Georadarový průzkum

v

jižní části Moravského krasu,

realizovaný firmou Ing R. Tengler – RTG a Pracovní skupinou SE – 3 (při ZO ČSS č. 6 – 12) dne 6. prosince 2019

1.) **Území koncových partií Ochozské jeskyně, Hostěnických propadání a horní části Kamenného žlíbku (Kamenný ponor). Měření proběhlo po trase O směrem k silnici 383. Byl zaměřen profil P1. Další měření proběhlo po trase O směrem ke Kamennému ponoru. Zde byl zaměřen profil P3.**

2.) **Území kolem jeskyně Pekárny. Měření proběhlo po trase U a mezi trasou U a trasou Z. Zde byly zaměřeny profily P4, P5, P6, P7 a P8.**

Georadarové měření v oblasti rozcestí „Troják“ a v oblasti jeskyně Pekárny.

6. prosince 2019

1.část

Základní informace

o georadarovém měření

1.) **Výsledná závěrečná zpráva operátora, majitele a konstruktéra georadaru ing Tenglera**
2.) **Čtení radarogramu – návod (georadar RTG Tengler)**
3.) **Předběžná zpráva z georadarového měření (zpracoval geofyzik RNDr Pavel Kalenda CSc)**

Georadarové měření v oblasti rozcestí „Troják“ a v oblasti jeskyně Pekárny.

6. prosince 2019

1.část

Základní informace

Dokumentace a zpracování vlastního měření

1.) **Plánek tras Profilů P1 – P3.**
2.) **Plánek tras Profilů P4 – P8. (str. 3)**
3.) **Seznam Pevných bodů trasy „U“, azimuty, vzdálenosti mezi jednotlivými body, celková vzdálenost od bodu 0. (str. 4 – 5).**

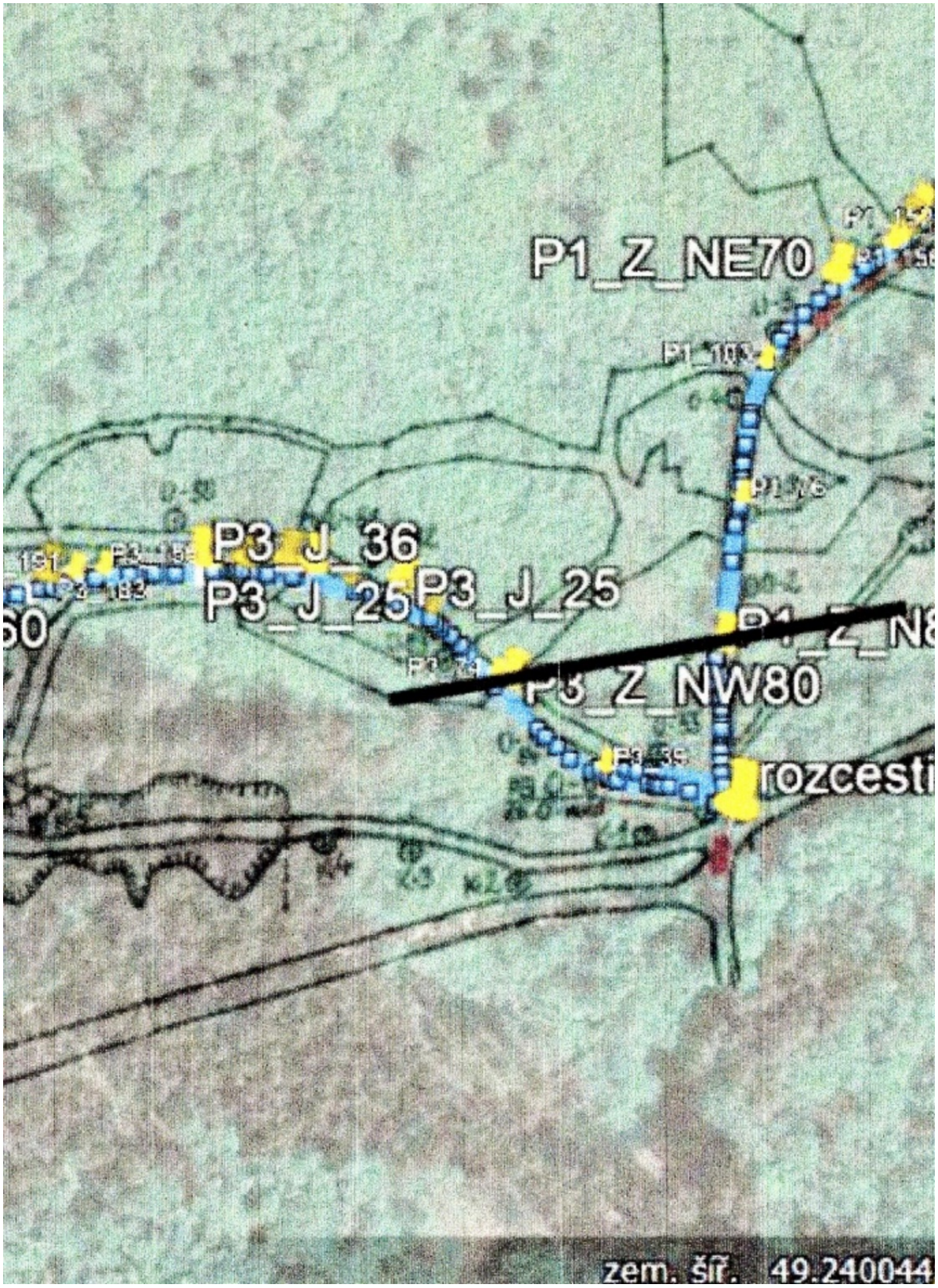
4.) **Záznam měřených bodů na Profilech P1 – P8 = nadmořská výška a vzdálenost od bodu 0. (str. 6 – 60).**

Další informace jsou v samostatných souborech č. 2a, 2b a 2c

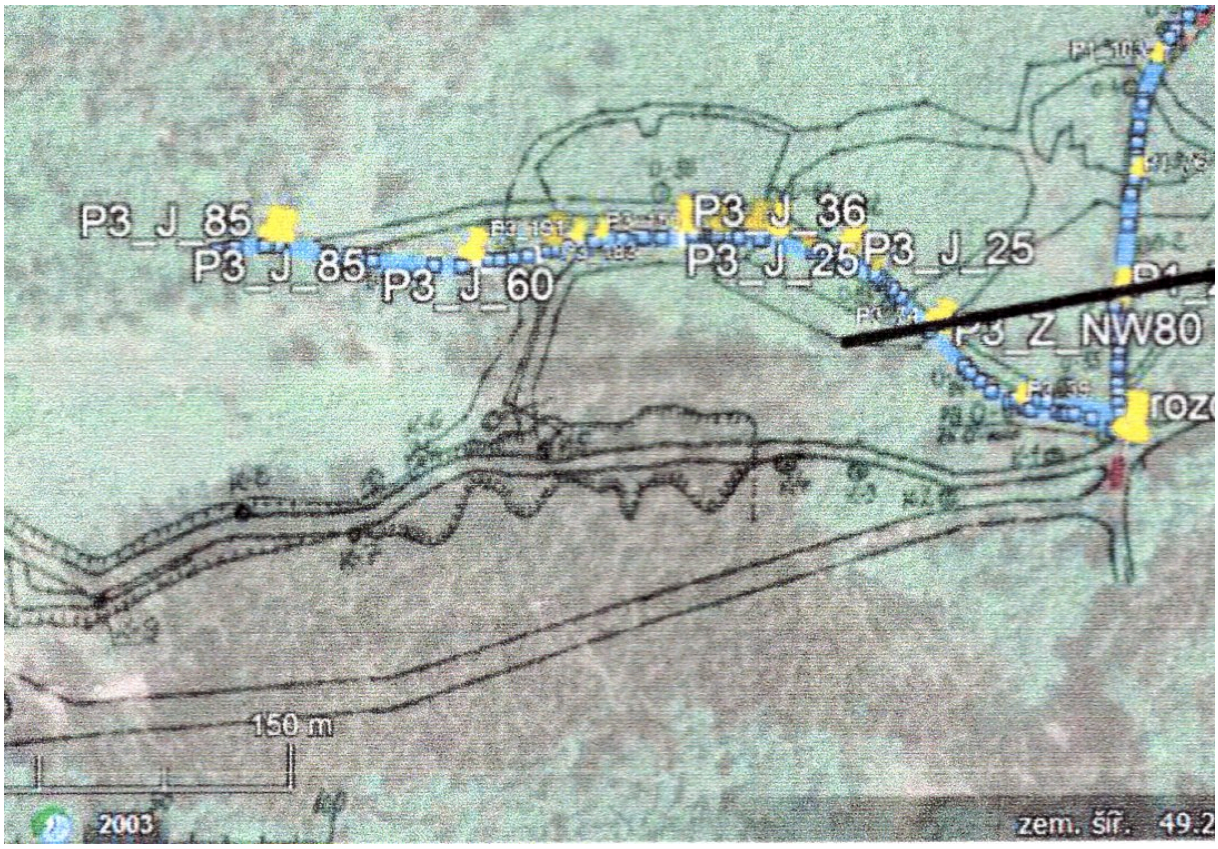
5.) **Výsledná závěrečná zpráva operátora, majitele a konstruktéra georadaru ing Tenglera – 11 stran. (viz 2a)**

6.) **Čtení radarogramu – návod (georadar RTG - Tengler) – 6 stran. (viz 2b).**

7.) **Předběžná zpráva z georadarového měření (zpracoval geofyzik RNDr Pavel Kalenda CSc) – 13 stran (viz 2c)**

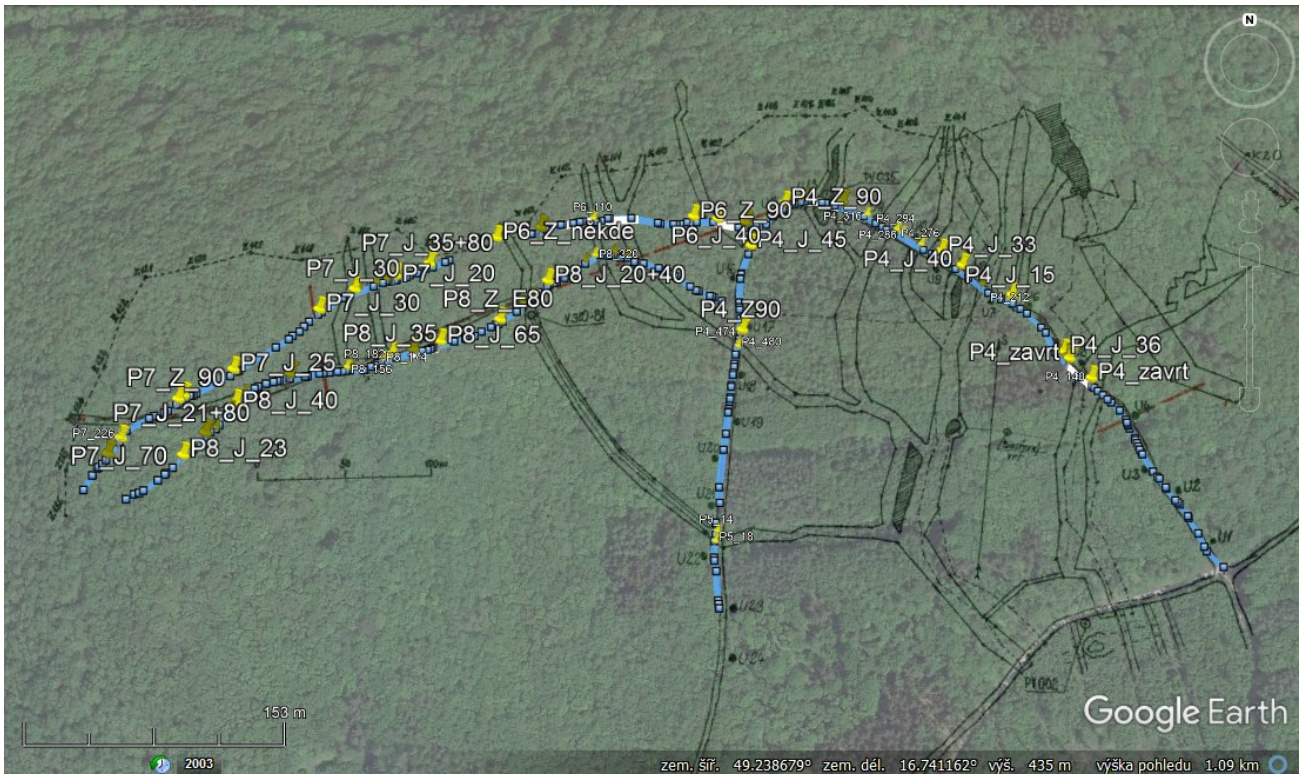


Pravá část mapky – směrem nahoru (na sever) od rozcestí „Troják“ = Trasa Profilu P-1.
Levá část mapky – směrem doleva (na západ) od rozcestí „Troják“ = Trasa Profilu P-3.



Obr. nahoře: Detail Trasy P-3.

Obr. dole: Trasy profilů P-4, P-5, P-6, P-7 a P-8



Trasa U

(Vyznačení pevných bodů na zpevněné lesní cestě, odbočující z cesty od ČOV Hostěnice k Mokerské hájence a obloukem se na ní vracející zpět.

Úsek .	Azimut	Délka úseku	Celková vzdálenost od bodu 0
U0 – U1	324°	20,20 m	-
U1 – U2	327°	19,65 m	39,85 m
U2 – U3	319°	21,40 m	61,25 m
U3 – U4	336°	29,60 m	90,85 m
U4 – U5	316,5°	26,65 m	117,50 m
	311°	19,95 m	137,45 m
U5 – U6	322,5°	18,55 m	156,00 m
	316°	18,75 m	174,70 m
U6 – U7	292°	29,60 m	204,35 m
	263,5°	5,20 m	209,55 m
U7 – U8	303,5°	18,32 m	227,87 m
U8 – U9	303,5°	21,05 m	248,92 m
U9 – U10	295°	21,52 m	270,44 m
U10 – U11	296°	29,03 m	299,47 m
U11 – U12	287°	26,80 m	326,27 m
U12 – k PV35	290°	12,33 m	
U12 – U 13		15,03 m	341,30 m
U13 – k PV35	69°	10,20 m	
U13 – U14	238°	25,10 m	366,40 m
U14 – U15	208°	24,10 m	390,50 m
U15 – U16	199°	23,30 m	413,80 m
U16 – U17	174,5°	29,30 m	443,10 m

U17 – k ose cesty	184°	13,10 m	456,20 m
Od osy cesty k U18	186,5°	16,80 m	473,00 m
U18 – U19	183°	28,30 m	501,30 m
U19 – U20	178,5°	25,70 m	527,00 m
U20 – U21	181°	27,97 m	554,97 m
U21 – U22	181°	28,45 m	583,42 m
U22 – U23	168°	33,24 m	616,66 m
U23 – U24	178°	27,20 m	643,86 m

Georadarová měření:

P1 = str. 6 – 14

P2 = str. 15

P3 = str. 16 – 21

P4 = str. 22 -

P5 =

P6 =

P7 =

P8 =

Georadar Tracks P_001

P_001

GPS Tracklog

385.30

0.00m

385.10

0.14m

385.40

3.32m

387.20

7.22m

386.90

8.23m

388.40

13.72m

388.50

15.46m

389.70

18.20m

390.70

20.08m

390.60

23.40m

389.30

32.50m

388.80

32.93m

389.60

34.81m

396.20

44.64m

396.10

58.79m

397.10

67.17m

397.00

68.61m

397.50

71.50m

397.80

72.37m

398.40

76.41m

398.70

77.43m

398.70

78.44m

398.90

81.76m

400.00

86.53m

401.00

93.17m

401.00

94.62m

401.90

108.19m

401.80

114.84m

401.40

117.58m

400.40

123.22m

400.60

128.42m

400.20

132.46m

399.50

142.57m

399.50

144.45m

399.50

146.18m

399.30

154.27m

399.20

155.28m

399.80

159.76m

399.70

172.62m

400.50

187.79m

400.50

195.15m

400.50

197.32m

401.10

201.65m

401.20

202.66m

401.80

205.99m

401.90

217.25m

402.40

222.16m

402.60

225.49m

402.80

227.22m

405.00

239.35m

405.20

239.93m

405.80

243.98m

406.10

246.43m

406.40

248.17m

406.80

256.11m

404.80

257.70m

404.80

258.86m

404.90

260.16m

405.10

261.46

405.60

264.20m

409.00

284.71m

408.80

285.43m

408.80

286.88m

408.10

288.47m

410.50

302.48m

410.00

307.10m

410.60

311.58m

410.50

312.59m

410.60

314.76m

411.60

320.39m

411.20

326.75m

411.30

329.64m

414.90

332.38m

415.30

334.55m

415.50

335.70m

415.40

337.73m

415.80

352.60m

413.90

358.67m

413.20

360.40m

412.90

361.27m

411.60

366.47m

410.60

371.53m

410.10

375.72m

P_002

P_002

GPS Tracklog

401.30

0.00m

389.40

24.27m

389.70

27.16m

389.50

29.61m

389.70

33.80m

P_003

P_003

GPS Tracklog

383.90

0.00m

383.60

3.76m

383.90

4.62m

385.50

11.27m

387.20

17.05m

387.60

19.07m

388.00

20.08m

388.50

21.09m

389.30

22.97m

390.80

30.91m

390.90

32.65m

391.10

33.37m

391.10

37.12m

390.70

43.19m

390.80

47.52m

391.50

51.28m

391.70

53.88m

394.20

69.77m

394.80

83.49m

395.30

87.39m

395.90

90.57m

396.50

92.16m

397.10

93.46m

399.00

106.17m

401.00

114.40m

401.50

130.29m

401.30

131.31m

401.40

137.52m

401.60

141.71m

401.60

143.73m

402.10

147.92

402.30

148.93m

402.30

149.94m

402.00

150.81m

401.10

160.34m

401.00

165.68m

400.80

166.84m

400.50

172.33m

401.60

181.14m

400.90

185.19m

400.20

189.09m

399.40

192.41m

399.50

195.30m

399.00

201.65m

398.40

206.42m

399.00

210.46m

398.60

213.64m

398.30

221.59m

398.30

222.60m

398.10

230.40m

397.10

249.32m

397.60

253.08m

398.40

263.33m

398.90

277.49m

398.90

278.21m

398.70

281.39m

398.60

282.55m

399.00

291.21m

399.50

292.66m

399.10

297.13m

P_004

P_004

GPS Tracklog

409.30

0.00m

407.50

14.88m

407.20

18.06m

408.00

24.85m

407.50

35.68m

407.80

36.83m

407.50

45.50m

407.60

47.38m

407.40

49.55m

405.70

58.07m

405.90

58.94m

406.20

65.44m

406.50

67.60m

406.20

72.08m

406.00

81.90m

405.40

83.49m

405.00

86.24m

404.70

88.69m

404.30

91.15m

404.30

93.60m

404.30

94.76m

403.50

100.68m

403.60

102.42m

403.60

103.43m

402.90

105.30m

402.90

106.89m

401.50

113.39m

401.60

121.34m

401.30

122.21m

400.20

124.08m

400.00

126.97m

400.80

130.58m

400.90

133.33m

401.00

134.19m

400.60

135.06m

401.50

144.02m

399.10

164.24m

398.50

179.55m

398.60

183.60m

399.60

196.31m

398.60

201.51m

397.90

206.56m

398.20

213.64m

397.10

223.18m

397.60

237.48m

395.70

246.00m

395.80

251.78m

396.50

258.13m

394.80

261.02m

394.80

263.33m

395.30

269.26m

395.50

291.36m

394.30

296.27m

394.00

299.45m

393.80

301.76m

394.30

304.50m

394.00

313.60m

393.20

334.69m

393.20

340.76m

394.10

343.79m

394.70

352.31m

395.10

354.05m

395.20

355.78m

395.50

358.09m

396.60

361.70m

397.40

366.33m

398.60

368.20m

398.70

369.94m

398.90

376.00m

399.20

379.33m

399.80

381.06m

399.80

384.53m

398.30

392.04m

398.30

406.34m

398.30

407.21m

398.90

410.38m

399.50

415.15m

401.80

429.45m

401.90

430.03m

402.20

432.63m

402.40

433.21m

404.20

448.37m

403.70

451.26m

403.50

452.85m

405.20

458.77m

404.70

466.57m

406.00

470.91m

407.70

474.38m

406.20

482.18m

406.60

487.81m

406.70

489.83m

407.10

493.88m

407.10

495.18m

407.90

501.53m

408.10

502.69m

407.70

509.19m

407.70

510.20m

408.00

512.08m

409.40

517.13m

408.70

518.87m

408.70

519.73m

410.40

534.61m

410.00

542.70m

409.90

565.96m

411.00

575.06m

P_005

P_005

GPS Tracklog

408.60

0.00m

408.90

0.87m

410.90

587.77m

411.50

591.38m

413.70

604.24m

413.60

606.69m

413.60

613.63m

414.10

629.37m

414.00

631.10m

414.30

633.13m

P_006

P_006

GPS Tracklog

404.80

0.00m

402.30

7.22m

402.20

8.96m

402.30

11.41m

401.90

27.88m

402.50

38.71m

402.20

44.35m

403.60

47.81m

404.80

50.70m

404.50

52.44m

405.50

61.10m

405.70

62.84m

405.20

80.17m

408.80

93.60m

408.70

94.62m

408.00

98.80m

407.60

101.84m

407.70

102.56m

408.30

111.23m

408.60

113.25m

408.80

114.40m

409.70

117.44m

409.50

124.23m

409.60

125.24m

409.60

134.92m

410.20

144.02m

409.70

145.03m

P_007

P_007

GPS Tracklog

411.20

0.00m

412.40

3.32m

414.60

12.42m

414.80

16.90m

416.00

24.12m

416.70

29.18m

416.60

31.63m

418.00

37.70m

418.50

38.86m

419.40

41.89m

419.90

43.19m

419.90

43.77m

419.70

45.07m

419.60

47.09m

420.80

52.15m

422.90

70.64m

423.90

85.37m

424.10

88.11m

424.00

94.47m

424.20

98.37m

425.60

102.99m

426.00

107.76m

427.30

110.94m

427.50

118.59m

432.30

143.29m

432.40

144.02m

432.40

144.88m

433.00

149.80m

432.90

170.31m

433.20

172.18m

434.00

173.20m

433.80

174.35m

433.50

176.66m

434.00

179.99m

434.90

183.45m

435.30

189.81m

435.50

191.97m

436.10

197.46m

435.60

200.79m

436.70

215.23m

436.90

222.45m

437.00

237.48m

437.10

241.23m

436.60

244.27m

436.70

245.42m

436.60

250.33m

436.40

258.86m

P_008

P_008

GPS Tracklog

438.40

0.00m

439.30

5.78m

439.60

8.67m

440.40

11.99m

440.40

22.10m

440.30

27.30m

440.50

28.17m

440.20

33.08m

439.40

45.21m

439.60

45.94m

439.80

46.80m

440.20

48.39m

439.30

61.68m

441.40

64.86m

441.30

67.75m

436.10

80.75m

436.10

86.67m

436.00

87.54m

435.90

90.28m

435.10

96.93m

434.90

99.24m

433.30

104.44m

432.50

109.06m

432.40

111.08m

432.20

112.09m

431.70

118.02m

431.80

127.12m

432.20

127.84m

431.80

128.56m

432.20

136.22m

432.70

138.38m

432.00

141.71m

431.40

146.18m

430.60

149.22m

430.60

151.67m

430.50

154.13m

429.60

160.34m

426.10

165.54m

425.50

168.14m

425.40

169.15m

425.40

170.16m

424.90

171.90m

423.30

180.27m

422.90

196.60m

423.60

199.63m

423.30

201.80m

423.10

202.81m

422.90

203.96m

423.40

216.53m

422.30

222.89m

422.40

225.78m

422.10

227.94m

421.30

232.57m

420.80

239.21m

420.80

242.24m

421.10

243.98m

421.00

247.59m

415.50

256.26m

413.90

267.23m

415.90

268.24m

417.00

272.00m

417.00

272.87m

414.70

274.89m

413.20

281.24m

413.20

282.11m

413.40

282.98m

414.00

285.72m

413.80

287.46m

412.20

293.67m

412.30

296.27m

412.10

299.45m

411.90

310.28m

410.50

320.82m

409.70

325.45m

409.10

326.75m

408.80

330.50m

406.10

333.39m

406.30

337.58m

412.20

339.60m

412.20

340.47m

412.40

346.54m

411.80

358.24m

412.20

362.43m

411.70

365.89m

411.60

368.20m

410.50

371.38m

409.20

381.49m

409.50

386.26m

409.60

387.27m

409.60

388.43m

407.70

395.79m

407.10

396.81m

406.80

397.82m

405.80

403.59m

Jeskyně Pekárna

Georadarový průzkum

Dne: 6. 12. 2019

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz

Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz

IČ: 10239871
DIČ:5603031654

1 Úvod

Dne 6. 12. 2019 byl proveden georadarový průzkum poblíž jeskyně Pekárna. Cílem bylo nalezení anomálií v podloží do hloubky kolem 100 m.. K měření byl použit georadar Roteg od firmy RTG s anténami 25 MHz a vysílač s pulzem 20 kV.

2 Georadarová měření – princip a interpretace

2.1 Princip georadaru a zpracování dat

Georadar do půdy vysílá elektromagnetické vlnění v krátkých pulsech a registruje odrazy, jejich fázové posuvy a čas příchodu těchto odrazů. Odraz vzniká jen na rozhraní materiálů s různou permitivitou nebo s různou vodivostí. Z odražených vln a změn jejich fází lze zjistit, zda se odráží od materiálů s vyšší nebo nižší permitivitou, vodivostí nebo obojího dohromady.
Georadar tedy neurčuje materiál, kterým prochází elektromagnetická vlna, dokáže pouze odlišit materiály s různou vodivostí a permitivitou a vykreslit jejich hranice.

Odražené signály se převádějí pro lepší čitelnost do barevného obrázku – radarogramu. Přiřazení barev k jednotlivým odrazům provádí vyhodnocovací program. Pomocí různých filtrů lze pak lépe zviditelnit struktury v podloží. Jednotlivé barvy tedy neoznačují žádný materiál ani předmět. Důležité jsou tvary odrazů, kontrast a intenzita barev.

2.2 Permitivita, vodivost a kontrast v radarogramech

Čím je rozdíl permitivit (či vodivostí) dvou materiálů větší, tím kontrastnější je přechod barev. Vzduch má hodnotu permitivity 1, hlína a skála asi 3-9, voda 81. Vrchní vrstvy půdy i skalní podloží ve spárách a puklinách většinou obsahují dostatečné množství vody (rozdíl hodnot permitivit je výrazný), tudíž je lze dobře rozpoznat. Dobře se prokreslí různá narušení terénu výkopem, jsou vidět skalní štěrbiny, pukliny i vodorovné vrstvy materiálu s různou vlhkostí.

2.3 Zachycení odražených vln georadarem

Georadarová vlna se snadno odráží od vodorovných vrstev. Obtížnější zachycení odražené vlny nastává u objektů kruhového průřezu (např. dutiny, roury), georadar je zde schopen zachytit odraz jen asi do úhlu 35-40°, takže v radarogramu je vidět pouze horní vrchlík takového objektu. U štol a sklepů lze někdy v radarogramu spatřit i odrazy ode dna, pod kterým se objeví řada kontrastních pruhů. Ty jsou zapříčiněny mnoha odrazy, které vznikají v prostoru mezi stropem a dnem (charakteristické i pro ostatní dutiny). Pod objektem jsou znázorněny (pravidelným proužkováním) proto, že přijímací anténa přijme tyto odrazy později až po prvotním průchodu vlny dutinou.

2.4 Hyperbolické a jiné odrazy

Od výrazných objektů (z hlediska permitivity/vodivosti: kovové předměty, dutiny, štoly…) jsou odrazy vykresleny ve tvaru hyperbol (s vrcholem nahoře), což je způsobeno širší vyzařovací charakteristikou antén a způsobem zápisu dat. Šířka hyperboly je většinou několikanásobně širší než nalezený objekt. Tloušťka hyperboly je nahoře nejsilnější, směrem ke krajům slábne a překrývá ostatní odrazy. S přibývající hloubkou se hyperboly stávají plošší. V prostředí s vysokým útlumem vlny hyperbolické odrazy nevznikají, je zaznamenána pouze přímá vlna odražená od objektu.

Tvar ostrého, rovného, obráceného „V“ charakterizuje zpravidla vertikální anomálie, kolmé na směr pohybu radaru.
Rozvolněné podloží má řadu drobných odrazů od různých nakloněných ploch a puklin.
V homogenních materiálech, které obsahují více vody, může docházet ke snížení rychlosti šíření vlny. To se projevuje zvětšením tloušťky odrazů, vlna se šíří pomaleji.
Horní vrstvy hlín bývají převážně vodorovné, někdy mírně zvlněné, odrazy jsou dobře čitelné.
Skála se projevuje řadou malých, krátkých, odrazů, které s hloubkou zeslabují svojí intenzitu.

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz
Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz
IČ: 10239871
DIČ:5603031654

2.5 Měření hloubky půdních anomálií

Měřítko pro hloubku lze nalézt po stranách radarogramu, vlevo v nanosekundách, vpravo v metrech. Georadar měří přesně pouze čas odrazu vlny, měřítko pro hloubku se pak automaticky přepočítá podle zadané hodnoty z tabulek pro rychlost šíření vlny v různých materiálech. Rychlost šíření vlny v půdě lze zjistit i podle tvaru hyperboly v radarogramu, pokud se tam takové výrazné odrazy vyskytují.

2.6 Vzdušné odrazy v radarogramech

Antény georadaru vysílají signál nejen do země, ale i do okolního prostředí. Odrazům od pozemních objektů (ploty, tyče, kovové části budov...) se říká vzdušné a jsou v radarogramech dobře rozeznatelné. Pokud se k objektu blížíme, nebo vzdalujeme, odraz je vždy ve tvaru přímky, pokud kolem objektu procházíme, vzniká táhlá hyperbola. Z času odrazu a vypočtené vzdálenosti se pak takovéto objekty nechají v terénu snadno lokalizovat a z radarogramu částečně odfiltrovat.

Podrobnější výklad s příklady měření naleznete na webových stránkách:
http://georadar.rtg-tengler.cz/priklady-mereni
http://www.georadar.rtg-tengler.cz/cteni-radarogramu

3 Poloha měřených profilů

Na georadaru je přijímač GPS, který určuje polohu měření s přesností 1-2 m. Data polohy georadaru jsou v souboru P.GPX, který lze vložit do Google Earth nebo Mapy.cz a vykreslí se trajektorie profilů. Na vyznačených místech byly do radarogramů vkládaly značky (bílý čtvereček u osy X), aby hledané anomálie bylo možno přesněji zaměřit.

Plocha s profily podle bodů GPS.

Číslo profilu je na začátku profilu.

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz
Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz
IČ: 10239871
DIČ:5603031654

Plocha s profily podle dat GPS.

3.1 Výsledky měření

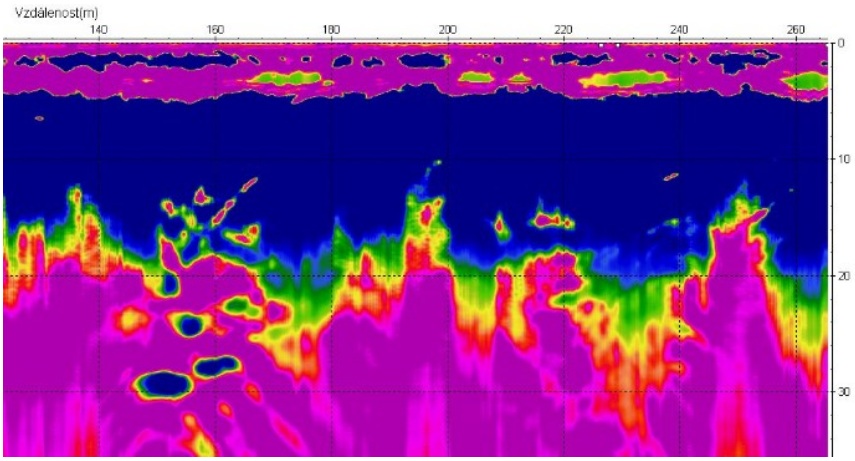
Radarogramy znázorňují kolmý řez zemí. Na vodorovné ose nahoře je zobrazena vzdálenost v metrech ve směru pohybu radaru a na svislé ose v pravé části radarogramu je udána přibližná hloubka, která úzce souvisí s rychlostí šíření vlny v dané hornině. Z tabulkových hodnot a podle naměřených odrazů byla zvolena průměrná rychlost 12 cm/ns. Součástí elektronické zprávy může být i příloha vstupních dat radarogramů pro pozdější zpracování.

Dále jsou vybrány a popsány pouze profily nebo jejich části s hledanými anomáliemi, všechny radarogramy v plném rozlišení jsou v příloze zprávy a lze je kdykoliv zkonzultovat.

U radarogramů je osa Y prodloužena 2x, nechají se pak lépe identifikovat hyperboly a částečně se eliminuje natahování odrazů ve směru X vlivem dlouhé sestavy dvou 6 m antén za sebou.

Pro získání co největšího množství informací jsou radarogramy zpracovány s několika filtry.

1. Nízkofrekvenční filtr, v názvu souboru je koncovka **nf**



Pokud se v těchto radarogramech objeví dutiny, jsou velké několik metrů.

Pokud je v nich vzduch, pak mají na výšku 2,6x více než můžete odměřit na stupnici vpravo.

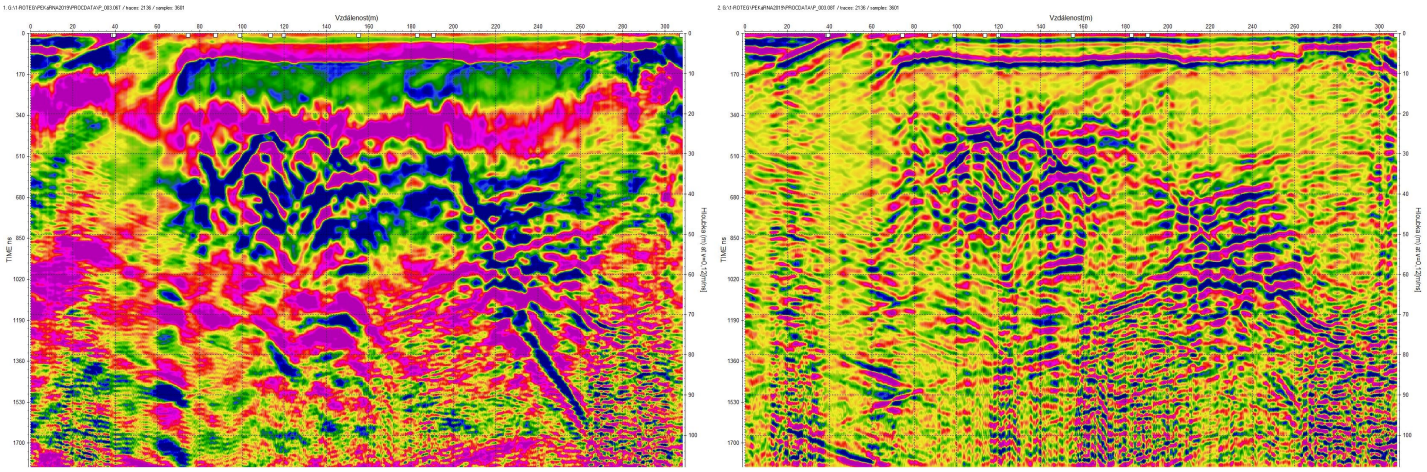
Ta spodní dutina může mít výšku až 12 m.

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz

Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz

IČ: 10239871
DIČ:5603031654

2. Radarogramy s odfiltrováním nízkých frekvencí. Radarogram je dole vpravo.

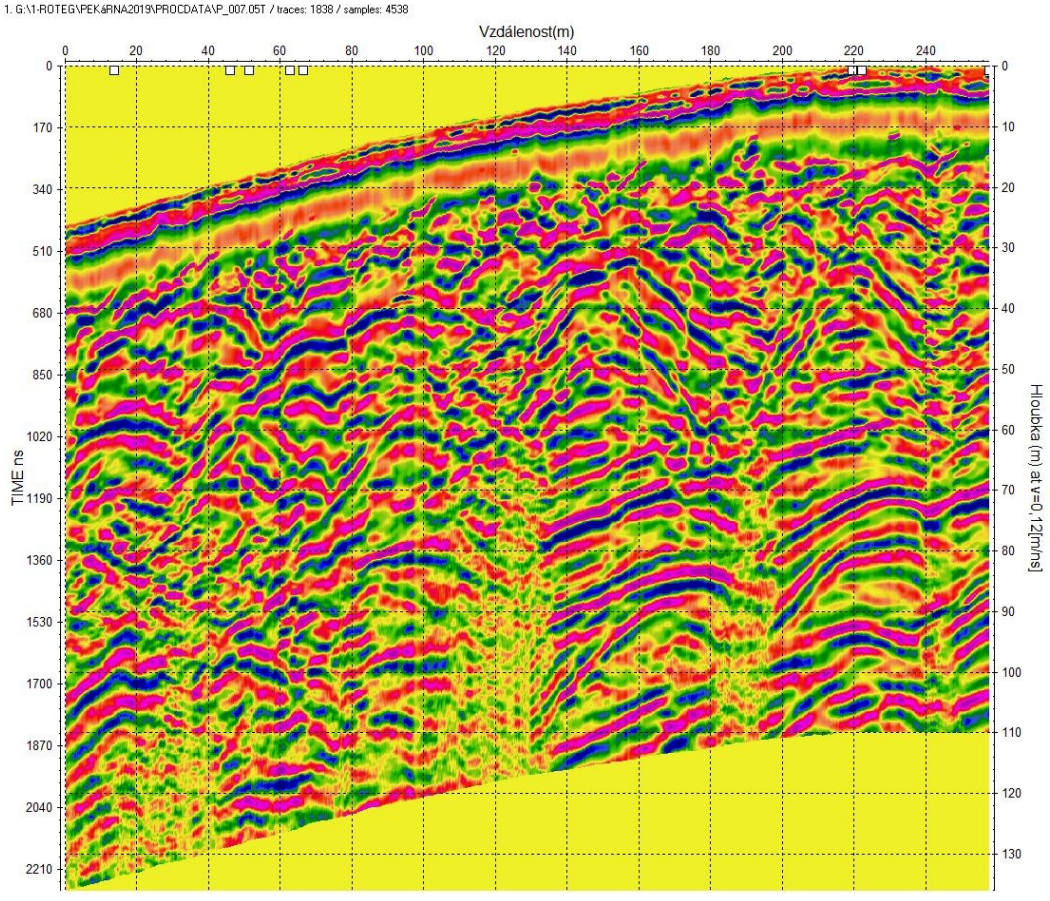


Tyto radarogramy mají více informací o skutečném tvaru odrazu a zviditelní menší anomálie jinak překryté nízkými frekvencemi.

3. Radarogramy s kompenzací útlumu vlivem povrchových nehomogenit.

Ty jsou použity jen u radarogramů, kde to má smysl. Prokreslí celý radarogram a zesílí slabší signály.

Příklad je zde včetně topografie:

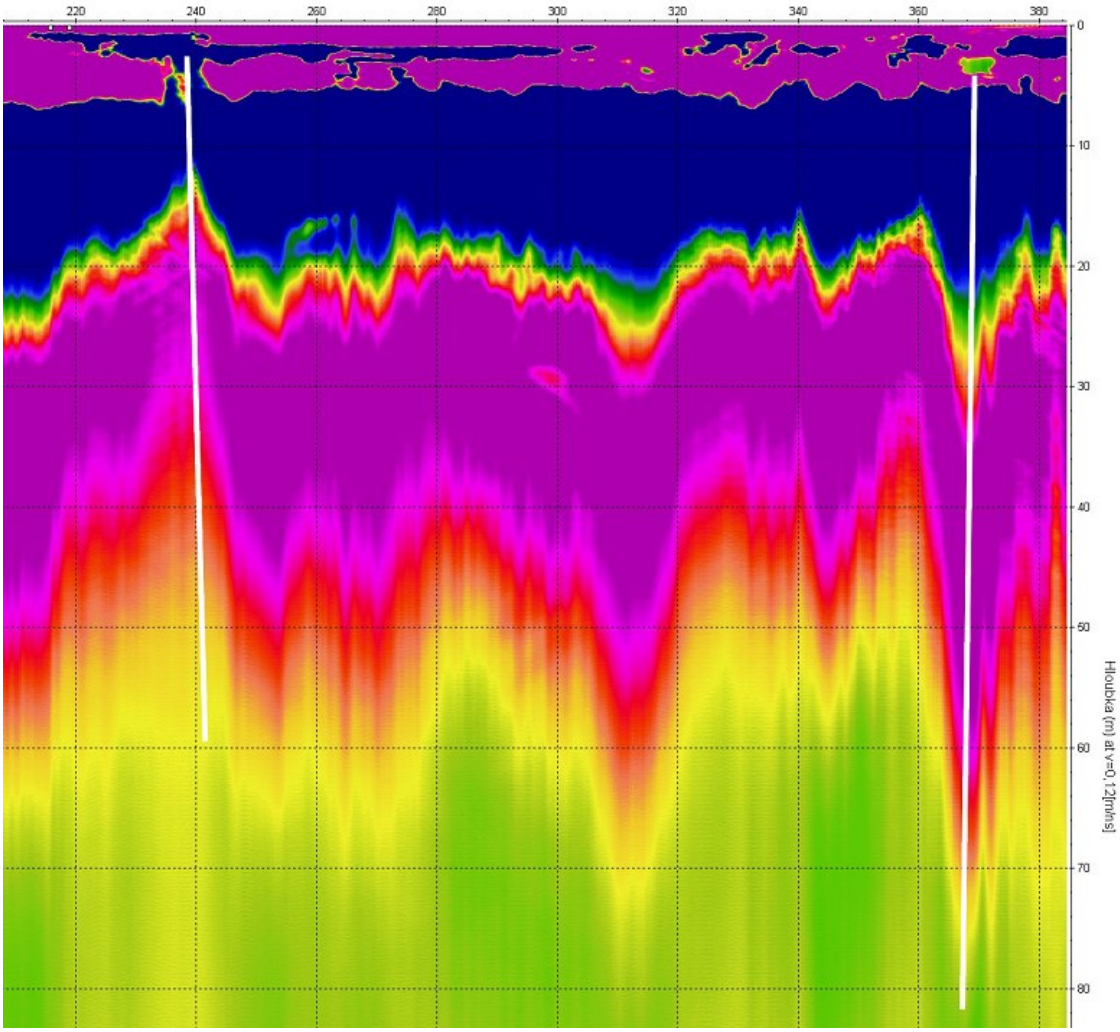


Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz

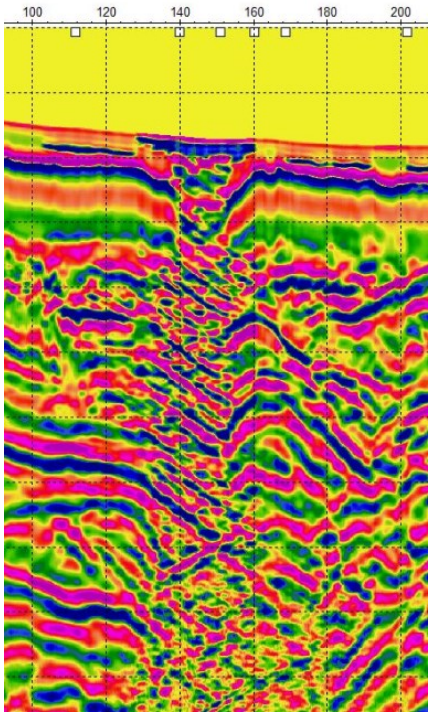
Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz

IČ: 10239871
DIČ:5603031654

Profil P 1



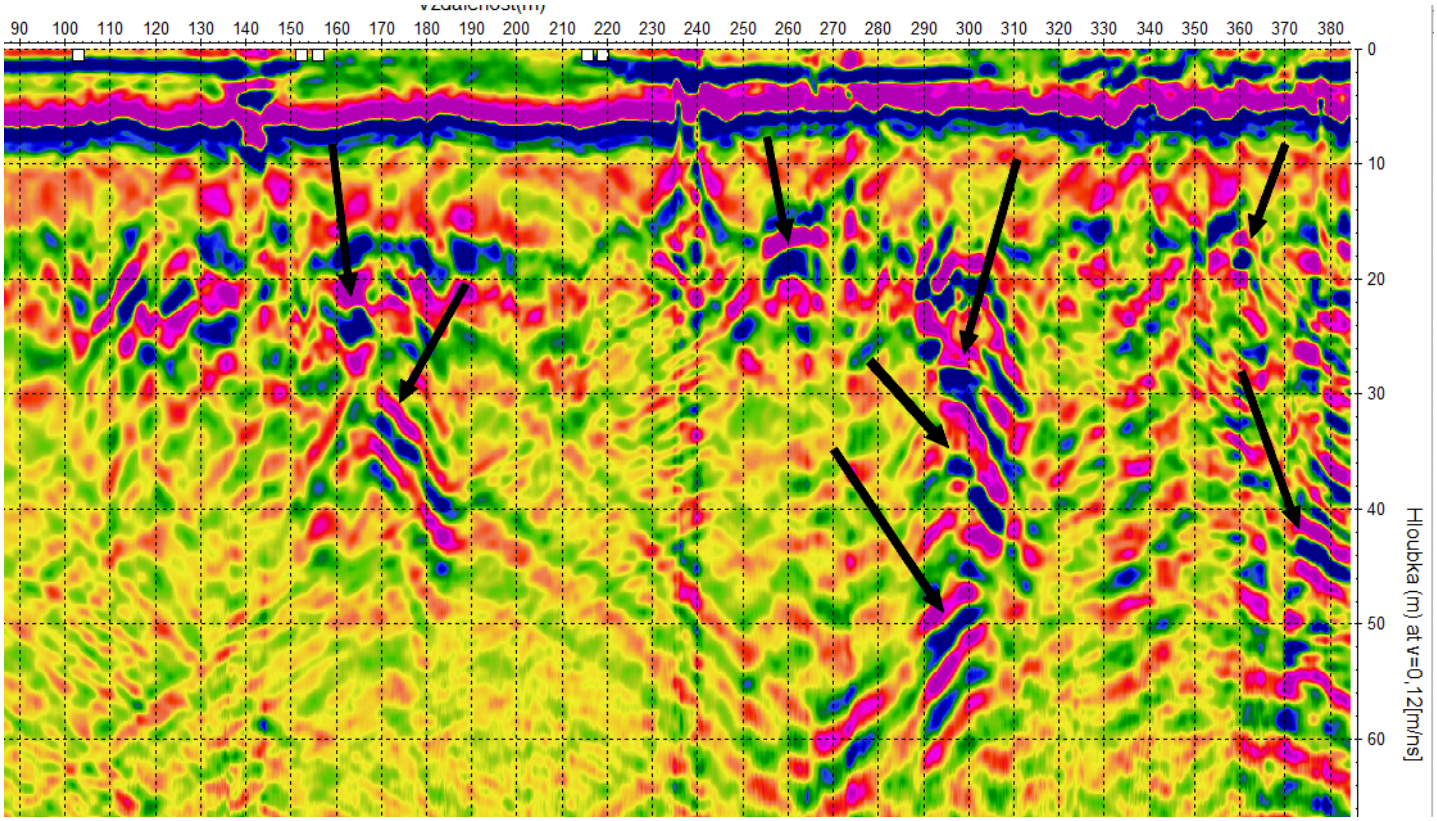
Kladné nebo záporné špičky jsou typické pro trhliny. Kladné většinou obsahují více vody, záporné méně.



V nf filtru je pak v širších trhlinách množství malých odrazů (profil P4)

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz
Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz
IČ: 10239871
DIČ:5603031654

Profil P 1



Zde jsou vyznačeny nejvýraznější odrazy. Mohou to být dutiny. Některé jsou oválné, jiné jsou hodně šikmé.

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz

Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz

IČ: 10239871
DIČ:5603031654

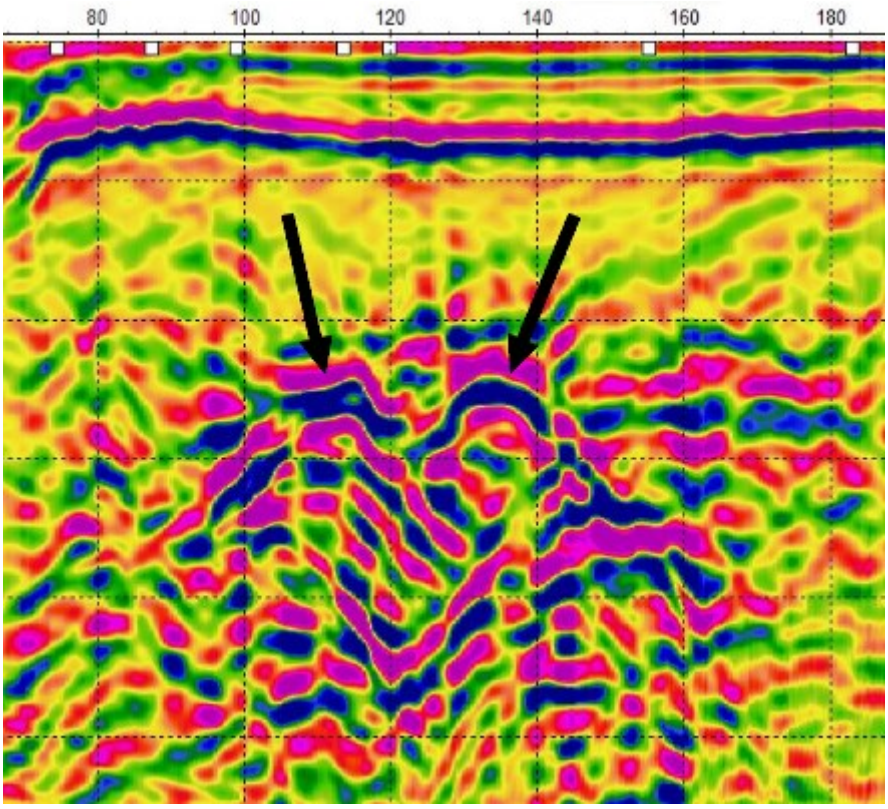
Poznámka k identifikaci materiálu v dutinách.

Toto se týká hlavně hyperbolických odrazů nebo odrazů, které kopírují tvar stropu. Netýká se to vrstev, tam platí vždy pravidlo o změně fází.

Obecně platí pro sled fází odrazů shora dolů, že sled barev červená-modrá-červená je charakteristický pro vstup vlny do vodivějšího prostředí. To je samozřejmě pravda, ale může se stát že např. dutina může mít mokrý strop. Pak je tam sled fází také červená-modrá-červená a přesto je tam nevodivá vzduchová dutina. Při tomto sledu fází tedy nemáme jistotu jestli tam je nebo není dutina.

Naopak pokud je sled fází odrazu modrá-červená-modrá je téměř jisté, že tam je dutina se vzduchem. Je velmi málo pravděpodobné, že dutina bude obsahovat např. suchý písek i když i to je možné. Berme to tedy jako pomůcku a ne jako absolutní pravidlo určování materiálu v dutinách.

Profil P3, část

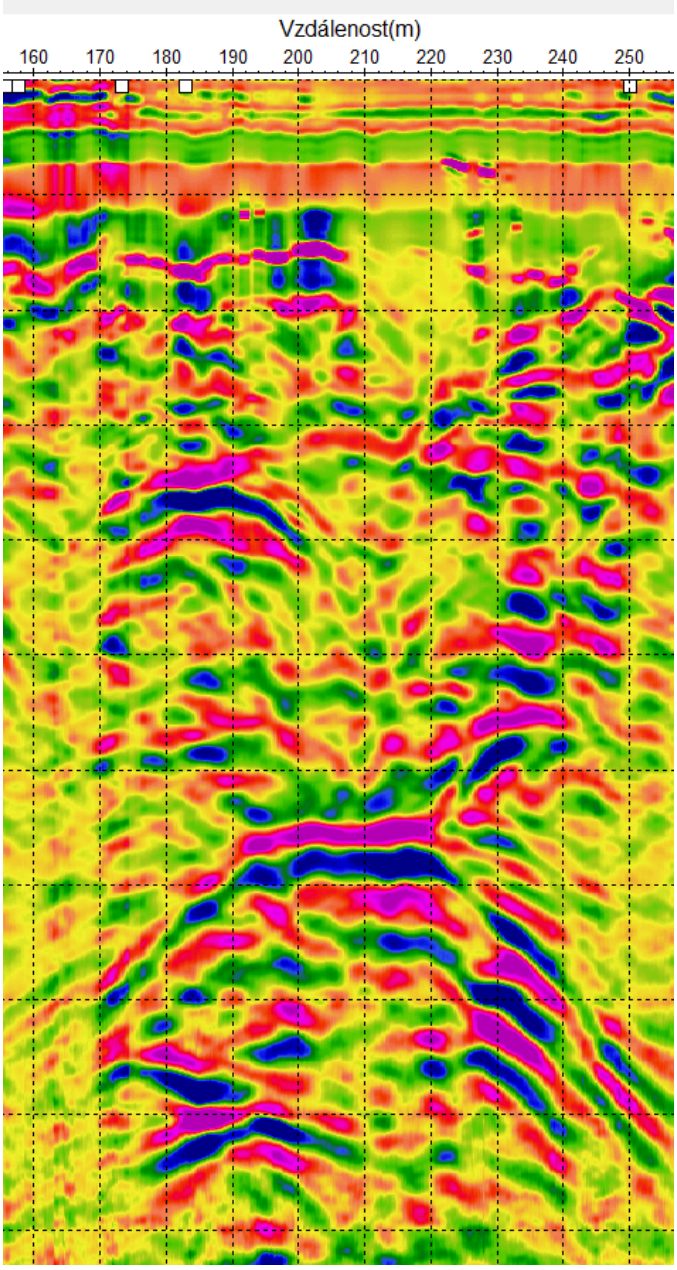


.

Toto zřejmě budou dvě velké dutiny. Pokud odměříme čas vlny v modré části, je kolem 33 ns. Krát 0,3m/ns vychází výška dutiny 10 m.

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz
Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz
IČ: 10239871
DIČ:5603031654

Profil P8



Výška dutiny 10 m v hloubce 37 m

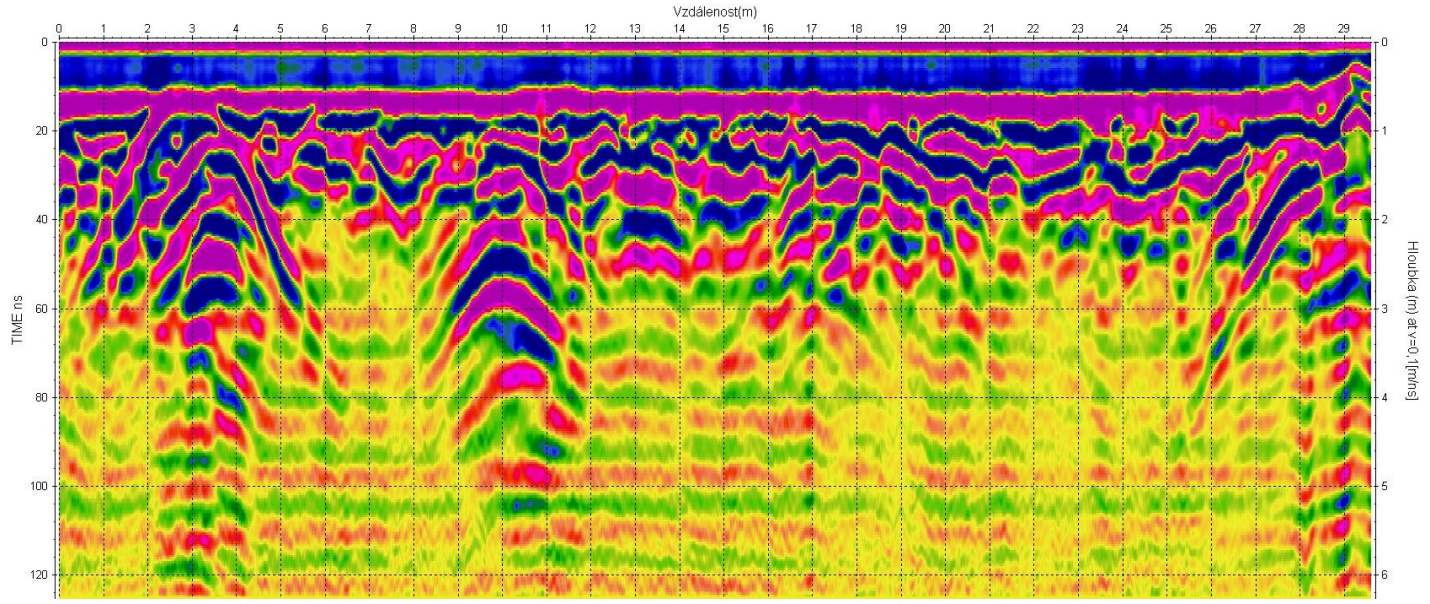
Dutina v hloubce 70 m může být až 14 m vysoká při délce 30 m.

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz

Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz

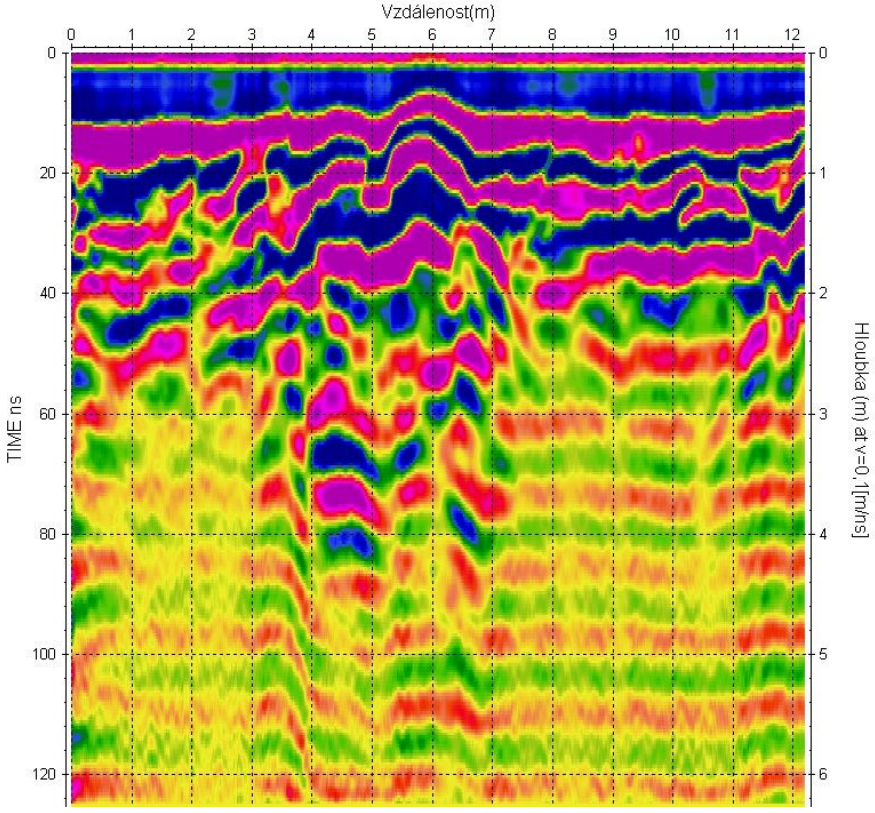
IČ: 10239871
DIČ:5603031654

Profil P41



Zde je na vzdálenosti 10 m vidět na hloubce pod 2 m patrně další hrob. Podobné anomálie jsou i na dalších profilech P43, 44, 51, 52...

Profil P56



Zde odraz na hloubce 3 m tvarově kopíruje odraz na hloubce kolem 1 m. Bude to patrně jen rezonance.

Podobná situace je i na sousedním P57 i P58.

Podle těchto příkladů můžete snadno identifikovat ostatní anomálie na dalších profilech.

Ing. R. Tengler - RTG
Českobratrská 357
276 01 Mělník
www.georadar.rtg-tengler.cz

Telefon: 315 624 739
Mobil: 603 261 914
E-mail: rtg@rtg-tengler.cz

IČ: 10239871
DIČ:5603031654

5 Závěr

Georadar Roteg na frekvenci 25 MHz zaregistroval dobře čitelné odrazy z hloubky do 100 m. Měření bylo jen málo rušeno vzdušnými odrazy od povrchových objektů.

Data byla zpracována programem Reflex a u všech radarogramů byl uplatněn stejný postup filtrací, radarogramy jsou proto vzájemně porovnatelné.

Bylo nalezeno několik desítek hledaných anomálií, některé jsou popsány ve výsledcích měření, ostatní se podle nich nechají nalézt i v ostatních profilech v příloze. Myslim, že se v tom již dobře vyznáte, takže zavolejte, pokud by bylo něco nejasného.

V elektronické příloze jsou snímky všech naměřených radarogramů.

Data z měření jsou u nás asi 5 let archivována.

Případné dotazy k radarogramům rád zodpovím.

V Mělníku dne 4 .1. 2020

RTG
Ing. Rudolf Tengler
Českobratrská 357, 276 01 Mělník
IČ: 10239871 DIČ: CZ5603031654
Tel./fax: 315 624 739

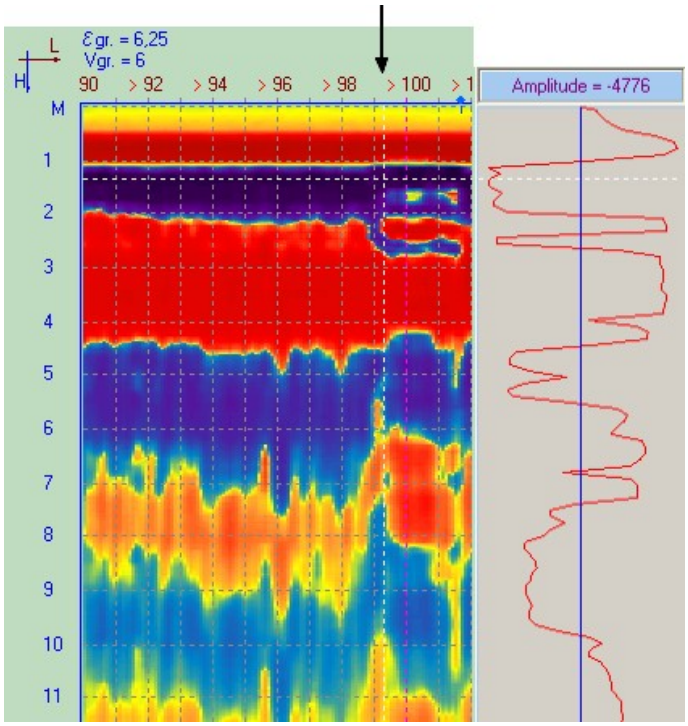
georadar.rtg-tengler.cz

Čtení radarogramu | Georadar

9-12 minut Autorem této pasáže je ing Rudolf Tengler.

Jak georadar měří a co vše je možné z radarogramu vyčíst.

Georadar má vysílač impuzů a přijímač. V okamžiku vyslání impulsu do půdy přijímač okamžitě přijímaná data začne ukládat tak, jak přicházejí. Odrazem pulzu je souvislá vlna, která mění fázi a velikost amplitudy. Vlna mění fázi (barvu) pouze pokud prochází prostředím, kde se mění permitivita, vodivost nebo obojí najednou. Z tvaru této přicházející křivky lze usoudit, jakým prostředím vlna prochází, zda rozhraní vlastností je náhlé (skála-vzduch) nebo pozvolné (suchý písek-mokrý písek).Tuto vlnu si můžeme zobrazit v jakémkoliv bodě měření, kladná amplituda je červená, záporná modrá, kolem středu je žlutá barva.

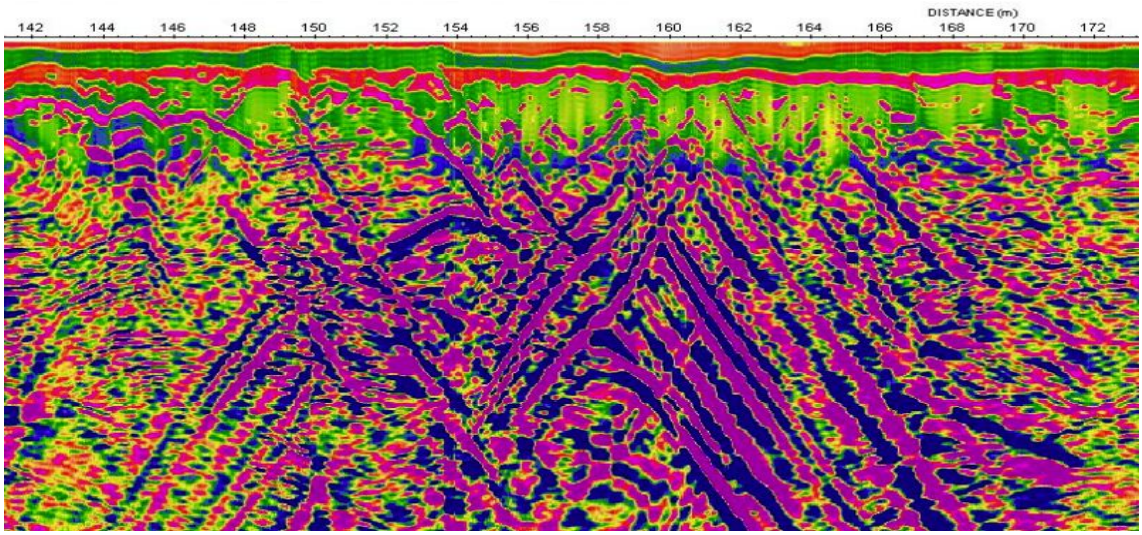


Záznam této vlny je vlastně jeden velmi úzký svislý sloupeček (označeno černou šipkou), převedený do barev, a z těchto sloupečků se skládá celý radarogram. Další parametr, který dokážeme změřit je čas. Zdálo by se poměrně jednoduché zjistit hloubku, ve které nějaké objekty leží. **Problém je v tom, že rychlost vlny se mění v závislosti na materiálu**, kterým vlna prochází. V řadě měření je situace usnadněna tím, že jednotlivé vrstvy jsou uloženy vodorovně. Pokud takové souvrství najdeme, je jednoduché změřit v této oblasti rychlosti šíření v jednotlivých vrstvách (lze určit i jednotlivé permitivity vrstev) a tím se dopracovat k hloubce hledaných objektů. Nemůžeme ale změřit tyto vlastnosti v nejspodnější vrstvě, paprsek tam nemá možnost odrazit se od další rovné vrstvy. Pak se tato rychlost šíření musí odhadnout z tabulek pro daný typ horniny v tomto místě. Pokud to není možné, musí se provést vrt. Ten nám samozřejmě určí také tloušťky všech horních vrstev v místě vrtu. Pokud horizontální vrstvy v radarogramu nejsou, dosazuje se tabulková hodnota rychlosti vlny pro daný materiál.

Měříme -li nějakou rovnou geologickou vrstvu např pod 5m vrstvou navážky, ve které se mění často rychlost šíření vlny - **nebude z těchto důvodů spodní vrstva nikdy zobrazena jako rovná**. V horním obrázku je vidět, jak je červená vrstva na 100m v hloubce 4,5m pod objektem posunuta nahoru stejně jako další vrstvy dole, to znamená, že v horní oblasti 1-4m došlo ke zrychlení šíření vlny - prostor je např. sušší než okolí. Pokud by byla vrstva vychýlena dolů, je to důsledkem prodloužení doby průchodu materiálem (např. mokrá hlína v suchém písku). Této vlastnosti se nechá využít při hledání dutin, tam vlna zvýší rychlost asi 3x.

Další úskalí ve vyhodnocení radarogramu je v tom, že my vlnu zaznamenáváme v obrázku jako svislý sloupec bodů kolmo pod georadarem, ale vlna se v zemi šíří jako rozšiřující se kužel s polokulovým vrchlíkem a my zaznamenáváme **změny v celém vrchlíku tohoto kuželu jako jeden bod (v určitém čase)**. Není možné pro měření v zemi používat takové směrové antény, jako pro zaměřování polohy letadel, které mají mnohem užší vyzařovací diagram. Výhodou v našem případě je, že anténami georadaru můžeme po zemi posouvat a tak zjistit, jestli se k hledanému objektu přibližujeme nebo se od něj vzdalujeme, ale to jestli je ten objekt vlevo nebo vpravo od směru pohybu měření, nedokážeme určit. Nezbývá než provést několik rovnoběžných měření, nebo udělat jedno měření kolmo na původní směr v místě nalezené anomálie.

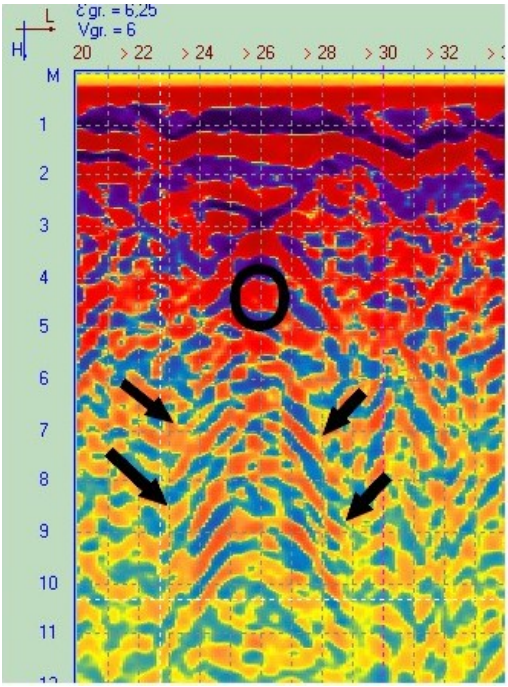
Protože dokážeme vyhodnotit pouze změny vlastností materiálu v určité ploše, ve výsledném obrázku nikdy nenajdeme např. hledanou štolu jako ostře ohraničený obdélník. Velmi dobře uvidíme strop, někdy náznak stěn a málokdy dno. Navíc obraz pod stropem štoly se zdeformuje, prohne se směrem nahoru, protože se nám po průchodu stropem ve vzduchu několikrát zrychlí šíření vlny a ke dnu štoly vlna vzduchem dorazí mnohem dříve než skálou ke skále, která je v úrovni tohoto dna. To nám ale zase pomůže takový objekt lépe zviditelnit a někdy určit i výšku dutiny. Za určitých podmínek se vlna může odrážet i mezi dnem a stropem, pak vzniká řada rezonančních odrazů, které se časově zapisují pod první odraz od stropu jako sloupec odrazů směrem dolů. Musíme mít také na paměti, že vlna se odrazí zpět k přijímači pouze u objektů vodorovných nebo do sklonu asi 40°, pokud je sklon vyšší, vlna se odrazí do boku nebo sklouzne dolů a nevrátí se. Vertikální anomálie se proto velmi špatně detekují.



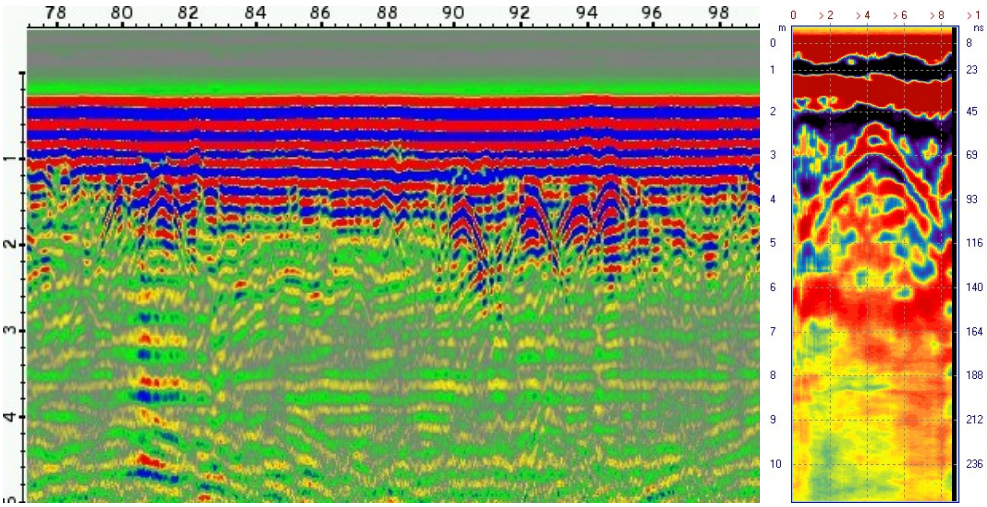
Geologický zlom s řadou kolmých trhlin.

V místech, kde se může vlna šířit horizontálně (mezi vrstvami) nebo v horninách s malým útlumem, vznikají od vertikálních anomálií odrazy ve tvaru ukloněné přímky, která na okraji anomálie končí a

pokračuje na druhé straně pod opačným sklonem. Ze sklonu těchto přímek se nechá určit rychlost šíření vlny v této oblasti.

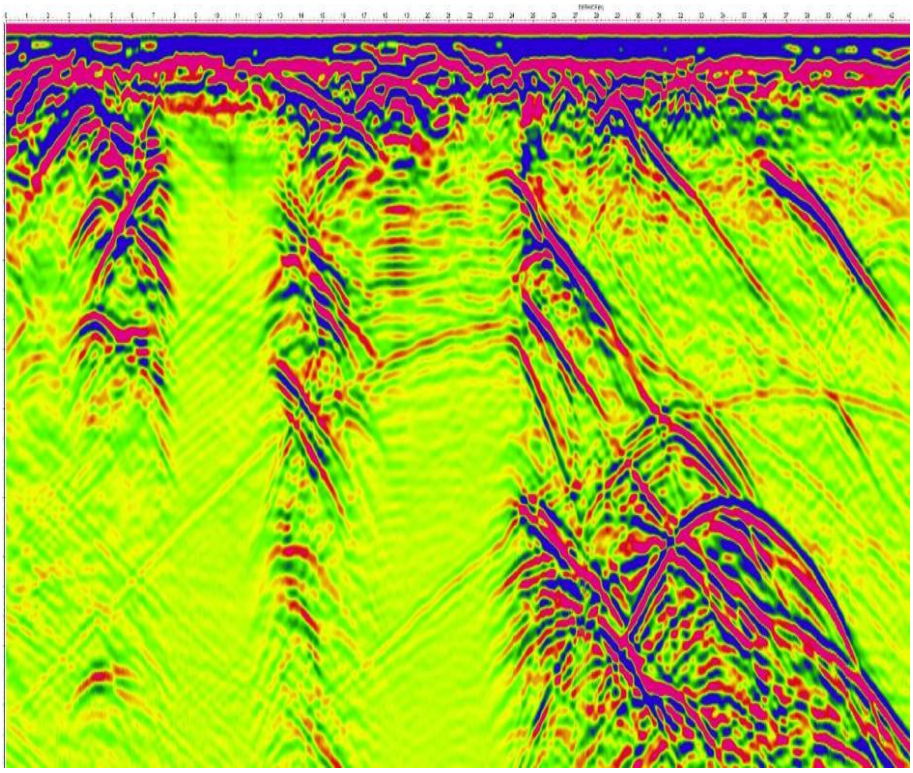


Hyperboly u výrazných objektů vznikají proto, že georadar je ještě kus před objektem, ale vlivem kuželové charakteristiky antény již od tohoto objektu dostává odraz s menší intenzitou a **s delším časem a tím i větší hloubkou**, než odpovídá skutečné hloubce objektu. **Program zakresluje tento objekt kolmo pod místo měření**. Pokud se k objektu georadar blíží, narůstá nám z těchto odrazů před objektem hyperbola, která má vrchol v místě, kde jsme objektu nejblíže (nemusíme být přímo nad objektem, může být vlevo nebo vpravo, **jsme jen k němu nejblíže!**), při dalším pohybu georadaru hyperbola opět klesá a snižuje se intenzita odrazu. Na obrázku dole jsou kořeny v jílových sedimentech. Našly si místo přesně tam, kde je nejvíce vody, těsně nad skalním podložím. Hyperboly vznikají pouze v horninách s malým útlumem nebo v malých hloubkách, vlna se zde šíří více do stran. Hyperboly mají velký význam v tom, že program z jejich tvaru dokáže určit rychlost šíření vlny a velmi přesně i hloubku

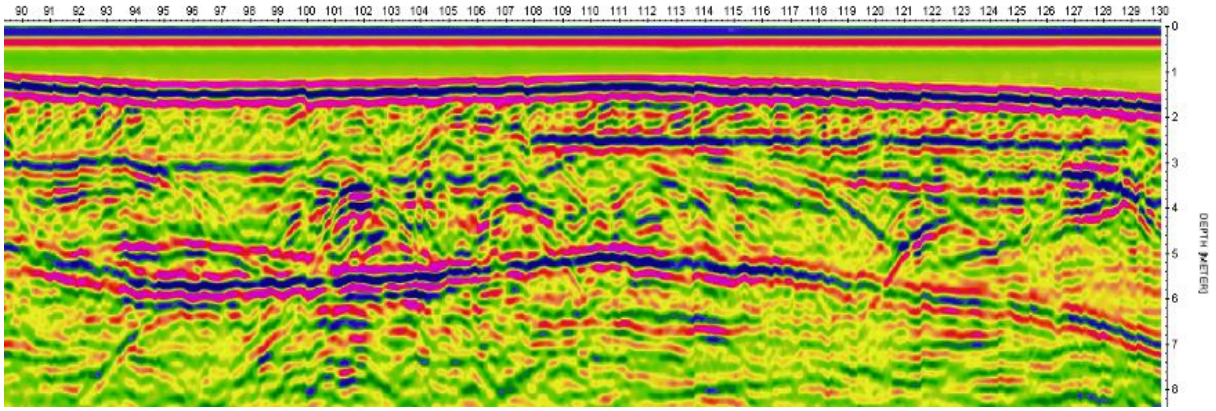


U výrazných objektů vznikají na místě ostrého přechodu vodivosti a permitivity tři fáze odrazu. Pokud je shora sled fází červená - modrá - červená, jedná se o objekt, který má větší vodivost nebo permitivitu, než je v materiálu nad ním (např. kovy, dutiny s vodou...). Pokud je shora sled

fází modrá - červená - modrá, jedná se o objekt, který má nižší vodivost nebo permitivitu, než je v materiálu nad ním (např. dutiny, suchá místa ...). V případě obrázku s kořeny je sled barev č-m-č, kořeny mají vyšší obsah vody než okolí. Dutina na pravém obrázku by měla mít opačný sled barev, je to však chodba s cihlovým mokrým stropem, dutina je ta modrá oblast. Dole jsou odrazy ve vápencích.

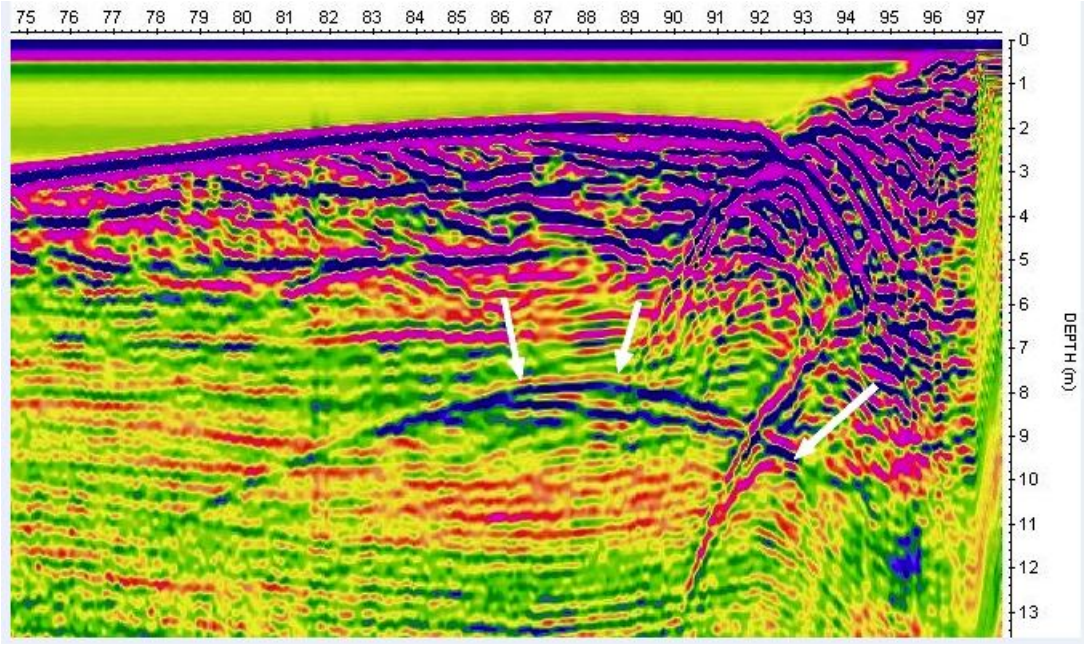


Od výrazných vrstev pod povrchem se signál při průchodu zespodu může částečně odrazit zpět pod zem a znovu dojít k anomálii, od které se odrazil. Protože k přijímací anténě dojde se značným zpožděním, zapíše se v radarogramu pod tuto anomálii jako řada slábnoucích odrazů v pravidelných rozestupech (tlumená rezonance). Velmi výrazně se takto chová vodní hladina, při průchodu vlny od spoda se vlna od rozhraní voda - vzduch odráží zpět pod vodu. Odraz dna tak bývá často dvojitý. V programu je na to speciální filtr. Dole měření na Dunaji, spodní odraz je kopií průběhu dna, ve vodě je vlna asi 3x pomalejší, proto je tak hluboko.



Signál z vysílací antény se také šíří vzduchem do okolního prostoru a od větších nebo vodivých předmětů se opět může odrazit a být přijat anténou. Tyto objekty v radarogramu vidíme jako velmi široké hyperboly, nebo přímky, podle toho jak se s radarem vůči tomuto objektu pohybujeme. Ze známého času odrazu a z rychlosti šíření vlny ve vzduchu se nechají tyto objekty snadno rozpoznat

a určit v prostoru. Dlouhý modrý odraz dole je vzdušný, pod ním vpravo je odraz s užší hyperbolou, odpovídá mnohem pomalejší rychlosti šíření, objekt je pod dnem řeky.



Určitým paradoxem je měření velmi dlouhými anténami v lesích. Měříme většinou do velkých hloubek a s velkým výkonem. Mohli bychom se obávat vzdušných odrazů od různých nadzemních vedení do vzdáleností několika km, ale les se chová jako perfektní tlumení a taková měření jsou od určité hloubky (po odrazech od blízkých stromů) bez vzdušných odrazů.

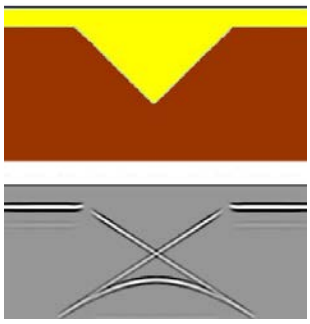
Tak to byly vodorovné vrstvy a teď jsou tady ještě změny ve vodivosti a permitivitě svislých vrstev, které nám způsobí to, že ten kuželový paprsek nám začne uhýbat do stran nebo se začne měnit jeho šířka. Pokud máme v mokré hlíně ve 2m výkopu kabel, zasypaný suchým pískem, je chyba lokalizace do stran až 1m. To je jistě extrémní případ, ale i tato odchylka může nastat, zejména při zaměřování objektů ve větší hloubce pod zemí. Vertikální objekt může způsobit i to, že pod ním nejsou zřetelné odrazy, pohltí nám vlnu nebo se vlna od něj odrazí hodně šikmo a zmízí v hloubce. Tedy i to, že tam nejsou odrazy, nebo sloupec odrazů, může být způsobeno nějakou anomálií.

Celý postup šíření vlny se nechá přirovnat k tomu, jako bychom v kalné vodě měli najít objekty na dně a měli bychom k dispozici pouze nafukovací balónek, který můžeme v každém místě postupně nafukovat a zjišťovat, kdy se dotkne pevné překážky. Pokud vrstvu vody nahradíme vrstvou oleje, vody a rtuti (ve skutečnosti je to spíše obráceně - a to se nám ten balonek pak pěkně zdeformuje), tak dostaneme velmi reálnou představu o tom, co georadar vlastně měří a jak. Ještě že máme na pomoc grafické zobrazení na PC a SW na vyhledávání objektů a frekvenční filtraci.

Potlačení nedostatků radarogramu softwarem

Program na zpracování radarogramů má různé filtry, jak výše uvedené nedostatky v radarogramu potlačit. Můžeme zdůraznit pouze některé frekvence, ty rušivé zase potlačit. Můžeme omezit zrcadlové odrazy, vyfiltrovat vzdušné odrazy atd. To nám pomáhá zviditelnit i malé rozdíly v chování vlny a zjistit nevýrazné a hluboko uložené objekty. Za hodinu se naměří tolik dat, že je pak můžeme 10 hodin filtrovat a vyhodnocovat, popisovat....

Programy mohou simulovat i odrazy, které bychom měli změřit na zadané modelové situaci. Znalost těchto odrazů nám pak pomáhá správně interpretovat naměřené radarogramy. Spodní oblouk vzniká odrazem od stěn výkopu, nikoliv na jeho nejnižším bodě.



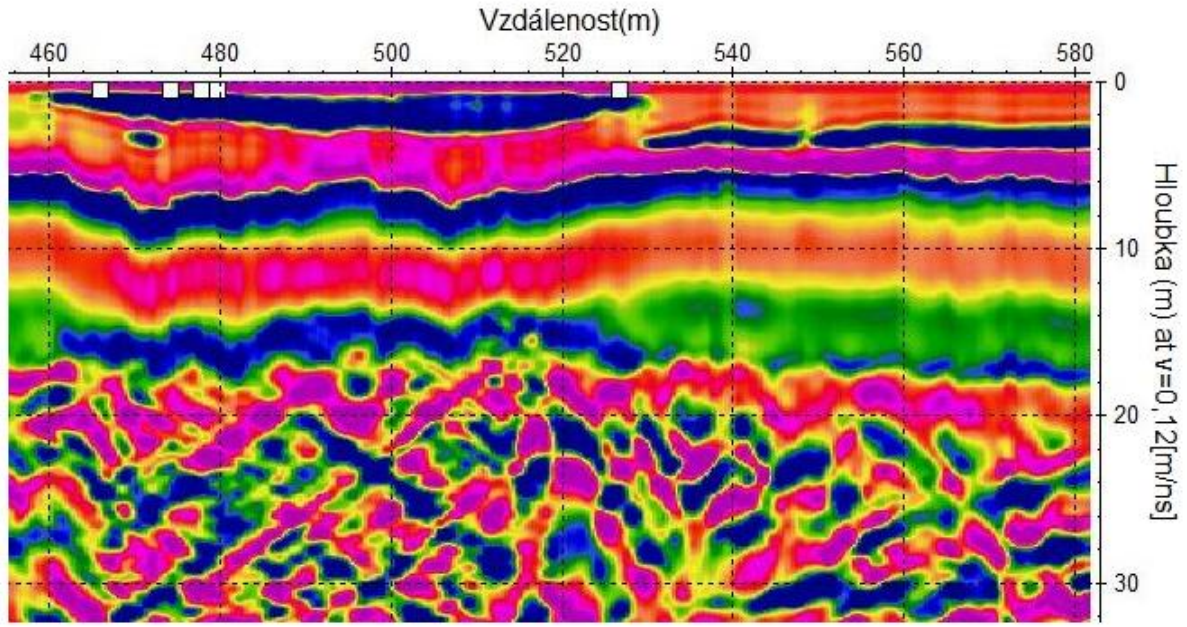
Tak to je základní kurz pro čtení radarogramů a teď již můžete "odborným" okem prohlížet jakékoliv výsledky našich měření.

Předběžná zpráva z georadarového měření v okolí Pekárny

Pavel Kalenda

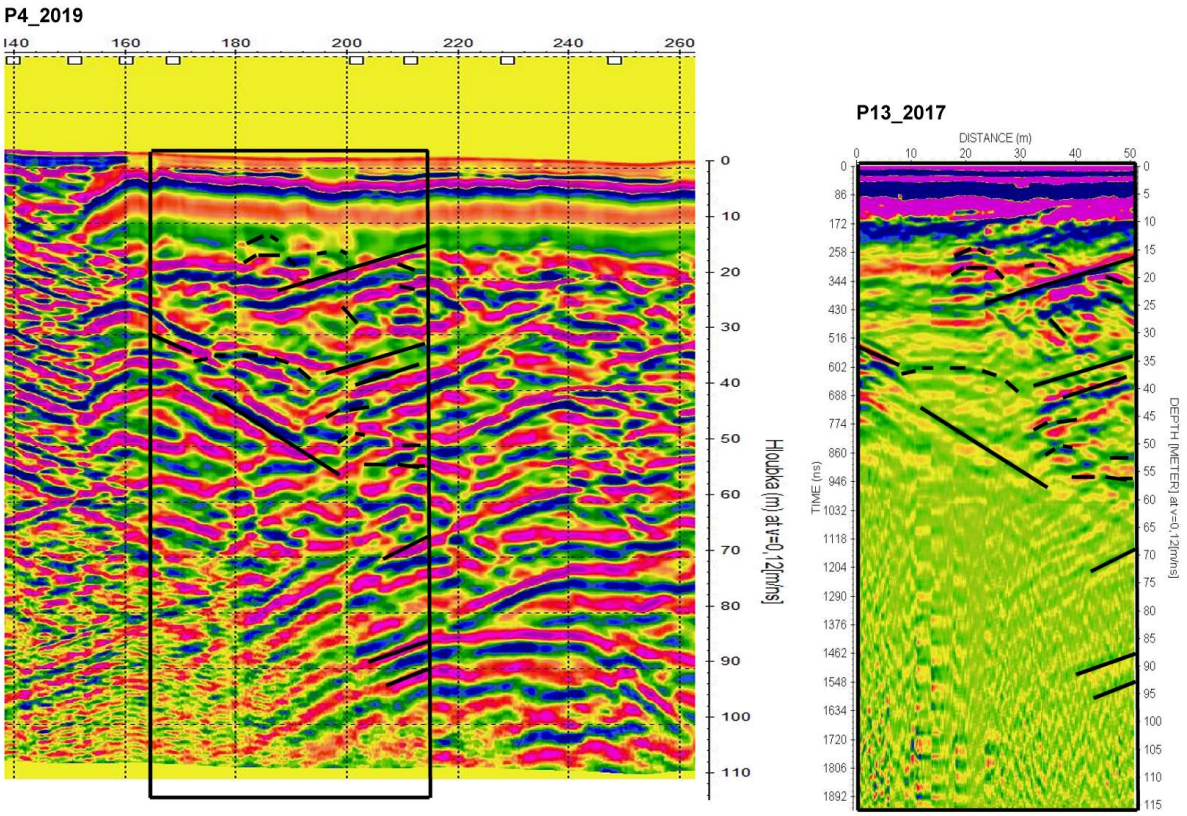
Dne 6.12.2019 proběhlo v okolí jeskyně Pekárna georadarové měření, které mělo za cíl potvrdit/vyvrátit telegnostické detekce jeskyní v hloubkách 20 – 50 m. Měření proběhlo za příznivých meteorologických podmínek – v oblasti několik předchozích dní nepršelo a teplota na povrchu se pohybovala okolo -4°C, takže voda na povrchu byla zmrzlá.

Pro měření byly vybrány 6-m antény (střední frekvence 25 MHz), které sice umožnily detekci případných dutin v hloubkách okolo 100 m a hlouběji, avšak neumožnily detekci dutin v blízkosti povrchu do hloubek cca 10 – 15 m, protože signál byl přebuzený a případné odrazy z podloží byly zcela překryty (viz obr. 1).



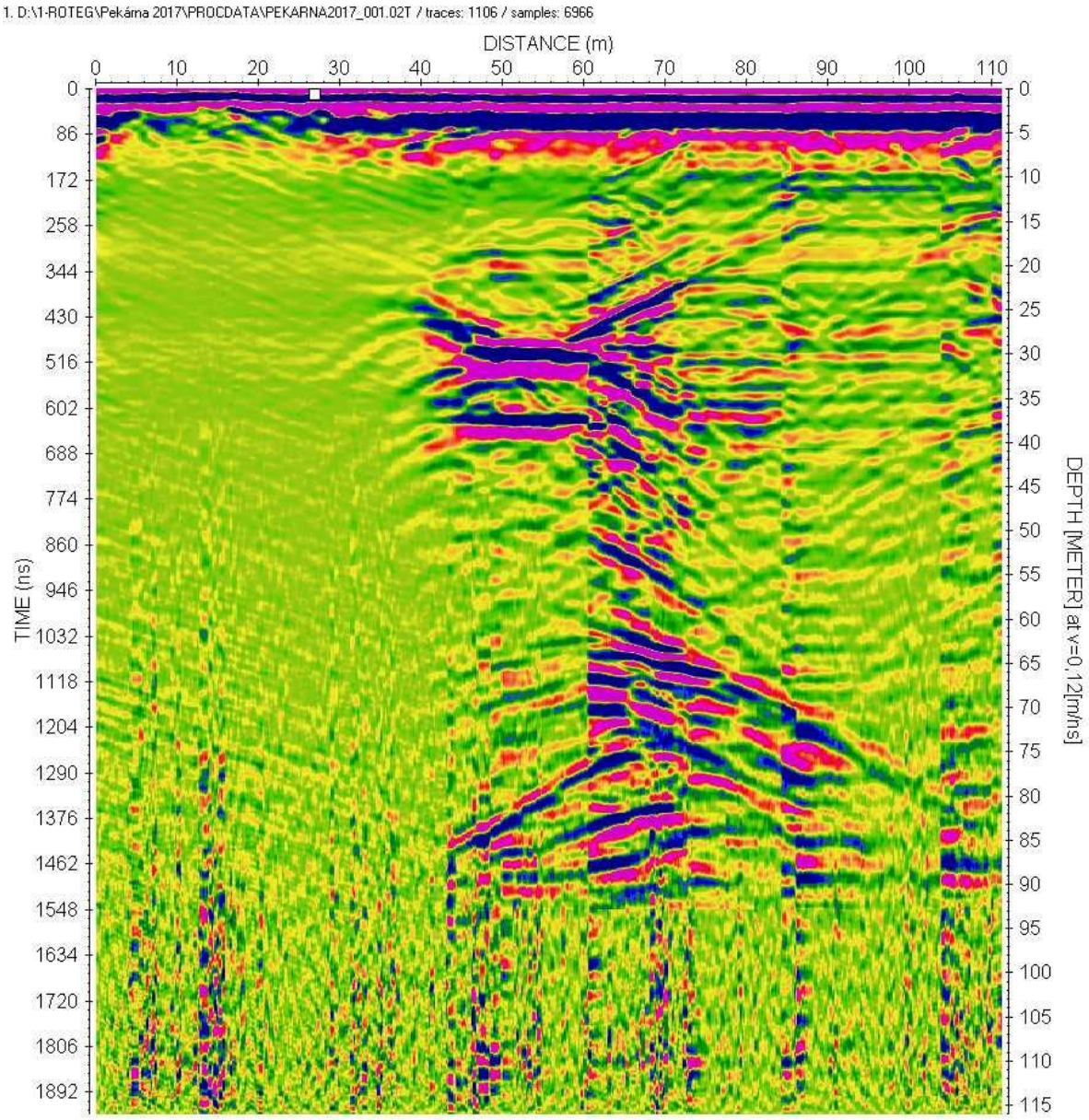
Obr. 1 – Detail radarogramu na profilu P4. Do hloubek 10 – 15 m jsou reflexe přehlušeny primárním signálem. Od hloubek cca 17 m jsou detekovatelné detaily odrazů od různých nehomogenit.

Pro porovnání výsledků obou měření se 3-m anténami v roce 2017 a 6-m anténami v roce 2019 může sloužit část profilu P4 v délce 50 m, na které byl změřen v roce 2017 profil P13 (viz obr. 2).



Obr. 2 – Radarogramy na stejném úseku (v obdélníku) v roce 2019 a 2017.

Optimální by byla pravděpodobně volba 3-m antén se střední frekvencí 50 MHz, které v dané lokalitě umožnily v roce 2017 jak detekci jeskyní v hloubkách okolo 100 m, tak i detekci nehomogenit z hloubek okolo 8 m (viz obr. 3 – měření z roku 2017, Kalenda a kol. 2018).



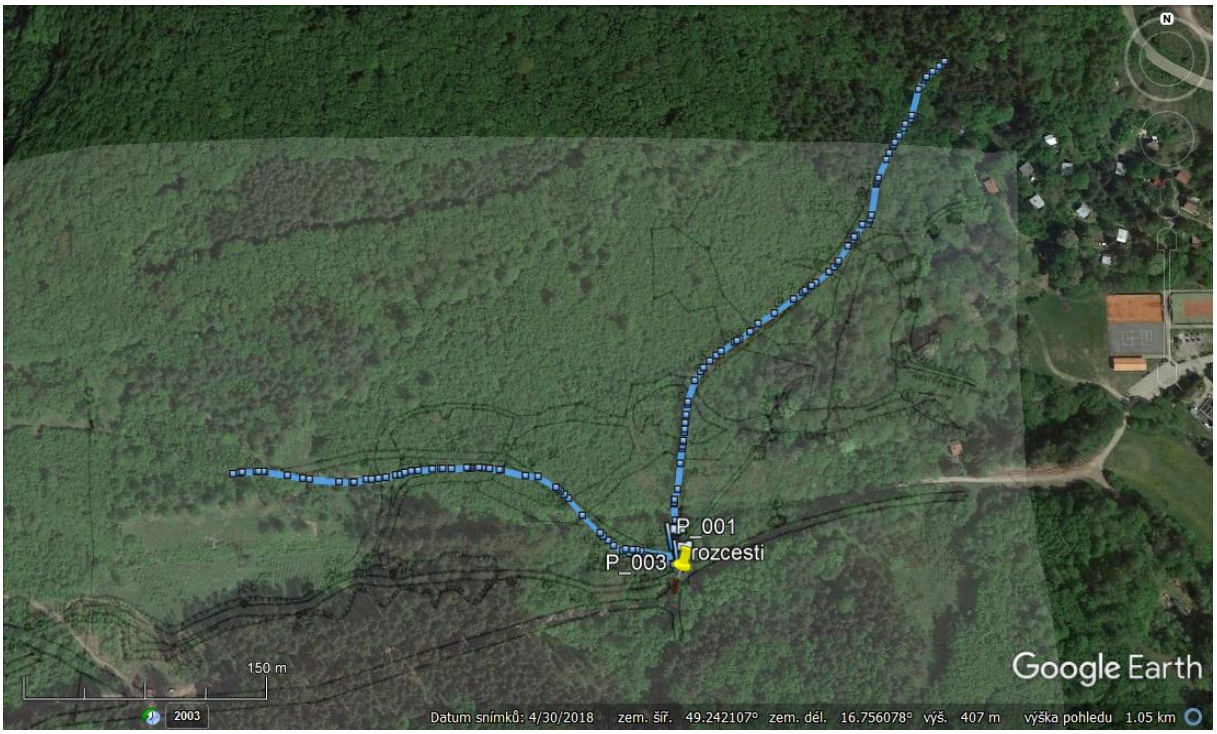
Obr. 3 – Radarogram na profilu P1 nad koncovou partií Pekárny. Měřeno v roce 2017 s 3-m anténami (Kalenda a kol. 2018).

Horizontální (laterální) a vertikální rozlišení jsou dalšími z omezujících faktorů pro různé délky (a střední frekvence) antén. Podle Annana (2009) je horizontální rozlišení

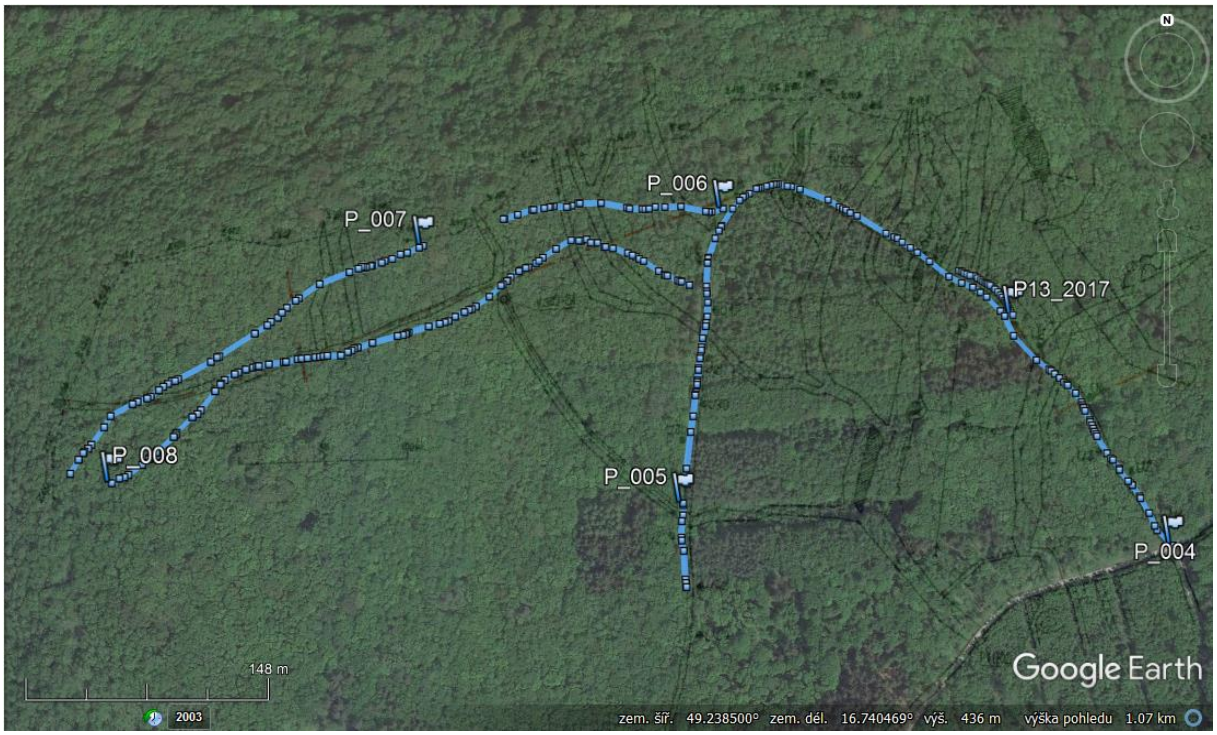
$$L = \mathrm{sqrt}(v_m .W.d/2) \quad , \qquad /1/$$

kde d je hloubka nehomogenit, W je šířka pulzu a v_m je rychlost šíření signálu v hornině (pro vápence je to 0,12 – 0,14 m/ns). Pro 25 MHz anténu s délkami pulzů cca 3-4 ns a sledované hloubky 20 – 40 m je laterální rozlišení L cca 2,1 – 4 m. Pro 50 MHz anténu by laterální rozlišení L mělo být cca 1,5 – 2,8 m. Proto by neměly při našem měření být od sebe rozlišitelné 2 jeskyně, které jsou horizontálně blíže než 2 m. Také detekce subvertikálních puklin o malé šířce je tímto silně omezena.

Změřené profily



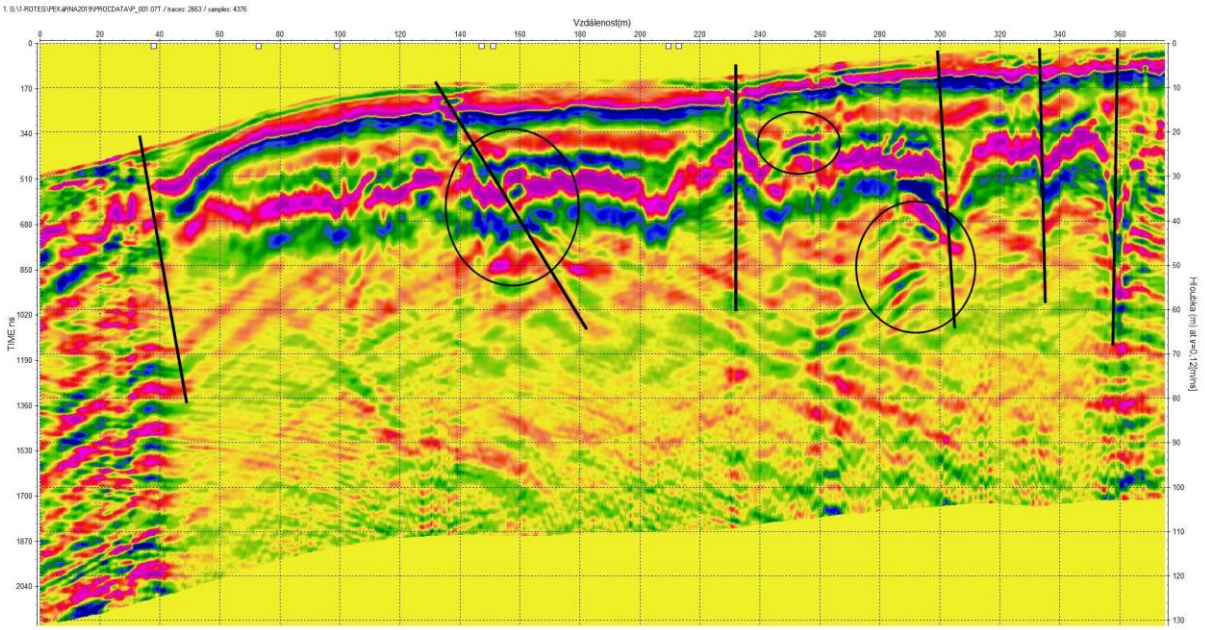
Obr. 4 – Mapa oblasti 2 s profily P1 a P3 s průsvitkou telegnostických detekcí



Obr. 5 - Mapa oblasti 1 s profily P4 až P8 a P13 z roku 2017 s průsvitkou telegnostických detekcí

Interpretace radarogramů

Profil P1



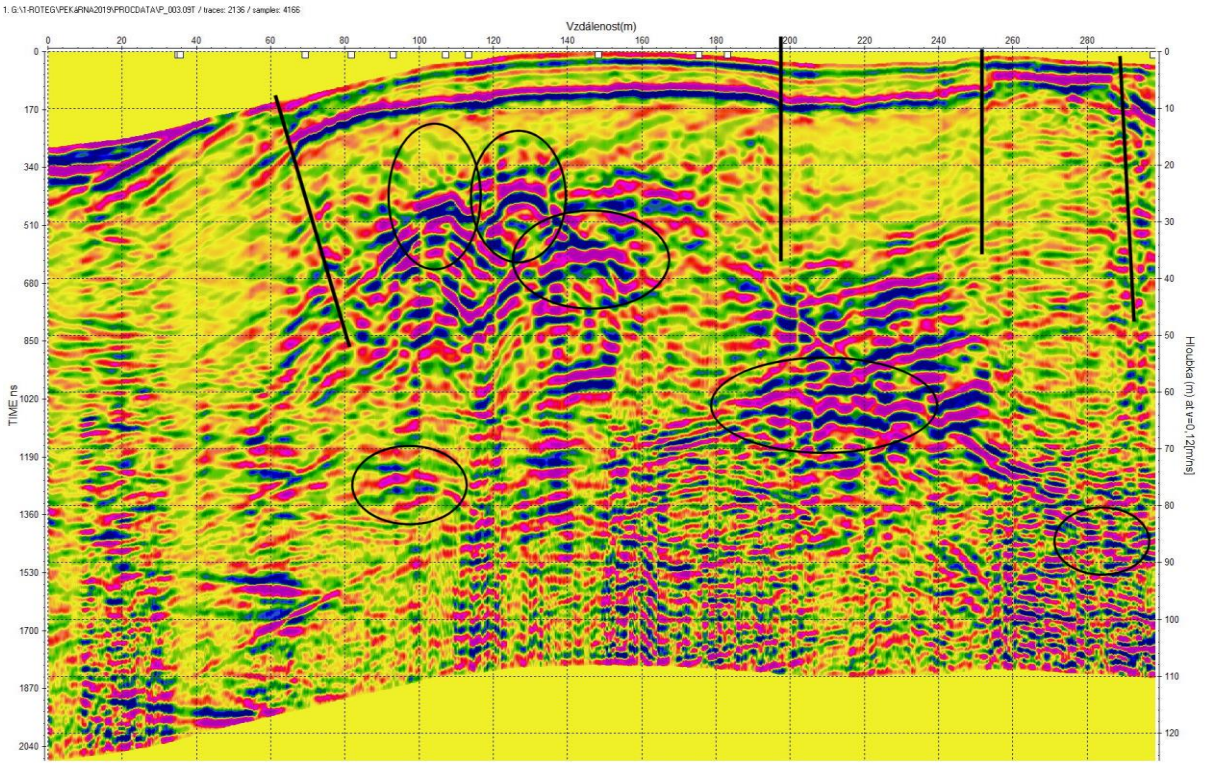
Obr. 6 – Radarogram na profilu P1 s topokorekcemi. Čtvercové značky na horní ose označují buď stabilizované body v terénu nebo počátky a konce detekovaných telegnostických anomálií. V elipsách jsou detekované dutiny, čáry označují zlomy.

Na začátku profilu ve staničení cca 45 m je dobře vidět okraj Hostěnického údolí, vyplněného do hloubky min 10 m sedimenty (většinou štěrkovité jíly). Ve staničení 140 m vychází na povrch tektonická porucha, která je místy výrazně korodována (v hloubkách 12 m, 20 m, 30 m a 40m). Toto odpovídá zjištěné telegnostické detekci mezi staničeními 152 až 156 m, kde se nachází jedna z korozí rozšířených (úzkých) prostor v hloubce 25 – 30 m.

Telegnostická detekce mezi staničeními 216 až 219 m odpovídá tektonické poruše. Malá (????) dutina byla detekována ve staničení 255 m v hloubce 16 m. Na tektonické poruše je založena taky dutina ve staničení 290 m v hloubce 50 m. Další dvě významné tektonické poruchy vycházejí na povrch ve staničeních 335 m a 360 m.

Profil P2 by opakován jako profil P3 a tažen ručně

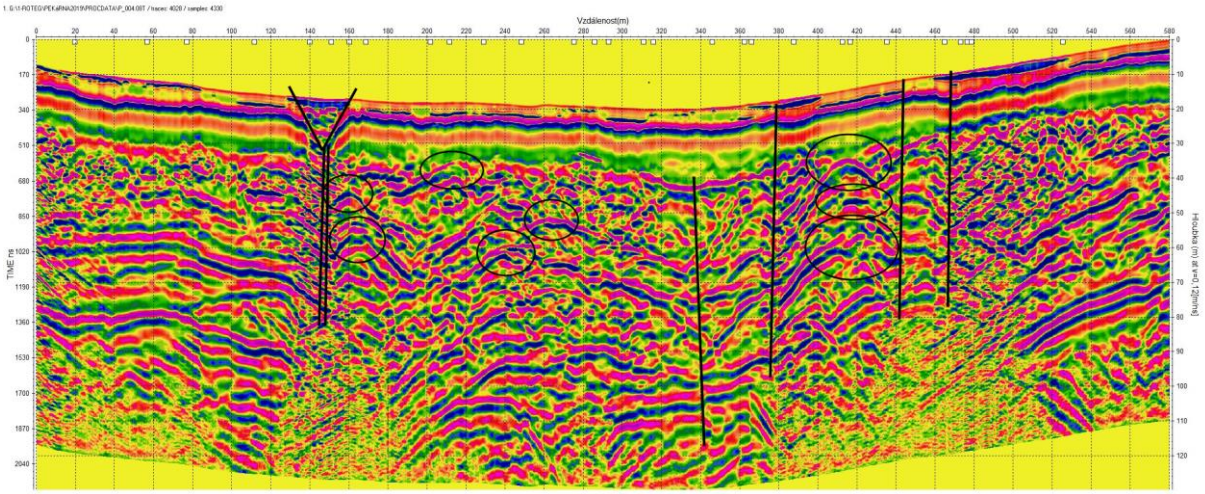
Profil P3



Obr. 7 - Radarogram na profilu P3 s topokorekcemi.

Do staničení 30 m je dobře patrná výplň Hostěnického údolí obdobně, jako na profilu P1. Ve staničení 70 m vychází na povrch tektonika. Mezi staničeními 105 a 110 m se nachází v hloubce 25 m výrazná dutina, pravděpodobně jeskyně. Obdobná se nachází mezi staničeními 130 – 135 m taky v hloubce 25 m a pod nimi v hloubce 36 m se ve staničení 148 – 158 m nachází další široká dutina. Náznak dutiny je patrný ve staničení 90 m v hloubce 70 m. Další výrazná dutina se nachází ve staničení 200 – 250 m v hloubce 60 m pod povrchem. Ta je založena na křížení tektoniky a vrstevní spáry. Nejhlubší detekovaná jeskyně na profilu P3 se nachází ve staničení 280 – 285 m v hloubce 85 m.

Profil P4



Obr. 8 - Radarogram na profilu P4 s topokorekcemi.

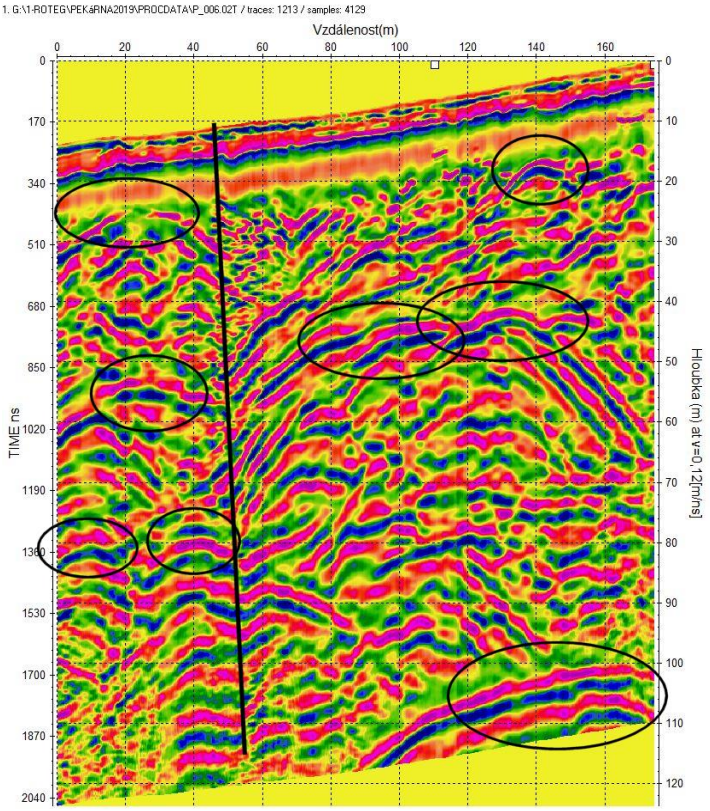
Ve staničení 140 – 160 m je velice dobře patrný závrt (dnes zcela vyplněný), který je založen na významné tektonice směru SV-JZ (podle měření v roce 2017). Na ní jsou vázány taky významné dutiny (pravděpodobně jeskyně) v hloubkách 27 m a 36 m. Další dutiny jsou ve staničení 212 m a hloubce 15 m, ve staničeních 240 – 250 m v hloubce 40 m, ve staničení 260 – 265 m a hloubce 33 m. Nejvýznamnější dutina (asi jeskyně) je ve staničení 415 m v hloubce 20 m, která pokračuje do hloubky 30 m (výška je cca 10 m). Pod ní se nachází další dutina v hloubce 45 m.

Řada subhorizontálních struktur s velkými reflexy představuje pravděpodobně mezivrstevní spáry nebo násunové plochy přesmyků. V obou případech není vyloučena velká koroze a tvorba dutin a jeskyní.

Profil P5

Na profilu P5 se nacházejí pouze pokračování reflexů z profilu P4, ale při povrchu není žádný střed dutiny. Pouze na začátku profilu se nachází v hloubce 83 m nevýrazná dutina a nad ní v hloubce 70 m je výrazný reflex (pokračování z profilu P4), který vznikl pravděpodobně na mezivrstevní spáře nebo násunové ploše přesmyku. Obdoba této plochy je pravděpodobně na začátku profilu P4 v hloubce 60 m.

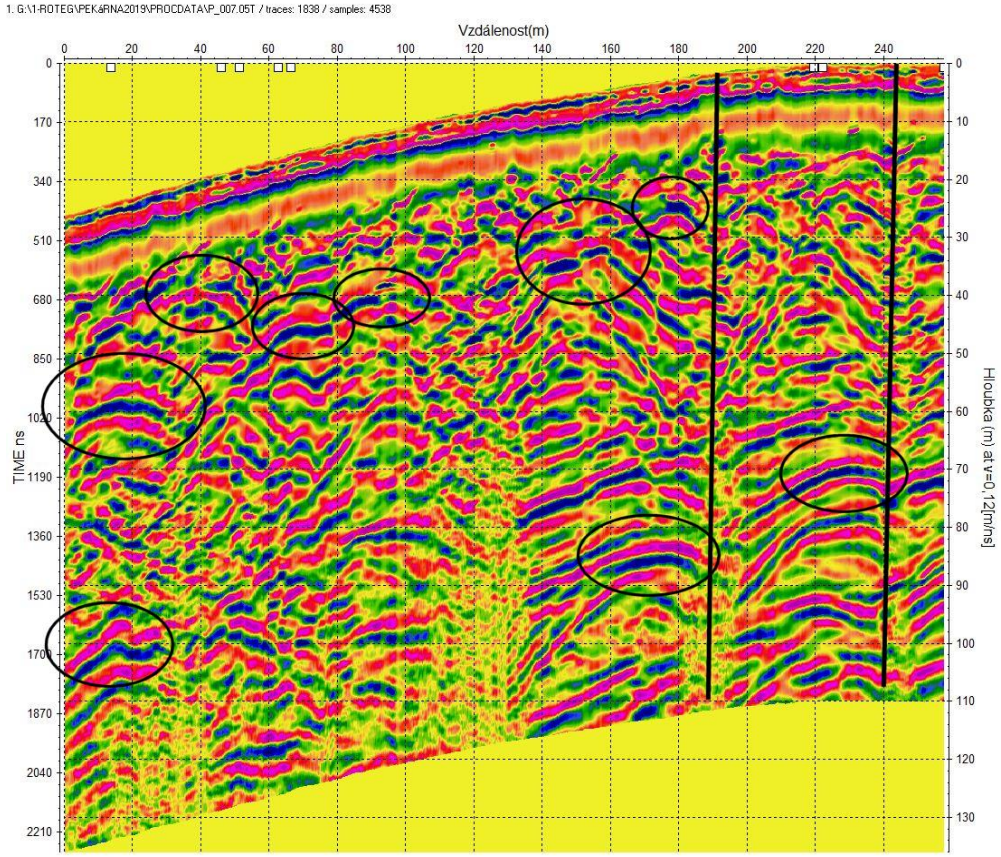
Profil P6



Obr. 9 - Radarogram na profilu P6 s topokorekcemi.

Na začátku profilu P6 se nad sebou nacházejí významné jeskyně v hloubkách 12 m, 40 m a 70 m, které jsou založeny v blízkosti tektonické poruchy pravděpodobného směru SZ-JV a která vychází na povrch ve staničení 45 m. Významná zkrasovatělá poloha se táhne od staničení 80 m do 130 m a je v hloubce 37 m. Ve staničení 140 m je v hloubce 15 m výrazná dutina. Pod celým koncem profilu je výrazné odrazné rozhraní v hloubce 100 m, což je pravděpodobně styk vápenců s podložními bazálními klastiky Old Red, které je výrazně korodované (Slezák a kol. 2017) a které bylo také detekováno při měření v roce 2017 (Kalenda a kol. 2018). Někde okolo konce profilu P6 se nachází významná tektonika, protože radarogramy profilů P6 a P7 na sebe nenavazují a konec profilu P6 je „rozbitý“.

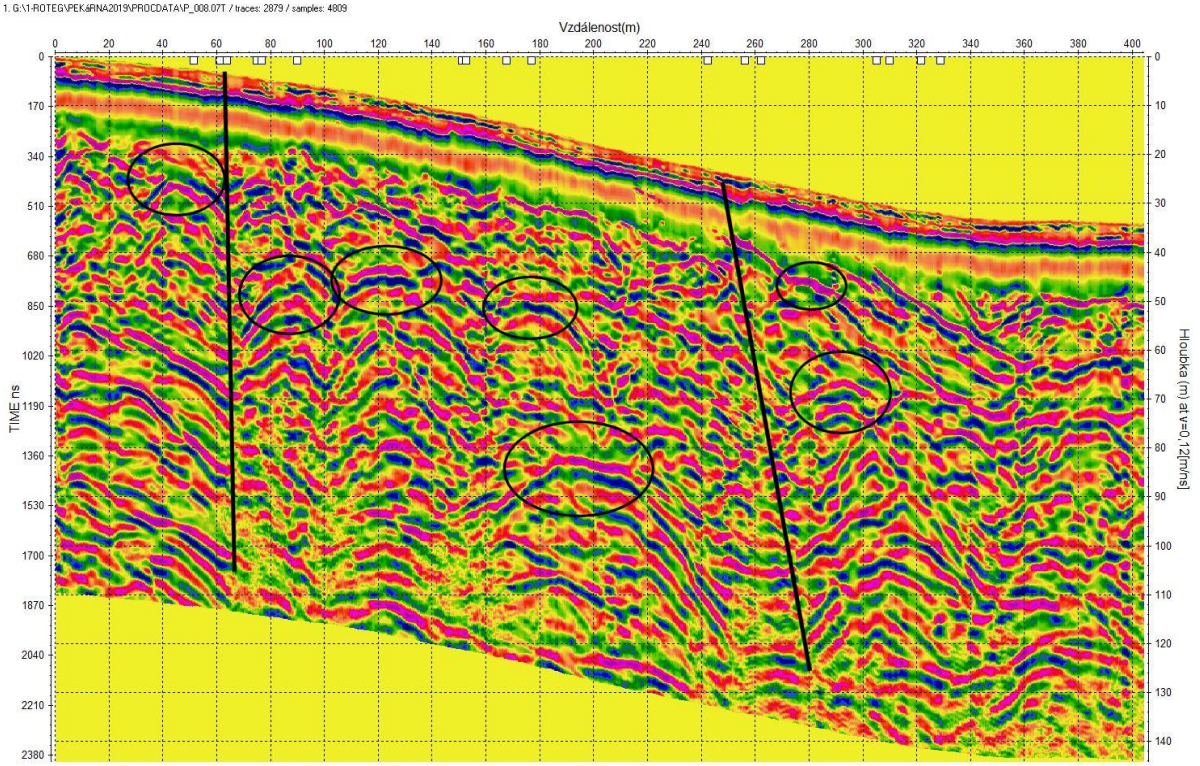
Profil P7



Obr. 10 - Radarogram na profilu P7 s topokorekcemi.

Ve staničení 20 m byla detekována významná dutina v hloubce 35 m a pod ní v hloubce 80 m další. Ve staničení 40 m se nachází dutina v hloubce 20 m. Další dutiny se nacházejí ve staničeních 70 m a 90 m v hloubce 30 m. Nejvýznamnější dutina na profilu se nachází ve staničení 150 – 160 m v hloubce 25 m. Menší dutina se nachází ve staničení 180 m v hloubce 21 m. Pod ní je významná reflexní plocha (dutina??) v hloubce 80 m. Obě dutiny jsou vázány na tektoniku, která vychází na povrch ve staničení 190 m. Další tektonika vychází na povrch ve staničení 244 m a na ní je vázána dutina s vrcholem ve staničení 230 m a hloubkou 70 m.

Profil P8

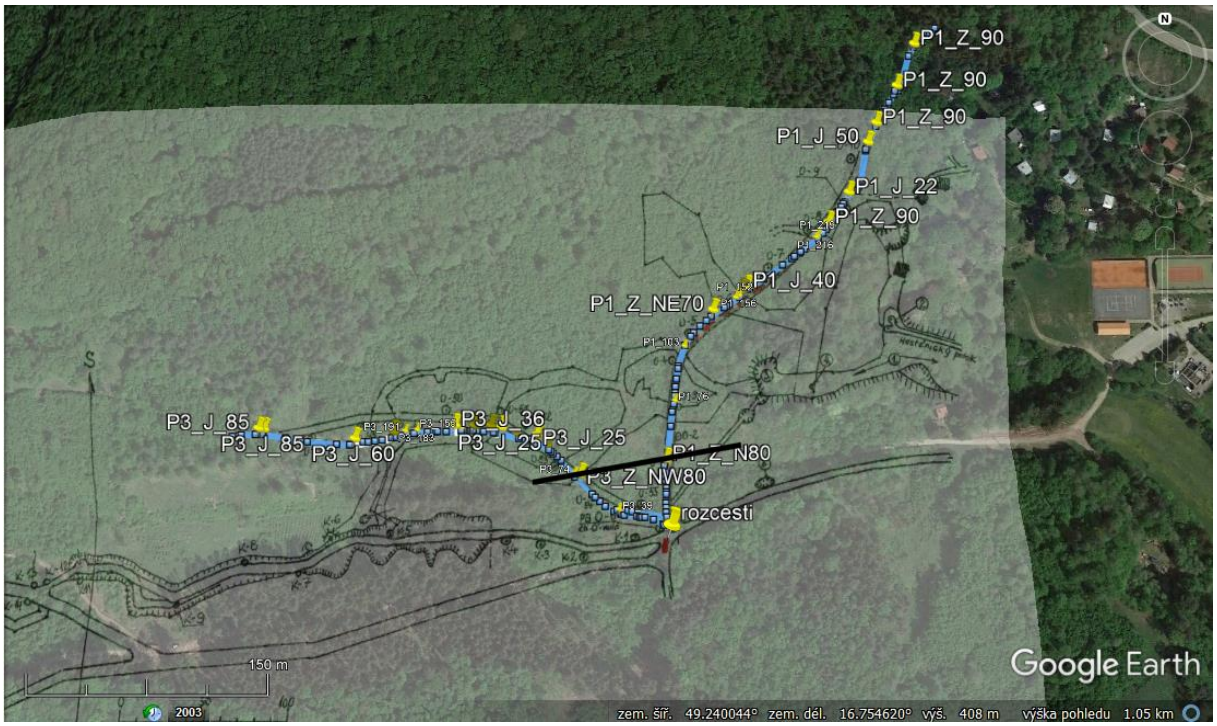


Obr. 11 - Radarogram na profilu P8 s topokorekcemi.

Ve staničení 45 m byla detekována dutina v hloubce 23 m. Ve staničení 62 m vychází na povrch tektonika. Ve staničení 90 m byla detekována dutina v hloubce 40 m, ve staničení 120 m v hloubce 35 m a ve staničení 180 m v hloubce 35 m. Mezi staničeními 190 – 210 m se nachází významná odrazná plocha v hloubce 65 m. Významná tektonika vychází na povrch ve staničení 247 m. Ve staničení 290 m byla detekována dutina v hloubce 20 m a pod ní v hloubce 40 m. Koroze pokračuje až do hloubky 70 m.

Shrnutí

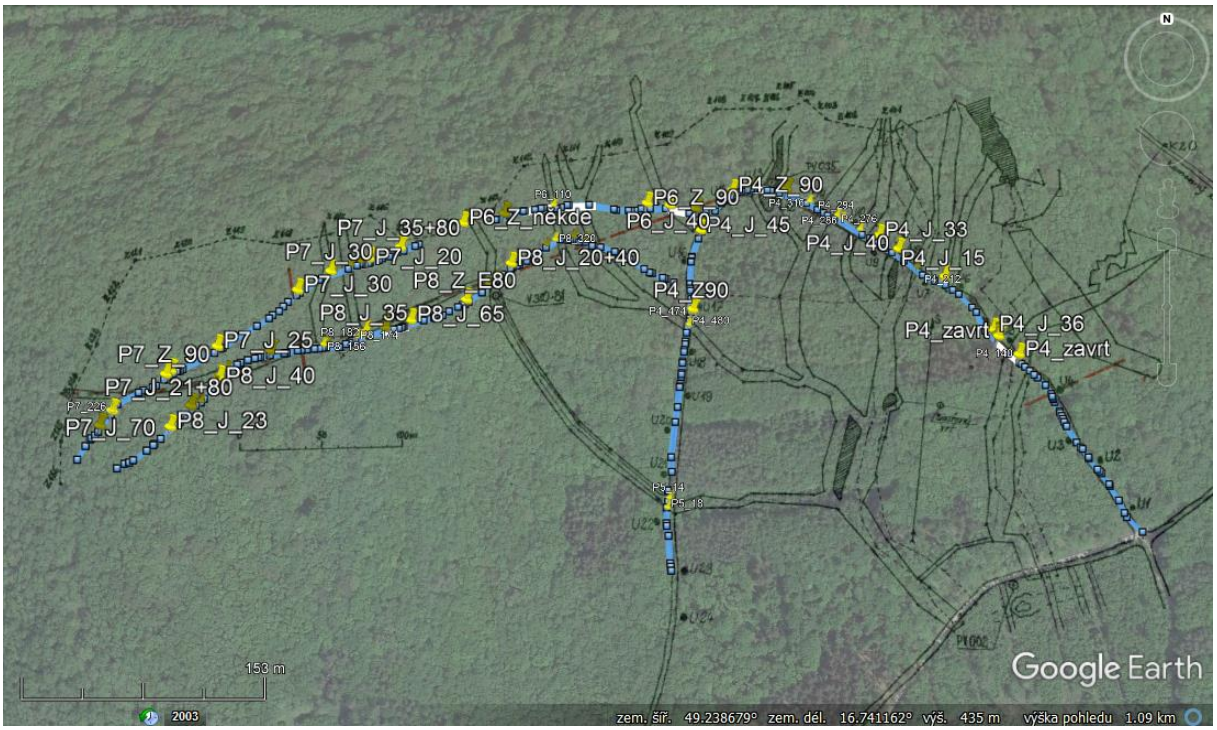
Když porovnáme generelně výsledky telegnostického průzkumu a georadarového měření, tak vidíme, že je mezi nimi velká míra shody. Telegnostický průzkum není schopen odlišit korodované tektoniky od jeskyní s vodivými sedimenty. Tyto jsou ale v mnoha případech vázány právě na směrnou tektoniku (v našem případě Z-V až SZ-JV) nebo na příčnou tektoniku SV-JZ.



Obr. 12 – Mapa oblasti 2 se zobrazením poloh detekovaných dutin (velké připínáčky - označeno P1_J_XX, kde XX označuje hloubku stropu dutiny v m), nebo detekovaných zlomů (označeno např. P1_Z_NXX, kde XX označuje sklon k N). Malé připínáčky označují polohy telegnostických detekcí s číslem staničení na profilu. Černá linie označuje okrajový zlom Hostěnického údolí.

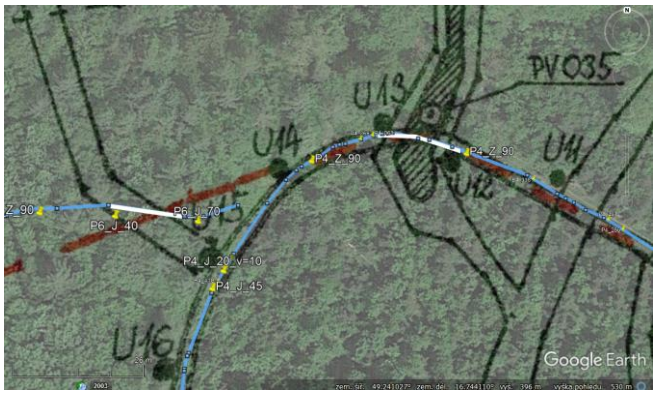
Na profilu P1 nebyly potvrzeny telegnostické detekce mezi staničeními 70 a 103 m (filtrace radarogramu? nebo silná vrstva jílu?). Naopak se potvrdily telegnostické detekce okolo staničení 150 m, kde se nachází jeskyně v blízkosti tektoniky i detekce okolo staničení 218 m.

Na profilu P3 je telegnostická detekce ve staničení 74 m spojená s okrajovým zlomem. V další části profilu se mapový s telegnostickými detekcemi podklad značně odlišuje od ortofotomaly a GPS souřadnicím radarového profilu. Přesto je možno konstatovat, že generelně polohy dutin souhlasí a dokonce největší dutina mezi staničeními 200 a 230 m odpovídá anomálně široké chodbě na mapě telegnostických detekcí.



Obr. 13 - Mapa oblasti 1 se zobrazením poloh detekovaných dutin (velké připínáčky - označeno např. P4_J_XX, kde XX označuje hloubku stropu dutiny v m), nebo detekovaných zlomů (označeno např. P7_Z_NXX, kde XX označuje sklon k N). Malé připínáčky označují polohy telegnostických detekcí s číslem staničení na profilu.

Na profilu P4 má většina telegnostických detekcí svůj protějšek v reflexích detekovaných radarem. Snad nejlépe je to patrné v okolí závrtu mezi staničeními 140 a 160 m, který je založen na mladé příčné tektonice. Telegnostické anomálie spíše odpovídají okrajům tektonického pásma než jeskyním, které jsou na něj vázány. Velice dobrá shoda je ve staničení 330 – 360 m, kde se nachází široká rozdrobená puklinová zóna (viz detail na obr. 14).



Obr. 14 – Detail mapy oblasti 1 na profilu P4. Bílé linie označují puklinovou zónu. (velké připínáčky - označeno např. P4_J_XX, kde XX označuje hloubku stropu dutiny v m), nebo detekovaných zlomů (označeno např. P7_Z_NXX, kde XX označuje sklon k N). Malé připínáčky označují polohy telegnostických detekcí s číslem staničení na profilu.

Profil P6 ukázal, že se mezi staničeními 80 až 125 m pohybujeme nad jednou dutinou v hloubce 35 m (snad paralelně s profilem), kdežto telegnostický průzkum našel 2 chodby, kolmé na profil. Na konci profilu P6 telegnostická metoda indikovala chodbu, která je ale ve skutečnosti jen větším zlomem. Pravděpodobně stejný zlom byl indikován na profilu P8 ve staničení 240 m, ale telegnosticky interpretován jako chodba.

Na profilech P7 a P8 odpovídají telegnostické anomálie polohám detekovaných dutin (nebo jeskyní). Nebyla ale správně vynesena do mapy poloha „jeskyně VJV-ZSZ směru“, jejíž indicie na stromech mají odchylku více než 10 m jižním směrem. Profil P8 byl veden pokud možno paralelně s touto jeskyní, ale cca 10 m severně od ní, avšak v mapě je zakreslena prakticky pod profilem P8.

Literatura

Annan, A.P. (2009): Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar.- In: Jol, H.M. (ed) *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*. Elsevier, pp. 3-40, Amsterdam. doi:10.1016/B978-0-444-53348-7.00001-6.

Kalenda Pavel, Tengler Rudolf, Cendelín Richard, Slezák Ladislav, Pokorný Josef (2018): Georadarová měření nad Pekárnou 2017. Speleofórum2018. Vol. 37, 25-29.

Slezák, L., Cendelín, R., Pokorný, J. (2017): Jeskyně Pekárna v jižní části Moravského krasu ve světle nových výzkumů. *CD edice SE-3-2017*, TO-2-5.

Georadarové měření v oblasti rozcestí „Troják“ a v oblasti jeskyně Pekárny.

6. prosince 2019

2. část

Výsledky měření

..

Georadarové měření .

v oblasti rozcestí „Troják“ tj. cest vedoucích od rozcestí do Hostěnic (směr V.), k silnici 383 (směr S.) po staré svážné cestě, po cestě do Kamenného žlíbku, po cestě k Mokerské hájence (tyto cesty směr Z.) a cesta do Studénčného žlebu (směr J.)

6. prosince 2019

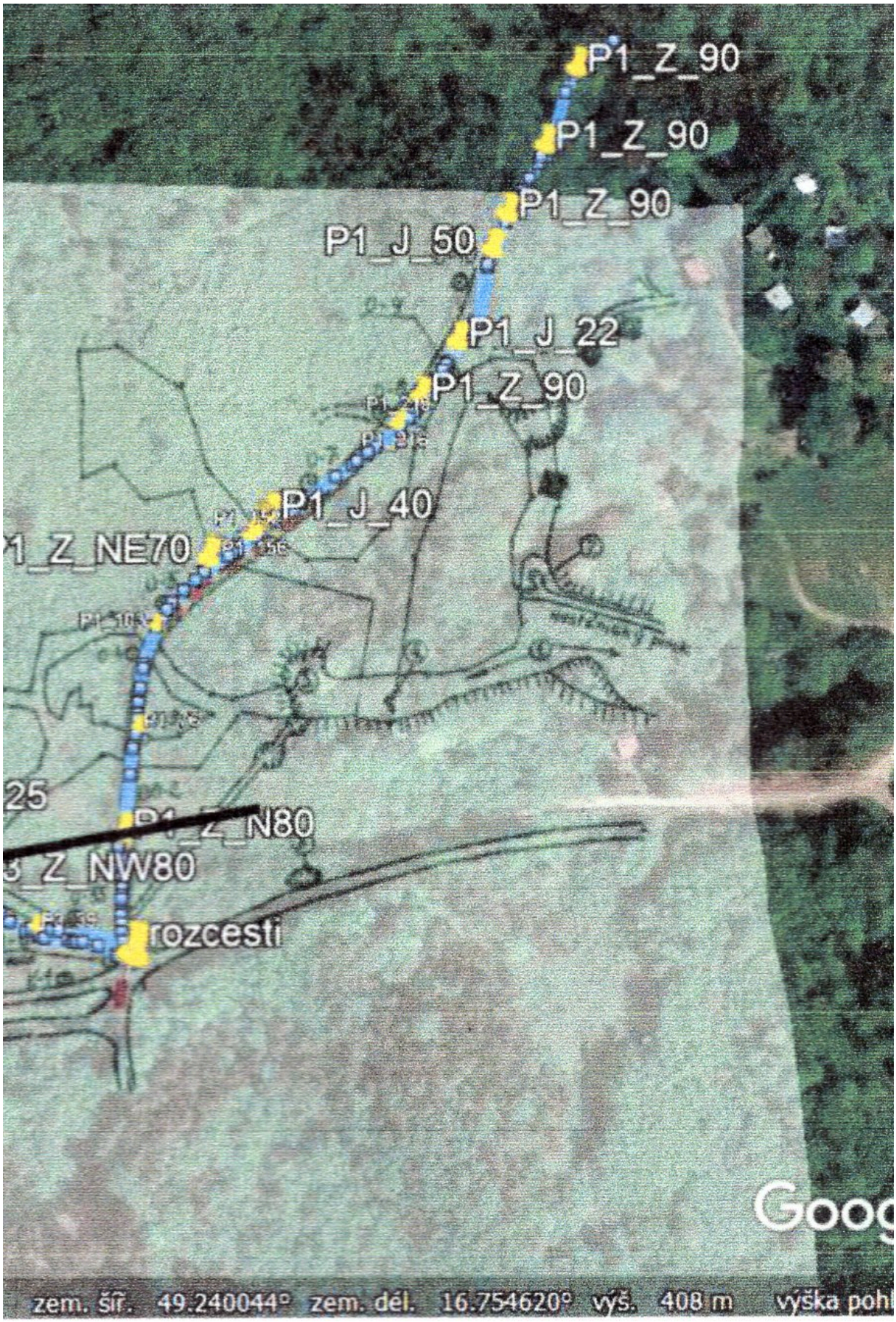
Profil P1

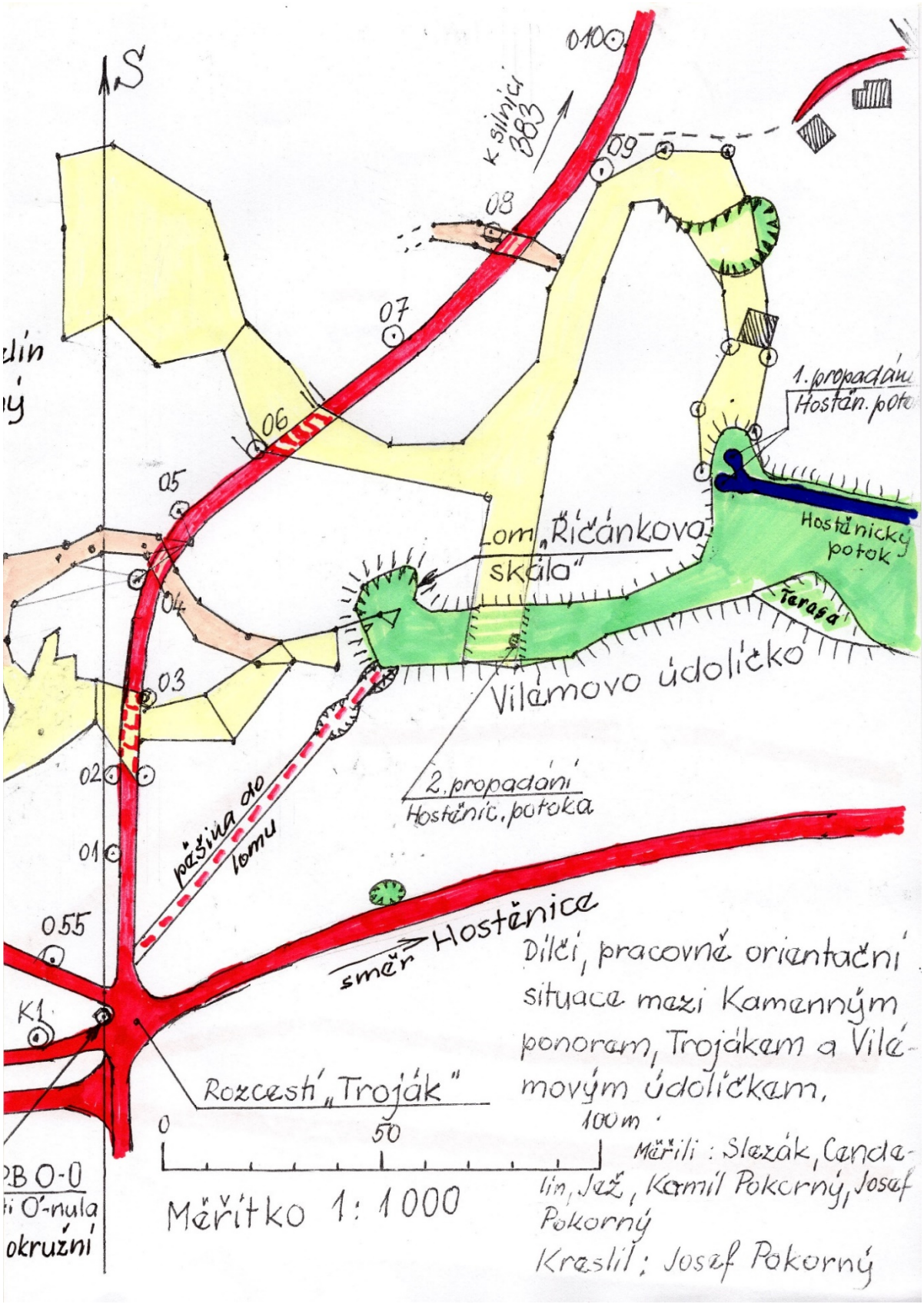
Měření proběhlo po trase O od pevného bodu PB O0 (čti ó nula) po cestě k silnici 383 až k PB O12 a zpět. (Viz mapa v příloze). Zde byly elektrody taženy autem.

Rozcestí Troják je dávné trojmezí tří panství: Panství Zábrdovice – Křtiny = Premonstráti, (katastr Ochoz) Panství Pozořice = Lichtenštejnové, (katastr Hostěnice) a Panství Brněnské kapituly = Biskupství Petrov, (katastr Mokrá).

<u>Obsah měření profilu P1</u>: stránky

Topografický záznam měření Profilu P1 3
Mapka trasy „O“ od PB O0 (čti Ó nula) k PB O10 4
Radarogram P1a 5
Radarogram P1b 6
Radarogram P3c 7
Radarogram P1nf 8
Radarogram P1topo 9
Radarogram P1 10
Zvětšenina radarogramu P1topo 11 – 13
Zvětšenina radarogramu P1 14 – 17
Kalendova interpretace radarogramu – text 18
Kalendova interpretace radarogramu – obrázek 19
J. Pokorného pokus o vyhodnocení 20


P1_Z_90
P1_Z_90
P1_Z_90
P1_J_50
P1_J_22
P1_Z_90
P1_J_40
1_Z_NE70
25
_Z_N80
3_Z_NW80
rozcesti
zem. šíř. 49.240044° zem. dél. 16.754620° výš. 408 m



Georadarové měření podloží v Profilu P-1 probíhalo po cestě trasy O a to od pevného bodu PB O-0 (čti Ó nula) přes PB O-1, O-2, O-3 atd až k O-12, určitou vzdálenost za PB O-12 a zpět.

Georadar Tracks P_001

P_001

GPS Tracklog

385.30

0.00m

385.10

0.14m

385.40

3.32m

387.20

7.22m

386.90

8.23m

388.40

13.72m

388.50

15.46m

389.70

18.20m

390.70

20.08m

390.60

23.40m

389.30

32.50m

388.80

32.93m

389.60

34.81m

396.20

44.64m

396.10

58.79m

397.10

67.17m

397.00

68.61m

397.50

71.50m

397.80

72.37m

398.40

76.41m

398.70

77.43m

398.70

78.44m

398.90

81.76m

400.00

86.53m

401.00

93.17m

401.00

94.62m

401.90

108.19m

401.80

114.84m

401.40

117.58m

400.40

123.22m

400.60

128.42m

400.20

132.46m

399.50

142.57m

399.50

144.45m

399.50

146.18m

399.30

154.27m

399.20

155.28m

399.80

159.76m

399.70

172.62m

400.50

187.79m

400.50

195.15m

400.50

197.32m

401.10

201.65m

401.20

202.66m

401.80

205.99m

401.90

217.25m

402.40

222.16m

402.60

225.49m

402.80

227.22m

405.00

239.35m

405.20

239.93m

405.80

243.98m

406.10

246.43m

406.40

248.17m

406.80

256.11m

404.80

257.70m

404.80

258.86m

404.90

260.16m

405.10

261.46

405.60

264.20m

409.00

284.71m

408.80

285.43m

408.80

286.88m

408.10

288.47m

410.50

302.48m

410.00

307.10m

410.60

311.58m

410.50

312.59m

410.60

314.76m

411.60

320.39m

411.20

326.75m

411.30

329.64m

414.90

332.38m

415.30

334.55m

415.50

335.70m

415.40

337.73m

415.80

352.60m

413.90

358.67m

413.20

360.40m

412.90

361.27m

411.60

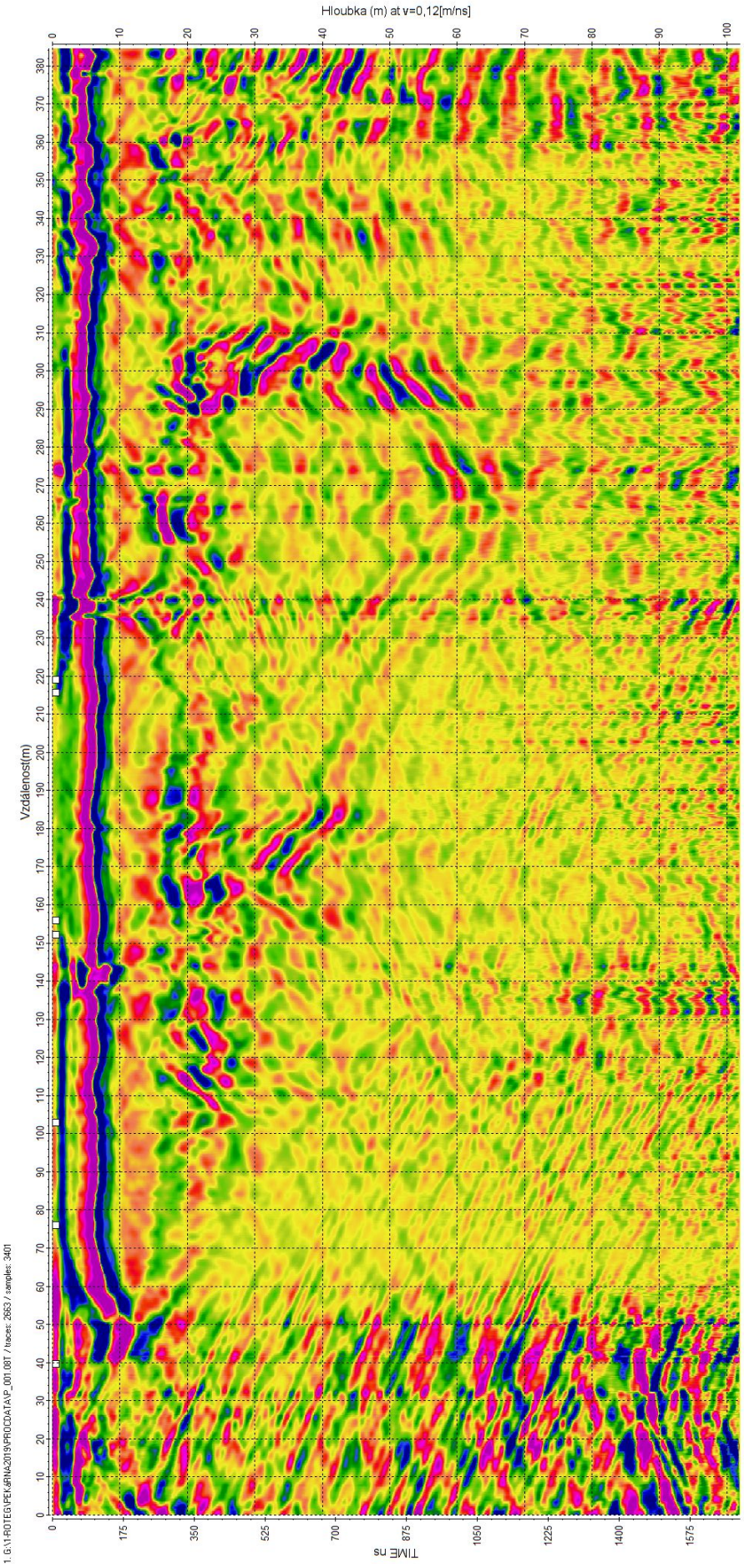
366.47m

410.60

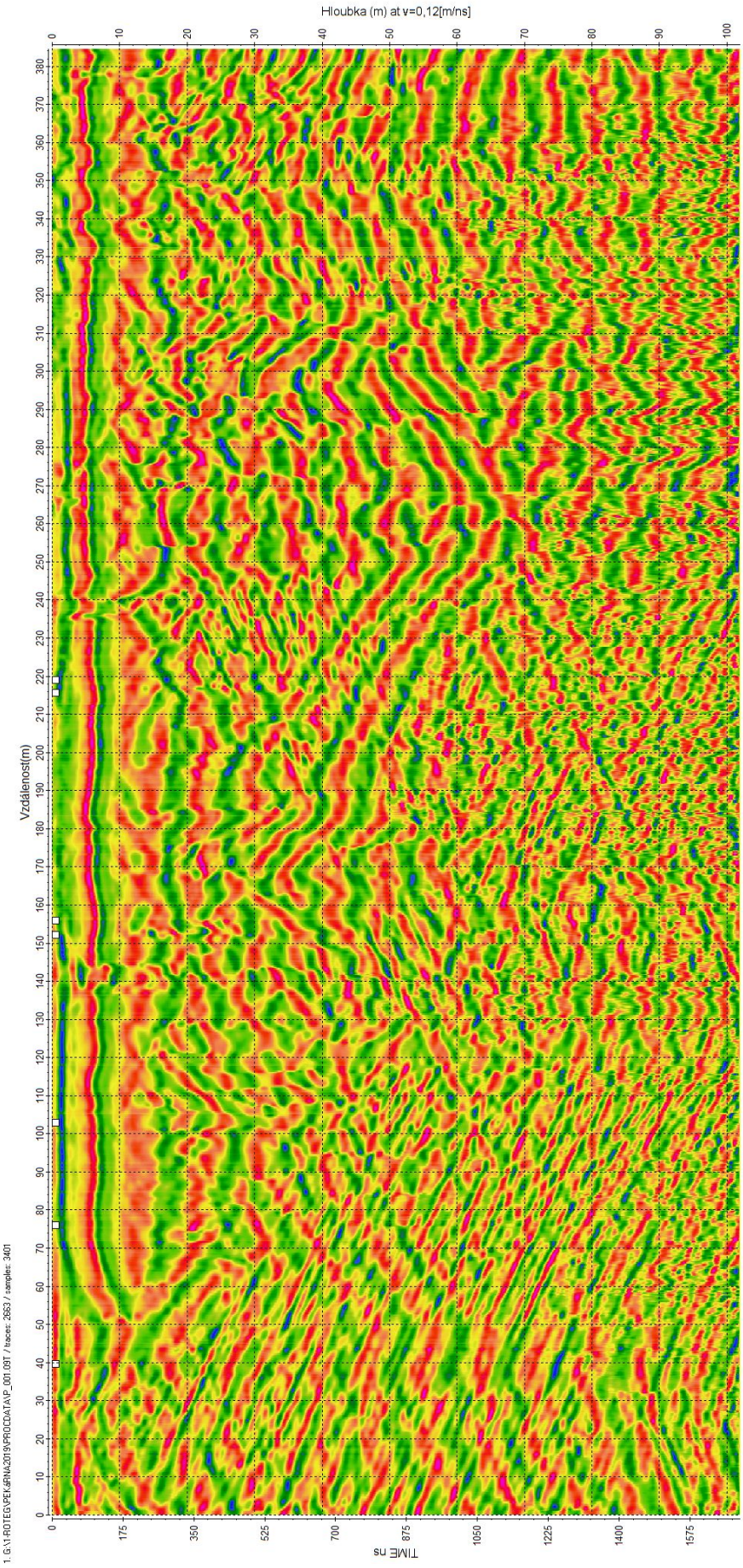
371.53m

410.10

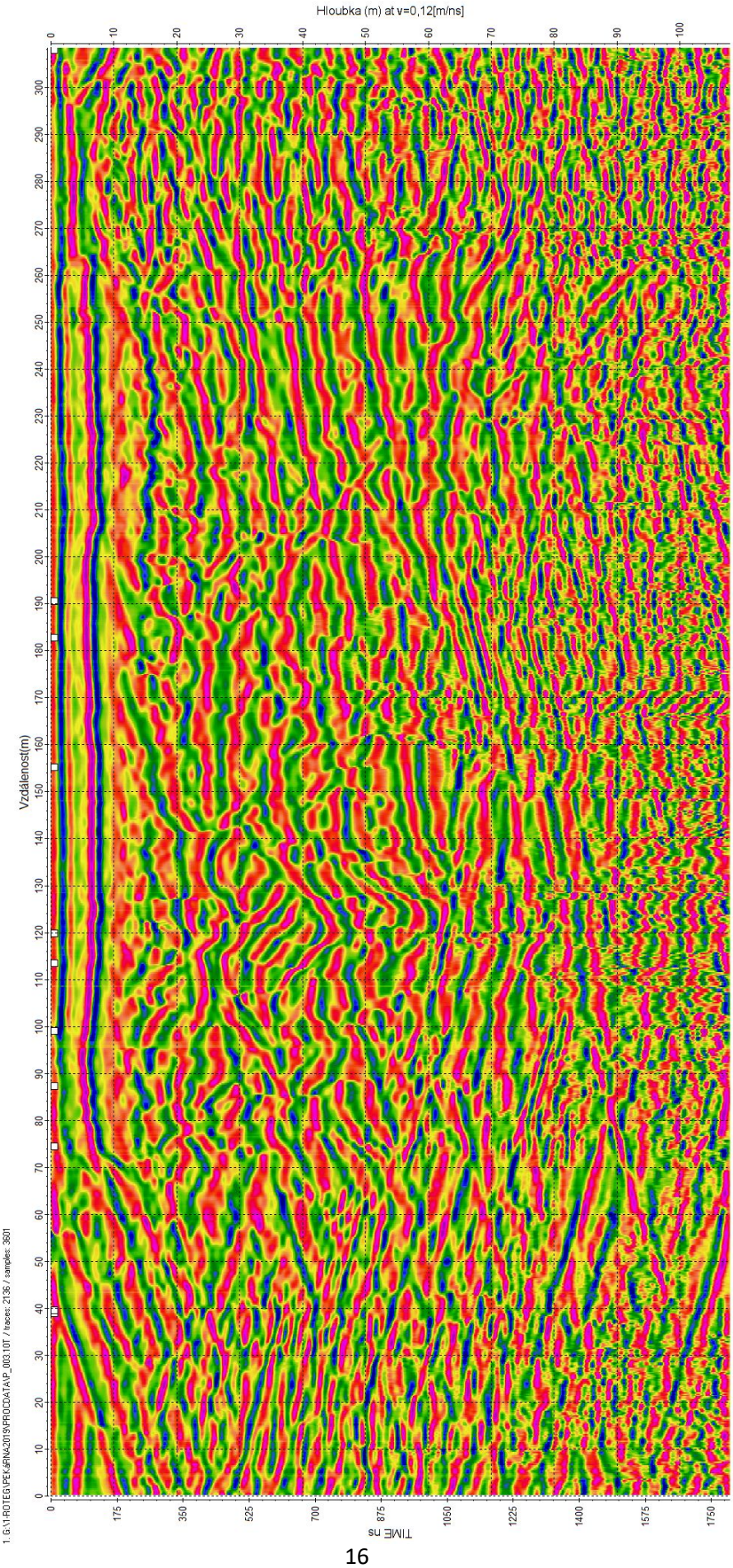
375.72m


Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1: G:\1-PROTEGI\PEK-&#NA2019\PRODCDATA\P_001.08T / traces: 2663 / samples: 3401

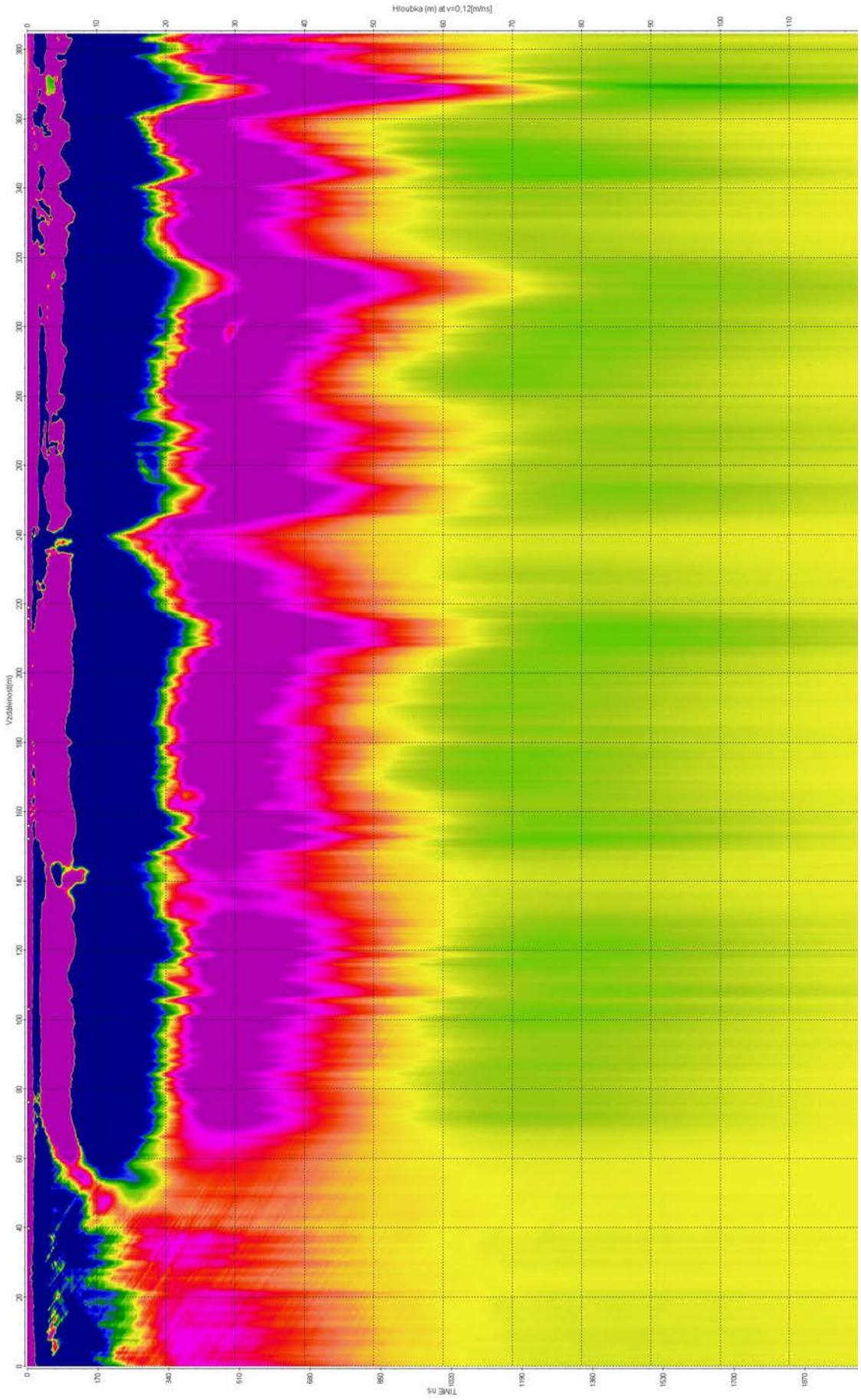
P1a


Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1: G:\1-RDTEG\PEK_KRNA2019\PROCDATA\P_001.09T / traces: 2683 / samples: 3401

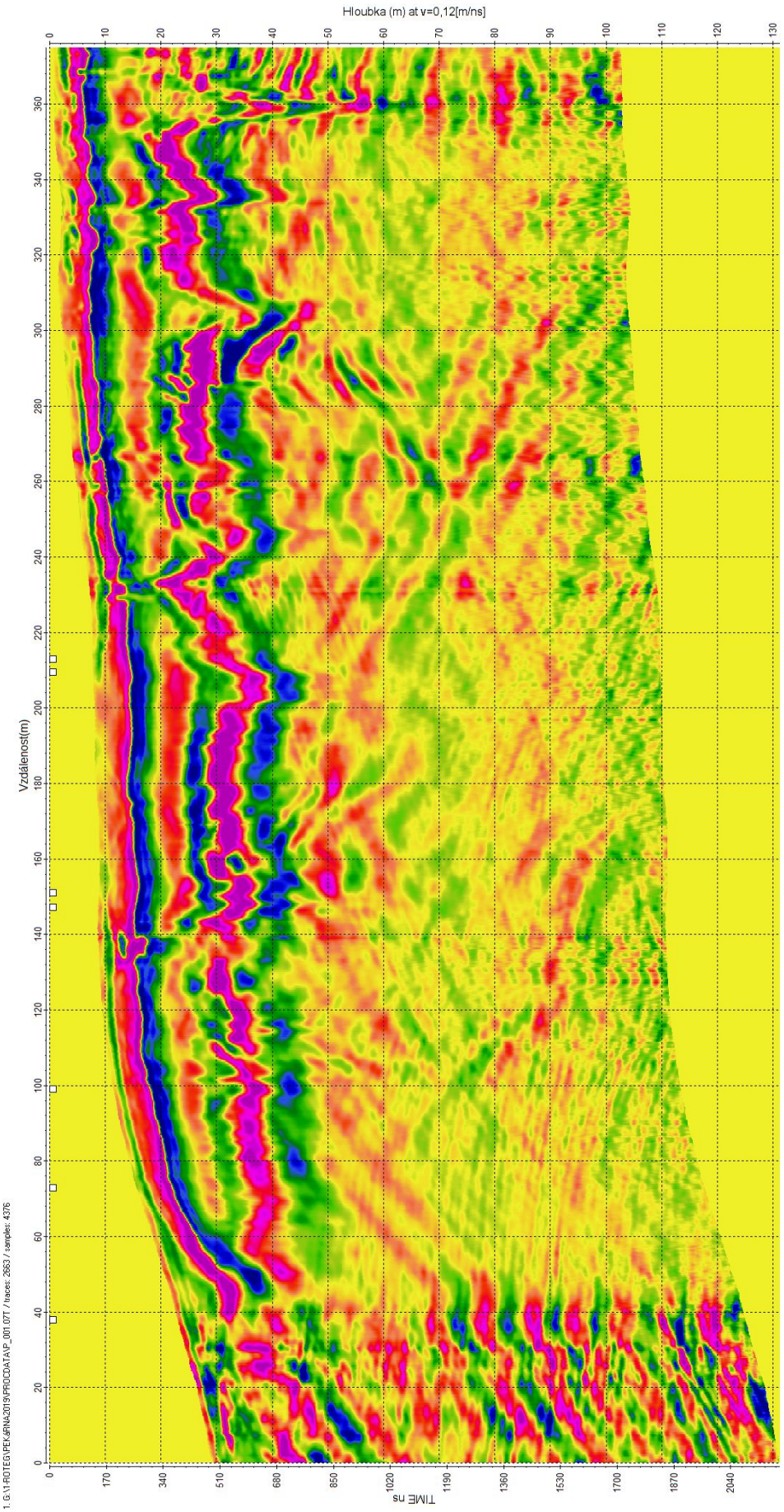
P1b


Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1. G:\1-ROTEG\PEK&RNA2019\PROCDATA\P_003.10T / traces: 2136 / samples: 3601

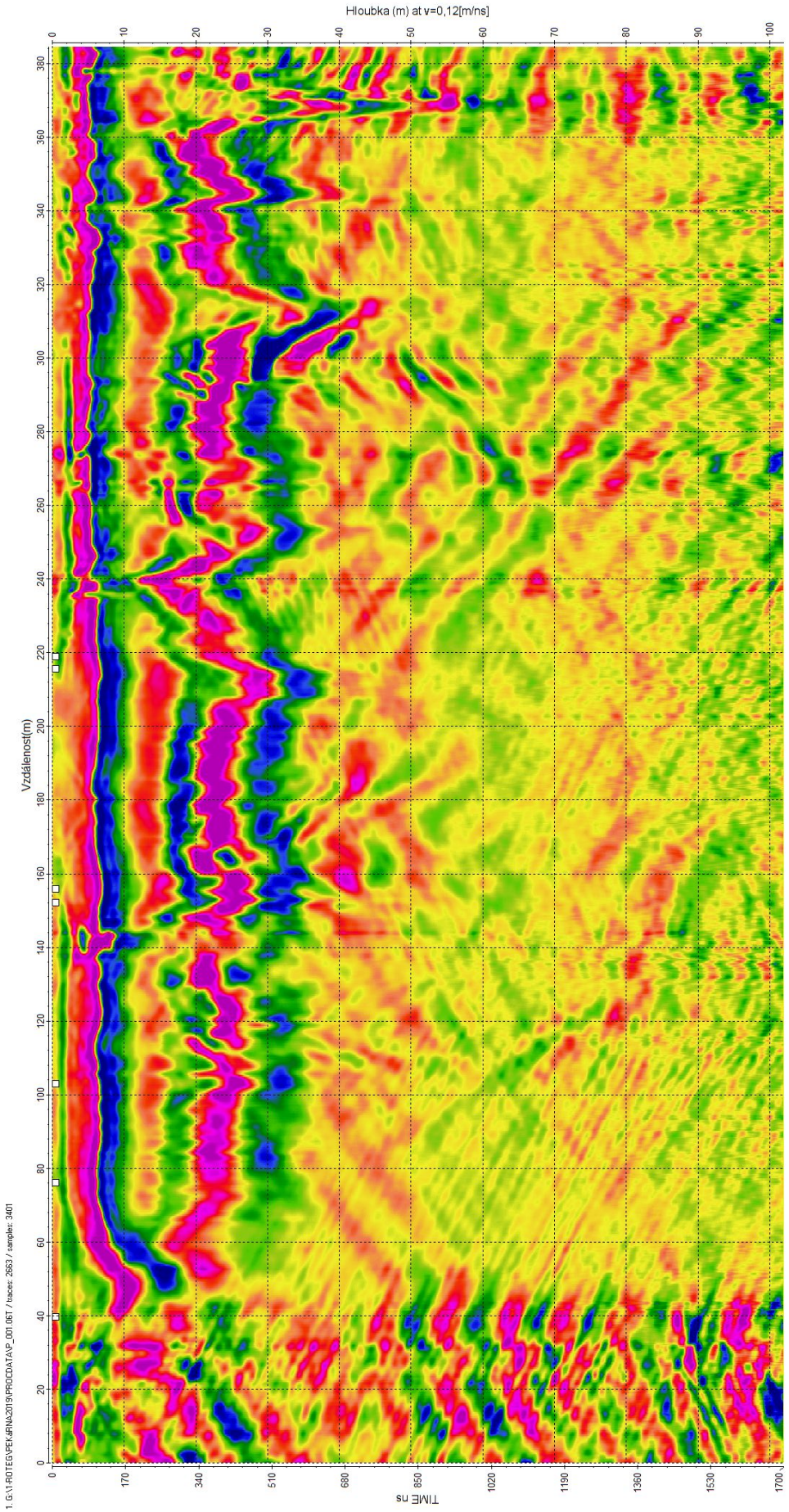
P3c



P1nf

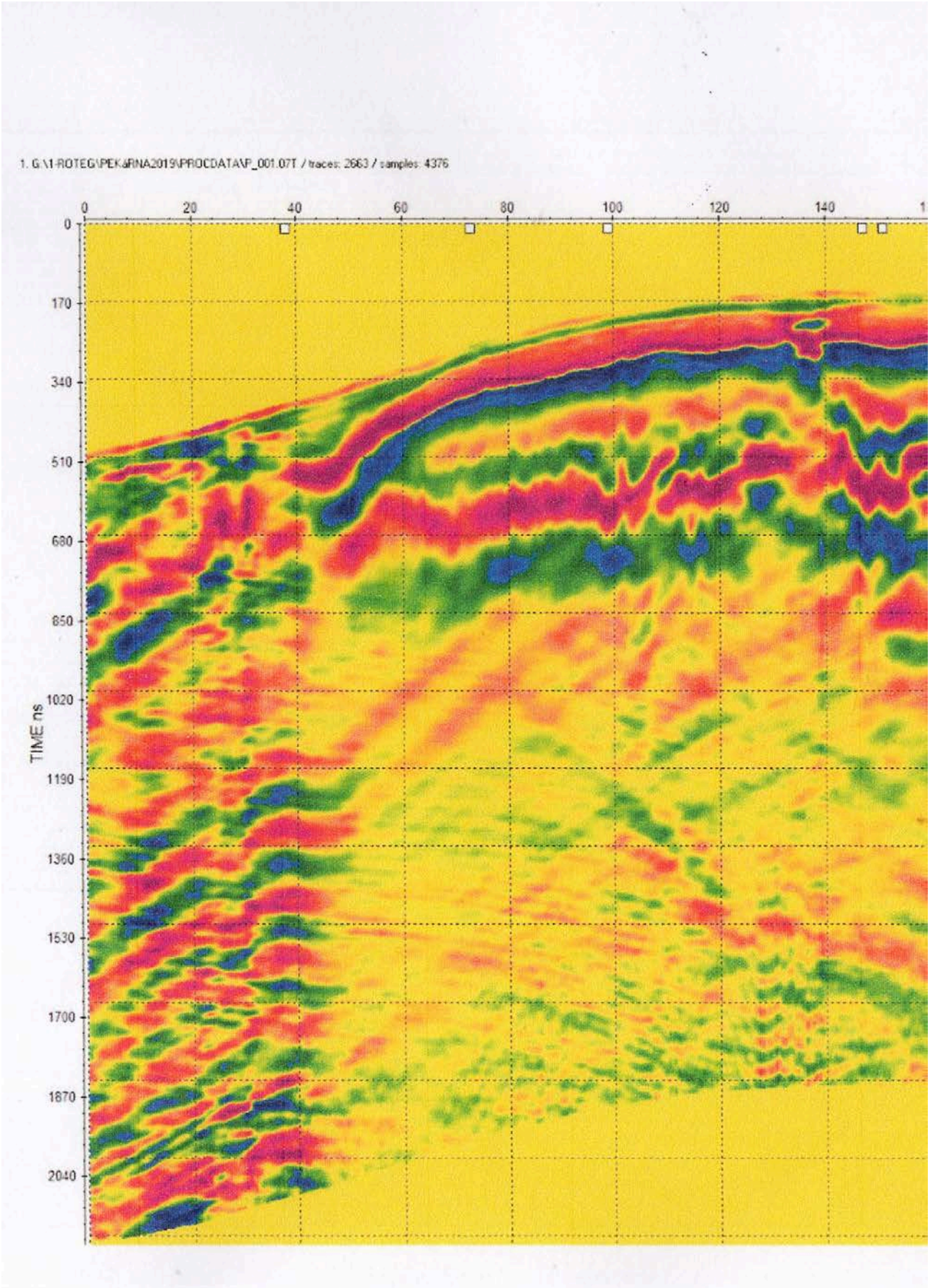

Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1. G:\1-PIOTEG\PEK&RNA2019\PRODDATA\P_001.077 / traces: 2663 / samples: 4376

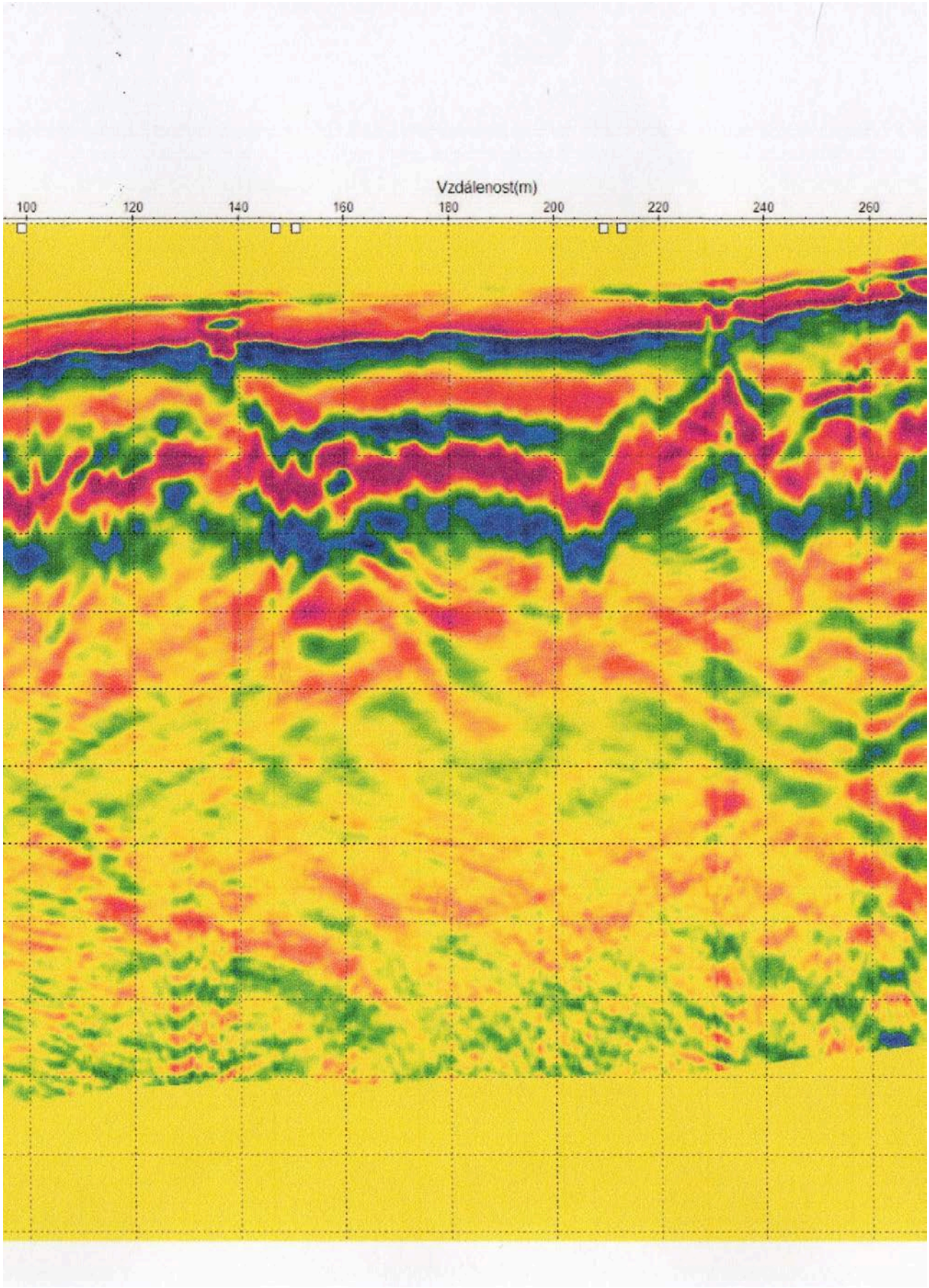
P1topo

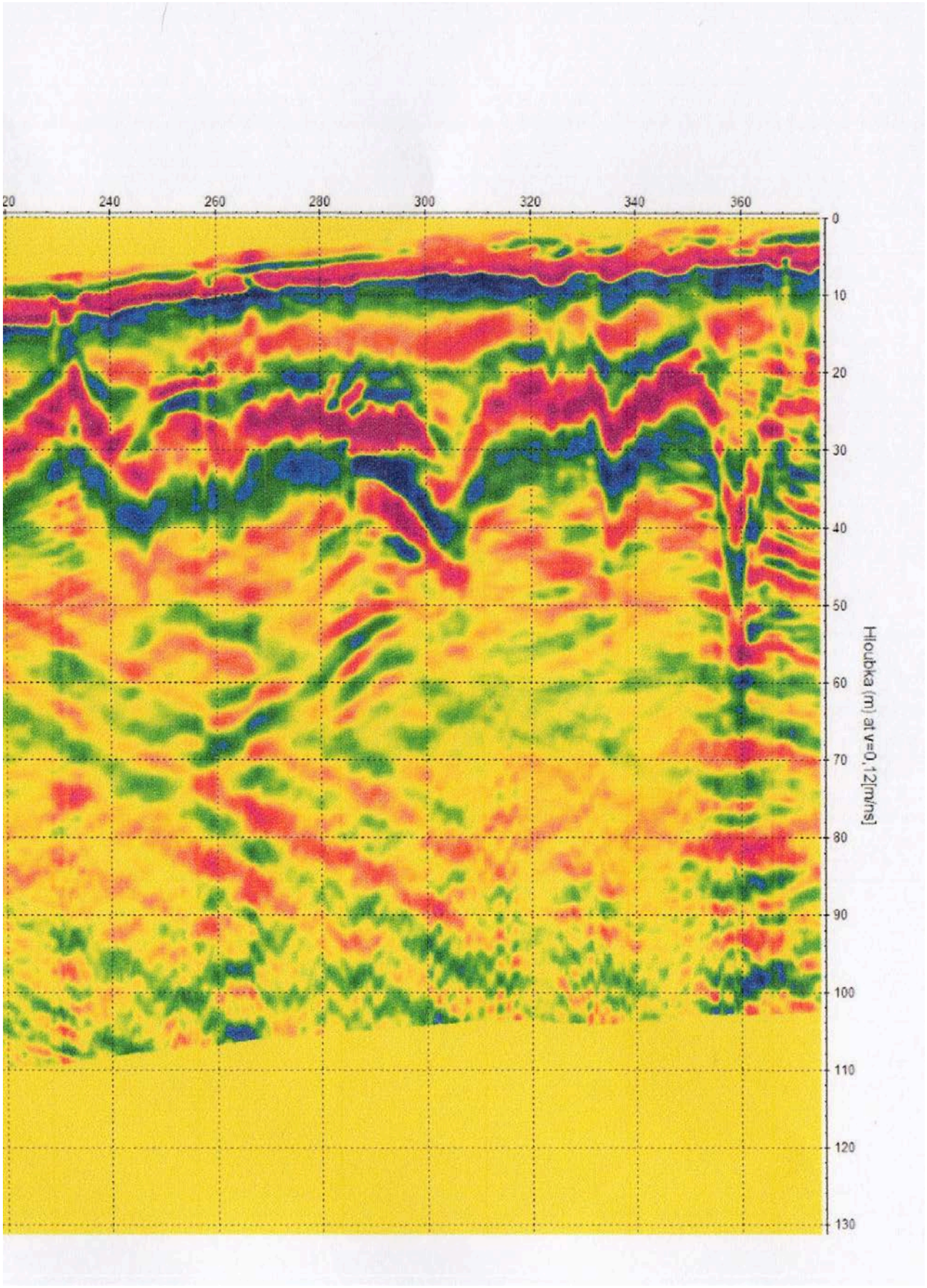

Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1. G:\1-ROTEG\PEKÁRNA2019\PROCDATA\P_001.06T / traces: 2663 / samples: 3401

P1

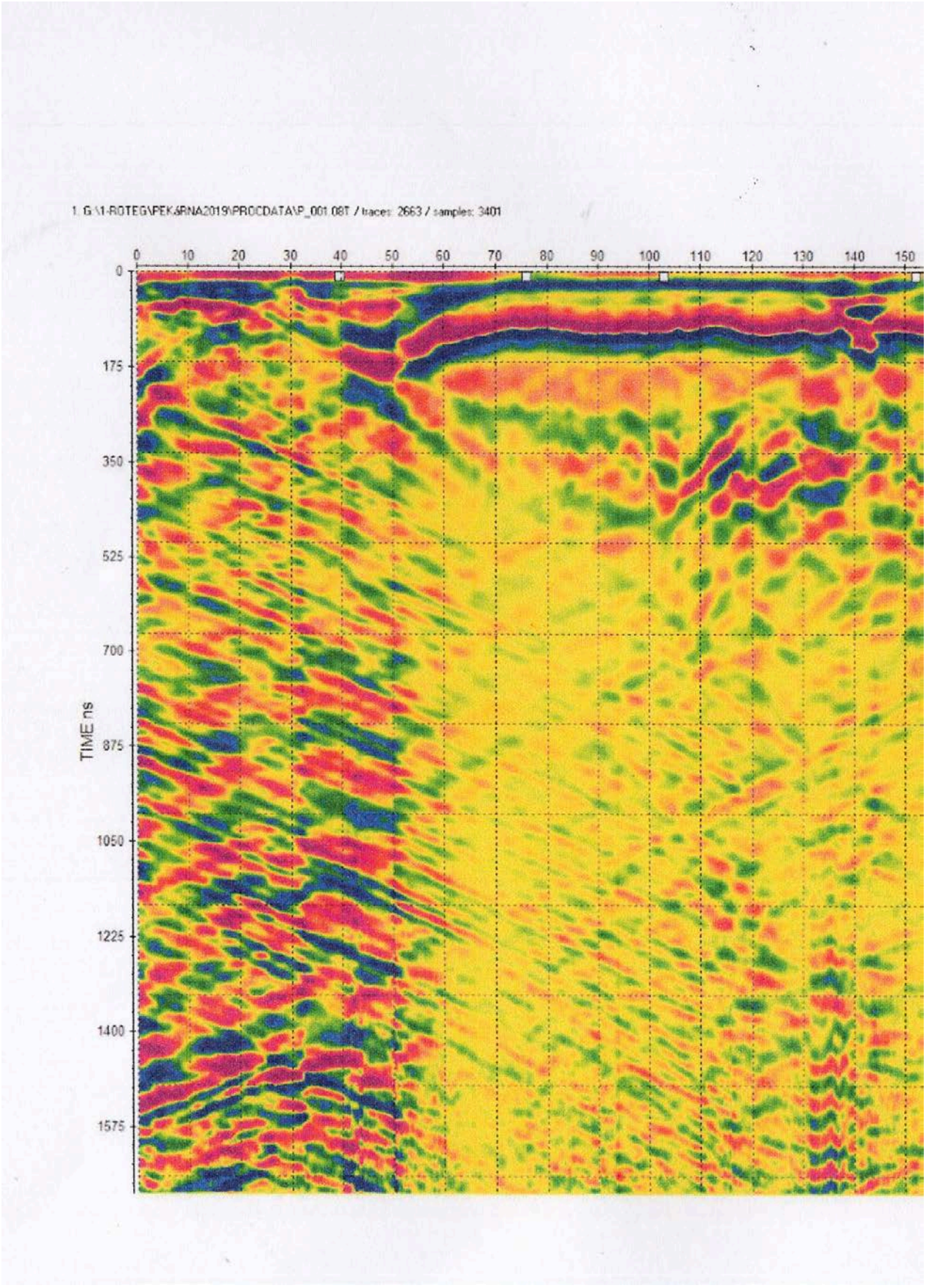
Následují zvětšené části radarogramů P1topo a P1. Nejprve P1topo

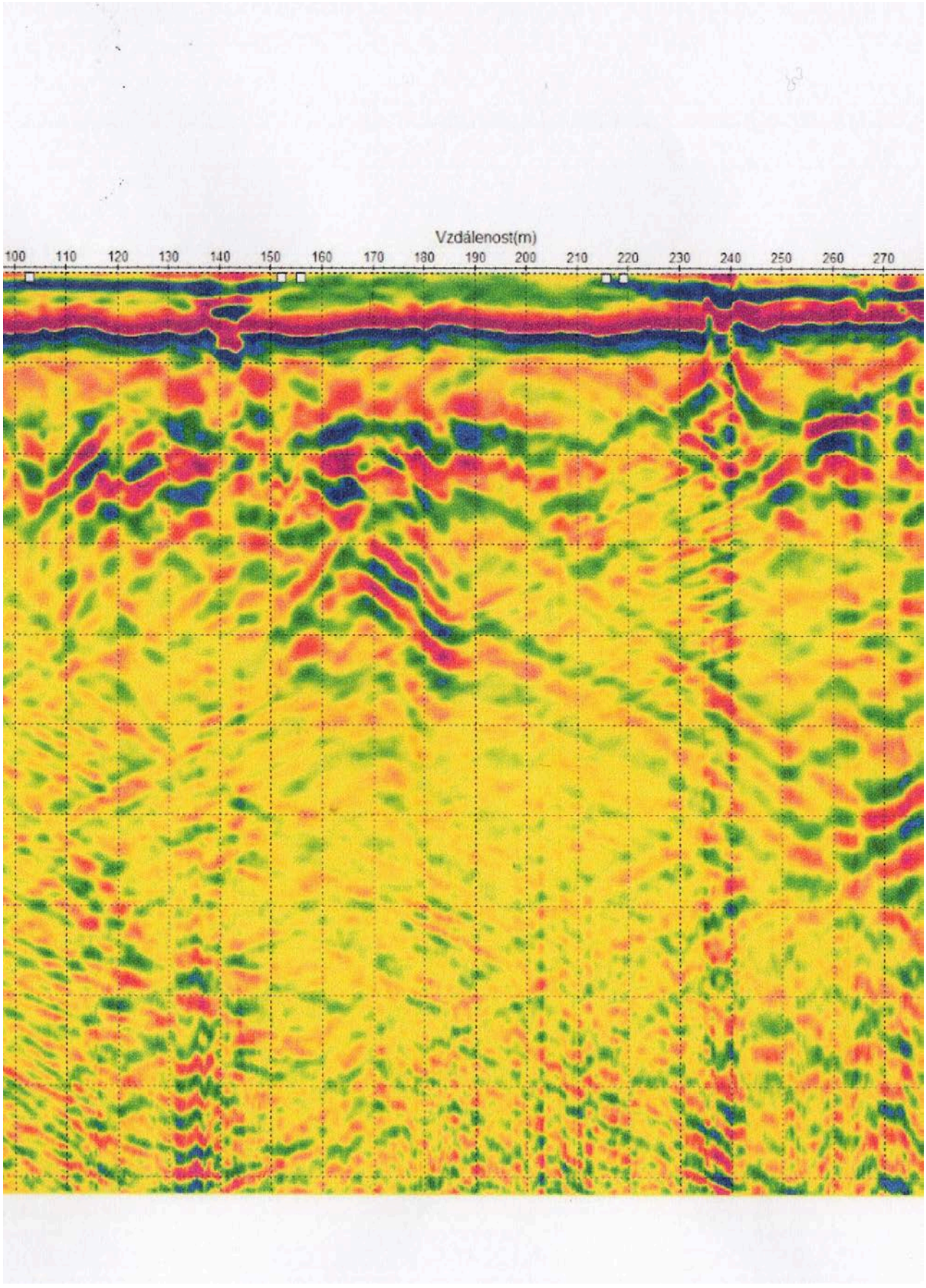



Vzdálenost(m)
100
120
140
160
180
200
220
240
260

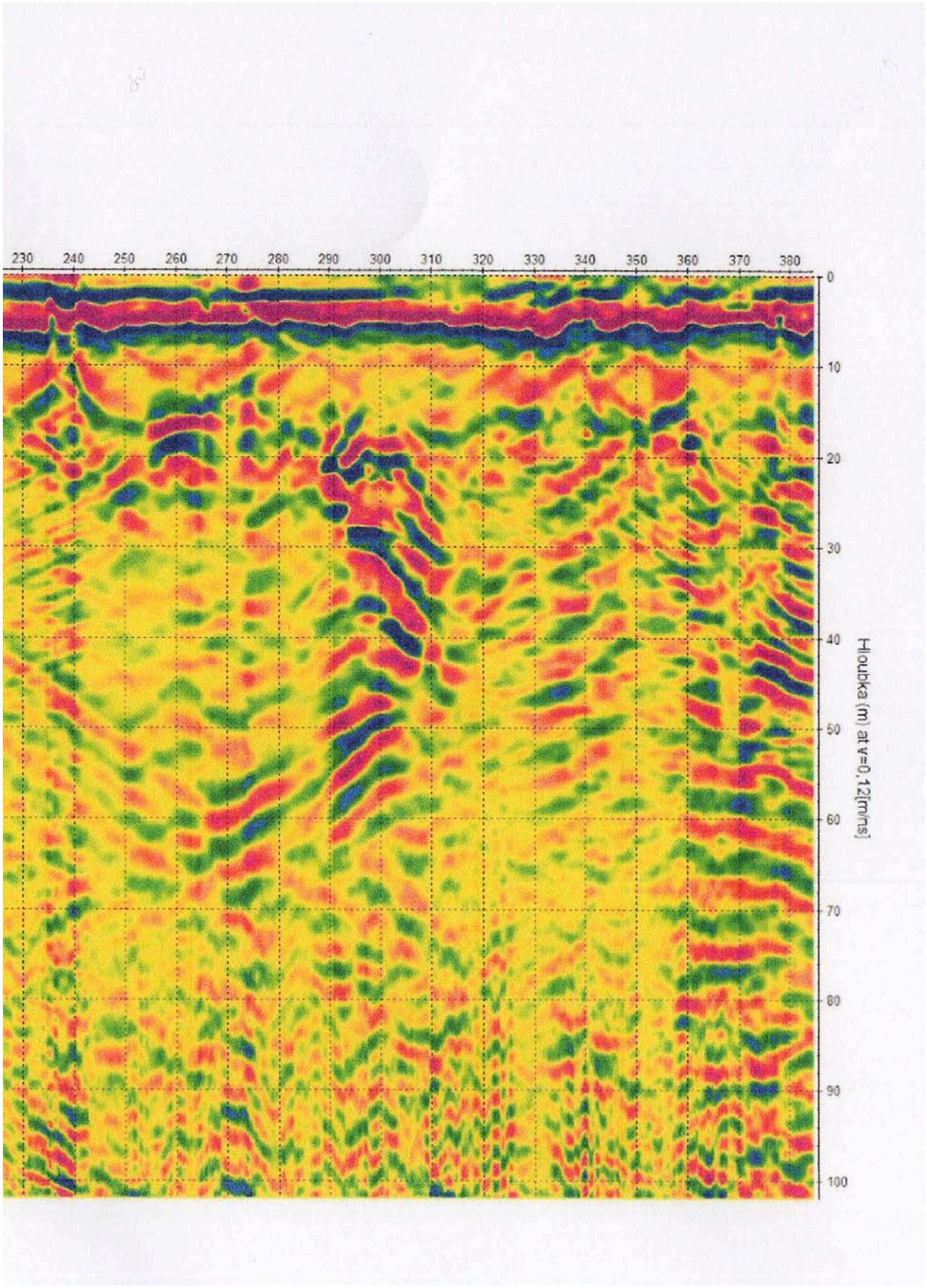

20
240
260
280
300
320
340
360
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]

A nyní P1


1 G:\1-ROTEG\PEKÁRNA2019\PROCDATA\P_001.08T / traces: 2663 / samples: 3401
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
0
175
350
525
700
875
1050
1225
1400
1575
TIME ns


Vzdálenost(m)
100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270

230
240
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350
360
370
380
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]


230
240
250
260
270
280
290
300
310
320
330
340
350
360
370
380
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]

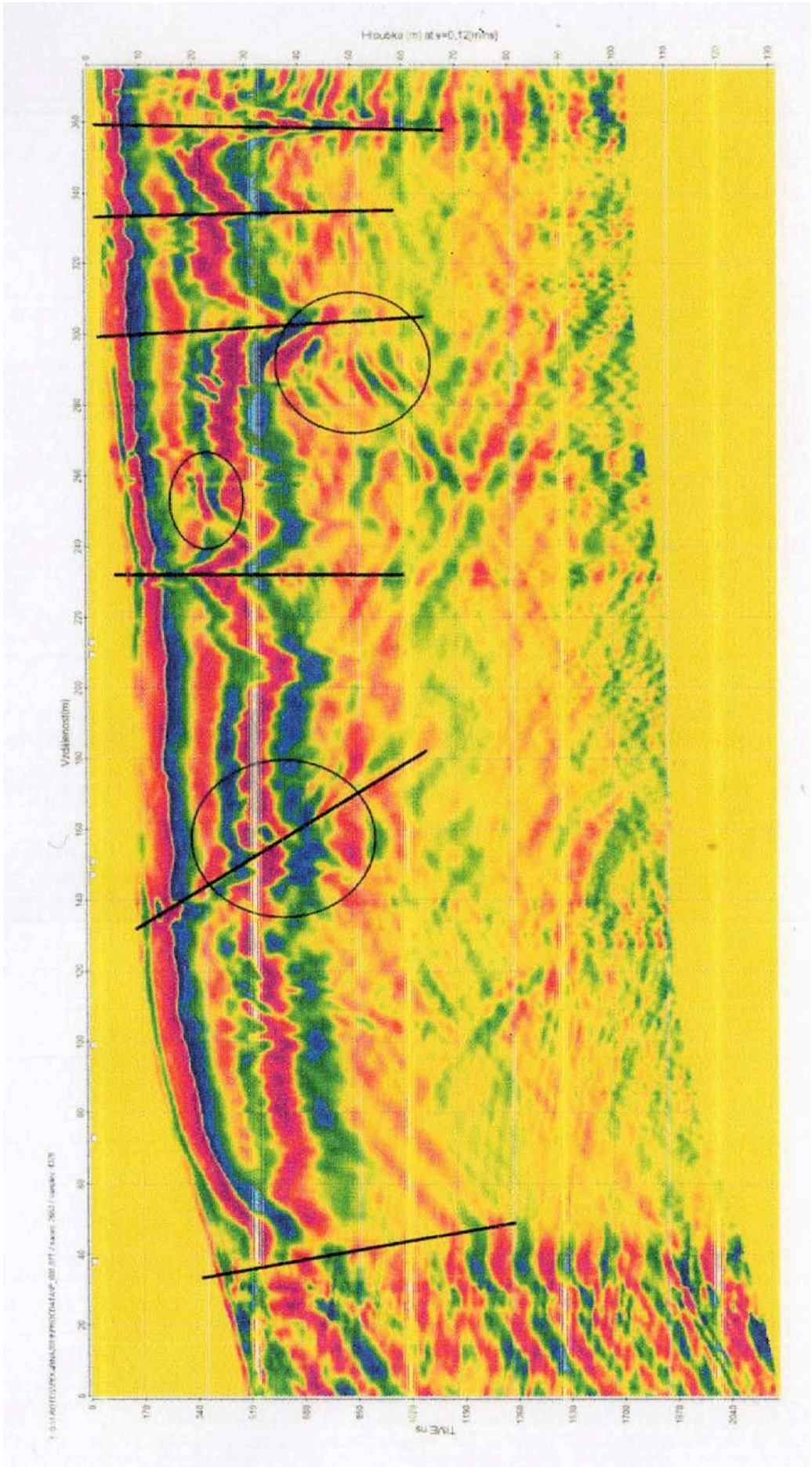
Interpretace radarogramu Profilu P1
provedená RNDr Pavlem Kalendou CSc.

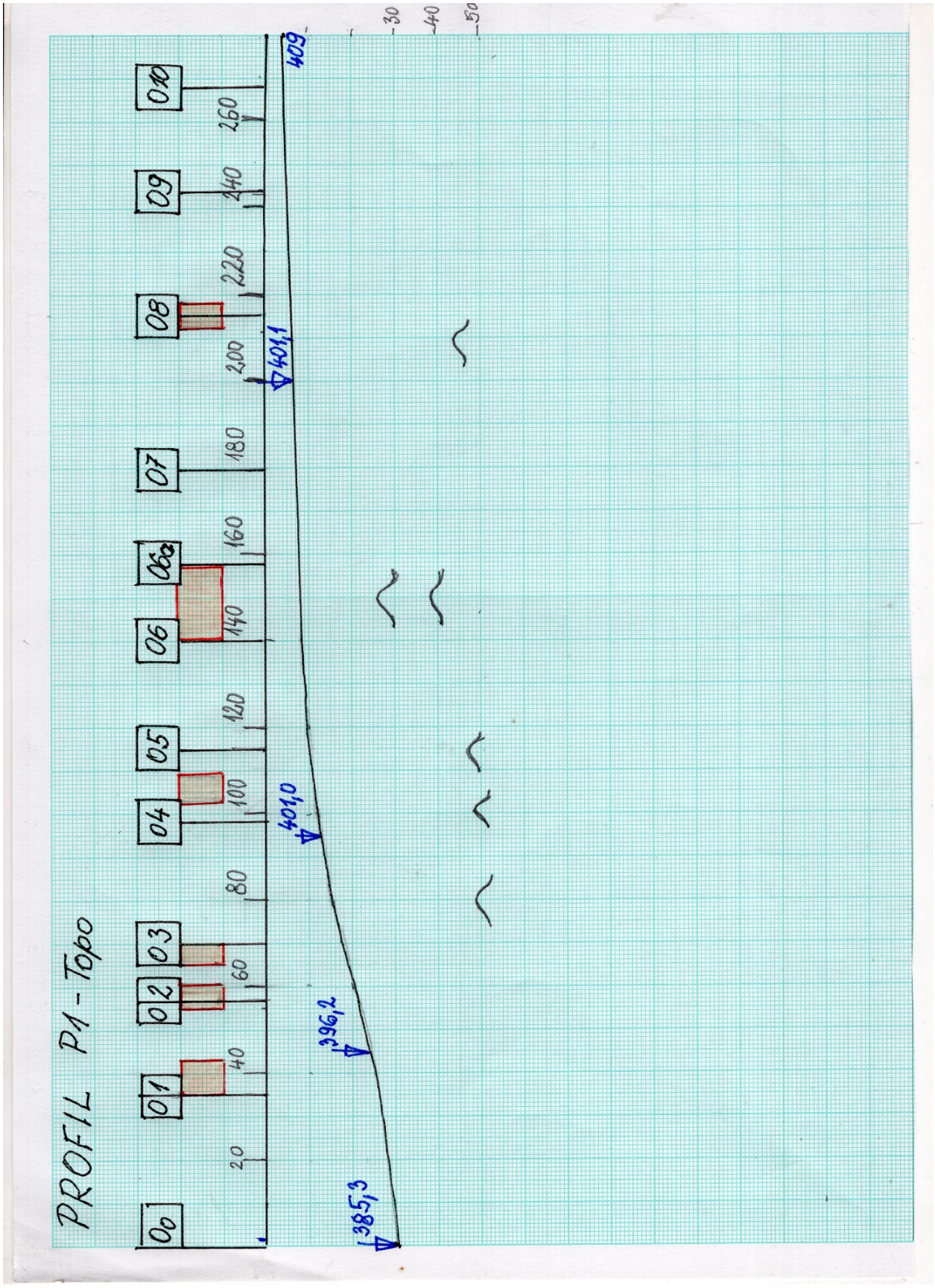
Obr. 6 – Radarogram na profilu P1 s topokorekcemi. Čtvercové značky na horní ose označují buď stabilizované body v terénu nebo počátky a konce detekovaných telegnostických anomálií. V elipsách jsou detekované dutiny, čáry označují zlomy.

Na začátku profilu ve staničení cca 45 m je dobře vidět okraj Hostěnického údolí, vyplněného do hloubky min 10 m sedimenty (většinou štěrkovité jíly). Ve staničení 140 m vychází na povrch tektonická porucha, která je místy výrazně korodována (v hloubkách 12 m, 20 m, 30 m a 40m). Toto odpovídá zjištěné telegnostické detekci mezi staničeními 152 až 156 m, kde se nachází jedna z korozí rozšířených (úzkých) prostor v hloubce 25 – 30 m.

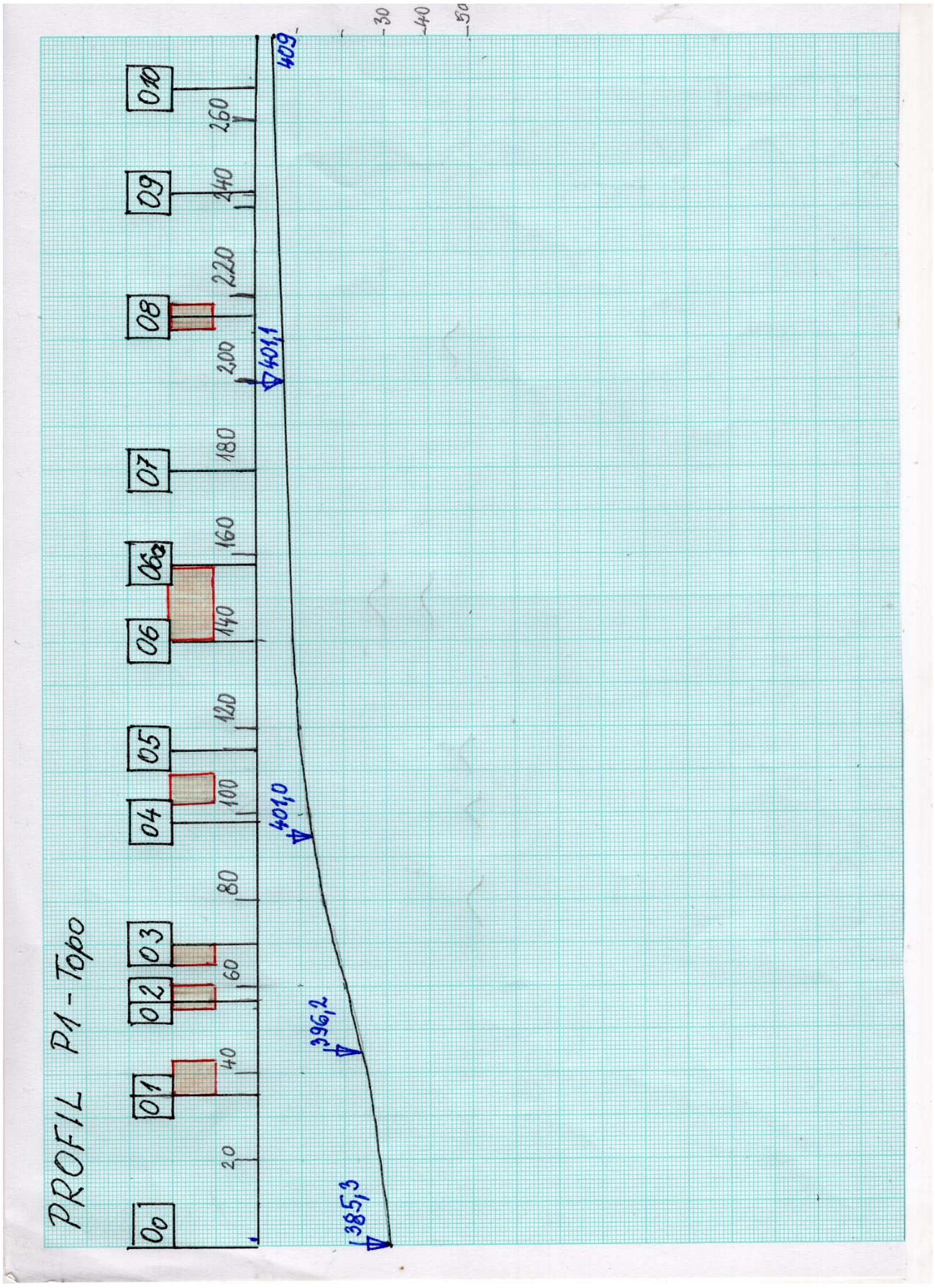
Telegnostická detekce mezi staničeními 216 až 219 m odpovídá tektonické poruše. Malá (????) dutina byla detekována ve staničení 255 m v hloubce 16 m. Na tektonické poruše je založena taky dutina ve staničení 290 m v hloubce 50 m. Další dvě významné tektonické poruchy vycházejí na povrch ve staničeních 335 m a 360 m.

Obrázek k této Kalendově interpretaci je na další, 28. straně.


Hloubka (m) (d v=0,12(m/ns))
Vzdálenost(m)
TIME ns



Tento obrázek zachycuje moji snahu najít v radarogramech ing Tenglera nějaký náznak jeskyní. Prosím, prostudujte, případně opravte, nebo doplňte dle vlastního zpracování .



Tento bianco diagram je zapotřebí doplnit.

Georadarové měření .

v oblasti rozcestí „Troják“ tj. cest vedoucích od rozcestí do Hostěnic (směr V.), k silnici 383 (směr S.) po staré svážné cestě, po cestě do Kamenného žlíbku, po cestě k Mokerské hájence (tyto cesty směr Z.) a cesta do Studénčného žlebu (směr J.)

6. prosince 2019

Profil P2

Byl realizován tak, že terénní automobil ing Tenglera zn. Volkswagen Touareg táhl elektrody georadaru po svozové cestě trasy O. Cesta byla v takovém stavu, že měření muselo být přerušeno, profil 2 byl zrušen a nahrazen profilem 3, kdy byly elektrody georadaru taženy po stejné cestě lidskou silou.

Georadarové měření .

v oblasti rozcestí „Troják“ tj. cest vedoucích od rozcestí do Hostěnic (směr V.), k silnici 383 (směr S.) po staré svážné cestě, po cestě do Kamenného žlíbku, po cestě k Mokerské hájence (tyto cesty směr Z.) a cesta do Studénčného žlebu (směr J.)

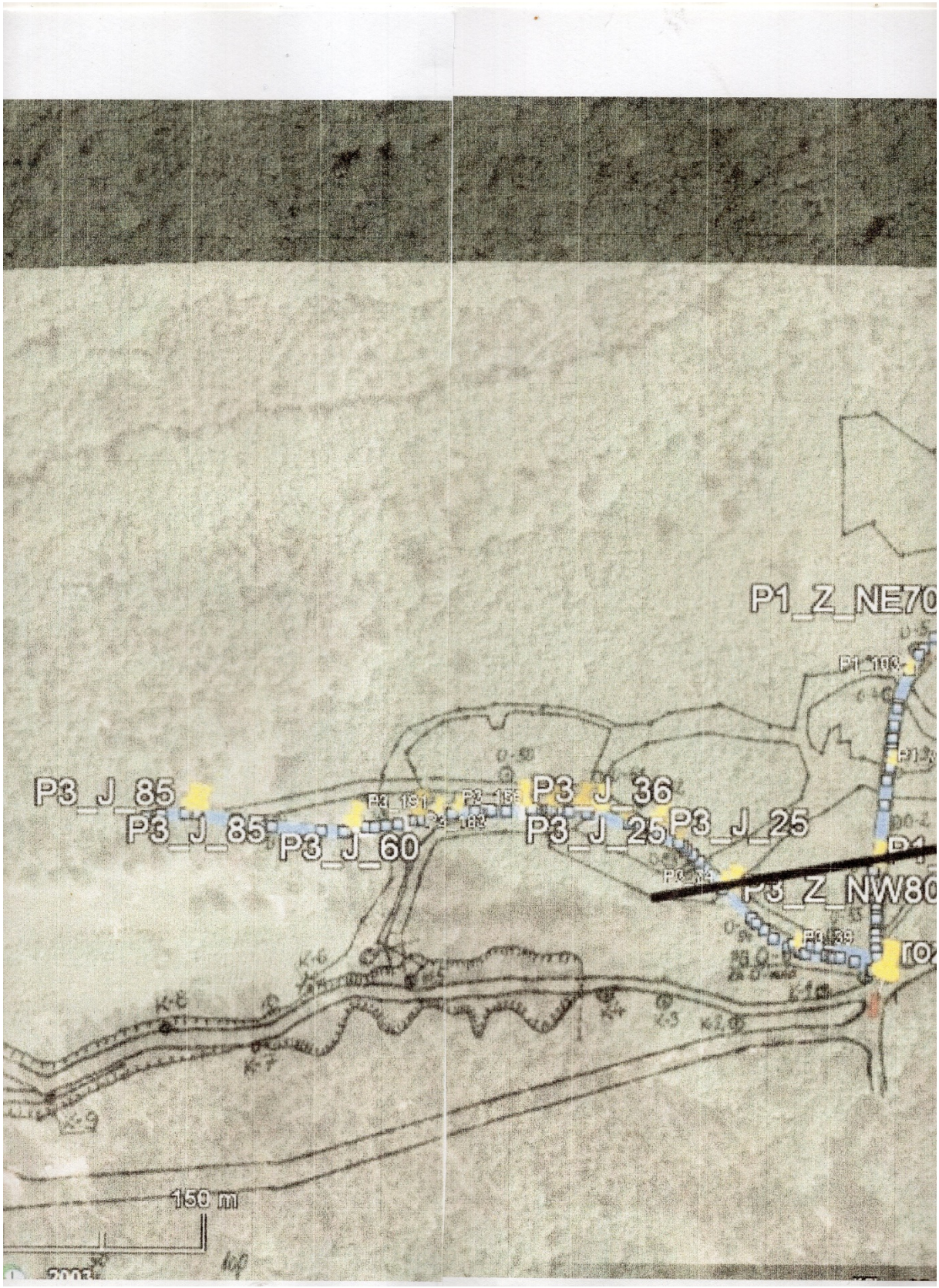
6. prosince 2019

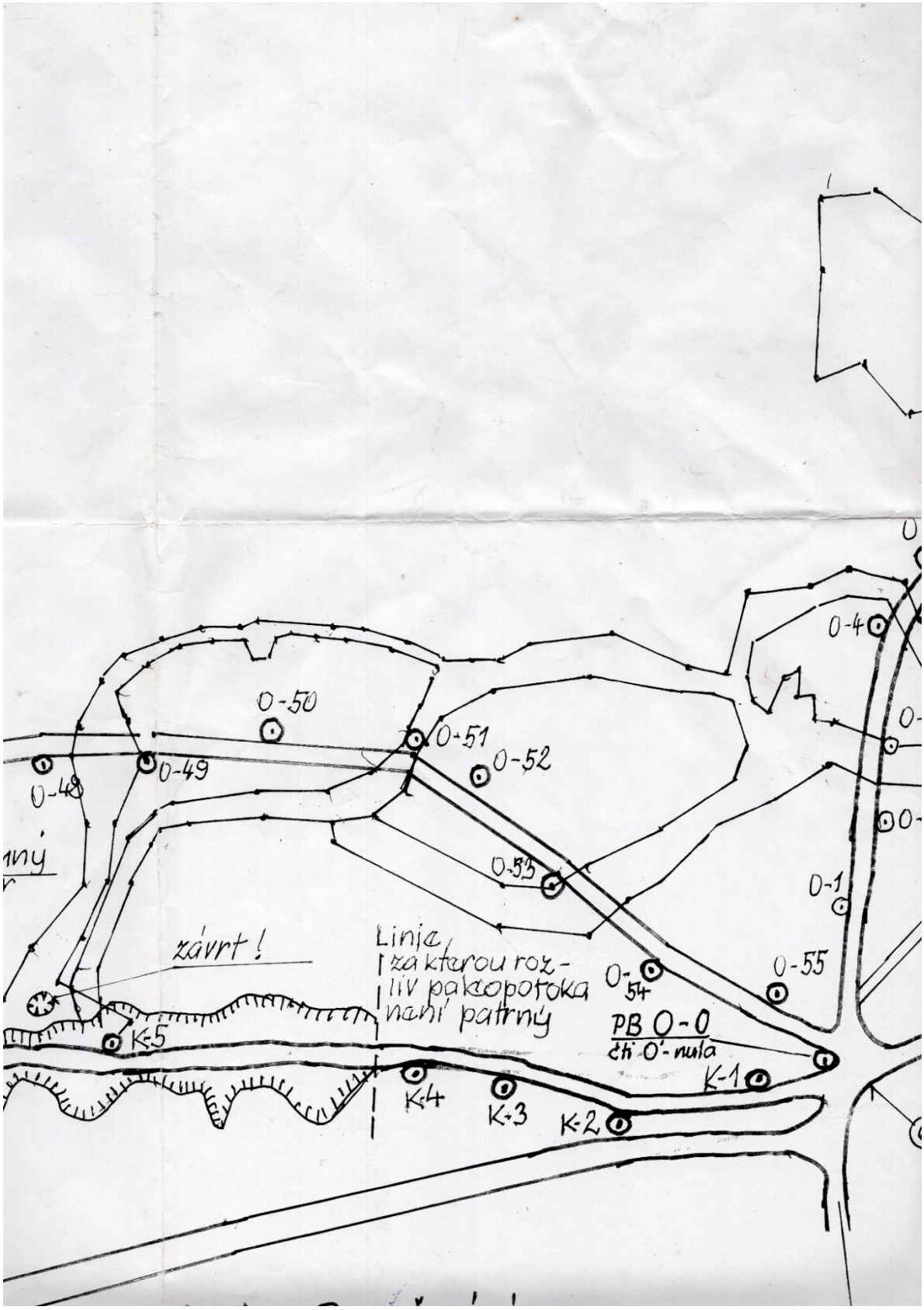
Profil P3

Nahrazuje zrušený profil 2. Elektrody georadaru byla taženy lidskou silou od PB O0 (čti ó nula) přes PB O55 k PB O47 (viz mapu v příloze).

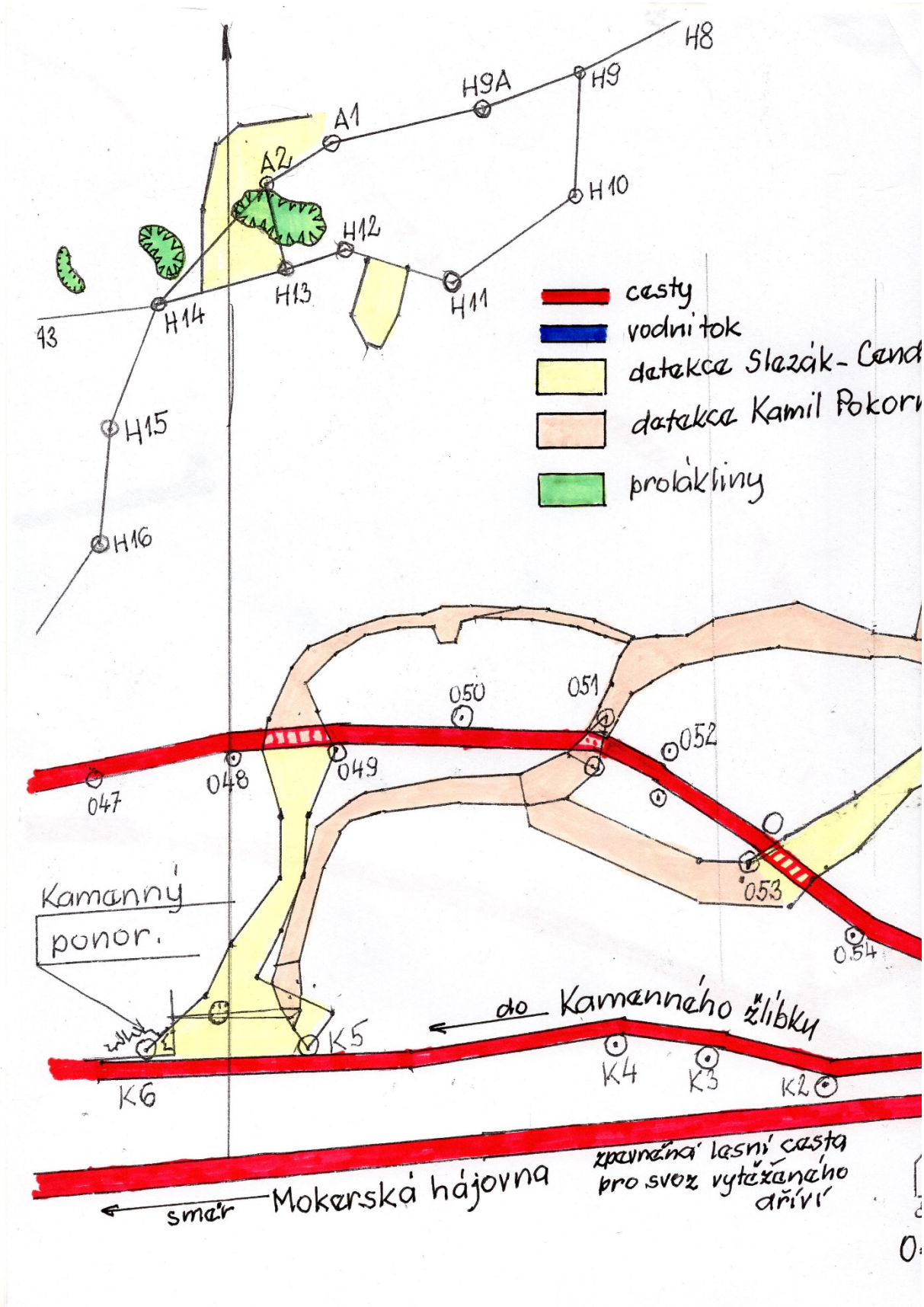
Obsah měření Profilu P3 :

	stránky
Topografický záznam měření Profilu P3	3
Mapka trasy O od PB O0 (čti Ó nula) přes PB O55 až k PB O48	4
Profil P3 nf	5
Profil P3	6
Profil P3a a P3b – výřezy částí	7
Profil P3 – zvětšená část	8
Profil P3b	9
Profil P3b – zvětšená část	10
Profil P3+ (zvětšený)	11
Profil P3 topo	12
Kalendova Interpretace radarogramu Profilu P3 – Dr. Kalenda – text	13
Dr. Kalenda – obrázek	14
Náčrt J. Pokorného se zakreslením pevných bodů a telegnosticky detekovaných anomálií	15
Pokus J. Pokorného o zakreslení dutin, zachycených georadarem	16


P1_Z_NE70
P3_J_85
P3_J_85
P3_J_60
P3_J_36
P3_J_25
P3_J_25
P3_Z_NW80
150 m



Georadarové měření podloží Profilu P-3 probíhalo po cestě trasy „O“ (Okružní) a to od pevného bodu PB O-0 (čti Ó nula) zpětně přes pevné body PB O-55, O-54, O-53 a dál až někde krátce za PB O-47.


H8
H9A
H9
A1
A2
H10
H12
H13
H11
H14
13
H15
H16
casty
vodní tok
detekce Slezák - Cand
detekce Kamil Pokor
prolákliny
050
051
052
053
054
047
048
049
Kamenný
ponor.
do Kamenného žlíbku
K5
K6
K4
K3
K2
směr Mokerská hájovna
zpevněná lesní cesta
pro svoz vytěženého
dříví

P_003

P_003

GPS Tracklog

383.90

0.00m

383.60

3.76m

383.90

4.62m

385.50

11.27m

387.20

17.05m

387.60

19.07m

388.00

20.08m

388.50

21.09m

389.30

22.97m

390.80

30.91m

390.90

32.65m

391.10

33.37m

391.10

37.12m

390.70

43.19m

390.80

47.52m

391.50

51.28m

391.70

53.88m

394.20

69.77m

394.80

83.49m

395.30

87.39m

395.90

90.57m

396.50

92.16m

397.10

93.46m

399.00

106.17m

401.00

114.40m

401.50

130.29m

401.30

131.31m

401.40

137.52m

401.60

141.71m

401.60

143.73m

402.10

147.92

402.30

148.93m

402.30

149.94m

402.00

150.81m

401.10

160.34m

401.00

165.68m

400.80

166.84m

400.50

172.33m

401.60

181.14m

400.90

185.19m

400.20

189.09m

399.40

192.41m

399.50

195.30m

399.00

201.65m

398.40

206.42m

399.00

210.46m

398.60

213.64m

398.30

221.59m

398.30

222.60m

398.10

230.40m

397.10

249.32m

397.60

253.08m

398.40

263.33m

398.90

277.49m

398.90

278.21m

398.70

281.39m

398.60

282.55m

399.00

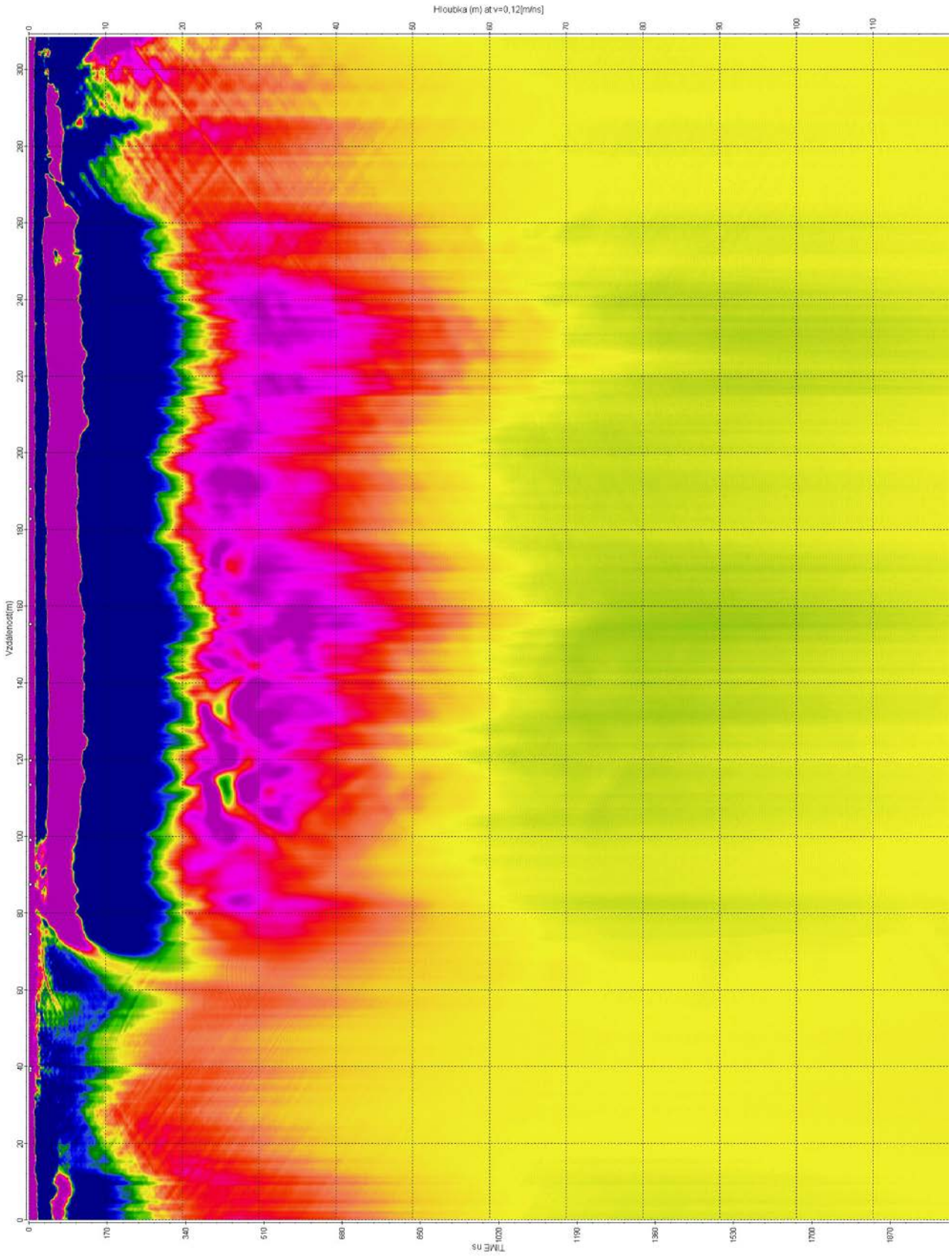
291.21m

399.50

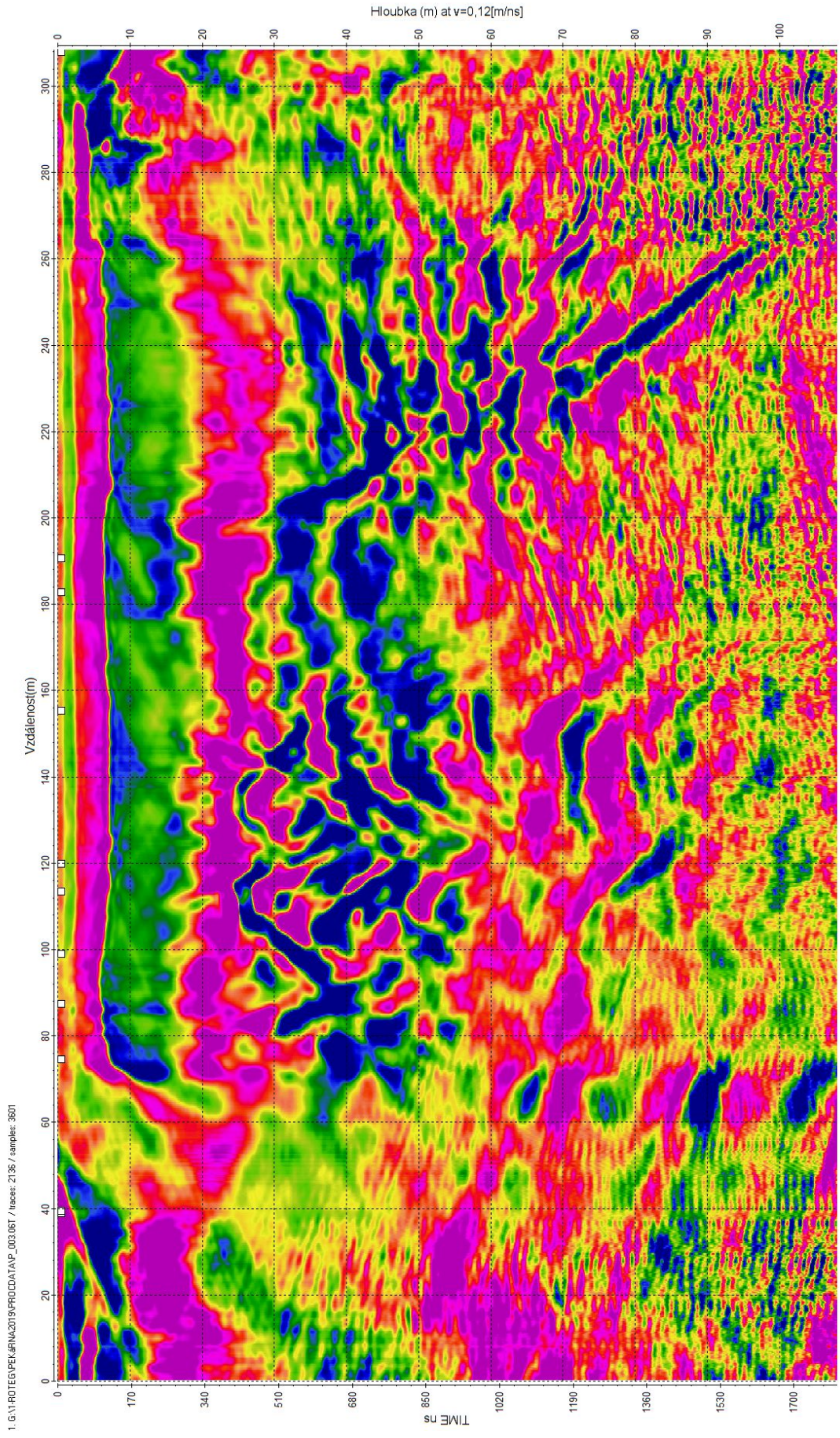
292.66m

399.10

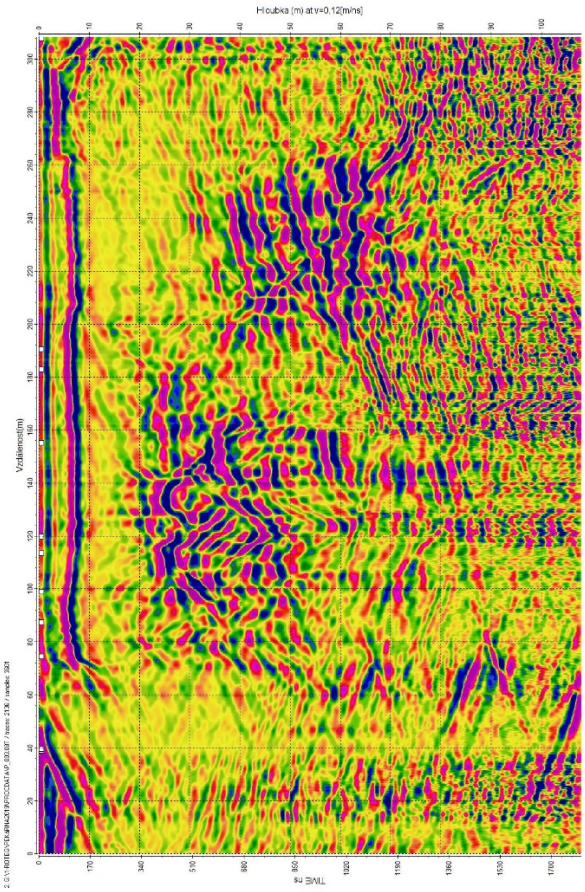
297.13m

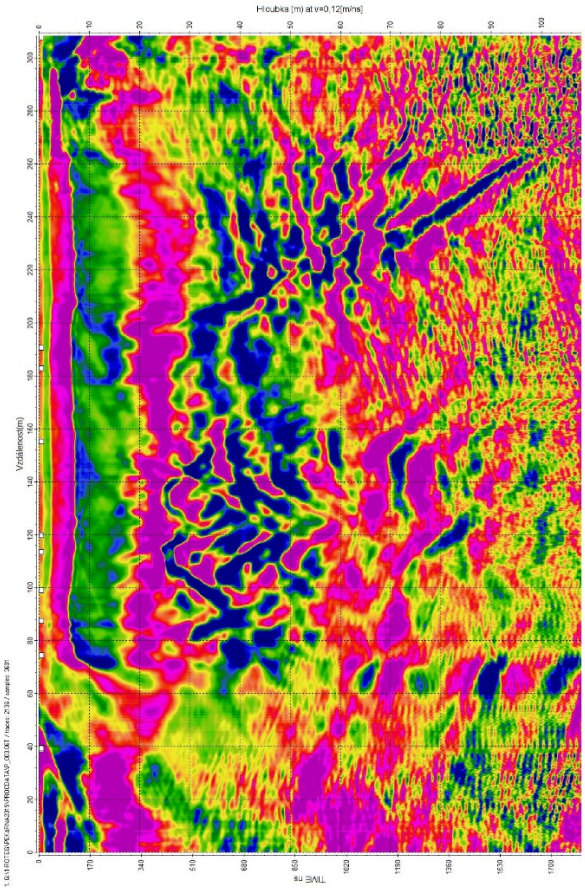


P3nf

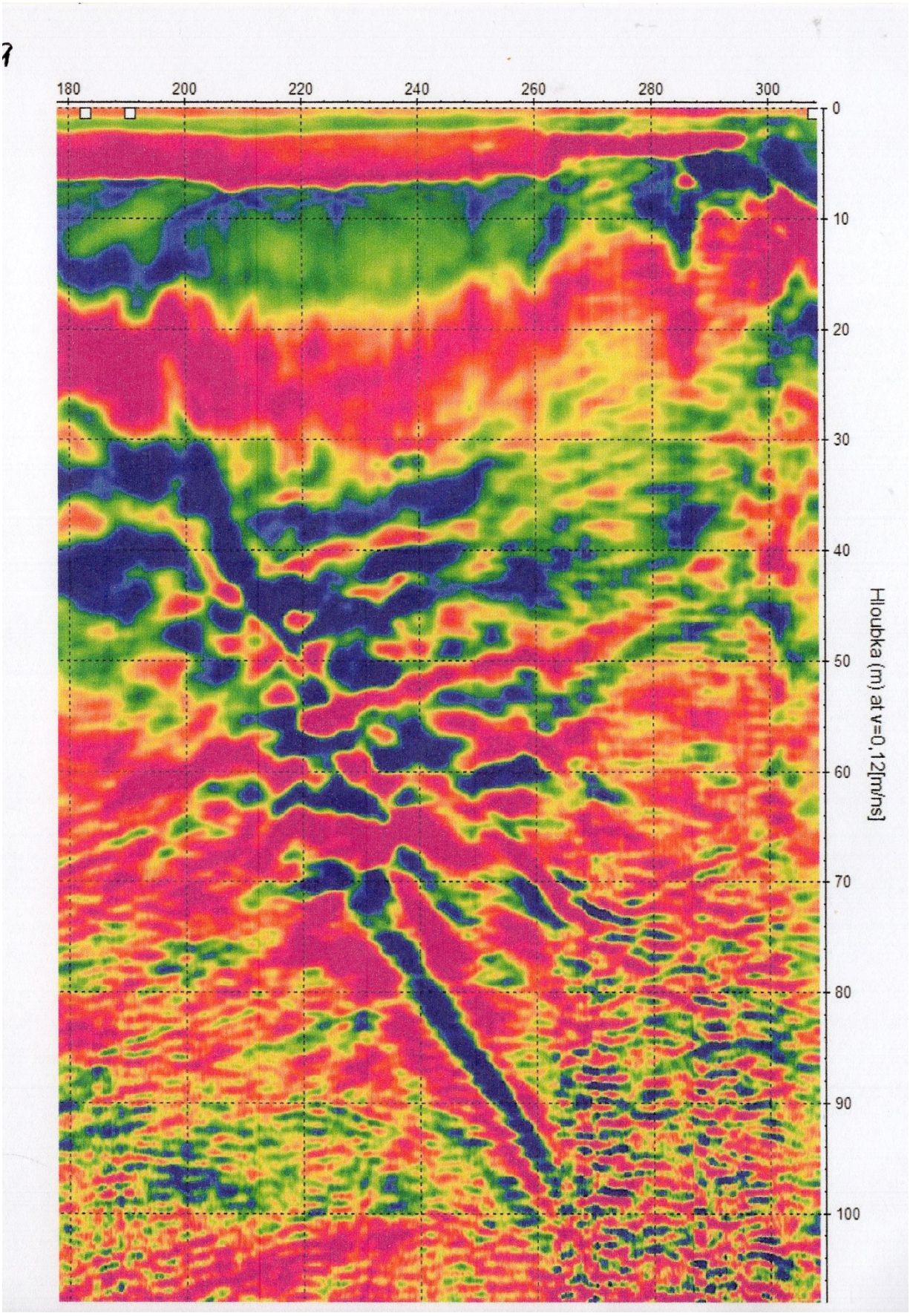

Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1. G:\1-ROTEG\PEKáRNA2019\PROCDATA\P_003.06T / traces: 2136 / samples: 3601

P3

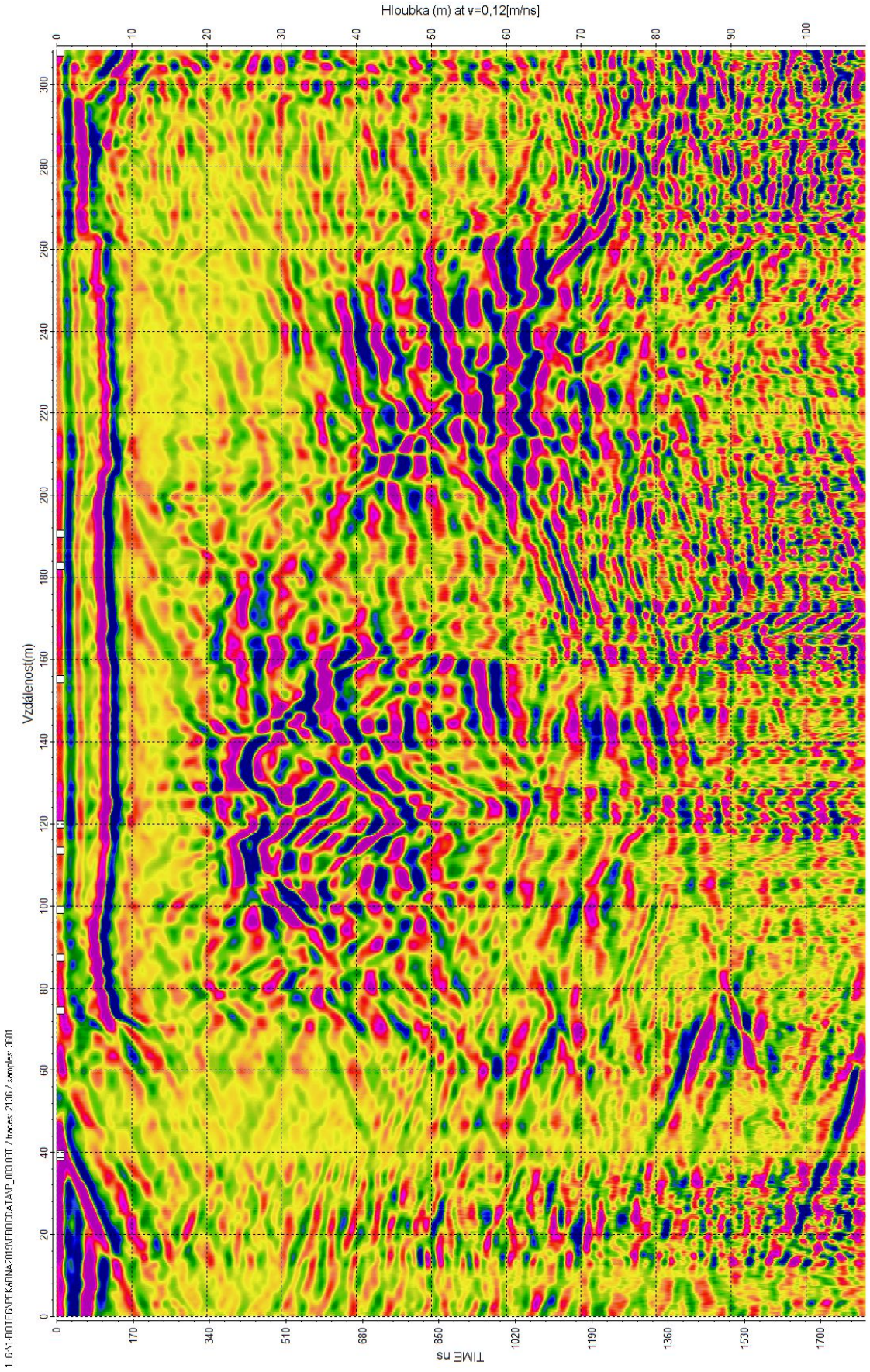




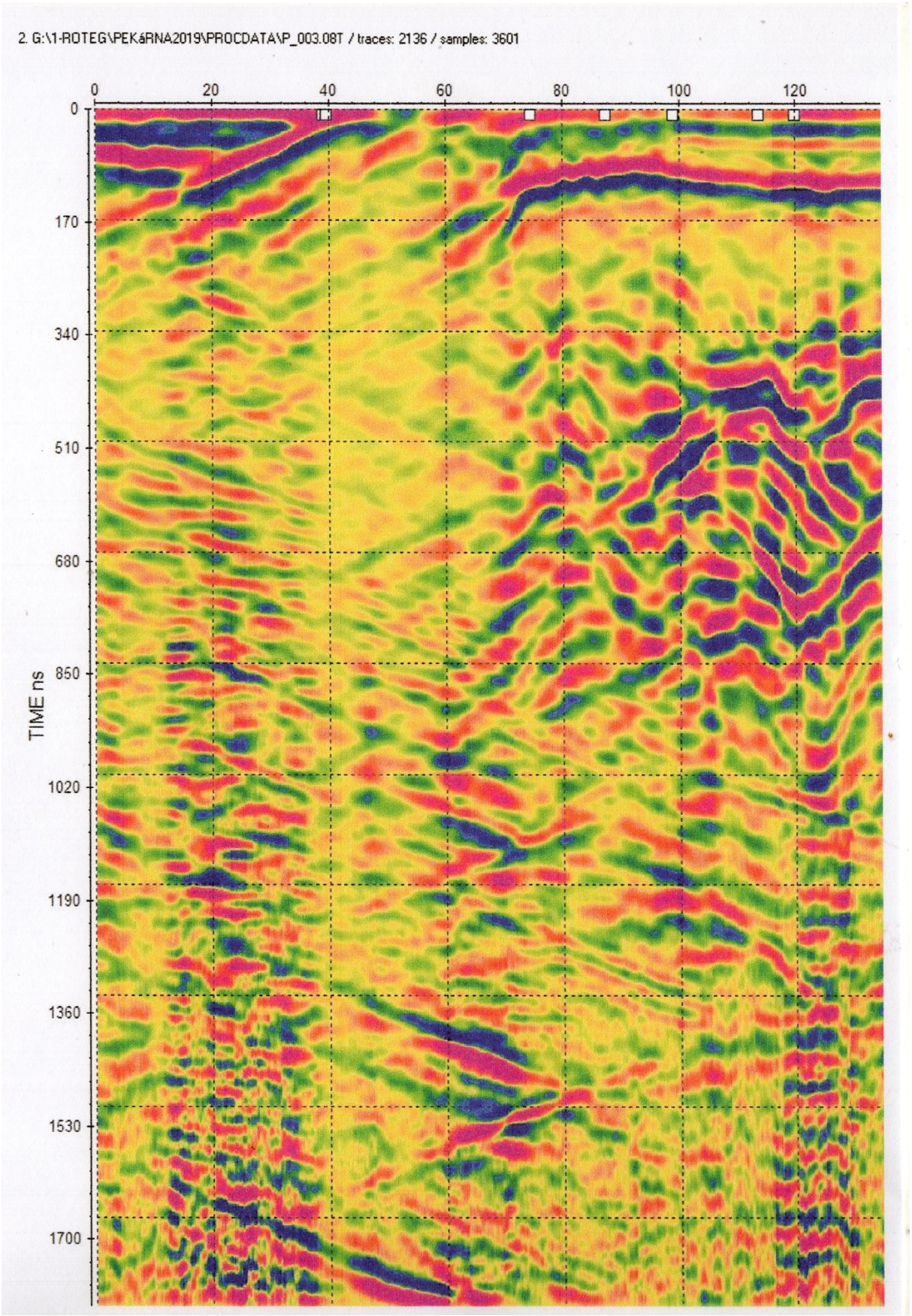
P3 a P3b – výřezy částí



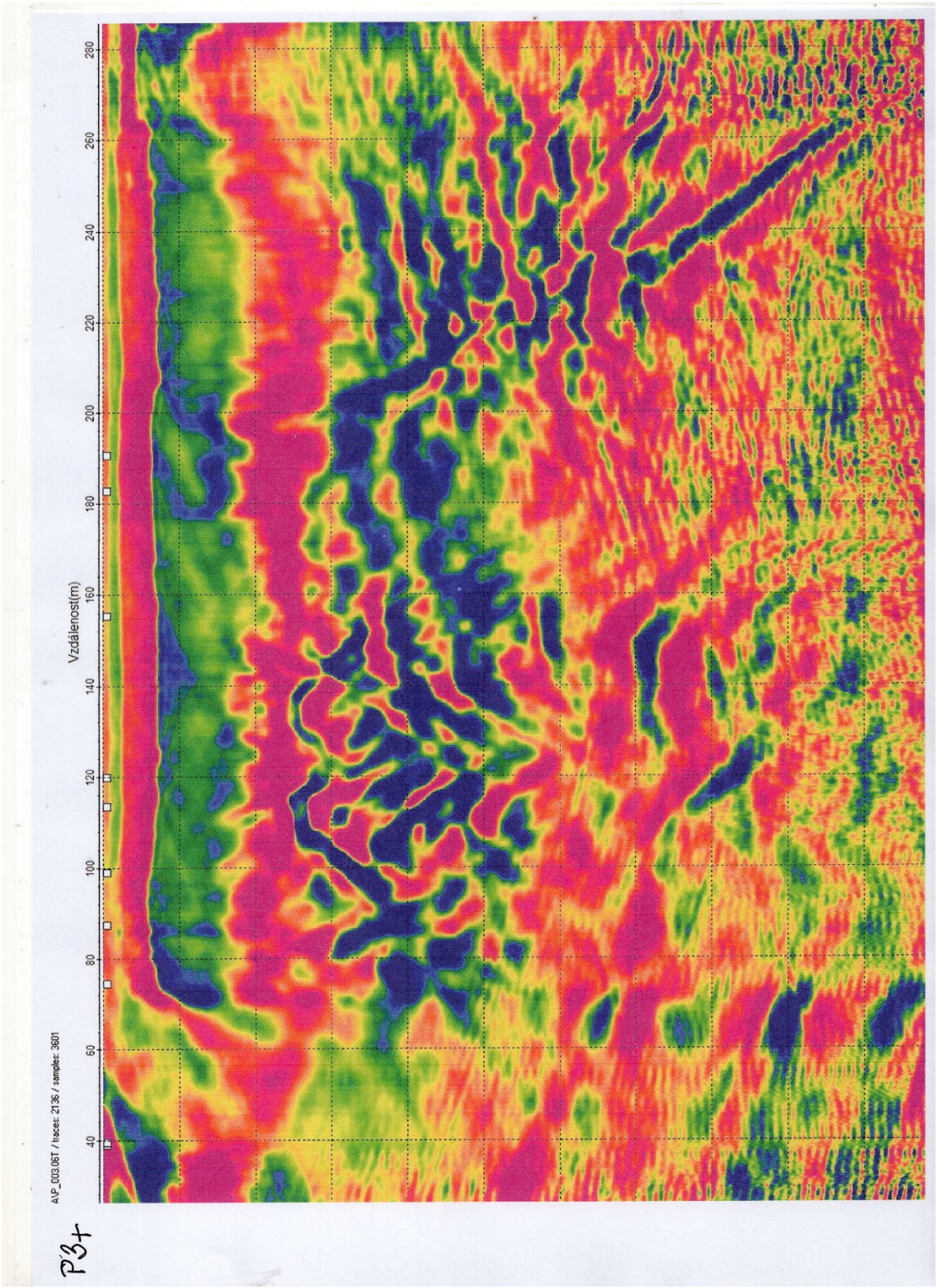
Profil P3 – zvětšená část


Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1.G:\1-ROTEG\PEKÁRNA2019\PROCDATA\P_003.08T / traces: 2136 / samples: 3601

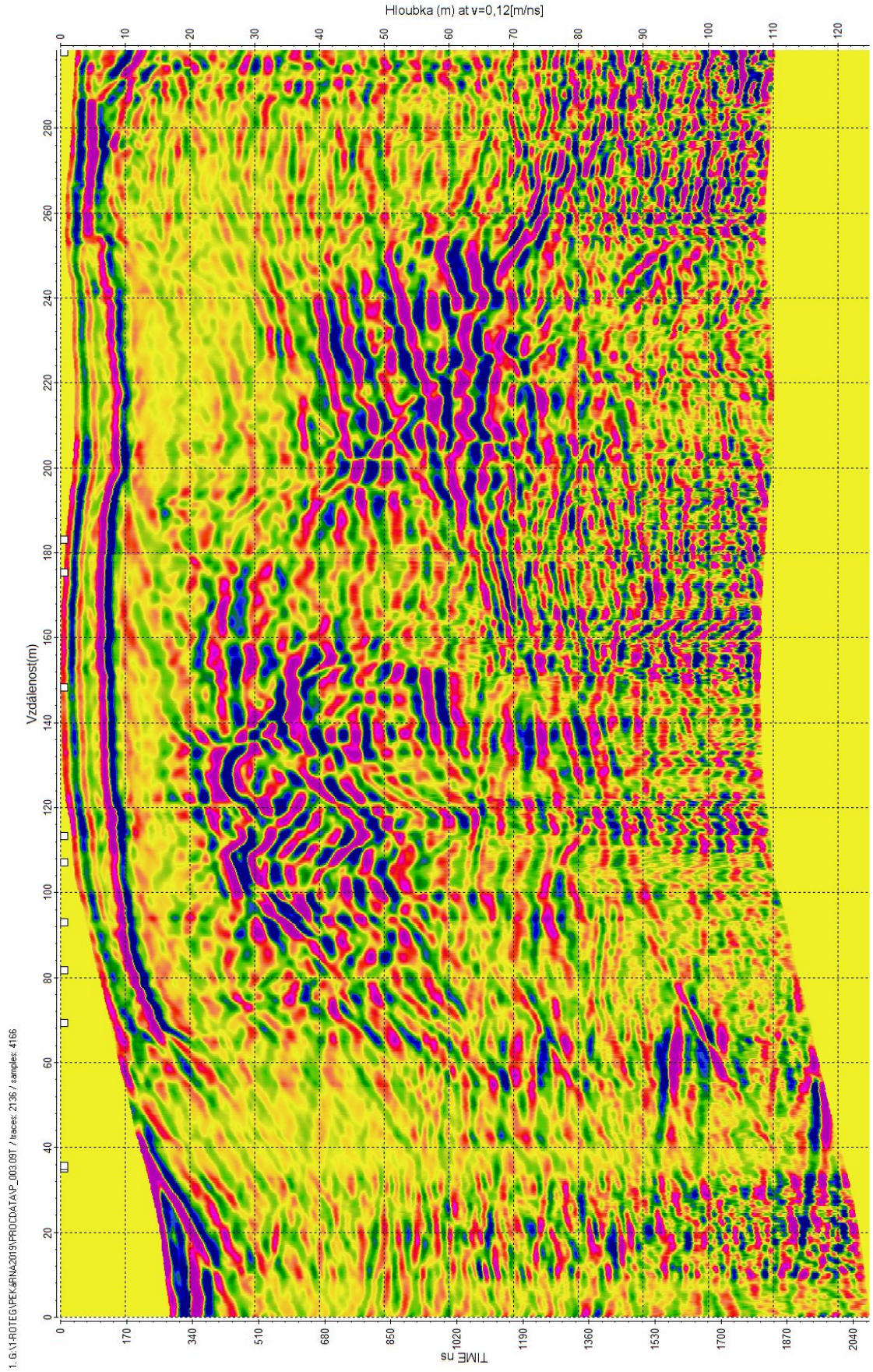
P3b



Profil P3b – zvětšená část



Profil P3 – zčásti zvětšený

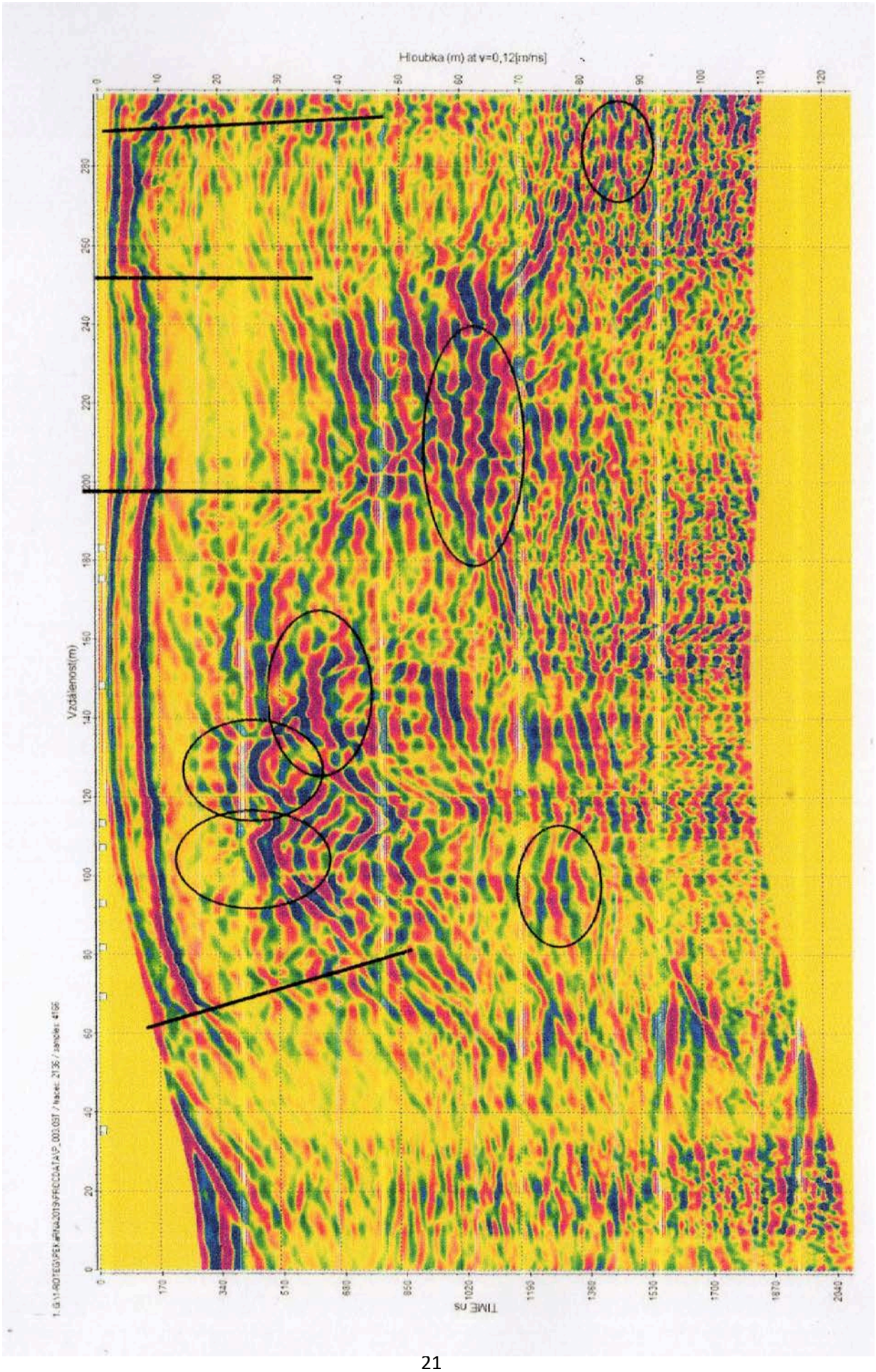

Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns
1: G:\1-ROTEG\PEK-dRNA2019\PROCDATA\P_003.09T / traces: 2136 / samples: 4186

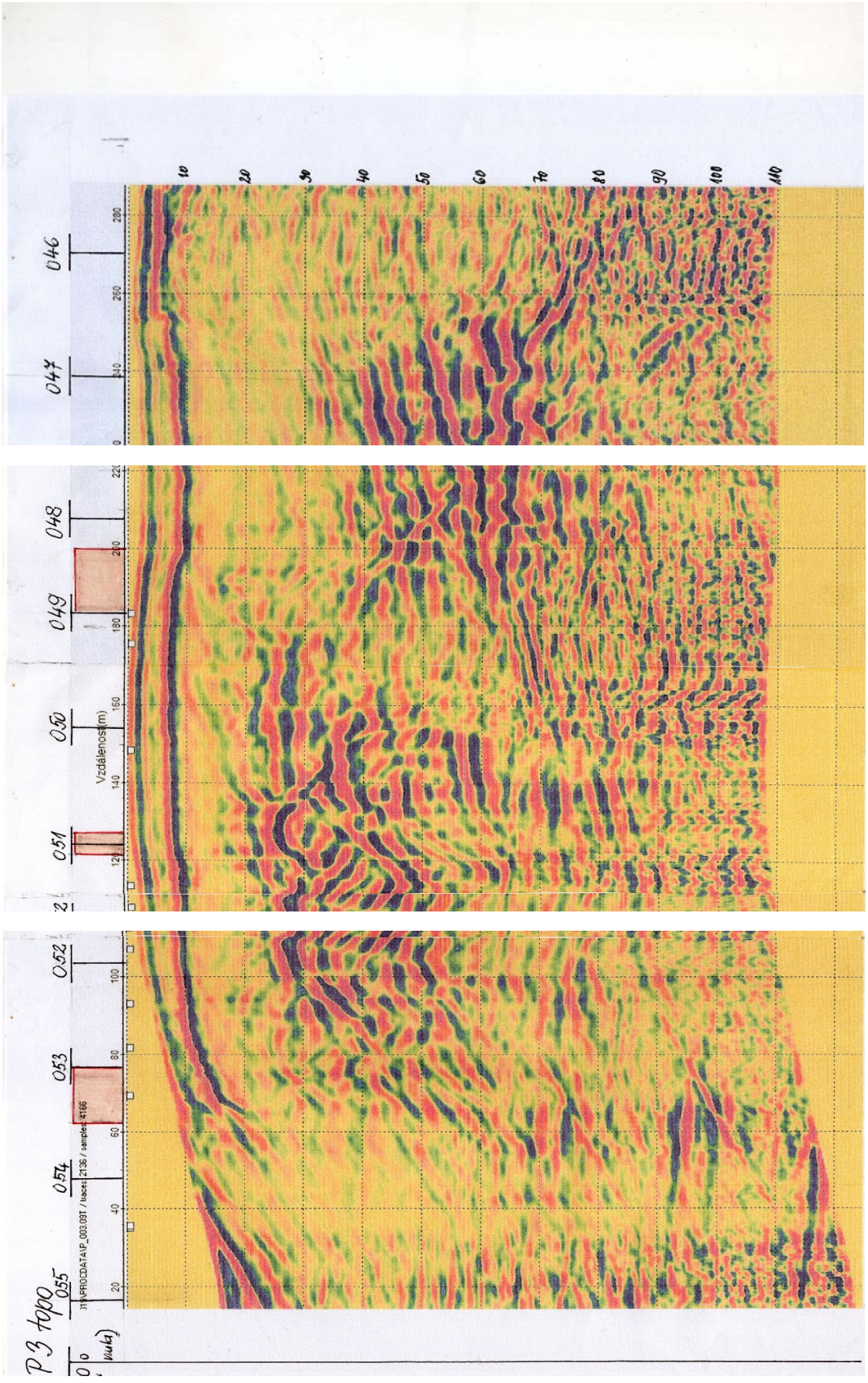
P3topo

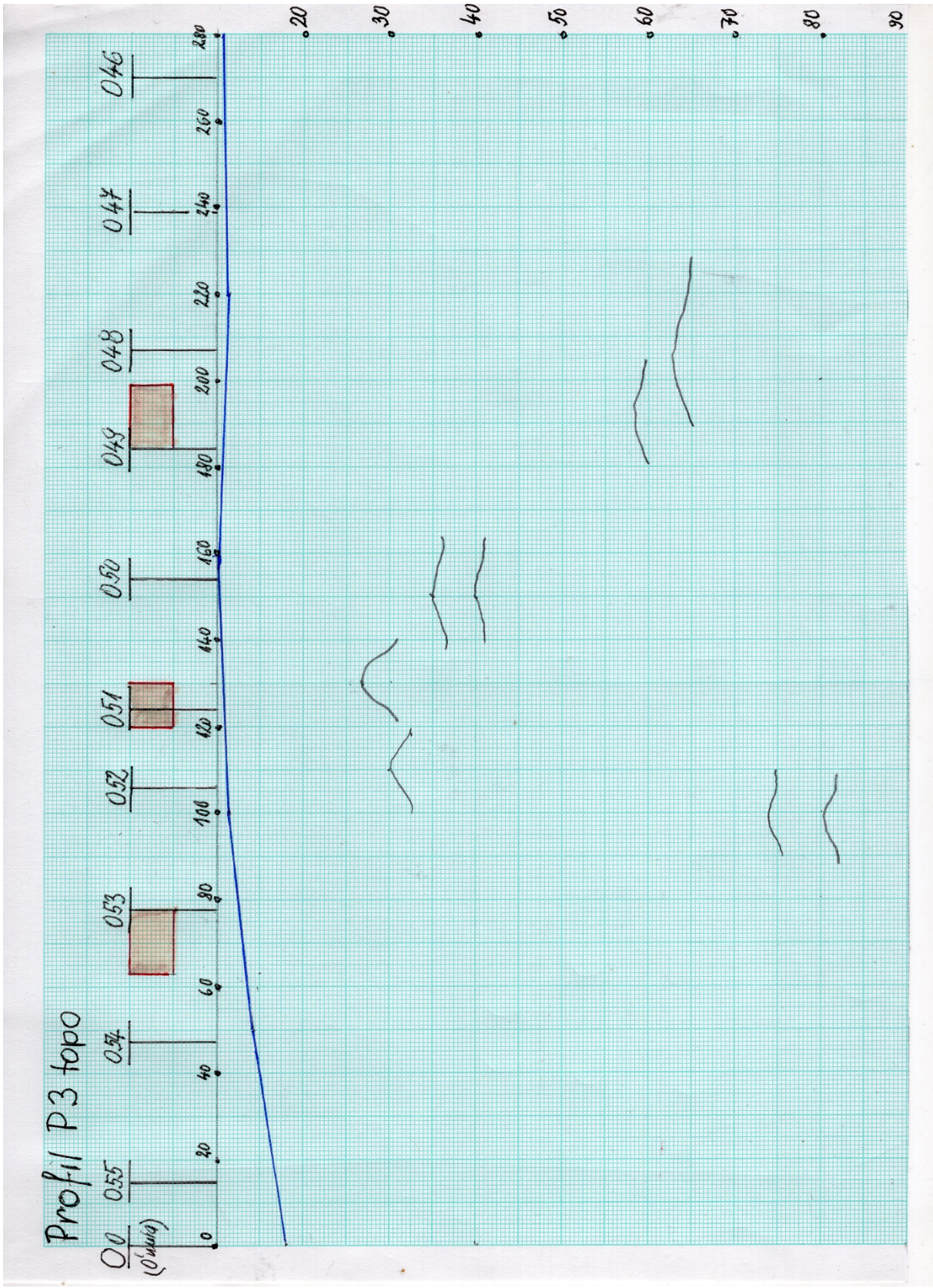
Interpretace radarogramu profilu P3
provedená geofyzikem RNDr Pavlem Kalendou CSc

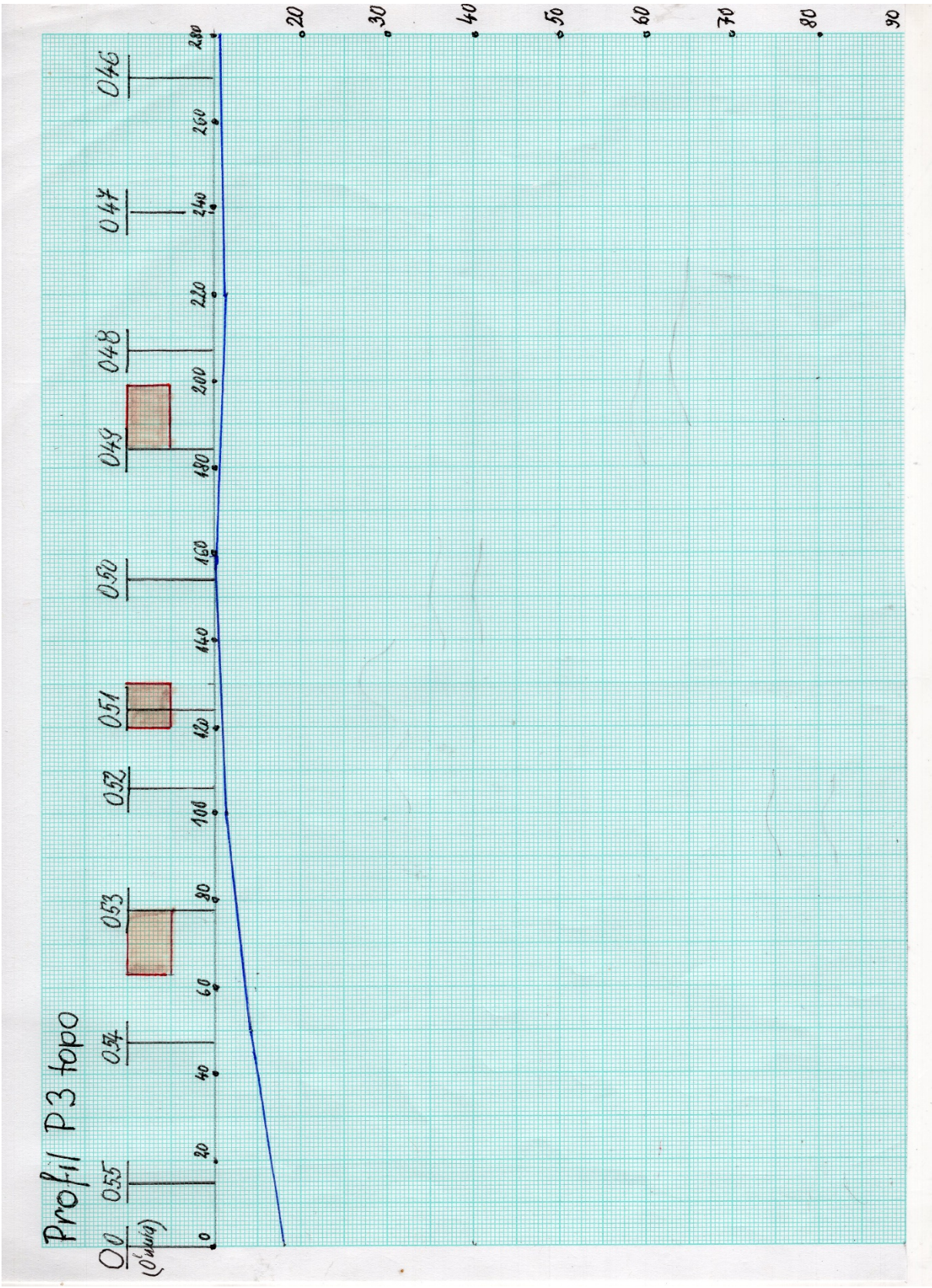
Obr. 7 - Radarogram na profilu P3 s topokorekcemi.

Do staničení 30 m je dobře patrná výplň Hostěnického údolí obdobně, jako na profilu P1 Ve staničení 70 m vychází na povrch tektonika. Mezi staničeními 105 a 110 m se nachá v hloubce 25 m výrazná dutina, pravděpodobně jeskyně. Obdobná se nachází mez staničeními 130 – 135 m taky v hloubce 25 m a pod nimi v hloubce 36 m se ve staničení 14 – 158 m nachází další široká dutina. Náznak dutiny je patrný ve staničení 90 m v hloubce 7 m. Další výrazná dutina se nachází ve staničení 200 – 250 m v hloubce 60 m pod povrchem Ta je založena na křížení tektoniky a vrstevní spáry. Nejhlubší detekovaná jeskyně na profil P3 se nachází ve staničení 280 – 285 m v hloubce 85 m.


Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
Vzdálenost(m)
TIME ns


P3 topo
Vzdálenost(m)


Profil P3 topo
0 0
0 55
0 54
0 53
0 52
0 51
0 50
0 49
0 48
0 47
0 46
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
20
30
40
50
60
70
80
90


Profil P3 topo
0 0
0 55
0 54
0 53
0 52
0 51
0 50
0 49
0 48
0 47
0 46
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
20
30
40
50
60
70
80
90

Georadarové měření v oblasti jeskyně Pekárny (plus-mínus)

6. prosince 2019

Profil P4

Měření tohoto profilu proběhlo po naší trase U (viz mapu v příloze).Trasa U je v podstatě zpevněná lesní cesta, odbočující z cesty, vedoucí od Čistírny odpadních vod v Hostěnicích k Mokerské hájence. Měření profilu P4 proběhlo mezi PB U 0 (čti ú nula) a PB U 17.

Na lesní cestě trasy U máme (zatím) zaměřeno a v terénu (na stromech) vyznačeno 24 pevných bodů (U1 – U24) Trasa U začíná prakticky uprostřed (v ose) rozcestí (křižovatky) ze které odbočuje přibližně severním směrem, vytváří v terénu křivku podobnou rozevřenému písmenu U a vrací se zpět k jihu, na cestu k Mokerské hájence. Mezi pevnými body trasy U máme telegnosticky zaměřenu řadu anomálií. Georadarové měření mělo potvrdit, nebo vyloučit jejich existenci.

V úseku mezi pevnými body PB U 0 (čti ú nula) a PB 8 tvoří cesta západní hranici Maloplošné přírodní rezervace „Pekárna“

Obsah dokumentace měření Profilu P4:

	Stránky	
Obsah souboru	2	.
Popis trasy „U“	3	.
Mapka trasy „U“, záznam georadarového měření	4	.
Mapka trasy „U“, mapování SE – 3	5	.
Trasa „U“ – parametry	6 – 7	.
Georadar Track GPS tracklog	8 – 18	.
Radarogram P4nf	19	.
Radarogram P4topo	20	.
Radarogram P4	21	.
Radarogram P4a	22	.
Radarogram P4topo zvětšený	23 – 25	.
Vyhodnocení Profilu P4 – Kalenda – text	26	.
Vyhodnocení Profilu P4 – Kalenda – obrázek	27	.
Radarogram P4topo – úprava – zvětšeno	28 – 30	.
Výrazné anomálie	31	. .
Profil P4 v úpravě J. Pokorného – pokus o vyhodnocení	32 - 34	.

Trasa U

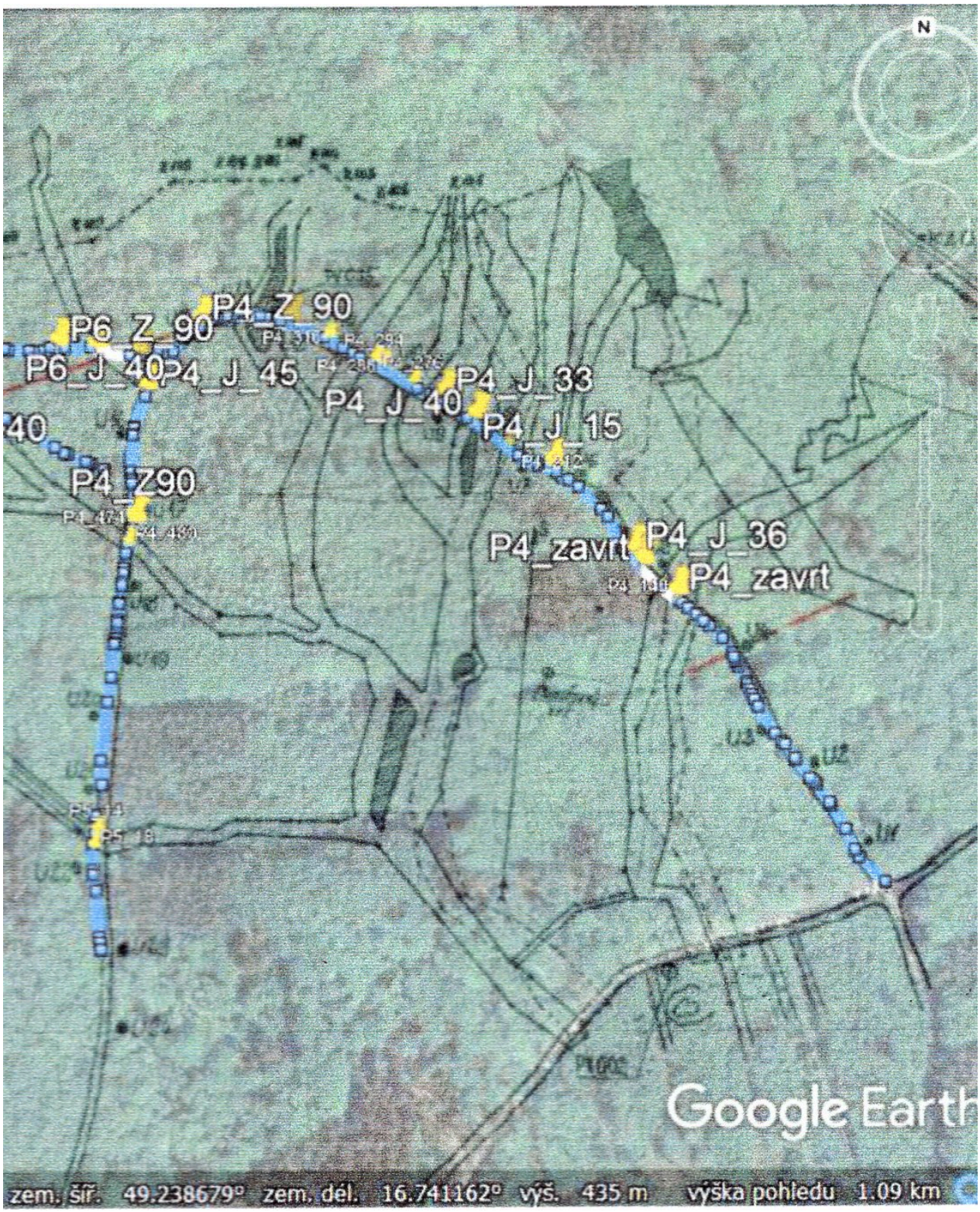
Odbočuje z cesty, vedoucí od Čistírny odpadních vod v Hostěnicích k Mokerské hájence a obloukem se na ní vrací. Měření Profilu P 004 proběhlo prakticky od PB (pevného bodu) U1 k PB U21. Od PB U21 k PB U24 bylo provedeno měření Profilu P 005.

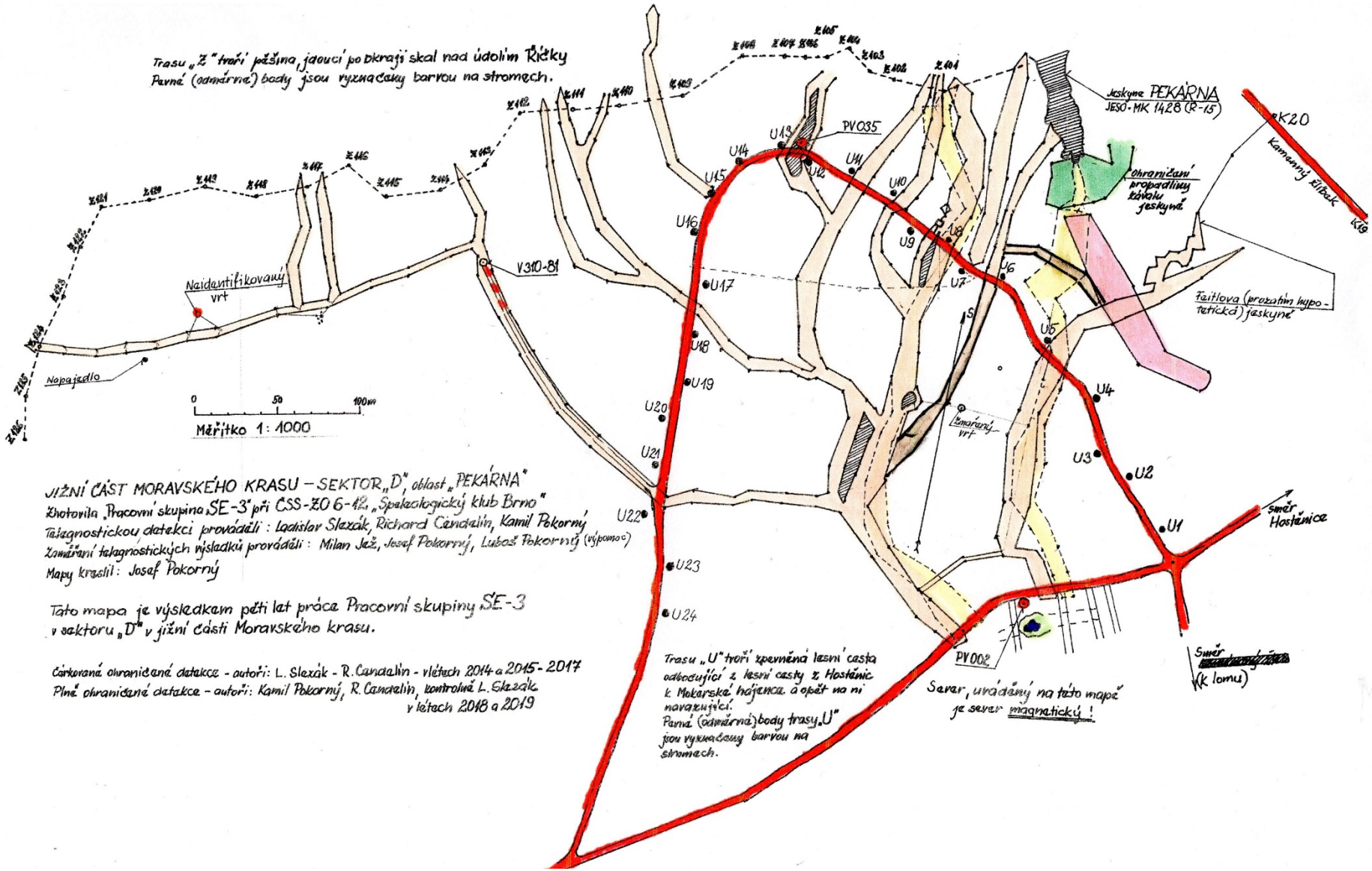
Od PB U15 odbočuje trasa záměru Profilu P 006. Tento záměr pokračuje záměrem Profilu P007, na který navazuje měření Profilu P8, který končí na PB U17.

Viz mapy níže: .
První mapa zachycuje jednotlivé body na trase profilu P 004, ze kterých byl při pohybu georadaru v terénu vysílán signál a přijímán jeho odraz.

Druhá mapa zachycuje cestu trasy U a kolem ní probíhající telegnosticky detekované anomálie.

Georadarové měření podloží na Profilu P-4 probíhá po trase „U“od pevného bodu PB U-0 (čti U nula), který leží uprostřed rozcestí a není vyznačen, přes PB U-1, U-2, U-3 a dál až k PB U-22


N
P6_Z_90
P4_Z_90
P6_J_40
P4_J_45
P4_J_40
P4_J_33
P4_J_15
P4_Z90
P4_zavrt
P4_J_36
P4_zavrt
Google Earth
zem. šíř. 49.238679° zem. dél. 16.741162° výš. 435 m výška pohledu 1.09 km



JIŽNÍ ČÁST MORAVSKÉHO KRASU – SEKTOR „D", oblast „PEKÁRNA"
Zhotovila Pracovní skupina „SE-3" při ČSS-ZO 6-12 „Speleologický klub Brno"
Tažagnostickou datekci prováděli: Ladislav Slezák, Richard Čandalín, Kamil Pokorný
Zaměřování tažagnostických výsledků prováděli: Milan Jež, Josef Pokorný, Lubaš Pokorný (výpomoc)
Mapy kreslil: Josef Pokorný

Tato mapa je výsledkem pěti let práce Pracovní skupiny SE-3 v sektoru „D" v jižní části Moravského krasu.

Čárkovaná ohraničená datekce - autoři: L. Slezák - R. Čandalín - v létech 2014 a 2015-2017
Plně ohraničená datekce - autoři: Kamil Pokorný, R. Čandalín, kontrolně L. Slezák v létech 2018 a 2019

Trasa U – zpevněná lesní cesta tvořící zčásti hranici MPR Pekárna.

Úsek .	Azimut	Délka úseku	Celková vzdálenost od bodu 0
U0 – U1	324°	20,20 m	-
U1 – U2	327°	19,65 m	39,85 m
U2 – U3	319°	21,40 m	61,25 m
U3 – U4	336°	29,60 m	90,85 m
U4 – U5	316,5°	26,65 m	117,50 m
	311°	19,95 m	137,45 m
U5 – U6	322,5°	18,55 m	156,00 m
	316°	18,75 m	174,70 m
U6 – U7	292°	29,60 m	204,35 m
	263,5°	5,20 m	209,55 m
U7 – U8	303,5°	18,32 m	227,87 m
U8 – U9	303,5°	21,05 m	248,92 m
U9 – U10	295°	21,52 m	270,44 m
U10 – U11	296°	29,03 m	299,47 m
U11 – U12	287°	26,80 m	326,27 m
U12 – k PV35	290°	12,33 m	
U12 – U 13		15,03 m	341,30 m
U13 – k PV35	69°	10,20 m	
U13 – U14	238°	25,10 m	366,40 m
U14 – U15	208°	24,10 m	390,50 m
U15 – U16	199°	23,30 m	413,80 m
U16 – U17	174,5°	29,30 m	443,10 m
U17 – k ose cesty	184°	13,10 m	456,20 m

Od osy cesty k U18	186,5°	16,80 m	473,00 m
U18 – U19	183°	28,30 m	501,30 m
U19 – U20	178,5°	25,70 m	527,00 m
U20 – U21	181°	27,97 m	554,97 m
U21 – U22	181°	28,45 m	583,42 m
U22 – U23	168°	33,24 m	616,66 m
U23 – U24	178°	27,20 m	643,86 m

Profil P 004 – Jednotlivé body georadarového měření na trase U od pevného bodu PB U0 k pevnému bodu PB U24.

Nadmořské výšky v m a vzdálenosti jednotlivých měřených bodů na trase.

P_004

GPS Tracklog

409.30

0.00m

407.50

14.88m

407.20

18.06m

408.00

24.85m

407.50

35.68m

407.80

36.83m

407.50

45.50m

407.60

47.38m

407.40

49.55m

405.70

58.07m

405.90

58.94m

406.20

65.44m

406.50

67.60m

406.20

72.08m

406.00

81.90m

405.40

83.49m

405.00

86.24m

404.70

88.69m

404.30

91.15m

404.30

93.60m

404.30

94.76m

403.50

100.68m

403.60

102.42m

403.60

103.43m

402.90

105.30m

402.90

106.89m

401.50

113.39m

401.60

121.34m

401.30

122.21m

400.20

124.08m

400.00

126.97m

400.80

130.58m

400.90

133.33m

401.00

134.19m

400.60

135.06m

401.50

144.02m

399.10

164.24m

398.50

179.55m

398.60

183.60m

399.60

196.31m

398.60

201.51m

397.90

206.56m

398.20

213.64m

397.10

223.18m

397.60

237.48m

395.70

246.00m

395.80

251.78m

396.50

258.13m

394.80

261.02m

394.80

263.33m

395.30

269.26m

395.50

291.36m

394.30

296.27m

394.00

299.45m

393.80

301.76m

394.30

304.50m

394.00

313.60m

393.20

334.69m

393.20

340.76m

394.10

343.79m

394.70

352.31m

395.10

354.05m

395.20

355.78m

395.50

358.09m

396.60

361.70m

397.40

366.33m

398.60

368.20m

398.70

369.94m

398.90

376.00m

399.20

379.33m

399.80

381.06m

399.80

384.53m

398.30

392.04m

398.30

406.34m

398.30

407.21m

398.90

410.38m

399.50

415.15m

401.80

429.45m

401.90

430.03m

402.20

432.63m

402.40

433.21m

404.20

448.37m

403.70

451.26m

403.50

452.85m

405.20

458.77m

404.70

466.57m

406.00

470.91m

407.70

474.38m

406.20

482.18m

406.60

487.81m

406.70

489.83m

407.10

493.88m

407.10

495.18m

407.90

501.53m

408.10

502.69m

407.70

509.19m

407.70

510.20m

408.00

512.08m

409.40

517.13m

408.70

518.87m

408.70

519.73m

410.40

534.61m

410.00

542.70m

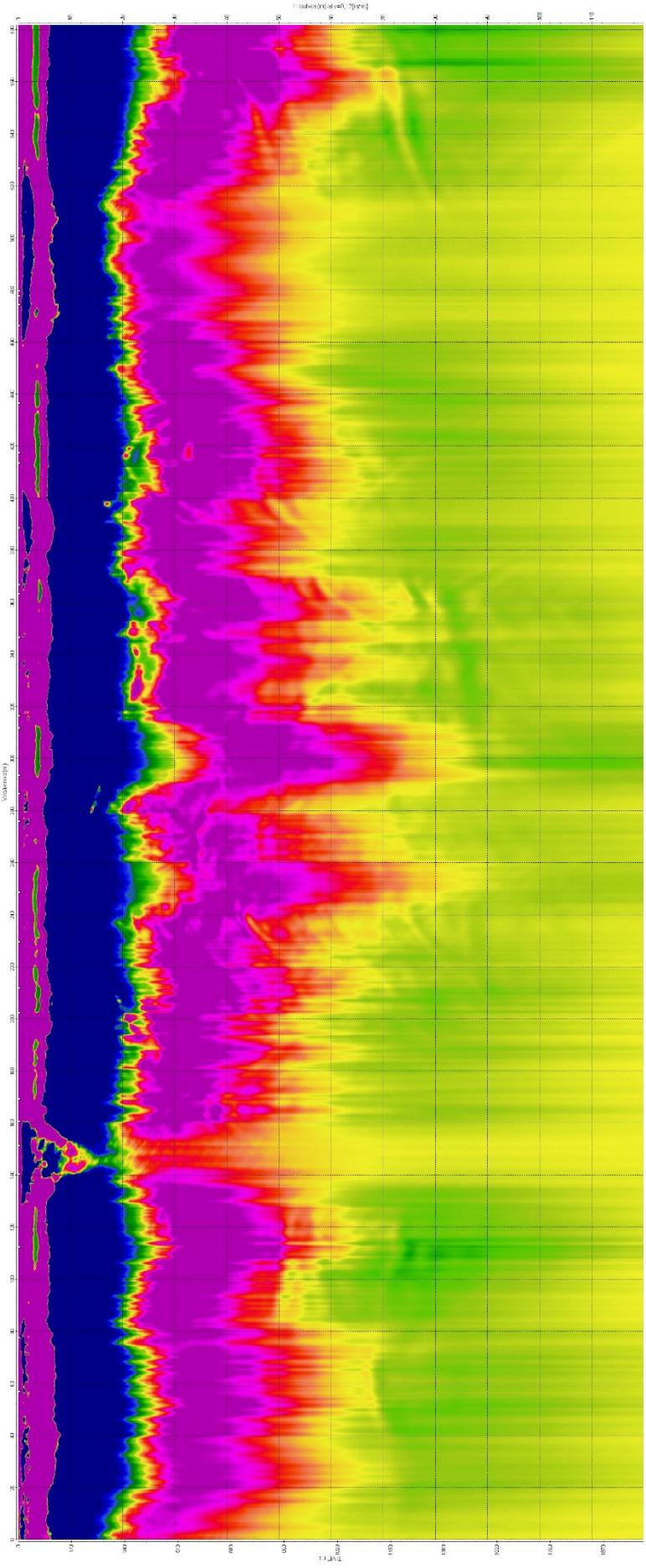
409.90

565.96m

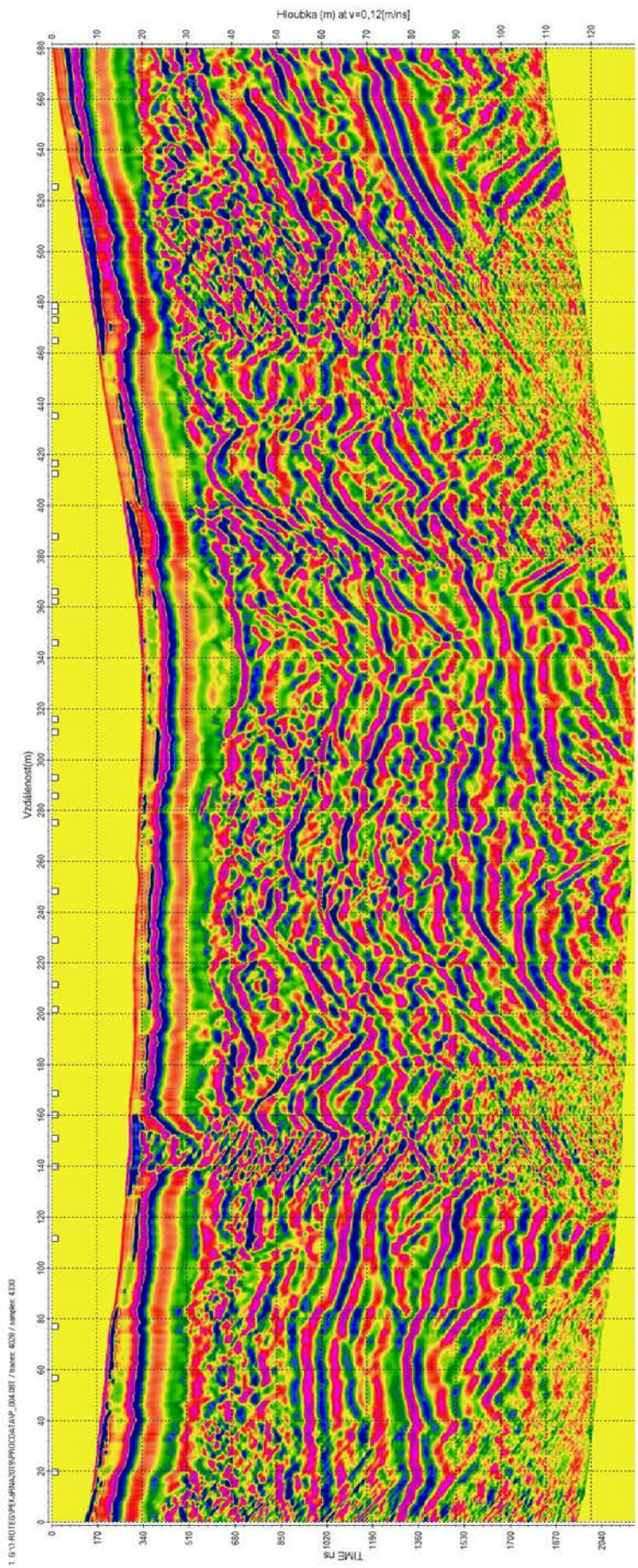
411.00

575.06m

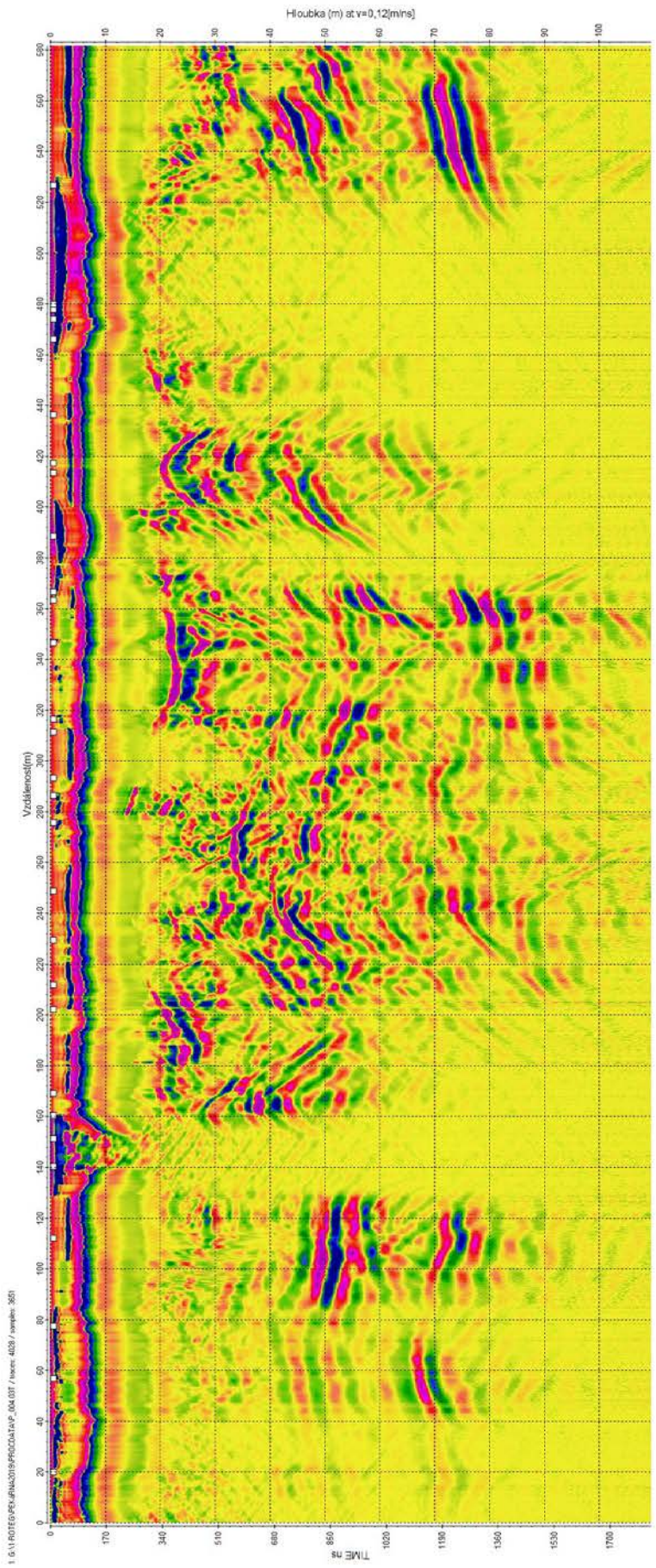
Na stránkách níže najdete 4 radiogramy, zachycující profil terénu pod cestou trasy U. Každý z radiogramů je zpracován



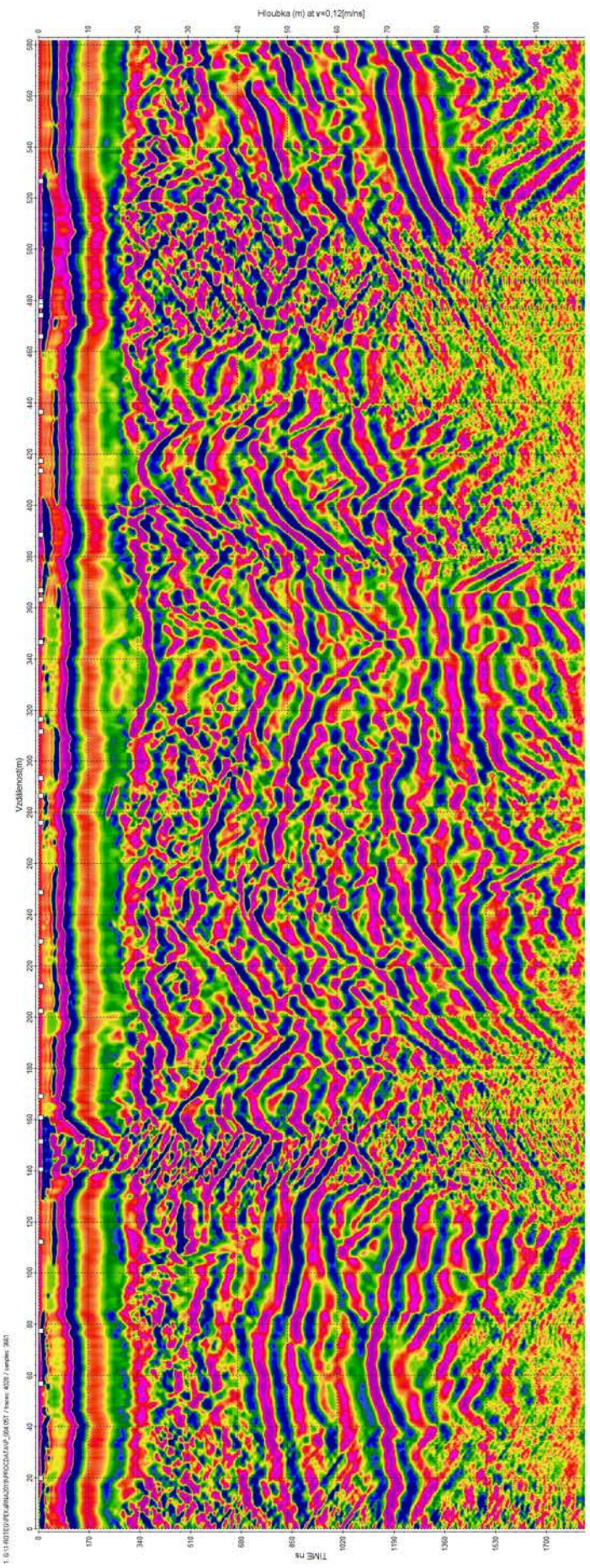
P4nf



P4topo

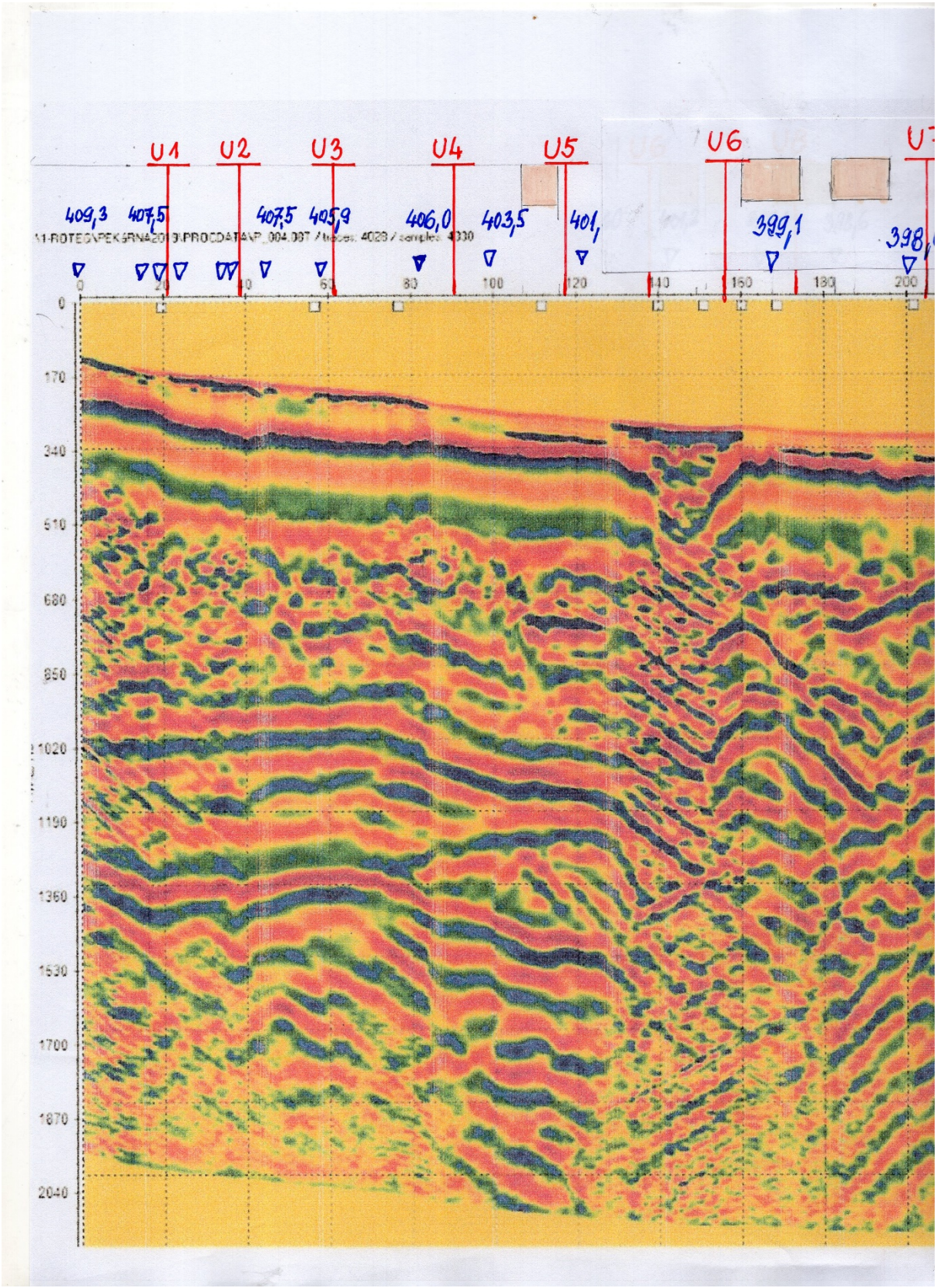


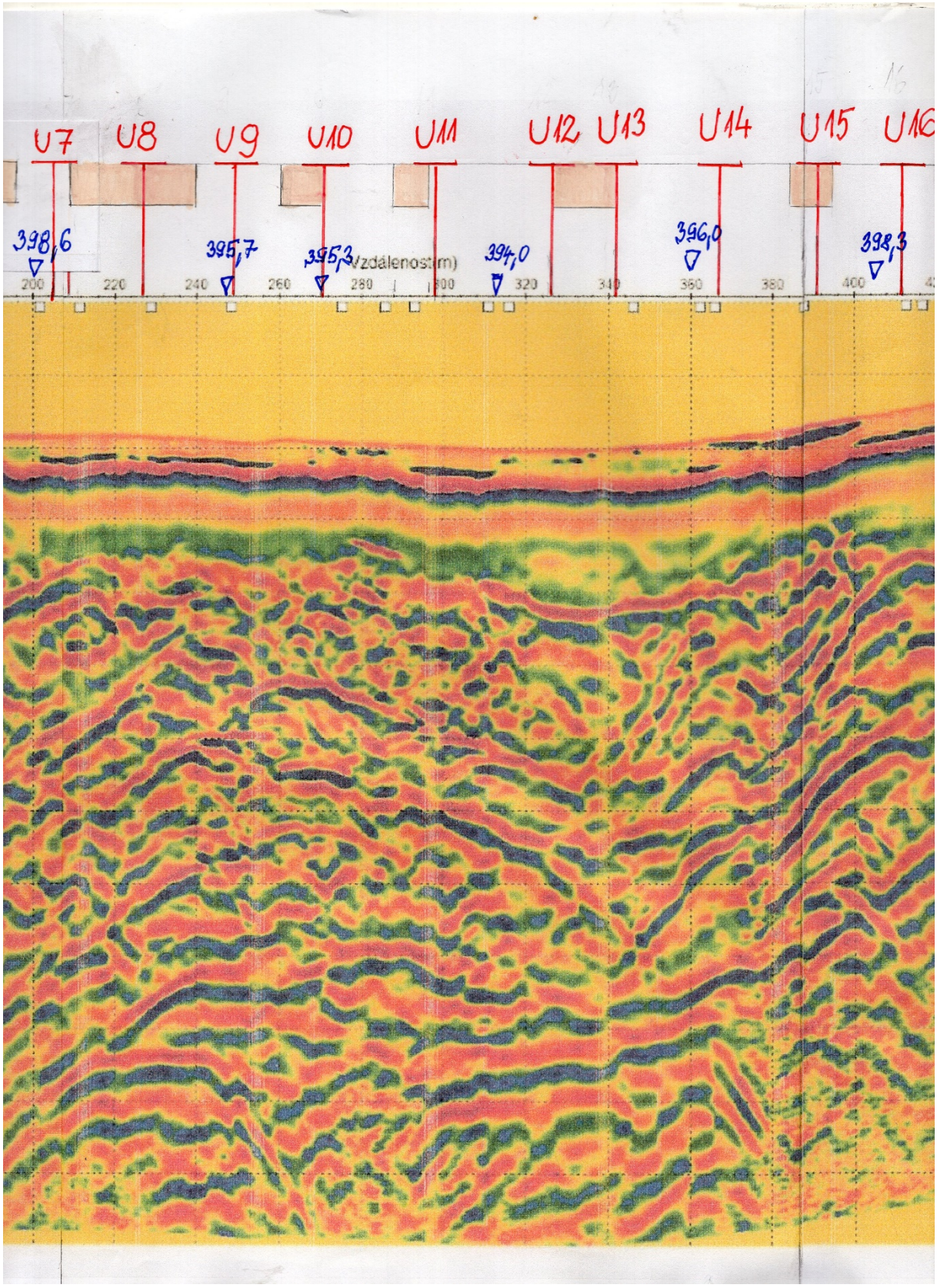
P4

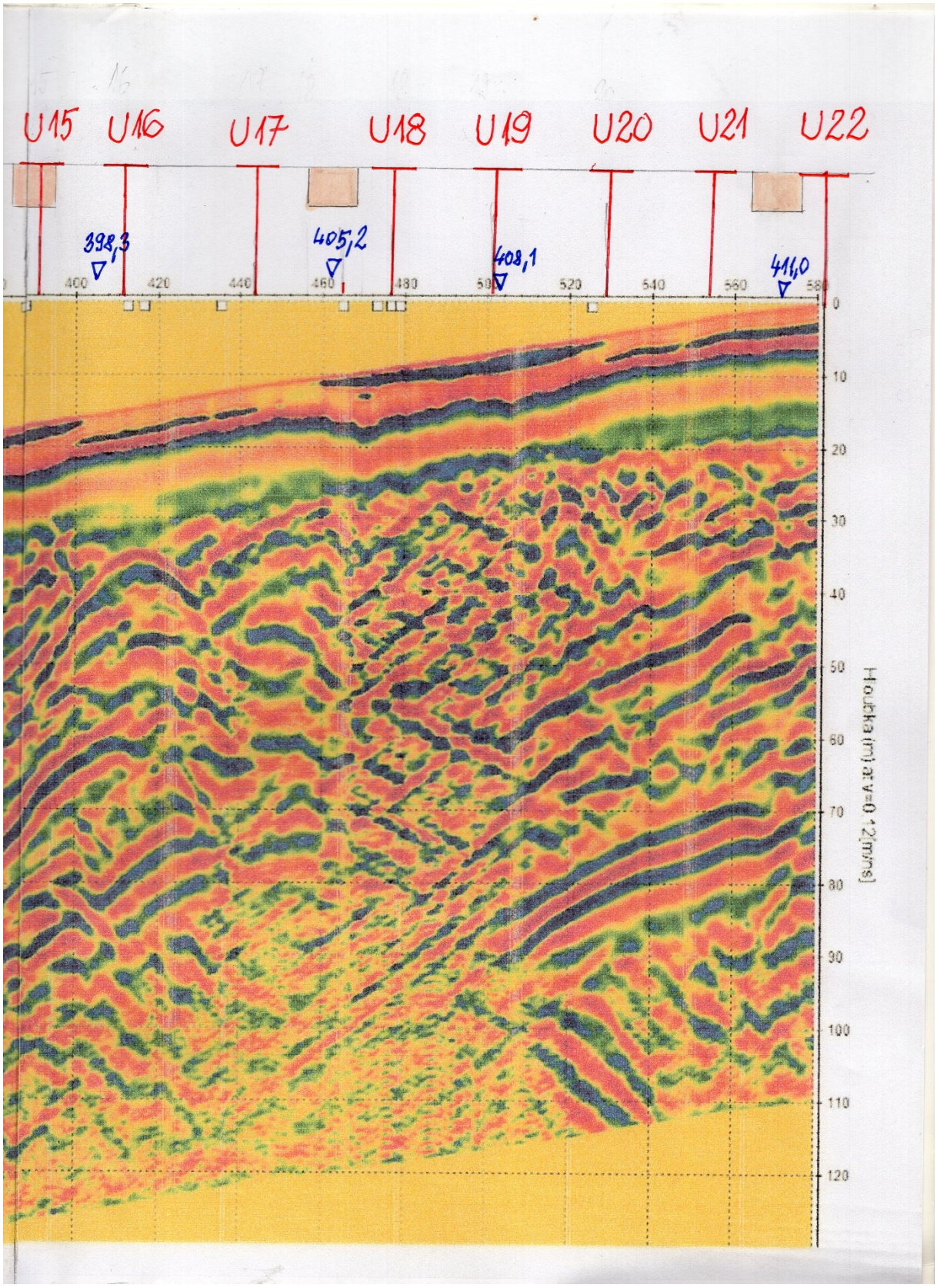


P4a

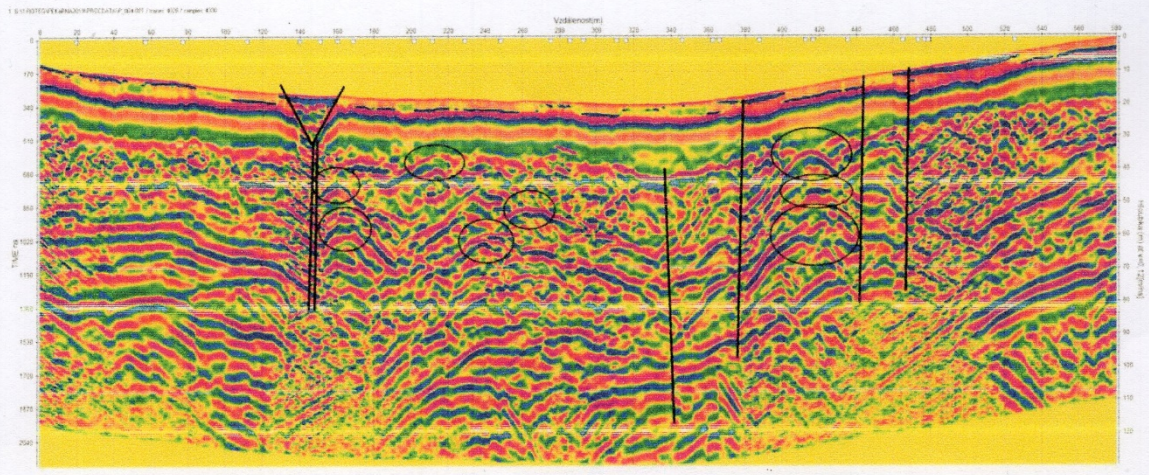
Profil P-4 topo po trase U – zvětšeno a rozloženo do více listů.




U7
U8
U9
U10
U11
U12
U13
U14
U15
U16
398,6
395,7
395,3
394,0
396,0
398,3
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
Vzdálenost (m)


U15
U16
U17
U18
U19
U20
U21
U22
398,3
405,2
408,1
411,0
400
420
440
460
480
500
520
540
560
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
Глубина (m) при V=0,12[m/ns]

Profil P4



Obr. 8 - Radarogram na profilu P4 s topokorekcemi.

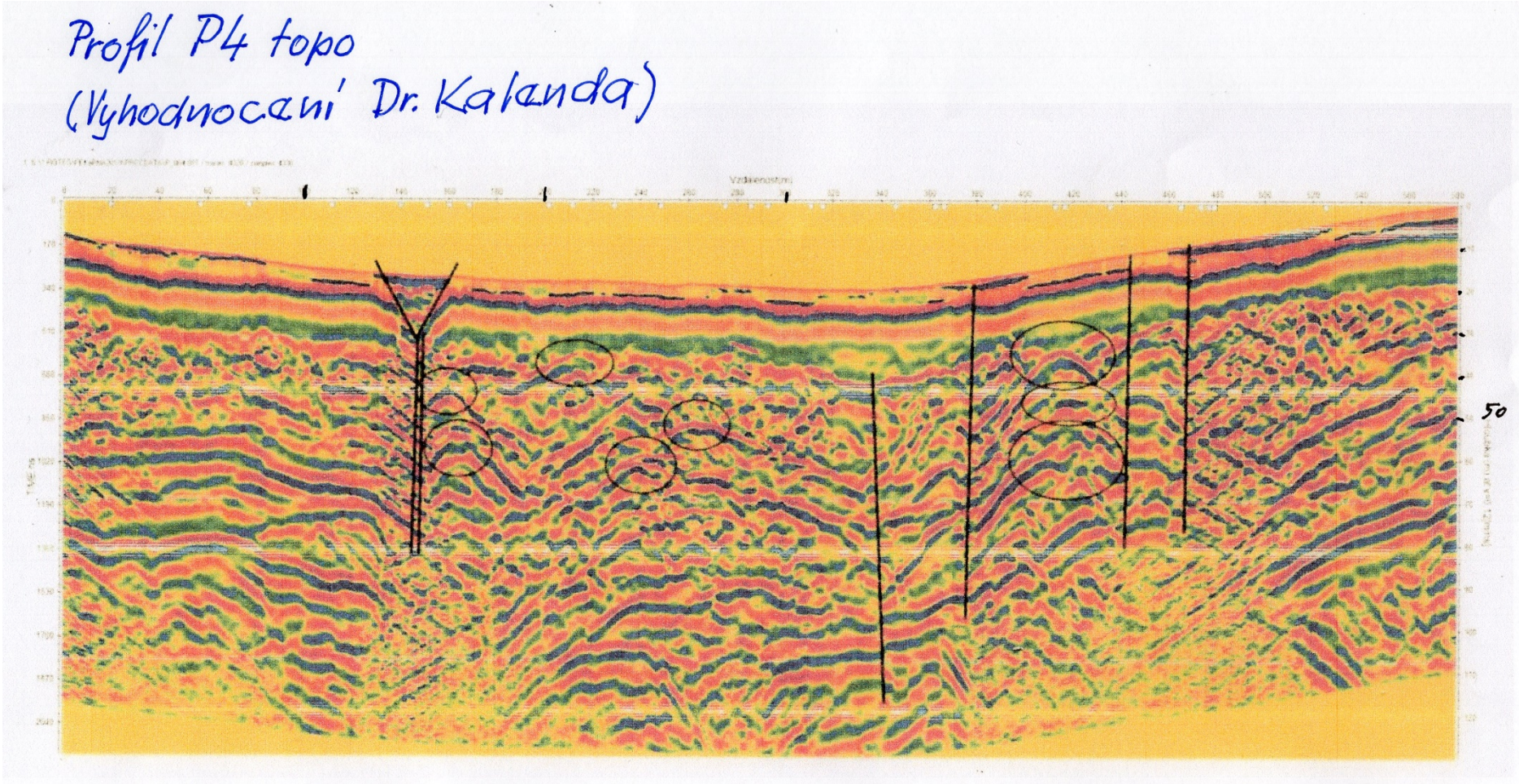
Ve staničení 140 – 160 m je velice dobře patrný závrt (dnes zcela vyplněný), který je založen na významné tektonice směru SV-JZ (podle měření v roce 2017). Na ní jsou vázány taky významné dutiny (pravděpodobně jeskyně) v hloubkách 27 m a 36 m. Další dutiny jsou ve staničení 212 m a hloubce 15 m, ve staničeních 240 – 250 m v hloubce 40 m, ve staničení 260 – 265 m a hloubce 33 m. Nejvýznamnější dutina (asi jeskyně) je ve staničení 415 m v hloubce 20 m, která pokračuje do hloubky 30 m (výška je cca 10 m). Pod ní se nachází další dutina v hloubce 45 m.

Řada subhorizontálních struktur s velkými reflexy představuje pravděpodobně mezivrstevní spáry nebo násunové plochy přesmyků. V obou případech není vyloučena velká koroze a tvorba dutin a jeskyní.

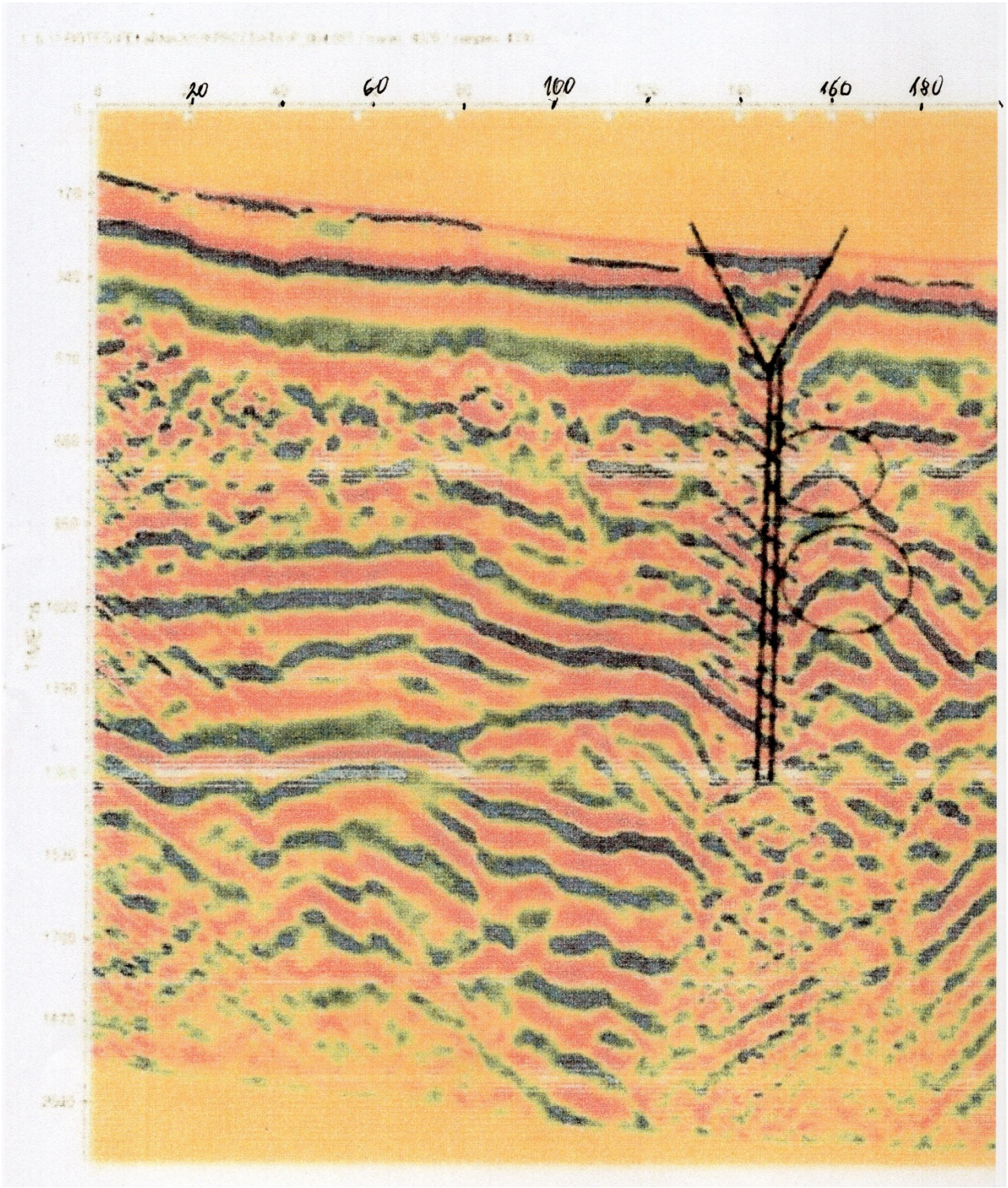
Profil P5

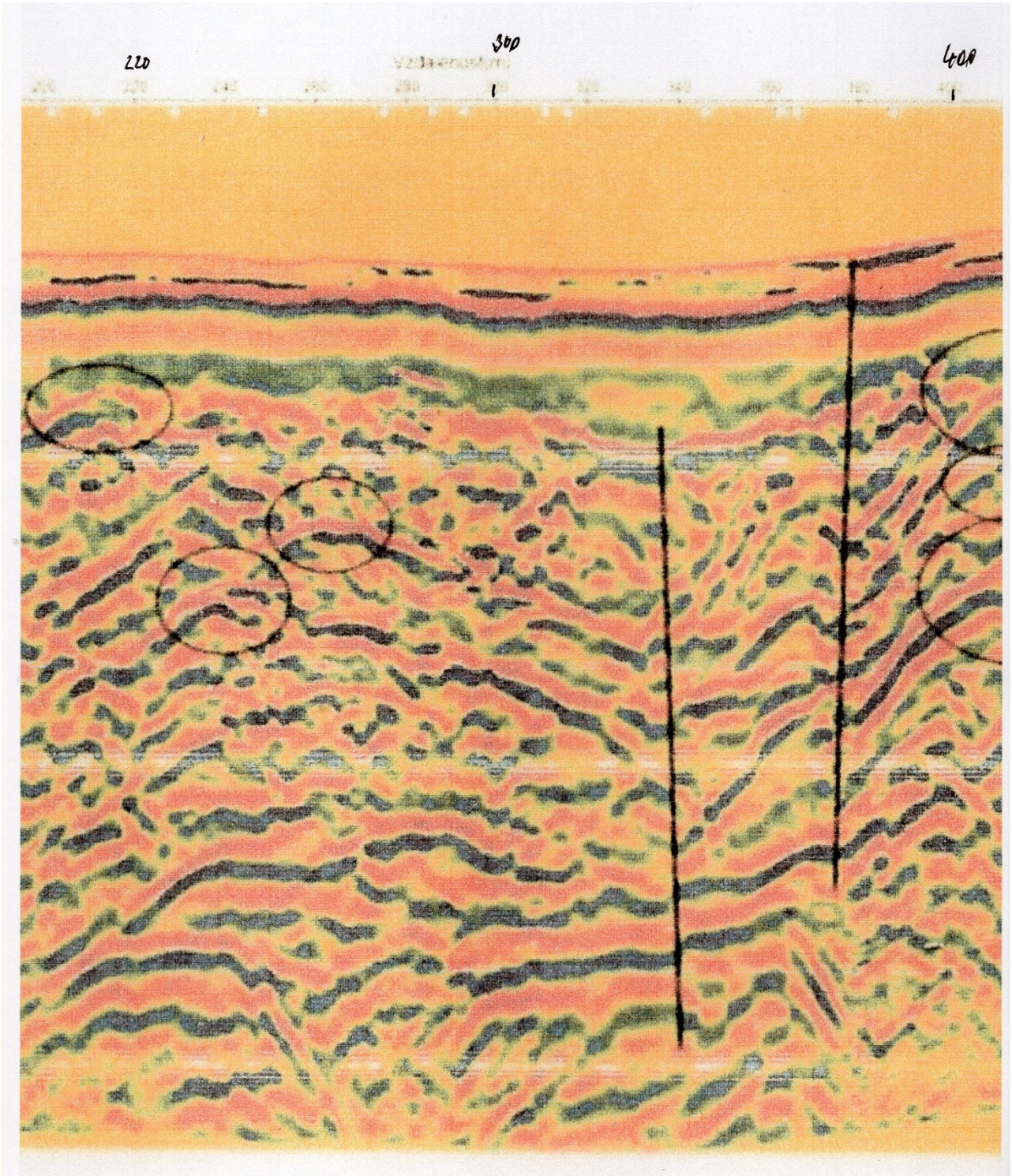
Na profilu P5 se nacházejí pouze pokračování reflexů z profilu P4, ale při povrchu není žádný střed dutiny. Pouze na začátku profilu se nachází v hloubce 83 m nevýrazná dutina a nad ní v hloubce 70 m je výrazný reflex (pokračování z profilu P4), který vznikl pravděpodobně na mezivrstevní spáře nebo násunové ploše přesmyku. Obdoba této plochy je pravděpodobně na začátku profilu P4 v hloubce 60 m.

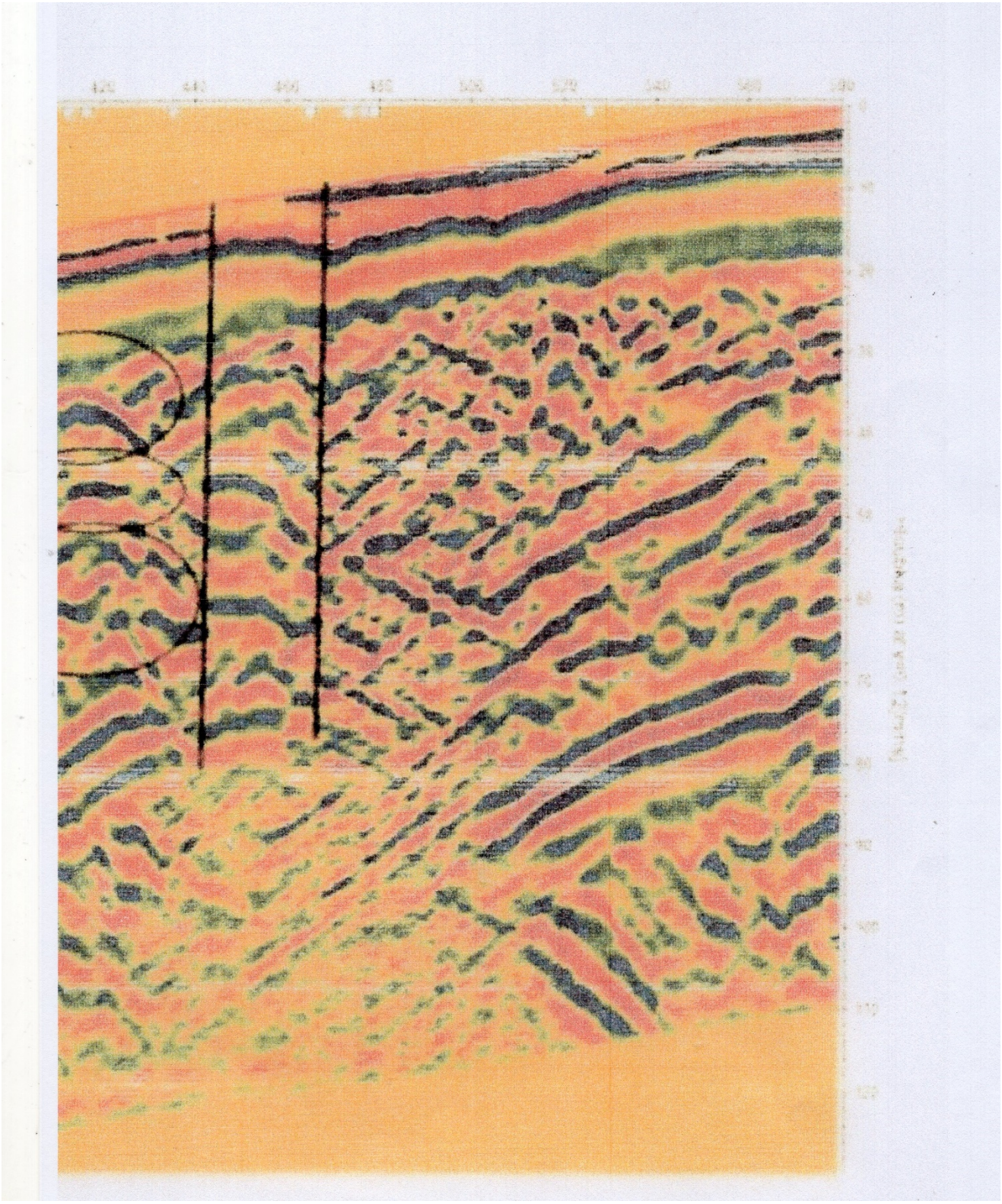
Profil P4 topo
(Vyhodnocení Dr. Kalanda)



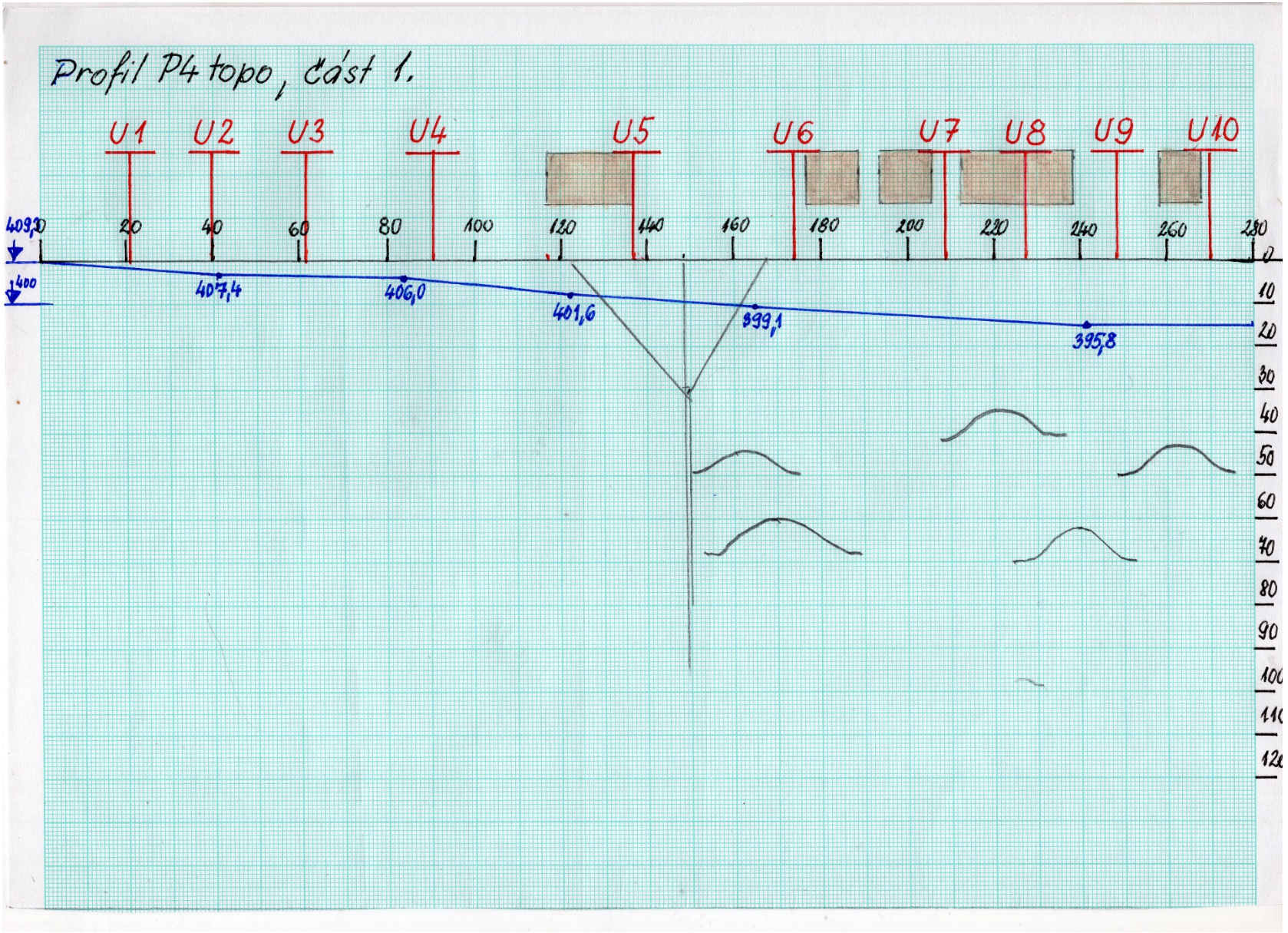
50

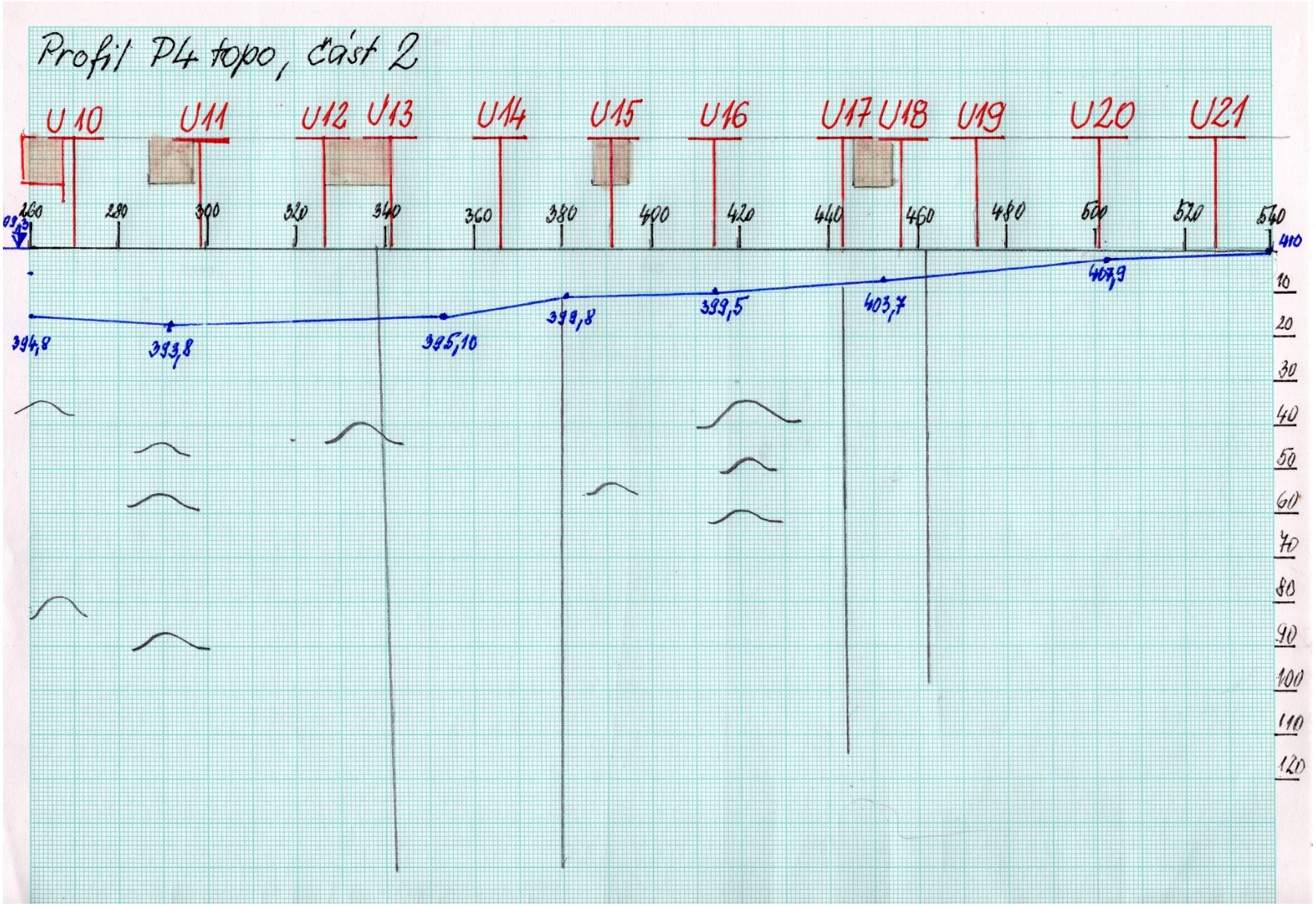

20
60
100
160
180

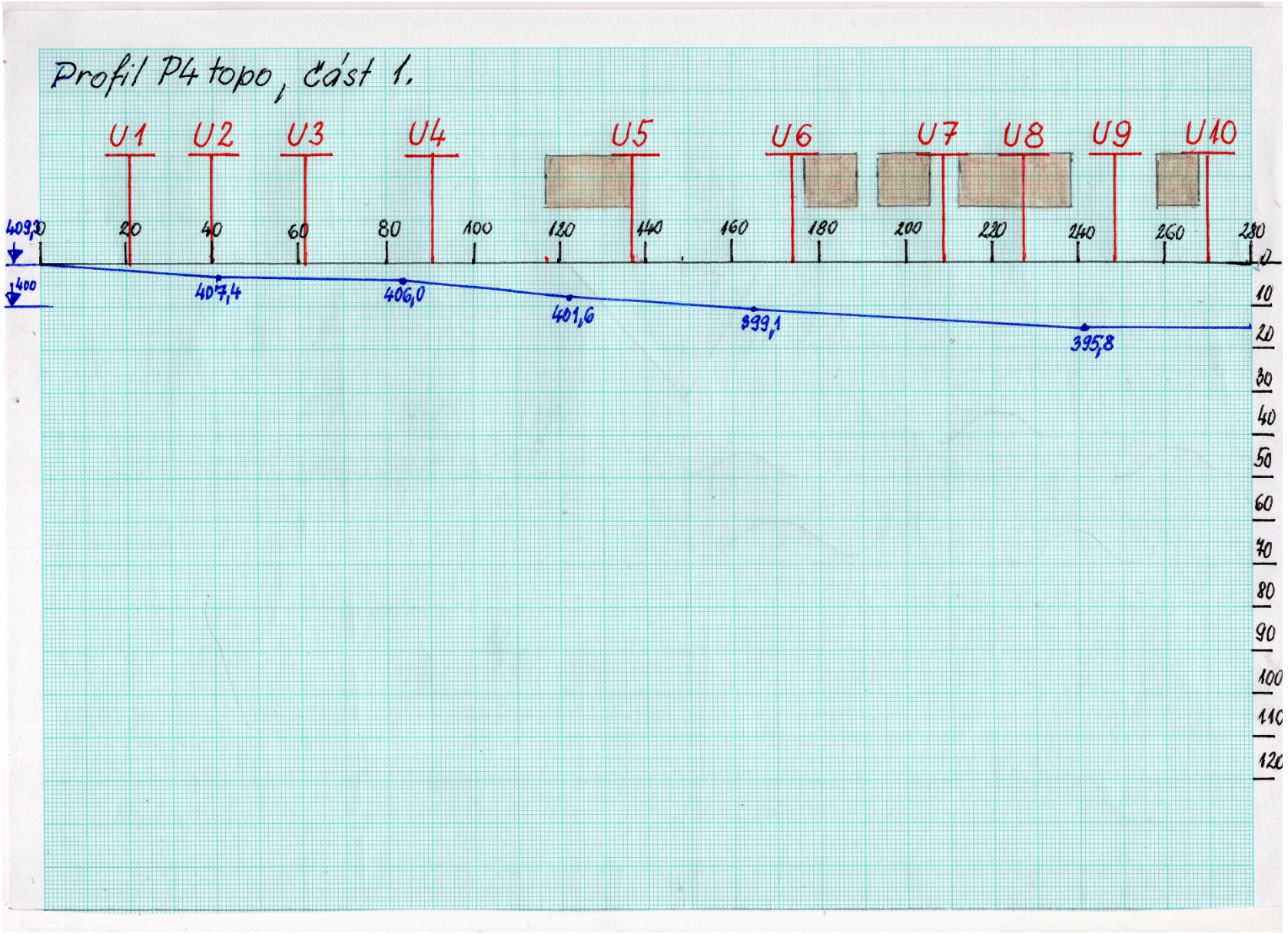

220
300
400

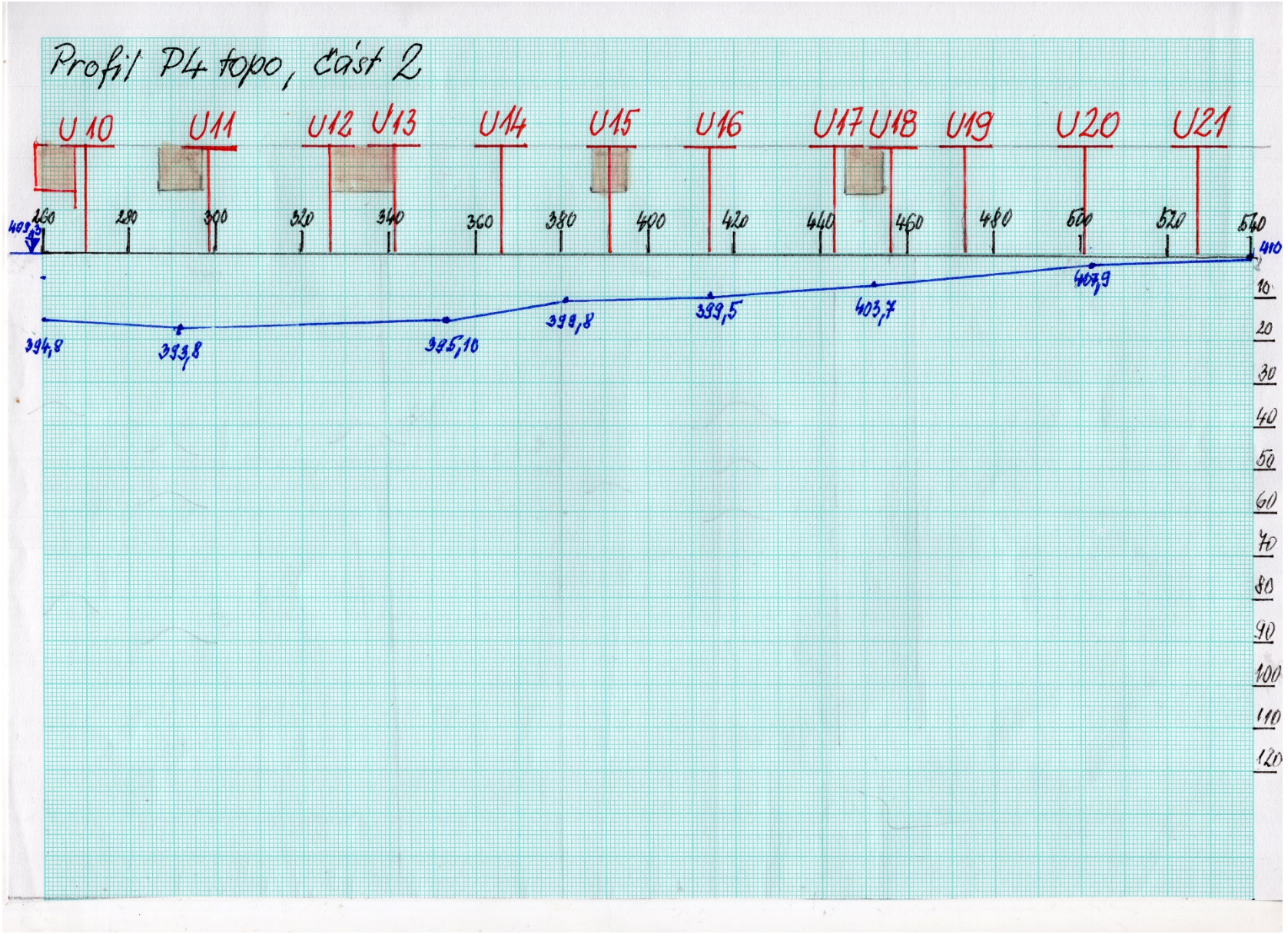


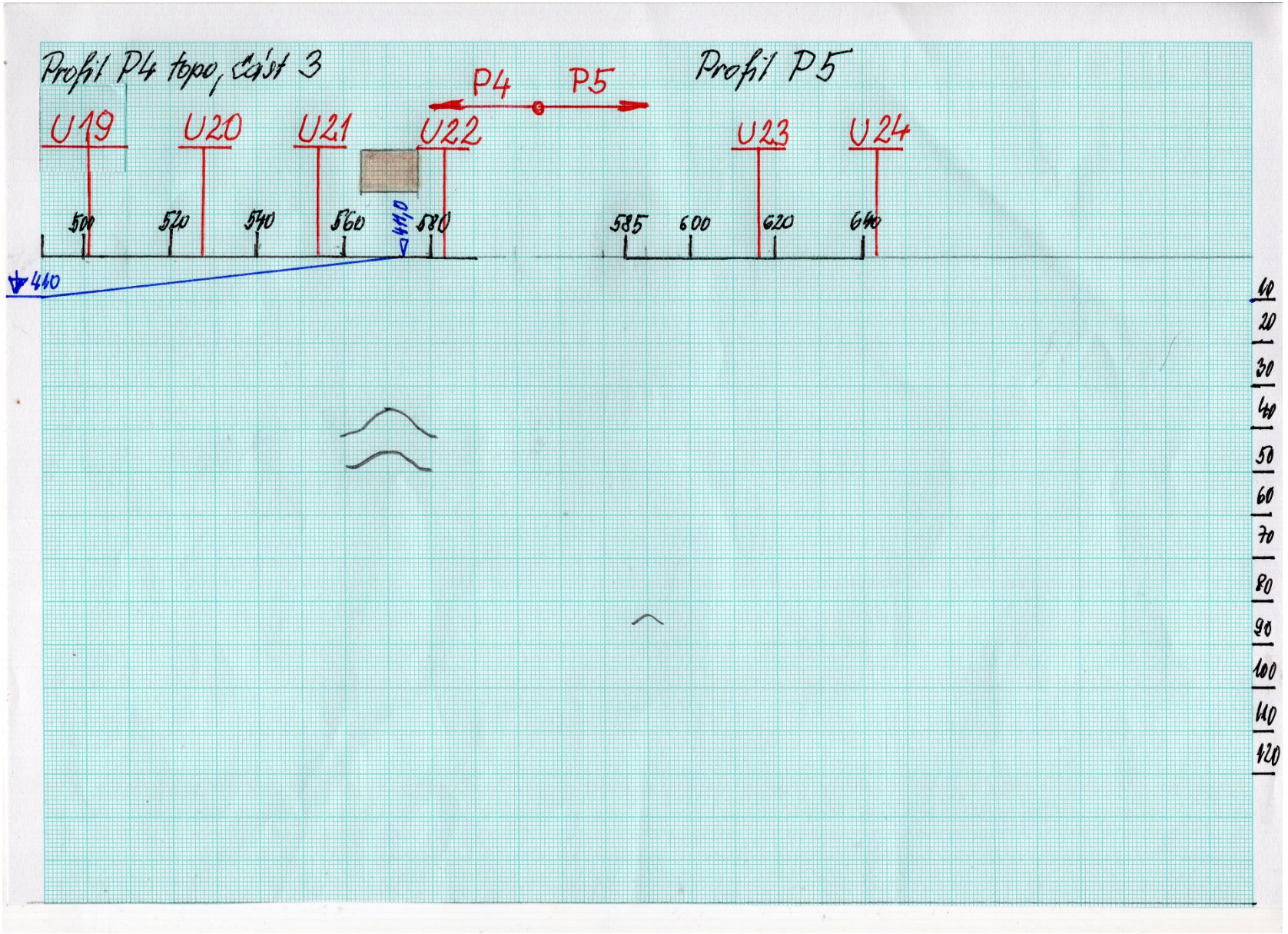
140
160
220
240
260
420
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Hloubka (m) at v=0.12[m/ns]

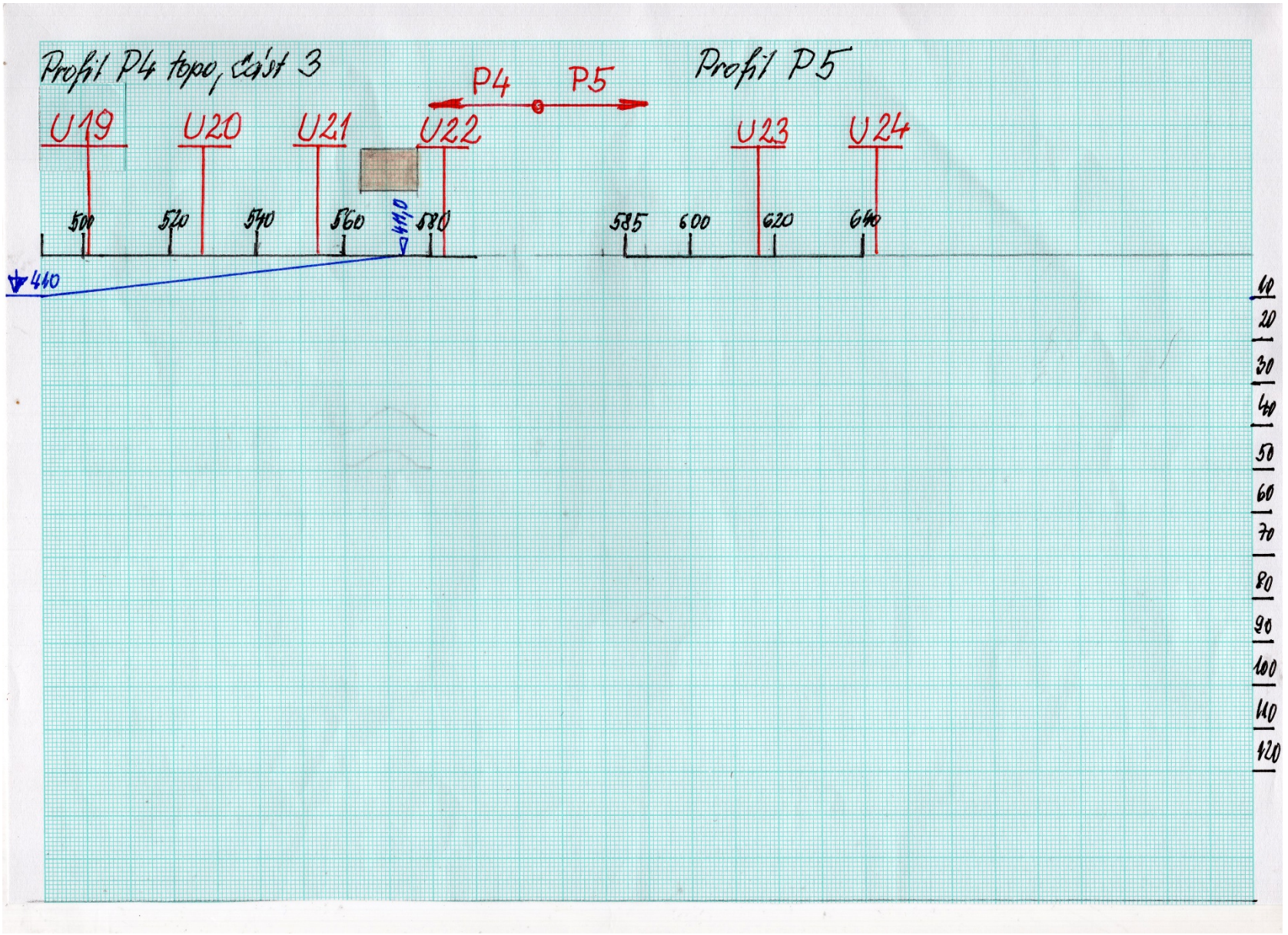

Profil P4 topo, část 1.
U1
U2
U3
U4
U5
U6
U7
U8
U9
U10
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
407,4
406,0
401,6
399,1
395,8


Profil P4 topo, část 2
U 10
U11
U12
U13
U14
U15
U16
U17
U18
U19
U20
U21
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440
460
480
500
520
540
410
394,8
393,8
395,10
398,8
399,5
403,7
407,9
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120


Profil P4 topo, část 1.
U1
U2
U3
U4
U5
U6
U7
U8
U9
U10
409,0
400
407,4
406,0
401,6
399,1
395,8


Profil P4 topo, část 2
U 10
U11
U12
U13
U14
U15
U16
U17
U18
U19
U20
U21
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440
460
480
500
520
540
410
394,8
393,8
395,10
398,8
399,5
403,7
407,9
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120


Profil P4 topo, část 3
P4
P5
Profil P5
U19
U20
U21
U22
U23
U24
500
520
540
560
441,0
580
585
600
620
640
440
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120


Profil P4 topo, část 3
P4
P5
Profil P5
U19
U20
U21
U22
U23
U24
500
520
540
560
580
585
600
620
640
441,0
440
40
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120

Georadarové měření v oblasti jeskyně Pekárny (plus-mínus)

6. prosince 2019

Profil P5

Měření tohoto profilu je lokalizováno mezi pevné body trasy U a to PB U 21 a PB U 22

P_005

P_005

GPS Tracklog

408.60

0.00m

408.90

0.87m

410.90

587.77m

411.50

591.38m

413.70

604.24m

413.60

606.69m

413.60

613.63m

414.10

629.37m

414.00

631.10m

414.30

633.13m

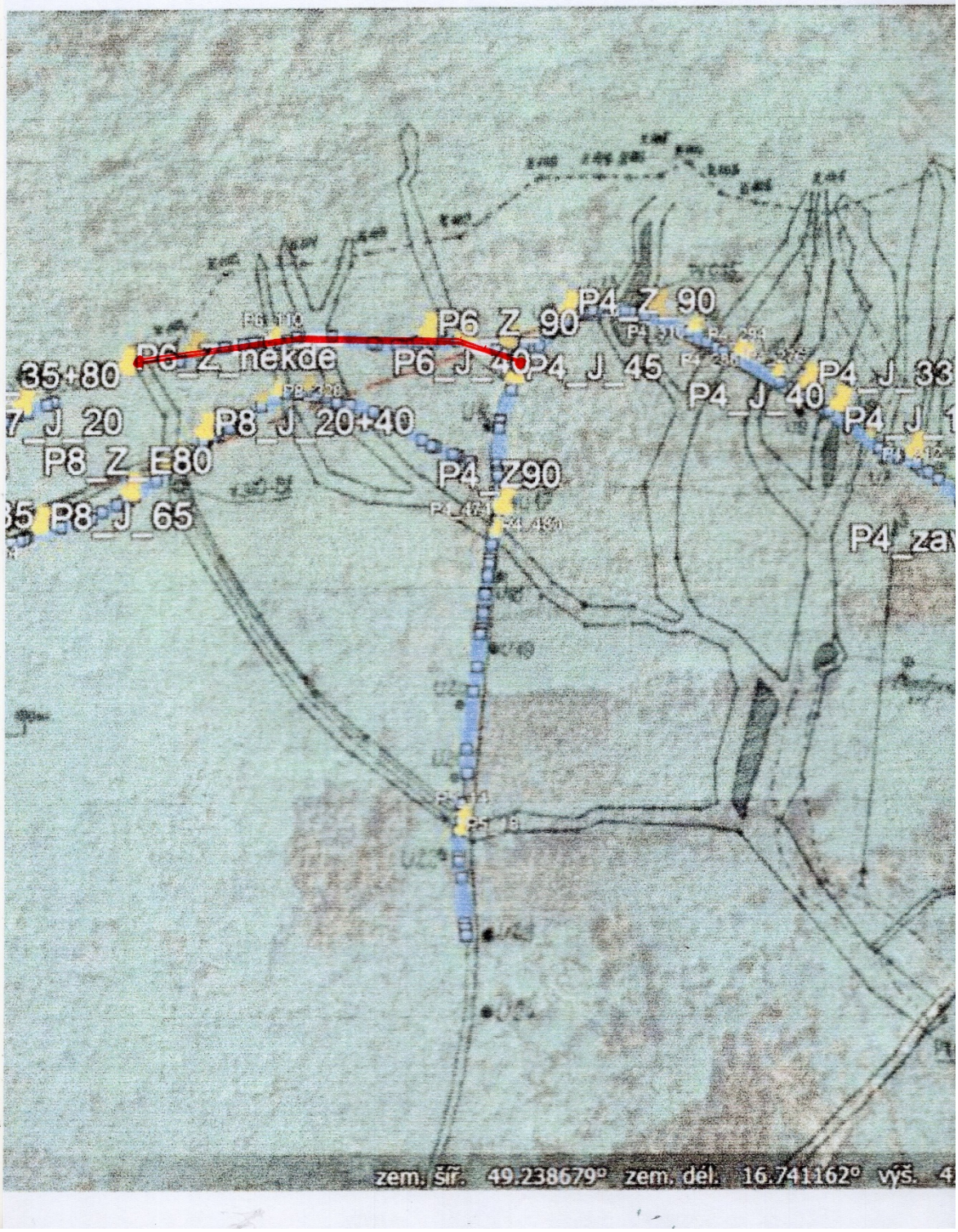
Georadarové měření v oblasti jeskyně Pekárny (plus-mínus)

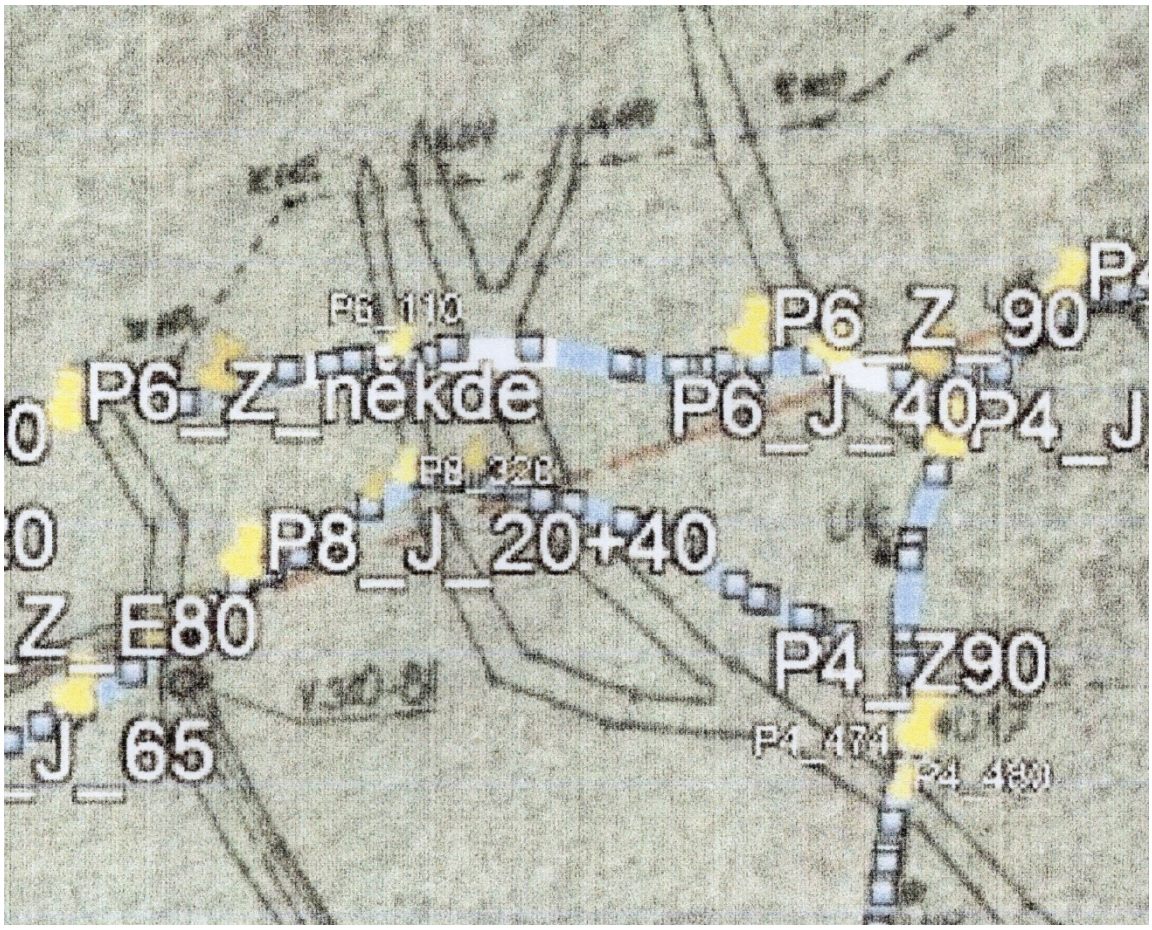
6. prosince 2019

Profil P6

Trasa profilu P6 odbočuje z trasy U. Začíná u PB U 15 a jde napříč terénem, směrem přibližně západním, při čemž protíná tři telegnosticky zaměřené anomálie a na čtvrté z nich končí na trase Z (mezi PB Z 113 a PB Z 114).

Trasa Profilu P6





Detail trasy Profilu P-6

P_006

P_006

GPS Tracklog

404.80

0.00m

402.30

7.22m

402.20

8.96m

402.30

11.41m

401.90

27.88m

402.50

38.71m

402.20

44.35m

403.60

47.81m

404.80

50.70m

404.50

52.44m

405.50

61.10m

405.70

62.84m

405.20

80.17m

408.80

93.60m

408.70

94.62m

408.00

98.80m

407.60

101.84m

407.70

102.56m

408.30

111.23m

408.60

113.25m

408.80

114.40m

409.70

117.44m

409.50

124.23m

409.60

125.24m

409.60

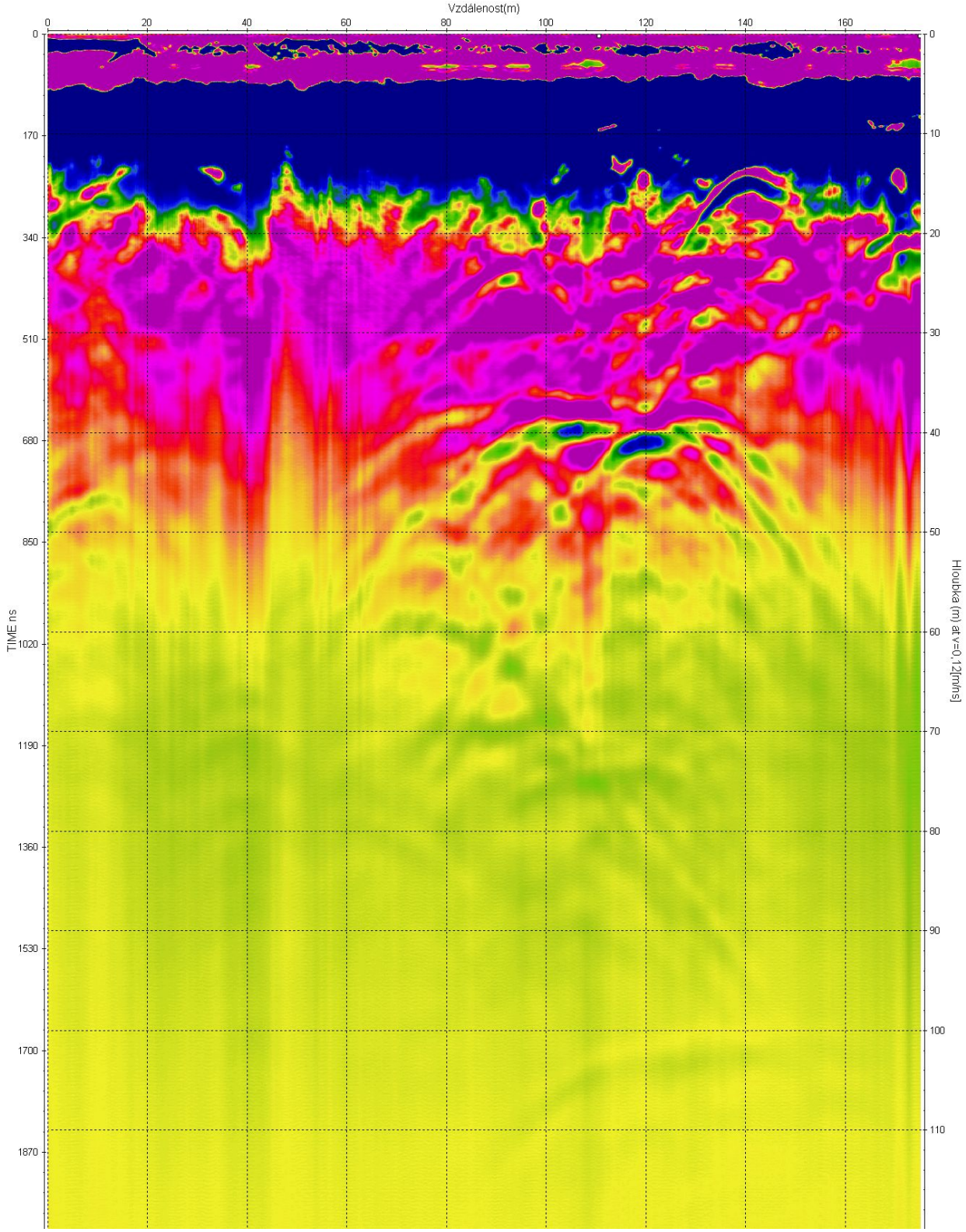
134.92m

410.20

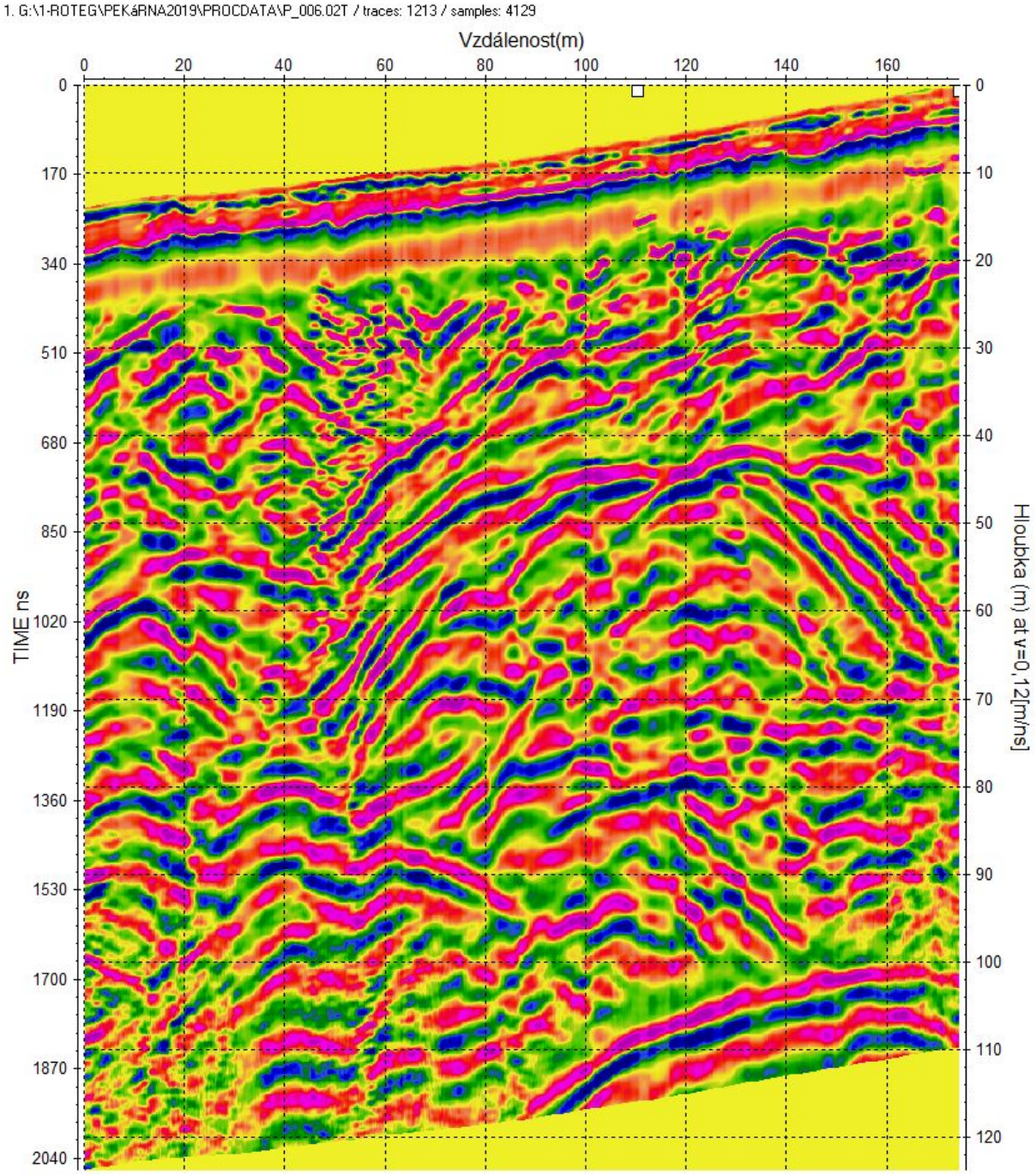
144.02m

409.70

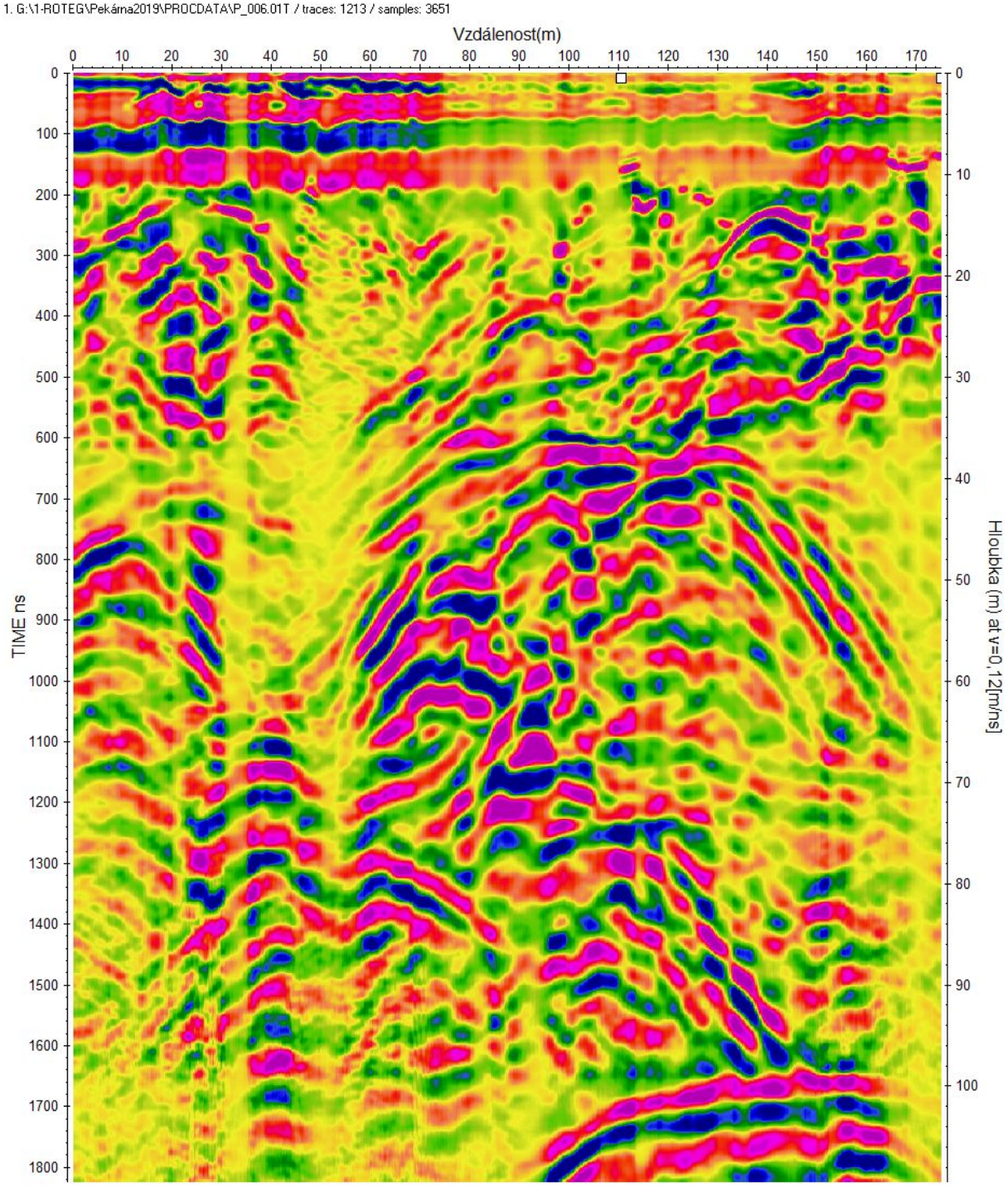
145.03m


Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
TIME n s
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110

Profil P6nf

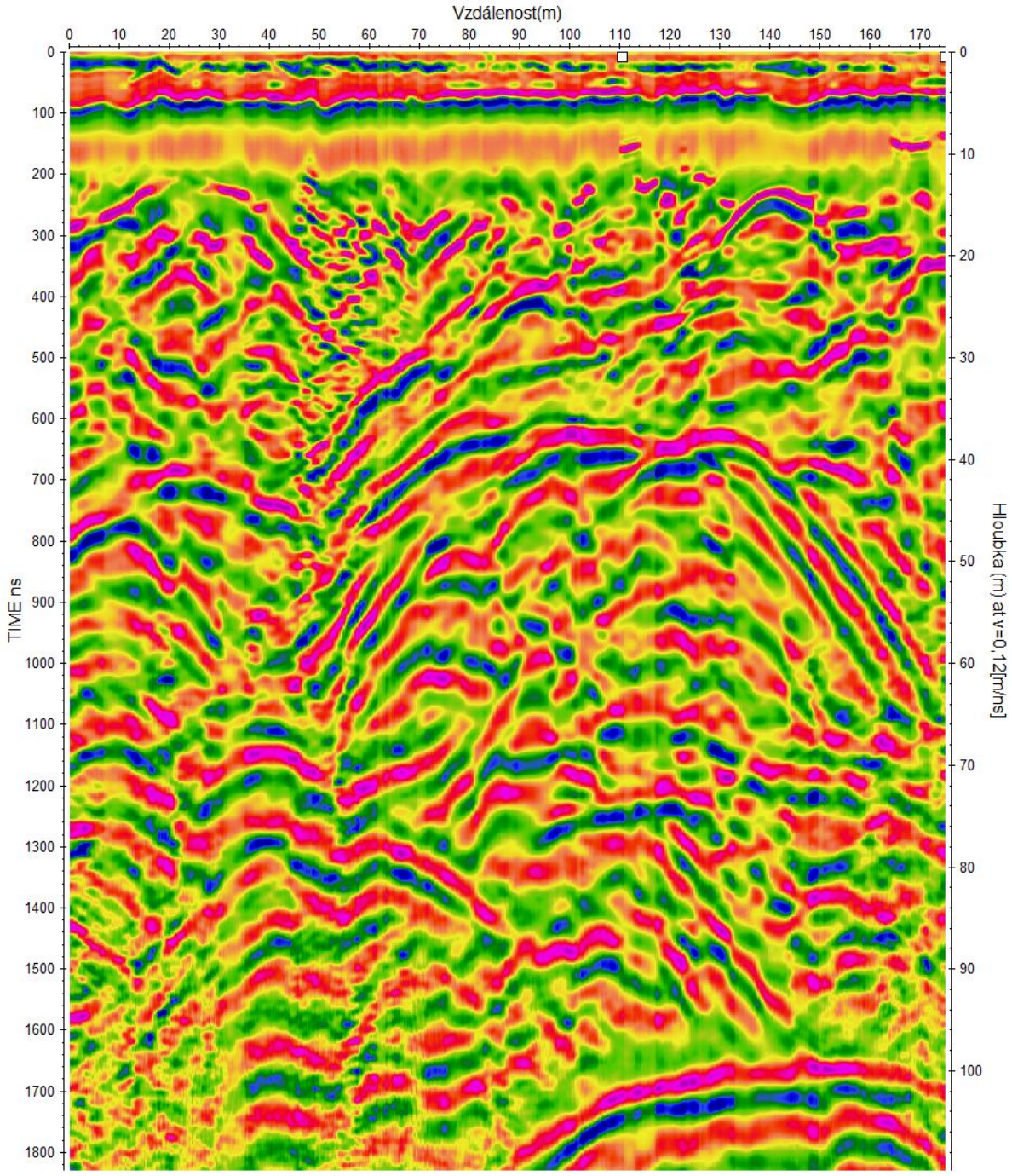


Profil P6 topo


1. G:\1-ROTEG\Pekárna2019\PROCDATA\P_006.01T / traces: 1213 / samples: 3651
Vzdálenost(m)
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170
TIME ns
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

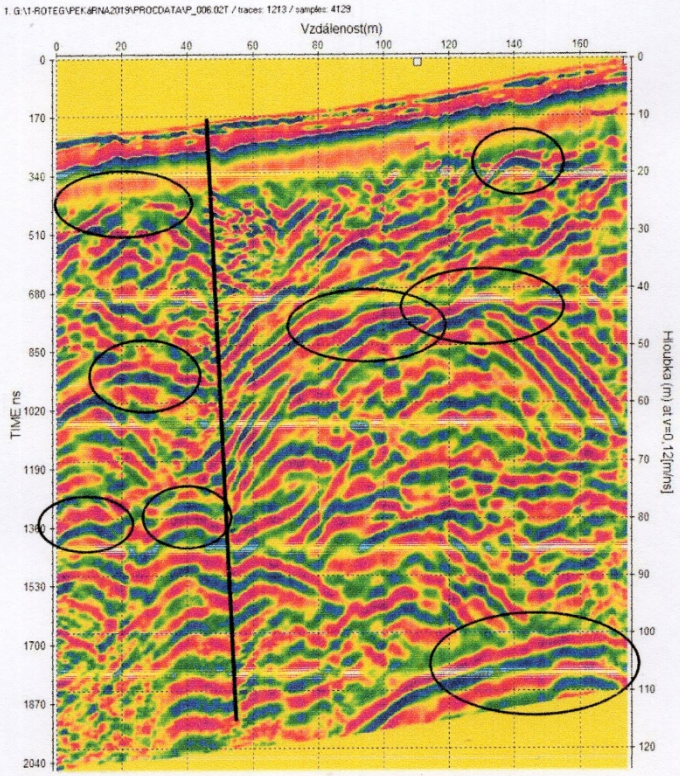
Profil P6

1. G:\1-ROTEG\Pekárna2019\PROCDATA\P_006.00T / traces: 1213 / samples: 3661



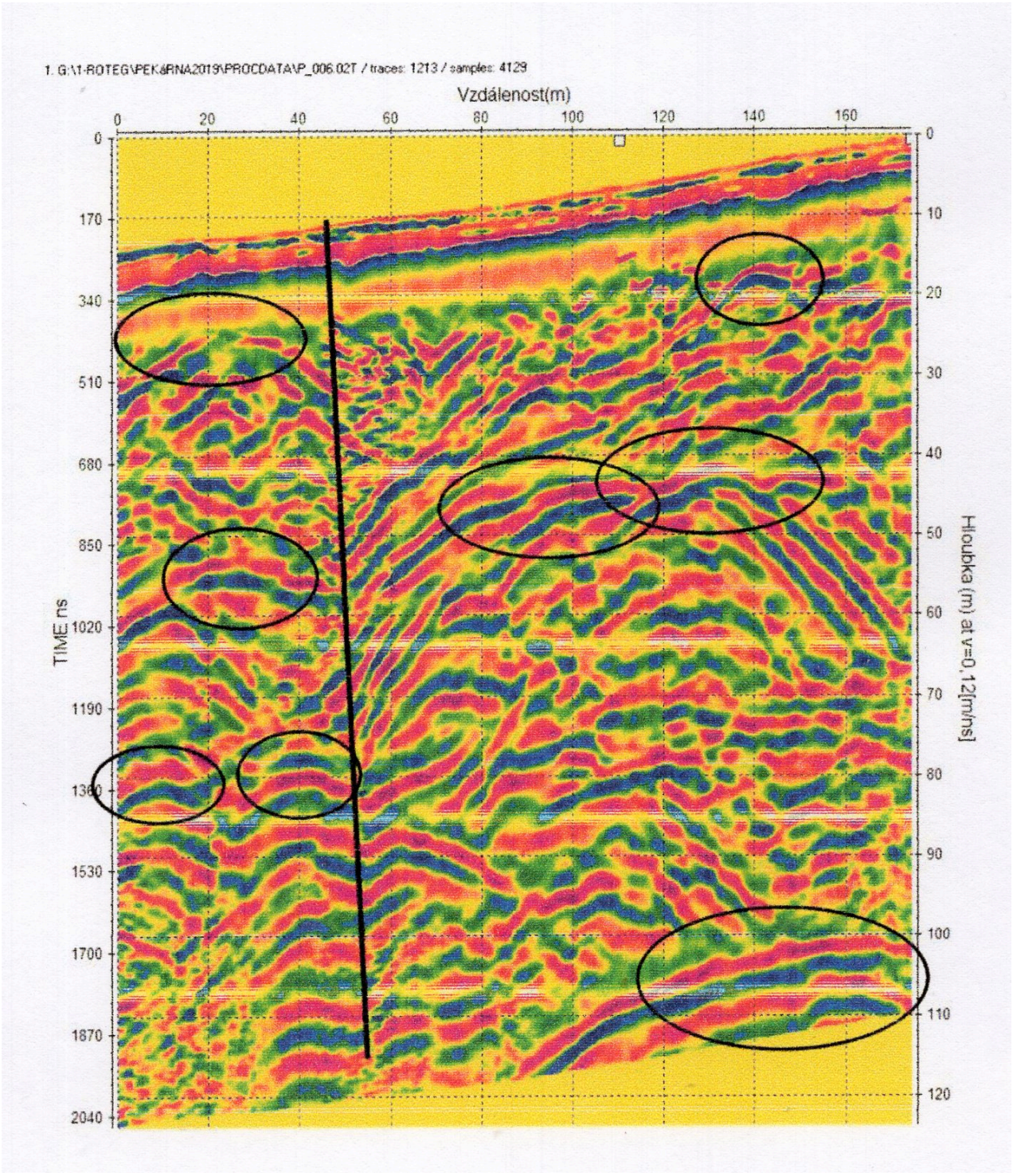
..

Profil P6

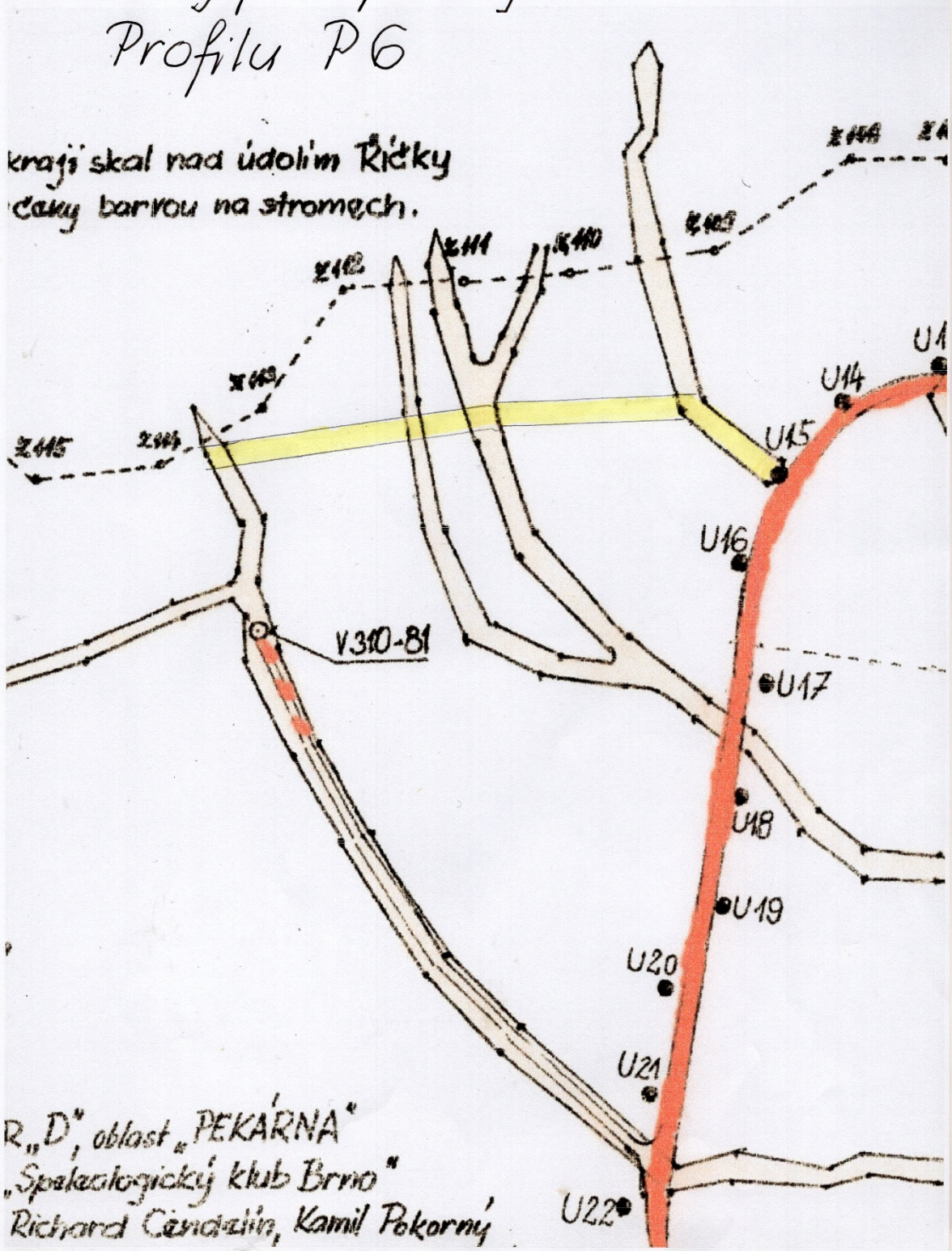


Obr. 9 - Radarogram na profilu P6 s topokorekcemi.

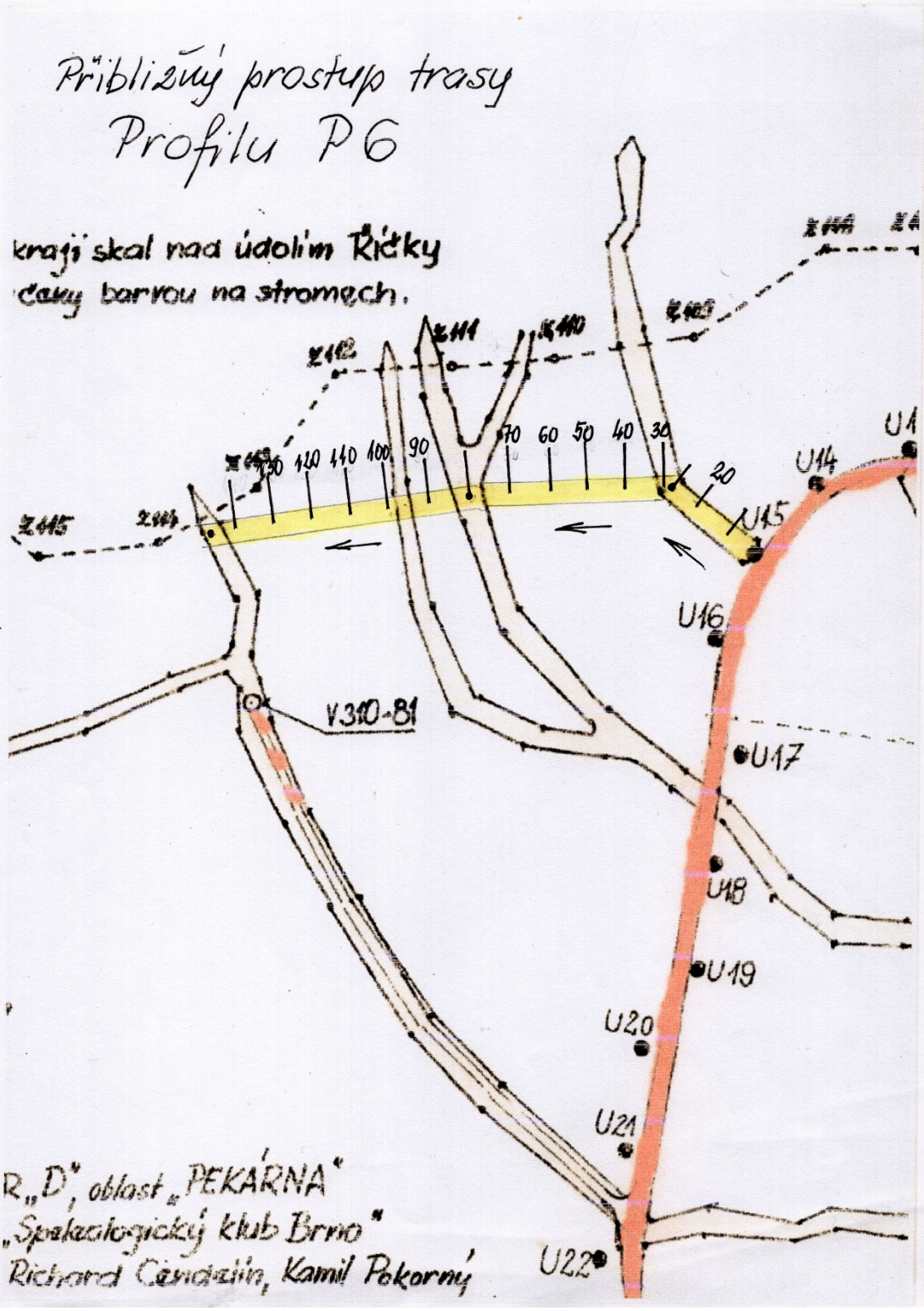
Na začátku profilu P6 se nad sebou nacházejí významné jeskyně v hloubkách 12 m, 40 m a 70 m, které jsou založeny v blízkosti tektonické poruchy pravděpodobného směru SZ-JV a která vychází na povrch ve staničení 45 m. Významná zkrasovatělá poloha se táhne od staničení 80 m do 130 m a je v hloubce 37 m. Ve staničení 140 m je v hloubce 15 m výrazná dutina. Pod celým koncem profilu je výrazné odrazné rozhraní v hloubce 100 m, což je pravděpodobně styk vápenců s podložními bazálními klastiky Old Red, které je výrazně korodované (Slezák a kol. 2017) a které bylo také detekováno při měření v roce 2017 (Kalenda a kol. 2018). Někde okolo konce profilu P6 se nachází významná tektonika, protože radarogramy profilů P6 a P7 na sebe nenavazují a konec profilu P6 je „rozbitý“.


1. G:\1-ROTEG\PEK&RNA2019\PROCDATA\P_006.02T / traces: 1213 / samples: 4129
Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
2040
Hloubka (m) at v=0,112[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120

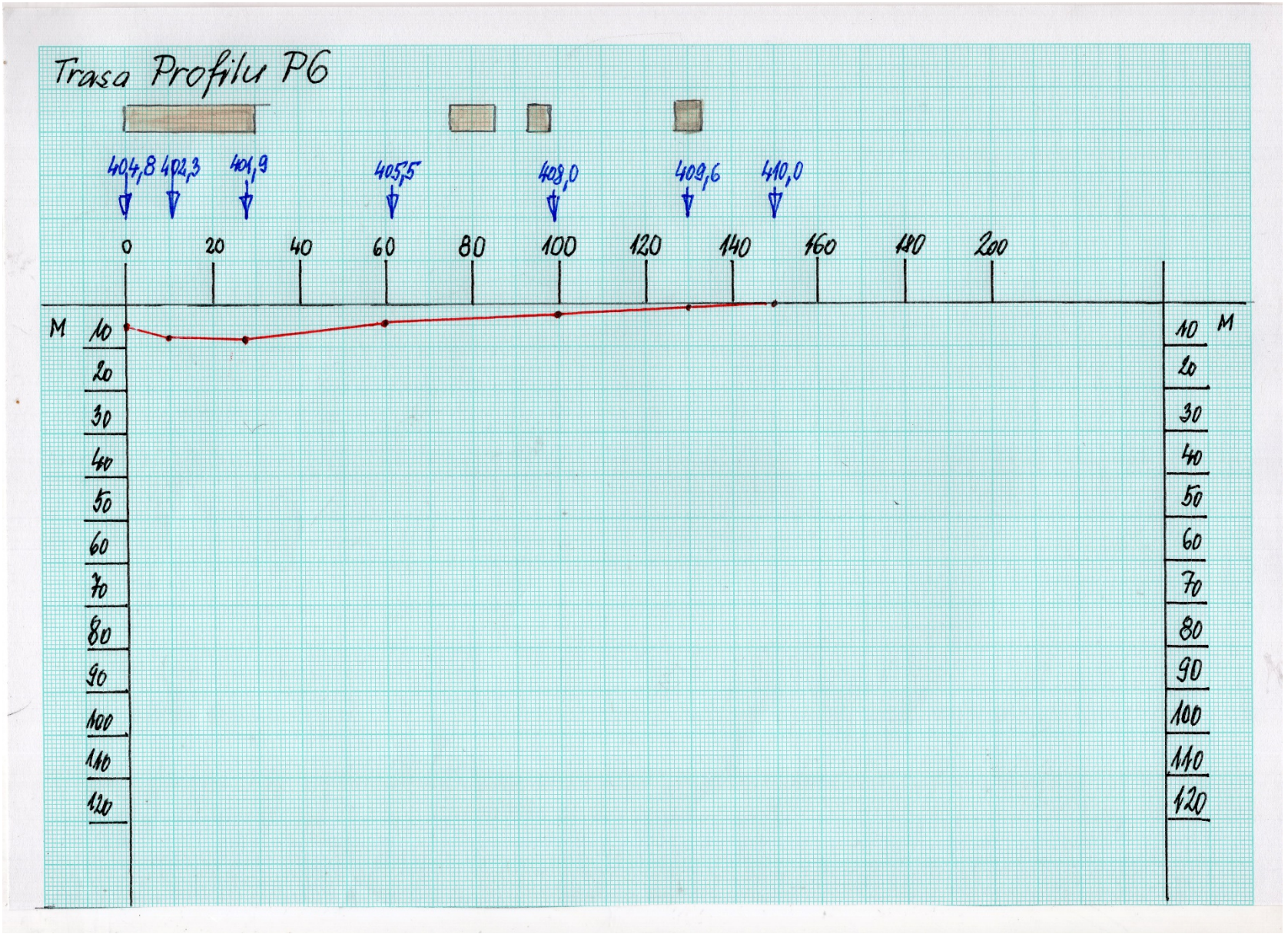
Přibližný prostup trasy
Profilu P6



Přibližný prostup trasy
Profilu P6



R „D", oblast „PEKÁRNA"
„Speleologický klub Brno"
Richard Čandrdlín, Kamil Pokorný

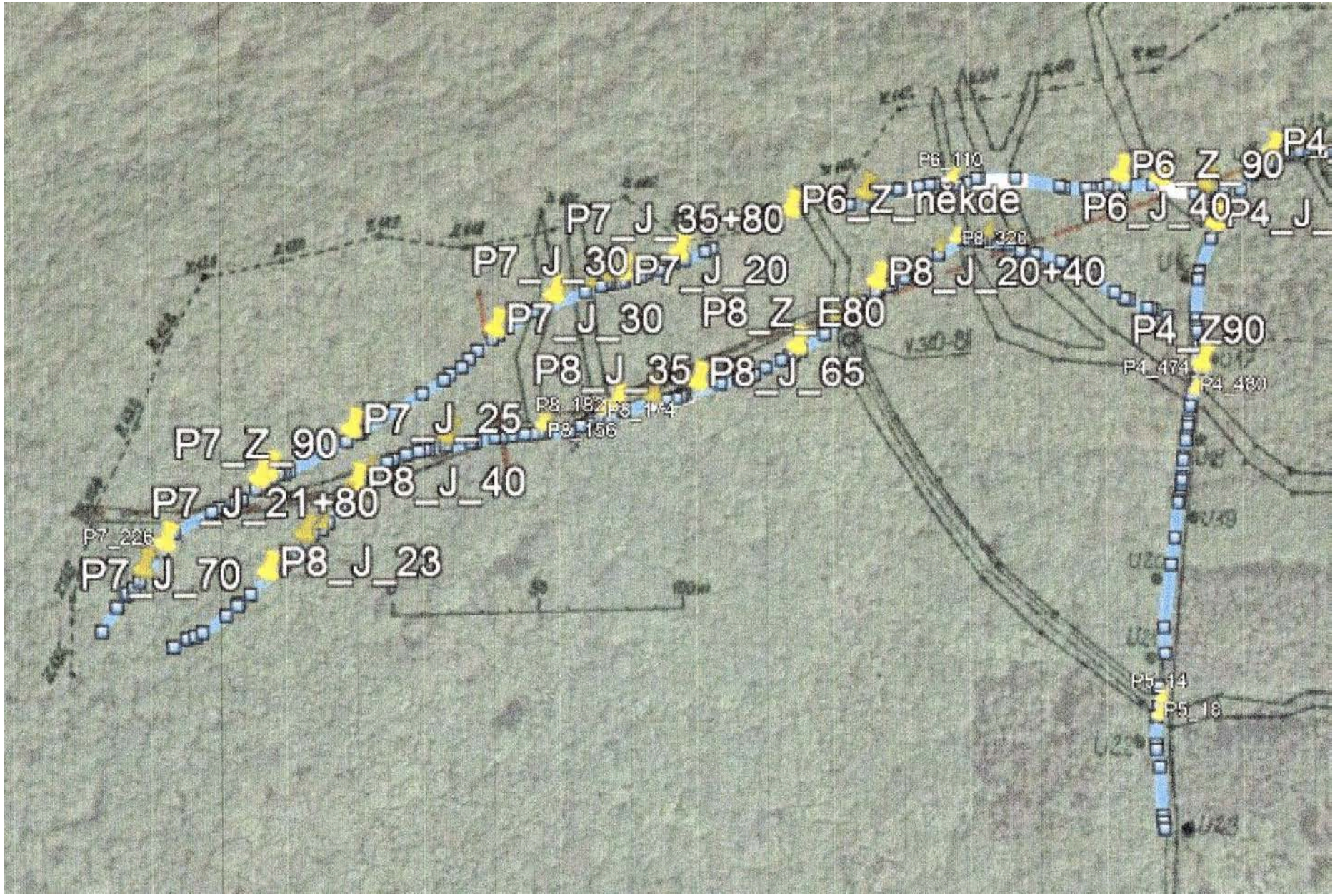

Trasa Profilu P6
404,8
402,3
401,9
405,5
408,0
409,6
410,0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
M
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
M
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120

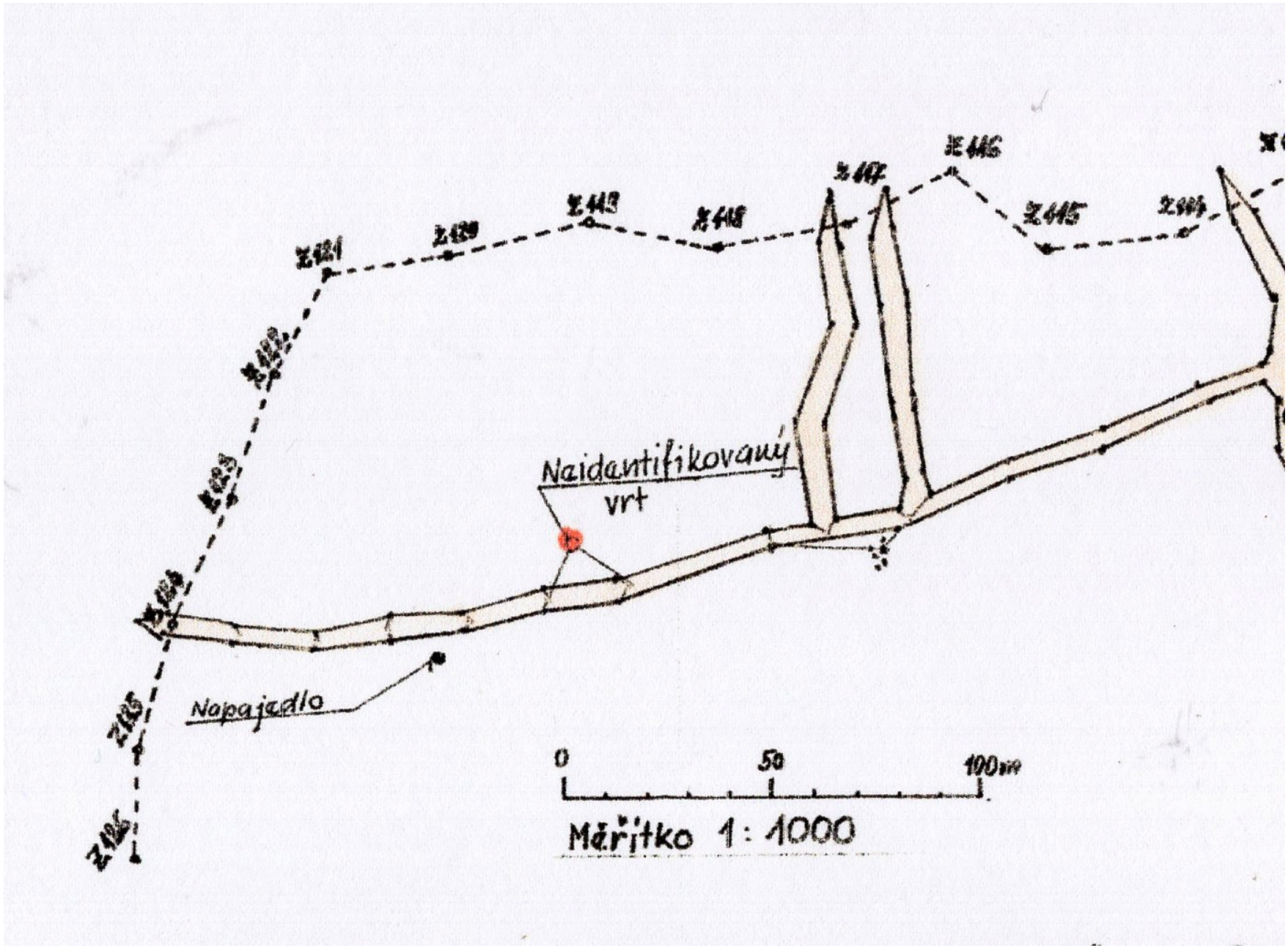
Georadarové měření v oblasti jeskyně Pekárny (plus-mínus)

6. prosince 2019

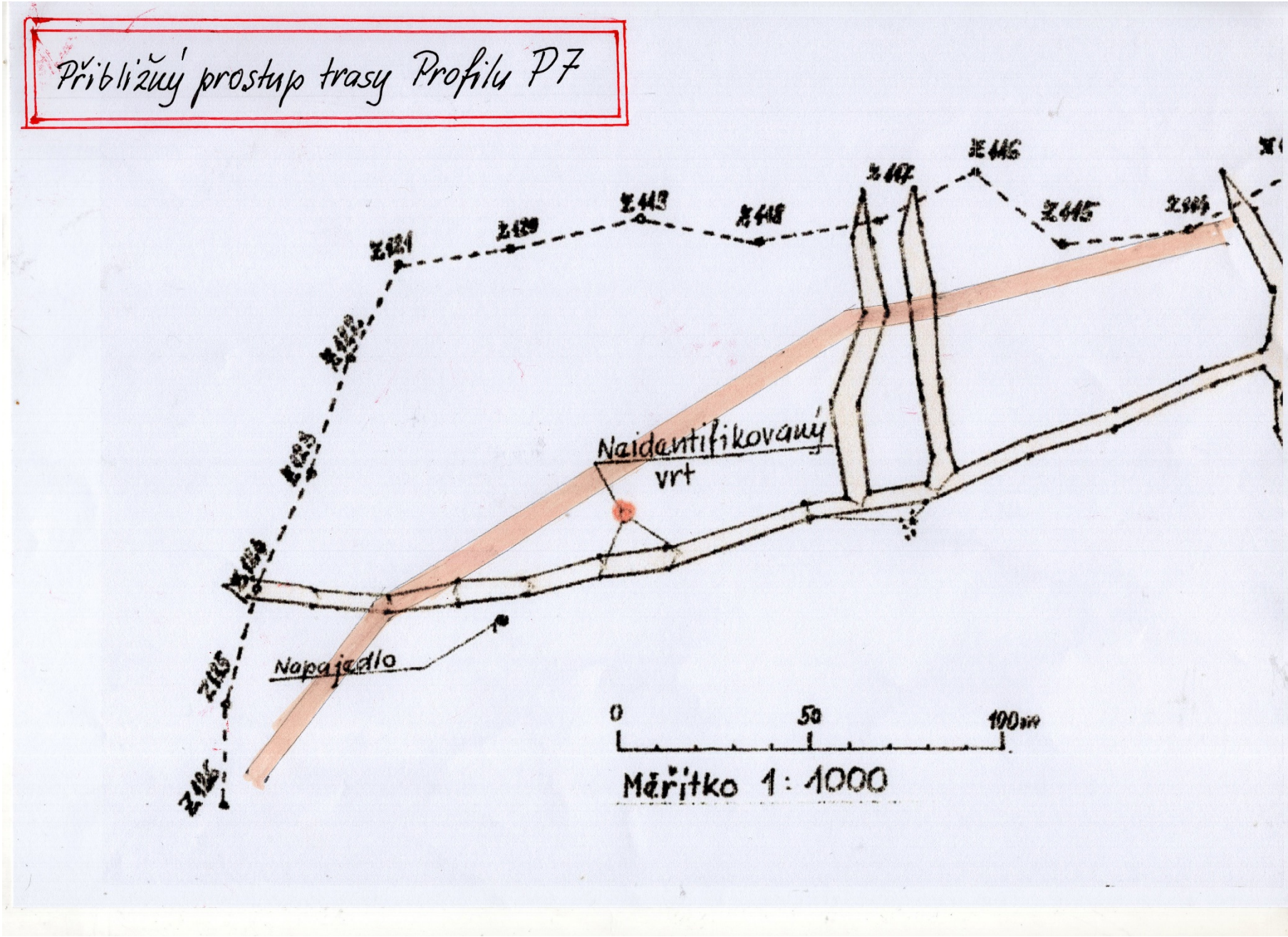
Profil P7

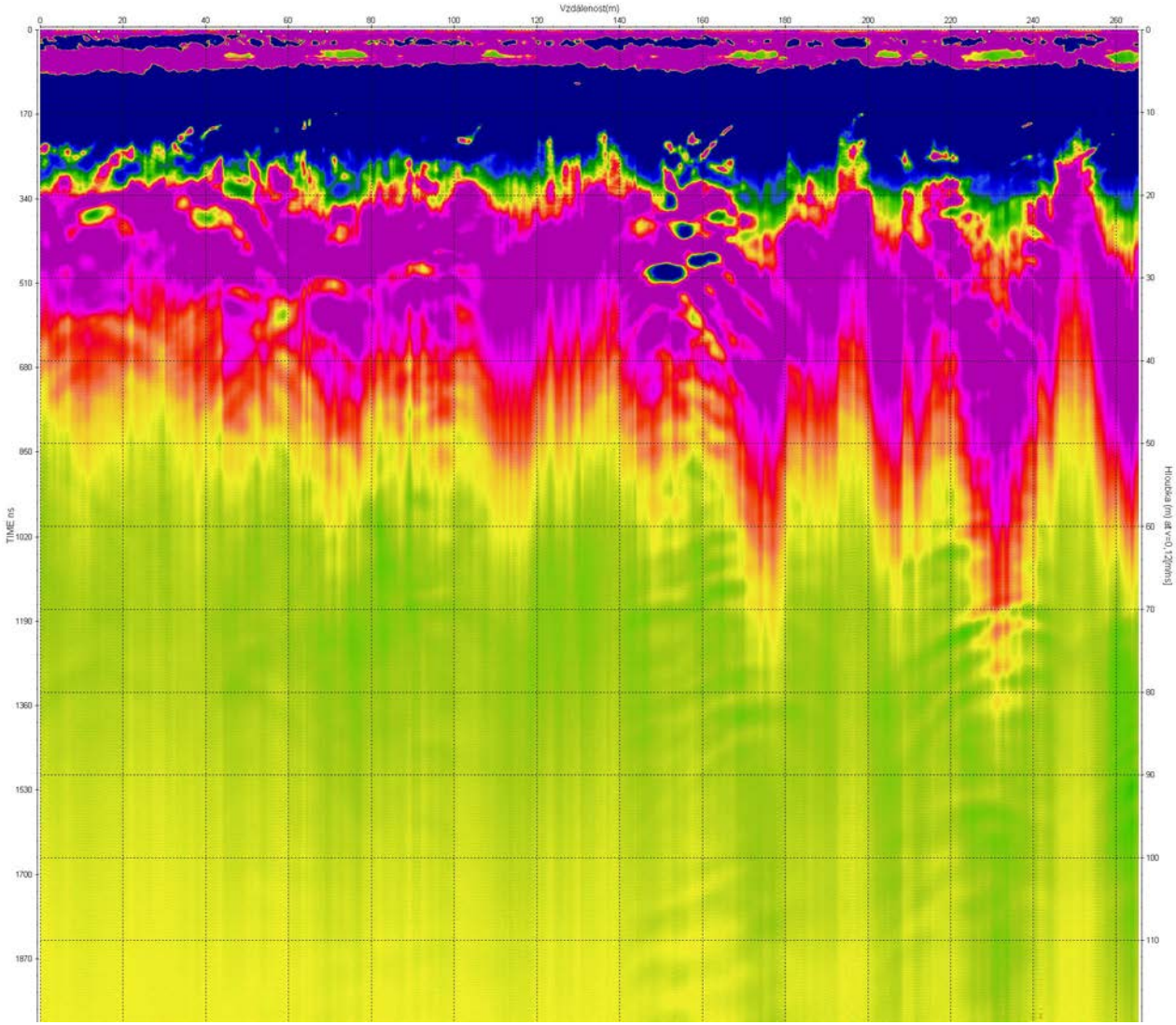
Trasa profilu P7 začíná od konce trasy P6. Z původního západního směru trasy P6 se lomí přibližně k jihozápadu a končí na trase Z na pevném bodu PB Z 126. (Viz mapu v příloze).

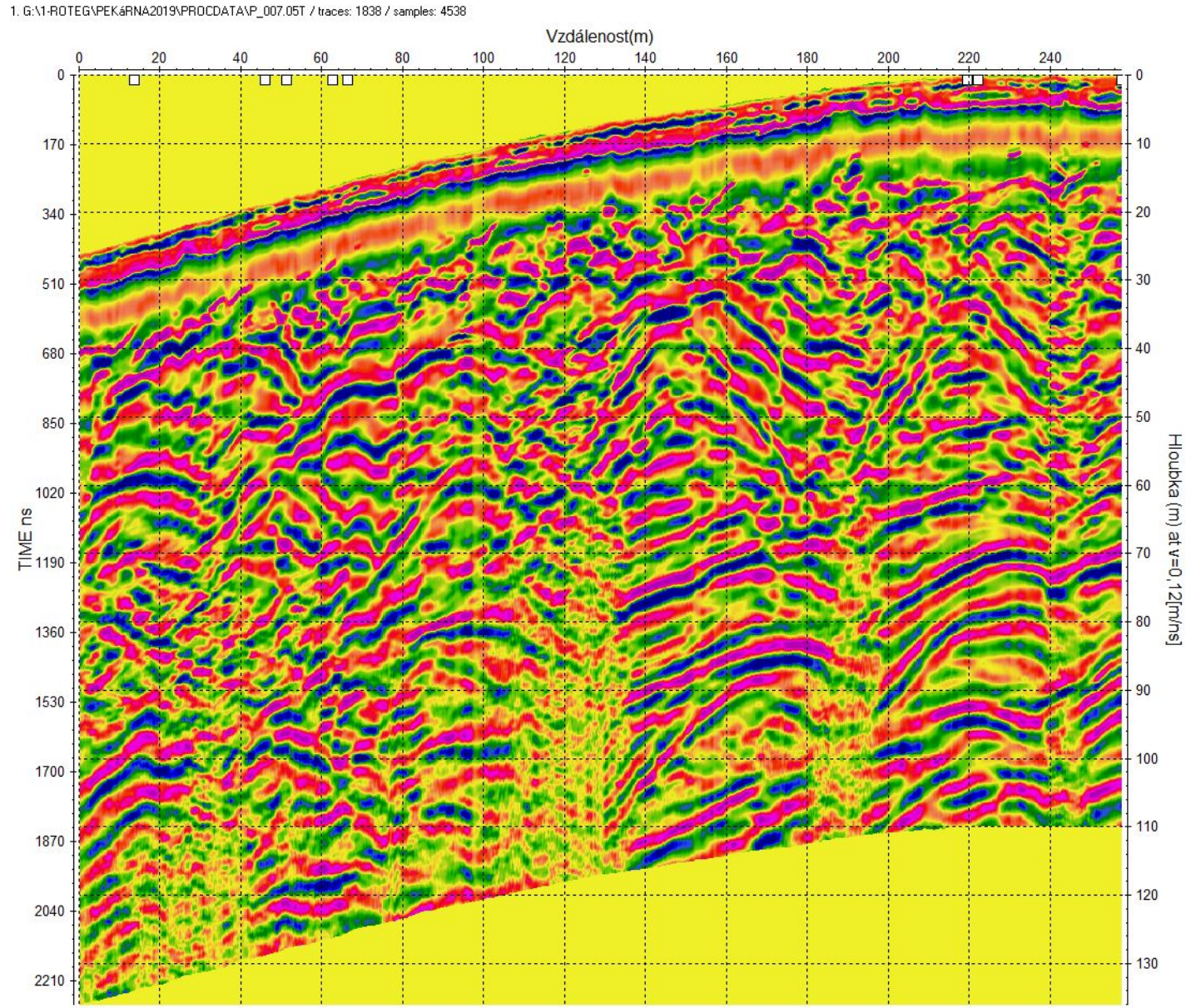

P6_110
P6_Z_90
P4
P6_Z_někde
P6_J_40
P4_J_
P8_320
P7_J_35+80
P7_J_30
P7_J_20
P8_J_20+40
P7_J_30
P8_Z_E80
P4_Z90
P8_J_35
P8_J_65
P1_474
P4_480
P8_182
P8_154
P8_156
P7_J_25
P7_Z_90
P8_J_40
P7_J_21+80
P7_226
P7_J_70
P8_J_23
P5_14
P5_18

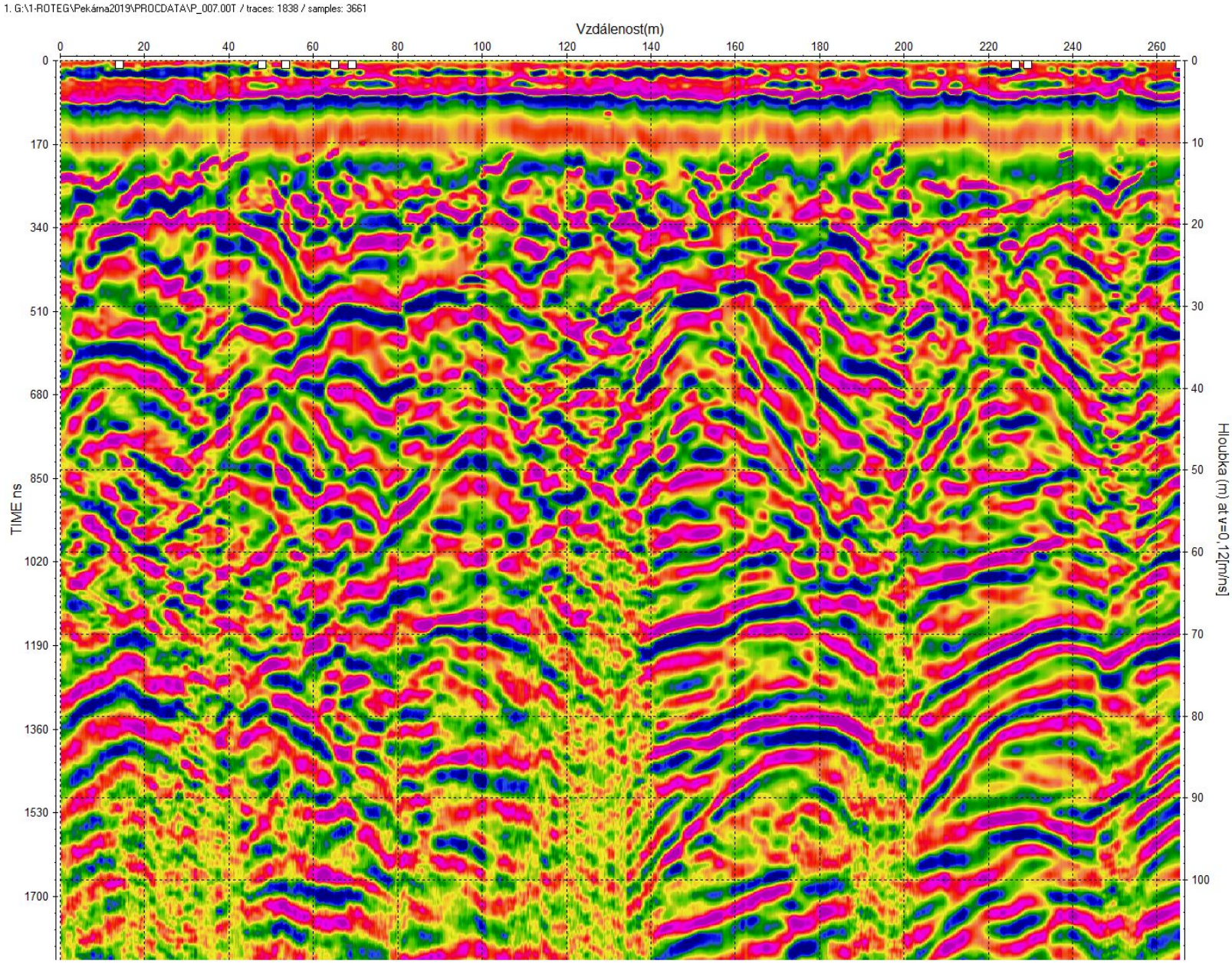

Z 121
Z 129
Z 113
Z 118
Z 117
Z 116
Z 115
Z 114
Z 123
Z 125
Z 126
Neidentifikovaný vrt
Napajedlo
0
50
100m
Měřítko 1 : 1000

Přibližný prostup trasy Profilu P7

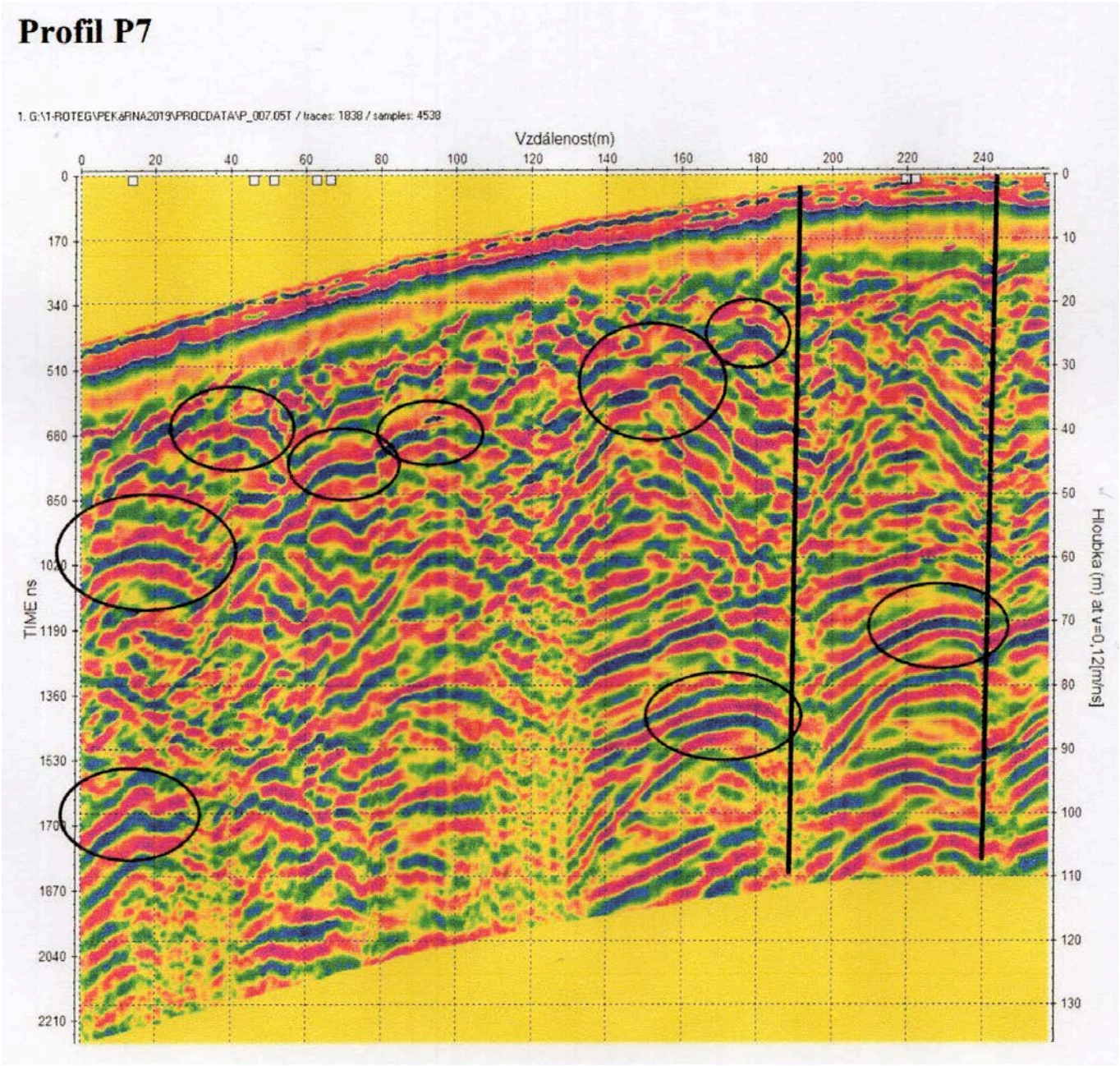



Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
Hloubka (m) při v=0.1m/ns
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110


1. G:\1-ROTEG\PEKáRNA2019\PROCDATA\P_007.05T / traces: 1838 / samples: 4538
Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
2040
2210
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130


1. G:\1-ROTEG\Pekárna2019\PROCDATA\P_007.00T / traces: 1838 / samples: 3661
Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
Hloubka (m) at v=0.12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

Profil P7


1. G:\1-ROTEG\PEKáRNA2019\PROCDATA\P_007.05T / traces: 1838 / samples: 4538
Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
2040
2210
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130

P_007

P_007

GPS Tracklog

411.20

0.00m

412.40

3.32m

414.60

12.42m

414.80

16.90m

416.00

24.12m

416.70

29.18m

416.60

31.63m

418.00

37.70m

418.50

38.86m

419.40

41.89m

419.90

43.19m

419.90

43.77m

419.70

45.07m

419.60

47.09m

420.80

52.15m

422.90

70.64m

423.90

85.37m

424.10

88.11m

424.00

94.47m

424.20

98.37m

425.60

102.99m

426.00

107.76m

427.30

110.94m

427.50

118.59m

432.30

143.29m

432.40

144.02m

432.40

144.88m

433.00

149.80m

432.90

170.31m

433.20

172.18m

434.00

173.20m

433.80

174.35m

433.50

176.66m

434.00

179.99m

434.90

183.45m

435.30

189.81m

435.50

191.97

436.10

197.46m

435.60

200.79m

436.70

215.23m

436.90

222.45m

437.00

237.48m

437.10

241.23m

436.60

244.27m

436.70

245.42m

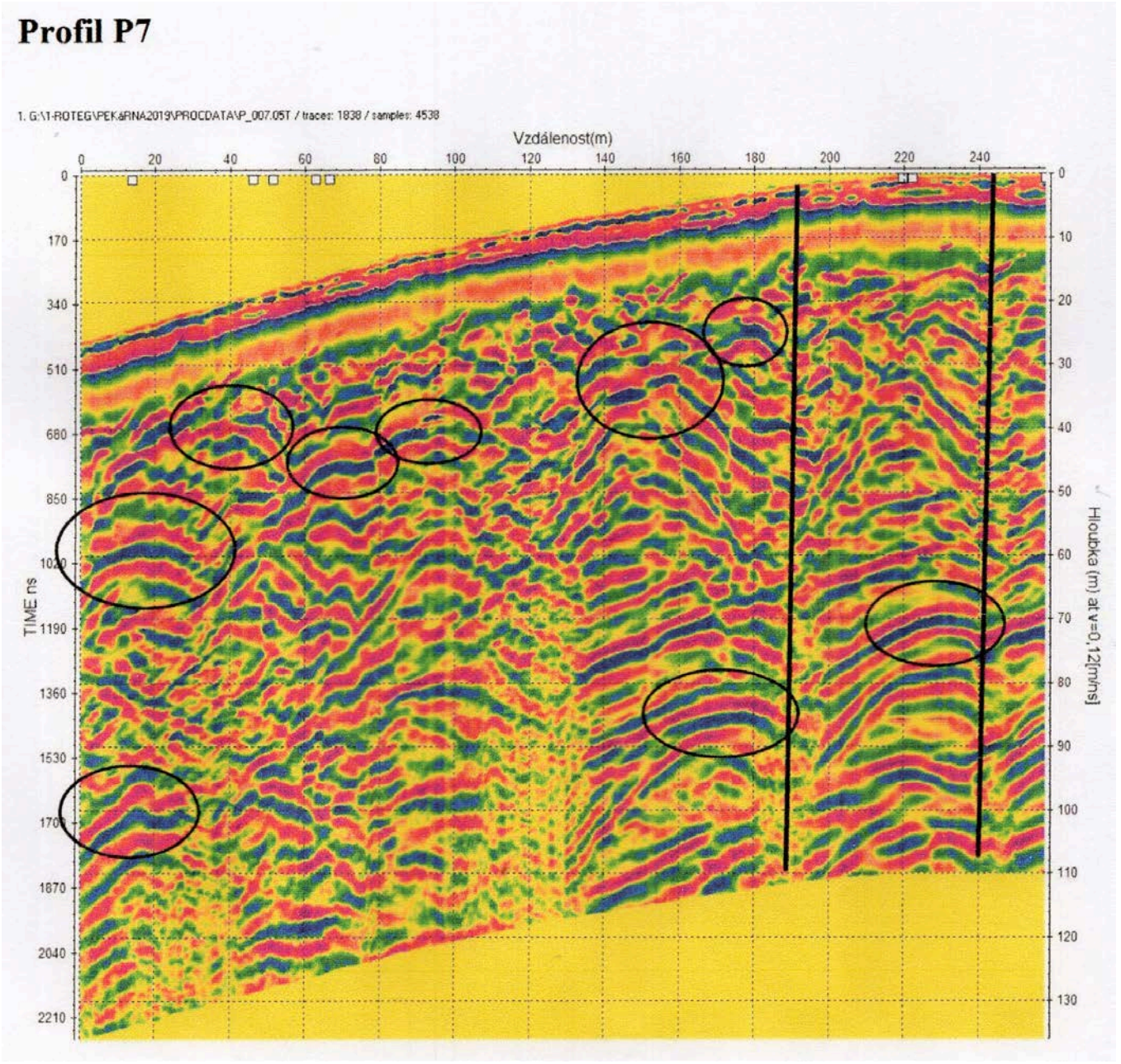
436.60

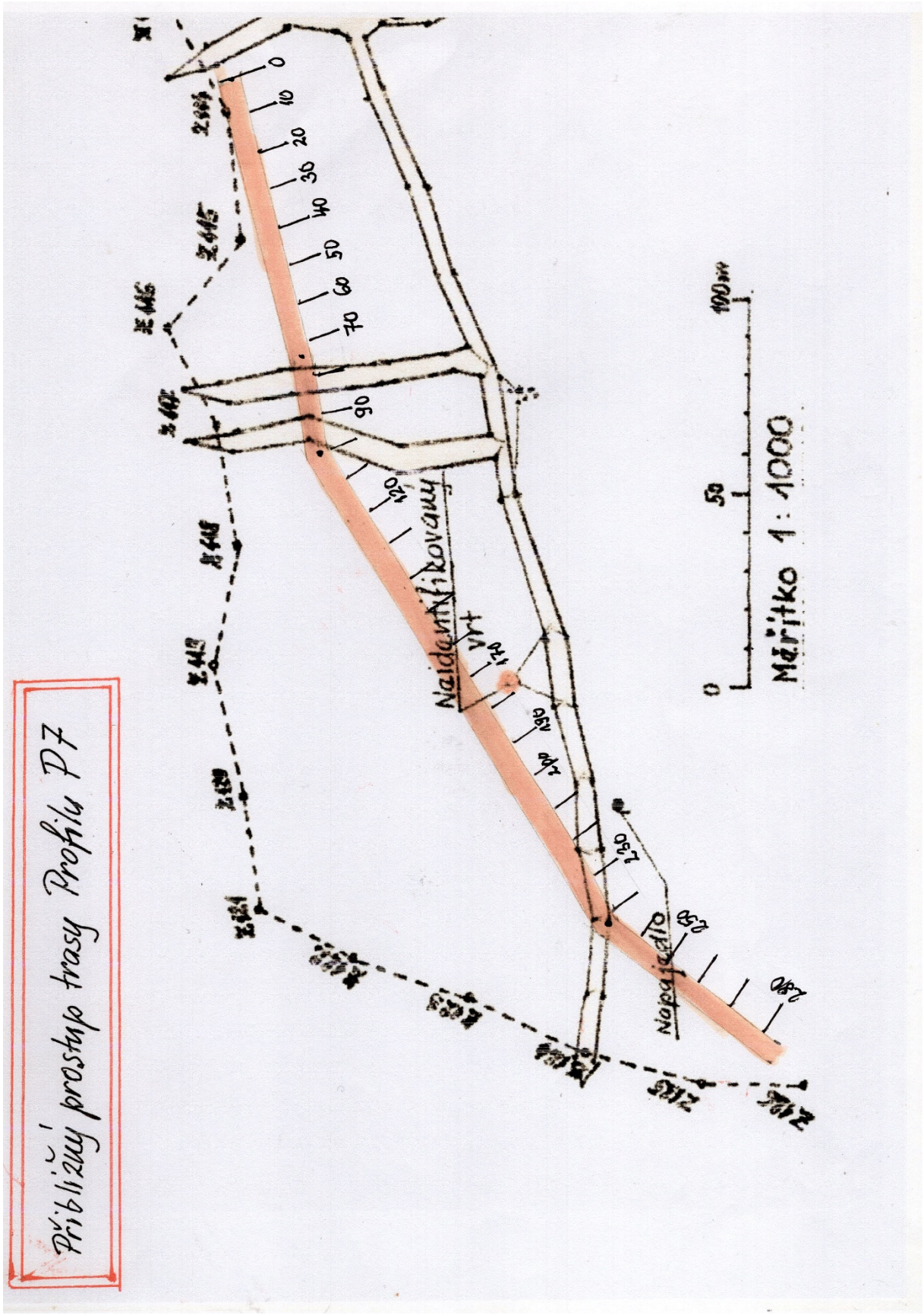
250.33m

436.40

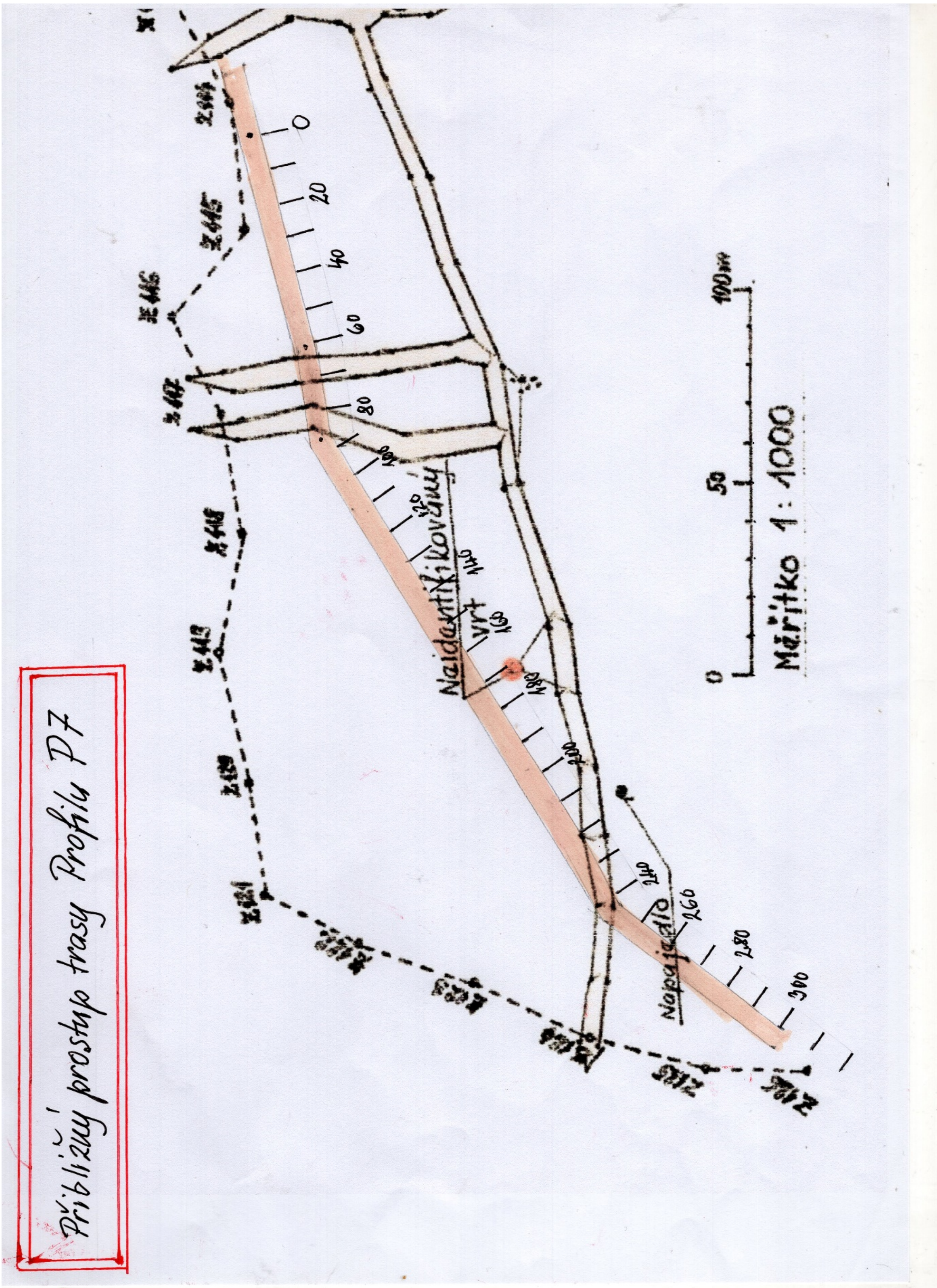
258.86m

Profil P7


1. G:\1-ROTEG\PEKáRINA2019\PROCDATA\P_007.05T / traces: 1838 / samples: 4538
Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
2040
2210
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130

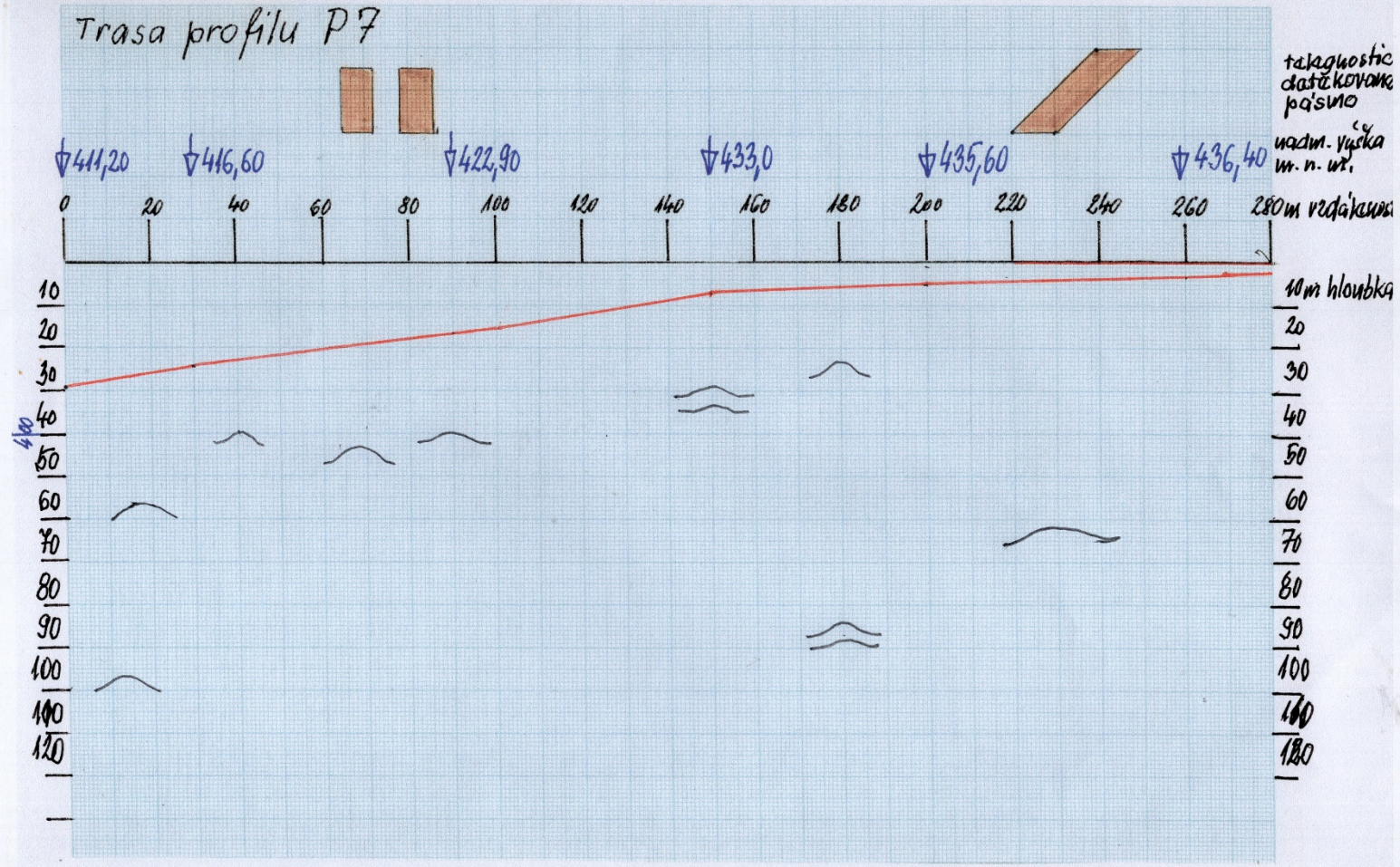

Přibližný prostup trasy Profilu P7
Naidentifikovaný vrt
Napajedlo
Měřítko 1 : 1000
0
50
100m

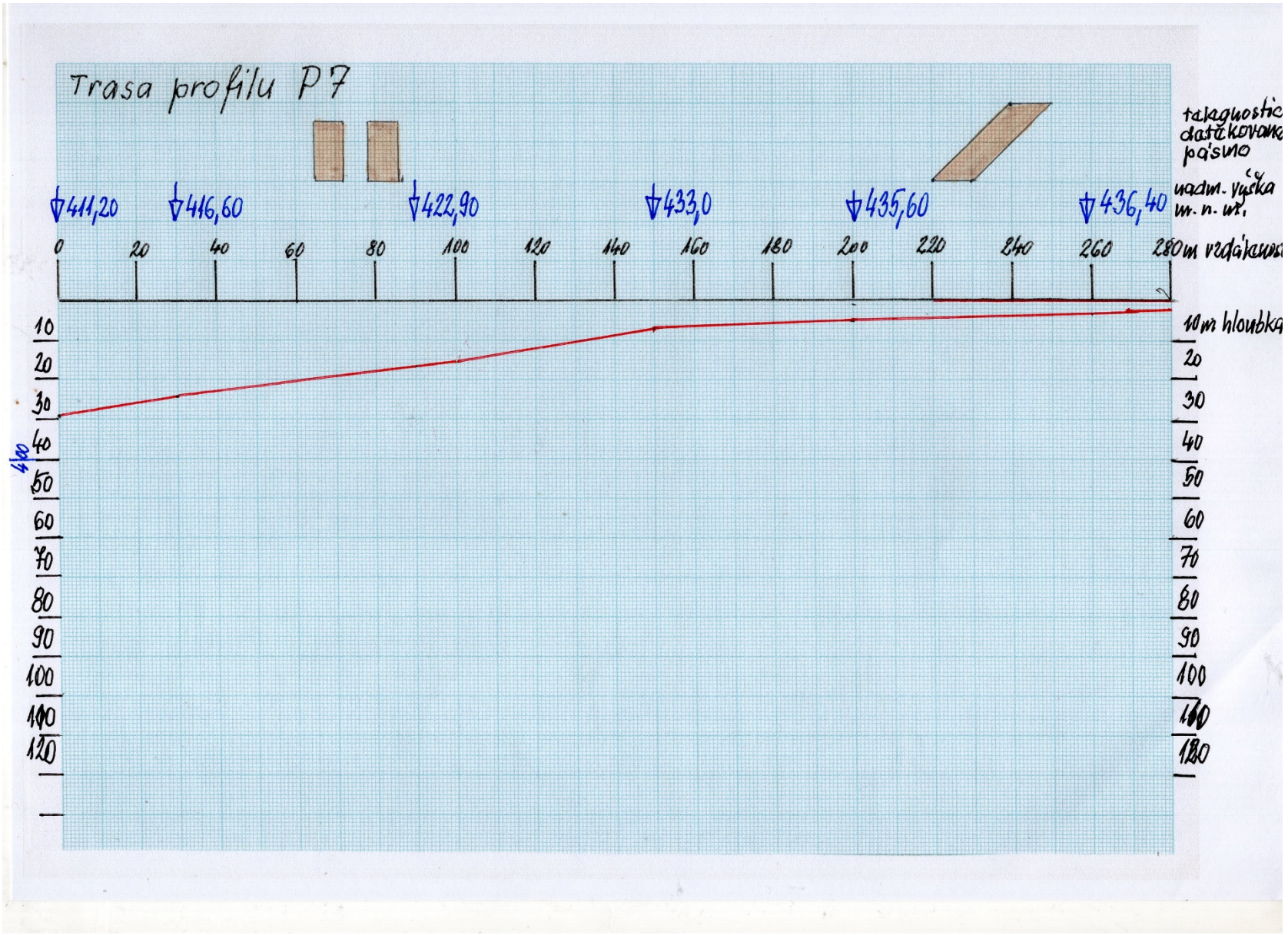
Varianta 1.


Přibližný prostup trasy Profilu P7
Měřítko 1 : 1000
0
50
100m
vrt
Napajedlo

Varianta 2.

Varianta II. - Pokorný podle Kalandy



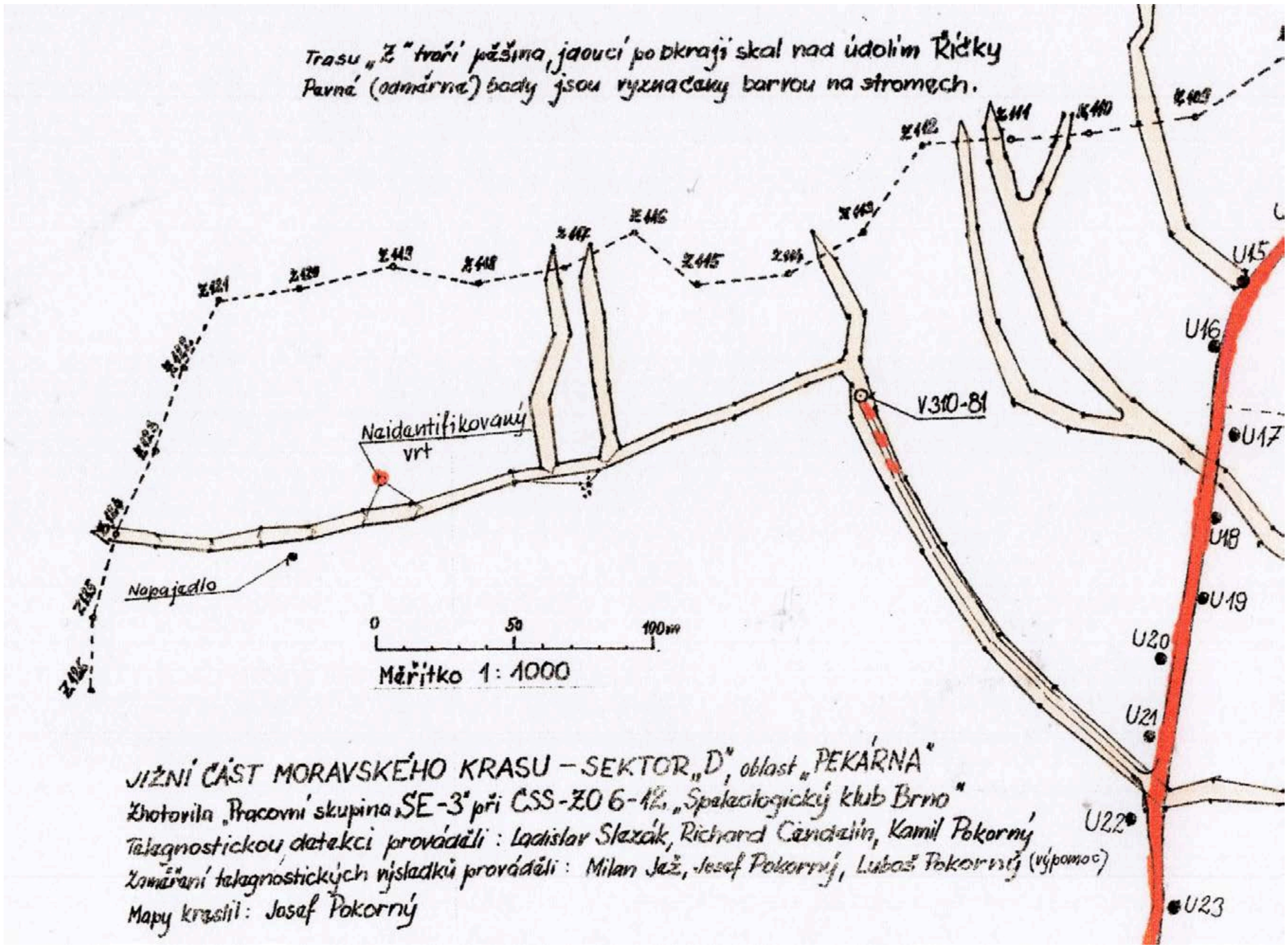

Trasa profilu P7
411,20
416,60
422,90
433,0
435,60
436,40
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
m vzdálenost
10 m hloubka
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
400

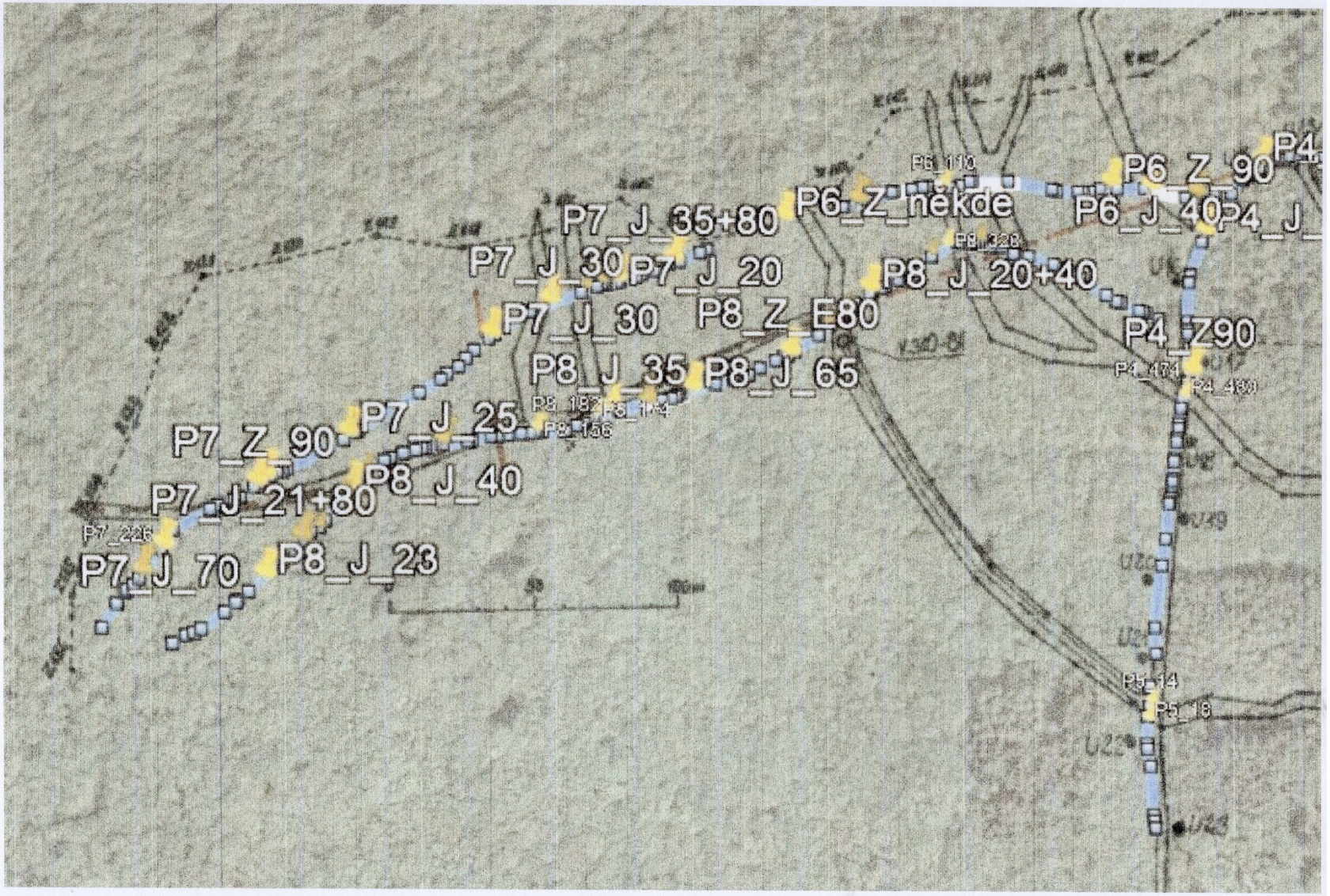
Georadarové měření v oblasti jeskyně Pekárny (plus-mínus)

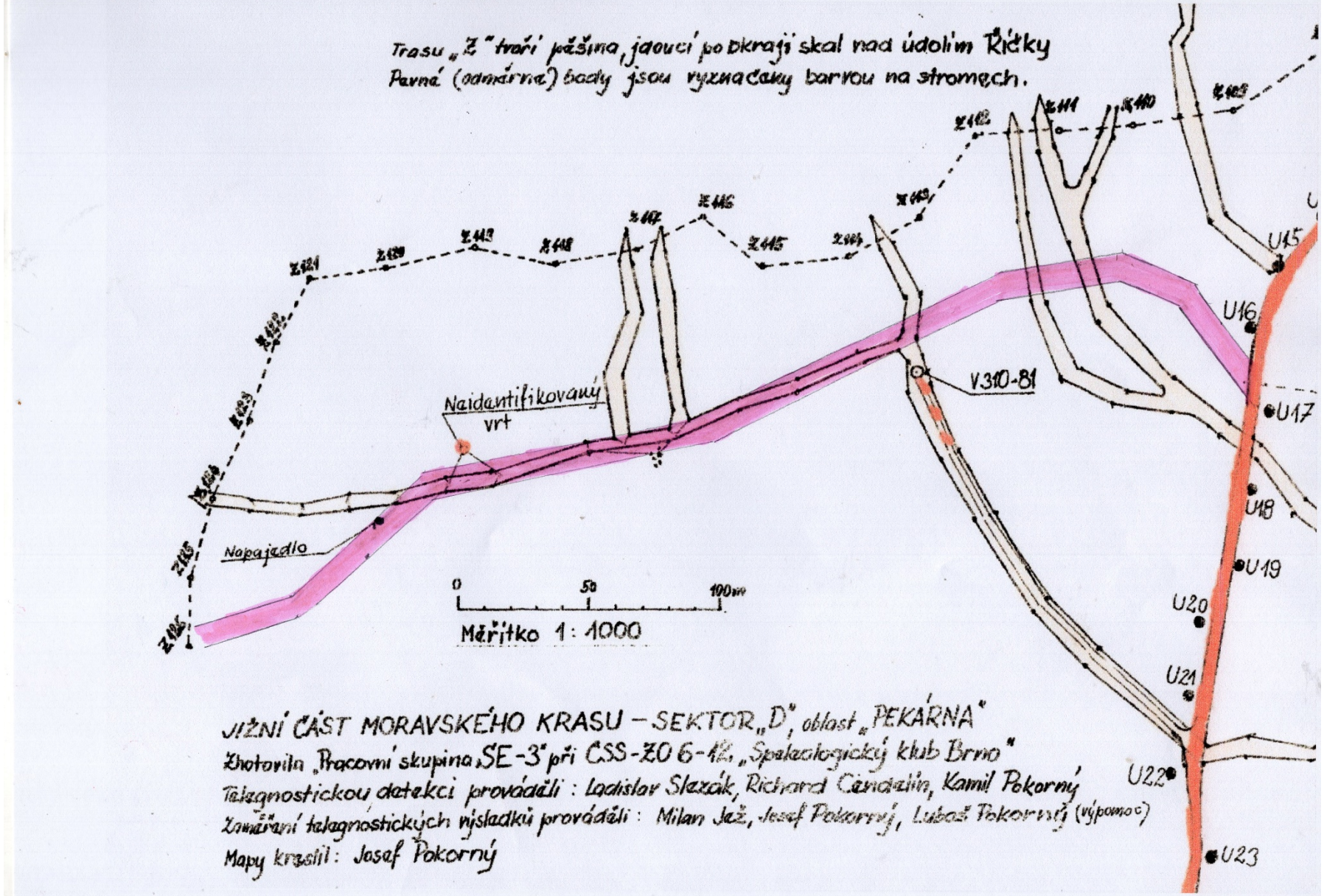
6. prosince 2019

Profil P8

Trasa profilu P8 se od pevného bodu PB Z 126 vrací přibližně směrem SVV, sleduje probíhající anomálii, protíná odbočující anomálii v blízkosti vrtu č. V310-81, protíná rozdvojenou anomálii, vedoucí k jeskyni Kůlničce a za ní se lomí k směrem k JVV a končí na trase U, na PB U 17.


Trasu „Z" tvoří pěšina, jdoucí po okraji skal nad údolím Říčky
Pevné (odměrné) body jsou vyznačeny barvou na stromech.
Z 112
Z 111
Z 110
Z 109
Z 113
Z 114
Z 115
Z 116
Z 117
Z 118
Z 119
Z 120
Z 121
V310-81
Naidentifikovaný vrt
Napajedlo
0
50
100 m
Měřítko 1: 1000
U15
U16
U17
U18
U19
U20
U21
U22
U23
JIŽNÍ ČÁST MORAVSKÉHO KRASU – SEKTOR „D", oblast „PEKÁRNA"
Zhotovila „Pracovní skupina SE-3" při ČSS-ZO 6-12 „Speleologický klub Brno"
Telegnostickou detekci prováděli: Ladislav Slezák, Richard Cendelín, Kamil Pokorný
Zaměření telegnostických výsledků prováděli: Milan Jež, Josef Pokorný, Luboš Pokorný (výpomoc)
Mapy kreslil: Josef Pokorný


P7_J_35+80
P6_Z_nekde
P6_Z_90
P6_J_40
P7_J_30
P7_J_20
P8_J_20+40
P7_J_30
P8_Z_E80
P4_Z90
P8_J_35
P8_J_65
P7_J_25
P7_Z_90
P8_J_40
P7_J_21+80
P7_J_70
P8_J_23


Trasu „Z" tvoří pěšina, jdoucí po okraji skal nad údolím Říčky
Pevné (odměrné) body jsou vyznačeny barvou na stromech.
Z121
Z122
Z123
Z124
Z125
Z126
Z129
Z113
Z118
Z117
Z116
Z115
Z114
Z113
Z112
Z111
Z110
Z109
Neidentifikovaný vrt
Napajedlo
V310-81
U15
U16
U17
U18
U19
U20
U21
U22
U23
0
50
100m
Měřítko 1 : 1000
JIŽNÍ ČÁST MORAVSKÉHO KRASU – SEKTOR „D", oblast „PEKÁRNA"
Zhotovila „Pracovní skupina SE-3" při ČSS-ZO 6-12, „Speleologický klub Brno"
Telegnostickou detekci prováděli: Ladislav Slezák, Richard Cendelín, Kamil Pokorný
Zaměření telegnostických výsledků prováděli: Milan Jež, Josef Pokorný, Luboš Pokorný (výpomoc)
Mapy kreslil: Josef Pokorný

P_008

P_008

GPS Tracklog

438.40

0.00m

439.30

5.78m

439.60

8.67m

440.40

11.99m

440.40

22.10m

440.30

27.30m

440.50

28.17m

440.20

33.08m

439.40

45.21m

439.60

45.94m

439.80

46.80m

440.20

48.39m

439.30

61.68m

441.40

64.86m

441.30

67.75m

436.10

80.75m

436.10

86.67m

436.00

87.54m

435.90

90.28m

435.10

96.93m

434.90

99.24m

433.30

104.44m

432.50

109.06m

432.40

111.08m

432.20

112.09m

431.70

118.02m

431.80

127.12m

432.20

127.84m

431.80

128.56m

432.20

136.22m

432.70

138.38m

432.00

141.71m

431.40

146.18m

430.60

149.22m

430.60

151.67m

430.50

154.13m

429.60

160.34m

426.10

165.54m

425.50

168.14m

425.40

169.15m

425.40

170.16m

424.90

171.90m

423.30

180.27m

422.90

196.60m

423.60

199.63m

423.30

201.80m

423.10

202.81m

422.90

203.96m

423.40

216.53m

422.30

222.89m

422.40

225.78m

422.10

227.94m

421.30

232.57m

420.80

239.21m

420.80

242.24m

421.10

243.98m

421.00

247.59m

415.50

256.26m

413.90

267.23m

415.90

268.24m

417.00

272.00m

417.00

272.87m

414.70

274.89m

413.20

281.24m

413.20

282.11m

413.40

282.98m

414.00

285.72m

413.80

287.46m

412.20

293.67m

412.30

296.27m

412.10

299.45m

411.90

310.28m

410.50

320.82m

409.70

325.45m

409.10

326.75m

408.80

330.50m

406.10

333.39m

406.30

337.58m

412.20

339.60m

412.20

340.47m

412.40

346.54m

411.80

358.24m

412.20

362.43m

411.70

365.89m

411.60

368.20m

410.50

371.38m

409.20

381.49m

409.50

386.26m

409.60

387.27m

409.60

388.43m

407.70

395.79m

407.10

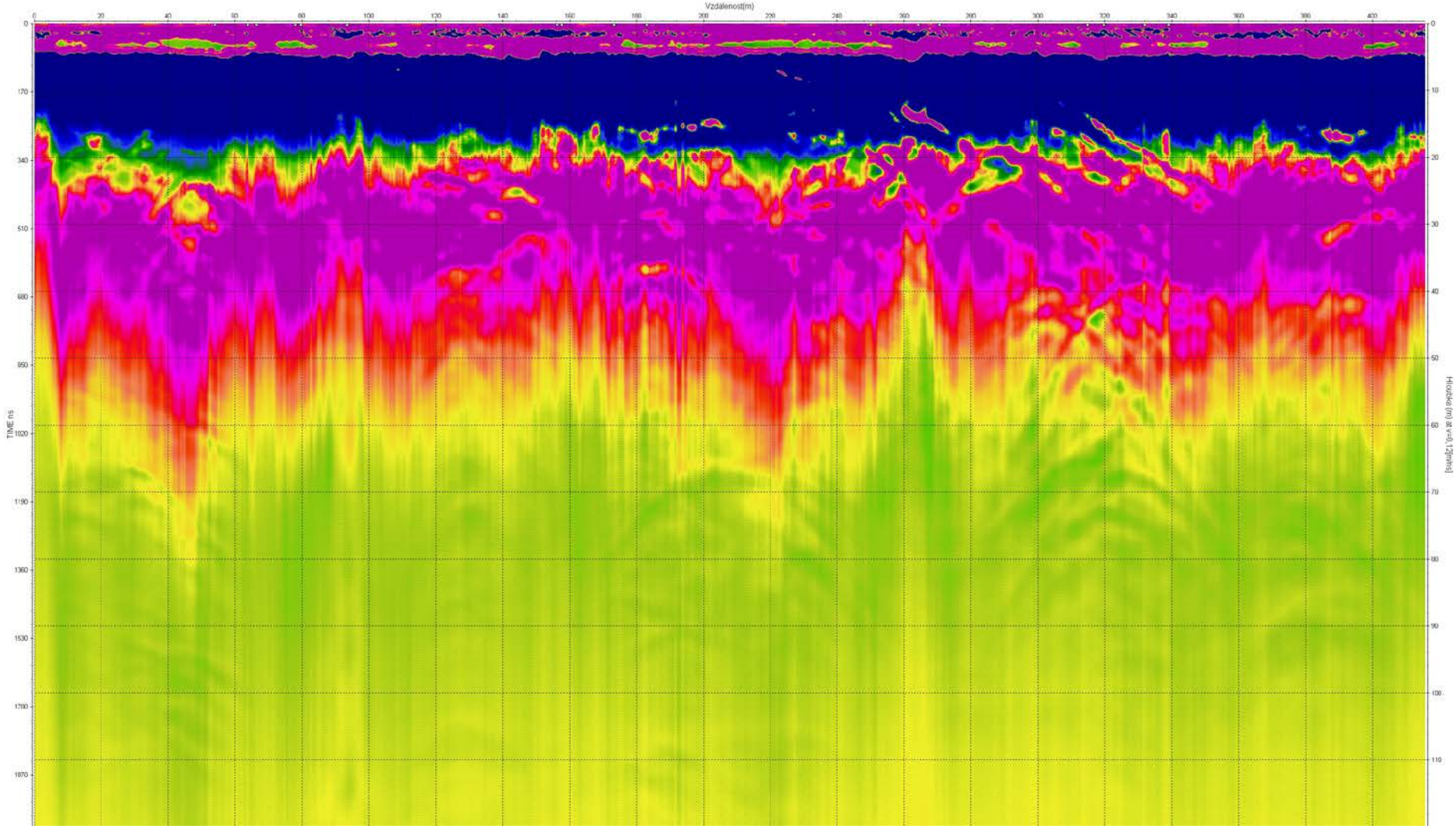
396.81m

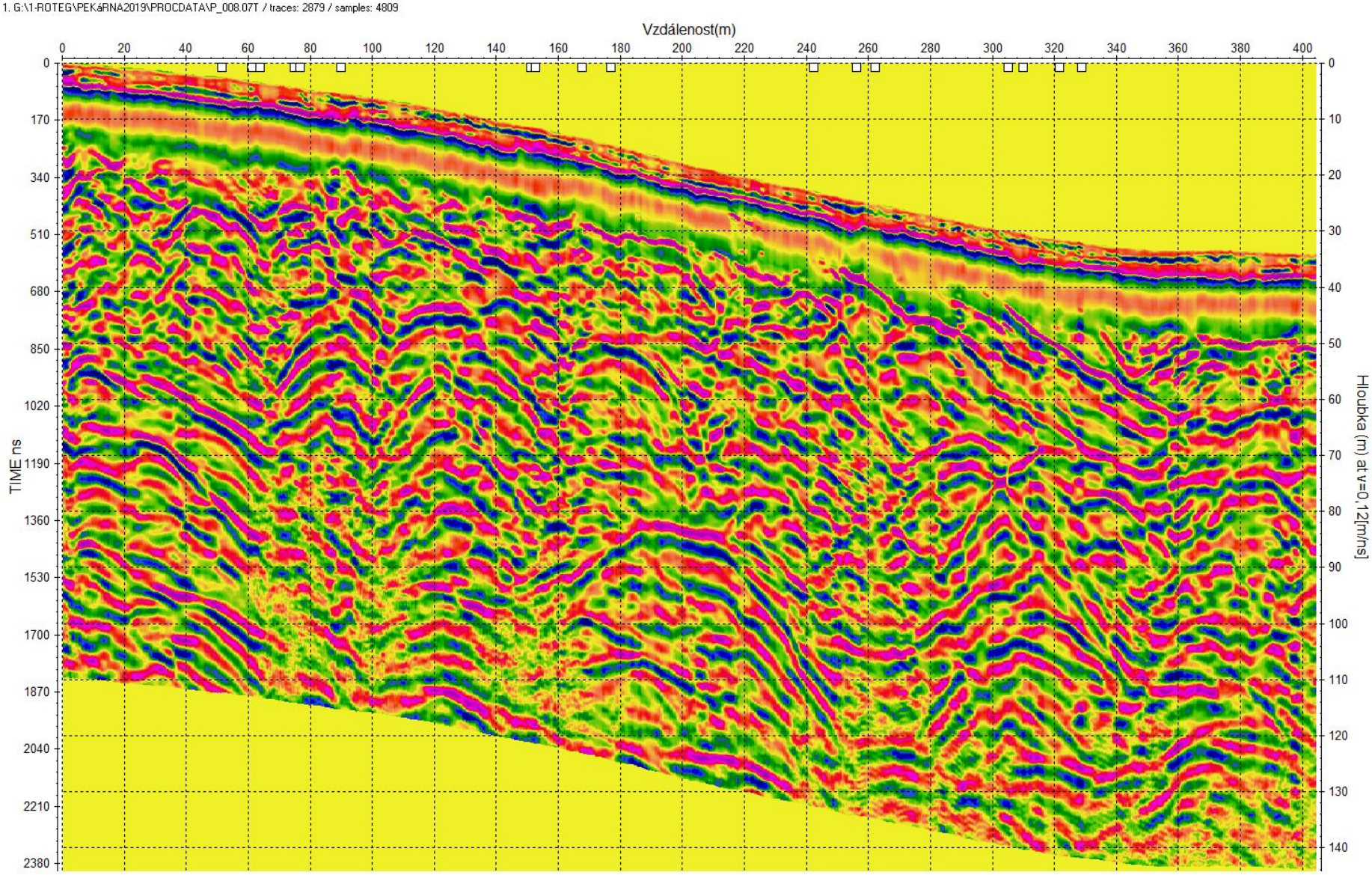
406.80

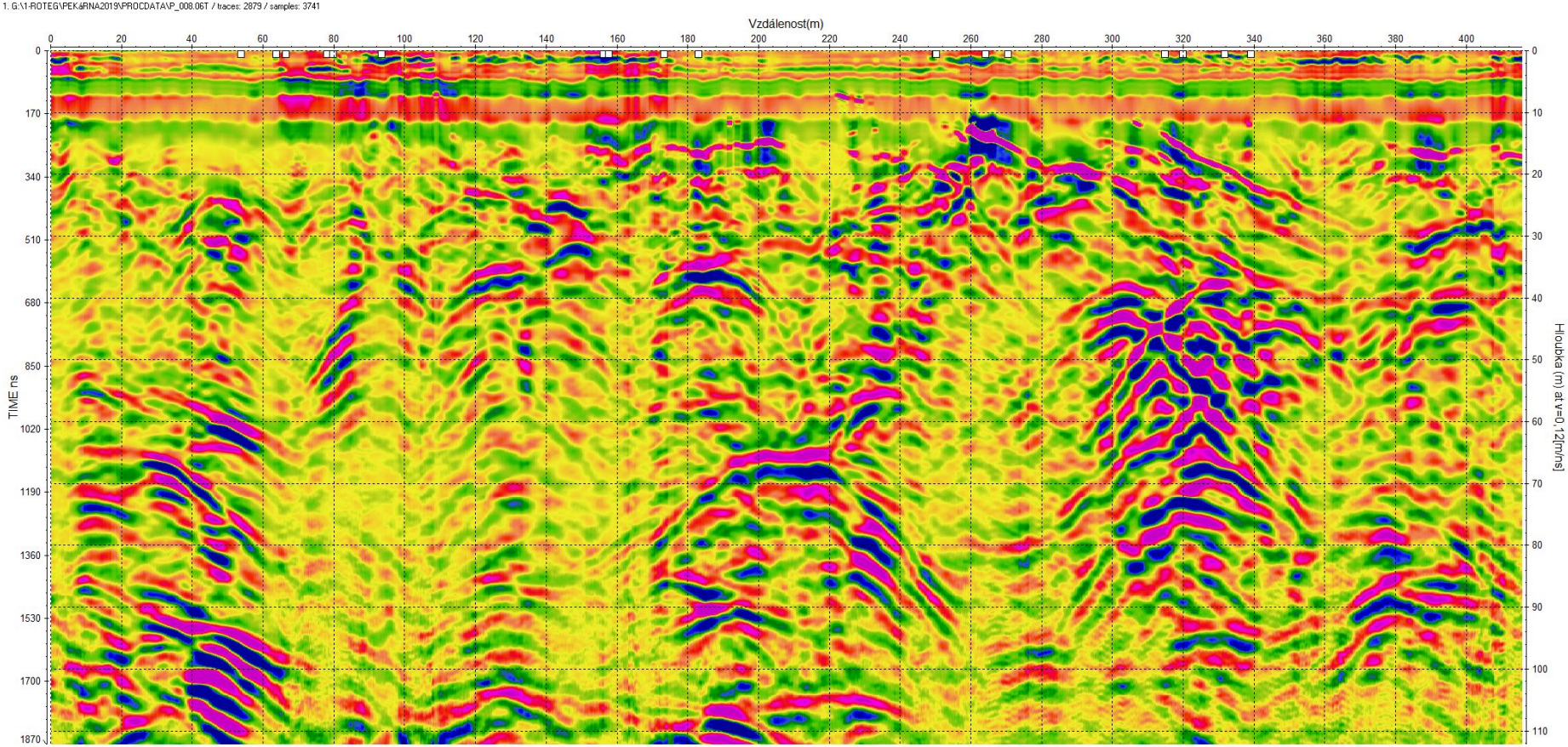
397.82m

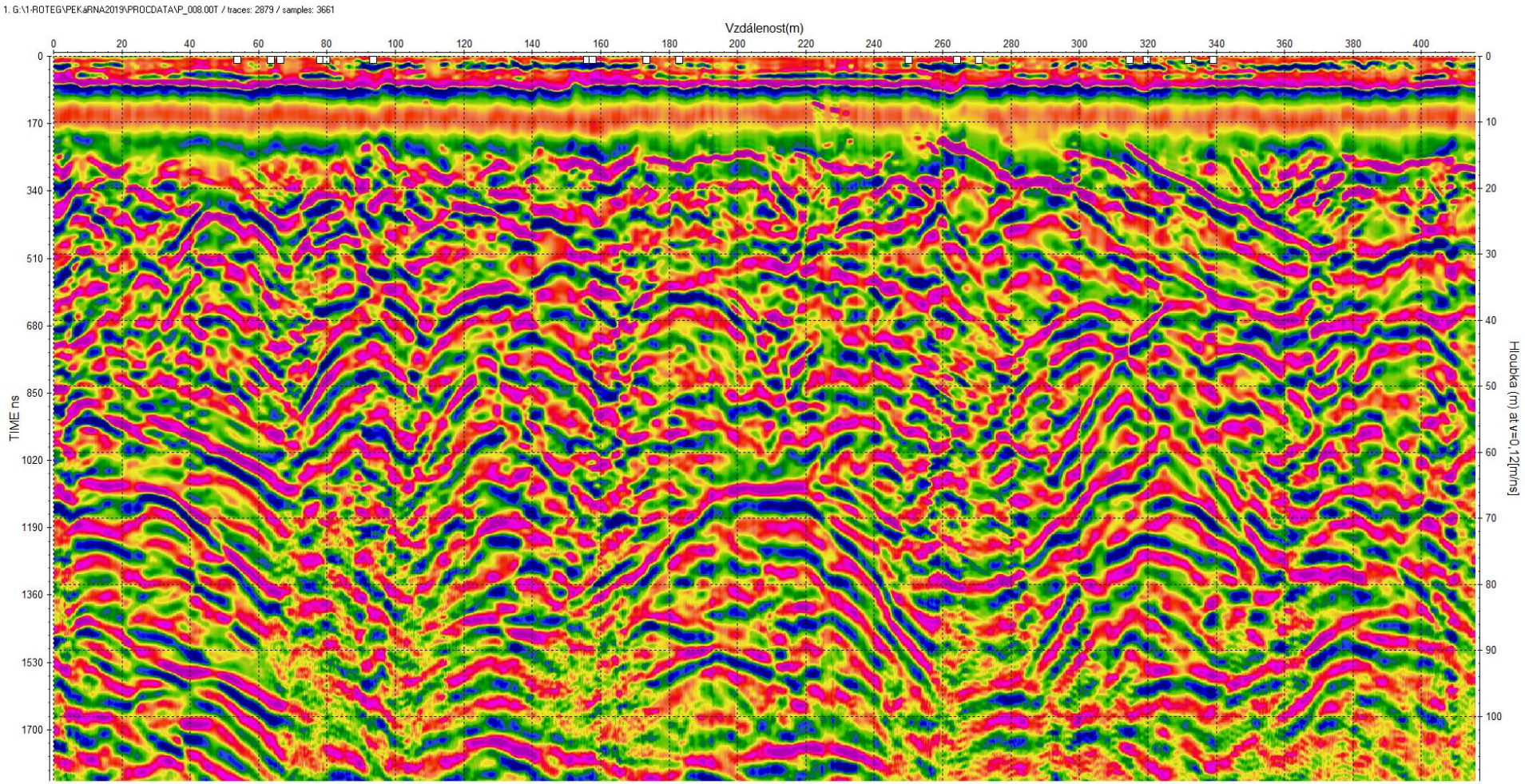
405.80

403.59m

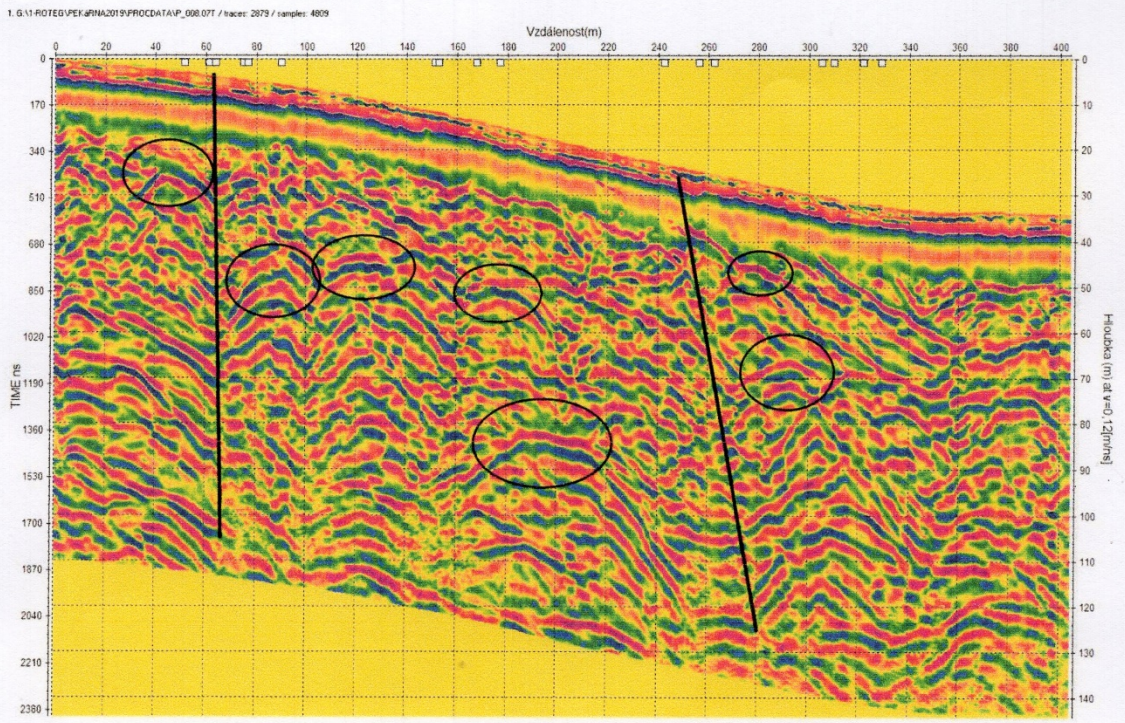

Vzdálenost[m]
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
Hloubka (m) at v=0.12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110


1. G:\1-ROTEG\PEKáRNA2019\PROCDATA\P_008.07T / traces: 2879 / samples: 4809
Vzdálenost(m)
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400
TIME ns
0 170 340 510 680 850 1020 1190 1360 1530 1700 1870 2040 2210 2380
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140


1. G:\1-ROTEG\PEK&RNA2019\PROCDATA\P_008.06T / traces: 2879 / samples: 3741
Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
1870
Hloubka (m) at v=0.12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110


1. G:\1-ROTEG\PEKáRNA2019\PROCDATA\P_008.00T / traces: 2879 / samples: 3661
Vzdálenost(m)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
TIME ns
0
170
340
510
680
850
1020
1190
1360
1530
1700
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

Profil P8



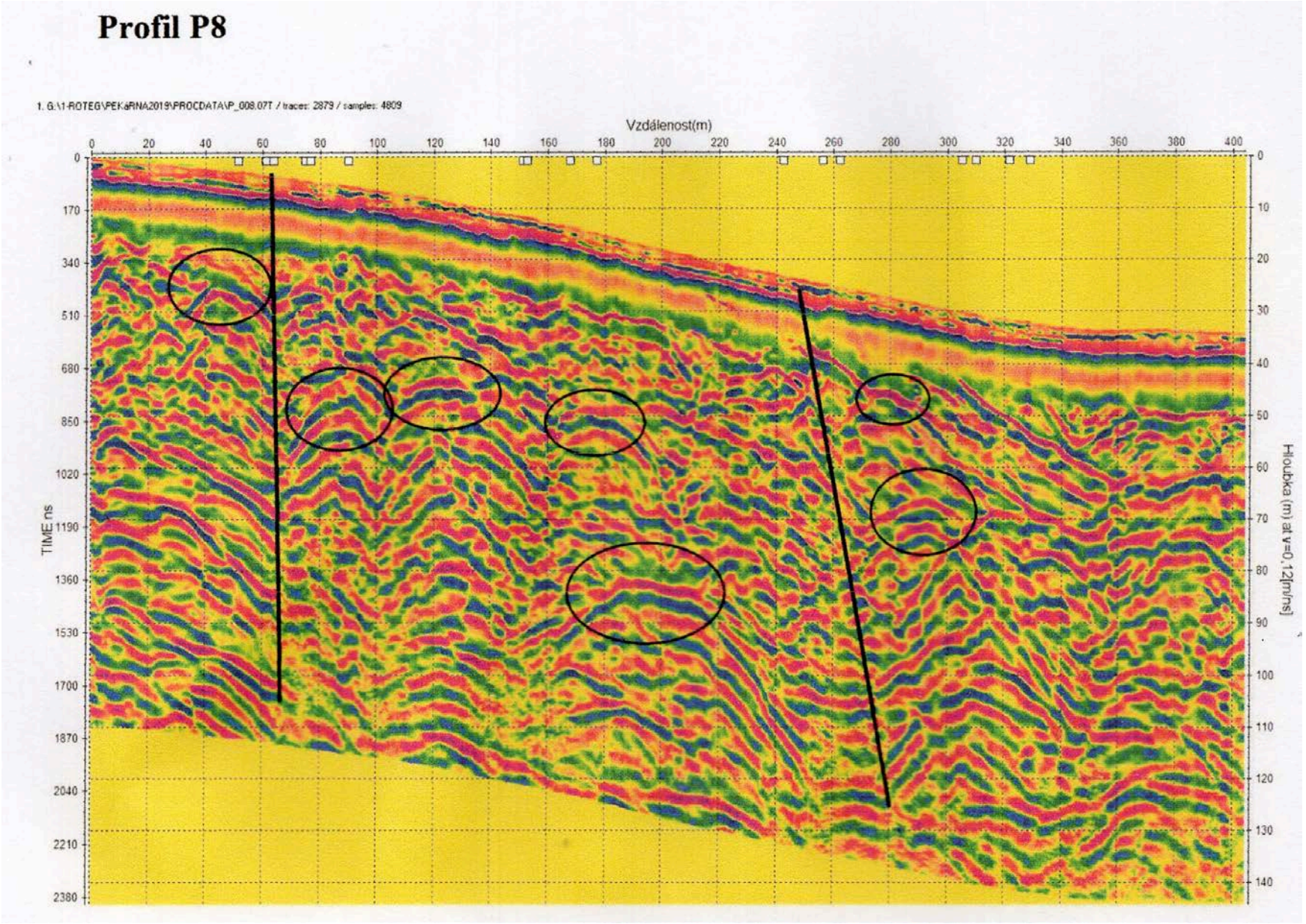
Obr. 11 - Radarogram na profilu P8 s topokorekcemi.

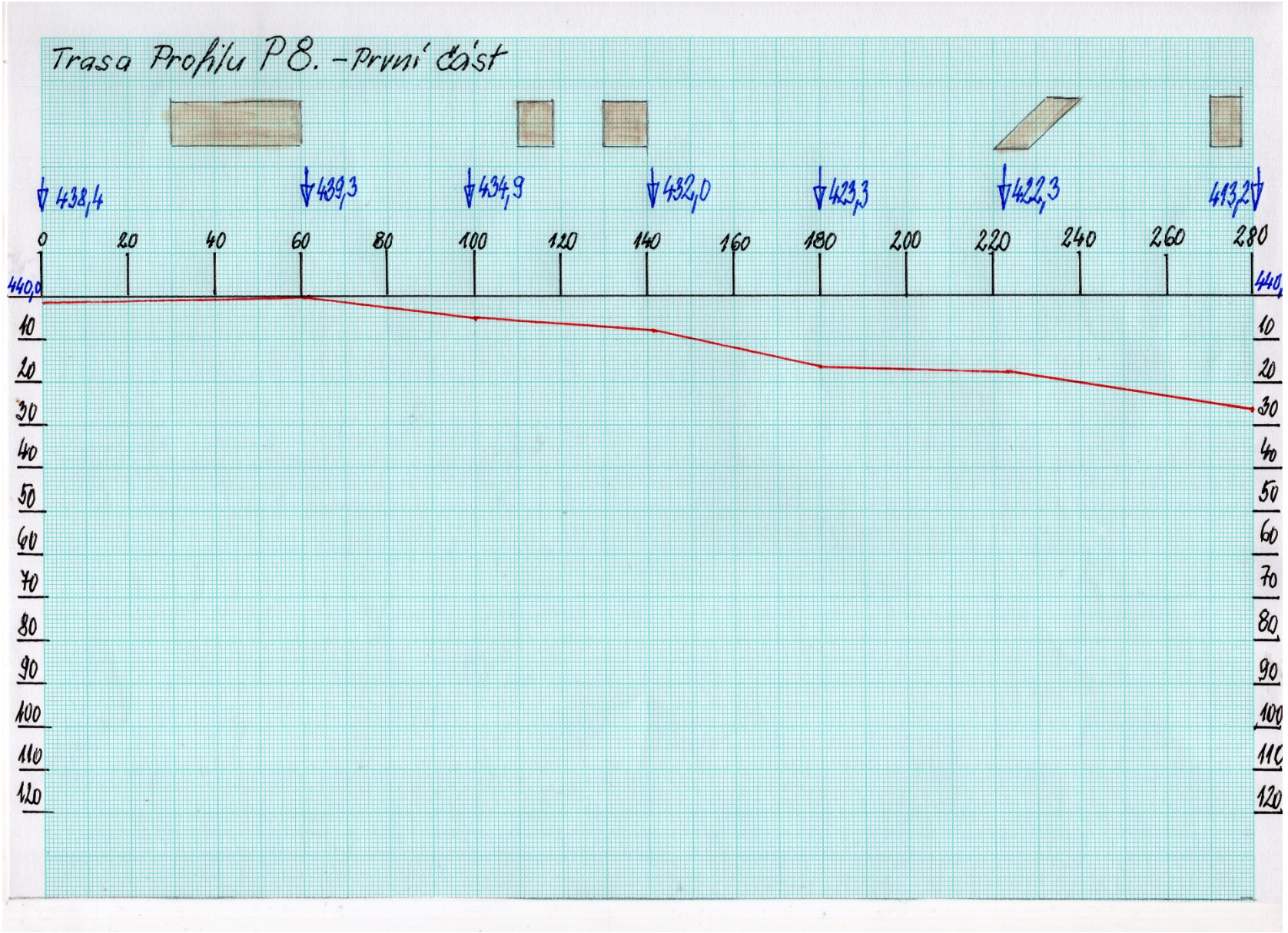
Ve staničení 45 m byla detekována dutina v hloubce 23 m. Ve staničení 62 m vychází na povrch tektonika. Ve staničení 90 m byla detekována dutina v hloubce 40 m, ve staničení 120 m v hloubce 35 m a ve staničení 180 m v hloubce 35 m. Mezi staničeními 190 – 210 m se nachází významná odrazná plocha v hloubce 65 m. Významná tektonika vychází na povrch ve staničení 247 m. Ve staničení 290 m byla detekována dutina v hloubce 20 m a pod ní v hloubce 40 m. Koroze pokračuje až do hloubky 70 m.

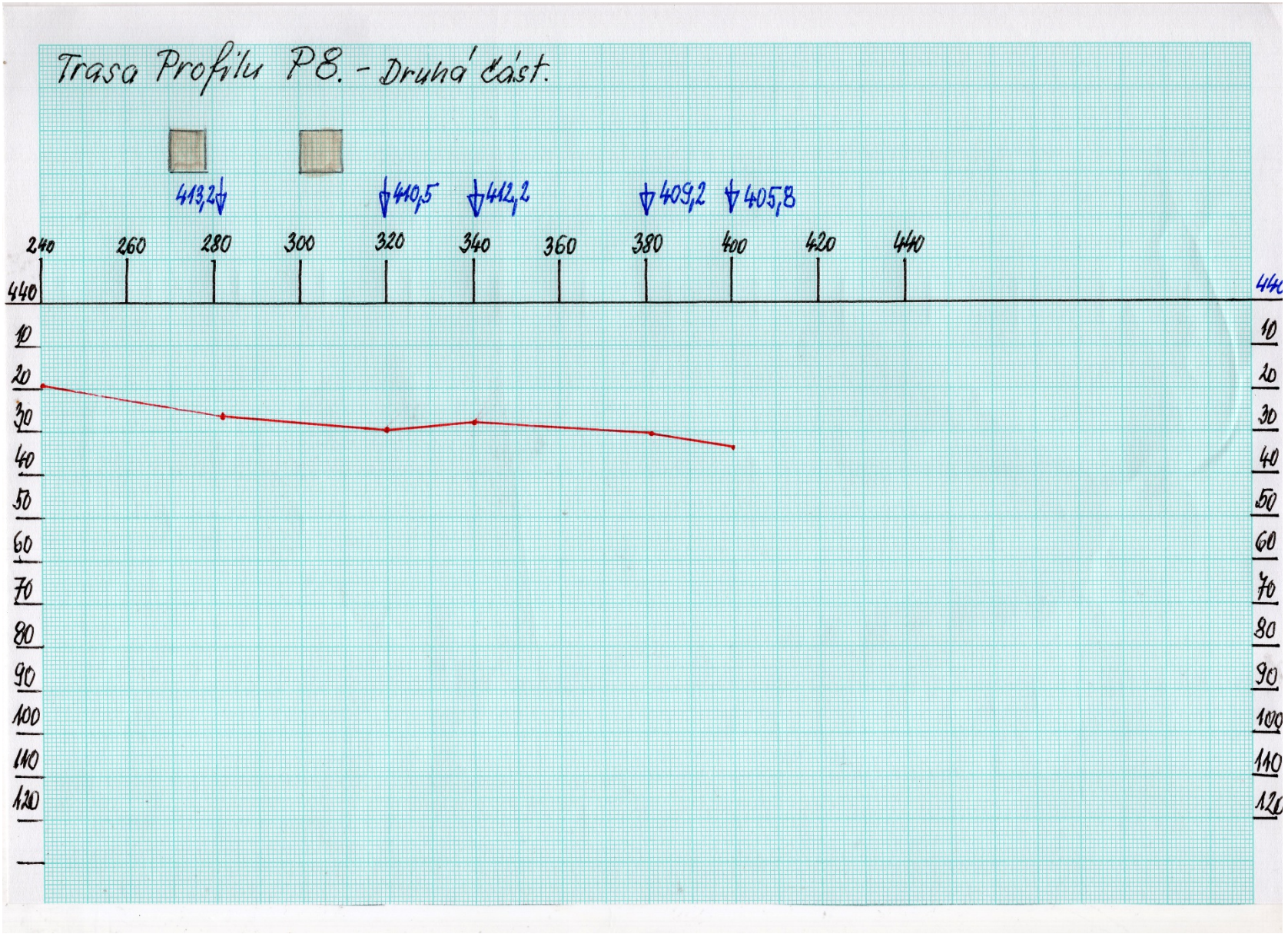
Shrnutí

Když porovnáme generelně výsledky telegnostického průzkumu a georadarového měření, tak vidíme, že je mezi nimi velká míra shody. Telegnostický průzkum není schopen odlišit korodované tektoniky od jeskyní s vodivými sedimenty. Tyto jsou ale v mnoha případech vázány právě na směrnou tektoniku (v našem případě Z-V až SZ-JV) nebo na příčnou tektoniku SV-JZ.

Profil P8


1. G:\1-ROTEG\PEKaRNA2019\PROCDATA\P_008.07T / traces: 2879 / samples: 4809
Vzdálenost(m)
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400
TIME ns
0 170 340 510 680 850 1020 1190 1360 1530 1700 1870 2040 2210 2380
Hloubka (m) at v=0,12[m/ns]
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140


Trasa Profilu P8. – První část
438,4
439,3
434,9
432,0
423,3
422,3
413,2
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
440,0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120


Trasa Profilu P8. - Druhá časť.
413,2
410,5
412,2
409,2
405,8
240
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440
440
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120

Georadarové měření v oblasti rozcestí „Troják“ a v oblasti jeskyně Pekárny.

6. prosince 2019

4. část

Slezákova doporučení

JAK POTŘEBA VYHODNOTIT GEORADAROVÁ MĚŘENÍ.

PEKÁRNA A OKOLÍ.

1) PROVÉST korelaci provedených georadarových měření
   a) PŘED AKCEMI KALENDA – TENGLER
   b) KALENDA – TENGLER I (publikováno ve Speleofóru)
   c) KALENDA – TENGLER II (nevyhodnoceno, nepublikováno)
   d) CENDELÍN – POKORNÝ – SLEZÁK – talegnostika.

2) VYHODNOTIT SPOLEČNÉ KRITICKÉ LOKALITY.
   a) Pekárna a narazující doložitelná odbočky a související lokality
   b) Neznámá palaeohydrografická soustava na západ od PEKÁRNY (Páteřní komunikace je cesta „U"). Vybrat lokality hlavní, redlegiční a bezvýznamné.
   c) KAMENNÝ ŽLÍBEK – horní díl – Hor. propadání – Troják – ukončení pod Hor. rehodem do Och. j. (Labyrint).
   POTVRZENÍ NEBO VYVRÁCENÍ EXISTENCE JESK. ÚROVNĚ V ÚROVNI cca 350,0 m.n.m.
   (Říčánkova šachta – Troják – závrtek u Kam. ponoru č. 1 – kam. ponor č. 2. (Talegnostika – Georadar kalenda – Tengler II.)

DOPORUČIT LOKALITY PRO PERSPEKTIVNÍ SPELEOLOGICKÝ PRŮZKUM.

1) Palaeosystém středního patra (340,0 – 370,0 m.n.m)
2) Palaeosystém pleistocenních přítoků
3) Poukázat na možnost průběhu nižších úrovní:
   a) Periodická porodňová – 300,0 – 320,0 m
   b) Trvale inundovaný systém pod 300,0 m (kontakt s bazálními klastiky).

NÁVRH MOŽNOSTÍ PRO OVĚŘOVACÍ TECH. JÍLA.

a) Maloprofilové mělké vrty
b) Pedologická sondáž
c) Prolongační práce na rozpracovaných lokalitách
d) Otvírkové práce speleologického zaměření

NÁVRH DOPLŇUJÍCÍCH GEOFYZIKÁLNÍCH PRACÍ PRO DETAILNÍ ZAMĚŘENÍ OVĚŘOVANÝCH LOKALIT (TECH. PRACÍ)

P.S. Doporučuji akci KALENDA – TENGLER II vyhodnotit společně s ing. HRUŠKOU a společně publikovat. ZAMĚŘIT SE NA SPECIFICKÉ KORELAČNÍ BODY ZÍSKANÉ PŘI POSLEDNÍCH MĚŘENÍCH.

Georadarová a telegnostická měření nad Pekárnou 2016

Pavel Kalenda[1*], Rudolf Tengler[2], Richard Cendelín[3], Ladislav Slezák[3], Josef Pokorný[3]
[1] ZO ČSS 6–19 Plánivy
[2] Ing. Rudolf Tengler – RTG, Českobratrská 357/13, 276 01 Mělník, Česká republika
[3] ZO 6–12 Speleologický klub Brno
**Corresponding author: e-mail: p.kalenda@volny.cz*

Abstrakt

V přímém předpolí jeskyně Pekárna v Moravském krasu proběhlo v letech 2015 a 2016 virgulové měření a měření novým typem georadaru Roteg, které společně přinesly nové poznatky jak o pokračování vlastní jeskyně, tak o dutinách pod ní a v jejím okolí. Výsledky ukazují na složitý vývoj odvodňování j. části Moravského krasu v různých obdobích, kdy se výtokové jeskyně stávají ponory a naopak. Jednou z odvodňovacích cest byly nově nalezené jeskyně pod Pekárnou, které směřovaly pravděpodobně do oblasti Mokré a dnes jsou buď pod hladinou spodní vody, nebo většinou vyplněné sedimenty.

Úvod

Cílem snažení speleologů je většinou proniknout do dosud neznámých prostor, popsat je, zmapovat a přinést na světlo denní nové poznatky o jejich vzniku a vývoji, případně o jejich současných nebo minulých obyvatelích. V podmínkách Moravského krasu, kde jsou již všechny snadno dostupné „díravice" prozkoumány a popsány, to znamená vynaložení velkého úsilí na překonání zavalených nebo sedimenty zaplněných vstupů, ať se jedná o horizontální vchody nebo závrty. Už v roce 1950 napsal J. Jalový (1950a): „*Proč se vždy začalo při jeskynním průzkumu napřed kopat ... a proč se nesnažil nikdo zjistiti napřed vědecky exaktním způsobem, jsou-li v tom kterém, speleologicky vábném místě předpoklady pro konečný zdar takové práce.*" Jalový zmiňuje použití virgule s mnohdy pozitivními výsledky (a sám práci s virgulí praktikoval, viz Jalový 1950b), ač tuto metodu řadí k nevědeckým. Navrhuje použití geofyzikálních metod a v oblasti Koňského spádu sám aplikoval magnetometrii, kterou kombinoval s gravimetrií (Jalový 1950a).

Cílem naší práce bylo zjistit další možné pokračování jeskyně Pekárny v j. části Moravského krasu, tektonickou situaci v oblasti a případně nastínit také genezi jak samotné jeskyně, tak i návaznost na genezi jeskynních systémů v povodí Říčky a Hostěnického potoka. Za tímto účelem jsme oblast mezi Kamenným žlíbkem, Pekárnou, lomem Mokrá a mokrskou hájenkou proměřili pomocí telegnostické metody (virgule, proutek). Vlastní předpolí jeskyně Pekárna na ploše cca 300 × 200 m (obr. 1) jsme proměřili pomocí nového typu georadaru Roteg s velkým hloubkovým dosahem (RTG-Tengler 2013; Tengler a kol. 2016). Výsledky obou metod jsme pak porovnali a získali tak představu o tektonické situaci širší oblasti a náhled na možný vývoj území a také interpretaci naměřených dat.

Obr. 1 Zájmová území, černě – proměřená virgulí 1976–2016, bíle – proměřená georadarem Roteg 2016 (mapový podklad turistické mapy Seznam.cz, 2016)

Fig. 1 The area under study. Black – area measured by a divining rod between 1976 and 2016, white – area measured by GPR Roteg in 2016 (a map adopted from the tourist map Seznam.cz)

Geologie

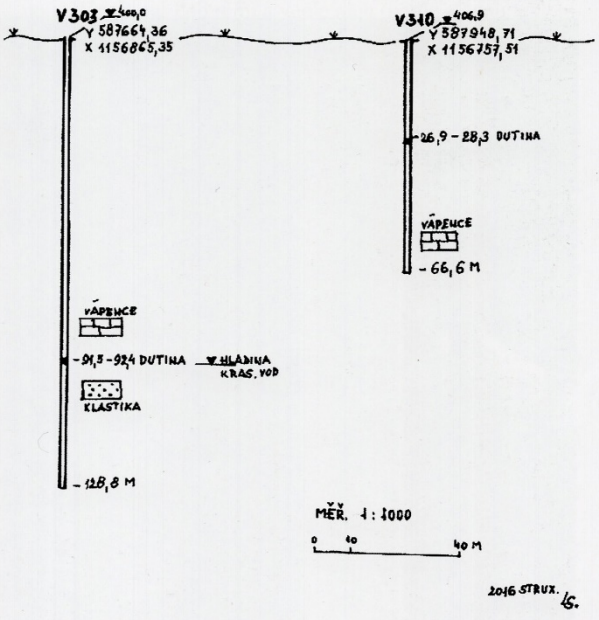
Současné poznání geologické stavby Mokersko-hostěnické plošiny shrnul ve své disertaci Rez (2010). Ukázal na násunový charakter v. okraje j. části Moravského krasu. V bezprostředním okolí Pekárny tvoří vápence macošského souvrství (lažánecké vápence) antiklinální strukturu (Rez 2010), takže jejich mocnost je značně redukována a dosahuje pouze první stovky metrů, jak je možno doložit na vrtu V303 (obr. 2). Nadložní líšeňské souvrství zcela chybí. Podloží macošského souvrství tvoří spodnodevonská bazální klastika, zastoupená pískovci, slepenci, arkózami a drobami, která nasedají na brněnský granitoidní masiv (Slezák 1955–1956; Štelcl a Slezák 1963; Hašek a Štelcl 1972).

Detailní znalosti o horninách Mokrské plošiny můžeme získat z průzkumných vrtů v předpolí ložiska Mokrá–Horákov. Nejblíže Pekárně se nacházejí vrty V303 a V310 (obr. 2). Vrt V303 byl umístěn téměř v ose hostěnické antiformy (Rez 2010), a proto byla bazální klastika zastižena již v hloubce 92,4 m pod povrchem, který je ve výši 413 m n. m. (WGS), tedy na úrovni 320,6 m n. m., což odpovídá přibližně výšce dna údolí Říčky pod Pekárnou. Na ně je vázána hladina spodní vody, která vytváří horizontální jeskyně s možným odtokem po spádnici klastik, tedy k J až JV. Vrt V310 nedovrtal do bazálních klastik, protože byl ukončen v hloubce 66 m pod povrchem. Zato narazil na dutinu/jeskyni v hloubce 27–28 m (ústí vrtu 419 m n. m. WGS), tedy na úrovni stropu Pekárny (391 m n. m.).

Telegnostická měření

Telegnostická, virgulová měření se používají v důlní prospekci od nepaměti (Agricola 1556). S více či méně velkým úspěchem jsou nalézány prameny nebo rudní žíly a tektonické linie. Střední část Moravského krasu byla několika proutkaři proměřena již na začátku 20. století a výsledky shrnul do souhrnné mapy Feitl (1937). Jeho mapa lokalizací vodivých zón nad jeskynním systémem Rudické propadání–Býčí skála je citována až do současnosti, přestože byla podrobena velké kritice brněnských speleologů v 60. letech po nových objevech v Rudickém propadání (Burkhardt 1960, 1961). Když porovnáme tehdejší mapu vodivých zón s nynějším průběhem jeskyní Jedovnického potoka (obr. 3), tak můžeme konstatovat, že od vchodu do Býčí skály až po Srbský sifon kopíruje podzemní Jedovnický potok tektonické struktury, které se odrážejí v telegnostické detekci. Největší nesrovnalost mezi Feitlovou mapou a skutečným průběhem jeskyní je u Rudického propadání, protože tam se nyní propadá Jedovnický potok do podzemí a míří napříč strukturami k nejbližší lokální odvodňovací bázi, kterou byla a je stará chodba Staré řeky. Feitl (1937) sám na základě mapování došel k přesvědčení, že původní starou jeskyní, ústící v Býčí skále, protékal paleotok ze s. části Moravského krasu, který procházel (pod?) Lažáneckým žlebem a pod Harbešskou plošinou. Přestože se Burkhardt (1960) snažil tento názor vyvrátit, charakter chodeb pod Rudicemi, charakter Staré řeky v Rudickém propadání, charakter Harbešské jeskyně, Skleněných domů a zejména jejich sedimentů, odvodňování jeskyně Svážná studna v Lažáneckém žlebu a nové objevy starých chodeb východně od Macochy dávají tušit, že odvodňování s. části Moravského krasu před transgresí v langhu (badenu) bylo zcela odlišné od současného průběhu podzemních toků (Kalenda a kol. 2005).

Co lze očekávat od výsledků telegnostického průzkumu? Podle našeho vlastního poznání, v případě, že s virgulí pracuje odborně zdatná osoba (nejlépe vzdělání v geologických oborech), která je citlivá na malé změny elektromagnetického pole, pak výsledky jak kvalitativně tak kvantitativně jsou srovnatelné s metodou VDV (Kalenda a kol. 2009) nebo odporovým profilováním (Štelcl a Hašek 1972). Tedy anomálie ukazují na vodivé zóny, jejich „kvalitu“ a hloubku. Široké anomálie ukazují na hlubší struktury a naopak úzké a výrazné anomálie ukazují na přípovrchové struktury. Žádná z těchto metod není schopna rozeznat vodivou tektonickou zónu od vlastní jeskyně, byť protékané vodním tokem, jak poznamenali u GF metod už Štelcl a Hašek (1972): „*… rozlišení jeskyní od většiny tektonických poruch je velice obtížné, protože oba faktory se projevují přibližně stejnými hodnotami měrných odporů. Výsledky všech metod při vyhledávání výraznějších anomálií se shodují. Žádná z metod neindikuje jednoznačně podzemní krasový tok. Z výsledků tíhových a odporových metod vyplývá, že možnosti gravimetrie jsou v této oblasti poněkud omezené.*“ Jak je vidět ze srovnání Feitlovy mapy vodivých zón s nyní známým průběhem podzemního Jedovnického potoka, pro výsledky virgulových indikací platí to stejné, co pro geoelektrické a elektromagnetické metody. Více zobrazují generelní průběh tektonických zón než jeskyně, které jsou na tyto zóny většinou vázány. Obě metody mají také přibližně stejný hloubkový dosah, daný integrálním charakterem měřených polí (velikost anomálního pole, generovaného strukturou, klesá se čtvercem vzdálenosti a v jednom bodě na povrchu se sčítají anomální pole od všech struktur v okolí). Hloubkový dosah se dá odhadnout na desítky až první stovku metrů v případě výrazných vodivých struktur pod nevodivými připovrchovými horninami – např. pro metodu VDV odhadl Hašek hloubkový dosah na 50–60 m (Hašek a kol., nepubl.).



Obr. 2 Schematické profily vrtů V303 a V310 (upravil Slezák na základě údajů z databáze Českomoravský cement a. s.)

Fig. 2 Schematic sections of borehole V303 and V310 (edited by Slezák based on the database of Českomoravský cement, joint-stock company)

V předpolí Pekárny prováděl Prix (1947) virgulová měření a podle něj J. Himmel usuzuje: „ … *by Pekárna měla pokračovat dál směrem jz., stáčet se na západ, bifurkovat a opět ústit do údolí Říčky v levé stráni nad prostředním mlýnem,*“ (Himmel 1998). V roce 1976 prováděl telegnostická měření nad Pekárnou J. Mrázek a pomáhal mu L. Bročko. Výsledkem bylo vymapování vodivé zóny, vedoucí od závalu nad známým koncem Pekárny jjz. směrem (Kos 1998). Na zjištění J. Mrázka navázalo telegnostické měření L. Slezáka (1999) a kolektivu SE3, kteří prodloužili indikaci vodivé struktury až po hranu rozvodí na červené značce k mokrské hájence. Naopak podle Himmela a Krause (1997) *„pokračuje Pekárna dál přibližně směrem jv. a je v dalším průběhu do značné míry zařícena*“. Himmel, obdobně jako další autoři (Prix 1947; Dvořák 1951; Burkhardt 1969; Musil 1998, 2000) zařazuje Pekárnu mezi vývěrové jeskyně Hostěnického potoka (Himmel 1998). Kadlec (2001) naopak zařazuje Pekárnu mezi ponorné jeskyně nejstarší jeskynní úrovně (obdoba Holštejnské jeskyně a horního patra Sloupsko-šošůvských jeskyní) s odvodňováním k J do oblasti Mokré.

Telegnostickou indikaci jsme provedli v roce 2015 (SE3) a 2016 (Cendelín, Slezák) v sektoru známého průběhu jeskyně a návazně v terénu za závalem jeskyně. Situačně jsme měření navázali na fixní bod PB1 (49.24138N, 16.74636E), který je radiomajákovým průmětem známého konce Pekárny (v průmětu její středové osy) na povrch. Telegnostická detekce umožnila plošné vymezení anomálií, které jsou kombinacemi tektoniky a jeskynních prostor. Dávají však jasnou představu o směřování Pekárny v jedné z fází složitého vývoje z období po badenu (langhu). Koncový zával jeskyně tvoří předěl průběhu telegnostických anomálií ve směru k J (případně k V) a tektonická predispozice směru SSV–JJZ pravděpodobně určuje generelní směry odvodňování do mokrské vývěrové delty. Jižní sektor za závalem se telegnosticky jeví jako nevýrazné pole, které by spíše naznačovalo plochou destrukční plochu denudačního charakteru. Výsledky současného průzkumu nejlépe dokládá mapa (obr. 4).

Geofyzikální měření

V s. části Moravského krasu probíhalo v 60. letech geofyzikální měření a to zejména pomocí odporového profilování a elektromagnetické metody TURAM (např. Daňko a kol. 1966; Daňko a Blížkovský 1968; Džuppa 1971; Hašek a Štelcl 1973). Tyto metody poskytly základní informace o průběhu vodivých zón, ale nebylo možno jednoznačně stanovit průběh jeskyní už z důvodu velkého kroku mezi profily (200 m). Jižní část Moravského krasu byla prozkoumána v 70. letech (Hašek a Dvořák 1972). Území Chobotu bylo detailně prozkoumáno v 80. letech (Hašek a kol. 1978, 1988).

Oblast Pekárny byla pomocí geofyziky zkoumána už na konci 60. let (Hašek 1967, 1968) a následně až o 30 let později (Kos 2000): „*Geofyzikální měření proběhlo v měsících dubnu až květnu 1999, a to společností GEODRILL s. r. o. Brno (Dostál, Hašek a Tomešek 1999). Byly aplikovány metody VDV a VES. Měřená obdélníková plocha zaujímala rozlohu 300 × 600 m; k této byl posléze na z. straně přidán čtverec o rozloze 100 × 100 m, který tak propojil nově měřené plochy se sektorem nad j. Pekárnou, který byl geofyzikálně prozkoumán již v minulém roce 1998 (Dostál, Hašek a Tomešek 1998). Na nově zkoumané ploše byly měřeny struktury směru JJZ–SSV (VDV) a profilovány do hloubky cca 50 m (VES). Geofyzikální měření se dále opíralo o starší geofyzikální vrtné a hydrogeologicko průzkumné práce, které byly v minulosti prováděny na sledovaném území (Crha 1983, Kudělásek 1990).*“

Georadar Roteg

Měření georadarem, na rozdíl od většiny geofyzikálních metod, které jsou povětšině integrální (např. VDV, elektro-

Obr. 5 Měření radarem nad Pekárnou 24. 4. 2016 – vlevo vysílač a anténa, vpravo přijímací anténa s přijímačem, měřením vzdálenosti na profilu a GPS (Foto J. Pokorný)
Fig. 5 Field measurement above the Pekárna Cave on April 24, 2016 – the transmitter and the transmitting antenna (left), the receiver antenna, the receiver with GPS and distance tracking (right) (Photo by J. Pokorný)

profilování, TURAM, slingram, gravimetrie), a také od telegnostické metody, je toto měření diferenciální, bodové, kdy výsledná naměřená anomálie není součtem mnoha okolních anomálních polí, ale dává informaci o kvalitě odrazu elektromagnetického pulzu na rozhraní dvou různě vodivých hornin v daném místě. Čím je odporový kontrast větší, tím větší bude odražená vlna a bude pouze záležet na velikosti šumu, z jaké vzdálenosti ještě budeme schopni tuto odraženou vlnu zachytit a odlišit od pozadí.

Georadar se stal jedním z nejužívanějších přístrojů pro vyhledávání nehomogenit v zemi do hloubek několika metrů pro svou vysokou efektivitu prací v terénu (Bláha a kol. 1999). Radar je založen na vysílání vysokofrekvenčních pulzů (nejčastěji 25–1000 MHz) jednou anténou a přijímání odrazů těchto pulsů druhou anténou se zpožděním, které je úměrné hloubce daného rozhraní materiálů s rozdílnými konduktivitami (σ), od kterého se pulzy odrážejí. Amplituda odrazů je úměrná poměru elektrických vodivostí obou materiálů (σ) a klesá exponenciálně s hloubkou v závislosti na permitivitě prostředí (ε; van der Kruk et al. 1999). Pro běžně užívané GPR a typická prostředí střední Evropy s měrnými odpory stovek Ωm je hloubkový dosah několik metrů až první desítku metrů (Bláha a kol. 1999; Chamberlain et al. 2000). Na ledovcích byly detekovány odrazy z hloubek stovek metrů až prvního kilometru (Arcone v Jol 2008). Smith a Jol (1995) odhadli experimentálně, že pro 25 MHz antény je hloubkový dosah v sedimentárním prostředí kvartéru (nad hladinou mineralizované vody) mezi 52–57 m. Pro 100 MHz anténu se zmenšil hloubkový dosah na 37 m. Těmto výsledkům odpovídá pokusné měření nad jeskyní Divaška jama (Gosar 2012), které bylo v prostředí typického krasu schopno detekovat odrazy od stropu jeskyně z hloubek do 30 m při použití speciálních antén o délce 9,25 m a střední frekvenci 50 MHz. Odrazy od stropu jeskyně v hloubce okolo 40 m už byly nevěrohodné.

Na speleologicky známých krasových lokalitách v České republice jsme v roce 2015 vyzkoušeli hloubkový dosah nového typu GPR „Roteg" (Tengler a kol. 2016), který se oproti stávajícím GPR vyznačuje vyšším pulzním výkonem (až 15 MW při pulzu dlouhém 1 s), vyšším napětím na anténách (5–15 kV) a zejména speciální konstrukcí pulzního generátoru, který obchází běžně užívané polovodičové prvky MOS a LDMOS a využívá jiskřiště, kde vznikají Dirakovy pulsy o délkách do 3 ns přímo vybitím kondenzátorů (RTG-Tengler 2013). Ze spojitého spektra se vybírají ty převažující frekvence, na které jsou naladěny speciální antény. Pro 6m anténu je převažující frekvencí 25 MHz, pro 3m je to 50 MHz a pro metrovou anténu to je 150 MHz. V optimálních podmínkách s půdním pokryvem nepřesahujícím několik metrů při použití 6m antény byly zřetelně rozpoznány odrazy od stropů jeskyní v hloubkách okolo 100 m pod povrchem krasové plošiny (Tengler a kol. 2016). Ve Slovinsku nad systémem Postojenské jeskyně jsme byli schopni indikovat jeskyně na aktivním toku v hloubce 200 m pod povrchem (Kalenda a kol. 2017 – v tomto svazku Speleofóra 2017).

Při našem měření nad Pekárnou jsme zvolili 6m anténu (obr. 5) a střední frekvenci 25 MHz. Sčítali jsme 10 pulzů při rychlosti asi 3 km.h^{-1}. Krok mezi měřeními byl 0,1 m, přesnost GPS byla cca 1 m. Délka záznamu byla 19 595 vzorků po 0,277 ns, což je celkem 5 428 ns, vzorkovací frekvence vlny byla 3,6 GHz.

Výsledky měření, interpretace a diskuze

Profily byly navrženy tak, aby pokryly území mezi lesní cestou s červenou turistickou značkou, Kamenným žlíbkem na V a lesními školkami na Z od Pekárny v jejím předpokládaném pokračování (obr. 4).

Profil P1 měl za cíl zachytit reflexy od jeskyní s jinou orientací než S–J. Profily P2 a P6 měly za cíl zachytit jeskyni těsně za jejím známým koncem a P6 měl navíc zjistit, zda jeskyně nemíří na Z do Kamenného žlíbku. Profily P4 a P5 (z. od Pekárny) měly za cíl zjistit, zda z jeskyně nevycházejí nějaké odbočky tímto směrem a případně zjistit příčné tektonické linie. Profily P7–P12 měly za cíl zjistit, zda Pekárna pokračuje dále ve stejném směru, tedy na JJV. Profil P13 měl za účel zjistit příčné tektonické linie a případnou změnu směru pokračování Pekárny k J až JZ.

Nejblíže Pekárny procházel profil P6 (obr. 6). Jasně byly zachyceny zřetelné odrazy od stropu jeskyně (v pokračování Pekárny) mezi staničeními 75–85 m v hloubce 19–24 m (16.746191E, 49.24137N). Ve staničení 148–155 m byly zachyceny odrazy od menší jeskyně ve stejné pozici (hloubka 20–24 m). Velice překvapivé bylo zjištění zřetelných odrazů od stropů jeskyní v hloubkách 50 m, 72 m a 88 m ve staničeních 10–50 m. Tyto se nalézají jz. od známého konce Pekárny pravděpodobně na příčné tektonice, o čemž svědčí to, že na profilech P4 a P5 je možno nalézt jejich pokračování, zejména v hloubce 48–50 m (obr.7a–7b).

Několik jeskyní a tektonika byly zachyceny na profilu P1, který vedl s.–j. směrem (obr. 8). Na profilech P10 a P12 nebyly patrné žádné odrazy od dutin nebo jeskyní. Zato na profilu P11 mezi nimi byl jasný odraz od stropu jeskyně ve staničení 60–73 m v hloubce 22–25 m (obr. 9).

Na profilu P13, který vedl směrem JV–SZ podél předpokládaného pokračování Pekárny, byla zjištěna řada jeskyní v hloubkách 20–72 m, několik závrtů a tektonika (obr. 10). Závrty jsou dobře patrné ve staničeních 70–85 m, 120–135 m, 167–182 m a jsou pravděpodobně svázány s příčnou tektonikou. Pod nimi a vedle nich (podle sklonu tektoniky) se také většinou nacházejí jeskyně nebo výrazné dutiny.

Porovnání výsledků

Když porovnáme lokalizaci detekovaných jeskyní v hloubce 18–25 m s mapou gradientů Re složky podle metody VDV (Dostál a kol. 1999), tak vidíme, že detekované jeskyně nenavazují na vodivou zónu, která směřuje podél západního okraje proměřované oblasti k JJZ (obr. 11). K vodivé zóně směřuje spíše dutina (jeskyně), která byla zjištěna v hloubce 58–60 m na profilu P13 (obr. 5).

Himmel (1987) předpokládá, že Pekárna pokračuje ve stejném směru ještě dalších cca 80 m, avšak je zařícená (obr. 12). Při porovnání obou map (J. Himmela a radarového měření) by však Pekárna měla směřovat více na JJV a její destruovaný obrys by měl být širší. Toto se georadarem nepotvrdilo a na profilech P6, P3 a P2 byly zjištěny odrazy od neporušeného stropu v poměrně úzkém koridoru, který nepřesahuje šíři 15 m (viz obr. 6).

Okolo profilu P7 se charakter proměřované plochy mění a k J ubývá reflexů z hloubek asi 20–30 m (obr. 5). Zde předpokládáme, stejně jako Himmel (1987), příčnou tektoniku, podél které došlo ke změně směru jeskyně Pekárny. Podle telegnostické metody se hlavní chodba Pekárny stáčí k JJZ, což bylo potvrzeno georadarem na profilu P13 ve staničení 135–150 m. Druhá větev Pekárny by mohla směřovat k J.

Podle georadaru byly jasně zjištěny menší chodby v hloubce 20–30 m na profilech P1, P7 a P9, směřující k JV až V.

Zajímavé je srovnání detekovaných dutin, jeskyní a tektoniky s vodivou zónou, zjištěnou virgulí (Mrázek 1976; Slezák 1999). Tato zóna začíná pod koncovým závalem jeskyně Pekárna a pokračuje dále na JZ až JJZ poblíž závrtové řady až k cestě s červenou turistickou značkou na okraji Mokrské plošiny (obr. 13). Tato telegnostická anomálie byla největší a nejširší v celém zájmovém území. Když se podíváme na profily P6 (staničení 78 m) a P3 (staničení 25–30 m; obr. 14), vidíme šikmo nad sebou řadu jeskyní v hloubkách od 20 do 90 m, vázaných na výraznou tektoniku. V hloubce 92 m se pravděpodobně nachází šikmé rozhraní mezi bazálními klastiky a devonskými vápenci. Na ně je pravděpodobně vázána také hladina spodní vody, jak je patrné z vrtu V303, který se nachází cca 150 m daleko. Proto předpokládáme, že ona výrazná vodivá zóna je spojena s výše uvedenou tektonickou poruchou směru SSV–JJZ, na kterou bylo (a možná, že i nadále je) vázáno odvodnění údolí Říčky a Hostěnického potoka směrem k Mokré, kde se nachází řada vývěrů. Předpokládáme, že po badenské transgresi došlo k ucpání vývěrů těchto jeskyní a vodní toky jsou nyní nuceny hledat si nové cesty k jiné odtokové bázi, kterou je nyní údolí Říčky. Proto většina předbadenských jeskyní na nejnižší úrovni (v našem případě 90–95 m pod povrchem) bude patrně zcela zaplněna sedimenty a v úrovni hladiny vody nebo pod ní, což ale nemusí platit o vyšších jeskynních úrovních, které se nyní nacházejí průkazně cca 50–60 m pod Mokrskou plošinou, tedy na úrovni cca 360 m n. m. O možných volných dutinách v těchto jeskyních může svědčit fakt, že sedimenty v pravém (z.) boku jeskyně Pekárny, těsně před jejím koncem (závalem), mají tendenci se propadat do níže položených prostor, které tam jsou přítomny podle radarového měření.

Závěr

Radarové měření s kvalitativně novým typem radaru umožnilo lokalizovat jeskynní prostory v pokračování Pekárny a to až do hloubky 96 m. Bylo tak možno ověřit zdroje již dříve naměřených anomálií.

Potvrdilo se jednak směřování Pekárny v původním směru do vzdálenosti 60–80 m a pak její odklon k JJZ, tedy směrem k Mokré, ale také se ukázalo, že existují větve, které směřují k JV až V, tedy směrem k Hostěnicím. Může se jednat o přítokové chodby v jiné vývojové etapě. Důležitým okamžikem pro vývoj jeskynních systémů v okolí Pekárny byla badenská transgrese, při které byly mnohé odtokové cesty zaplněny sedimenty a původně ponorové jeskyně se mohly stát jeskyněmi vývěrovými nebo naopak.

Nejdůležitějším zjištěným faktem bylo poznání, že na j. konci Pekárny v oblasti závalu se nad sebou nachází několik mohutných jeskyní v hloubkách 50–60 m a dále chodby, vázané na kontakt vápenců a bazálních klastik v hloubce cca 90 m pod povrchem. To by mohl být argument pro předbadenské odvodňování údolí Říčky do oblasti Mokré v době, kdy v celém Moravském krasu vznikala nejnižší jeskynní úroveň, dnes 20–40 m pod aktivním tokem (Kalenda a kol. 2005).

Summary: Ground-penetrating radar and divining rod measurements above the Pekárna Cave in 2016

Divining rod measurements and measurements with a new type of the Ground Penetrating Radar (GPR) "Roteg" took place in the immediate foreland of the Pekárna Cave in the Moravian Karst between 2015 and 2016. Both types of measurements produced new insights into the continuation of the Pekárna Cave itself and the cavities beneath and around it. The results demonstrate a complex evolution of drainage in the southern part of the Moravian Karst in different eras, when outflow caves became inflow caves (sumps), and vice versa. One of the drainage paths was newly discovered beneath the Pekárna Cave, which continued probably to the village of Mokrá and now is either below the ground water level or mostly filled with sediments.

Literatura:

Agricola G. (1556): *De re metallica libri XII.* – Frobenius: 1–684. Basileae.

Bláha P., Karous M., Kněz J., Müller K. (1999): Možnosti georadaru v inženýrském průzkumu. – *Geotechnika*, 2, 3: 12–15.

Burkhardt R. (1960): Feitlova teorie a dnešní obraz neznámého krasového podzemí. – *Vlastivědné zprávy z Adamova a okolí*, II: 6–11.

Burkhardt R. (1961): Ještě k Feitlově teorii. – *Vlastivědné zprávy z Adamova a okolí*, 5, 1: 10–11.

Burkhardt R. (1969): Geologische Studie der Höhlen im Říčka – Tale (Mährischer karst). – *Acta Muzei Moraviae*, LIV: 71–83. Brno.

Crha J. (1983): *Souhrnná závěrečná zpráva Mokrá, část II.* – Nepublikovaná zpráva. Archiv Geologického průzkumu Ostrava, závod Brno.

Daňko J., Váca F., Ryšavý P. (1966): *Zpráva o geofyzikálním průzkumu severní části Moravského krasu.* – Nepublikovaná zpráva: 1–48. Archiv Geofyzika, n. p. Brno.

Daňko J., Bližkovský M. (1968): *Zpráva o geofyzikálním měření v severní části Moravského krasu.* – Archiv Geografického ústavu ČSAV: 1–62. Brno.

Dostál P., Hašek V., Tomešek J. (1998): *Geofyzikální průzkum na akci CHKO Moravský kras-Mokrá.* – Nepublikovaná zpráva. Archiv GEODRILL, s. r. o. Brno.

Dostál P., Hašek V., Tomešek J. (1999): *Geologický průzkum geofyzikálními metodami na lokalitě DP lom Mokrá, etapa 1999.* – Nepublikovaná zpráva. GEODRILL, s. r. o. Brno.

Dvořák J. (1951): Vývoj Hoštěnického propadání vzhledem k Ochozské jeskyni. – *Československý kras*, IV: 16–22. Brno.

Džuppa P. (1971): *Zpráva o geofyzikálnom meraní na akcii Moravský kras regionálny hydrologický prieskum.* – Nepublikovaná zpráva. Archiv Geofyzika, n. p. Brno.

Feitl K. (1937): Die Wünschelrute im Dienste der Höhlenforschung des Polytechnischen Vereines der Tchechoslowakischen Republik, sitz in Mährisch Ostrau. Jhg. 17, H. 1–2, Jänner-Feber. Odkaz na mapu: http://docs.mskholstejn.eu/node/395

Gosar A. (2012): Analysis of the capabilities of low frequency ground penetrating radar for cavities detection in rough terrain conditions: The case of Divača cave, Slovenia. – *Acta Carsologica*, 41, 1: 77–88.

Hašek V. (1967): *Geoelektrické měření v Moravském krasu jeskyně Pekárna.* – Nepublikovaná zpráva. Archiv Moravského Muzea. Brno.

Hašek V., Dvořák J. (1972): *Zpráva o geoelektrickém měření v jižní části Moravského krasu.* – Nepublikovaná zpráva. Archiv Geofyzika, n. p. Brno.

Hašek V., Mayer S., Ryšavý P. (1978): Příspěvek geofyziky ke speleologickému výzkumu Koňského spádu v Moravském krasu. – *Československý kras*, 30: 41–49.

Hašek V., Mayer S., Slezák L., Štelcl O., Záhora R. (1988): Výsledky geofyzikálního výzkumu v okolí propasti Macochy v Moravském krasu. – *Československý kras*, 39: 35–50.

[illegible] (1973): Některé výsledky geofyzikálního výzkumu Moravského krasu. – *Československý kras*, 24: 37–49.

Himmel J. (1998): Několik poznámek k Pekárně. – *Speleo*, 27: 45–49. Praha.
Himmel J., Kraus L. (1987): Poznámky ke speleologickým prolongačním možnostem jeskyní vázaných na Hádecké údolí v jižní části Moravského krasu. – *Speleofórum*, 6: 28–32. Praha.
Chamberlain A. T., Sellers W., Proctor C., and Coard R. (2000): Cave detection in limestone using ground penetrating radar. – *Journal of Archaeological Science*, 27: 957–964. doi:10.1006/jasc.1999.0525.
Jalový J. (1950a): Naše zkušenosti s užitím praktické geofysiky při výzkumech v Moravském krasu. – *Československý kras*, 3: 15–24. Brno.
Jalový J. (1950b): Používání virgule v praktické speleologii. – *Československý kras*, 3: 138–141. Brno.
Jol H. M. (2008): *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. – Elsevier: 1–524. Amsterdam.
Kadlec J. (2001): Paleohydrografie Hádeckého údolí v jižní části Moravského krasu. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 2000*: 5–7. Brno.
Kalenda P., Kučera J., Mravec P. (2005): Vývoj říční sítě Moravského krasu. – *Acta Musei Moraviae, Sci. geol.*, XC: 171–189.
Kalenda P., Mravec P., Duras R., Musil F. (2009): Mapování horního jeskynního patra na Ostrovské plošině v roce 2008 pomocí geofyzikálních metod. – *Speleofórum*, 28: 120–123. Praha.
Kalenda, P., Tengler R., Blatnik M., Drole F. (2017): Georadarová měření Postojna 2016. – *Speleofórum*, 36: 87–89. Praha.
Kos P. (1998): Add: J. Pokorný – výzkumy v jeskyni Pekárně. – *Speleofórum*, 17: 23–24. Praha.
Kos P. (2000): Výsledky průzkumu Mechového závrtu za rok 1999. – *Speleofórum,* 19: 20–22. Praha.
Kudělásek V. (1990): *Profily vrtů PV–2, PV–3*. – Nepublikovaná zpráva. Archiv Unigeo. Modřice.
Kruk J. van der, Slob E. C., Fokkema J. T. (1999): Background of ground-penetrating radar measurements. – *Geologie en Mijnbouw, 77*: 177–188.
Mrázek J. (1976): *Plán telegnostické detekce*. – Nepublikovaná zpráva: 1 str. Archiv Speleologického klubu v Brně.
Musil R. (1998): Vývoj údolní sítě v jižní části Moravského krasu. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1997*: 11–15. Brno.
Musil R. (2000): Druhy jeskyní a jejich výškové rozvrstvení v údolí Říčky (Moravský kras). – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v r. 1999*: 37–39. Brno.
Prix R. (1947): Badatelské vyhlídky v jižní části Moravského krasu. – *Časopis turistů*, LIX, 2. Brno.
Rez J. (2010): *Strukturně-geologický vývoj jižní části Moravského krasu*. – Disertační práce: 1–65. Ústav geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně.
RTG-Tengler (2013): http://georadar.rtg-tengler.cz/geologicky-zlom-u-sobotky
Slezák L. (1955–1956): *Geologický výzkum devonských vápenců v okolí Mokré*. – Diplomová práce: 1–76. Universita Jana Evangelisty Purkyně. Brno.
Slezák L. (1999): Příspěvek k dalšímu možnému pokračování jeskyně Pekárny v jižní části Moravského krasu. – *Speleo*, 28: 23–25. Praha.
Slezák L., Cendelín R., Pokorný J. (2016): Návrat k Pekárně. – *Speleofórum,* 35: 29–31. Praha.
Smith D. G., Jol H. M. (1995): Ground penetrating radar: antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in Quaternary sediments. – *Journal of Applied Geophysics*, 33, 1–3: 93–100.
Štelcl O., Slezák L. (1963): Geomorfologické poměry jižní části Moravského krasu a přilehlého území. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. Natur.*, 48: 89–104. Brno.
Štelcl O., Hašek V. (1972): Geofyzikální výzkum Moravského krasu. – *Speleologický věstník*, 1: 37–51. Brno.
Tengler R., Kalenda P., Doležal F. K., Chlup L. (2016): Testování nového typu georadaru s velkým hloubkovým dosahem. – *Speleofórum*, 35: 35–42. Praha.

Obr. 3, 4, 6–14 v barevné příloze
For Figures 3, 4, 6–14 *see colour appendix*

Georadarová a telegnostická měření nad Pekárnou 2017

Kalenda Pavel[1*], Tengler Rudolf[2], Cendelín Richard[3], Slezák Ladislav[4], Pokorný Josef[4]
[1] CoalExp, Pražmo 129; *ČSS ZO 6-19 Plánivy, e-mail: pkalenda@volny.cz
[2] Ing. Rudolf Tengler – RTG, Českobratrská 357, 276 01 Mělník
[3] Brno, Česká republika,
[4] ČSS ZO 6-12 Speleologický klub Brno

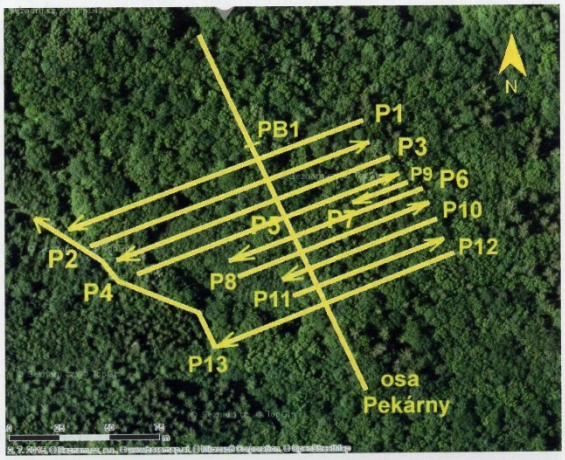
Abstrakt

Výsledky společného virgulového a georadarového (GR) měření v letech 2015 a 2016 v přímém předpolí jeskyně Pekárna v Moravském krasu urychlily další společné aktivity. V roce 2017 byly virgulí nalezeny další odbočky z hlavního směru jeskyně Pekárna, paralelní chodba západně od vchodu a bylo pokračováno v hledání směrů odvodnění zejména k JJZ. Detailní GR měření ukázala na charakter chodeb, potvrdila telegnostická měření a existenci hlubšího jeskynního patra v hloubce cca 60–75 m pod povrchem (30–45 m pod úrovní jeskyně Pekárna).

Úvod

Cílem naší práce bylo navázat na měření ve stejné oblasti jako v letech 2015 a 2016 a zpřesnit průběh jeskyně Pekárny v oblasti koncového závalu a bezprostředně za ním.

Vlastní předpolí jeskyně Pekárna na ploše cca 100 × 150 m (obr. 1) jsme proměřili pomocí nového typu georadaru Roteg s velkým hloubkovým dosahem (RTG-Tengler 2013; Tengler a kol. 2016) a paralelně detekovali kontury možných chodeb pomocí virgule.



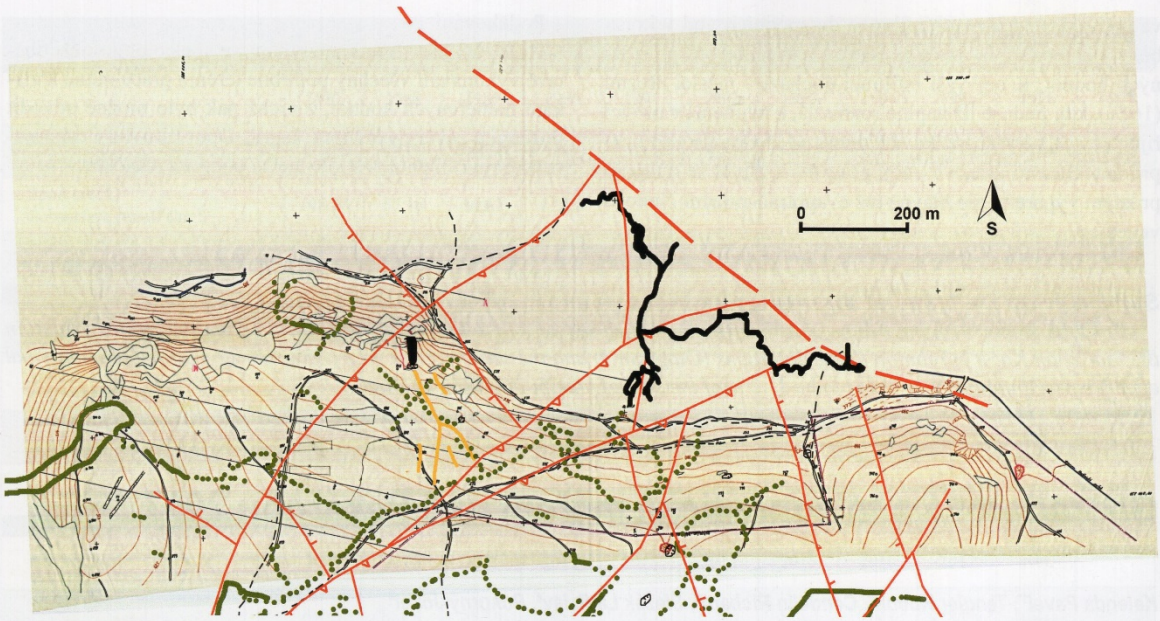
Obr. 1 Schéma profilů proměřená georadarem Roteg v roce 2017 v předpolí Pekárny – bod PB1 označuje konec jeskyně a je fixován na povrchu (Slezák, Cendelín a Pokorný 2017; mapový podklad Seznam.cz 2016)
Fig. 1 A scheme of profiles measured by GPR Roteg in 2017 behind the known end of the Pekárna Cave – point PB1marks the known end of the cave and is fixed to the surface (Slezák, Cendelín a Pokorný 2017; map adopted from Seznam.cz 2016)

Geologie

Geologická stavba vápencové kry, ve které se nachází Pekárna, byla popsána v předchozí práci (Kalenda a kol. 2017). Nově byly získány dosud nepublikované komplexní interpretace z geofyzikálního průzkumu v předpolí lomu Mokrá, který probíhal na plošině v širším okolí lomu Mokrá v letech 1965–1983 (obr. 2; Hruška 1985). Výsledky ukazují, že depresí za známým koncem Pekárny probíhá jedna z významných vodivých zón směru SV–JZ. Detailní geofyzikální (GF) měření ukázala, že za touto depresí pravděpodobně pokračuje Pekárna téměř ve svém původním směru. Všechny vodivé anomálie a indicie zkrasovění končí na velké přesmykové zóně, která prochází téměř podél lesní cesty z Hostěnic do mokrské hájenky. Podél ní pokračuje významná vodivá zóna dále k JZ.

Georadarová měření

Na obrázku 3 jsou výsledky GR měření v roce 2016. Při našem měření nad Pekárnou jsme tentokrát zvolili tříметrové antény v uspořádání „za sebou“, které jsou vhodnější do neprostupnějšího terénu a pro nehluboké jeskyně (obr. 4). Střední frekvence pro zvolené antény je 50 MHz.



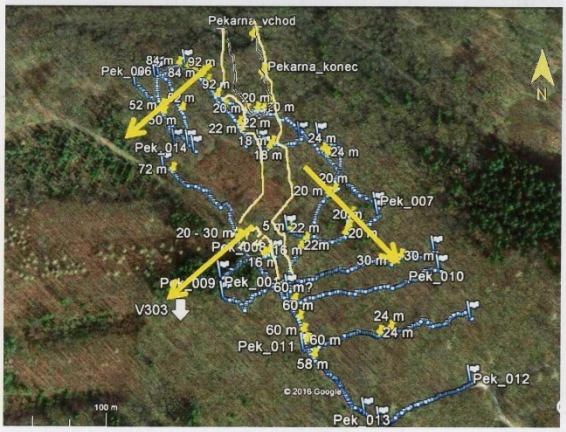
Obr. 2 Komplexní interpretace geofyzikálních měření v předpolí lomu Mokrá na podkladě topografické mapy 1 : 1 000 (upraveno podle Hrušky, 1985). Žlutě – krasové zóny podle několika detailních GF měření, hnědé body, křivky, oblasti – lineární minima podle VES a SOP, červeně – hlavní zlomové linie a přesmyky. Černě – Pekárna a Ochozská jeskyně.

Fig. 2 Complex interpretation of geophysical measurements in the foreground of the Mokrá quarry on the topographic map 1 : 1 000 (adopted from Hruška, 1985). Yellow – karstic zones according to several detailed geophysical measurements; brown dots, curves and areas – linear minima according to VES and RP; red – main faults and thrusts. Black – the Pekárna and Ochozská caves.

Sčítali jsme 10 pulzů při rychlosti cca 3 km.h^{-1}. Krok mezi měřeními byl 0,1 m, přesnost GPS byla cca 1 m. Délka záznamu byla 6 966 vzorků po 0,277 ns, což je celkem 1 929 ns (odpovídající maximální hloubce reflexů 115 m při rychlosti vln 12 cm.ns^{-1}). Vzorkovací frekvence vlny byla 3,6 GHz.

Výsledky georadarových měření, interpretace a diskuze

Profily byly navrženy tak, aby pokryly území cca 100 × 150 m bezprostředně za známým koncem Pekárny, kde jeskyni kříží deprese, a které nebylo detailně proměřeno georadarem v roce 2016 (porovnej obr. 1 a 3). Krok mezi profily byl cca 10 m podle možností a průchodnosti terénu. Části profi-



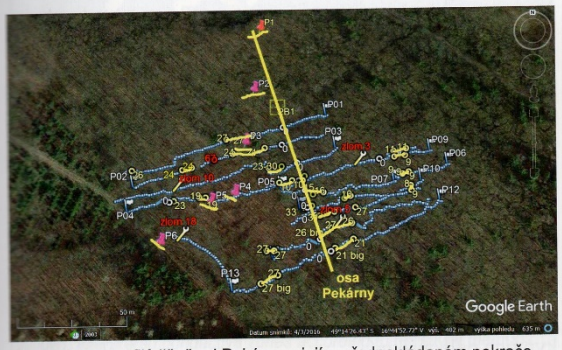
Obr. 3 Výsledky interpretace radarového a telegnostického měření 2015–2016 (Kalenda a kol. 2017). Žlutě – výsledky telegnostického průzkumu, připínáčky označují radarem detekované dutiny a jejich hloubku pod povrchem. Šipky ukazují na další detekované směry pokračování jeskynního systému (mapový podklad GoogleEarth 2016).

Fig. 3 Results of GPR and telegnostic measurements in 2015–2016 (Kalenda et al. 2017). Yellow – telegnostically detected caves, thumbnails mark the cavities detected by GPR, arrows show possible direction and continuation of the Pekárna Cave. (Map adopted from GoogleEarth 2016).

Obr. 4 Měření radarem nad Pekárnou 23. 4. 2017. Vzadu vysílač a anténa, vpředu přijímací anténa s přijímačem, měřením vzdálenosti na profilu a GPS (Foto J. Pokorný).

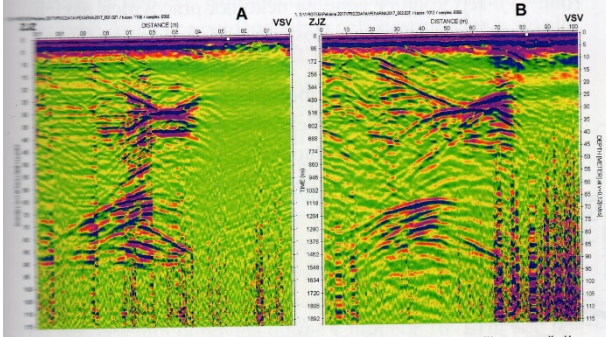
Fig. 4 Field GPR measurements above the Pekárna Cave of April 23, 2017. The transmitter and transmitting antenna (back), the receiver antenna, receiver with GPS and distance tracking in the front (Photo by J. Pokorný)

lů procházely mladým listnatým lesem s prořezávkou, kam jsme se v roce 2016 nebyli schopni dostat se dvěma šestimetrovými paralelními anténami, aniž bychom museli dělat průseky. Realizované profily a detekované jeskyně s hloubkami jsou na obrázku č. 5.



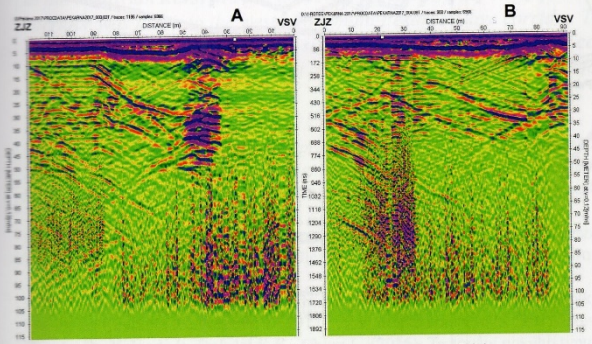
Obr. 5 Mapa profilů jižně od Pekárny v jejím předpokládaném pokračování. Označení profilů je vždy u jejich začátků (staničení 0 m). Kroužky označují začátky a konce detekovaných jeskyní (žlutě) spolu s jejich hloubkou (mapový podklad GoogleEarth 2016). P1 až P6 označují polohy jeskyně vymapované georadarem v roce 1995 (Hruška 1995).

Fig. 5 A map of profiles south of the Pekárna Cave. Profile names are marked at their beginnings (position 0 m). The circles mark the positions of the detected caves (yellow) with their depths. (Map adopted from GoogleEarth 2016). P1–P6 mark the positions of the cave detected by GPR in 1995 (Hruška 1995).



Obr. 6 Radarogram na profilech P01 (A) a P02 (B). Bílé čtverečky označují pokračování osy jeskyně. Zřetelné jsou jak odrazy od stropu Pekárny (staničení 50–60 m, profil P01, staničení 50–75 m, profil P02, hloubky 23–29 m) tak také odrazy od stropu jeskyně v podloží Pekárny v hloubce 62–65 m.

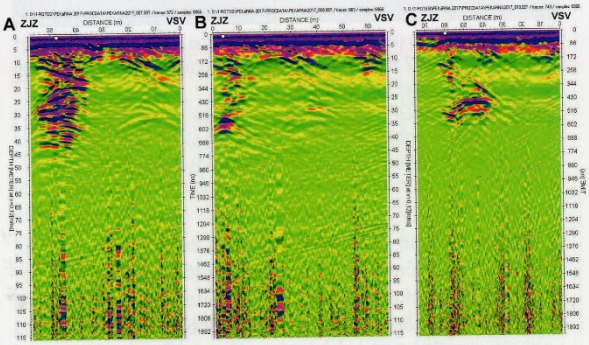
Fig. 6 A radarogram on profiles P01 (A) and P02 (B). White squares mark the position of the axes of the Pekárna Cave. The distinct reflections are caused by the Pekárna Cave ceiling (positions of 50–60 m on profile P01, positions of 50–75 m on profile P02, depth 23–29 m) as well as by an unknown cave below the Pekárna Cave at a depth of 62–65 m.



Obr. 7 a) Radarogram profilu P03, b) Radarogram profilu P04

Fig. 7 a) A radarogram on profile P03, b) A radarogram on profile P04

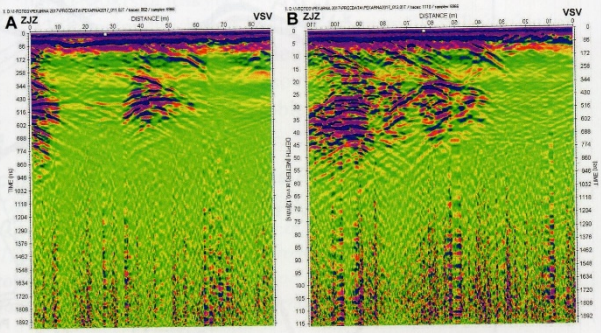
Na profilech P01 a P02, tedy ve vzdálenostech 10 a 20 m za známým koncem jeskyně, byla detekována jeskyně 20–30 m JZ od jejího předchozího průběhu v hloubkách 23–29 m (obr. 6). Kromě Pekárny byla detekována i dosud neznámá hlubší jeskyně 60–65 m pod povrchem. Ta je vázána na zlomové pásmo, na kterém je vytvořena deprese a míří směrem na JZ. Na dalším profilu P03 už tato jeskyně není zachycena, je však detekován okrajový zlom deprese (obr. 7). Na profilu P04 je zachyceno pokračování jeskyně Pekárna jen v náznaku v původním směru. Na dalších profilech P07, P08 a zejména P10 je již opět Pekárna dobře patrná a kromě ní je vidět i slabší reflexe od méně výrazné dutiny ve staničeních 12 m (P7) a 47 m (P8) v hloubce cca 30 m (obr. 8).



Obr. 8 a) Radarogram profilu P07, b) Radarogram profilu P08, c) Radarogram profilu P10

Fig. 8 a) A radarogram on profile P07, b) A radarogram on profile P08, c) A radarogram on profile P10

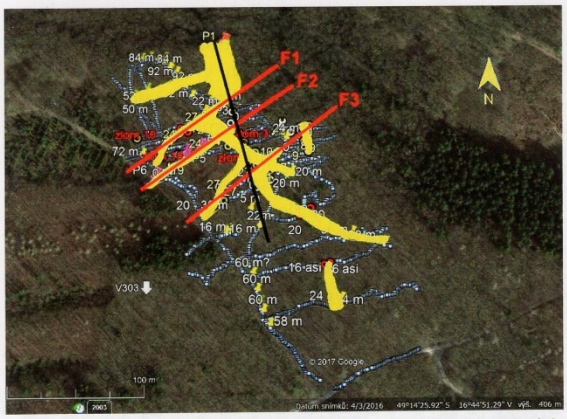
Profily P11 a P12 zachytily dvě větve Pekárny v hloubce cca 20–25 m pod povrchem (obr. 9). Dobře jsou patrná také šikmo (k SV) ukloněná rozhraní, která jsou v blízkosti povrchu pravděpodobně silně zkrasovělá, na což ukazuje velký odporový kontrast. Interpretovaný průběh jeskyní je na obrázku 10.



Obr. 9 a) Radarogram profilu P11, b) Radarogram profilu P12

Fig. 9 a) A radarogram on profile P11, b) A radarogram on profile P12

Na tektonické linii F1 začíná koncový zával jeskyně Pekárna, který pokračuje až na linii F2. Na povrchu tvoří zával mělkou, ale výraznou depresi. Strop vlastní jeskyně je nevýrazně detekovatelný jz. od původního směru jeskyně, výrazněji podél zlomové linie F2. Podél obou zlomových linií F1 a F2 pokračují odbočky Pekárny k JZ.



Obr. 10 Mapa všech georadarových profilů v okolí Pekárny, proměřených v letech 2016 a 2017 (modře) a interpretovaný průběh chodeb (žlutě; mapový podklad GoogleEarth 2016)

Fig. 10 A map of all GPR profiles in the surroundings of the Pekárna Cave, which were measured in 2016 and 2017 (blue), with interpreted courses of corridors (yellow; map adopted from GoogleEarth 2016)

Výrazný odraz od stropu Pekárny začíná být vidět až na profilu P10 téměř v ose jejího pokračování za tektonickou linií F3. Také zde jsou pozorovatelné odbočky k JZ od hlavního směru. Jedna z nich je dobře patrná na radarogramu profilu P12 ve staničení 90–100 m (obr. 9).

Kromě chodeb vlastní Pekárny byla na V od ní detekována menší paralelní dutina, ústící do Kamenného žlíbku (obr. 10). Její strop je 8–11 m pod povrchem.

Kromě upřesnění průběhu chodeb v úrovni Pekárny mezi tektonikami F1 a F3 byly již v roce 2016 (Kalenda a kol. 2017) nalezeny chodby nižšího (50–75 m pod povrchem) a spodního patra (90–95 m pod povrchem) z. a j. od Pekárny podél lesní cesty. Tyto byly potvrzeny na profilech P01 a P02, vedoucích podél tektonické linie F1. Chodby spodního patra jsou geneticky svázány s nepropustnými spodnodevonskými bazálními klastiky, které tvoří bázi odvodnění celého území. Toto bylo také potvrzeno profilem vrtu V303, ve kterém byla navrtána v hloubce 92 m dutina o výšce téměř 1 m a to přímo nad bazálními klastiky.

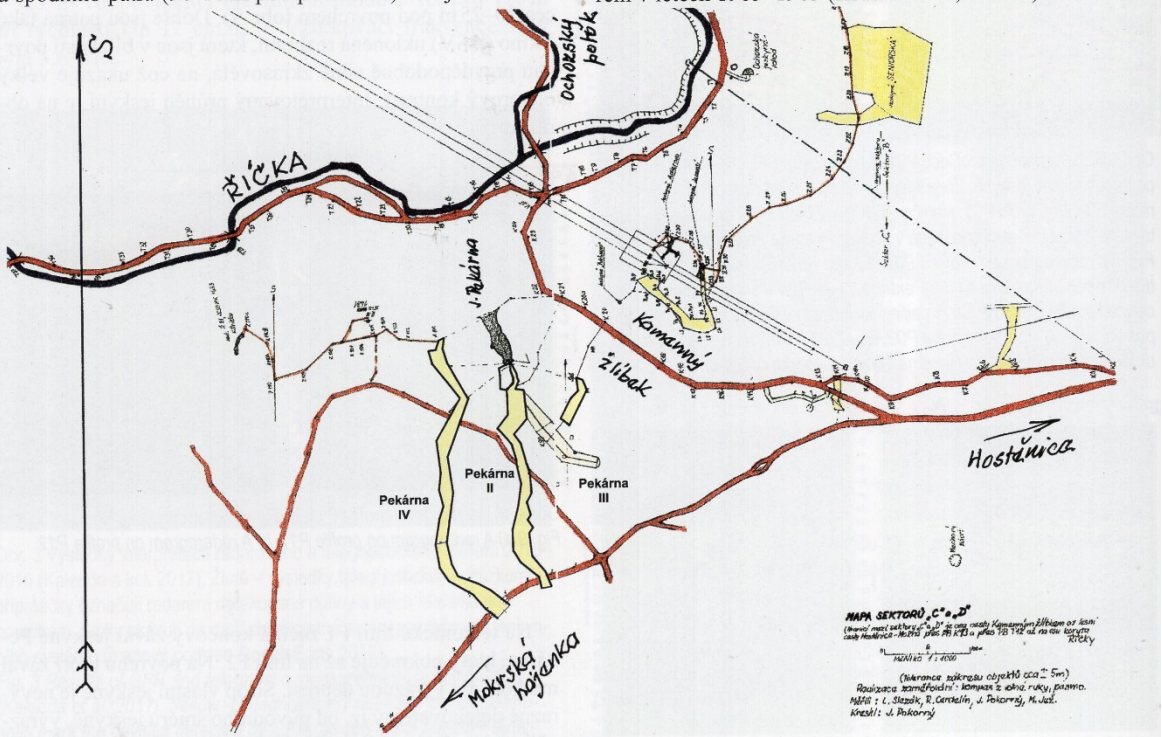
Telegnostická měření

V roce 2017 se naše trojice SE3 (Cendelín, Pokorný a Slezák) velmi bedlivě zabývala detailními telegnostickými měřeními v polích mezi profily vedenými georadarem. Cílem bylo ověření detailních konfigurací tahů krasových dutin, opřených navíc o radarem určené hloubky možných výskytů. Tyto práce byly směrovány k určení genezí jednotlivých dutinových výskytů, jejich korelaci k tektonice, stupni krajinné denudace a v neposlední řadě k vazbám na genezi jeskynních paleoúrovní.

Byly zjištěny kontury dutiny nehluboko pod povrchem, vycházející do Kamenného žlíbku v. od Pekárny (obr. 11), které byly v roce 2016 objeveny při měření georadarem. V roce 2017 bylo naše úsilí zaměřeno na oblast z. od Pekárny, kam směřovaly chodby, které byly indikovány georadarem v hloubce 50–95 m pod povrchem (Kalenda a kol. 2017). Zde jsme nalezli možnou dutinu, směřující paralelně s Pekárnou k jihu, kterou jsme pracovně nazvali Pekárna IV (obr. 11). Její kontury jsme na několika pracovních akcích vysledovali až j. od silnice Hostěnice–Mokrská hájenka.

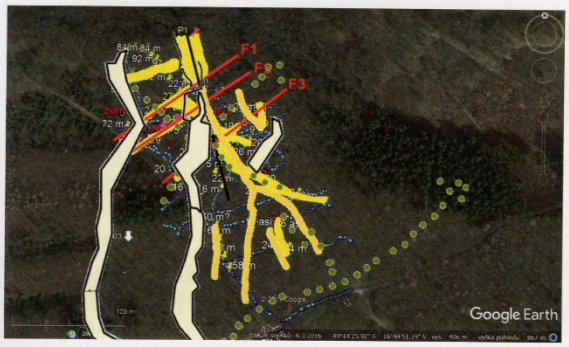
Porovnání výsledků všech měření

Výsledky GR měření nad Pekárnou v letech 2016 a 2017 můžeme porovnat s nyní dostupnými interpretacemi GF měření v letech 1965–1983 (Hruška 1985; obr. 12).



Obr. 11 Telegnosticky detekované jeskyně (žlutě) Pekárna II, Pekárna IV a Kůlnička

Fig. 11 Cavities according to divining rod (yellow): Pekárna II, Pekárna IV and Kůlnička caves



Obr. 12 Mapa interpretovaného průběhu jeskynního systému Pekárny z georadaru (žlutě), interpretovaných vodivých zón podle odporových metod (Hruška 1985; hnědě), krasových zón podle drobné geofyziky (Hruška 1985; okrově) a lokální tektoniky (červeně), černě jsou vyneseny kontury dutin podle virgule (mapový podklad GoogleEarth 2016).
Fig. 12 A map of interpreted GPR courses of the Pekárna Cave corridors (yellow), interpreted conductive zones according to resistivity methods (Hruška 1985; brown), karstified zones according to detailed geophysical measurements (Hruška 1985; ochre) and local tectonics (red). The black lines contour the cavities according to divining rod. (Map adopted from GoogleEarth 2016).

Z porovnání je dobře patrné, že všechny GF metody zachytily správně odskok průběhu jeskyně Pekárna k JZ po příčné tektonice F1 a to o 20–30 m. V přímém pokračování (v depresi) jsou vidět jen náznaky původního směru jeskyně, která je pravděpodobně celá destruována a zavalena. Druhá příčná deprese F2 tvoří jv. hranici deprese cca 50 m za známým koncem jeskyně a je na ní vyvinuta řada dutin a jeskyní. Velice silně se projevuje v geoelektrických metodách nízkými odpory (Hruška 1987; Crha 1983). Na této příčné tektonice jeskyně opět odskakuje k JZ asi o 20 m a dále pokračuje k JV a postupně se stáčí k V. Detailní GF měření v 80. letech (Hruška 1985) se shoduje s výsledky z georadaru až na větev, směřující k J cca 100 m za známým koncem Pekárny. Tato větev nebyla potvrzena na žádném ze 3 GR profilů, proměřených v roce 2016. Krátká větev mezi rozvětvením odpovídá dutině v hloubce 16–24 m pod povrchem a krátká větev z. od osy Pekárny byla zachycena radarem jako významná chodba v hloubce 58–60 m, představující část nižšího patra. Krátká větev na V od Pekárny představuje menší korozní dutinu, vyvinutou na tektonice paralelní s Pekárnou v hloubce 8–11 m.

Telegnostické detekce dutin také ukázaly, že mezi tektonikami F1 a F2 je Pekárna pravděpodobně zavalena až na ně jaké menší průlezy a generelně odskakuje k JZ od původního směru. Pokračování hlavní chodby – Pekárna II – se na tektonické linii F3 stáčí k JZ, kde byly georadarem detekovány chodby v hloubce 16–27 m. Za lesní cestou pokračuje telegnostická detekce dále k J. V roce 2017 byla nově detekována dutina – Pekárna IV, která však nemá žádnou podporu v GF měřeních 1965–83 (Hruška 1985). Do této oblasti bude nově nasměrováno ověřovací GR měření, protože již pro měřené profily neumožnily detekovat v této oblasti chodby převážně směru S–J. Jedinou indicií jsou profily P01–P04 které ukázaly, že v okolí tektonické linie F1 jsou vyvinuty dutiny v hloubkách 18–24 m. Tyto dutiny odpovídají v krátkém úseku 30 m telegnosticky detekované dutině.

Závěr

Georadarem byly detailně zmapovány dutiny a chodby které geneticky souvisí s jeskyní Pekárnou, v jejím bezprostředním předpolí. Bylo zjištěno, že Pekárna nepokračuje v přímém směru dále k JV (pravděpodobně je přímé pokračování zcela zavaleno), ale uskakuje na příčné tektonice k JZ asi o 20–30 m a dále se dělí na několik ramen s převládajícím pokračováním k JZ.

Byly detekovány významné chodby v hloubkách 60–75 m pod povrchem a to jak bezprostředně jz. od Pekárny, tak také na tektonice F1 (směřující také k JZ) a 100 m v předpolí Pekárny (směřující k J). Nejhlubší významné dutiny byly detekovány z. od Pekárny v hloubce cca 92 m, která odpovídá hranici mezi bazálními devonskými klastiky a vápencovým komplexem. Tyto dutiny potvrdily úroveň nejhlubší báze odvodnění, navazující pravděpodobně na erozní bázi v úrovni Mokrské jeskyně.

Zevrubná korelace dosažených poznatků během r. 2017 velmi výrazně posunula představy o paleogeografickém vývoji j. části Moravského krasu, zvláště z hlediska pozice jeskyně Pekárny, jako torza předneogenního jeskynního systému, zčásti zdevastovaného v období mladších modelačních fází vázaných na Hostěnický potok, a jeho erozní báze (Mokrská jeskyně).

Tyto poznatky by ve svém výstupu měly velký význam pro směřování jednak speleologického průzkumu, jednak pro poznání akumulací krasových vod v zónách pod úrovní dnešní, velmi kapacitně problematické úrovně.

Summary: Ground penetrating radar and telegnostic measurements above the Pekárna Cave in 2017

The results of the divining rod and the Ground Penetrating Radar (GPR) measurements in the immediate foreground of the Pekárna Cave in the Moravian Karst in 2015 and 2016 accelerated the subsequent common activities. New branches of the Pekárna Cave and a parallel corridor was found to the west of the main Pekárna Cave corridor. The drainage mainly to the SSW from the Pekárna Cave was discovered. Detailed GPR measurements showed the character of the cave corridors, confirmed the divining rod measurements and confirmed the existence of a deeper cave level at a depth of 60–75 m below the surface (i.e., 30–45 m below the Pekárna Cave level).

Literatura:
Crha J. (1983): *Souhrnná závěrečná zpráva Mokrá, část II.* – Nepublikovaná zpráva, GP Ostrava, závod Brno.
Hruška J. (1985): *Komplexní analýza geofyzikálních měření v předpolí lomu Mokrá.* – Nepublikovaná zpráva, Geofyzika Brno.
Hruška J. (1987): *Horákov – Mokrá, závěrečná zpráva o provedeném geofyzikálním měření na území ložiska.* – Nepublikovaná zpráva, Geofyzika Brno, Z-6706.
Hruška J. (1995): *Pekárna, georadarová měření v roce 1995.* – Nepublikovaná zpráva, Geofyzika Brno.
Kalenda P., Tengler R., Cendelín R., Slezák L., Pokorný J. (2017): Georadarová a telegnostická měření nad Pekárnou 2016. – *Speleofórum,* 36: 30–35. Praha.
RTG-Tengler (2013): http://georadar.rtg-tengler.cz/geologicky-zlom-u-sobotky.
Slezák L., Cendelín R., Pokorný J. (2017): Jeskyně Pekárna v jižní části Moravského krasu ve světle nových výzkumů. – *CD edice SE-3-2017,* TO-2-5.
Tengler R., Kalenda P., Doležal F. K., Chlup L. (2016): Testování nového typu georadaru s velkým hloubkovým dosahem. – *Speleofórum,* 35: 35–42. Praha.

Příspěvek k paleohydrografii jižní části Moravského krasu

Ladislav Slezák[1, 2], Richard Cendelín[2], Milan Ježek[1, 2], Josef Pokorný[1, 2], Kamil Pokorný[2, 3]
[1] ZO ČSS 6-12, [2] Pracovní skupina SE–3, [3] Individuální člen

Úvod

V návaznosti na výsledky výzkumů zaměřených převážně na speleogenezi jeskyně Pekárny, které skupina pracovníků ve spolupráci s dalšími specialisty prováděla v minulých letech (foto 1), vyvstala celá řada dalších námětů k výzkumu. Cílený průzkum georadarem doplněný o telegnostické měření odkryl potřebu rozšířit výzkum do okolních návazujících ploch z. od jeskyně Pekárny. Detekce neznámé sítě krasových komunikací a její geneze jsou další úkoly, které stojí před námi.

Litologie a tektonika

Pro vznik a další vývoj krasových jevů jsou tektonické deformace a litologie vápencových komplexů zásadním prvkem, včetně sekundární břidličnatosti a projevů mladších fází tektoniky, vázaných na období karpatu a mladší. Soustavy tektonických poruch jsou orientovány vesměs ve směru SSV–JJZ, jsou povětšině strmé (radiální charakter). K pohybům na těchto liniích v j. části Moravského krasu docházelo ve smyslu násunů nebo stupňů s relativně malými výškovými skoky (několik desítek metrů). Námi studované území je budováno převážně mocným komplexem rigidních, hrubě lavicovitých a masivních šedých kalových tříštivých vápenců, s hojnou stromatoporovou faunou. Tento komplex (s odhadem mocnosti do sta metrů) vystupuje na povrchu silně denudované Mokerské plošiny, rozbrázděné starými krasovými tvary (údolí, závrty), které jsou dnes maskovány reziduí zvětralin různého typu a stáří. Zmíněný dominující komplex vápenců (vilémovické vápence) je po stránce chemické řazen k vápencům vysokoprocentním (až 96% $CaCO_3$). Již v minulosti byl těžen jako vápenická surovina i jako surovina stavební. Desítky zaniklých jámových dobývek jsou patrny v místech, kde vápence vystupují na nezakrytý povrch terénů, například v. od Hostěnického propadání.

Hlavní vápencový soubor je odkryt na levém svahu údolí Říčky v profilu Hádek – Jelínkův mlýn. Svislé skalní stěny v horních částech údolního svahu tvoří přes 20 m vysoké sruby, přes jejichž úpatí jsou přesypány kužely svahových sutí. Na těchto profilech je možno vysledovat bazální zónu, kde kompaktní vilémovické vápence nasedají na litologicky poněkud odlišné vápence s lavicovitou až deskovitou skladbou. Je značně pravděpodobné, že právě podloží kompaktního tělesa bylo v období karpatské fáze alpínské orogeneze deformováno, čímž mohly vzniknout na plochách odlučnosti ploché dutiny či místa pro průniky krasových vod (foto 2). Pokud byla vyklenutá místa proťata vertikálními poruchami, mohly se uplatnit jak korozní, tak následně i erozní procesy (foto 3). Dosud známé fragmenty jeskyněk jako jsou Jezevčí, Adlerova, Křížova, Kůlnička, Slezákova díra a patrně i řada dalších, dosud pod úpatími skalních srubů ukrytých vchodů, by v budoucnu mohly přispět k objasnění jejich geneze. V terénu je možno vysledovat i kamenné moře na svazích údolí, kde převládá materiál masivních vápenců. V období pleistocénu, díky hlavně mrazovým střídavým destrukcím, došlo k ústupu svahů, včetně tehdejších jeskynních vchodů.

Dominantním tektonickým prvkem studovaného území je mohutný přesunový (poklesový?) zlom, který je vysledován z prostoru Mokerské hájenky podél lesní komunikace mezi Hostěnicemi a Mokerskou hájenkou. Jeho pokračování najdeme napříč Kamenným žlíbkem, prochází chodbou „U Kužele“ v Ochozské jeskyni a Druhým velkým dómem, přes Zkamenělou řeku a v terénu se promítá v morfologii údolní stráně nad jeskyní Májovou. Je evidentně rozdělujícím prvkem hydrologické situace, který ovlivňuje rozvodí hostěnických vod. Estavela je jejich vývěrem, zatím co o několik desítek metrů po toku Říčky již dochází k propadání jejích vod do systému společného vyústění ve Vývěrech Říčky. Funkce rozvodí výše uvedeného zlomu ve vztahu k hydrologii

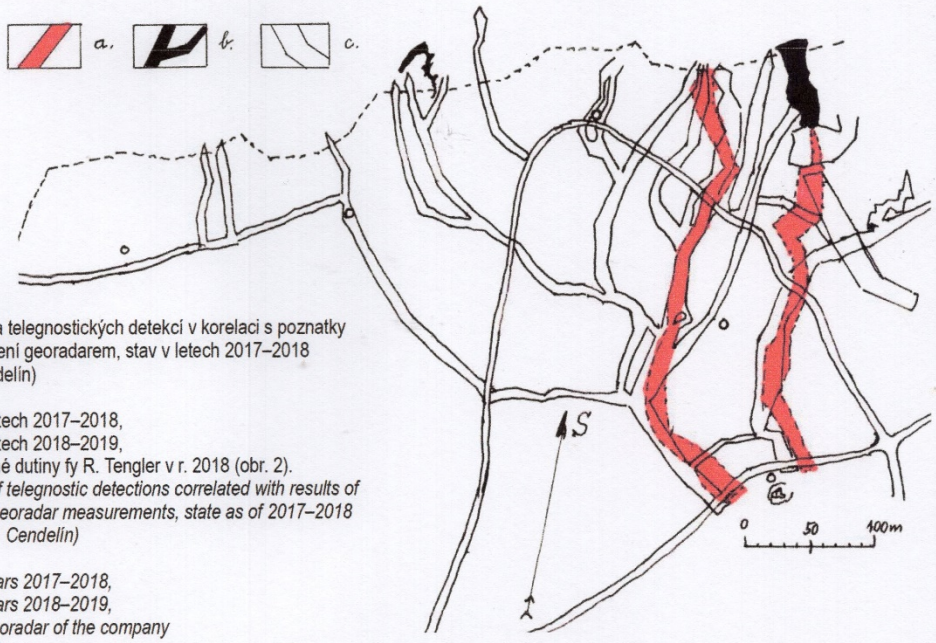
dobývacího prostoru velkolomu v Mokré velmi dobře popisuje Hypr (1998). V současné době máme k dispozici několikaleté výsledky hydromonitoringu z vrtů PV-002 a PV-035. (Jeden je umístěn v území Mokrá – jih, a druhý Mokrá – sever). Naměřená data plně odpovídají poznatkům D. Hypra.

Telegnostický výzkum v prostoru západně od jeskyně Pekárny

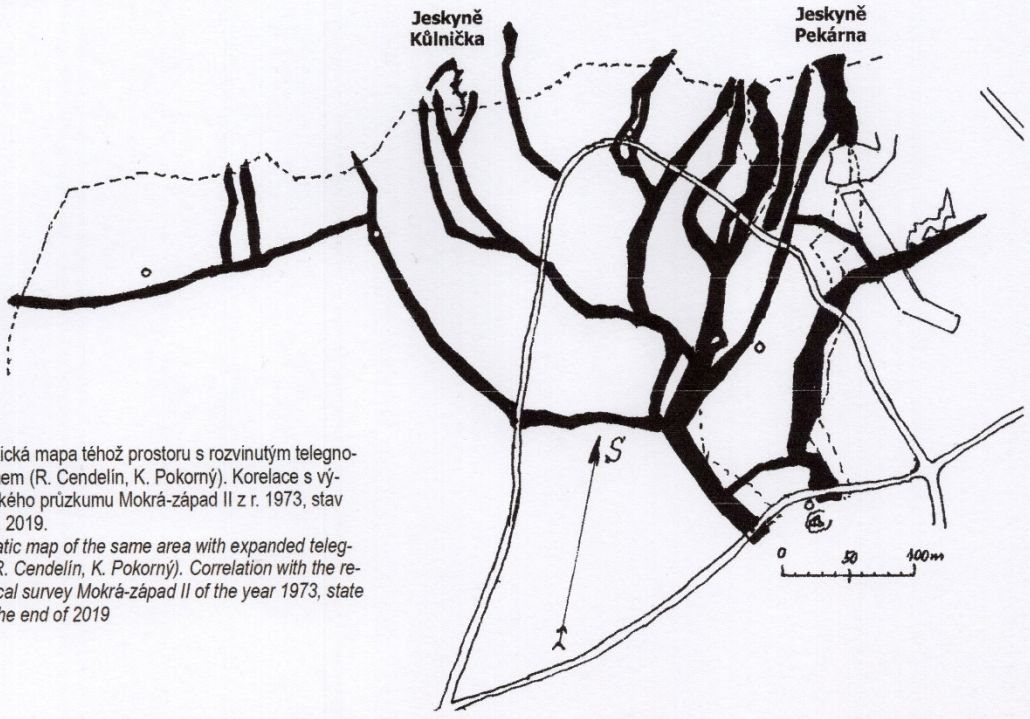
Po uzávěrce georadarového výzkumu zaměřeného na pokračování jeskyně Pekárny (Kalenda a kol. 2018) se ukázalo, že v hloubkách kolem 20 m pod povrchem terénu se vyskytuje neznámý a rozvětvený systém krasových dutin, které mají svoje zákonité uspořádání a s velkou pravděpodobností s průběhem Pekárny (předmiocenní) přímo nesouvisí. Právě na jejich výzkum a detekci, včetně zmapování jsme se zaměřili.

Zatímco před dvěma roky jsme zjistili (Slezák, Cendelín a Pokorný 2017) jejich části (obr. 1), koncem r. 2019 to byla rozsáhlá síť neznámých podzemních dutin (obr. 2).

Dne 6. prosince 2019 byla provedena georadarová měření R. Tenglerem a P. Kalendou a výsledky byly zpracovány formou předběžné zprávy z georadarového měření v okolí Pekárny (Kalenda – dosud nepublikováno). Po vyhodnocení

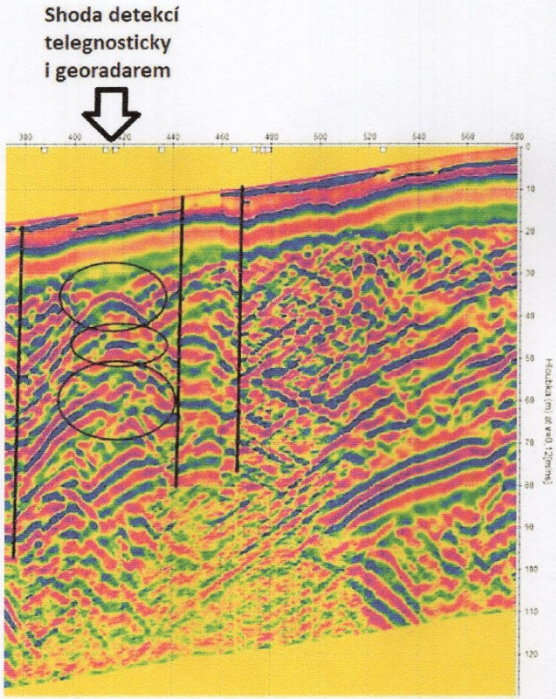


Obr. 1 Schematická mapa telegnostických detekcí v korelaci s poznatky geofyziky a výsledky měření georadarem, stav v letech 2017–2018 (Autoři L. Slezák, R. Cendelín)
Vysvětlivky:
a) detekované dutiny v letech 2017–2018,
b) detekované dutiny v letech 2018–2019,
c) georadarem detekované dutiny fy R. Tengler v r. 2018 (obr. 2).
Fig. 1 A schematic map of telegnostic detections correlated with results of geophysical survey and georadar measurements, state as of 2017–2018 (Authors L. Slezák and R. Cendelín)
Explanations:
a) cavities detected in years 2017–2018,
b) cavities detected in years 2018–2019,
c) cavities detected by georadar of the company of R. Tengler in year 2018.



Obr. 2 Schematická mapa téhož prostoru s rozvinutým telegnostickým výzkumem (R. Cendelín, K. Pokorný). Korelace s výsledky geologického průzkumu Mokrá-západ II z r. 1973, stav prací ke konci r. 2019.
Fig. 2 A schematic map of the same area with expanded telegnostic survey (R. Cendelín, K. Pokorný). Correlation with the results of geological survey Mokrá-západ II of the year 1973, state of works as of the end of 2019

telegnostické detekce a georadarového měření byla shledána mezi oběma velká míra shody (obr. 3). Georadarové měření má oproti telegnostickému výzkumu možnost zjistit sedimentární výplně jeskynních dutin a tím přispět k doplnění dalších hloubkových výskytů vertikálního i horizontálního charakteru včetně hlavní tektonické a litologické charakteristiky.



Obr. 3 Georadarový profil, vedený na staničení 415 m na trase U detekoval dvě pod sebou se nacházející úrovně dutin, z nichž horní se nachází v hloubce 20–30 m, druhá, níže položená, je v hloubce 45 m. Dutina v hloubce 20 m svojí hloubkou a konfigurací přesně souhlasí s telegnostickou detekcí Kamila Pokorného.
Fig. 3 A georadar profile directed to point 415 at line U detected two superimposed levels of cavities. The upper level lies at a depth of 20–30 m. The second, lower-positioned level lies at a depth of 45 m. The cavity at a depth of 20 m precisely corresponds with the telegnostic detection of Kamil Pokorný in its depth and configuration.

Telegnostické odhady se stále pohybují v uvedené úrovni, tj. na litologické hranici (spodní úrovni) souvrství rigidních vilémovických vápenců (celistvé, hrubě lavicovité). V této souvislosti se nabízí zcela nové pojetí odvodňování z. části Mokerské plošiny v kontextu s vývojem říční sítě (údolí Říčky) po ústupu bádenské záplavy (již v pliocénu?). Náš výzkum jsme rozšířili též do oblasti propadání Hostěnického potoka, abychom zjistili, jak se projevuje komplex rigidních vilémovických vápenců opět při své předpokládané bázi. Za uzávěrou Vilémova údolíčka (propadání Hostěnického potoka č. 2 – povodňové) se objevil horizont neznámých dutin. Obdobné byly i hloubky s ohledem ke sklonům vrstev a zvýšené mocnosti a to mezi 10 až 25 m. V místech, kde se hloubky přiblížily k 45 m, bylo možno uvažovat již o zadní části Ochozské jeskyně (Sifonová chodba). V úseku mezi

Foto 1 Naše výzkumná skupina (SE–3) v plném počtu v r. 2019 před Ochozskou jeskyní. Zleva K. Pokorný, R. Cendelín, L. Slezák, M. Jež, J. Pokorný (Foto J. Pokorný)
Photo 1 Our research team SE–3 in full numbers in front of the Ochozská Cave in 2019. From the left: K. Pokorný, R. Cendelín, L. Slezák, M. Jež and J. Pokorný (Photo by J. Pokorný)

rozcestím „Troják" (historické rozmezí tří panství) a horním vchodem do Ochozské jeskyně byly zjištěny při patě pravé údolní stráně dva paleoponory a deprese (závrtek). Je tedy možno předpokládat, že i tato strana Kamenného žlíbku sloužila jako odvodňovací komunikace vyšší úrovně v období, kdy ještě nebyly otevřeny dnešní ponory Hostěnického potoka do systému Ochozské jeskyně, a tak nebyla umožněna akumulace pleistocenních splavenin v jejích, tehdy ještě volných, prostorách. Pokud je nám známo, nebyly při uvolňovacích pracích v jeskyních Jezevčí, Adlerova, Křížova, Kůlnička a Slezákova díra zastiženy žádné hrubší fluviální sedimenty (štěrky). Speleologický zájem o výše uvedené jeskyně nebyl dostatečně intenzivní, aby bylo možno hodnotit tyto jeskyně v celém průběhu. Portálové partie byly povětšině zajímavé z hlediska archeologického. V literárních pramenech jsou jeskyně tohoto typu většinou uváděné jako „jeskyně svahové" bez badatelských perspektiv.

Foto 2 Horizontální rozvolnění vrstevních sledů hrubě lavicovitých vápenců – na plochách tektonické odlučnosti se tvoří ležaté embryonální dutiny (Foto K. Pokorný 2019)
Photo 2 Horizontal loosening of stratal packages of thickly bedded limestones: horizontally elongated embryonic cavities are formed along planes of tectonic disintegration (Photo by K. Pokorný, 2019)

Foto 3 Skalní stěna masivních vilémovických vápenců porušená vertikální tektonikou – na puklinách jsou vytvořeny vertikální korozní dutiny (Foto K. Pokorný 2019)
Photo 3 A cliff face of massive limestones of the Vilémovice Member, cut by vertical tectonic structures: vertical corrosion cavities are developed along joints (Photo by K. Pokorný 2019)

Přestože některé telegnosticky zjištěné neznámé dutiny mají délku několik desítek metrů, hlavní tahy probíhají od rozvodnicového zlomu až k linii skalních srubů levého svahu údolí Říčky v délkách až 300 m. V tomto případě by již pravděpodobně nešlo o nevýznamné krátké sběrače průsakových vod z povrchu plošiny, ale nabízí se spoluúčast vod Hostěnického potoka, který se patrně periodicky přeléval z Hostěnické deprese do široké části horního dílu Kamenného žlíbku. Tyto vody pronikaly k místní erozní bázi, kterou ve výšce 350 až 370 m n. m. představoval tok Říčky. V této souvislosti se nabízí i úvaha, že tyto vody pronikaly i závalem Pekárny a pod její z. stěnou se později propadaly do nižších úrovní. Tyto komunikace z. od Pekárny jsou prokazatelně zjištěny georadarem (hloubky 50 m a 90 m). Na tomto místě je třeba připomenout i pozorování M. Kříže (Kříž a Koudelka 1902), který sledoval povrch sedimentů v Pekárně ještě před následnými umělými zásahy a konstatoval, že pod z. stěnu směřovaly kdysi vody, které přitékaly od konce jeskyně a ztrácely se v neznámém, balvany ucpaném vertikálním pokračování. Geofyzikální prostorový model výplně jeskyně tomu plně nasvědčuje (Jiří Hruška, ústní sdělení 2019).

Foto 4 Georadarové měření dne 6. 12. 2019 – vůz konstruktéra georadaru Ing. Tenglera táhne elektrody georadaru po vyznačené trase (Foto J. Pokorný 2019)
Photo 4 Georadar measurements on December 6, 2019: the car of georadar designer Ing. Tengler pulls georadar electrodes along the marked trajectory (Photo by J. Pokorný 2019)

Obrázek 3 přináší orientační přehled příčných řezů telegnosticky zkoumaných prostor s uvedením hloubek. Podle této přílohy je patrné, že prostory mají charakter plochých dutin, což podporuje představu o jejich litologicko-tektonické predispozici na plochách odlučnosti vrstevních sledů (báze polohy masivních vápenců a kontakt rozvolněných podložních poloh). V průběhu detekované soustavy neznámých dutin lze předpokládat výskyt i větších prostor v místech průsečíků s vertikálními, silně korodovanými poruchami. Novým přínosem poznatků na toto téma jsou současné práce a objev Edwardových slují v komplexu jeskyně Kůlnička (Nováček, Kos a Chaloupský 2019).

Závěr a diskuze

Výzkum neznámé soustavy krasových dutin v horním dílu Kamenného žlíbku je v současné době veden na základě dokumentačních prací telegnostické detekce, výsledcích základního geologického mapování a pozorování hydrografie Hostěnického potoka. Stejně tak je tomu i v případě výzkumu nad jeskyní Pekárnou, kde jsou navíc k dispozici materiály z průzkumných prací prováděných v dřívějších obdobích pro potřeby cementárny v Mokré (na tomto místě děkujeme za vstřícnost a pochopení vedení ČMC Mokrá). Nejnovějšími pracemi jsou georadarová měření, jejichž výsledky byly též publikovány (Kalenda a kol. 2018). Naše práce směřují k doplňování znalostí o speleogenezi a paleohydrografických poměrech v období vývoje jeskyně Pekárny a následných, komplikovaných vodních cestách po regresi miocenního moře až po dnešní dobu.

Slábnoucí plošné dotace atmosférických vod na povrch v krasu nejen, že vážně naruší celý cyklus vertikální zóny krasové cirkulace, ale patrně zcela degradují již vytvořené sekundární výplně dutin.

Summary: A contribution to paleohydrography of the southern part of the Moravian Karst

Working team SE–3, as a unit within Caving Club 6-12 of the Czech Speleological Society, conducts exploration and documentation of an unknown network of subterranean drainage paths of the Mokerská Plateau west of the Pekárna Cave and in the upper part of the Kamenný žlíbek Valley in the southern part of the Moravian Karst. The system lies 20–30 m deep under the surface of the plateau, probably representing erosional-corrosional communications of areal drainage at the lower level of the vertical circulation zone in the limestone body of the Vilémovice Member.

Literatura:

Hypr D. (1998): Nové poznatky o hydrogeologii jižní části Moravského krasu. – *Speleo*, 26: 13–20. Praha.

Kalenda P.: Předběžná zpráva z georadarového měření v okolí Pekárny. – Dosud nepublikováno.

Kalenda P., Tengler R., Cendelín R., Slezák L., Pokorný J. (2018): Georadarová a telegnostická měření nad Pekárnou 2017. – *Speleofórum*, 37: 25–29. Praha.

Kříž M., Koudelka F. (1902): *Průvodce do moravských jeskyň, díl II.* – Vlastním nákladem: 108 – 111 (XXIV – Jeskyně zvaná Kostelíkem, také Pekárnou a Díravicí). Ždánice – Vyškov.

Nováček P., Kos P., Chaloupský P. (2019): Edwardovy sluje; nová jeskyně v údolí Říčky. – *Speleofórum*, 38: 24–29. Praha.

Slezák L., Cendelín R., Pokorný J. (2017): Jeskyně Pekárna ve světle nových výzkumů. – *CD Edice SE–3*, ročenka č. 9/2017, TO 2. Vlastním nákladem.