

# Zaměření úseku silnice II/128 Pacov- průtah technologií georadaru (GPR) a návrh rehabilitačních prací metodou ROADEX

Určení tloušťek vrstev komunikace a návrh rehabilitačních prací



# Zaměření úseku silnice II/128 Pacov- průtah technologií georadaru (GPR) a návrh rehabilitačních prací metodou ROADDEX

Určení tloušťek 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 .....                                                          | 8  |
| 6. Hodnocení úseku.....                                                                        | 10 |
| 7. Návrh zesílení .....                                                                        | 12 |
| 7.1 Systém odvodnění .....                                                                     | 12 |
| 7.2 Odfrézování části stávající asfaltové vrstvy, tvarování, pokládka nové ohrusné vrstvy..... | 13 |
| 7.3 Výměna podloží .....                                                                       | 13 |
| 8. Shrnutí a závěry .....                                                                      | 14 |
| PŘÍLOHY .....                                                                                  | 15 |

# 1. Úvod

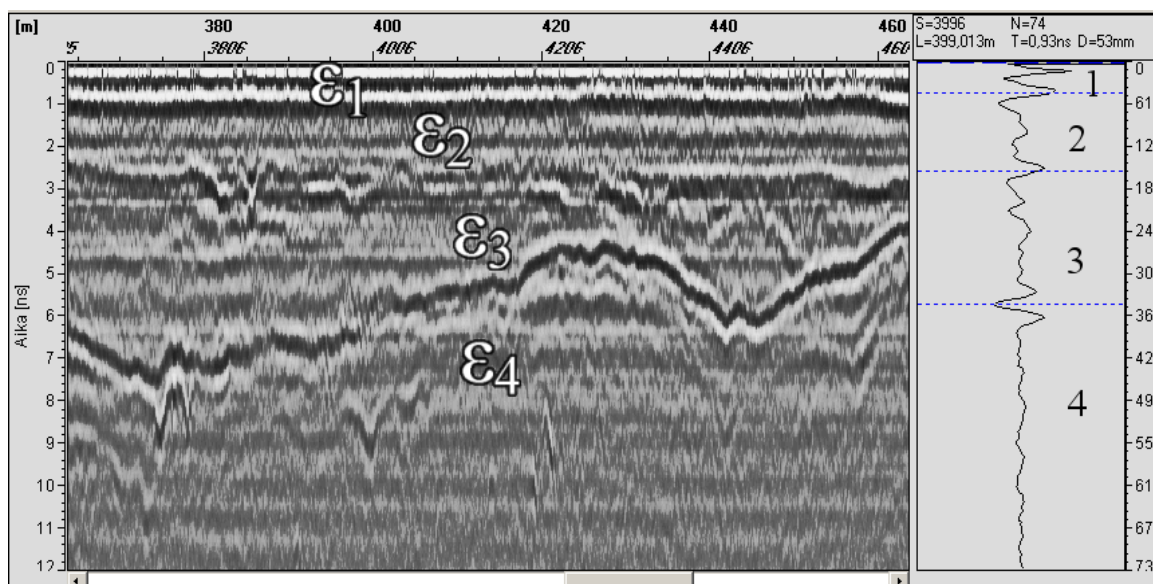
Dne 28. října 2015 provedla společnost Roadscanners Central Europe s.r.o. diagnostiku silnice II/128 Pacov - průtah, ve staničení km 0,000 - km 3,100. Začátek měření byl na silnici II/128 při ceduli začátku obce Pacov (49.4614333N, 14.9914919E). Konec měřeného úseku byl za cedulí konce obce, v místě změny povrchu - nový asfalt (49.4826450N, 14.9953222E). Délka zaměřeného úseku v jednom směru byla přibližně 3,3014 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 ( $\epsilon$ ). 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 ( $\epsilon_4$ ), 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.

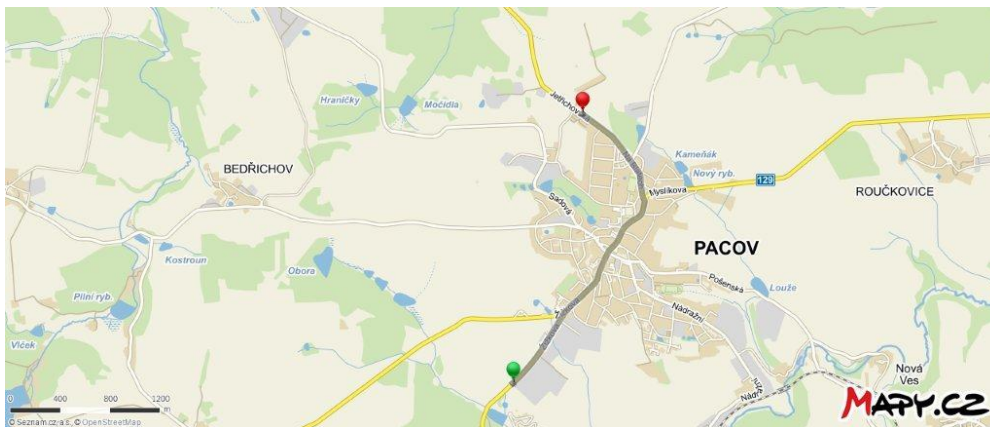
Vlnová délka antény ovlivňuje schopnost systému identifikovat objekty různých velikostí. Například vysoké frekvence antény s krátkou vlnovou délkou mají lepší rozlišení, ale menší hloubku průniku, zatímco nízké frekvence antény s delší vlnovou délkou mají hrubší rozlišení, avšak pronikají hlouběji do 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 měřicí 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/128 Pacov - průtah je dlouhý přibližně 3,3 km v jednom směru. Měření bylo započato při ceduli začátku obce Pacov, ulice Žižkova (49.4614333N, 14.9914919E). Konec měřeného úseku byl za cedulí konce obce, v místě změny povrchu - nový asfalt, ulice Jetřichovská (49.4826450N, 14.9953222E). 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 380 těžkých motorových vozidel, 1405 osobních a dodávkových vozidel, 15 jednostopých motorových vozidel a 360 těžkých nákladních vozidel za 24 hodin.



Obrázek 2. Mapa měřeného úseku silnice II/128 Pacov - průtah. Mapový podklad: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)



Obrázek 3. Zobrazení začátku (vlevo) a konce (vpravo) měřeného úseku II/128 Pacov - průtah



Obrázek 4. Mapa měřeného úseku silnice II/128 Pacov - průtah. Mapový podklad: [www.openstreetmap.org](http://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

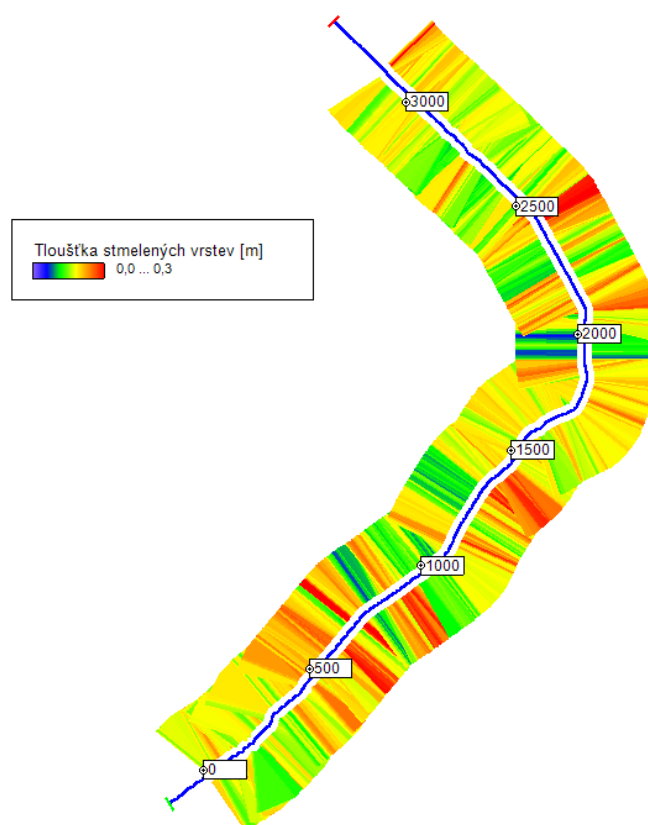
Údaje z GPR byly zpracovány a vyhodnoceny softwarem Road Doctor Pro®. Zároveň byly do softwaru importovány i údaje z měření deflektometrem (FWD) a záznam digitálního videa pro komplexní interpretaci a analýzu rizik.

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

### 4.1 Tloušťky konstrukčních vrstev vozovky

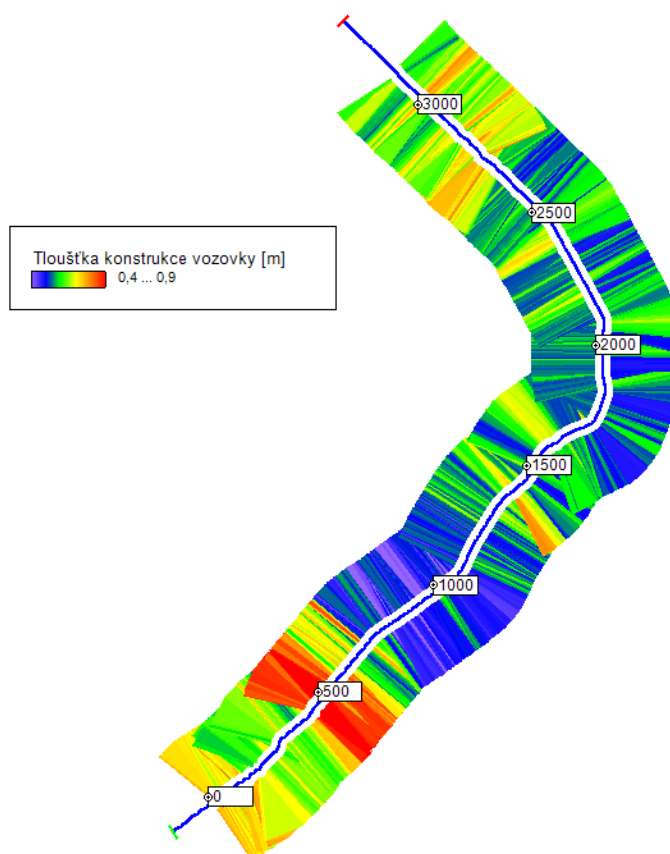
Průměrná tloušťka stmelených vrstev na úseku silnice II/128 Pacov-průtah je 18 cm v obou měřených liniích. V celém úseku je tloušťka stmelených vrstev víceméně rovnoměrná, na mapě úseku ji prezentuje obrázek 6. Celková tloušťka konstrukce vozovky dosahuje průměrně 60 cm a je prezentována na mapě úseku 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.





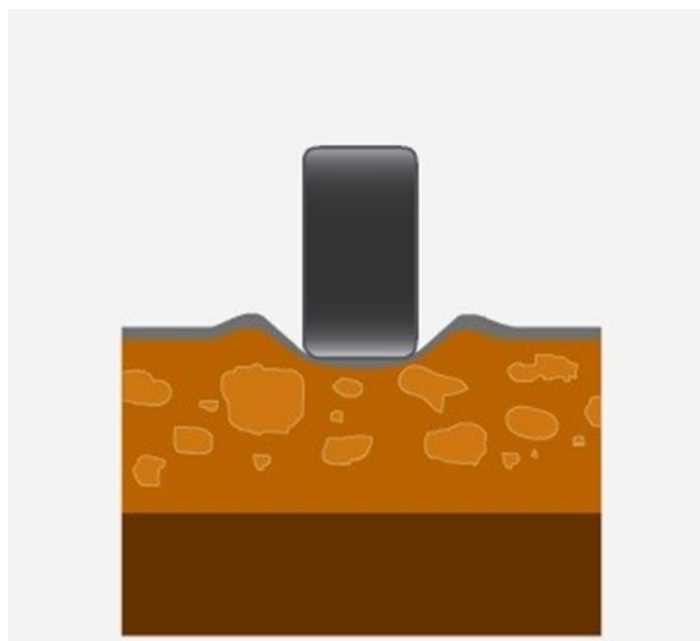
Obrázek 7. Celková tloušťka konstrukce vozovky zobrazená na mapě. Červená místa znázorňují sekce, kde je celková tloušťka konstrukce vozovky vyšší než 90 cm, modrá místa znázorňují sekce, kde je celková tloušťka konstrukce nižší než 40 cm.

## 5. Riziko vzniku kolejí typu 1 a 2

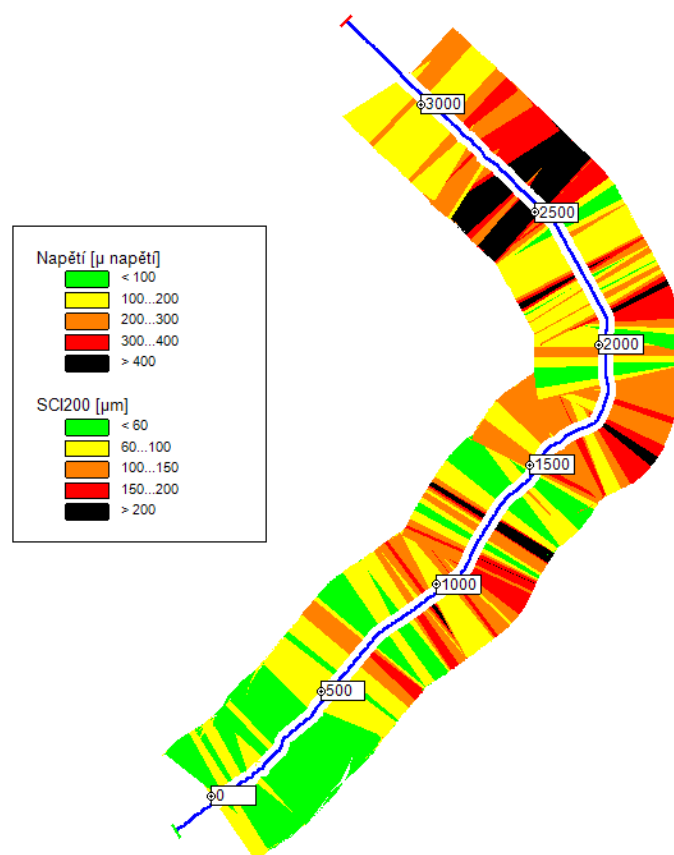
### 5.1 Riziko vzniku kolejí typu 1

Na základě výzkumného projektu ROADDEX v EU ([www.roadex.org](http://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, 11 % hodnot je naopak vyšší než 300 mikro deformačních jednotek. Povrchový index křivosti (SCI 200) dosahuje v 53 % případů hodnot pod 100  $\mu\text{m}$  a pouze v 8 % případů dosahuje hodnot vyšších než 200  $\mu\text{m}$ . Tyto hodnoty znázorňuje mapa na obrázku 9. Riziko vzniku kolejí typu 1 lze obecně považovat za mírné.



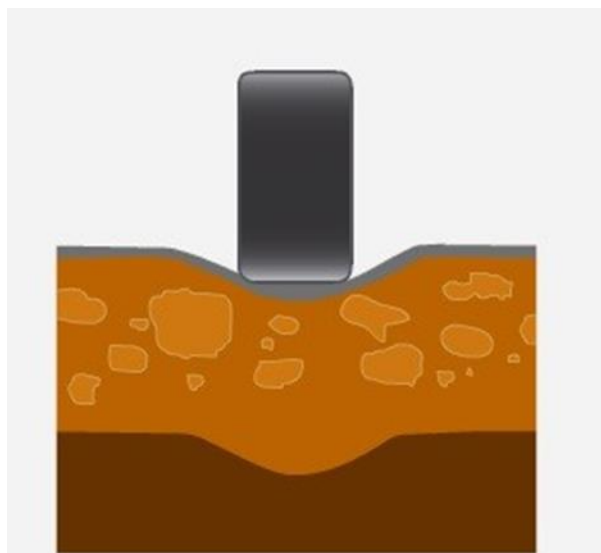
Obrázek 8. Riziko vzniku kolejí typu 1.



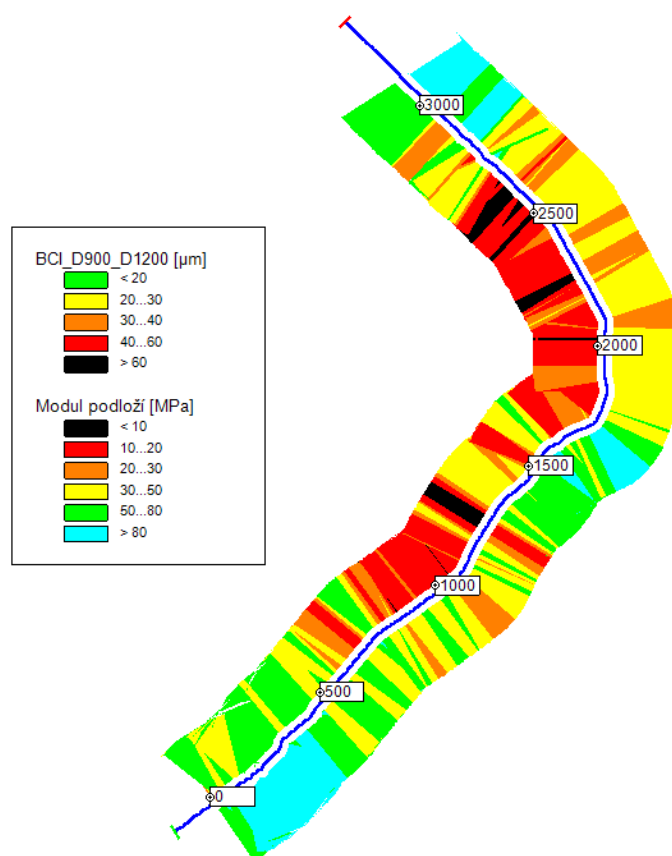
Obrázek 9. Hodnoty napětí (vlevo) a SCI200 (vpravo) zobrazeny na mapě.

## 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/128 naměřené parametry poukazují na mírné riziko vzniku kolejí typu 2. 50 % hodnot modulu podloží je vyšších než 50 MPa, nicméně se na daném úseku nacházejí i slabší místa - 12 % hodnot modulu podloží dosahuje hodnot nižších než 30 MPa. Hodnoty modulu podloží jsou zobrazeny na mapě na obr. 11 společně s odpovídajícími hodnotami BCI (podkladový index křivosti). Přibližně 44 % hodnot podkladového indexu křivosti BCI (BCI;  $D_{900}$ - $D_{1200}$ ) je vyšších než 40  $\mu\text{m}$ , 7 % hodnot je vyšší než 60  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 10. Riziko vzniku kolejí typu 2.

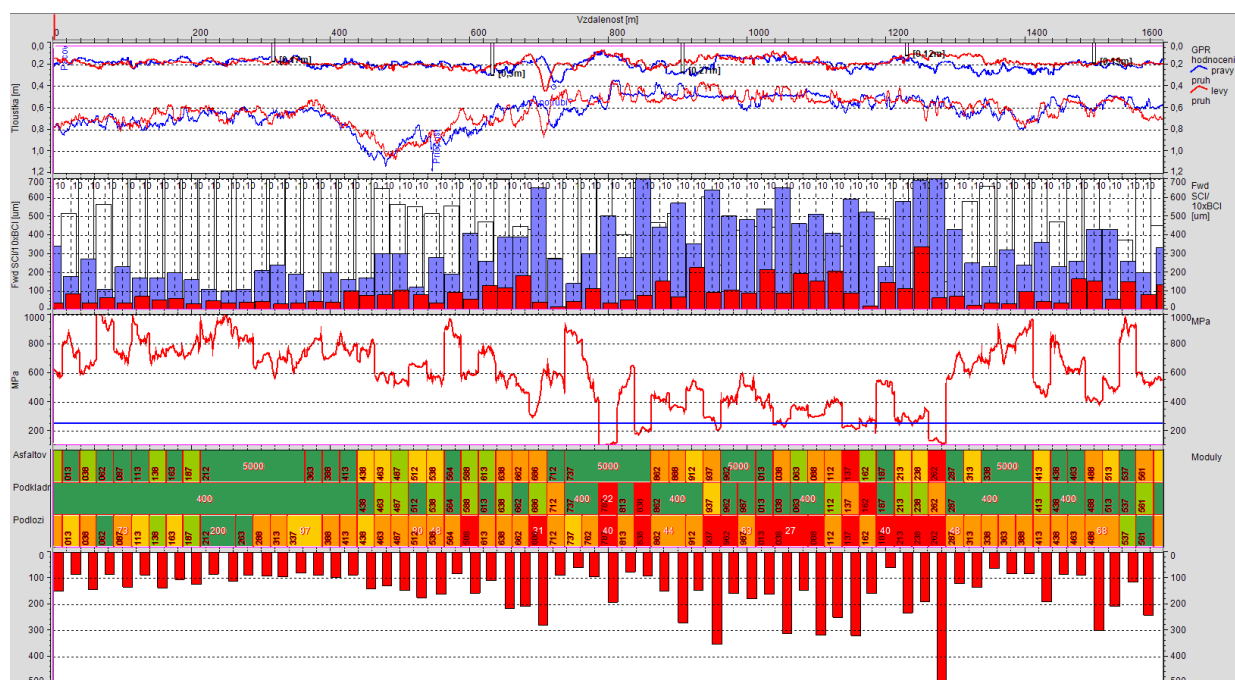


Obrázek 11. Hodnoty modulu podloží (vpravo) a BCI podkladového indexu křivosti (vlevo) na mapě.

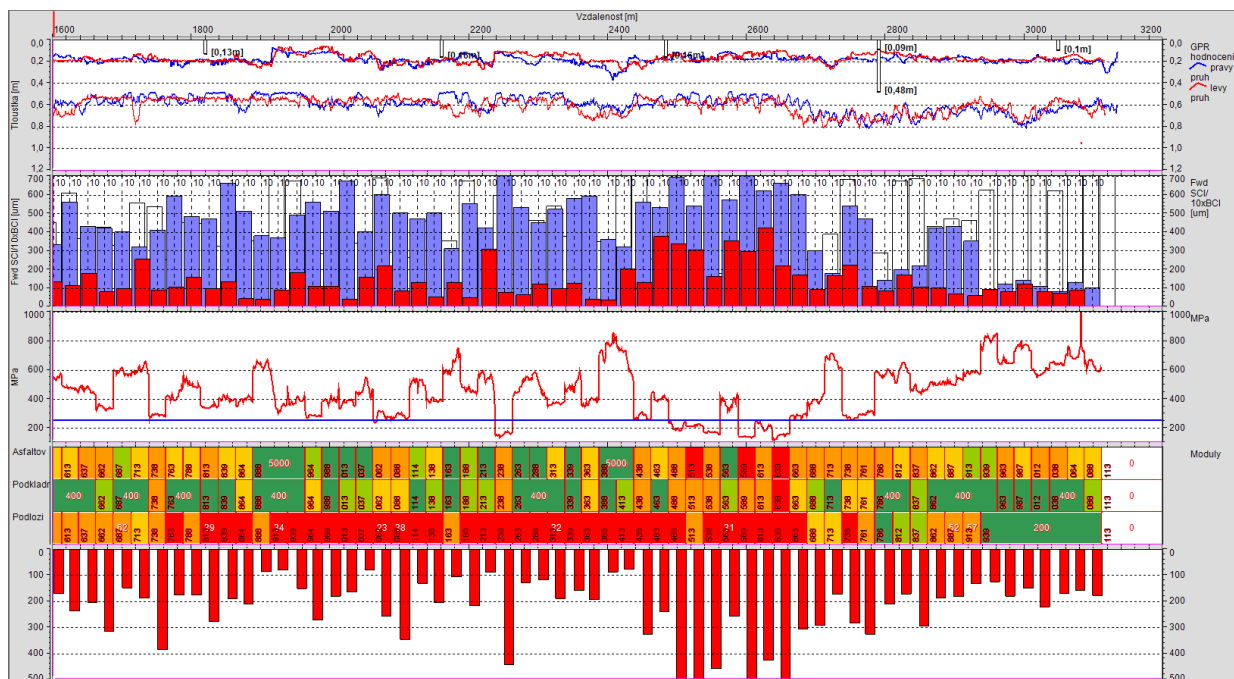


## 6. Hodnocení úseku

Hodnocený úsek silnice II/128 vede centrem obce Pacov. Na začátku a na konci měřeného úseku je silnice užší a po obou stranách se v její těsné blízkosti nacházejí stromy. Únosnost vozovky je převážně na poměrně dobré úrovni, s výjimkou několika slabších úseků. Také horní část konstrukce vozovky je v relativně dobrém stavu vyjma úseků s nižší únosností. Jako krátké shrnutí je na obrázcích 12 a 13 prezentován přehled stavu celého měřeného úseku.



Obrázek 12. Zobrazení výstupů GPR a FWD z daného úseku v softwaru RoadDoctor3®, staničení km 0,00 - km 1,600 (shora: Okno 1: GPR interpretace - kontinuální průběh stmelěných 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 stmelěných a nestmelěných vrstev a podloží (zelená barva = dobrá hodnota, červená = nízká hodnota; Okno 5: hodnoty napětí v asfaltové vrstvě přepočtené teplotním faktorem materiálu (červené sloupce).



Obrázek 13. Zobrazení výstupů GPR a FWD z daného úseku v softwaru RoadDoctor3®, staničení km 1,600 - km 3,200 (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 obrázcích 14 a 15 jsou typické ukázky okolí silnice v měřeném úseku.



Obrázek 14. Videozáznam úseku ze staničení km 0,400 prezentuje typické okolí silnice.



Obrázek 15. Videozáznam úseku ze staničení km 1,200 prezentuje typické okolí silnice, centrum obce.

## 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 a více poškozených místech tohoto úseku silnice je řešením pro zesílení výměna podloží vozovky. V průběhu oprav by měla být věnována dostatečná pozornost správnému profilování a vyrovnaní vozovky, aby voda ze silnice správně odtékala do příkop 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 ROADDEX 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.

Přikopy 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 uvaženo 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 centrem obce. Na začátku a na konci měřeného úseku je silnice užší a po obou stranách se v její těsné blízkosti nacházejí stromy. Únosnost vozovky je převážně na poměrně dobré úrovni, s výjimkou několika slabších úseků. Také horní část konstrukce vozovky je v relativně dobrém stavu vyjma úseků s nižší únosností. V sekcích se slabší únosností a větším poškozením je navržen náročnější postup - výměna podloží. V ostatních částech úseku 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

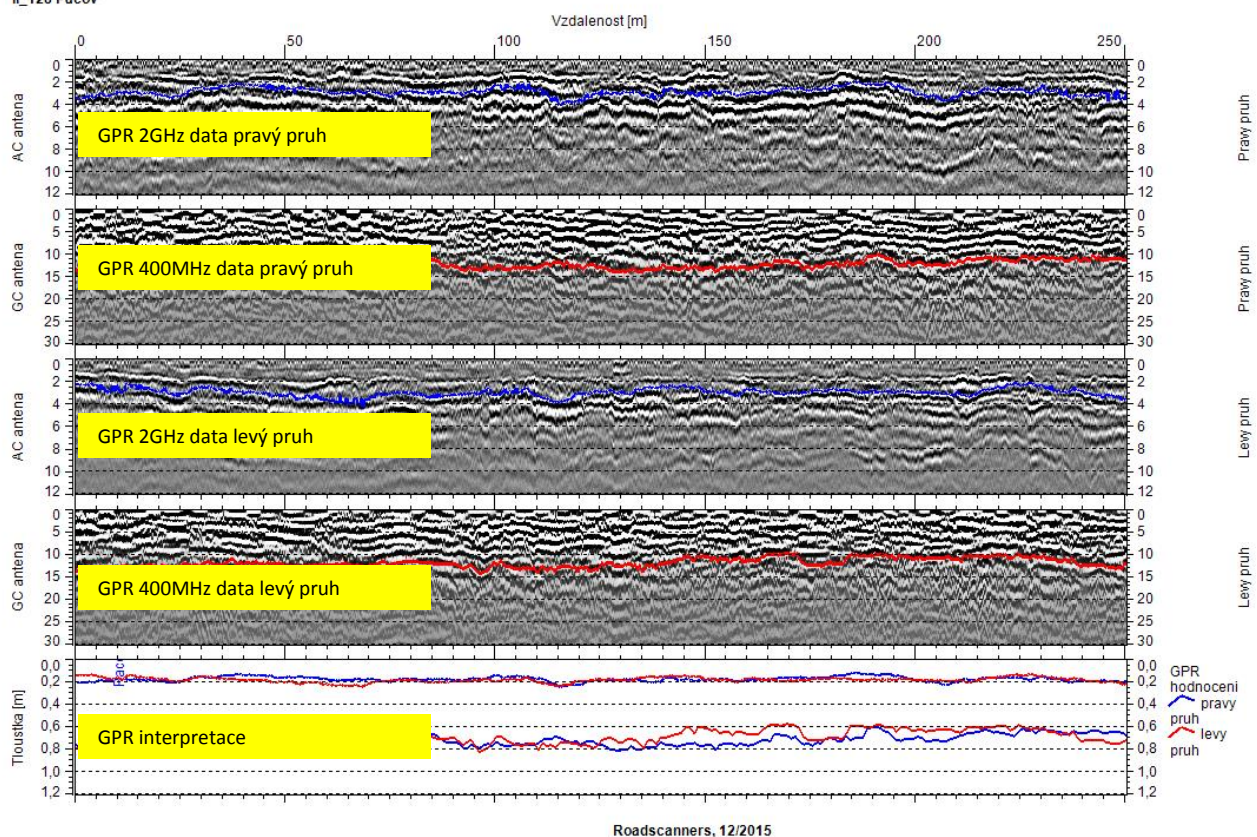
# PŘÍLOHY

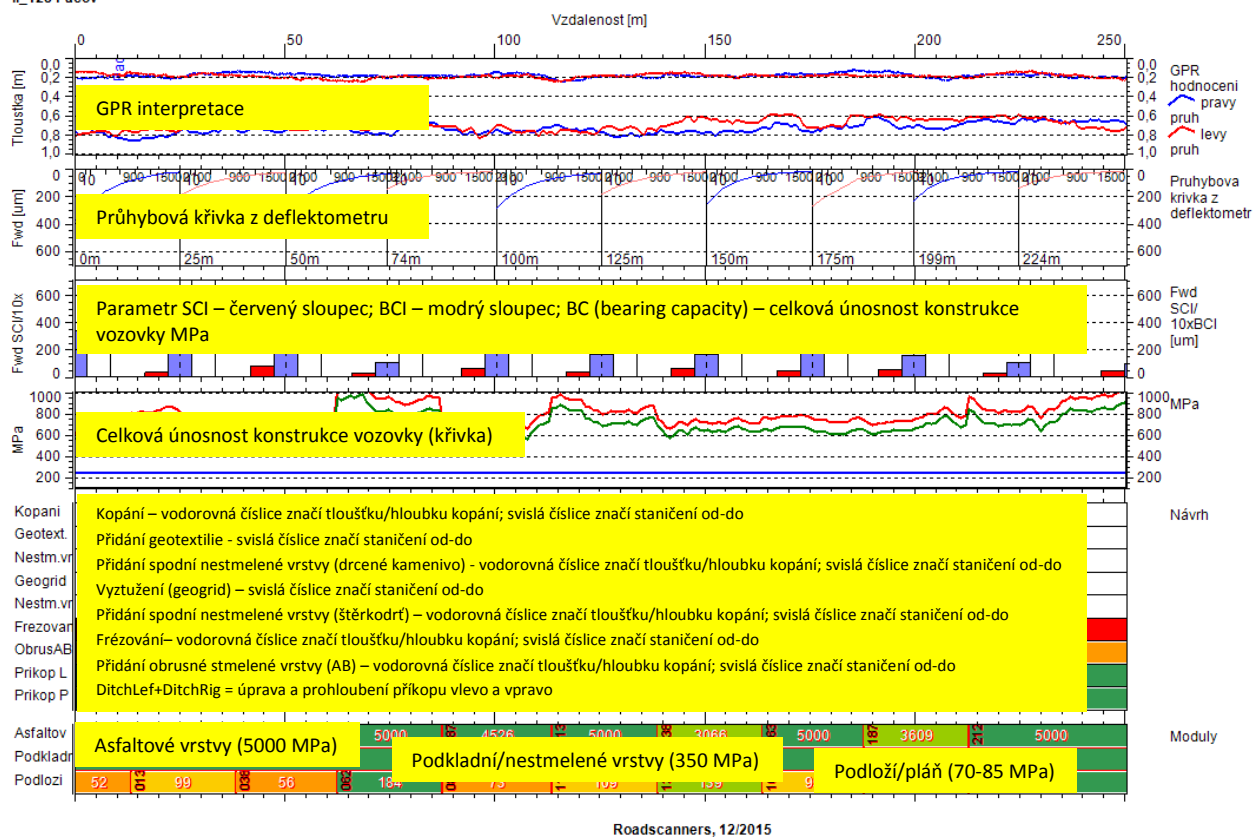
Příloha 1. Legenda výstupů

Příloha 2. Profily úseku silnice II/128 Pacov - průtah zobrazené v programu Road Doctor, vyhodnocení dat GPR.

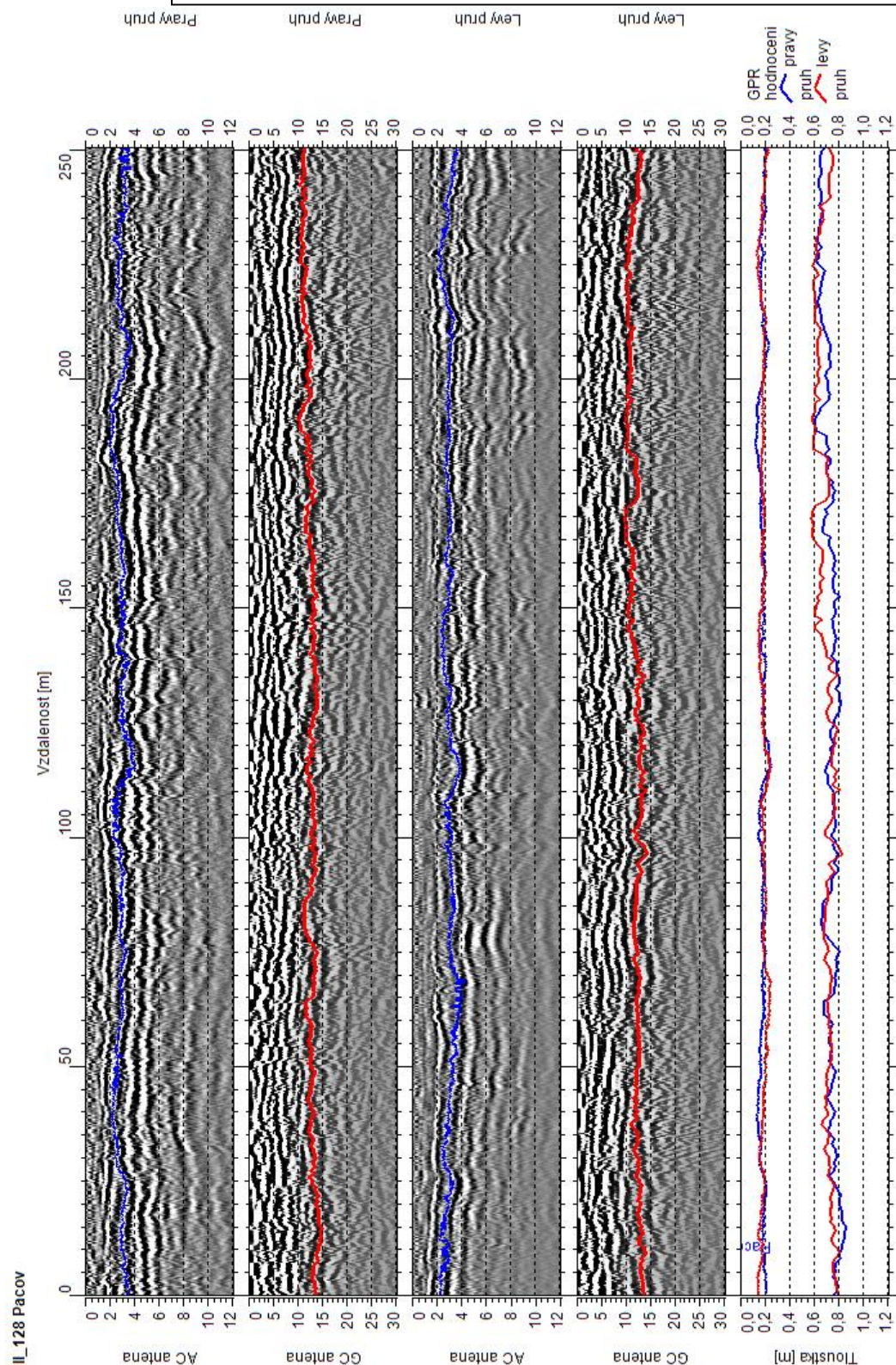
Příloha 3. Profily úseku silnice II/128 Pacov - průtah zobrazené v programu Road Doctor, FWD, únosnost vozovky a návrh oprav.

II\_128 Pacov



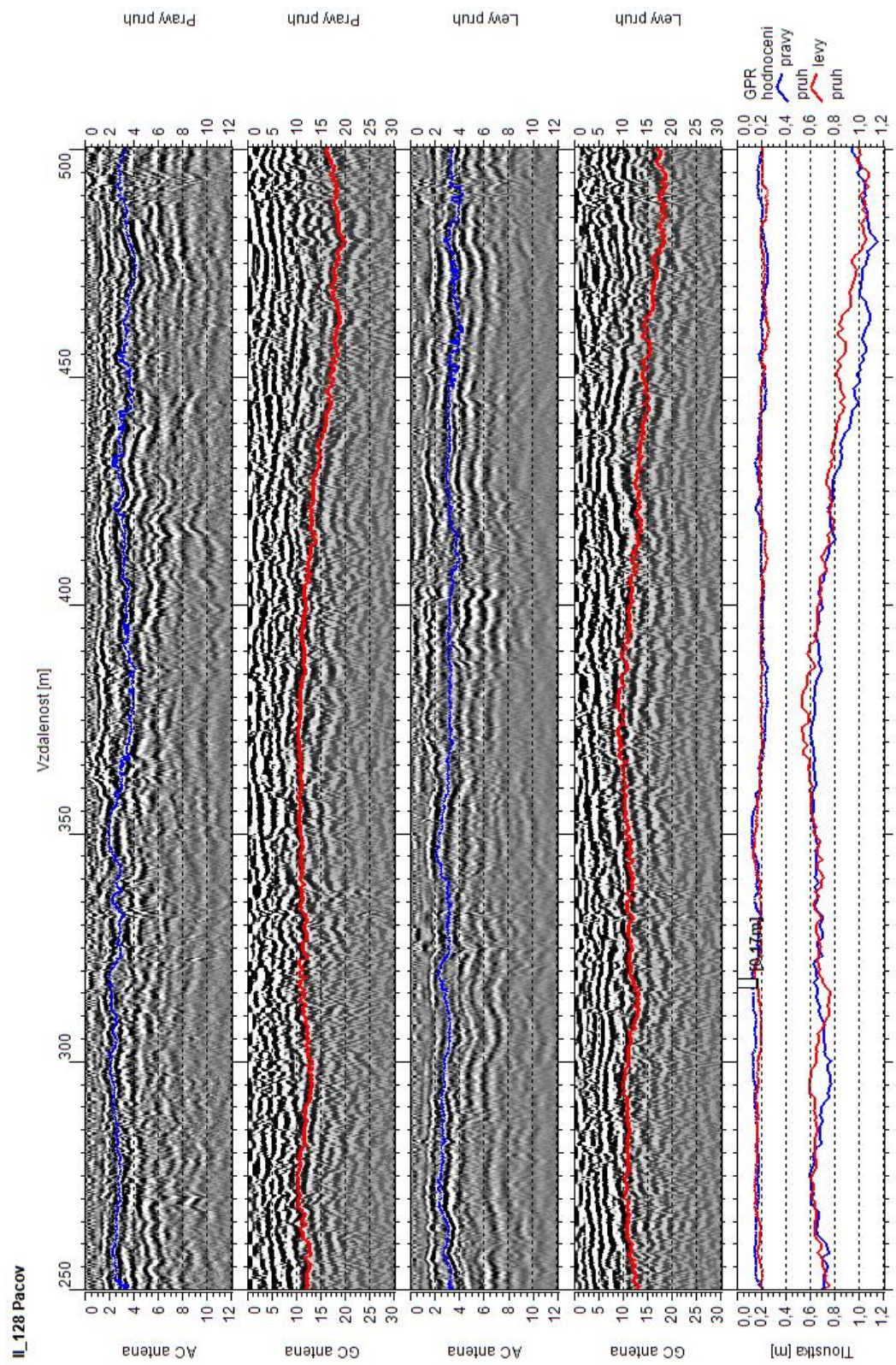






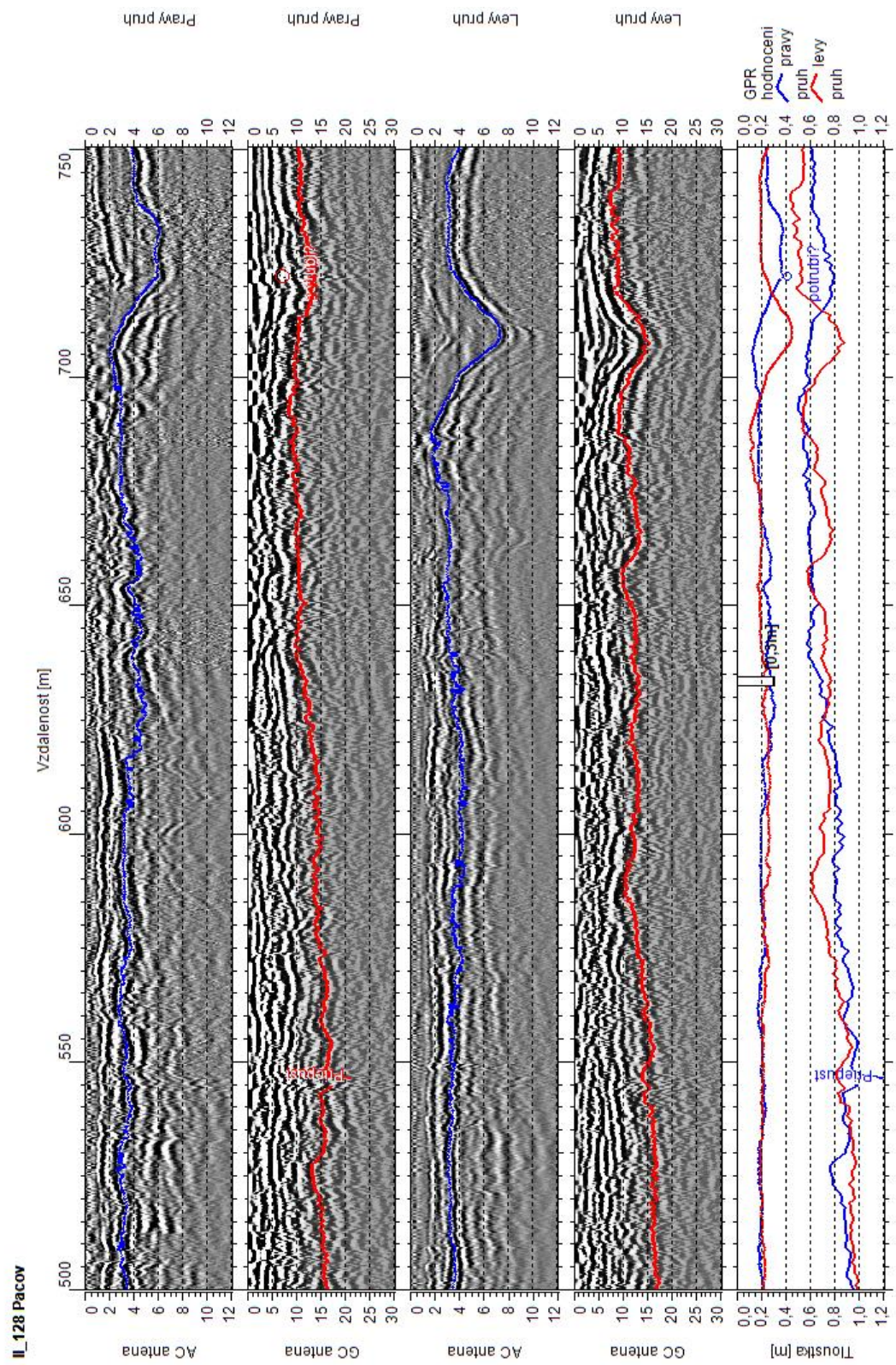
Roadscanners, 12/2015





Roadscanners, 12/2015

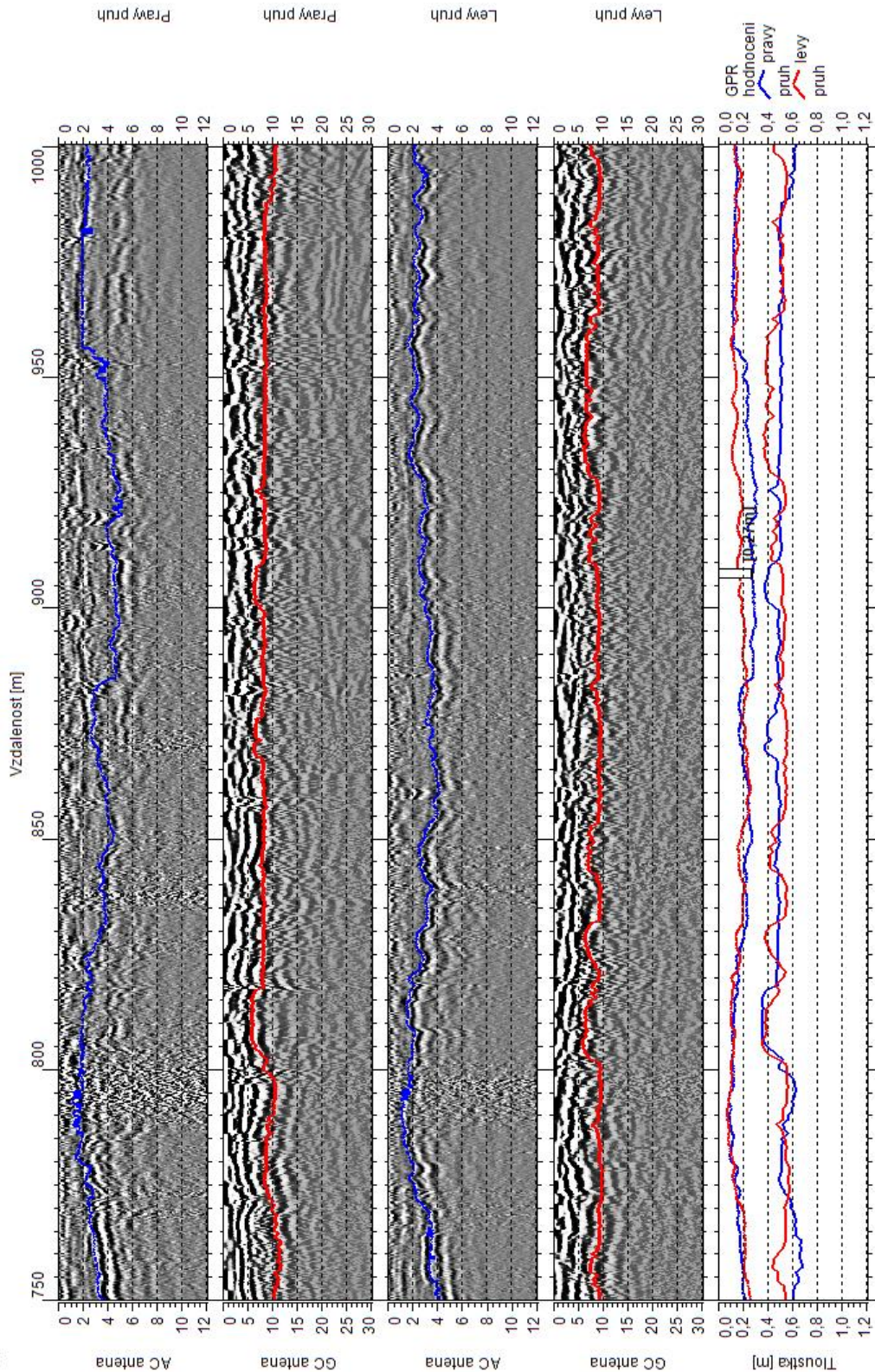




Roadscanners, 12/2015



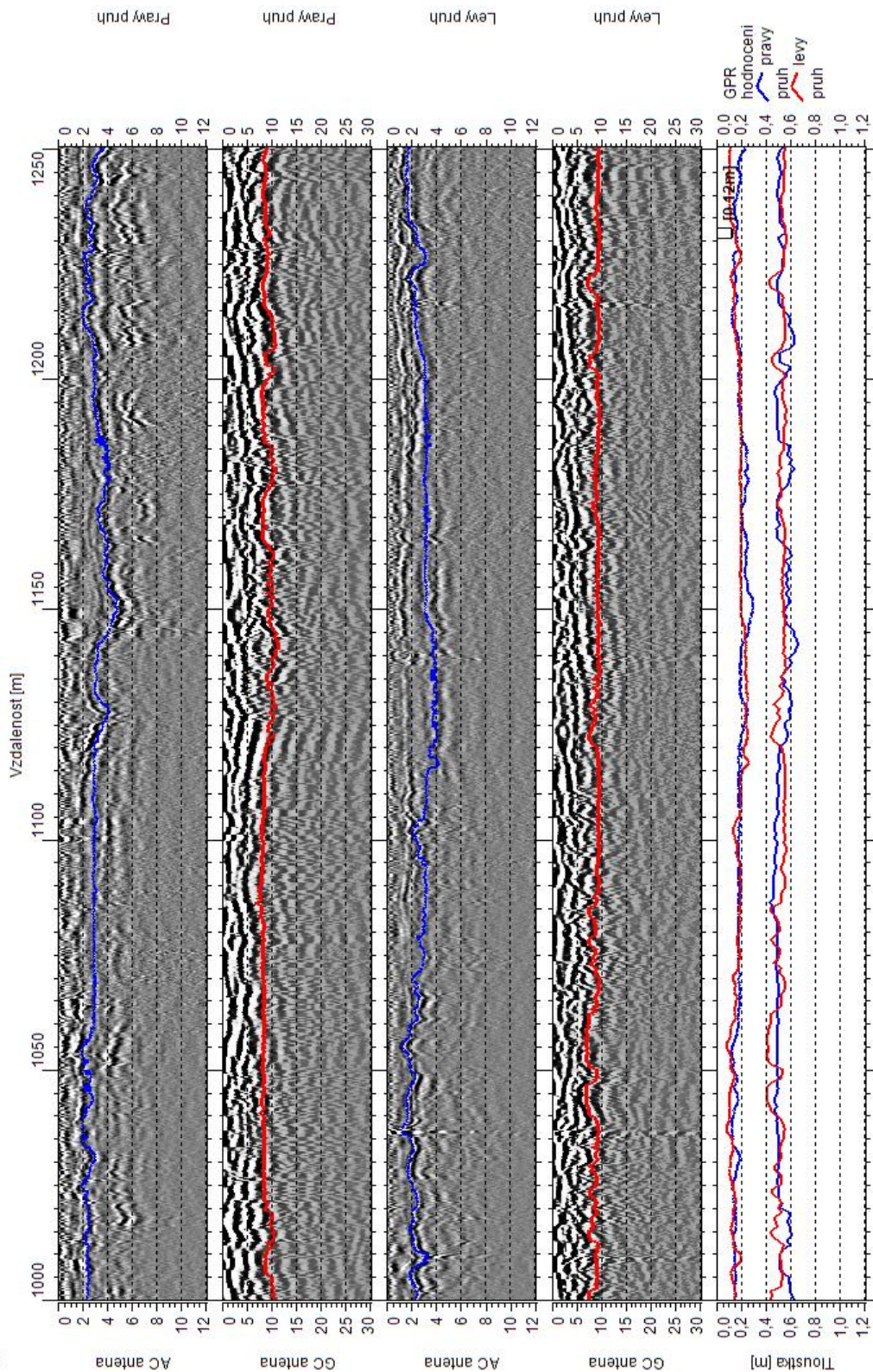
# II\_128 Pacov



Roadscanners, 12/2015



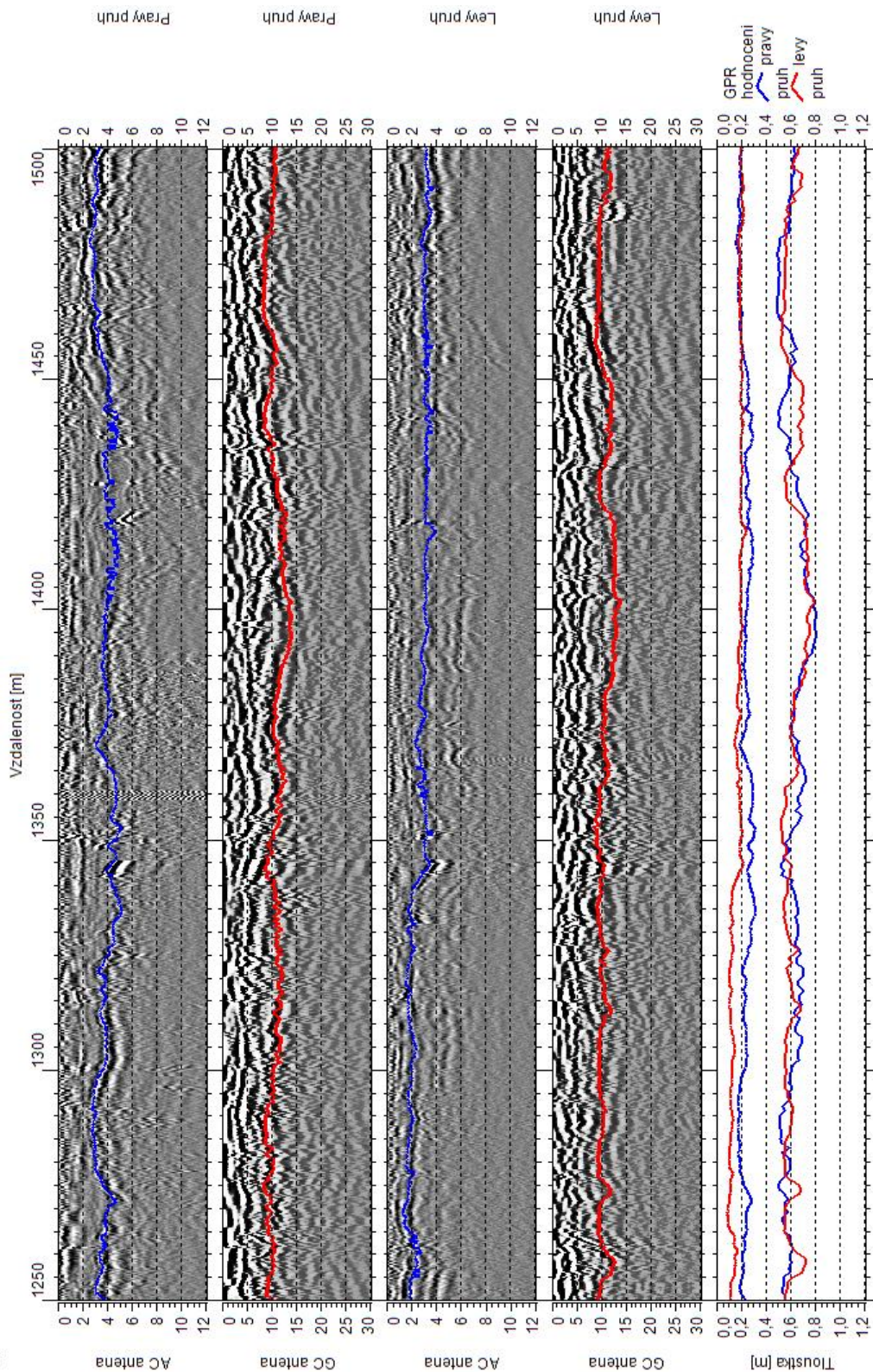
# II\_128 Pacov



Roadscanners, 12/2015

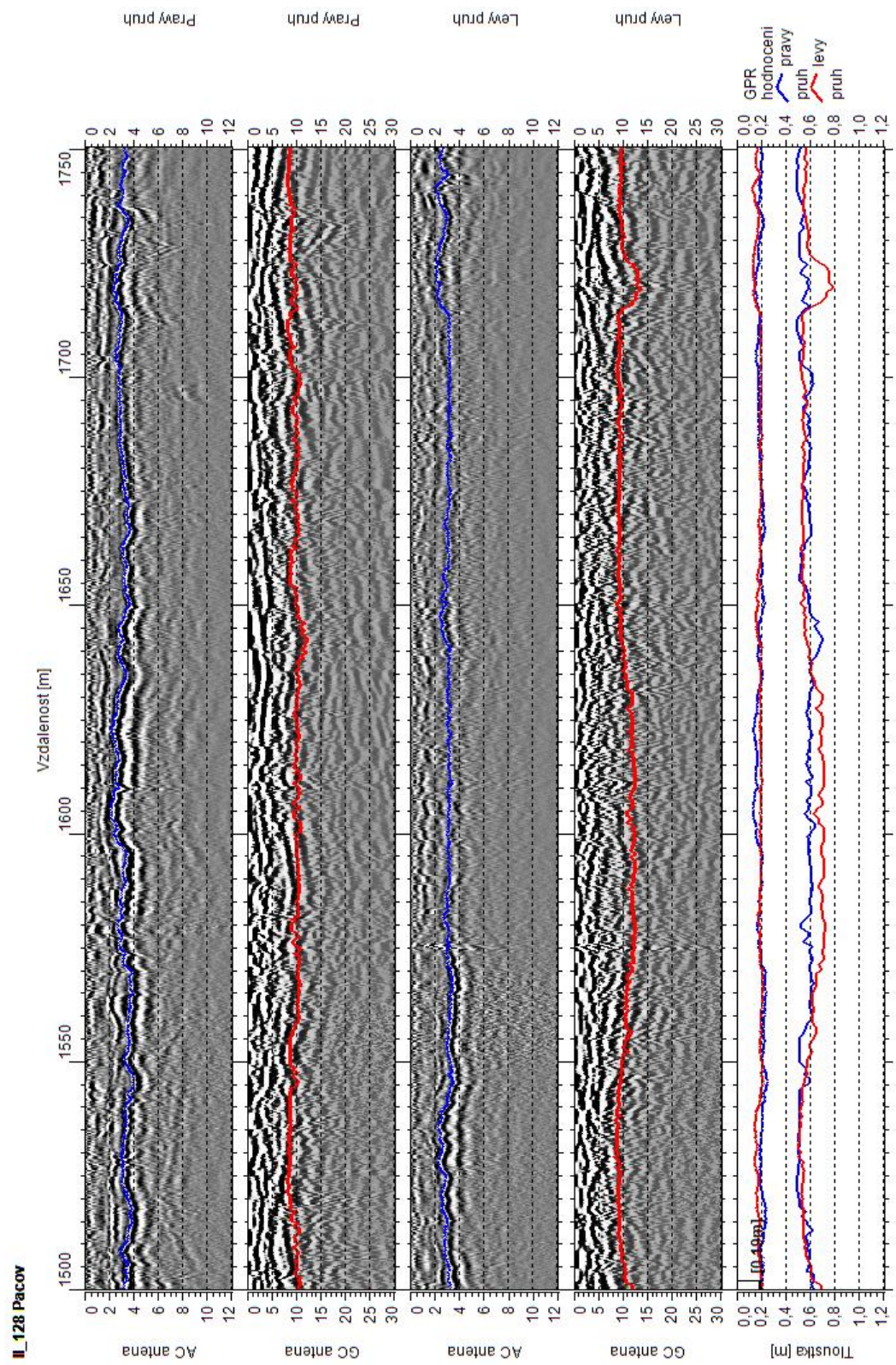


# II\_128 Pacov



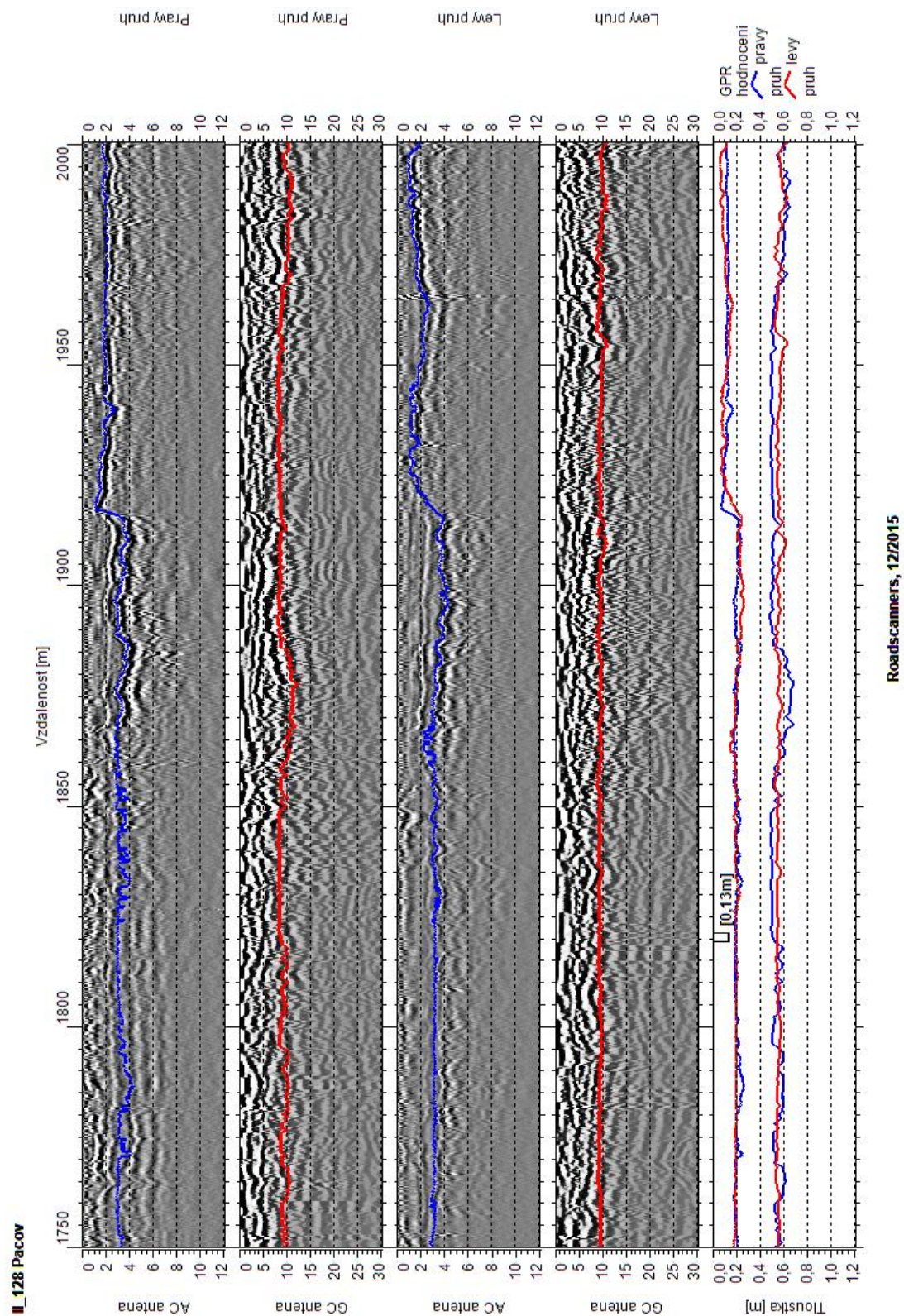
Roadscanners, 12/2015



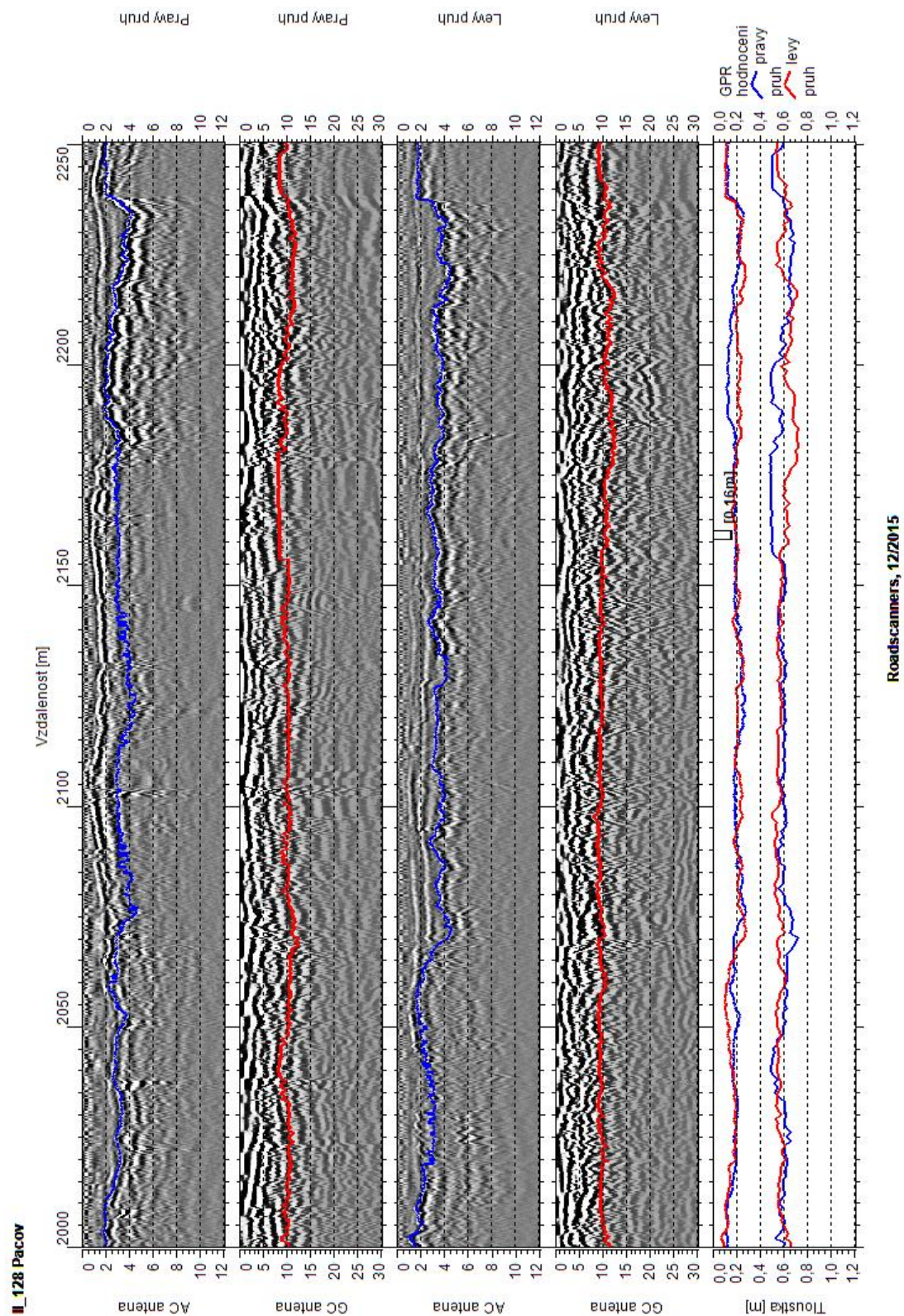


Roadscanners, 12/2015

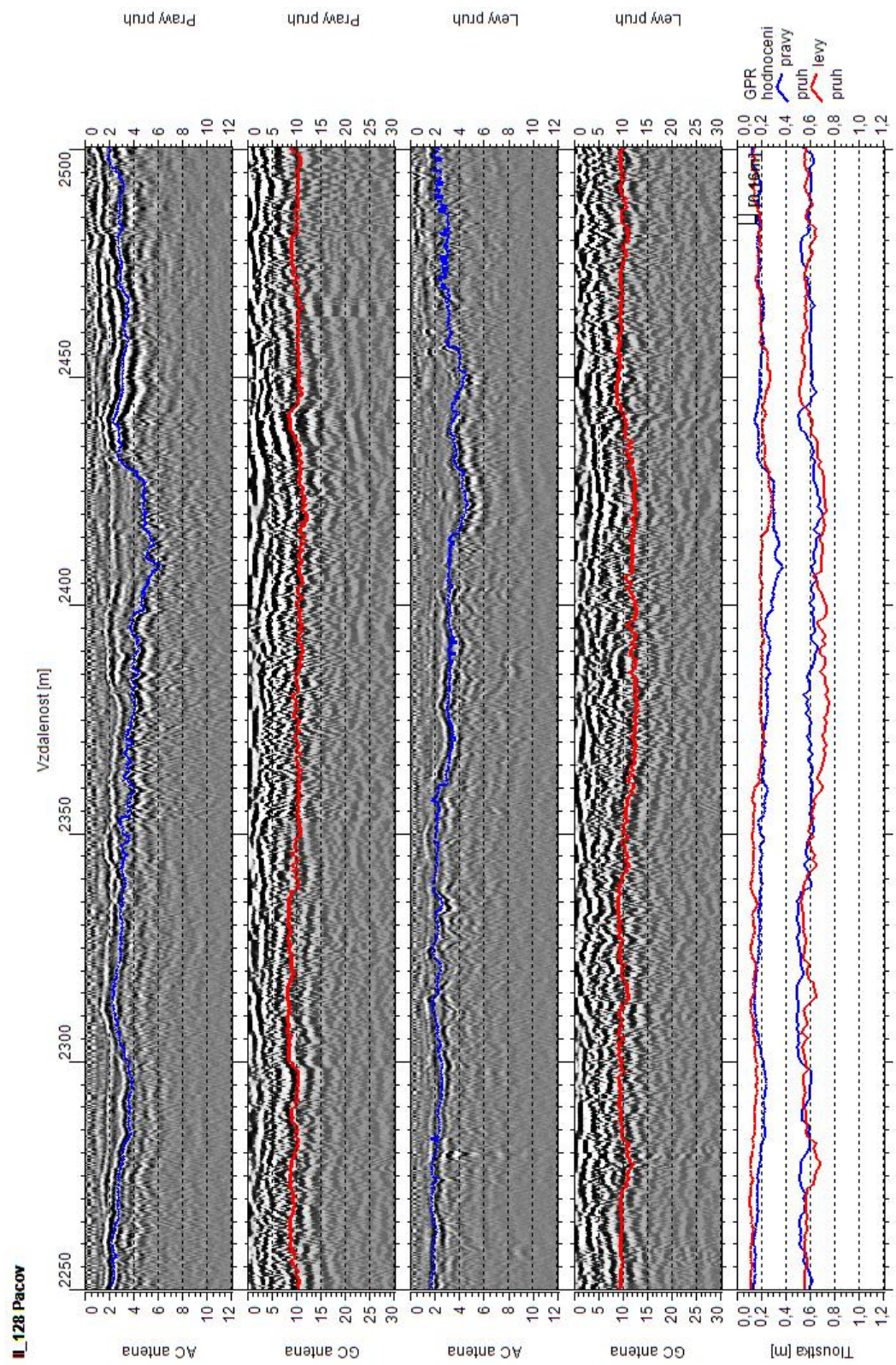






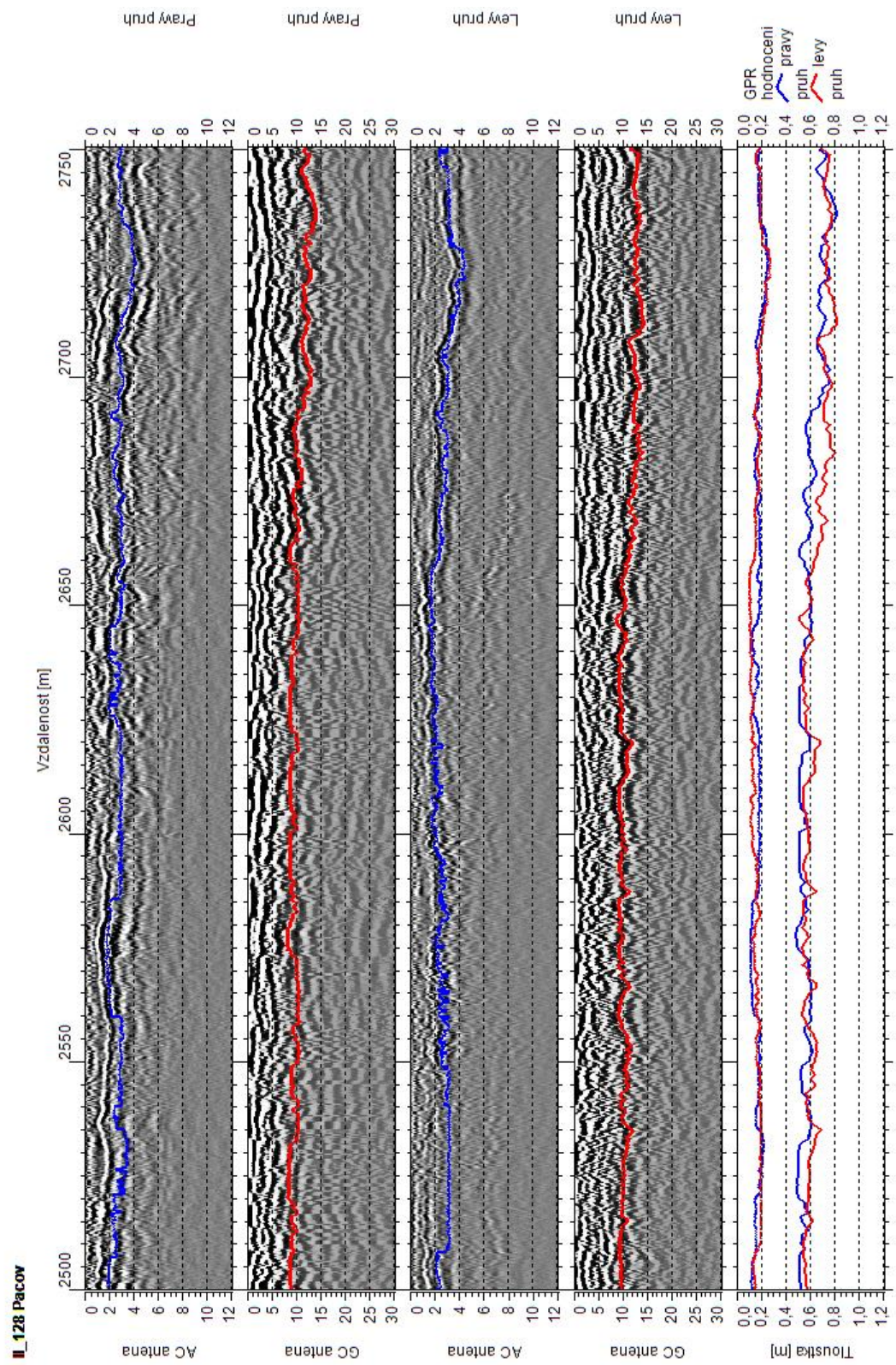






Roadscanners, 12/2015

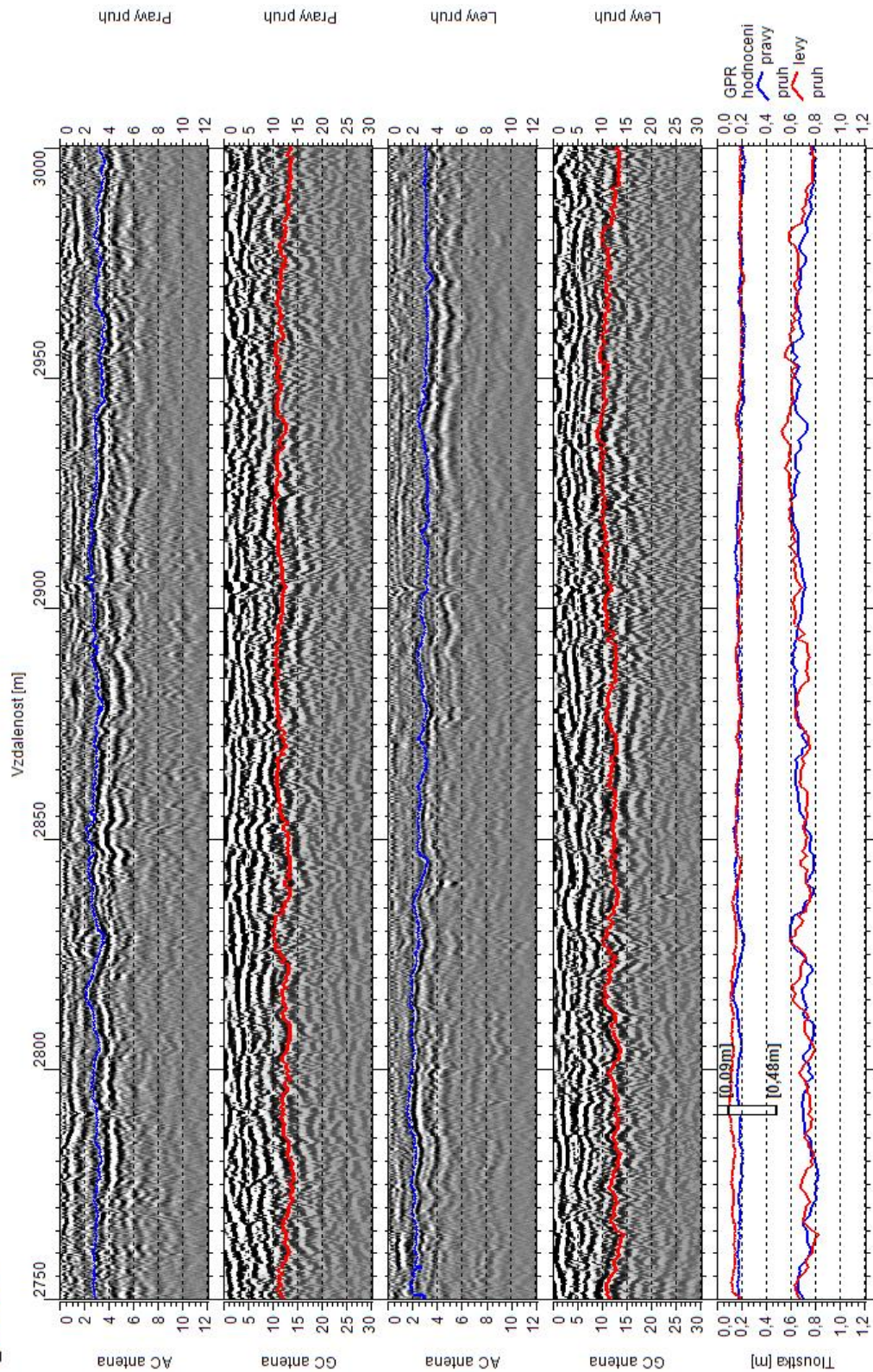




Roadscanners, 12/2015

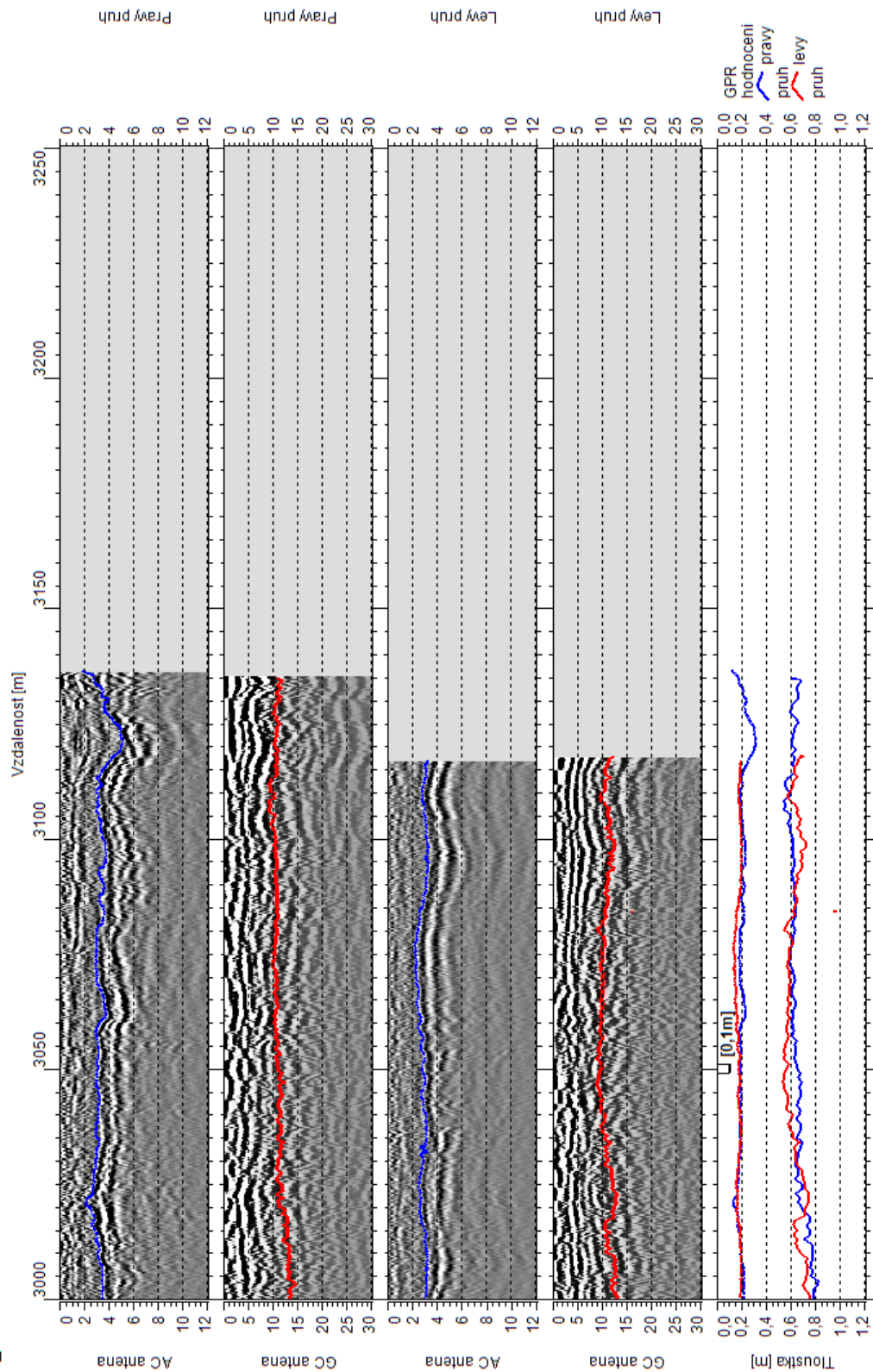


# II\_128 Pacov



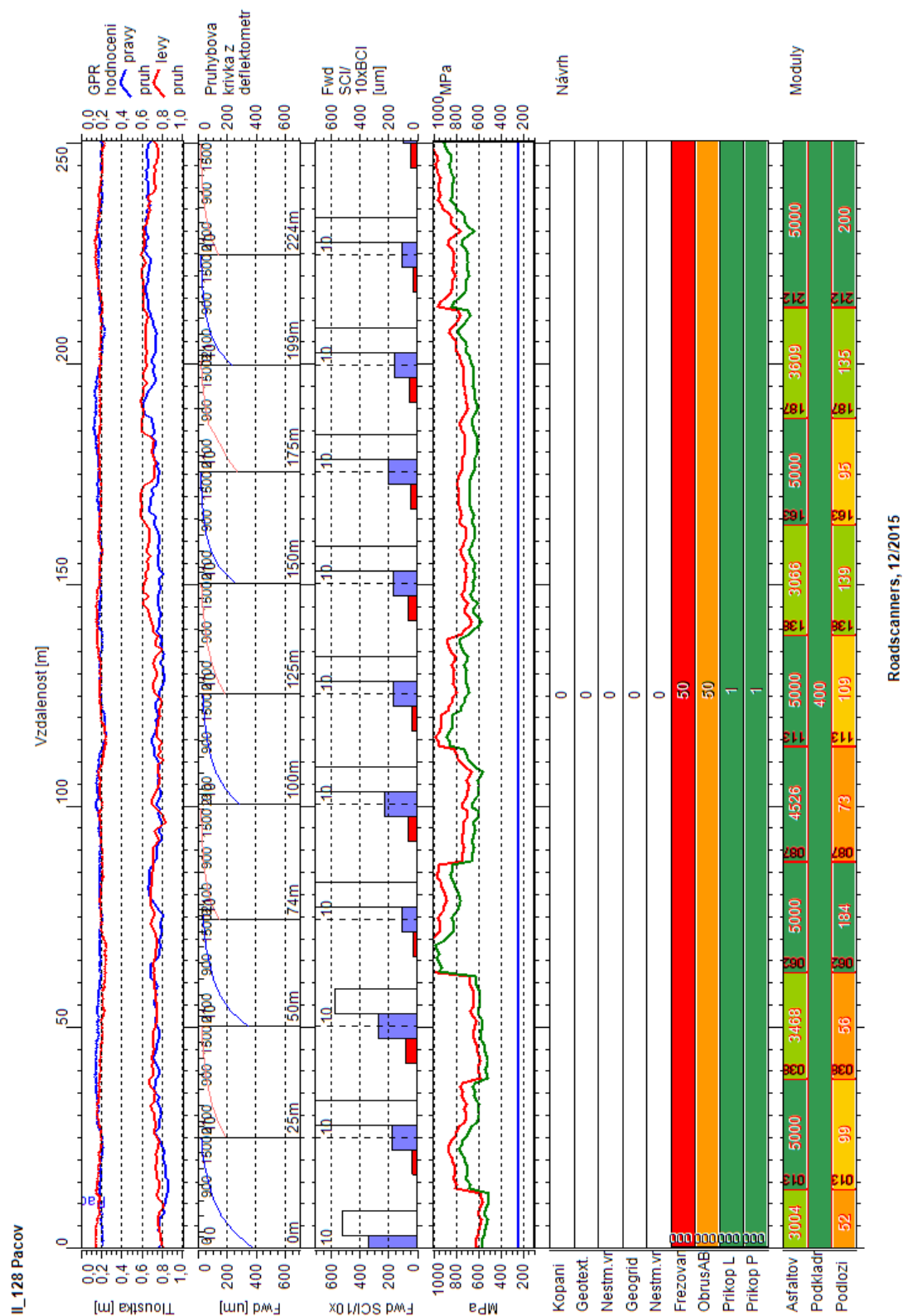
Roadscanners, 12/2015

# II\_128 Pacov



Roadscanners, 12/2015







[illegible]

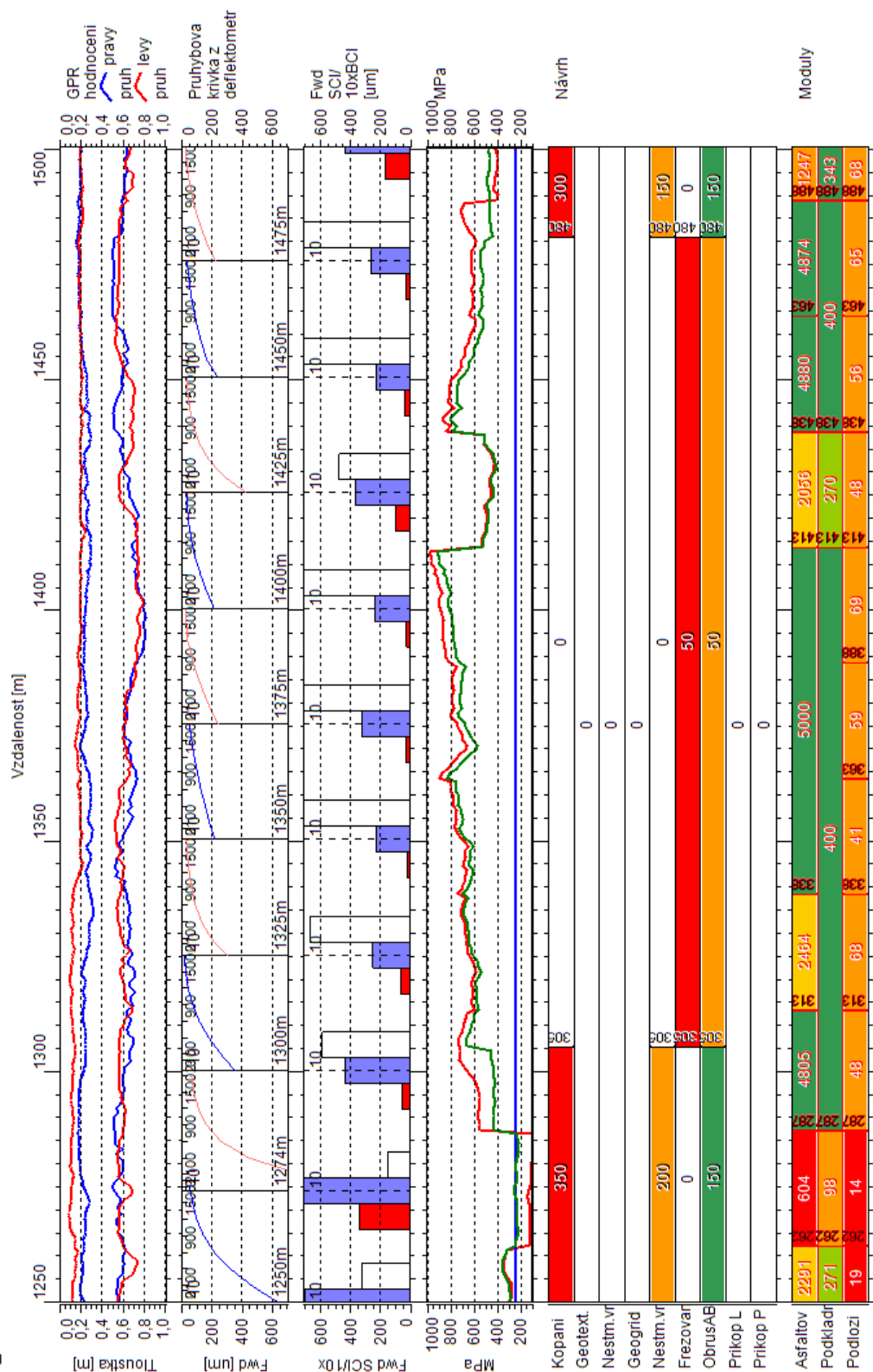
## Module





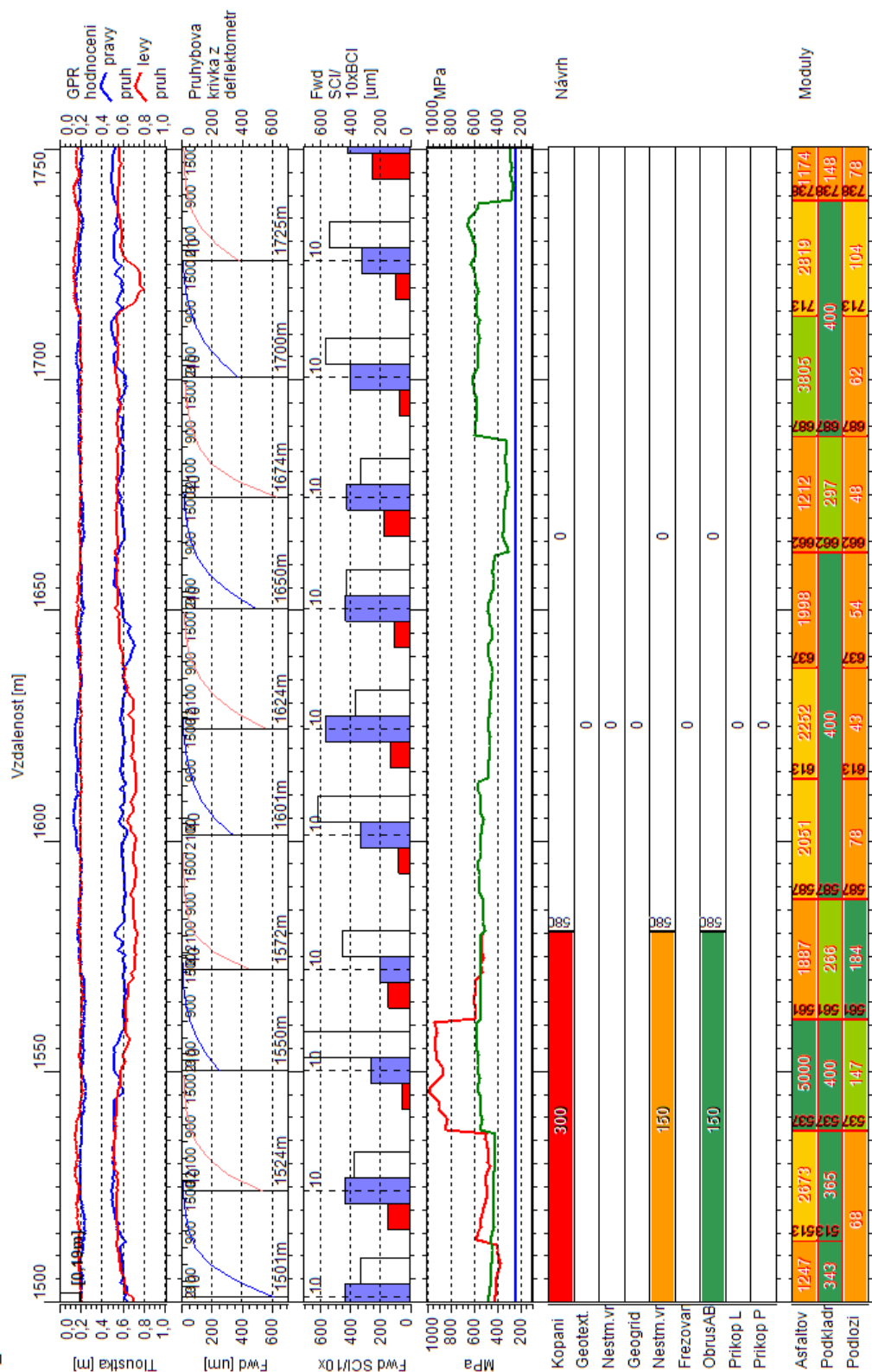


# II\_128 Pacov



Roadscanners, 12/2015

# II\_128 Pacov



Roadscanners, 12/2015



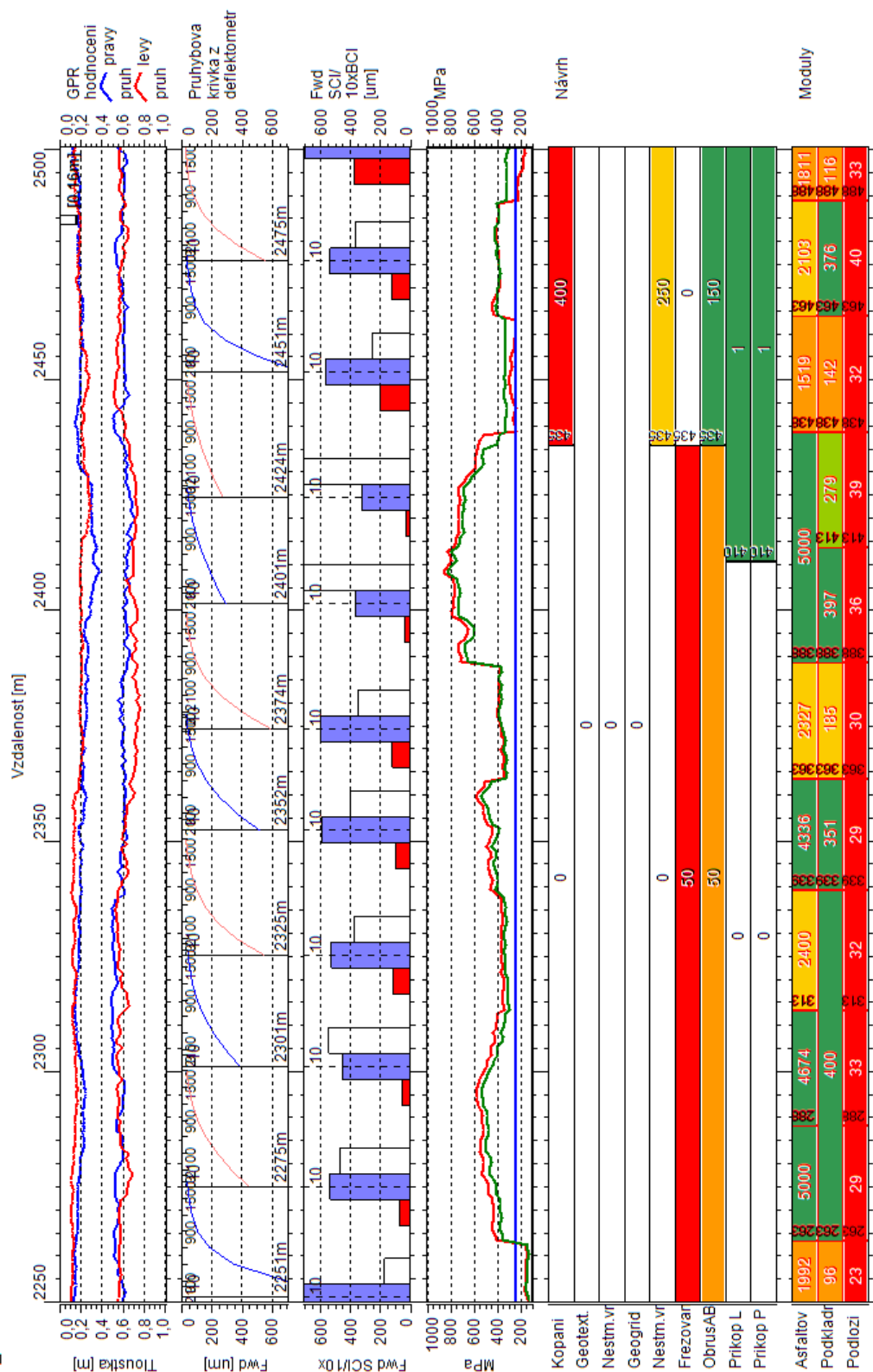


**ROADSCANNERS**



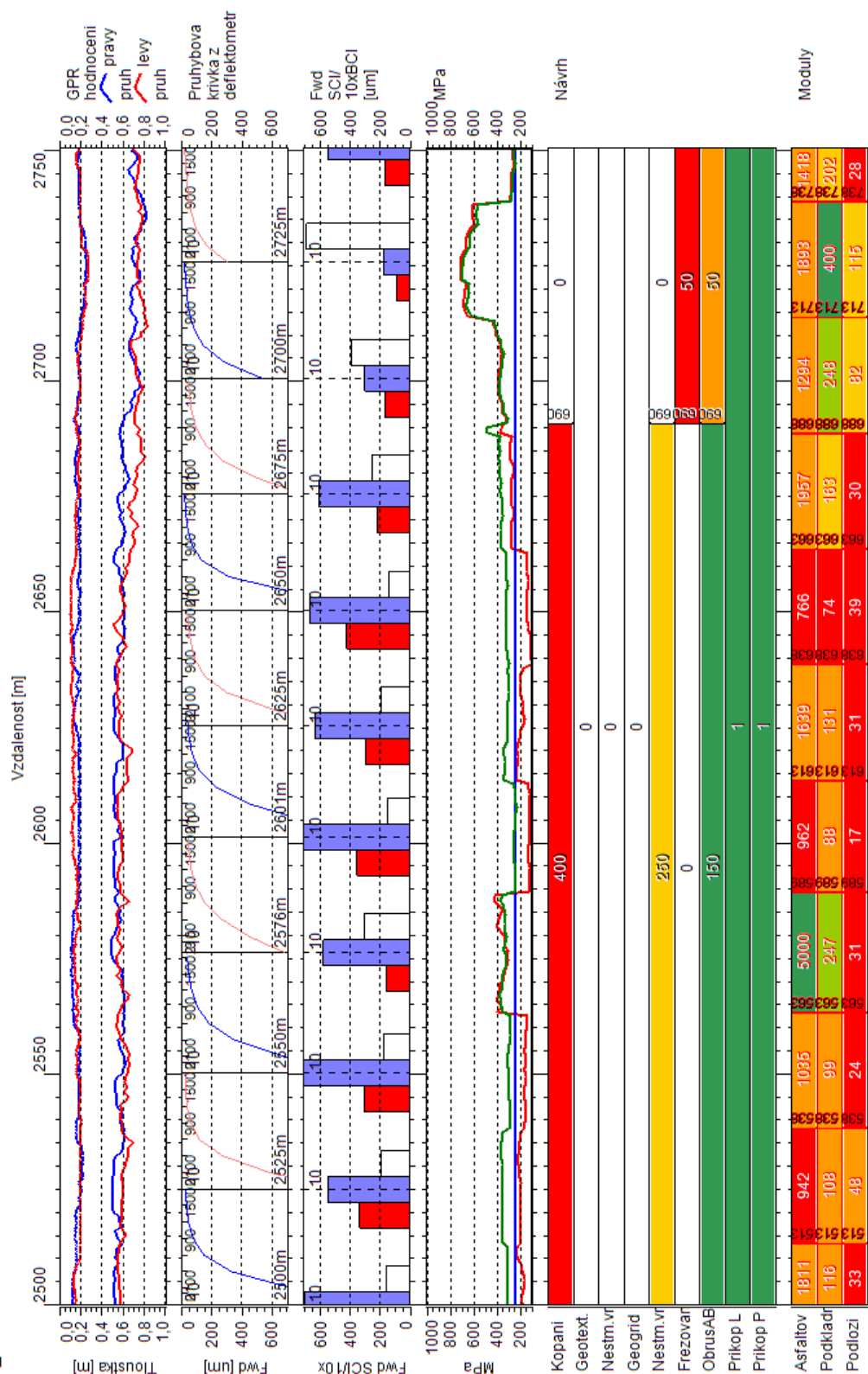


# II\_128 Pacov



Roadscanners, 12/2015

# II\_128 Pacov

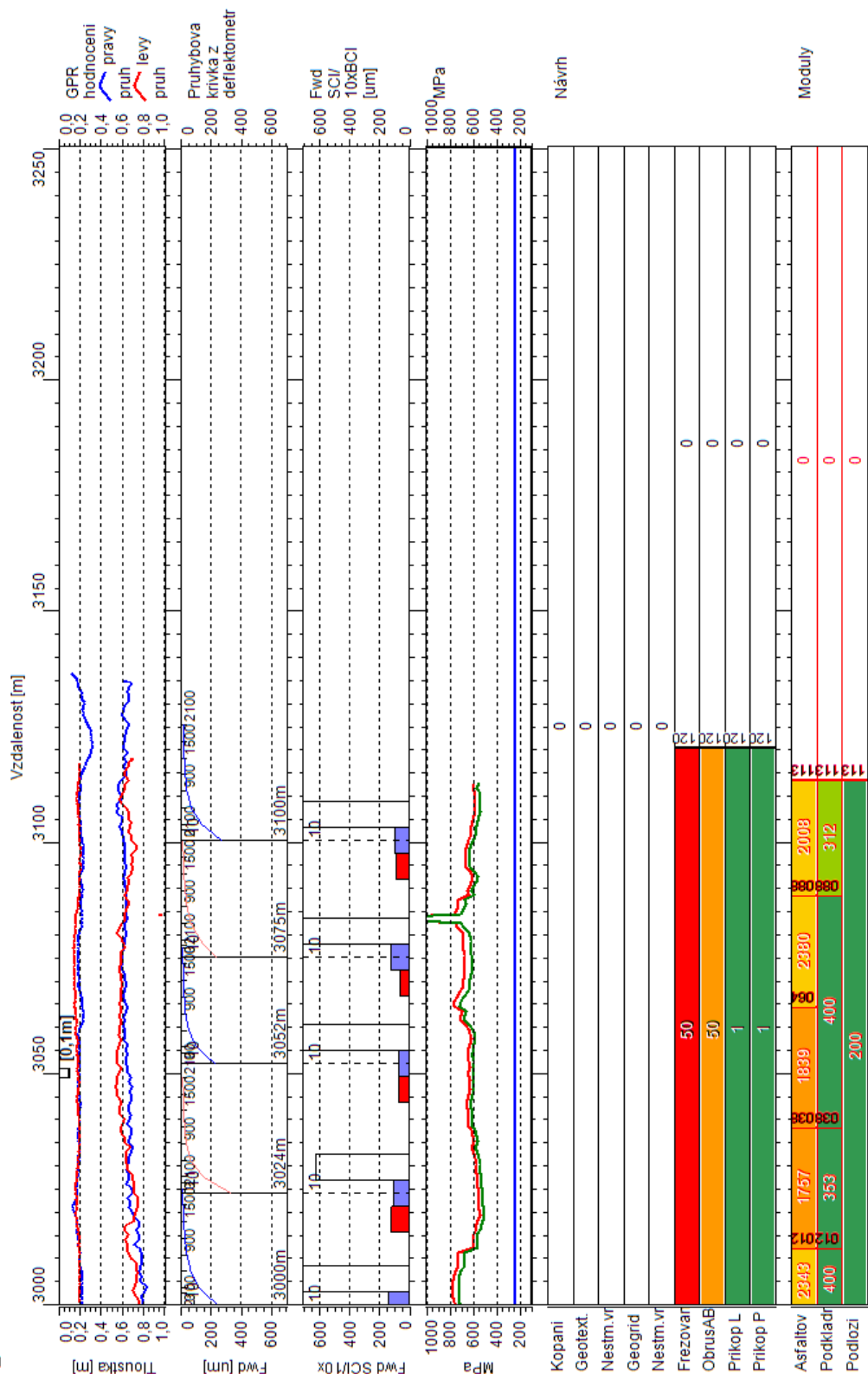


Roadscanners, 12/2015





# II\_128 Pacov



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](mailto: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**