro vrstvy nestmelené;
- zrnitost nám udává vzájemné zastoupení velikosti jednotlivých zrn v zemině, určuje se pomocí laboratorních sít a vyjadřuje se pomocí čáry zrnitosti, stanovuje se podle normy ČSN EN 933-1 (2012) nebo u zemin menší než 0,063 mm podle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-4 (2017);
- CBR Kalifornský poměr únosnosti nám posuzuje vhodnost zeminy a některých typů nestmelených směsí z hlediska únosnosti, stanovuje se podle normy ČSN EN 13286-47 (2012);
- zatříděním materiálu podle klasifikace, se určí vlastnosti zeminy, které pak rozhodují o vhodnosti použití do náspu nebo pro podloží vozovky.

3.7.6 Měření únosnosti

Podle Kudrny (2007) je únosnost vozovky schopnost přenášet dopravní zatížení po dobu uvažované životnosti. Posouzení únosnosti se provádí měřením odezvy konstrukce vozovky na zatížení představující účinek nápravy těžkého nákladního vozidla. Odezvou vozovky na zatížení je průhyb vozovky jako svislý posun povrchu vozovky. Jednotlivé naměřené hodnoty průhybu se následně spojují a vzniká průhybová křivka. Podle TP 87 (2010) je únosnost vozovky schopnost konstrukce vozovky a podloží přenášet dopravní zatížení, které se vyjadřuje zatížením nápravou nebo sestavou kol a počtem opakování těchto zatížení; při posuzování vozovky s daným dopravním zatížením se únosnost vozovky vyjádří zbytkovou dobou životnosti, což je nejzazší doba do potřeby provést opravu konstrukce vozovky.

Jakkoliv doposud potřebné vlastnosti podloží a asfaltových směsí je možno měřit v laboratořích, je nutné, aby stejné vlastnosti bylo možné měřit i na vozovce. Funkční vlastnosti jako moduly pružnosti a Poissonova čísla podloží a vrstev vozovky ovlivňují odezvu celé vozovky na zatížení. Odolnosti proti opakovanému zatěžování se projeví ve změně charakteristik povrchu vozovky a změně odezvy vozovky na zatížení. Nedodržení konstrukčních požadavků a technologických zásad pak vede k poruchám, které jsou registrovány měřením na stávající vozovce nebo vizuální prohlídkou. Pro měření konstrukčních vlastností vozovek se používají zařízení, která dokáží pod definovaným zatížením odpovídajícím návrhové nápravě vozidla stanovit průhyb. Měření umožnila vznik pákových průhyboměrů, deflektografů a deflektometrů (Kudrna, 2009).

Pákový průhyboměr měří průhyb povrchu vozovky pod pomalu jedoucím automobilem s tím, že tento průhyb se měří v místě nejvyššího namáhání mezi zdvojenými pneumatikami nákladního vozidla obvykle naloženého na přípustné nebo návrhové zatížení. Průhyb se zaznamená bezprostředně po vzdálení automobilu od měřeného bodu. Velikost průhybu signalizuje namáhání vrstev vozovky a podloží, měří se pomocí elektronického snímače se záznamem hodnot do počítače. Hodnoty se statisticky vyhodnotí a stanoví se charakteristický průhyb homogenní sekce s tím, že tento průhyb odpovídá kvantilu 90 % (Kudrna, 2009).

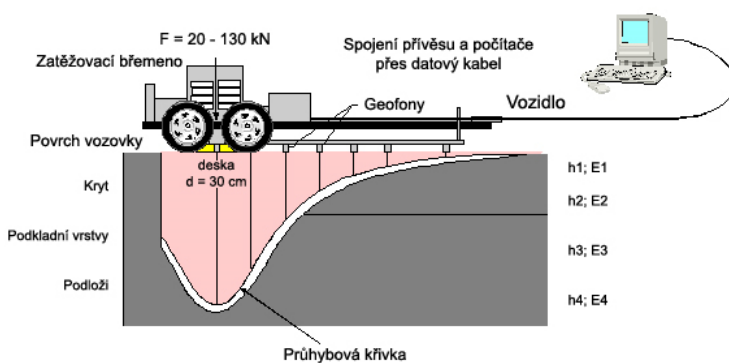
Deflektograf je zmechanizovaný pákový průhyboměr, který provádí měření při pomalé plynulé jízdě těžkého nákladního automobilu. V každém měřícím cyklu se měří průhyb pod nájezdy kol měřícího automobilu. Velikost maximálního průhybu se zaznamenává a zpracovává pomocí počítače. Výhodou zařízení je vysoká četnost automatického měření odezvy, nevýhodou je nízká přesnost měření a jeho vyhodnocování při nerovných a porušených vozovkách. Vyhodnocení měření se provádí statistickým zpracováním dat, vytvoří se homogenní sekce a stanoví se jejich charakteristický průhyb, zpětným výpočtem se stanoví moduly pružnosti (Kudrna, 2009).

Deflektometr (Falling Weight Deflectometer – FWD) provádí měření únosnosti pomocí měření průhybů rázovým zatěžovacím zařízením, které zatěhuje vozovku rázovým pulzem, který je vyvolán pádem závaží přes pryžové tlumiče na kruhovou desku o průměru 300 mm. Doba působení pulzu je asi 25 ms, což odpovídá podmínkám zatížení dopravou pohybující se asi 50 až 60 km/h. Změnou výšky pádu a změnou hmotnosti závaží lze měnit zatěžování

povrchu vozovky. Působením rázového pulzu dojde ke svislé deformaci povrchu vozovky. Tato deformace je největší pod zatěžovací deskou a snižuje se s postupnou vzdáleností od desky. Zařízení je osazeno geofony, které jsou rozmístěny jak na desce, tak v určitých vzdálenostech od desky. Tyto geofony měří zrychlení při průhybu způsobeném rázovým pulzem a čas trvání pulzu a z tohoto zrychlení a času trvání pulzu se dá odvodit průhybová křivka. Vyhodnocování naměřených hodnot provádí software iteračními postupy jako řešení vícevrstvého pružného poloprostoru zatíženého kruhovou zatěžovací deskou. V každém kroku iterace jsou stanoveny moduly pružnosti jednotlivých konstrukčních vrstev a podloží. Ze stanovených rázových modulů pružnosti se na základě napětí a deformace daného vrstevnatého konstrukčního systému vypočte průhybová křivka, která se porovná s průhybovou křivkou zjištěnou měřením. Při měření lze rozlišit i moduly pružnosti jednotlivých vrstev a podloží, protože tvar průhybové křivky neovlivňují všechny vrstvy a podloží stejným způsobem.

Zajíček (2014) uvádí, že čím je měřený bod dále od zatěžovací desky, tím je průhyb ovlivněn jen vlastnostmi materiálu až od určité hloubky. Průhyb pod zatěžovací deskou ovlivňují všechny vrstvy včetně podloží, průhyb ve vzdálenosti 1000 mm od zatěžovací desky ovlivňují pouze podkladní vrstvy s podložím a průhyb měřený na nejvzdálenějším geofonu ovlivňuje pouze materiál podloží. Podle TP 87 (2010) se měření únosnosti vozovky provádí pouze rázovým zařízením deflektometrem FWD v souladu s ČSN 73 6192, metoda A. Výstupem z měření na daném místě jsou hodnoty průhybu, naměřená průhybová čára je veličina podléhající vlivům teploty, vlhkosti a dalším nahodilým vlivům vrstev vozovky a podloží.

PRINCIP MĚŘENÍ ÚNOSNOSTI RÁZOVÝM ZATĚŽOVACÍM ZAŘÍZENÍM - FWD



Obrázek 12 – Princip měření únosnosti rázovým zařízením FWD (Kudrna, 2007)

Měřením se zaznamenává síla, průhyb v dané vzdálenosti od středu zatěžovací desky, teplota a charakteristiky lokalizace měření včetně vložených poznámek např. poruchy na daném místě. Při známých tloušťkách vrstev vozovek lze výpočtem stanovit průhybovou čáru. Zpětným výpočtem lze naopak iterační metodou z průhybové čáry stanovit moduly pružnosti jednotlivých vrstev vozovky. Přesnost vypočtených modulů z průhybové čáry je ovlivňována příliš mnoha náhodnými vlivy jako lokální změny tloušťek vrstev, porušení, spojení a stavu vrstev, vlhkost a nehomogenity v podloží. Použitím charakteristiky odolnosti proti opakovaným zatěžováním asfaltových vrstev a podloží lze posoudit ještě možný počet opakování zatížení posuzované vozovky (Kudrna, 2009).

Pro technicky správné a podložené posouzení únosnosti se podle Kudrny (2007) vychází z návrhové úrovně porušení podle významu komunikace; návrhového období, které odpovídá předpokládané době životnosti krytu nebo potřebám užívání komunikace; dopravního zatížení s odpovídající kvalitou konstrukčních vrstev; klimatických poměrů, které ovlivňují kvalitu vrstev vozovky a podloží; vodního režimu podloží, které se hodnotí jako kapilární (velmi nepříznivý), pendulární (nepříznivý) a difúzní (příznivý); charakteristiky podloží, které se hodnotí modulem pružnosti, součinitelem příčného přetvoření zeminy (Poissonovo číslo) a namrzavostí.

Výsledné hodnoty modulů pružnosti vrstev vykazují velký rozptyl hodnot a jsou silně závislé na shodě zadaných tloušťek konstrukčních vrstev a tloušťek skutečných. Pro rozšíření informací o tloušťkách vrstev, známých jen v místech odběru jádrových vývrtů a hloubkových geotechnických sond, se stává nezbytným ověření průběhu tloušťek pomocí georadaru. Výsledky měření únosnosti je nutné posuzovat v kontextu celého diagnostického průzkumu. Měření únosnosti deflektometrem má též svá omezení a nejistoty, související s interpretací naměřených průhybů, vypočtené moduly pružnosti nelze nikdy považovat za jednoznačně přesně stanovené údaje. Velký vliv na vypočtené moduly pružnosti vrstev mají předpoklady o podloží vozovky (Zajíček et al, 2014).

Podle TP 87 (2010) se stanovení bodů pro měření únosnosti vozovky provádí v návaznosti na účelu měření v optimální vzdálenosti: 25 m při návrhu zesílení nebo opravě vozovek s konstrukčními poruchami při měření v nejvíce zatíženém pruhu vícepruhových komunikací; 100 m při posuzování vozovky pro rozhodnutí o provedení údržby nebo opravy, v případě jinak prokázané dostatečné únosnosti v nejvíce zatíženém jízdním pruhu; 250 m pro rozhodnutí o provedení údržby vozovky nebo opravy a v případě výsledků měření bez výraznějších změn

v nejvíce zatíženém jízdním pruhu; na samostatně posuzovaném zejména krátkém úseku je potřeba provést nejméně 10 měření.

Dále je podle TP 87 (2010) nezbytné k posouzení únosnosti vozovky rázovým zařízením znát tyto údaje: druh krytu; druh podkladní vrstvy; neexistenci ochranné vrstvy nebo její kontaminaci jemnozrnným podložím; tloušťky jednotlivých vrstev.



Obrázek 13 – Deflektometr s tažným vozidlem

Nepřímé metody pro ověřování únosnosti, míry zhutnění, ulehlosti nestmelených vrstev a podloží jsou založeny na měření takových veličin, které jsou na kvalitě hutnění závislé. Pokud existuje jejich porovnání s výsledky získanými přímou metodou, lze z nich kvalitu hutnění odvodit. Lze též použít vztahy získané na základě dřívějších zkušeností nebo z historicky ověřených kritérií (Zajíček et al, 2014).

Mezi nepřímé metody řadíme:

- statická zatěžovací zkouška se provádí podle ČSN 72 1006 (2015) pro stanovení modulu přetvárnosti podloží a nestmelených podkladních vrstev a též k nepřímé kontrole míry zhutnění, zkouška probíhá ve dvou zatěžovacích cyklech a výsledkem měření jsou hodnoty průhybů při různých velikostech narůstajícího zatížení, ze zjištěných modulů přetvárnosti lze usuzovat kvalitu hutnění;
- rázová zatěžovací zkouška se provádí podle ČSN 73 6192 (1996) pro kontrolu únosnosti podloží a nestmelených podkladních vrstev za použití rázového zařízení lehká dynamická deska, naměřený rázový modul deformace se vždy musí porovnat

s výsledky statické zatěžovací zkoušky nebo použít dříve odvozené vztahy na stejných materiálech;

- dynamická penetrační zkouška se provádí podle ČSN EN ISO 22476-2 (2005) pro zjištění odporu, který materiál klade vůči pronikání kuželovitého hrotu upevněného na tyči, výsledkem je stanovení ulehlosti materiálu.

3.7.7 Georadarové měření kontinuálních tlouštěk konstrukčních vrstev

Georadar (Ground Penetrating Radar – GPR) je geofyzikální nedestruktivní metoda využívající radarové impulzy na zmapování konstrukční skladby vozovky (Zajíček et al, 2014). Takahashi (2011) uvádí, že georadar je v současnosti považován za nejperspektivnější podpovrchovou snímací techniku. Jedná se o relativně novou geofyzikální techniku, rychle se rozvíjející oblasti digitálního zobrazování. Saarenketo (2006) popisuje georadarovou metodu jako spektrum oblastí, které se zabývají i průzkumem před zahájením stavební činnosti, vyhledávání inženýrských sítí, slouží ke kontrole a průzkumu podzemních objektů.

Podle TP 233 (2011) spočívá princip georadarové metody s v opakovaném vysílání vysokofrekvenčního elektromagnetického impulsu obvykle v rozsahu od 20 MHz do 4 GHz vysílací anténou do zkoumaného prostředí. Reálný maximální hloubkový dosah při běžných fyzikálních podmínkách je asi 6 m. Podle společnosti Eltesta (2015) závisí dosah a rozlišení georadaru na volbě využití frekvence. Obecně platí, že nízké frekvence jsou používány pro hluboké sondování a vysoké frekvence se používají pro mělké sondování. Zajíček (2014) uvádí, že v místech, kde je změna elektromagnetických vlastností prostředí, tzn. rozhraní mezi jednotlivými konstrukčními vrstvami, dochází k odrazu části energie vyslaného impulsu a ta se registruje přijímací anténou. Společnost Eltesta (2015) dále uvádí, že časová prodleva mezi vysílaným a přijatým impulsem se pohybuje v řádech nanosekund. Část impulsů je rozptýlena, další část absorbují jednotlivé vrstvy zkoumaného materiálu, část impulsů se odrazí od rozhraní nebo objektů a vrací se zpět k zemskému povrchu, kde jsou zachyceny přijímačem. Nejdůležitější údaje jsou čas průchodu signálu konkrétní vrstvou, amplitudy signálů odpovídající jednotlivým odrazům a jejich vzájemný poměr. Podle Zajíčka (2014) se pomocí těchto impulsů zjistí tloušťky vrstev a jejich uložení v konstrukci, typy vrstev se určí z jádrových vývrtů a z geotechnických sond a na základě jejich skutečně zjištěných tlouštěk se provede kalibrace časového řezu. Zajíček (2014) dále uvádí, že georadar dokáže najít dutiny,

propady nebo rozvolněný podklad, odhalí nekvalitně provedené opravy vozovek nebo naopak dokáže zjistit rozsah poškození vozovky.

Georadar je zavěšen za jedoucím vozidlem, které se v závislosti na požadované hloubce měření může pohybovat rychlostí až 70 km/hod. Primárním výstupem je časový řez, který se přepočítává na hloubkový řez, naměřená data se ihned převádí na obrázek, ze kterého je pak patrná struktura a rozhraní materiálů pod místem měření. Naměřená data se pak dále zpracovávají pro zvýraznění hledaných struktur v různých částech řezu (Zajíček et al, 2014). Saarenketo (2006) upozorňuje, že pro správnou interpretaci naměřených dat je nutná dobrá znalost zkoumaného prostředí, cílů výzkumu a okolních vlivů. Jol (2008) uvádí, že naměřená data by měla být interpretována hned po dokončení měření, z důvodu případného přeměření.

3.7.8 Stanovení příčin poruch

Stanovení příčin poruch, které se vyskytují v konstrukční skladbě vozovky, je souhrnem všech informací získaných z jednotlivých kroků diagnostického průzkumu. Jedná se o výsledky z vizuální prohlídky, odběru jádrových vývrtů, odběru geotechnických sond, měření únosnosti, georadarového měření, laboratorních zkoušek a stanovení a v neposlední řadě také ze znalosti historie vozovky. Jako příčinu poruchy je nezbytné brát v úvahu i přirozené porušování vozovky, úměrné jejímu stáří (Zajíček et al, 2014).

3.7.9 Návrh způsobu a technologie opravy

Návrh způsobu a technologie opravy je hlavním výstupem diagnostického průzkumu, je sestavený na základě všech zjištěných skutečností. Musí být proveditelný, ekonomicky efektivní a technicky zdůvodnitelný. Při návrhu opravy je třeba vzít v úvahu její předpokládanou životnost jak z hlediska životnosti vozovky, tak z hlediska trvanlivosti obrusné vrstvy. Na rozhodování o způsobu a technologii opravy má také vliv stupeň vývoje a četnost poruch stejně jako dopravní význam komunikace. V rámci rozhodovacího procesu by měli být pomocí multikriteriální analýzy posuzovány vlivy a důležitost jednotlivých pozorování, výsledků měření a laboratorních zkoušek. Výsledkem rozhodovacího procesu je tedy zpracování návrhu a způsobu technologie opravy v alternativách (Zajíček et al, 2014).

3.7.10 Výstup diagnostického průzkumu

Dokončený diagnostický průzkum musí obsahovat veškeré informace, vycházející z jednotlivých dílčích kroků jeho provedení. Návrh způsobu a technologie opravy musí být výsledkem zhodnocení všech zjištěných skutečností, nelze tedy vydávat za diagnostický průzkum jen samostatné výsledky měření nebo zkoušek (Zajíček et al, 2014).

4 Metodika

Záměrem práce bylo stanovit mechanickou účinnost konstrukce vozovky na vybraných modelových úsecích lesních cest, zjištěné výsledky porovnat podle konstrukční skladby vozovky a zhodnotit vliv stáří a vliv vyskytujících se poruch na zjištěné průhyby. Dále byla provedena vizuální prohlídka povrchu vozovky vybraných úseků lesních cest a byla zjištěna jejich konstrukční skladba vozovky.

4.1 Přípravné práce

Všechny diagnostické úkony byly provedeny na lesních cestách v polesí Mníšek pod Brdy. Ve spolupráci s vedoucím polesí Ing. Petrem Čechem byly vytipovány jednotlivé úseky pro provedení potřebných diagnostických úkonů, tak aby byly naplněny cíle této práce. Vybrány byly lesní cesty s vozovkou netuhou, rozdílného stáří a rozdílné konstrukční skladby. Jednalo o lesní cesty kategorie 1L a 2L s asfaltobetonovým krytem a lesní cesty kategorie 2L s vozovkou z nestmeleného kameniva.

4.2 Charakteristika polesí Mníšek pod Brdy

Administrativně polesí náleží pod Lesní závod Konopiště, který je jedním ze čtyř přímo řízených lesních závodů v rámci podniku Lesy ČR. Jedná se o nejrozsáhlejší lesní závod, jehož obhospodařované lesy a ostatní pozemky jsou rozloženy na katastrálním území Středočeského kraje a hl. města Prahy. Polesí Mníšek pod Brdy se nachází ve Středočeském kraji cca 30 km západně od Prahy, rozkládá se na území tří okresů: Praha západ, Beroun a Příbram. Tvoří lesní komplex, rozkládající se v severovýchodní části Brd v okolí města Mníšek

pod Brdy. Polesí sahá od obce Řitka na severovýchodě, k obci Svinaře na severu a na jih k obci Chouzavá. Na západní hranici sousedí s bývalým polesím Voznice, které bylo v restitucích navraceno šlechtické rodině Colloredo - Mannsfeld. Polesí obhospodařuje lesy ve vlastnictví České republiky o celkové výměře 2266 ha, z toho porostní plocha činí 2219 ha. Většinou jde o lesy hospodářské s převahou jehličnanů. Vodní retenční plochy zaujímají 0,3 ha. Hydrograficky polesí spadá částečně do povodí Berounky a Vltavy. Geomorfologicky polesí patří do České vysočiny, subprovincie Poberounská, oblast Brdská, celek Brdská vrchovina, podcelek Hřebeny. Geologická jednotka Český masiv, oblast středočeská, region Barrandien. Katastrálně polesí zasahuje do několika území, z nich největší jsou Mníšek pod Brdy 989 ha, Kytín 595 ha a Dobříš 349 ha.

Polesí se rozkládá na území tří přírodních lesních oblastí. Největší část se nachází v přírodní lesní oblasti 7 – Brdská vrchovina, která svou plochou 1911 ha představuje 84,3 % polesí. Další části zasahují do přírodní lesní oblasti 10 – Středočeská pahorkatina, která svou plochou 350 ha představuje 15,4 % polesí a přírodní lesní oblasti 8 – Křivoklátsko a Český kras, která svou plochou 6 ha představuje 0,3 % polesí.

Největší zastoupení 2104 ha tvoří lesy hospodářské, 64 ha tvoří lesy ochranné a 51 ha tvoří lesy zvláštního určení. Převážná část polesí se nachází ve 3. dubobukovém vegetačním stupni, ostatní části porostní plochy pak zasahují do 2. bukodubového a 4. bukového vegetačního stupně. Největší podíl 78 % tvoří jehličnaté dřeviny a to v zastoupení smrk 46 %, borovice 24 %, modřín 7 %, ostatní jehličnaté 1 %. Z listnatých dřevin, které tvoří 22 % má největší zastoupení dub 10 %, buk 6 %, bříza 4 %, ostatní listnaté 2 %. Celková zásoba dříví činí cca 560 tis. m³ b. k. Zásoba dříví lesů hospodářských je cca 524 tis. m³ b. k., zásoba dříví lesů ochranných je cca 20 tis. m³ b. k., zásoba dříví lesů zvláštního určení je cca 15 tis. m³ b. k. Celková roční výše těžby se pohybuje okolo 17 tis. m³ b. k.

4.3 Specifikace jednotlivých vybraných úseků lesních cest podle UHÚL

4.3.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva

Název cesty: U boudy; třída cesty: 2L; povrch cesty: dostatečně zpevněná cesta; stáří vozovky: 6 měsíců; pořadové číslo lesní cesty: DB613; evidenční číslo lesní cesty: 153350; funkce lesní

cesty: technologická a spojovací; délka cesty evidovaná: 0,911 km; délka měřeného úseku cesty: 0,200 km; ZÚ: křižovatka s lesní cestou K boudě; KÚ: 200 m ve směru k lesní cestě Na Vrážky; bod na přehledové mapě, obrázek 20: černý úsek.



Obrázek 14 – Lesní cesta U boudy

Název cesty: V loužku; třída cesty: 2L; povrch cesty: dostatečně zpevněná cesta; stáří vozovky: 4 roky; pořadové číslo lesní cesty: DB609; evidenční číslo lesní cesty: 153400; funkce lesní cesty: technologická a spojovací; délka cesty evidovaná: 1,413 km; délka měřeného úseku cesty: 0,200 km; ZÚ: lesní školka V loužku; KÚ: 200 m ve směru k lesní cestě Modřínka; bod na přehledové mapě, obrázek 20: červený úsek.



Obrázek 15 – Lesní cesta V loužku

Název cesty: U boudy; třída cesty: 2L; povrch cesty: dostatečně zpevněná cesta; stáří vozovky: 15 roků; pořadové číslo lesní cesty: DB613; evidenční číslo lesní cesty: 153350; funkce lesní cesty: technologická a spojovací; délka cesty evidovaná: 0,641 km; délka měřeného úseku cesty: 0,200 km; ZÚ: křižovatka s lesní cestou K boudě; KÚ: 200 m ve směru k lesní cestě Bekovka; bod na přehledové mapě, obrázek 20: žlutý úsek.



Obrázek 16 – Lesní cesta U boudy

4.3.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem

Název cesty: K boudě; třída cesty: 1L; povrch cesty: asfaltová cesta; stáří vozovky: 1 rok; pořadové číslo lesní cesty: DB612; evidenční číslo lesní cesty: 153340; funkce lesní cesty: sběrná; délka cesty evidovaná: 0,472 km; délka měřeného úseku cesty: 0,200 km; ZÚ: křižovatka s lesní cestou Vojenská; KÚ: 200 m ve směru k lesní cestě U boudy; bod na přehledové mapě, obrázek 20: zelený úsek.



Obrázek 17 – Lesní cesta K boudě

Název cesty: Vojenská; třída cesty: 2L; povrch cesty: asfaltová cesta; stáří vozovky: 10 roků; pořadové číslo lesní cesty: DB611; evidenční číslo lesní cesty: 153430; funkce lesní cesty: technologická a spojovací; délka cesty evidovaná: 0,671 km; délka měřeného úseku cesty: 0,200 km; ZÚ: křižovatka s lesní cestou K boudě; KÚ: 200 m ve směru k lesní cestě Černý potok; bod na přehledové mapě, obrázek 20: modrý úsek.



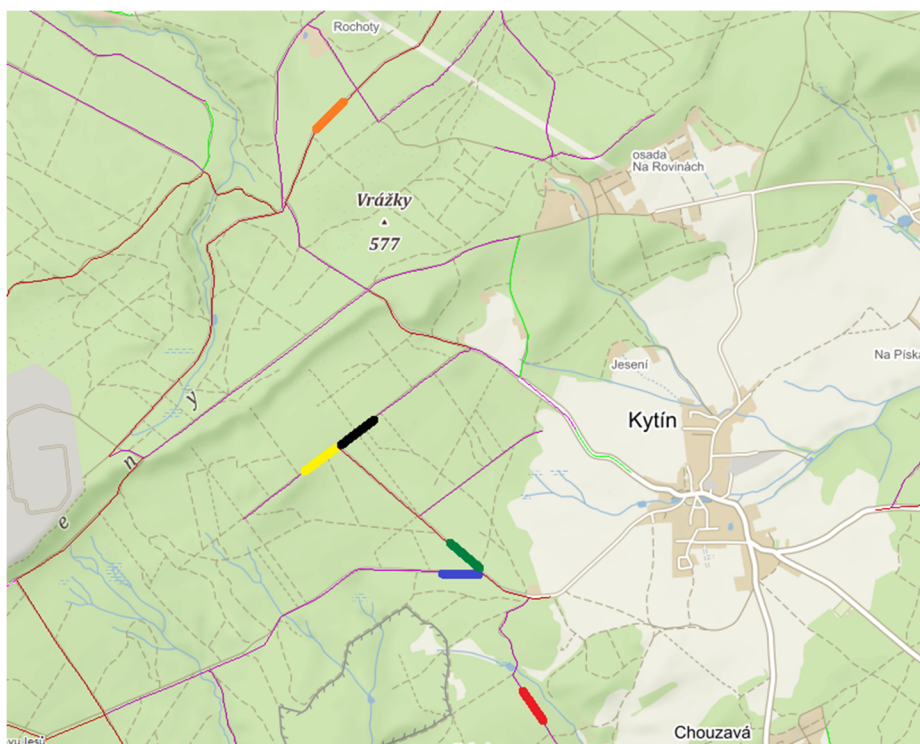
Obrázek 18 – Lesní cesta Vojenská

Název cesty: Hřebenská; třída cesty: 1L; povrch cesty: asfaltová cesta; stáří vozovky: 20 roků; pořadové číslo lesní cesty: DB625; evidenční číslo lesní cesty: 152980; funkce lesní cesty: sběrná; délka cesty evidovaná: 0,385 km; délka měřeného úseku cesty: 0,200 km; ZÚ: hranice

polesí Mníšek pod Brdy a Colloredo - Mannsfeld; KÚ: 200 m ve směru k lesní cestě Kytínská;
bod na přehledové mapě, obrázek 20: oranžový úsek.



Obrázek 19 – Lesní cesta Hřebenská



Obrázek 20 – Přehledová mapa s vyznačenými úseky lesních cest

4.4 Vizuelní prohlídka povrchu vozovky

Dne 28.10.2017 byla provedena vizuelní prohlídka povrchu vozovky jednotlivých vybraných úseků, byly zaznamenány viditelné poruchy a byl určen plošný rozsah výskytu poruch. Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem byly hodnoceny podle TP 82, Katalog poruch netuhých vozovek. Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva byly hodnoceny podle Klče, Katalog porušení a závad na lesných cestách.

4.5 Geotechnické kopané sondy

Pro výpočet mechanické účinnosti vozovky je nezbytné znát detailní konstrukční skladbu. V každém měřeném úseku byla v okraji vozovky lesní cesty provedena jedna kopaná sonda, byly zaznamenány tloušťky jednotlivých konstrukčních vrstev a byla provedena fotodigitální dokumentace sondy. Konstrukční vrstvy byly vizuelně zatříděny podle normy ČSN 73 6133. Zjištěné výsledky byly graficky zaznamenány. Sondy byly provedeny dne 6.4.2017.

4.6 Georadarové měření vozovky

Georadarové měření bylo provedeno pro zjištění průběhu kontinuální tloušťky vrchní krytové vrstvy (obrusné vrstvy) vozovky. Měření bylo provedeno dne 30.3.2017 na každém výše uvedeném úseku lesní cesty, v pravé jízdni stopě vozidel, v jednom profilu, ve směru pracovního staničení. Bylo použito zařízení IDS HORN-1000, zavěšené za vozidlem na speciálním rámu. Frekvence antény 1000 MHz, maximální hloubka skenování 1,5 m, rychlost měření 30 km / h při 10 snímcích / m, hmotnost radaru 6,5 kg, rozměry (D x Š x V) antény: 53 x 23 x 50 cm. Ovládání georadaru je provedeno pomocí řídicího notebooku, do kterého jsou zároveň ukládány naměřené hodnoty. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí software, který poskytuje výrobce. Z naměřených hodnot byly vypočteny minimální, maximální a průměrné hodnoty tloušťky krytu každého měřeného úseku lesní cesty.



Obrázek 21 – Georadar zavěšený na vozidle

4.7 Měření únosnosti vozovky

Měření vybraných úseků lesních cest probíhalo vždy ve směru pracovního staničení, v kroku 25 m, v pravé jízdě vozidel, měření probíhalo kontinuálně v jednom profilu. Zatížení vozovky bylo provedeno silou 50 kN. Naměřené hodnoty byly zaznamenány pro pozdější výpočty. Měření proběhlo dne 6.4.2017 zařízením Deflektometr, výrobce RODOS Praha. Toto zařízení odpovídá ČSN 73 6192, metoda A „Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží“. Jedná se o dvoukolový přívěs za tažné vozidlo osazeným zatěžovacím zařízením, měřicím rámem, řídicí a měřicí elektronikou. Měřicí proces je řízen z měřicího notebooku ve vozidle ovládajícím všechny funkce pomocí hydrauliky s vlastním pohonem benzinovým motorem. Maximální výška pádu 47 cm, pracovní rozsah zatížení 5 - 18 t, doba měření sekvence 3 úderů na měřeném bodě 25 sec. Pohon je zajištěn pomocí 4-taktního benzinového motoru o výkonu 6,5 HP, který pohání hydrauliku a zajišťující veškeré mechanické operace. Elektronická kontrolní a měřicí jednotka je umístěna na přívěsu a je spojena s notebookem USB kabelem. Siloměr je pro měření zatěžovací síly do 500 kN, průhyby měří 9 geofonů umístěných na měřicím rámu ve vzdálenostech 0, 300, 450, 600, 900, 1200, 1500, 1800 a 2100 mm od středu zatěžovací desky.



Obrázek 22 – Deflektometr FWD

Z výstupního souboru naměřených hodnot byly pomocí programu DG Laymed FWD provedeny zpětné výpočty modulů pružnosti konstrukčních vrstev vozovky v každém měřícím bodě. Při výpočtu byly zadány následující ukazatelé jako návrhová úroveň porušení: D2; vodní režim podloží: pendulární; namrzavost zeminy: středně namrzavá; index mrazu: 500; počet TNV / 24 hodin: 5; návrhové období: 20 roků; návrhová teplota: 20 °C. Pro každou lesní cestu byla zadána příslušná konstrukční skladba. Naměřené a vypočtené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny, byly určeny minimální a maximální hodnoty, dále aritmetický průměr, který vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor zjištěných hodnot a 85 % kvantil, který rozděluje zjištěné hodnoty na dvě části, na část sledovanou obsahující hodnoty menší (a rovné) než je hodnota kvantilu a na část obsahující hodnoty větší.

Vozovky s asfaltobetonovým krytem byly následně vyhodnoceny podle slovenských TP 1/2009 „Meranie a hodnotenie únosnosti asfaltových vozoviek pomocou zariadenia FWD KUAB“. Při zpracování naměřených hodnot byly vypočteny ekvivalentní moduly pružnosti a indexy umožňující hodnotit stav asfaltových vrstev, podkladu a podloží. Podle číselných hodnot těchto parametrů byly určeny kvalitativní kategorie z hlediska únosnosti vozovky v každém měřeném bodě.

Hodnocení na základě ekvivalentního modulu pružnosti E_{ekv} vychází z největší (maximální) amplitudy časového průběhu průhybu na povrchu vozovky ve středu zatěžovací desky. Na základě vypočítané hodnoty E_{ekv} se přidělí klasifikační stupeň únosnosti pro netuhé vozovky.

$$E_{ekv} = 2(1-\mu^2) * ((\sigma * a) / y_{0(50, T 20)})$$

kde je: E_{ekv} - ekvivalentní modul pružnosti vozovky [MPa];

$y_{0(50, T 20)}$ - průhyb ve středu zatěžovací desky při síle 50 kN a teplotě 20°C [m];

σ - kontaktní napětí [MPa];

a - poloměr zatěžovací desky [m];

μ - Poissonovo číslo.

Hodnocení na základě indexů povrchového indexu křivosti SCI, kterým hodnotíme únavu stmelěných vrstev a podkladového indexu křivosti BCI, kterým hodnotíme stav podkladní podložní vrstvy, podloží.

$$SCI = y_{0(50, T 20)} - y_{300(50, T 20)}$$

$$BCI = y_{450(50, T 20)} - y_{1200(50, T 20)}$$

kde je: $y_{0(50, T 20)}$ - průhyb ve středu zatěžovací desky při síle 50 kN a teplotě 20°C [mm];

$y_{300(50, T 20)}$ - průhyb ve vzdálenosti 300 mm od středu zatěžovací desky při síle 50 kN a teplotě 20°C [mm];

$y_{450(50, T 20)}$ - průhyb ve vzdálenosti 450 mm od středu zatěžovací desky při síle 50 kN a teplotě 20°C [mm];

$y_{1200(50, T 20)}$ - průhyb ve vzdálenosti 1200 mm od středu zatěžovací desky při síle 50 kN a teplotě 20°C [mm];

Hodnocení na základě průhybu naměřeného ve vzdálenosti 1500 mm od osy zatížení. $y_{1500(50, T 20)}$ průhyb ve vzdálenosti 1500 mm od středu zatěžovací desky při síle 50 kN a teplotě 20°C [mm].

4.8 Zpracování naměřených a zjištěných hodnot

Po provedení všech výše uvedených diagnostických kroků, byly vyhodnoceny všechny naměřené a zjištěné hodnoty, výsledky byly zpracovány do výsledných přehledů a okomentovány.

5 Výsledky

5.1. Vizuální prohlídka

5.1.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva

Lesní cesta U boudy, 2L, stáří vozovky 6 měsíců. Jedná se o rekonstruovanou vozovku bez viditelných poruch. Vozovka je v celém úseku jednostranně odvodněna do vsakovacího příkopu, odvodnění je funkční, avšak projevuje se zde pomalé vsakování vody z důvodu malé propustnosti jílovitého podloží. Rozsah plošného výskytu poruch z celkové plochy úseku = 0 %, výborný stav.

Lesní cesta V loužku, 2L, stáří vozovky 4 roky. Na lesní cestě se vyskytují lokální poruchy typu výtluč, těmito výtlučky vniká do konstrukce vozovky voda, která narušuje krytovou vrstvu vozovky, účinky dopravy bude docházet k dalšímu prohlubování a zvětšování poruch. Do konstrukce se taktéž dostávají nečistoty, které kontaminují konstrukci. Příčinou vzniku výtlučků je působení klimatických vlivů, vody a vliv dopravy. V celém úseku se začíná objevovat počínající porucha typu miskové koleje, jejich příčinou vzniku je vliv pojezdu těžkých nákladních vozidel. V místech vyústění lesních svážnic 3L dochází k zanášení povrchu vozovky splavenou zeminou. Vozovka je částečně odvodněna do vsakovacího příkopu, ale v celém úseku lesní cesty je patrné nedostatečné nebo nefunkční odvodnění. Toto může být zapříčiněno vlivem malé propustnosti jílovitého podloží. Rozsah plošného výskytu poruch z celkové plochy úseku = 15 %, dobrý stav.

Lesní cesta U boudy, 2L, stáří vozovky 15 roků. Na lesní cestě se v celém úseku souvisle vyskytuje porucha typu miskové koleje, jejich příčinou vzniku je vliv pojezdu těžkých nákladních vozidel. Ve středu vozovky je souvislý pás vegetace. Povrch krytu vozovky je souvisle kontaminován zeminou, která se na vozovku dostává splaveninami z okolních pozemků.

Vozovka je částečně odvodněna do vsakovacího příkopu, ale v celém úseku lesní cesty je patrné nedostatečné a nefunkční odvodnění, které bylo ověřeno při provedení kopané sondy. Odvodnění je zarostlé vegetací. Rozsah plošného výskytu poruch z celkové plochy úseku = 60 %, špatný stav.

5.1.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem

Lesní cesta K boudě, 1L, stáří vozovky 1 rok. Jedná se o rekonstruovanou vozovku bez viditelných poruch. Vozovka je v celém úseku oboustranně odvodněna do vsakovacího příkopu, odvodnění je funkční, avšak projevuje se zde pomalé vsakování vody z důvodu malé propustnosti jílovitého podloží. Rozsah plošného výskytu poruch z celkové plochy úseku = 0 %, výborný stav.

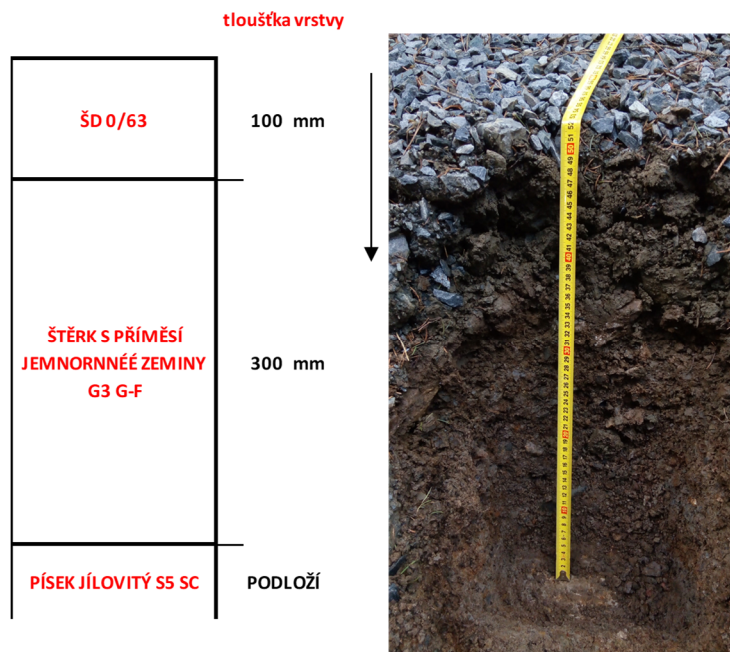
Lesní cesta Vojenská, 2L, stáří vozovky 10 roků. Na lesní cestě se lokálně v celé délce úseku vyskytuje porucha typu olamování okrajů vozovky a to zvláště v místech vyústění lesních svážnic 3L. Jako příčinu lze stanovit nevyhovující konstrukční uspořádání napojení v místech vyústění. Dále se lokálně v celé délce úseku, v okrajích vozovky, vyskytuje porucha typu podélná trhlinka široká. Vznik trhlin má příčinu při namáhání asfaltového krytu při pojezdu těžkých nákladních vozidel a vlivem stáří krytu. Vozovka je v celém úseku jednostranně odvodněna do vsakovacího příkopu, odvodnění je zarostlé vegetací a jeví se jako nedostatečné, zejména vlivem malé propustnosti jílovitého podloží. Rozsah plošného výskytu poruch z celkové plochy úseku = 11 %, dobrý stav.

Lesní cesta Hřebenská, 1L, stáří vozovky 20 roků. Na celém úseku se souvisle v celé délce úseku vyskytuje porucha typu hloubková koroze. Jako další stádium hloubkové koroze se lokálně vyskytuje porucha typu výtluč. Obě poruchy zapříčiňují vnikání vody do konstrukce vozovky, dochází k narušování jednotlivých konstrukčních vrstev, což ovlivňuje jejich spolupůsobení. Asfaltový kryt vykazuje známky konce své životnosti. Vozovka je v celé délce úseku oboustranně odvodněna do vsakovacího příkopu, odvodnění je funkční, avšak projevuje se zde pomalé vsakování vody z důvodu malé propustnosti jílovitého podloží. Odvodnění je zarostlé vegetací. Krajnice vozovky je zvýšená a nezpevněná, což zpomaluje odtok vody z povrchu vozovky. Rozsah plošného výskytu poruch z celkové plochy úseku = 100 %, havarijní stav.

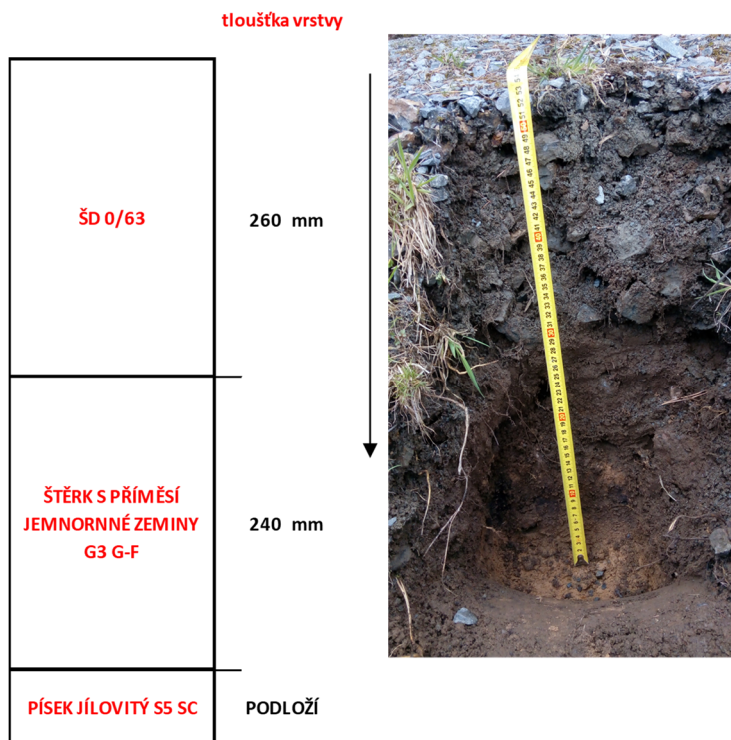
5.2 Geotechnické kopané sondy

5.2.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva

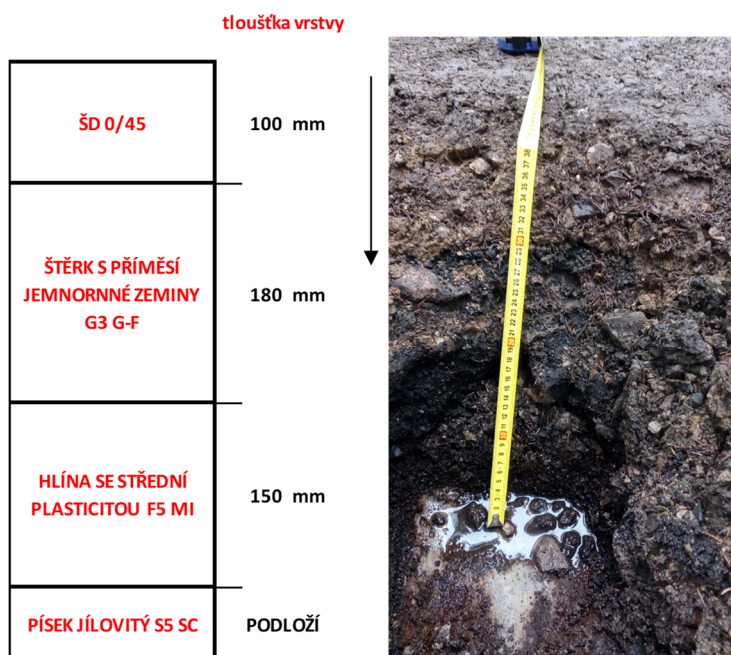
Následující obrázky č. 11, 12, 13 znázorňují dokumentaci zjištěné konstrukční skladby vybraných úseků lesních cest s krytem z nestmeleného kameniva. Součástí obrázku je i grafické znázornění tloušťek jednotlivých konstrukčních vrstev včetně specifikace použitých materiálů a podloží vozovky.



Obrázek 23 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty U boudy / stáří 6 měsíců



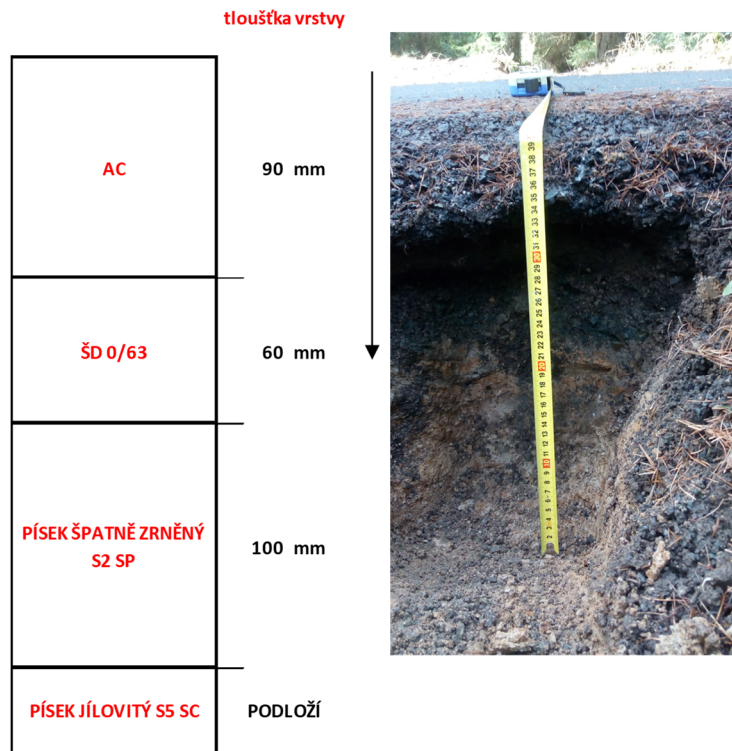
Obrázek 24 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty V loužku / stáří 4 roky



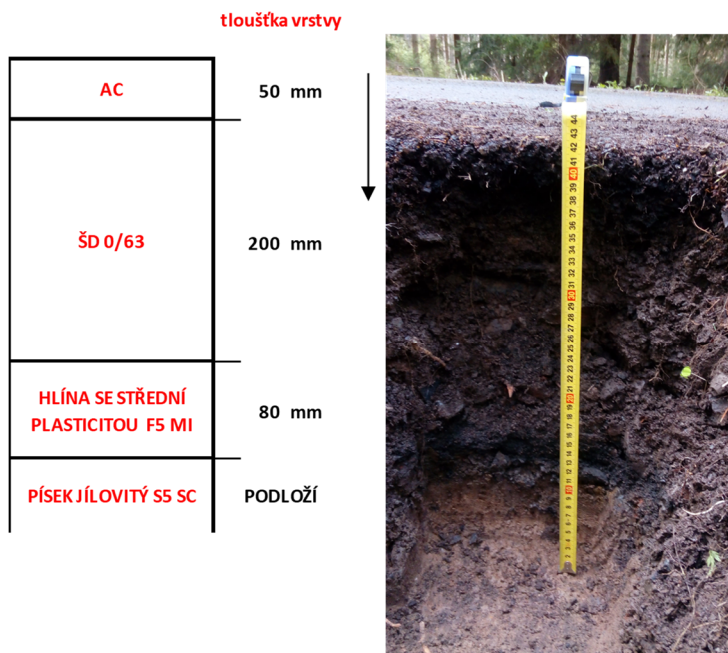
Obrázek 25 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty U boudy / stáří 15 roků

5.2.2 Lesní cesty s asfaltbetonovým krytem

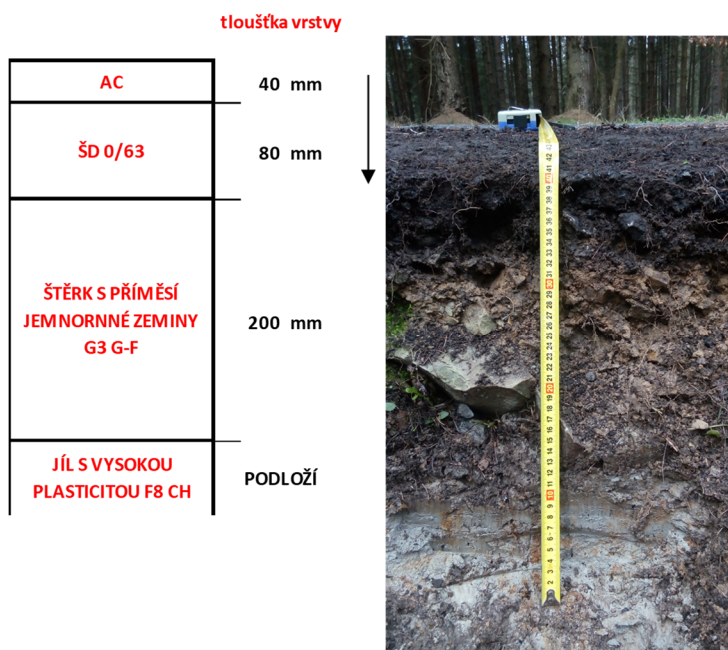
Následující obrázky č. 14, 15, 16 znázorňují dokumentaci zjištěné konstrukční skladby vybraných úseků lesních cest se asfaltbetonovým krytem. Součástí obrázku je i grafické znázornění tloušťek jednotlivých konstrukčních vrstev včetně specifikace použitých materiálů a podloží vozovky.



Obrázek 26 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty K boudě / stáří 1 rok



Obrázek 27 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty Vojenská / stáří 10 roků



Obrázek 28 – Dokumentace konstrukční skladby lesní cesty Hřebenská / stáří 20 roků

5.2.3 Zatřídění zemin

Zeminy z provedených geotechnických kopaných sond byly podle normy ČSN 73 6233 vizuálně zatříděny podle vhodnosti použití do násypu a pro podloží vozovky (pro aktivní zónu).

Štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy G3 G-F lze specifikovat jako vhodný do násypu i pro podloží vozovky.

Písek jílovitý S5 SC lze specifikovat jako podmíněčně vhodný do násypu i pro podloží vozovky.

Hlína se střední plasticitou F5 MI lze specifikovat jako podmíněčně vhodnou do násypu a nevhodnou pro podloží vozovky.

Písek špatně zrněný S2 SP lze specifikovat jako podmíněčně vhodný do násypu i pro podloží vozovky.

Jíl s vysokou plasticitou F8 CH lze specifikovat jako nevhodný do násypu i pro podloží vozovky.

5.3 Georadarové měření vozovky

5.3.1 Lesní cesty s krytem z nestmeleného kameniva

Tabulka č. 4 uvádí minimální, maximální a průměrné naměřené hodnoty tloušťek krytu (obrusné vrstvy) lesních cest s krytem z nestmeleného kameniva.

Tabulka 4 – Tloušťky krytu lesních cest s krytem z nestmeleného kameniva

KRYT Z NESTMELENÉHO KAMENIVA	MIN [mm]	MAX [mm]	PRŮMĚR [mm]
Lesní cesta U boudy, 2L, stáří vozovky 6 měsíců	85	132	108
Lesní cesta V loužku, 2L, stáří vozovky 4 roky	245	312	265
Lesní cesta U boudy, 2L, stáří vozovky 15 roků	76	146	103

5.3.2 Lesní cesty s asfaltobetonovým krytem

Tabulka č. 5 uvádí minimální, maximální a průměrné naměřené hodnoty tloušťek krytu (obrusné vrstvy) lesních cest s asfaltobetonovým krytem.

Tabulka 5 – Tloušťky krytu lesních cest s asfaltobetonovým krytem

ASFALTOBETONOVÝ KRYT	MIN [mm]	MAX [mm]	PRŮMĚR [mm]
Lesní cesta K boudě, 1L, stáří vozovky 1 rok	56	90	63
Lesní cesta Vojenská, 2L, stáří vozovky 10 roků	36	93	69
Lesní cesta Hřebenská, 1L, stáří vozovky 20 roků	24	59	39

5.4 Měření únosnosti vozovky

Hodnoty průhybu naměřené na geofonu y_0 ovlivňují všechny konstrukční vrstvy včetně podloží, průhyb na geofonu y_{900} ovlivňují pouze podkladní vrstvy s podložím a průhyb měřený na geofonu y_{2100} ovlivňuje pouze materiál podloží. Pro vyhodnocení průhybů a modulů pružnosti vozovky byl použit aritmetický průměr a 85 % kvantil všech naměřených a vypočtených hodnot.

5.4.1 Lesní cesty se krytem z nestmeleného kameniva

Tabulky č. 6, 7, 8 znázorňují naměřené průhyby vozovky s krytem z nestmeleného kameniva při zatížení 50 kN a teplotě 20°C. Dále znázorňují zpětně vypočtené moduly pružnosti konstrukčních vrstev vozovky. Všechny naměřené a vypočtené hodnoty jsou statisticky zpracovány.

Tabulka 6 – Výsledky měření únosnosti lesní cesta U boudy / 6 měsíců

ÚNOSNOST VOZOVKY												
Lesní cesta: U boudy; 2L; kryt z nestmeleného kameniva; stáří vozovky 6 měsíců												
Staničení [km]	Průhyby při zatěžovací síle 50 kN a teplotě 20°C [μm]									Moduly pružnosti vrstev [MPa]		
	Y ₀	Y ₃₀₀	Y ₄₅₀	Y ₆₀₀	Y ₉₀₀	Y ₁₂₀₀	Y ₁₅₀₀	Y ₁₈₀₀	Y ₂₁₀₀	Kryt	Podkladní	Podloží
0,000	1630	604	310	184	61	26	16	13	9	520	46	105
0,025	1611	585	265	117	36	25	10	9	13	599	37	163
0,050	1976	610	297	124	29	28	20	10	20	348	37	131
0,075	2098	798	304	128	44	35	37	33	36	498	25	156
0,100	2161	947	483	214	45	15	19	26	23	696	20	121
0,125	1676	645	318	119	34	26	22	19	25	671	32	158
0,150	1717	662	307	134	36	24	22	16	16	641	31	152
0,175	1678	444	190	99	13	10	15	15	14	302	50	180
0,200	1954	488	194	94	17	12	19	19	24	242	43	177
Průměr	1833	643	296	135	35	22	20	18	20	502	36	149
Minimum	1611	444	190	94	13	10	10	9	9	242	20	105
Maximum	2161	947	483	214	61	35	37	33	36	696	50	180
85% kvantil	2074	771	316	174	45	28	22	25	25	311	26	123

Hodnoty průhybů celé konstrukce vozovky lesní cesty U boudy (stáří 6 měsíců) včetně podloží činí 2,074 mm, průhyb podkladní vrstvy s podložím činí 0,045 mm a průhyb podloží vozovky činí 0,025 mm. Zpětně vypočtený modul pružnosti krytu vozovky (šterk) činí 311 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 400 MPa. Tato hodnota je dosažena pouze při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kde činí 502 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podkladní vrstvy vozovky (šterk s příměsí) činí 26 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 80 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kdy činí 36 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podloží vozovky (písek jílovitý) činí 123 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 50 MPa. Tato hodnota je dosažena.

Při vyhodnocení jednotlivých měřících bodů se nevyhovující hodnoty únosnosti krytu vyskytují ve staničení km 0,050; 0,175; 0,200. Ve všech případech se vyskytují nevyhovující hodnoty únosnosti podkladní vrstvy. Podloží lze charakterizovat jako únosné.

Tabulka 7 – Výsledky měření únosnosti lesní cesta V Loužku / 4 roky

ÚNOSNOST VOZOVKY												
Lesní cesta: V Loužku; 2L; kryt z nestmeleného kameniva; stáří vozovky 4 roky												
Staničení [km]	Průhyby při zatěžovací síle 50 kN a teplotě 20°C [μm]									Moduly pružnosti vrstev [MPa]		
	Y ₀	Y ₃₀₀	Y ₄₅₀	Y ₆₀₀	Y ₉₀₀	Y ₁₂₀₀	Y ₁₅₀₀	Y ₁₈₀₀	Y ₂₁₀₀	Kryt	Podkladní	Podloží
0,000	1432	660	397	239	89	37	17	16	11	263	21	132
0,025	1441	540	241	119	24	13	13	12	4	207	22	507
0,050	1362	572	288	147	40	21	17	16	17	243	21	305
0,075	1479	718	392	216	64	28	13	11	8	265	15	259
0,100	1343	632	356	205	100	62	43	34	26	264	29	107
0,125	1082	381	203	112	36	14	15	11	11	261	42	251
0,150	1441	494	249	127	41	21	17	12	16	191	31	229
0,175	1480	605	306	159	54	21	15	14	9	218	21	241
0,200	1094	433	255	158	76	36	21	17	16	276	50	134
Průměr	1350	559	299	165	58	28	19	16	13	243	28	241
Minimum	1082	381	203	112	24	13	13	11	4	191	15	107
Maximum	1480	718	397	239	100	62	43	34	26	276	50	507
85% kvantil	1471	654	385	214	87	36	20	17	17	209	21	132

Hodnoty průhybů celé konstrukce vozovky lesní cesty V loužku včetně podloží činí 1,471 mm, průhyb podkladní vrstvy s podložím činí 0,087 mm a průhyb podloží vozovky činí 0,017 mm. Zpětně vypočtený modul pružnosti krytu vozovky (šterk) činí 209 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 400 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kde činí 243 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podkladní vrstvy vozovky (šterk s příměsí) činí 21 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 80 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kdy činí 28 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podloží vozovky (písek jílovitý) činí 132 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 50 MPa. Tato hodnota je dosažena.

Při vyhodnocení jednotlivých měřících bodů se nevyhovující hodnoty únosnosti krytu vyskytují ve všech případech. Ve všech případech jsou taktéž nevyhovující hodnoty únosnosti podkladní vrstvy. Podloží lze charakterizovat jako únosné.

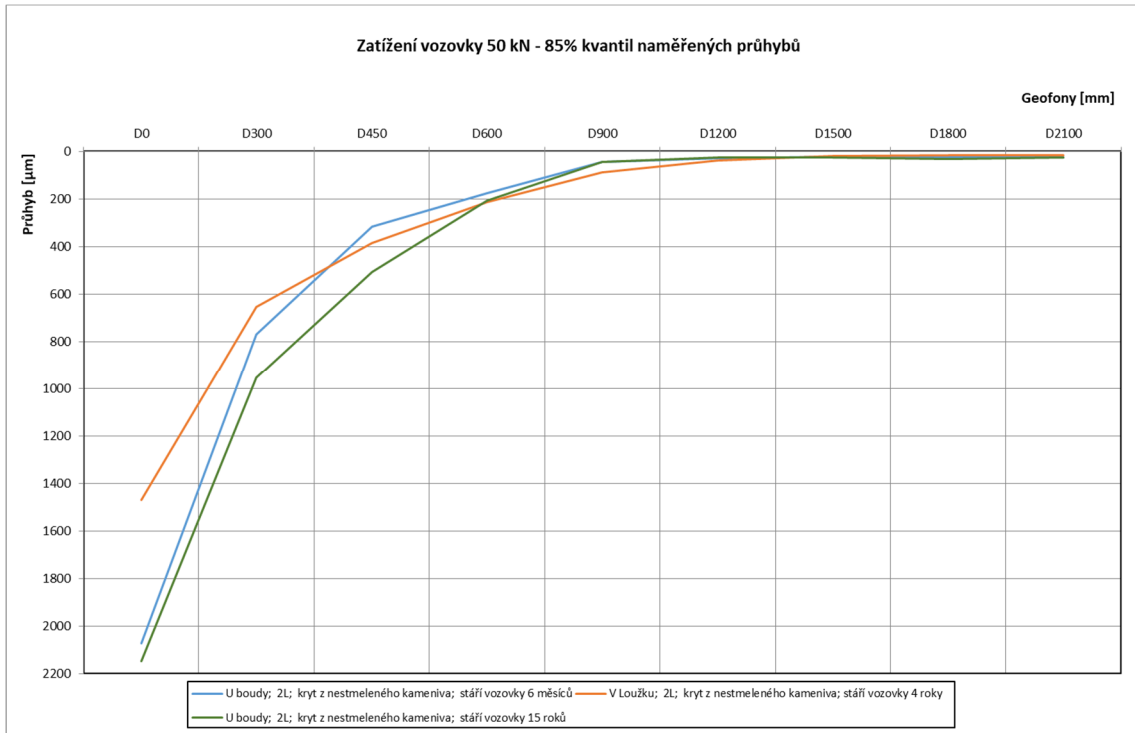
Tabulka 8 – Výsledky měření únosnosti lesní cesta U boudy / 15 roků

ÚNOSNOST VOZOVKY												
Lesní cesta: U boudy; 2L; kryt z nestmeleného kameniva; stáří vozovky 15 roků												
Staničení [km]	Průhyby při zatěžovací síle 50 kN a teplotě 20°C [μm]									Moduly pružnosti vrstev [MPa]		
	Y ₀	Y ₃₀₀	Y ₄₅₀	Y ₆₀₀	Y ₉₀₀	Y ₁₂₀₀	Y ₁₅₀₀	Y ₁₈₀₀	Y ₂₁₀₀	Kryt	Podkladní	Podloží
0,000	2116	700	366	201	39	41	49	33	53	201	33	95
0,025	2157	959	528	191	17	12	19	36	17	392	13	200
0,050	2110	784	439	207	11	11	15	15	13	291	21	124
0,075	2013	682	335	142	31	23	27	20	15	246	27	139
0,100	1835	727	355	136	29	27	16	19	22	356	22	179
0,125	2100	1001	516	263	52	19	15	15	26	424	14	134
0,150	1893	858	421	183	23	16	15	17	26	436	16	210
0,175	2032	891	384	147	10	6	12	12	13	381	14	367
0,200	2197	935	475	181	44	24	27	23	19	335	16	148
Průměr	2050	837	424	184	28	20	22	21	23	340	20	177
Minimum	1835	682	335	136	10	6	12	12	13	201	13	95
Maximum	2197	1001	528	263	52	41	49	36	53	436	33	367
85% kvantil	2149	954	508	206	43	27	27	31	26	255	14	126

Hodnoty průhybů celé konstrukce vozovky lesní cesty U boudy (stáří 15 roků) včetně podloží činí 2,149 mm, průhyb podkladní vrstvy s podložím činí 0,043 mm a průhyb podloží vozovky činí 0,026 mm. Zpětně vypočtený modul pružnosti krytu vozovky (šterk) činí 255 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 400 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kde činí 340 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podkladní vrstvy vozovky (šterk s příměsí) činí 14 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 80 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kdy činí 20 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podloží vozovky (písek jílovitý) činí 126 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 50 MPa. Tato hodnota je dosažena.

Při vyhodnocení jednotlivých měřících bodů se vyhovující hodnoty únosnosti krytu vyskytují pouze ve staničení km 0,125; 0,150. Ve všech případech se vyskytují nevyhovující hodnoty únosnosti podkladní vrstvy. Podloží lze charakterizovat jako únosné.

Graf 1 znázorňuje průběh křivky jako 85 % kvantil naměřených průhybů vozovek s krytem z nestmeleného kameniva.



Graf 1 – 85 % kvantil naměřených průhybů vozovek s krytem z nestmeleného kameniva

5.4.2 Lesní cesty s asfaltbetonovým krytem

Tabulky č. 9, 10, 11 znázorňují naměřené průhyby vozovky s asfaltbetonovým krytem při zatížení 50 kN a teplotě 20°C. Dále znázorňují vypočtené moduly pružnosti konstrukčních vrstev vozovky. Všechny naměřené a vypočtené hodnoty jsou statisticky zpracovány.

Tabulka 9 – Výsledky měření únosnosti lesní cesty K boudě / 1 rok

ÚNOSNOST VOZOVKY												
Lesní cesta: K boudě; 1L; asfaltobetonový kryt; stáří vozovky 1 rok												
Staničení [km]	Průhyby při zatěžovací síle 50 kN a teplotě 20°C [μm]									Moduly pružnosti vrstev [MPa]		
	Y ₀	Y ₃₀₀	Y ₄₅₀	Y ₆₀₀	Y ₉₀₀	Y ₁₂₀₀	Y ₁₅₀₀	Y ₁₈₀₀	Y ₂₁₀₀	Kryt	Podkladní	Podloží
0,000	1156	688	456	283	116	31	19	14	12	6383	14	95
0,025	1088	640	438	270	132	61	42	35	29	5351	42	70
0,050	1189	763	528	355	158	77	54	40	36	6609	27	59
0,075	993	620	434	290	125	59	41	36	30	7578	32	73
0,100	655	430	312	223	124	68	50	39	34	6370	584	80
0,125	894	542	381	258	119	64	46	36	34	6158	108	72
0,150	668	437	319	223	114	65	45	37	31	8706	310	81
0,175	839	494	338	223	104	60	42	33	28	5787	115	82
0,200	760	439	300	201	94	56	41	32	27	5192	191	89
Průměr	916	561	390	259	121	60	42	33	29	6459	158	78
Minimum	655	430	300	201	94	31	19	14	12	5192	14	59
Maximum	1189	763	528	355	158	77	54	40	36	8706	584	95
85% kvantil	1142	678	453	288	130	67	50	39	34	5438	28	71

Hodnoty průhybů celé konstrukce vozovky lesní cesty K boudě včetně podloží činí 1,142 mm, průhyb podkladní vrstvy s podložím činí 0,130 mm a průhyb podloží vozovky činí 0,034 mm. Zpětně vypočtený modul pružnosti krytu vozovky (asfaltový beton) činí 5438 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 5500 MPa. Tato hodnota je dosažena pouze při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kde činí 6459 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podkladní vrstvy vozovky (štěrka) činí 28 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 400 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kdy činí 158 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podloží vozovky (písek jílovitý) činí 71 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 50 MPa. Tato hodnota je dosažena.

Při vyhodnocení jednotlivých měřících bodů se nevyhovující hodnoty únosnosti krytu vyskytují ve staničení km 0,025; 0,200. Vyhovující hodnoty únosnosti podkladní vrstvy se vyskytují pouze ve staničení km 0,100. Podloží lze charakterizovat jako únosné.

Tabulka 10 – Výsledky měření únosnosti lesní cesty Vojenská / 10 roků

ÚNOSNOST VOZOVKY												
Lesní cesta: Vojenská; 2L; asfaltobetonový kryt; stáří vozovky 10 roků												
Staničení [km]	Průhyby při zatěžovací síle 50 kN a teplotě 20°C [μm]									Moduly pružnosti vrstev [MPa]		
	Y ₀	Y ₃₀₀	Y ₄₅₀	Y ₆₀₀	Y ₉₀₀	Y ₁₂₀₀	Y ₁₅₀₀	Y ₁₈₀₀	Y ₂₁₀₀	Kryt	Podkladní	Podloží
0,000	1496	664	406	244	95	44	29	23	21	3705	54	74
0,025	1530	646	368	220	77	35	26	16	13	3479	47	84
0,050	1249	462	247	134	55	30	20	15	11	3101	62	123
0,075	1367	527	304	179	65	31	24	19	10	2762	65	96
0,100	1383	587	320	173	70	39	29	24	17	4108	46	102
0,125	1409	637	371	231	130	81	53	42	37	3031	77	70
0,150	1431	714	427	261	134	78	55	44	36	4568	61	65
0,175	1479	676	393	221	97	46	38	27	23	4352	46	81
0,200	1535	724	452	298	118	67	62	39	36	3446	67	60
Průměr	1431	626	365	218	93	50	37	28	22	3617	58	84
Minimum	1249	462	247	134	55	30	20	15	10	2762	46	60
Maximum	1535	724	452	298	134	81	62	44	37	4568	77	123
85% kvantil	1523	707	423	258	128	76	54	41	36	3045	47	66

Hodnoty průhybů celé konstrukce vozovky lesní cesty Vojenská včetně podloží činí 1,523 mm, průhyb podkladní vrstvy s podložím činí 0,128 mm a průhyb podloží vozovky činí 0,036 mm. Zpětně vypočtený modul pružnosti krytu vozovky (asfaltový beton) činí 3045 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 5500 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kde činí 3617 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podkladní vrstvy vozovky (štěrka) činí 47 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 400 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kdy činí 58 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podloží vozovky (písek jílovitý) činí 66 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 50 MPa. Tato hodnota je dosažena.

Při vyhodnocení jednotlivých měřících bodů se nevyhovující hodnoty únosnosti krytu vyskytují ve všech případech. Ve všech případech jsou taktéž nevyhovující hodnoty únosnosti u podkladní vrstvy. Podloží lze charakterizovat jako únosné.

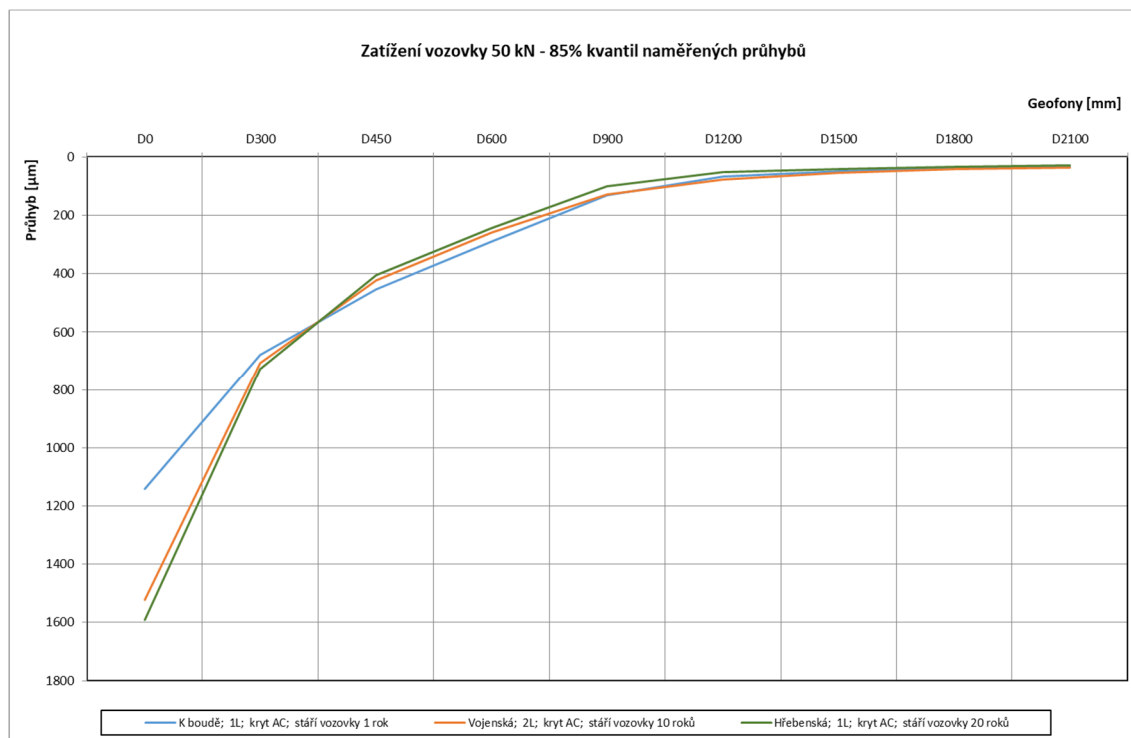
Tabulka 11 – Výsledky měření únosnosti lesní cesty Hřebenská / 20 roků

ÚNOSNOST VOZOVKY												
Lesní cesta: Hřebenská; 1L; asfaltobetonový kryt; stáří vozovky 20 roků												
Staničení [km]	Průhyby při zatěžovací síle 50 kN a teplotě 20°C [μm]									Moduly pružnosti vrstev [MPa]		
	Y ₀	Y ₃₀₀	Y ₄₅₀	Y ₆₀₀	Y ₉₀₀	Y ₁₂₀₀	Y ₁₅₀₀	Y ₁₈₀₀	Y ₂₁₀₀	Kryt	Podkladní	Podloží
0,000	1311	532	296	159	60	34	19	14	17	7110	35	107
0,025	1315	425	221	101	39	15	15	13	16	4732	35	142
0,050	1223	589	389	250	108	50	42	36	36	4666	195	69
0,075	1009	440	259	149	79	51	30	20	17	7669	93	105
0,100	1396	556	312	168	66	39	28	25	23	6011	38	97
0,125	1321	579	351	221	91	50	36	30	24	5517	84	77
0,150	1299	613	353	221	102	57	43	36	31	7882	59	78
0,175	1750	759	409	221	88	52	28	30	23	6275	22	80
0,200	1640	754	451	273	91	30	18	14	14	7896	24	74
Průměr	1363	583	338	196	81	42	29	24	22	6417	65	92
Minimum	1009	425	221	101	39	15	15	13	14	4666	22	69
Maximum	1750	759	451	273	108	57	43	36	36	7896	195	142
85% kvantil	1591	725	405	244	100	52	40	35	29	4889	27	74

Hodnoty průhybů celé konstrukce vozovky lesní cesty Hřebenská včetně podloží činí 1,591 mm, průhyb podkladní vrstvy s podložím činí 0,100 mm a průhyb podloží vozovky činí 0,029 mm. Zpětně vypočtený modul pružnosti krytu vozovky (asfaltový beton) činí 4889 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 5500 MPa. Tato hodnota je dosažena pouze při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kde činí 6417 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podkladní vrstvy vozovky (štěrk) činí 27 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 400 MPa. Tato hodnota není dosažena ani při vyhodnocení aritmetickým průměrem, kdy činí 65 MPa. Vypočítaný modul pružnosti podloží vozovky (jíl) činí 74 MPa. Podle TP 170 by tato hodnota měla dosahovat minimálně 45 MPa. Tato hodnota je dosažena.

Při vyhodnocení jednotlivých měřících bodů se nevyhovující hodnoty únosnosti krytu vyskytují ve staničení km 0,025; 0,050. Ve všech případech se vyskytují nevyhovující hodnoty únosnosti podkladní vrstvy. Podloží lze charakterizovat jako únosné.

Graf 2 znázorňuje průběh křivky jako 85 % kvantil naměřených průhybů vozovek s asfaltobetonovým krytem.



Graf 2 – 85 % kvantil naměřených průhybů vozovek s asfaltobetonovým krytem

Tabulky č. 12, 13, 14 znázorňují vypočtené hodnoty ekvivalentního modulu pružnosti E_{ekv} , na jejichž základě se v každém měřeném bodu přidělí klasifikační stupeň a charakteristika únosnosti. Podle TP 1/2009 platných na území Slovenska jsou hodnoty ekvivalentního modulu pružnosti E_{ekv} menší než 400 MPa charakterizovány jako nevyhovující s klasifikačním stupeň 5. Na základě vypočtených hodnot indexů SCI a BCI a hodnoty průhybu na geofonu y_{1500} je v tabulce uvedeno slovní vyhodnocení únosnosti vozovky.

Tabulka 12 – Vyhodnocení únosnosti lesní cesty K boudě / 1 rok

Lesní cesta: K boudě; 1L; asfaltobetonový kryt; stáří vozovky 1 rok					
Staničení [km]	E _{EKV} [MPa]	SCI [mm]	Y _{1500 (50,T20)} [mm]	BCI [mm]	Vyhodnocení únosnosti
0,000	161	0,468	0,019	0,425	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,025	171	0,448	0,042	0,377	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,050	156	0,426	0,054	0,451	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,075	187	0,373	0,041	0,376	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,100	284	0,224	0,050	0,245	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,125	208	0,352	0,046	0,316	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,150	279	0,231	0,045	0,254	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,175	222	0,345	0,042	0,277	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,200	245	0,321	0,041	0,244	vozovka neúnosná, podloží únosné

Hodnoty únosnosti vyjádřené E_{ekv} na lesní cestě K boudě jsou ve všech měřených bodech charakterizovány jako nevyhovující. Na základě hodnoty indexů SCI a BCI a hodnoty průhybu na geofonu y₁₅₀₀ lze konstrukci vozovky vyhodnotit jako neúnosnou a podloží jako únosné.

Tabulka 13 – Vyhodnocení únosnosti lesní cesty Vojenská / 10 roků

Lesní cesta: Vojenská; 2L; asfaltobetonový kryt; stáří vozovky 10 roků					
Staničení [km]	E _{EKV} [MPa]	SCI [mm]	Y _{1500 (50,T20)} [mm]	BCI [mm]	Vyhodnocení únosnosti
0,000	124	0,832	0,029	0,361	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,025	122	0,884	0,026	0,333	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,050	149	0,787	0,020	0,217	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,075	136	0,840	0,024	0,273	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,100	135	0,796	0,029	0,281	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,125	132	0,771	0,053	0,289	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,150	130	0,716	0,055	0,348	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,175	126	0,803	0,038	0,347	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,200	121	0,811	0,062	0,386	vozovka neúnosná, podloží únosné

Hodnoty únosnosti vyjádřené E_{ekv} na lesní cestě Vojenská jsou ve všech měřených bodech charakterizovány jako nevyhovující. Na základě hodnoty indexů SCI a BCI a hodnoty průhybu na geofonu y₁₅₀₀ lze konstrukci vozovky vyhodnotit jako neúnosnou a podloží jako únosné.

Tabulka 14 – Vyhodnocení únosnosti lesní cesty Hřebenská / 20 roků

Lesní cesta: Hřebenská; 1L; asfaltobetonový kryt; stáří vozovky 20 roků					
Staničení [km]	E_{EKV} [MPa]	SCI [mm]	$y_{1500 (50,T20)}$ [mm]	BCI [mm]	Vyhodnocení únosnosti
0,000	142	0,778	0,019	0,262	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,025	142	0,890	0,015	0,205	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,050	152	0,634	0,042	0,339	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,075	184	0,569	0,030	0,208	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,100	133	0,840	0,028	0,273	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,125	141	0,742	0,036	0,301	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,150	143	0,686	0,043	0,296	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,175	106	0,991	0,028	0,357	vozovka neúnosná, podloží únosné
0,200	113	0,887	0,018	0,421	vozovka neúnosná, podloží únosné

Hodnoty únosnosti vyjádřené E_{ekv} na lesní cestě Hřebenská jsou ve všech měřených bodech charakterizovány jako nevyhovující. Na základě hodnoty indexů SCI a BCI a hodnoty průhybu na geofonu y_{1500} lze konstrukci vozovky vyhodnotit jako neúnosnou a podloží jako únosné.

6 Diskuse

V následující části by měly být výsledky výzkumu porovnávány s poznatky a závěry jiných autorů. Vzhledem k tomu že měření únosnosti vozovek a zvláště pak vozovek lesních cest je specifická činnost, představují naměřené, zjištěné a vypočtené výsledky soubor informací, které není možné v tomto případě porovnat s hodnotami získanými na vozovkách jiných lesních cest. Dalším specifikem je skutečnost, že se vždy vyhodnocuje aktuální stav vozovky, který je ovlivněn velkým množstvím proměnných parametrů. Proměnné parametry při zjišťování únosnosti jsou dopravní zatížení, klimatické vlivy, druh a rozsah konstrukčních poruch a stárnutí materiálu. Měření je také zatíženo mnoha nejistotami, vyhodnocení vyžaduje zkušenosti a zahrnutí všech dalších informací zjištěných při diagnostickém průzkumu. Důležitá je samozřejmě i znalost konstrukce vozovky, výsledky jsou závislé na přesnosti zadaných tloušťkách vrstev počítaného poloprostoru, což je při časté variabilitě skutečných tloušťek vrstev vozovky nelehké. U naměřených hodnot za různých klimatických podmínek, v různém ročním období se také mění pevnostní a deformační charakteristiky materiálů vrstev. Všechny výpočty jsou tedy znovu přepočítány na návrhovou teplotu 20°C. Měření spočívá v principu

zatěžování vozovky rázovým impulzem, které simuluje přejezd nákladního vozidla přes měřený bod, samotná únosnost se však neměří, ale vyhodnocuje se na základě naměřených hodnot odezvy na zatížení vozovky.

Modul pružnosti lze definovat jako jeden z parametrů každého materiálu, který se používá v konstrukci vozovky. Z provedeného měření je patrný rozdíl naměřených průhybů vozovky, což je zřejmé i v následně vypočtených modulech pružnosti stejného materiálu v podélném profilu vozovky. Rozdíl je často natolik velký, že nelze definovat modul pružnosti jako konstantní vlastnost konkrétního materiálu. Ale většina současných návrhových metod konstrukcí vozovek, je založena právě na znalosti deformačních charakteristik (modulů pružnosti) materiálů jednotlivých konstrukčních vrstev a podloží.

Vypočtené moduly pružnosti konstrukčních vrstev a podloží lze porovnat podle modulů pružnosti, které jsou charakterizovány v TP 170 jako minimální návrhové hodnoty modulu pružnosti pro asfaltové směsi a netuhé konstrukční vrstvy. Návrhový modul pružnosti podloží nelze zaměňovat se statickým modulem přetvárnosti, který je uváděn jako požadavek na zhutnění podloží v katalogových listech. Pokud modul pružnosti vztáhneme k podloží, pak reprezentuje chování podloží pod vozovkou za průměrných podmínek během doby životnosti vozovky. Je to dynamická veličina, která odpovídá napětí na povrchu podloží pod hotovou vozovkou. Statický modul přetvárnosti reprezentuje vhodnost použitého materiálu podloží a jeho dostatečného zhutnění za podmínek během stavby. Pro oba moduly neexistuje žádná obecná korelace.

Podle TP 170 je minimální návrhová hodnota pružnosti asfaltových směsí, kvalitativně odpovídající směsím používaných ve vozovkách lesních cest 5500 MPa. Minimální návrhové hodnoty pružnosti netuhých konstrukčních vrstev: ŠD = 400 MPa, zeminy třídy G-F = 80 MPa, zeminy třídy SC = 50 MPa, zeminy třídy MI = 45 MPa, zeminy třídy SP = 80 MPa, zeminy třídy CH = 45 MPa.

Stanovení modulu pružnosti konstrukce a podloží zařízením FWD je v současnosti často využíváno, pro svoji jednoduchost a rychlost této zkoušky. Mechanická účinnost konstrukce vozovky je následně vypočítaná na základě naměřených průhybů, je závislá na proměnných parametrech, konstrukční skladbě vozovky a míře spolupůsobení vrstev na jejich styku

ve vozovce, deformačních vlastnostech materiálů jednotlivých konstrukčních vrstev vozovky, únosnosti a vlastnosti zeminy podloží.

7 Závěr

Problematika únosnosti vozovek specifikovanou jako odolnost konstrukce vozovky vůči účinkům statického a dynamického zatížení charakterizuje několik parametrů. Používá se poměr pevnosti a napětí materiálu v konstrukční vrstvě, ale i poměr přípustného a poměrného přetvoření v této vrstvě. Při zjišťování mechanické účinnosti vozovky se z praktického hlediska upřednostňuje měření deformačních vlastností celé konstrukce. S využitím teoretického řešení vztahu mezi zatížením a deformací lze vypočítat modul pružnosti, který charakterizuje několikvrstvý poloprostor. Existuje mnoho programů, který tento výpočet provádí a pravděpodobně každý vlastník FWD používá jiný. Velký význam při výpočtu má jak předběžné, tak následné zpracování vstupních a výstupních dat, kdy tyto činnosti nejsou zdaleka sjednoceny a v neposlední řadě i odlišnosti v samotném výpočetním software.

Zatížení, které vyvolá napětí závisí na typu vozovky a průběh jeho rozdělení má určité charakteristiky. Kryt vozovky je namáhán velkým tlakovým napětím v radiálním směru a velkým tlakovým napětím ve vertikálním směru. Velikost radiálního napětí je na horním hraně krytu asi dvojnásobkem dotykového tlaku, na spodní hraně krytu klesá v závislosti na tloušťce krytové vrstvy až téměř k nule. Spodní konstrukční vrstva vozovky je namáhána velmi malým napětím v radiálním směru a velmi malým napětím ve vertikálním směru, kdy velikost napětí je úměrná tuhosti těchto vrstev. Namáhání prostředních konstrukčních vrstev závisí na skladbě vozovky a zejména na modulech sousedících vrstev.

Při zjišťování únosnosti vozovky lesních cest byly měřeny úseky s krytem z nestmeleného kameniva a úseky s asfaltobetonovým krytem. Vybrány byly vozovky nacházející se ve stejné lokalitě se stejnými klimatickými vlivy, avšak různého stáří a rozdílné konstrukční skladby.

Lesní cesta U boudy s krytem vozovky z nestmeleného kameniva, jejíž stáří v době měření bylo 6 měsíců, nevykazovala žádné viditelné porušení a její stav lze hodnotit jako výborný. Použitý materiál v konstrukci lze specifikovat jako vhodný, případně podmínečně vhodný. Vrstvu krytu

lze statistickým vyhodnocením vypočtených modulů pružnosti aritmetickým průměrem hodnotit jako únosnou, při vyhodnocení 85% kvantilem jako se sníženou únosností. Kritickou vrstvou v konstrukci vozovky je podkladní vrstva, kterou lze statistickým vyhodnocením označit jako neúnosnou. Podloží lze hodnotit jako únosné. Celkovou únosnost vozovky lze hodnotit jako sníženou.

Lesní cesta V Loužku s krytem vozovky z nestmeleného kameniva, jejíž stáří v době měření byly 4 roky, vykazovala viditelné lokální i počínající souvislé poruchy a její stav lze hodnotit jako dobrý. Použitý materiál v konstrukci lze specifikovat jako vhodný, případně podmíněně vhodný. Vrstvu krytu lze statistickým vyhodnocením vypočtených modulů pružnosti aritmetickým průměrem a 85% kvantilem hodnotit jako neúnosnou. Kritickou vrstvou v konstrukci vozovky je podkladní vrstva, kterou lze statistickým vyhodnocením označit jako neúnosnou. Podloží lze hodnotit jako únosné. Celkovou únosnost vozovky lze hodnotit jako nevyhovující.

Lesní cesta U boudy s krytem vozovky z nestmeleného kameniva, jejíž stáří v době měření bylo 15 roků, vykazovala viditelné lokální i souvislé poruchy a její stav lze hodnotit jako špatný. Použitý materiál v konstrukci lze specifikovat jako vhodný, případně podmíněně vhodný. Vrstvu krytu lze statistickým vyhodnocením vypočtených modulů pružnosti aritmetickým průměrem a 85% kvantilem hodnotit jako neúnosnou. Kritickou částí v konstrukci vozovky je podkladní souvrství, které lze statistickým vyhodnocením označit jako neúnosné. Podloží lze hodnotit jako únosné. Celkovou únosnost vozovky lze hodnotit jako nevyhovující.

Asfaltbetonová vozovka lesní cesty K boudě, jejíž stáří v době měření byl 1 rok, nevykazovala žádné viditelné porušení a její stav lze hodnotit jako výborný. Použitý materiál v konstrukci lze specifikovat jako vhodný, případně podmíněně vhodný. Vrstvu krytu lze statistickým vyhodnocením vypočtených modulů pružnosti aritmetickým průměrem hodnotit jako únosnou, při vyhodnocení 85% kvantilem jako se sníženou únosností. Kritickou částí v konstrukci vozovky je podkladní souvrství, které lze statistickým vyhodnocením označit jako neúnosné. Podloží lze hodnotit jako únosné. Celkovou únosnost vozovky lze hodnotit jako sníženou.

Asfaltbetonová vozovka lesní cesty Vojenská, jejíž stáří v době měření bylo 10 roků, vykazovala viditelné lokální poruchy a její stav lze hodnotit jako dobrý. Použitý materiál v konstrukci lze specifikovat jako vhodný, případně podmíněně vhodný. Vrstvu krytu lze

statistickým vyhodnocením vypočtených modulů pružnosti aritmetickým průměrem a 85% kvantilem hodnotit jako neúnosnou. Kritickou částí v konstrukci vozovky je podkladní souvrství, které lze statistickým vyhodnocením označit jako neúnosné. Podloží lze hodnotit jako únosné. Celkovou únosnost vozovky lze hodnotit jako nevyhovující.

Asfaltobetonová vozovka lesní cesty Hřebenská, jejíž stáří v době měření bylo 20 roků, vykazovala souvislá porušení a její stav lze hodnotit jako havarijní. Použitý materiál v konstrukci lze specifikovat jako vhodný, případně podmínečně vhodný. Vrstvu krytu lze statistickým vyhodnocením vypočtených modulů pružnosti aritmetickým průměrem hodnotit jako se sníženou únosností, při vyhodnocení 85% kvantilem jako únosnou. Kritickou částí v konstrukci vozovky je podkladní souvrství, které lze statistickým vyhodnocením označit jako neúnosné. Podloží lze hodnotit jako únosné. Celkovou únosnost vozovky lze hodnotit jako sníženou.

Vozovky s asfaltobetonovým krytem, byly dále vyhodnoceny podle slovenských TP 1/2009 na základě ekvivalentního modulu pružnosti E_{ekv} a na základě vypočtených hodnot indexů SCI a BCI a hodnoty průhybu na geofonu y_{1500} . Podle E_{ekv} lze únosnost na všech úsecích charakterizovat jako nevyhovující. Podle SCI, BCI a y_{1500} lze konstrukci vozovky na všech úsecích vyhodnotit jako neúnosnou a podloží jako únosné.

Z výsledků vyplývá, že není možné stanovit moduly pružnosti jako dané konstantní vlastnosti materiálů, ale je třeba hodnotit výsledky se závěry a v kontextu celého diagnostického průzkumu. Není tedy možné brát výsledky únosnosti vozovky jako jediný parametr rozhodující o provedení případné opravy, či dokonce rekonstrukce vozovky. Únosnost vozovky je však velice důležitým ukazatelem charakterizující změny deformačních vlastností konstrukčních materiálů v průběhu životnosti vozovky. Únosnost vozovky je také jedním z důležitých ukazatelů při uplatňování systému hospodaření s vozovkou, jehož účelem je zachování nebo zlepšování vlastností vozovky při optimalizaci nákladů. Velký nedostatek lze však spatřovat ve skutečnosti, že v České republice a ani v EU není v současné době jednotná metoda v problematice výpočtových software a prozatím neexistuje ani jednotná metoda, která by sjednotila vyhodnocování mechanické účinnosti vozovky.

8 Seznam literatury a použitých zdrojů

BERCHA J., 2006: Přeprava dříví, její nesnáze a možnosti řešení. Lesnická práce 2006/9: 8.

BERCHA J., PRCHAL J., 2006: Univerzální odvozní soupravy jsou drahou variantou. Lesnická práce 2006/10: 4-5.

BINDER, R. Inžinierske stavby lesnícké III. Zväzok: Lesné železnice. Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo Bratislava, 1958. 140 s.

BRISTOW C, JOL H. Ground penetrating radar in sediments. London: Geological Society, 2003. 330 p. Geological Society special publication, no. 211. ISBN 1-86239-131-9.

Česká republika. Ministerstvo dopravy a spojů. Vyhláška č. 341/2014 Sb. ze dne 31.12.2014 o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Sbírka zákonů České republiky. 2014, částka 134. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=341/2014&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

Česká republika. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 433/2001 Sb. ze dne 13.12.2001 kterou se stanoví technické požadavky pro stavby pro plnění funkcí lesa. Sbírka zákonů České republiky. 2001, částka 162. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=433/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

Česká republika. Vláda. Zákon č. 13/1997 Sb. ze dne 21.2.1997 o pozemních komunikacích. Sbírka zákonů České republiky. 1997, částka 3. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=13/1997%20&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

Česká republika. Vláda. Zákon č. 289/1995 Sb. ze dne 15.12.1995 o lesích a o změně a doplnění některých zákonů. Sbírka zákonů České republiky. 1995, částka 76. Dostupné z http://aplikace.mvcr.cz/sbirkazakonu/SearchResult.aspx?q=289/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy.

ČSN 72 1006. Kontrola zhutnění zemin a sypanin. Praha: Český normalizační institut, 2015. 44 s.

ČSN 72 1191. Zkoušení míry namrzavosti zemin. Praha: Český normalizační institut, 2013. 12 s.

ČSN 73 1318. Stanovení pevnosti betonu v tahu. Praha: Český normalizační institut, 1987. 12 s.

ČSN 73 6100-1. Názvosloví pozemních komunikací - Část 1: Základní názvosloví. Český normalizační institut, 2008. 76 s.

ČSN 73 6101. Projektování silnic a dálnic. Praha: Český normalizační institut, 2004. 126 s.

ČSN 73 6108. Lesní cestní síť. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 44 s.

ČSN 73 6110. Projektování místních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 2006. 128 s.

ČSN 73 6114. Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování. Praha: Český normalizační institut, 1995. 28 s.

ČSN 73 6133. Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Praha: Český normalizační institut, 2010. 68 s.

ČSN 73 6160. Zkoušení asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2008. 24 s.

ČSN 73 6192. Rázové zatěžovací zkoušky vozovek a podloží. Praha: Český normalizační institut, 1996. 20 s.

ČSN CEN ISO/TS 17892-4. Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 4: Stanovení zrnitosti zemin. Praha: Český normalizační institut, 2017. 32 s.

ČSN EN 12390-3. Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Praha: Český normalizační institut, 2009. 20 s.

ČSN EN 12593. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu lámavosti podle Fraasse. Praha: Český normalizační institut, 2015. 16 s.

ČSN EN 12697-1. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 1: Obsah rozpustného pojiva. Praha: Český normalizační institut, 2012. 52 s.

ČSN EN 12697-2. Asfaltové směsi - Zkušební metody - Část 2: Stanovení zrnitosti. Praha: Český normalizační institut, 2015. 12 s.

ČSN EN 12697-27. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 27: Odběr vzorků. Praha: Český normalizační institut, 2018. 20 s.

ČSN EN 12697-36. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 36: Stanovení tloušťky asfaltové vozovky. Praha: Český normalizační institut, 2004. 12 s.

ČSN EN 12697-8. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2004. 12 s.

ČSN EN 13286-47. Nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy - Část 47: Zkušební metoda pro stanovení kalifornského poměru únosnosti, okamžitého indexu únosnosti a lineárního bobtnání. Praha: Český normalizační institut, 2012. 12 s.

ČSN EN 1426. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou. Praha: Český normalizační institut, 2015. 16 s.

ČSN EN 1427. Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí - Metoda kroužek a kulička. Praha: Český normalizační institut, 2015. 20 s.

ČSN EN 933-1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor. Praha: Český normalizační institut, 2012. 20 s.

ČSN EN 933-8+A1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 8: Posouzení jemných částic - Zkouška ekvivalentu písku. Praha: Český normalizační institut, 2016. 24 s.

ČSN EN ISO 17892-1. Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 1: Stanovení vlhkosti. Praha: Český normalizační institut, 2015. 16 s.

ČSN EN ISO 22476-2. Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 2: Dynamická penetrační zkouška. Praha: Český normalizační institut, 2005. 32 s.

DOBIÁŠ, J. Inženýrské stavby lesnické. Podklady pro cvičení. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001. 17s.

ELTESTA, Ground Penetrating Radars. Principles, Applications and Design [online]. Vilnius, 2015. [cit. 2017-11.29]. Dostupné z <http://www.eltesta.com/beta/Downloads/files/AN-1.pdf>.

FERNANDO, E a W HUDSON. Development of a prioritization procedure for the network level pavement management system. Austin: The Center, 1983. 107 p. Research report (University of Texas at Austin. Center for Transportation Research), no. 307-2.

GSCHWENDT, Ivan. Vozovky: obnova, zesilování a rekonstrukce. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-005-5.

GUCINSKI, Hermann. Forest Roads: A Synthesis of Scientific Information. Portland: U.S. Department of Agriculture, 2001, 108 s. ISBN 1428961429.

HANÁK K. a kolektiv. Lesní dopravní síť: Vybrané statě. Brno: VŠZ v Brně, 1992. 147 s. ISBN 80-7157-054-0.

HANÁK, K. a kolektiv. Technická doporučení pro lesní dopravní síť. Kostelec nad Černými lesy: Ministerstvo zemědělství ČR, 2000. 42 s. ISBN 80-86386-09-0.

HANÁK, K. Stavby pro plnění funkcí lesa. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 300 s. ISBN 978-80-87093-76-4.

JANEČEK, A. a kolektiv. Lesnická mechanizace. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002. ISBN 80-213-0945-8.

JOL, Harry M. Ground Penetrating Radar theory and applications. Oulu: Elsevier, 2008. 544 s. ISBN: 9780444533487.

KAPLAN, W. Pavement management, data storage, surface properties, and weigh-in-motion. Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 1985. 88 p. ISBN 0309039649.

KLČ, P., KRÁLIK, A. Katalóg porušení a závad na lesných cestách. Bratislava: Príroda, 1991. 84 s. ISBN 80-070-0273-1.

KUDRNA J., Diagnostika a management vozovek. Únosnost vozovek. Brno: VÚT Brno, 2007. 49 s.

KUDRNA, J. a kolektiv. TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2004. 100 s.

- KUDRNA, J. a kolektiv. TP 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2010. 103 s.
- KUDRNA, J. Diagnostika a management vozovek. Poruchy tuhých vozovek a zemního tělesa a návrh jejich údržby a oprav. Brno: VÚT Brno, 2007. 43 s.
- KUDRNA, J. Pozemní komunikace II. Navrhování vozovek. VÚT Brno, 2005. 39 s.
- KUDRNA, J. Výzkum zaměřený na navrhování, stavbu a údržbu konstrukcí vozovek pozemních komunikací. VÚT Brno, 2009. 31 s.
- LHC Dobříš - Lesy České republiky s.p. , Polesí 25 Mníšek, zkrácená textová část LHP 2008 – 2018.
- LUKÁŠOVÁ V., 2006: Doprava dřeva v nových odbytových a technologických podmínkách. Lesnická práce 2006/10: 6-7.
- LYSÝ, F. Z Šumavských lesů. 1.vyd. : Jihočeské nakladatelství České Budějovice, 1989. 256 s.
- MAKOVNÍK, Š. a kolektiv. Inženiarske stavby lesnícke. 1.vyd. Bratislava : Príroda, 1973. 710 s.
- MALIŠ, L. TP 82 Katalog poruch netuhých vozovek. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2010. 87 s.
- Ministerstvo dopravy pošt a telekomunikácií SR. TP 1/2009 Meranie a hodnotenie únosnosti asfaltových vozoviek pomocou zariadenia FWD KUAB. Bratislava, 2008.41 s.
- Ministerstvo zemědělství. Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2016. Praha, Ministerstvo zemědělství, 2017. 128 s. ISBN 978-80-7434-389-6. Dostupné z [www.http://www.uhul.cz/ke-stazeni/informace-o-lese/zelene-zpravy-mze](http://www.uhul.cz/ke-stazeni/informace-o-lese/zelene-zpravy-mze).
- NEDVĚD, J. a kolektiv. TP 233 - Georadarová metoda konstrukcí pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2011. 13 s.
- NERUDA, J. a SIMANOV V. Technika a technologie v lesnictví. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-7157-988-2. 325 s.
- NOŽIČKA, J. Přehled vývoje našich lesů. 1.vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1957. 459 s.

RICCI, A. The Falling weight deflectometer for nondestructive evaluation of rigid pavements. Austin: The Center, 1985. 87 p. Research report (University of Texas at Austin. Center for Transportation Research), no. 387-3F.

SAARENKETO, T. Electrical properties of road materials and subgrade soils and the use of Ground Penetrating Radar in traffic infrastructure surveys. Oulu: University of Oulu, 2006. ISBN 514282221

SKOUPÝ A., a kolektiv. Možné perspektivy v dopravě dříví. Lesnická práce 2006/10: 10-11.

TAKAHASHI, K. IGEL, J. PREETZ, H. Soil properties and performance of landmine detection by metal detector and ground-penetrating radar — Soil characterisation and its verification by a field test. Journal of Applied Geophysics, 2011. s. 368 – 377. ISSN: 0926-9851.

TOMÁNEK, J. Lesní cesty - cvičení. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017. 120 s. ISBN 978-80-213-2752-8.

Ústav pro hospodářskou úpravu lesa: Mapy a data. [online] Katalog mapových informací – aktualizováno 5. 1. 2017. Dostupné z <http://geoportal.uhul.cz/mapy/MapyOprl.html>.

VÉBR, L., GALLO, P. Katalog vozovek polních cest – Technické podmínky. Praha: Roadconsult, 2011. 62 s.

ZAJÍČEK, J. a kolektiv. Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT s.r.o., 2014. 394 s. ISBN 978-80-87438-59-6.

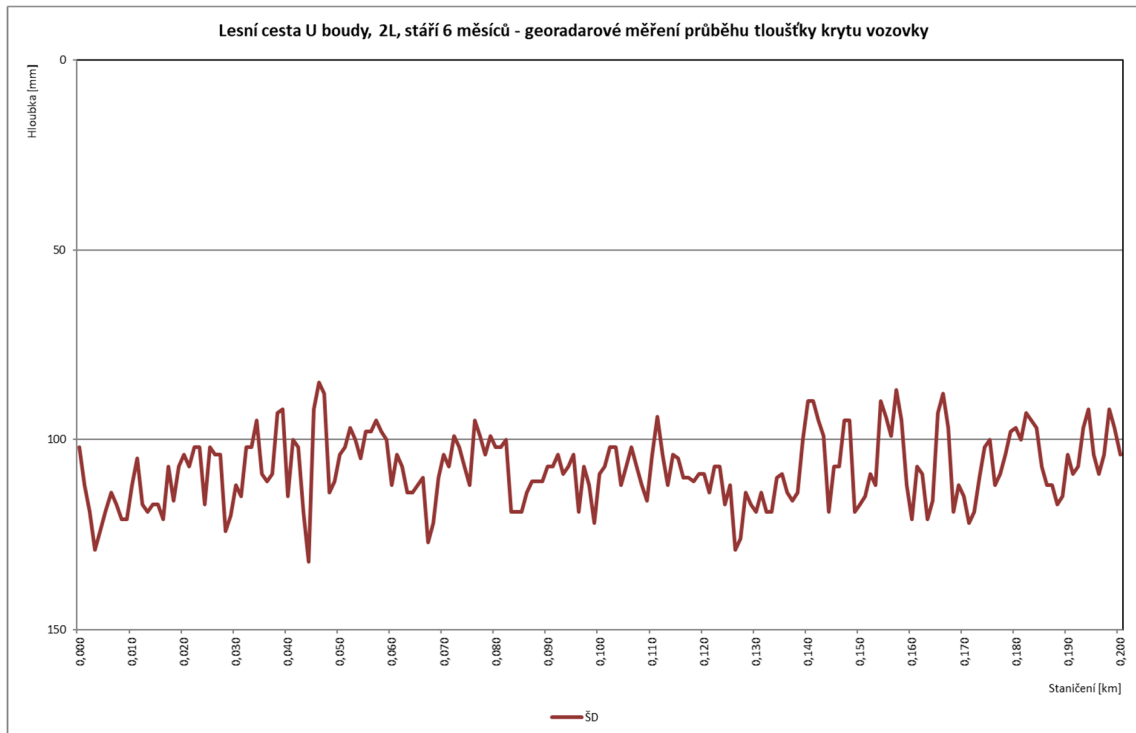
9 Přílohy

9.1 Seznam příloh

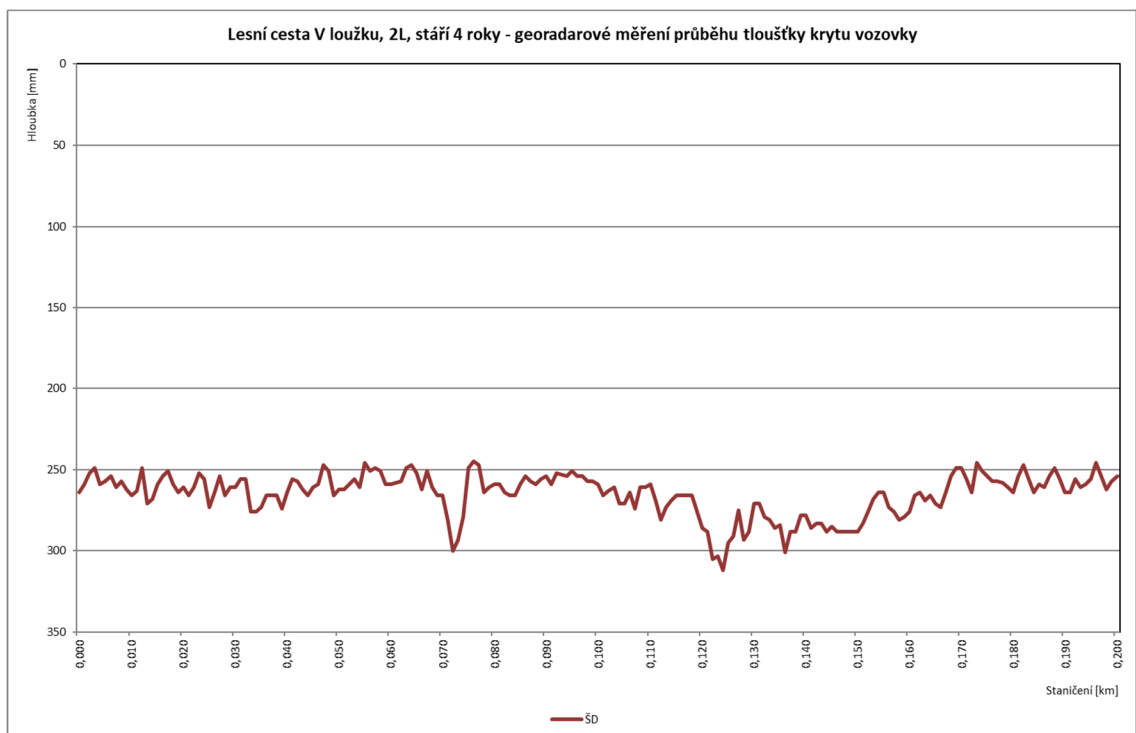
Příloha 1 – záznam georadarového měření U Boudy / 6 m	89
Příloha 2 – záznam georadarového měření lesní cesty V loužku / 4 r	89
Příloha 3 – záznam georadarového měření lesní cesty U Boudy / 15 r	90
Příloha 4 – záznam georadarového měření lesní cesty K Boudě / 1 r.....	90
Příloha 5 – záznam georadarového měření lesní cesty Vojenská / 10 r	91
Příloha 6 – záznam georadarového měření lesní cesty Hřebenská / 20 r.....	91
Příloha 7 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty U boudy / 6 m.....	92
Příloha 8 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty U boudy / 6 m.....	92
Příloha 9 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty V Loužku / 4 r.....	93
Příloha 10 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty V Loužku / 4 r.....	93
Příloha 11 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty U boudy / 15 r	94
Příloha 12 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty U boudy / 15 r	94
Příloha 13 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty K boudě / 1 r.....	95
Příloha 14 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty K boudě / 1 r.....	95
Příloha 15 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty Vojenská / 10 r	96
Příloha 16 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty Vojenská / 10 r ...	96
Příloha 17 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty Hřebenská / 20 r.....	97
Příloha 18 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty Hřebenská / 20 r.	97

9.2 Přílohy

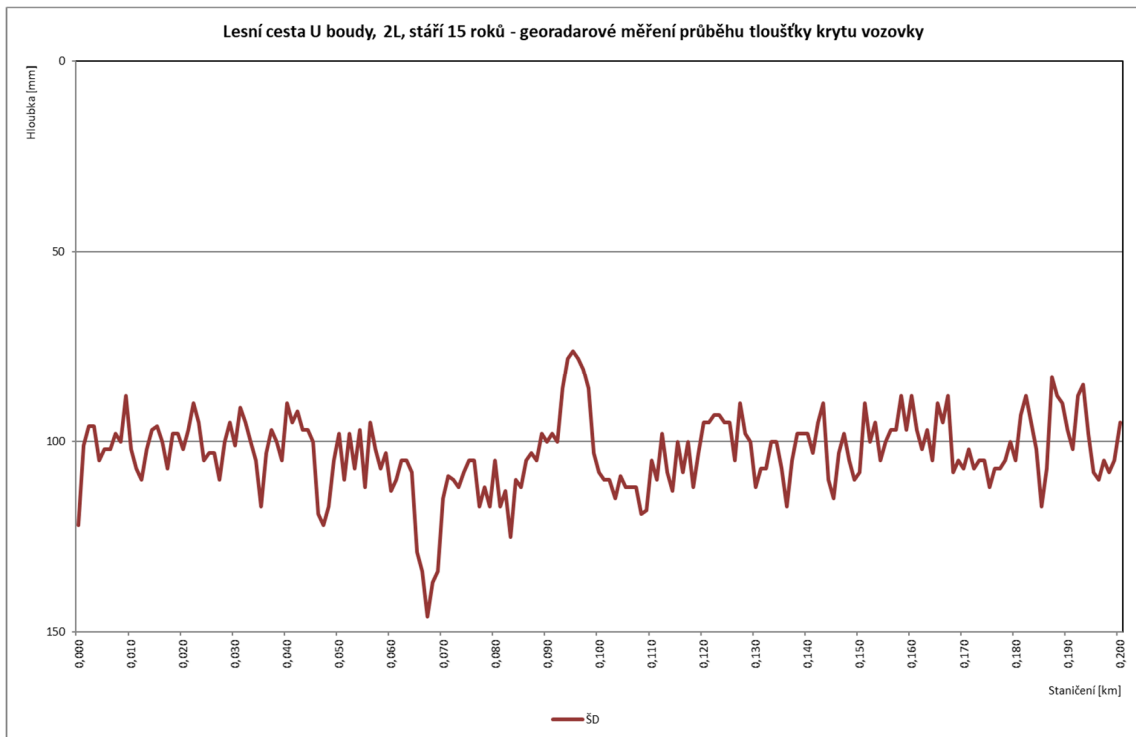
Příloha 1 – záznam georadarového měření U Boudy / 6 m



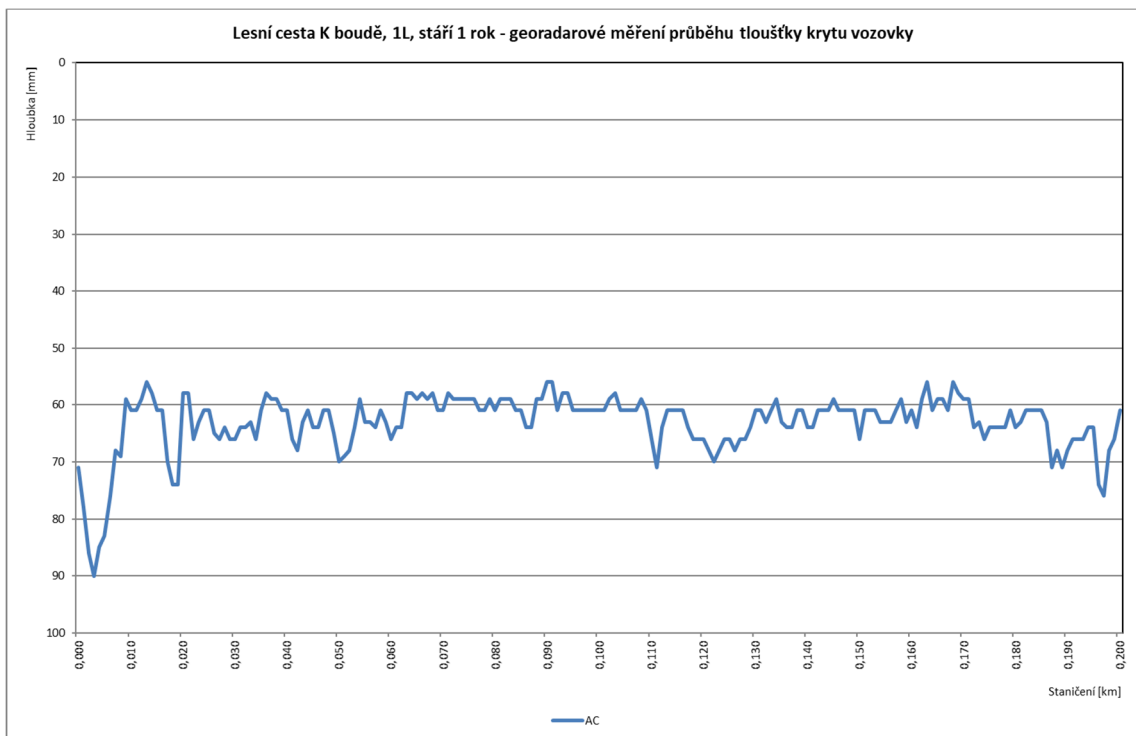
Příloha 2 – záznam georadarového měření lesní cesty V loužku / 4 r



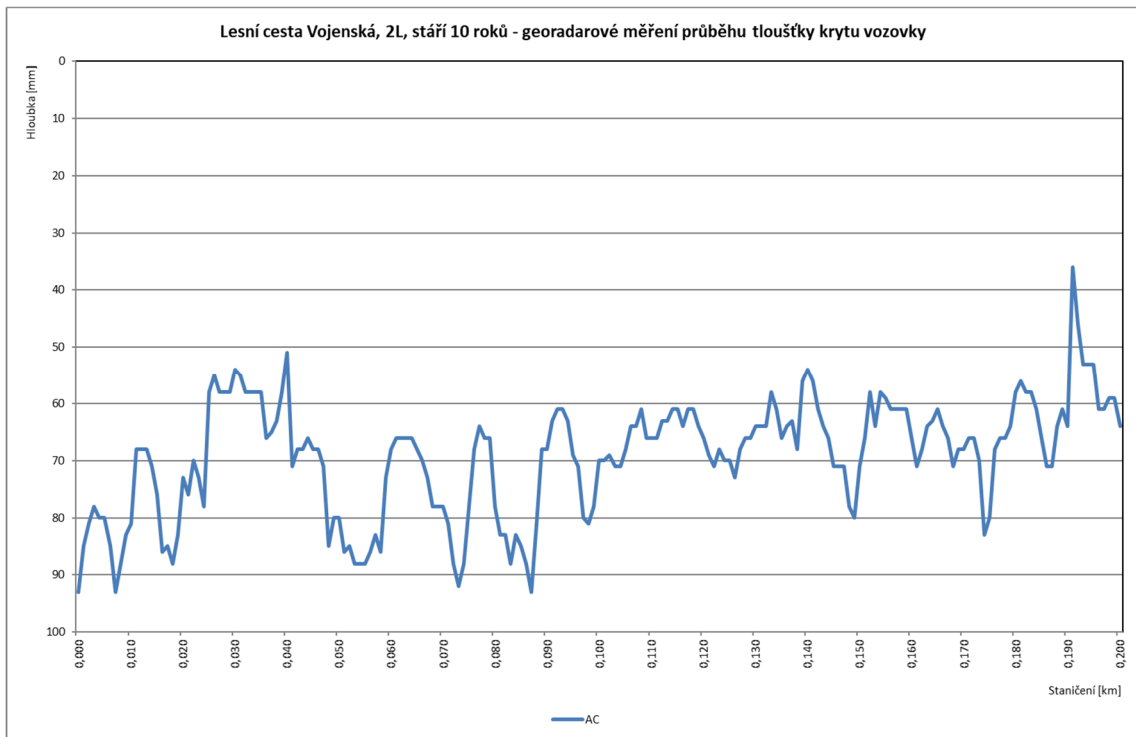
Příloha 3 – záznam georadarového měření lesní cesty U Boudy / 15 r



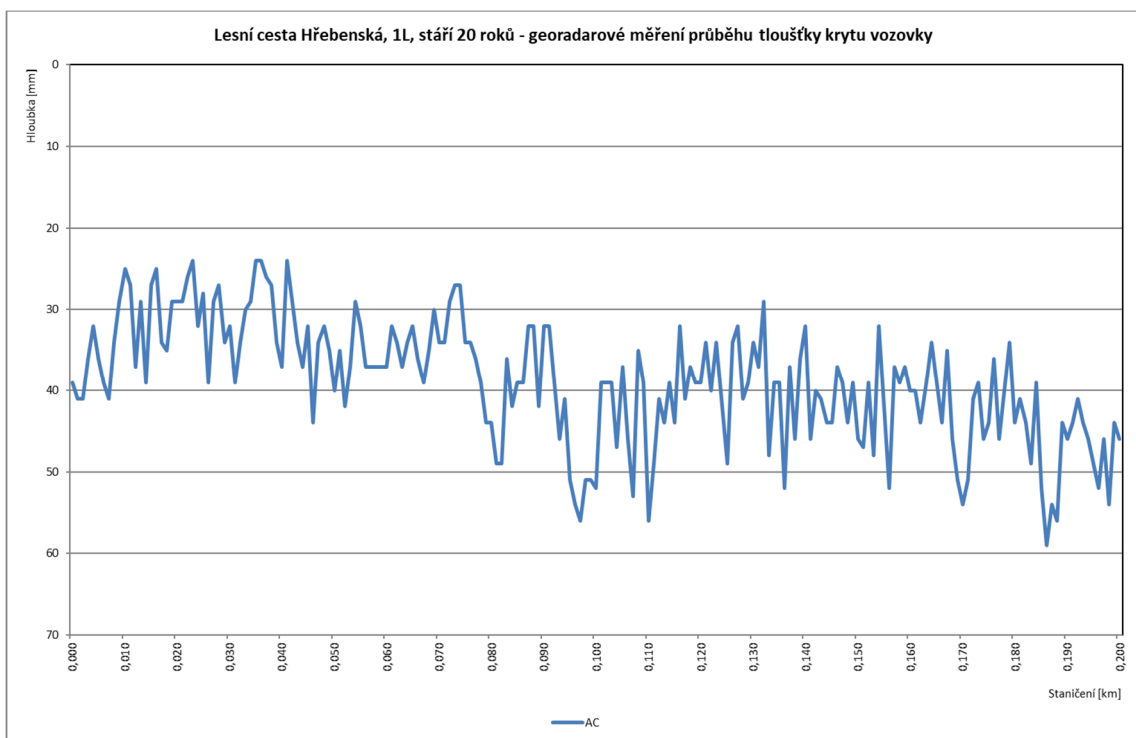
Příloha 4 – záznam georadarového měření lesní cesty K Boudě / 1 r



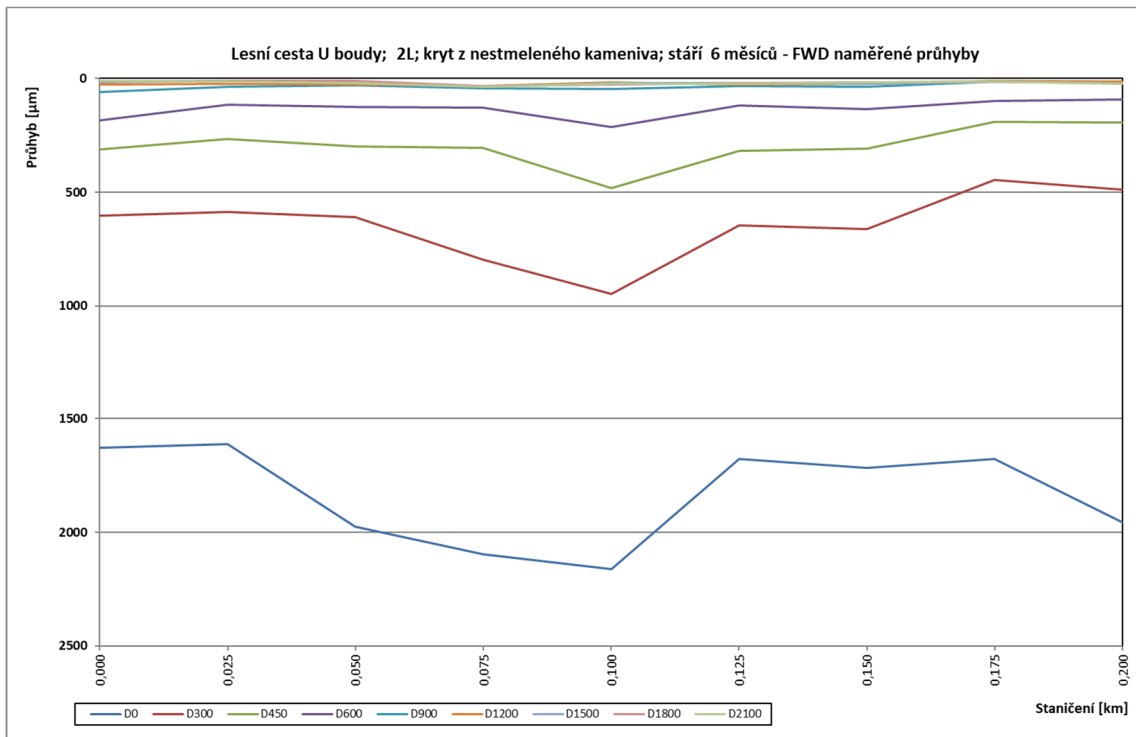
Příloha 5 – záznam georadarového měření lesní cesty Vojenská / 10 r



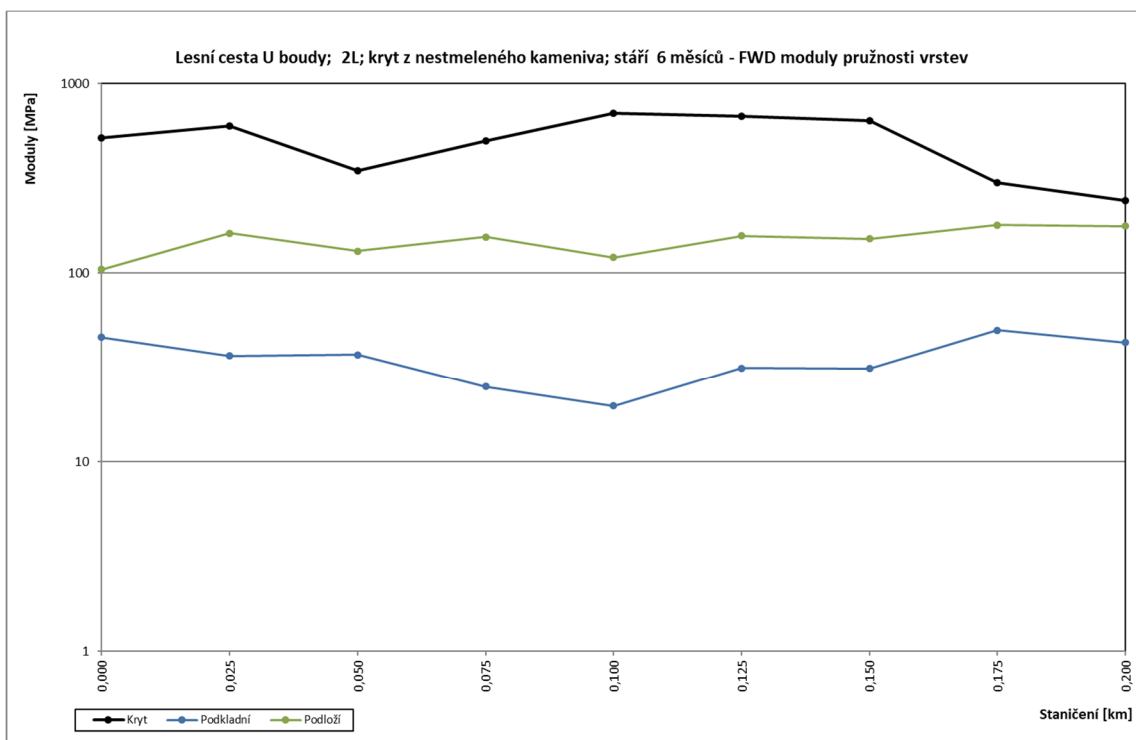
Příloha 6 – záznam georadarového měření lesní cesty Hřebenská / 20 r



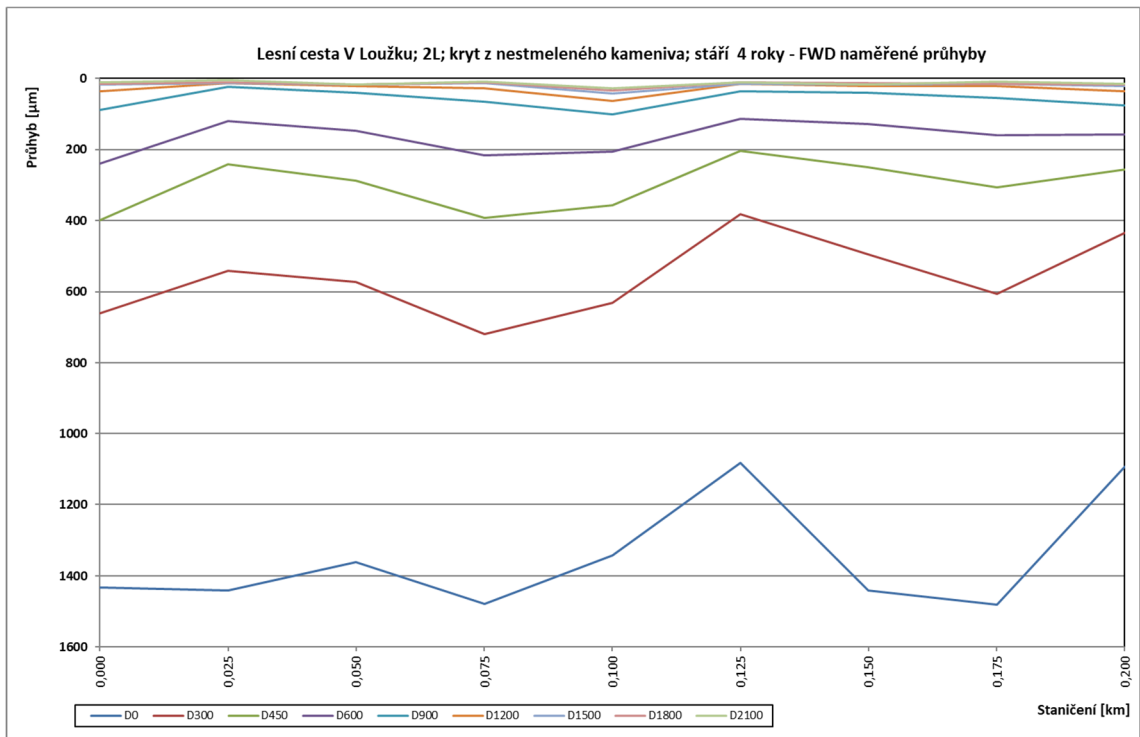
Příloha 7 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty U boudy / 6 m



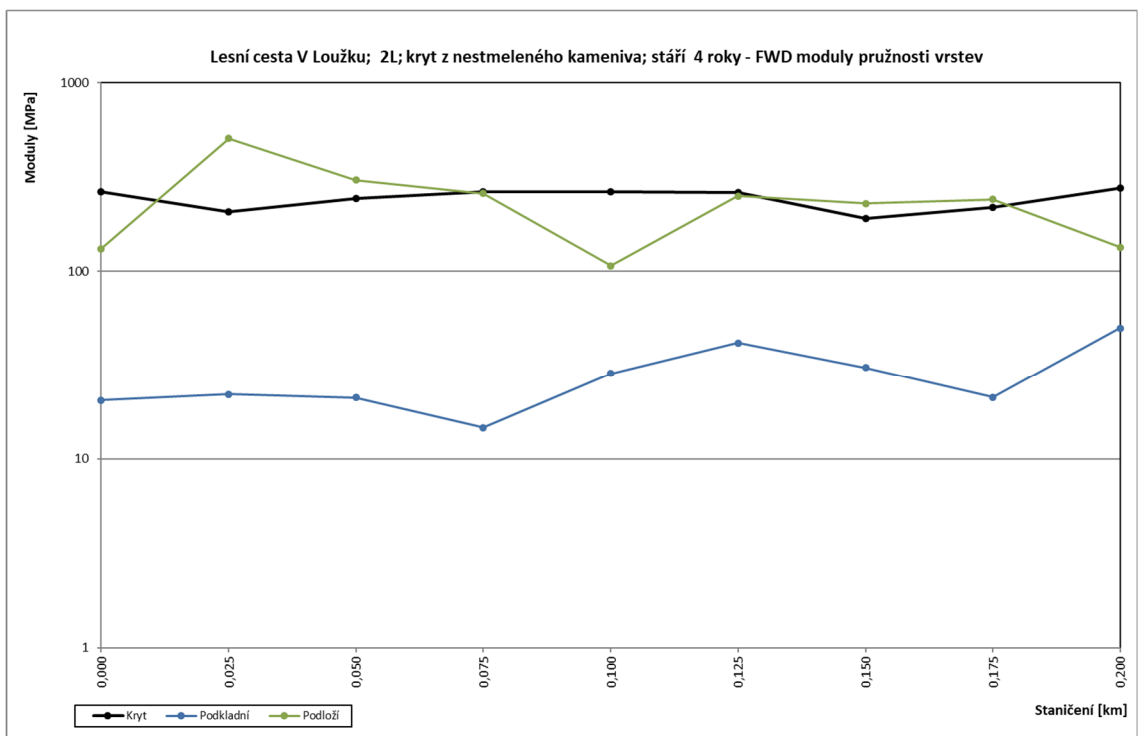
Příloha 8 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty U boudy / 6 m



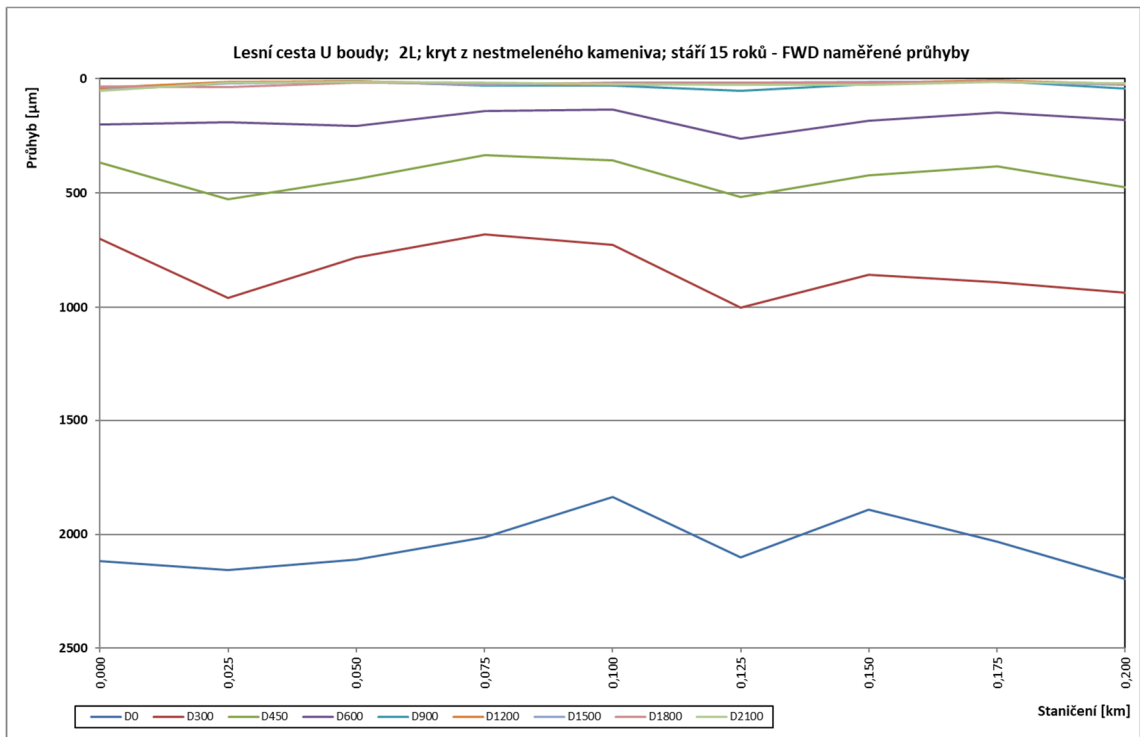
Příloha 9 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty V Loužku / 4 r



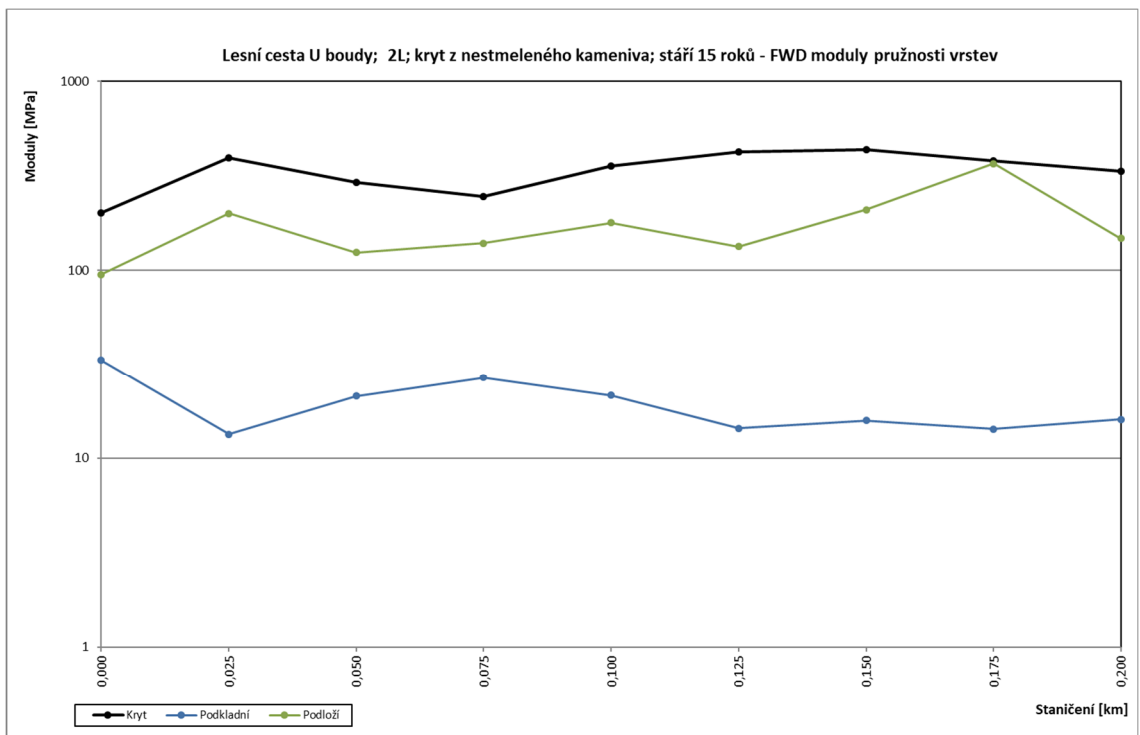
Příloha 10 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty V Loužku / 4 r



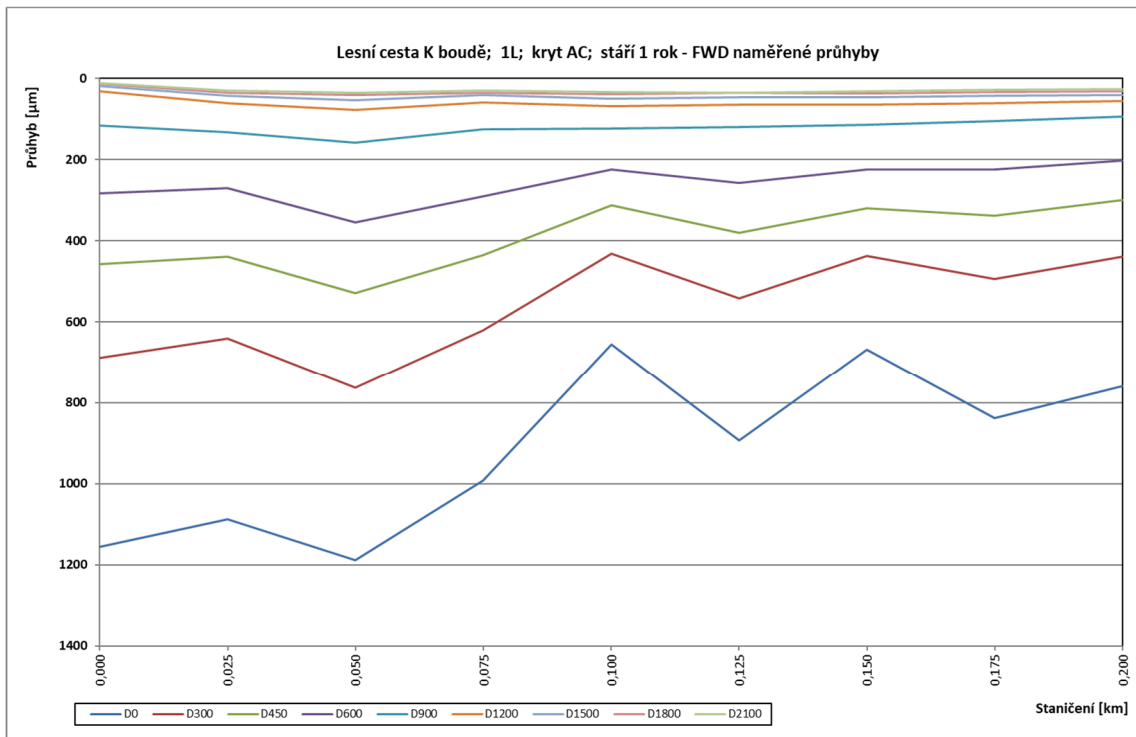
Příloha 11 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty U boudy / 15 r



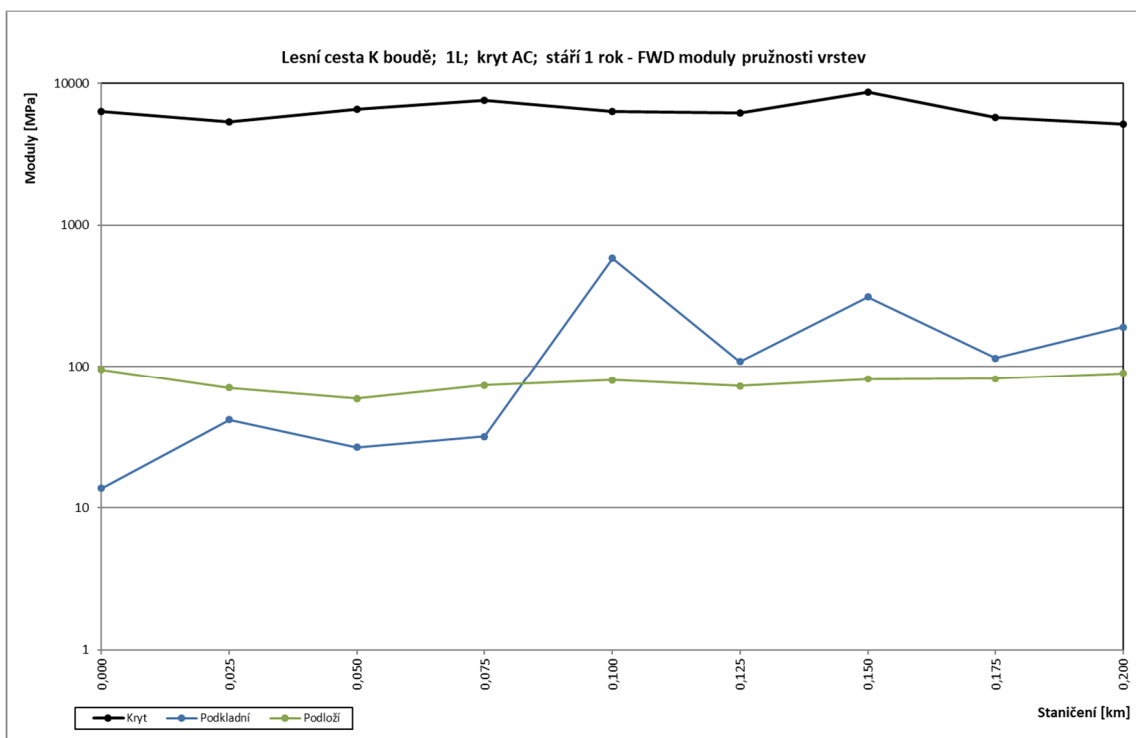
Příloha 12 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty U boudy / 15 r



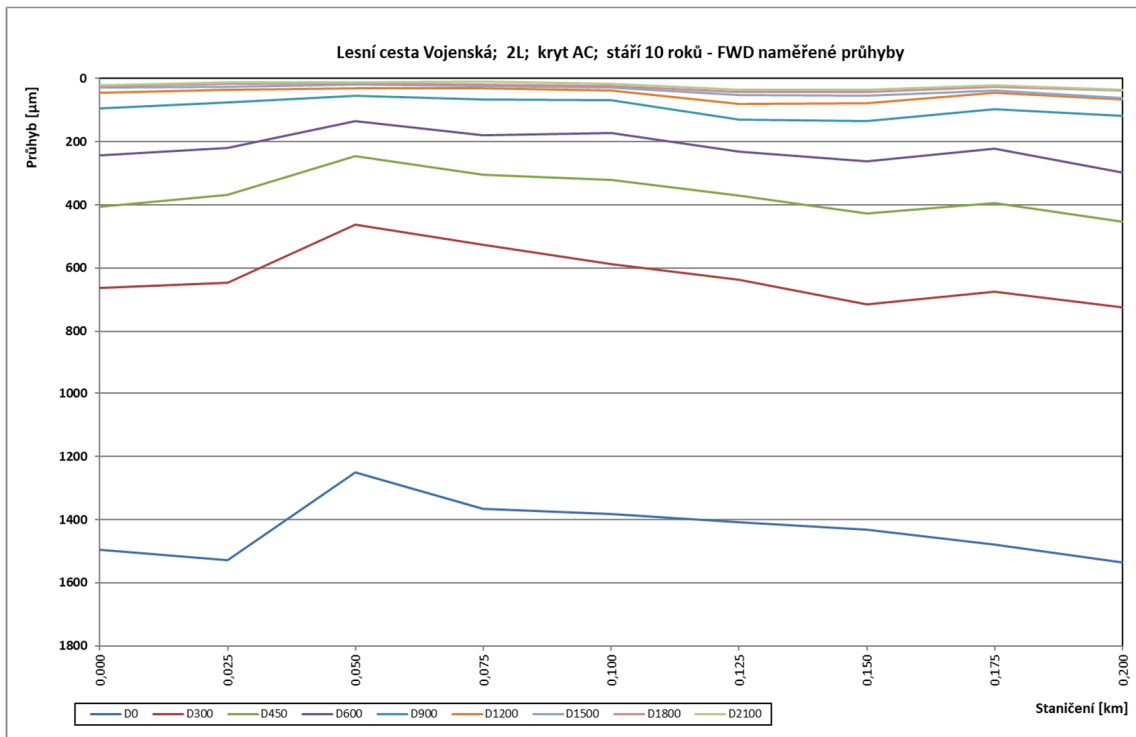
Příloha 13 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty K boudě / 1 r



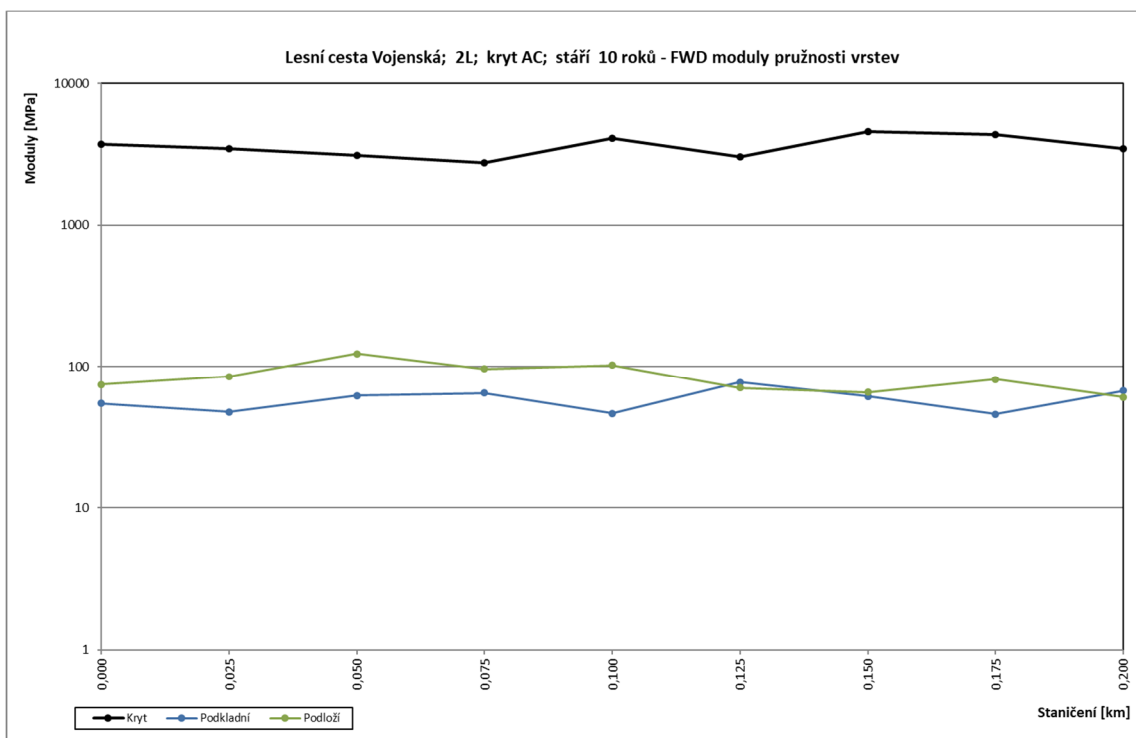
Příloha 14 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty K boudě / 1 r



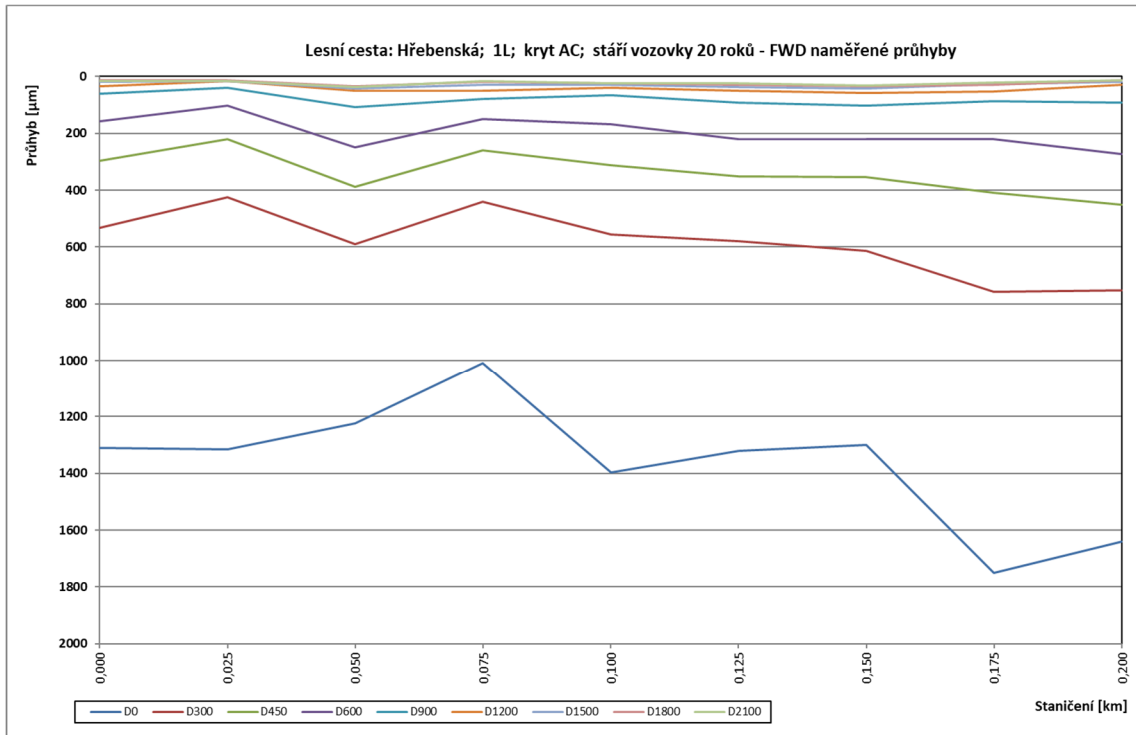
Příloha 15 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty Vojenská / 10 r



Příloha 16 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty Vojenská / 10 r



Příloha 17 – grafické znázornění naměřených průhybů lesní cesty Hřebenská / 20 r



Příloha 18 – grafické znázornění vypočtených modulů pružnosti lesní cesty Hřebenská / 20 r

