ROADSCANNERS

Zaměření úseku silnice II/403 Pavlov-průtah technologií georadaru (GPR) a návrh rehabilitačních prací metodou ROADEX

Určení tlouštěk vrstev komunikace a návrh rehabilitačních prací

BEYOND
THE
SURFACE

Zaměření úseku silnice II/403 Pavlov-průtah technologií georadaru (GPR) a návrh rehabilitačních prací metodou ROADEX

Určení tlouštěk vrstev komunikace a návrh rehabilitačních prací integrovanou analýzou dat GPR a FWD

Obsah

1. Úvod 1
2. Základní principy GPR metody 1
3. Popis úseku a provedených zkoušek 3
4. Zpracování a interpretace dat 5
4.1 Tloušťky konstrukčních vrstev vozovky 5
5. Riziko vzniku kolejí typu 1 a 2 7
5.1 Riziko vzniku kolejí typu 1 7
5.2 Riziko vzniku kolejí typu 2 9
6. Hodnocení úseku 11
7. Návrh zesílení 12
7.1 Systém odvodnění 12
7.2 Odfrézování části stávající asfaltové vrstvy, tvarování, pokládka nové obrusné vrstvy 13
7.3 Výměna podloží 13
8. Shrnutí a závěry 14
PŘÍLOHY 15

1. Úvod

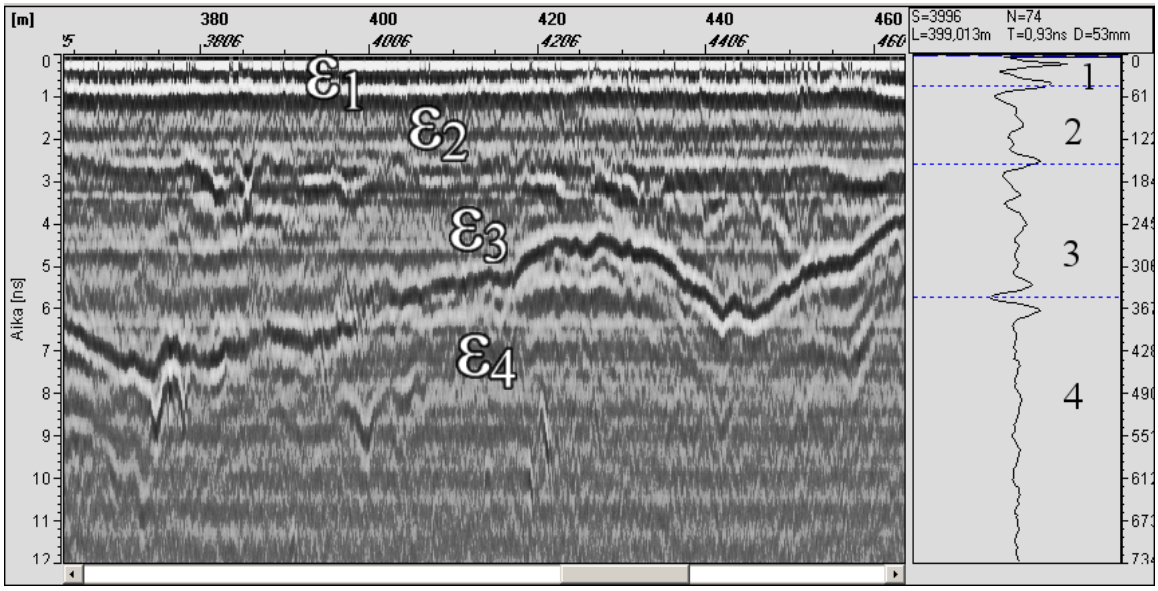
Dne 13. listopadu 2015 provedla společnost Roadscanners Central Europe s.r.o. diagnostiku silnice II/403 Pavlov - průtah, ve staničení km 0,000 – km 0,700. Začátek měření byl na silnici II/403 při ceduli začátku obce Pavlov (49.2458253N, 15.5609503E). Konec měřeného úseku byl několik metrů za zatáčkou za cedulí konce obce (49.2399978N, 15.5606819E). Délka zaměřeného úseku v jednom směru byla přibližně 0,888 km.

Zaměření bylo provedeno v jedné linii v každém směru pomocí technologie georadaru (GPR), současně byl pořízen videozáznam měřeného úseku s pomocí zařízení Road Doctor® CamLink. Účelem měření bylo vyhodnotit informace o tloušťce stmelených vrstev vozovky a její celkové konstrukci. Na základě výsledků vyhodnocení údajů GPR, dodaných dat rázových zatěžovacích zkoušek z deflektometru (FWD), výsledků kopaných sond a jádrových vývrtů byl zpracován návrh rehabilitačních prací pro daný úsek silnice.

Tento dokument obsahuje výsledky analýzy založené na naměřených datech.

2. Základní principy GPR metody

Georadar se skládá z rádiového vysílače a přijímače, které spolupracují společně s GPR anténami. Princip georadarové metody spočívá v opakovaném vysílání vysokofrekvenčního elektromagnetického impulsu vysílací anténou do zkoumaného prostředí. V místech, kde je změna elektromagnetických vlastností prostředí, dochází k odrazu části energie vyslaného elektromagnetického impulsu a ta se registruje přijímací anténou. Tento impuls je získávaný z rozličných druhů vrstev, poruch spojitosti materiálu způsobených vlhkostí, nebo jinými příčinami. Je měřen čas vyslání a přijmutí impulsu. V případě častého opakování v krátkých intervalech lze získat výsledky v kontinuálním zobrazení (obr. 1).



Obrázek 1. Profil měření georadarem s "horn" anténou individuálním pulsem. Profil zobrazuje odraz od dvou vrstev s různými dielektrickými hodnotami (ε). Obrázek ve vrstvě 1 zobrazuje asfaltovou vrstvu, vrstva 2 zobrazuje vrchní podkladovou vrstvu, vrstva 3 zobrazuje spodní podkladovou vrstvu a vrstva 4 filtrační vrstvu. Obrázek ukazuje, že dielektrická hodnota materiálu (vlhkost) se zvyšuje směrem dolů od povrchu vozovky, s výjimkou dielektrické hodnoty ve vrstvě 4 (ε4), která je menší než hodnota v podkladní vrstvě a polarita odrazu je převrácená (černá čára uprostřed dvou bílých čar).

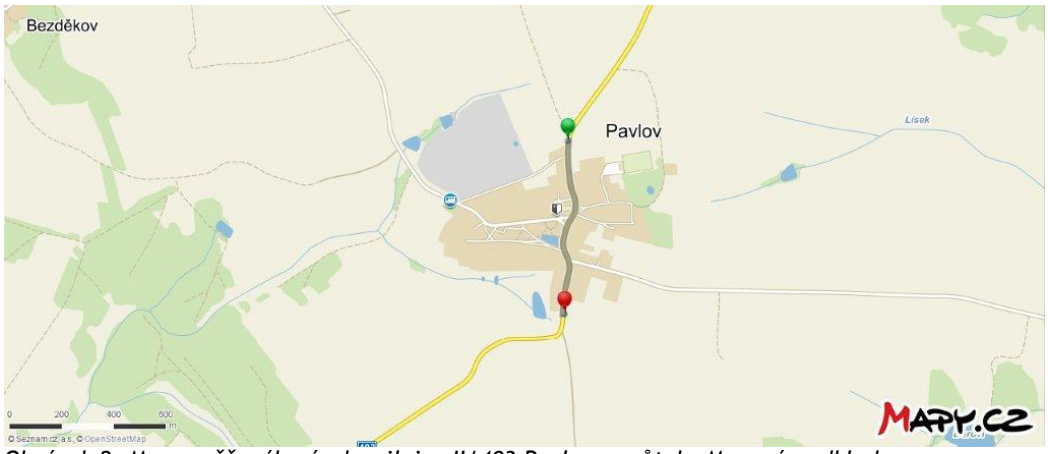
Obecně platí, že rychlost šíření vln a jejich odrazu je ovlivněna permitivitou, magnetickou citlivostí a elektrickou vodivostí materiálu. Zobrazuje variabilitu v závislosti na celkovém typu používaného asfaltu, typu pojiva (živice), přítomnosti vodivých minerálů, pórovitosti, poruchovosti a nakonec účinku soli a akumulaci materiálu ve výplni pórů a poruch. Nejdůležitější vlastností, která ovlivňuje elektrický signál GPR, je dielektrická permitivita, která ovlivňuje rychlost GPR signálu v materiálu.

Vlnová délka antény ovlivňuje schopnost systému identifikovat objekty různých velikostí. Například vysoké frekvence antény s krátkou vlnovou délkou mají lepší rozlišení, ale menší hloubku průniku, zatímco nízké frekvence antény s delší vlnovou délkou mají hrubší rozlišení, avšak pronikají hlouběji do materiálů.

Antény typu „horn" pracují s frekvencí 1-2 GHz. Hloubka průniku „horn" antény je limitována na přibližně 1 m. Během měření je anténa zavěšená přibližně 0,3 – 0,5 m nad měřeným povrchem. Rychlost jízdy během měření je vysoká, až do 90 km/hod. Další použitou anténou v tomto měření byla anténa s frekvencí 400 MHz, s měřící hloubkou přibližně 3 m. Při měření s 400 MHz anténou je nutný bližší kontakt s měřeným povrchem, a proto je rychlost jízdy během měření přibližně 40 až 50 km/hod.

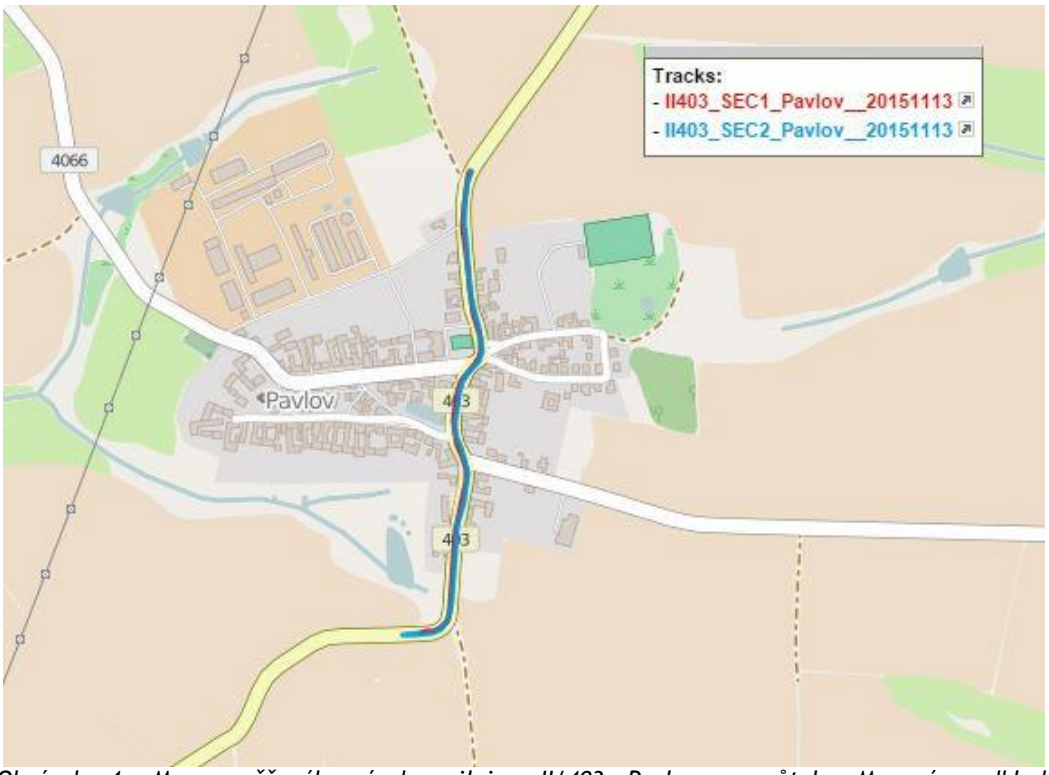
3. Popis úseku a provedených zkoušek

Měřený úsek silnice II/403 Pavlov - průtah je dlouhý přibližně 0,89 km v jednom směru. Měření bylo započato při ceduli začátku obce Pavlov (49.2458253N, 15.5609503E). Konec měřeného úseku byl několik metrů za zatáčkou za cedulí konce obce (49.2399978N, 15.5606819E). Silnice má v tomto úseku 2 jízdní pruhy, zaměření bylo provedeno v jedné linii v každém pruhu. Denní intenzita dopravy na daném úseku je dle výsledků celostátního sčítání dopravy 2010 průměrně 144 těžkých motorových vozidel, 728 osobních a dodávkových vozidel, 9 jednostopých motorových vozidel a 78 těžkých nákladních vozidel za 24 hodin.



Obrázek 2. Mapa měřeného úseku silnice II/403 Pavlov - průtah. Mapový podklad: www.mapy.cz

Obrázek 3. Začátek (vlevo) a konec (vpravo) měřeného úseku II/403 Pavlov - průtah.



Obrázek 4. Mapa měřeného úseku silnice II/403 Pavlov - průtah. Mapový podklad: www.openstreetmap.org.

Měření georadarem (GPR) bylo provedeno pomocí zařízení GSSI SIR-30 se dvěma anténami, 2 GHz anténou typu "horn" a 400 MHz anténou typu "ground coupled" (obr. 5). Taktéž bylo pořízeno digitální video s GPS souřadnicemi.

Obrázek 5. GPR měřicí systém společnosti Roadscanners CE vybavený 2 GHz "horn" anténou a 400 MHz anténou před vozidlem. Videokamera s GPS přijímačem je upevněna na střeše vozidla.

4. Zpracování a interpretace dat

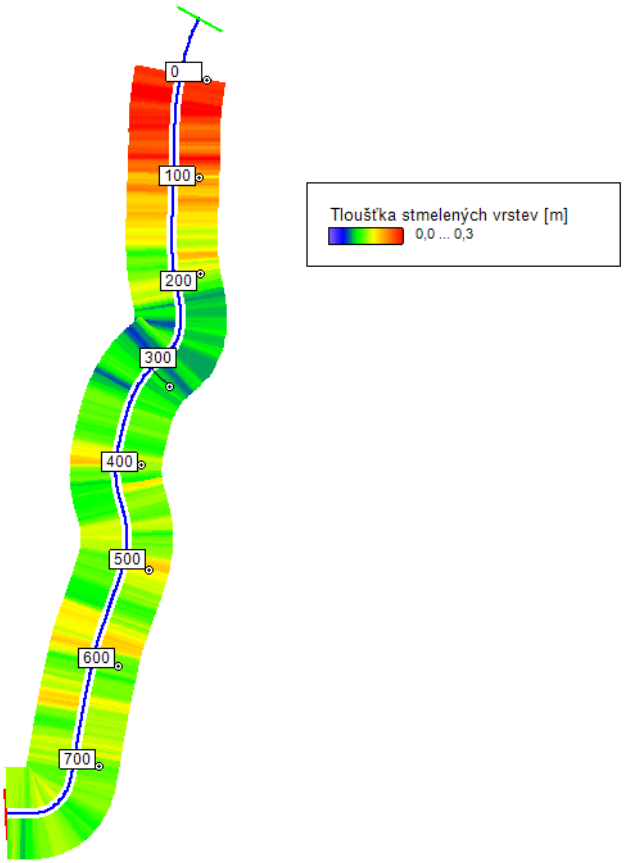
Údaje z GPR byly zpracovány a vyhodnoceny softwarem Road Doctor Pro®. Zároveň byly do softwaru importovány i údaje z měření deflektometrem (FWD) a záznam digitálního videa pro komplexní interpretaci a analýzu rizik.

Interpretace údajů byla provedena pro 2 nejdůležitější rozhraní tohoto průzkumu a to pro spodek asfaltové vrstvy a rozhraní mezi konstrukcí vozovky a podložím/násypem.

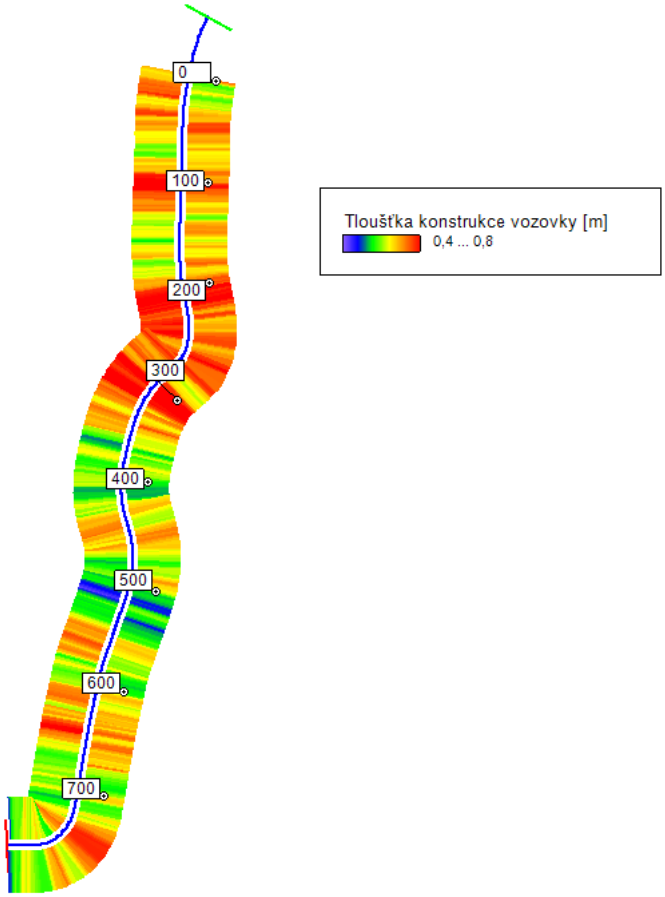
4.1 Tloušťky konstrukčních vrstev vozovky

Průměrná tloušťka stmelených vrstev na úseku silnice II/403 Pavlov-průtah je 16 cm v obou měřených liniích. Na začátku úseku až do staničení km 0,150 jsou stmelené vrstvy silnější (20-30 cm). Tloušťku stmelených vrstev na mapě úseku prezentuje obrázek 6. Celková tloušťka konstrukce vozovky dosahuje průměrně 66 cm a je prezentována na mapě úseku na obrázku 7.

Podélné profily s interpretací – hodnocením průběhu vrstev – jsou zobrazeny v příloze hodnotící zprávy.



Obrázek 6. Tloušťka stmelených vrstev úseku na mapě. Červená místa znázorňují sekce, kde tloušťka stmelených vrstev je vyšší než 30 cm.



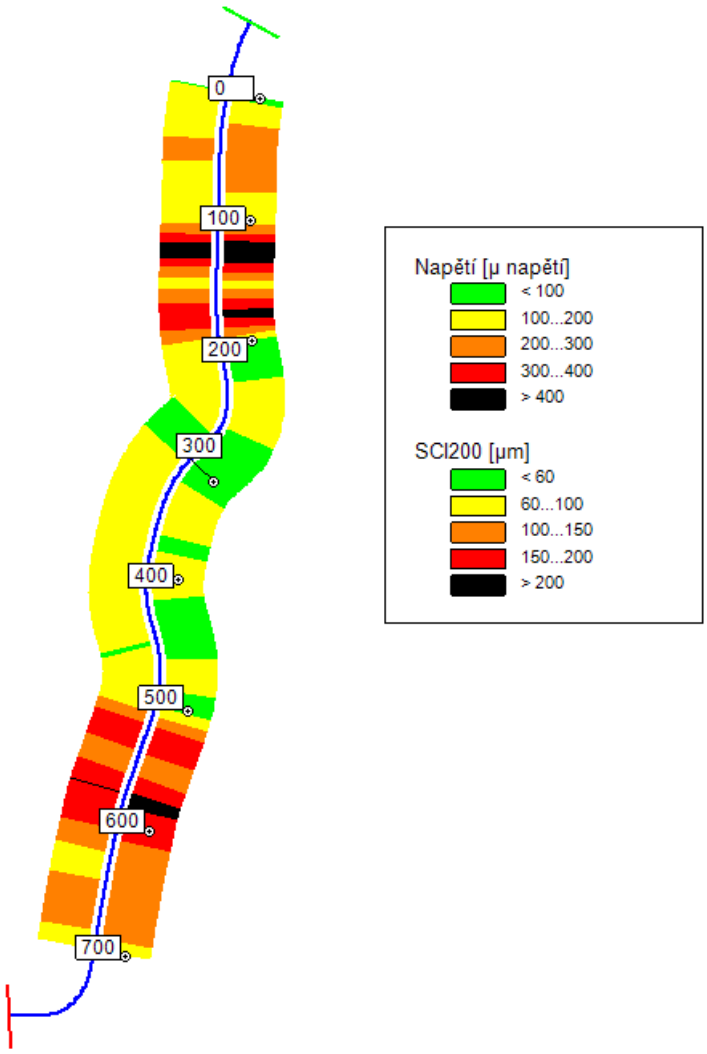
Obrázek 7. Celková tloušťka konstrukce vozovky zobrazená na mapě. Červená místa znázorňují sekce, kde je celková tloušťka konstrukce vozovky vyšší než 80 cm, modrá místa znázorňují sekce, kde je celková tloušťka konstrukce nižší než 40 cm.

5. Riziko vzniku kolejí typu 1 a 2

5.1 Riziko vzniku kolejí typu 1

Na základě výzkumného projektu ROADEX v EU (www.roadex.org), je vznik kolejí typu 1 popisován jako problém slabých vrchních vrstev vozovky. V této analýze jsou deformační hodnoty počítány ze spodku podkladní vrstvy, která se používá jako indikátor nebezpečí vzniku kolejí typu 1. Většina (65 %) naměřených hodnot napětí analyzovaného úseku dosahuje pod 200 mikro deformačních jednotek, avšak 16 % hodnot je vyšších než 300 mikro deformačních jednotek. Povrchový index křivosti (SCI 200) dosahuje v 55 % hodnot pod 100 µm a pouze v 6 % případů dosahuje hodnoty vyšší než 200 µm. Tyto hodnoty znázorňuje mapa na obrázku 9. Riziko vzniku kolejí typu 1 na analyzovaném úseku silnice je mírné.

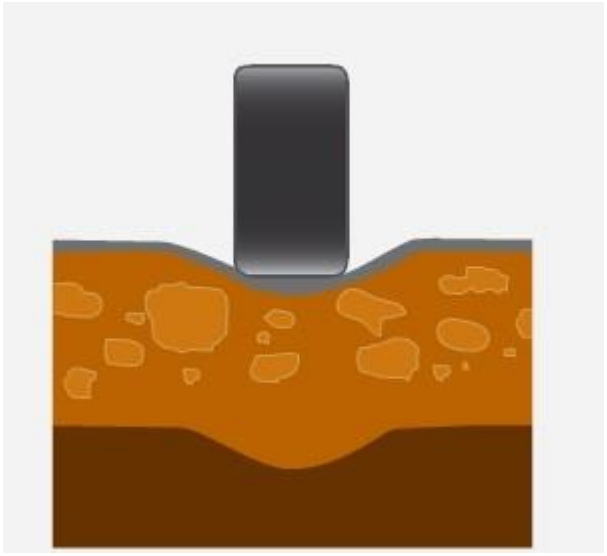
Obrázek 8. Riziko vzniku kolejí typu 1



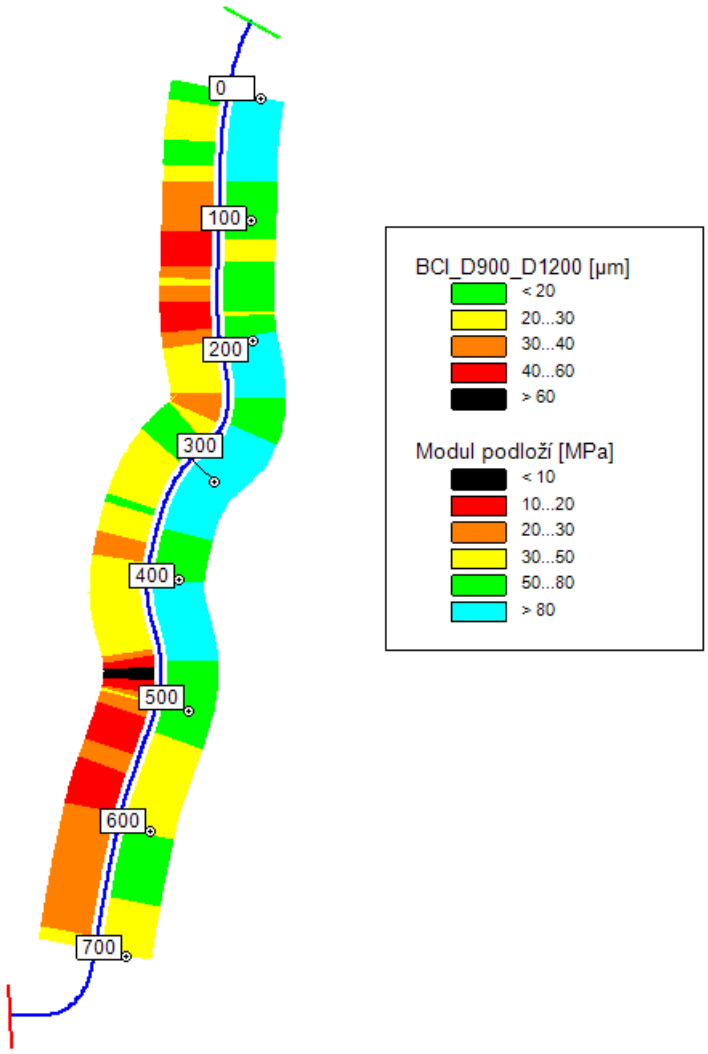
Obrázek 9. Hodnoty napětí (vlevo) a SCI200 (vpravo) zobrazeny na mapě.

5.2 Riziko vzniku kolejí typu 2

Podle výzkumu ROADEX je vznik kolejí typu 2 popsán jako problém ve slabém a neúnosném podkladu. Pro stanovení rizika vzniku kolejí typu 2 je využívána analýza kombinace hodnot modulu v podloží a BCI hodnot vypočtených z údajů FWD. Na silnici II/403 naměřené parametry poukazují na nízké riziko vzniku kolejí typu 2. Přibližně 79 % hodnot modulu podloží je vyšších než 50 MPa, všechny získané hodnoty přitom dosahují nejméně 30 MPa. Hodnoty modulu podloží jsou zobrazeny na mapě na obr. 9 společně s odpovídajícími hodnotami BCI (podkladový index křivosti). 20 % hodnot podkladového indexu křivosti BCI (BCI; D_{900}-D_{1200}) je vyšších než 40 µm.



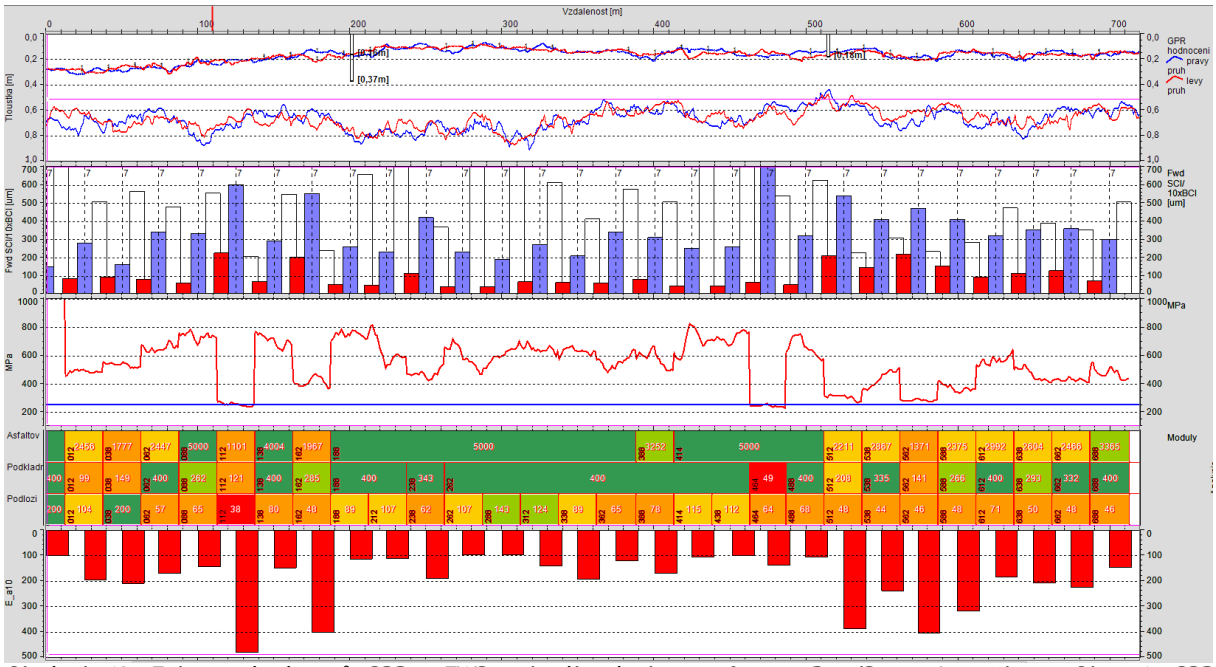
Obrázek 10. Riziko vzniku kolejí typu 2.



Obrázek 11. Hodnoty modulu podloží (vpravo) a BCI podkladového indexu křivosti (vlevo) na mapě.

6. Hodnocení úseku

Hodnocený úsek silnice vede obcí. Silnice je v tomto úseku poměrně široká, v její blízkosti se na mnoha místech po obou stranách nacházejí domy. Únosnost vozovky je převážně na dobré úrovni, s výjimkou několika krátkých úseků. Také horní část konstrukce vozovky je v relativně dobrém stavu vyjma úseků s nižší únosností. Jako krátké shrnutí je na obrázku 12 prezentován přehled stavu celého měřeného úseku



Obrázek 12. Zobrazení výstupů GPR a FWD z daného úseku v softwaru RoadDoctor3®, (shora: Okno 1: GPR interpretace - kontinuální průběh stmelených vrstev a celkové konstrukce vozovky; Okno 2: výsledky rázových zatěžovacích zkoušek zobrazeny jako SCI (červený sloupec), 10xBCI (modrý sloupec) a E2 (bílý sloupec); Okno 3: výpočet počáteční únosnosti konstrukce vozovky (červeně); Okno 4: hodnoty modulů stmelených a nestmelených vrstev a podloží (zelená barva = dobrá hodnota, červená = nízká hodnota; Okno 5: hodnoty napětí v asfaltové vrstvě přepočtené teplotním faktorem materiálu (červené sloupce).

Na obrázku 13 je typická ukázka okolí silnice v měřeném úseku.

Obrázek 13. Videozáznam úseku ze staničení km 0,100 prezentuje typické okolí silnice.

7. Návrh zesílení

Návrh zesílení analyzovaného úseku se skládá z 2 typů konstrukcí. Frézovaný materiál získaný ze stávajících obalovaných vrstev může být recyklován a opětovně použit jako podkladní vrstva na jiných stavbách. V slabých místech tohoto úseku silnice je navrhována výměna podloží s použitím výztuže vozovky (geogridu). V průběhu oprav by měla být věnována dostatečná pozornost správnému profilování a vyrovnání vozovky, aby voda ze silnice správně odtékala do příkop/kanalizace a tím bylo zamezeno poruchám vznikajícím v důsledku špatného odvodnění.
Popis jednotlivých kroků návrhu modernizace silnice je uveden níže. Podrobný plán je prezentován dále v této zprávě a v příloze 3.

7.1 Systém odvodnění

Odvodnění je významným faktorem ovlivňujícím kvalitu silnice, a proto mu musí být v návrzích zesílení a oprav silnic věnována dostatečná pozornost. Obecně platí, že silniční konstrukce lépe a déle funguje v suchých podmínkách. Jak ukazují průzkumy, špatné odvodnění bývá hlavní příčinou poškození vozovek a způsobuje problémy s jejich dlouhodobou provozuschopností. Přesto však nejsou tyto poznatky v praxi často zohledněny, a jejich ignorace zapříčiňuje špatný systém odvodnění silničních sítí.

Zlepšení systému odvodnění a jeho údržba má významný vliv na snižování míry zhoršení kvality silnic. Výzkum projektu ROADEX ukázal, že zlepšení systému odvodnění může až dvojnásobně prodloužit životnost vozovky. Investice do odvodňovacích opatření jsou tudíž rentabilní a přinášejí významné úspory každoročních nákladů na údržbu vozovek.

Příkopy po obou stranách vozovky by měly být otevřeny, aby umožnily volný odtok vody z vozovky, krajnice by měly být odstraněny po obou stranách vozovky. Důležitý je i správný sklon příkopu. V místech, kde vede silnice v zářezu, by mělo být uváženo vybudování podzemního systému odvodnění/trativodů, pokud je vyloučena možnost řešit systém odvodnění tradičními příkopy. V zastavěné části by měla být ověřena funkčnost odvodnění pomocí obrubníků a kanalizačních/odtokových šachet.

7.2 Odfrézování části stávající asfaltové vrstvy, tvarování, pokládka nové obrusné vrstvy

Pro místa, kde je poškození silnice menšího rozsahu a únosnost vozovky je na relativně dobré úrovni, je navrhovaným řešením odfrézování vrchní části vozovky, její tvarování a pokládka nové vrstvy (50 mm). Povrch vozovky musí být důkladně vytvarován, aby umožnil volný odtok vody z povrchu vozovky. Hloubka frézování stávajícího asfaltu byla stanovena průměrem. Vyskytují-li se na opravovaném úseku lokální záplaty/opravy či výtluky, musí být hloubka frézování stanovena minimálně do hloubky dna výtluk či poruch. Frézování vozovky musí být provedeno důkladně a do požadované hloubky. V případě nedostatečné hloubky frézování hrozí riziko, že se stávající poruchy a výtluky znovu objeví na nové obrusné vrstvě ve stejných místech. Aby byla tato část návrhu zesílení splnila svůj účel, musí být především funkční systém odvodnění vozovky.

7.3 Výměna podloží

Zvýšení nivelety vozovky není v tomto úseku možné, tudíž nejlepším navrhovaným řešením je výměna podloží. Hloubka výměny podloží závisí na rozsahu zjištěného poškození a vlastnostech stávajícího materiálu. Důraz je třeba klást na přechodové části, kde je vhodné umístit přechodové klíny, aby bylo zabráněno náhlým změnám v tloušťkách jednotlivých vrstev konstrukce vozovky. Tato místa jsou velmi náchylná k poškození.

8. Shrnutí a závěry

Analýza naměřených dat a plán návrhu zesílení je založen na integraci výstupů měření georadarem a deflektometrem. Analyzovaný úsek silnice vede obcí, únosnost vozovky je na poměrně dobré úrovni s výjimkou několika krátkých sekcí. Také horní část konstrukce vozovky je v relativně dobrém stavu vyjma úseků s nižší únosností. Ve dvou částech analyzovaného úseku je proto navržen náročnější postup - výměna podloží. V ostatních místech je dostačujícím řešením odfrézování vrchní části vozovky, její tvarování a pokládka nové asfaltové vrstvy.

V Praze dne……. Podpis: ……

Zpracování: Petri Varin, M. Sc.
Anssi Hiekkalahti, M. Sc.
Ján Filipovský, PhD.
Překlad: Ing. Michaela Sekaninová

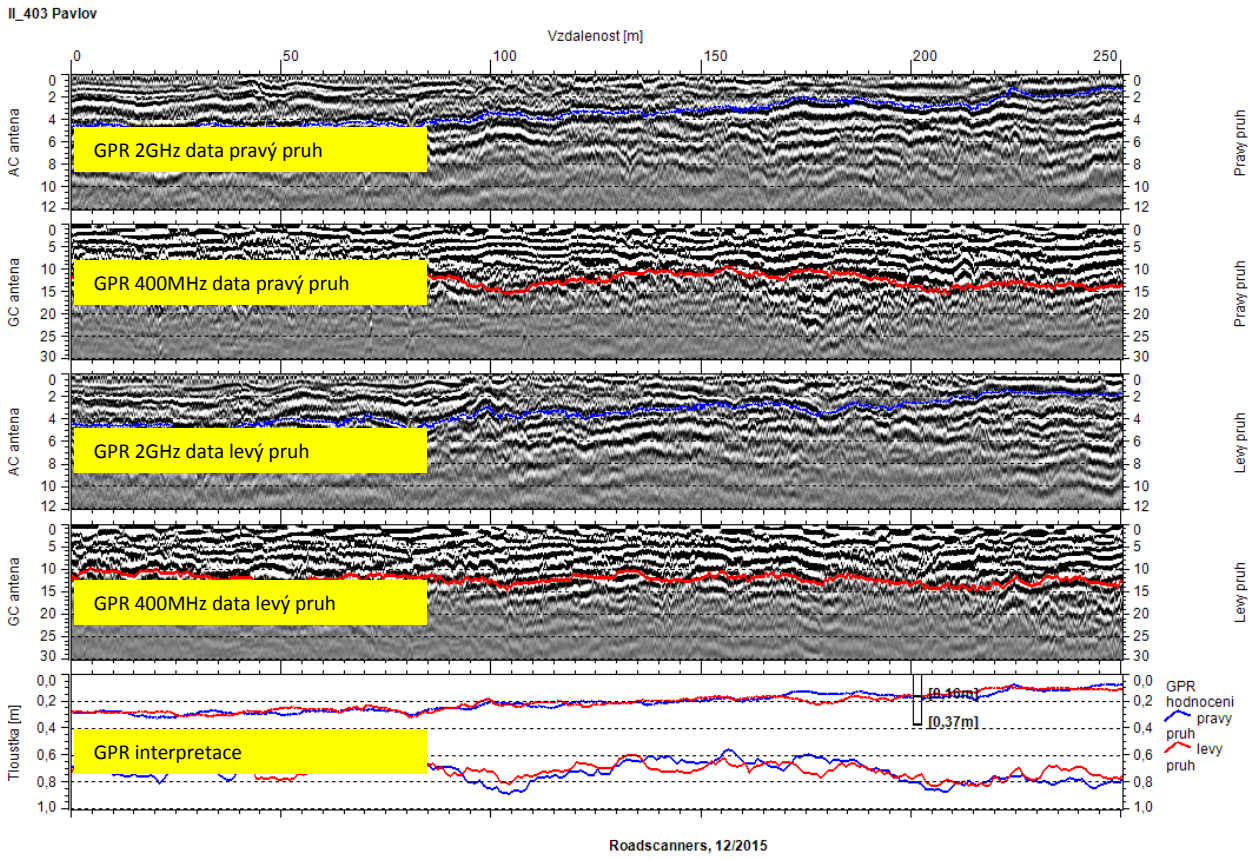
PŘÍLOHY

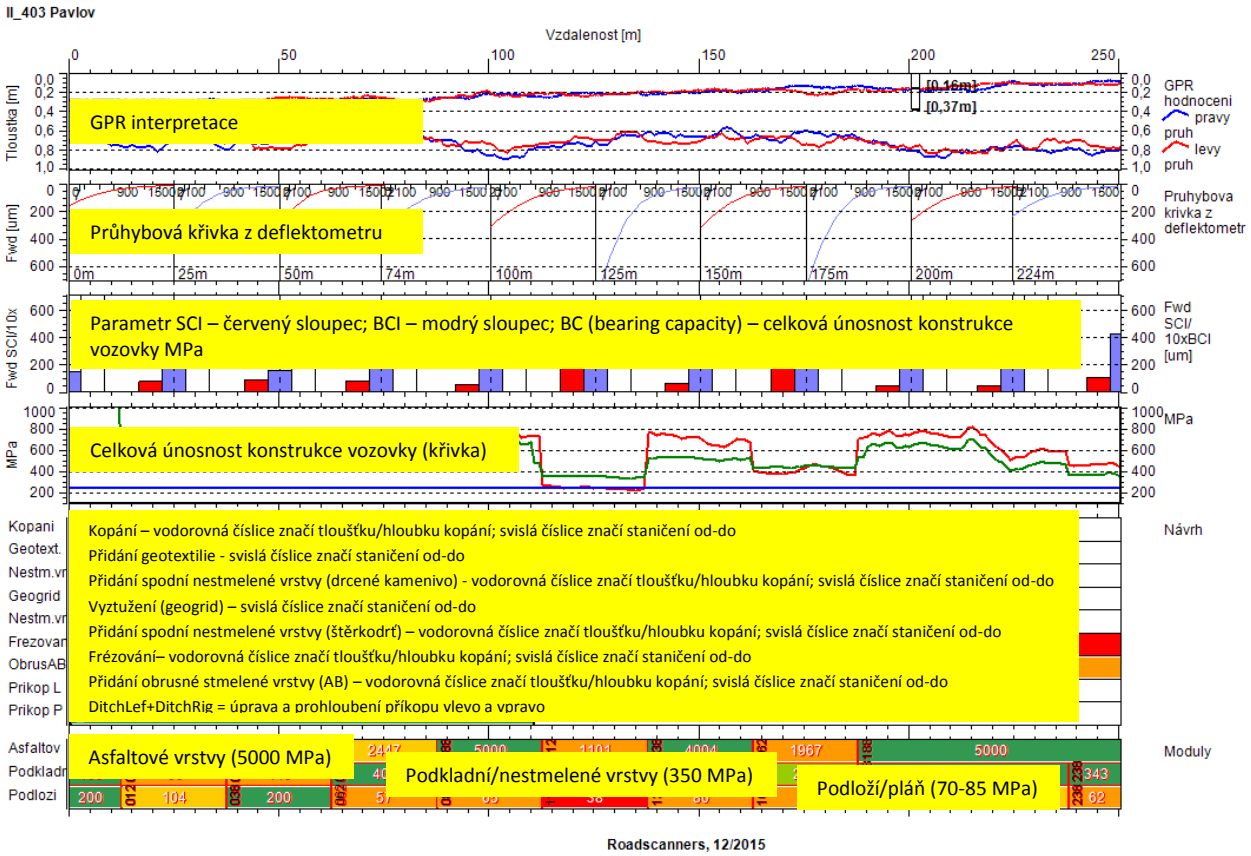
Příloha 1. Legenda výstupů

Příloha 2. Profily úseku silnice II/403 Pavlov – průtah zobrazené v programu Road Doctor, vyhodnocení dat GPR.

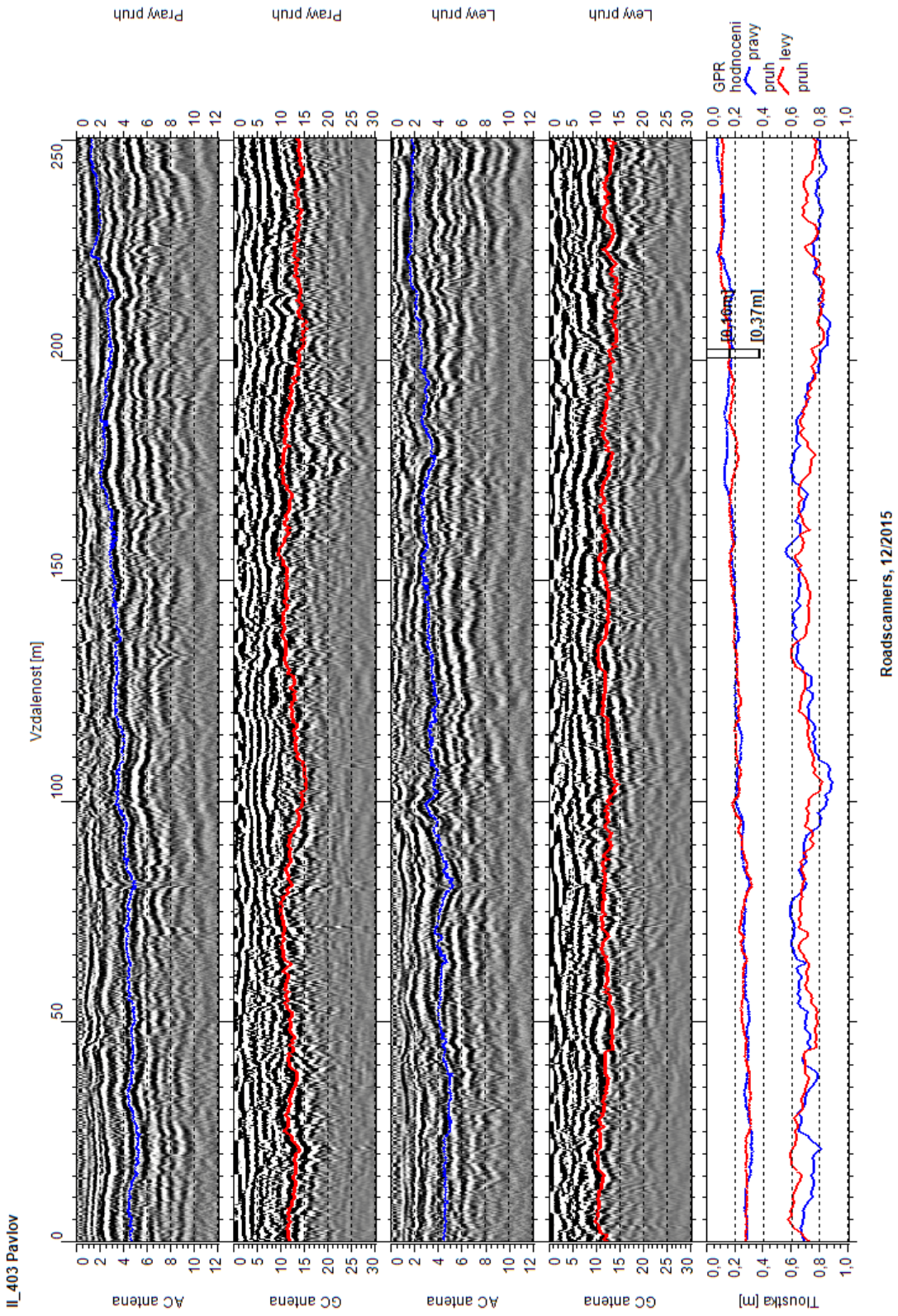
Příloha 3. Profily úseku silnice II/403 Pavlov – průtah zobrazené v programu Road Doctor, FWD, únosnost vozovky a návrh oprav.

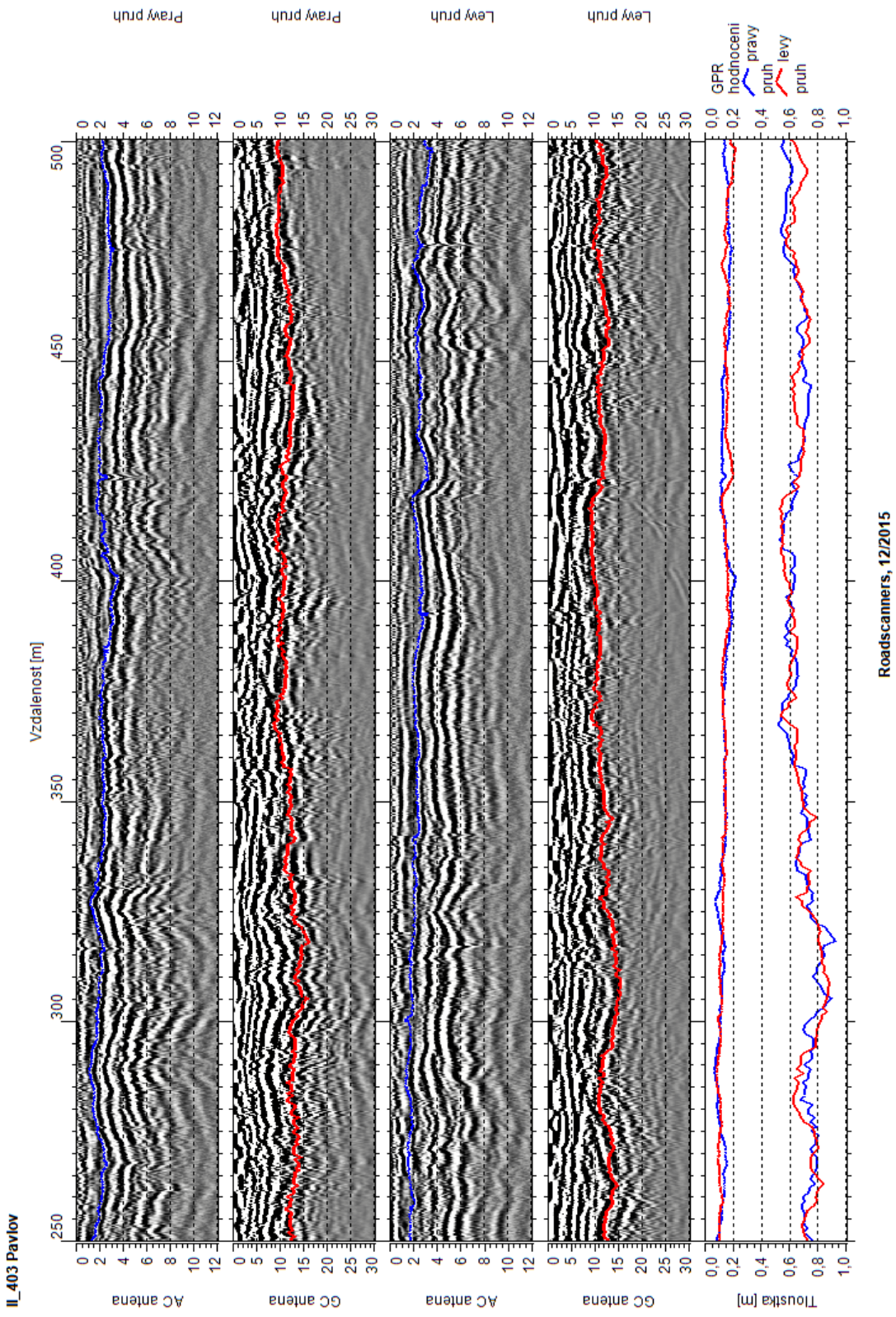
Příloha 1. Legenda výstupů

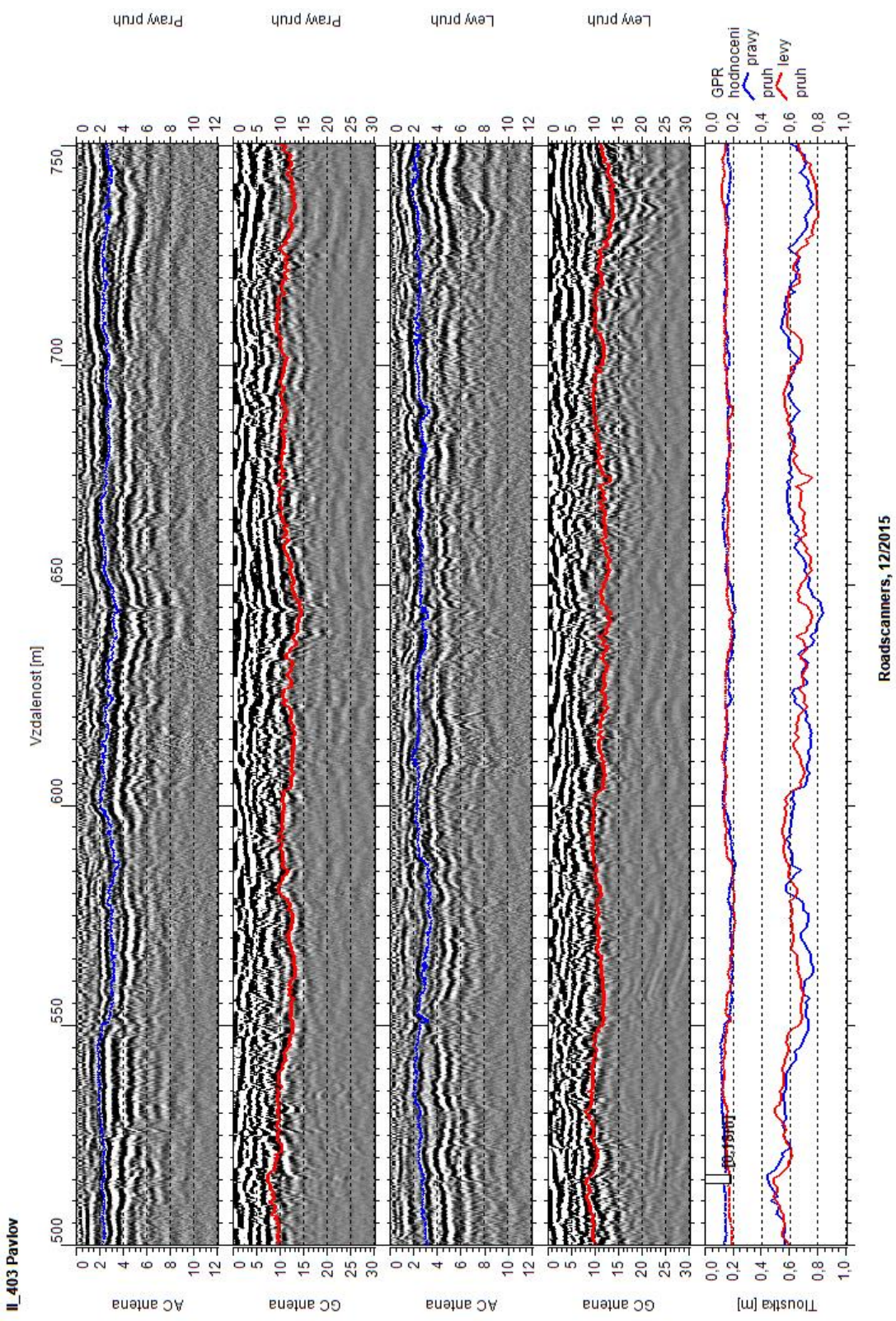



II_403 Pavlov
Vzdalenost [m]
GPR interpretace
Průhybová křivka z deflektometru
Parametr SCI – červený sloupec; BCI – modrý sloupec; BC (bearing capacity) – celková únosnost konstrukce vozovky MPa
Celková únosnost konstrukce vozovky (křivka)
Kopání – vodorovná číslice značí tloušťku/hloubku kopání; svislá číslice značí staničení od-do
Přidání geotextilie - svislá číslice značí staničení od-do
Přidání spodní nestmelené vrstvy (drcené kamenivo) - vodorovná číslice značí tloušťku/hloubku kopání; svislá číslice značí staničení od-do
Vyztužení (geogrid) – svislá číslice značí staničení od-do
Přidání spodní nestmelené vrstvy (štěrkodrť) – vodorovná číslice značí tloušťku/hloubku kopání; svislá číslice značí staničení od-do
Frézování– vodorovná číslice značí tloušťku/hloubku kopání; svislá číslice značí staničení od-do
Přidání obrusné stmelené vrstvy (AB) – vodorovná číslice značí tloušťku/hloubku kopání; svislá číslice značí staničení od-do
DitchLef+DitchRig = úprava a prohloubení příkopu vlevo a vpravo
Asfaltové vrstvy (5000 MPa)
Podkladní/nestmelené vrstvy (350 MPa)
Podloží/pláň (70-85 MPa)
Roadscanners, 12/2015

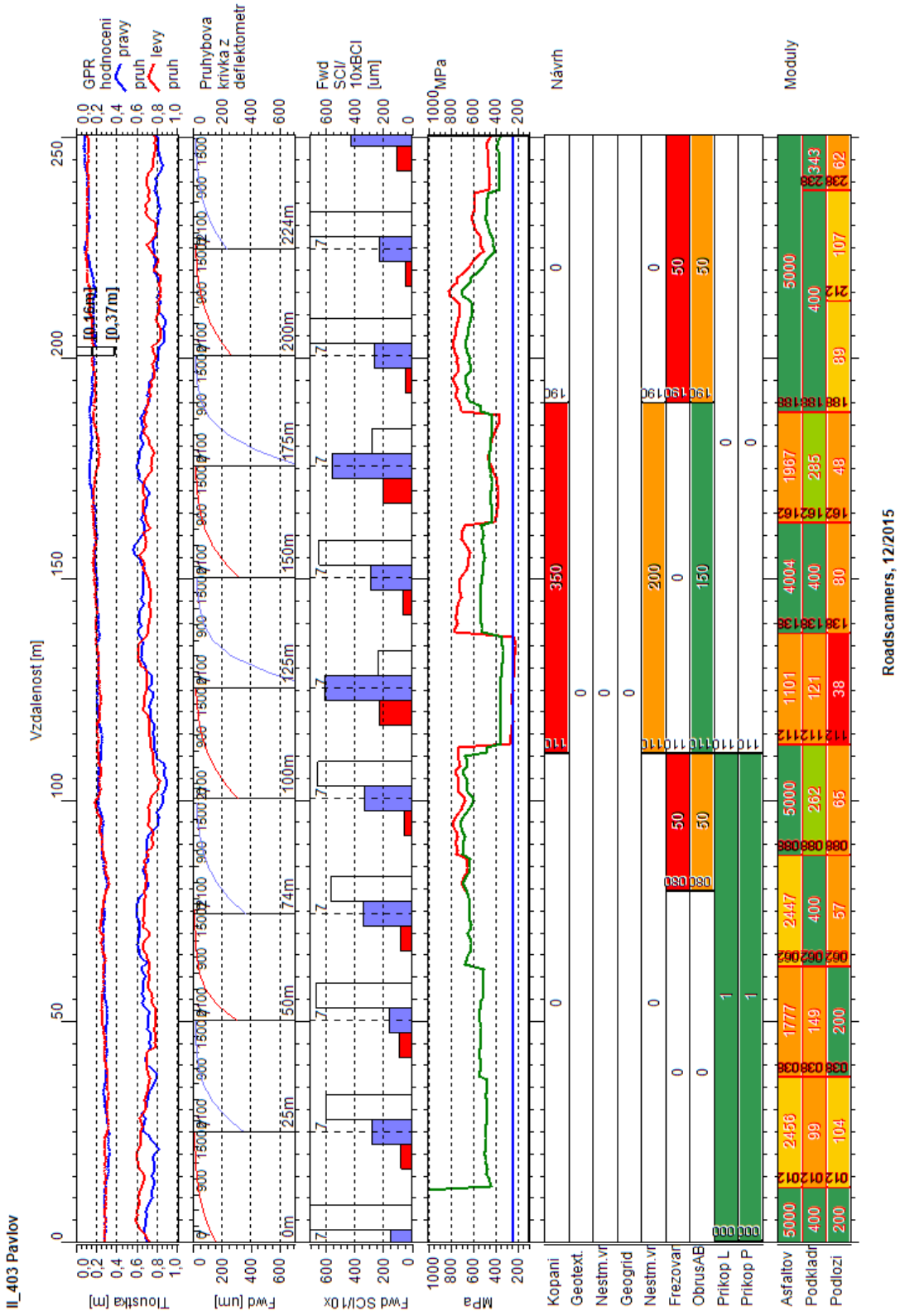
Příloha 2. Profily úseku silnice II/403 Pavlov – průtah zobrazené v programu Road Doctor, vyhodnocení dat GPR.

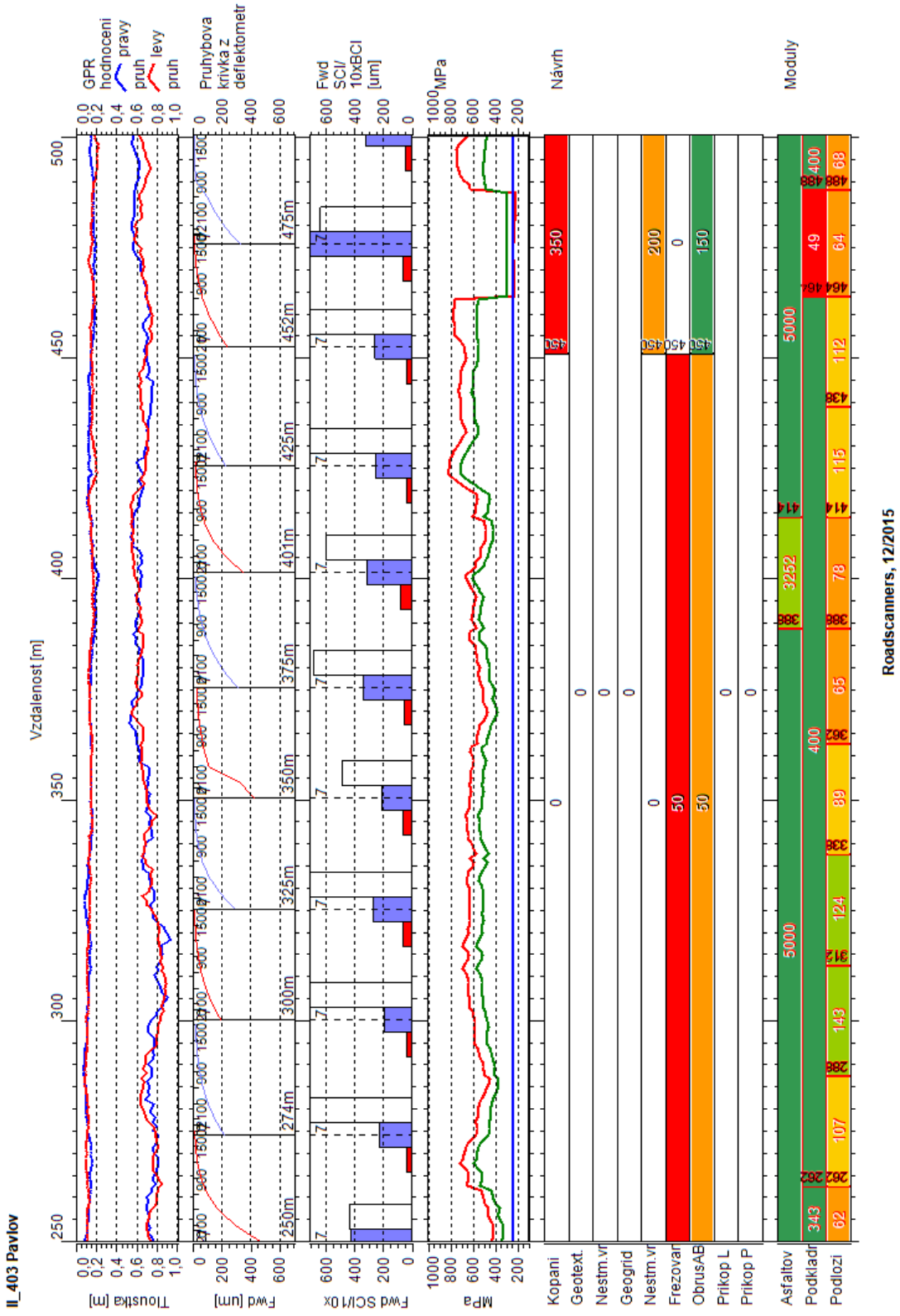


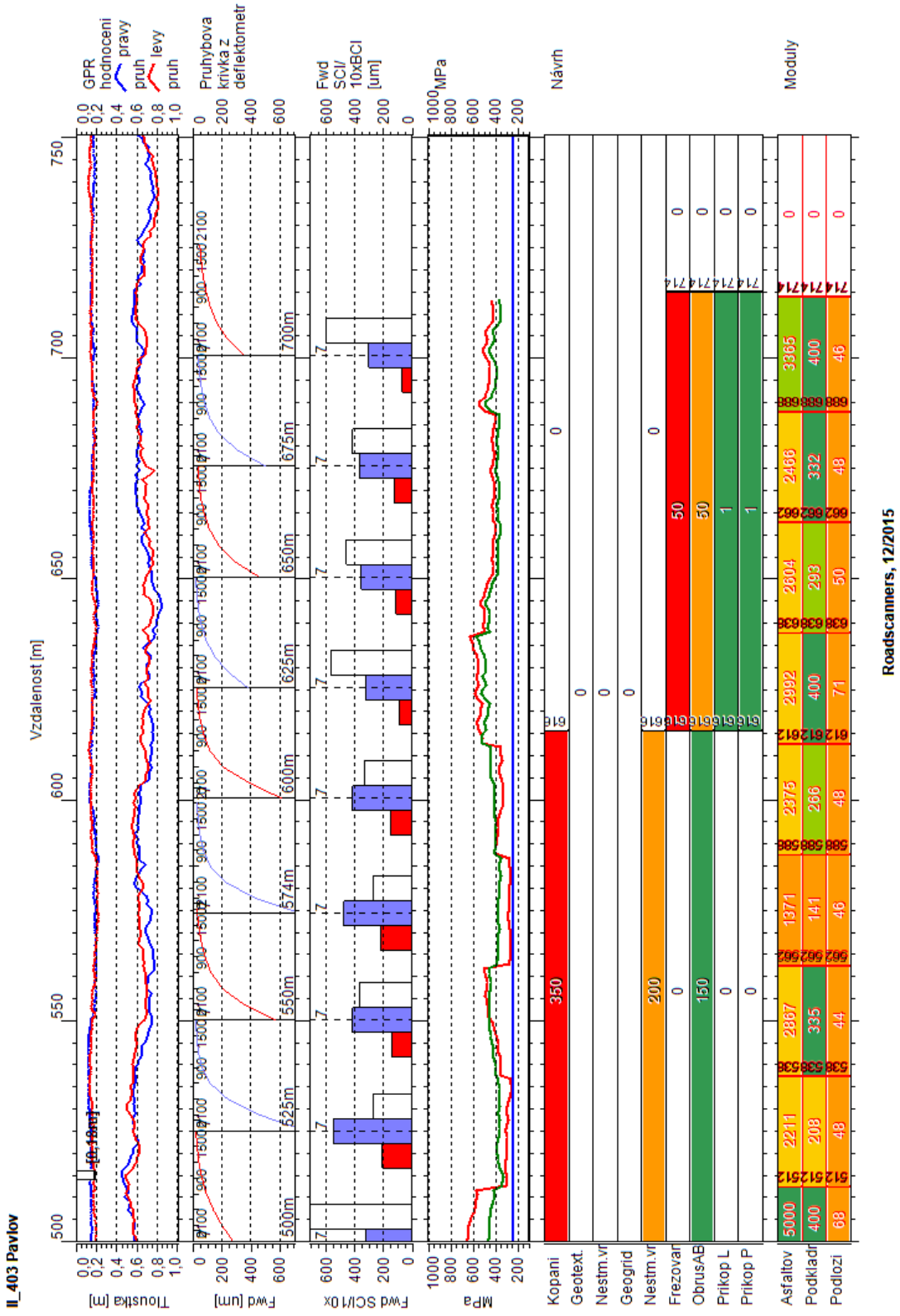

Pravy pruh
Pravy pruh
Levy pruh
Levy pruh
GPR hodnoceni
pravy pruh
levy pruh
AC antena
GC antena
AC antena
GC antena
Tloustka [m]
Vzdalenost [m]
250
300
350
400
450
500
Il_403 Pavlov
Roadscanners, 12/2015


Pravy pruh
Pravy pruh
Levy pruh
Levy pruh
GPR
hodnoceni
pravy
pruh
levy
pruh
IL_403 Pavlov
Vzdalenost [m]
AC antena
GC antena
AC antena
GC antena
Tloustka [m]
Roadscanners, 12/2015

Příloha 3. Profily úseku silnice II/403 Pavlov – průtah zobrazené v programu Road Doctor, FWD, únosnost vozovky a návrh oprav




II_403 Pavlov
Vzdalenost [m]
Tloustka [m]
Fwd [um]
Fwd SCI/10x
MPa
Kopani
Geotext.
Nestm.vr
Geogrid
Nestm.vr
Frezovan
ObrusAB
Prikop L
Prikop P
Asfaltov
Podkladn
Podlozi
GPR hodnoceni
pravy pruh
levy pruh
Pruhybova krivka z deflektometr
Fwd SCI/ 10xBCI [um]
MPa
Návrh
Moduly
Roadscanners, 12/2015


II_403 Pavlov
Vzdalenost [m]
Tloustka [m]
Fwd [um]
Fwd SCI/10x
MPa
Kopani
Geotext.
Nestm.vr
Geogrid
Nestm.vr
Frezovan
ObrusAB
Prikop L
Prikop P
Asfaltov
Podkladn
Podlozi
GPR hodnoceni
pravy pruh
levy pruh
Pruhybova krivka z deflektometr
Fwd SCI/ 10xBCI [um]
MPa
Navrh
Moduly
Roadscanners, 12/2015

Rovaniemi, Main Office:
Roadscanners Oy, Varastotie 2, FI-96100 ROVANIEMI, Finland
Tel. int. +358 (0)207 815 660
Fax int. +358 (0)207 815 662

General enquiries: info@roadscanners.com

Roadscanners Central Europe s.r.o
Červeňanského 15, 155 00 Praha 5, Czech Republic
Tel. int. +420 601 325 131

BEYOND
THE
SURFACE