

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geologie



Bc. Kristýna Prylová

Vyhodnocení monitoringu důlních vod v okolí zatopeného dolu Turkaňk

Evaluation of hutch water monitoring in the vicinity of flooded Turaňk mine

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph. D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Wlosok

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 19. 8. 2016

Podpis

Abstrakt

Kutná Hora a její okolí je od středověku významným územím, kde probíhala těžba polymetalických rud. Těžba zde trvala do 90. let 20. století a v průběhu historie byla několikrát přerušena. Poslední novodobá těžba probíhala na dole Turkaňk, který byl znovu otevřen v roce 1950. V roce 1991 zde byla ukončena těžba i provozní čerpání důlních vod. Důl se do roku 2001 zatápěl přítoky podzemních a srážkových vod a důlní vody se výrazně nabohacovaly rudními prvky a sloučeninami rozpouštěním sekundárních minerálů, které vznikly oxidací v otevřeném dole. V roce 2001 došlo k havarijní situaci způsobené přetokem důlních vod do dědičné štolky 14 pomocníků. Důlní vody volně odtékaly štolou do toku Beránka, kterou kontaminovaly. Následně byla zprovozněna čistírna důlních vod v areálu bývalé úpravny rud a bylo započato čerpání důlních vod z jámy za účelem snížení hladiny v Turkaňské jámě a následného čištění důlních vod. V současné době je čistírna důlních vod v provozu s optimalizovanou kapacitou čerpání a hladina důlních vod je udržována pod přelivovou hranou do štolky 14 pomocníků.

Těžba rud probíhala v krystalinickém masivu vrchu Kaňku, na který v severozápadním až jihovýchodním okolí nasedají křídové a kvartérní zvodnělé sedimenty, které jsou potenciálně ohrožené únikem kontaminovaných důlních vod. Z tohoto důvodu ve zmíněné oblasti probíhá monitoring podzemních a důlních vod. Monitoring měl dosud pravděpodobně jen informativní charakter a nebyl vyhodnocován z hlediska vlivů prostředí, jako jsou pozůstatky hornické činnosti, srážky, jejich infiltrace a čerpání na chování podzemních vod.

Práce se zabývá vyhodnocením probíhajícího monitoringu z hlediska výše zmíněných faktorů a dále z hlediska posouzení monitorovacího systému, zda poskytuje data pro takové vyhodnocení. Výsledkem práce je srovnávací analýza, která zjišťuje, jak se vyvíjí množství a chemismus důlních vod v Turkaňské jámě a podzemních vod v jejím okolí a zda a jak dochází ke kontaminaci podzemních vod. Během vyhodnocení bylo zjištěno, že monitoring není prováděn dostatečně systematicky, aby umožnil přesnou komplexní analýzu. Práce tak doporučuje některé kroky pro jeho optimalizaci.

Summary

Kutná Hora and its outskirts is an area significant for polymetallic ore mining since the Middle Ages. The mining was conducted till 1990s with several interruptions thru history. The latest modern mining operation took place in Turaňk mine, which was reopened in 1950. The production was terminated in 1991 including the operational hutch water pumping. The mine was continuously flooded by groundwater affluents and precipitation water till 2001 and the hutch waters were distinctively enriched with mining elements and compounds of secondary minerals originating from oxidation in opened mine. In 2001 the hutch water overflowed to ancestral adit of 14 adjuncts causing an emergency situation. The hutch water was freely flowing thru the adit to Beránka stream which it contaminated. A hutch-water treatment plant was build consecutively in the area of former ore-preparing plant and pumping of hutch water commenced for the purpose of decreasing water level in Turkaňk hole followed by water decontamination. The plant is currently operational and optimized to maintain stable water level under the spillway to the adit of 14 adjuncts.

The ore extraction took place in crystallinic massif of Kaňk hill, which northwest and southeast vicinity is settled with saturated cetraceous and quaternary sediments. These are potentially endangered by the spill of the contaminated hutch water. For this reason are underground and hutch waters in this area monitored. Until now the monitoring was probably mostly informational and no conclusions were made from environmental perspective, such as debris from mining operation, precipitation, its infiltration and pumping on changes in the hutch water.

The thesis deals with interpretation of the ongoing monitoring from perspective of above mentioned factors. Furthermore it reviews the monitoring system, whether it provides data for such evaluation. The result of this work is a comparison analysis determining the development of level and chemism of the hutch waters in Turkaňk hole and underground waters in the area and if and how are the underground waters contaminated. During the evaluation was found out that the monitoring is not enough systematic to allow exact complex analysis. The thesis hence recommends some optimalization steps.

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, RNDr. Josefu Vojtěchu Datlovi, Ph. D., za odborné a inspirativní vedení, konzultantovi mé diplomové práce, Ing. Jiřímu Wlosokovi za technickou podporu a praktické rady a také státnímu podniku DIAMO za umožnění zpracování zajímavého tématu a za poskytnutí dat a literatury.

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	SITUACE	2
2.1	Vymezení a charakteristika území.....	2
2.2	Historie	4
2.2.1	Historie rudního hornictví v ČR	4
2.2.2	Historie těžby v Kutné hoře.....	4
2.2.3	Historie zatápění dolu Turkaňk	6
2.3	Současnost.....	11
2.3.1	Čistírna důlních vod	11
2.3.2	Monitoring.....	12
3	PROZKOUMANOST	30
4	METODIKA VLASTNÍ PRÁCE.....	31
4.1	Terénní rekognoskace.....	31
4.2	Data	31
5	VLASTNÍ PRÁCE.....	33
5.1	Syntéza geologických a hydrogeologických poznatků.....	33
5.1.1	Geologická stavba území.....	33
5.1.2	Geologické poměry ložiska	37
5.1.3	Hydrogeologické poměry	38
5.1.4	Chemismus podzemních a důlních vod	40
5.1.5	Hydrologie území	41
5.1.6	Produkty důlní a hutní činnosti.....	42
5.2	Srovnávací analýza.....	44
5.2.1	Kvantitativní část.....	44
5.2.2	Kvalitativní část.....	51
5.2.3	Mapy izolinií	94
6	VÝSLEDKY	123
6.1	Výsledky srovnávací analýzy	123
6.2	Návrh optimalizace monitoringu.....	124
7	DISKUSE	126
8	ZÁVĚR.....	128
9	LITERATURA.....	129

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Přehledová topografická mapa zájmové oblasti (základní mapy ČR, ČUZK)	3
Obrázek 2: Poddolovaná území v okolí Kaňku (ČGS)	6
Obrázek 3: Průběh nástupu hladiny důlní vody v jámě Turkaňk v období 12/1991 až 9/2002 (Hušpauer 2002).....	10
Obrázek 4: Detail průběhu nástupu hladiny důlní vody v jámě Turkaňk – období 7/2001 ž 9/2002 (Hušpauer 2002).....	10
Obrázek 5: Vztah zvyšování hladiny důlní vody v jámě Turkaňk a měsíčních srážkových úhrnů (Hušpauer 2002).....	11
Obrázek 6: Mapa lokalizace monitorovacích bodů v okolí dolu Turkaňk (podklad mapy: základní mapy ČR, ČÚZK)	13
Obrázek 7: Konstrukce vrtu EH-1 (Landa 1993)	16
Obrázek 8: Konstrukce vrtu HG-2 (Hušpauer 2002)	18
Obrázek 9: Konstrukce vrtu HG-3 (Hušpauer 2002)	20
Obrázek 10: Konstrukce vrtu HG-4 (Hušpauer 2002)	22
Obrázek 11: Konstrukce vrtu EH-2 (Landa 1993).....	23
Obrázek 12: Konstrukce vrtu HP-1 (Hušpauer 2003)	25
Obrázek 13: Konstrukce vrtu HP-3 (Hušpauer 2002)	27
Obrázek 14: Konstrukce vrtu HP-4 (Hušpauer 2003).....	29
Obrázek 15: Schematický hydrogeologický profil oblasti (upraveno podle Landa 1997).....	33
Obrázek 16: Odkrytá geologická mapa oblasti (ČGS)	35
Obrázek 17: Zakrytá geologická mapa oblasti (ČGS).....	36
Obrázek 18: Mapa hydrogeologických rajónů oblasti (ČGS)	38
Obrázek 19: Graf čerpání a hladiny v Turkaňské jámě	45
Obrázek 20: Graf srážek a hladiny v Turkaňské jámě	
Obrázek 21: Graf čerpání a srážek v Turkaňské jámě	45
Obrázek 22: Graf čerpání a hladiny ve Skalecké jámě	
Obrázek 23: Graf srážek a hladiny ve Skalecké jámě	46
Obrázek 24: Graf čerpání a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 25: Graf srážek a hladiny ve vrtu EH-1	46
Obrázek 26: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 27: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-1	47
Obrázek 28: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 29: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-2	47
Obrázek 30: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 31: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-3	47
Obrázek 32: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 33: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-4	48
Obrázek 34: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 35: Graf srážek a hladiny ve vrtu HV-3	48

Obrázek 36: Graf čerpání a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 37: Graf srážek a hladiny ve vrtu EH-2	49
Obrázek 38: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 39: Graf srážek a hladiny ve vrtu HP-1	49
Obrázek 40: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 41: Graf srážek a hladiny ve vrtu HP-3	50
Obrázek 42: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 43: Graf srážek a hladiny ve vrtu HP-4	50
Obrázek 44: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 45: Graf srážek a hladiny ve vrtu HV-4	50
Obrázek 46: Graf celkové mineralizace důlní vody v jámě Turkaňk.....	51
Obrázek 47: Graf koncentrace As a hladiny v Turkaňské jámě	
Obrázek 48: Graf koncentrace As a srážek v Turkaňské jámě.....	52
Obrázek 49: Graf koncentrace Zn a hladiny v Turkaňské jámě	
Obrázek 50: Graf koncentrace Zn a srážek v Turkaňské jámě.....	52
Obrázek 51: Graf koncentrace Fe a hladiny v Turkaňské jámě	
Obrázek 52: Graf koncentrace Fe a srážek v Turkaňské jámě	53
Obrázek 53: Graf koncentrace Cd a hladiny v Turkaňské jámě	
Obrázek 54: Graf koncentrace Cd a srážek v Turkaňské jámě.....	53
Obrázek 55: Graf koncentrace Mn a hladiny v Turkaňské jámě	
Obrázek 56: Graf koncentrace Mn a srážek v Turkaňské jámě.....	53
Obrázek 57: Graf konc. SO ₄ a hladiny v Turkaňské jámě	
Obrázek 58: Graf konc. SO ₄ a srážek v Turkaňské jámě	54
Obrázek 59: Graf pH a hadiny v Turkaňské hámě	
Obrázek 60: Graf pH a srážek v Turkaňské jámě	54
Obrázek 61: Graf pH a hladina ve Skalecké jámě	
Obrázek 62: Graf pH a srážek ve Skalecké jámě	55
Obrázek 63: Graf koncentrace As a hladiny ve Skalecké jámě	
Obrázek 64: Graf koncentrace As a srážek ve Skalecké jámě	55
Obrázek 65: Graf koncentrace Cd a hladiny ve Skalecké jámě	
Obrázek 66: Graf koncentrace Cd a srážek ve Skalecké jámě	55
Obrázek 67: Graf koncentrace Fe a hladiny ve Skalecké jámě	
Obrázek 68: Graf koncentrace Fe a srážek ve Skalecké jámě.....	56
Obrázek 69: Graf koncentrace Mn a hladiny ve Skalecké jámě	
Obrázek 70: Graf koncentrace Mn a srážek ve Skalecké jámě	56
Obrázek 71: Graf koncentrace Zn a hladiny ve Skalecké jámě	
Obrázek 72: Graf koncentrace Zn a srážek ve Skalecké jámě	56
Obrázek 73: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve Skalecké jámě	
Obrázek 74: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve Skalecké jámě	57
Obrázek 75: Graf pH a srážek ve Skalecké štolé	
Obrázek 76: Graf koncentrace Fe a srážek ve Skalecké štolé	57
Obrázek 77: Graf koncentrace Mn a srážek ve Skalecké štolé	
Obrázek 78: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve Skalecké štolé.....	57
Obrázek 79: Graf koncentrace Zn a srážek ve Skalecké štolé.....	58

Obrázek 80: Graf pH a srážek ve štolě 14 pomocníků	58
Obrázek 81: Graf koncentrace Zn a srážek ve š. 14 pomocníků.	
Obrázek 82: Graf koncentrace Mn a srážek ve š. 14 pomocníků	59
Obrázek 83: Graf konc. SO_4 a srážek ve š. 14 pomocníků	
Obrázek 84: Graf konc. Fe a srážek ve š. 14 pomocníků	59
Obrázek 85: Graf pH a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 86: Graf pH a srážek ve vrtu EH-1	60
Obrázek 87: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 88: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu EH-1	60
Obrázek 89: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 90: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu EH-1	60
Obrázek 91: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 92: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu EH-1	61
Obrázek 93: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 94: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu EH-1	61
Obrázek 95: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 96: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu EH-1	61
Obrázek 97: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 98: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu EH-1	61
Obrázek 99: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 100: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu EH-1	62
Obrázek 101: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu EH-1	
Obrázek 102: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu EH-1	62
Obrázek 103: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 104: Graf pH a srážek ve vrtu G-1	63
Obrázek 105: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 106: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-1	63
Obrázek 107: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 108: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-1	63
Obrázek 109: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 110: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-1	64
Obrázek 111: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 112: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-1	64
Obrázek 113: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 114: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HG-1	64
Obrázek 115: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 116: graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-1	65
Obrázek 117: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 118: Graf koncentrace Cd a srážek v vrtu HG-1	65
Obrázek 119: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-1	
Obrázek 120: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HG-1	65
Obrázek 121: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 122: Graf pH a srážek ve vrtu HG-2	66

Obrázek 123: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 124: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-2	66
Obrázek 125: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 126: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-2	67
Obrázek 127: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 128: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu G-2.....	67
Obrázek 129: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 130: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-2	67
Obrázek 131: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 132: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-2	67
Obrázek 133: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 134: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-2	68
Obrázek 135: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 136: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HG-2	68
Obrázek 137: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-2	
Obrázek 138: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-2	68
Obrázek 139: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 140: Graf pH a srážek ve vrtu HG-3	69
Obrázek 141: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 142: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-3	69
Obrázek 143: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 144: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HG-3.....	69
Obrázek 145: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 146: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HG-3.....	70
Obrázek 147: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 148: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-3	70
Obrázek 149: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 150: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-3	70
Obrázek 151: Graf Koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 152: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-3.....	70
Obrázek 153: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 154: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HG-3	71
Obrázek 155: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-3	
Obrázek 156: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-3	71
Obrázek 157: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 158: Graf pH a srážek ve vrtu HG-4	71
Obrázek 159: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 160: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-4	72
Obrázek 161: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 162: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HG-4.....	72
Obrázek 163: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 164: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HG-4.....	72
Obrázek 165: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 166: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-4	73

Obrázek 167: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 168: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-4	73
Obrázek 169: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 170: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-4	73
Obrázek 171: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 172: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HG-4	74
Obrázek 173: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-4	
Obrázek 174: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-4	74
Obrázek 175: Graf pH a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 176: Graf pH a srážek ve vrtu HV-3	74
Obrázek 177: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 178: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HV-3	75
Obrázek 179: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 180: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HV-3	75
Obrázek 181: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 182: Graf koncentrace Cu a srážky ve vrtu HV-3	75
Obrázek 183: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 184: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HV-3	76
Obrázek 185: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 186: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HV-3	76
Obrázek 187: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 188: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HV-3	76
Obrázek 189: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 190: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HV-3	77
Obrázek 191: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HV-3	
Obrázek 192: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HV-3	77
Obrázek 193: Graf pH a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 194: Graf pH a srážek ve vrtu EH-2	78
Obrázek 195: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 196: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu EH-2	78
Obrázek 197: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 198: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu EH-2	78
Obrázek 199: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 200: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu EH-2	79
Obrázek 201: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 202: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu EH-2	79
Obrázek 203: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 204: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu EH-2	79
Obrázek 205: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 206: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu EH-2	80
Obrázek 207: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 208: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu EH-2	80
Obrázek 209: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu EH-2	
Obrázek 210: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu EH-2	80

Obrázek 211: Graf pH a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 212: Graf pH a srážek ve vrtu HP-1	81
Obrázek 213: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 214: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HP-1	81
Obrázek 215: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 216: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HP-1	82
Obrázek 217: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 218: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HP-1	82
Obrázek 219: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 220: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HP-1	82
Obrázek 221: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 222: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HP-1.....	83
Obrázek 223: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 224: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HP-1	83
Obrázek 225: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 226: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HP-1.....	83
Obrázek 227: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HP-1	
Obrázek 228: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HP-1	84
Obrázek 229: Graf pH a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 230: Graf pH a srážek ve vrtu HP-3	84
Obrázek 231: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 232: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HP-3	84
Obrázek 233: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 234: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HP-3	85
Obrázek 235: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 236: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HP-3	85
Obrázek 237: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 238: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HP-3	85
Obrázek 239: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 240: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HP-3.....	86
Obrázek 241: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 242: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HP-3	86
Obrázek 243: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 244: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HP-3.....	86
Obrázek 245: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HP-3	
Obrázek 246: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HP-3	86
Obrázek 247: Graf pH a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 248: Graf pH a srážek ve vrtu HP-4	87
Obrázek 249: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 250: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HP-4	87
Obrázek 251: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 252: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HP-4	87
Obrázek 253: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 254: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HP-4	88

Obrázek 255: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 256: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HP-4	88
Obrázek 257: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 258: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HP-4.....	88
Obrázek 259: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 260: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HP-4	88
Obrázek 261: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 262: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HP-4.....	89
Obrázek 263: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HP-4	
Obrázek 264: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HP-4	89
Obrázek 265: Graf pH a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 266: Graf pH a srážky ve vrtu HV-4	89
Obrázek 267: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 268: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HV-4	90
Obrázek 269: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 270: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HV-4	90
Obrázek 271: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 272: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HV-4	90
Obrázek 273: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 274: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HV-4	90
Obrázek 275: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 276: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HV-4.....	91
Obrázek 277: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 278: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HV-4	91
Obrázek 279: Graf koncentrace SO ₄ a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 280: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve vrtu HV-4.....	91
Obrázek 281: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HV-4	
Obrázek 282: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HV-4	91
Obrázek 283: Graf koncentrace As a srážek ve studni ST-3	
Obrázek 284: Graf koncentrace Mn a srážek ve studni ST-3.....	92
Obrázek 285: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve studni ST-3.....	92
Obrázek 286: Graf koncentrace As a srážek ve studni ST-19	
Obrázek 287: Graf koncentrace Mn a srážek ve studni ST-19.....	92
Obrázek 288: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve studni ST-19.....	93
Obrázek 289: Graf koncentrace As a srážek ve studni ST-20	
Obrázek 290: Graf koncentrace Mn a srážek ve studni ST-20.....	93
Obrázek 291: Graf koncentrace SO ₄ a srážek ve studni ST-20.....	93
Obrázek 292: Situační mapa analyzovaných vrtů, vodních toků a rozvodí	94
Obrázek 293: Hydroizopiezy křídové zvodně v roce 2006 v m n. m.	95
Obrázek 294: Hydroizopiezy křídové zvodně v roce 2010 v m n. m.	95
Obrázek 295: Hydroizopiezy křídové zvodně v roce 2014 v m n. m.	96
Obrázek 296: Hydroizohypsy kvartérní zvodně v roce 2006 v m n. m.	96
Obrázek 297: Hydroizohypsy křídové zvodně v roce 2010 v m n. m.	97

Obrázek 298: Hydroizohypsy kvartérní zvodně v roce 2014 v m n m.	97
Obrázek 299: Izolinie rozdílu hladin křídové a kvartérní zvodně v roce 2006 v metrech	98
Obrázek 300: Izolinie rozdílu hladin křídové a kvartérní zvodně v roce 2010 v metrech	99
Obrázek 301: Izolinie rozdílu hladin křídové a kvartérní zvodně v roce 2014 v metrech	99
Obrázek 302: Izolinie koncentrací As v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l.....	100
Obrázek 303: Izolinie koncentrací As v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l.....	100
Obrázek 304: Izolinie koncentrací As v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l.....	101
Obrázek 305: Izolinie koncentrací Cd v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l.....	101
Obrázek 306: Izolinie koncentrací Cd v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l.....	102
Obrázek 307: Izolinie koncentrací Cd v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l.....	102
Obrázek 308: Izolinie koncentrací Cu v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l.....	103
Obrázek 309: Izolinie koncentrací Fe v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l	103
Obrázek 310: Izolinie koncentrací Fe v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l	104
Obrázek 311: Izolinie koncentrací Fe v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l	104
Obrázek 312: Izolinie koncentrací Mn v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l.....	105
Obrázek 313: Izolinie koncentrací Mn v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l.....	105
Obrázek 314: Izolinie koncentrací Mn v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l.....	106
Obrázek 315: Izolinie koncentrací Zn v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l	106
Obrázek 316: Izolinie koncentrací Zn v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l	107
Obrázek 317: Izolinie koncentrací Zn v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l.....	107
Obrázek 318: Izolinie koncentrací SO ₄ v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l.....	108
Obrázek 319: Izolinie koncentrací SO ₄ v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l.....	108
Obrázek 320: Izolinie koncentrací SO ₄ v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l.....	109
Obrázek 321: Izolinie koncentrací Pb v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l	109
Obrázek 322: Izolinie koncentrací Pb v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l	110
Obrázek 323: Izolinie koncentrací Pb v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l	110
Obrázek 324: Izolinie koncentrací As v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l.....	111
Obrázek 325: Izolinie koncentrací As v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l.....	111
Obrázek 326: Izolinie koncentrací As v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l.....	112
Obrázek 327: Izolinie koncentrací Cd v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l.....	112
Obrázek 328: Izolinie koncentrací Cd v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l.....	113
Obrázek 329: Izolinie koncentrací Cd v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l.....	113
Obrázek 330: Izolinie koncentrací Cu v kvartérní zvodni v roce 2006 mg/l.....	114
Obrázek 331: Izolinie koncentrací Cu v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l.....	114
Obrázek 332: Izolinie koncentrací Cu v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l.....	115
Obrázek 333: Izolinie koncentrací Fe v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l	115
Obrázek 334: Izolinie koncentrací Fe v kvartérní vodni v roce 2010 v mg/l.....	116

Obrázek 335: Izolinie koncentrací Fe v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l	116
Obrázek 336: Izolinie koncentrací Mn v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l.....	117
Obrázek 337: Izolinie koncentrací Mn v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l.....	117
Obrázek 338: Izolinie koncentrací Mn v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l.....	118
Obrázek 339: Izolinie koncentrací Zn v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l.....	118
Obrázek 340: Izolinie koncentrací Zn v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l.....	119
Obrázek 341: Izolinie koncentrací Zn v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l.....	119
Obrázek 342: Izolinie koncentrací SO ₄ v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l.....	120
Obrázek 343: Izolinie koncentrací SO ₄ v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l.....	120
Obrázek 344: Izolinie koncentrací SO ₄ v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l.....	121
Obrázek 345: Izolinie koncentrací Pb v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l.....	121
Obrázek 346: Izolinie koncentrací Pb v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l.....	122
Obrázek 347: Izolinie koncentrací Pb v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l.....	122

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Seznam aktuálních monitorovacích bodů v okolí dolu Turkaňk.....	12
Tabulka 2: Profil vrtu EH-1 (dle Landa 1993)	15
Tabulka 3: Profil vrtu HG-1 (dleHušpauer 2001)	16
Tabulka 4: Profil vrtu HG-2 (dle Hušpauer 2002)	17
Tabulka 5: Profil vrtu HG-3 (dle Hušpauer 2002)	19
Tabulka 6: Profil vrtu HG-4 (dle Hušpauer 2002)	21
Tabulka 7: Profil vrtu EH-2 (dle Landa 1993)	23
Tabulka 8: Profil vrtu HP-1 (Hušpauer 2003).....	24
Tabulka 9: Profil vrtu HP-3 (dle Hušpauer 2002)	26
Tabulka 10: Profil vrtu HP-4 (dle Hušpauer 2003).....	28
Tabulka 11: Typový geologický profil oblasti (dle Landa 1997).....	34
Tabulka 12: Hydrostratigrafické jednotky oblasti (dle Krásný a Skořepa 1981a in Čupr et al. 2003)..	40

1 ÚVOD

Diplomová práce byla zadána ve spolupráci se státním podnikem DIAMO, jehož odštěpný závod SUL v Příbrami převzal správu lokality Kutná Hora, kde probíhala těžba polymetalických rud. Postupným samovolným zatopením dolu po jeho opuštění v roce 1991 vznikly vysoce mineralizované kyselé důlní vody, které nemohou volně vytékat do povrchových vodotečí. Voda z jámy je tedy čerpána na čistírnu důlních vod, vybudovanou v areálu bývalé úpravný rud, kde je neutralizační technologií důlní voda přečištěna a vypouštěna do drenážního toku Šífovky. Čerpáním na čistírnu důlních vod je zároveň udržována hladina podzemní vody v důlním díle na takové úrovni, aby nedocházelo k přetokům důlních vod do dědičné štol 14 pomocníků, která ústí do povrchového toku Beránka. DIAMO, s. p. – o. z. SUL na lokalitě zajišťuje monitoring důlních a podzemních vod v okolí dolového pole jámy Turkaňk. Monitoring je prováděn z důvodu ochrany podzemních vod, které se v lokalitě vyskytují v křídové a kvartérní zvodni a mohly by být kontaminovány přetokem důlních vod nebo průsaky rozpukaným podložím či starými dobývkami. Monitoring však není komplexně vyhodnocován ať již z hlediska posouzení vhodnosti jeho aktuálního nastavení, nebo z hlediska migrace kontaminace v podzemních vodách, která může být ovlivněna prouděním podzemních vod, výškou hladiny důlní vody v Turkaňské jámě, množstvím srážek a jejich infiltrací v oblastech silně ovlivněných výskytem pozůstatků důlní činnosti v podobě hald těžebních a úpravárenských odpadů.

Téma diplomové práce tedy bylo vybráno s cílem možnosti praktického využití jejích výsledků. Cílem práce je srovnávací analýza časových řad vývoje výšky hladin a množství kontaminantů obsažených ve vodách. Posoudit při tom vliv množství srážek na výšky hladin důlních vod a podzemních vod ve vrtech a vliv výšky hladiny v objektu a srážkových úhrnů na koncentraci kontaminantu. Dalším úkolem je časoprostorové vyhodnocení proudění podzemní vody a rozšíření kontaminantů v podobě map hydroizohyps pro hladiny kvartérní zvodně, hydroizopiez pro křídovou zvodně a izolinií koncentrací pro chemické ukazatele. Posledním cílem je zhodnocení probíhajícího monitoringu a návrh jeho případné optimalizace.

2 SITUACE

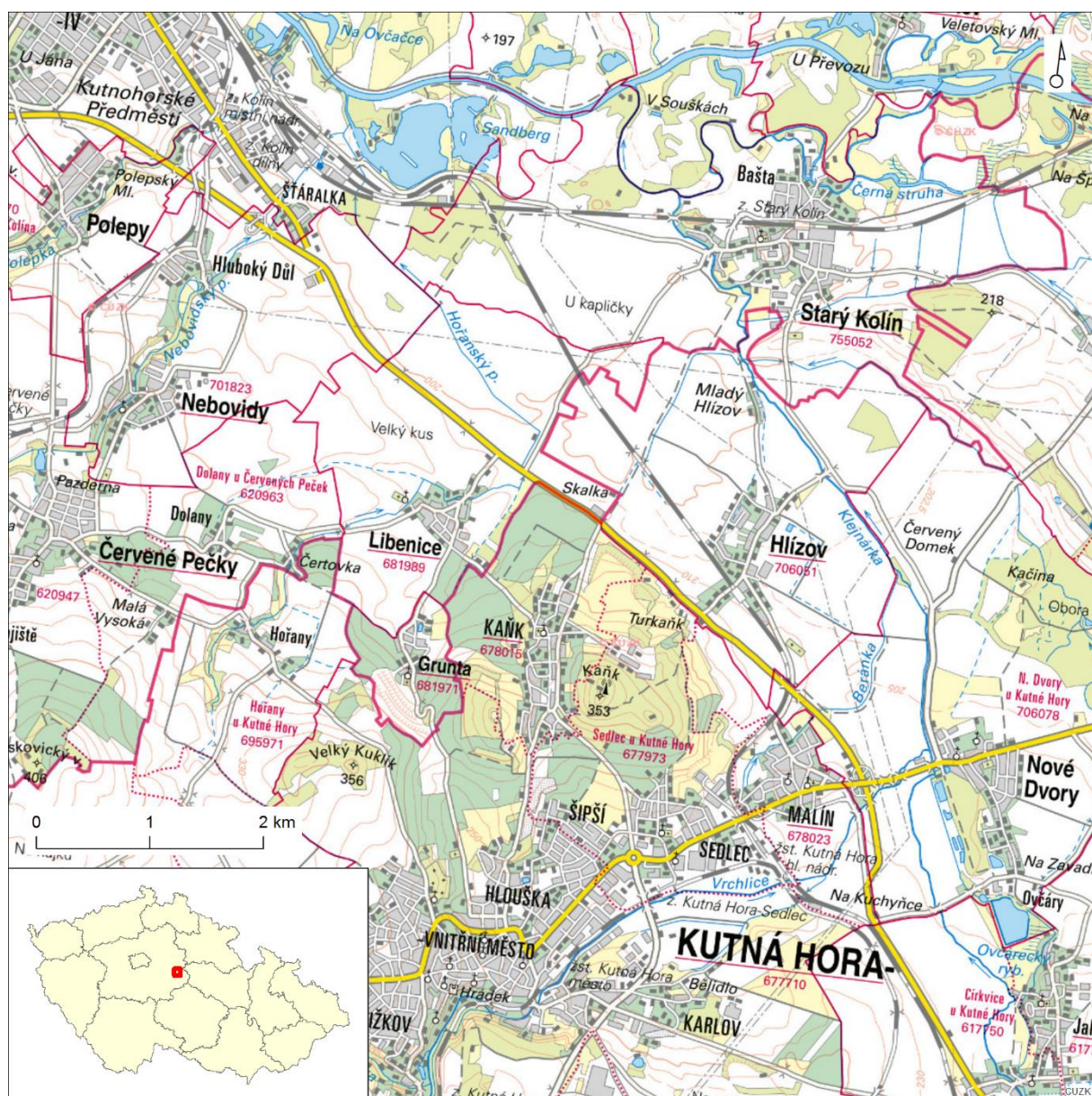
2.1 Vymezení a charakteristika území

Kutnohorský rudní revír zaujímá území cca 5 x 10 km se středem v historickém centru města (Stehlík a Michna 2015), leží ve svahu v rozmezí 220-275 m n. m. a je protažené v severojižním směru. Novější zástavba a sídliště jsou odsud hlavně směrem k severovýchodu (Čupr et al. 2003).

Zájmová oblast se nachází na rozmezí okresů Kutná Hora a Kolín a zahrnuje širší okolí města Kutná Hora. Na severu je ohraničena železniční tratí mezi Kolínem a Starým Kolínem, na východě tokem Klejnárky, na jihu hranicemi území města Kutná Hora a na západě Hořanským potokem. Vymezené území je dobře vidět na obrázku 1.

Geomorfologicky se zájmová oblast nachází na rozhraní Hornosázavské pahorkatiny a Středolabské tabule (Čupr et al. 2003), na severním okraji Kutnohorské plošiny patřící do geomorfologické jednotky Českomoravské vrchoviny (Landa 1997). Jedná se o plochou pahorkatinu v krystaliniku, která je místy překryta denudačními zbytky křídly. Nad úrovní plošiny vyčnívají „suky“ denudačně rigidních amfibolitů. V severní části revíru, tj. ve směru hlavní zájmové oblasti, se krystalinické horniny zanořují pod křídové sedimenty Čáslavské kotliny (Landa 1997), která je však většinou překryta kvartérními náplavami, sprašemi a poblíž Labe i vátými písky. Spád terénu je k severu a severovýchodu směrem k Labi a jeho levostrannému přítoku říčce Klejné (Čupr et al. 2003). Na formování současného výrazného reliéfu oblasti měla vliv jak vnitřní stavba hornin zastoupených geologických útvarů (antiklinorní pásmo kutnohorské), tak i odlišná odolnost hornin vůči větrání a denudaci. Důležitou roli sehrály procesy tříštivé a zlomové tektoniky (saxonské), které se uplatňovaly v několika fázích (Landa 1997). V místě ložiska a jeho bezprostředního okolí vytváří předkřídový povrch krystalinika výraznou elevaci Kaňkovských vrchů, vystupující z pokryvu křídových a kvartérních sedimentů. Povrch terénu při úpatí při úpatí vrchů má nadmořskou výšku přibližně 200-210 m, báze křídly na podpovrchových výchozech ložiska se nejlouběji nachází ve 158 m n. m. (Malec et al. 2001). Zvýšený reliéf vrchu Kaňku je konturován v téměř souvislé linii prudkým svahem, indikujícím náhlé snížení podložního krystalinika (Landa 1997).

Vlastní město Kutná Hora leží v k severovýchodu se rozvírající kotlině na dolním toku Vrchlice. Na severní straně je tato kotlina omezená pásmem tzv. Kaňkovských vrchů, které lemují okraj kutnohorské plošiny, na západě výběžky Kutnohorské plošiny a na jihovýchodě je ohraničena plošinou Na Rovínách. Vrcholky kopců dosahují 320-356 m n. m., plošina Na Rovínách je zhruba ve 270 m n. m., dno kotliny ve 210-240 m n. m. Terén při severním úpatí kopců se nachází přibližně ve 270 m n. m. (Čupr et al. 2003).



Obrázek 1: Přehledová topografická mapa zájmové oblasti (základní mapy ČR, ČUZK)

Klimaticky je popisované území na rozmezí oblasti mírně teplé (ve vyšších polohách) a teplé (v kotlinách). Obě oblasti jsou mírně suché a s mírnými zimami, hodnota dlouhodobého teplotního průměru ve Středočeském kraji za období let 1961-1990 byla 8,2 °C. Roční úhrn srážek ve stejném období byl 590 mm, z toho ve vegetačním období 379 mm (duben až září) a v období vegetačního klidu 209 mm (říjen až březen). Maximum 75 mm bylo v červnu, minimum 30 mm v únoru (ČHMÚ).

2.2 Historie

2.2.1 Historie rudního hornictví v ČR

Počátky dobývání rud na území České republiky můžeme sledovat již od dob starých několik tisíc let před naším letopočtem. Přicházeli sem národy z různých částí Evropy a přinášeli s sebou zkušenosti se zpracováním kovů a technologie jejich dobývání. Základy byly položeny kolem roku 2000 př. n. l. v době bronzové, na našem území doložené tzv. únětickou kulturou, již charakterizuje tváření cínu a mědi v bronzovou slitinu a její zpracování mnoha způsoby. Po roce 1500 př. n. l. přinesl lužický lid další metody zpracování nejen bronzu, ale i železa. Éru železa plně rozvinuli Keltové, kteří přišli na území ČR z východu kolem 7. století př. n. l. a rozšířili se téměř po celé Evropě. Přinesli nové technologie a vytvořili základ současné civilizační epochy. Osídlení primitivními germánskými kmeny na přelomu letopočtu naopak způsobilo zánik vyspělých keltských technologií. V 5.-6. století n. l. přichází Slované a v 9. století vytváří Velkomoravskou říši. Přinesli vlastní zkušenosti a navázali na keltské tradice výroby a posunuli Českou republiku v čele s Prahou do centra obchodního dění v Evropě. Byla významným vývozcem cínu, stříbra a zlata do východních zemí a podílela se na hospodářském vývoji střední Evropy. V období 12. a 13. století došlo k takzvané agrární revoluci. Vrstující počet obyvatel vyžadoval zvýšení produkce potravin, což umožnila náhrada jednoduchých nástrojů z přírodních materiálů železnými, jako jsou pluhy, brány, rýče, lopaty, srpy, kosy sekery a další, které usnadnily práci na poli. Na počátku 13. století měly kovy významnou úlohu, zejména užitkovou, následně rostl význam i drahých a barevných kovů. Ty umožnily nahradit směnné hospodářství peněžním systémem. Výhradními platidly se staly stříbrné a zlaté mince a česká měna od 13. století posilovala, což bylo umožněno těžbou stříbrných rud na ložiskách Českomoravské vrchoviny a poté i na bohatém žilném ložisku v kutnohorském rudním okrsku. V Jihlavě byly položeny základy báňského zákonodárství, udělením první městské výsady rozšířené o ustanovení k podpoře hornické činnosti, známé jako Jihlavské horní právo (Kafka 2003).

2.2.2 Historie těžby v Kutné hoře

Kolem roku 1250 bylo v prostoru budoucí Kutné Hory na ploše 30 km² odkryto 10 hlavních žilných pásem. Bylo zde založeno hornické sídliště, které v letech 1304-1307 získalo atributy města. Kutná Hora povýšila na královské horní město a na počátku 14. století byla druhým největším městem po Praze. Stala se významným hospodářským střediskem a stabilizovala českou měnu produkcí stříbrných grošů, které byly několik desetiletí platidlem i v okolních zemích (Kafka 2003).

Pro těžbu v kutnohorském revíru bylo zásadních 7 rudních pásem. V severní části to byla pásma: rejzské, turkaňské, staročeské a kuklické, ve střední a jižní části to byla pásma: grejfské, oselské a roveňské. Poprvé se v Kutné Hoře začalo dolovat pravděpodobně na vrších Kuklík, Sukov a Kaňk. Nejstarší doly byly pravděpodobně otevřeny v místech křížení oselského a grejfského pásma s nejmocnějšími a nejbohatšími žilami. Nejbohatší doly vznikaly koncem 13. a začátkem 14. století na území současného města. Přestože z počátku těžby byly dostupné pouze primitivní technologie, dosáhly mnohé kutnohorské doly již ve 14. století hloubky až kolem 500 m. Pro dopravu vytěžené rudy se používaly necičky nebo kožené pytle, kolečka a později, někde již před rokem 1475, důlní vozíky, pro dopravu svislými šachtami se používaly těžní žentoury, pro ražbu šachtic ruční vrtáky. Až

do 60. let 16. století se požíval jednoduchý žentour s jedním lanem. Kolejová doprava se zaváděla až v 18. století. Zvětšující se hloubka dolů vyžadovala vývoj důlní, těžní a čerpací techniky (WEB3).

Pro provoz a řízení rozsáhlých kutnohorských dolů vydal král Václav II. roku 1300 první horní zákon, tzv. „královské právo horníků“, *Ius regale montanorum*, označované také jako *Constitutiones iuris metallici* (ustanovení horního práva), nebo také tzv. Kutnohorský řád, jehož platnost trvala až do počátku 17. století. Sestával ze 4 knih s velice obsáhlými ustanoveními, týkajícími se správy a řízení dolů, dolového majetku a jeho propůjčování, nakládání s báňským majetkem a řízení před horními soudy. Jeho cílem bylo dosáhnout rovnosti všech účastníků báňského podnikání a provozu (Kafka 2003). Tento zákon se stal základem horního zákonodárství v řadě evropských i zámořských zemí (WEB3).

Jakási první chemická válka se odehrála, když se chtěl Kutné Hory roku 1304 zmocnit římský císař Albrecht. Na svou obranu havíři znečistili řeku Vrchlici jedovatými hlinkami z dolů a způsobili tím otravy koní a vojáků obléhajících město. Tím Kutnou Horu zachránili. Roku 1318 udělil Jan Lucemburský Kutné Hoře privilegium, jenž ukládalo, že město nesmí být zastaveno ani zcizeno českému království (WEB3).

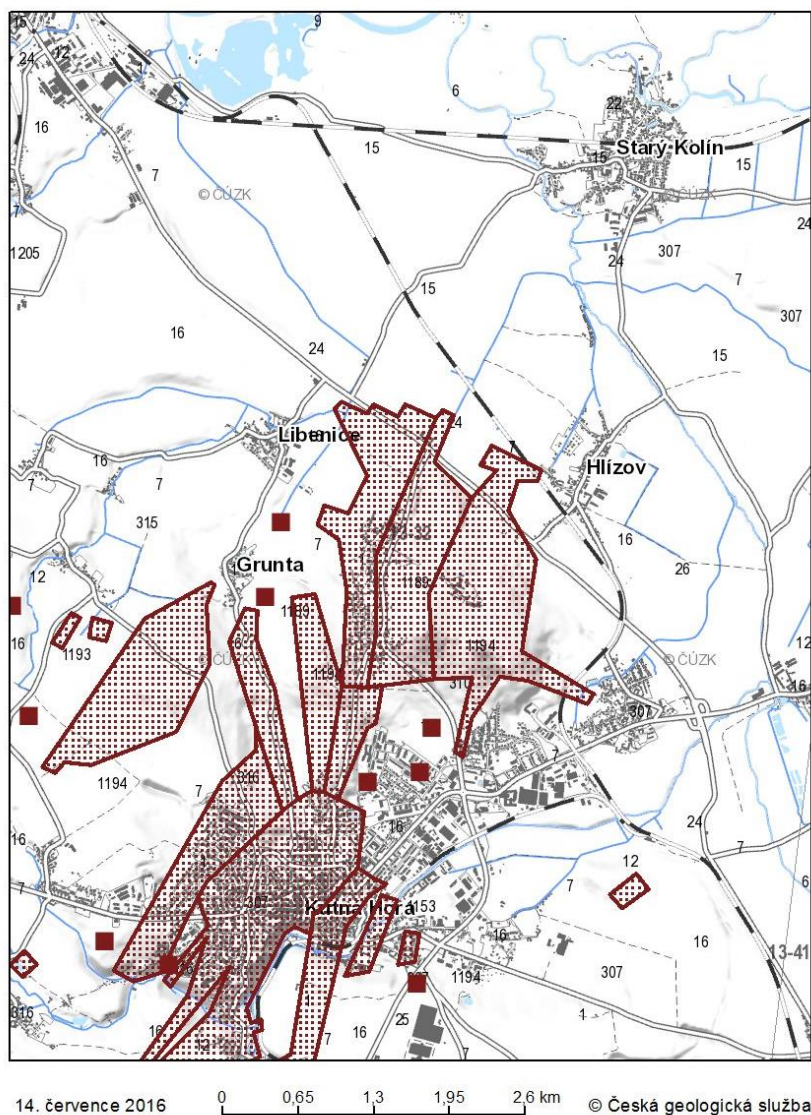
K nejdokonalejším památkám hornictví ve střední Evropě patří soubory kutnohorských báňských map z 16. století. Nejstarší pochází z roku 1534 a zobrazuje Poličanskou štolu. Projevují se zde téměř všechny zásady důlní kartografie a pravděpodobně zde byly poprvé v důlně měřičské praxi použity kompasové měřičské tahy. Technicky nejdokonalejší je mapa Jiříka z Řásné z roku 1587 pro zarážku Panské šachty na Kaňku, která až do ukončení těžby na dole Turkaňk sloužila jako výdušná jáma dolu. Tato šachta a mapa Jiříka z Řásné pomohly při moderním geologickém průzkumu a provozu při ověřování starých zatopených dobývek při znovuootevírání dolu ve 40. letech 20. století (WEB3).

V letech 1250-1278 lze odhadnout roční výtěžek stříbra pro kutnohorský revír na 4000-5000 kg, do konce 13. století až 10 000 kg. V letech 1300-1350 dosahovala roční produkce téměř 20 000 kg a v následujících desetiletích se ustalovala na průměru 10 000 kg ročně. Pro období 1250-1420 lze výtěžek stříbra z kutnohorských žil odhadnout na 2060 tun z celkového výnosu stříbra z ložisek českých zemí, který mohl dosáhnout 2500 tun (Kafka 2003). Ve 30. a 40. letech 16. století začala těžba klesat po opuštění oselských dolů. Později se těžba soustředila hlavně na staročeské pásmo a začala se opět zvyšovat. Po opuštění Kaňku počátkem 17. století těžba znovu upadala. Sporadická těžba v 19. století podnítila v druhé polovině 20. století průzkum na Pb-Zn rudy s obsahem stříbra a mědi (WEB3).

K poslednímu rozvoji těžby těchto rud došlo na dole Turkaňk mezi lety 1950 a 1991 (Čupr et al. 2003). Důl Turkaňk otevřel dobývací prostor o ploše 128,2 ha (Paštyka 1983 in Landa 1997), který byl schválen v roce 1978. Rozfárání důlního pole bylo uskutečněno sedmi patry, která jsou vzájemně vzdálena do 4. patra 100 m, dále jsou pak po 50 m. Hlavní jáma Turkaňská je hluboká 570 m (Landa 1997), do důlního systému patřily ještě Panská jáma (hluboka 221 m) a další dvě mělčí šachty Máří Magdaléna a Leopold. Ty sloužily ale jen jako větrací a únikové (Malec et al. 2001). Dobývací metoda spočívala v technologii tzv. otevřené komory. Systém otevřených komor vede k postupnému zavalování či propadávání nadložních hornin s následnou změnou (zvýšením) filtračních vlastností horninového masivu nad vlastními komorami. Z třetího patra Turkaňské jámy je propojení s jámou

Panskou (dnes výdušnou), na jejíchž čtyřech patrech byla ukončena důlní činnost již počátkem 60. let (Landa 1997).

Těžba probíhala prakticky jen na rejském a zejména na turkaňském pásnu, ale otevřená díla byla se nacházela i na pásmech staročeském, grunteckém a nifelském (Malec et al. 2001). Plošný rozsah důlních prací byl zhruba omezen severním, východním a jižním úpatím Kaňku, na západě dosahoval k obci Gruntě. Plocha rozfáraného území je cca 4 km² (Klír 1975 in Malec et al. 2001). Rozsah poddolovaného území v zájmové lokalitě je zobrazen na obrázku 2. Ložisko bylo opuštěno z ekonomických důvodů, nikoli pro úplné vyčerpání zásob (Čupr et al. 2003).



Obrázek 2: Poddolovaná území v okolí Kaňku (ČGS)

2.2.3 Historie zatápění dolu Turkaňk

Nejsvrchnější první patro Turkaňské jámy se nachází v úrovni úpatí kopce. V minulosti bylo toto patro zpřístupněno a odvodňováno několika dědičnými štolami, z nichž je nyní přístupná pouze štola 14 pomocníků, jejíž ústí se nachází při západním okraji Malína. Přítoky vody do ložiska byly zejména na horních patrech a směrem do hloubky se zmenšovaly, takže 5. patro Turkaňské jámy v -140 m n. m.

bylo v době těžby téměř suché. V letech 1953 až 1961 přitékalo do dolu 150-570 m³/den (Vránová 1974 in Malec et al. 2001), okolo roku 1990 pak 450 m³/den (Ing. Štorková, ústní sdělení 1995 in Malec et al. 2001). Přitom i v té době některé prostory středověkých dobývek zůstávaly zaplaveny. Deprese hladiny podzemních vod, způsobená čerpáním z dolu, vyvolávala přítoky z okolních zvodněných tektonických poruch v krystaliniku, z kolektorů v křídě a lokálně i z kvartéru (Hušpauer 2001 in Malec et al. 2001).

20. 12. 1991 bylo ukončeno dlouhodobé provozní čerpání důlních vod ze systému podzemních děl dolu Turkaňk (Hušpauer 2002) a důl byl ponechán postupnému zaplavení (Malec et al. 2001). Celkové přítoky do dolu před zahájením zatápění činily podle provozních záznamů cca 420 l/min, tj. cca 7 l/s (Hušpauer 2002). Předpokládalo se, že někdy v letech 1999-2001 dosáhne hladina přelivové úrovně cca 210 m n. m., na níž se nachází první patro dolu, odvodňované původně dědičnými štolami (Landa a Rak 1996 in Malec et al. 2001). V první polovině roku 2001 nastoupávala hladina v jámě průměrně o 1,2 m za měsíc (Ing. Svoboda, ústní sdělení in Malec et al. 2002). Jedná se o silně kyselou vodu s vysokými obsahy Fe, As, Zn, Cd a jiných kovů, kterou není možné volně vypouštět (Čupr et al. 2003). Aby nastoupané důlní vody nemohly z 1. patra dolu nekontrolovaně vyvěrat při úpatí kopce nebo prosakovat do křídové či kvartérní zvodně, byla roku 1998 zpřístupněna a od naplavených mohutných vrstev železitých okrů vyčištěna štola 14 pomocníků, která měla podle původního rozhodnutí sloužit k odvádění vody do čistírny. V roce 2000 však došlo v Kutné Hoře k bouřlivé veřejné diskusi o vlivu arsenu a jiných rizikových složek z důlních vod na životní prostředí a na zdraví obyvatel. Zároveň byla několikrát posuzována vhodnost umístění čistírny a skládky odpadních kalů (Malec et al. 2001). Byl zvažován prostor bývalé úpravny rud v areálu bývalých Rudných dolů a prostor v předpolí ústí štoly 14 pomocníků a jednání probíhala ještě v první polovině roku 2001 (Hušpauer 2002). V únoru roku 2001 byl Hušpauerem a Kadlecovou vypracován geologický posudek, jež měl doporučit maximální hladinu zatápění tak, aby bylo eliminováno ovlivnění křídových a kvartérních podzemních vod. Hušpauer 2002 tato doporučení shrnuje:

- 1) Aby byla vyloučena i jen teoretická možnost přetoku silně mineralizovaných důlních vod z dolového pole jámy Turkaňk do komplexu křídových hornin, bylo by nutné udržovat úroveň důlní vody v dolovém poli pod úrovní báze křídového útvaru v předpolí vrchu Kaňk. Ta se pod severními a severozápadními svahy nachází ve výšce okolo 158 m n. m. v pokračování staročeského pásma, pod jižními a jihovýchodními svahy ve výšce okolo 174 m n. m. ve směrném pokračování rejzského pásma. Udržování důlní vody na této úrovni je sice možno považovat za maximálně bezpečné, avšak s ohledem na indikovaný tlakový režim bazální křídové zvodně za nepřiměřeně nízké.
- 2) Orientačně byla piezometrická úroveň hladiny bazální křídové zvodně odvozena na základě zaměření ve vrtech HG-1 a EH-1, kde činila cca 199,96-202,45 m n. m. Bude-li vodní sloupec v jámě Turkaňk udržován na stejné výškové úrovni, jakou dosahuje tlaková výška zvodně v přilehlé části pánve, bude hydraulický gradient mezi oběma zvodněmi více méně roven nule a nebude docházet v této oblasti k přetokům podzemních vod z oblasti dolového pole do kolektoru bazálních křídových sedimentů.
- 3) Z důvodu nedostatečných znalostí tlakových poměrů v bazální křídové zvodni bylo předběžně doporučeno udržovat hladinu na úrovni 185 m n. m., tj. cca 25 m pod úrovní 1. patra jámy

Turkaňk. Při udržování hladiny na této úrovni lze jednoznačně vyloučit možnost chemického ovlivnění kvartérní zvodně, neboť nejnižší zjištěná úroveň báze terasových zvodněných sedimentů kvartéru se pohybuje okolo 190 m n. m. Navrhovaná úroveň je současně přibližně 15 m pod předběžně indikovanou piezometrickou úrovní hladiny křídové zvodně, což by znamenalo dostatečnou rezervu přetlaku v křídové zvodni vůči tlaku vodního sloupce důlních vod v dolovém poli jámy Turkaňk.

V polovině června 2001, kdy se hladina vody v Turkaňské jámě nacházela již jen asi 4,5 m pod 1. patrem, stále ještě nebylo jasno v opatřeních, která budou použita, aby nastoupané důlní vody volně nevytékaly štolou 14 pomocníků do potoka Beránka u Malína. V létě roku 2001 bylo rozhodnuto, že čistírna důlních vod bude stát v areálu bývalých Rudných dolů na Kaňku. Její stavba byla 30. 7. 2001 zahájena, nebylo však reálné ji dokončit před nastoupaním hladiny k přelivové úrovni (Malec et al. 2001). V časové tísni byla proto zahájena stavba provizorní čistírny důlních vod a její provoz byl zahájen v říjnu 2001. Již v září roku 2001 ale dosáhla důlní voda v jámě Turkaňk přelivové úrovně do štol 14 pomocníků (tj. kóty 210,32 m n. m.). Čistírnu provázely provozní potíže, malá počáteční kapacita a časté odstávky. Protože ve štolu 14 pomocníků se v předstihu vybudovala tlaková hráz, došlo k postupnému vzestupu důlní vody až na kótu cca 213,6 m n. m. (20. 2. 2002). Následnými technickými opatřeními (výstavbou sedimentačních nádrží, 2. reaktoru, 2. a 3. kalolisu, výměnou čerpadla) se dosáhlo toho, že hladina již dále nestoupala a v této výšce byla udržována čerpáním až do cca 15. 5. 2002, kdy po zvýšení kapacity čistírny na současných cca 7,5 l/s bylo zahájeno její postupné snižování. Ke dni 23. 9. 2002 se hladina důlní vody nacházela již v úrovni 210,53 m n. m., tj. těsně pod ohlubní jámy v úrovni 1. patra. Po dosažení přelivové úrovně hladiny důlní vody do štol 14 pomocníků a po jejím dalším nástupu došlo v listopadu 2001 k havarijní situaci, při níž došlo k prudkému zhoršení kvality vod vytékajících volně ze štol. Nárůst mineralizace byl provázen rovněž poklesem pH k hodnotám kolem 5,5. Následně byl kontaminován tok Beránka v obci Malín (Hušpauer 2002).

V návaznosti na vzniklou havarijní situaci, výše uvedená doporučení a ekologickou závažnost problematiky migrace, čištění a likvidace koncentrovaných důlních vod vyvstala rovněž potřeba revize a doplnění stávajícího systému monitorování důlních, podzemních a povrchových vod v okolí dolového pole jámy Turkaňk. V období od 20. 5. 2002 do 28. 6. 2002 proběhlo v severozápadním a severním předpolí Kaňku vyhloubení celkem tří nových monitorovacích vrtů HG-2 až HG-4 a v jižním a jihovýchodním předpolí Kaňku dvou nových vrtů HG-5 a HG-6. Vrtů byly vyhloubeny především pro získání aktuálních informací o tlakových poměrech v bazální křídové zvodni a pro zajištění možnosti následného monitorování její kvality. K monitorování kvartérní zvodně terasových šterkopísků byl vyhlouben v těsné blízkosti vrtu HG-3 jeden monitorovací vrt HP-3 (Hušpauer 2002). Od severního okraje obce Kaňk až k železniční trati Kutná Hora Kolín probíhá elevace předkřídového reliéfu podél hydrotermálně alterované tektonické struktury skaleckého rudního pásma, na kterou přímo nasedají fluvialní sedimenty kvartéru se souvislým zvodněním bez izolačních vrstev, a toto území je potenciálně náchylné k eventuálním pretokům důlních vod do kvartérní zvodně. Proto v období od 4. 3. 2003 do 11. 3. 2003 proběhlo v severním předpolí Kaňku vyhloubení dalších dvou monitorovacích vrtů HP-1 a HP-4, vystrojených na kvartérní zvodeň (Hušpauer 2003). Při hloubení nových monitorovacích vrtů byl jednoznačně ve všech případech prokázán tlakový režim v bazální křídové zvodni. Z výsledků měření ze dne 17. 7. 2002 vyplývá, že piezometrická úroveň

hladiny podzemní vody v bazální křídové zvodni se v těsném předpolí dolového pole jámy Turkaňk nachází v intervalu 200-216 m n. m. Z orientačních výsledků hydrodynamických zkoušek vyplývá, že fluviální sedimenty tvoří v zájmovém území dosti silně propustné horninové prostředí s vysokou transmisivitou, zatímco sedimenty cenomanu v okolí vrtu HG-3, tj. v severovýchodním předpolí Kaňku vykazují slabou až dosti slabou propustnost a celkově nízkou transmisivitu. O řád vyšší je transmisivita sedimentů cenomanu a spodní části bělohorského souvrství pod jihovýchodními svahy Kaňku v širším okolí vrtu HG-5. Propustnost je zde možno hodnotit jako mírnou a transmisivitu jako střední (Hušpauer 2002).

Při zvažování možností eventuálních přetoků vysoce mineralizovaných důlních vod do okolních zvodní (křídová, kvartérní) Hušpauer 2002 konstatoval následující skutečnosti:

- 1) Proložíme-li horizontální řez dolovým polem na úrovni maximální hladiny důlní vody, které bylo dosaženo v únoru až květnu roku 2002 (tj. cca 213,6 m n. m.), je zřejmé, že ve všech níže položených částech území v předpolí Kaňku se podle geologického průzkumu nachází křídové sedimenty se zastoupením turonu a často i cenomanu. Přímé pronikání důlních vod do bazální křídové zvodně je v této části zájmového území omezeno zejména prokázaným tlakovým režimem v bazální křídové zvodni, nízkou transmisivitou podložního krystalinika, geochemickými procesy v zóně míšení (bazální křídové sedimenty cenomanu i turonu jsou převážně ve vápnatém vývoji) a omezením potenciálních preferenčních cest pouze na roztěžené části ložiska.
- 2) S ohledem na zjištěnou piezometrickou úroveň hladiny bazální křídové zvodně v rozmezí cca 200-216 m n. m. lze akceptovat úroveň hladiny důlní vody na kótě okolo přelivové úrovně do štol 14 pomocníků (cca 210,32 m n. m.). Při udržování hladiny na této úrovni by nemělo docházet k významnějším průsakům mineralizovaných vod do bazální křídové zvodně ani do kvartérní zvodně a tedy ani k významnému zhoršování jejich kvality. To potvrdily i analýzy křídových i kvartérních vod i po té, co byla hladina důlní vody nad touto kótou (213,6 m n. m.)

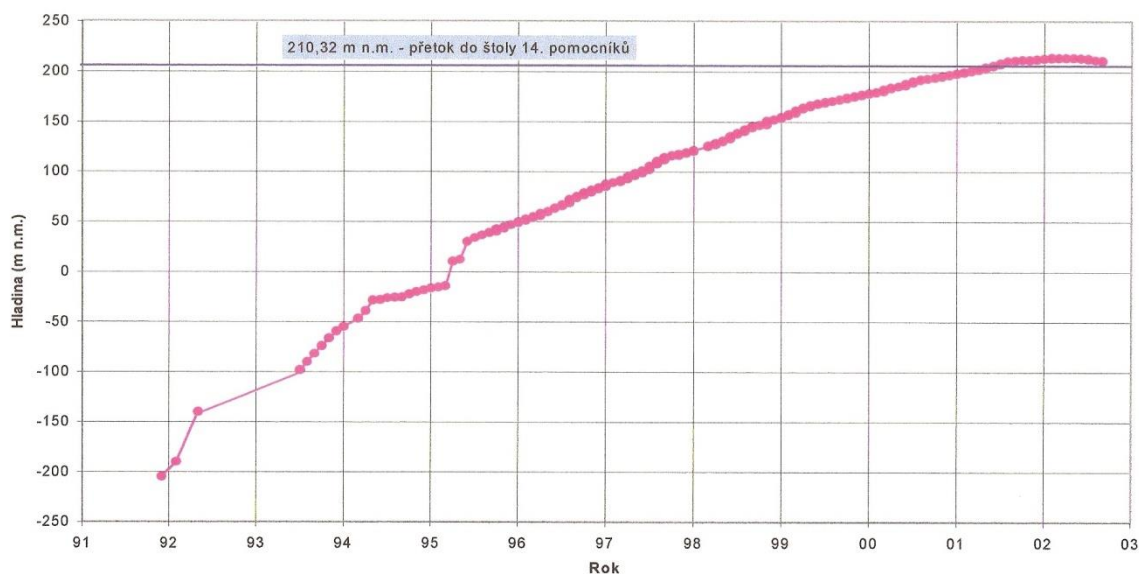
Vzniklá situace byla řešena také v odborném posudku společnosti SEPARA-EKO, spol. s r. o. Brno, z jehož závěrů vyplývá doporučení snížit hladinu důlní vody v Turkaňské jámě na kótu 209 m n. m., přičemž nehrozí bezprostřední zdravotní a ekologická rizika (Hušpauer 2002).

Rychlost zatápění dolu zvolna klesala, např. v 2. polovině roku 1993 činilo průměrné měsíční zvýšení hladiny cca 7,76 m, v roce 1996 cca 3,12 a v roce 2001 už pouze 1,23 m. V průběhu nástupu hladiny lze pozorovat dílčí výkyvy od téměř lineárního nástupu (rok 1998-2000) po výraznější poklesy a nárůsty hladiny (1993-1996), viz obrázek 3. Detail chování hladiny v období 2001-2002 je na obrázku 4. Dle Hušpauera 2002 na časové změny systému měly vliv zejména tyto faktory:

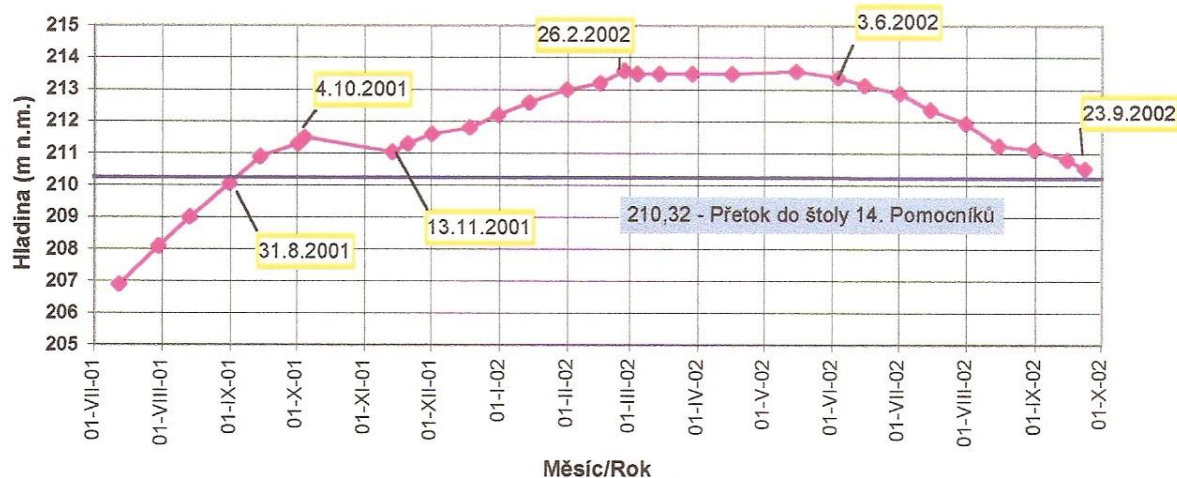
- 1) Různá intenzita přítoků z různých výškových úrovní dolu (v provozních záznamech Rudných dolů bylo dokumentováno: 1. patro – 20 l/min., 2. patro – 16 l/min., 3. patro – 205 l/min., 4. patro – 80 l/min., 5. patro – 90 l/min., 6. patro – 9 l/min.) a postupné snižování hydraulického gradientu.
- 2) Různá intenzita rozfárání a vydobytí ložiska v různých výškových úrovních. Hlavní vliv mají především novodobé ražby a dobývky na turkaňském a rejzském pásmu, které dosáhly

značných mocností (místa 8-10 m) i plošných rozměrů vydobytých ploch, a to zejména mezi 2. až 4. patrem jámy (tj. výšková úroveň cca -89 až +110 m n. m.)

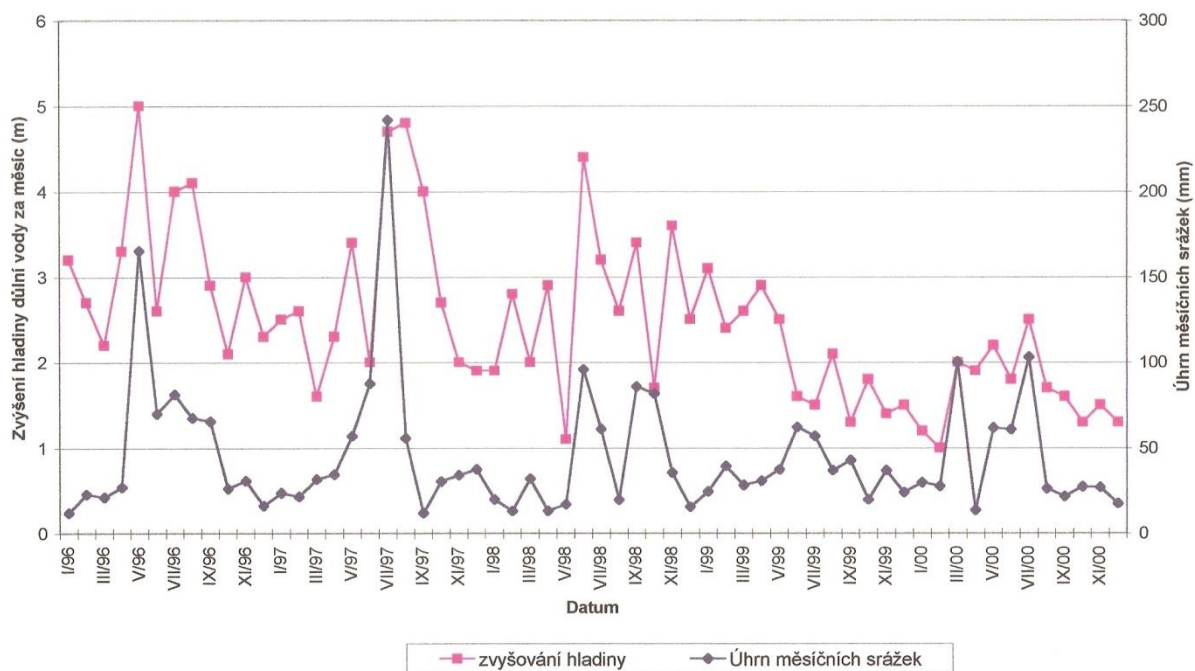
- 3) Srážkové výkyvy během zatápění. K přímé dotaci s relativně rychlou odezvou dochází zejména ve výše položených částech dolového pole v místech infiltrace, kde zvětralé a důlní činností postižené krystalinikum není překryto mocnějšími křídovými sedimenty. Přímá korelace velikosti měsíčních nástupů hladiny a množství měsíčních srážek v období 1996-2000 je dobře patrná z obrázku 5. Na obrázku lze dobře sledovat ztelný vzestup hladiny v jámě po zvýšené srážkové činnosti v letních měsících jednotlivých roků, zejména po anomálních červencových srážkách v roce 1997, kdy se setrvačnost zvýšených nástupů hladiny projevila až do října téhož roku.



Obrázek 3: Průběh nástupu hladiny důlní vody v jámě Turkaňk v období 12/1991 až 9/2002 (Hušpauer 2002)



Obrázek 4: Detail průběhu nástupu hladiny důlní vody v jámě Turkaňk – období 7/2001 až 9/2002 (Hušpauer 2002)



Obrázek 5: Vztah zvyšování hladiny důlní vody v jámě Turkaňk a měsíčních srážkových úhrnů (Hušpauer 2002)

2.3 Současnost

2.3.1 Čistírna důlních vod

V současné době je v provozu čistírna důlních vod v areálu bývalé úpravný rud bývalých Rudných dolů Příbram s. p. – závod Kutná Hora. Čerpáním na čistírnu je hladina důlní vody udržována na úrovni cca 206 m n. m. (Ing. Bělinová, DIAMO, s. p., ústní sdělení 13. 11. 2015). Silně mineralizované důlní vody prochází neutralizačním procesem čištění a po snížení koncentrací na hodnoty splňující limity pro vypouštění do povrchových vod odtékají tyto vody do říčky Klejnárky přes meliorační strouhu Šífovkou.

Na čistírnu důlních vod je důlní voda přiváděna čerpací soustavou, jejíž čerpadlo je zanořeno cca do úrovně 185 m n. m., takže je čerpána důlní voda z hloubky cca 26 až 28,6 m (Hušpauer 2002). Přivedená důlní voda s velmi nízkým pH 3,3-3,5 prochází několika stupňovou úpravou. V prvním kroku je provzdušňována a dochází k oxidaci železa. Za přidání vápenného mléka poté prochází dvoustupňovou neutralizací, kdy v prvním stupni je pH zvýšeno na 5,5 a z roztoku vypadávají kovy jako arsen a kobalt a sráží se sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). V druhém kroku je pH zvýšeno na 9, následkem čehož se z roztoku sráží amorfny oxidy a hydroxidy železa (ferrihydrit a při delší oxidaci také lepidokrokit), které koprecipitací zachycují další kovy, jako nikl, zinek, olovo a mangan. Takto upravený roztok je odváděn do sedimentační nádrže, kde se sráží další sádrovec s obsahem železa. Usazený kal se táhne na kalolis, kde je odvodněn. Čistírna takto vyprodukuje 190-200 t filtrátu z kalolisu za měsíc, který je odvážen na skládku (Ing. Bělinová, DIAMO, s. p., ústní sdělení 13. 11. 2015). Po procesu čištění je voda zadržována ještě nejprve ve vnitřním a poté i venkovním sedimentačním bazénu. Ve venkovním bazénu jsou obsahy síranů v přečištěné vodě ještě 2 500-3 500 mg/l, takže se zde stále sráží sádrovec. Ca je rozpustný do hodnot 100 mg/l a sírany do 800 mg/l, pokud tedy složení přečištěné vody nedosáhne těchto hodnot, srážení sádrovce bude neustále probíhat.

Z venkovního bazénu už voda volně odtéká přes Parshallův žlab do drenážního toku Šífovky, která ústí do Klejnéřky.

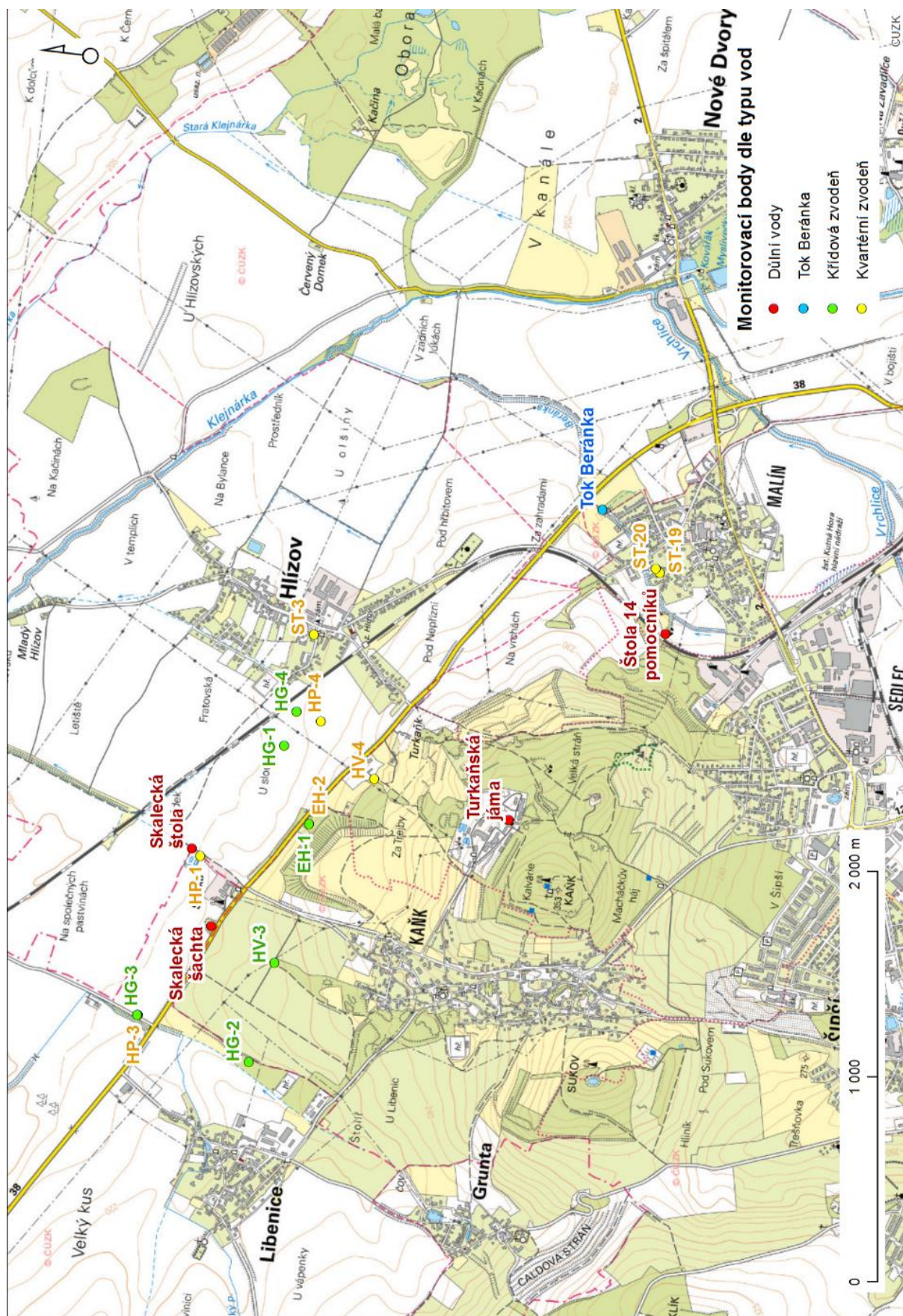
Vzorkování a analýzy důlních vod přiváděných na čistírnu důlních vod se provádí od roku 2010 jednou za měsíc (před rokem 2010 byla četnost vyšší, někdy až čtyřikrát za měsíc). Voda z venkovního bazénu se odebírá k analýze jednou za týden (Ing. Bělinová, DIAMO, s. p., ústní sdělení 13. 11. 2015).

2.3.2 Monitoring

V současné době probíhá pravidelné sledování důlních, podzemních a povrchových vod v okolí dolového pole Turkaňk. Odběr vzorků na většině odběrných míst probíhá dva až čtyřikrát ročně. Současný monitoring vychází z obecných zásad a principů, které byly shrnuty v původním a dosud používaném monitorovacím řádu, který byl vypracován v dubnu roku 1997 firmou ECOLAND Praha (Landa I., 1997). Jeho cílem bylo zajistit možnost získávání průběžných informací nezbytných pro sledování a následné posouzení dynamiky možného ovlivnění podzemních vod v oblasti hydrodynamického a následně i hydrochemického ovlivnění zvodní, nacházejících se v okolí dolového pole jámy Turkaňk. Tento monitorovací řád byl podle aktuálních potřeb několikrát upraven a doplněn o nové monitorovací body, případně objekty s nevyhovujícím technickým stavem nebo nevhodnou pozicí byly z monitorování vyřazeny (Hušpauer 2002). Aktuální seznam odběrných míst, na kterých probíhá monitoring chemismu a výšky hladin od roku 2004, je uveden v tabulce 1 a zobrazen na obrázku 6.

Tabulka 1: Seznam aktuálních monitorovacích bodů v okolí dolu Turkaňk

Objekt	Typ vod	Popis
Turkaňská jáma	Důlní vody	Odběr cca 26 m pod hladinou
Skalecká šachta	Důlní vody	Odběr z povrchu hladiny
Štola 14 pomocníků	Důlní vody	Dědičná štola, odběr na výtoku
Skalecká štola	Důlní vody	Odběr ze zatrubněného ústí
Tok Beránka	Povrchové vody	Přítok z obce a meliorací
Vrt EH-1	Křídová zvedeň	Pod severním okrajem odkaliště
Vrt HG-1	Křídová zvedeň	Sev. předpolí turkaňského a rejzského pásma
Vrt HG-2	Křídová zvedeň	Podloží severní části staročeského pásma
Vrt HG-3	Křídová zvedeň	Předpolí Staročeské štoly
Vrt HG-4	Křídová zvedeň	Sev. předpolí turkaňského a rejzského pásma
Vrt HV-3	Křídová zvedeň	Sev. část staročeského pásma
Vrt EH-2	Kvartérní zvedeň	Pod severním okrajem odkaliště
Vrt HP-1	Kvartérní zvedeň	U Skalecké štoly
Vrt HP-3	Kvartérní zvedeň	Předpolí Staročeské štoly
Vrt HP-4	Kvartérní zvedeň	Severovýchodní předpolí Kaňku
Vrt HV-4	Kvartérní zvedeň	Skalka
ST-3	Kvartérní zvedeň	Kopaná studna Hlízov, č. p. 101
ST-19	Kvartérní zvedeň	Kopaná studna Malín, č. p. 61
ST-20	Kvartérní zvedeň	Kopaná studna Malín, č. p. 248



Obrázek 6: Mapa lokalizace monitorovacích bodů v okolí dolu Turkaň (podklad mapy: základní mapy ČR, ČÚZK)

Na Turkaňské jámě, potažmo na čistírně důlních vod, na kterou jsou důlní vody z jámy čerpány, jsou od roku 2002 vedeny denní záznamy o vyčerpaném a vypuštěném množství důlní vody, hladině důlní vody v jámě a srážkových úhrnech. Z chemických ukazatelů kvality důlních vod v Turkaňské jámě a Skalecké jámě jsou sledovány pH, As, Cd (na Turkaňské jámě do roku 2009) Fe, Mn, Zn a SO₄. Na Skalecké štole a štole 14 pomocníků jsou sledovány pH, Zn, Fe, Mn a SO₄. Ve studnách se sledují pouze As, Mn a SO₄. Nejvíce chemických ukazatelů je sledováno na monitorovacích objektech podzemní vody, a tedy na všech vrtech křídových i kvartérních: pH, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn, Pb a SO₄. Kromě Skalecké štoly a štoly 14 pomocníků a studen, se na všech ostatních objektech monitoruje též výška hladiny podzemní vody. Data z aktuálního monitoringu chemismu a výšky hladin podzemní vody jsou od roku 2004.

2.3.2.1 Objekty důlních vod

Turkaňská jáma

Hlavní těžní jáma novodobého dobývání na Kaňku je hluboká 570 m (Landa 1997). Na povrchu má dosud zachovanou ocelovou těžní věž a budovu strojovny s nárazištěm, samotná jáma je však odstrojena a v horních 25 metrech uzavřena (2 m mocný železobetonový poval, 22 m šterkového a skelného zásypu, 0,5 m železobetonu a 1,5 m litého betonu). Tímto uzávěrem prochází ocelová trubka o světlosti 25 cm, sloužící k odběrům důlní vody zanořeným čerpadlem (Malec et al. 2001).

Skalecká jáma

Stagnující důlní voda ve 250 m hluboké staré šachtě, která sloužila k intenzivnímu průzkumu i exploataci polymetalických rud tzv. skaleckého pásma (jámou byly otevřeny 4 hloubkové obzory). Provoz na jámě byl ukončen v roce 1886. Jáma byla následně zatopena a překryta železobetonovou deskou a do jejího stacionárního stavu nebylo dlouhodobě zasahováno (Hušpauer 2002). Vzorky jsou odebírány z hladiny.

Skalecká štola

Byla založena v roce 1733 přibližně 270 m severně od křižovatky na Skalce v malém zářezu vedle polní cesty na kótě 203 m původně za účelem odvádění vod z nově otevřeného dolu Karel Boromejský. Vzhledem ke své značné délce téměř 2 km byla jedním z nejrozsáhlejších a nejprístupnějších báňských děl v severní části kutnohorského revíru a stala se po svém opuštění i nadále určitým východiskem studia a později i průzkumu zdejších ložiskových poměrů. Pozornost byla skalecké štole věnována znovu až v nedávné době ve snaze zlepšit větrání na Turkaňské šachtě. Podařilo se ji do roku 1954 zpřístupnit až k dolu Antonín Paduánský. Protože však ani po svém nákladném vymáhání nepřispěla k podstatnějšímu zdokonalení ventilace kaňkovských dolů, byla v roce 1955 ponechána svému osudu (Bílek 2000). V současné době především drénuje vody z tělesa odkaliště (Landa 1997).

Štola 14 pomocníků

Štola byla ražena již v 15. století, ale otevřena byla v roce 1883. Při své délce přes 1200 m překřížila několik žil. Z těch nejbohatších to byla žila Karlova, rejzská, Václavská a turkaňská. Překopem o délce 190 m byla spojena s jámou Turkaňk. Po válce byla ražena až k Panské jámě a dosáhla tak délky přes 2 km od ústí štoly. Při útlumu těžby byla zanesena okry. Znovu se čistila a otevírala v roce

1940 a naposledy v roce 1998, při čemž chodby na jednotlivá žilná pásma byly zazděny a kousek za rejzkým pásmem byly zbudovány tlakové dveře, česla a 5 m vysoká hráz (WEB4).

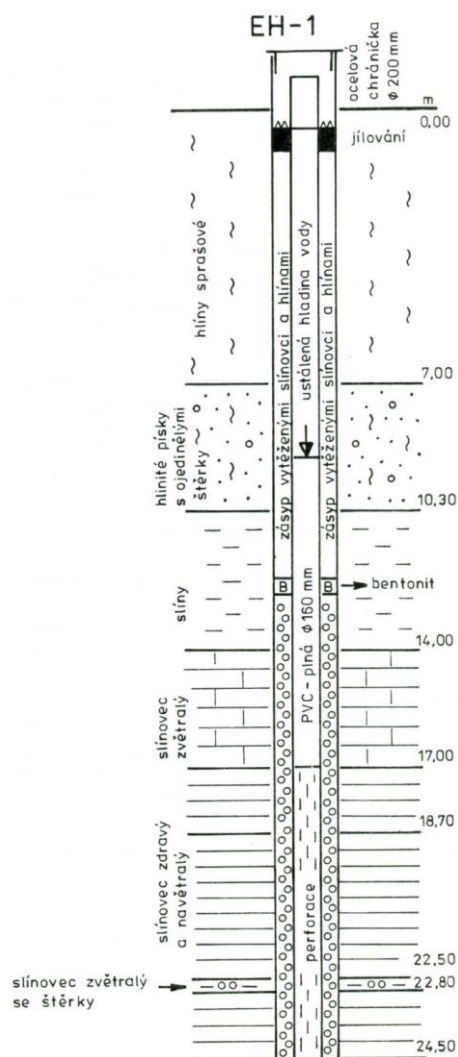
2.3.2.2 Objekty křídových podzemních vod

Vrt EH-1

Vrt EH-1 patří mezi archivní monitorovací objekty (Hušpauer 2002). Se záměrem posouzení kontaminační zóny v okolí odkaliště bývalých Rudných dolů byla na základě návrhu Landy 1993 vybudována dvojice vrtů EH-1 a EH-2. V případě EH-1 se jedná o sondu hlubokou 24,5 m pro sledování kvality vody křídové zvodně. Profil vrtu je uveden v tabulce 2 a jeho konstrukce na obrázku 7.

Tabulka 2: Profil vrtu EH-1 (dle Landy 1993)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-1,00	Hlína tmavě hnědá prachová, tuhá až pevná, slabě zavlhlá	KVARTÉR
1,00-7,00	Hlína světle hnědá, sprašová, slabě zavlhlá, pevná, od 5,00 m vlhká až mokrá, tuhá.	
7,00-10,30	Písek jemnozrnný a středně zrnitý, hnědožlutý, mokrá až zvodnělý, místy silně hlinitý.	
10,30-11,80	Jílovec – slínovec rozvětralý, tmavě šedý, tuhý, vlhký.	KŘÍDA
11,80-14,00	Jílovec – slínovec šedozelený, rozvětralý, tuhý, vlhký až mokrá – voda	
14,00-17,00	Jílovec – slínovec tmavě šedý, zvětralý, vlhký	
17,00-18,00	Jílovec – slínovec zvětralý, slabě zavlhlý, deskovitě rozpadavý	
18,70-22,50	Jílovec – slínovec – prachovec tmavě šedý, neporušený větráním, rýpatelný nehtem, kusovitě rozpadavý na povětrnosti, suchý.	
22,50-22,80	Slínovec tmavě šedý rozvětralý, tuhý se šterky ruly, mokrá – voda	
22,80-24,50	Slínovec tmavě šedý, pevný vlhký.	
> 24,50	Glaukonitické slepence s valouny do 10 cm.	



Obrázek 7: Konstrukce vrtu EH-1 (Landa 1993)

Vrt HG-1

Jedná se o vrt z roku 1973 a nachází se v severním předpolí turkaňského a rejzkého pásma, jihozápadně od Hlízova. V předchozích pracích nejsou uvedené výsledky dřívějšího sledování kvality podzemních vod, protože data nejsou úplná. Vrt je ale pro aktuální monitoring vhodně situován a byl proto zahrnut do revidovaného systému monitoringu (Hušpauer 2001). Profil vrtu viz tabulka 3.

Tabulka 3: Profil vrtu HG-1 (dleHušpauer 2001)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,0-1,0	Humusovitá hlína	KVARTÉR
1,00-3,00	Spraš hnědá	
3,00-7,00	Jíl okrově hnědý až písčitéjíl	
7,00-11,00	Štěrkopísek	
11,0-35,0	Jílovec až prachovec šedý, střípkovitě rozpadavý	KŘÍDA – turon
35,00-37,50	Slepenec polymiktní, málo zpevněný	KŘÍDA – cenoman
37,50-40,50	Biotitická rula, kaolinizovaná, silně zvětralá	KUTNOHORSKÉ
40,50-49,00	Rula biotitická až dvojslídňá, do 43,0 m navětralá	KRYSTALINIKUM

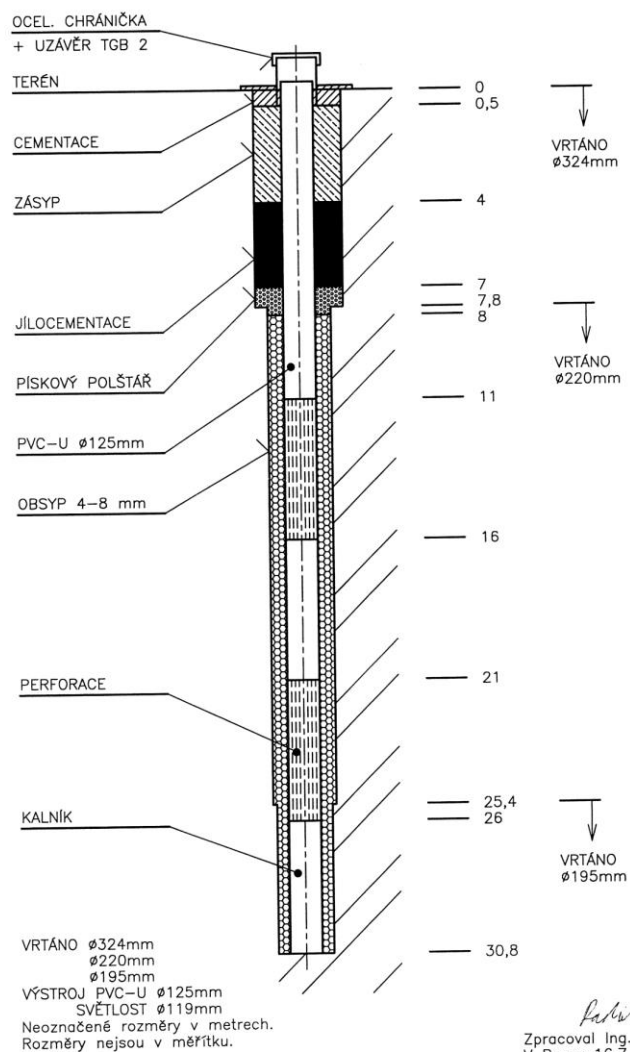
Vrt HG-2

Vrt vyhloubený a zařazený do nového systému monitoringu v roce 2002 je umístěn v severním předpolí staročeského pásma pod severozápadním úbočím Kaňku. Otevřený úsek vrtu 11-16 m a 21-26 m monitoruje zvodeň spodní části bělohorského souvrství (organodetrítické pískovce) a připovrchovou zónu rozpukání podložního krystalinika, do kterého byl zahlouben cca 15 m (Hušpauer 2002). Tabulka 4 popisuje profil vrtu. Na obrázku 8 je jeho konstrukce.

Tabulka 4: Profil vrtu HG-2 (dle Hušpauer 2002)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-0,30	Hlína silně humusovitá, tmavě hnědá, drobivá, se zetlelými zbytky rostlin – vegetační půdní horizont - les	KVARTÉR
0,30-0,70	Hlína světle až rezavě hnědá, drobivá, se zetlelými zbytky rostlin, místy se zuhelnatělými částmi – vegetační půdní horizont, pravděpodobně redeponovaný – navážka	
0,70-1,60	Hlína tmavě hnědá, slabě humusovitá, od cca 1,2 m světlejší, slabě vápnitá, pevná, s ojedinělými kořeny rostlin – původní vegetační horizont (?)	
1,60-2,80	Písek hlinito-jílovitý, světle hnědý, jemnozrný, ulehlý, s pevnou konzistencí mezerní hmoty	
2,80-3,85	Písek s příměsí jemnozrné zeminy, světle hnědý, jemnozrný, ulehlý, sypký (jádro rozvrtáno – vátý písek?)	
3,85-4,05	Jíl silně písčitý, světle hnědý, pevný	
4,05-5,8	ELUVIUM slínovce – jíl světle šedý, světle hnědý až rezavě smouhovaný, obsahuje mm až cm úlomky a střípky zvětralého slínovce. Úlomků přibývá směrem do podloží.	
5,80-7,80	Slínovec jemně písčitý (místy charakter tvrdého jílu), slídnatý, glaukonitický, šedý až zelenošedý, zvětralý, místy navětralý a pevnější	KŘÍDA (sp. turon)
7,80-12,80	Pískovec prachovitý, silně vápnitý, až organodetrítický, s vápnitými schránkami a vápnitými hlízovitými útvary (spongie), silně glaukonitický, šedý, kompaktní, pevný	
12,80-14,70	Slepenec písčitý, silně vápnitý, s valouny a úlomky červenofialově zvětralých krystalinických hornin, vápnitých pískovců a křemene	
14,70-30,80	Ruly dvojslídne, místy migmatitizované, ve svrchní části polohy silně zvětralé až navětralé, s výraznými podkřídovými alteracemi červenofialové barvy. Střídají se polohy silně navětralé červenofialové horniny (14,50-15,50 m) s polohami světle hnědé, zdravé, pevné horniny. Jádro je zpočátku rozpadavé, rozpukané, na polohách foliace i na puklinách jsou limonitické povlaky. Ojediněle byla na puklinách zjištěna přítomnost sulfidických minerálů (pyrit, sfalerit).	KUTNOHORSKÉ KRYSTALINIKUM

VRT HG-2

Kutná Hora
Konstrukce hydrovrtu

Radil
Zpracoval Ing. Radil
V Praze 16.7. 2001

Obrázek 8: Konstrukce vrtu HG-2 (Hušpauer 2002)

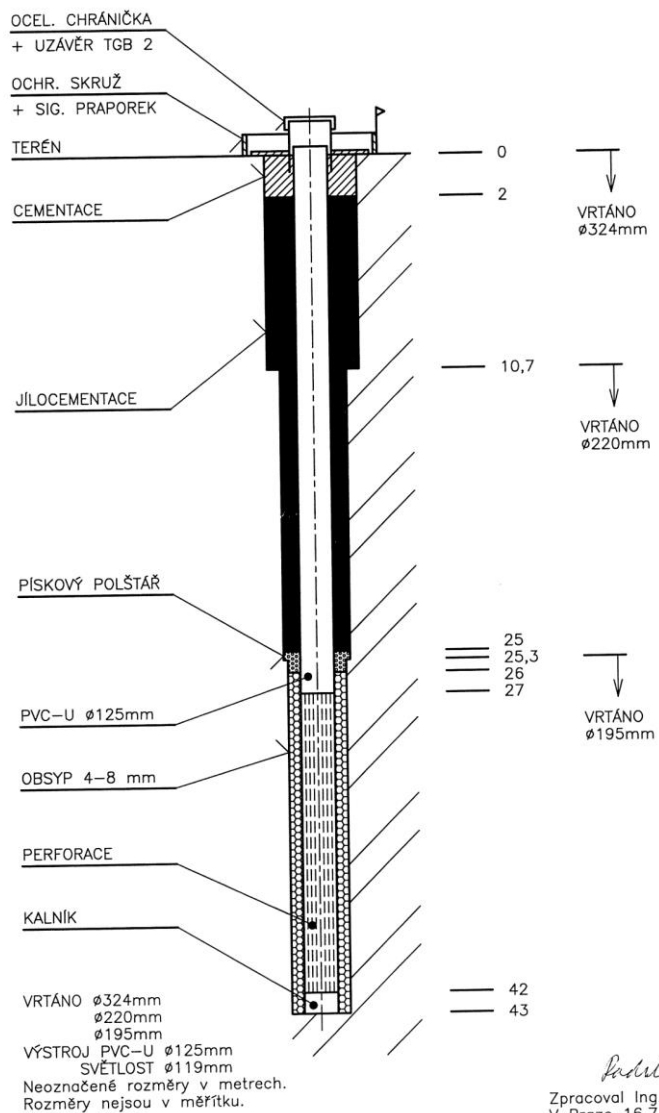
Vrt HG-3

Vrt konstruovaný v roce 2002. Jeden z dvojice vrtů (HG-3 a HP-3) situovaných na okraji pole u vedlejší silnice na Starý Kolín. Otevřený úsek vrtu 27-42 m monitoruje bazální křídovou zvodeň (Hušpauer 2002). Profil vrtu je popsán v tabulce 5, konstrukce vrtu je zachycena na obrázku 9.

Tabulka 5: Profil vrtu HG-3 (dle Hušpauer 2002)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-1,10	Ornice – hlína humusovitá, tmavě hnědá, drobná, s hojnými kořeny rostlin – vegetační půdní horizont	KVARTÉR
1,10-2,10	Hlína humusovitá, černohnědá, jílovitá, tuhá až pevná, s kořeny rostlin – vegetační půdní horizont	
2,10-3,00	Hlína sprašová, do cca 2,50 m hnědá, dále světle hnědá s bílými vápnitými smouhami a s ojedinělými vápnitými konkréty (cicváry), pevná	
3,00-5,50	Fluviální náplavy – písek jílovitý, světle hnědý, do cca 3,50 m jemnozrný (vátý?), dále středně zrnitý s ojedinělými valouny křemene do vel. 2-3 cm, ulehklý, od cca 4 m nasycený vodou	
5,50-10,70	Fluviální náplavy – písek štěrkovitý, hrubozrný, s přechody do písčitého štěrku, místy slabě jílovitý, od cca 10,40 m silně jílovitý, sv. hnědý až hnědý. Štěrkový podíl (místy > 50 %) tvoří převážně valouny křemene o max. vel. 3-8 cm	
10,70-14,50	ELUVIUM slínovce – jíl (slín) světle šedý, pevný až tvrdý, mm až cm úlomky a střípky slínovce, kterých přibývá směrem do podloží, od cca 13,50 m postupný přechod do slínovce	KŘÍDA (sp. turon)
14,50-25,00	Slínovec šedý, jemně prachovitý, zpočátku střípkovitě až úlomkovitě rozpadavý, ke konci polohy slabě písčité a glaukonitický.	
25,50-39,00	Pískovec jílovito-prachovitý, silně vápnitý (až vápenec), jemnozrný, glaukonitický, šedý až světle šedý, značně pevný a kompaktní. Ojediněle se vyskytují hrubé křemenné valouny. V hornině je patrná difúzní kalcifikace.	KŘÍDA (sv. cenoman)
39,00-42,20	Pískovec hnědošedý až světle šedý, s přechody do tmavě šedého až hnědého prachovitého pískovce s hojnými klasty křemene vel. 0,5-3 cm. V hl. 41,20-41,60 m poloha písčitého vápence, od cca 41,50 m rytmické střídání prachovitých pískovců a slepenců - křížové zvrstvení (60-90° od o. j.), ojedinělé klasty hornin krystalinika.	
42,20-43,00	Rula silně zvětřalá, původně slabě migmatitizovaná, bílá až světle zelenobílá (kaolinizace živců – podkřídové alterace), s výraznou metamorfní břidličnatostí, úklon cca 60° od osy jádra (o. j.), rozpukaná.	KUTNOHORSKÉ KRYSTALINIKUM

VRT HG-3

Kutná Hora
Konstrukce hydrovrtu

Radil
Zpracoval Ing. Radil
V Praze 16.7. 2001

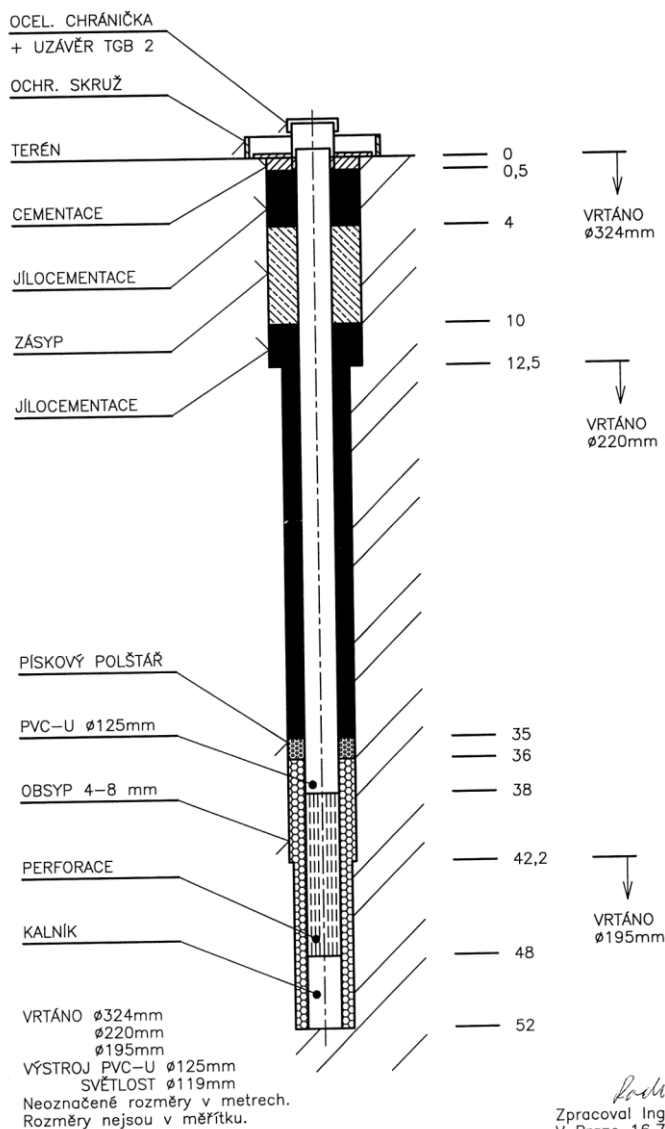
Obrázek 9: Konstrukce vrtu HG-3 (Hušpauer 2002)

Vrt HG-4

Vrt ze série vrtů konstruovaných v roce 2002. Otevřený úsek vrtu 38-48 m dokumentuje bazální křídovou zvodeň (cenoman + báze bělohorského souvrství), z části i zvodeň vázanou na zvětralé a rozpukané podložní krystalinikum (Hušpauer 2002). Profil vrtu viz tabulka 6, konstrukce vrtu viz obrázek 10.

Tabulka 6: Profil vrtu HG-4 (dle Hušpauer 2002)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-1,30	Ornice – hlína humusovitá, tmavě hnědá, tuhá až drobivá, s hojnými kořeny rostlin – vegetační půdní horizont	KVARTÉR
1,30-1,90	Písek hlinito-jílovitý, světle hnědý, jemnozrnný, slídnatý, kyprý (vátý písek)	
2,10-2,30	Písek, jemnozrnný, světle hnědý až žlutohnědý, s menší příměsí jemnozrnné zeminy, středně ulehlý, nasycený vodou (vátý písek)	
2,30-4,50	Fluviální náplavy – písek středně zrnitý, do cca 2,80 m hnědý, dále rezavě hnědý, s ojedinělými valouny křemene, do vel. 1 cm, ulehlý, nasycený vodou	
4,50-6,00	Fluviální náplavy – jíl písčitý, světle šedý, tuhý	
6,00-6,50	Fluviální náplavy – písek slabě jílovitý, šedohnědý, jemnozrnný až středně zrnitý, ulehlý, nasycený vodou	
6,50-7,80	Fluviální náplavy – štěrk písčitý až písek silně štěrkovitý, světle hnědý, hrubozrnný, s četnými valouny křemene do vel. 8 cm (valounový materiál 1-8 cm tvoří více než 50% podíl), ulehlý, nasycený vodou	
7,80-12,50	ELUVIUM slínovce – jíl (slín) světle šedý až šedý, s úlomky a střípky zvětraleho slínovce, pevný až tvrdý. V 8,80-9,80 m pevnější slínovec rozpukaný (přítok vody do vrtu), dále opět charakter tvrdého jílu. Od cca 12,00 m postupný přechod do zvětraleho slínovce.	KŘÍDA (sp. turon)
12,50-42,20	Slínovec šedý, z počátku navětralý, od cca 15,00 m zdravý, horizontálně vrstevnatý. Do cca 25,00 m je hornina dosti rozpukaná, s limonitickými povlaky na puklinách, střípkovitě rozpadavá. Ke konci polohy je slínovec slabě písčitý a glaukonitický.	
42,20-44,50	Pískovec vápnitý, drobnozrnný, slabě glaukonitický, bělošedý, slídnatý, pevný, od cca 43,00 m přechází do konglomerátu s valouny rul a migmatitů. Velikost některých valounů je větší než průměr jádra (bazální konglomerát).	KŘÍDA (sv. cenoman)
44,50-52,00	Rula dvojslídna, šedá až rezavě hnědá, zvětralá až navětralá (kaolinizace živců – podkřídové fosilní alterace), rozpukaná, s výraznou metam. břidličnatostí (úklon většinou 30° od o. j.)	KUTNOHORSKÉ KRYSTALINIKUM



Obrázek 10: Konstrukce vrtu HG-4 (Hušpauer 2002)

Vrt HV-3

Vrt je situován v nejnižše položené severní části staročeského pásma, které je známou arsenovou anomálií. Po středověké těžbě polymetalických rud jsou ve výše položených částech Kaňku dodnes velmi rozsáhlé haldy se značným obsahem kyzových rud s obsahem arzenopyritu, který se oxidačními pochody rozkládá na řadu sekundárních minerálních forem, z nichž se As uvolňuje do roztoků a ve směru stoku infiltruje do podzemních vod (Hušpauer 2002).

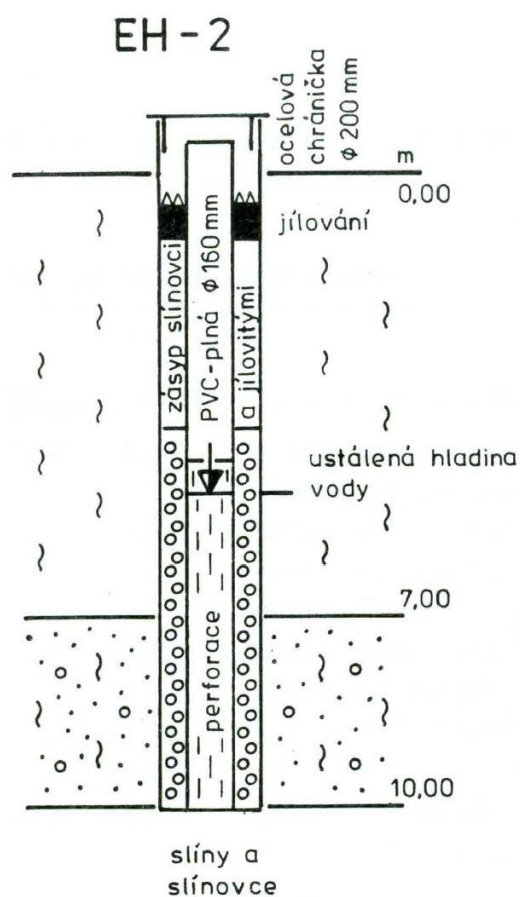
2.3.2.3 Objekty kvartérních podzemních vod

Vrt EH-2

Jedná se o druhou sondu z dvojice vrtů EH-1 a EH-2 pro sledování vod v okolí odkaliště, vybudovaných v roce 1993, tentokrát pro sledování chemismu v kvartérní zvodni. Profil vrtu uvádí tabulka 7, konstrukce vrtu je na obrázku 11.

Tabulka 7: Profil vrtu EH-2 (dle Landa 1993)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-1,60	Hlína hnědá, prachová, tuhá až pevná, zavlhlá	KVARTÉR
1,60-7,00	Hlína světle hnědá, sprašová, slabě zavlhlá, od 5,00 m, vlhká až mokrá, tuhá	
7,00-10,00	Písek jemně a středně zrnitý, hnědožlutý, moký až zvodnělý, místy značně hlinitý.	



Mv 1:100

Obrázek 11: Konstrukce vrtu EH-2 (Landa 1993)

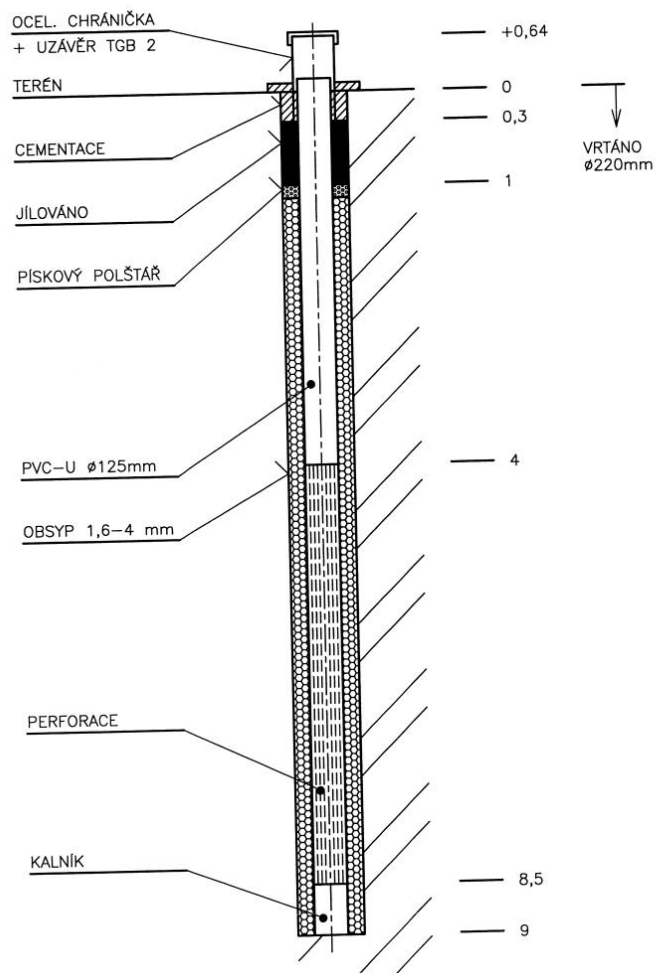
Vrt HP-1

Vrt vyhloubený v roce 2003 je situovaný v místě bývalé čerpací stanice Rudných dolů pod dvorem Skalka v severozápadním předpolí Kaňku. Spolu s vrtem HP-4 monitoruje mělkou kvartérní zvědeň v jižní okrajové části rozšíření terasových klastik v širším okolí soutoku Klejnárky a Labe (Hušpauer 2003). V tabulce 8 je uveden profil vrtu, na obrázku 12 jeho konstrukce.

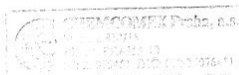
Tabulka 8: Profil vrtu HP-1 (Hušpauer 2003)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-0,80	Hlína – tmavě hnědá až černohnědá, tuhá až drobivá, s kořeny rostlin, od cca 0,50 m slabě písčitá – vegetační půdní horizont, do cca 010 m drn.	KVARTÉR
0,80-1,00	Písek – silně hlinitý, tmavě hnědý, jemnozrnný, kyprý, od 0,85 m světlejší – vátý písek.	
1,00-2,80	Písek – světlehnědý až žlutohnědý, jemnozrnný, jemně slídnatý, kyprý, od cca 1,80 m vlhký (naražená 1. voda).	
2,80-3,50	Jíl – silně písčitý, světlehnědý, s přechodem do šedohnědé, slabě vápnitý, tuhý.	
3,50-5,40	Fluviální náplavy – jíl světle šedohnědý až šedý, prachovitý, tuhý, s jemnou příměsí až s ojedinělými cm zbytky zetlelé organické hmoty – povodňová zemina.	
5,40-6,50	Fluviální náplavy – písek středně zrnitý, ulehlý, zvodněný, světle hnědý, místy s podílem křemenných valounů do vel. 1 cm, místy slabě jílovitý – terasa.	
6,50-7,10	Fluviální náplavy – písek rezavě hnědý, jemnozrnný, ulehlý, slabě jílovitý – terasa	
7,10-7,20	Fluviální náplavy – jíl šedý, písčitý, pevný – proplástek v terase.	
7,20-7,90	Fluviální náplavy – písek světle hnědý, středně zrnitý, ulehlý, slabě jílovitý, s ojedinělými valouny křemene do vel. 3 cm – terasa	
7,90-8,40	Fluviální náplavy – jíl šedý, prachovitý, slídnatý, se zetlelými zbytky organické hmoty (zejména zbytky dřev až do vel. 5 cm), tuhý až pevný.	
8,40-9,00	Rula biotitická, šedá až šedohnědá, slabě navětralá až zdravá, pevná, s výraznou metamorfní břidličnatostí, rozpukaná. Úklon břidličnatosti cca 80° od osy jádra.	KUTNOHORSKÉ KRYSTALINIKUM

VRT HP-1



VRTÁNO Ø220mm
VÝSTROJ PVC-U Ø125mm
SVĚTLOST Ø119mm
Neoznačené rozměry v metrech.
Rozměry nejsou v měřítku.



Zpracoval Ing. Radil
V Praze 13.3. 2003

Obrázek 12: Konstrukce vru HP-1 (Hušpauer 2003)

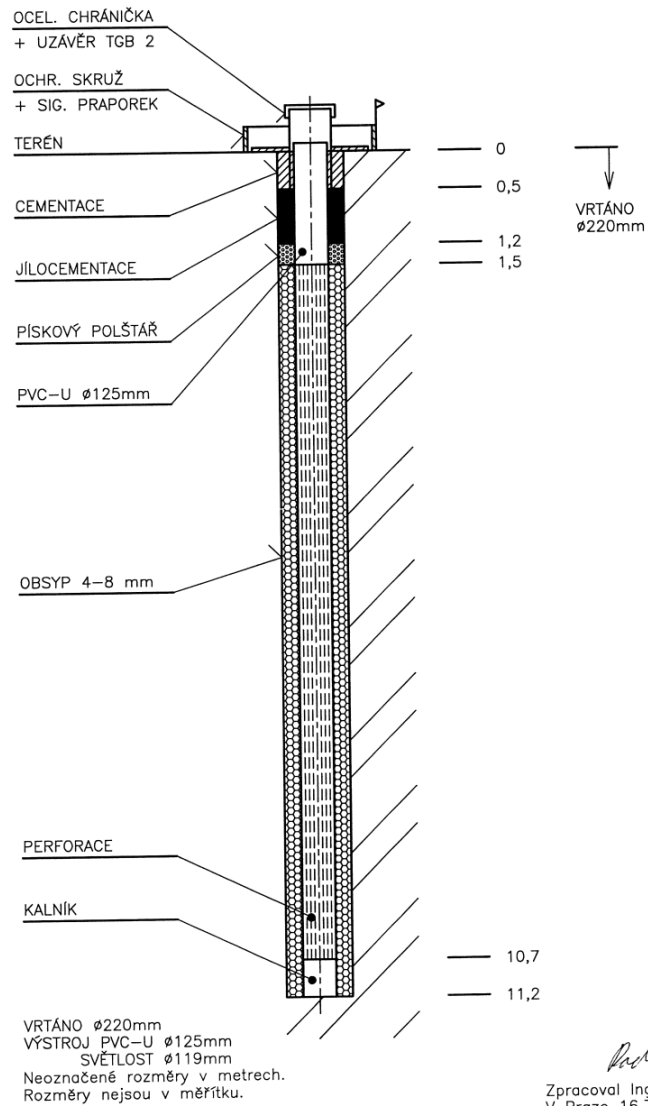
Vrt HP-3

S vrtem HG-3 tvoří dvojici vrtů na okraji pole u vedlejší silnice na Starý Kolín ze série vrtů vyhloubených v roce 2002. Vrtý jsou od sebe vzdálené cca 3 m. Monitoruje zvědeň fluvialních terasových sedimentů Klejnárky a Labe (Hušpauer 2002). Profil vrtu je uveden v tabulce 9, konstrukce vrtu je na obrázku 13.

Tabulka 9: Profil vrtu HP-3 (dle Hušpauer 2002)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-1,10	Ornice – hlína humusovitá, tmavě hnědá, drobná, s hojnými kořeny rostlin – vegetační půdní horizont.	KVARTÉR
1,10-2,00	Hlína humusovitá, černohnědá, jílovitá, tuhá až pevná, s kořeny rostlin – vegetační půdní horizont.	
2,00-3,00	Hlína sprašová, do cca 2,40 m hnědá, dále světle hnědá s bílými vápnitými smouhami a s ojedinělými vápnitými konkréty (cicváry), pevná.	
3,00-5,50	Fluviální sedimenty – písek jílovitý, světle hnědý, do cca 3,50 m jemnozrnný (vátý?), dále středně zrnitý s ojedinělými valouny křemene do vel. 3 cm, ulehý, od cca 3,80 m nasycený vodou.	
5,50-10,50	Fluviální sedimenty – písek štěrkovitý, hrubozrnný, s přechody do písčitého štěrku, místy jílovitý, od cca 10,40 m silně jílovitý, světle hnědý až hnědý. Štěrkový podíl (místy > 50 %) tvoří převážně valouny křemene do vel. 3-8 cm.	
10,50-11,20	ELUVIUM slínovce – jíl (slín) světle šedý, pevný, mm až cm úlomky a střípky slínovce, kterých přibývá směrem do podloží.	

VRT HP-3



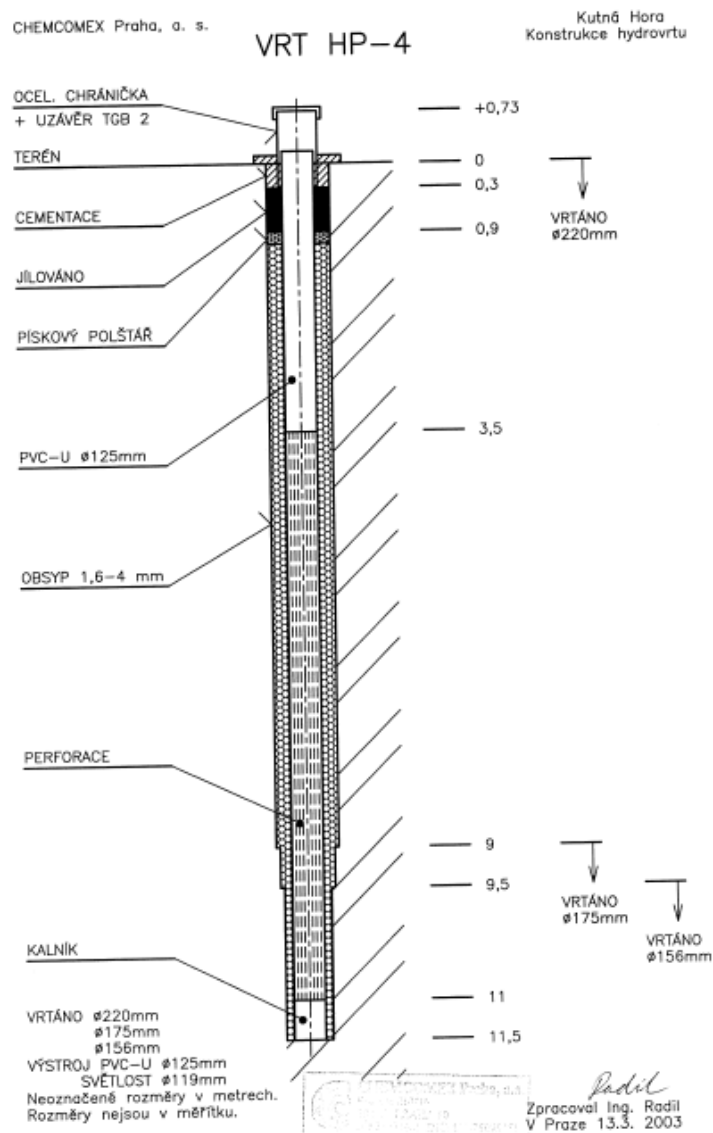
Obrázek 13: Konstrukce vrtu HP-3 (Hušpauer 2002)

Vrt HP-4

Vrt vyhloubený v roce 2003 v prostoru před severním úbočím Kaňku v předpolí předpokládaného ústí bývalé Turkaňské štoly a ve vzdálenějším předpolí předpokládaného ústí bývalé Magdalénské štoly (Hušpauer 2003). Profil vrtu viz tabulka 10, konstrukce viz obrázek 14.

Tabulka 10: Profil vrtu HP-4 (dle Hušpauer 2003)

Metráž	Petrografie	Stratigrafie
0,00-1,50	Ornice – hlína tmavě hnědá, humusovitá, drobivá až tuhá, do 1,15 m s hojnými rostlinnými zbytky – vegetační horizont.	KVARTÉR
1,50-2,00	Hlína světle hnědá, tuhá, s příměsí jemnozrnného písku.	
2,00-6,00	Fluviální náplavy – písek světle žlutohnědý, slídnatý, středně zrnitý, s příměsí jemnozrnné zeminy, kyprý, s ojedinělými valouny křemene o vel. 2-3 cm, od 3,50 m nasycený vodou, ulehlý – terasa.	
6,00-6,50	Fluviální náplavy – písek jílovitý, jemnozrnný, slídnatý, ulehlý s 30-40% obsahem křemenných valounů do vel. 1,5 cm – terasa.	
6,50-8,00	ELUVIUM slínovce – jíl (slín) světle žlutohnědý až šedohnědý, písčitý, pevný.	KŘÍDA (sp. turon)
8,00-8,80	ELUVIUM slínovce – jíl (slín) světle šedý, pevný, se střípky zvětralého slínovce.	
8,80-9,90	ELUVIUM slínovce – jíl (slín) světle šedý až šedý, pevný, s hojnými úlomky a střípky zvětralého slínovce. Úlomků přibývá směrem do podloží.	
9,90-11,50	Slínovec šedý, zvětralý, rozpukavý, s rezavě hnědými Fe povlaky na puklinách. V 10 m intenzivnější rozpukání a přítok vody do vrtu.	



Obrázek 14: Konstrukce vrtu HP-4 (Hušpauer 2003)

HV-4

Vrt z roku 1999, který monitoruje severní okraj turkaňského pásma. Je situován u motorestu Skalka (Hušpauer 2002).

Studna ST-3

Do monitoringu byla zařazena v roce 2002. V obci Hlízov monitoruje zvodeň fluvialních terasových sedimentů Klejnárky (Hušpauer 2002).

Studny ST-19 a ST-20

Monitoring byl zde zahájen v roce 2000 (Hušpauer 2002). Monitorují kvartérní zvodeň v obci Malín.

3 PROZKOUMANOST

V říjnu roku 2000 bylo provedeno posouzení dosavadních prací, zabývajících se problematikou důlních vod na lokalitě Kaňk u Kutné Hory (Grmela 2000). Z tohoto znaleckého posouzení předchozích prací a posudků jednoznačně vyplynulo, že tyto práce kvalifikovaně neřešily stanovení maximální bezpečné úrovně hladiny důlních vod, na níž by měly být udržovány čerpáním, aby nedocházelo k jejich skrytým přetokům do křídových, respektive kvartérních pokryvných sedimentů (Hušpauer 2002).

V únoru 2001 byl vypracován geologický posudek (Hušpauer, Kadlecová 2001), jehož hlavním cílem bylo na základě podrobného zhodnocení všech dostupných archivních geologických a hydrogeologických informací z oblasti doporučit maximální úroveň zatápění (Hušpauer 2002).

V červnu 2002 byl vypracován odborný posudek společností SEPARA-EKO, spol. s r. o. Brno (Kalous et al. 2002), ve kterém je podrobně diskutována celá řada otázek zaměřených na posouzení geochemického vývoje důlních vod, jeho důsledky, prognózu budoucího vývoje s návrhem dalších řešení vzniklé situace, na posouzení rizik pro zdraví a ekosystémy a na návrh technologie čištění důlních vod (Hušpauer 2002).

Analýzám vod v prostoru Kutné Hory byla a je věnována velká pozornost: Pácal 1960, Havlíček a Pácal 1962, Krejčířík 1963, Vránová 1964, Zýka 1962, 1973a, 1973b, 1974 a, 1975, 1980, Pěkný 1984, Landa 1993, Jiráňková 1995, Štorková 1995, Landa a Rak 1996, Majer et al. 1996, Malec a Kolomazník 1998, Stehlík a Krtilová 2000, Hušpauer 2000, Zvolánek 2002 (Čupr et al. 2003).

O geologii ložiska, o zrudnění a o složení rudních minerálů pojednávají práce Bernard 1953, Ha ket al. 1964, Hoffman et al. 1982a, 1982b, 1990, 1994, Hoffman a Trdlička 1976, 1977, 1978a, 1978b, 1981, Holub et al. 1974, 1976, 1977, 1978, 1982, Koutek 1967, Koutek a Kutina 1949, Kutina 1949, Kvaček 1978, 1989, Kvaček a Rezek 1980, Mikuš et al. 1989, 1994, Novák a Kvaček 1964, Novák et al. 1962, Malec 1997, Malec a Pauliš 1997, 2000, Pauliš 1998, Pauliš a Mikuš 1998 (Čupr et al. 2003).

Ze sledovaného území existuje několik set analýz povrchových, podzemních a důlních vod. Některá odběrná místa jsou periodicky sledována. Monitoring, který dříve prováděly bývalé Rudné doly, v současnosti provádí DIAMO s. p., dále zde mají odběrná místa ČHMÚ, Povodí Labe). (Čupr et al. 2003)

4 METODIKA VLASTNÍ PRÁCE

4.1 Terénní rekognoskace

Během tvorby této práce jsem navštívila areál čistírny důlních vod v Kaňku u Kutné hory a okolí dolového pole Turkaňk. Dne 24. 6. 2015 byla ve spolupráci s Ing Ivou Bělinovou, zaměstnankyní DIAMO, s. p., pověřenou monitoringem na čistírně důlních vod Kaňk provedena revize všech aktuálních monitorovacích bodů a u většiny proběhlo jejich zaměření pomocí přístroje GPS. Měření přístrojem SPS Trimble Juno 5 provedla Mgr. Barbora Bártová, DIAMO, s. p., přesnost souřadnic X, Y je 2-4 m. Na základě srovnání dat z provedeného měření a dat o polohách vrtů z databáze DIAMO, s. p. – SUL Příbram a Geofundu byla vytvořena mapa lokalizace všech monitorovacích bodů (viz obrázek 6). Podrobně jsem se také seznámila s principem čištění silně mineralizovaných důlních vod.

4.2 Data

Předmětem diplomové práce bylo grafické a statistické vyhodnocení stávajících monitorovacích dat o množství a kvalitě vod v zatopeném dole Turkaňk a jeho širším okolí, která jsou získávána pracovníky čistírny důlních vod v bývalém areálu Rudných dolů Příbram s. p. Data mi poskytlo ředitelství státního podniku DIAMO ve Stráži pod Ralskem. Součástí mé práce tedy nebylo získávání nových dat ani provádění chemických analýz.

Z dat, která obsahují údaje o monitoringu výšky hladiny důlních vod v Turkaňské jámě, objemy čerpaných důlních vod na čistírnu důlních vod a úhrn srážek, zaznamenávaných denně od roku 2002, kompletně však až od roku 2004, jsem vytvořila grafy v programu MS Excel. Srovnávala jsem závislost výšky hladin na objemu vyčerpaných důlních vod a na srážkách a sledovala jsem vztahy mezi těmito faktory.

Bylo tedy třeba srovnávat tři křivky. V grafech bylo nutné použít vedlejší osu vzhledem k řádově odlišným hodnotám všech tří ukazatelů. V takto upraveném grafu bylo tudíž možné zobrazení pouze dvou křivek v podobě, ve které je bylo možné srovnávat. Zkonstruovala jsem tedy několik sad grafů, kde jsem srovnávala uvedené ukazatele postupně ve dvojicích.

Součástí monitoringu důlních vod je i sledování jejich chemismu. Dalším vyhodnocením, které jsem provedla, byl tedy časový vývoj obsahu sledovaných kontaminantů, které se zde ve zvýšené míře vyskytují. Jedná se především o kovy: As, Cd, Fe, Mn, Zn, a anionty síranů. Sleduje se také pH. V průběhu monitoringu od roku 2004 došlo k několika změnám v rozsahu monitoringu na některých monitorovacích bodech. Zároveň na všech bodech není rozsah prováděných analýz jednotný.

Grafické vyhodnocení jsem provedla stejným způsobem jako vyhodnocení výšky hladin. Časové řady chemických ukazatelů jsem porovnávala s vývojem srážek a výšky hladiny důlní nebo podzemní vody. Srovnávací analýzu jsem provedla na monitorovacích objektech důlních a podzemních vod, viz tabulka 1 v kapitole 2.3.2. Pokud hodnoty ukazatelů vykazovaly velmi nízké hodnoty pod mezí detekce, byly v grafech reálné hodnoty nahrazeny právě hodnotou meze detekce. V grafech se projevují jako dlouhodobě stabilní hodnoty koncentrace. Při hodnocení chemismu jsem vycházela ze Závěrečné zprávy o monitoringu z roku 2002 (Hušpauer 2002). Pokusila jsem se tak navázat na zhodnocení vývoje chemismu před a po přetoku důlních vod v roce 2001, kdy nastala změna v charakteru nakládání s důlními vodami i odběru vzorků. Bylo započato čerpání důlních vod

z Turkaňské jámy na čistírnu a vzorky se zde místo z hladiny začaly odebírat zanořeným čerpadlem. Tyto změny se projeví výraznou změnou v chemismu důlní vody v jámě.

Výšky hladin jsou v Turkaňské jámě zaznamenány v metrech nad mořem, pokud jsou zaznamenávány u dalších monitorovacích objektů, je to vždy v metrech pod úrovní terénu. Při vyhodnocování jsem se rozhodla pro formát m n. m. Další hodnoty tedy bylo třeba převést pomocí výškových souřadnic. Výškové souřadnice Z zaměřených bodů byly pro větší přesnost odečteny z map 3-D modelu reliéfu LIDAR 5G, poskytovaných jako bezplatná služba WMS ČÚZK (WEB1). Přesnost těchto výškových souřadnic je $\pm 0,18$ m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu (WEB2). Souřadnice některých monitorovacích bodů byly převzaty z databáze ČGS, lokalizační údaje tohoto zdroje pochází z původní dokumentace a měřických zpráv.

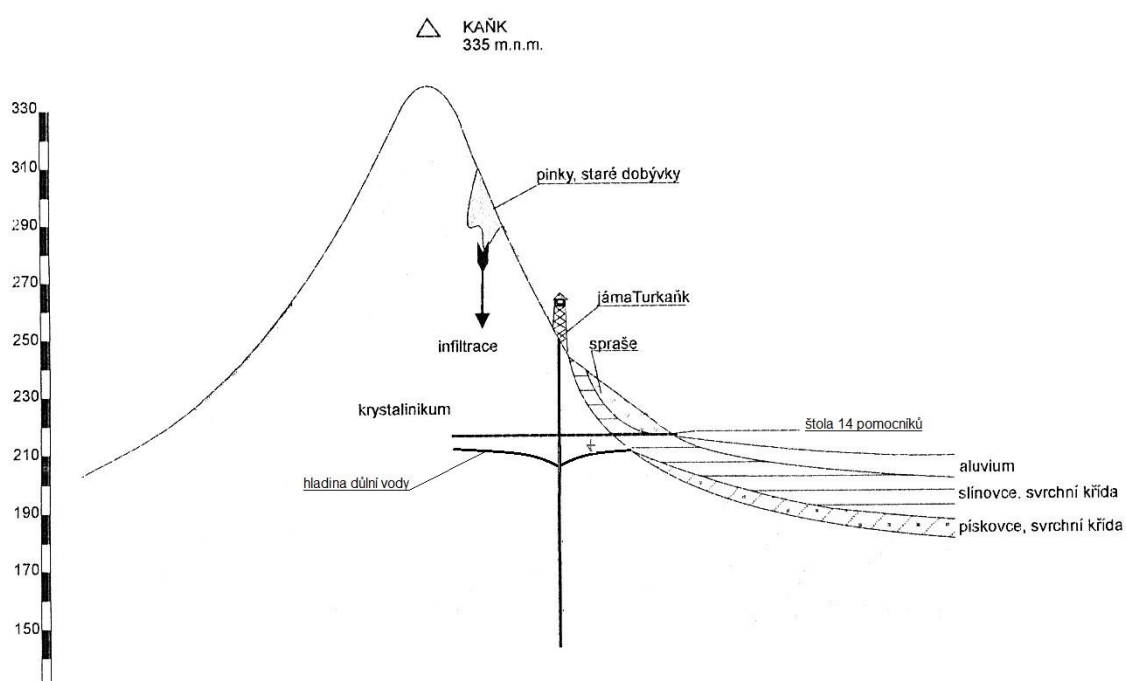
Poskytnutá data byla využita také k tvorbě map hydroizohyps a hydroizopiez hladin podzemních vod a izolinií koncentrací kontaminantů. Jako podklad map byl použit 3-D model reliéfu LIDAR 5G WMS ČÚZK (WEB1). Mapy byly vytvořeny v souřadném systému S-JTSK, BPV. Pro tvorbu izolinií hladin podzemní vody byly použity údaje o výškách hladin v monitorovacích vrtech. V případě křídové zvodně byly do výpočtů zahrnuty pouze vrty, v případě kvartérní zvodně byly pro zpřesnění zahrnuty i výškové údaje okolních povrchových toků, získané také z LIDARu.

5 VLASTNÍ PRÁCE

Diplomová práce kromě vyhodnocení monitoringu také zahrnuje rešerši dostupných dosud provedených prací a shrnuje tak problém z dlouhodobého hlediska v širších souvislostech. Jednotlivé starší práce se spíše zaměřovaly na jednotlivé úkoly, jako bylo hloubení nových vrtů, určení úrovně hladiny důlních vod v Turkaňské jámě apod. Práce syntetizuje poznatky o geologii a hydrogeologii oblasti, které byly získány při těchto úkolech a při budování monitorovací sítě. Podává tak ucelený pohled na problematiku monitoringu následků zaplavení dolu Turkaňk a snaží se o zhodnocení jeho aktuálního nastavení, případně přispět návrhy na jeho zlepšení.

5.1 Syntéza geologických a hydrogeologických poznatků

Na obrázku 15 je schematický hydrogeologický řez oblasti, který zachycuje především současnou úroveň hladiny důlní vody v jámě Turkaňk, která je regulována čerpáním, a potenciálně ohrožené křídové a kvartérní sedimenty, nasedající na krystalinický masiv kaňku v těsné blízkosti dolu.



Obrázek 15: Schematický hydrogeologický profil oblasti (upraveno podle Landa 1997)

5.1.1 Geologická stavba území

Hornosázavská pahorkatina představuje plochou vrchovinu vrásnozlomových struktur a hlubinných vyvěřelin České vysočiny, kerné a hrást'ové stavby, Čáslavská kotlina pak rovinu akumulčního rázu (Landa 1997).

Území je tvořeno kutnohorským krystalinikem s. s. (malínská série) a cenomanskými horninami České křídové pánve (přechodová facie). V nejsvrchnější části geologického profilu jsou kvartérní sedimenty. Oblast je budována intenzivně metamorfovanými horninami krystalinika s. l. svrchnoproterozoického stáří, které je na západě odděleno kouřimským zlomem a dislokacemi blanické brázdy od českobrodského permokarbonu (Landa 1997).

Krystalinikum je zastoupeno geochemicky stabilními migmatizovanými pararulami, které jsou prostoupeny strmými puklinami severojižního (starší) a východozápadního směru (mladší). Pukliny nemají větší hloubkový dosah. Členitý reliéf povrchu krystalinika je částečně zarovnán litorálními a prahovými sedimenty svrchní křídý. V prostoru vrchu Kaňk vyplňují křídové horniny původní morfologické deprese a směrem k severovýchodu dále vytváří souvislý pokryv, který modeluje rovinný ráz krajiny. Mocnost pokryvných vrstev je zde cca 20 m a zvětralínový plášť krystalinika bývá místy zvodněn (Landa 1997).

Křídové sedimenty jsou zde vyvinuty v kolínské facii s typickým střídáním vrstev slinitých (z hydrogeologického hlediska izolačních), vápenopísčitých (kolektor) a organodetritických (poloizolátor). Sklon reliéfu je k severoseverovýchodu a je paralelní s úklonem křídových sedimentů. Je zmírněn až postupně narůstající mocností kvartérních hlín, svahových hlín a sutí včetně fluvialních nánosů labských štěrků a písků (Landa 1997). Na svazích vrchů Kaňk a Sukov křídové sedimenty nasedají diskordantně na krystalinický podklad. Ve značné části rozšíření křídového komplexu (zejména v níže položených částech území) se nachází sedimenty cenomanu s vyvinutou bazální zvodní (Hušpauer 2002).

Kvartérní sedimenty jsou zastoupeny klastickými materiály a především sprašovými sedimenty, které mají velmi dobrou sorpční schopnost. Pod sprašovými sedimenty se nachází vrstva kvartérních jílov, které jsou v nadloží dobře propustných štěrků. Kvartérní sedimenty nevytváří v celé zájmové oblasti souvislou vrstvu. Mocnost se pohybuje kolem cca 3 m. Na základě granulometrických rozborů jde o jílovité až prachovité hlíny (Landa 1997).

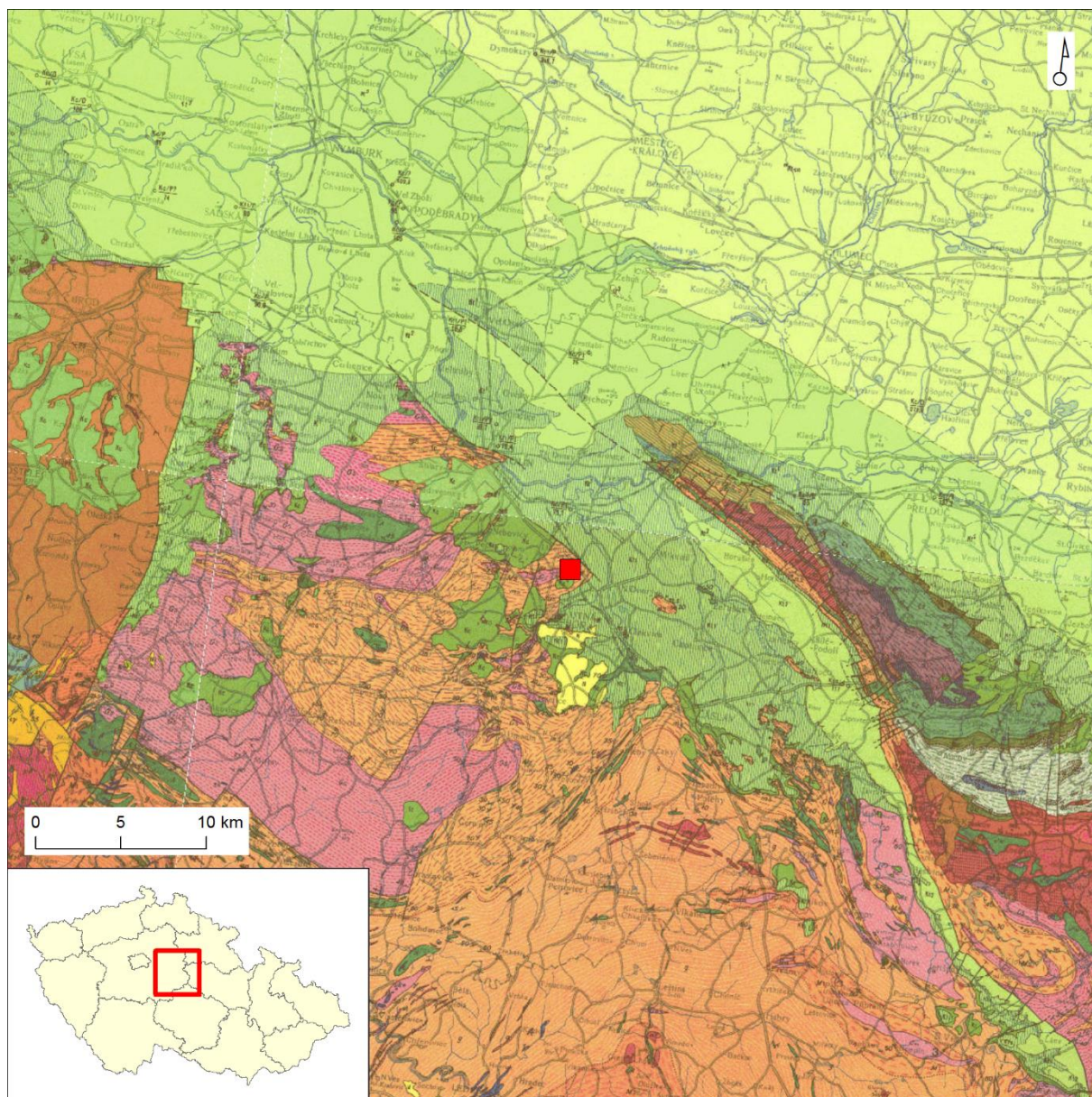
Pravděpodobný typový geologický profil v nejsvrchnější části je v tabulce 11.

Tabulka 11: Typový geologický profil oblasti (dle Landa 1997)

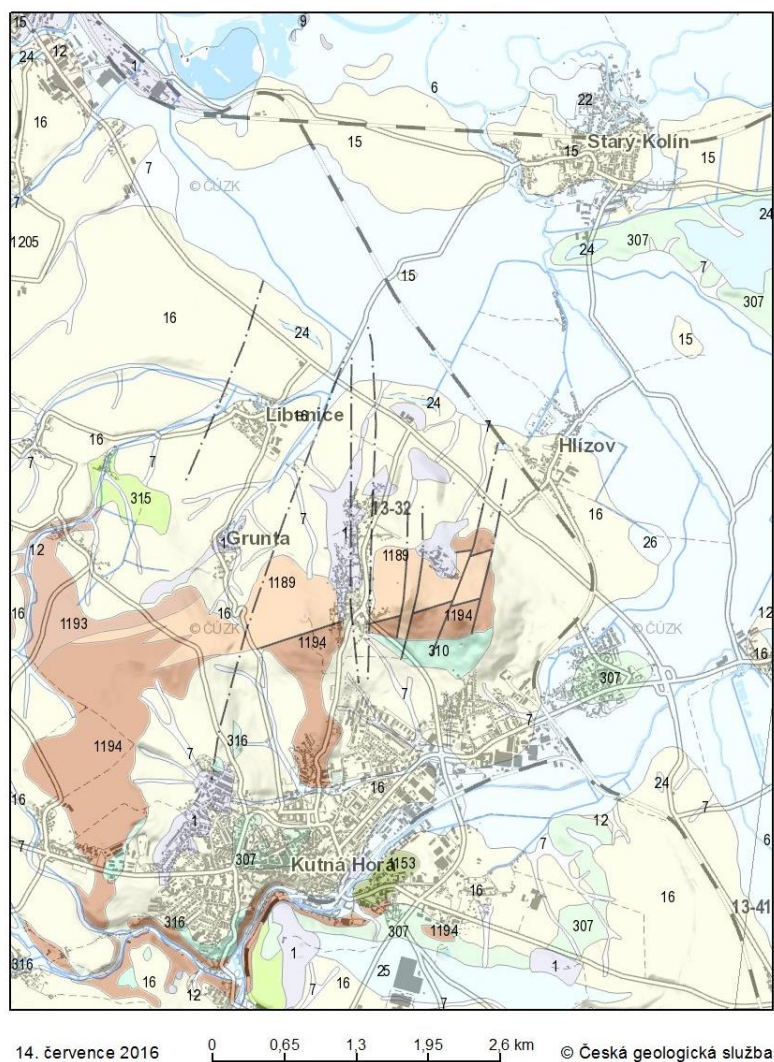
Metráž	Petrografie
0,0-15,0	Navážky, haldový materiál různé velikosti
15,0-17,0	Spraše (eolické zeminy)
17,0-20,0	Křídové sedimenty – slínovce (mohou tvořit relativně nepropustný strop za předpokladu, že jsou nerozpukane)
>20,0	Migmatity, resp. ruly

Směrem k dolu Turkaňk, tj. směrem k odkališti je mocnost křídových sedimentů redukována na nulu (Landa 1997).

Geologická situace oblasti je dobře vidět na odkryté geologické mapě (obrázek 16), kde je patrné, že území těžby se nachází na hranici křídý a krystalinika. Zakrytá mapa užšího území ukazuje podrobnou geologickou situaci (obrázek 17).



Obrázek 16: Odkrytá geologická mapa oblasti (ČGS)



Obrázek 17: Zakrytá geologická mapa oblasti (ČGS)

Hranice geologických jednotek

- hranice zjištěná
- - - hranice pravděpodobná

Tektonická linie

- zlom zjištěný

- 1194 pararula až migmatit
- 1153 serpentinit
- 1189 migmatit
- 1193 pararula
- 1205 dvojslídny svor

- 307 písčité slínovce až jílovce spongilitické, místy silicifikované (opuky)
- 315 pískovce křemenné, jílovité, glaukonitické
- 316 vápence biotritické
- 310 vápence biotritické
- 16 spraš a sprašová hlína
- 7 smíšený sediment
- 12 písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment
- 26 písek, štěrk
- 1 navážka, halda, výsypka, odval
- 15 navátý písek
- 6 nivní sediment
- 9 slatina, rašelina, hnílokal

5.1.2 Geologické poměry ložiska

Genetický typ ložiska: galenit-sfalerit $\pm$ chalkopyritové formace s Ag

Metagenetická zóna: Moldanubická – tvořená vesměs silněji metamorfovanými krystalinickými komplexy, proniknutými granitoidními plutony variské orogeneze. Považujeme ji za starý prekambričský blok, v němž se kromě ložisek variské epochy vyskytují i ložiska kadomského a moldanubického metalogenetického cyklu. Představiteli variské mineralizace jsou hydrotermální ložiska Pb-Zn (Ag). Hydrotermální (endogenní) ložiska vznikají přímým působením vnitřních zemských pochodů (Kafka 2003).

Kutnohorský rudní revír patří k významným oblastem ČR s výskytem rozsáhlých hydrotermálně alterovaných žilných a tektonických pásem s polymetalickým zrudněním (Vodička 2003). Ruly a migmatity kutnohorského krystalinika jsou napříč prostoupeny mocnými dislokacemi, na které jsou vázána pásma severojižního až severovýchodního a jihozápadního směru (Čupr et al. 2003), s úklonem 60-90° převážně k západu. Žilná výplň je v severní části převážně křemenná (Vodička 2003) se sulfidy Fe, Zn, As a Cu (Čupr et al. 2003), v jižní části se vedle křemene objevují karbonáty (Vodička 2003) Ca, Mg, Mn a Fe. V menší míře se vyskytují sulfidické minerály Pb, Ag, Sb a Sn. Délka pásem je od stovek metrů po cca 3 km, mocnost se pohybuje od několika metrů do cca 30 m. V okolí pásem jsou často další zrudněné zóny, takže celková šířka může být až přes 100 m. Podstatně menší produktivní úseky tvoří tzv. rudní sloupy. Mocnost samotných rudních žil je od několika centimetrů do 1 m, většinou však nepřesahuje 50 cm (Čupr et al. 2003).

Hlavními rudními minerály severních žil jsou stříbrnosný pyrit a značně železitý, slabě stříbrnosný sfalerit, pyrhotin a chalkopyrit podle vysokých obsahů mědi v rubanině ze staročeského pásma v 16. století. Dále pak arzenopyrit a vzácně galenit. Ryzí stříbro a obohacené stříbrné rudy byly hlavně v oxidačním pásmu ložiska, které sahalo do hloubky 10-20 m. Mezi hlavní oxidační pásma patřila i turkaňská oblast, kde se vyskytovalo pásmo jak stříbrné, tak i kyzové (pyrit, chalkopyrit, arzenopyrit) (Vodička 2003). Hlavními nositeli Ag jsou freibergit a galenit, As arzenopyrit, Cd sfalerit, Co arzenopyrit, Cu chalkopyrit, stannin a freibergit, Ni pyrit, pyrhotin a arzenopyrit, Pb galenit, Sb freibergit, berthierit, gudmundit, Sn stannin a kasiterit, Zn sfalerit (Čupr et al. 2003).

V severní části revíru se nachází pásma kyzová (staročeské, turkaňské, gruntecko-hloušecké), na jihu pásma stříbrná (roveňské, oselské, kavecké) a uprostřed a při okrajích revíru jsou pásma přechodná (grejfské, rejské, skalecké, kuklické). Rudniny z jednotlivých pásem v severní části revíru obsahovaly 0,5-3 % As, 0,02-0,5 % Cu, 8-15 % S, 2,5-3 % Zn, 100-300 g/t Ag, 100-4000 g/t Pb 100-2500 g/t Sn (Holub et al. 1977 in Čupr et al. 2003).

5.1.3 Hydrogeologické poměry

Hydrogeologická situace a chemické složení podzemních a povrchových vod Kutnohorského revíru jsou zásadně ovlivněny existencí rudního ložiska a jeho rozfáráním. Hornické práce narušily původní režim vod (Čupr et al. 2003).

Zájmová oblast patří ke třem hydrogeologickým rajónům (ČHMÚ), jejich vymezení je dobře vidět na obrázku 18.

Hydrogeologické rajony

1151 – Kvartér Labe po Kolín

6531 – Kutnohorské krystalinikum

4340 – Čáslavská křída

V svrchní vrstvě



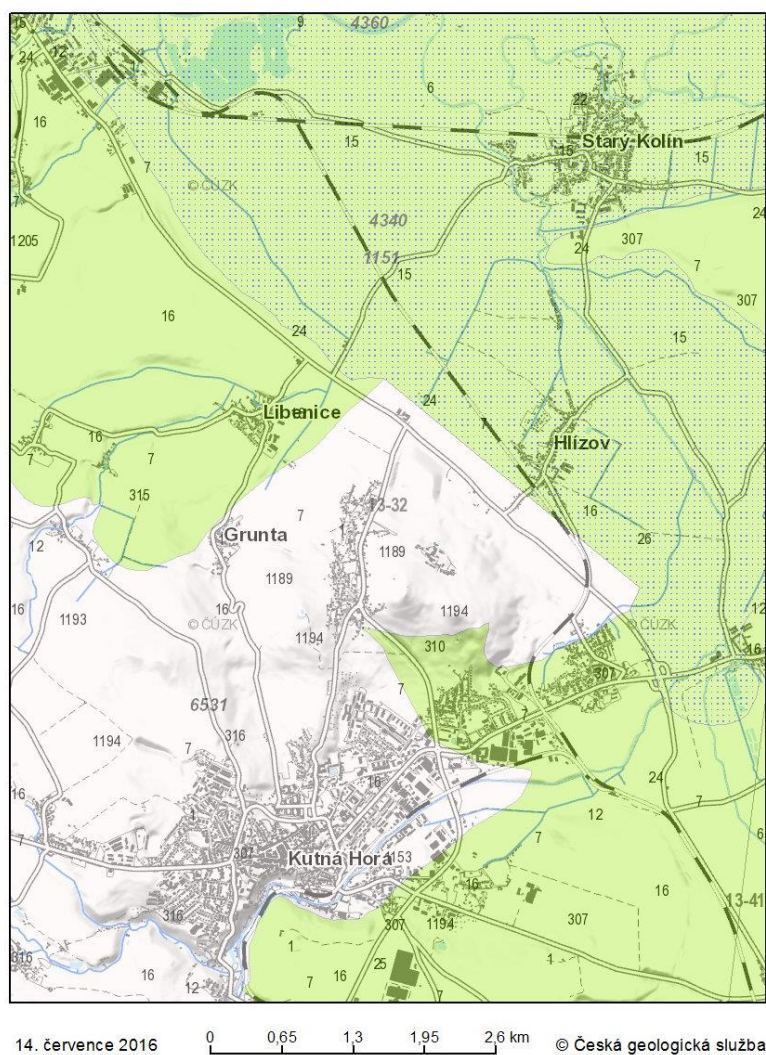
V základní vrstvě



v horninách krystalinika, proterozoika a paleozoika



v sedimentech svrchní křída



Obrázek 18: Mapa hydrogeologických rajónů oblasti (ČGS)

V těžební oblasti lze podle Landy 1997 rozlišit šest dílčích hydrogeologických jednotek:

- 1) Haldový a odvalový materiál včetně odkaliště
- 2) Kvarterní náplavy řek Vrchlice a Klejnárky
- 3) Svrchní křída
- 4) Těžbou neovlivněné krystalinikum
- 5) Rudní tělesa (žíly, pásma) a tektonika (ložisková voda)
- 6) Těžbou ovlivněné krystalinikum (zatopené stařiny a důlní díla včetně závalových pásem)

Za samostatné hydrogeologické jednotky lze označit také kaverny (stařiny) se stagnujícími důlními vodami, které nekomunikují s krystalinikem (typ 6a) a nová důlní díla, která byla zatopena v důsledku nástupu hladiny důlní vody (Landa 1997).

V oblasti se vyskytují dvě dílčí zvodně, lišící se hlavně hydrofyzikálními vlastnostmi kolektorů. Podle pozice je to mělká zvodně v terasových štěrkovito-písčitých naplaveninách Vrchlice a Klejnárky a v přípovrchových zvětralinách turonských slínovců (průlinovo-puklinová propustnost a napjatá hladina). Tato zvodně s typicky vysokými vydatnostmi je v širším okolí dosti často vodohospodářsky využívána (domovní studny v Malíně, zahrádkářská kolonie). V zóně rozvětrání a rozvolnění hornin krystalinického podloží a v bazálním cenomanském souvrství je vyvinuta hlubší zvodně, kterou je možné charakterizovat puklinovo-průlinovou propustností a napjatou hladinou. Relativně nepropustný artézský strop této zvodně tvoří již zmíněný, několik desítek metrů mocný horizont turonských slínovců. Tato hlubší zvodně se většinou vyznačuje výrazně lepší kvalitou podzemní vody než voda mělkého horizontu a z vodohospodářského hlediska bývá její ochraně obvykle věnována větší pozornost (Hušpauer 2000). Hydrostratigrafické jednotky oblasti jsou uvedeny v tabulce 12:

Tabulka 12: Hydrostratigrafické jednotky oblasti (dle Krásný a Skořepa 1981a in Čupr et al. 2003)

Geol. jednotka	Propustnost	Hladina PV	Transmisivita	Vydatnost
Krystalinikum	Puklinová	Volná	Nízká ($<1 \cdot 10^{-4}$ m ² /s)	Nízká ($<0,1$ l/s.m)
Křídové pískovce, vápnité pískovce, vápence a jílovce	Puklinovo-průlinová	Volná	Střední ($1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-3}$ m ² /s)	Střední (0,1-1 l/s.m)
Křídové spongilitické pískovce (J a JV od Kutné hory)	Puklinová	Volná až mírně napjatá	Střední	Střední
Pleistocénní štěrky a písky	Průlinová	Volná s hydraulickou spojitostí s povrchními toky	Střední	Střední
Štěrk a písky údolních niv (překryté fluv. hlínami)	Průlinová	Volná nebo mírně napjatá spojená s povrchními toky	Střední až vysoká ($1 \cdot 10^{-4}$ - $1 \cdot 10^{-2}$ m ² /s)	Střední až vysoká (0,1-1 l/s.m)
Spraše, sprašové hlíny, svahoviny, haldy	Průlinová			

Před otevřením ložiska byly podzemní vody vázány v kvartérní a křídové zvodni. Četná důlní díla však zvodně narušila a podzemní vody byly spolu s povrchovými svedeny do hlubin dolu, odkud musely být čerpány. Po opuštění důlních prací podzemní vody pozvolna nastoupaly zhruba na úroveň hladiny Vrchlice. V některých starých dolech pod historickým městem a také v Grejfské šachtě je voda nadržena i v několika vyšších úrovních. V prostoru posledního opuštěného dolu Turkaňk nastoupaly vody během 10 let do úrovně úpatí kopce a začaly prosakovat do odvodňovací štoly 14 pomocníků, ústící do potoka Beránky (Čupr et al. 2003).

5.1.4 Chemismus podzemních a důlních vod

Na chemismus podzemních vod má zásadní vliv přítomnost ložiska se sulfidickým zrudněním. Jejich složení je velmi pestré, vyznačuje se výraznými změnami během krátké doby a především často zvýšenými obsahy síranů a rudních prvků. Nejsou proto vhodné jako pitné a z velké části nevyhovují ani jako závlahové. V převládající části území a v západní části města se vyskytují středně mineralizované podzemní vody základního Ca-HCO₃ typu, které směrem k východu přecházejí do vod typů Ca-SO₄, Ca-HCO₃-SO₄, Ca-SO₄-HCO₃ a Ca-NaK-SO₄ (HCO₃-Cl) a zároveň roste jejich mineralizace (Čupr et al. 2003).

Důlní vody a průsakové haldové vody vznikají oxidací a vyluhováním rud a vyznačují se značnou mineralizací, silnou kyselostí a zpravidla vysokými obsahy As, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn a síranů. Všechny tyto vody patří do skupiny síranových vod. Převažujícím kationtem je Fe nebo Ca, druhým převažujícím kationtem bývá nejčastěji Zn. Většina těchto vod neobsahuje HCO_3^- , protože při nízkém pH není stabilní a rozkládá se na CO_2 a H_2O . Obsah Cl^- je lehce zvýšený, obsah NO_3^- je minimální (Čupr et al. 2003).

Chemické složení důlních vod kolísá v prostoru i čase. Při zvýšených průtocích většinou stoupá i celková mineralizace vod (a naopak při snížených klesá). Důvodem je, že při zvýšených průtocích se voda dostává do zvětralých partií, kudy jindy neprostupuje, a tam se obohacuje o rozpustné látky. Jsou však i vývěry, které při zvýšené vydatnosti mají nižší mineralizaci. To jsou ty vody, které zrudněnými partiemi neprocházejí ani při větších průtocích. V důlních vodách se mění nejen koncentrace složek, ale i jejich vzájemné poměry. Na základě celkové mineralizace a pH lze důlní vody rozdělit do dvou skupin: 1) s vysokou mineralizací a nízkým pH (1,3-4,1), což jsou vody procházející rudními partiemi a 2) s nižší mineralizací a vyšším pH (6-8,5), čemuž odpovídají běžné puklinové a průsakové vody z krystalinika (Vránová 1976, Zýka 1973a in Malec et al. 2001). Největší mineralizaci se vyznačují rezavé až červenohnědé vody, které přišly do styku se zvětralými rudními minerály. Výčet a relativní zastoupení prvků ve vodách odráží složení minerálních asociací na rudních žilách (Malec et al. 2011). Zvláště silně mineralizované jsou vody, které se po další dobu akumulovaly ve stařinách (Vránová 1964, Zýka 1973a in Čupr et al. 2003).

Při fyzikálních nebo chemických změnách prostředí vypadávají z důlních vod amorfni sraženiny železitých okrů, které sorbují množství dalších kovů. Některé staré důlní chodby na Kaňku jsou těmito okry zaplněny do výšky několika decimetrů. Složení okrů je značně proměnlivé: obsahují 19,3-51,7 % Fe, 2,2-23,5 % As, 0,02-4,7 % Zn, 0,0004-0,04 % Cd, 0,0047-0,203 % Cu, 0,0016-0,0861 % Pb, 2,3-22,7 % SO_4^{2-} a 0-30,5 % nerozpustného zbytku. Složky okrů jsou přítomny ve formě hydroxidů, hydratovaných oxidů, síranů a arseničnanů. Nerozpustný zbytek tvoří prachové částice horninových minerálů, hlavně křemene a slídy. Při změně chemického složení vody se mohou okry opětovně rozpouštět (Vránová 1964, Malec a Kolomazník 1998 in Čupr et al. 2003) a rizikové prvky mohou znovu migrovat do okolního prostředí. Okolo roku 1960 a v menším rozsahu i v roce 2002 se okry dostaly s vytékající důlní vodou do Beránky a pak do Klejnárky až ke Starému Kolínu (Čupr et al. 2003).

5.1.5 Hydrologie území

Revír se nachází v povodí Labe od Doubravky po Cidlinu v dílčím povodí levostranného přítoku Labe – Klejnárky. Největším tokem v severním až severovýchodním směru je říčka Vrchlice, která se u Nových Dvůrů se vlévá do Klejnárky. Tento recipient může být ovlivňován kvalitou důlních vod a případně i povrchových vod kontaminovaných průsaky z odkaliště. Na jihu je potok Bylanka (Landa 1997).

V ložiskovém území se vlivem důlní činnosti nenacházejí prameny povrchových vodotečí. Zanikl drobný levostranný přítok Vrchlice v údolí mezi Kuklíkem a Sukovem, směřující k sedlci. Voda z okolních svahů a některých důlních děl se stahuje do tří malých rybníků (u pivovaru Lorec, v Gruntě a pod svahem Kuklíku 900 m severozápadně) (Čupr et al. 2003). Do bezodtokého

Grunteckého rybníčku se dostává voda z Kuklické štoly, kdy se postupně infiltruje přes pokryvné horniny do podzemí (směr proudění k erozní bázi nacházející se na severu). Výtoky jsou patrné v sadu jižně od silnice Kaňk-Libenice s odtokem do Libenického potoka (Landa 1997). Lorecký rybníček je napájen i pramenem Barborka, jehož jímací studny se nacházejí několik desítek metrů před zabořeným a na povrchu dnes již neznatelným ústím Grejfské dědičné štoly (cca 250 m západně od Lorce). Rybníček je posledním zbytkem soustavy středověkých nádrží na ryby, zvaných haltýře. Je zřejmá hydraulická souvislost pramenu Barborka s Grejfskou štolou a této štoly s Grejfskou šachtou (Čupr et al. 2003). Voda ze štoly 14 pomocníků se dostává do Beránky, která je levostranným přítokem Klejnárky. Voda vytékající se Skalecké štoly se dostává přes meliorační strouhu Šífovka do vodoteče Klejnárka. Voda odčerpaná z dolu Turkaňk se po částečném zdržení v odkališti v době provozu odkaliště dostávala otevřeným korytem a dále potrubím do Šífovky (Landa 1997).

Potoky, které stékají z Kutnohorské plošiny ke Klejnárce a Labi, tj. Křenovka, Vrchlice, Hořanský a Nebovidský potok, vytvářejí v okrajích plošiny úzká, strmě zaříznutá údolí, která se na svých spodních koncích široce rozestupují. Pouze krátký potůček Beránka u Malína a strouha Šífovka pod dvorem Skalkou, které přitékají zleva do Klejnárky, jsou celým svým tokem v rovině. V hlubokém údolí Vrchlice asi 5 km jihozápadně od Kutné Hory stojí od roku 1972 klenbová hráz přehradní nádrže, která je zdrojem pitné vody pro město a široké okolí. Asi 1 km pod hrází přehrady se nachází Velký rybník, postavený v 19. Století pro potřeby četných mlýnů a sloužící dnes k rekreačním účelům. Malá přehrada je také na Křenovce mezi Perštejncem a Neškaredicemi, tj. na jihovýchod od města. Nádrže na vrchu Sukově a v Malé vysoké, které slouží pro zavlažování, berou vodu z Labe (Čupr et al. 2003).

Povrchová voda, která se infiltruje do podzemí, se opětovně dostává na povrch v údolí Vrchlice a Bylanky a tyto vývěry odpovídají místům zavalených starých odvodňovacích (dědičných) štol (Landa 1997). Těmito štolami byly v minulosti odváděny nijak neupravované vody z kaňkovských dolů (Čupr et al. 2003).

5.1.6 Produkty důlní a hutní činnosti

Produkty po dolování a hutnění rud jsou významným geologickým a geochemickým faktorem v oblasti a mají podstatný vliv na zatížení všech složek životního prostředí rizikovými prvky. Jsou představovány jalovinou s přimíšenými rudními minerály, úpravárenskými odpady a hutními struskami. Tyto materiály jsou buď deponované na pozůstatcích odvalů, nebo rozvlečené v terénu (na zastavěných pozemcích, podél komunikací, ve vodotečích i v polích). Na území Kutné Hory a jejího blízkého okolí je evidováno celkem 64 starých i novějších hald o různém stupni zachování (Malec 1999 in Čupr et al. 2003). Všechny dohromady zaujímají plochu 689 320 m² a objem 5 311 300 m³. Z toho téměř třetinu plochy a přibližně dvě třetiny objemu představuje odkaliště flotační úpravní z let 1958-1991. Důlní haldy zaujímají plochu 380 620 m² a objem 1 503 200 m³. Na struskové haldy připadá plocha 47 900 m² a objem 146 600 m³. Bez vegetace jsou 4 haldy (55 100 m²), travinami, ojedinělými keři a rumištní flórou jsou pokryty 3 haldy (10 870 m²), nálet dřevin je na 17 haldách (94 100 m²), 18 hald je zalesněno (423 800 m²), pole a zahrady jsou na 6 haldách (25 850 m²), městská zeleň je na 2 haldách (3 500 m²) a 14 hald (76 100 m²) je zastavěno (Čupr et al. 2003).

Důlní odvaly sledují (nebo sledovaly) průběh jednotlivých rudních pásem a žil. Nejzřetelnější a nejmohutnější důlní haldy se dnes nacházejí na staročeském pásmu při západním okraji obce Kaňk. Důlní odvaly jsou složeny především z úlomků zvětřalých až rozložených rul, migmatitů a především křemenné žiloviny se zbytky rud. Materiál některých hald je dodnes poměrně čerstvého vzhledu, jiné haldy, zvláště ty, které primárně obsahovaly větší množství sulfidů, jsou již značně rozložené. Nejvíce rudních minerálů (pyritu a arzenopyritu) původně obsahovaly haldy dolů na staročeském pásmu. Oxidací těchto sulfidických nerostů a působením vzniklých sulfátových roztoků na ostatní haldový materiál se vytvořila řada sekundárních minerálů (cca 25 druhů), hlavně sulfátů a arseničnanů. Tyto nerosty tvoří práškovité či zemité povlaky, výkvěty, kůry, závalky a hlízy zemitého vzhledu, případně drobné krápníky. Některé z nich jsou víceméně nerozpustné, další jsou špatně rozpustné nebo hydrolyzovatelné, jiné naopak dobře rozpustné. Nejméně stálými sulfidy v odvalech jsou pyrrhotin a sfalerit, stabilnější je arzenopyrit a relativně nejstálější je pyrit. Nerudní minerály podléhají rozkladu víceméně všechny, nejstabilnější je křemen (Babčan 1955 in Čupr et al. 2003). Silněji zvětřalé haldové materiály mají slabě až silně kyselou reakci. Neutrální nebo slabě alkalická reakce je patrně zapříčiněna přítomností karbonátů v žilovině. V obsazích rudních prvků se odrážejí rozdíly minerálního složení rudnin z jednotlivých pásem (Čupr et al. 2003).

Úpravárenské odvaly se zachovaly jen v omezené míře, protože jejich materiál se přepracovával a používal jako přísada při hutnění a patrně i ve stavebnictví. Z posledního období dolování pochází velká, v současnosti již zrekultivovaná halda (odkaliště) flotačních odpadů pod úpravnou u dolu Turkaňk, která se nachází přímo nad státní silnicí Kolín-Čáslav mezi Skalkou a osadou Nepřízeň u Hlízova. Materiál úpravárenských odvalů je složením víceméně podobný materiálu důlních hald, ale podstatně jemnější. Odkaliště pod flotační úpravnou obsahuje cca 3,6 milionu tun jemných odpadů (0,5-0,02 mm) z let 1958-1991. 63 % materiálu pochází z ložiska Kutná Hora a 29 % ze Starého Ranska a jiných polymetalických ložisek (Příbram 5 %, Křižanovice 1 %, Horní Benešov 1 %, další 1 %). Charakter odpadů je převážně silikátový, sulfidů je okolo 10 % (hlavně Fe a malé množství Zn, As, Pb, Cu aj.) a ze 14 až 30 % jsou zoxidované. Složení odkaliště je vertikálně i horizontálně proměnlivé, protože obsahuje rudy z různých lokalit a odpady byly na odkaliště vypouštěny z různých stran. Průměrné obsahy kovů v odkališti byly vypočteny z analýz tří vrtů a z průběžného vzorkování odpadů úpravny (v g/t): Ag 20, As 5 648, Ba 1 034, Cd, 30, Cu 599, Pb 654, Sb 82, Zn 6 500, S 56 000 (Malec et al. 1991 in Čupr et al. 2003). Odkaliště je tzv. svahového typu. Je situováno na úpatí kopce Kaňk v mírně stoupajícím terénu od 210 do 250 m n. m. v místě lokální morfologické deprese na severním úbočí, což je patrné ze starých topografických map. Lze proto předpokládat, že zde mohlo být místo s puklinovou predispozicí. Díky morfologické depresi, kdy původní terén působil jako relativně nepropustná podložka, zde musí docházet ke kumulaci vod infiltrujících z tělesa odkaliště. Díky určité tektonické predispozici, která se projevila druhotně zvýšenou propustností krystalinických hornin, zde muselo dojít ke vzniku místa se zvýšenou infiltrací vod do kvartérních a křídových sedimentů. To i vysvětluje, proč zde nebyly v době provozu odkaliště zřejmá vývěrová místa s případnou deformací jak tělesa odkaliště, tak hlavně tělesa blízké komunikace. V době otevřeného výkopů v souvislosti s výstavbou komunikace byla patrná masivní infiltrace vody ze strany výkopu směrem k odkališti a následně zpětný však vody. V minulosti zde tedy byly soustředěny preferenční infiltrační cesty vod z odkaliště. Do kvartérních a případně i do křídových pokryvných

hornin. V přímé blízkosti odkaliště se nachází Skalecká štola, která v první řadě drénuje vody z tělesa odkaliště (Landa 1997).

Haldy hutních strusek se zpravidla nacházely v blízkosti hutí, ale do současné doby se v nezměněné podobě nedochovaly v podstatě žádné, protože jejich materiál byl využíván k nejrůznějším účelům (nezbytná přísada při dalším tavení, k výstavbě a údržbě komunikací a k regulaci vodotečí). Nejrozsáhlejší struskové haldy byly původně na Karlově, tj. při východním okraji města. Další se vyskytovaly v Gruntě, jiné na jih od města v údolích Vrchlice a Bylanky a na severním úpatí Kaňku. Další drobné haldy strusek se nacházely přímo ve městě (Bílek et al. 1965 in Čupr et al. 2003). Na některých místech mohou být vysoké obsahy rizikových prvků v půdě způsobeny otěrem rozvlečených úlomků strusek a jejich oxidačních produktů. Jedná se o místa, kde v minulosti byly strusky tzv. pohřbívány (východní a jihovýchodní okraj města, Grunta) a o pozemky, kde se strusky zřejmě používaly pro vyrovnávání terénu (mezi závodem ČKD a údolím Vrchlice, bývalý močál mezi státní silnicí a železniční tratí severně od Kaňku). Maloplošné nebo lineární rozšíření úlomků strusek v polích je způsobeno materiálem zbylým po úpravách terénu, po stavbě a údržbě cest nebo po výstavbě mostků a propustí. Také ve vodotečích se strusky nacházejí na řadě míst a i zde podléhají abrazi a místy i oxidaci, čímž se z nich uvolňují rizikové prvky. Složení strusek je převážně železato-křemičité. Významné příměsi (X,0 %) představují Ca a Al. Obsahy rizikových prvků kolísají v rozmezí: As 41-2 530 ppm, Cd 2-84 ppm, Cu 511-7 190 ppm, Pb 305-6 580 ppm, Zn 968-39 400 ppm. Ve struskách se objevují i ryzí kovy (Cu, Pb, Sn) a jejich oxidy a sulfidy. Místy jsou tyto minerály přeměněny na více nebo méně rozpustné druhotné karbonáty, silikáty a sulfáty (Čupr et al. 2003).

5.2 Srovnávací analýza

5.2.1 Kvantitativní část

Data o množství vody v systému důlních děl a zvodněných horizontů jsou nejčetnější z Turkaňské jámy, kde jsou prováděna systematická denní měření, nutná k regulaci čerpání a udržení množství vody pod přelivovou hranou do štoly 14 pomocníků. Její hodnocení tak bylo snadnější, protože křivky grafů tvoří souvislé linie dokumentující celou historii sledovaného období. Na ostatních monitorovacích bodech jsou měření hladin prováděna dvakrát až čtyřikrát ročně v rámci průběžného monitoringu kvality podzemních vod v okolí zatopeného dolu Turkaňk. Odečtení souvislostí z grafů proto není již tak jednoznačné.

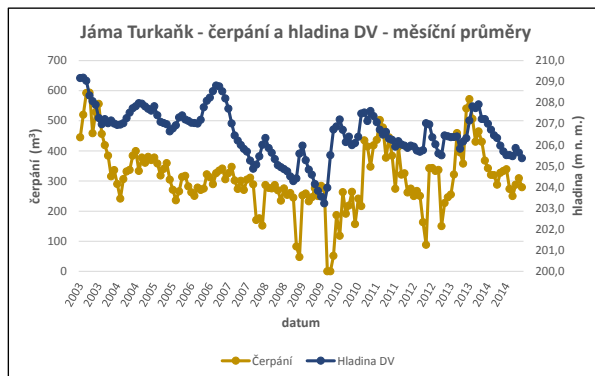
5.2.1.1 Objekty důlních vod

Z objektů důlních vod z hlediska výšky hladiny a vlivů čerpaného množství vody na čistírnu důlních vod a množství srážek jsem hodnotila pouze Turkaňskou jámu a Skaleckou jámu. Na Skalecké štolě a štolě 14 pomocníků se výšky hladin při odběru vzorků neodečítají.

Jáma Turkaňk

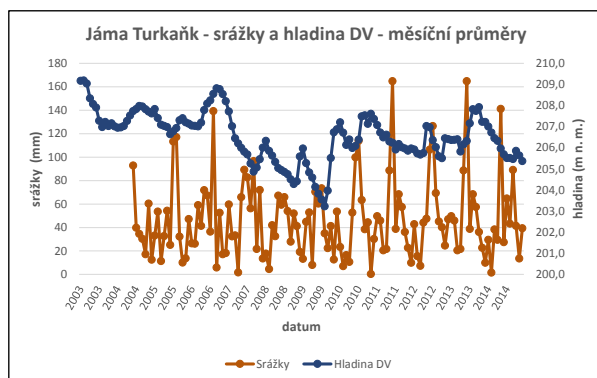
Při hodnocení kvantitativních dat z Turkaňské jámy jsem použila data o výšce hladiny důlní vody v jámě a objemech čerpaných důlních vod na čistírnu, a to v grafech vytvořených pro celé sledované období za použití měsíčních průměrů denních měření (obrázek 19). Tyto údaje jsou dostupné od roku 2003. Z křivek lze vysledovat předpoklad, že množství čerpané vody ovlivňuje výšku hladiny.

Potřebná výška hladiny důlní vody v jámě je udržována na hodnotě cca 206 m n. m. čerpáním, jehož objem je dle potřeby regulován. Ve většině případů křivky ukazují, že nižší hladině odpovídají nižší objemy čerpání, a naopak vyšší hladině odpovídají vyšší objemy čerpání. Odstávkami zapříčiněné nulové čerpání nebo z jiného důvodu zavedené nízké objemy čerpání se odráží v nárůstu hladiny důlní vody (dobře viditelné například v letech 2008, 2009 a 2012).

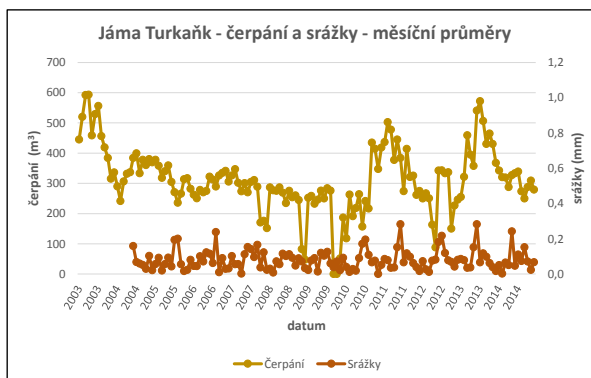


Obrázek 19: Graf čerpání a hladiny v Turkaňské jámě

Dále jsem zjišťovala vliv atmosférických srážek na výšku hladiny důlní vody v jámě anebo na objem čerpaných vod na čistírnu (obrázek 20 a 21). Srážky jsou monitorovány od 18. 6. 2004. V grafech lze sledovat vliv srážek na růst hladiny i objemu čerpané důlní vody. Po poklesu srážkových úhrnů dochází v následujících měsících k poklesu čerpaného objemu avšak k nárůstu hladiny. Lze pozorovat určité zpoždění v nárůstu výšky hladiny důlní vody v šachtě, které následuje vždy po období se zvýšeným srážkovým úhrnem. V letech 2007 až 2009 je výrazná souvislost mezi vysokými srážkovými úhrny a zvýšenými objemy čerpaných vod. V roce 2012 si všechny tři křivky odpovídají: při poklesu čerpaného objemu za současného zvýšení srážkového úhrnu dochází k výraznému nárůstu výšky hladiny důlní vody v jámě. To je následně kompenzováno zvýšením objemu čerpaných vod na čistírnu.



Obrázek 20: Graf srážek a hladiny v Turkaňské jámě

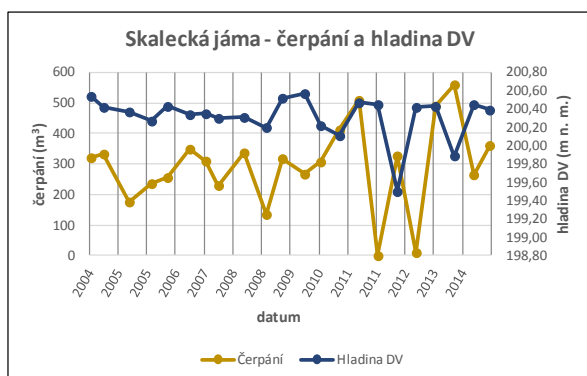


Obrázek 21: Graf čerpání a srážek v Turkaňské jámě

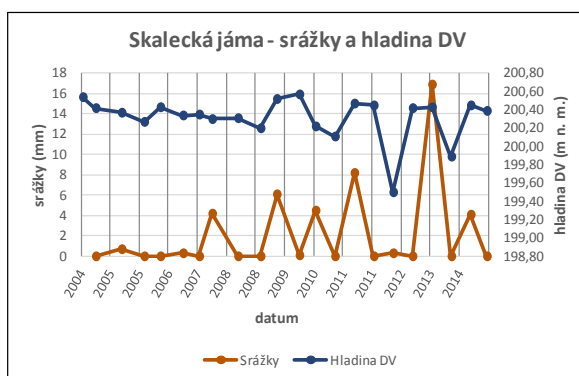
Z těchto grafů je dobře vidět vysoký vliv množství dešťových srážek na výšku hladiny důlní vody v jámě a s tím související objemy jejího čerpání. Dešťové srážky tedy budou velmi významným faktorem působícím na stav důlní vody a procesy, které ho ovlivňují. Čerpání důlních vod účinně reguluje jejich hladinu v jámě i přes zvýšené množství dešťových srážek.

Skalecká jáma

Na Skelecké jámě jsou údaje o výšce hladiny zaznamenávány pouze dvakrát ročně. Nelze tedy závislosti výšky hladiny, srážek a množství čerpané důlní vody na Turkaňské jámě určit s jistotou. Z obrázku 22 vyplývá, že zvýšené čerpané objemy zapříčiní pokles hladiny také ve Skalecké jámě, kdy vyšší čerpání nastane při zvýšení hladiny důlní vody. S vyšší hladinou ve Skalecké jámě částečně souvisí i množství srážek, jejichž zvýšené úhrny odpovídají zvýšené hladině důlní vody v jámě. To ukazuje obrázek 23.



Obrázek 22: Graf čerpání a hladiny ve Skalecké jámě

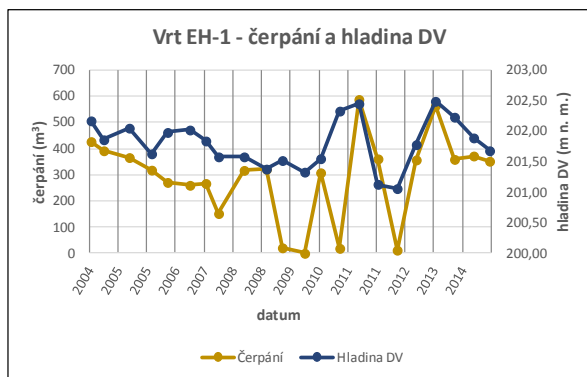


Obrázek 23: Graf srážek a hladiny ve Skalecké jámě

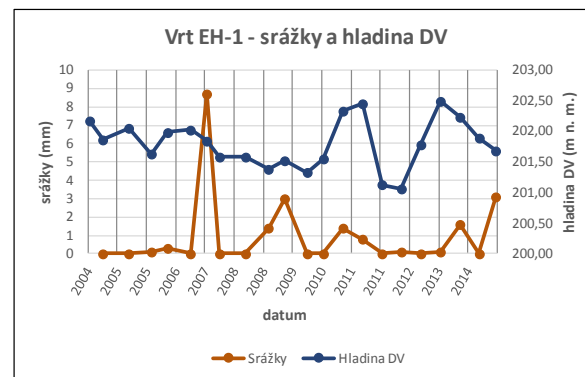
5.2.1.2 Objekty křídových podzemních vod

Vrt EH-1

V tomto vrtu čerpání vody ze systému důlních děl velmi výrazně ovlivňuje hladinu křídové zvodně. Při nižším čerpání nastoupá hladina podzemní vody a vyšší čerpání ji opět sníží. Ukazuje to obrázek 24. Z obrázku 25 je patrné, že srážkami hladina podzemní vody v tomto vrtu ovlivněna není.



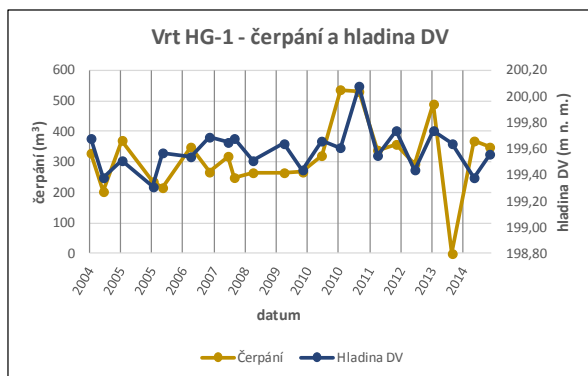
Obrázek 24: Graf čerpání a hladiny ve vrtu EH-1



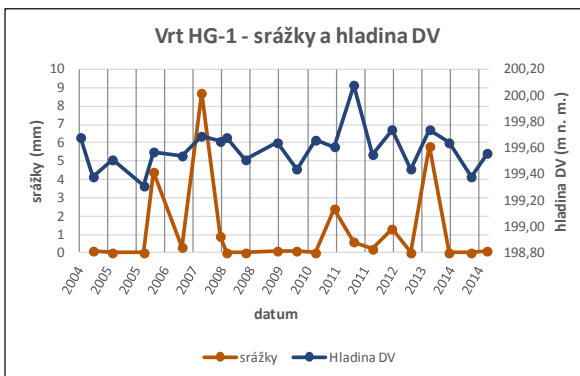
Obrázek 25: Graf srážek a hladiny ve vrtu EH-1

Vrt HG-1

Podobnou závislost výšky hladiny podzemní vody na množství čerpaných důlních vod jako ve vrtu EH-1 vykazují i data z vrtu HG-1, kterou ukazuje obrázek 26. Hladina podzemní vody je čerpáním výrazně ovlivněna. Obrázek 27 ukazuje, že výška hladiny podzemní vody je slabě ovlivněna srážkami. Vyšší hladina je spojena s vyššími srážkami.



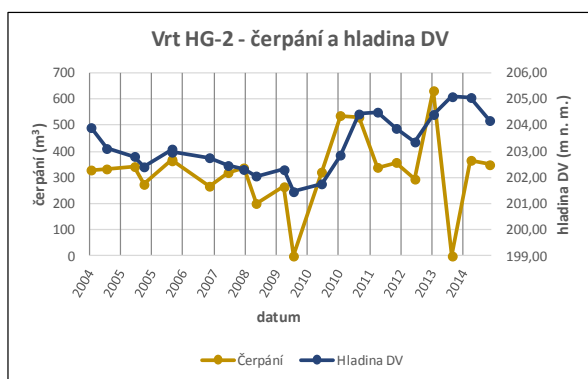
Obrázek 26: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-1



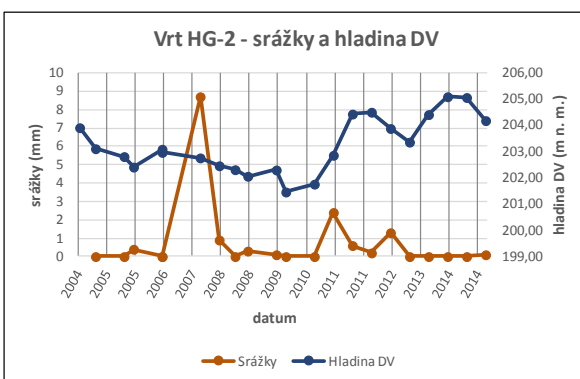
Obrázek 27: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-1

Vrt HG-2

I v tomto vrtu, velmi vzdáleném od Turkaňské jámy, se výrazně projevují vlivy čerpání důlních vod na čistírnu. Téměř shodné křivky grafu ukazuje obrázek 28. Na obrázku 29 je závislost výšky hladiny podzemní vody ve vrtu HG-2 a množství srážek. Srážky nemají na hladinu podzemní vody žádný vliv.



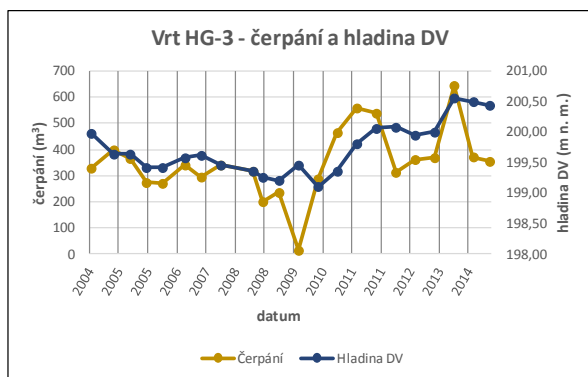
Obrázek 28: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-2



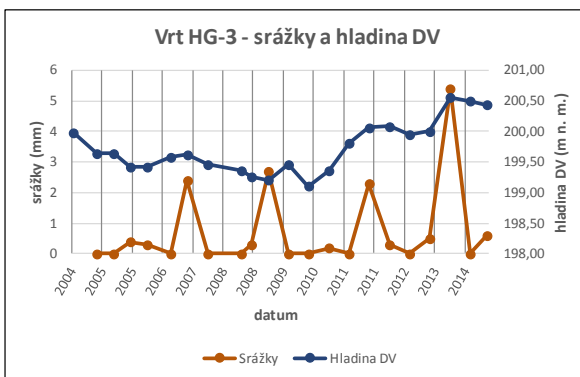
Obrázek 29: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-2

Vrt HG-3

Vrt HG-3 je od Turkaňské jámy nejvzdálenější z křídových vrtů. Přesto mají křivky výšky hladiny podzemní vody a objemu čerpáných vod velice podobný průběh. Z obrázku 30 lze tedy usuzovat ovlivnění hladiny podzemní vody čerpáním na Turkaňské jámě. Srážkami je v tomto vrtu hladina podzemní vody ovlivněna slabě. Ke konci sledovaného období zvýšeným hodnotám srážkových úhrnů odpovídají také vyšší hladiny podzemní vody. Viz obrázek 31.



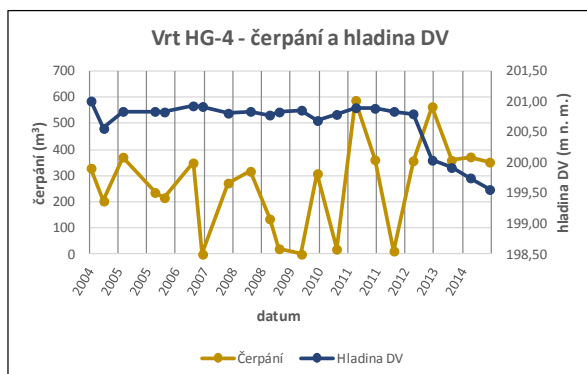
Obrázek 30: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-3



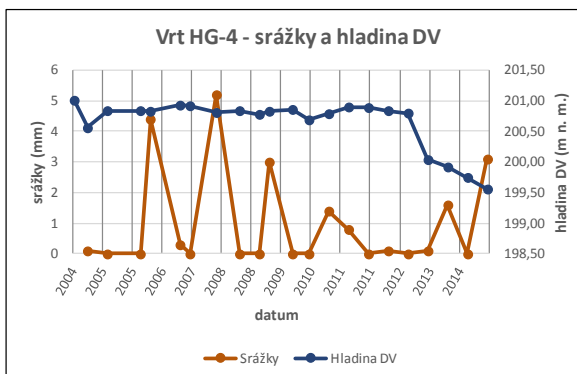
Obrázek 31: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-3

Vrt HG-4

Jak je vidět na obrázku 32, souvislost výšky hladiny a množství čerpaných důlních vod není na tomto vrtu tak zřejmá jako v předchozích případech. Srážky ji také neovlivňují (obrázek 33).



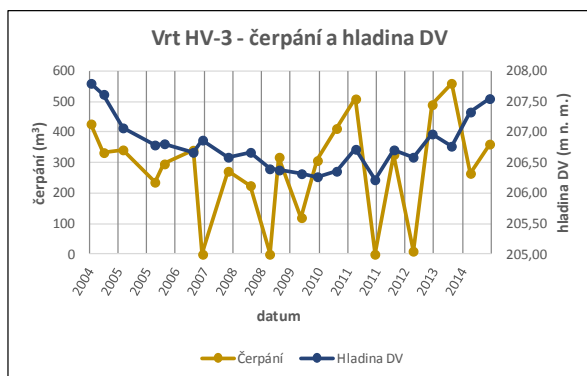
Obrázek 32: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HG-4



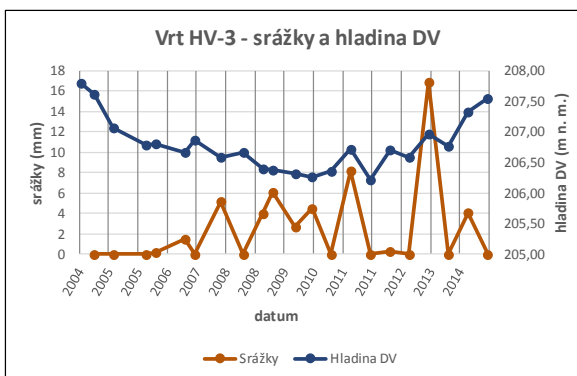
Obrázek 33: Graf srážek a hladiny ve vrtu HG-4

Vrt HV-3

Nepatrná závislost výšky hladiny podzemní vody na množství čerpaných důlních vod je vidět v některých bodech grafu na obrázku 34. Spíše ale hladina křídové zvodně v tomto vrtu čerpáním ovlivněna není. Srážky mají výrazně jiný průběh než křivka výšky hladiny podzemní vody ve vrtu HV-3. V závěru sledovaného období sice stoupá hladina podzemní vody po výrazně vyšších srážkách, ale pravděpodobně nejsou srážky hlavním faktorem ovlivňujícím výšku hladiny ve vrtu. Viz obrázek 35.



Obrázek 34: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HV-3



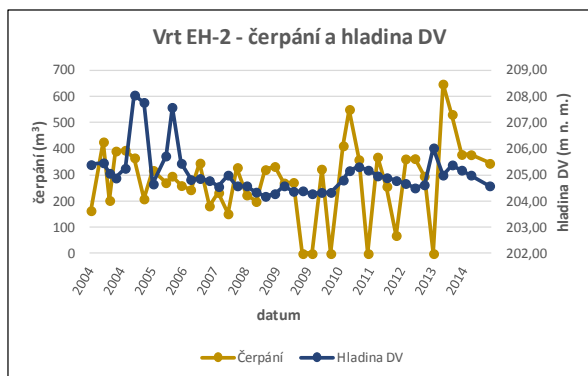
Obrázek 35: Graf srážek a hladiny ve vrtu HV-3

5.2.1.3 Objekty kvartérních podzemních vod

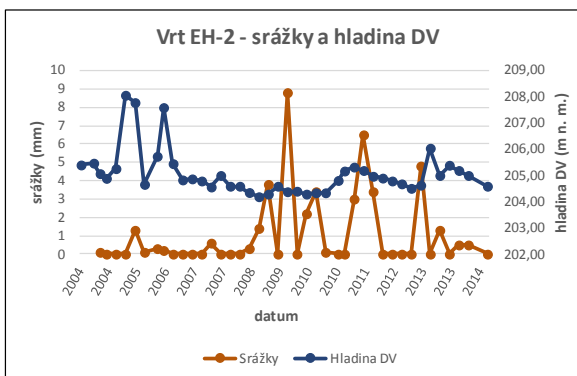
Z hlediska závislosti podzemní vody na čerpání důlní vody a množství srážek byly hodnoceny pouze kvartérní vrty. Studny monitorující kvartér nemají měřené výšky hladin.

Vrt EH-2

Z dat z vrtu EH-2 nelze vyčíst souvislost mezi výškou hladiny podzemní vody a množstvím čerpané důlní vody na Turkaňské jámě. Viz obrázek 36. Přesto, že by se dala očekávat, není na vrtu EH-2 patrná ani souvislost výšky hladiny se srážkami, což dokumentuje obrázek 37.



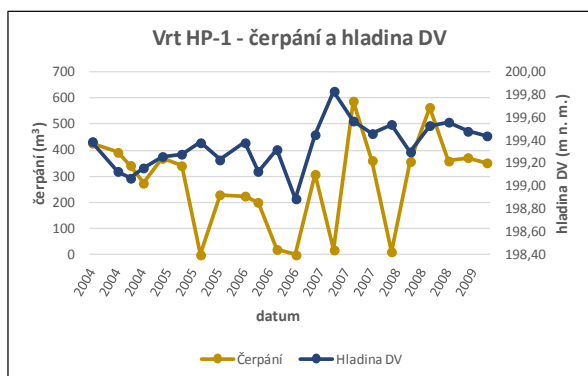
Obrázek 36: Graf čerpání a hladiny ve vrtu EH-2



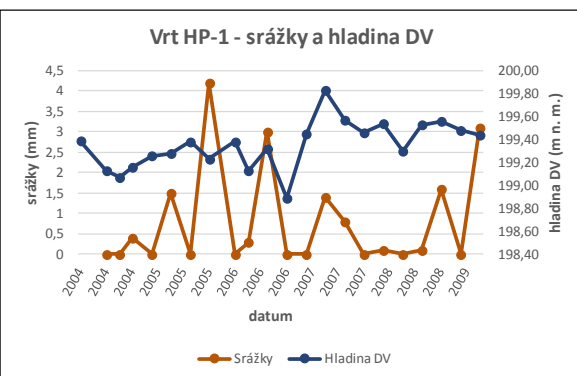
Obrázek 37: Graf srážek a hladiny ve vrtu EH-2

Vrt HP-1

Velmi slabou závislost výšky hladiny ve vrtu na množství čerpaných důlních vod lze sledovat na obrázku 38. V druhé polovině sledovaného období zvýšené čerpání odpovídá zvýšeným hladinám podzemní vody. Kolísání srážek v první polovině období výrazně neovlivňuje hladinu kvartérní zvodně ve vrtu, naopak opět v druhé polovině jsou průběhy obou křivek podobné. Viz obrázek 39.



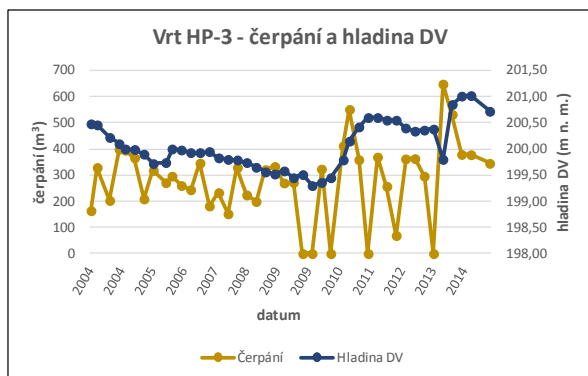
Obrázek 38: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HP-1



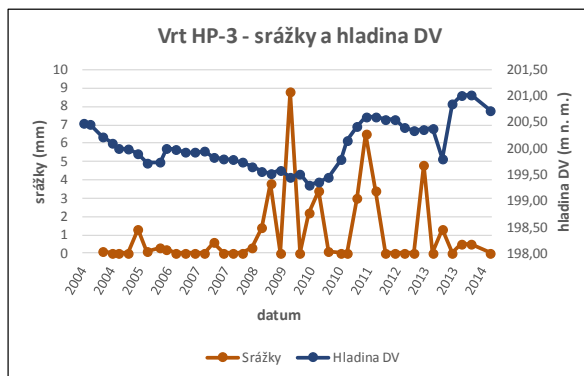
Obrázek 39: Graf srážek a hladiny ve vrtu HP-1

Vrt HP-3

Hladina kvartérní zvodně ve vrtu HP-3 není ovlivněna čerpáním důlních vod, i když některé body zvýšené hladiny se v obrázku 40 shodují se zvýšeným čerpáním. V období nejvyšších srážek je hladina ve vrtu HP-3 nejnížší. Není tedy pravděpodobně ovlivněna ani srážkami a shodné body vyšších srážek i hladin nejsou významné nebo jsou náhodné. Viz obrázek 41.



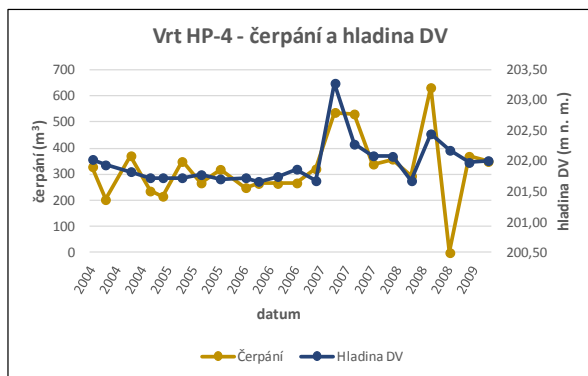
Obrázek 40: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HP-3



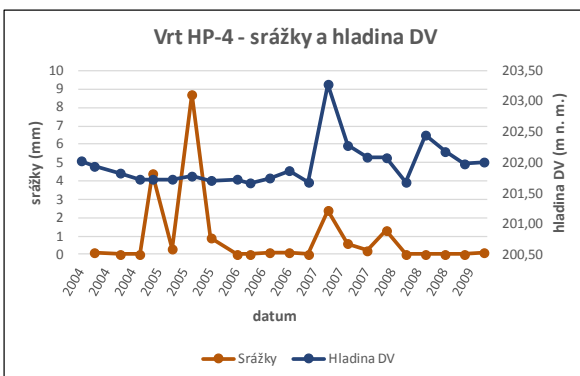
Obrázek 41: Graf srážek a hladiny ve vrtu HP-3

Vrt HP-4

Výraznější souvislost výšky hladiny kvartérní zvodně s čerpáním důlních vod je vidět na obrázku 42, který vrt dokumentuje. Oproti očekávání ani v tomto vrtu není průkazná závislost výšky hladiny na množství srážek. Je to vidět na obrázku 43.



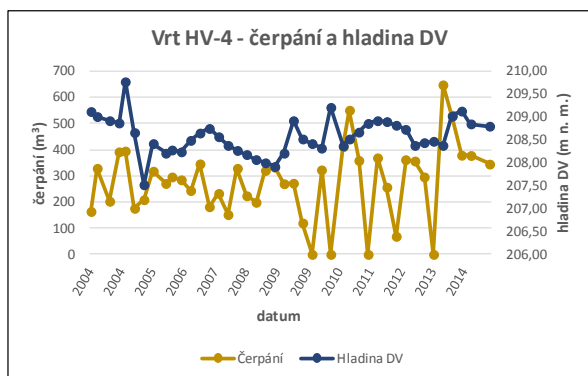
Obrázek 42: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HP-4



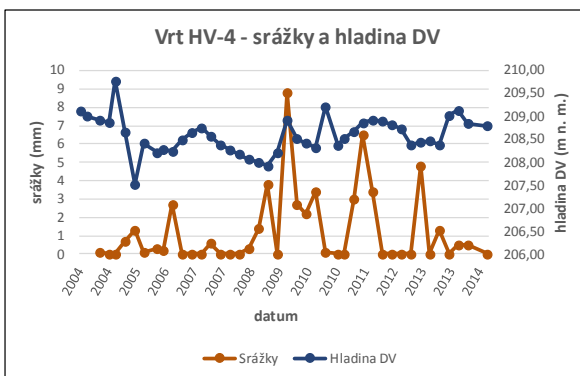
Obrázek 43: Graf srážek a hladiny ve vrtu HP-4

Vrt HV-4

Vrt HV-4 je lokalizován ze všech vrtů nejbližše Turkanské jámě. Křivky z jeho dat na obrázku 44 naznačují ovlivnění hladiny podzemní vody, kdy při nižším čerpání dochází k nárůstu hladiny a naopak při zvýšeném čerpání hladina klesá. Zvýšené srážkové úhrny výšku hladiny ve vrtu HV-4 spíše neovlivňují, jak je vidět na obrázku 45.



Obrázek 44: Graf čerpání a hladiny ve vrtu HV-4



Obrázek 45: Graf srážek a hladiny ve vrtu HV-4

5.2.2 Kvalitativní část

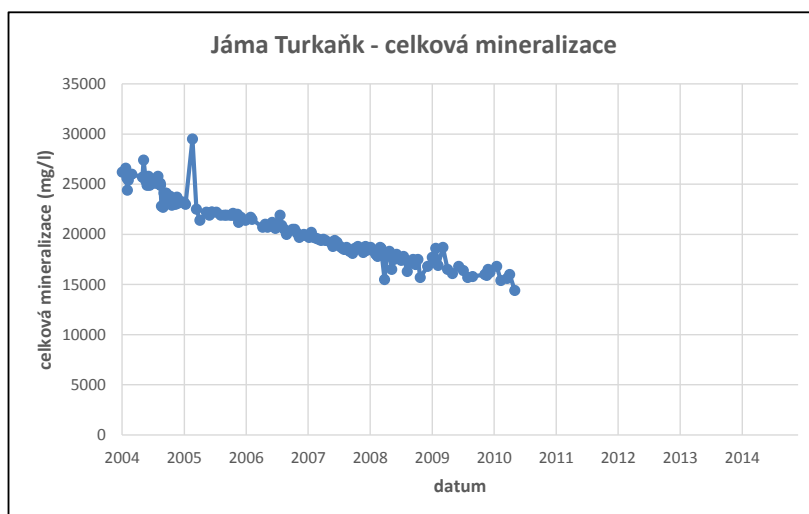
Vyhodnocení těchto dat bylo problematické taktéž z hlediska různé a převážně nízké četnosti odběrů na jednotlivých odběrných místech. Nejčetnější byly odběry na Turkaňské jámě, kde probíhaly ze začátku až 5x za měsíc, v posledních letech se počet snížil na jeden odběr za měsíc. Na většině odběrných míst však vzorkování probíhalo pouze dvakrát až čtyřikrát za rok. V grafech jsou tedy zachyceny pouze nárazové změny parametrů a není zde vidět jejich kontinuální vývoj. V některých grafech nejsou patrné žádné trendy, v některých patrné mohou být, ale pravděpodobně nemají vysokou vypovídající hodnotu, protože se jedná o meziroční hodnoty, které spolu souvisí jen minimálně, a může se jednat o náhodnou situaci, kdy se parametry vyvíjely podobným směrem.

5.2.2.1 Objekty důlních vod

Jáma Turkaňk

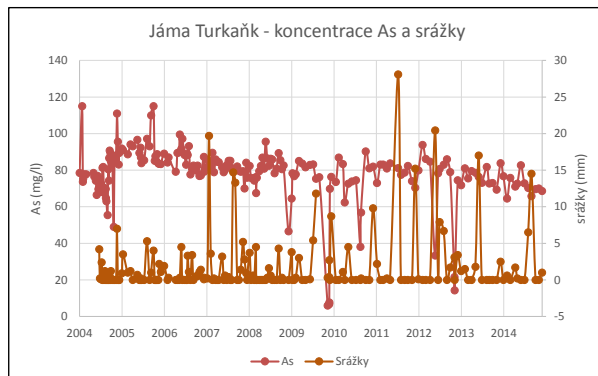
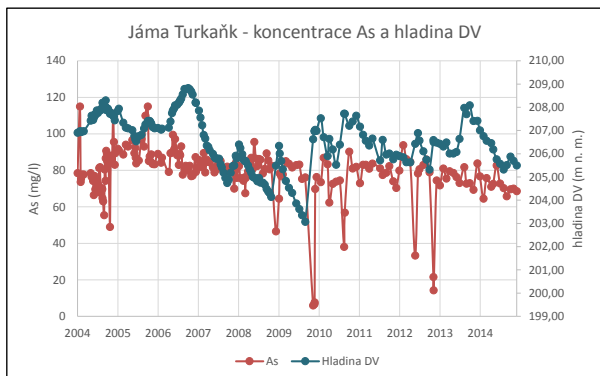
V historii zatápění Turkaňské jámy se chemismus důlní vody vyvíjel ve třech etapách. Od ukončení těžby v roce 1991 do roku 1994 se celková mineralizace pohybovala kolem 5 g/l a pH se pohybovalo okolo 3. Oplachové vody rozpouštěly více či méně rozpustné sekundární minerály, které vznikaly v průběhu dobývání ložiska. Od roku 1994 mineralizace výrazně stoupala na hodnotu kolem 15 mg/l a s ní i koncentrace sledovaných složek. pH pokleslo na hodnotu okolo 2. Přibližně od roku 1998 do roku 2001 přechází trend vývoje sledovaných kontaminantů v klesající a docházelo k mírné stratifikaci důlní vody, čemuž odpovídala mineralizace ve svrchní vrstvě, z jejíž hladiny byly také do roku 2001 odebírány vzorky odběrným valem. Po překročení přetokové hrany štol 14 pomocníků a zahájení čerpání důlní vody na provizorní čistírnu důlních vod došlo k prudkému zvýšení obsahu většiny složek i celkové mineralizace na hodnotu kolem 30 mg/l. To nastalo v důsledku čerpání, kdy čerpadlo od čerpací soustavy bylo zanořeno do úrovně cca 185 m n. m. a voda byla čerpána z hloubky cca 26-28,6 m n. m. pH kolísá mezi 2,5-4 (Hušpauer 2002).

Celková mineralizace zde byla měřena pouze do roku 2010, ale její vývoj od roku 2004 vykazuje klesající charakter (obrázek 46), který byl predikován již v dřívějších pracích a lze ho predikovat z vývoje chemismu od roku 2001, kdy bylo v koncentracích složek dosaženo maxima.



Obrázek 46: Graf celkové mineralizace důlní vody v jámě Turkaňk

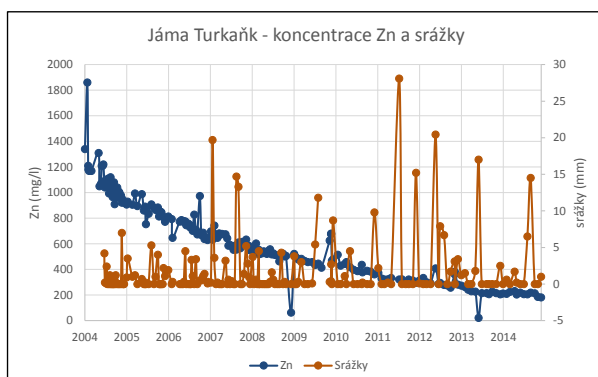
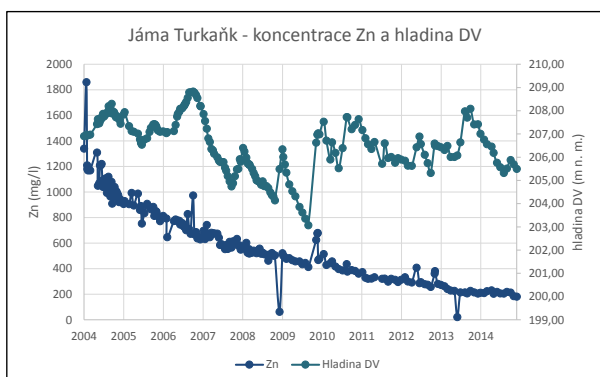
Potvrzují to i křivky jednotlivých kovů. Více konstantní průběh však má As a Cd. Křivky těchto kovů mají ve svém průběhu četné výkyvy, které mírně korelují s výškou hladiny a s ní souvisejícím redox potenciálem, který ovlivňuje uvolňování těchto kovů do roztoku. Oxidované formy kovů bývají méně mobilní než jejich redukované formy. K jejich redukci dochází v anoxických podmínkách pod hladinou důlní vody. Spíše nekorelují se srážkami.



Obrázek 47: Graf koncentrace As a hladiny v Turkaňské jámě Obrázek 48: Graf koncentrace As a srážek v Turkaňské jámě

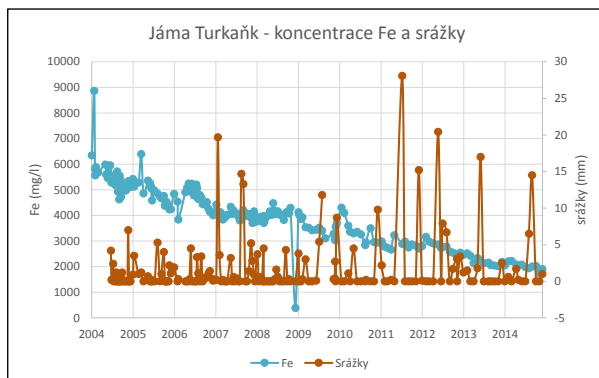
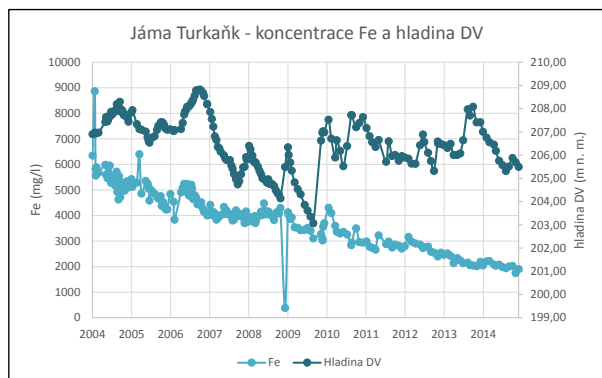
As, Zn a Fe mají v bodě 9. 12. 2008 shodný výrazný pokles, který však nekoreluje s výškou hladiny ani se srážkami. As v porovnání s hladinou viz obrázek 47. Vliv srážek je vidět na obrázku 48.

Klesající koncentrace Zn s viditelným výrazným propadem v porovnání s hladinou je zobrazena na obrázku 49, v porovnání se srážkami na obrázku 50.



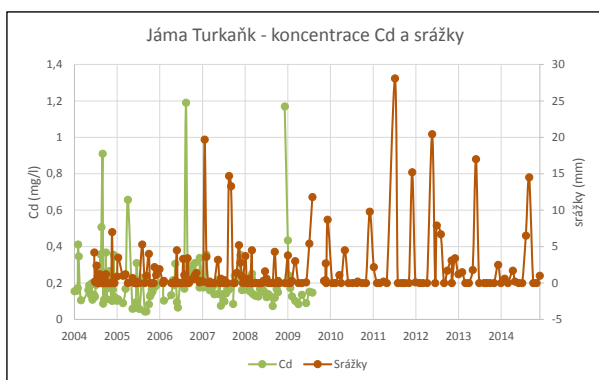
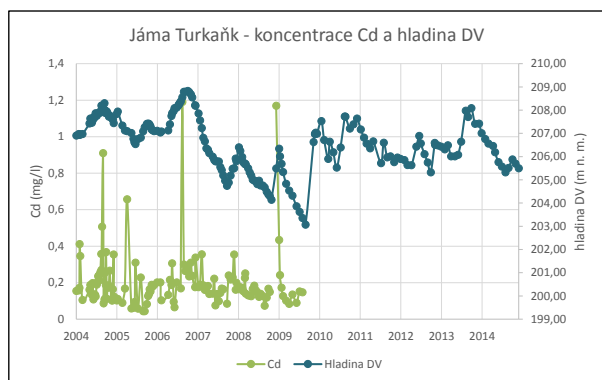
Obrázek 49: Graf koncentrace Zn a hladiny v Turkaňské jámě Obrázek 50: Graf koncentrace Zn a srážek v Turkaňské jámě

Také koncentrace Fe vykazuje dlouhodobý pokles. Opět je dobře vidět výrazný propad v grafu s hladinou důlní vody na obrázku 51 a v grafu se srážkami na obrázku 52.



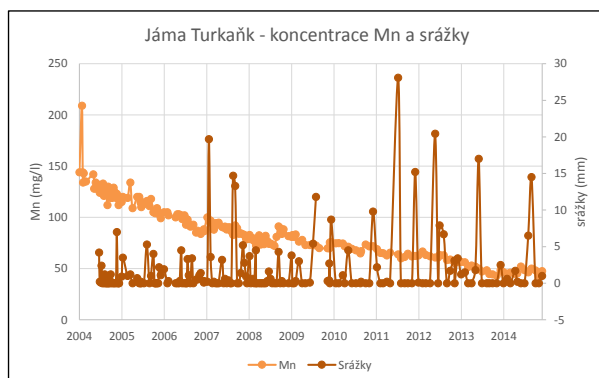
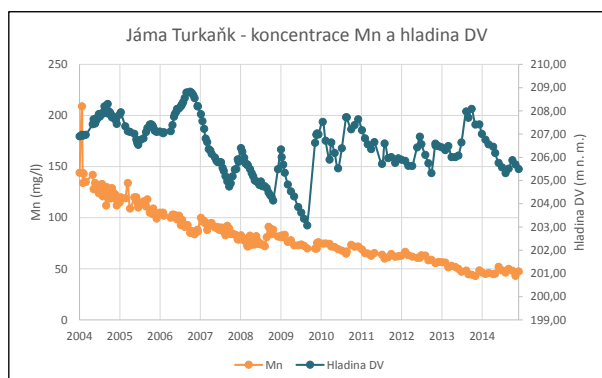
Obrázek 51: Graf koncentrace Fe a hladiny v Turkaňské jámě Obrázek 52: Graf koncentrace Fe a srážek v Turkaňské jámě

Cd vykazuje velmi specifický charakter, navíc bylo sledováno pouze do roku 2009. Vyšší koncentrace mohou být vázány na vyšší hladiny důlní vody (obrázek 53). Ve výše zmíněném bodě vykazuje naopak velmi výrazný nárůst, který stejně jako další četné oscilace není ovlivněný srážkami. To ukazuje obrázek 54.

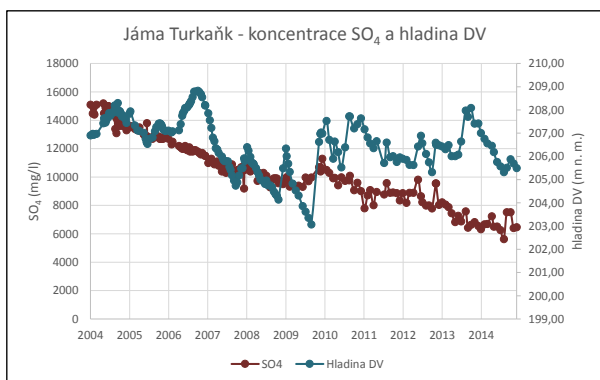


Obrázek 53: Graf koncentrace Cd a hladiny v Turkaňské jámě Obrázek 54: Graf koncentrace Cd a srážek v Turkaňské jámě

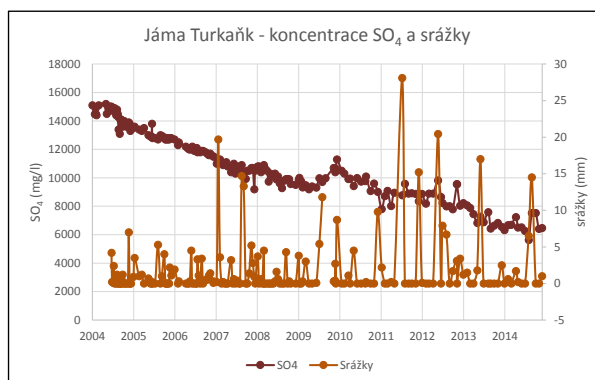
Mn a SO_4 na kolísání hladiny nijak nereagují. Ani srážky pravděpodobně nemají přímý vliv na žádný z těchto kontaminantů (obrázky 55 až 58).



Obrázek 55: Graf koncentrace Mn a hladiny v Turkaňské jámě Obrázek 56: Graf koncentrace Mn a srážek v Turkaňské jámě

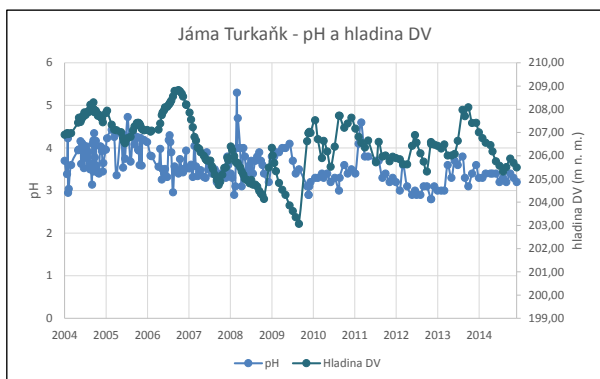


Obrázek 57: Graf konc. SO_4 a hladiny v Turkaňské jámě

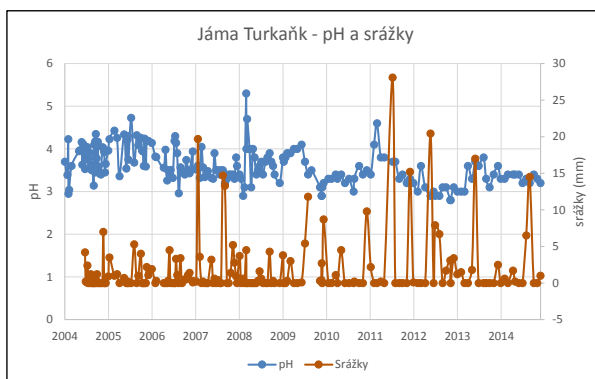


Obrázek 58: Graf konc. SO_4 a srážek v Turkaňské jámě

pH by mohlo negativně korelovat s výškou hladiny (obrázek 59), kdy při zvýšení hladiny nepatrně klesne. Příčinou může být oplach suchých míst s oxidačními produkty, které se následně rozpustí do vody a zvýší koncentraci kyselých složek. pH zde kolísá v rozpětí od 2,8 do 5,3. Srážky a pH mohou naopak korelovat pozitivně, přičemž zvýšení srážek způsobí mírné naředění kyselé důlní vody bazickou srážkovou vodou (obrázek 60).



Obrázek 59: Graf pH a hladiny v Turkaňské jámě

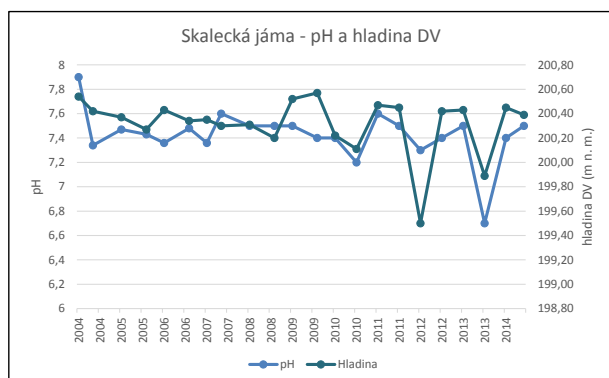


Obrázek 60: Graf pH a srážek v Turkaňské jámě

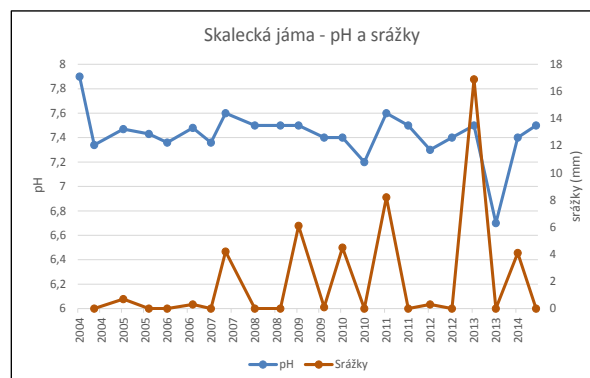
Skalecká jáma

Z předchozích úvah (Hušpauer 2002) se potvrdilo, že voda ve Skalecké jámě podléhá stratifikaci a její chemismus se ustálil na velmi nízkých hodnotách, které odpovídají pitné vodě dle tehdejší vyhlášky č. 376/2000 Sb. V současné době je platná vyhláška č. 252/2004 Sb., podle které analyzované vzorky z roku 2002 však nesplňují limit pro arsen. Vzorky analyzované v období let 2004-2014 nesplňují požadavky pro pitnou vodu dle aktuální vyhlášky v případě manganu, několikrát byly překročeny v případě železa, třikrát v případě arsenu a jednou v případě síranů. Mangan a od roku 2009 kadmium překračují limity pro znečišťující látky podzemních vod dle vyhlášky č. 5/2011. Jedenkrát ve sledovaném období překročily tyto hodnoty i zinek a sírany.

Přes toto ustálení voda v úzkém rozmezí hodnot reaguje na změnu výšky hladiny i na množství srážek. Při poklesu hladiny i množství srážek dochází k poklesu pH (obrázky 61 a 62).

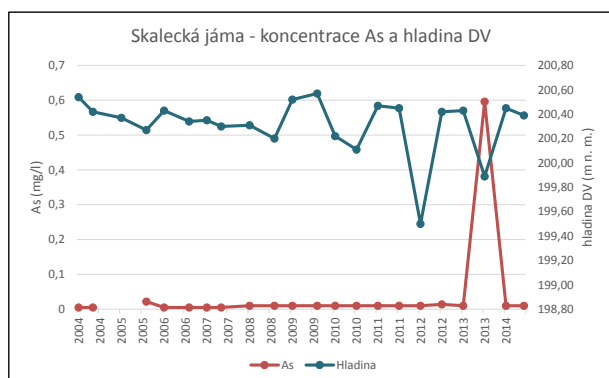


Obrázek 61: Graf pH a hladina ve Skalecké jámě

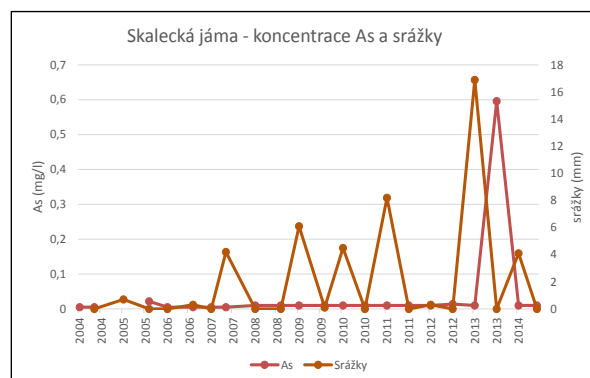


Obrázek 62: Graf pH a srážek ve Skalecké jámě

As je zde obsažen v téměř nulových hodnotách. Kontinuální změny ve výšce hladiny neměly na obsah As žádný vliv (obrázek 62). Pouze výraznější nárůst srážek mohl vyvolat jednorázový nárůst jeho obsahu (obrázek 64).

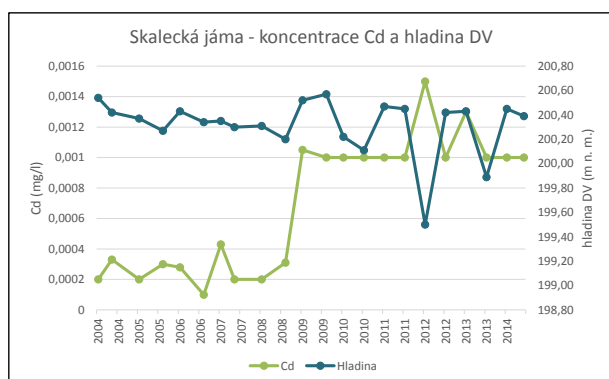


Obrázek 63: Graf koncentrace As a hladiny ve Skalecké jámě

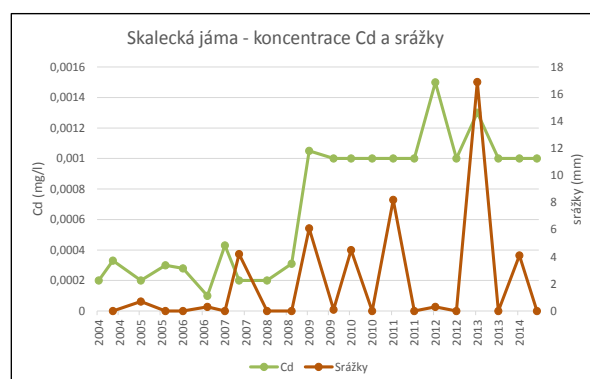


Obrázek 64: Graf koncentrace As a srážek ve Skalecké jámě

Cd má zde opět velmi specifický charakter, který není ovlivňován ani výškou hladiny (obrázek 65) ani množstvím srážek (obrázek 66).

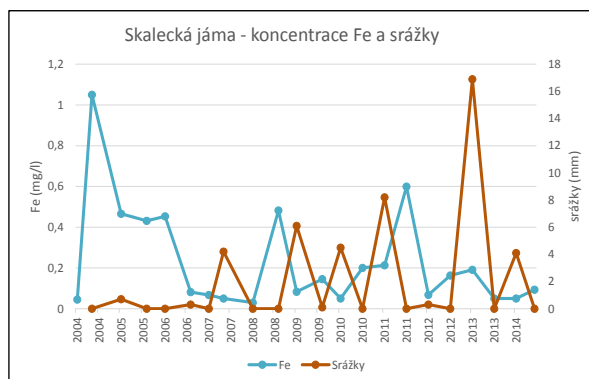
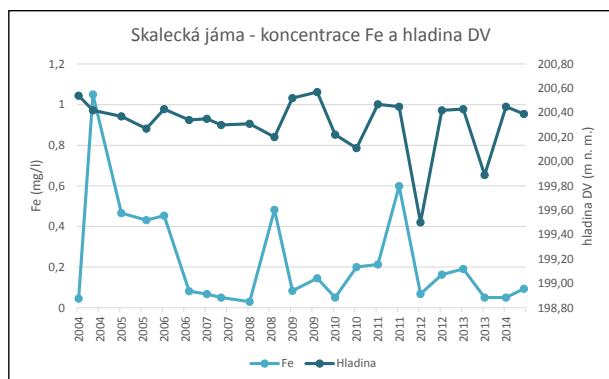


Obrázek 65: Graf koncentrace Cd a hladiny ve Skalecké jámě



Obrázek 66: Graf koncentrace Cd a srážek ve Skalecké jámě

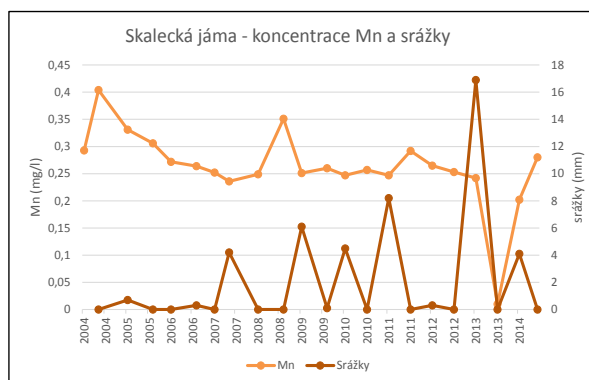
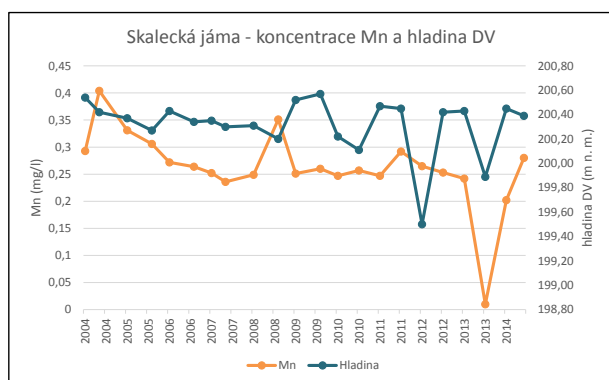
Fe má nižší koncentrace při vyšší hladině i vyšších srážkách (obrázky 67 a 68).



Obrázek 67: Graf koncentrace Fe a hladiny ve Skalecké jámě

Obrázek 68: Graf koncentrace Fe a srážek ve Skalecké jámě

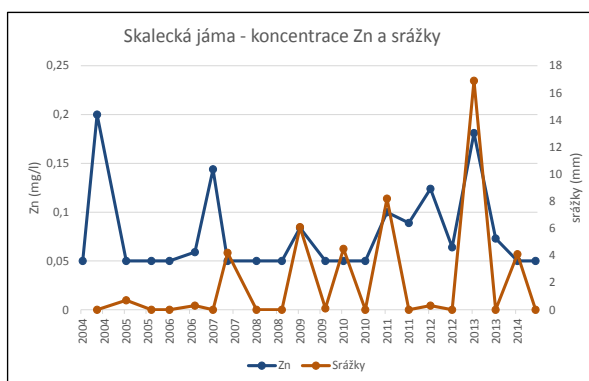
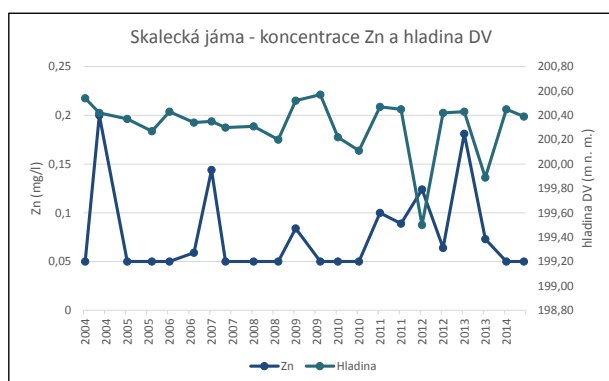
Mn má podobný vývoj (obrázky 69 a 70).



Obrázek 69: Graf koncentrace Mn a hladiny ve Skalecké jámě

Obrázek 70: Graf koncentrace Mn a srážek ve Skalecké jámě

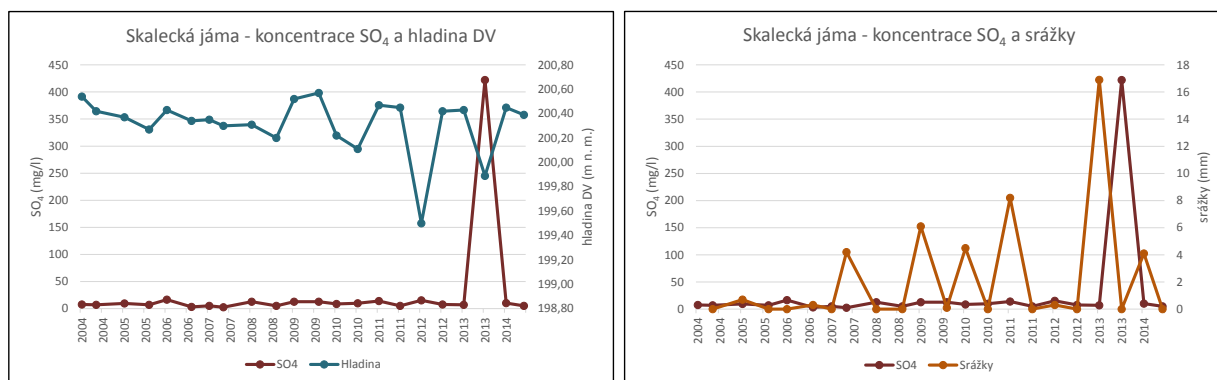
Zn reaguje zvýšením při vyšších srážkách (obrázek 72) a částečně i na průběh výšky hladiny DV (obrázek 71).



Obrázek 71: Graf koncentrace Zn a hladiny ve Skalecké jámě

Obrázek 72: Graf koncentrace Zn a srážek ve Skalecké jámě

Síraný na výšku hladiny nereagují (obrázek 73), výraznější výkyv je zaznamenán pouze při výrazném nárůstu srážek (obrázek 74).

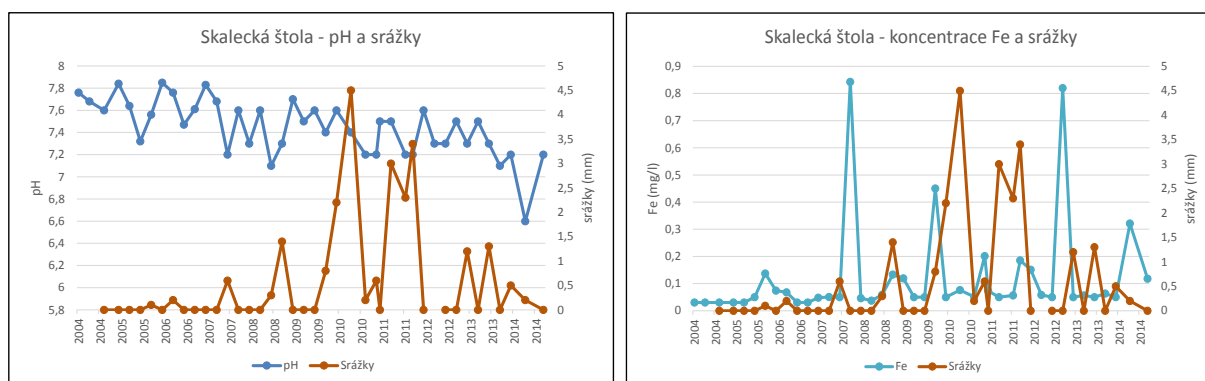


Obrázek 73: Graf koncentrace SO₄ a hladiny ve Skalecké jámě Obrázek 74: Graf koncentrace SO₄ a srážek ve Skalecké jámě

Skalecká štola

Zde chybí údaje o výškách hladin, data jsem tedy vyhodnocovala pouze ve srovnání s množstvím srážek. Sleduje se zde pouze omezený počet ukazatelů, a to pH, Zn, Fe, Mn a SO₄.

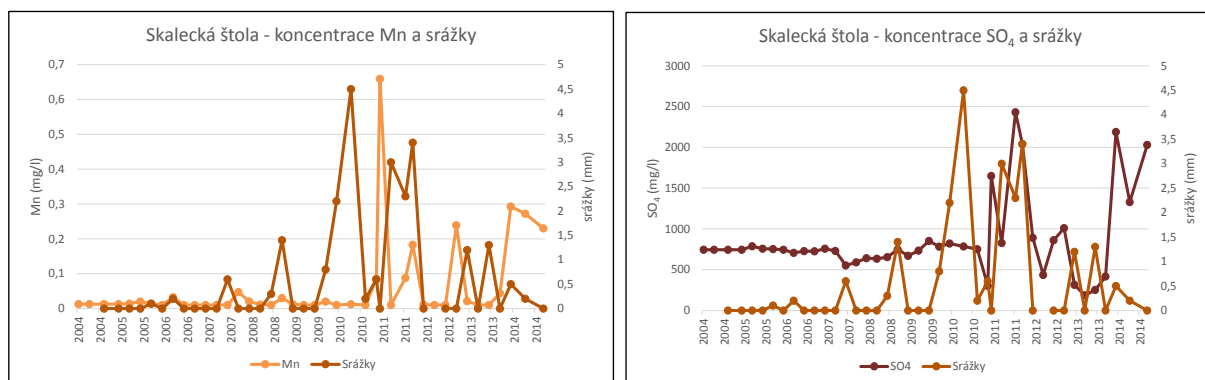
Monitorování zde bylo zahájeno v roce 1997 a v celém sledovaném období má chemismus vody stabilní charakter (Hušpauer 2002). Ve vodě jsou významně zvýšené koncentrace síranů (i přes 2000 mg/l). Hodnoty pH se pohybují mezi 6,6 a 7,85 a s poklesem srážek mírně klesá (obrázek 75).



Obrázek 75: Graf pH a srážek ve Skalecké štole

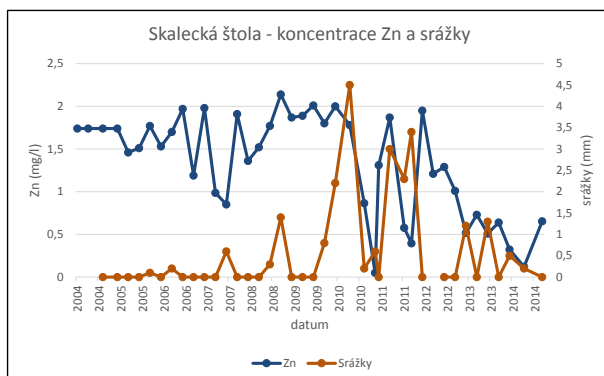
Obrázek 76: Graf koncentrace Fe a srážek ve Skalecké štole

Nejvýraznější reakci mají zřejmě Fe (obrázek 76), Mn (obrázek 77) a SO₄ (obrázek 78), které po vyšších srážkách výrazně nastoupají.



Obrázek 77: Graf koncentrace Mn a srážek ve Skalecké štole Obrázek 78: Graf koncentrace SO₄ a srážek ve Skalecké štole

Kromě Zn, který má výrazně klesající charakter (obrázek 79), mají Fe, Mn a SO₄ mírně stoupající charakter. Při přetoku důlní vody z Turkaňské jámy nedošlo k ovlivnění kvality vody ve Skalecké štolě. Tyto vody lze charakterizovat jako oplachové (Hušpauer 2002).

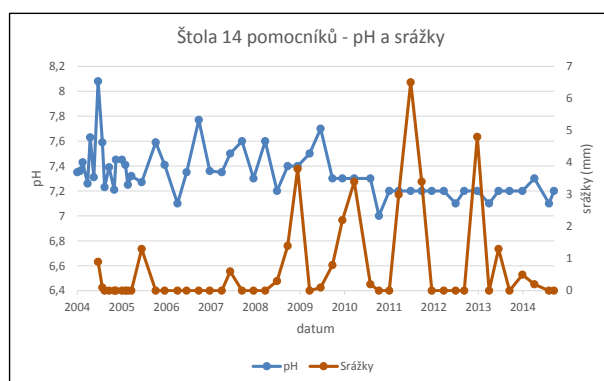


Obrázek 79: Graf koncentrace Zn a srážek ve Skalecké štolě

Štola 14 pomocníků

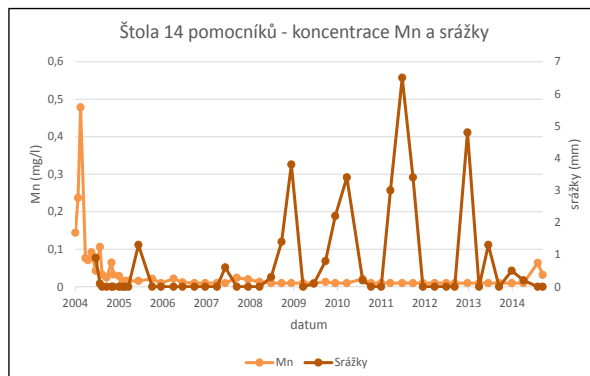
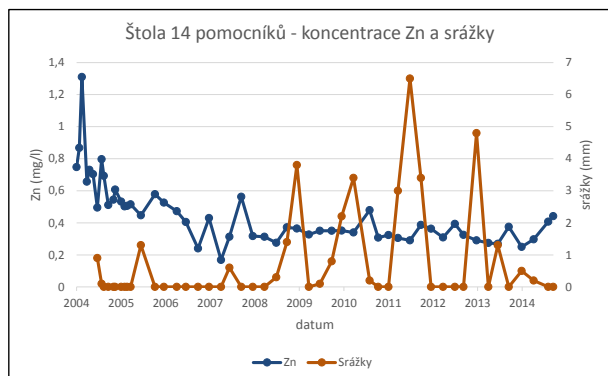
Jako v případě Skalecké štoly i zde chybí údaje o výškách hladin a jsou zde sledovány stejné ukazatele.

Monitorování zde probíhá rovněž od roku 1997 a vody lze charakterizovat jako oplachové (Hušpauer 2002). Na přelomu října a listopadu roku 2001 překročila důlní voda v jámě Turkaňk přetokovou úroveň do štoly a došlo k výraznému nárůstu kontaminantů průsaky silně mineralizovaných vod kolem tlakového zaslepení. Od roku 2004 je vývoj chemismu následující: pH se drží mezi 7 a 8,08 a je mírně klesající, pravděpodobně bez výrazné závislosti na srážkách (obrázek 80).

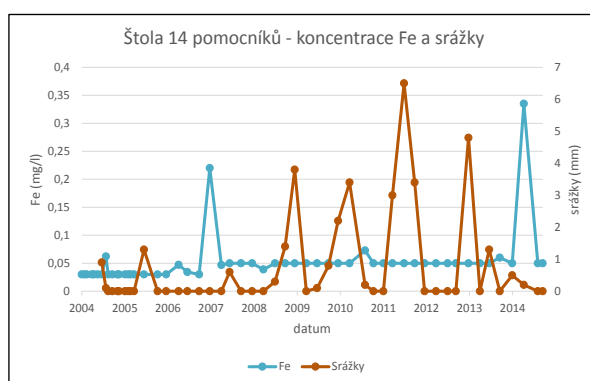
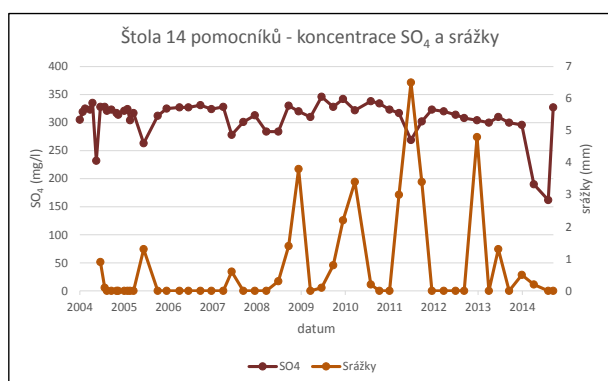


Obrázek 80: Graf pH a srážek ve štolě 14 pomocníků

Zn, Mn a SO_4 mají také klesající charakter, Fe mírně stoupá, a to také bez závislosti na srážkách. Viz obrázky 81 až 84.



Obrázek 81: Graf koncentrace Zn a srážek ve š. 14 pomocníků. Obrázek 82: Graf koncentrace Mn a srážek ve š. 14 pomocníků



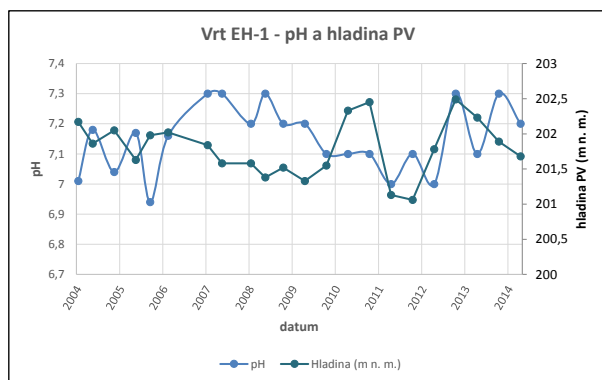
Obrázek 83: Graf konc. SO_4 a srážek ve š. 14 pomocníků

Obrázek 84: Graf konc. Fe a srážek ve š. 14 pomocníků

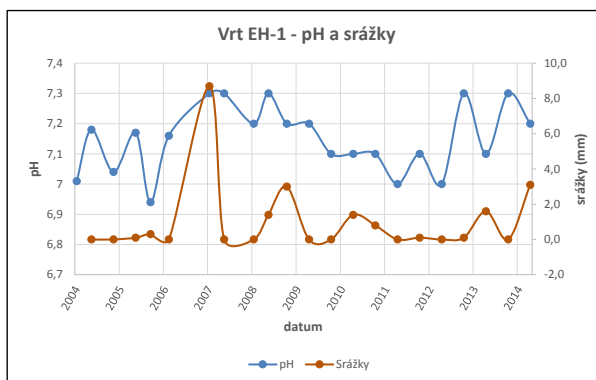
5.2.2.2 Objekty křídových podzemních vod

Vrt EH-1

Monitorování kvality vod ve vrtu bylo zahájeno v roce 1997. Vliv přetoku důlních vod z Turkaňské jámy nebyl prokázán (Hušpauer 2002). Z hlediska hodnocení kvality podzemních vod během sledovaného období překračují referenční hodnoty As, Cd, Mn a SO_4 . As se však v posledních letech ustálil na vyhovující hodnotě. Zvýšené hodnoty Mn indikují ovlivnění lidskou činností (vyhláška č. 5/2011 Sb.). Od roku 2004 se pH vody v tomto vrtu pohybuje v rozmezí 6,94-7,3, tedy v o něco užším rozmezí než v předešlé etapě monitoringu. S nižší hladinou podzemní vody ve vrtu stoupá pH (obrázek 85), zatímco vztah pH a srážek je přímo úměrný – vyšší srážky odpovídají spíše vyššímu pH (obrázek 86), což podporuje uvolňování kovů do roztoku.

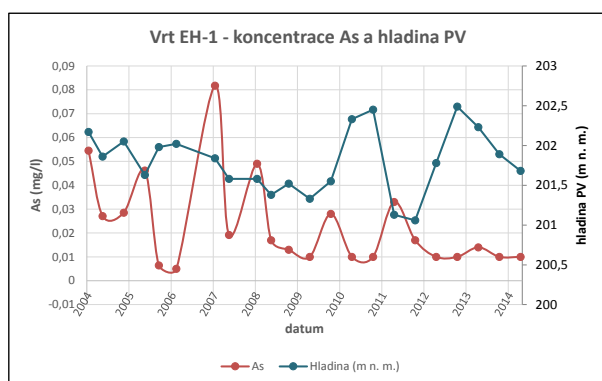


Obrázek 85: Graf pH a hladiny ve vrtu EH-1

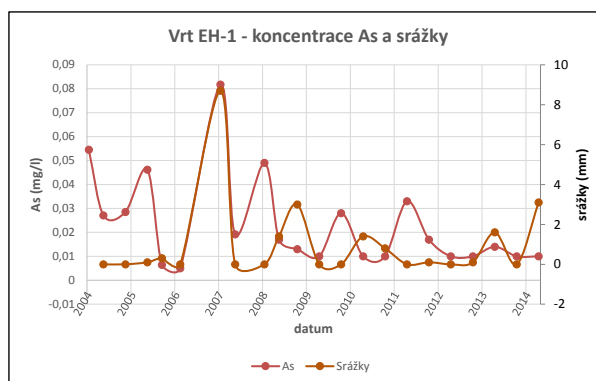


Obrázek 86: Graf pH a srážek ve vrtu EH-1

Křivky As a Zn si svým charakterem v porovnání s obdobím před přetokem Turkaňské jámy vzájemně vůbec neodpovídají (nechovají se podobně). As má klesající charakter, nezávislý na výšce hladiny ve vrtu (obrázek 87). Koncentrace As je řízena spíše množstvím srážek, kdy zvýšené úhrny v červnu 2007 způsobily vysoký nárůst koncentrace (obrázek 88).

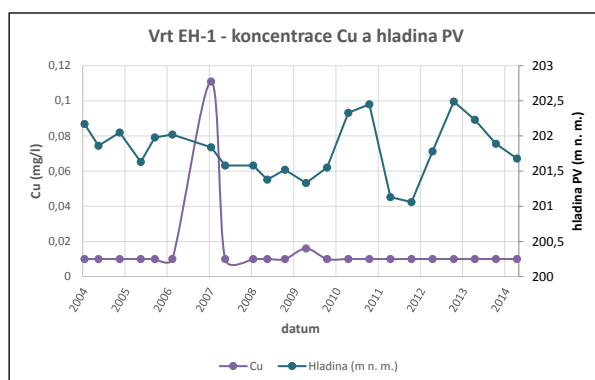


Obrázek 87: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu EH-1

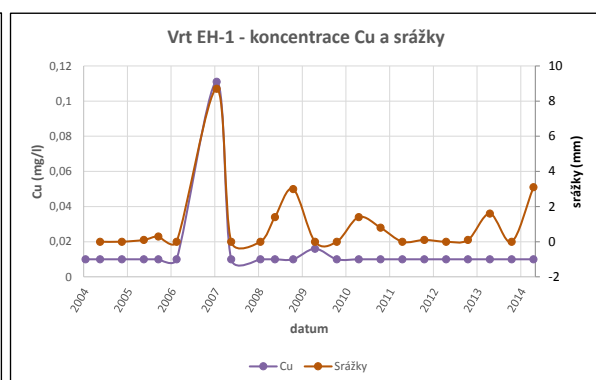


Obrázek 88: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu EH-1

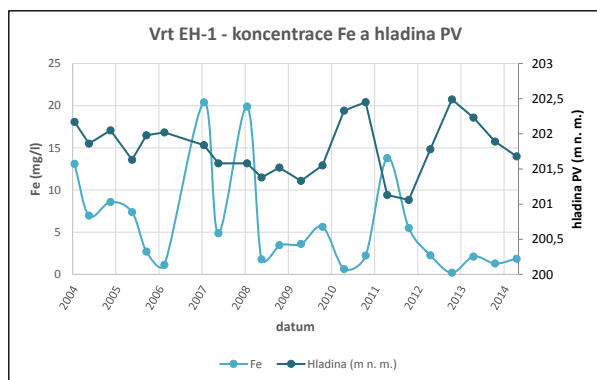
Srážky ve stejném období zapříčinily nárůst i Cu (obrázky 89 a 90), Fe (obrázky 91 a 92), Mn (obrázky 93 a 94) a Pb (obrázky 95 a 96), které nejsou na výšce hladiny příliš závislé.



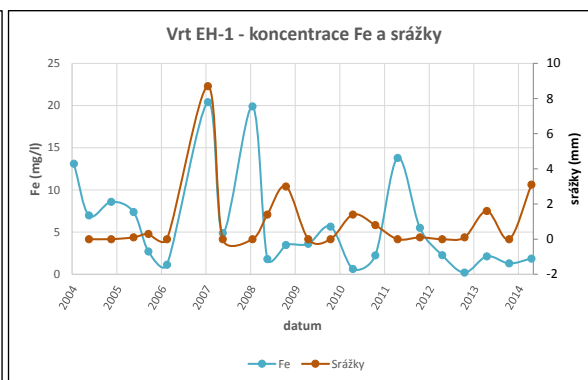
Obrázek 89: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu EH-1



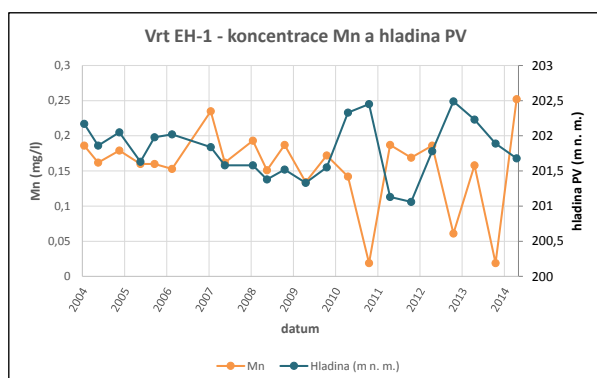
Obrázek 90: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu EH-1



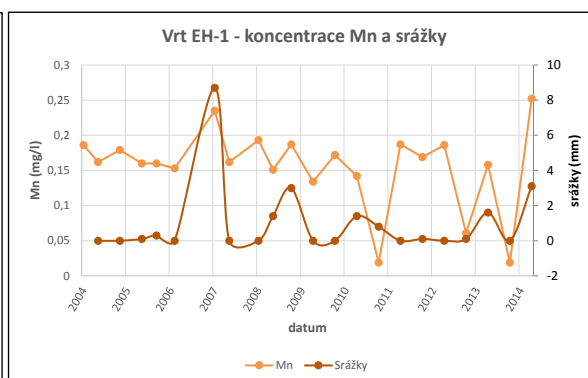
Obrázek 91: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu EH-1



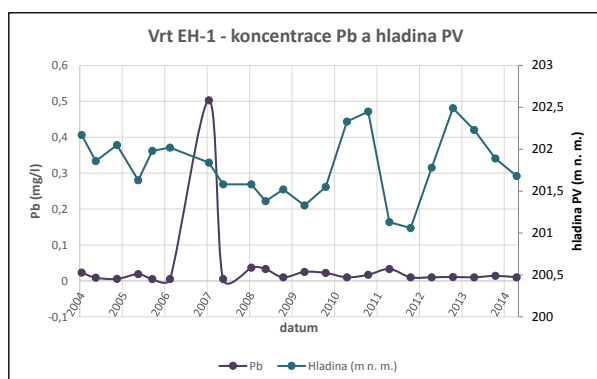
Obrázek 92: Graf koncentrace Fe a srážky ve vrtu EH-1



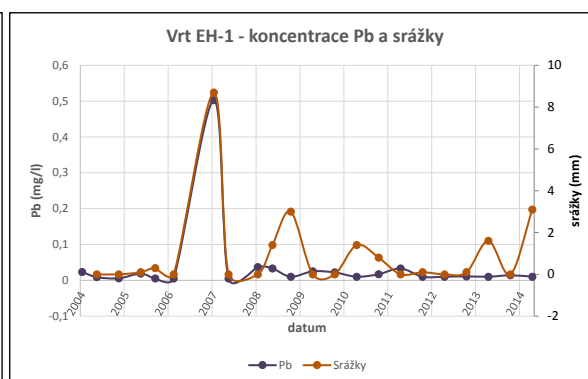
Obrázek 93: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu EH-1



Obrázek 94: Graf koncentrace Mn a srážky ve vrtu EH-1

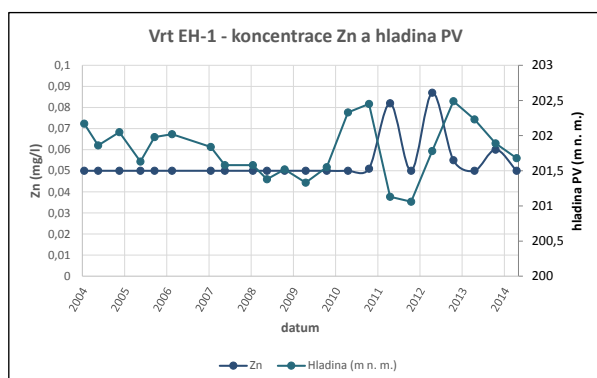


Obrázek 95: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu EH-1

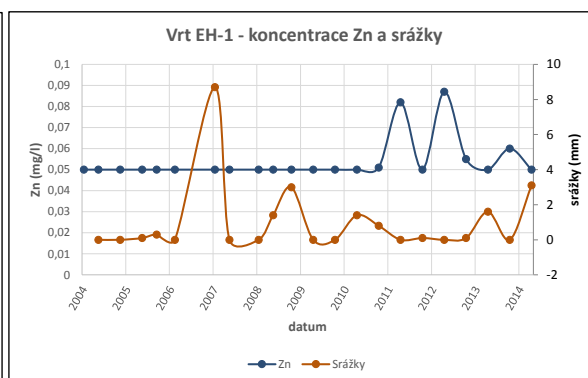


Obrázek 96: Graf koncentrace Pb a srážky ve vrtu EH-1

Srážky ani hladina nemají vliv na koncentraci Zn (obrázky 97 a 98) a Cd.

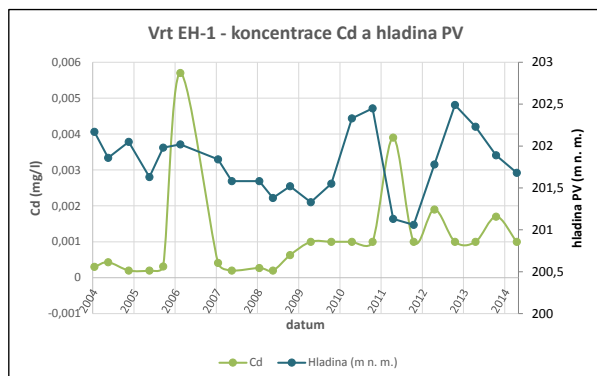


Obrázek 97: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu EH-1

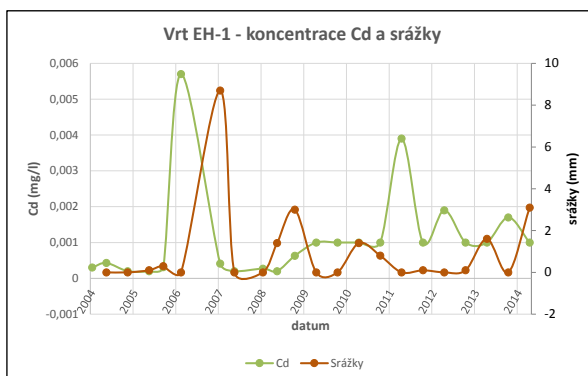


Obrázek 98: Graf koncentrace Zn a srážky ve vrtu EH-1

Vysoký nárůst Cd byl zaznamenán v červenci 2006, ten ovšem nekoreluje ani se srážkami (obrázek 100) ani s hladinou (obrázek 99).

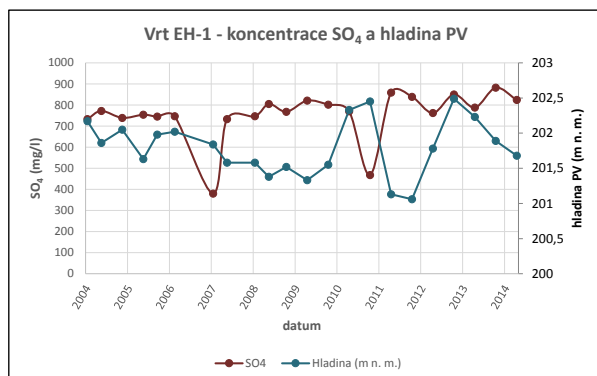


Obrázek 99: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu EH-1

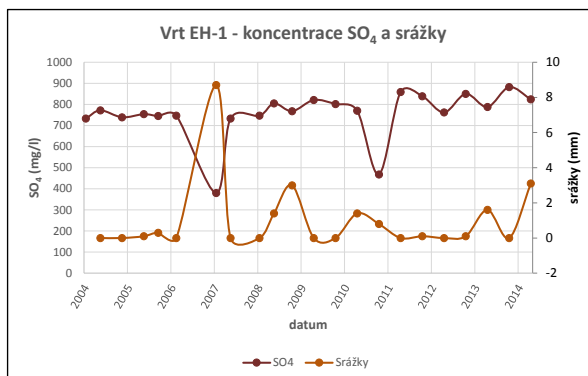


Obrázek 100: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu EH-1

Koncentrace SO_4 při zvýšených srážkách výrazně poklesla, druhý výrazný pokles v jejích průběhu však srážkami nebyl zapříčiněn (obrázek 102). Vyšší hladina podzemní vody ve vrtu spíše odpovídá nižším koncentracím SO_4 (obrázek 101).



Obrázek 101: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu EH-1

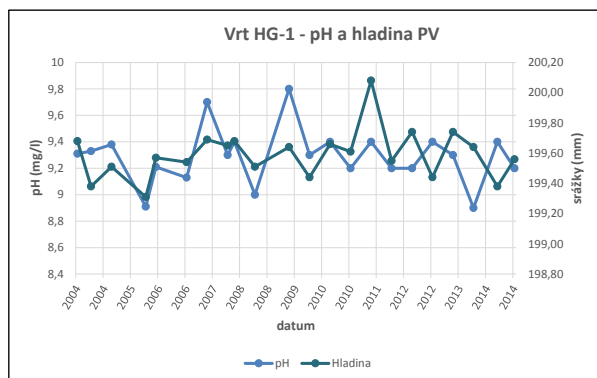


Obrázek 102: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu EH-1

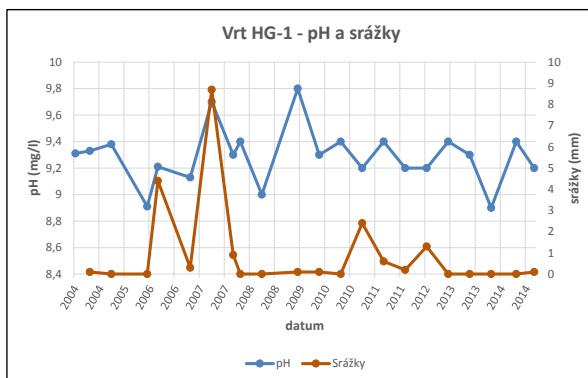
Obecně lze tedy říci, že chemismus vody je zde výrazně ovlivněn srážkami, což je s velkou pravděpodobností zapříčiněno polohou vrtu v blízkosti rozsáhlého a neutěsněného odkaliště bývalých Rudných dolů (Hušpauer 2002). Během vyšších srážek dochází k intenzivnějšímu proplachu materiálu z úpravy rud a infiltraci nabohacených roztoků do podloží. Vrt je umístěn ve směru proudění podzemních vod. To je pravděpodobně i důvodem zvýšených koncentrací kovů a síranů.

Vrt HG-1

Monitoring od roku 2004 ukazuje nízké hodnoty síranů, As referenční hodnoty dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. překročil pouze dvakrát za sledované období, ve více případech překračují hodnoty i Cd a Mn. pH podzemní vody má zde zásaditější charakter a pohybuje se v rozmezí 8,9-9,8. Zvyšuje se se stoupající hladinou (obrázek 103), srážky jeho vývoj neovlivňují (obrázek 104).

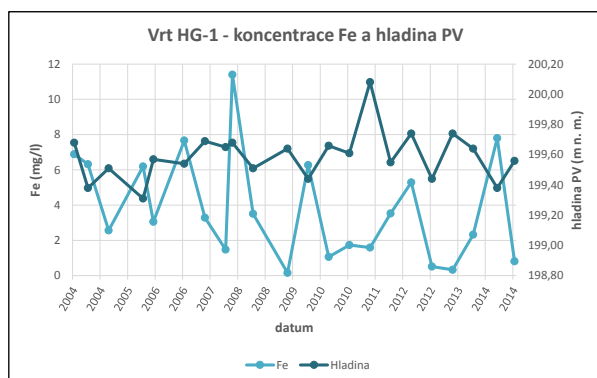


Obrázek 103: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-1

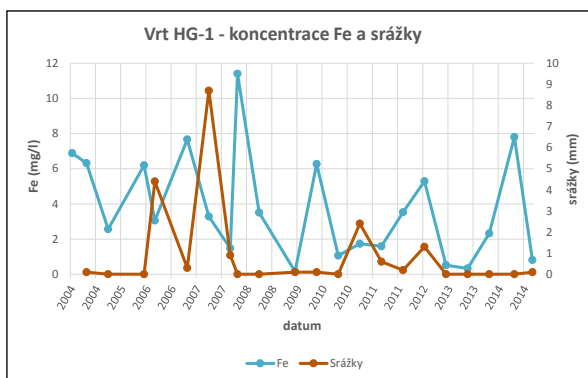


Obrázek 104: Graf pH a srážek ve vrtu HG-1

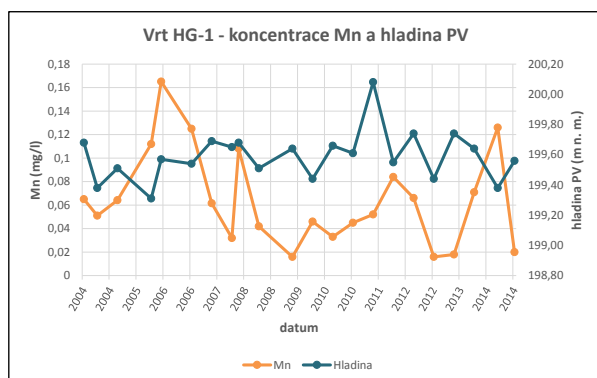
Fe (obrázky 105 a 106) a Mn (obrázky 107 a 108) mají vzájemně velice podobný průběh, mírně reagující zvýšením koncentrací na zvýšené srážky. Při vyšší hladině však jejich koncentrace spíše klesá.



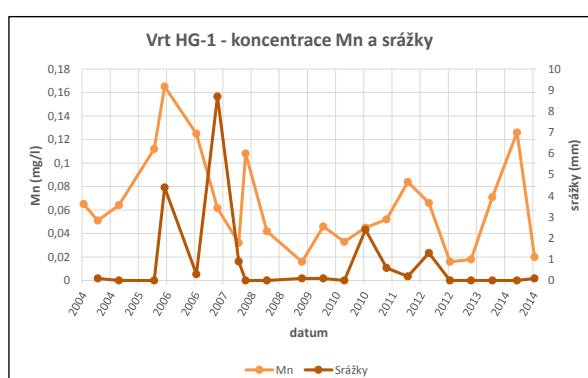
Obrázek 105: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-1



Obrázek 106: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-1

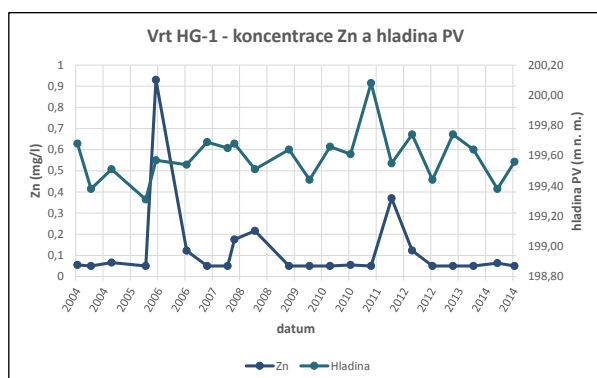


Obrázek 107: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-1

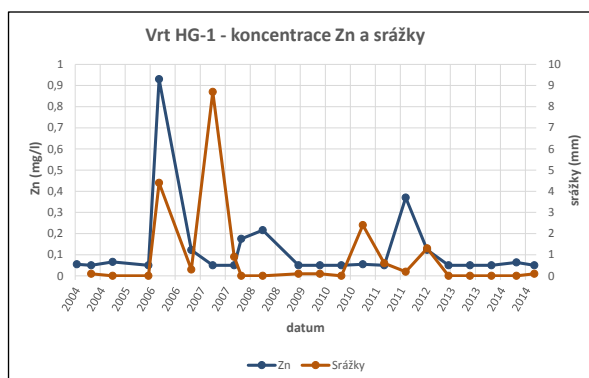


Obrázek 108: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-1

Podobné chování vykazují také Zn (obrázky 109 a 110).

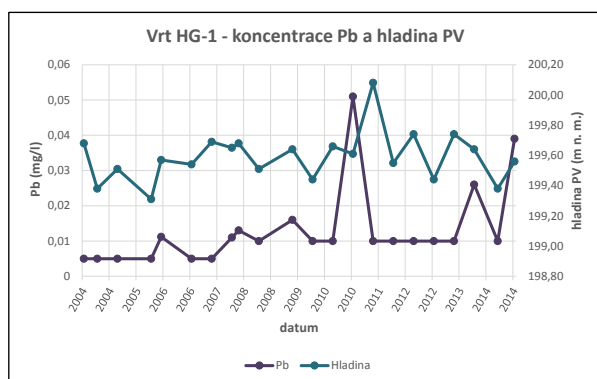


Obrázek 109: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-1

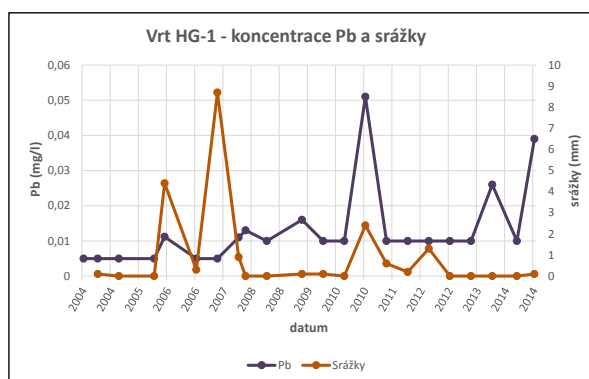


Obrázek 110: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-1

Opačné chování, než vykazuje ve vrtu EH-1, má zde Pb, které není závislé na srážkách, ale pozitivně reaguje na změny výšky hladiny podzemní vody (obrázky 111 a 112).

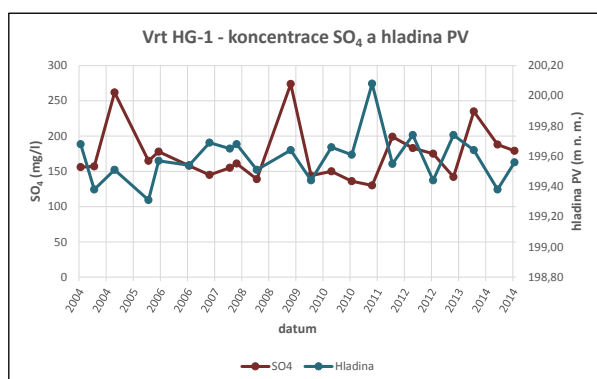


Obrázek 111: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-1

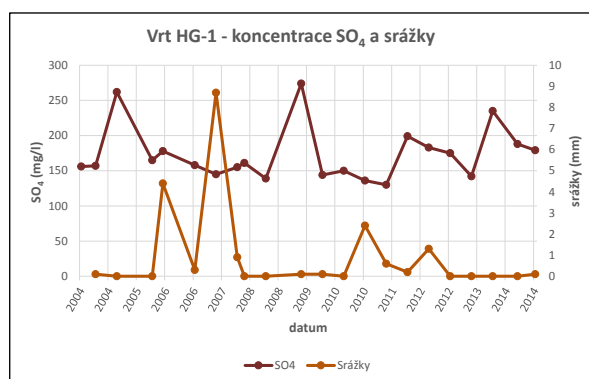


Obrázek 112: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-1

SO₄ negativně koreluje s výškou hladiny, ale reakce na srážky je spíše minimální (obrázky 113 a 114).

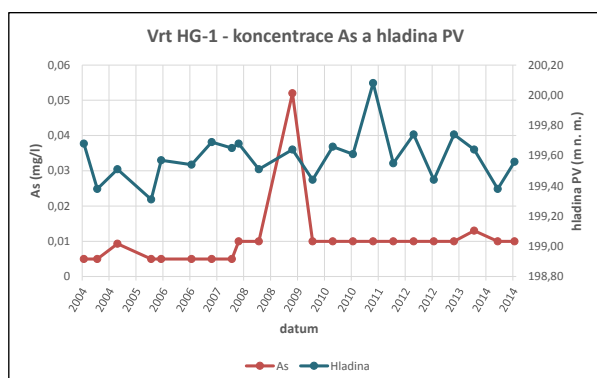


Obrázek 113: Graf koncentrace SO₄ a hladiny ve vrtu HG-1

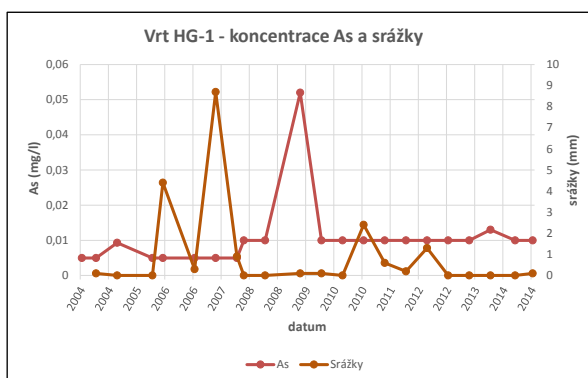


Obrázek 114: Graf koncentrace SO₄ a srážek ve vrtu HG-1

As v tomto vrtu není kontrolován srážkami ani hladinou podzemní vody (obrázky 115 a 116).

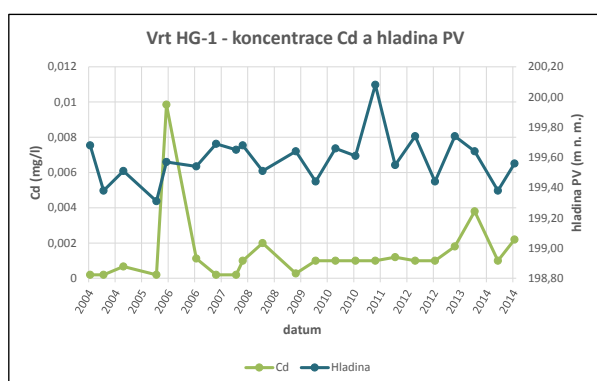


Obrázek 115: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-1

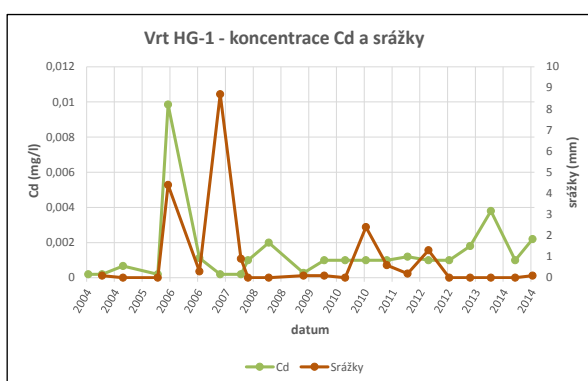


Obrázek 116: graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-1

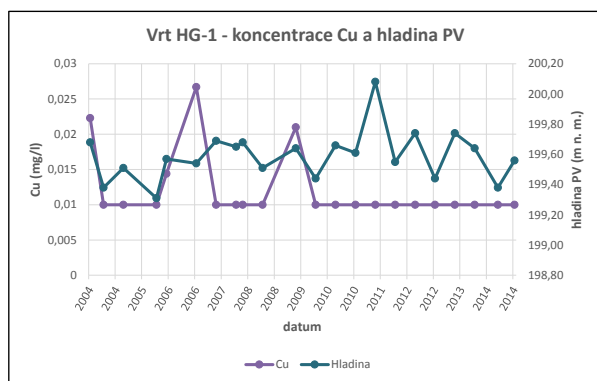
O něco bližší vztah ke srážkám je možné sledovat u Cd a Cu (obrázky 118 a 120), hladina podzemní vody jejich koncentrace neovlivňuje (obrázky 117 a 119).



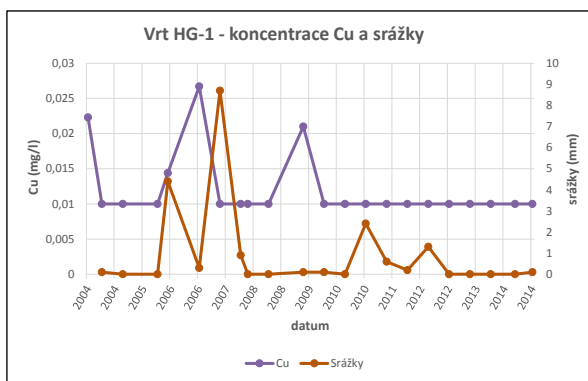
Obrázek 117: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-1



Obrázek 118: Graf koncentrace Cd a srážek v vrtu HG-1



Obrázek 119: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-1

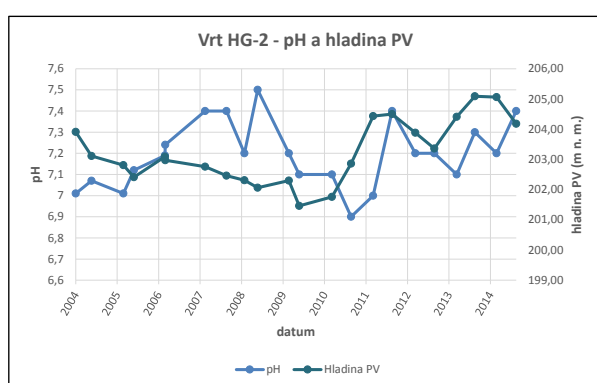


Obrázek 120: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HG-1

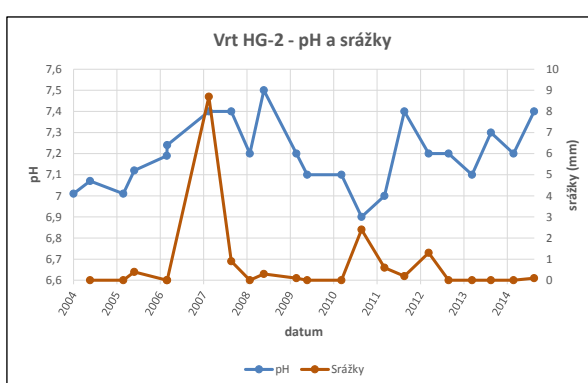
Vrt HG-2

Vrt zastihl v podloží křídý krystalinikum s rozsáhlými alteracemi, s velmi silnou doprovodnou limonitizací a s výskytem sulfidické mineralizace na puklinách i plochách foliace. Úvodní analytická data charakterizovala vodu v tomto vrtu jako vodu se zvýšeným obsahem As, Pb, Fe, Mn a SO_4 , překračujícím mezní hodnoty stanovené tehdejší vyhláškou č. 376/2000 Sb., a s obsahy As a Pb překračujícími kritéria pro zařazení do kategorie „C“ dle metodického pokynu MŽP z roku 1996 (Hušpauer 2002). Současný monitoring od roku 2004 ale ukazuje hodnoty v případě As, Pb a Mn až o dva řády nižší, v případě Fe až o 3 řády nižší. SO_4 jsou řádově srovnatelné. Referenční hodnoty aktuální vyhlášky č. 5/2011 Sb. překračují Cd a Mn.

Voda je neutrální s pH mezi 6,9 a 7,5, které stoupá s výškou hladiny a slabě reaguje i na vyšší úhrn srážek (obrázky 121 a 122).

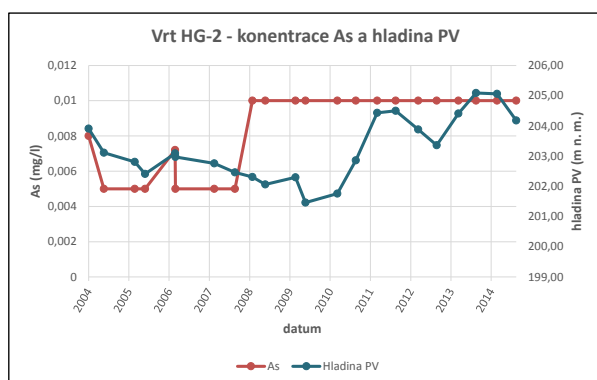


Obrázek 121: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-2

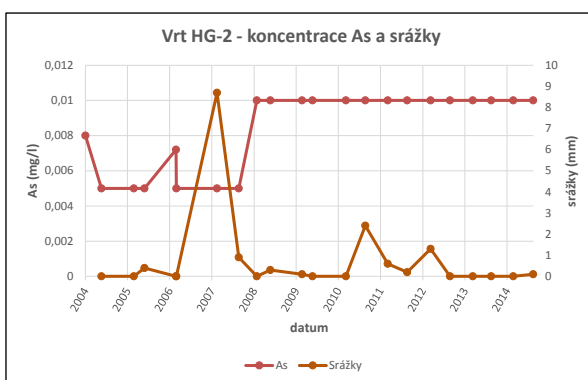


Obrázek 122: Graf pH a srážek ve vrtu HG-2

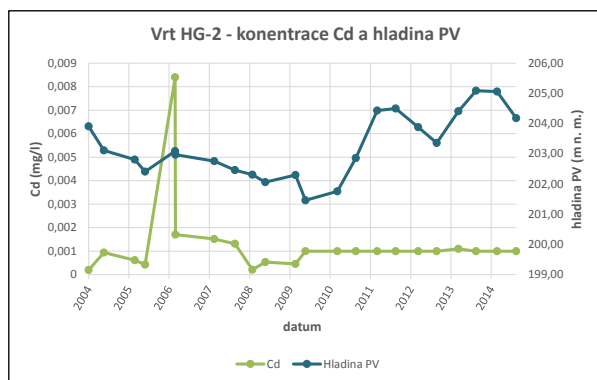
Vývoj většiny kontaminantů nelze vysvětlit ani srážkami ani změnou hladiny podzemní vody (obrázky 123 až 138).



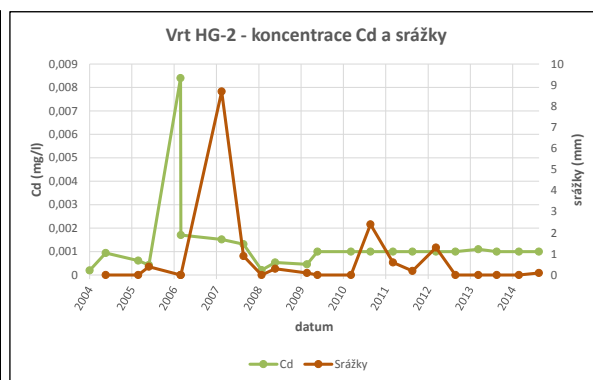
Obrázek 123: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-2



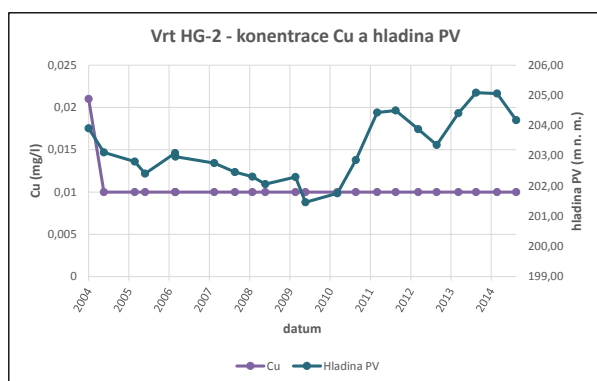
Obrázek 124: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-2



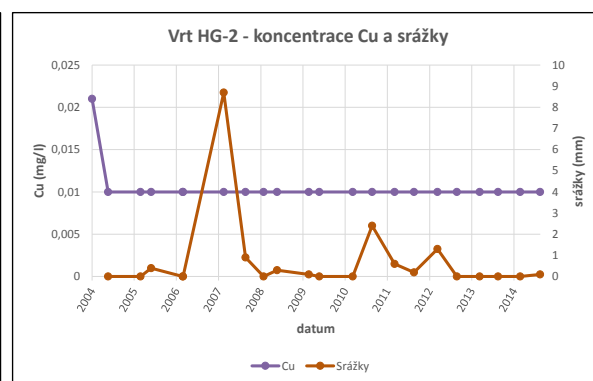
Obrázek 125: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-2



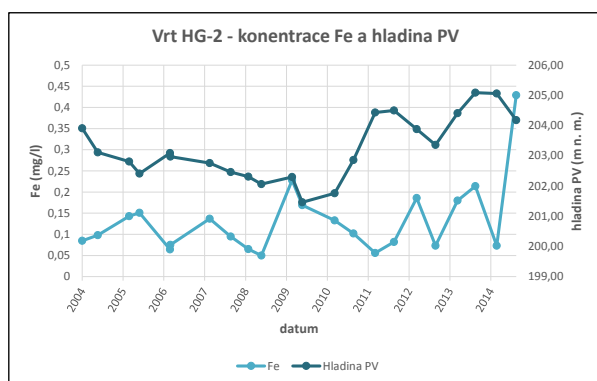
Obrázek 126: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HG-2



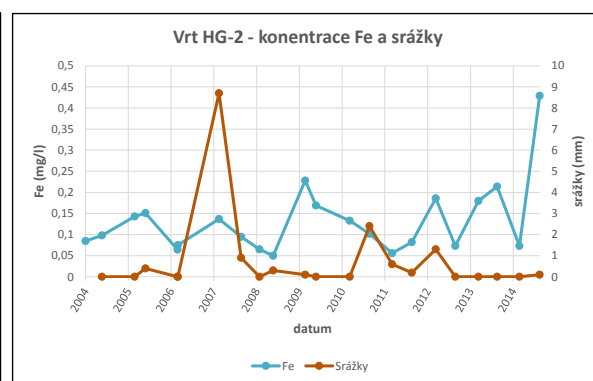
Obrázek 127: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-2



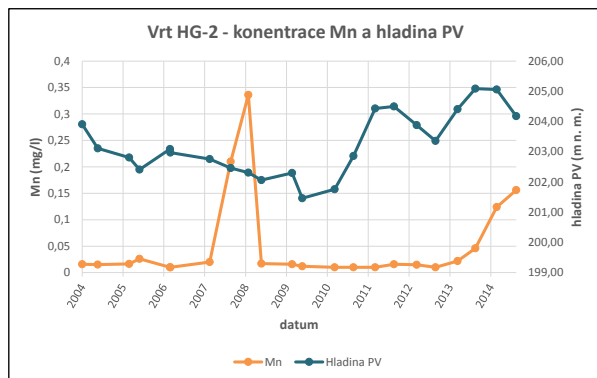
Obrázek 128: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu G-2



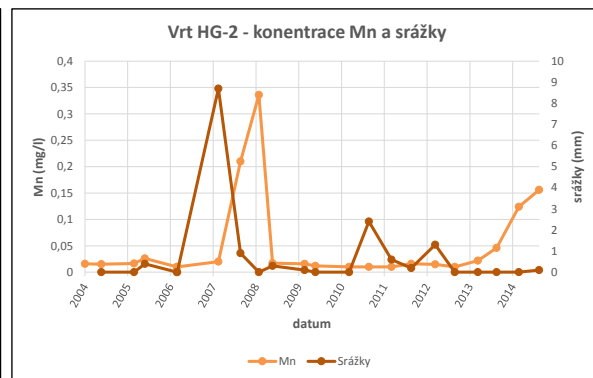
Obrázek 129: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-2



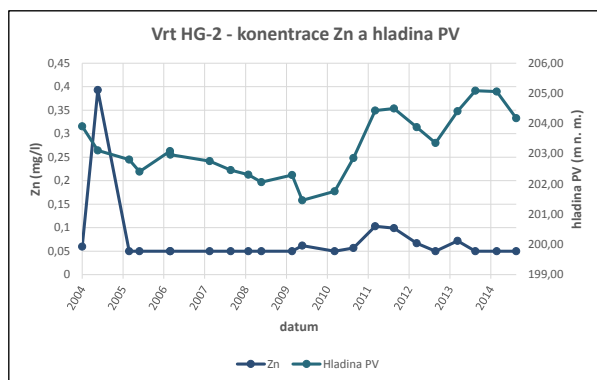
Obrázek 130: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-2



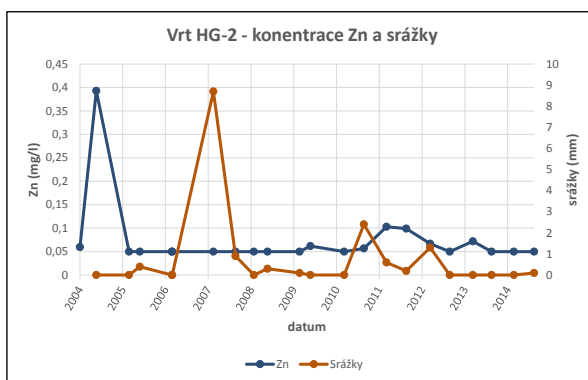
Obrázek 131: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-2



Obrázek 132: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-2

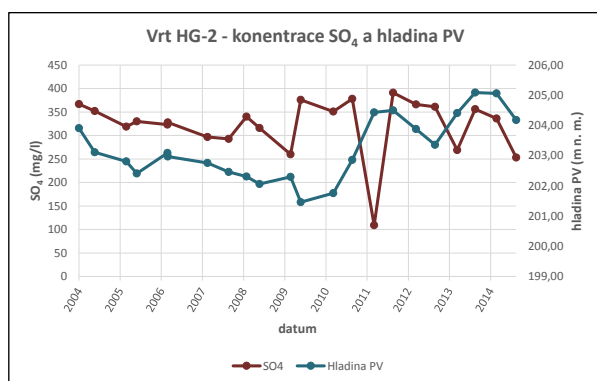


Obrázek 133: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-2

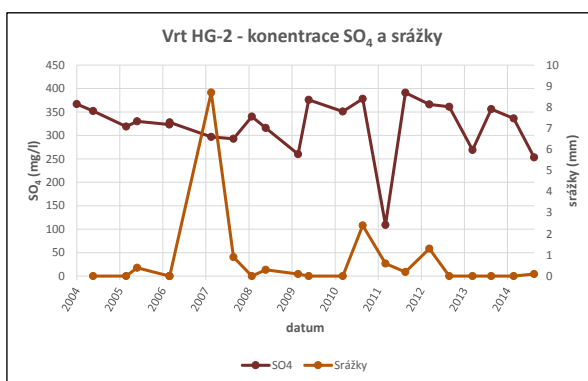


Obrázek 134: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-2

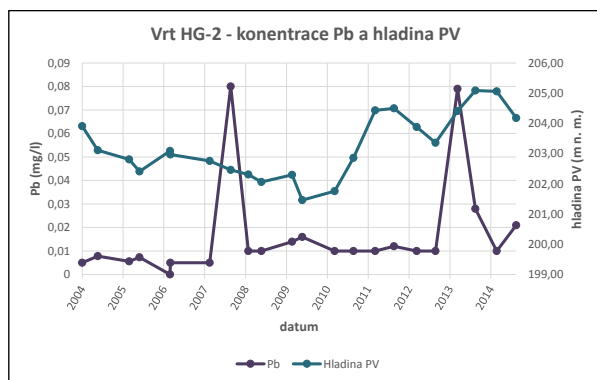
Průběh síranů částečně kopíruje průběh hladiny (obrázek 135).



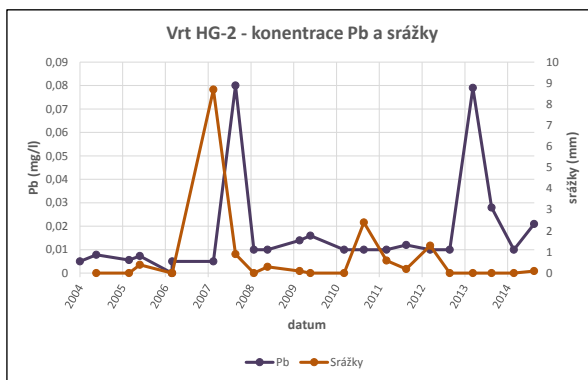
Obrázek 135: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HG-2



Obrázek 136: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HG-2



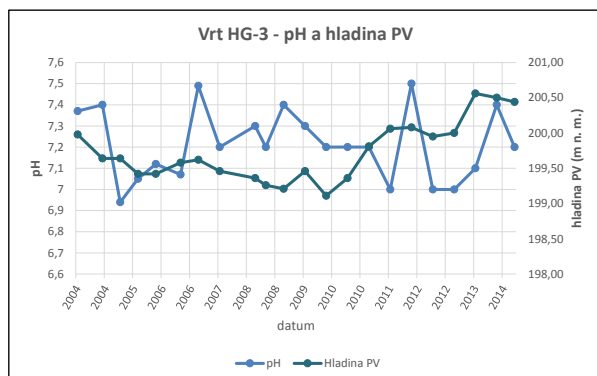
Obrázek 137: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-2



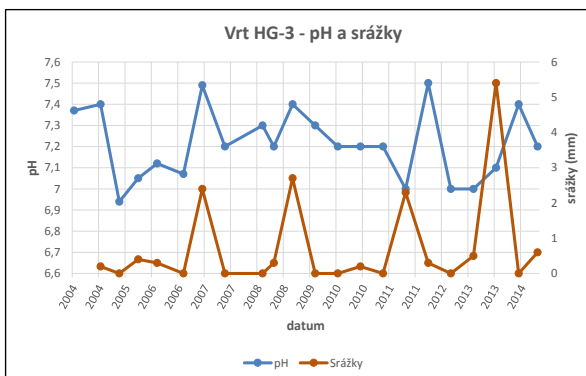
Obrázek 138: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-2

Vrt HG-3

Ve srovnání s referenčními hodnotami vyhlášky 5/2011 Sb. jsou ve vrtu mírně zvýšené hodnoty As, ke konci sledovaného období jsou zvýšené hodnoty Cd, ve vývoji Mn mizí zvýšené hodnoty a několikrát se objevuje překročení v případě Zn. pH vody ve vrtu je neutrální, 6,94 až 7,5, není ovlivněno výškou hladiny ani srážkami (obrázky 139a 140).

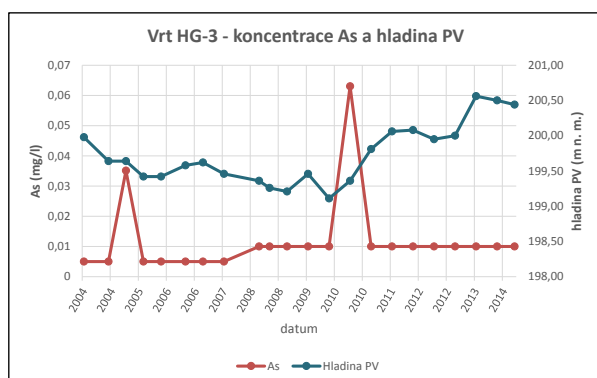


Obrázek 139: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-3

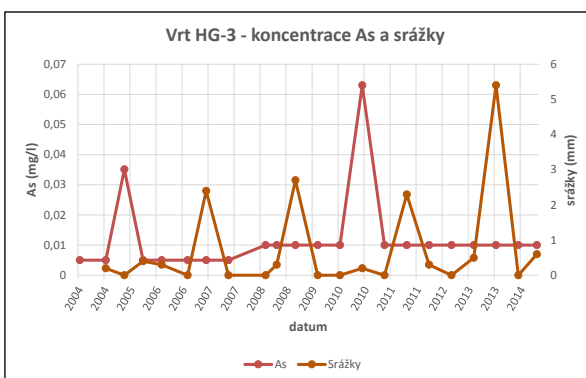


Obrázek 140: Graf pH a srážek ve vrtu HG-3

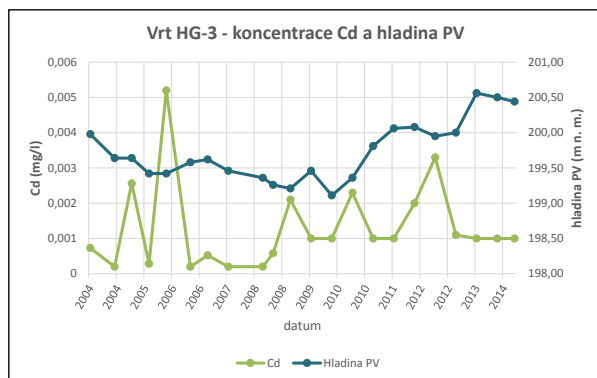
Koncentrace sledovaných ukazatelů kvality podzemní vody ve většině případů také není regulována výškou hladiny ani srážkami (obrázky 141 až 156).



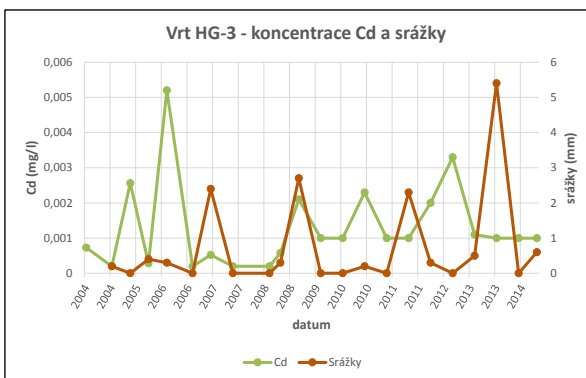
Obrázek 141: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-3



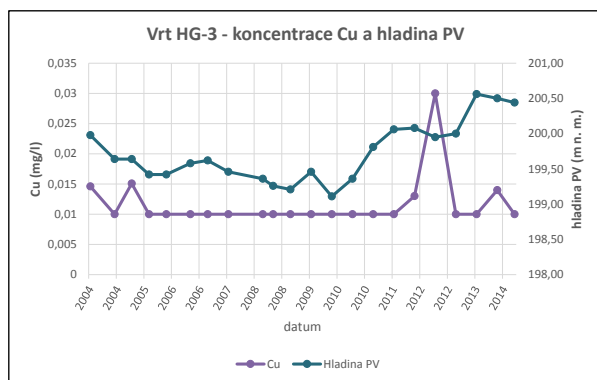
Obrázek 142: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-3



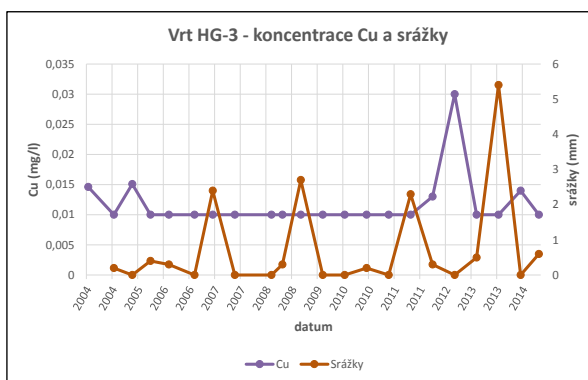
Obrázek 143: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-3



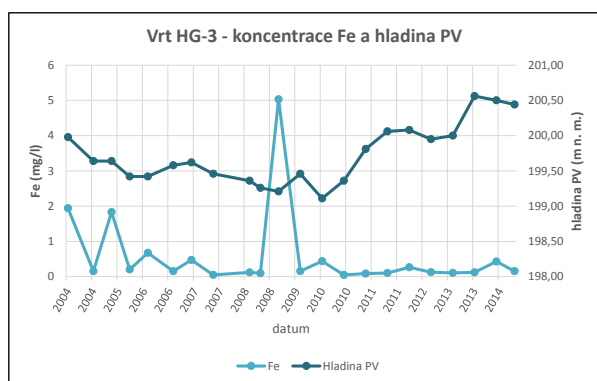
Obrázek 144: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HG-3



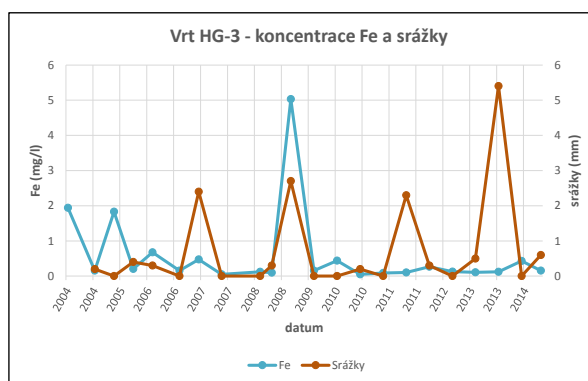
Obrázek 145: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-3



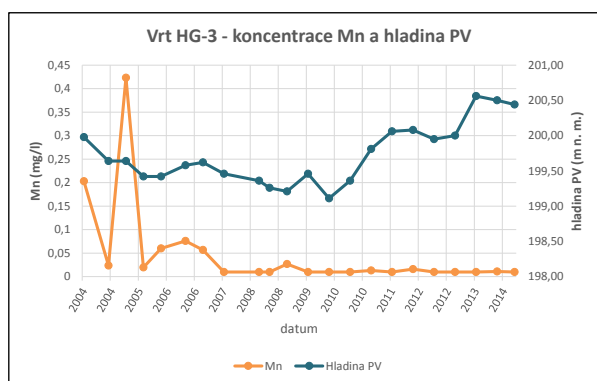
Obrázek 146: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HG-3



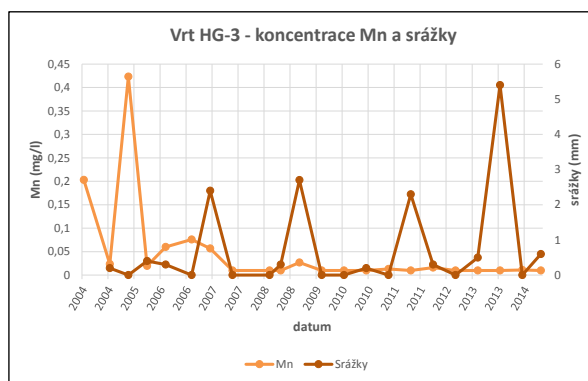
Obrázek 147: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-3



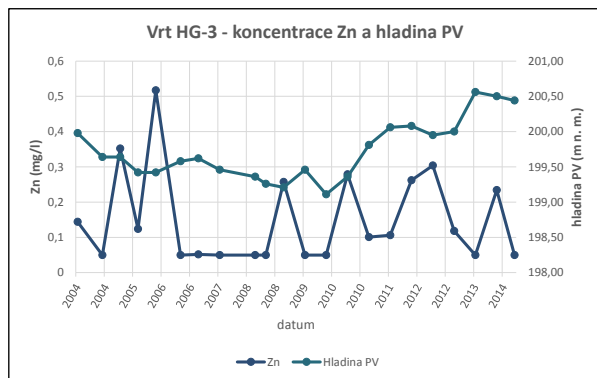
Obrázek 148: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-3



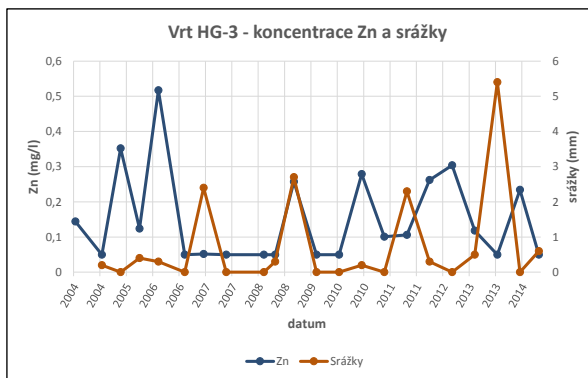
Obrázek 149: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-3



Obrázek 150: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-3

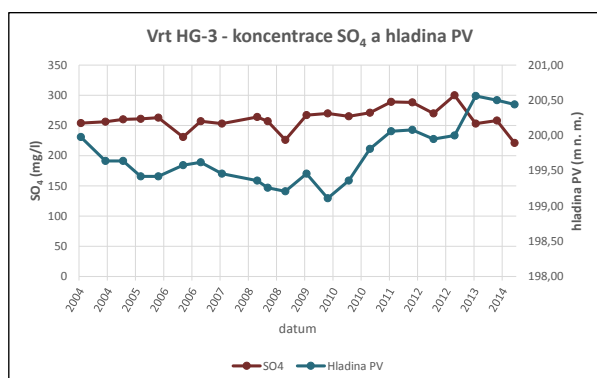


Obrázek 151: Graf Koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-3

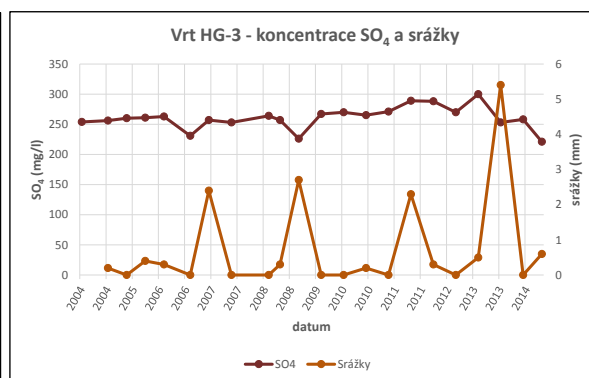


Obrázek 152: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-3

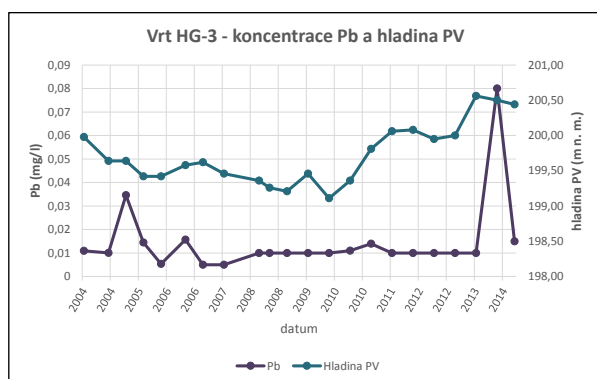
Koncentrace síranů zde mírně kopíruje průběh hladiny podzemní vody (obrázek 153)



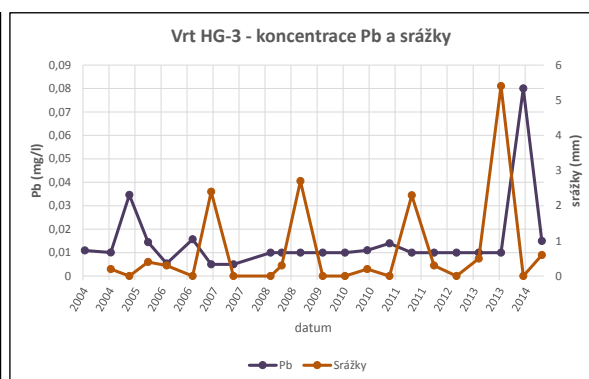
Obrázek 153: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HG-3



Obrázek 154: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HG-3



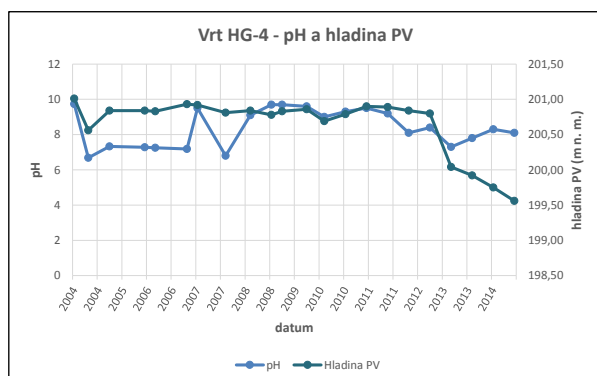
Obrázek 155: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-3



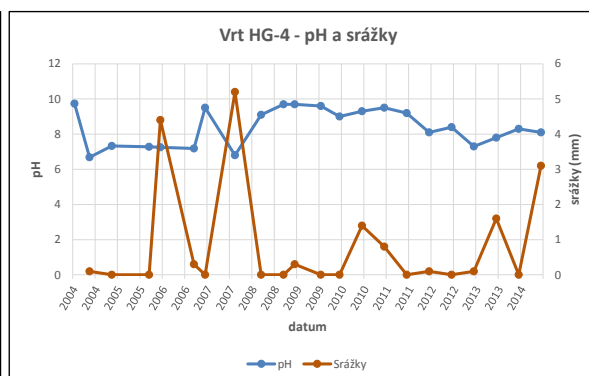
Obrázek 156: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-3

Vrt HG-4

Ve vrtu jsou zvýšené obsahy As a překračují hodnoty ve vyhlášce č.5/2011 Sb. kromě As v posledních letech překračuje referenční hodnoty také Cd, čtyřikrát za sledované období se objevilo překročení u Zn a dvakrát u síranů. Voda ve vrtu má neutrální až alkalickou reakci s pH 6,8 až 9,5. pH je slabě závislé na výšce hladiny a není závislé na srážkách (obrázek 157 a 158). Hušpauer 2002 uvádí v tomto vrtu obsah H_2S , který se samovolně přetlakem uvolňuje a uniká z vrtu (charakteristické probublávání, intenzivní zápach i typická chuť vody). Chemismus indikuje silně redukční prostředí v bazální zvodni.

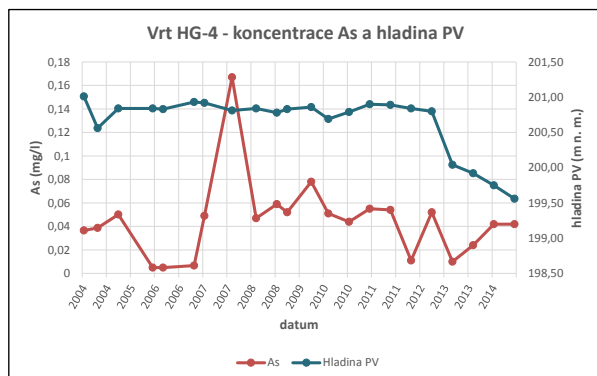


Obrázek 157: Graf pH a hladiny ve vrtu HG-4

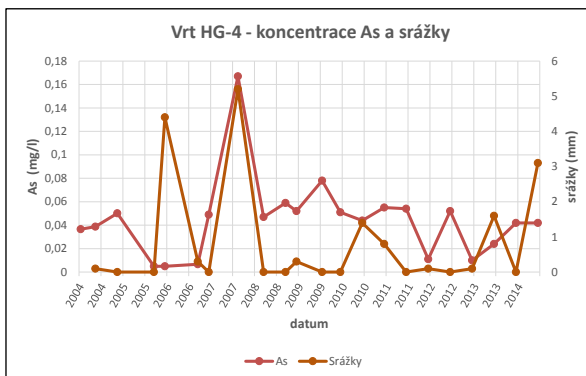


Obrázek 158: Graf pH a srážek ve vrtu HG-4

Koncentrace As výškou hladiny ovlivněna není (obrázek 159), ojediněle reaguje na zvýšené srážky (obrázek 160).

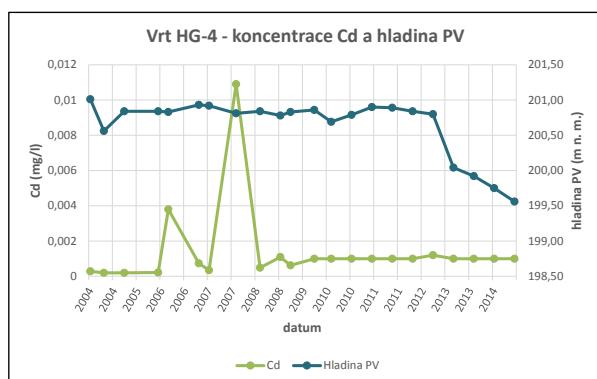


Obrázek 159: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HG-4

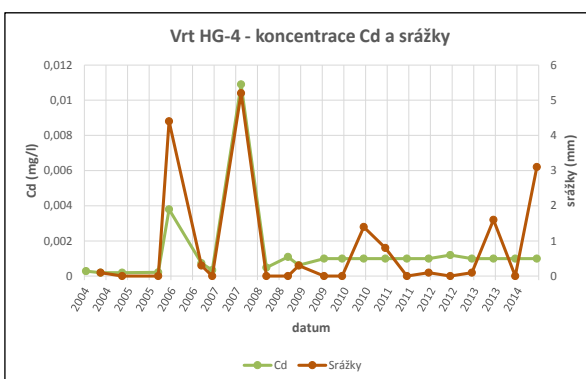


Obrázek 160: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HG-4

Stejně tak Cd není závislé na hladině (obrázek 161), ale může reagovat na vyšší srážky (obrázek 162).

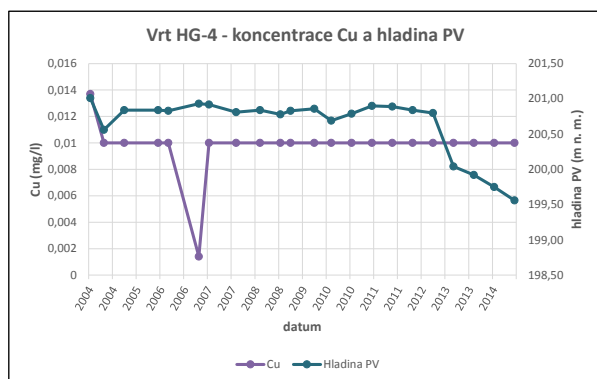


Obrázek 161: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HG-4

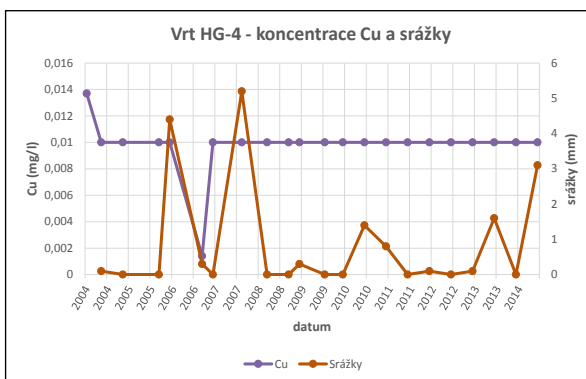


Obrázek 162: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HG-4

Koncentrace Cu není ovlivněna výškou hladiny ani množstvím srážek (obrázky 163 a 164).

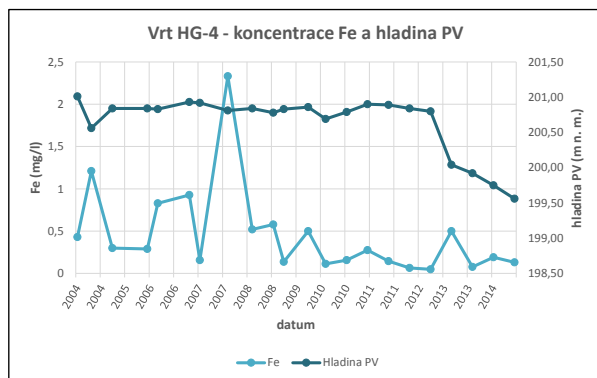


Obrázek 163: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HG-4

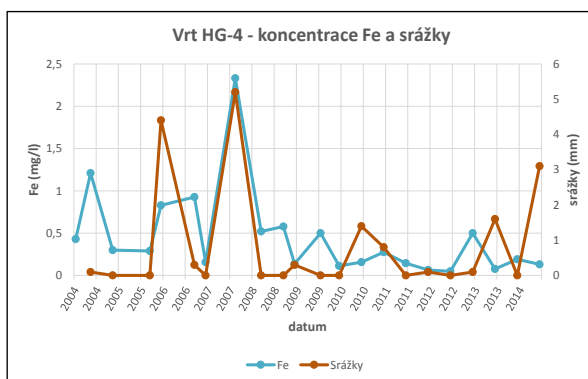


Obrázek 164: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HG-4

Koncentraci Fe výška hladiny také neovlivňuje (obrázek 165), může reagovat zvýšením na vyšší srážky (obrázek 166).

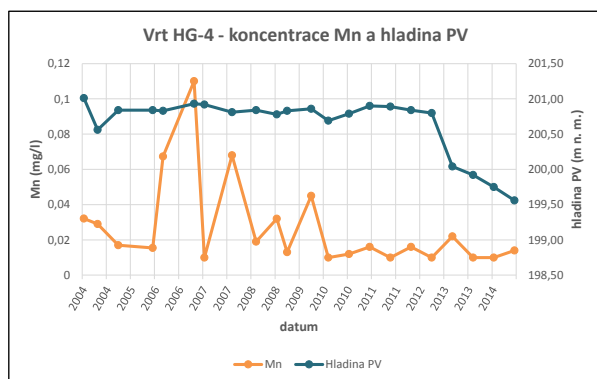


Obrázek 165: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HG-4

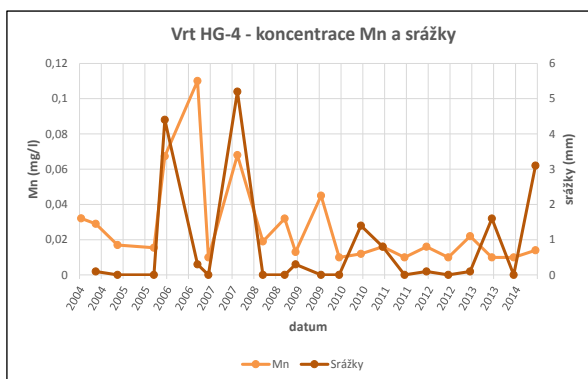


Obrázek 166: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HG-4

Stejně tak Mn s průběhem hladiny nesouvisí (obrázek 167), ale vyšší koncentrace odpovídají vyšším srážkám (obrázek 168).

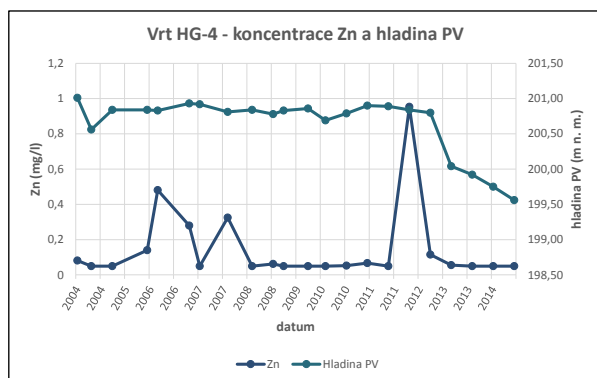


Obrázek 167: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HG-4

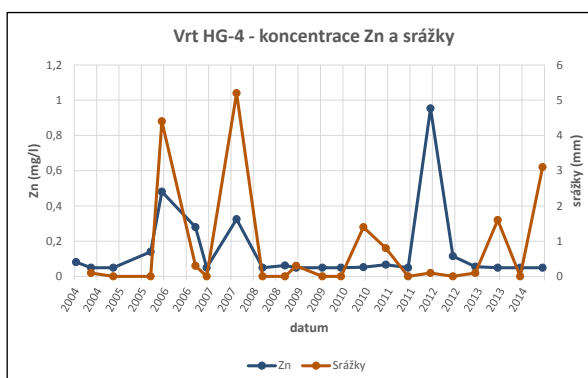


Obrázek 168: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HG-4

Také Zn reaguje pouze na vyšší srážkové úhrny, vyšší koncentrace se však objevují i nezávisle na srážkách (obrázky 169 a 170).

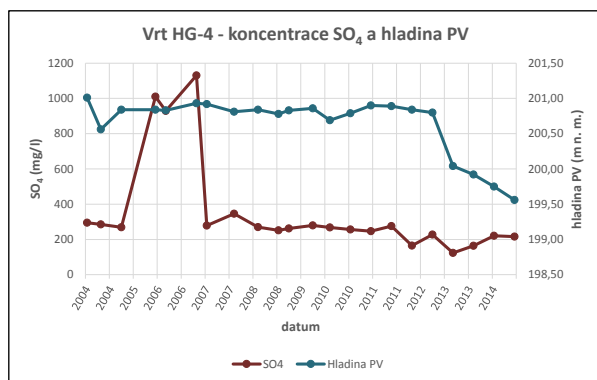


Obrázek 169: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HG-4

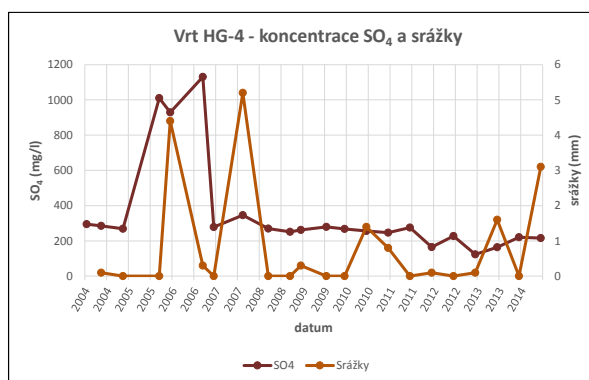


Obrázek 170: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HG-4

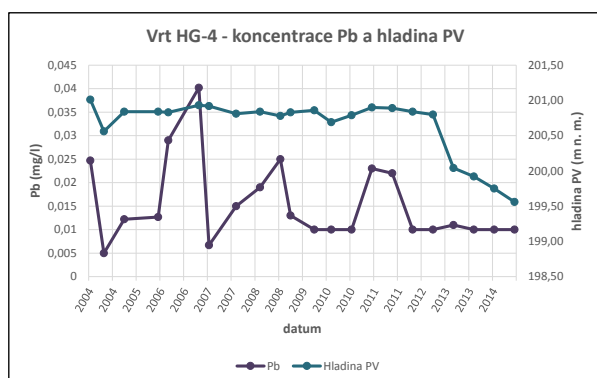
Sířany ani Pb nejsou ovlivněny výškou hladiny, na množství srážek může reagovat Pb (obrázky 171 až 174).



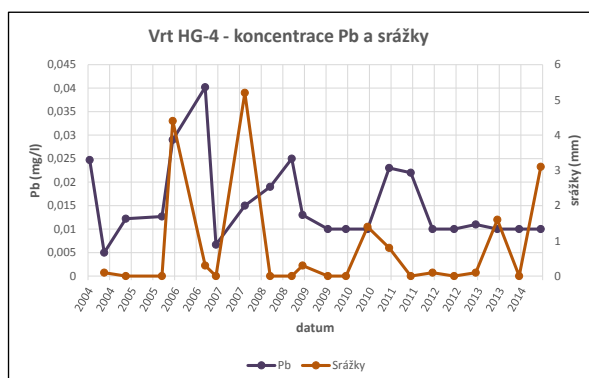
Obrázek 171: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HG-4



Obrázek 172: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HG-4



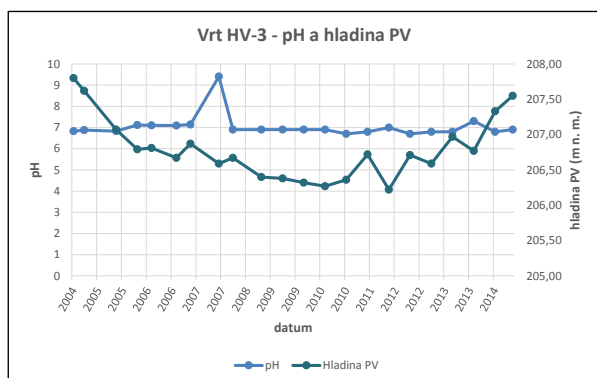
Obrázek 173: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HG-4



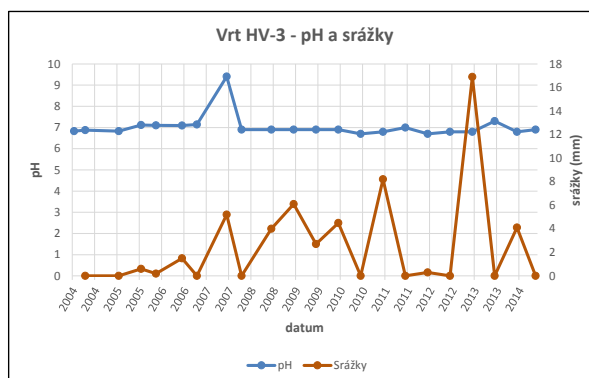
Obrázek 174: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HG-4

Vrt HV-3

Monitorování kvality vod ve vrtu bylo zahájeno po jeho vyhloubení v roce 1997. Šíření stratifikovaných důlních vod z dolového pole jámy Turkaňk do oblasti tohoto objektu nebylo zaznamenáno (Hušpauer 2002). Vrt zastihuje oblast rozsáhlých středověkých hald. Ve vodě je tedy výrazně zvýšený obsah As, který překračuje referenční hodnoty stanovené vyhláškou č. 5/2011 Sb. Tyto hodnoty překračuje také Cd, Zn a v několika případech i sírany. pH se pohybuje mezi 6,7 a 7,14, jedna anomální hodnota 9,4 nesouvisí s výškou hladiny (obrázek 175). Mohla být vyvolána vyššími srážkami, další období se zvýšenými srážkovými úhrny však nárůsty pH nezpůsobují (obrázek 176).

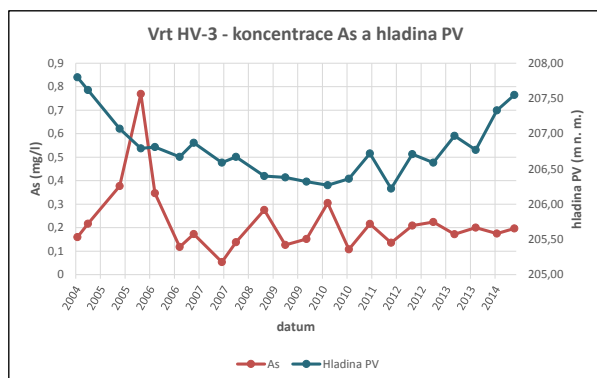


Obrázek 175: Graf pH a hladiny ve vrtu HV-3

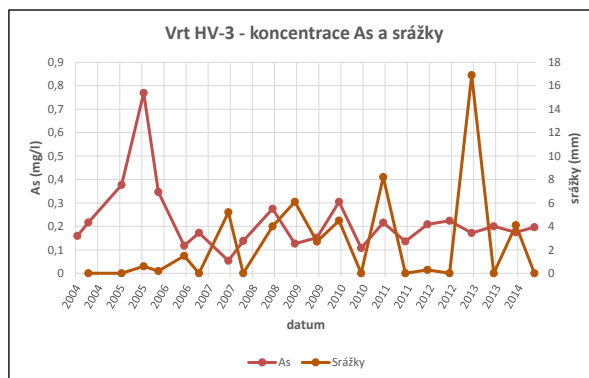


Obrázek 176: Graf pH a srážek ve vrtu HV-3

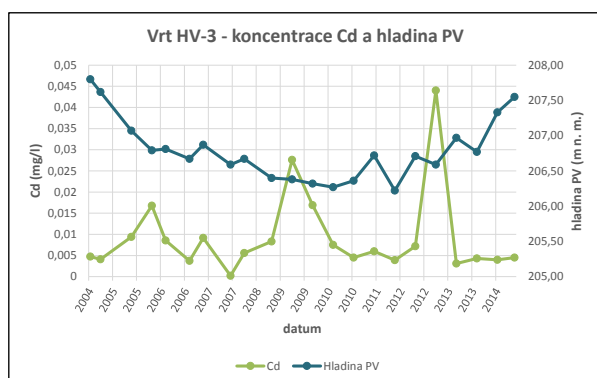
Koncentrace As, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn a Pb nejsou ovlivněny hladinou podzemní vody, ale mohou být ovlivněny srážkami a promýváním haldového materiálu (obrázky 177 až 192).



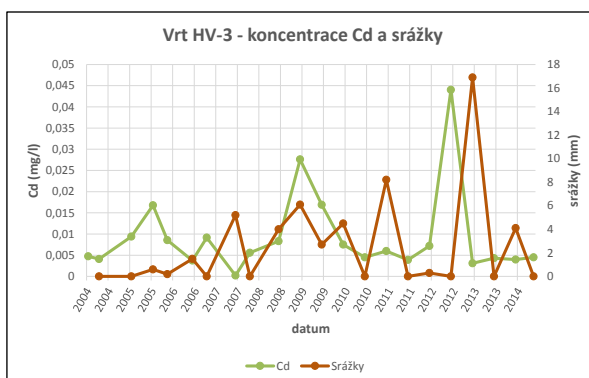
Obrázek 177: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HV-3



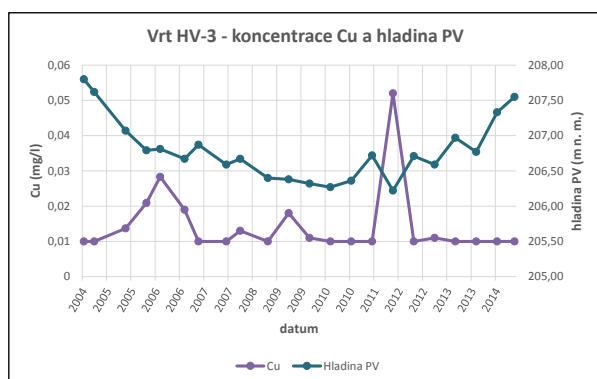
Obrázek 178: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HV-3



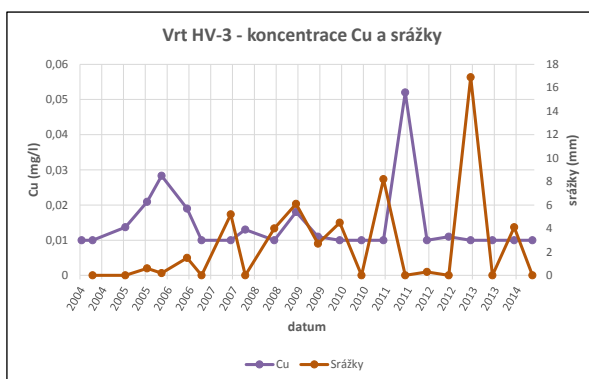
Obrázek 179: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HV-3



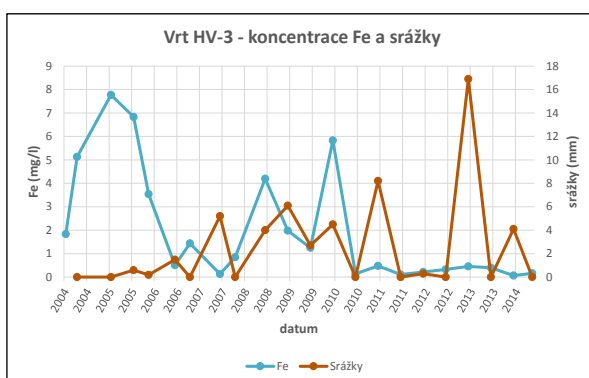
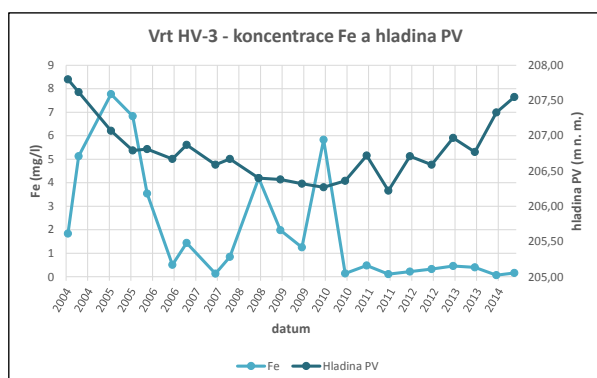
Obrázek 180: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HV-3



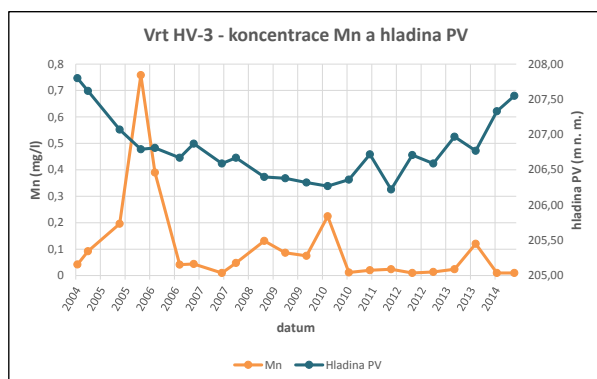
Obrázek 181: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HV-3



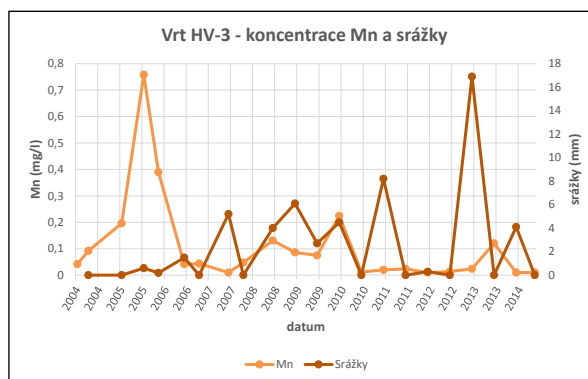
Obrázek 182: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HV-3



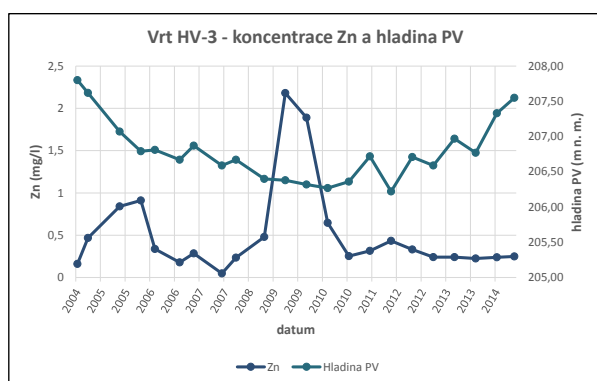
Obrázek 183: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HV-3



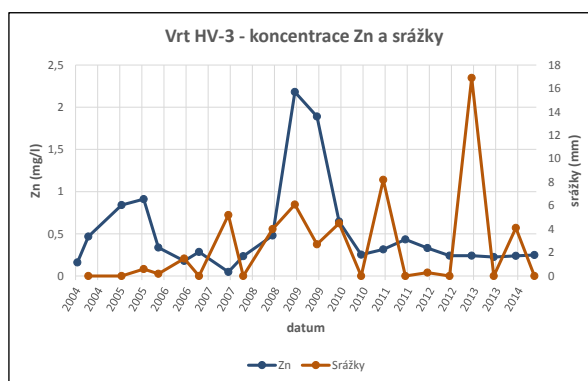
Obrázek 184: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HV-3



Obrázek 185: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HV-3



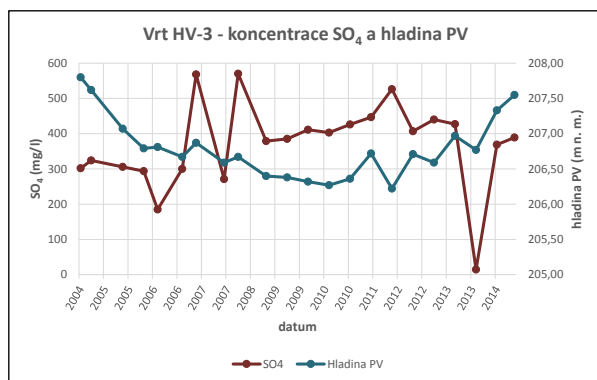
Obrázek 186: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HV-3



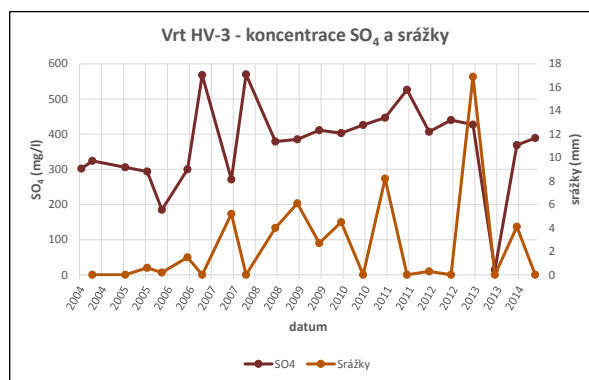
Obrázek 187: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HV-3

Obrázek 188: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HV-3

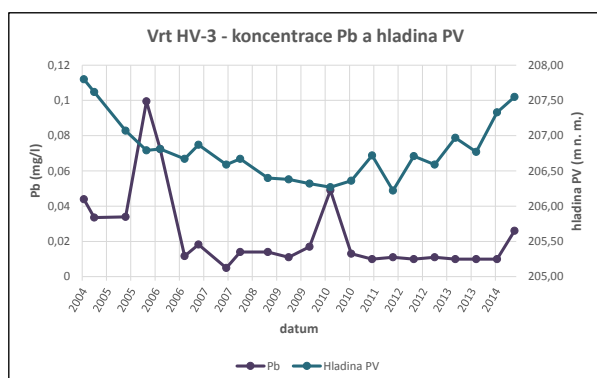
Sírany mají vyšší koncentraci při nižších srážkách (obrázek 189).



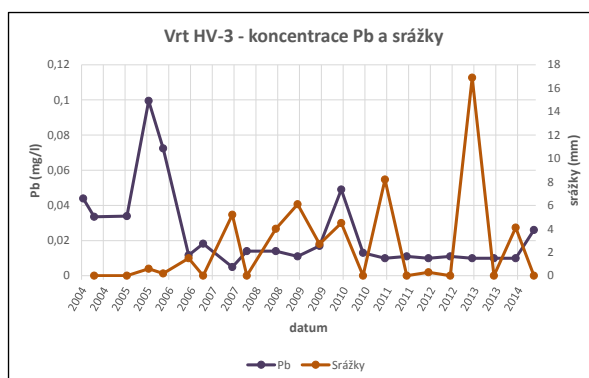
Obrázek 189: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HV-3



Obrázek 190: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HV-3



Obrázek 191: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HV-3



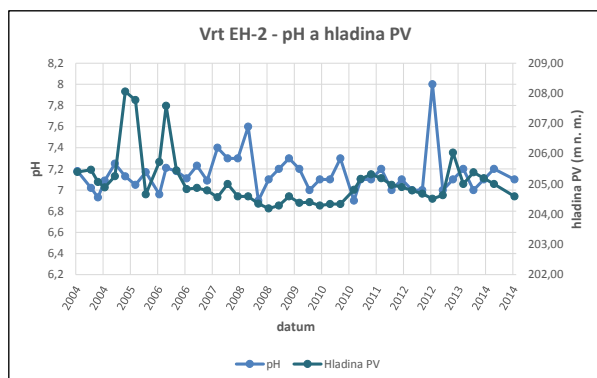
Obrázek 192: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HV-3

5.2.2.3 Objekty kvartérních podzemních vod

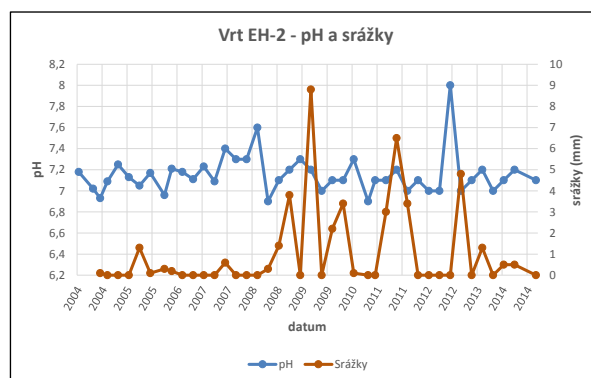
Vrt EH-2

Monitoring na vrtu byl zahájen po jeho vyhloubení v roce 1997. Časový vývoj kontaminantů byl víceméně stabilní, vyznačující se zvýšenou mineralizací. Dlouhodobě zvýšené koncentrace síranů, Fe a Mn jsou zapříčiněny pozicí vrtu pod severním okrajem odkaliště bývalých Rudných dolů. Ve vrtu nebyl prokázán vývoj, který by indikoval rozšíření stratifikovaných důlních vod z dolového pole do oblasti tohoto objektu (Hušpauer 2002).

Vrt se nachází v těsné blízkosti křídového vrtu EH-1 a má výrazně vyšší obsahy síranů. Dle vyhlášky č. 5/2011 kromě síranů As jen zřídka překračuje referenční hodnotu, Cd ji překračuje ve většině případů, v několika případech i Mn a Zn. Voda má víceméně neutrální reakci, pH se pohybuje mezi 6,9-8,0 a je vyšší při nižší hladině vody ve vrtu (obrázek 193). Srážky jeho vývoj neovlivňují (obrázek 194).

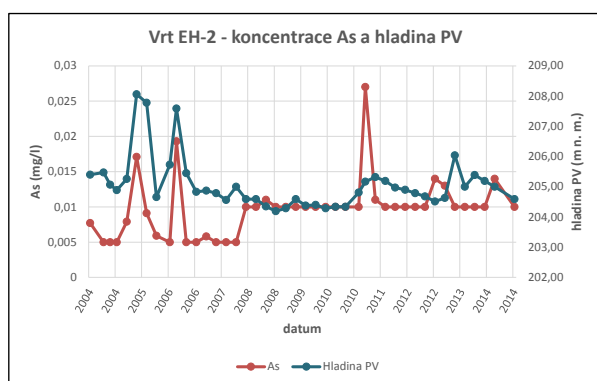


Obrázek 193: Graf pH a hladiny ve vrtu EH-2

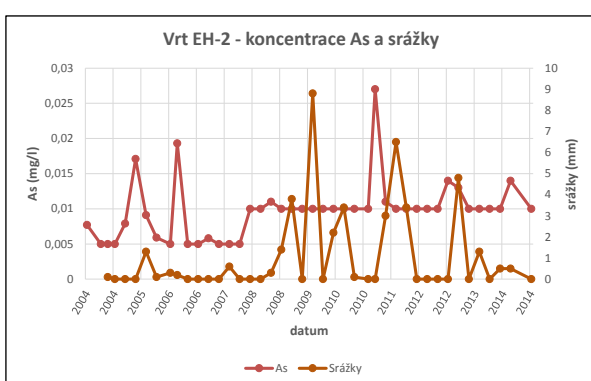


Obrázek 194: Graf pH a srážek ve vrtu EH-2

Koncentrace As se zvyšuje při vyšší hladině podzemní vody (obrázek 195), vliv srážek není výrazný (obrázek 196).

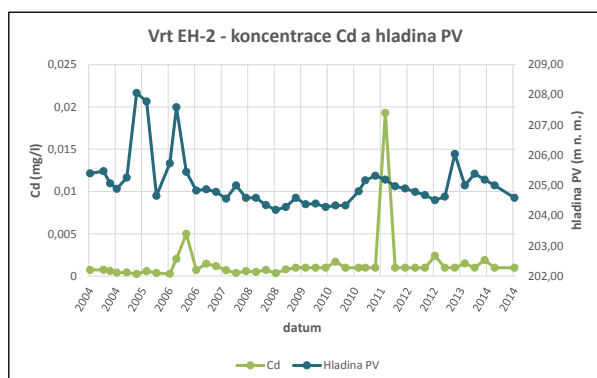


Obrázek 195: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu EH-2

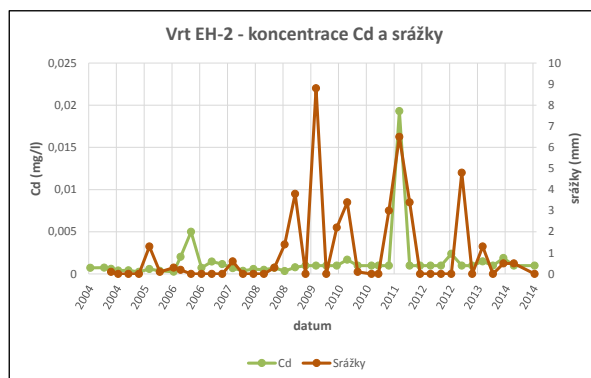


Obrázek 196: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu EH-2

Výška hladiny nemá vliv na Cd (obrázek 197), které ojediněle reagovalo na vyšší srážky (obrázek 198).

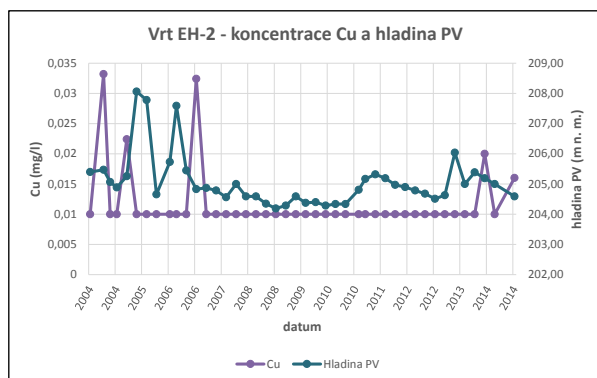


Obrázek 197: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu EH-2

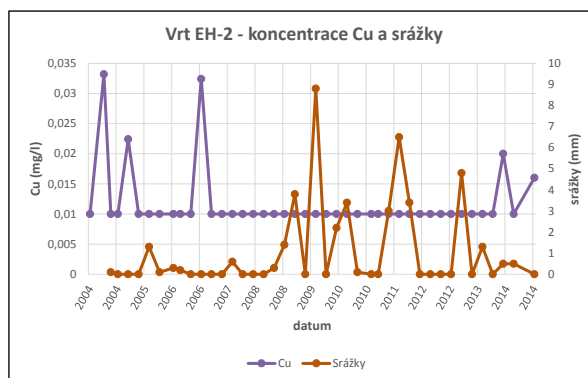


Obrázek 198: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu EH-2

Vyšší koncentrace Cd se s kolísáním objevuje mezi obdobími s vyšší hladinou podzemní vody, v období s kontinuální hladinou je koncentrace stabilní a nízká (obrázek 199). Kolísající srážky nerozkolísaly koncentraci Cu (obrázek 200).

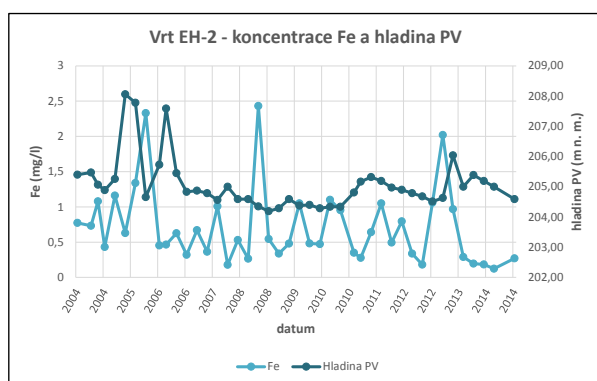


Obrázek 199: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu EH-2

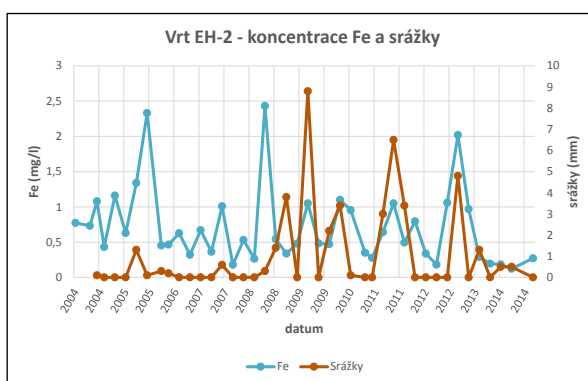


Obrázek 200: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu EH-2

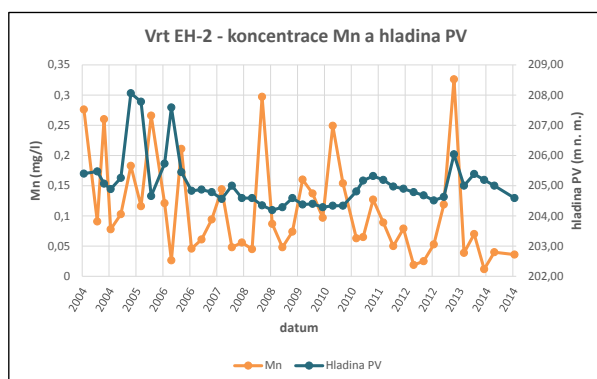
Koncentrace Fe a Mn se v průběhu sledovaného období často mění, avšak nezávisle na výšce hladiny i srážek (obrázek 201 až 204).



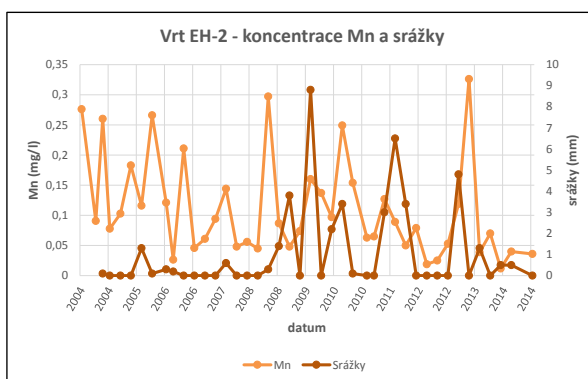
Obrázek 201: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu EH-2



Obrázek 202: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu EH-2

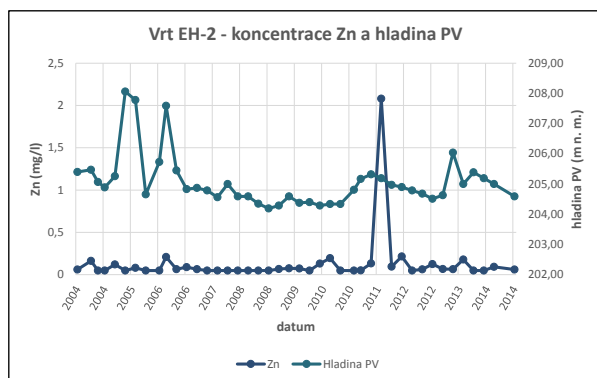


Obrázek 203: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu EH-2

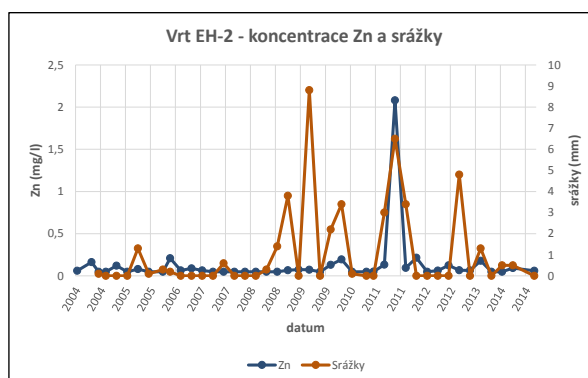


Obrázek 204: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu EH-2

Zn není závislý na výšce hladiny (obrázek 205), podobně jako Cd ojediněle reagoval na vyšší srážky (obrázek 206).

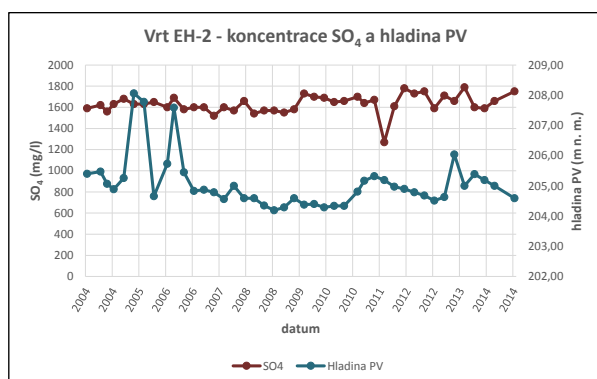


Obrázek 205: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu EH-2

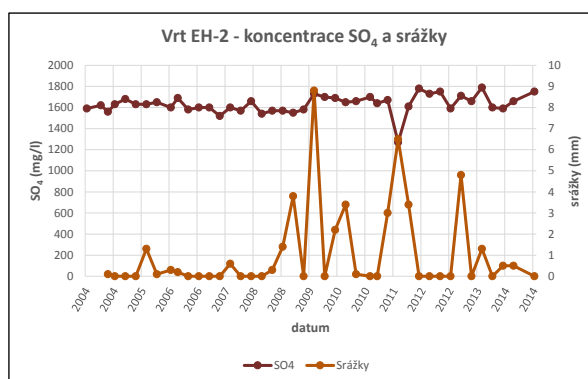


Obrázek 206: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu EH-2

Sírany nereagují na výšku hladiny ani na množství srážek (obrázky 207 a 208).

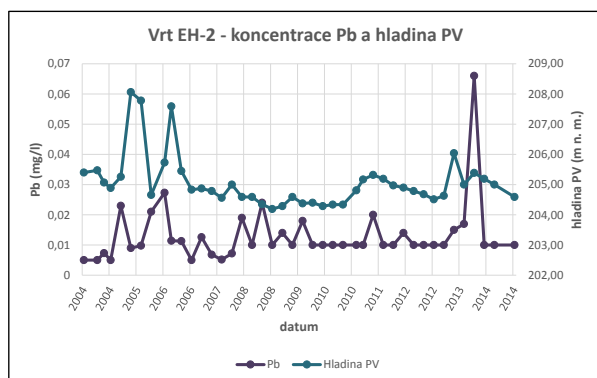


Obrázek 207: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu EH-2

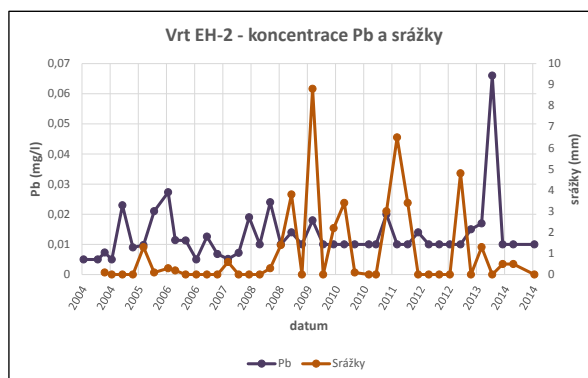


Obrázek 208: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu EH-2

Koncentrace Pb je vyšší při vyšší hladině podzemní vody (obrázek 209), na srážkách není závislé (obrázek 210).



Obrázek 209: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu EH-2

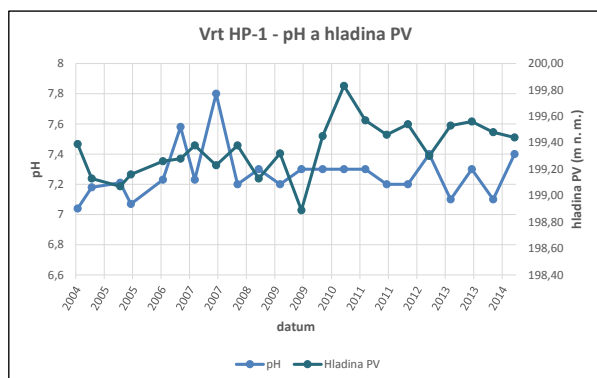


Obrázek 210: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu EH-2

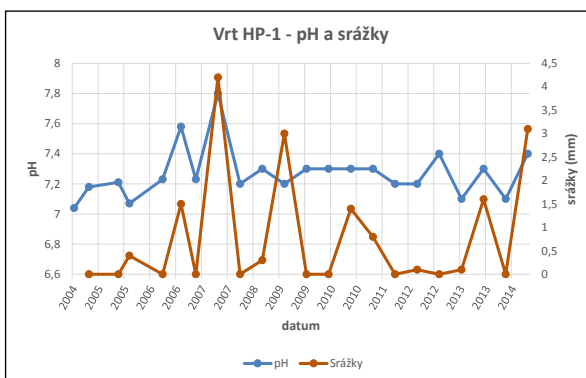
Vrt HP-1

Monitoring vody ve vrtu probíhá od jeho vybudování v roce 2003. Ve vzdálenosti 8-10 m od vrtu se nachází koryto drenážního toku Šífovy, do kterého jsou vypouštěny přečištěné vody z čistírny důlních vod na Kaňku (Hušpauer 2003). Lze tedy předpokládat, že voda ve vrtu bude těmito vodami ovlivněna. Vypouštěné odpadní vody se vyznačují obsahem síranů kolem 2 500-3 500 mg/l (Ing. Bělinová, DIAMO, s. p., ústní sdělení 2015). Přestože při provozních analýzách není průběžně sledován obsah alkálií (Ca, Mg), je z občasných analýz patrný jejich vysoký obsah, zapříčiněný užitím vápenného mléka ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) v technologii čištění důlních vod. Úvodní analýzou po vyhloubení vrtu zjištěné vysoké obsahy Ca spolu s vysokou hodnotou síranů indikují pravděpodobné průsaky vod ze Šífovy. Přetok silně mineralizovaných důlních vod z dolového pole do mělké kvartérní zvodně nebyl prokázán (Hušpauer 2003).

Referenční hodnoty pro kvalitu podzemních vod stanovené vyhláškou č. 5/2011 Sb. překračují sírany, Zn, Cd a vyjimečně As. Voda ve vrtu má poměrně stabilní pH od 7,04 do 7,8, neovlivněné hladinou vody (obrázek 211). pH stoupá při vyšších srážkách (obrázek 212).

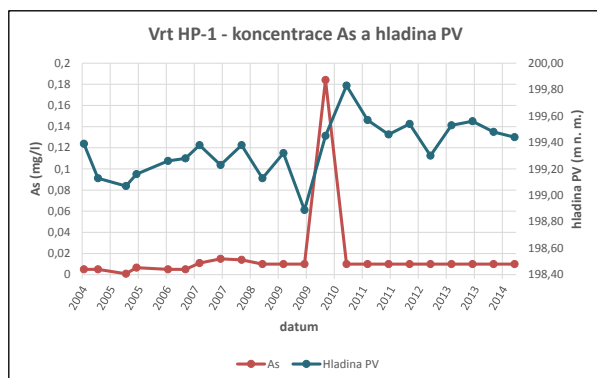


Obrázek 211: Graf pH a hladiny ve vrtu HP-1

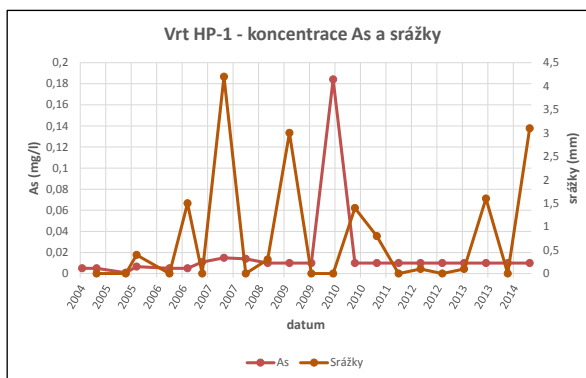


Obrázek 212: Graf pH a srážek ve vrtu HP-1

Koncentrace As je velmi nízká (většinou kolem 0,01 mg/l) a stabilní, s ojedinělým výkyvem nezávislým na hladině i srážkách (obrázky 213 a 214).

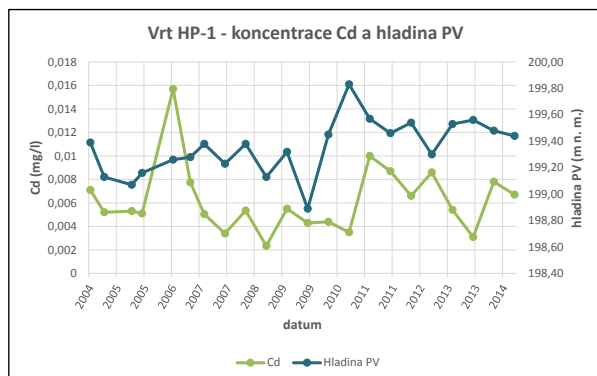


Obrázek 213: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HP-1

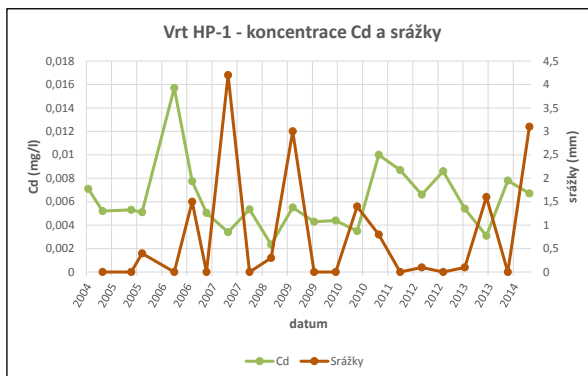


Obrázek 214: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HP-1

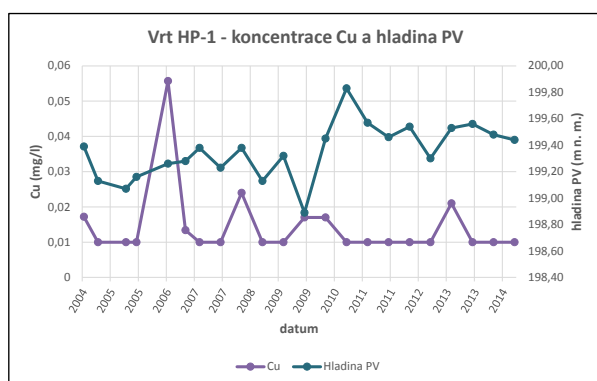
Cd a Cu mají shodný nárůst koncentrace v červnu 2006, který nesouvisí s výškou hladiny ani se srážkami (obrázky 215 až 218).



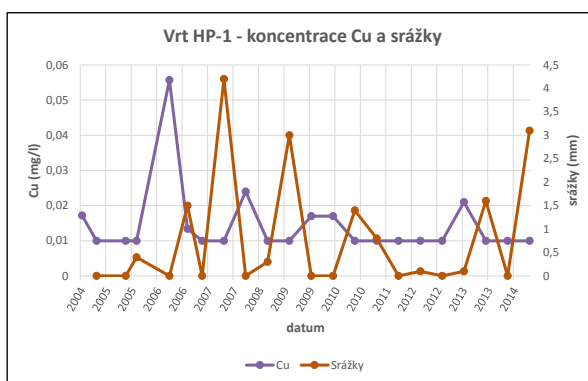
Obrázek 215: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HP-1



Obrázek 216: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HP-1

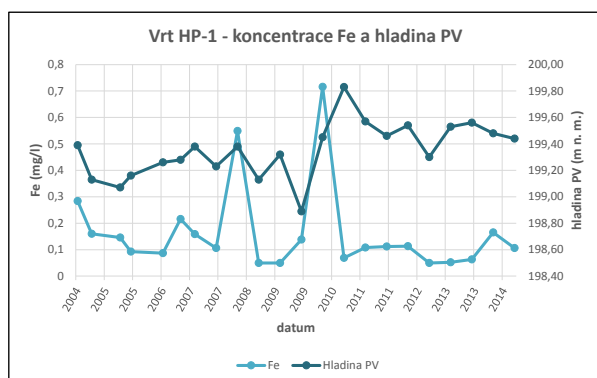


Obrázek 217: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HP-1

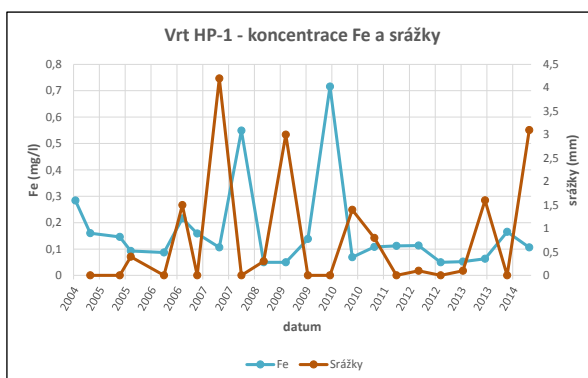


Obrázek 218: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HP-1

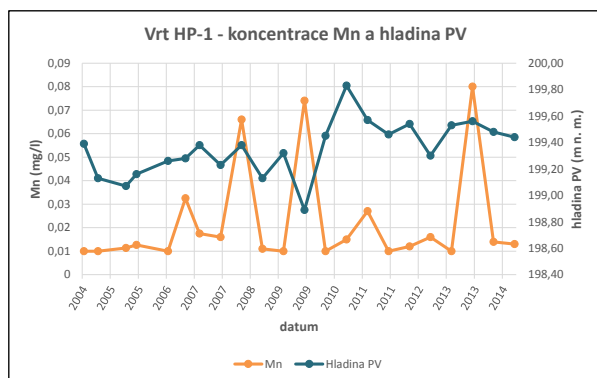
Koncentrace Fe a Mn mají velice podobný průběh, který není ovlivněný hladinou (obrázky 219 a 221). Částečně však může souviset se srážkami (obrázky 220 a 222).



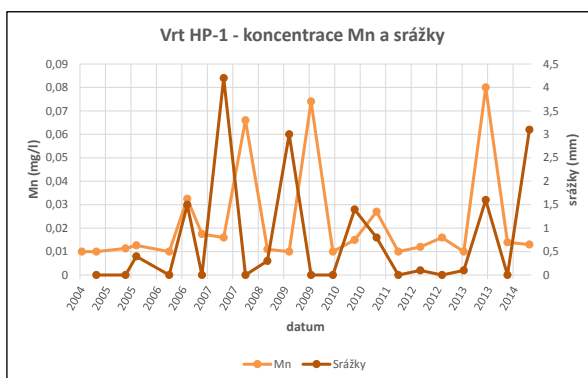
Obrázek 219: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HP-1



Obrázek 220: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HP-1

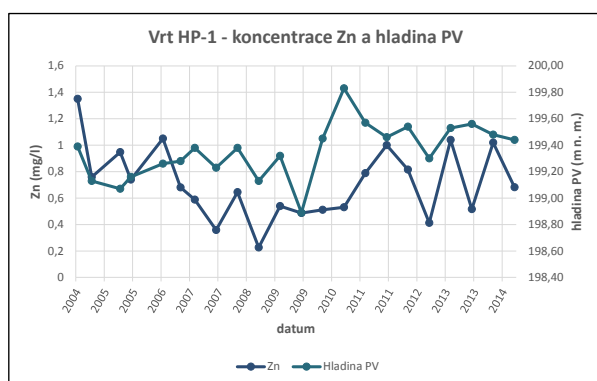


Obrázek 221: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HP-1

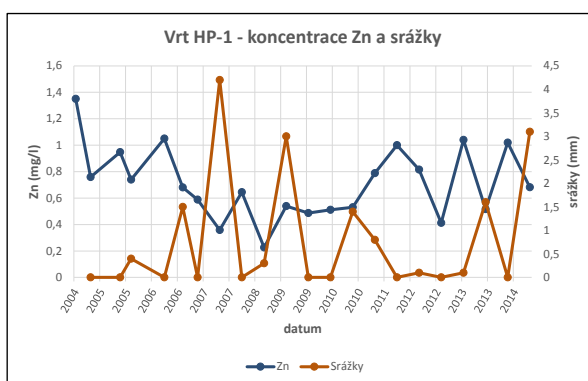


Obrázek 222: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HP-1

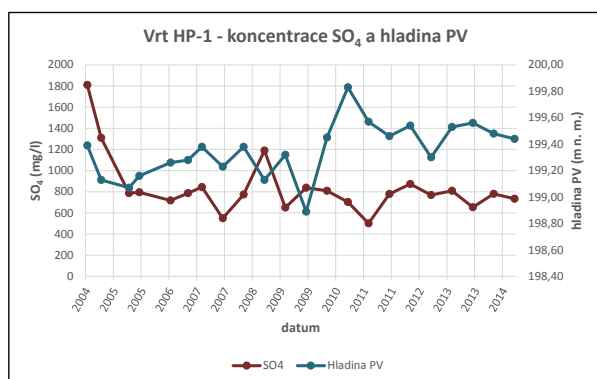
Na obrázcích 223 až 228 jsou zobrazeny průběhy Zn, SO_4 a Pb, které nejsou závislé na hladině vody ve vrtu ani na srážkách.



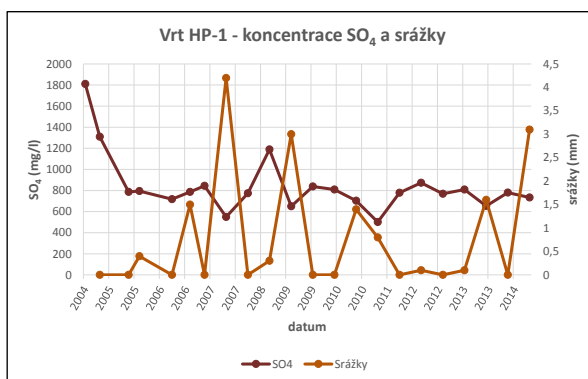
Obrázek 223: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HP-1



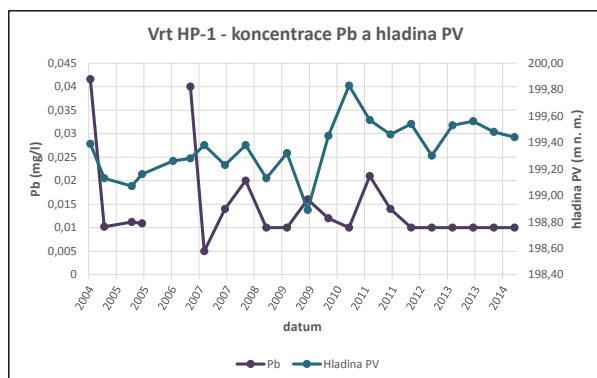
Obrázek 224: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HP-1



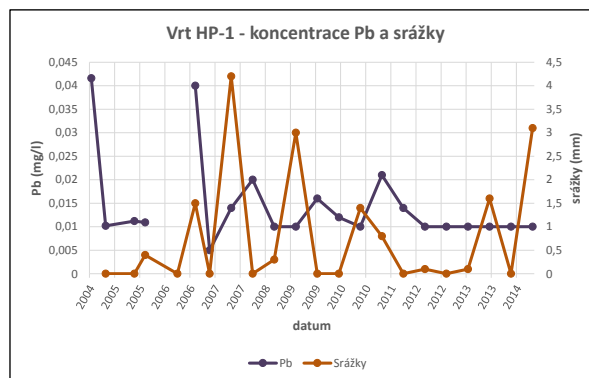
Obrázek 225: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HP-1



Obrázek 226: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HP-1



Obrázek 227: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HP-1

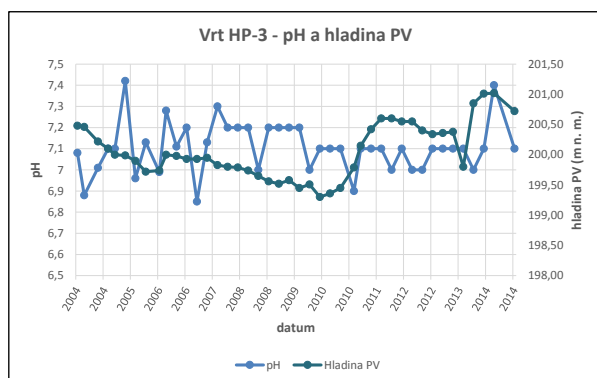


Obrázek 228: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HP-1

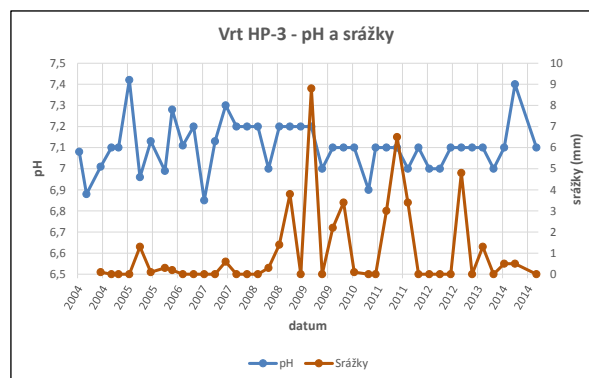
Vrt HP-3

Monitoring zde probíhá od roku 2002, kdy byl vrt vyhlouben. Úvodní analýza stanovila vysoké hodnoty Fe (19,4 mg/l), Mn, (2,11 mg/l), Cd (0,023 mg/l) a zvýšený obsah SO_4 . Hušpauer 2002 uvažoval přetrvávající ovlivnění zvodně starou hornickou činností. Současný monitoring již ukazuje hodnoty nižší.

Hodnoty dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. překračují Cd, Mn, Zn a mírně a spíše v minulosti As. Voda ve vrtu má neutrální reakci o pH od 6,85 do 7,42, které není ovlivněno výškou hladiny (obrázek 229) ani množstvím srážek (obrázek 230).

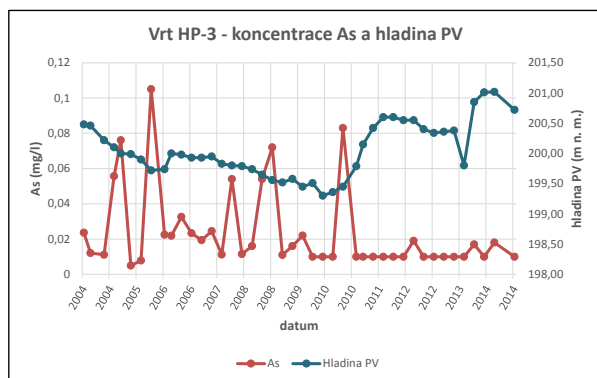


Obrázek 229: Graf pH a hladiny ve vrtu HP-3

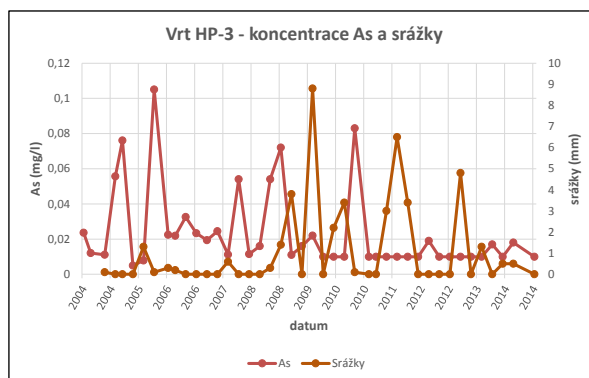


Obrázek 230: Graf pH a srážek ve vrtu HP-3

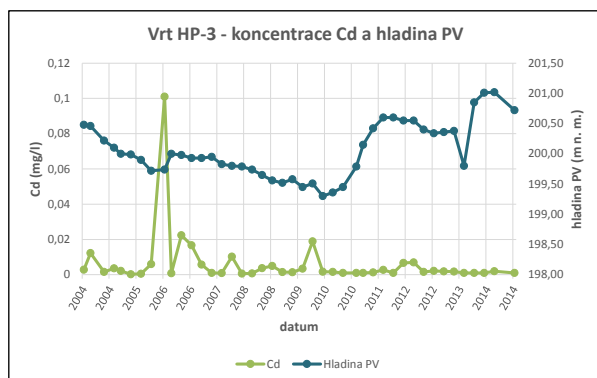
As, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn SO_4 a Pb nemají časový vývoj spojený s výškou hladiny ani s množstvím srážek (obrázky 231 až 246).



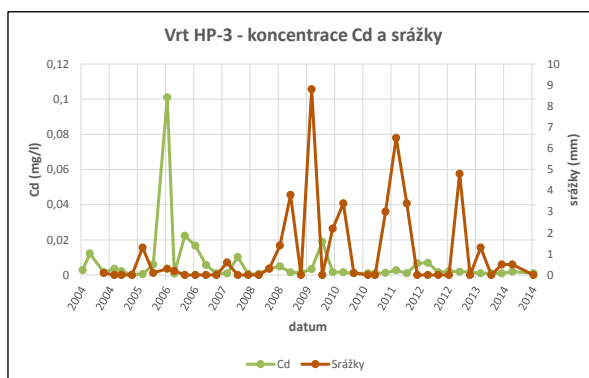
Obrázek 231: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HP-3



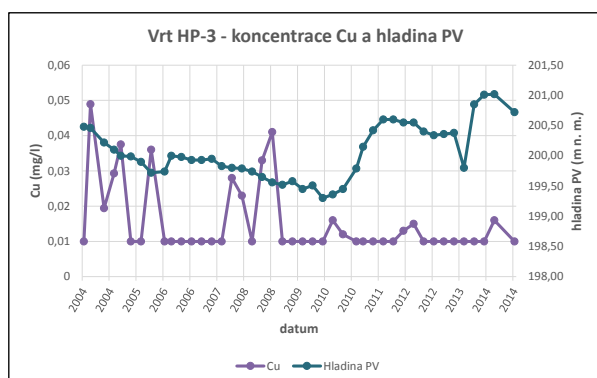
Obrázek 232: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HP-3



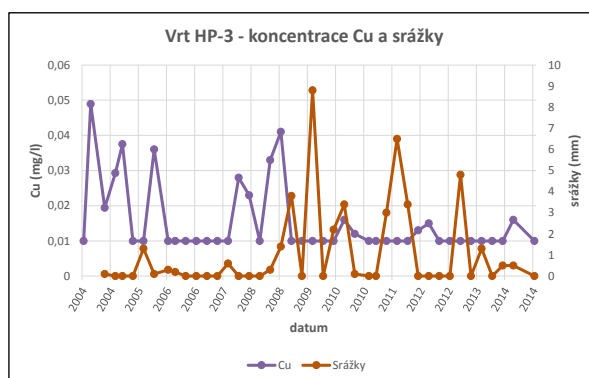
Obrázek 233: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HP-3



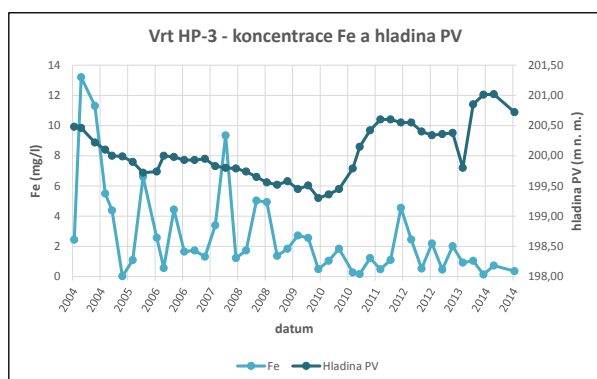
Obrázek 234: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HP-3



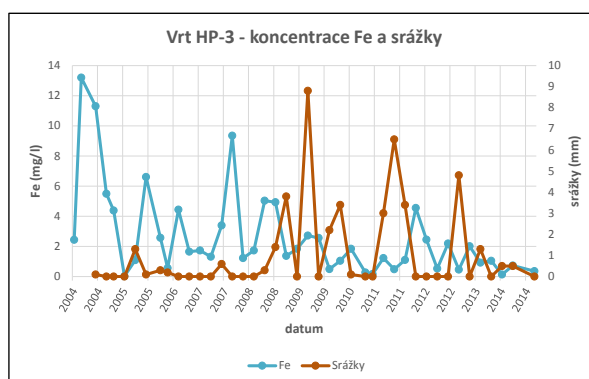
Obrázek 235: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HP-3



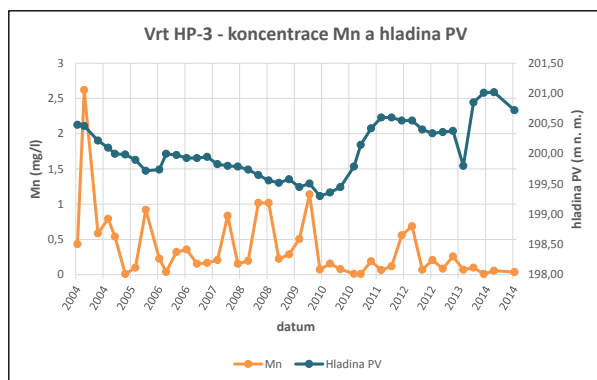
Obrázek 236: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HP-3



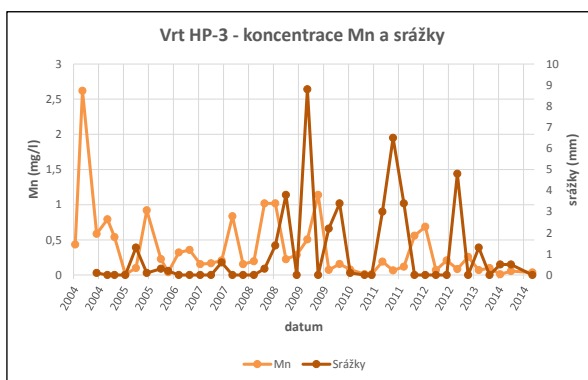
Obrázek 237: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HP-3



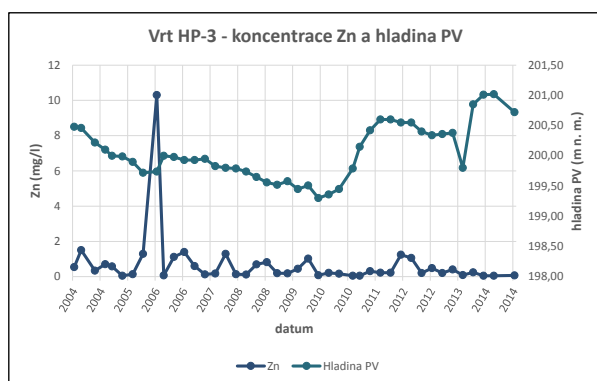
Obrázek 238: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HP-3



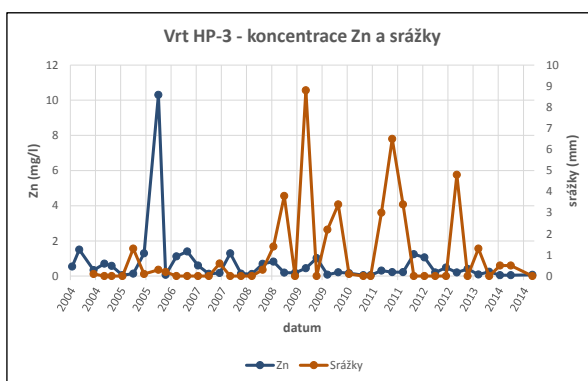
Obrázek 239: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HP-3



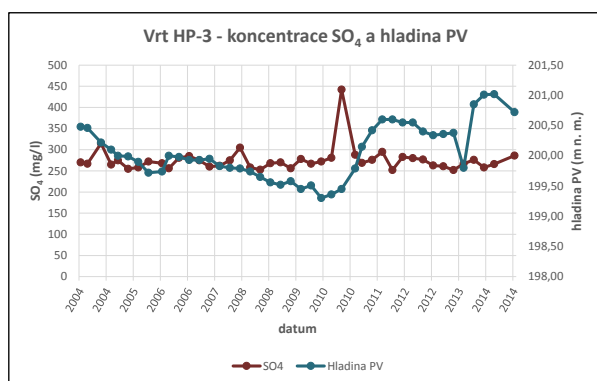
Obrázek 240: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HP-3



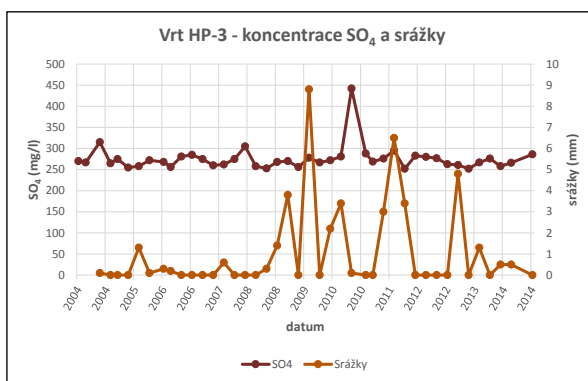
Obrázek 241: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HP-3



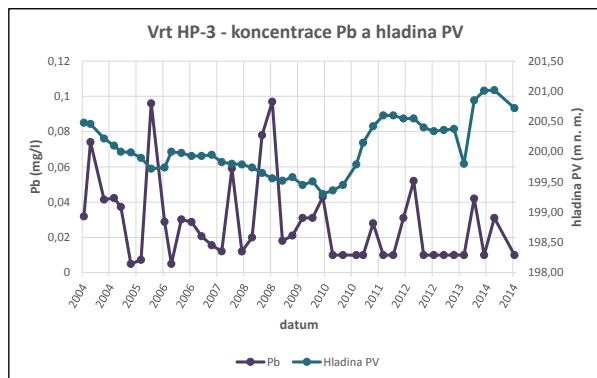
Obrázek 242: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HP-3



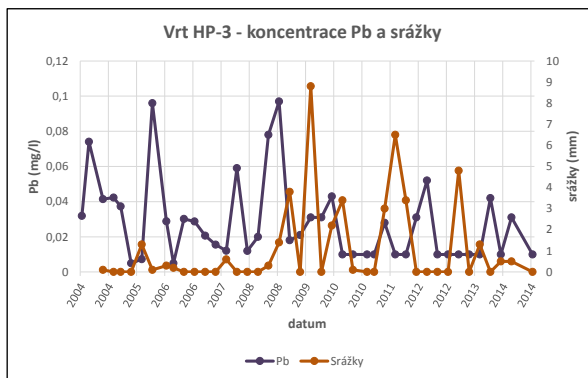
Obrázek 243: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HP-3



Obrázek 244: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HP-3



Obrázek 245: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HP-3

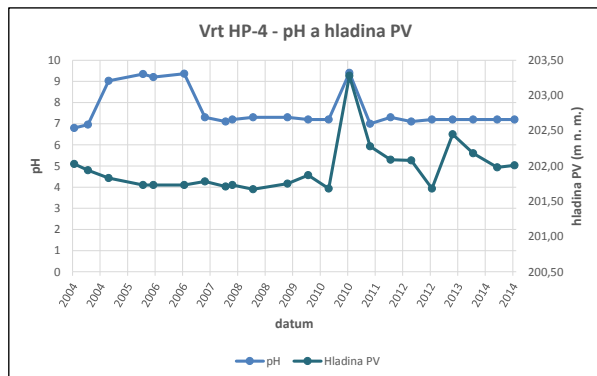


Obrázek 246: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HP-3

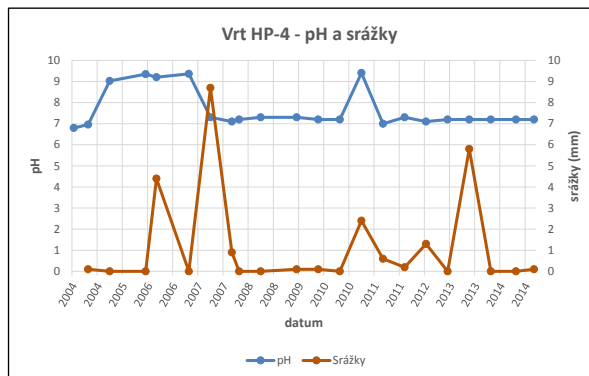
Vrt HP-4

Vrt zahrnutý do monitoringu v roce 2003. Úvodní analýza nenaznačuje přetoky silně mineralizovaných důlních vod z dolového pole do oblasti tohoto objektu (Hušpauer 2003).

Zvýšené koncentrace síranů překračují hodnoty dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. a spolu s Cd, Zn, Mn a As překračovaly v minulosti. V posledních letech monitoringu jejich koncentrace klesly na hodnoty blízké referenčním. Jednorázové zvýšení hladiny podzemní vody v průběhu sledovaného období, které nebylo způsobeno zvýšenými srážkami, způsobilo zvýšení pH (obrázek 247). Vliv srážek na pH se neprojevuje (obrázek 248).

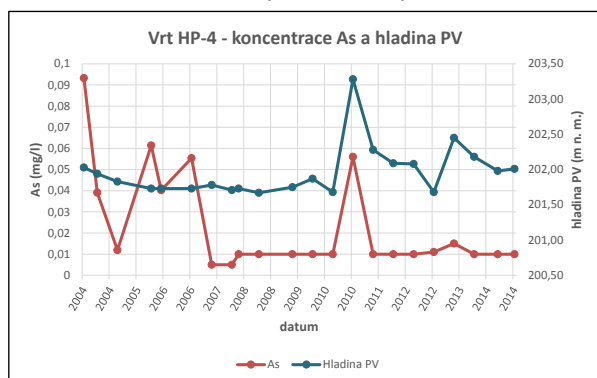


Obrázek 247: Graf pH a hladiny ve vrtu HP-4

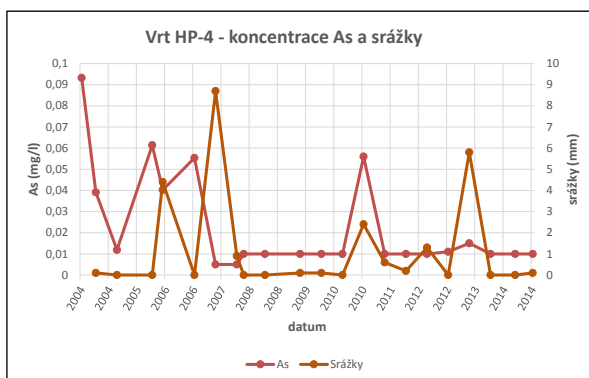


Obrázek 248: Graf pH a srážek ve vrtu HP-4

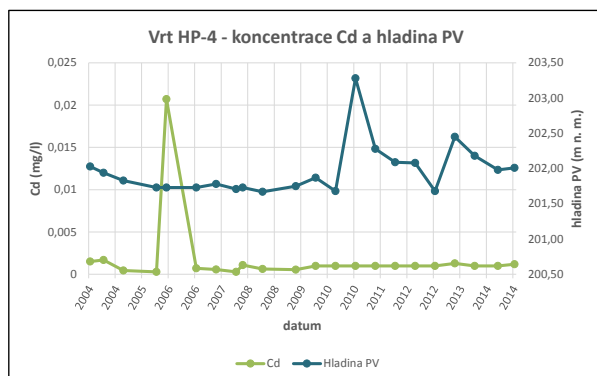
Hladina podzemní vody ani srážky neovlivňují také koncentraci As, Cd, Cu, Fe, Mn (obrázky 249 až 258) a SO_4 (obrázky 261 a 262). Zn (obrázky 259 a 260) a Pb (obrázky 263 a 264) nejsou ovlivněny hladinou, ale mohou být ovlivněny srážkami.



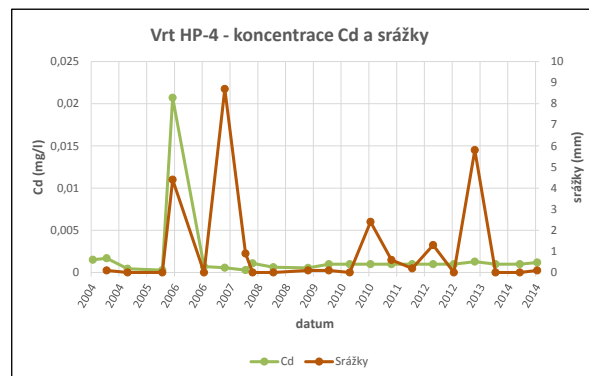
Obrázek 249: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HP-4



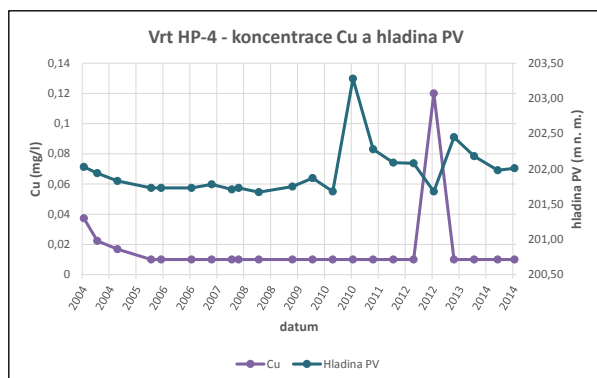
Obrázek 250: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HP-4



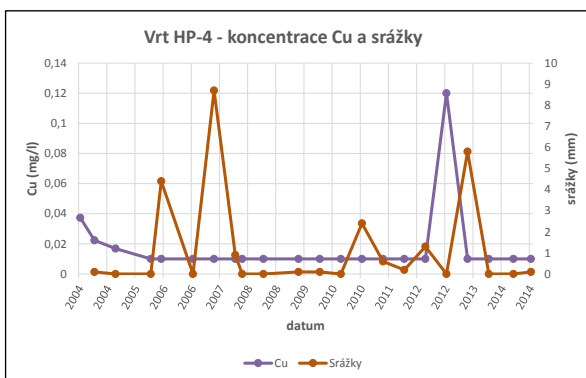
Obrázek 251: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HP-4



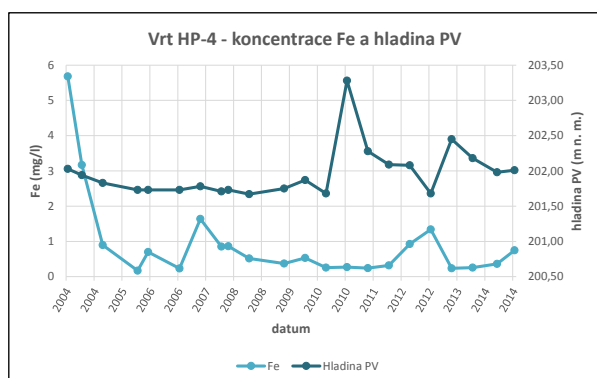
Obrázek 252: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HP-4



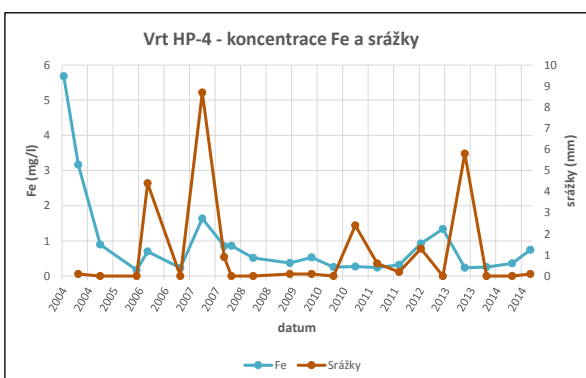
Obrázek 253: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HP-4



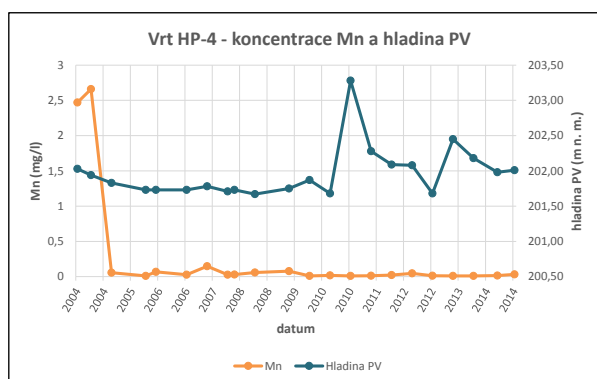
Obrázek 254: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HP-4



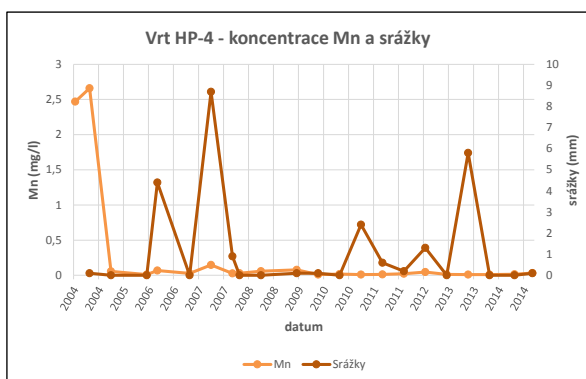
Obrázek 255: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HP-4



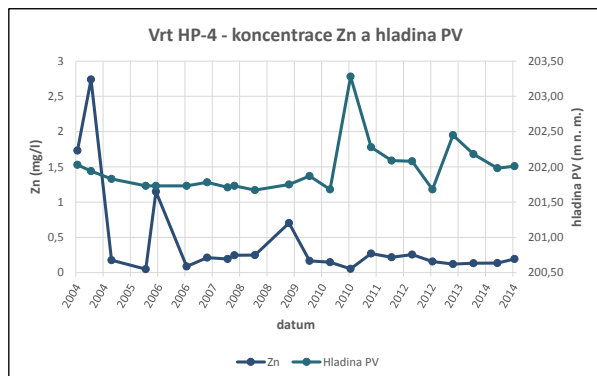
Obrázek 256: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HP-4



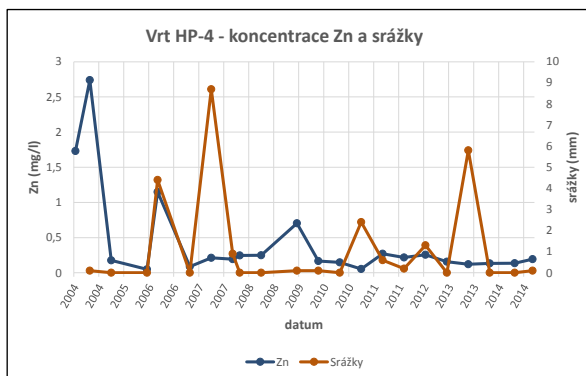
Obrázek 257: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HP-4



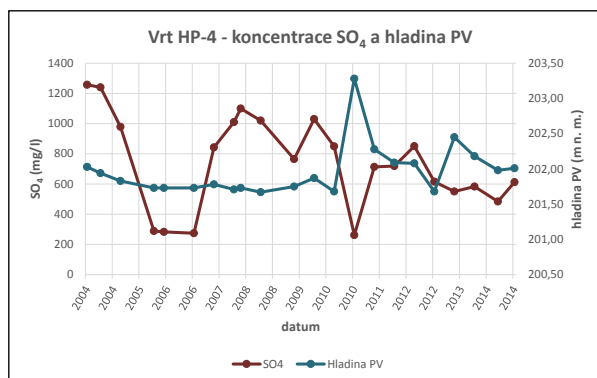
Obrázek 258: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HP-4



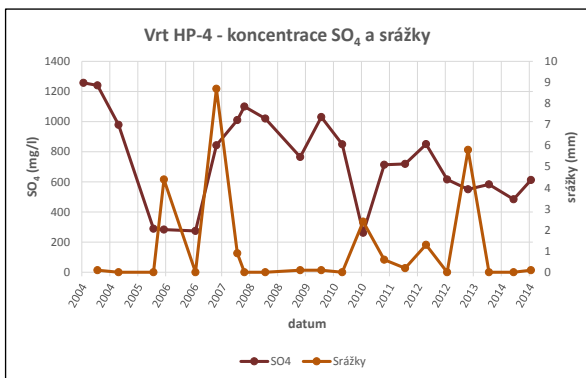
Obrázek 259: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HP-4



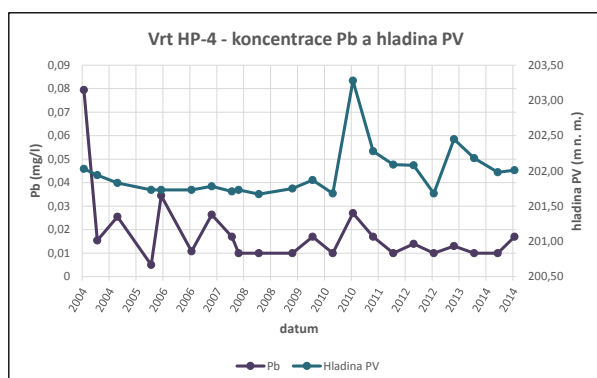
Obrázek 260: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HP-4



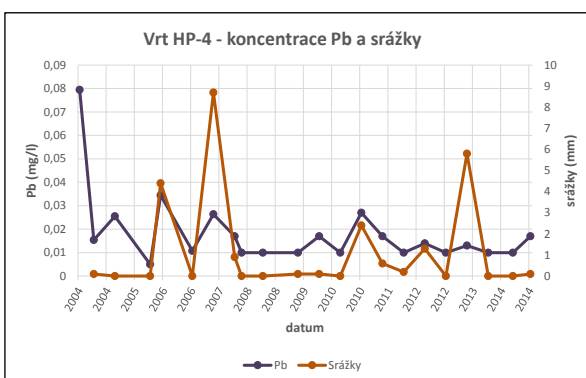
Obrázek 261: Graf koncentrace SO_4 a hladiny ve vrtu HP-4



Obrázek 262: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve vrtu HP-4



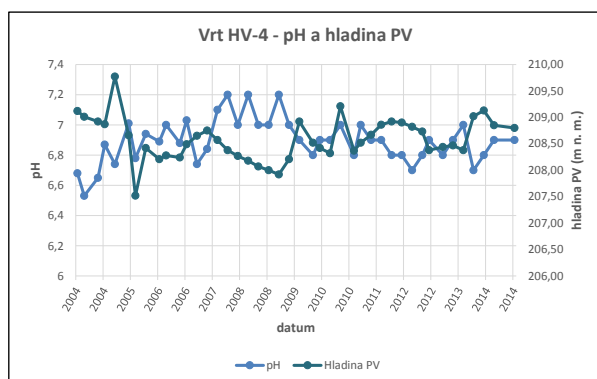
Obrázek 263: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HP-4



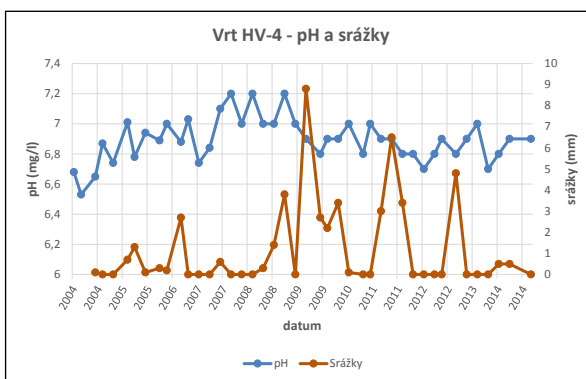
Obrázek 264: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HP-4

Vrt HV-4

Voda v tomto vrtu vykazuje nejvyšší koncentrace síranů (až přes 5000 mg/l) v porovnání s ostatními vrti. Velmi vysoké jsou i koncentrace Zn, Mn a Cd. As klesl na hodnoty vyhovující dle vyhlášky č. 5/2011 Sb. pH vody ve vrtu se pohybuje mezi 6,53 a 7,2, voda má tedy neutrální reakci. pH není významně ovlivněno výškou hladiny a není závislé ani na množství srážek (obrázek 265 a 266).

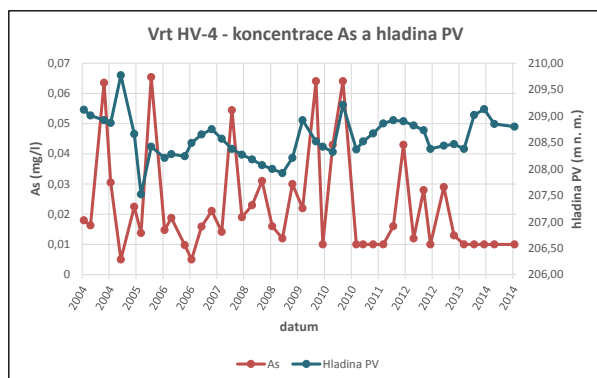


Obrázek 265: Graf pH a hladiny ve vrtu HV-4

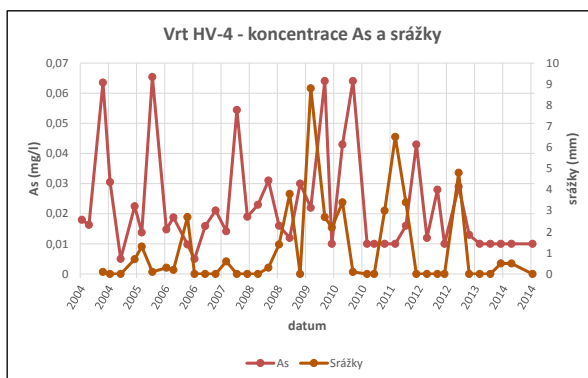


Obrázek 266: Graf pH a srážek ve vrtu HV-4

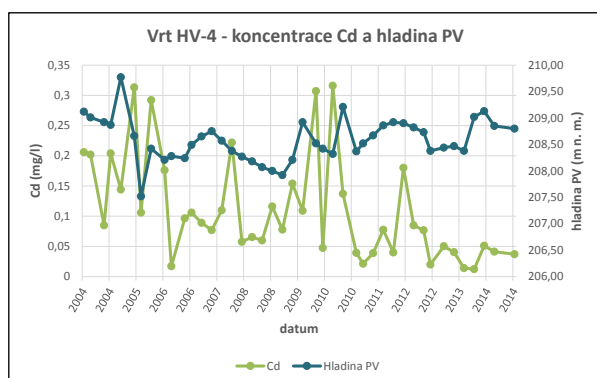
Koncentrace As, Cd, Cu, Fe, Mn, Zn a Pb nejsou ovlivněny výškou hladiny vody ve vrtu ani množstvím srážek. Křivka koncentrací síranů částečně kopíruje křivku hladiny, na srážky ale nereaguje (obrázky 267 až 282).



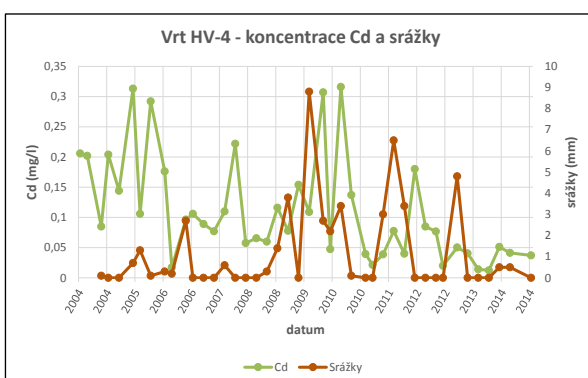
Obrázek 267: Graf koncentrace As a hladiny ve vrtu HV-4



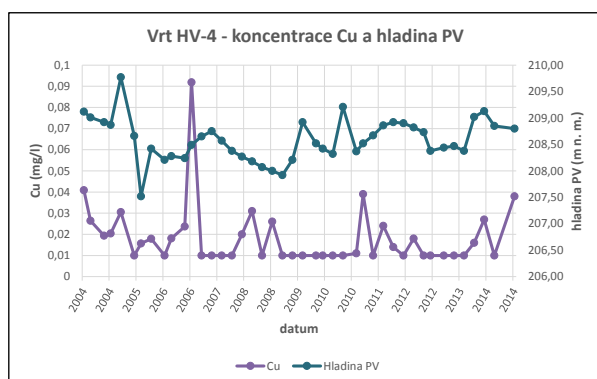
Obrázek 268: Graf koncentrace As a srážek ve vrtu HV-4



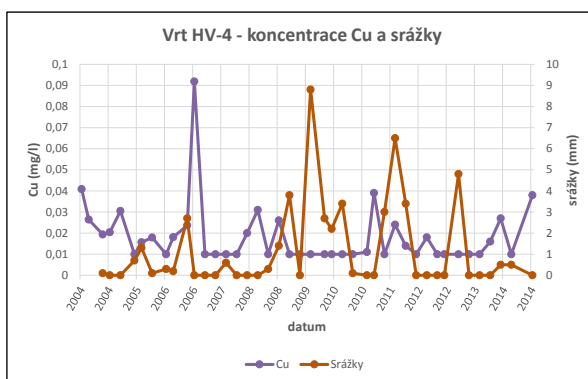
Obrázek 269: Graf koncentrace Cd a hladiny ve vrtu HV-4



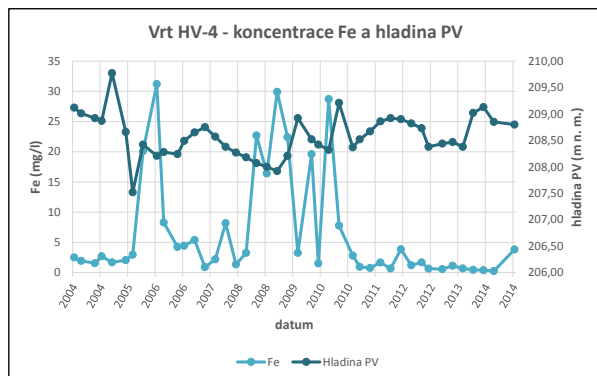
Obrázek 270: Graf koncentrace Cd a srážek ve vrtu HV-4



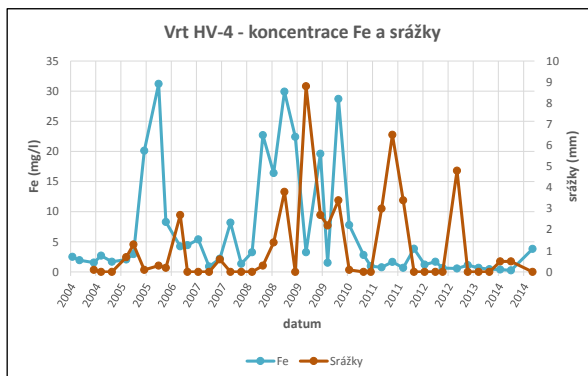
Obrázek 271: Graf koncentrace Cu a hladiny ve vrtu HV-4



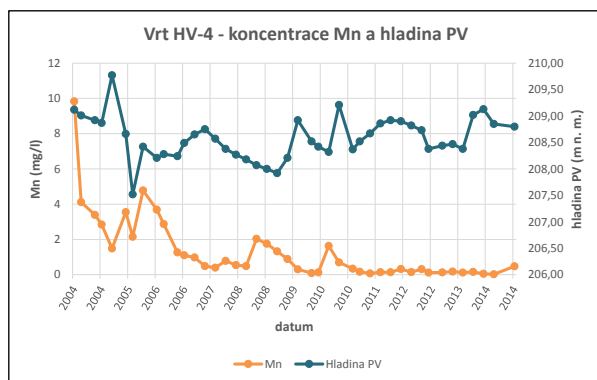
Obrázek 272: Graf koncentrace Cu a srážek ve vrtu HV-4



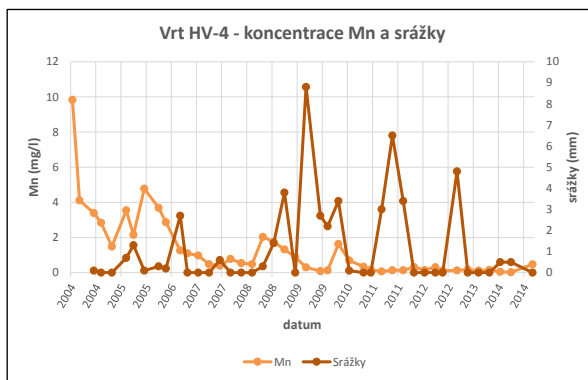
Obrázek 273: Graf koncentrace Fe a hladiny ve vrtu HV-4



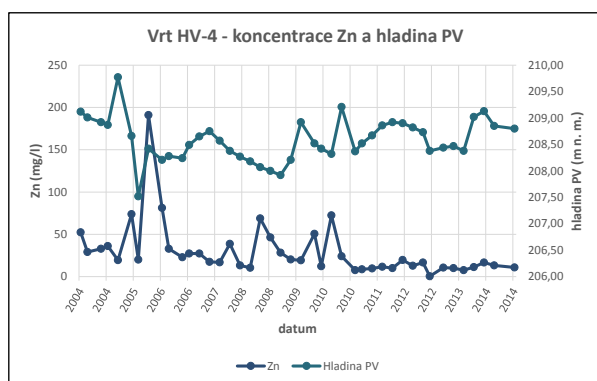
Obrázek 274: Graf koncentrace Fe a srážek ve vrtu HV-4



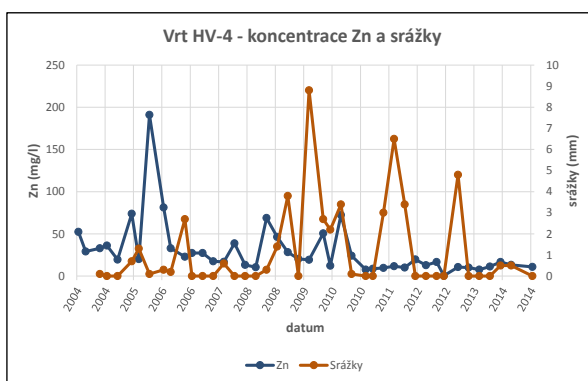
Obrázek 275: Graf koncentrace Mn a hladiny ve vrtu HV-4



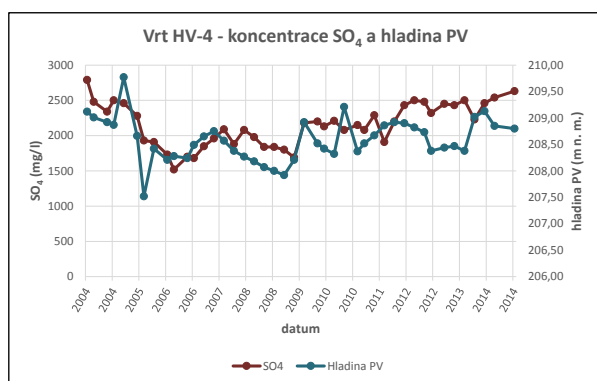
Obrázek 276: Graf koncentrace Mn a srážek ve vrtu HV-4



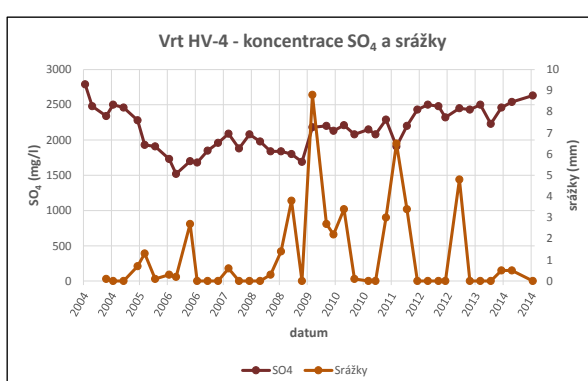
Obrázek 277: Graf koncentrace Zn a hladiny ve vrtu HV-4



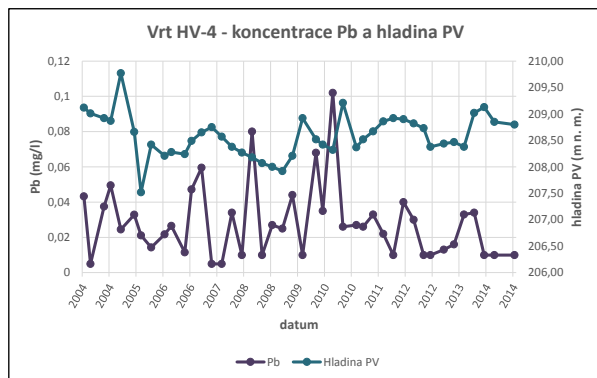
Obrázek 278: Graf koncentrace Zn a srážek ve vrtu HV-4



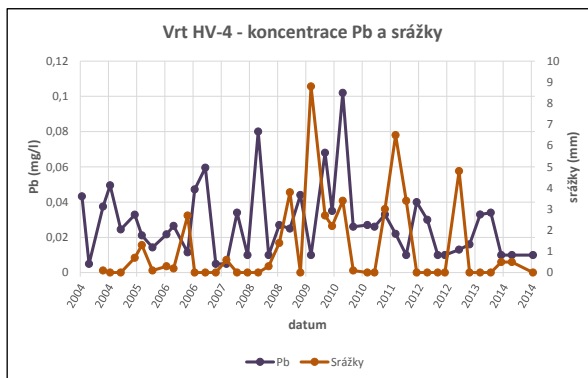
Obrázek 279: Graf koncentrace SO₄ a hladiny ve vrtu HV-4



Obrázek 280: Graf koncentrace SO₄ a srážek ve vrtu HV-4



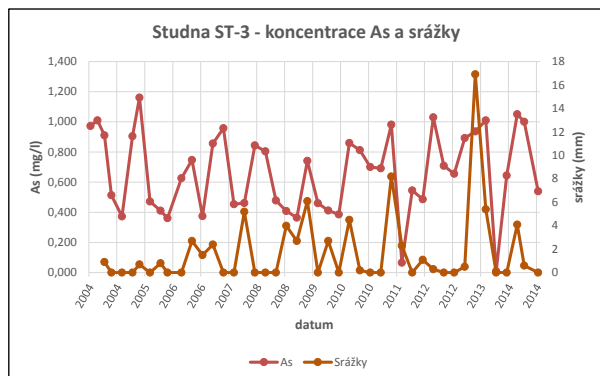
Obrázek 281: Graf koncentrace Pb a hladiny ve vrtu HV-4



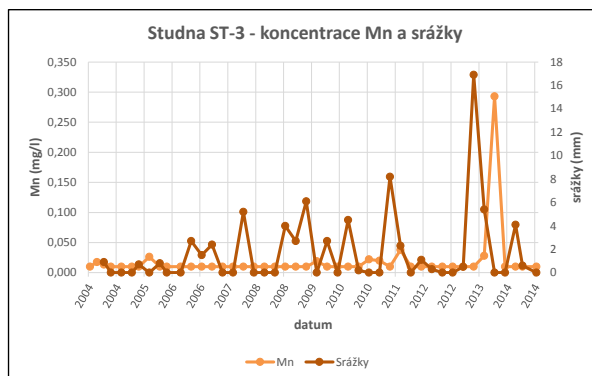
Obrázek 282: Graf koncentrace Pb a srážek ve vrtu HV-4

Studna ST-3

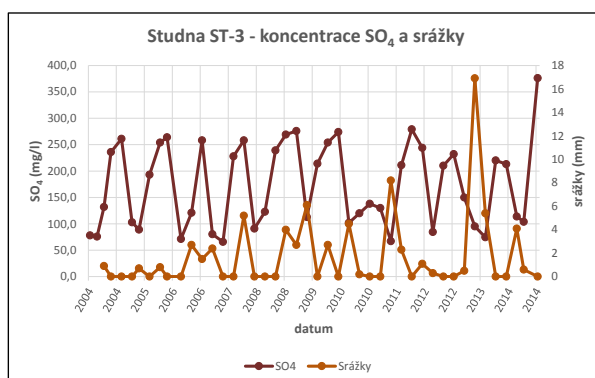
Voda ve studni se vyznačuje vysokými obsahy As (až přes 1 mg/l), které nebyly dosud vysvětleny a překračují hodnoty stanovené vyhláškou č. 5/2011 Sb. i vyhláškou č. 252/2004 Sb., která stanoví požadavky na pitnou vodu. Ty téměř každoročně překračují i sírany. Koncentrace As kolísá nezávisle na množství srážek (obrázek 283). Stejně tak sírany (obrázek 285). Mn vykazuje nárůst koncentrace po zvýšeném srážkovém úhrnu (obrázek 284).



Obrázek 283: Graf koncentrace As a srážek ve studni ST-3



Obrázek 284: Graf koncentrace Mn a srážek ve studni ST-3

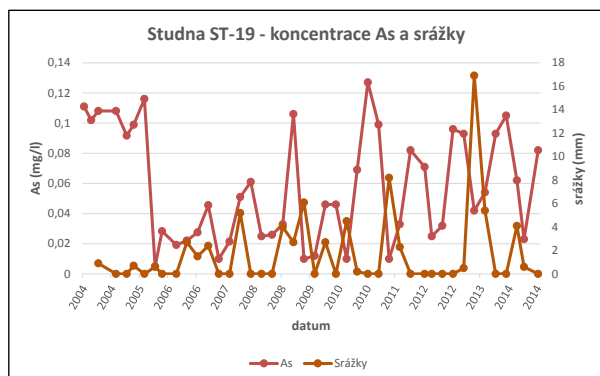


Obrázek 285: Graf koncentrace SO₄ a srážek ve studni ST-3

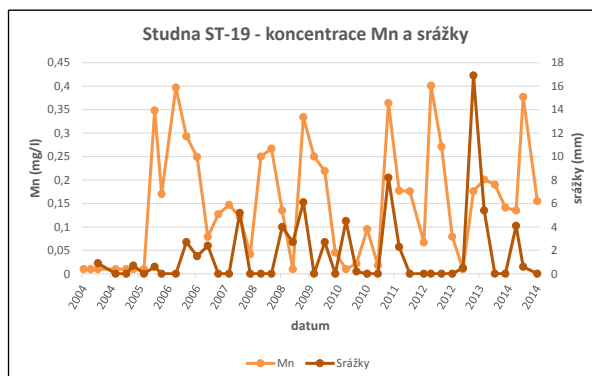
Studna ST-19

Monitorování bylo zahájeno v roce 2000. Ve vodě nebyl prokázán vývoj, který by indikoval rozšíření stratifikovaných důlních vod a zhoršení kvality po nastalé havarijní situaci na toku Beránka (Hušpauer 2002).

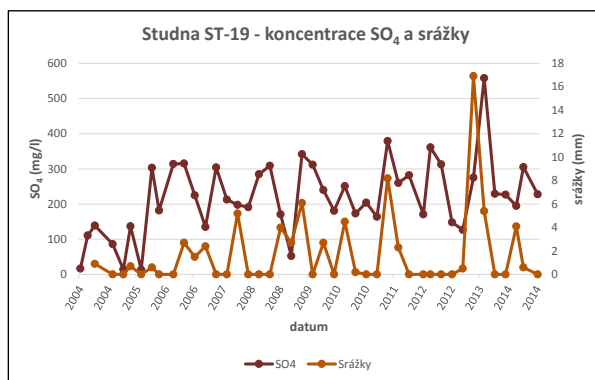
Vývoj As, Mn a SO₄ není ovlivněn srážkami (obrázky 286 až 288).



Obrázek 286: Graf koncentrace As a srážek ve studni ST-19



Obrázek 287: Graf koncentrace Mn a srážek ve studni ST-19

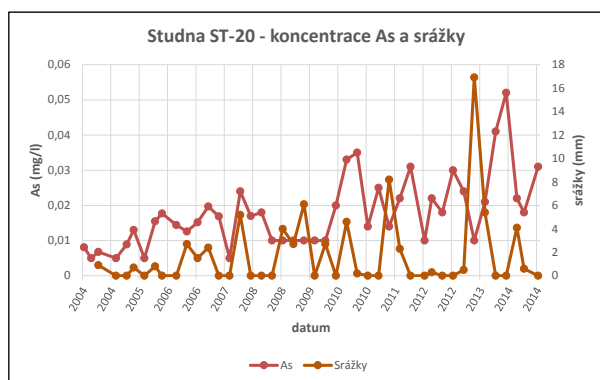


Obrázek 288: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve studni ST-19

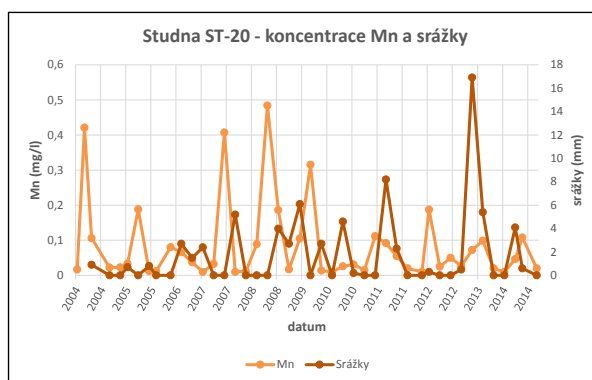
Studna ST-20

Monitoruje se také od roku 2000 a také zde nebylo zjištěno ovlivnění přetokem mineralizovaných důlních vod.

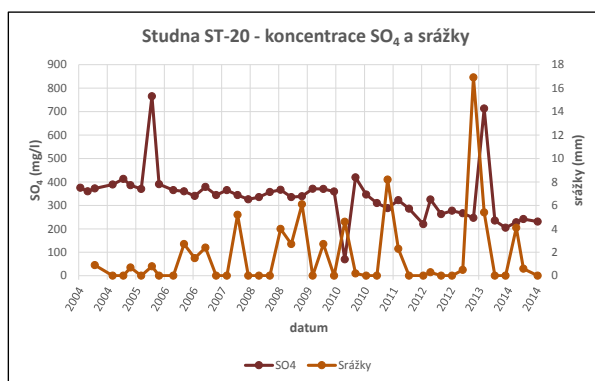
As má mírně stoupající trend spolu se srážkami (obrázek 289). Mn a SO_4 nejsou srážkami ovlivněny (obrázky 290 a 291).



Obrázek 289: Graf koncentrace As a srážek ve studni ST-20



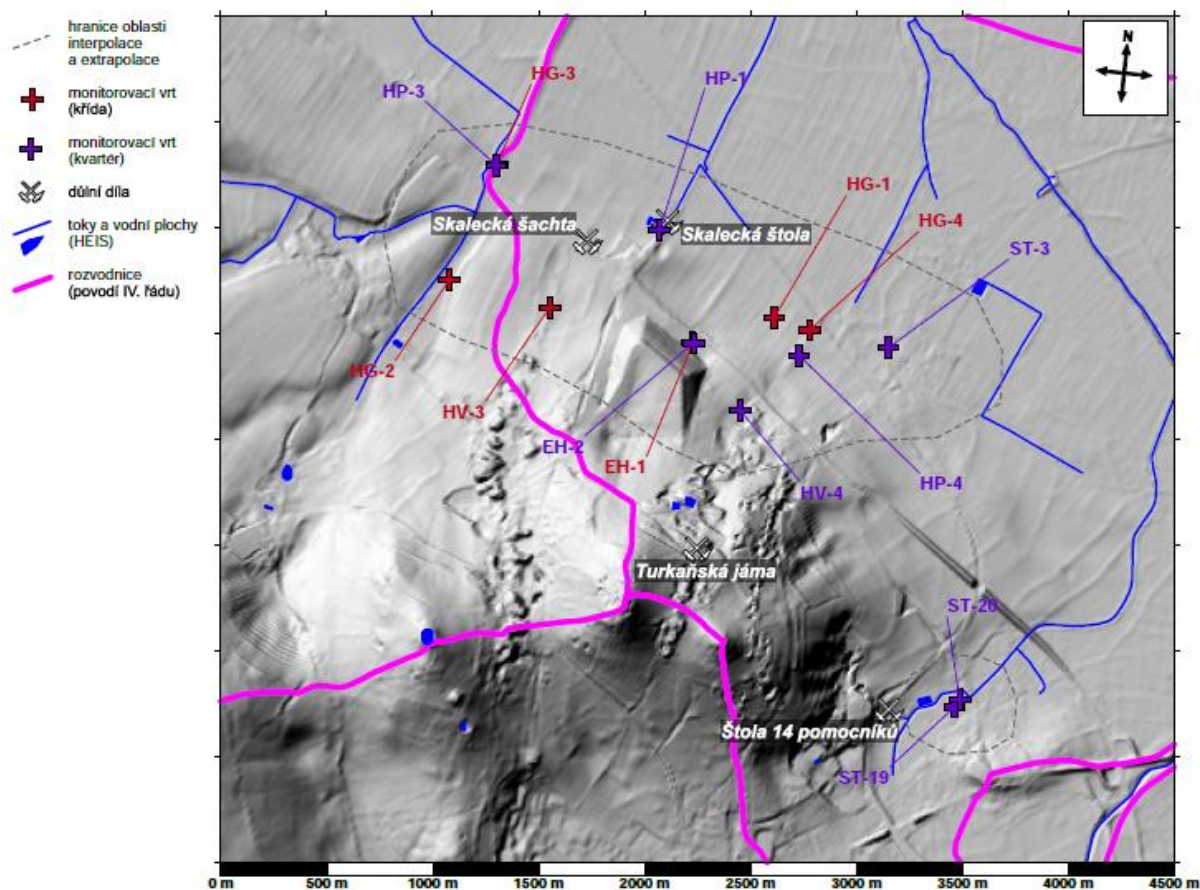
Obrázek 290: Graf koncentrace Mn a srážek ve studni ST-20



Obrázek 291: Graf koncentrace SO_4 a srážek ve studni ST-20

5.2.3 Mapy izolinií

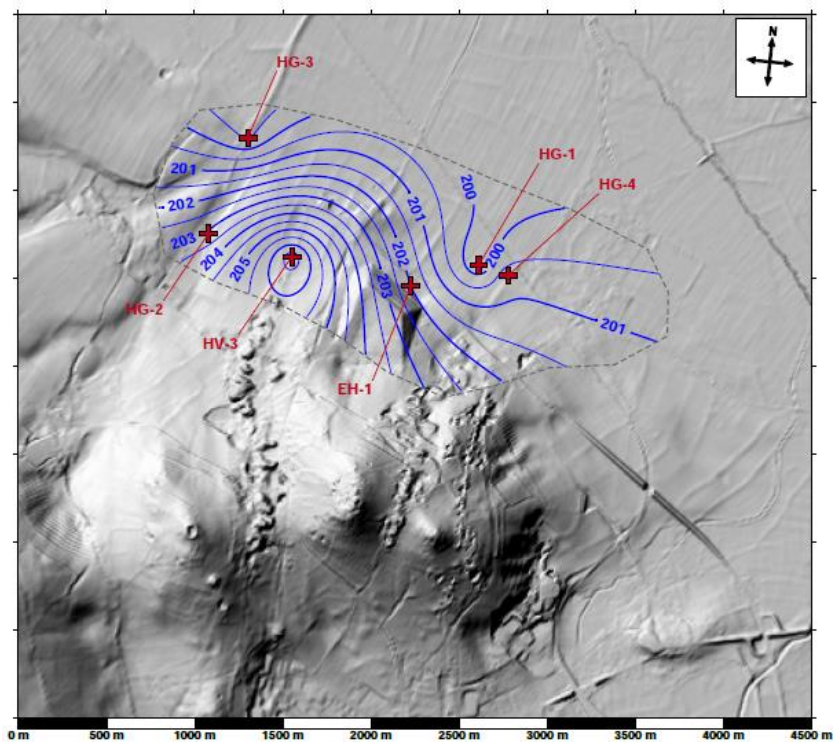
Pro zjištění směru proudění podzemních vod, propojenosti křídového a kvartérního kolektoru a rozložení koncentrací kontaminantů v prostoru a v čase byly vytvořeny mapy hydroizohyps pro kvartérní zvrstvení, hydroizopiez pro křídovou zvrstvení s napjatou hadinou a mapy izolinií koncentrací pro křídové a kvartérní vrty. Situace vrtů v terénu a vůči vodním tokům je zachycena na obrázku 292.



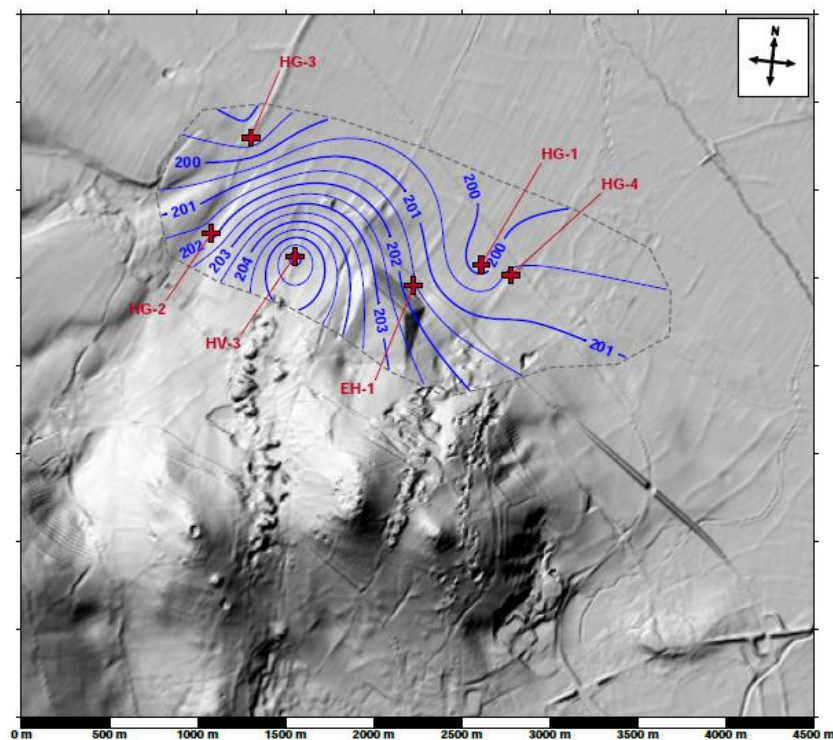
Obrázek 292: Situační mapa analyzovaných vrtů, vodních toků a rozvodí

5.2.3.1 Hydroizopiezy a hydroizohypsy

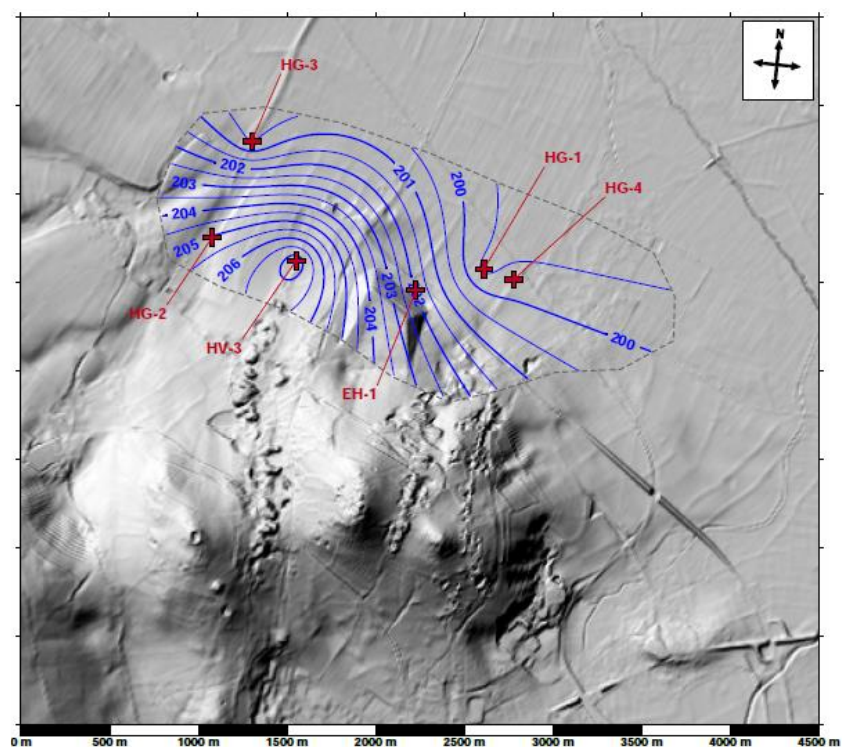
Z obrázků 293 až 295 je patrný hlavní směr proudění podzemní vody v křídové zvodni. Je znázorněn hydroizopiezami hladin vody ve rtech, které klesají severovýchodním směrem. V čase je tento trend konstantní.



Obrázek 293: Hydroizopiezy křídové zvodně v roce 2006 v m n. m.

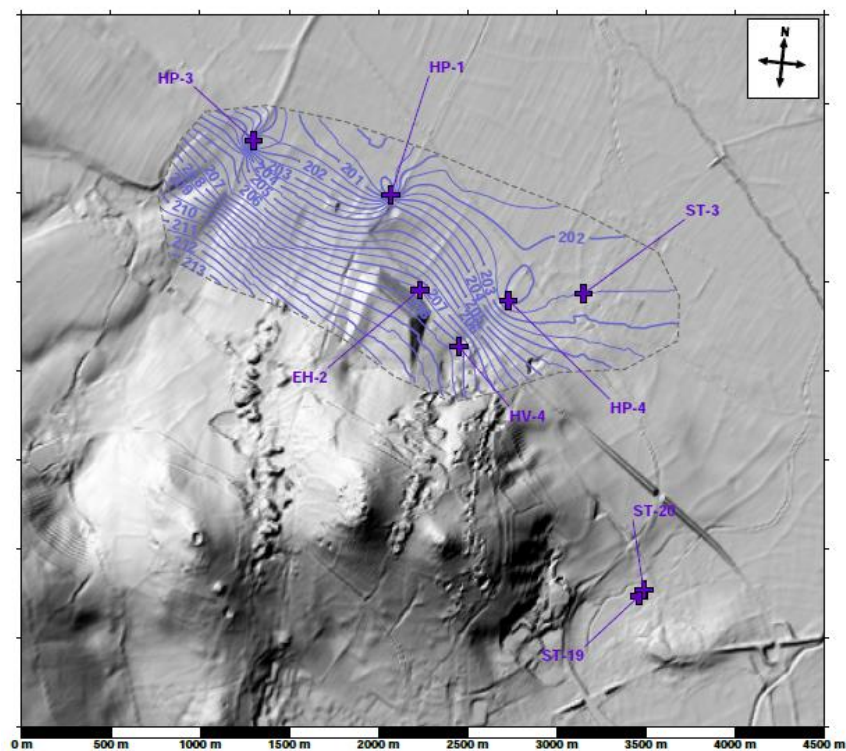


Obrázek 294: Hydroizopiezy křídové zvodně v roce 2010 v m n. m.

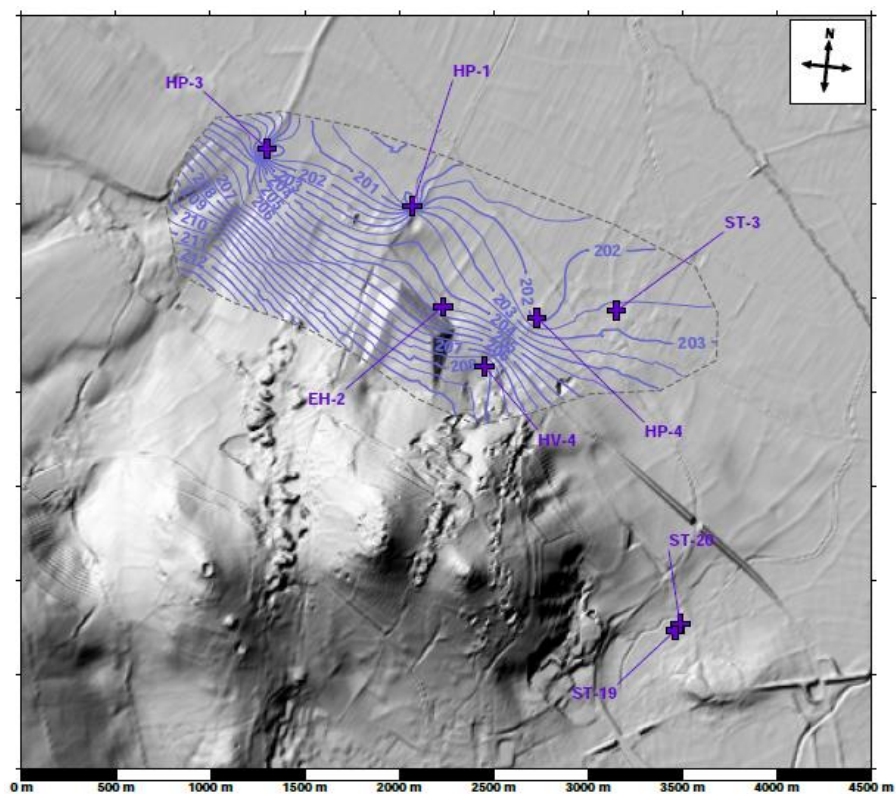


Obrázek 295: Hydroizopiezy křídové zvodně v roce 2014 v m n. m.

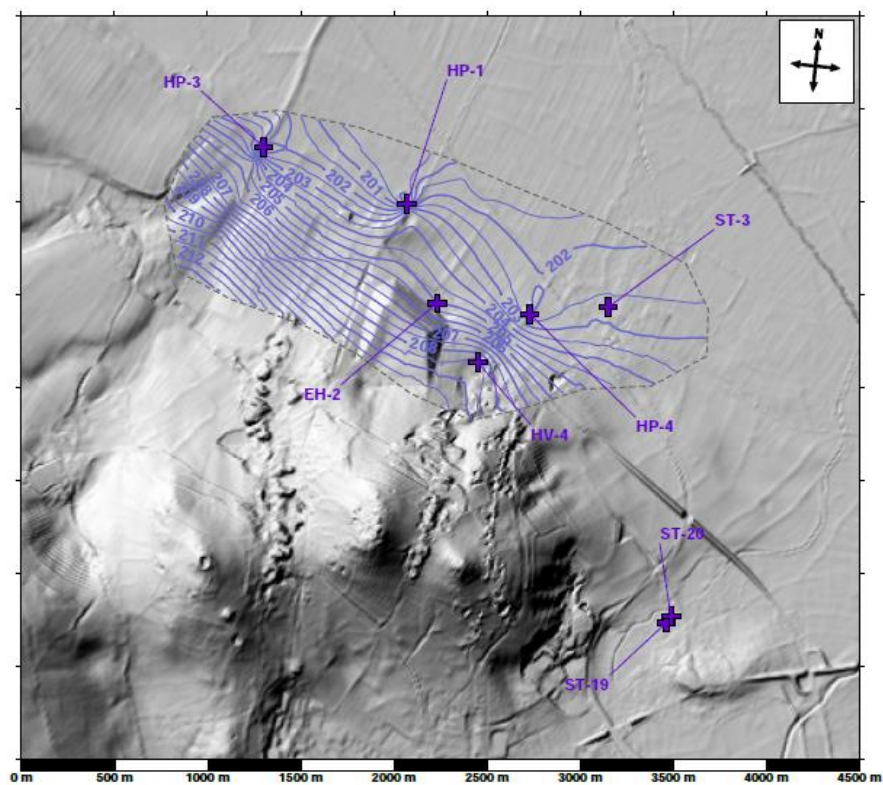
Výpočet hydroizohyps kvartérní zvodně byl zpřesněn zahuštěním sítě bodů o vodní toky. Zde je v průběhu let patrný směr proudění spíše více na východ (obrázky 296-298).



Obrázek 296: Hydroizohypsy kvartérní zvodně v roce 2006 v m n. m.

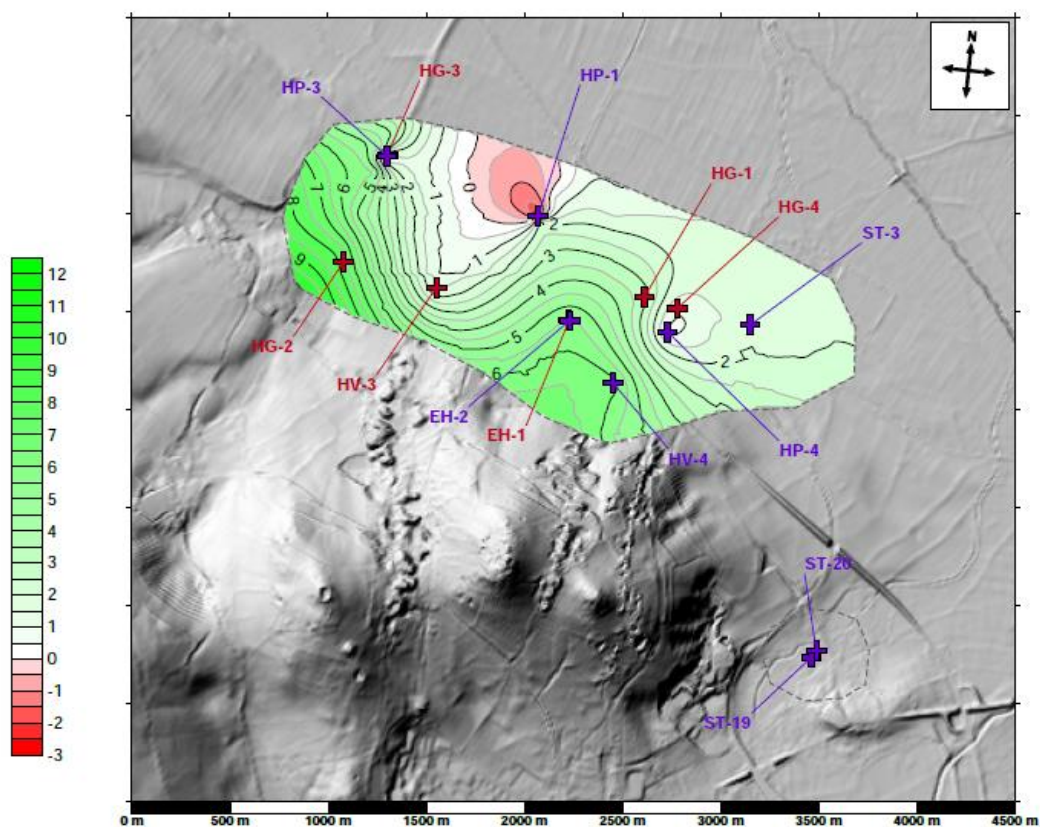


Obrázek 297: Hydroizohypsy křídové zvodně v roce 2010 v m n. m.

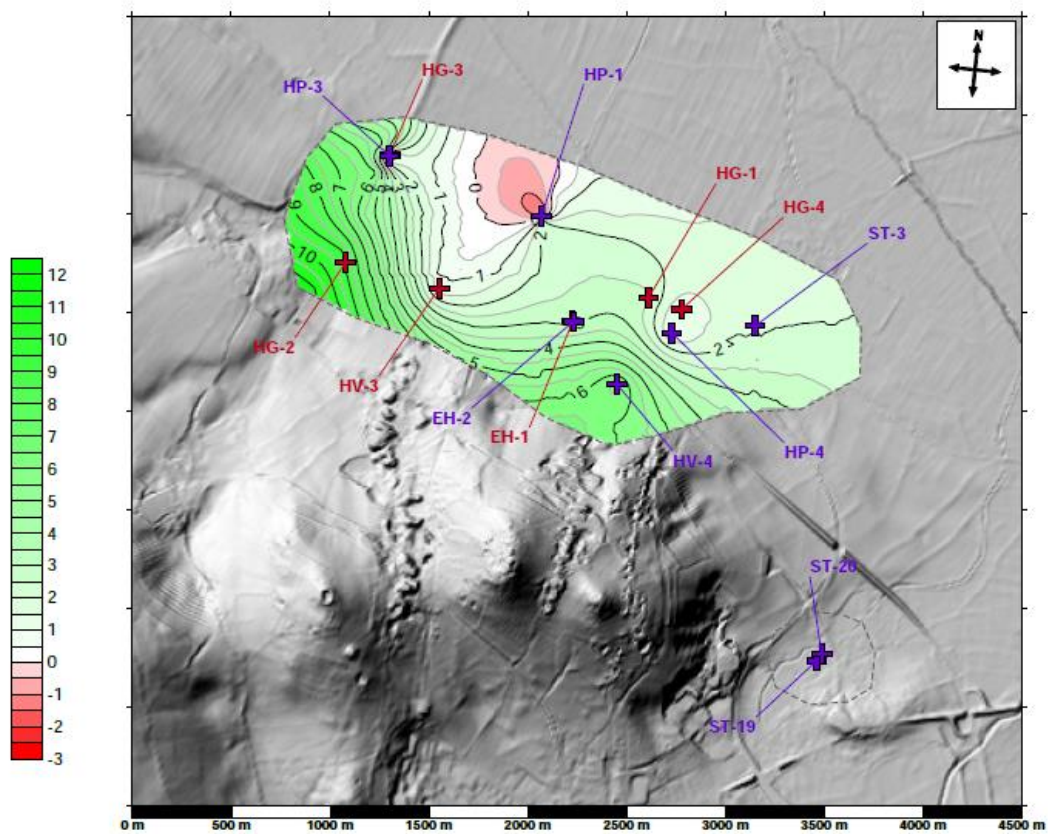


Obrázek 298: Hydroizohypsy kvartérní zvodně v roce 2014 v m n. m.

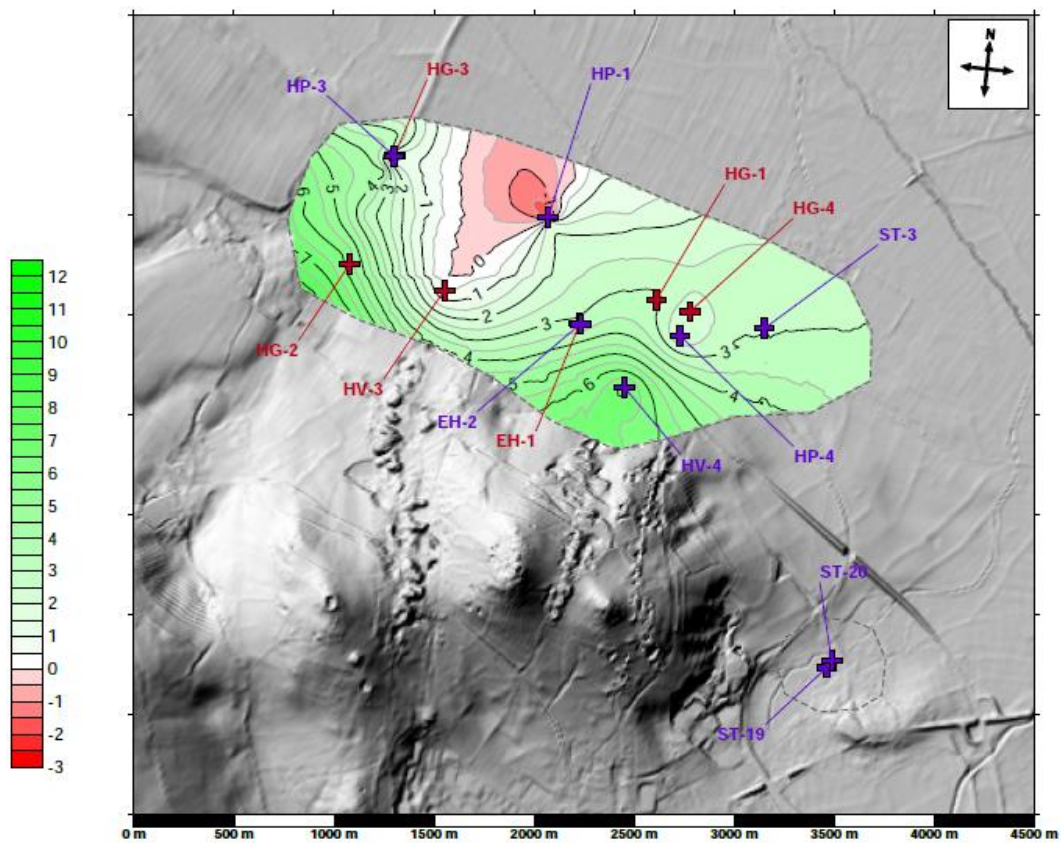
Rozdílem hladin křídové a kvartérní zvodně, vyjádřeným izoliniemi na obrázcích 293, 294 a 295, jsem zjišťovala, zda existuje možnost přetoku křídových vod do kvartérních. Vrstvy slínovce, které tvoří izolátor mezi kolektory, by mohly být v okrajových částech křídových sedimentů rozpukané a denudované a napjatá křídová hladina by mohla vystupovat na úroveň kvartérní hladiny. To se však nepotvrdilo a obě zvodně jsou s největší pravděpodobností dobře oddělené. Oblast záporných hodnot na mapách zobrazena červeně by mohla být potenciální oblastí propojení zvodní, ale záporné hodnoty vznikly pravděpodobně chybnou interpolací. V kvartérním vrtu HP-1 je hladina relativně nízko a okolní křídové vrty, podle kterých byla vypočítána hladina křídové zvodně v okolí kvartérního vrtu, jsou velmi vzdálené. Vrt HV-3 je navíc ve svahu a má tedy hladinu výrazně výš. Vzniká tak chybná hodnota. Vývoj v letech 2006, 2010 a 2014 je na obrázcích 299 až 301.



Obrázek 299: Izolinie rozdílu hladin křídové a kvartérní zvodně v roce 2006 v metrech



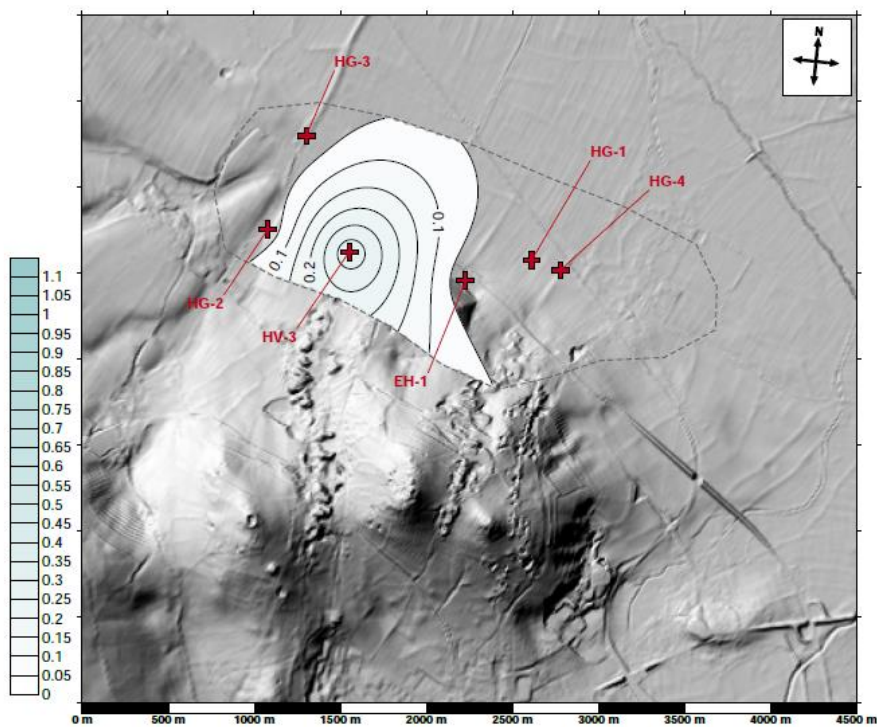
Obrázek 300: Izolinie rozdílu hladin křídové a kvartérní zvodně v roce 2010 v metrech



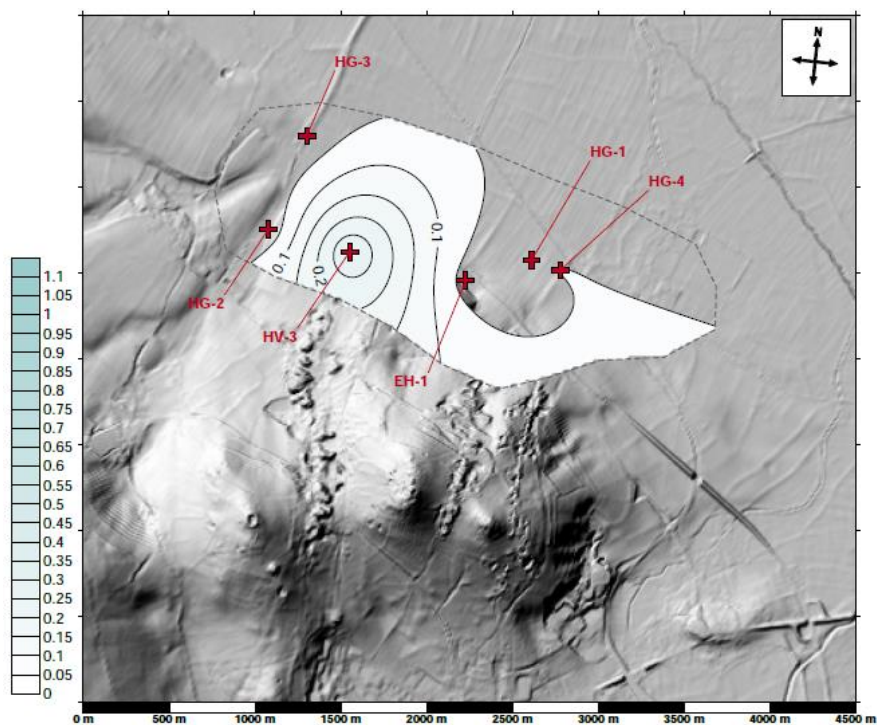
Obrázek 301: Izolinie rozdílu hladin křídové a kvartérní zvodně v roce 2014 v metrech

Izolinie koncentrací v křídové zvodni

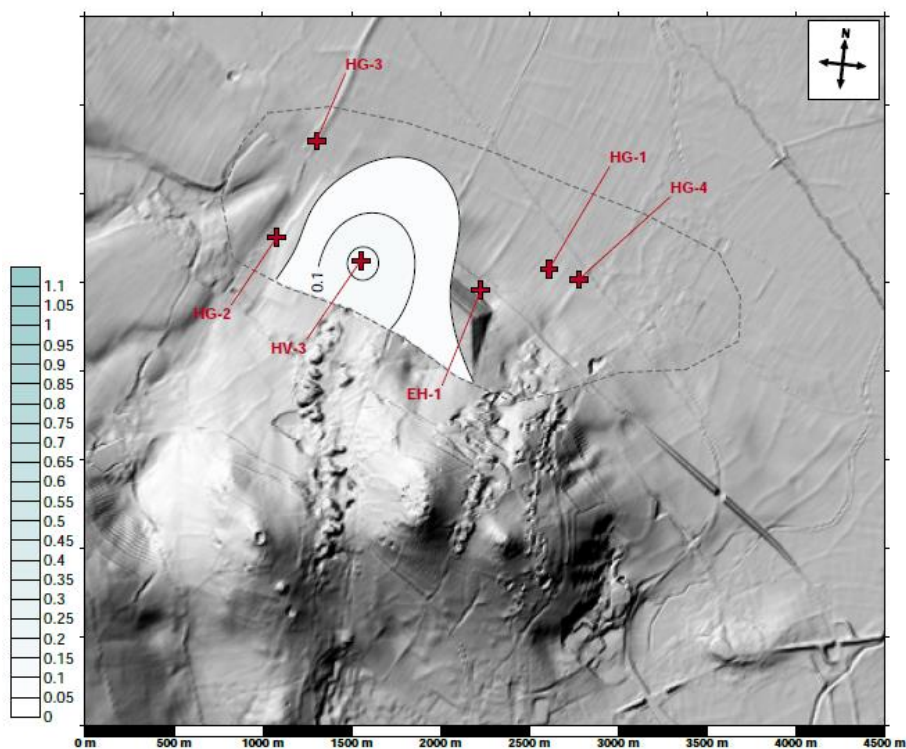
V křídové zvodni jsou nejvyšší koncentrace As v okolí vrtu HV-3. Zvýšená koncentrace As pochází z rozsáhlých středověkých hald, které jsou viditelné 3D snímku podkladu obrázků 302 až 304. Na obrázcích je dále vidět, že koncentrace As v čase kolísá a je pravděpodobně závislá na srážkách a množství vyplaveného As z haldového materiálu.



Obrázek 302: Izolinie koncentrací As v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l

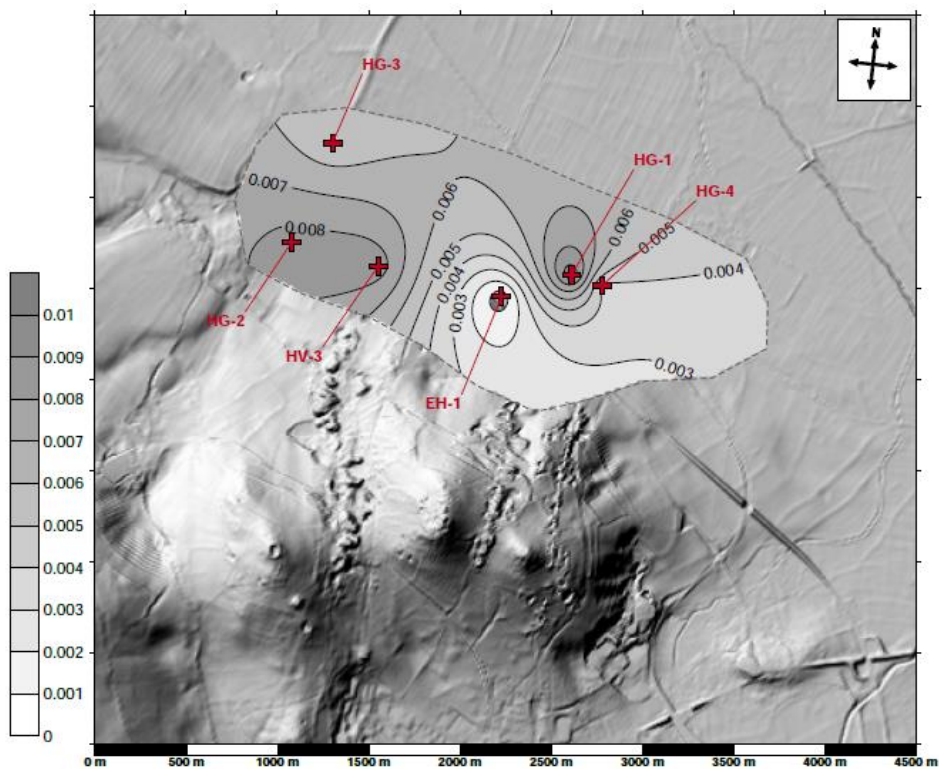


Obrázek 303: Izolinie koncentrací As v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l

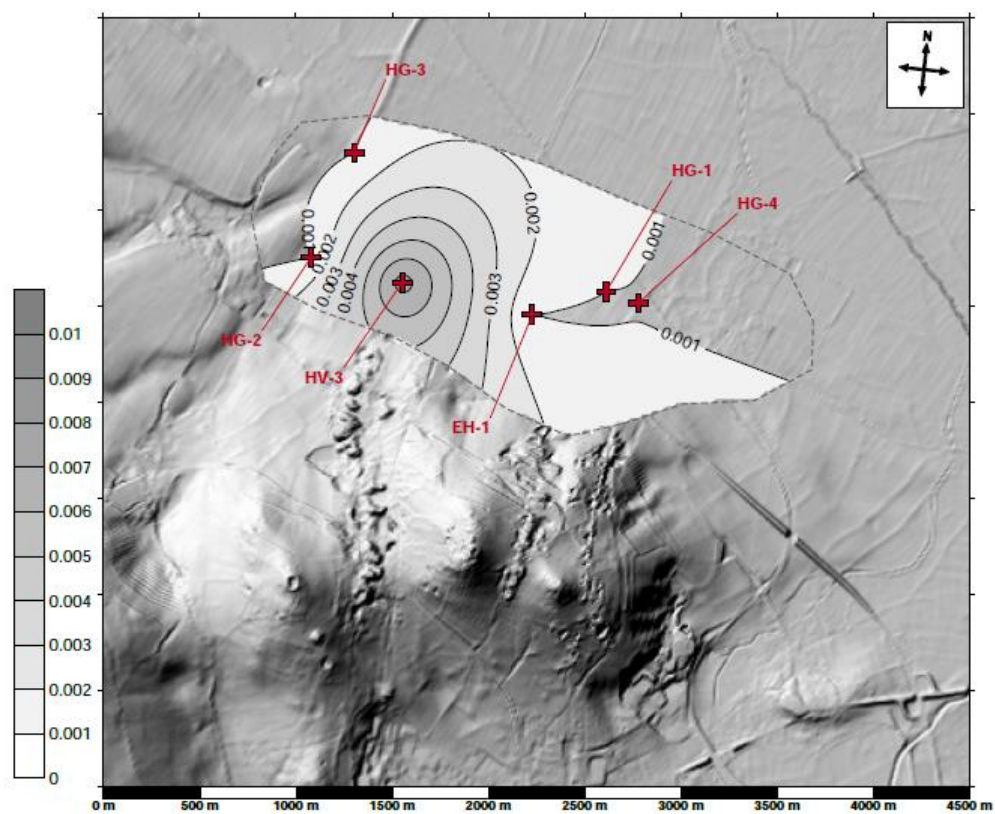


Obrázek 304: Izolinie koncentrací As v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l

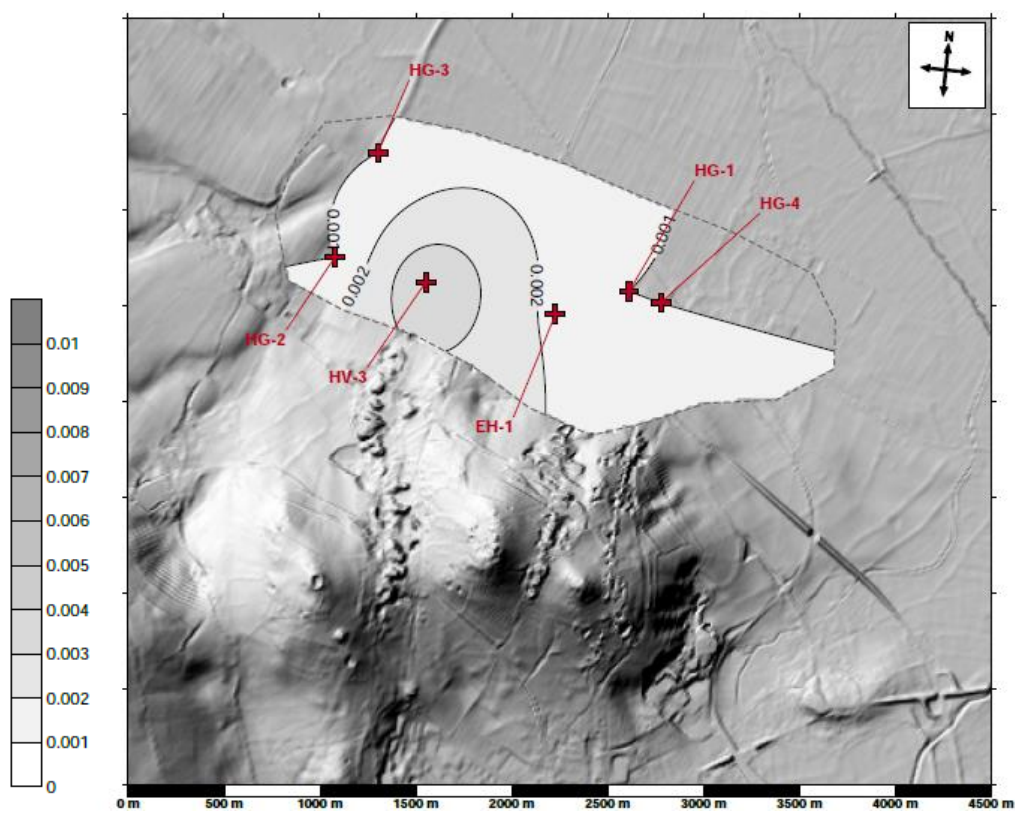
Koncentrace Cd je velmi proměnlivá v prostoru i v čase. Ve vybraných letech jsou zvýšenými koncentracemi křídové vody ovlivněny nejvíce v oblasti vrtu HV-3 (obrázky 305 až 307).



Obrázek 305: Izolinie koncentrací Cd v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l

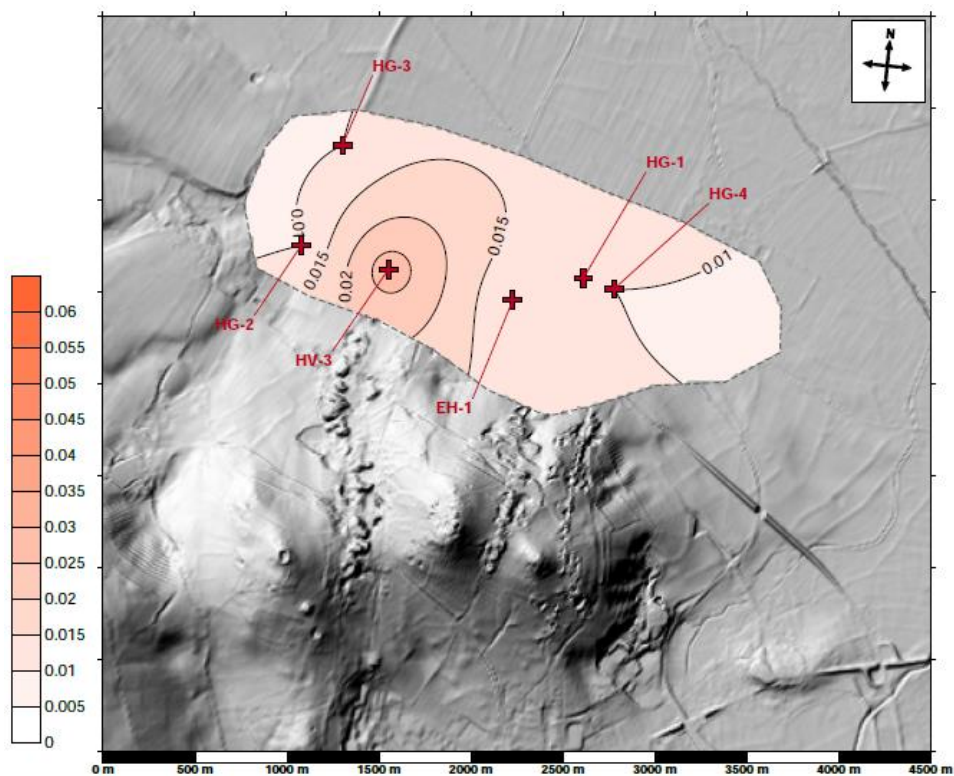


Obrázek 306: Izolinie koncentrací Cd v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l



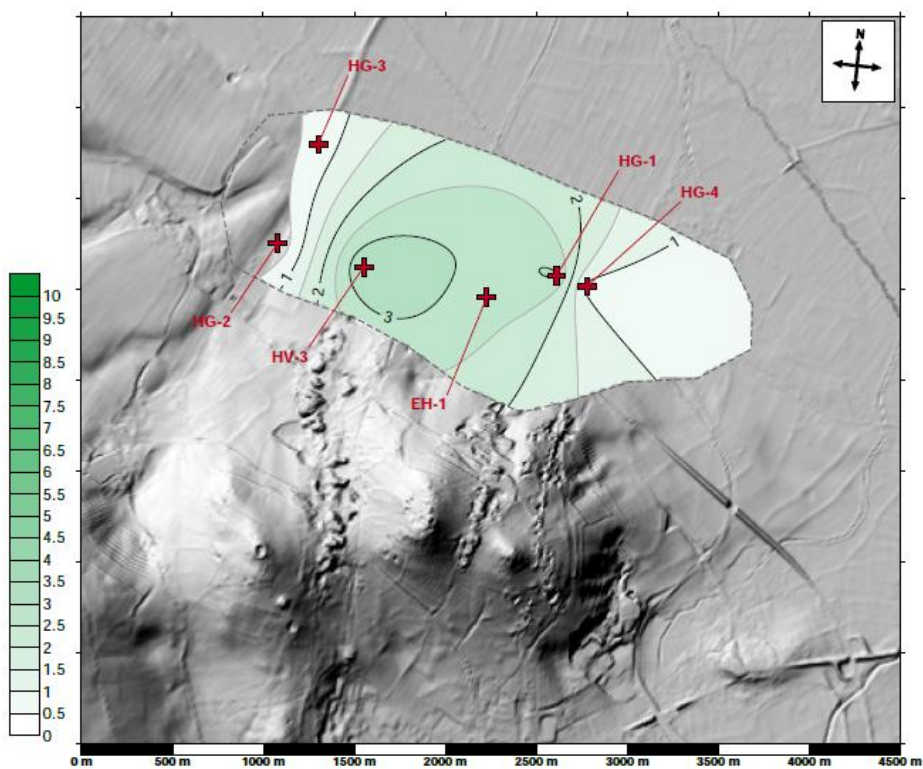
Obrázek 307: Izolinie koncentrací Cd v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l

Koncentrace Cu je zobrazena pouze na mapě z roku 2006, protože v dalších letech byly koncentrace velmi nízké a nebyla možná interpolace (obrázek 308). Nejvyšší koncentrace opět v okolí vrtu HV-3.



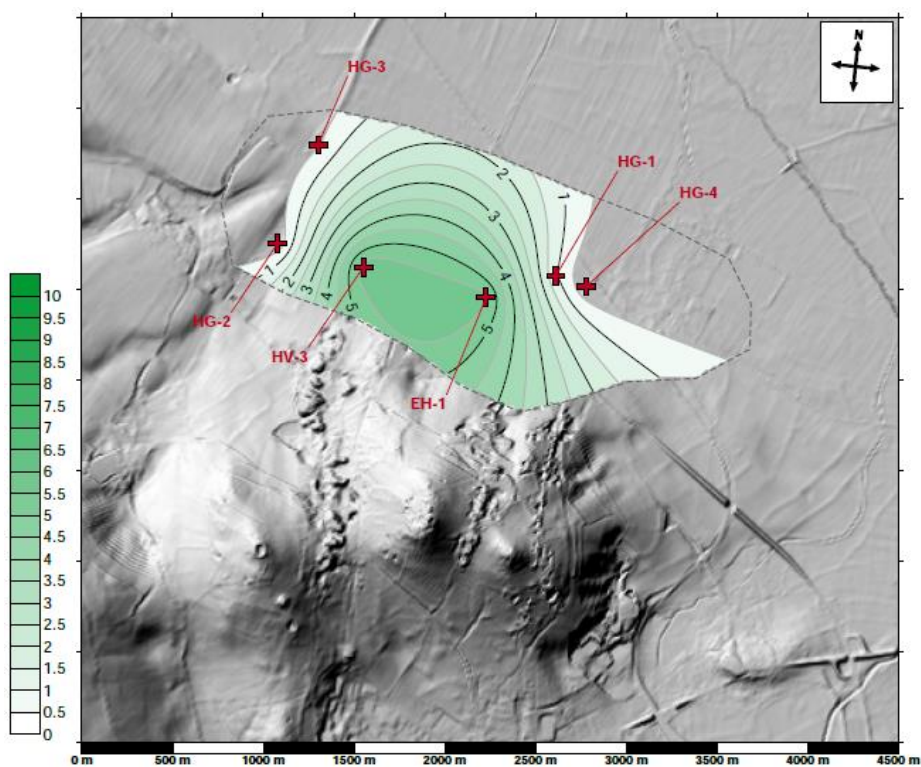
Obrázek 308: Izolinie koncentrací Cu v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l

Koncentrace Fe ve Vrtu HV-3 klesá i podle grafického vyhodnocení (viz kapitola 5.2.2.2).

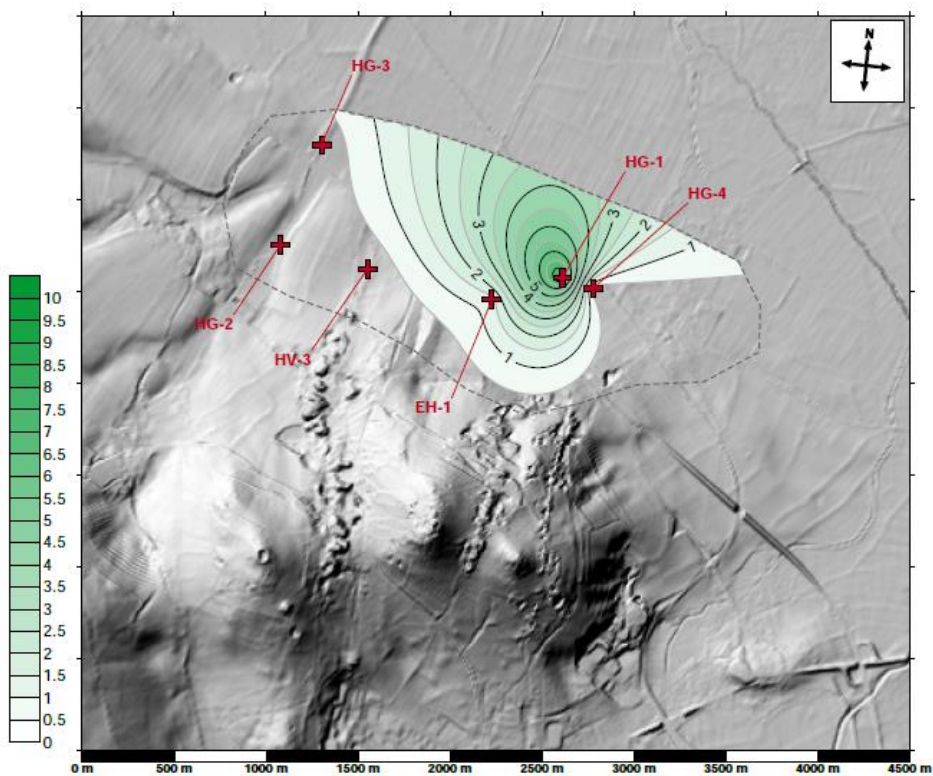


Obrázek 309: Izolinie koncentrací Fe v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l

Z obrázků 309 až 311 se můžeme domnívat, že se zvýšená koncentrace Fe v křídové zvodni posouvala ve směru proudění podzemní vody od vrtu HV-3 směrem k vrtu HG-1, ve kterém však koncentrace Fe kolísá a v roce 2014 zde narůstá nezávisle na srážkách (obrázek 311).

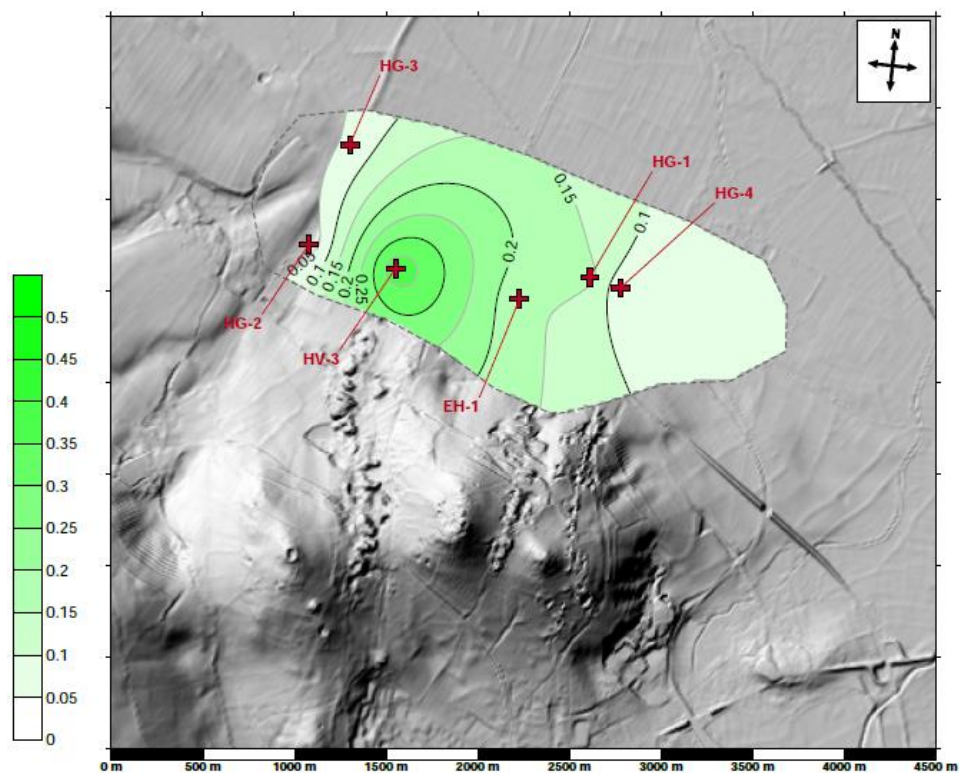


Obrázek 310: Izolinie koncentrací Fe v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l

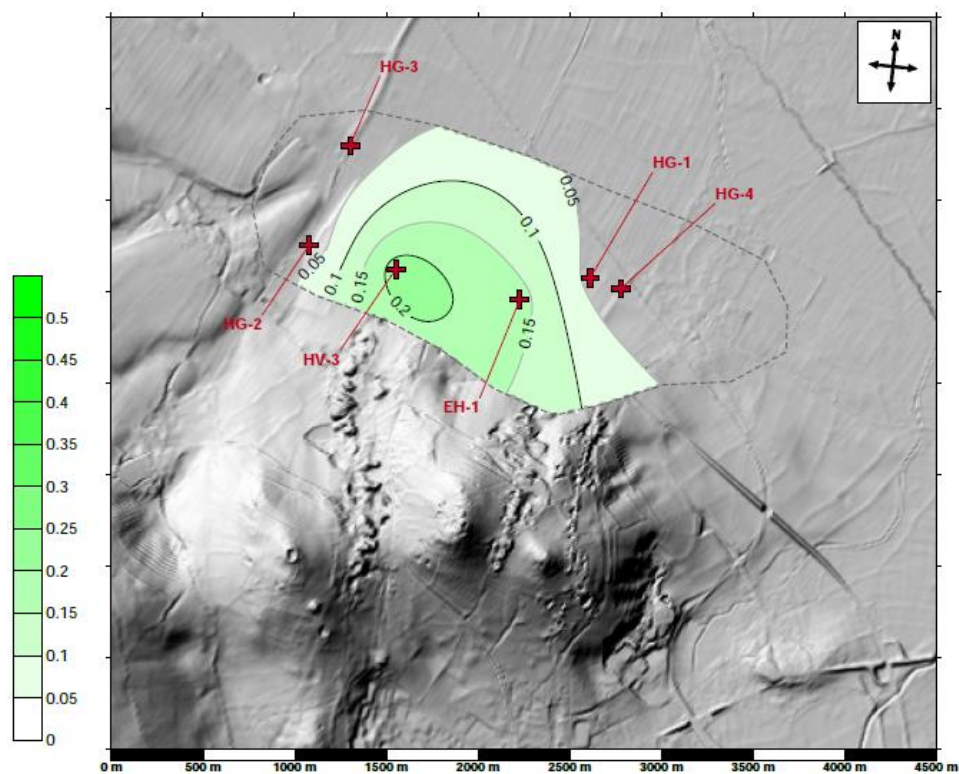


Obrázek 311: Izolinie koncentrací Fe v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l

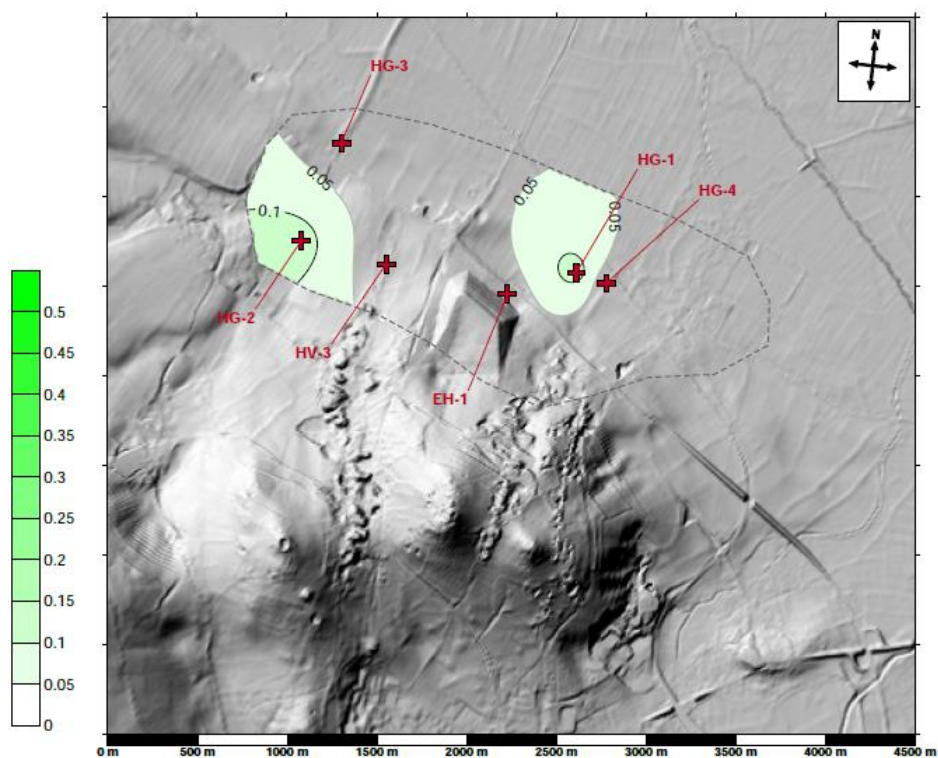
Obrázky 312 až 314 zobrazují vývoj koncentrace Mn, který kolísá v jednotlivých letech i v jednotlivých vrtech. Téměř nulové koncentrace na vrtu HV-3 v roce 2014 mohou být způsobeny nižšími srážkami.



Obrázek 312: Izolinie koncentrací Mn v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l

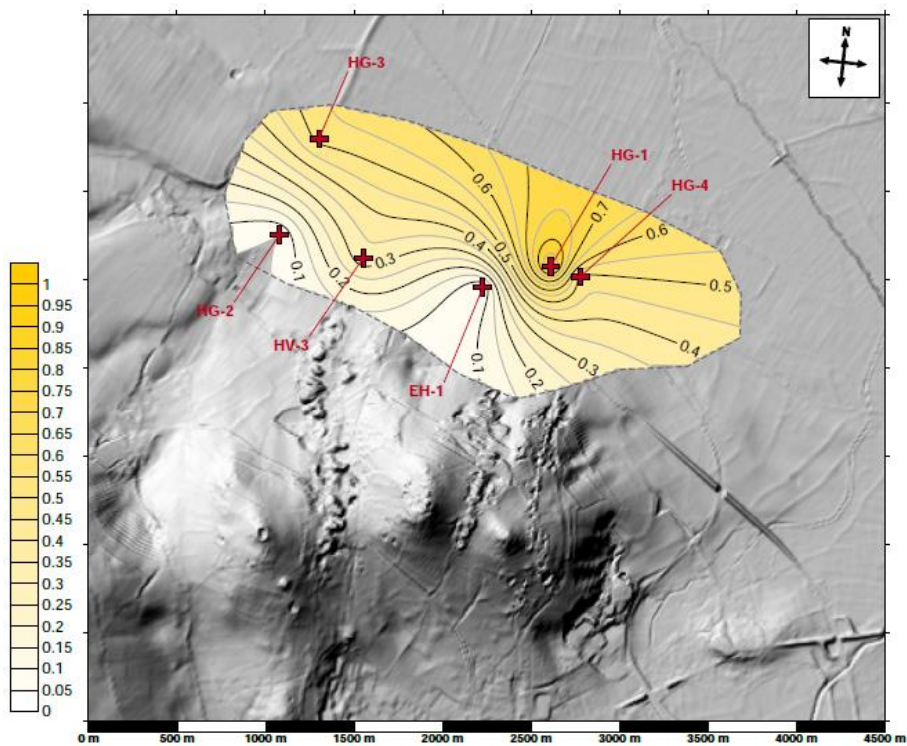


Obrázek 313: Izolinie koncentrací Mn v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l

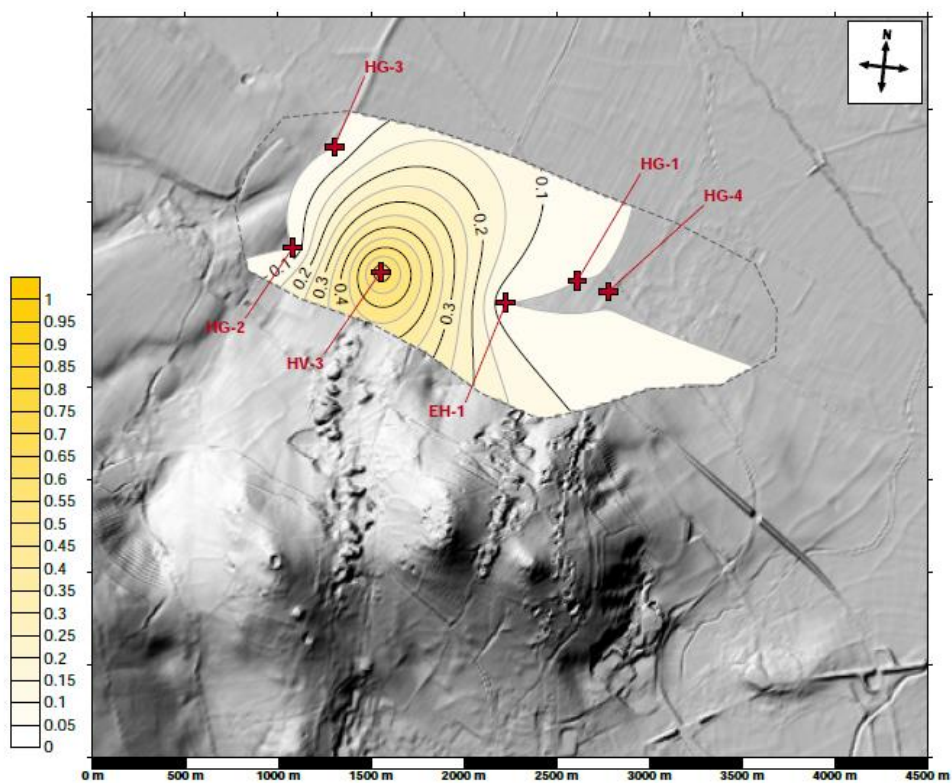


Obrázek 314: Izolinie koncentrací Mn v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l

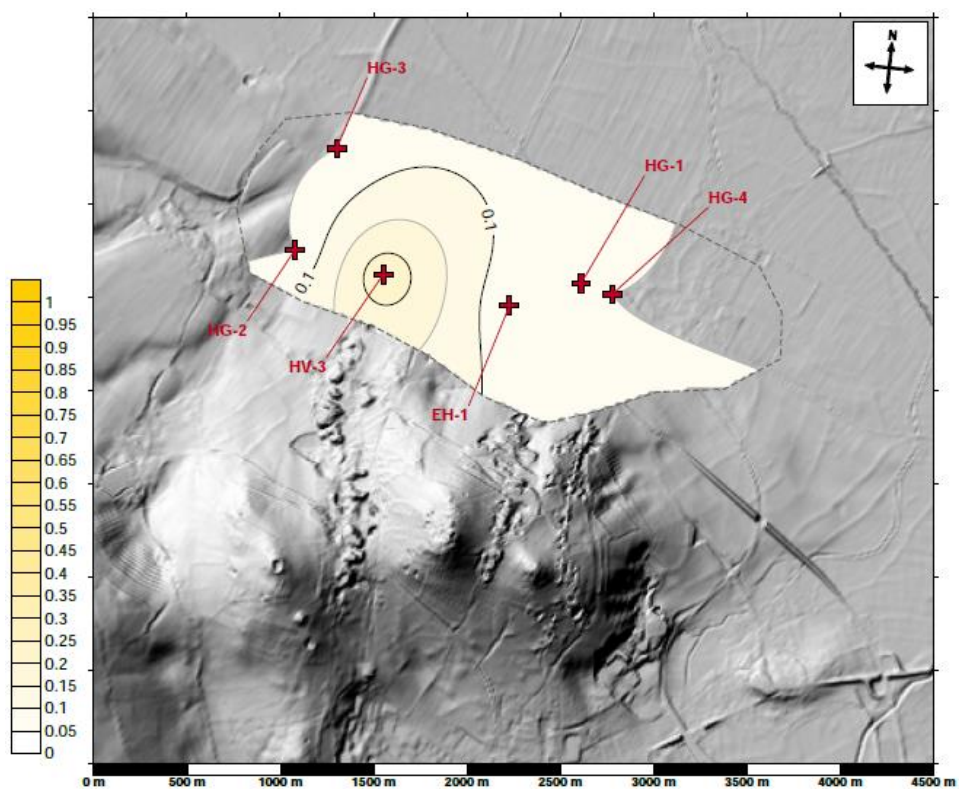
Koncentrace Zn je také velmi proměnlivá v prostoru i v čase. Jak se mění hodnota koncentrace mezi vrtů, zobrazují obrázky 315 až 317.



Obrázek 315: Izolinie koncentrací Zn v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l

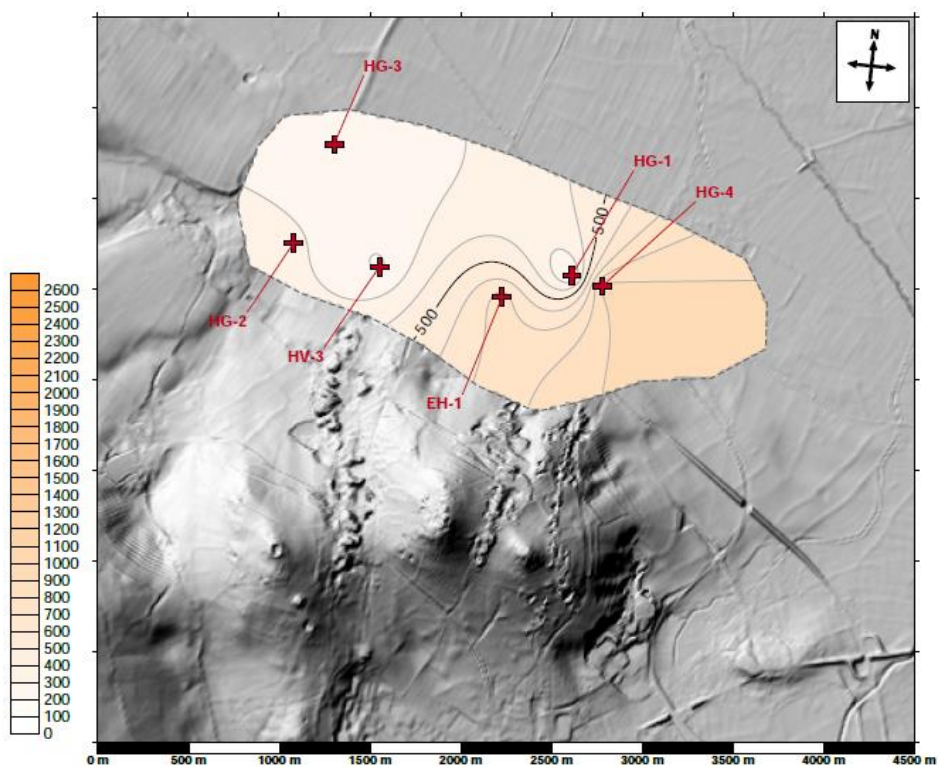


Obrázek 316: Izolinie koncentrací Zn v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l

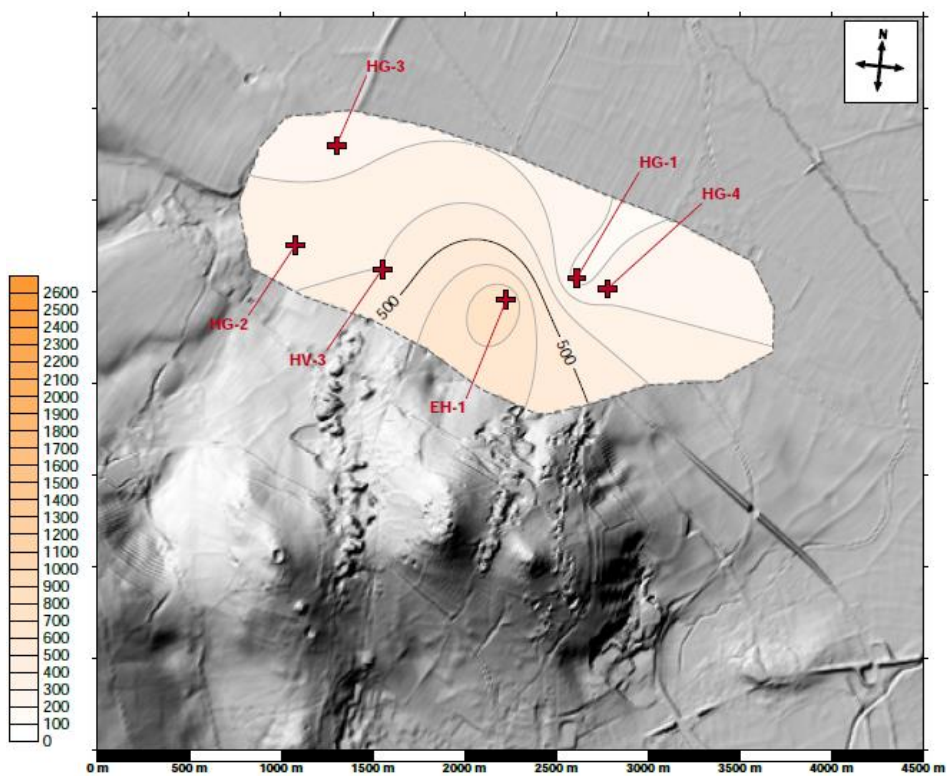


Obrázek 317: Izolinie koncentrací Zn v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l

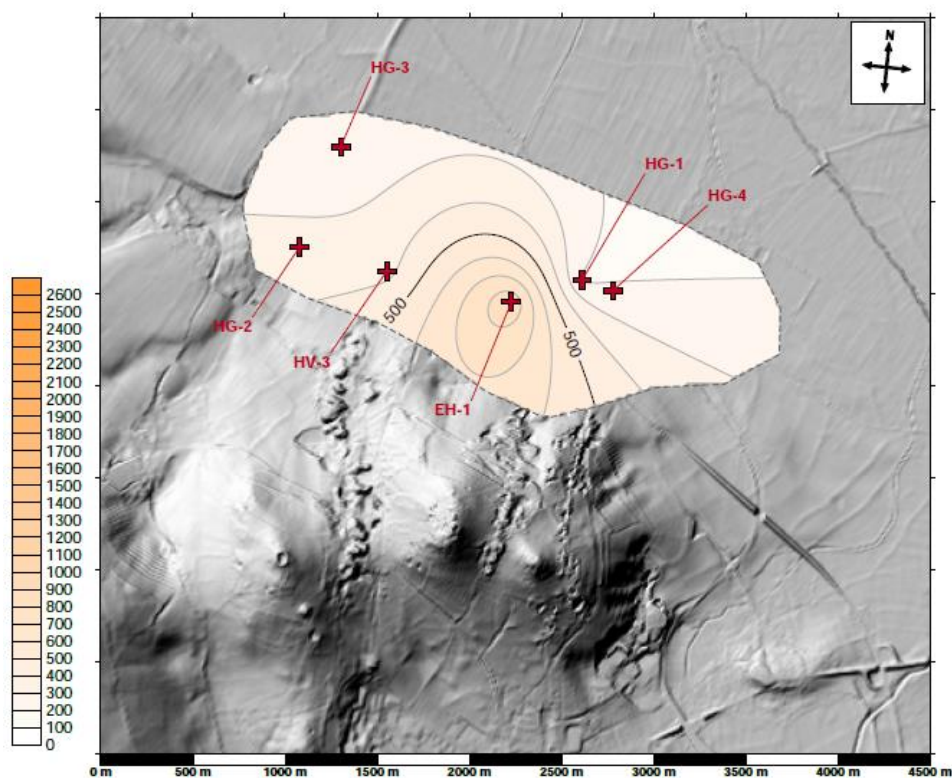
Koncentrace síranů v křídové zvodni je nejvyšší koncentrace v okolí vrtu EH-1 a ve směru proudění podzemních vod. Vrt EH-1 je lokalizován pod odkalištěm a vyplavování kontaminantů je ovlivněno srážkami. Síraný však srážkami ovlivněny nejsou. Vývoj koncentrace je na obrázcích 318 až 320.



Obrázek 318: Izolinie koncentrací SO_4 v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l

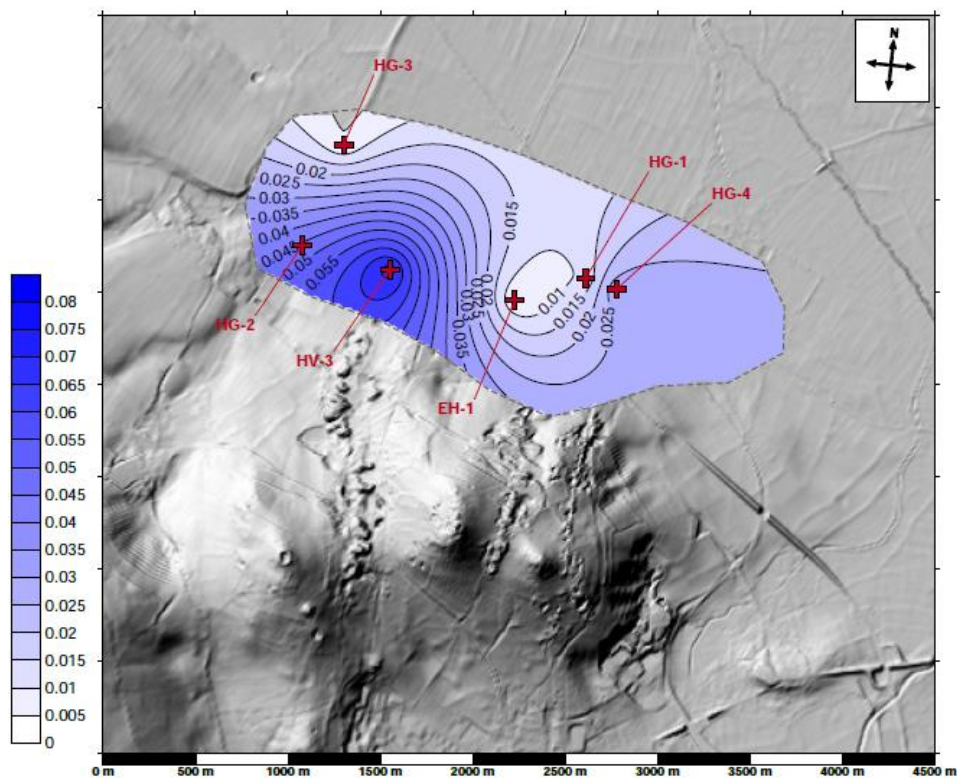


Obrázek 319: Izolinie koncentrací SO_4 v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l

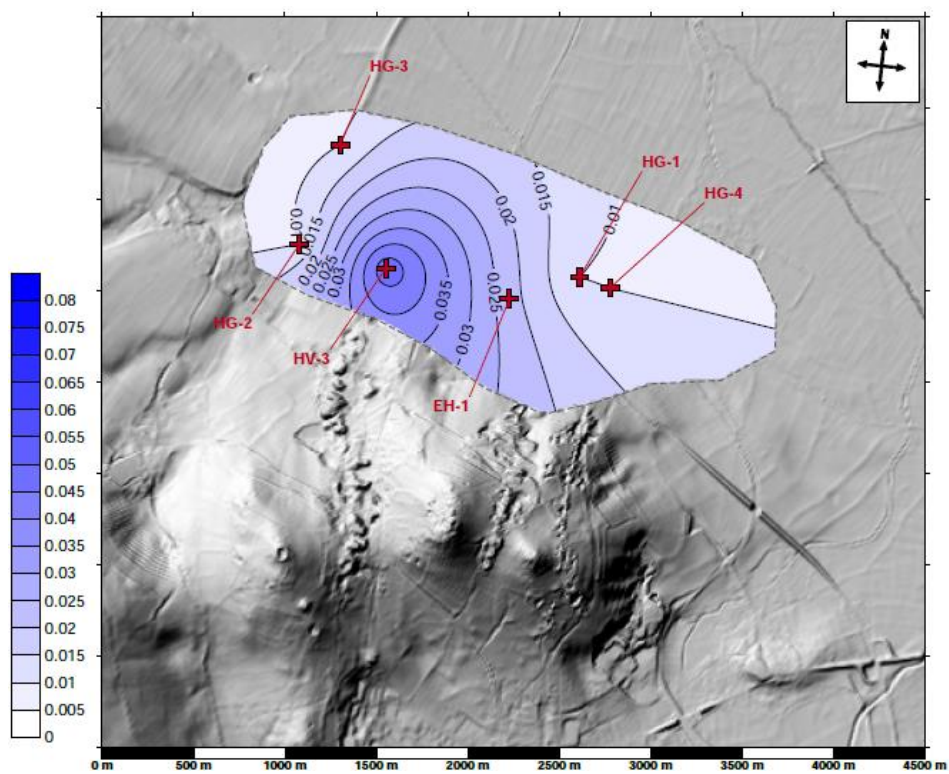


Obrázek 320: Izolinie koncentrací SO_4 v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l

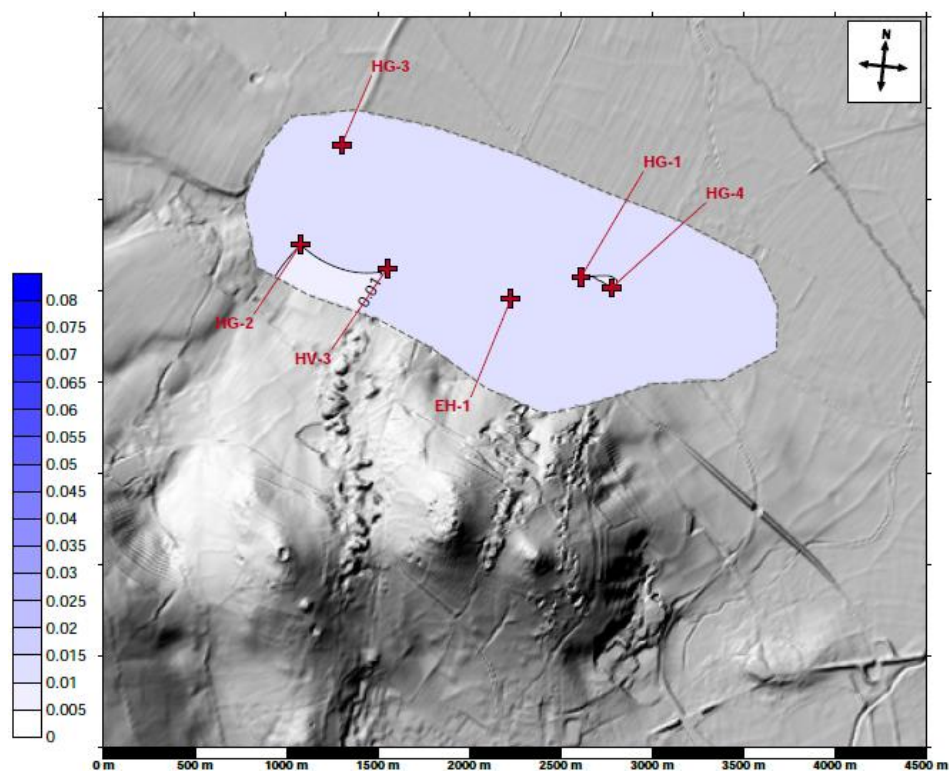
Pb je v křídové zvodni koncentrováno také kolem vrtu HV-3, kde jeho koncentrace v průběhu sledovaného období klesá. Ukazují to grafy v kapitole 5.2.2.2 i obrázky 321 až 323.



Obrázek 321: Izolinie koncentrací Pb v křídové zvodni v roce 2006 v mg/l



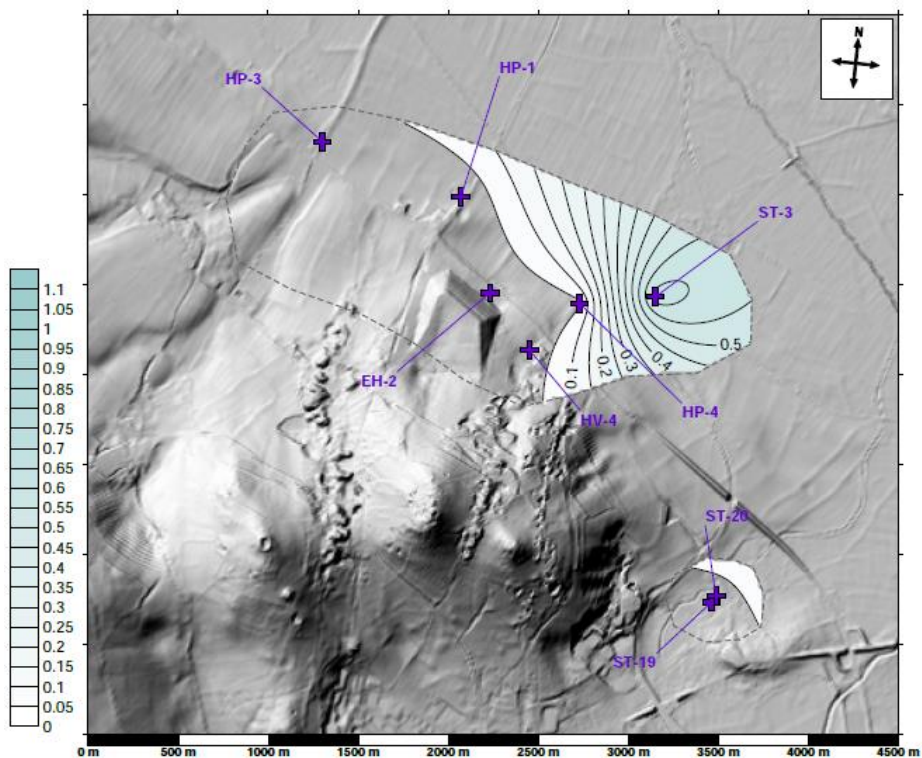
Obrázek 322: Izolinie koncentrací Pb v křídové zvodni v roce 2010 v mg/l



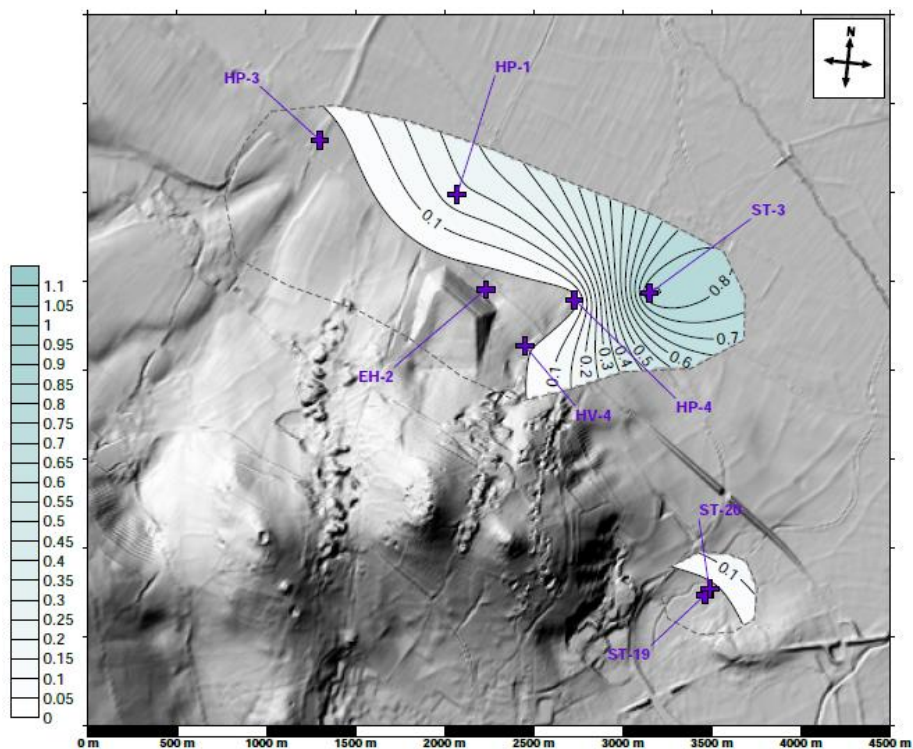
Obrázek 323: Izolinie koncentrací Pb v křídové zvodni v roce 2014 v mg/l

5.2.3.2 Izolinie koncentrací v kvartérní zvodni

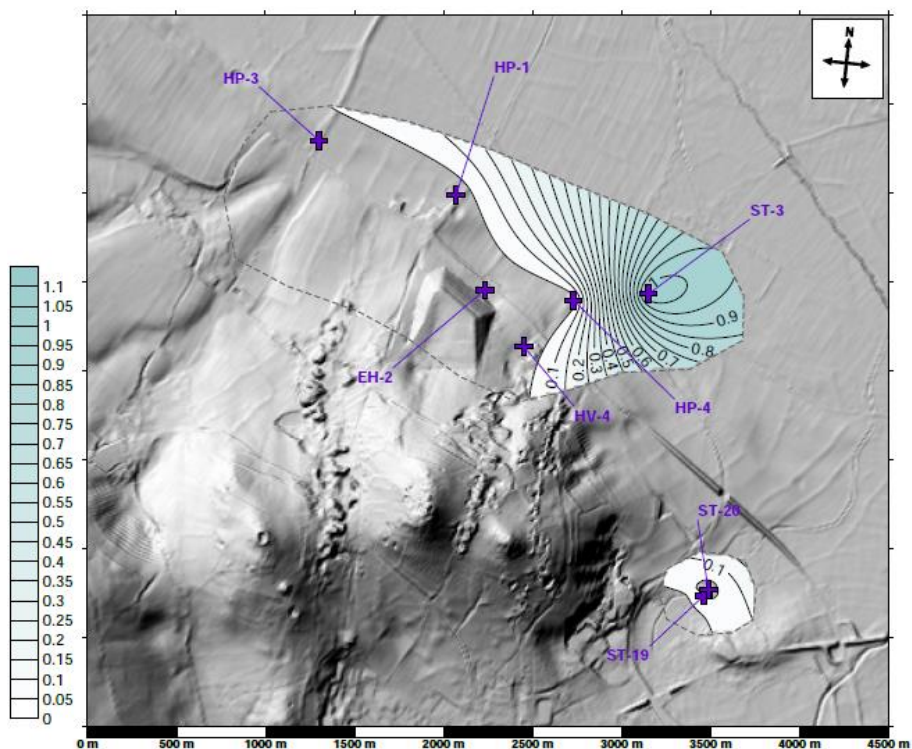
As je v kvartérní zvodni koncentrován nejvýrazněji v okolí studny ST-3, kde v průběhu let kolísá, ale nemá klesající ani stoupající charakter. Dosahuje zde až pětkrát vyšší hodnoty než v křídové zvodni. Ukazují to obrázky 324 až 236.



Obrázek 324: Izolinie koncentrací As v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l

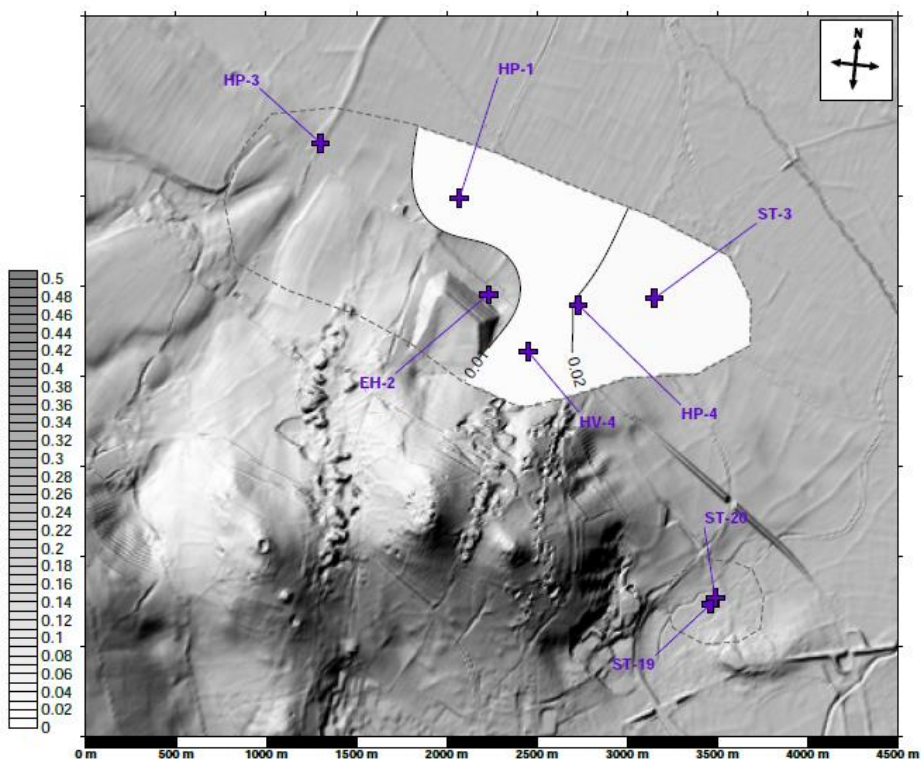


Obrázek 325: Izolinie koncentrací As v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l

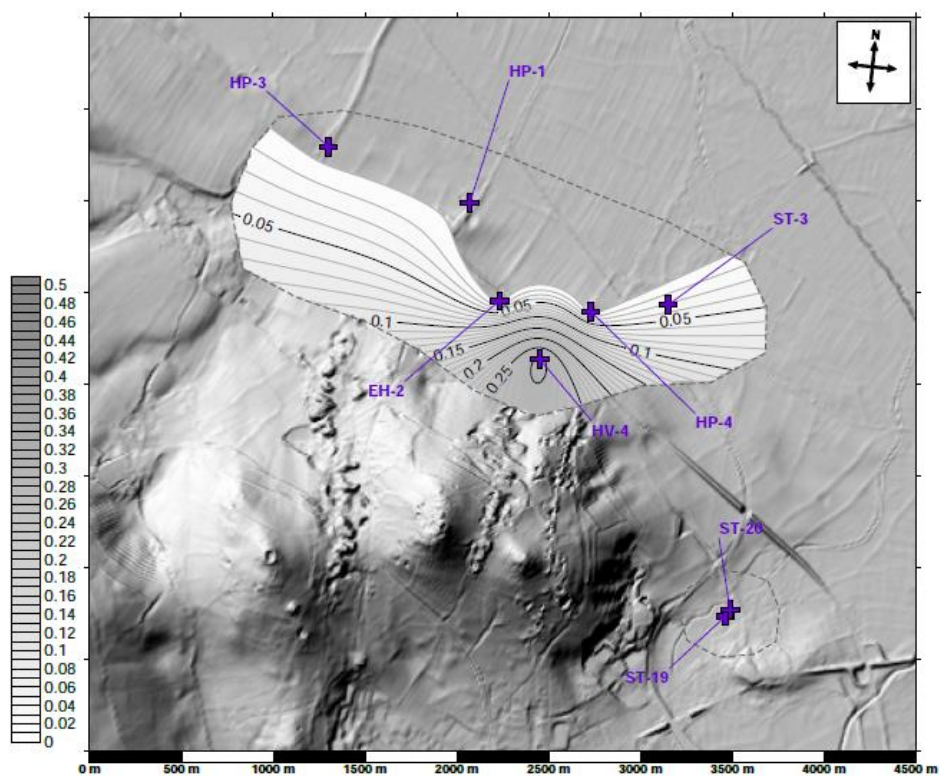


Obrázek 326: Izolinie koncentrací As v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l

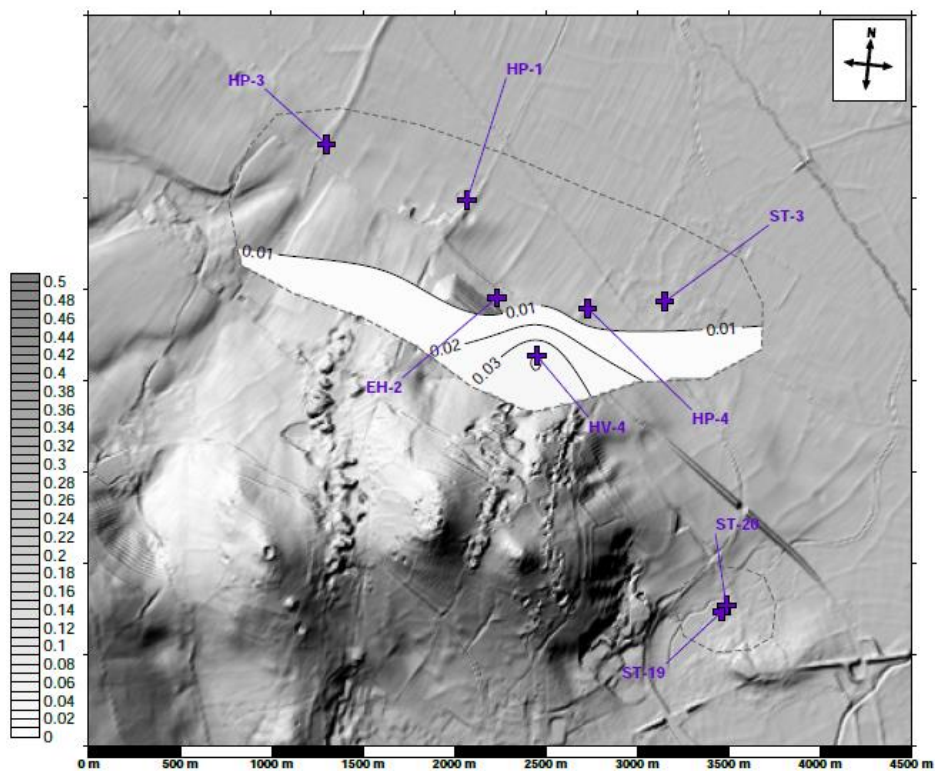
Vysoké hodnoty koncentrace Cd, které se v kvartérní zvodni soustřeďují v okolí vrtu HV-4, jsou zobrazeny na obrázcích 327 až 329. Koncentrace zde kolísá, ale má klesající charakter. V roce 2006 se objevuje významný propad jeho koncentrace, který nevysvětlují ani grafy.



Obrázek 327: Izolinie koncentrací Cd v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l

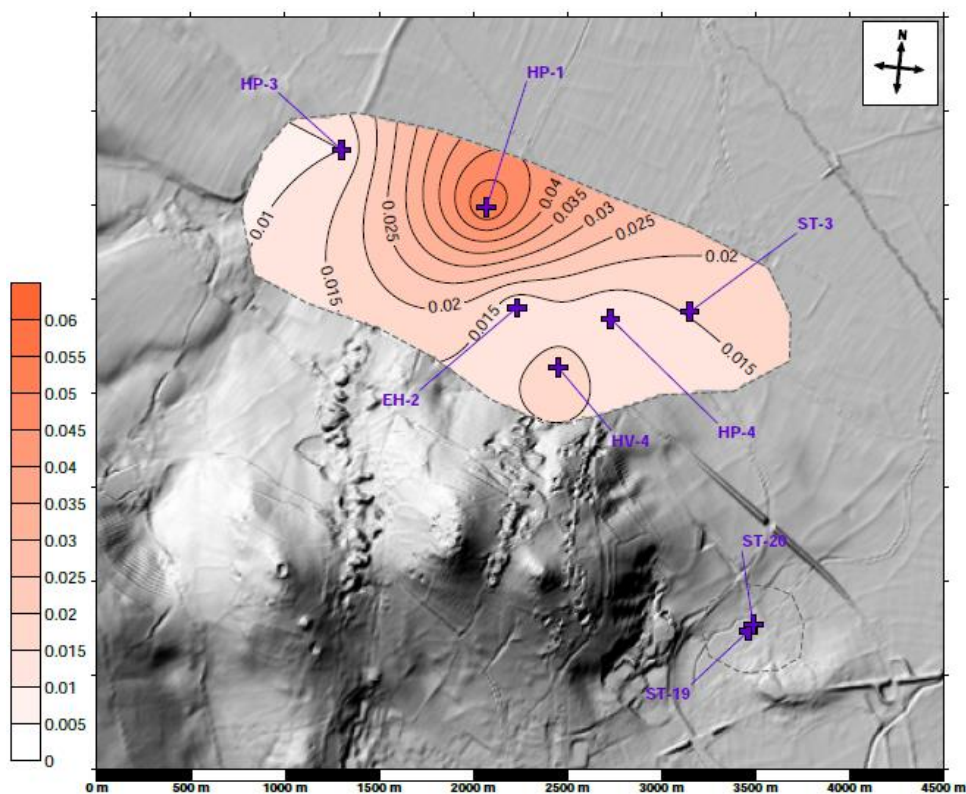


Obrázek 328: Izolinie koncentrací Cd v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l

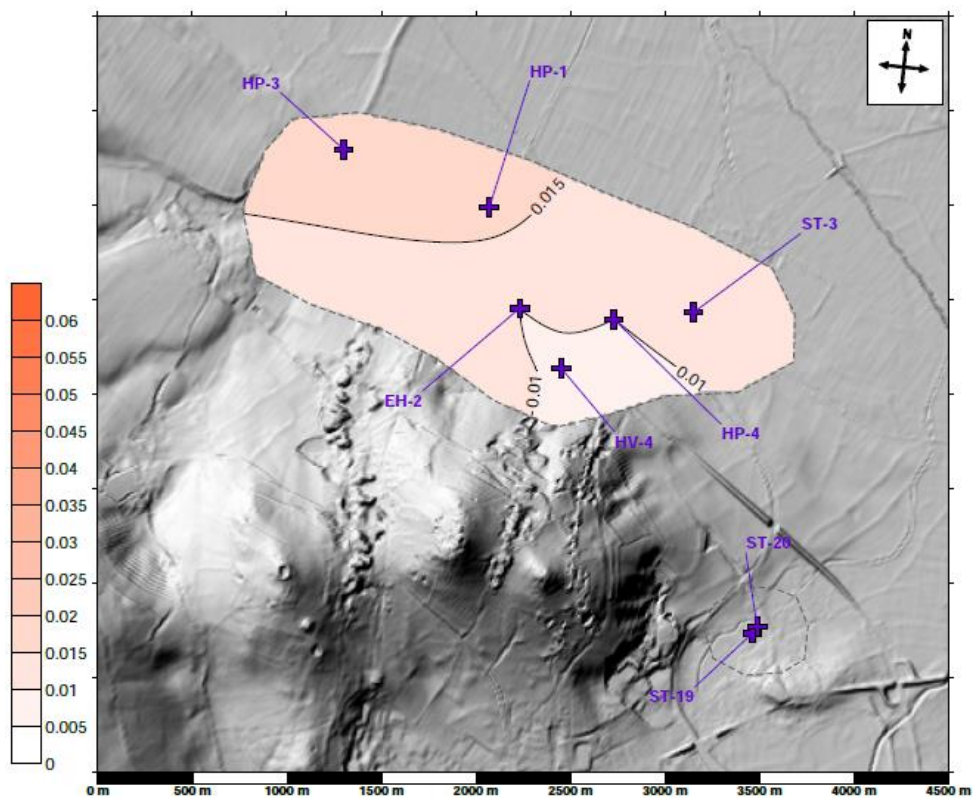


Obrázek 329: Izolinie koncentrací Cd v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l

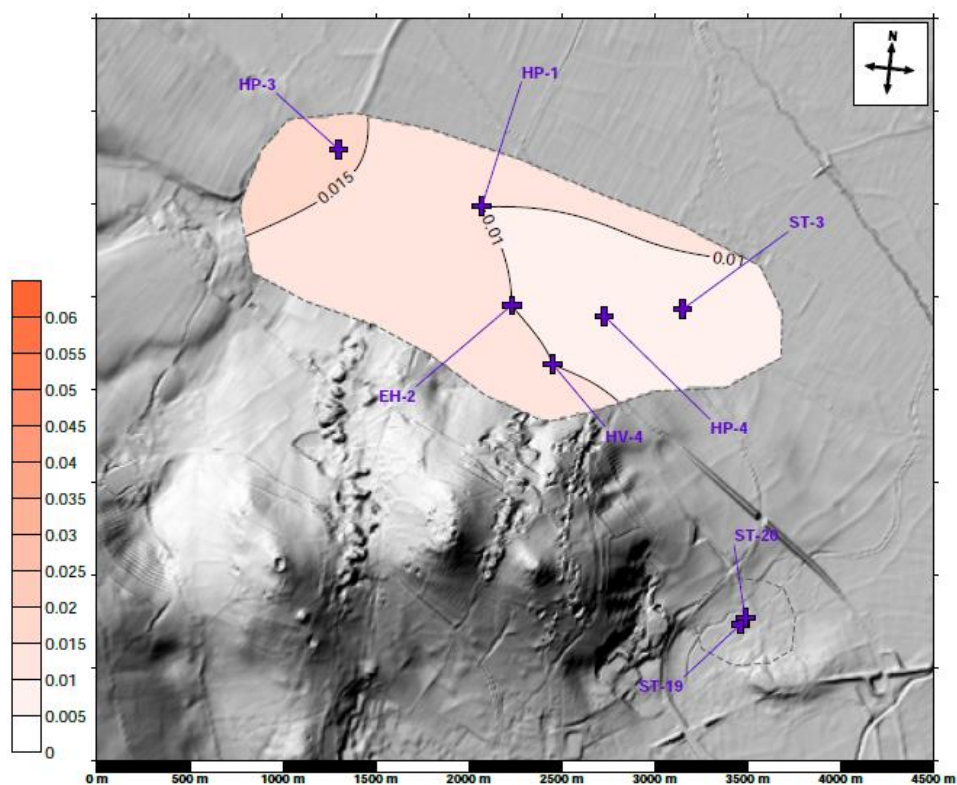
Cu se vyskytovala ve vysokých koncentracích na počátku sledovaného období, a to v okolí vrtu HP-1. V čase klesají na téměř nulové hodnoty a vystihují to obrázky 330 až 332.



Obrázek 330: Izolinie koncentrací Cu v kvartérní zvodni v roce 2006 mg/l

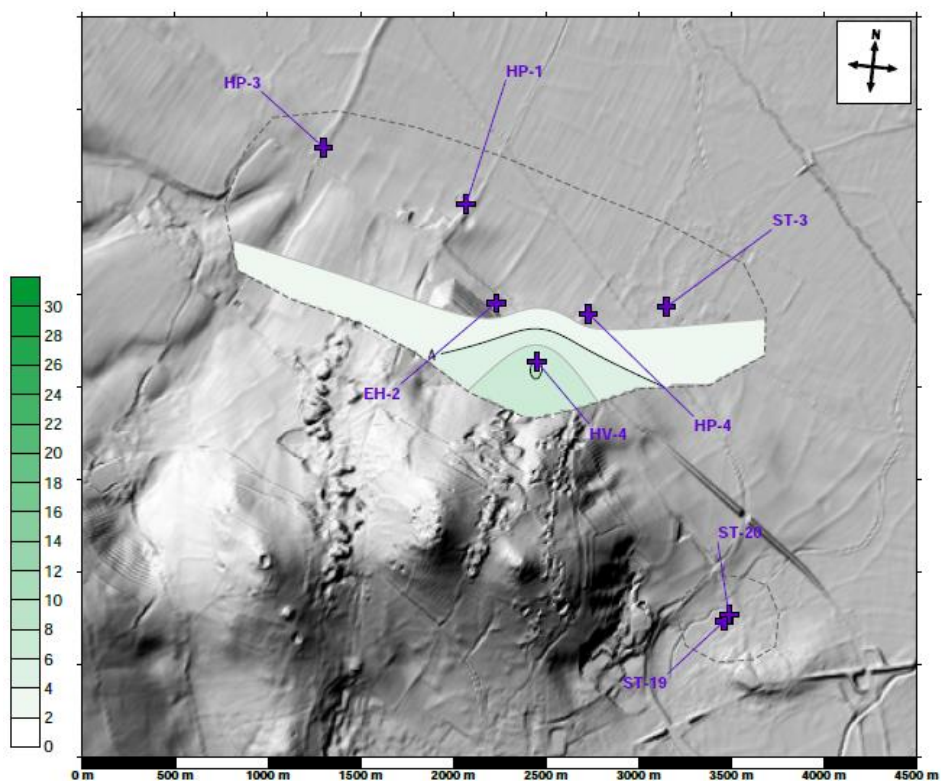


Obrázek 331: Izolinie koncentrací Cu v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l

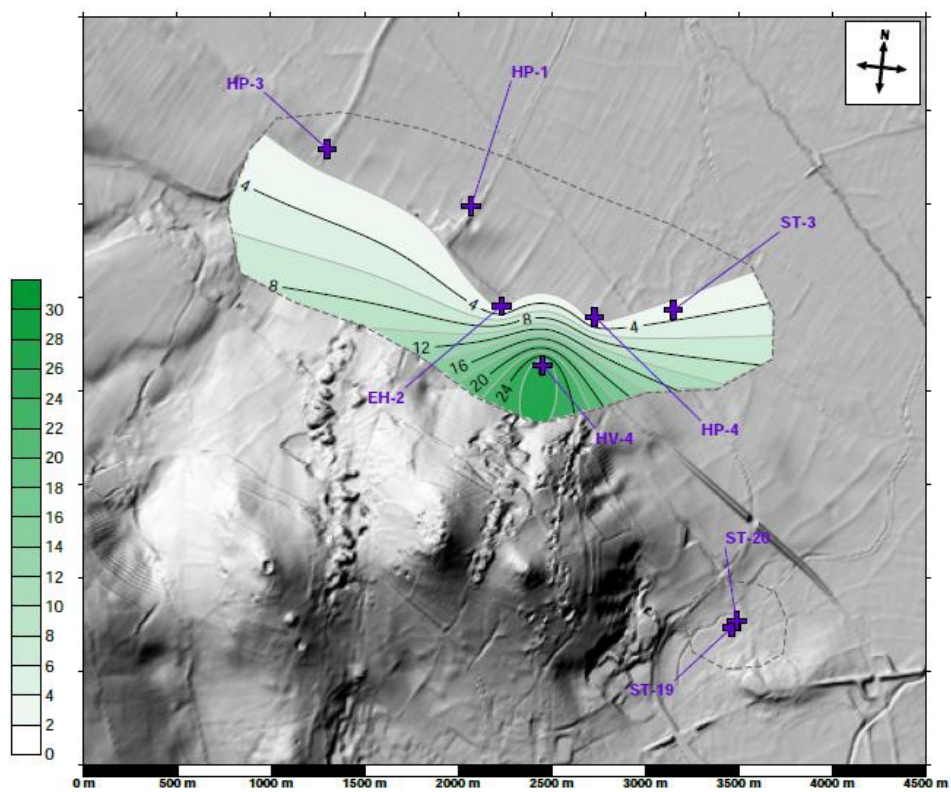


Obrázek 332: Izolinie koncentrací Cu v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l

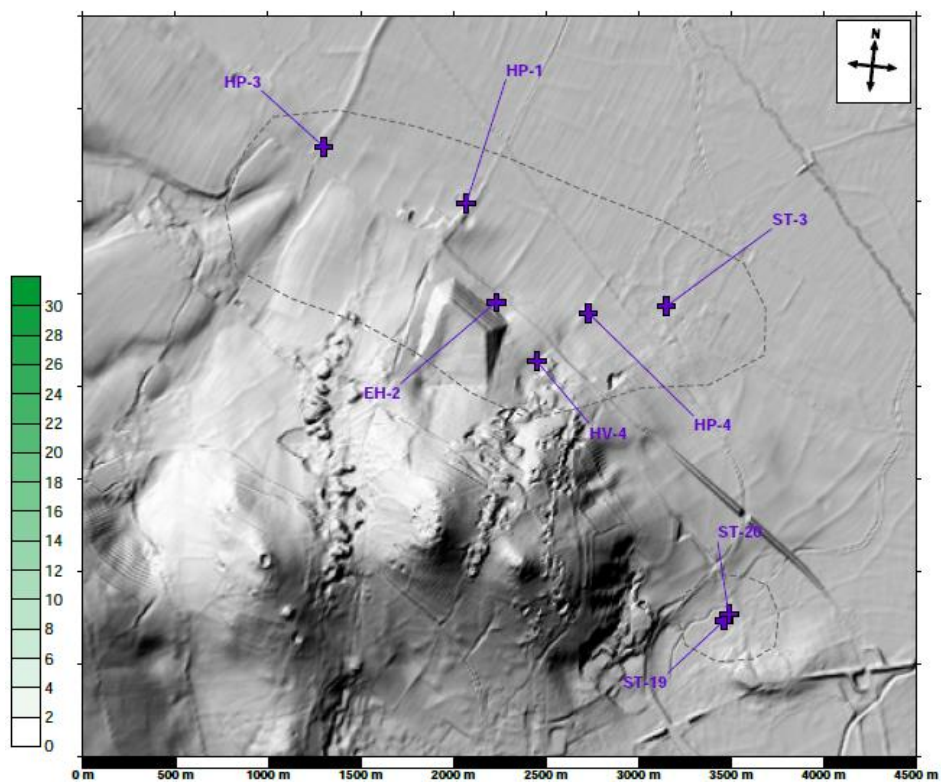
Pokud se při kolísání koncentrace Fe objevují vysoké hodnoty, je to nejvíce v okolí vrtu HV-4. Ke konci sledovaného období jsou koncentrace v podstatě nulové. V druhé polovině roku 2014 však opět mírně nastoupají. Vývoj koncentrace Fe je na obrázcích 333 až 335.



Obrázek 333: Izolinie koncentrací Fe v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l

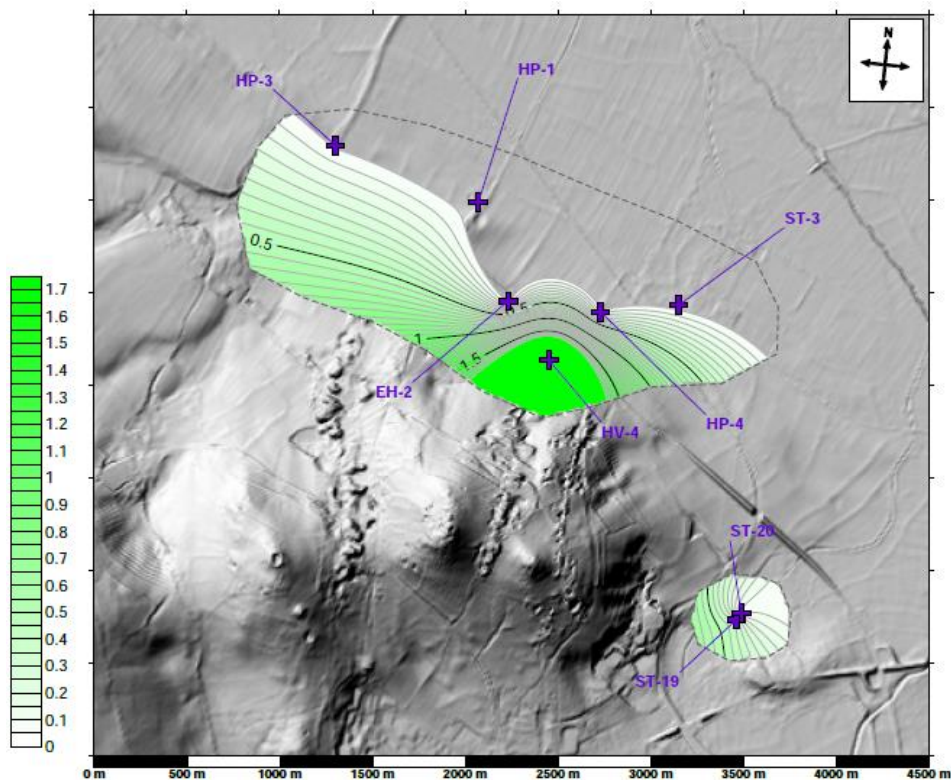


Obrázek 334: Izolinie koncentrací Fe v kvartérní vodni v roce 2010 v mg/l

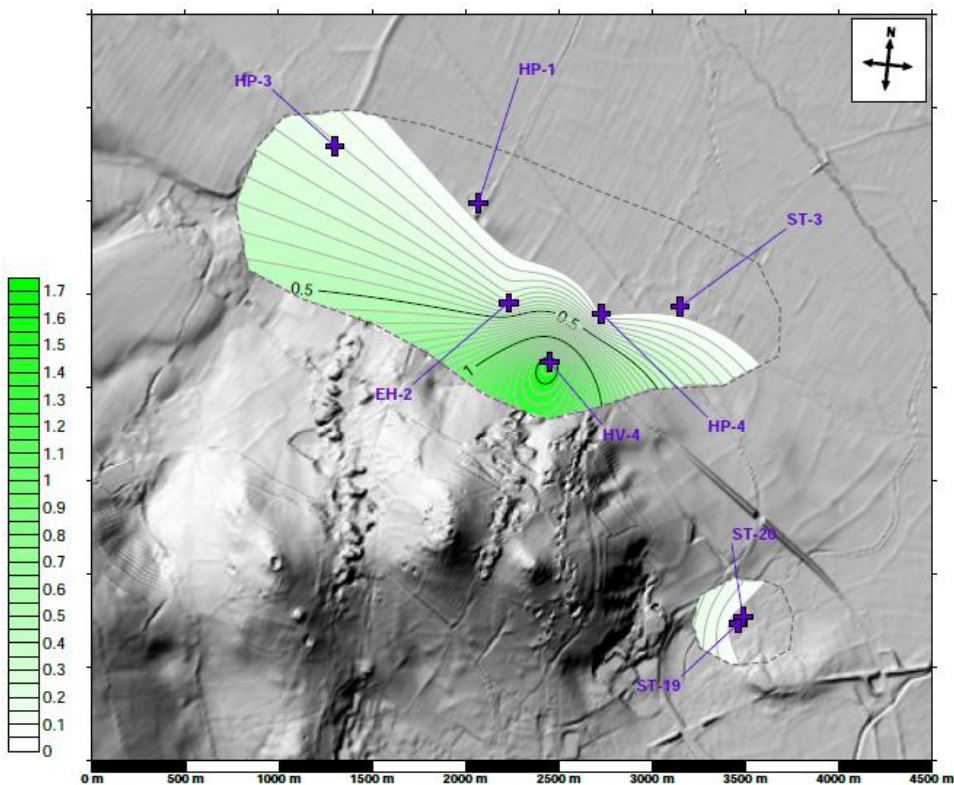


Obrázek 335: Izolinie koncentrací Fe v kvartérní vodni v roce 2014 v mg/l

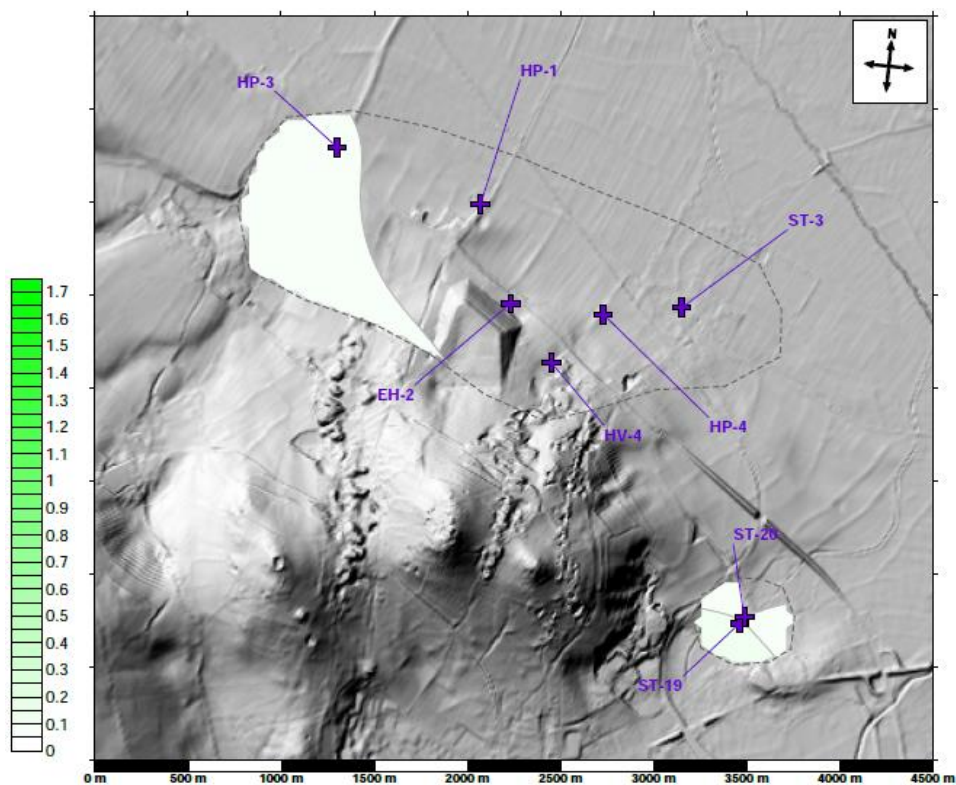
Mn má také nejvyšší koncentrace ve vrtu HV-4 východně od odkaliště. Koncentrace v průběhu sledovaného období klesá téměř na nulové hodnoty. Viz obrázky 336 až 338.



Obrázek 336: Izolinie koncentrací Mn v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l

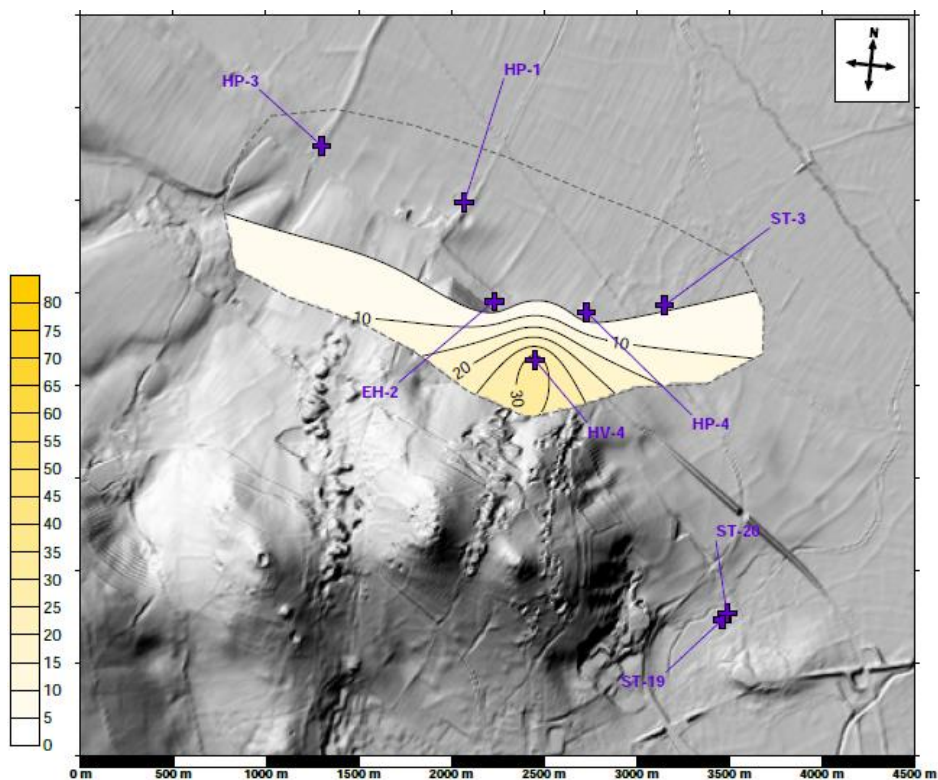


Obrázek 337: Izolinie koncentrací Mn v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l

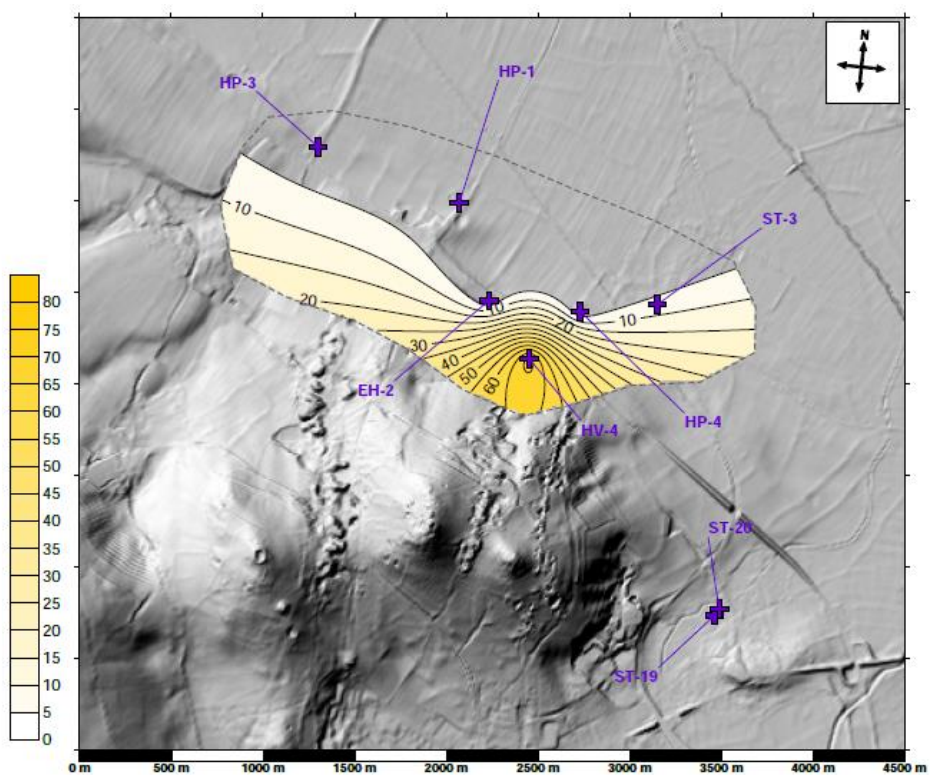


Obrázek 338: Izolinie koncentrací Mn v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l

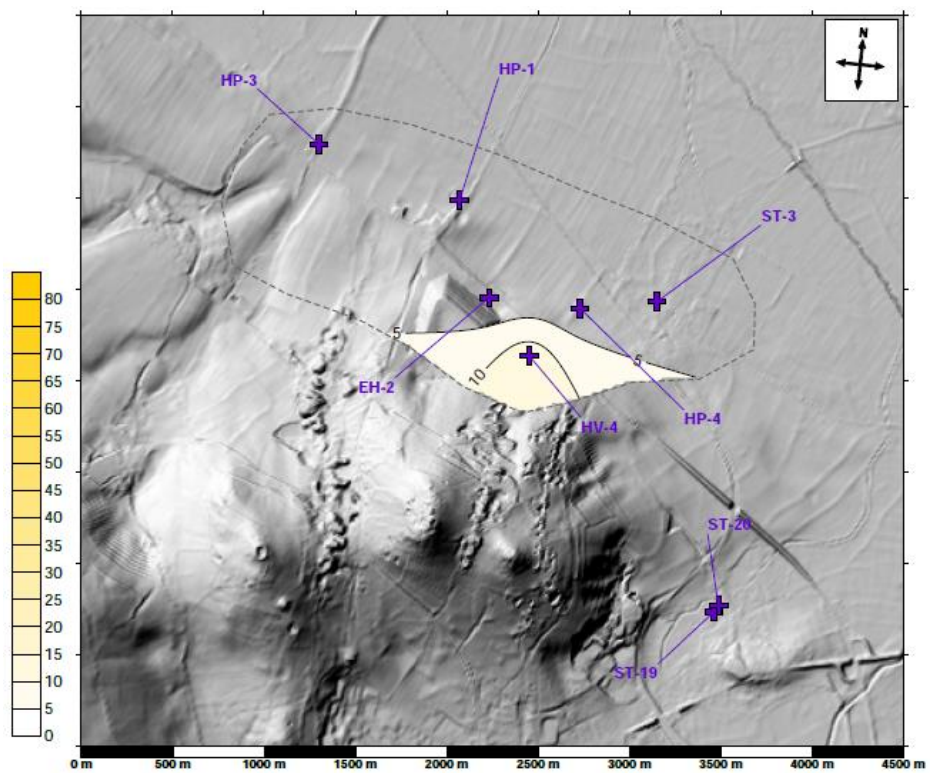
Klesající koncentrace Zn s mírným kolísáním a s ohniskem ve vrtu HV-4 je zobrazena na obrázcích 339 až 341.



Obrázek 339: Izolinie koncentrací Zn v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l

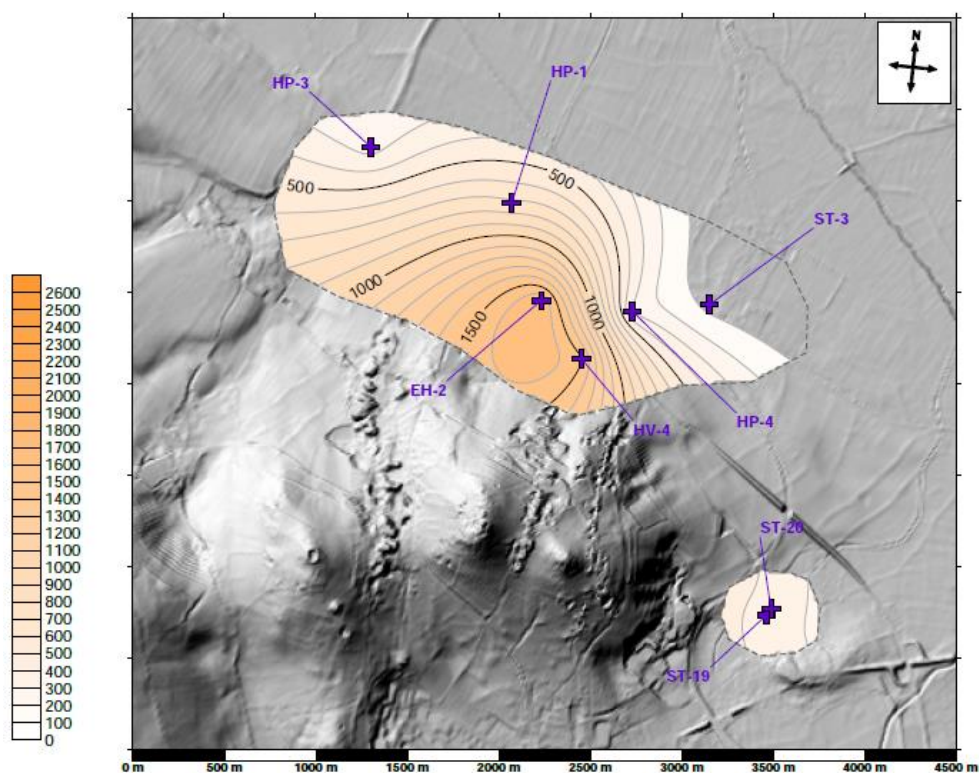


Obrázek 340: Izolinie koncentrací Zn v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l

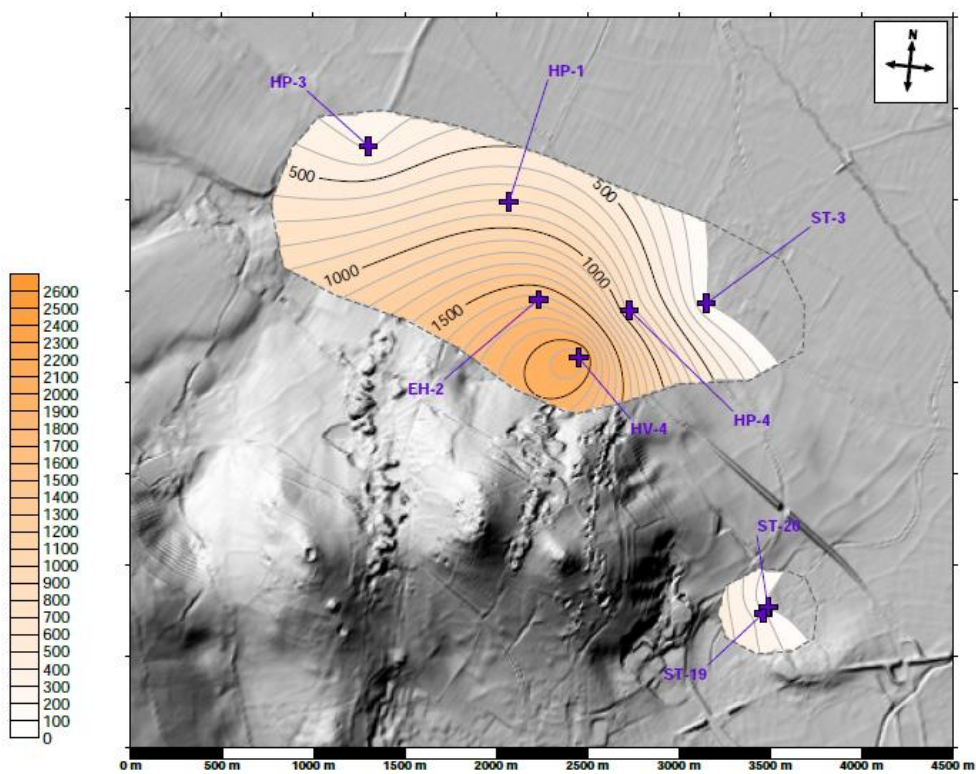


Obrázek 341: Izolinie koncentrací Zn v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l

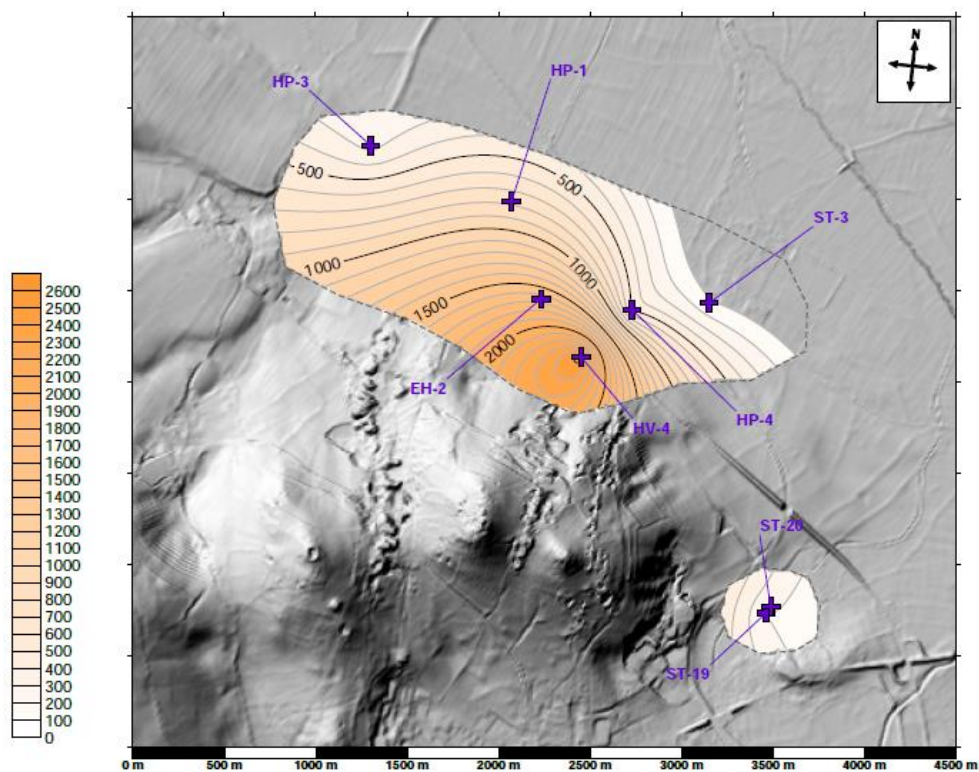
Nejvyšší koncentrace síranů se zřetelně šíří ve směru proudění vody v kvartérní zvodni od odkaliště a směrem na severovýchod koncentrace klesají. Nejvyšší koncentrace jsou ve vrtech nejblíže odkališti, HV-4 a EH-2. Viz obrázky 342 až 344.



Obrázek 342: Izolinie koncentrací SO_4 v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l

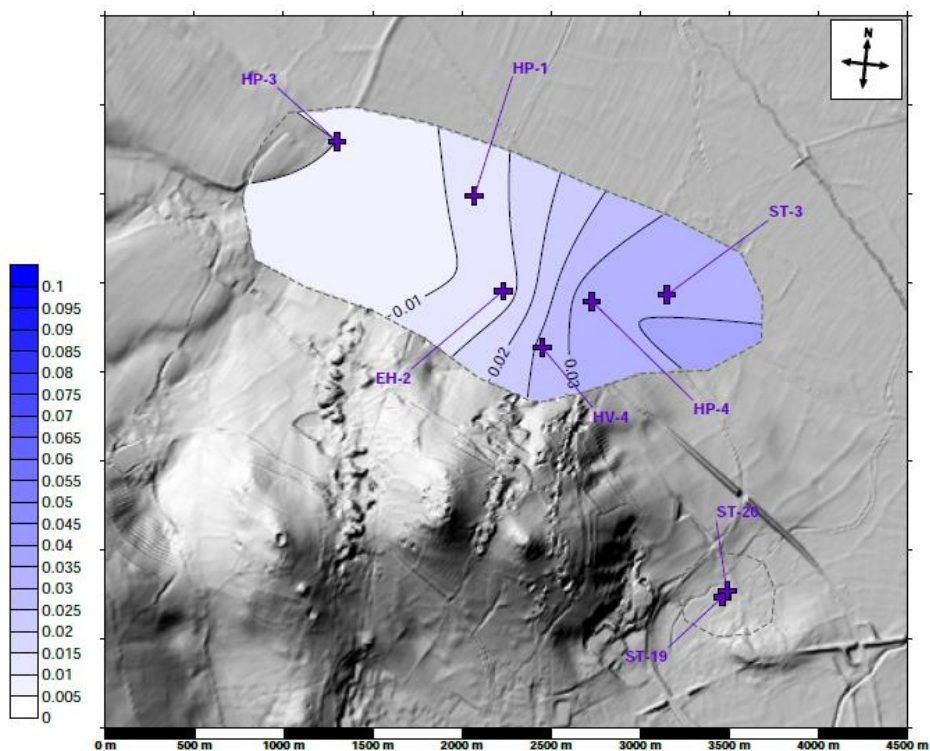


Obrázek 343: Izolinie koncentrací SO_4 v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l

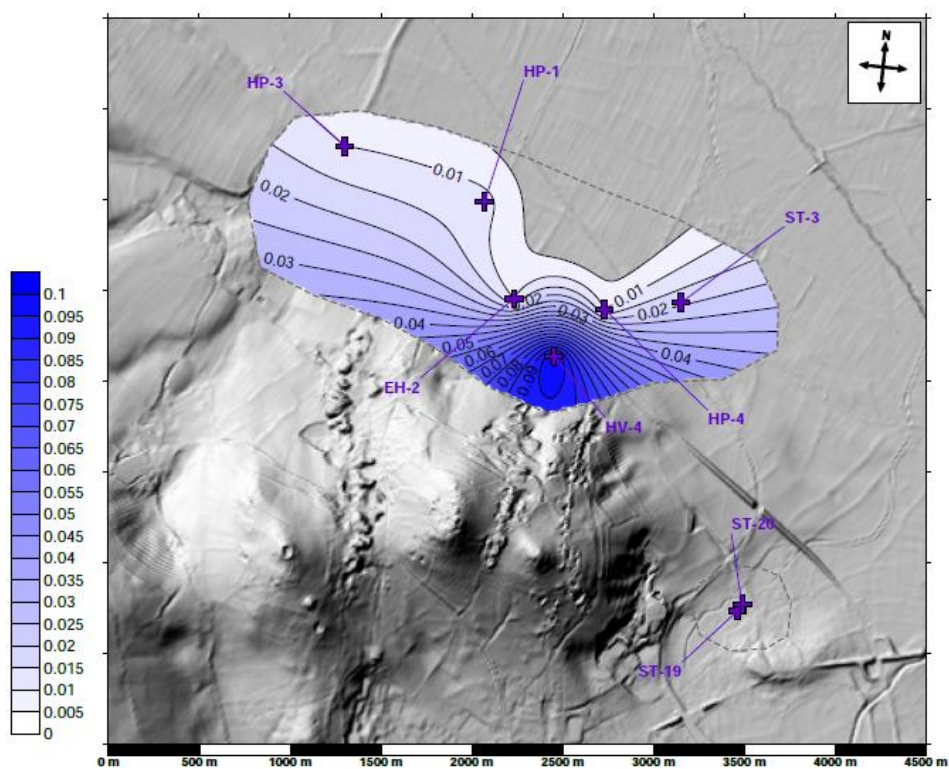


Obrázek 344: Izolinie koncentrací SO_4 v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l

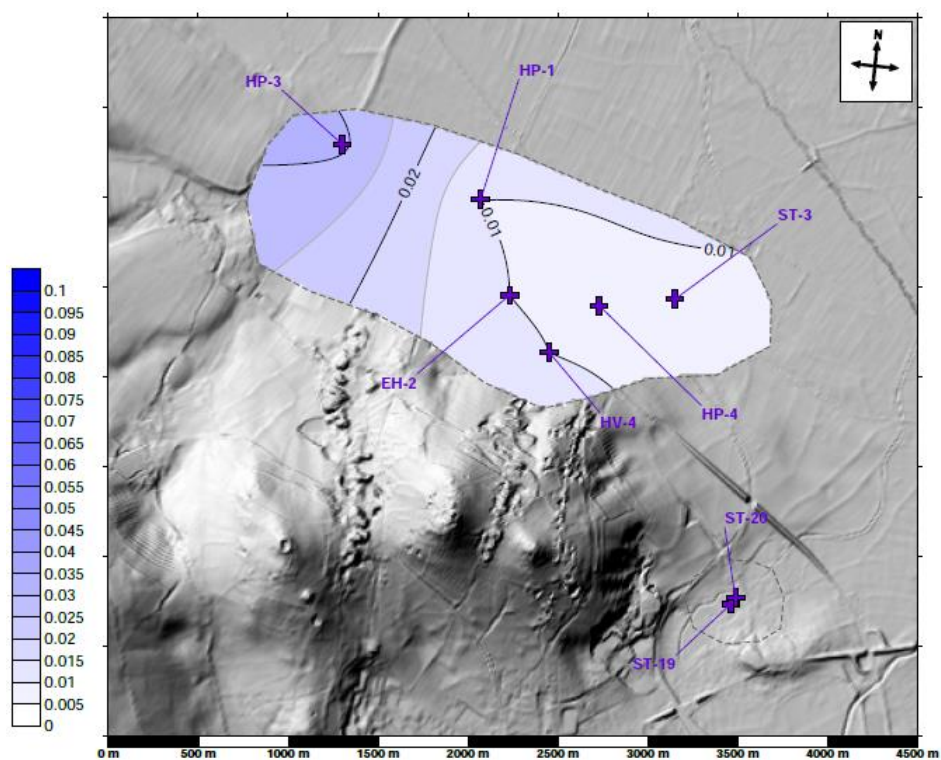
Vývoj koncentrací Pb je na obrázcích 345 až 347. Podle obrázků nelze popsat trend Pb v souvislosti se směrem proudění podzemních vod. Koncentrace Pb ve vrtech nepravidelně kolísá.



Obrázek 345: Izolinie koncentrací Pb v kvartérní zvodni v roce 2006 v mg/l



Obrázek 346: Izolinie koncentrací Pb v kvartérní zvodni v roce 2010 v mg/l



Obrázek 347: Izolinie koncentrací Pb v kvartérní zvodni v roce 2014 v mg/l

6 VÝSLEDKY

6.1 Výsledky srovnávací analýzy

Z výsledků srovnávací analýzy vyplývá, že množství vody v Turkaňské jámě je výrazně ovlivněno množstvím srážek a účinně regulováno čerpáním na čistírnu důlních vod. Tímto procesem cyklické výměny vody v jámě pravděpodobně dochází k průplachu podzemních prostor a odnosu rozpuštěných látek z oxidačních produktů. Trvalým zatopením dolu byly vytvořeny redukční podmínky a nebude tak docházet k tvorbě nových sekundárních minerálů a tedy ani zvyšování mineralizace důlní vody. Koncentrace všech sledovaných kontaminantů kromě As a Cd v důlní vodě dlouhodobě klesají od havarijní situace v roce 2001, která vznikla přetokem důlních vod do štoly 14 pomocníků. Při ní dosáhly jejich koncentrace maxima a v současné době nejsou ovlivňovány ani výškou hladiny ani srážkami.

Čerpání na Turkaňské jámě s velkou pravděpodobností ovlivňuje režim důlních i podzemních vod v širším okolí dolového pole. Změny ve výšce hladiny v souvislosti s čerpáním se projevují ve Skalecké jámě a ve většině vrtů monitorujících křídovou zvodeň. Nejvýrazněji je ovlivněna hladina ve vrtech HG-1, HG-2 a HG-3. Méně výrazně se čerpání projevuje ve vrtu EH-1. Velmi málo je ovlivněn vrt HV-3 a žádný vliv nemá čerpání na vrt HG-4. V kvartérní zvodni je hladina ovlivněna méně, a to pouze ve vrtu HP-4 a ještě méně ve vrtu HP-1. Vrty EH-2, HP-3 a HV-4 ovlivněny nejsou.

Chemismus se však v těchto monitorovacích objektech nevyvíjí tak jednoznačně jako na Turkaňské jámě. Někde jsou koncentrace ovlivněny výškou hladiny, někde množstvím srážek, v jiném případě oběma faktory, jinde ani jedním. Nelze jednoznačně říci, zda se koncentrace v podzemní vodě snižuje nebo zvyšuje. Ve většině případů kolísá v průběhu celého sledovaného období, v některých případech se ustálí na nižší nebo vyšší hodnotě. Množství obsažených látek je pravděpodobně závislé na poloze vrtu a zvodni, kterou monitoruje. Nejvyšší koncentrace sledovaných látek jsou v kvartérních vrtech HV-4 (celková mineralizace až 5 950 mg/l a obsah síranů 2 790 mg/l) a EH-2 (celková mineralizace až 3300 mg/l a obsah síranů 3 300 mg/l). Vysoké obsahy sledovaných látek mají i další kvartérní vrty HP-1 a HP-4 (celková mineralizace až 2860 mg/l a obsah síranů do 1810 mg/l). Nejnižší hodnoty koncentrace síranů byly zjištěny ve vrtu HP-3 (maximální dosažená hodnota byla 442 mg/l, běžné hodnoty však nedosahují 300 mg/l). Protože se jedná o kvartérní zvodeň s velmi dobře propustnými nadložními horninami, mohou zvýšené koncentrace pocházet z povrchových vrstev, které jsou často kontaminované haldovým materiálem nebo úpravárenskými odpady odkaliště (vrt EH-2 se nachází bezprostředně pod ním). Ty jsou vystaveny oxidaci a srážky je promývají. Jen zřídka jsou však průběhy koncentrací ovlivněny intenzitou srážek nebo výškou hladiny vody ve vrtu.

Ve vrtech monitorujících křídovou zvodeň jsou koncentrace síranů, Zn a Mn, výrazně nižší. Hodnoty koncentrací těchto látek jsou v kvartérní zvodni standardně vyšší než referenční hodnoty vyhlášky č. 5/2011 Sb. Nejvíce síranů z křídových vrtů obsahuje vrt EH-1 (max. 882 mg/l). Je to vrt, který se spolu s kvartérním vrtem EH-2 nachází pod odkalištěm s uloženými úpravárenskými kaly a je zřejmě ovlivněn průsaky v jeho těsném okolí, které značně zkreslují výsledky analýz sledujících kvalitu křídové zvodně v daném místě. Ve vrtu EH-1 se také výrazně projevuje intenzita srážek na časovém vývoji kontaminantů. Ostatní kovy jako jsou As, Cd, Cu, Mn, Zn a Pb jsou nejčastěji nejvíce koncentrovány ve vrtu HV-3, který se nachází v oblasti velkého množství středověkých hald. Je tedy

zřejmé, že vody prosakující materiálem důlních a úpravárenských odpadů ovlivňují i křídovou zvodeň a potvrzuje se úvaha, že chemismus podzemní vody ve vrtech je ovlivněn spíše jimi než silně mineralizovanými vodami z Turkaňské jámy. Nejnížší obsah síranů je ve vrtu HG-1 (max. 274 mg/l) a As překročil referenční hodnotu vyhlášky č. 5/2011 Sb. pro podzemní vody jen dvakrát za sledované období. Ve vrtu HG-2 nebyl As překročen ani jednou.

Zobrazením výšek hladin podzemních vod a koncentrací kontaminantů ve vrtech na mapách izolinií se lépe odhalily souvislosti mezi směrem proudění podzemních vod a výskytem kontaminantů v nich v důsledku povrchového znečištění. Podzemní vody v křídové zvodni na základě údajů z vrtů proudí od vrtu HV-3 směrem na sever a severovýchod. Infiltrované vody zde stékají po svazích Kaňku do pokryvných sedimentů a postupují jimi dále údolím. Mezi vrchy Kaňk a Sukov je rozsáhlý pás středověkých hlad, které jsou pravděpodobně hlavním zdrojem zvýšených koncentrací rozpuštěných látek v křídovém vrtu HV-3, který se nachází pod tímto pásem a ve kterém jsou registrovány nejvyšší hodnoty koncentrací v oblasti. Podzemní vody v kvartérní zvodni se pohybují spíše severovýchodním směrem. Pod severním úpatím Kaňku je umístěno odkaliště kalů z flotační úpravy rud, přes které probíhá hlavní směr proudění. Odkaliště není dokonale utěsněno a nejbližší kvartérní vrty HV-4 a EH-2 jsou zasaženy nejvyššími koncentracemi sledovaných kontaminantů v rámci zvodně.

Nejvíce kontaminované jsou tedy vrty lokalizované v blízkosti starých zátěží, kterými je chemismus vody ve vrtech pravděpodobně ovlivněn. Ostatní vrty jsou poměrně vzdálené jak od těchto míst, tak i od Turkaňské jámy. Vzhledem k tomu, že jsou hladiny podzemní vody z velké části ovlivněny čerpáním důlních vod na čistírnu, je možné, že je tímto i omezena migrace mineralizovaných vod z důlních děl.

6.2 Návrh optimalizace monitoringu

Největším nedostatkem probíhajícího monitoringu je nepravidelnost odběrů. Pokud probíhají dvakrát ročně, liší se často na odběrných místech o několik týdnů nebo až o několik měsíců. I meziročně nejsou dodržovány stejné termíny odběrů na tomtéž bodě. Například odběr na vrtu EH-1 byl v roce 2008 proveden v červnu a v říjnu, v roce 2009 v březnu a v září. Na vrtu HG-1 byl v roce 2008 odebrán vzorek v únoru a v srpnu, v roce 2009 v červnu a v prosinci. Od roku 2009 se schéma odběrů vzorku na vrtech ustálilo a vrty jsou vzorkovány po skupinách v určitém měsíci. Pro potřeby zaznamenání aktuálního stavu je to pravděpodobně dostačující, ale pro potřeby vyhodnocení časových řad a zjišťování vlivů dalších faktorů, především srážek, nebo pro tvorbu map izolinií hladin nebo koncentrací je to nevyhovující. Časové řady kontaminantů na jednotlivých vrtech nebo v jednotlivých letech jsou pak srovnávány s úplně odlišnými hodnotami srážek. Není možné pak výsledky interpretovat jednoznačně. Při tvorbě map izolinií jsou pak do mapy zaneseny hodnoty z různých období a nelze vytvořit mapu, která by dokumentovala jistý časový úsek. Proto bych doporučila sjednotit termíny odběru vzorků na všech odběrných místech najednou a v rámci určeného měsíce bych doporučila rozdíl maximálně jednoho týdne.

Kromě Turkaňské jámy, kde se odebírají vzorky každý měsíc, probíhají na dalších monitorovacích bodech odběry většinou dvakrát, nejvíce však čtyřikrát ročně. Na Skalecké štole je ještě zahuštěna analýza výrazně zvýšeného Zn o dalších osm odběrů ročně. Stejný systém je zaveden na štole 14 pomocníků, kde je obsah Zn také poměrně vysoký. Na studnách probíhají odběry čtyřikrát ročně a na

vrtech dvakrát ročně. Výjimku tvoří tři kvartérní vrty HV-4, EH-2 a HP-3, z nichž HV-4 a EH-2 jsou lokalizovány pod odkalištěm a mají vysoké hodnoty koncentrací sledovaných látek. Z tohoto důvodu by bylo vhodné zařadit mezi ně i vrt EH-1, který pod odkalištěm monitoruje křídovou zvodně a také obsahuje zvýšené hodnoty. Z hlediska vyhodnocování časových řad by se dalo uvažovat o zvýšení četnosti odběrů na všech odběrných místech. V analýze je pak lépe vidět vývoj všech ovlivňujících faktorů.

Z hlediska tvorby map izolinií a jejich výsledků by bylo také vhodné uvažovat o zahuštění monitorovací sítě. Stávající objekty jsou vhodně umístěny ve směru proudění podzemních vod i předpokládaného výskytu kontaminace. Bylo by ale ještě vhodné doplnit nejméně jeden křídový vrt severovýchodně od vrtu HV-3, který by zároveň doplnil informace o hladině křídové zvodně v okolí kvartérního vrtu HP-1. V okolí vrtu HP-1 vzniká chyba v mapě rozdílu hladin křídové a kvartérní zvodně a zobrazují se záporné hodnoty v důsledku nedostatečného množství dokumentačních bodů.

7 DISKUSE

V souvislosti s možností přetoku důlních vod do štol 14 pomocníků byla zásadní otázka výška hladiny, kterou je nutné udržovat čerpáním. V současné době je hladina udržována na úrovni cca 206 m n. m. Tato hodnota nebyla uvažována v žádné z předchozích prací. Hladina na úrovni 206 m n. m. se jeví jako vyhovující a pozitivní z hlediska potenciálního šíření kyselých důlních vod, které monitoringem nebylo potvrzeno.

Závěry diplomové práce však vychází z výsledků srovnávací analýzy, která byla dle mého názoru postavena na nedostatečném množství dat. Nelze je tedy tvrdit s jistotou. 20 až 40 hodnot za období 10 let není dostatečné pro zachycení kontinuálního vývoje. Grafy tak ukazují pouze rámcový vývoj koncentrací. V případě uvažování vlivu srážek nebo výšky hladin jsou pak křivky ještě méně směrodatné, protože není vidět vývoj chování srážek před případnou výraznou epizodou v chování kontaminantu. V některých případech dochází k enormnímu nárůstu nebo naopak poklesu v koncentraci, ale v grafu je nelze porovnat ani se srážkami ani vývojem výšky hladiny. Je možné, že v několika měsíčním období, kdy nebyly vzorky odebírány, koncentrace mohly na srážky či na výšku hladiny reagovat. Situace patrná v grafu je pak pouze důsledek nezachycených souvislostí.

Stejně tak stanovení směru proudění podzemních vod a rozšíření kontaminace na základě časově nejednotného schématu měření hladin a odběru vzorků na vrtech a dalších monitorovacích objektech se netýká konkrétního časového úseku, ale je sestaveno na základě dat, která mají až několika měsíční rozestupy. Navíc přesné průběhy izolinií je třeba vypočítat z dostatečného množství údajů. Mapy v této práci byly vytvořeny na základě velmi malého počtu monitorovacích bodů, při čemž je velká pravděpodobnost vzniku chyby.

Je otázkou, zda bude v budoucnu obdobně jako v této práci na základě monitoringu prováděno jeho vyhodnocení a zda je tedy nutné zahušťovat četnost odběru vzorků nebo i síť monitorovacích bodů. Pro informativní charakter byl takto monitoring nastaven a je zřejmě dostačující. Předpokládám však, že když byla tato diplomová práce zadána ve spolupráci s DIAMO, s. p., mohla by být základem přesnějších výzkumů, které by pomohly lépe pochopit a uchopit problém silně mineralizovaných vod na dole Turkaňk a zajistit tak co nejlepší ochranu podzemních vod a zabránit tak nepříznivým následkům.

Monitoring probíhá pouze v kvartérních a křídových sedimentech severozápadně, severně, severovýchodně a jihovýchodně od dolového pole Turkaňk. Není vůbec řešena otázka krystalinika jižním a jihozápadním směrem, ve kterém se nachází většina poddolovaného území. Pravděpodobným důvodem bude přítomnost samotných křídových a kvartérních sedimentů, které jsou zvodnělé, dobře propustné a náchylné ke kontaminaci. K těmto úvahám přispívá také směr proudění podzemní vody, který se stáčí k severovýchodu a sleduje sklon terénu směrem k Labi. Dalším problémem je úroveň dědičných štol, kterými by důlní voda vytékala na povrch, pokud by nebyla čerpána, a směr jejich ústí do potenciálně ohrožené oblasti. Dále zde probíhala novodobá těžba a chemismus důlních vod se ještě nestačil ustálit. Stará důlní díla ve zbytku poddolovaného území mohou být v podobném stavu, jaký vykazuje Skalecká jáma. Na ní byla těžba ukončena v roce 1886, což je výrazně delší doba než od ukončení těžby na jámě Turkaň. Skalecká jáma vykazuje ustálení chemismu na nižších hodnotách koncentrací kontaminantů a stratifikaci důlních vod. Předpokladem pravděpodobně je, že starší

dobývky jsou již za dlouhá desetiletí dostatečně zakonzervovány a není nutné stav jejich vod v současné době sledovat. Vzhledem k tomu, že k problematice monitoringu a kvality důlních vod v krystaliniku nejsou dostupné podklady, bylo by toto téma vhodné pro zpracování v další samostatné práci. Přispělo by to jistě k odůvodnění základního nastavení monitoringu, který probíhá v kvartérní a křídové zvodni. Neúspěšný byl také pokus o vyhledání původního dokumentu, který v roce 1997 stanovil základní principy a zásady monitoringu, ze kterých vychází veškeré další návrhy na jeho úpravu. Navíc není známo, jak a zda zde probíhal monitoring před rokem 1997, některé vrty totiž pochází již z roku 1993, ale nejsou dostupná data z analýz.

8 ZÁVĚR

V diplomové práci jsem provedla srovnávací analýzu dat pocházejících z monitoringu okolí zatopeného polymetalického dolu Turkaňk. Monitoring sleduje vývoj kvality podzemních vod a možnost jejich ovlivnění vysoce mineralizovanými kyselými důlními vodami v dole Turkaňk. Výsledkem analýzy je, že tyto důlní vody neovlivňují chemismus podzemních vod v okolí a dochází k jejich postupnému čištění. Podzemní vody v okolí dolového pole mají zvýšené hodnoty kontaminantů, ty ale pocházejí z pozůstatků historické i novodobé těžby a úpravy rud.

Stejně závěry vychází i z vytvořených map hydroizohyps, hydroizopiez a izolinií koncentrací. Nejvyšší koncentrace sledovaných látek se nachází v oblasti starých zátěží z pozůstatků historické i novodobé těžby rud.

V závěru hodnocení jsem doporučila optimalizaci monitoringu v podobě sjednocení termínů odběrů vzorků na jednotlivých odběrných místech, aby byla zpřehledněna a zpřesněna další případná analýzy. Dále jsem doporučila zahuštění odběrů vzorků minimálně na vrtu EH-1, který je situován pod odkalištěm flotačních odpadů a umožňuje dobrý monitoring možných úniků do křídové zvodně. Pro tvorbu přesnějších map izolinií jsme doporučila zahuštění sítě monitorovacích bodů.

9 LITERATURA

Bílek J., 2000. *Kutnohorské dolování. 8. skalecké žilné pásmo*. Kuttna, Kutná Hora, 76 str.

Čupr P., Kadlubiec R., Malec J., Sánka M., Skybová M., Škarek M., 2003. *Riziková analýza a monitorování složek životního prostředí v Kutné Hoře a okolí*. Ekotoxa, s. r. o., TOCOEN, s. r. o., Opava, 129 str.

Hušpauer M., 2000. *Malín – Předpolí štoly 14 pomocníků*. Závěrečná zpráva hydrogeologického průzkumu, Geoservis Kutná hora, 22 str.

Hušpauer M., 2001. *Kutná Hora – Kaňk. Monitorování kvality podzemních vod v okolí dolového pole jámy Trkaňk*. Projekt geologických prací, Geoservis Kutná Hora, 21 str.

Hušpauer M., 2002. *Kutná Hora – Kaňk. Monitorování kvality podzemních vod v okolí dolového pole jámy Turkaňk*. Závěrečná zpráva Hydrogeologického průzkumu, Geoservis Kutná Hora, 53 str.

Hušpauer M., 2003. *Kutná Hora – Kaňk. Monitorování kvality podzemních vod v okolí dolového pole jámy Trkaňk – Doplnění monitorovacího systému o vrtý HP-1 a HP-4*. Závěrečná zpráva hydrogeologického průzkumu, Geiservis Kutná Hora, 12 str.

Kafka J. (ed.), Aichler J., Alexa J., Aulický R., Badár J., Bednařík P., Beran P., Bernard J., Bernatík L., Biolková J., Břehovský S., Cimala Z., Dopita M., Forint P., Grygar R., Grygárek J., Hájek A., Havelka J., Hejnic O., Holub M., Hynek J., Iványi K., Jangl L., Kafka J., Kafka T., Karas M., Kavalec J., Kolek M., Komíek J., Konečný P., Kopecký P., Kopečný K., Kotris J., Kouřil T., Krákora P., Křížek J., Kulhánek J., Kursá M., Kyncl S., Litochleb J., Majer J., Makarius R., Malý R., Matoulek M., Mitáš J., Neuhauser F., Nováček K., Novák L., Paděra Z., Palas M., Pokorný J., Pošmourný K., Pruner V., Raszka K., Rudajev V., Rychtařík T., Scharm B., Scharmová Marta., Smetana J., Sokol M., Staněk V., Suček P., Svoboda V., Škvor K., Šnajder L., Štádl J., Šurán J., Švanda G., Tacl A., Tejml V., Trnka P., Trojáčková K., Uhlík M., Valta J., Vebr Z., Veselý P., Vidlár J., Vostarek P., Zelinger O., 2003. *Rudné a uranové hornictví České republiky*. ANAGRAM s. r. o., Ostrava, 648 str.

Landa I., 1993. *Monitorovací sondy EH1 a EH2 u odkaliště Kaňk u Kutné Hory*. ECOLAND Praha, 5 str.

Landa I., 1997. *Vyhodnocení dosavadních monitorovacích prací na Skalecké štolě v souvislosti s ukončením odvodňování na dole Turkaňk*. ECOLAND Praha, 62 str.

Malec J., Kolomazník J., Rezek K., 2001. *Podmínky srážení škodlivin z důlních vod dolu RD Kutná Hora – Kaňk*. ÚNS – Výzkum, s. r. o. Kutná Hora, 24 str.

Stehlík F., Michna M., 2015. *Zdravotní rizika ze složek životního prostředí v Kutné Hoře a okolí a jejich cílené řízení*. Krajská hygienická stanice Středočeského kraje, Praha, 20 str.

Vodička V., 2003. *Vliv důlní činnosti na studny v obci Hlízov u Kutné Hory*. Hydrogeologický posudek. SG Geotechnika a. s. Praha, 17 str.

Legislativa:

Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajónů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod.

Internetové zdroje:

ČGS - Česká geologická služba, mapové aplikace, geologické a hydrogeologické mapy: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>, 14. 7. 2016

ČHMÚ - Český hydrometeorologický ústav, historická data - meteorologie a klimatologie: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zakladni-informace>, 13. 8. 2016

ČÚZK, Základní mapy ČR: www.cuzk.cz, 27. 7. 2016

Databáze ČGS, vrtná prozkoumanost:

<http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=4>, 30. 11. 2015

WEB1, Prohlížeč služba WMS - DMR 5G (Stínovaný model reliéfu):

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(elumtqmfgz0wojsltdmo3nv0\)\)/Default.aspx?menu=3130&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-DMR5G&metadataXSL=metadata.sluzba](http://geoportal.cuzk.cz/(S(elumtqmfgz0wojsltdmo3nv0))/Default.aspx?menu=3130&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-DMR5G&metadataXSL=metadata.sluzba), 30. 11. 2015

WEB2, Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G):

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(2vqebnbogku4sv3rngkir2gn\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis](http://geoportal.cuzk.cz/(S(2vqebnbogku4sv3rngkir2gn))/Default.aspx?mode=TextMeta&metadataID=CZ-CUZK-DMR5G-V&metadataXSL=Full&side=vyskopis), 30. 12. 2015

WEB3, Hornictvi.info, Historie hornictví:

http://www.hornictvi.info/histor/lokality/kutna_h/KUTNA_HO.htm, 27. 2. 2015

WEB4, Václav Macháček, makrofotografie minerálů, Kutná Hora - Turkaňk:

<http://www.vmfoto.nolimit.cz/lokality/kutna-hora-turkank>, 11. 8. 2016