

Společně využívané vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko- Křinice/Kirnitzsch

Závěrečná zpráva

Praha, květen 2014



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre
Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre
Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre
Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti

AQUATEST a. s.

Geologická 4, 152 00 Praha 5

IČO 44 79 48 43

zapsána v obchodním rejstříku Městského soudu v Praze, oddíl B, vložka 1189

Název a kód zakázky: **Matematický model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch**
č. zakázky 253120037000

Popis zakázky: **Hydraulické modely**

Pořadové č.: 1

Objednatel: **VÚV TGM, v.v.i.**

Společně využívané vody na česko-saském pomezí (GRACE)

Matematický model proudění podzemní vody v oblasti
Hřensko-Křinice/Kirnitzsch

Závěrečná zpráva

Řešitel: **Mgr. Ondřej Nol**

.....

Schválil: **RNDr. Jiří Šíma**
technický ředitel

.....

Za statutární orgán: **Ing. Martin Plšek**
ředitel společnosti a člen představenstva

.....

RNDr. Jiří Jelínek
místopředseda představenstva

.....



OBSAH:

1. ÚVOD A CÍLE PRACÍ.....	1
2. CHARAKTERISTIKA OBLASTI.....	2
2.1. VYMEZENÍ.....	2
2.2. HYDROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA	2
2.3. GEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ	3
2.4. HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ.....	5
2.5. PROBLEMATIKA POKLESŮ HLADIN PODZEMNÍ VODY.....	10
3. METODIKA	17
3.1. POUŽITÝ SOFTWARE	17
3.2. POSTUP A KONCEPCE ŘEŠENÍ	18
4. HYDRAULICKÝ MODEL	20
4.1. KONCEPČNÍ MODEL	20
4.2. OKRAJOVÉ PODMÍNKY	21
4.3. ZAČLENĚNÍ STUDIE PRAMENŮ DO HYDRAULICKÉHO MODELU	22
4.4. GEOMETRIE A TYP VRSTEV	25
4.5. VSTUPNÍ PARAMETRY	25
4.6. KALIBRACE – METODIKA.....	37
4.7. KALIBRACE – VÝSTUPY	38
4.8. SIMULOVANÉ PROUDĚNÍ PODZEMNÍ VODY.....	58
4.9. VLIV ČERPÁNÍ PODZEMNÍ VODY A INFILTRACE NA REŽIM A STAV PODZEMNÍCH VOD.	60
4.10. PREDIKCE VÝVOJE HLADIN PODZEMNÍ VODY	69
4.11. STANOVENÍ VYUŽITELNÝCH ZDROJŮ PODZEMNÍ VODY – STACIONÁRNÍ PREDIKCE... ..	108
5. NEJISTOTY A CITLIVOSTNÍ ANALÝZA.....	114
6. ZÁVĚR.....	118
7. POUŽITÉ PODKLADY	119



Seznam obrázků v textu:

Obr. 1: Korelace jednotek křídových sedimentů v české a saské části zájmové oblast Hřensko-Křinice/Kirnitzsch (Voigt et al., 2013).....	5
Obr. 2: Vymezení oblasti	8
Obr. 3: Útvary podzemních vod	9
Obr. 4: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 2 a kolísání srážek	11
Obr. 5: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 3 a kolísání srážek	11
Obr. 6: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 4 a kolísání srážek	12
Obr. 7: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 2 a kolísání odběrů podzemní vody.....	12
Obr. 8: Průměrné denní průtoky Křinice na stanici Kirnitzschtal.....	13
Obr. 9: Minimální měsíční průtoky Křinice na stanici Kirnitzschtal.....	13
Obr. 10: Zaznamenané čerpání podzemní vody na českém a německém území	14
Obr. 11: Mapa kontinuálně sledovaných vrtů	15
Obr. 12: Mapa hlavních odběrů.....	16
Obr. 13: Diskretizace modelové sítě	24
Obr. 14: Časově proměnná infiltrace z projektu KliWES.....	26
Obr. 15: Mapa báze kolektoru 4 a okrajové podmínky	28
Obr. 16: Mapa stropu kolektoru 4 a okrajové podmínky	29
Obr. 17: Mapa báze kolektoru 3 a okrajové podmínky	30
Obr. 18: Mapa stropu kolektoru 3 a okrajové podmínky	31
Obr. 19: Mapa mocnosti izolátoru 2/3 a okrajové podmínky	32
Obr. 20: Mapa báze kolektoru 2 a okrajové podmínky	33
Obr. 21: Mapa stropu kolektoru 2 a okrajové podmínky	34
Obr. 22: Mapa stropu kolektoru 1 a okrajové podmínky	35
Obr. 23: Mapa pramenů (Eckhardt, 2013)	36
Obr. 24: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 1 (ČR 1979)	41
Obr. 25: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 2 (ČR 1990)	42
Obr. 26: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 3 (ČR 2007)	43
Obr. 27: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 4 (ČR 2007 kontinuálně sledované vrty)	44
Obr. 28: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 5 (GER 2007).....	45
Obr. 29: Kolísání hladin podzemní vody v jímacím území Hřensko.....	46
Obr. 30: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – spojený kolektor 2+3 – české území	46
Obr. 31: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 4 – české území	47
Obr. 32: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektory 2, 3 a 4 – německé území mezi státní hranicí a vulkanickým tělesem	47
Obr. 33: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 2 – německé území mezi jímacím územím a vulkanickým tělesem	48
Obr. 34: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 2 – německé území na západním okraji modelové oblasti.....	48
Obr. 35: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 3 – německé území na západním okraji modelové oblasti.....	49
Obr. 36: Situace kalibračních skupin 1, 2, 3 a 5.....	50



Obr. 37: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 4.....	51
Obr. 38: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Poloizolátor 3/4.....	52
Obr. 39: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 3.....	53
Obr. 40: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Poloizolátor 2/3.....	54
Obr. 41: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 2.....	55
Obr. 42: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Poloizolátor 1/2.....	56
Obr. 43: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 1.....	57
Obr. 44: Graf vývoje vodní bilance.....	59
Obr. 45: Graf závislosti velikosti modelové drenáže podzemní vody do Křinice a Kamenice v celé modelové oblasti na čase	60
Obr. 46: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 1 (scénář V2S0-1)	62
Obr. 47: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 2 (scénář V2S0-1)	63
Obr. 48: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 3 (scénář V2S0-1)	64
Obr. 49: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 4 (scénář V2S0-1)	65
Obr. 50: Rozdíl mezi modelovou hladinou podzemní vody s čerpáním (scénář V2S0-1) a bez čerpání podzemní vody (scénář V2S0-2) – kolektor 2.....	66
Obr. 51: Rozdíl mezi modelovou hladinou podzemní vody s čerpáním (scénář V2S0-1) a bez čerpání podzemní vody (scénář V2S0-2) – kolektor 3.....	67
Obr. 52: Časové porovnání modelových hladin podzemní vody s čerpáním (scénář V2S0-1) a bez čerpání podzemní vody (scénář V2S0-2) – vybrané vrty s kontinuálním sledováním.....	68
Obr. 53: Modelová infiltrace pro predikce.....	69
Obr. 54: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu VP-8503..	73
Obr. 55: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 51516006_1	73
Obr. 56: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 51516006_2	74
Obr. 57: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516004	74
Obr. 58: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 51516002	75
Obr. 59: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516009	75
Obr. 60: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516010	76
Obr. 61: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516024	76
Obr. 62: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516025	77
Obr. 63: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-2 – kolektor 2, rok 2043.....	78
Obr. 64: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-2 – kolektor 3, rok 2043.....	79
Obr. 65: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-3 – kolektor 2, rok 2043.....	80
Obr. 66: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-3 – kolektor 3, rok 2043.....	81
Obr. 67: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-4 – kolektor 2, rok 2043.....	82
Obr. 68: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-4 – kolektor 3, rok 2043.....	83
Obr. 69: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-1 – kolektor 2, rok 2043.....	84
Obr. 70: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-1 – kolektor 3, rok 2043.....	85
Obr. 71: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-2 – kolektor 2, rok 2043.....	86
Obr. 72: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-2 – kolektor 3, rok 2043.....	87
Obr. 73: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-3 – kolektor 2, rok 2043.....	88
Obr. 74: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-3 – kolektor 3, rok 2043.....	89
Obr. 75: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-4 – kolektor 2, rok 2043.....	90
Obr. 76: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-4 – kolektor 3, rok 2043.....	91



Obr. 77: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-5 – kolektor 2, rok 2043.....	92
Obr. 78: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-5 – kolektor 3, rok 2043.....	93
Obr. 79: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-6 – kolektor 2, rok 2043.....	94
Obr. 80: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-6 – kolektor 3, rok 2043.....	95
Obr. 81: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-1 – kolektor 2, rok 2043.....	96
Obr. 82: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-1 – kolektor 3, rok 2043.....	97
Obr. 83: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-2 – kolektor 2, rok 2043.....	98
Obr. 84: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-2 – kolektor 3, rok 2043.....	99
Obr. 85: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-3 – kolektor 2, rok 2043...	100
Obr. 86: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-3 – kolektor 3, rok 2043...	101
Obr. 87: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-4 – kolektor 2, rok 2043...	102
Obr. 88: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-4 – kolektor 3, rok 2043...	103
Obr. 89: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-5 – kolektor 2, rok 2043...	104
Obr. 90: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-5 – kolektor 3, rok 2043...	105
Obr. 91: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-6 – kolektor 2, rok 2043...	106
Obr. 92: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-6 – kolektor 3, rok 2043...	107
Obr. 93: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu VP-8503	110
Obr. 94: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 51516006_1.....	110
Obr. 95: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 51516006_2.....	110
Obr. 96: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516004.....	111
Obr. 97: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516010.....	111
Obr. 98: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516024.....	112
Obr. 99: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516025.....	112
Obr. 100: Výsledky citlivostní analýzy.....	117

Seznam tabulek v textu:

Tab. 1: Definice kolektorů na české a německé části zájmové oblasti (upraveno podle Rösnera et al., 2008).....	6
Tab. 2: Seznam geologických vrstev křídových sedimentů geologického modelu od firmy G.E.O.S. (Voight et al., 2013, Kahnt et al., 2014) a jejich hydrogeologické zařazení, českých ekvivalentů a jejich aplikace do přeshraničního hydrogeologického modelu.....	19
Tab. 3: Definice geometrie poloizolátorů a kolektorů v německé části zájmového území	20
Tab. 4: Geometrie modelových vrstev	25
Tab. 5: Odběry podzemní vody v modelové oblasti	27
Tab. 6: Kalibrační skupiny vrtů.....	38
Tab. 7: Přijaté hydraulické parametry nakalibrovaného modelu	49
Tab. 8: Vodní bilance	59
Tab. 9: Scénáře V2S0-1 až V2S3-6	70
Tab. 10: Využitelné množství vs. poklesy hladiny podzemní vody na vrtu 51516006_2	109
Tab. 11: Seznam parametrů testovaných citlivostní analýzou	116



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre
Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti



Europäische Union. Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung: Investition in Ihre
Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti

Seznam příloh za textem:

Příloha 1: Přehled geologických vrstev z geologického modelu (Voight, 2013)

Seznam elektronických příloh (na CD):

Příloha 2: Časové řady čerpání podzemní vody použité v hydraulickém modelu

Příloha 3: Detailní vodní bilance vybraných modelových scénářů

Příloha 4: Vybrané modelové mapové vrstvy ve formátu *.shp

1. Úvod a cíle prací

Na základě Smlouvy o Dílo č. 12CDS100 s VÚV TGM, v.v.i., (dále jen „objednatel“) ze dne 7. 3. 2012 předkládá společnost AQUATEST a.s. (dále jen „zhotovitel“) zprávu za druhou etapu matematického modelování v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch. Dílo je součástí projektu s názvem *Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (GRACE)* dotovaného z programu Cíl 3 na podporu přeshraniční spolupráce mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko.

V rámci předchozí (první) etapy byl sestrojen „národní“ model proudění podzemní vody opírající se zejména o data z české části území. Cílem první etapy bylo vypracování stacionárního modelu proudění podzemních vod v dané oblasti, vytipování míst pro doplnění dat pro snížení nejistoty matematického modelu a definice dat a informací, které byly požadovány od německých partnerů nutných pro zpracování komplexní transientní simulace ve druhé etapě. Druhá etapa má za cíl odpovědět na otázku o původu poklesů hladin podzemní vody v minulosti a simulovat prognózu režimu podzemních vod v budoucnosti.

Po předání geologického modelu od firmy G.E.O.S. (Voight et al., 2013, Kahnt et al., 2014) v říjnu 2013 byl stacionární model z první etapy aktualizován. Pro vytvoření přeshraničního hydrogeologického modelu bylo přejato německé členění kolektorů a izolátorů a německá terminologie. Při transformaci německého geologického modelu, který se skládá z geologických vrstev, na model hydrogeologický, který je naopak složen z kolektorů a izolátorů, bylo zjištěno, že na německém území je nezbytné v matematickém modelu vyčlenit 4 kolektory (označované jako kolektory 1 – 4), zatímco na českém území se vymezují kolektory pouze 2 (označované A a BC). Po analýze německého hydrogeologického modelu, českých dat a studie pramenů (Eckhardt, 2013) byly německé kolektory extrapolovány i na české území. Takto byly vymezeny kolektory a izolátory v celé přeshraniční oblasti.

Aktualizovaný stacionární model byl překalibrován obdobným způsobem jako v první etapě a následně přeložen do transientního modelu, který byl kalibrován podle kolísání dlouhodobě pozorovaných hladin podzemní vody. V poslední fázi byl schválený kalibrováný model použit pro predikci vývoje hladin podzemní vody podle objednatelům sestavených prognózních scénářů s proměnnými odběry podzemní vody a s proměnnou infiltrací.

2. Charakteristika oblasti

2.1. Vymezení

Pro snazší definici okrajových podmínek byla modelová oblast Hřensko-Křinice/Kirnitzsch na jižním okraji rozšířena až k Srbské Kamenici a k doubickému zlomovému pásmu (**Obr. 2**). Zájmovým či hodnoceným územím se dále v textu rozumí modelová oblast, jejíž rozsah přesahuje objednatel vymezenou oblast Hřensko-Křinice/Kirnitzsch (**Obr. 2**). Zájmové území zabírá plochu cca 150 km² v příhraničních oblastech států ČR a SRN při severním okraji české křídové pánve. Na území každého státu se nachází zhruba 50 % zájmové oblasti. Z hydrogeologického hlediska se dle české terminologie jedná o východní část jetřichovické antiklinály (**Obr. 3**).

Severní a východní hranici tvoří okraj české křídové pánve (lužický zlom). Jihovýchodní hranice modelované oblasti je reprezentována doubickým zlomovým polem (děčínské zlomové pásmo), jižní a západní hranici představuje tok Kamenice, Chřibské Kamenice a Labe (**Obr. 3**).

Přesné digitální vymezení lužického zlomu bylo provedeno na českém území podle hranice hydrogeologického rajónu 4660 – Křída Dolní Kamenice a Křinice, zatímco na německém území, kde má lužický zlom charakter přesmyku, byl rozsah modelové oblasti uvažován podle rozsahu kolektoru 4 uvedeném v geologickém modelu firmy G.E.O.S. (Voight et al., 2013, Kahnt et al., 2014).

2.2. Hydrologická charakteristika

Z hydrologického hlediska spadá zájmové území do dolního povodí Kamenice a Křinice. Řeka Kamenice pramení v Lužických horách na jihozápadním svahu Jelení skály ve výšce 595 m n. m. Vodní tok má v horní části charakter horského potoka. Stéká ze svahů Lužických hor, protéká Kytlickou vrchovinou a u České Kamenice v Růžovské pahorkatině přitéká do Krušnohorské soustavy. Po soutoku s Chřibskou Kamenicí vtéká do Národního parku České Švýcarsko, kde protéká soutěskami Děčínských stěn. Ve Hřensku (116 m n. m.) ústí zprava do Labe. Délka toku je 35,6 km. Plocha povodí po závěrovou stanici Hřensko činí 214,9 km², celková plocha povodí je 216,8 km². Průměrný průtok je 2,62 m³/s. Průměrná roční srážka na povodí je 826 mm.

Křinice pramení na úpatí Lužických hor západně od obce Studánka ve výšce 494 m n. m. Protéká obcí Krásná Lípa a za obcí Kyjov vstupuje do Národního parku České Švýcarsko, kde protéká hluboce zaříznutým Kyjovským údolím. Poblíž bývalé osady Zadní Doubice se stává hraničním tokem mezi ČR a SRN. Západně od Jankova kopce ve výšce 250 m n. m. v okolí bývalé osady Zadní Jetřichovice opouští Křinice státní hranici (hraniční profil Kozí Důl) a dále pokračuje Saským Švýcarskem až k ústí do Labe v Bad Schandau. Plocha povodí po hraniční profil Kozí důl činí 81,3 km², plocha povodí po hydrologickou stanici Zadní Jetřichovice je 65,5 km². Celková plocha povodí Křinice po ústí do Labe je 165 km². Průměrný průtok v profilu Zadní Jetřichovice je 0,802 m³/s. Průměrná roční srážka na povodí je 820 mm.

2.3. Geologické poměry území

Zájmové území se nalézá na severním okraji české křídové pánve a dle české terminologie spadá do východní části jetřichovické antiklinály, neboť je za hranici mezi západní a východní částí považováno Labe (Valečka et al., 1999).

Pojem jetřichovická antiklinála v české terminologii (Valečka et al., 1999) znamená strukturu, která je na jihu omezena děčínským zlomovým polem, které ji odděluje od zakleslé středohorské struktury (benešovské synklinály). Děčínské zlomové pole se skládá z děčínského zlomového pole s.s., českokamenického a doubického zlomového pole. Výška skoku u jižního okrajového zlomu děčínského zlomového pole s.s. mezi obcí Libouchec a Českou Kamenicí dosahuje v průměru 300 m a odděluje zvodněné kolektory na obou stranách zlomových linií, které jsou považovány za nepropustné (předpokládá se, že se na nich stýkají kolektory a poloizolátory). Doubické zlomové pole má výšku skoku u jižního okrajového zlomu desítky metrů až 150 m a umožňuje komunikaci podzemních vod se zakleslou středohorskou strukturou. Na západě (u Tisé) je jetřichovická antiklinála ohraničena okrajem křídového pokryvu, na východě lužickým zlomem. Na severu je hranice konvenční a tvoří ji hranice s Německem. Plošší severní (či severozápadní) křídlo antiklinály přechází na území Německa do homoklinály (monoklinály) zasahující nejméně k Pirně, k lužickému zlomu (Valečka et al., 1999).

Podloží křídý tvoří krystalinikum proterozoického až spodnopaleozoického stáří (převážně slaběji metamorfované horniny – fylity, zelené břidlice aj. spolu výskytem těles granitoidů) a popř. výplň permokarbonských pánví.

Nejvýznamnější zlomovou strukturou je lužický zlom. Lužický zlom odděluje na severovýchodě křídlo od krystalinika a granitoidů lužického žulového masivu. Zlom je přesmykového charakteru a došlo na něm k vyzdvižení lužického masivu a jeho přesunutí přes křídové sedimenty. Současně s křídovými sedimenty byly podél poruchové linie z podloží vyvlečeny permské a jurské horniny. Výška skoku zlomu se pohybuje od několika metrů k 1000 m (Malkovský, 1979).

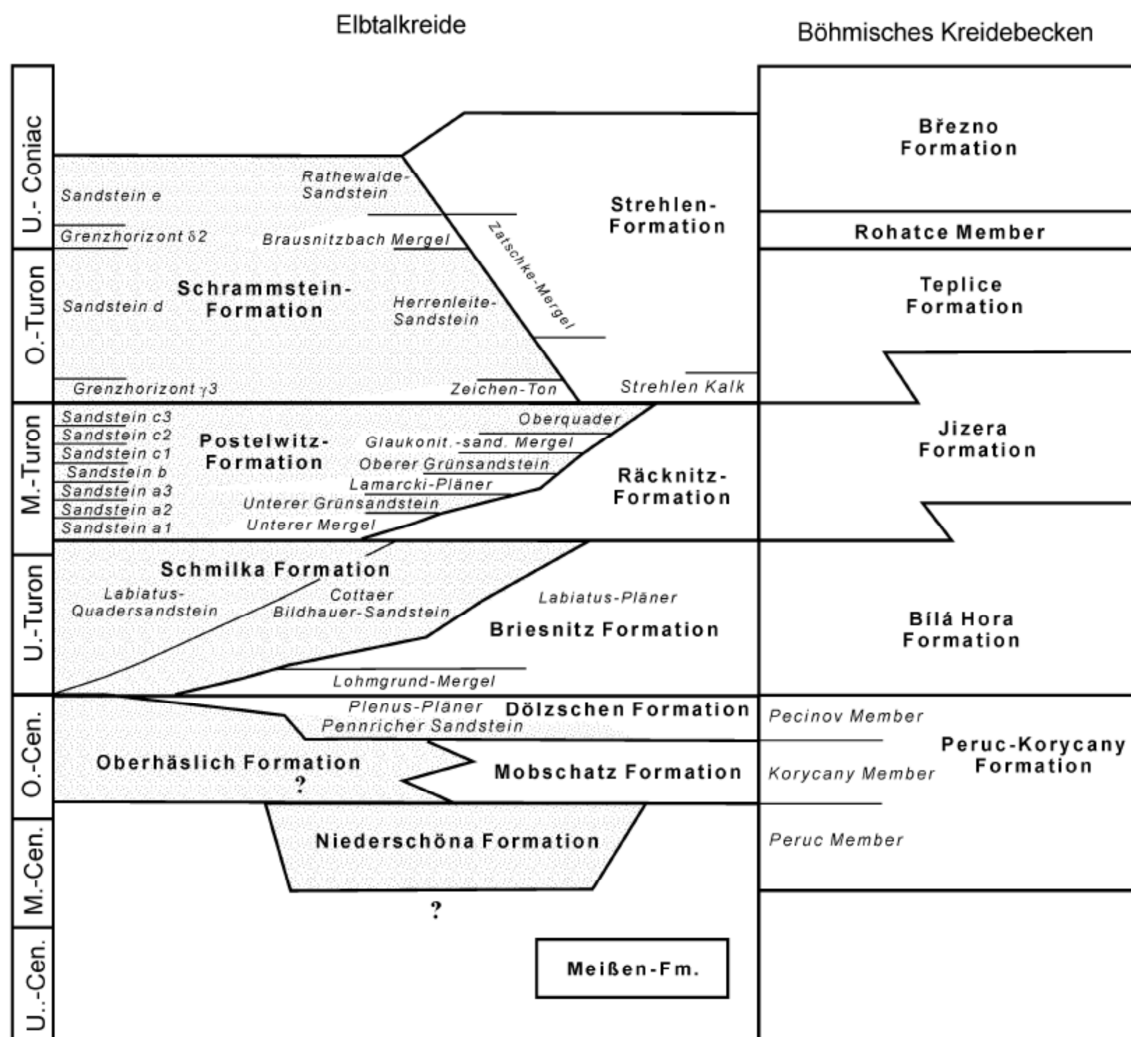
Cenoman je zastoupen peruckými a korycanskými vrstvami. Perucké vrstvy jsou rozšířeny nesouvisle v řadě výskytů, mají cyklickou stavbu s proměnlivou mocností 35–40 m. Cykly jsou tvořeny do nadloží zjemňujícími pískovci a většinou ukončeny tmavými jílovci či jílovitými prachovci. Vývoj korycanských vrstev je prakticky výhradně psamitický. Mocnosti cenomanu dosahují většinou několika desítek metrů až 110 m.

Turon je zastoupen 2 souvrstvími. Bělohorské souvrství bylo vyvinuto jako výrazný, do nadloží hrubnoucí progradační cyklus. Cyklus začíná slínovci, nad nimiž následují vápnito-jílovité jemnozrnné pískovce a končí křemennými pískovci. Jizerské souvrství se vyznačuje změnami v mocnostech a litofaciálním vývoji. Pískovce jsou zrnitostně uspořádány do cyklů mocných od 2 m do několika desítek metrů. Křídový pokryv je tvořen hojnými solitérními tělesy erozí obnažených, podpovrchových vulkanitů.

Kvartér je zastoupen převážně deluviálními, fluviálními a eolickými sedimenty (sprašové hlíny). Tvoří jej svahové písčité hlíny s tenkou povrchovou vrstvou humózních hlín (mocnost do 1–2 m), místy v údolí Kamenice jsou vyvinuty štěrkopísčité a písčitojílovité náplavy, jejichž mocnost nepřesahuje 10 m.

Německé stratigrafické členění křídových sedimentů je podrobnější (např. Rösner et al., 2008) a uvádíme jej dále. V podloží křídových sedimentů se nachází lužický granodiorit. V cenomanu odpovídají korycanské vrstvy pískovcům tzv. spodního kvádru c_1s , na spodu často s vrstvou slepence. Spodní turon začíná tzv. podkladovým slínem t_1m , nad ním jsou uloženy opuky *labiatus* a nad nimi pískovce *labiatus* t_1s . Spodní střední turon je tvořen pískovci stupně a_1 , lokální mezivrstvou *lamarci* a pískovci stupňů a_2 a a_3 . Směrem do nadloží následuje málo mocná vrstva pískovců α_3 a pískovce stupně b . Svrchní střední turon začíná pískovci mezivrstvy β a pokračuje pískovci stupně c_1 . Svrchní turon je zastoupen pískovci stupně c_2 , pískovci stupně c_3 , mezivrstvou pískovců γ , pískovci stupně d a pískovci mezivrstvy δ . Nejsvrchnějšími křídové sedimenty jsou pískovce stupně e coniackého stáří.

Korelace souvrství křídových sedimentů v české a saské části je zobrazena na **Obr. 1**. Březenské souvrství, rohatecké souvrství a teplické souvrství, která odpovídají svrchnímu turonu a spodnímu coniacu, jsou na saské straně zastoupeny souvrstvím Strehlen-Formation a Schramstein-Formation. Jizerské souvrství, které je středněturonského stáří, je na saské straně reprezentováno souvrstvím Räcknitz a Postelwitz. Bělohorské souvrství (spodní turon) je na saské straně reprezentováno souvrstvím Schmilka-Formation a Briesnitz-Formation. Perucko-korycanskému souvrství, které odpovídá svrchnímu až střednímu cenomanu, je na saské straně zastoupeno souvrstvím Dölzschen-Formation, Mobschatz-Formation, Oberhäslich-Formation a NiederSchöna-Formation. Jako izolátor jsou vyčleněny pouze krystalinické podloží a vrstvy Briesnitz-Formation (odpovídají spodní části bělohorského souvrství).



Obr. 1: Korelace jednotek křídových sedimentů v české a saské části zájmové oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch (Voigt et al., 2013)

2.4. Hydrogeologické poměry území

Modelová oblast se na českém území nachází v severní části hydrogeologického rajónu 4660 – Křída Dolní Kamenice a Křinice a v severní části útvaru podzemních vod 46600 – Křída Dolní Kamenice a Křinice. Na německém území modelová oblast zahrnuje téměř celý saský útvar podzemních vod "EL 1-6" (Obr. 2).

Na českém území lze rozlišit 2 samostatné křídové kolektory podzemních vod (Valečka et al., 1999, **Tab. 1**):

Bazální kolektor A tvoří sedimenty perucko-korycanského souvrství (cenoman), ve kterém převažují pískovce, jen v místech výskytu peruckých vrstev prokládané jílovci. K infiltraci dochází převážně v oblasti podél lužické poruchy, kde izolátor A/BC chybí a nadložní křídové sedimenty jsou patrně silně rozpučány, a podél lužické poruchy samotné. Podzemní voda v kolektoru A proudí od lužické poruchy k západu a je drénována v hluboce zařízlých údolích dolní Kamenice. Mocnost kolektoru se pohybuje mezi 40–70 m, směrem k lužickému zlomu roste až na 110 m. Propustnost kolektoru A je průlinově-puklinová s průměrnou transmisivitou 60 m²/d. Pro velkou hloubku není kolektor A vodárensky využíván (strop kolektoru se pohybuje v hloubce od 75 m p. t. v údolí Kamenice až do zhruba 400 m p. t.).

Svrchní kolektor BC je tvořen pískovci bělohorského a jizerského souvrství (spodní a střední turon). Kolektor BC má volnou hladinu podzemní vody a je napájen převážně infiltrovaným podílem ze srážek. Aloctonním zdrojem podzemních vod je přítok ze středohorské zapadlé struktury přes doubické zlomové pole, který byl stanoven na 127 l/s (Valečka et al., 1999). Tok Kamenice zajišťuje odvodnění kolektoru BC s výjimkou severního okraje struktury, který je drénován na území Německa. Mocnosti kolektoru kolísají od 60 m na JZ do 510 m na SV. Propustnost kolektoru BC je průlinově-puklinová s průměrnou transmisivitou 232 m²/d. Kolektor BC je vodárensky využíván v prameništi Hřensko (odběry dosahují 60–85 l/s).

V německé části zájmového území byly geologické vrstvy rozděleny do 4 kolektorů (Rösner et al., 2008, **Tab. 1**), z nichž 3 kolektory (označované číslicemi 2, 3 a 4) lze považovat za hlavní kolektory s regionálním prouděním podzemní vody. Kolektor 1 se formuje v nejsvrchnějších křídových sedimentech (svrchní střední turon až coniac) a vyznačuje se lokálním výskytem a lokálním prouděním podzemní vody.

Tab. 1: Definice kolektorů na české a německé části zájmové oblasti (upraveno podle Rösnera et al., 2008)

Hydrogeologické zařazení v české části	Geologické zařazení v české části	Hydrogeologické zařazení v německé části	Geologické zařazení v německé části
Nevymezuje se, ale dle analýzy pramenů může lokálně existovat (Eckhardt, 2013)	–	Kolektor 1c	coniac – pískovcový stupeň e
		Kolektor 1b	svrchní turon – pískovcové stupně c ₃ a d
		Kolektor 1a	svrchní střední turon – pískovcový stupeň c ₁
Kolektor BC	pískovce spodního a středního turon (existují bodová data o lokální existenci 2 kolektorů, nicméně 2 kolektory nelze vymezit). Východně od Křinice se jedná o spojený kolektor spodního a středního turonu	Kolektor 2	spodní střední turon – pískovcové stupně a ₃ a b
		Kolektor 3	spodní turon – pískovec labiatus; spodní střední turon – pískovcový stupeň a ₁
Kolektor A	cenomanské pískovce	Kolektor 4	cenomanské pískovce

Cenomanský kolektor 4 (o mocnosti mezi cca 60 a 110 m) je rozšířen v celém zájmovém území (Rösner et al., 2008). Hladina podzemní vody je v kolektoru 4 silně napjatá. Rösner et al. (2008) uvádí hydraulickou vodivost $7 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-5}$ m/s. V nadloží kolektoru 4 se nacházejí 20–50 m mocné opuky labiatus s hydraulickou vodivostí $5 \cdot 10^{-10}$ až $2 \cdot 10^{-9}$ m/s, které se chovají jako poloizolátor mezi kolektory 3 a 4. MIBUS (1997), ke kterému se připojuje i DITTRICH (2002), se domnívá, že komunikace mezi oběma kolektory v zájmovém území existuje pouze v oblasti poruchy a vyvýšení východně od Bad Schandau, kde je opuka labiatus posunuta s odskokem asi 90 m.

Kolektor 3 (pískovec *labiatus t1s* a pískovcový stupeň *a1*, spodní a střední turon) je kvůli své mocnosti (cca 80–140 m) a rozšíření (celoplošně v celých Labských pískovcích) nejvýznamnějším kolektorem podzemních vod. V zájmovém území je kolektor 3 intenzívně vodohospodářsky využíván v Sebnitz (hlubinné studny Felsenmühle a Neumannmühle) společně s kolektorem 2 (pozn.: Prameniště Hřensko odebírá podzemní vodu především s geologických vrstev odpovídajících kolektoru 3).

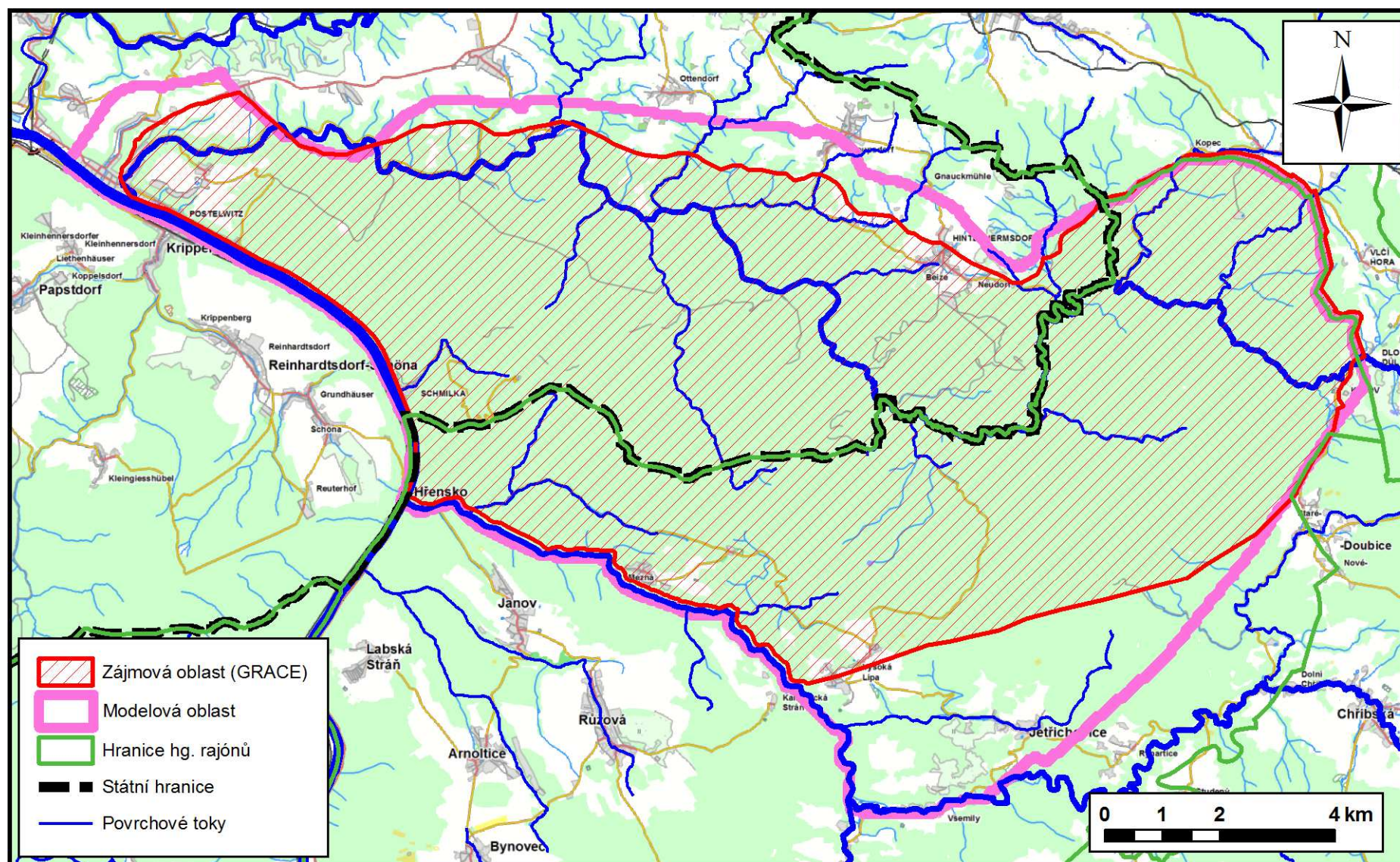
V západní části zájmového území je pískovec *labiatus* překryt jílovito-slínovcovou zónou, která způsobuje napjaté poměry podzemní vody v kolektoru 3 a vede v oblasti Labe a v dolní části údolí Křinice k vytvoření napjaté hladiny podzemní vody (viz také **kapitola 4.1.3**). Dále východně se tato zóna mění v pískovce, tj. spodnoturonský pískovec *labiatus* a středněturonský pískovcový stupeň *a1* (čili kolektor 2) se už nedají rozlišit. Pro oba kolektory 2 a 3 se v údolí Křinice odhaduje průměrná hydraulická vodivost $1 \cdot 10^{-5}$ m/s (Rösner et al., 2008).

Kolektor 2 se skládá ze středněturonského pískovce *a3* a *b*. Dle MIBUSE (1997) se jako samostatný kolektor 2 vymezuje přibližně západně od Großer Zschand a směrem na západ získává na významu. DITTRICH (2002) (in Rösner et al., 2008) uvádí pro kolektor 2 průměrnou hodnotu hydraulické vodivosti $1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

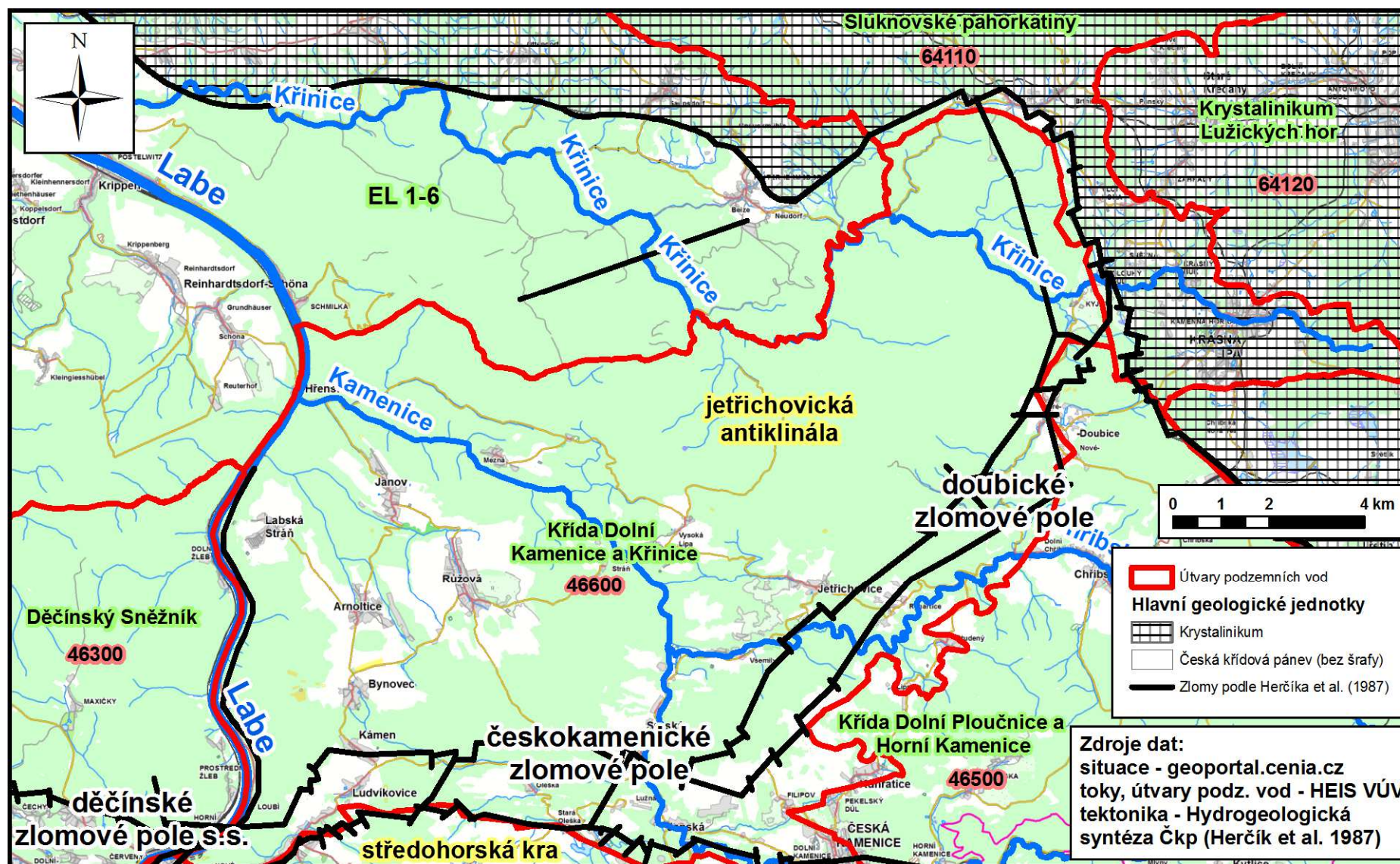
Jednoznačné vymezení kolektorů 1a až 1c neexistuje kvůli převažující absenci mezistupně β , který uvozuje svrchní střední turon, takže všechny tři svrchní kolektory jsou ve velkých částech zájmového území vzájemně propojeny.

Křídové sedimenty jsou v zájmovém území přerušovány terciárními efúziemi, vulkanickými tělesy a žilami. Vulkanické horniny zvětřávají do různých hloubek a převážně na jíl. Hydrogeologicky působí velkou měrou jako izolátory.

Kvartérní nezpevněné sedimenty (holocenní a pleistocenní sedimenty) jsou vázány v zájmovém území na nivní oblasti vodotečí a na lokální sprašové a svahové hlinité pokryvy na vysoko položených plochách. Hydrogeologický význam mají pouze pleistocenní sedimenty, a sice v těch oblastech, kde dosahují mocnosti od 5 do cca 10 metrů (např. v labské nivě nebo v údolní nivě Křinice). Jedná se o převážně písčité pískovcové sutě s čedičovými a žulovými oblázky, které jsou překryty písčitou nivní hlínou o mocnosti v průměru 1 až 3 metry.



Obr. 2: Vymezení oblasti



Obr. 3: Útvary podzemních vod

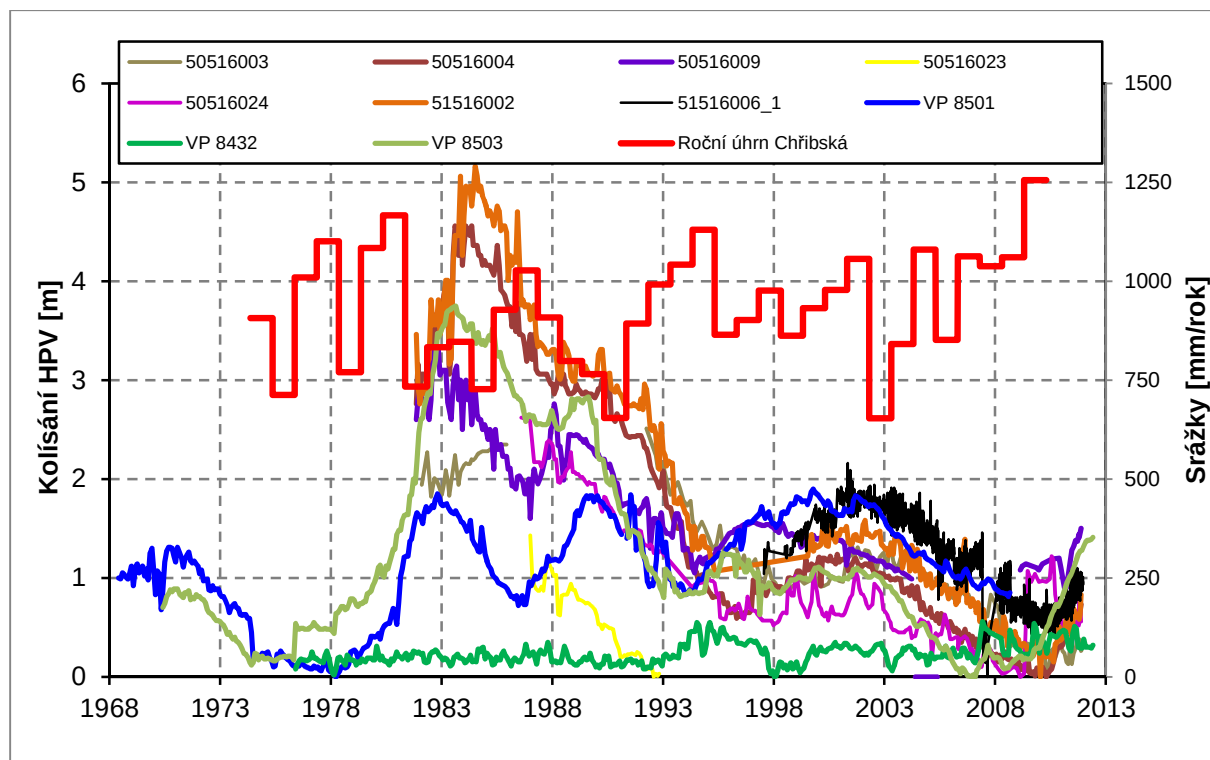
2.5. Problematika poklesů hladin podzemní vody

V zájmové oblasti došlo za posledních 30 let k výraznému poklesu hladin podzemní vody (**Obr. 4 až Obr. 6**, situace je na **Obr. 11**), které mohlo být způsobeno čerpáním podzemní vody na německém a českém území nebo snížením infiltrovaného podílu z atmosférických srážek. Vrty německé pozorovací sítě vykazují setrvalý pokles hladiny podzemní vody od počátku osmdesátých let dvacátého století (**Obr. 4 a Obr. 5**). Hladiny podzemní vody na měřených turonských vrtech sítě ČHMÚ (VP-8432 a VP-8501) se velmi dobře shodují s kolísáním hladin podzemní vody na německých vrtech a naznačují, co se dělo na německých vrtech před počátkem jejich sledování. Mezi lety 1968 a 1980 docházelo na vrtech s nejdelší dobou sledování (VP-8432 a VP-8501) ke stejnému kolísání hladin podzemní vody, k jakému víceméně dochází v posledním desetiletí. Rok 1978 znamenal počátek velmi strmého nárůstu hladin podzemní vody s vrcholem mezi lety 1983 až 1985.

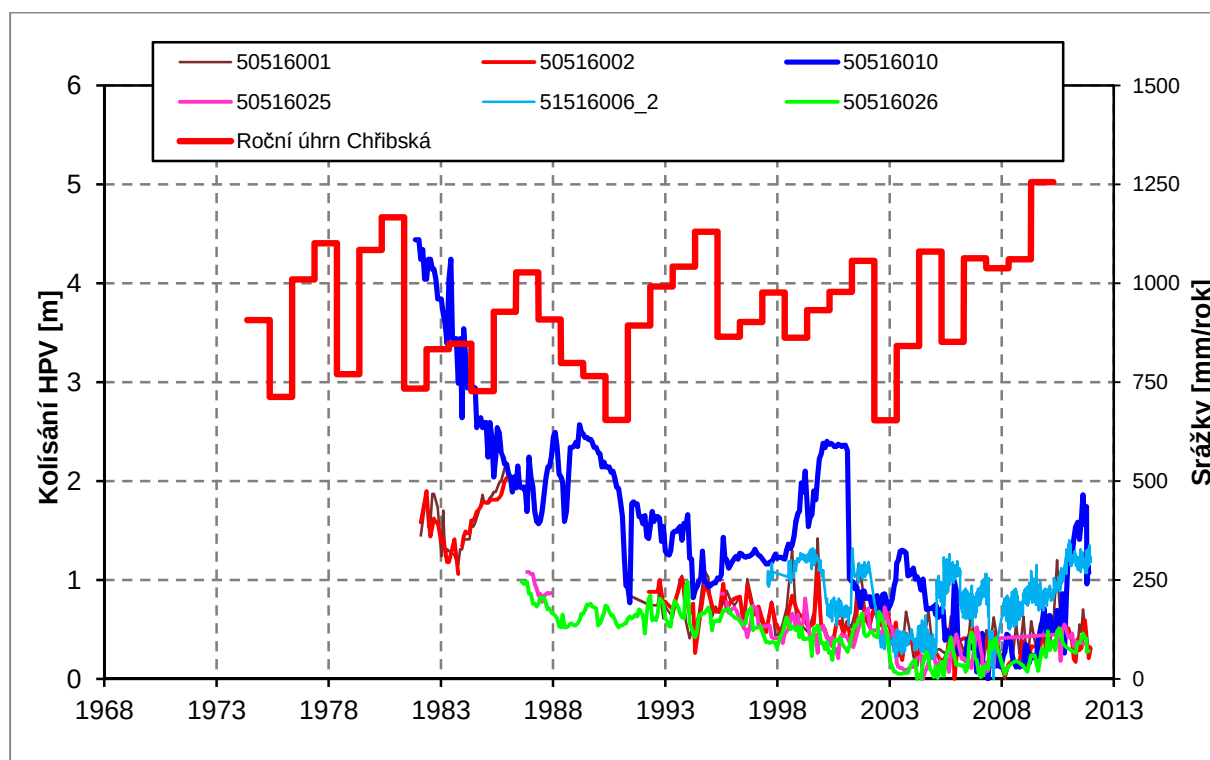
Období 1982–1991 bylo srážkově většinou podnormální a odběry v české a v německé části se výrazně zvyšovaly (**Obr. 7**). Hladiny podzemní vody prudce zaklesly až o 5 m. Srážkově bohatší počátek devadesátých let a především poklesy odběrů podzemních vod zřejmě způsobily částečný růst hladin podzemních vod mezi lety 1997 až 2001. Od roku 2001 následoval setrvalý pokles hladin podzemní vody a to až do roku 2010. Po roce 2010 hladiny podzemní vody začaly stoupat, což bylo zřejmě způsobeno extrémními srážkami v roce 2010.

Zajímavý pohled na poklesy hladin podzemní vody mohou poskytnout časové řady průtoků na Křinici (**Obr. 8 a Obr. 9**). Minimální měsíční průtoky na počátku osmdesátých let dosahovaly maximálních hodnot (zhruba $1 \text{ m}^3/\text{s}$). Během následujících 10 let minimální měsíční průtoky poklesly až na $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Poklesy a nárůsty minimálních průtoků dobře korespondují se změnami hladin podzemní vody. Velmi dobře patrný je i nárůst minimálních měsíčních průtoků na Křinici okolo roku 2010 (**Obr. 9**), což je ve velmi dobré shodě s kolísáním hladin podzemní vody. Lze předpokládat, že kromě samotných odběrů podzemních vod může mít velký vliv na režim podzemních vod infiltrace.

Vysvětlení zaznamenaných změn a predikce dalšího vývoje hladin podzemní vody bylo jedním z hlavních cílů transientního modelu 2. etapy. Důraz byl přitom kladen na zodpovězení otázky, jaký podíl na poklesu hladin podzemní vody mají změny infiltrace a odběry podzemní vody.

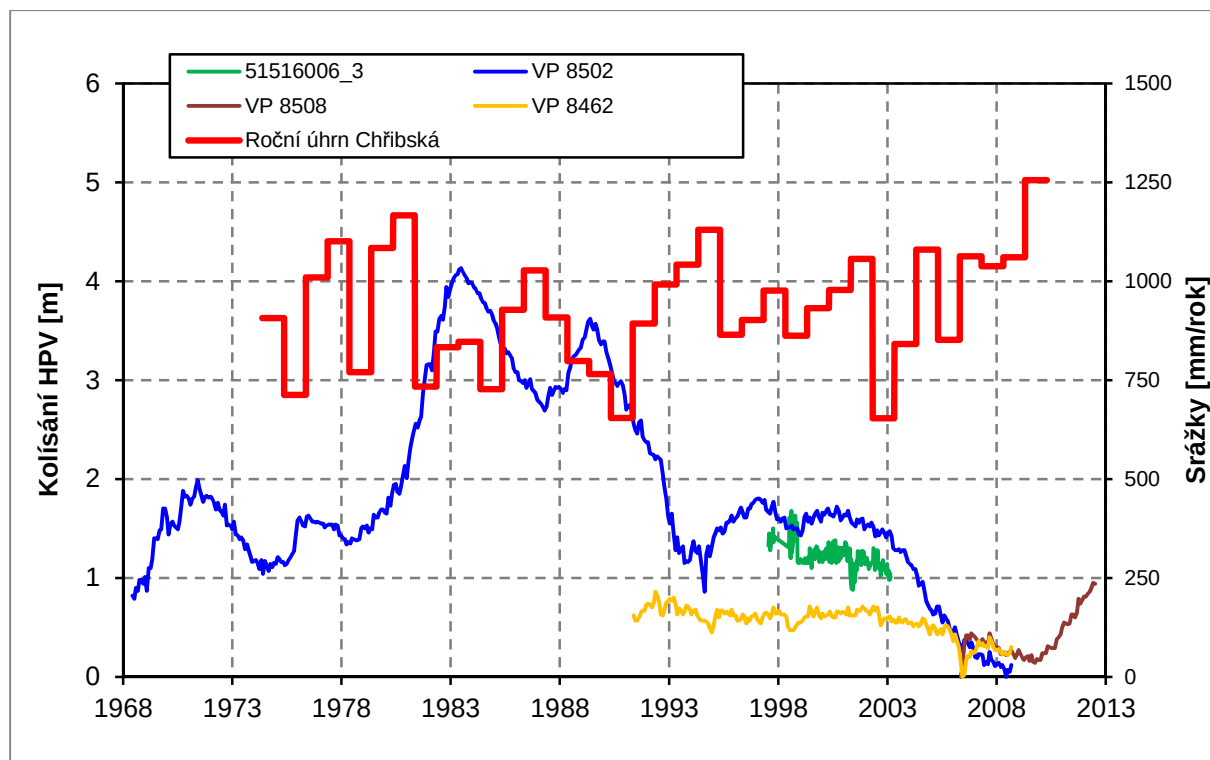


Obr. 4: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 2 a kolísání srážek

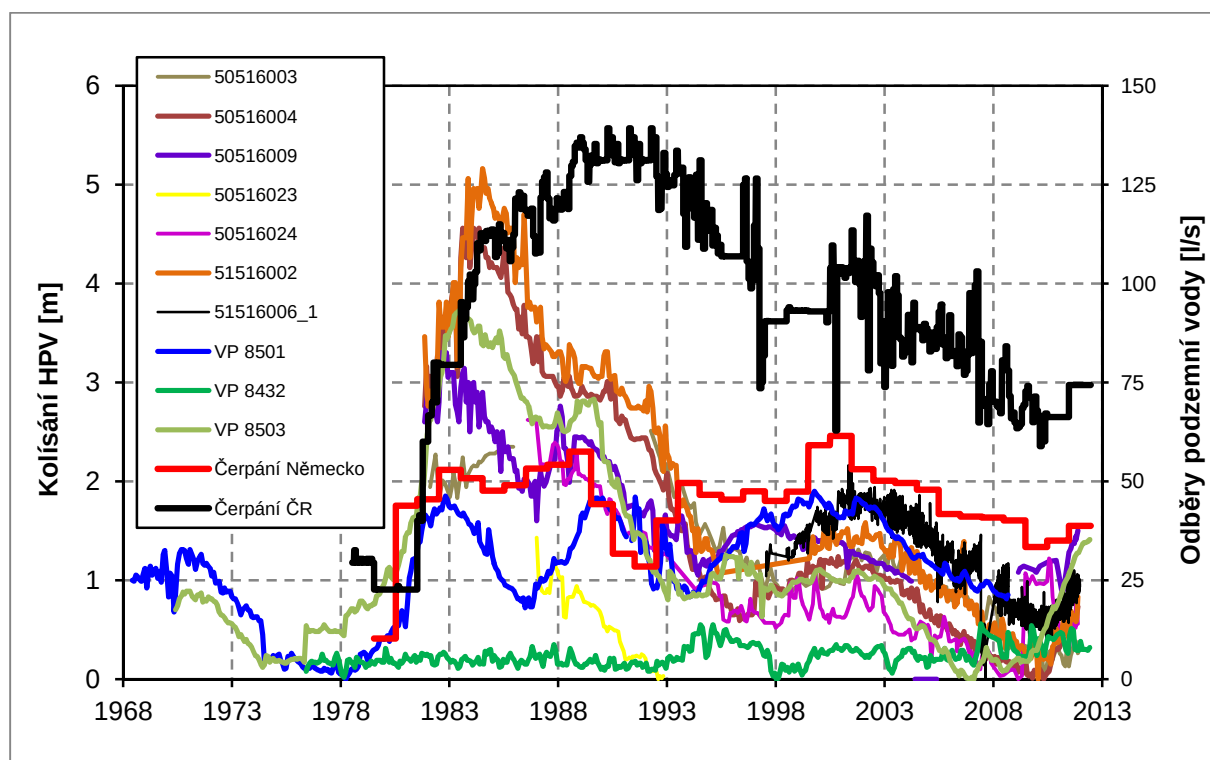


Obr. 5: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 3 a kolísání srážek

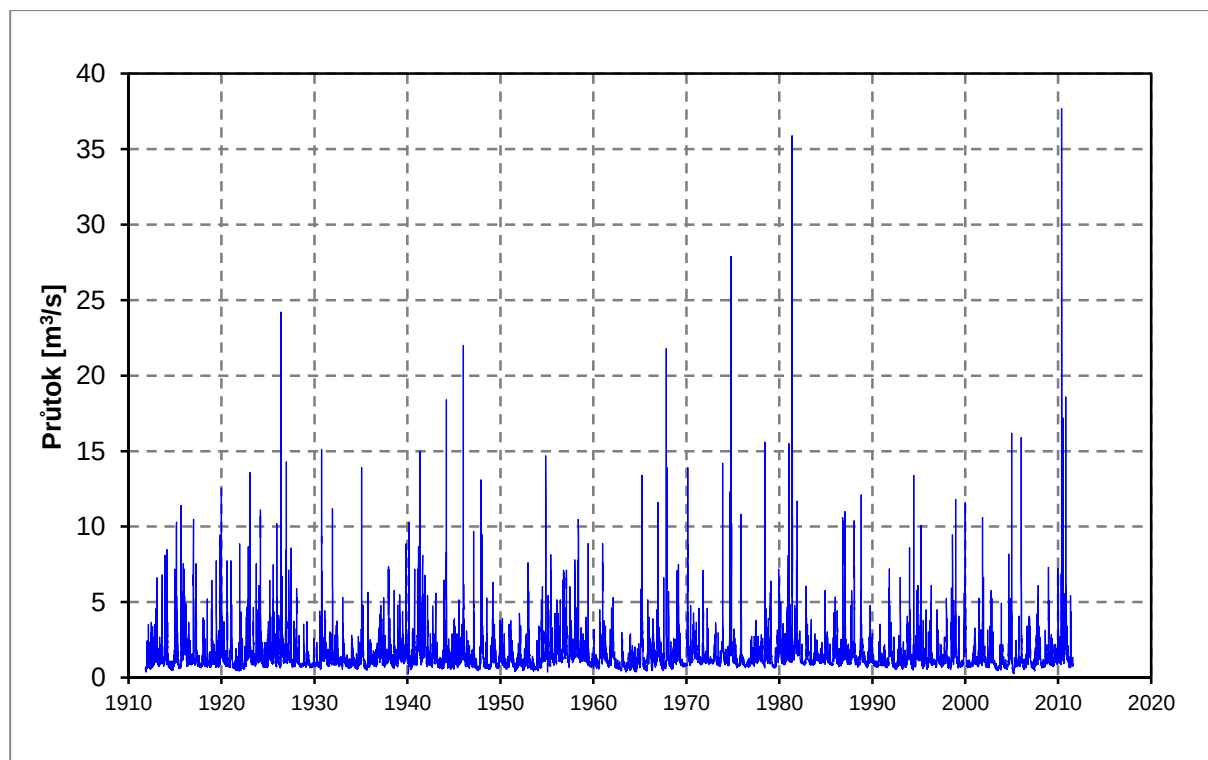
Pozn.: Dle informací německé strany a Rösnera et al., 2008 se vrt 50516010 nachází v kolektoru 3, nicméně podle perforace a geologického modelu firmy G.E.O.S. vrt spadá do kolektoru 2.



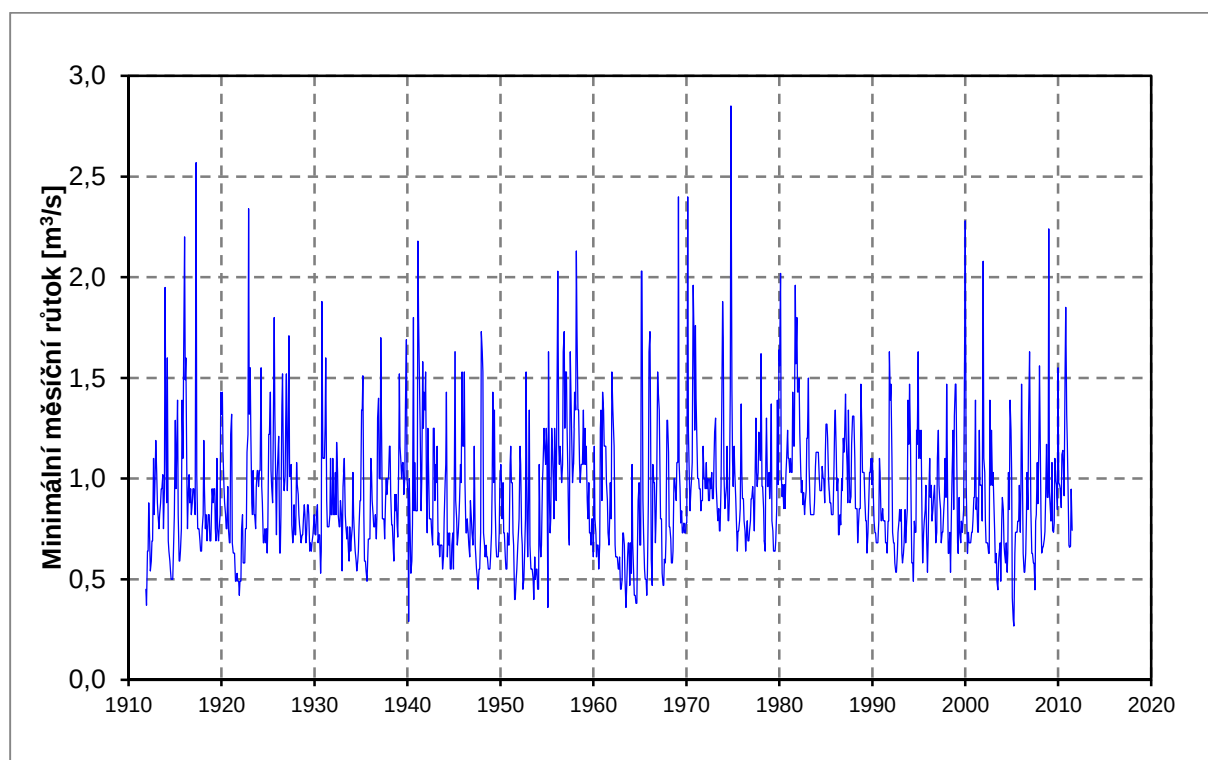
Obr. 6: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 4 a kolísání srážek



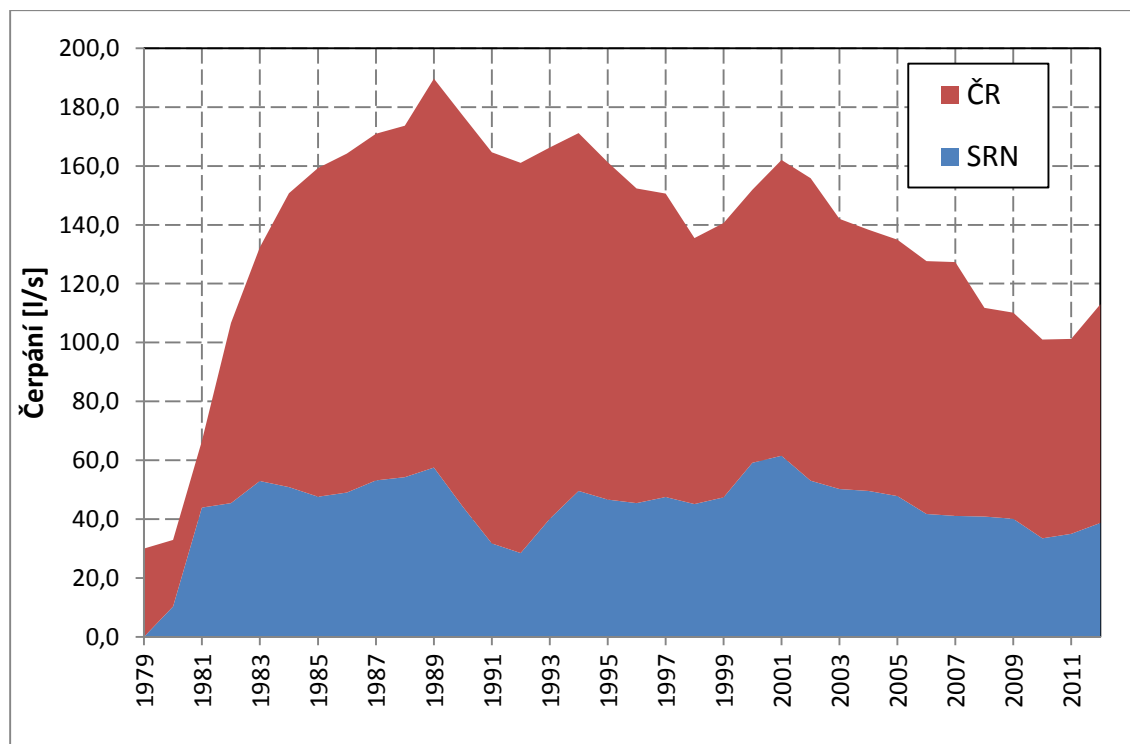
Obr. 7: Kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 2 a kolísání odběrů podzemní vody



Obr. 8: Průměrné denní průtoky Křinice na stanici Kirnitzschtal

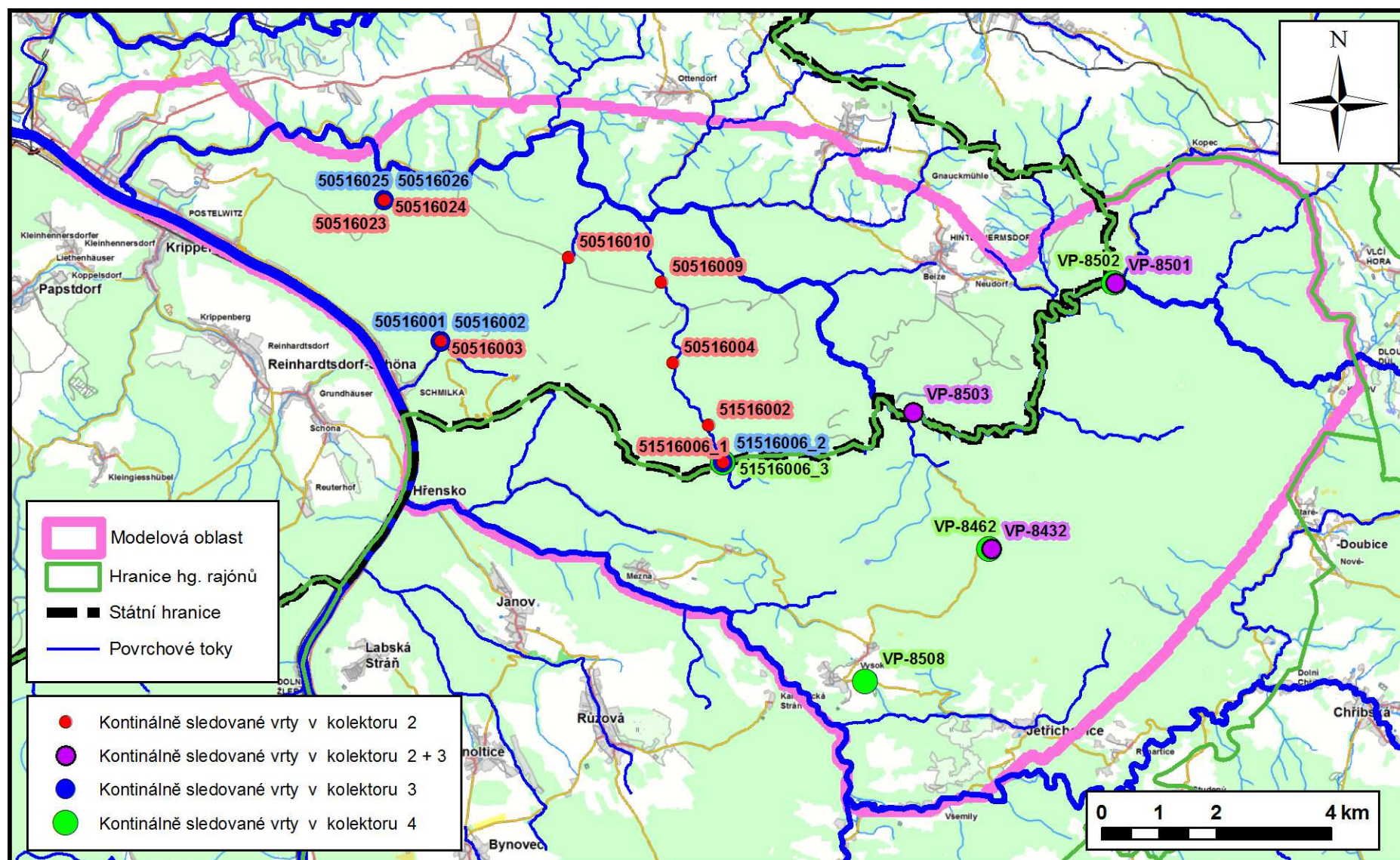


Obr. 9: Minimální měsíční průtoky Křinice na stanici Kirnitzschtal

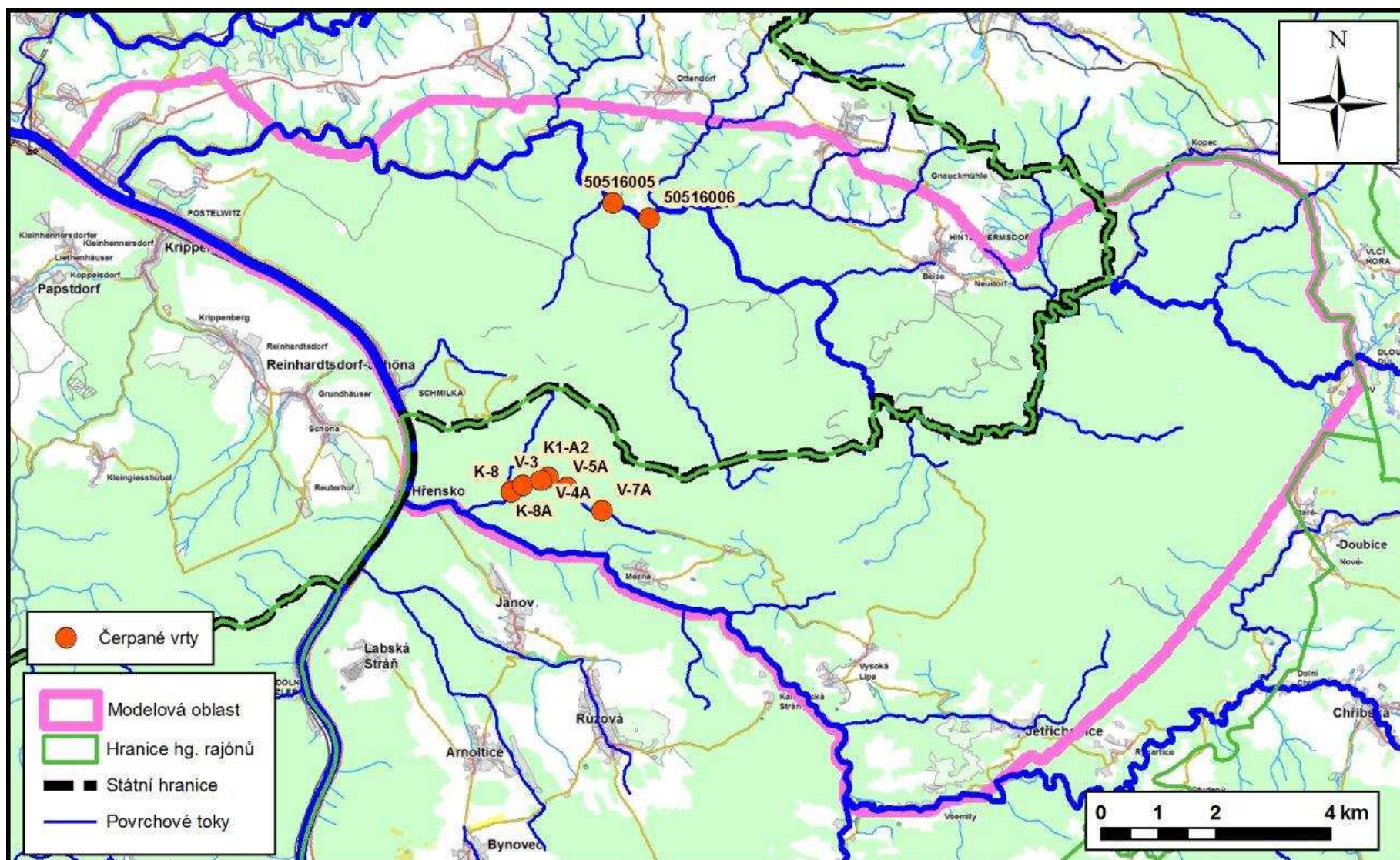


Obr. 10: Zaznamenané čerpání podzemní vody na českém a německém území

Zdroj dat: VUV TGM, v.v.i, G.E.O.S. (Mibus et al., 1998), LfULG, SČVK, a.s.



Obr. 11: Mapa kontinuálně sledovaných vrtů



Obr. 12: Mapa hlavních odběrů

3. Metodika

3.1. Použitý software

K výpočtu hladiny podzemní vody byl použit proudový model MODFLOW (Harbaugh, McDonald, 1996). Je to 3rozměrný model založený na metodě konečných diferencí. Modelovaná oblast se nejprve vertikálně rozdělí do vrstev a uvnitř těchto vrstev se definují elementy o obdélníkové základně. V modelované oblasti je možné definovat zdroje a odběry vody jako jsou studny, plošné zdroje z dešťových srážek, evapotranspirace, čerpané studny, drenáže, vodní toky.

Matematický model aplikuje metodu konečných diferencí na dvourozměrném poli elementů. Rovnice pro proudění v heterogenním anizotropním médiu je:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + W \quad (1)$$

kde jsou:

- k_{xx} - hydraulická vodivost ve směru x, y, z
- h - hydraulická výška
- S - storativita
- W - zdroje jako funkce prostorových souřadnic a času
- t - čas
- x, y, z - prostorové souřadnice

Rovnice proudění se řeší společně s počátečními a okrajovými podmínkami pro všechny modelové elementy. Základní modelová síť je obdélník tvořený stejnými pravoúhlými prvky stejné mocnosti. Protože skutečná modelovaná oblast je nepravidelná a menší než základní modelová síť, mohou být jednotlivé elementy ležící mimo tuto skutečnou oblast specifikovány jako neaktivní. Obecně mohou modelové elementy mít jednu z alternativních specifikací:

- aktivní elementy, tj. buňky s variabilní piezometrickou hladinou,
- elementy s konstantní hladinou (hydraulickou výškou),
- neaktivní elementy, tj. buňky ležící mimo oblast výpočtu.

Buňky s konstantní hydraulickou výškou na hranicích modelu definují I. okrajovou podmínku. Neaktivní prvky, které jsou specifikovány jako prvky ohraničující skutečnou oblast výpočtu, představují speciální případ II. okrajové podmínky modelu (hranice, přes kterou je nulový tok). Stejně tak i III. okrajovou podmínku (vtok závislý na výšce hladiny) lze definovat jako element s definovanými hraničními podmínkami (např. řeka) v sousedství hraničního neaktivního elementu.

Vlastní hydraulický model MODFLOW je součástí programového balíku VISUAL MODFLOW FLEX, který slouží jako uživatelské prostředí pro převod vstupních dat do modelovacích algoritmů a grafickou interpretaci výsledků. Výhodou je modulární stavba softwaru, kdy vedle hlavního programu existuje velké množství nezávislých podprogramů řešících jednotlivé dílčí úlohy.

3.2. Postup a koncepce řešení

Hlavním stavebním kamenem matematického modelu je vytvoření společného přeshraničního hydrogeologického modelu, ve kterém je datově definována geometrie a rozsah všech významných kolektorů a poloizolátorů. Na počátku byly celým řešitelským týmem projektu GRACE odsouhlaseny základní principy pro jeho stavbu:

1. Výsledný přeshraniční hydrogeologický model (čili vymezení kolektorů) musí na modelových hranicích odpovídat hydrogeologické strukturám jak na českém, tak německém území.
2. Výsledné modelové vrstvy, které budou v matematickém modelu odpovídat kolektorům a izolátorům, jsou průběžné a musí se vyskytovat v celé modelové oblasti na území obou států. V praxi to znamená, že pokud se kolektory 1 a 2 vyskytují na německém území, musí mít na českém území svoje ekvivalenty (i když se standardně nevymezují, **Tab. 1**).
3. Jelikož na českém území existují pouze indicie a bodové informace o výskytu samostatných kolektorů 1 a 2, bylo převzato německé členění kolektorů i pro českou část území. Pro přehlednost při sestavování hydrogeologického modelu je používána německá terminologie – kolektory 1, 2, 3 a 4, poloizolátory mezi kolektory se označují jako poloizolátor 1/2, 2/3 a 3/4. Kolektor spojený z kolektorů 2 a 3 na českém území se označuje jako spojený kolektor 2+3.

Sestavování přeshraničního hydrogeologického modelu v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch bylo zahájeno předáním geologického modelu od firmy G.E.O.S. (Voight et al., 2013, Kahnt et al., 2014) v říjnu 2013, v němž bylo vymezeno 14 geologických vrstev křídových sedimentů na německém území. Vrstvy byly označeny HGK 800 až HGK 990 (**Příloha 1**). Podle Rösnera et al., (2008) byly jednotlivé geologické vrstvy spojeny do hydrogeologických kolektorů a poloizolátorů (**Tab. 3**).

Na německém území bylo vymezeno 7 hydrogeologických vrstev, které odpovídají 4 kolektorům a 3 poloizolátorům. V rámci členění modelové oblasti na jednotlivé modelové vrstvy platí pravidlo, že modelové vrstvy musí být průběžné a vyskytovat se v celé modelové oblasti. Z tohoto důvodu byly německé hydrogeologické vrstvy extrapolovány i na české území (**Obr. 15 až Obr. 22**).

Vymezení kolektorů 4 a 3 (jedná se o kolektory A a BC) bylo na českém území provedeno podle Herčíka et al. (1987), dat z ČGS-Geofondu, dat z archívu zhotovitele a vrtů uvedených v práci Patzeltové (2004). Jednotlivé báze kolektorů 4 a 3 a strop kolektoru 4 vymezené Herčíkem et al. (1987) byly zdigitalizovány, upraveny podle nových dat a propojeny s německým hydrogeologickým modelem.

Strop kolektoru 3 a báze kolektoru 2 na českém území byly odvozeny podle nadmořské výšky pramenů, které byly zdokumentovány Eckhardtem (2013) (**Obr. 23**). Báze kolektoru 2 byla stanovena na 220 m n. m. v oblasti jižně od linie jdoucí ve směru toku Dlouhé Bělé. Od báze kolektoru 2 bylo odečteno 20 m (mocnost poloizolátoru 2/3) a tak byl specifikován strop kolektoru 3. Strop kolektoru 3 a báze kolektoru 2 byly na závěr propojeny s jejich ekvivalenty v německém hydrogeologickém modelu.

Báze kolektoru 1 byla na českém území extrapolována podle sklonů na německém území a místně upravena podle nadmořské výšky pramenů, které náležejí do kolektoru 1. Rozsah kolektoru 1 na českém území byl upraven podle digitálního modelu terénu. Od báze kolektoru 1 bylo odečteno 10 m (mocnost poloizolátoru 1/2) a tím byl specifikován strop kolektoru 2.

Implementací nové geometrie byl stacionární model z první etapy aktualizován a přepracován na transientní model proudění podzemní vody, který byl kalibrován na jednorázově měřené hladiny podzemní vody a na kolísání dlouhodobě sledovaných vrtů české a německé pozorovací sítě. Během kalibrace byly upravovány hydraulické parametry tak, aby byla dosažena dobrá shoda mezi měřeními a simulovanými hladinami podzemní vody. V poslední fázi byl schválený kalibrovaný model použit pro predikci vývoje hladin podzemní vody podle prognózních scénářů s proměnnými odběry podzemní vody a infiltrací.

Tab. 2: Seznam geologických vrstev křídových sedimentů geologického modelu od firmy G.E.O.S. (Voight et al., 2013, Kahnt et al., 2014) a jejich hydrogeologické zařazení, českých ekvivalentů a jejich aplikace do přeshraničního hydrogeologického modelu

HGK	Německé označení geologických vrstev	Hydrogeologické zařazení podle Rösnera et al. (2008)	České názvosloví	Odvozená definice hydrogeologických vrstev v hydrogeologickém modelu	
				Západní část	Východní část
800	Sandstein e	Kolektor 1c	–	Kolektor 1	
810	Zwischenzone δ2		–		
820	Sandstein d	Kolektor 1b	–		
830	Zwischenzone γ3		–		
840	Sandstein c	Kolektor 1a	–		
850*	Zwischenzone β		–	Poloizolátor 1/2	
860	Sandstein b	Kolektor 2	Kolektor BC	Kolektor 2	Kolektor 2+3
870	Sandstein a3			Poloizolátor 2/3	Kolektor 2+3
872	Sandstein a2			Kolektor 3	Kolektor 2+3
875	Lamarcki-Pläner				
880	Sandstein a1				
890	Labiatus-Sandstein			Kolektor 3	Kolektor 2+3
900	Labiatus-Pläner		Poloizolátor A/BC	Poloizolátor 3/4	
910	Cenoman	Kolektor 4	Kolektor A	Kolektor 4	

* Není součástí geologického modelu G.E.O.S., protože nelze prostorově vymezit

Tab. 3: Definice geometrie poloizolátorů a kolektorů v německé části zájmového území

Báze/strop kolektoru	Použitá datová vrstva z geologického modelu firmy G.E.O.S. (Kahnt et al., 2014)	Poznámka	Mapa
Báze kolektoru 1	HGK 840 Sandstone c		Obr. 22
Strop kolektoru 2	HGK 840 Sandstone c mínus 10 m	Vrstva HGK 850 (resp. její báze), která tvoří strop kolektoru 2, nebyla vymezena. Proto byla v hydrogeologickém modelu uvažována konstantní mocnost 10 m. Strop kolektoru 2 byl vytvořen odečtením 10 m od HGK 840 (báze kolektoru 1).	Obr. 21
Báze kolektoru 2	HGK 870 Sandstone a ₂		Obr. 20
Strop kolektoru 3	HGK 870 Sandstone a ₂ mínus 20 m	Vrstva HGK 875 (resp. její báze), která tvoří strop kolektoru 3 a zároveň bázi poloizolátoru 2/3, se nevyskytuje v celé zájmové oblasti. Poloizolátor 2/3 se nachází pouze v západní části a dosahuje mocnosti zhruba 20 m (Obr. 19). Báze kolektoru 2 (HGK 870) se nachází na celé německé části zájmového území, proto strop kolektoru 3 byl vytvořen odečtením 20 m od HGK 870. Funkce poloizolátoru 2/3 byla specifikována prostřednictvím hydraulických parametrů.	Obr. 18
Báze kolektoru 3	HGK 890 Labiatus Sandstone		Obr. 17
Strop kolektoru 4	HGK 900 Labiatus Pläner		Obr. 16
Báze kolektoru 4	HGK 910 Cenomanium		Obr. 15

4. Hydraulický model

4.1. Koncepční model

Čtyřkolektorový systém je napájen infiltrovaným podílem ze srážek v celé ploše modelové oblasti. Všechny kolektory se však nevyskytují v celé modelové oblasti. Infiltrovaná voda vstupuje do horninového prostředí vždy do nejvyššího existujícího kolektoru. Nejsvrchnější kolektor 1 se vyskytuje zhruba v jedné polovině modelové oblasti (Obr. 22). Velmi omezeně je drénován drobnými prameny, které často po jejich výronu vsakují do podložního kolektoru.

Převážná část podzemní vody přetéká do kolektoru 2, který je dotován i infiltrací ze srážek v místech, kde se kolektor 1 nevyskytuje. Podzemní voda v kolektoru 2 proudí směrem ke Křinici, kde je drénována, a k jímacímu území v Neumannmühle, nebo přetéká v zónách rozpukání na okrajích rozsahu kolektoru 2 do kolektoru 3. Ve východní části modelové oblasti kolektor 2 a kolektor 3 vytvářejí spojený kolektor 2+3. Podzemní voda zde přetéká z kolektoru 2 do kolektoru 3 v celé ploše.

Kolektor 3 je dotován přetékáním z kolektoru 2 nebo infiltrací ze srážek v místech, kde se kolektor 2 nevyskytuje. Podzemní voda v kolektoru 3 na českém území proudí z infiltrační oblasti u lužické poruchy směrem k přirozené drenáži do Kamenice, Labe a Velké Bělé, anebo je jímána na prameništi Hřensko. Na německém území podzemní voda proudí směrem k Labi nebo ke Křinici, kde je odebírána v jímacím území ve Felsenmühle a Neumannmühle, nebo přetéká do Křinice v místech, kde se kolektor 2 nevyskytuje (u Bad Schandau).

Na východě modelové oblasti část podzemní vody přetéká do kolektoru 4, kterým podzemní voda proudí na západ k Labi, kde však k drenáži nedochází. Podzemní voda v kolektoru 4 Labe patrně podtéká. Lokálně je podzemní voda drénována do Kamenice přes kolektor 3 a do Křinice přes kolektory 2 a 3.

Nejvýznamnější kolísání hladiny podzemní vody je historicky zaznamenáno v kolektoru 2 a částečně v kolektoru 3. Menší kolísání podzemní vody v kolektoru 3 mezi jímacími územími může být způsobeno kratší dobou sledování než v kolektoru 2, které nezachycuje významné změny hladin podzemních vod v osmdesátých letech dvacátého století. Kolísání je způsobeno časově proměnnou dotací kolektoru 2 a variabilními odběry v kolektoru 3. Kolektor 1 není sledován a v kolektoru 4 hladina podzemní vody kolísá pouze podél lužické poruchy na českém území, kde je kolektor 4 dotován z nadložního spojeného kolektoru 2+3.

4.2. Okrajové podmínky

Základní síť modelu tvoří buňky nestejně mocnosti o straně 50 m (**Obr. 13**). Celkově má modelová oblast rozsah 24 km ve východozápadním směru a 12 km v severojižním směru. Buňky ležící mimo oblast výpočtu byly specifikovány jako neaktivní. Každý kolektor má vlastní rozsah a schéma okrajových podmínek.

Kolektor 4 má na severní, východní a jižní hranici okrajovou podmínku nulový průtok a na západní hranici konstantní hladinu odvozenou podle vrtů 50516014 a 51516003 (**Obr. 36**). Přítok podzemní vody z krystalinika přes lužickou poruchu do kolektoru 4 byl zanedbán. Pro stanovení přítoku podzemní vody z krystalinika neexistují relevantní data, nicméně lze očekávat, že toto zanedbání nebude mít vliv na celkovou bilanci celé modelové oblasti. Umístění nulového průtoku podél lužické poruchy na německém území bylo převzato podle geologického modelu firmy G.E.O.S. a na českém území podle rozsahu hydrogeologického rajónu 4660 – Křída Dolní Kamenice a Křinice. Na jihovýchodní hranici, kterou tvoří severní zlomy děčínského zlomového pásma, byla hydraulická komunikace s jižní zakleslou oblastí rovněž zanedbána (předepsána okrajová podmínka nulového průtoku). Jihovýchodní hranice se nachází daleko od zájmové oblasti, kterou je území vymezené vodárenskými odběry na německém a českém území. Přes děčínské zlomové pásmo k přetékání může docházet, nicméně tato hranice se nachází ve velké vzdálenosti od testované oblasti. Navíc je zde problém s obtížně vymežitelnou geometrií. Výška skoku na děčínském zlomovém pásmu zde dosahuje až 150 m a koncept kolektorů je zde naprosto odlišný. Pokud by byl známý přetok přes děčínské zlomové pásmo ve všech 4 kolektorech nebo známá hladina podzemní vody v každém kolektoru, bylo by správné zde definovat průtok hranicí nebo konstantní hladinu. Volba nulového průtoku je za daných podmínek a stavu znalostí řešením, které do modelových výsledků a vodní bilance vnáší nejmenší chybu. Nulový průtok na jihovýchodní hranici byl specifikován i v nadložních kolektorech. Na západní hranici podél Labe byla v kolektoru 4 specifikována okrajová podmínka konstantní hladina s úrovní odvozenou podle

vrtů 50516014 (135,7 m n. m.) a 51516003 (156,89 m n. m.). Předpoklad je, že podzemní voda se do Labe nedrénuje, ale řeku „podtéká“.

Kolektor 3 je na severu, východě a jihovýchodě omezen nulovým průtokem (**Obr. 17**). Potenciální přítok z krystalinika podél lužické poruchy byl zanedbán. Vedení okrajové podmínky nulového průtoku podél lužické poruchy na německém území bylo převzato podle geologického modelu firmy G.E.O.S. a na českém území podle rozsahu hydrogeologického rajónu 4660 – Křída Dolní Kamenice a Křinice. Na západní a jižní hranici, v úsecích vedených podél toků Labe, Kamenice a Chřibská Kamenice, byla specifikována okrajová podmínka „řeka“ (**Obr. 17**). Okrajová podmínka „řeka“ byla rovněž specifikována na Křinici v místech, kde se kolektor 2 a poloizolátor 2/3 nevyskytují (u Bad Schandau). Jetřichovická Bělá byla uvažována jako okrajová podmínka „drén“. Do povrchových toků byly použity odpovídající nadmořské výšky z digitálního modelu terénu poskytnutého VÚV TGM, v.v.i. a německou stranou.

Dále bylo zadáno čerpání na jímacím území Hřensko a ve Felsenmühle a Neumannmühle. Čerpání v každém vrtu bylo zadáno jako časově proměnné podle skutečně zaznamenaných odběrů v letech 1979–2012 (**Obr. 7**). Na českém území bylo čerpání uvažováno už od roku 1960, kdy byly vyvrtány první jímací vrty, avšak odběry se ještě neregistrovaly. Proto v období 1960–1978 bylo kalkulováno se zaznamenaným odběrem z roku 1979.

Kolektor 2 je na severu, východě, jihovýchodě, jihu a západě omezen hranicí s nulovým průtokem (**Obr. 20**). Potenciální přítok z krystalinika podél lužické poruchy byl zanedbán. Umístění nulového průtoku podél lužické poruchy na německém území bylo převzato podle geologického modelu firmy G.E.O.S. a na českém území podle rozsahu hydrogeologického rajónu 4660 – Křída Dolní Kamenice a Křinice. V kolektoru 2 byla uvažována Křinice jako okrajová podmínka „řeka“ (**Obr. 20**). V místech mezi křížením Křinice s lužickou poruchou a Zadními Doubicemi byla uvažována okrajová podmínka „drén“. V kolektoru 2 bylo dále specifikováno čerpání na vrtu 50516006 (Neumannmühle), který odebírá podzemní vodu i z kolektoru 3.

Kolektor 1 je omezen ve všech dílčích výskytech okrajovou podmínkou „drén“ s velmi nízkou konduktancí, která byla odvozena podle bilance podzemní vody v pramenech kolektoru 1 porovnáním s dokumentovanými prameny (Eckhardt, 2013) (**Obr. 22**).

4.3. Začlenění studie pramenů do hydraulického modelu

V rámci projektu GRACE proběhla velmi podrobná dokumentace a studie pramenů (Eckhardt, 2013). Studie naznačila a lokálně potvrdila existenci čtyř a více kolektorového hydrogeologického systému i na českém území, což umožnilo extrapolovat německý koncept kolektorů a poloizolátorů i na české území.

Jako okrajová podmínka byl z pramenů bodově specifikován pouze vodárensky využívaný pramen „Tři prameny“ (15 l/s), ostatní prameny nebyly uvažovány jako koncentrované bodové výrony, nýbrž jako drenážní linie na okrajích kolektorů 1 a 2 formou okrajové podmínky „drén“. Důvody jsou dva. Model je regionální, s plochou modelové buňky 50×50 m. To znamená, že v něm nelze specifikovat každý lokální vývěr. Na druhou stranu ani nelze každý vývěr zdokumentovat, což je charakteristické zejména na Kamenici a

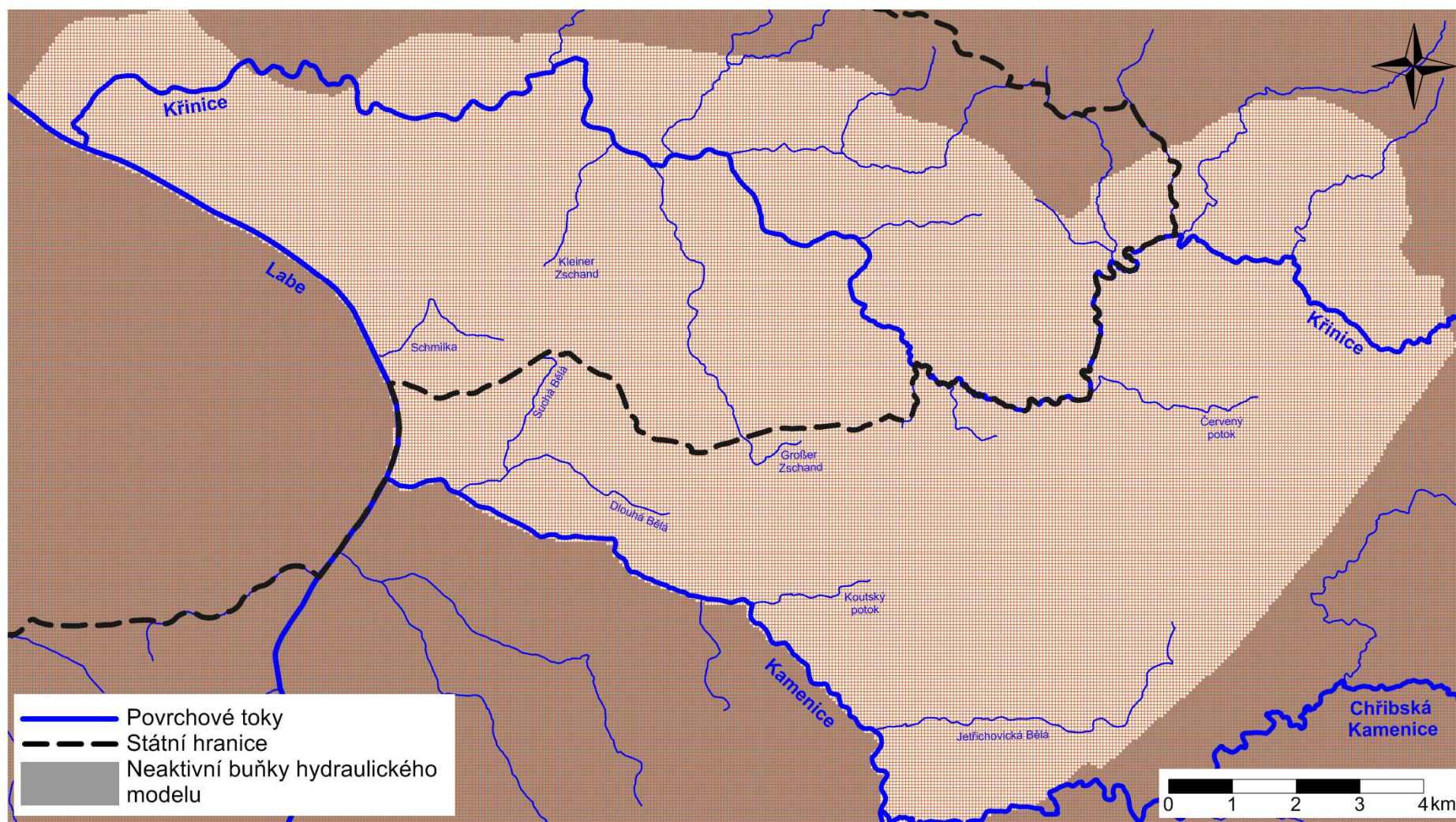
Jetřichovické Bělé, kde převážná část výronů do toku je skrytých. Regionální model vyžaduje určitá zjednodušení. Proto podzemní voda modelově proudí přímo do toku (okrajová podmínky „drén“ nebo „řeka“) a nikoliv se drénuje přes pramen a pak se vlévá do povrchového toku (jak tomu je ve skutečnosti). Celková modelová drenáž do Kamenice a do Křinice se pak porovnává se skutečně naměřenými průtoky (viz kapitola „**Kalibrace – výstupy**“).

Druhým důvodem je samotný původ vzniku pramene. Pramen představuje koncentrovaný vývěr podzemní vody a zpravidla se váže na intenzivněji rozpukané zóny pískovců vyznačující se vyšší propustností. Tyto lokální heterogenity však zakomponovat do regionálního modelu s plochou modelové buňky 50×50 m nelze. Pokud se specifikuje pramen o zjištěné vydatnosti do modelové buňky s „běžnou“ regionální hydraulickou vodivostí, dochází k modelovému vysoušení modelových buněk a k nestabilitě modelu. Z tohoto důvodu je výhodnější simulovat prameny liniemi okrajové podmínky „drén“.

Vodárensky využívaný pramen „Tři prameny“ ukazuje obtížnost specifikace pramene jako okrajovou podmínku do regionálního hydraulického modelu. Pramen „Tři prameny“ drénuje ve skutečnosti kolektor 2 (Eckhardt, 2013). Geometrie kolektoru 2 a stropu kolektoru 3 v příhraniční oblasti modelu byla vytvořena podle německých podkladů. Báze kolektoru 2 se na severním svahu Dlouhé Bělé nachází ve výšce 220 m n. m. a strop kolektoru 3 ve výšce 200 m n. m. Dno údolí Dlouhé Bělé v místě Třech pramenů se pohybuje mezi 170 – 180 m n. m, čili báze kolektoru 2 se zde nachází nade dnem údolí Dlouhé Bělé. Pramen „Tři prameny“ pak podle výškového začlenění spadá do kolektoru 3, což však ve skutečnosti není pravda. Nadmořská (drenážní) výška místa vývěru těchto pramenů na povrch totiž nemusí odpovídat bázi kolektoru 2. Poloizolátor 2/3 je v údolí Dlouhé Bělé intenzivně porušený systémem puklin, přes které dochází k drenáži kolektoru 2 formou pramenních vývěrů, výronů a přímého přetoku do kolektoru 3. Systém puklin se pravděpodobně koncentruje v místě vývěru „Třech pramenů“ a umožňuje drenáž podzemní vody z kolektoru 2, ačkoliv vlastní místo vývěru náleží podle výškové úrovně a geologického modelu již do kolektoru 3.

V regionálním modelu s velikostí modelové buňky 50×50 m se tento systém simuluje obtížně a vyžaduje určité zjednodušení. Jak bylo výše uvedeno, díky rozpukání není zřejmé, kde se přesně nachází báze a hladina podzemní vody v kolektoru 2 na rozpukané hraně poloizolátoru 2/3, který se zde v údolí Dlouhé Bělé chová spíše jako kolektor.

V modelu bylo postupováno následovně. Na okraji rozsahu poloizolátoru 2/3 bylo umožněno modelové přetékání mezi kolektorem 2 a 3. Podzemní voda kolektoru 2 se zčásti smísí s vodami kolektoru 3 a zčásti se drénuje ve formě pramene, který je však umístěn do kolektoru 3. Hlavní výhodou této koncepce je stabilita numerického řešení, přičemž vodní bilance modelu přesně odpovídá skutečnosti.



Obr. 13: Diskretizace modelové sítě

4.4. Geometrie a typ vrstev

Hydraulický model byl uvažován jako sedmivrstevný (**Tab. 4**). Všechny báze na německém území upadají směrem na sever a mají charakter homoklinály, kdežto na českém území je na bázi a stropu kolektoru 4 a bázi kolektoru 3 patrná antiklinála. Tato antiklinální část mohla být založena zčásti nebo zcela tektonicky. Pro strop kolektoru 3 a bázi kolektoru 2 je na českém území charakteristické horizontální uložení modelových vrstev. Antiklinální stavba zde nebyla uvažována (hladina podzemní vody v kolektoru 2 by se pohybovala pod jeho bází). V těchto místech je kolektor pravděpodobně definován spíše vyšším stupněm rozpukání než litologicky, což dokazuje četnost pramenů.

Modelové vrstvy byly zadány jako typ 3 (kolektor s volnou hladinou nebo napjatou hladinou).

Tab. 4: Geometrie modelových vrstev

Modelová vrstva	Hydrogeologické zařazení	Poznámka	Mapa báze
1	Kolektor 1		Obr. 22
2	Poloizolátor 1/2		Obr. 21
3	Kolektor 2		Obr. 20
4	Poloizolátor 2/3	V místech, kde se poloizolátor 2/3 nevyskytuje, vzniká spojený kolektor 2+3. Přítomnost nebo absence poloizolátoru byla specifikována prostřednictvím hydraulických parametrů.	Obr. 18
5	Kolektor 3		Obr. 17
6	Poloizolátor 3/4		Obr. 16
7	Kolektor 4		Obr. 15

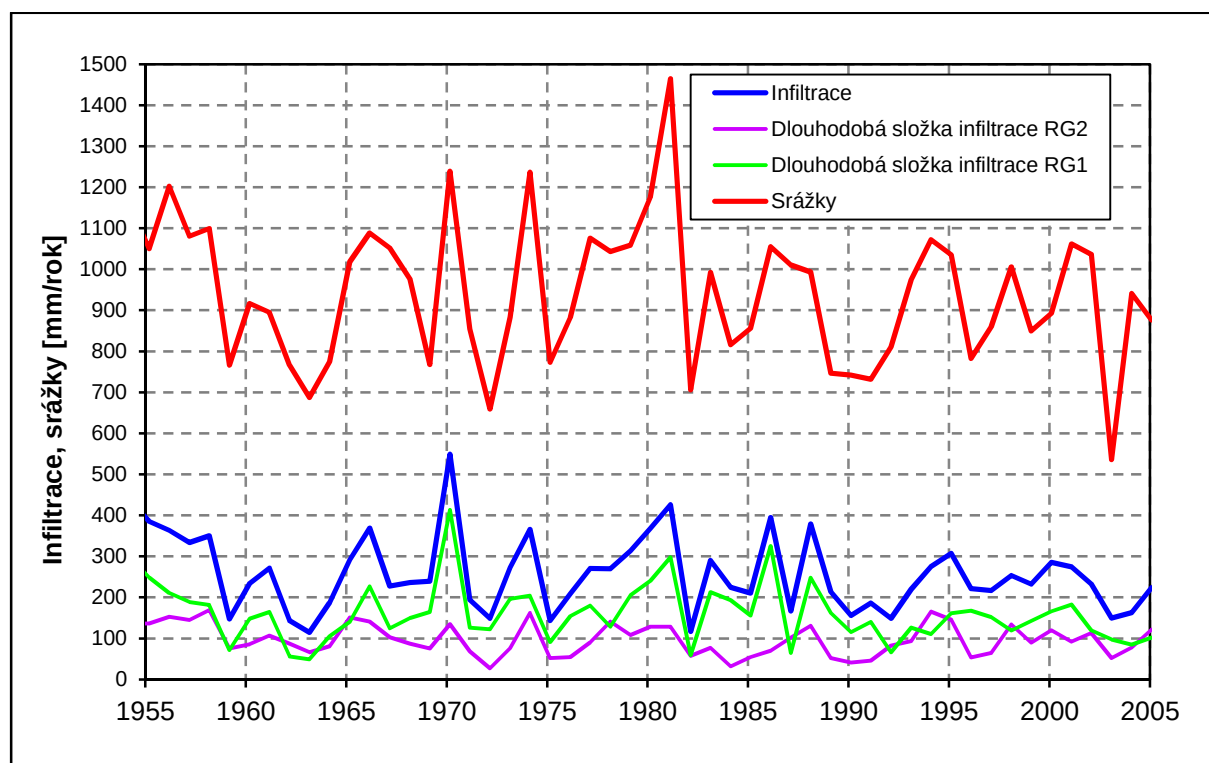
4.5. Vstupní parametry

Jetelová (1972) zjistila pro kolektor 3 v oblasti Křinice průměrnou hydraulickou vodivost $2 \cdot 10^{-5}$ m/s. Hydrodynamické zkoušky provedené v rámci průzkumů prameniště Hřensko (Hercog, 1970 a Nakládal, 1989) udávají hodnoty $1 \cdot 10^{-5}$ až $7 \cdot 10^{-4}$ m/s, přičemž hodnoty hydraulické vodivosti řádu $n \cdot 10^{-4}$ m/s odpovídají silně tektonicky porušeným pískovcům kolektoru 3. Hodnota hydraulické vodivosti je ve velmi dobré shodě s německými podklady, kde Rösner et al. (2008) uvádí jako reprezentativní hodnotu hydraulické vodivosti $1 \cdot 10^{-5}$ m/s (pro kolektor 2 a 3).

Z těchto důvodů byla na počátku kalibrace použita horizontální hydraulická vodivost $2 \cdot 10^{-5}$ m/s v celé modelové oblasti pro oba kolektory a 10krát vyšší hodnota v tektonických zónách prameniště Hřensko. Dále byly oba kolektory charakterizovány vertikální hydraulickou vodivostí $2 \cdot 10^{-6}$ m/s. Pro poloizolátor 2/3 byla specifikována horizontální hydraulická vodivost $1 \cdot 10^{-8}$ m/s a vertikální hydraulická vodivost $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (podle výsledků první etapy modelování). Na okrajích rozsahu poloizolátoru 2/3 byla vertikální vodivost poloizolátoru 2/3 snížena na $1 \cdot 10^{-6}$ m/s, čímž byl povolen přetok z kolektoru 2 do kolektoru 3. Během kalibračního procesu byly hydraulické parametry měněny tak, aby došlo k dobré shodě mezi modelovými a pozorovanými hladinami podzemní vody.

Pro kolektory s volnou hladinou podzemní vody byla předpokládána volná storativita 0,05 a 0,01 pro poloizolátory. Na základě diskuze průběžných modelových výsledků a po předložení obvyklých hodnot na německém území německou stranou byla pro kolektory 2 a 3 přejata hodnota 0,1. Tato hodnota se shoduje s hodnotou 0,1 stanovenou Nakládalem (1975) pro druhou modelovou oblast projektu GRACE – Petrovice/Lückendorf (více viz kapitola Nejistoty a citlivostní analýza). Specifická storativita 0,0001 (1/m) byla použita pro všechny modelové vrstvy. Herčík et al. (1987) uvádí specifický základní odtok pro celý rajon 466 v hodnotě 8,36 l/s/km². Odvozená infiltrace dosahuje 264 mm/rok, což odpovídá přibližně 29 % průměrného ročního úhrnu na srážkoměrné stanici v Chřibské (912 mm/rok). Herčíkem et al. (1987) odvozených 264 mm/rok je ve velmi dobré shodě s výsledky projektu KliWES, kde byla stanovena průměrná hodnota infiltrace na 253 mm/rok (**Obr. 14**).

Transientní hydraulický model začíná v roce 1950 krokem ustáleného proudění, který stanovuje počáteční hladiny podzemní vody pro transientní model. Transientní model končí v roce 2013. Predikce, která je založena na kalibrovaném transientním modelu, začíná v roce 2013 a končí v roce 2043.



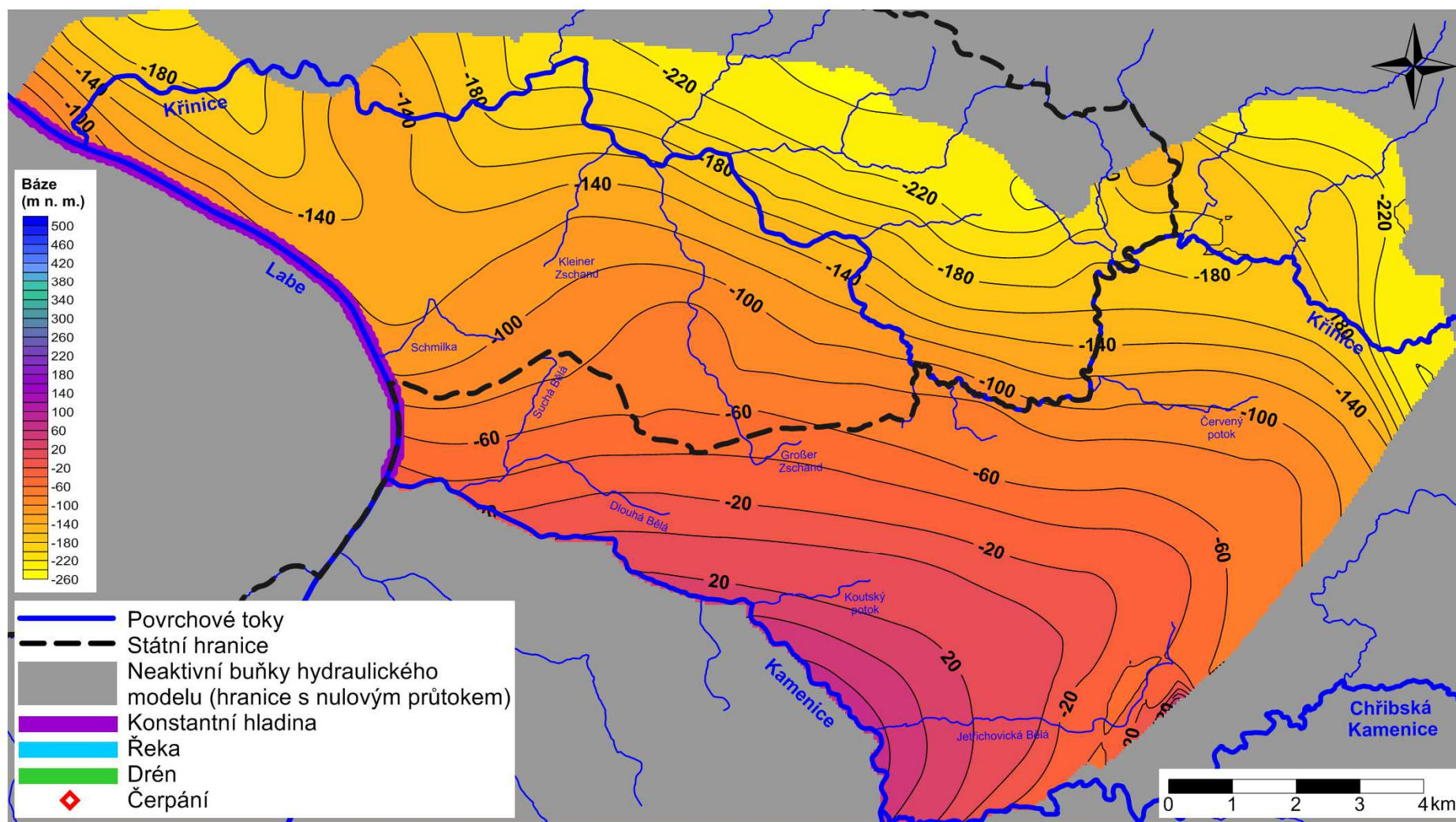
Obr. 14: Časově proměnná infiltrace z projektu KliWES

Tab. 5: Odběry podzemní vody v modelové oblasti

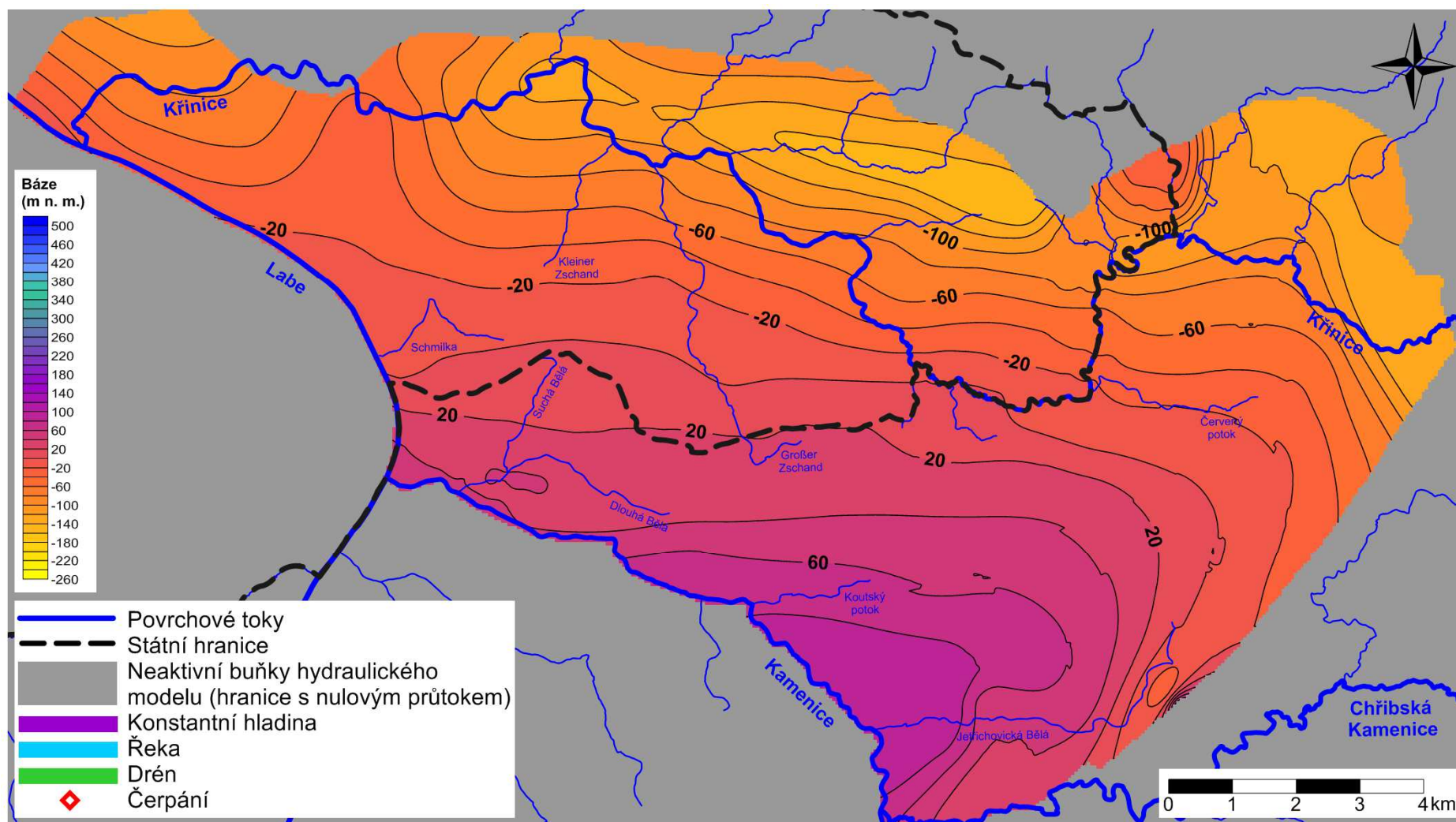
Jímací objekt	Typ odběru	Průměrný odběr 1979–2012 [l/s]	Maximální odběr 1979–2012 [l/s]	Průměrný odběr v roce 2012 [l/s]	Současný povolený roční odběr [l/s]
50516005	Vrt/studna	17,4	42,3	19,7	70,0
50516006	Vrt/studna	27,6	46,4	19,0	
K1A2	Vrt/studna	24,0	36,5	18,4	103,0
K8	Vrt/studna	6,9	10,5	5,3	
K8A	Vrt/studna	8,1	12,3	6,2	
V3	Vrt/studna	8,8	13,3	6,7	
V4A	Vrt/studna	13,0	19,8	10,0	
V5A	Vrt/studna	6,1	9,3	4,7	
V7A	Vrt/studna	10,7	16,2	8,2	

Pozn.: Zeleně vyznačeny objekty na území SRN, oranžově na území ČR.

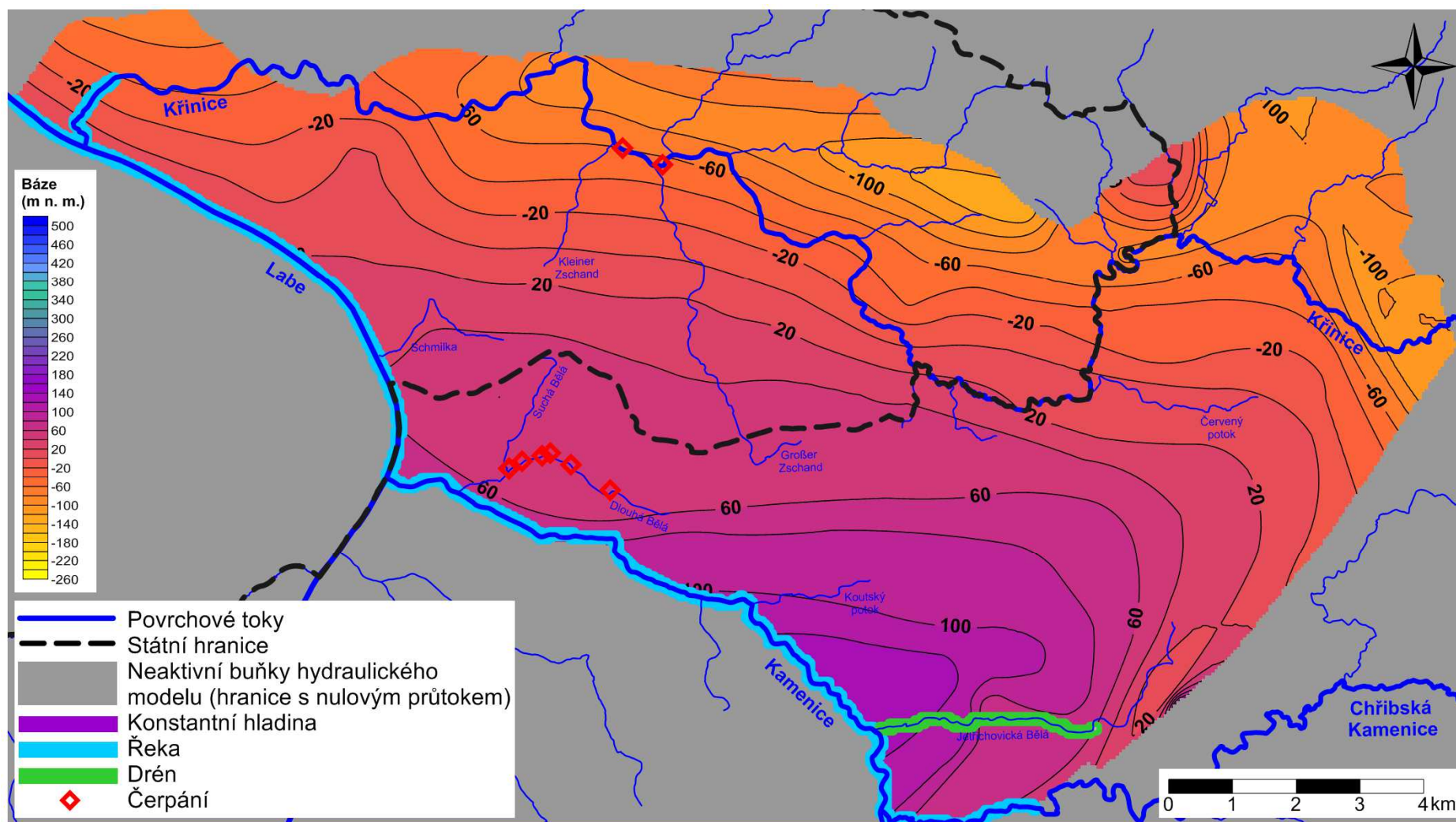
Zdroj dat: VÚV TGM, v.v.i., LfULG Sasko, SČVK, a.s.



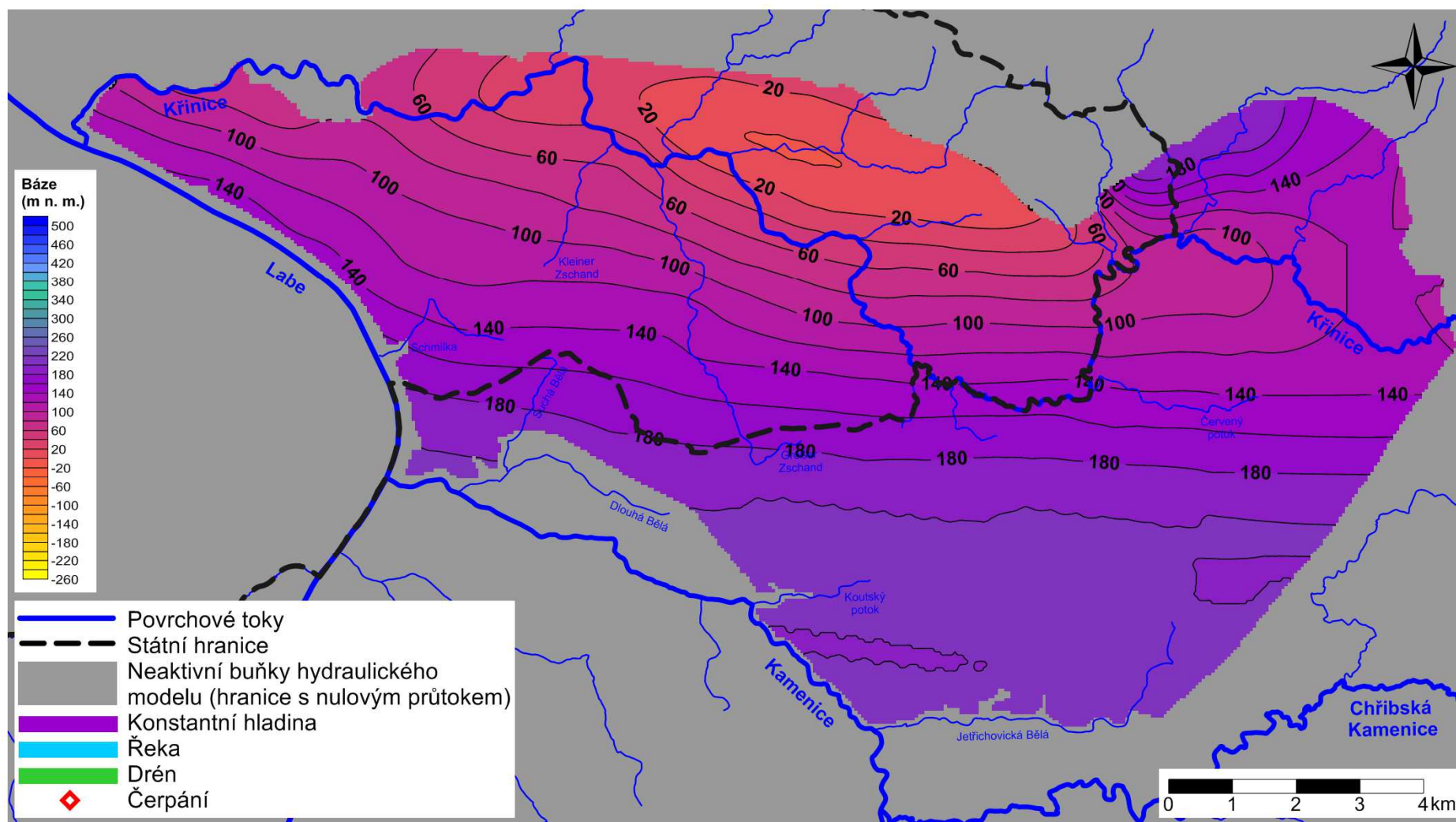
Obr. 15: Mapa báze kolektoru 4 a okrajové podmínky



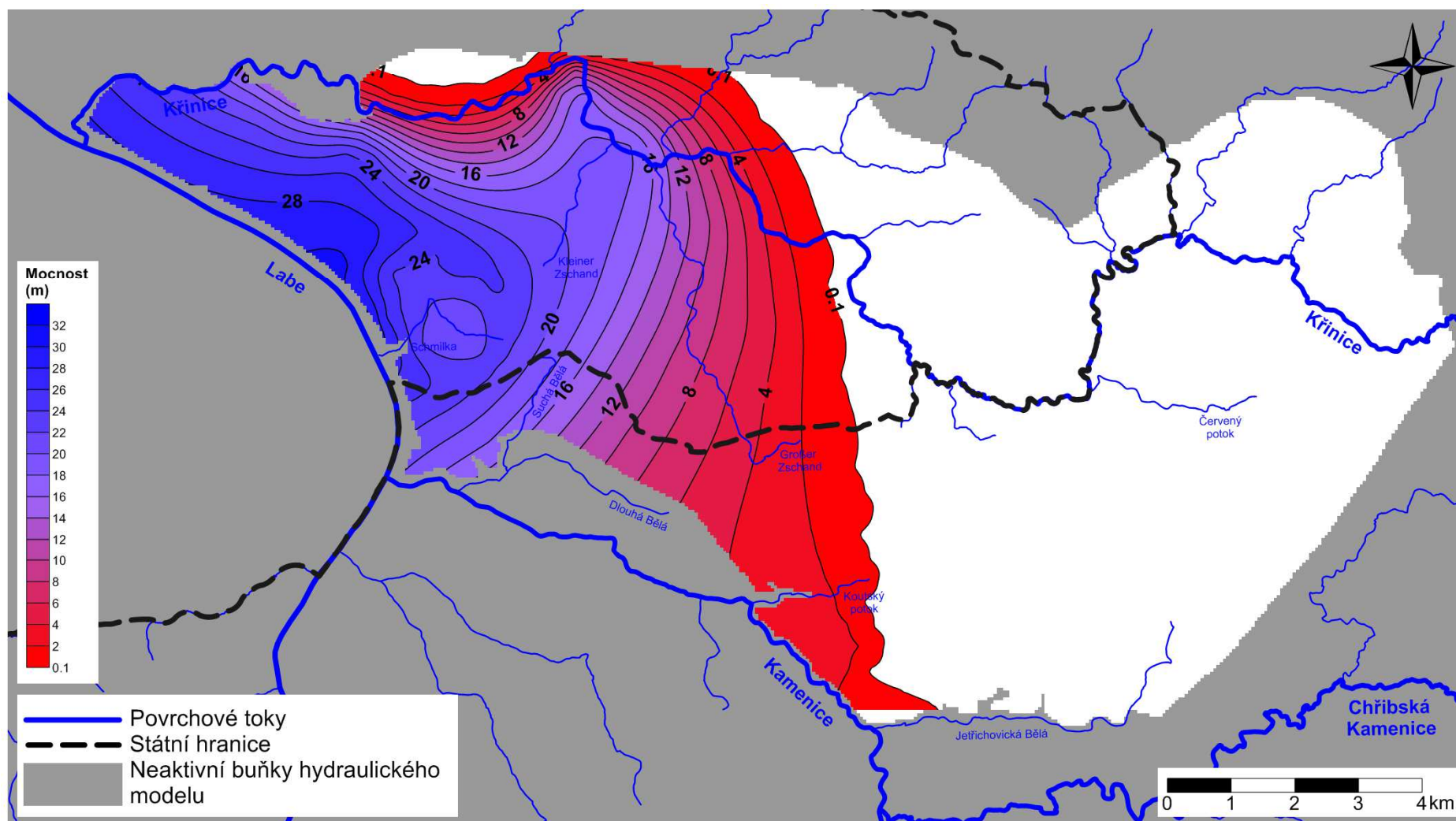
Obr. 16: Mapa stropu kolektoru 4 a okrajové podmínky



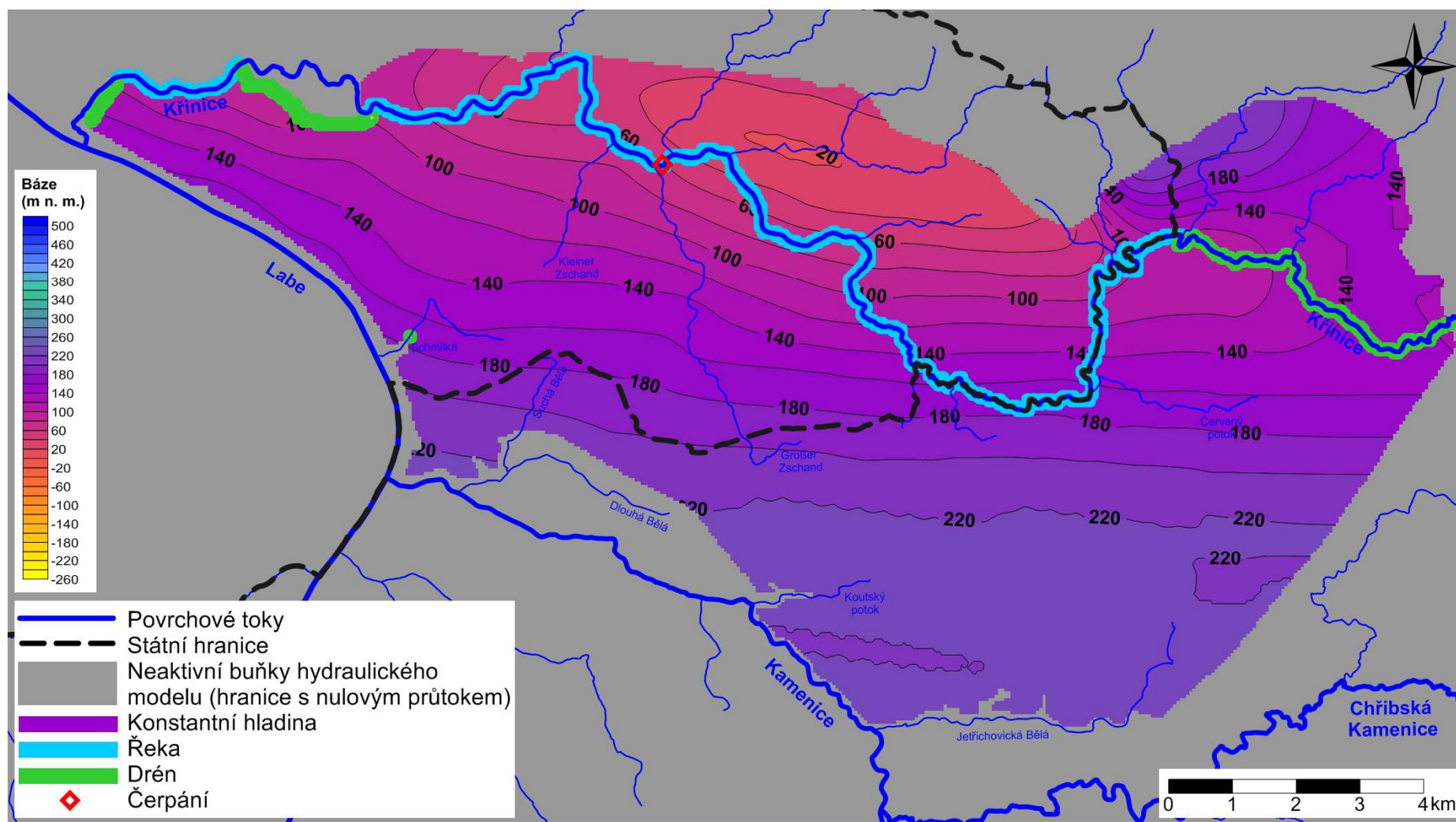
Obr. 17: Mapa báze kolektoru 3 a okrajové podmínky



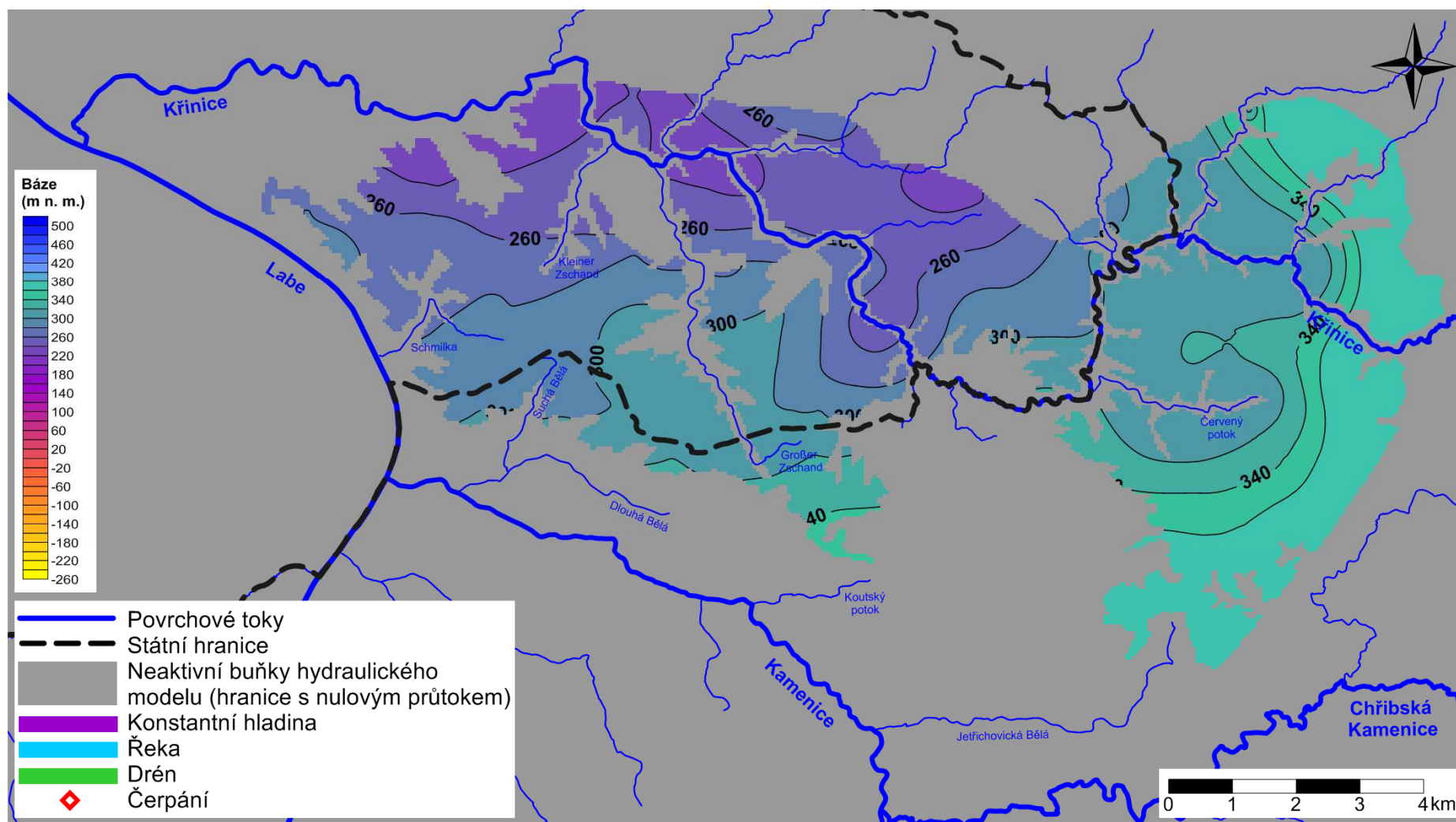
Obr. 18: Mapa stropu kolektoru 3 a okrajové podmínky



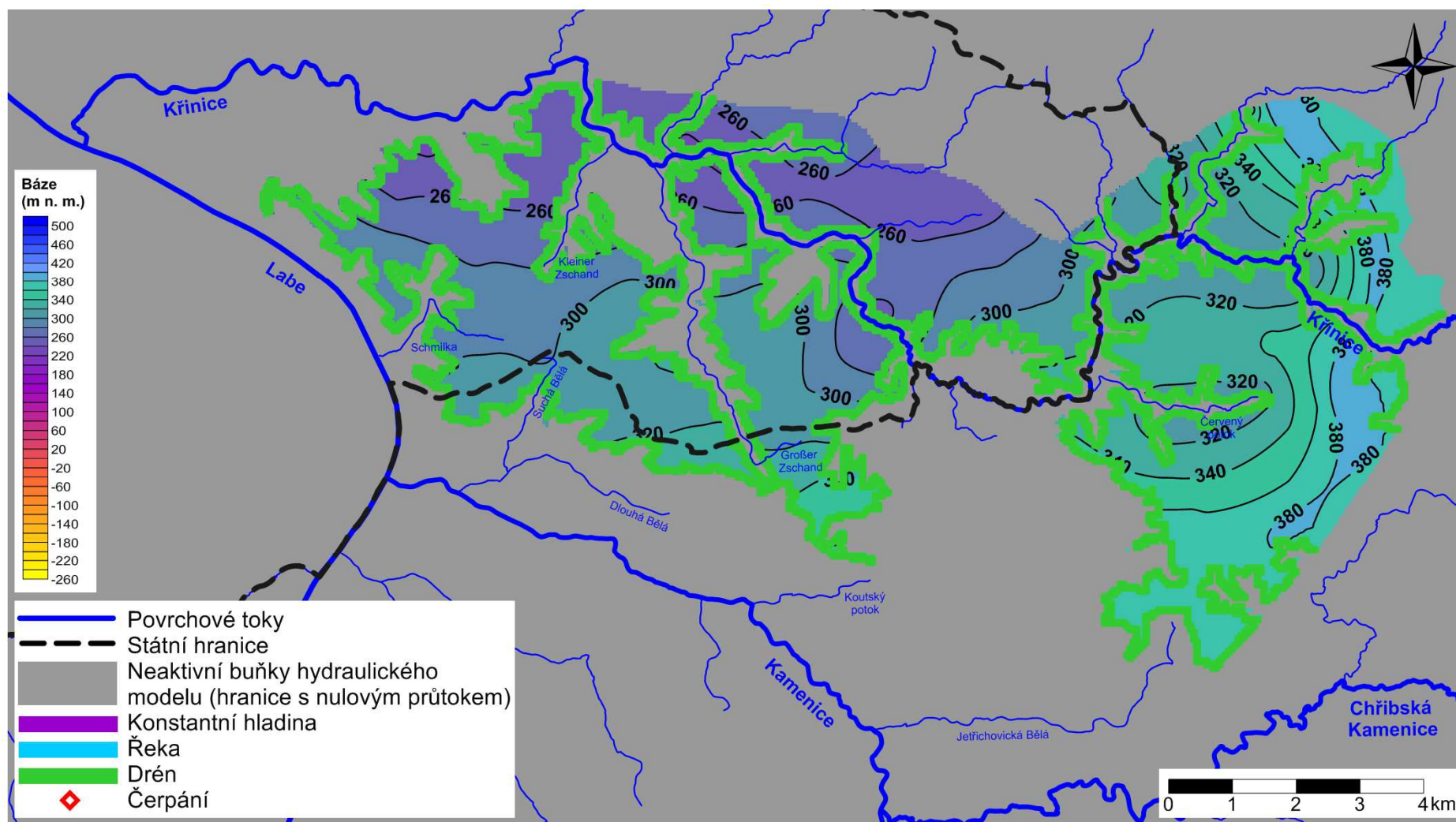
Obr. 19: Mapa mocnosti izolátoru 2/3 a okrajové podmínky



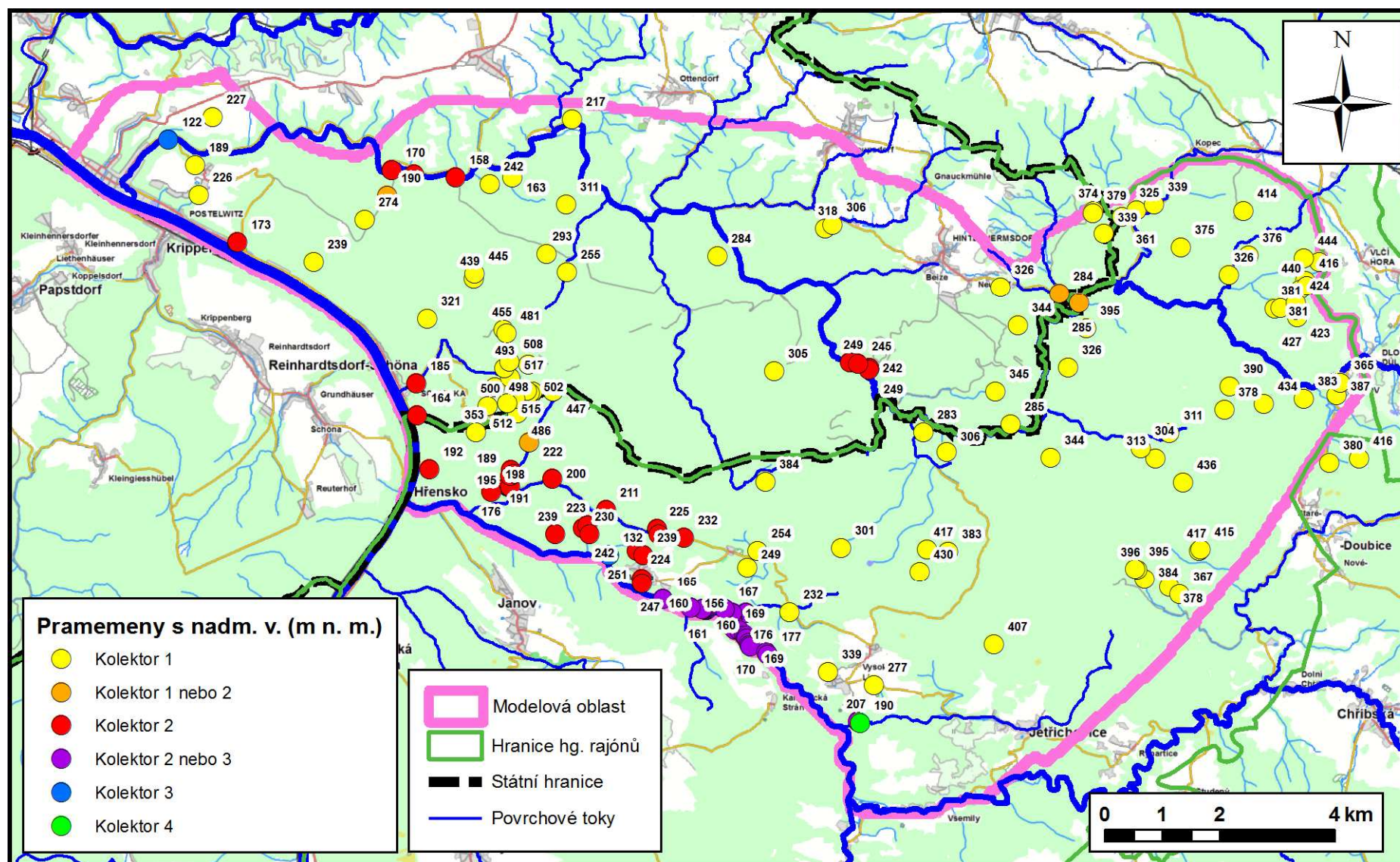
Obr. 20: Mapa báze kolektoru 2 a okrajové podmínky



Obr. 21: Mapa stropu kolektoru 2 a okrajové podmínky



Obr. 22: Mapa báze kolektoru 1 a okrajové podmínky



Obr. 23: Mapa pramenů (Eckhardt, 2013)

4.6. Kalibrace – metodika

Celá oblast je hydrogeologicky a geologicky extrémně složitá. Navíc se jedná o dynamický systém, kde hrají významnou roli i časově proměnné parametry (zejména infiltrace). Na druhé straně existuje velká skupina časově a prostorově měřených dat, které poskytují útržkovité informace o chování podzemní vody v této hydrogeologické struktuře. Čím lepší je shoda výsledků hydraulického modelu s měřeními hladinami podzemní vody v různých časových obdobích, které se vyznačují odlišnými odběry a proměnnou infiltrací, tím věrohodnější jsou i prognózní scénáře predikující budoucí vývoj hladiny a zásob podzemní vody.

Celá hydrogeologická struktura je kontinuálně sledována celkem 20 vrty, z nichž 2 vrty popisují chování hladin podzemní vody od roku 1967 (**Obr. 11**). Kontinuálně sledované vrty však neposkytují dostatečnou představu o plošných piezometrických poměrech v jednotlivých kolektorech (především na českém území, kde jsou standardně vymezovány pouze 2 kolektory). Nicméně na českém území existuje řada historických a jednorázově (zpravidla v době jejich realizace) zaměřených vrtů (**Obr. 36**). Tyto vrty vykazují menší reprezentativnost měření, jelikož nepostihují kolísání hladiny podzemních vod, a jsou proti sobě těžko porovnatelné (hladiny podzemní vody byly často zaměřeny v různém časovém období). Přesto i tato časově jednorázová informace dovoluje zpřesnit modelové výsledky pomocí kalibrace.

Všechny údaje o hladinách podzemní vody byly rozděleny do celkem 7 kalibračních skupin vrtů s různým významem na spolehlivost a věrohodnost hydraulického modelu (**Tab. 6**). Prvních 5 kalibračních skupin (1 až 5) je tvořeno skupinami vrtů, které byly jednorázově zaměřeny a vyvrtány na českém území v obdobích 1961–1979 (kalibrační skupina 1), 1980–1990 (kalibrační skupina 2), 1991–2007 (kalibrační skupina 3), jednorázové hladiny podzemní vody v roce 2007 na českém území (kalibrační skupina 4) a na německém území (kalibrační skupina 5, Rösner et al., 2008). Pro lepší názornost jsou v **Tab. 6** tyto skupiny označeny letopočtem posledního záměru (1979, 1990, 2007). Specifikace samotných intervalů se shoduje s významnými událostmi v jímání podzemní vody a kolísáními hladin podzemní vody. Rok 1979 znamená počátek registrace odběrů podzemní vody a zároveň se hladiny podzemní vody pohybují na nejvýše zaznamenaných úrovních. Rok 1990 znamená nástup maximálních zaznamenaných odběrů a konec strmých poklesů hladin podzemní vody.

Zbývající kalibrační skupiny 6 a 7 představují časově proměnné údaje a byly použity pro kalibraci modelu na dlouhodobé kolísání hladin podzemní vody.

Kalibrace matematického modelu byla rozdělena do dvou fází. V první byla použita konstantní infiltrace. Jakmile bylo dosaženo relativně dobré shody mezi měřeními a modelovými hladinami podzemní vody, nastoupila druhá fáze, kde byla zadána časově proměnná infiltrace.

V první fázi byla v modelu uvažovaná časově konstantní infiltrace 253 mm/rok podle projektu KliWES a skutečně zaznamenané odběry podzemní vody. Během simulace byla měněna hydraulická vodivost tak, aby bylo dosaženo co nejlepší shody mezi měřeními a modelovými hladinami podzemní vody pro kalibrační skupiny vrtů 1–5 (**Tab. 6**). V této fázi byla modelová dotace do toku Křinice a Kamenice porovnávána s měřeními průtoky za nízkých stavů na Křinici a na Kamenici ze dne 22. 7. 2006, kterému předcházelo suché období (Skořepa, 2008).

Po dosažení dobré shody modelových a měřených hladin podzemní vody začala druhá fáze s časově proměnnou infiltrací tak, aby transientní hydraulický model dobře odpovídal na relativní kolísání hladiny v dlouhodobě sledovaných vrtech – kalibrační skupiny vrtů 6 a 7. Během tohoto procesu byla měněna především infiltrace a omezeně i hydraulická vodivost. Kalibrace opět probíhala s cílem dosáhnout co největší shody mezi modelovým a měřeným kolísáním hladin podzemní vody.

Tab. 6: Kalibrační skupiny vrtů

Kalibrační skupina	Další označení	Popis skupiny	Graf	Situace
1	ČR 1979	Vrty vyvrtané na českém území do roku 1979	<i>Obr. 24</i>	<i>Obr. 36</i>
2	ČR 1990	Vrty vyvrtané na českém území do roku 1990	<i>Obr. 25</i>	
3	ČR 2007	Vrty vyvrtané na českém území do roku 2007	<i>Obr. 26</i>	
4	ČR 2007 K	Kontinuálně sledované vrty na českém území s hladinou podzemní vody z roku 2007	<i>Obr. 27</i>	
5	GER 2007	Hladiny podzemní vody zaznamenané na německé území v říjnu 2007 (Rösner et al., 2008)	<i>Obr. 28</i>	
6		Kontinuálně sledované vrty na českém území	<i>Obr. 30 a Obr. 31</i>	<i>Obr. 11</i>
7		Kontinuálně sledované vrty na německém území	<i>Obr. 32 až Obr. 35</i>	

4.7. Kalibrace – výstupy

Každá kalibrační skupina vrtů poskytla částečnou informaci o chování hydrogeologické struktury a jejích hydraulických parametrech. Výstupem kalibrace proto není pouze kalibrovaný model s mapami hydroizohyps v jednotlivých kolektorech, ale i mapa použitých hydraulických parametrů, která popisuje hydrogeologickou strukturu samotnou. V popisu použitých kalibračních skupin (viz níže) je uveden jejich dopad na úpravu hydraulických parametrů oproti výchozímu stavu. Výchozím stavem se rozumí počáteční parametry uvedené v *Kap. 4.4*.

Kalibrační skupina vrtů 1 až 3

Rok 1979 znamená počátek registrovaných odběrů na jímacím území Hřensko. Do tohoto roku byla vyvrtána většina vrtů nejen na jímacím území Hřensko, ale i v okolí Kamenice. Hladiny podzemní vody na vrtech v jímacím území Hřensko poskytly kvalitní popis stavu před počátkem intenzivního čerpání v osmdesátých letech dvacátého století. Vyplývá z nich také, že rozdíl mezi hladinou podzemní vody jímacím území Hřensko a řekou Kamenicí je 40–50 m na relativně krátké vzdálenosti (700 – 800 m). Při hydraulické vodivosti 1.10^{-5} m/s přitom nelze dosáhnout tak vysokého gradientu. Z tohoto důvodu bylo nutné uvažovat mezi jímacím územím a Kamenicí zónu s výrazně nižší hydraulickou vodivostí 1.10^{-6} m/s (*Obr. 39*). Pravděpodobně se zde nachází méně propustné pískovce kolektoru 3, anebo došlo k přerušení průběhu propustných vrstev podél tektonické linie, která může být spojována se severním ramenem antiklinální stavby kolektoru 3 na českém území (*Obr. 17*).

Vrty, které zde byly vyvrtány do roku 1990 a do roku 2007, vykazují úroveň hladiny podzemní vody pouze o 6 až 9 metrů nižší než vrty vyvrtané do roku 1979. Totéž potvrzuje i zaznamenané kolísání hladin podzemních vod v letech 1980–1992 na monitorovacích vrtech

jímacího území v Hřensku (**Obr. 29**). Pokud by zde byla v kolektoru 3 běžná hydraulická vodivost $1 \cdot 10^{-5}$ m/s, hladina podzemní vody by podle modelových simulací v jímacích vrtech klesla až o 60 m. Proto zde byla hydraulická vodivost zvýšena až na $5 \cdot 10^{-4}$ m/s, což je ve velmi dobré shodě s hydraulickými parametry Nakládala (1989). Průběh této vysoce propustné zóny není známý, nicméně rozsah (i v kolektoru 2) byl upravován tak, aby tato zóna přivedla dostatečné množství podzemní vody, které by i při maximálních odběrech způsobilo snížení podzemní vody pouze o 6 m (umístění puklinové zóny s vysokou hodnotou hydraulické vodivosti je na **Obr. 39 a Obr. 40**). Obdobným způsobem byla zvyšována hydraulická vodivost podél Kamenice ve Všemilech.

Na vrtech mezi Koutským potokem a Jetřichovickou Bělou lze rozlišit mělké turonské vrty s vyšší hladinou podzemní vody a hlubší turonské vrty se zakleslou hladinou podzemní vody. Dvě piezometricky odlišitelné zvodně (pravděpodobně obdoby kolektorů 2 a 3 na německém území) ukazují na přítomnost poloizolátoru 2/3 v této části modelové oblasti. Proto i zde byla specifikována zóna s velmi nízkou vertikální hydraulickou vodivostí (**Obr. 40**).

Kalibrační skupina vrtů 4

Hladiny podzemní vody na kontinuálně sledovaných vrtech v roce 2007 ukazují, jak měřené hladiny podzemní vody odpovídají modelovým hladinám podzemní vody v absolutních hodnotách. Kalibrační skupina 4 slouží pro kontrolu shody modelu a pozorování v roce 2007, kdy byly jednorázově zaměřeny vrty na německém území (viz kalibrační skupina 5).

Kalibrační skupina vrtů 5

Vrty v německé části území je mnohem méně. Na druhou stranu umožňují posoudit hydraulickou komunikaci mezi kolektory 2 a 3, protože jsou zde monitorovány odlišné piezometrické úrovně obou kolektorů (**Obr. 40**). Kolektory 2 a 3 lze na německém území považovat podle dostupných hladin podzemní vody za víceméně homogenní. Výjimku představuje pouze vulkanické těleso, které vytváří hladinový skok v kolektoru 2 mezi vrty 50516004 a 50516009 (**Obr. 41**). Dobré shody mezi modelovými a měřenými hladinami podzemní vody bylo dosaženo uvažováním hydraulické vodivosti $1,5 \cdot 10^{-7}$ m/s v místě vulkanického tělesa. Dle geologického modelu firmy G.E.O.S. (Voight et al., 2013, Kahnt et al., 2014) prochází vulkanické těleso celou sekvencí křídových sedimentů. Proto byla tato málo propustná zóna uvažována i v kolektorech 3 a 4.

Pozn. Vrty této kalibrační skupiny obsahují i všechny vrty kontinuálně sledované na německém území. V této skupině je pro kontinuálně sledované vrty použita hladina podzemní vody z října 2007 (Rösner et al., 2008).

Porovnání modelové drenáže do povrchových toků s měřenými průtoky za nízkých stavů

Matematický model je rovněž možné omezeně porovnávat s měřenou drenáží podzemní vody do povrchových toků a s pozorovanou vydatností pramenů. Přírony nebo ztráty do toků se zpravidla stanovují metodou PPP (podélné profilování průtoků) za nízkých vodních stavů. Metoda PPP předpokládá, že průtok v povrchovém toku po delším období sucha je víceméně daný přírony podzemní vody z podložních kolektorů. Na Křinici a Kamenici byly zjištěny nejnížší průtoky při použití metody PPP dne 22. 7. 2006 (Skořepa, 2007). Na Křinici, v místě kde tok Křinice tvoří státní hranici mezi českou republikou a Německem, byl zjištěn příron 75 l/s. Ten samý den 22. 7. 2006 protéklo Křinicí při ústí do Labe 534 l/s a na profilu Zadní Doubice, kde Křinice vstupuje na území Německa, 95 l/s. To znamená, že nárůst průtoků (příron) na území Německa 22. 7. 2006 činil 435 l/s. Pokud budeme předpokládat, že oba nárůsty průtoků (435 l/s na německém území a 75 l/s na českém území) byly tvořeny výhradně drenáží podzemní vody, odvodňovalo se do Křinice 510 l/s podzemní vody (dohromady na českém a německém území). Graf **Obr. 45** ukazuje, že modelově se drenáž podzemní vody do toku Křinice pohybuje mezi 420–530 l/s. I přes všechna zjednodušení a omezení této úvahy lze konstatovat, že modelová drenáž do Křinice se pohybuje v očekávaných hodnotách a velmi dobře koresponduje s měřenými průtoky.

Na Kamenici byl 21. 7. 2006 metodou PPP stanoven v modelové oblasti příron 686 l/s (Skořepa, 2007). Toto číslo však postihuje přírony z pravostranné i z levostranné oblasti toku (nejen ze severní, který je součástí modelu, ale i z jižní, která již není součástí modelové oblasti). Nelze přitom rozlišit, jaký je poměr mezi příronem podzemní vody z modelové a „nemodelové“ části. Modelově se do Kamenice vcezuje 450–550 l/s (**Obr. 45**). Z regionální mapy hydroizohyps (Herčík et al., 1987) lze očekávat větší příron z modelové oblasti, protože regionální směr proudění je od východu na západ. Pokud by byl poměr příronu podzemní vody do Kamenice 2:1 ve prospěch modelové oblasti, znamenalo by to velikost příronu 457 l/s. Pokud vezmeme v úvahu tuto hodnotu, pohybuje se modelová drenáž podzemní vody do Křinice v přijatelném intervalu.

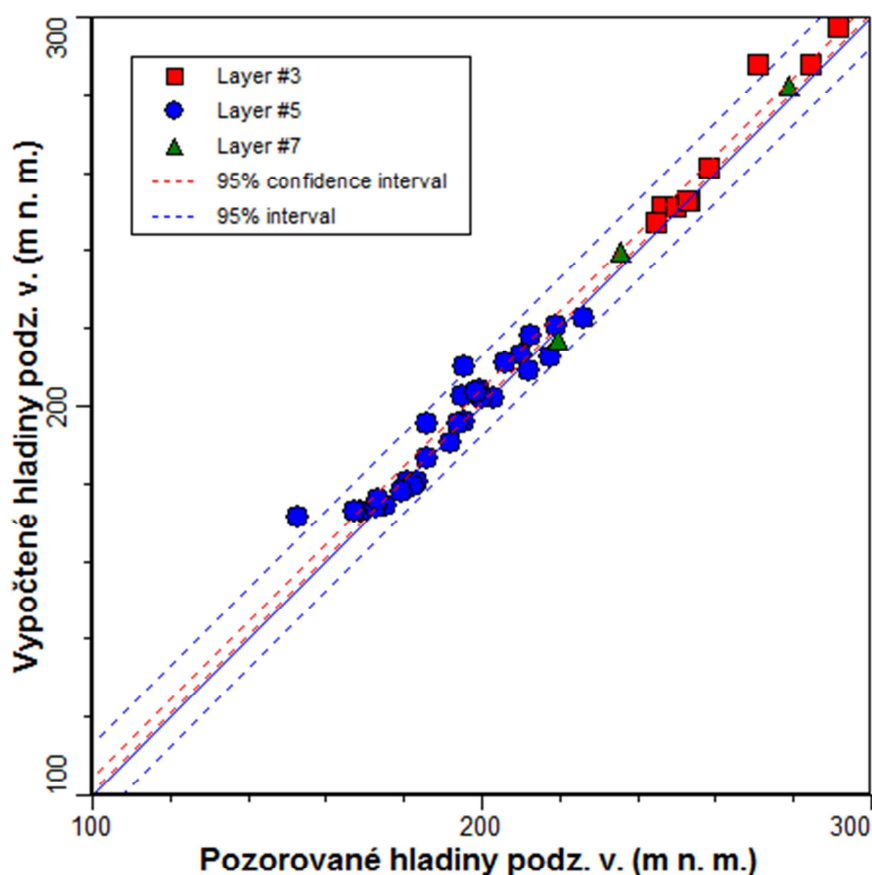
Pro kalibraci modelu byla rovněž využita analýza pramenů. Vydatnosti zdokumentovaných pramenů, které drénují kolektor 1 a zároveň se nevsakují do podloží, dosahují zhruba 7,8 l/s (Eckhardt, 2013), což je zhruba ve shodě s modelem (11,8 l/s, **Tab. 8**).

Kalibrační skupina vrtů 6 a 7

Kontinuálně sledované vrty umožnily podle kolísání hladiny podzemní vody odvodit časově proměnnou infiltraci (**Obr. 30 až Obr. 35**) a částečně volnou a specifickou storativitu. Derivované hodnoty jsou uvedeny v (**Tab. 7**).

Kontinuálně sledované vrty na českém území, které se nacházejí ve východní části modelové oblasti, rovněž poskytují informace o kolektoru 4, o spojeném kolektoru 2+3, o celé infiltrační zóně kolektorů 2–4 a hydraulické komunikaci mezi kolektory. Kolektor 4 je sledovaný nízkým počtem vrtů, které však ukazují, že v oblasti u lužické poruchy na českém území dochází k dotaci podzemní vody do kolektoru 4 z nadložních kolektorů. Proto zde byla uvažována vyšší vertikální hydraulická vodivost (**Obr. 37 a Obr. 38**). Vyšší vertikální hydraulická vodivost byla rovněž uvažována díky měřeným vrtům i podél Křinice a Kamenice tak, aby umožňovala lokální odvodňování kolektoru 4 do nadložních vrstev.

Vysoká vertikální hydraulická vodivost byla v infiltrační oblasti definována pro modelové vrstvy odpovídajícím poloizolátorům 2/3 a 3/4, čímž bylo zajištěno dotování podložních kolektorů a dosažení podobné výšky hladin podzemní vody ve všech kolektorech.

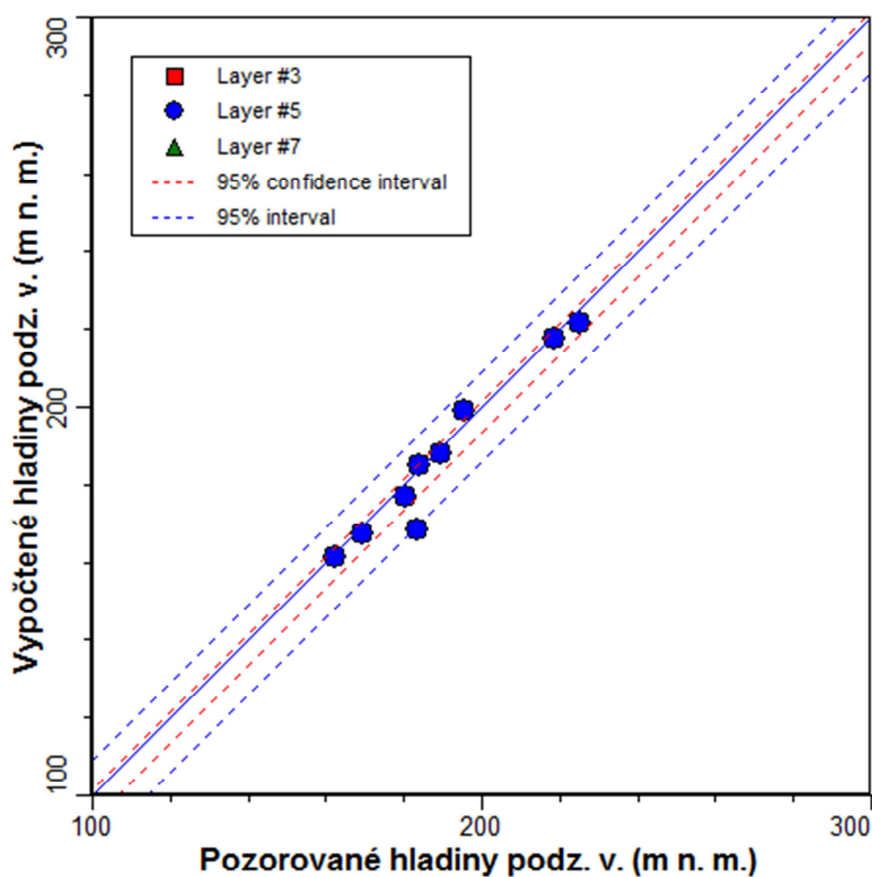


Max. Residual: 18.767 (m) at V-1B/1
 Min. Residual: 0.149 (m) at LO-16P/1
 Residual Mean : 2.835 (m)
 Abs. Residual Mean : 4.068 (m)

Num. of Data Points : 40
 Standard Error of the Estimate : 0.814 (m)
 Root Mean Squared : 5.821 (m)
 Normalized RMS : 4.192 (%)
 Correlation Coefficient : 0.99

Obr. 24: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 1 (ČR 1979)

Pozn.: Červený čtverec odpovídá kolektoru 2 (třetí modelová vrstva), modré kolečko kolektoru 3 (pátá modelová vrstva) a zelený trojúhelník kolektoru 4 (sedmá modelová vrstva).

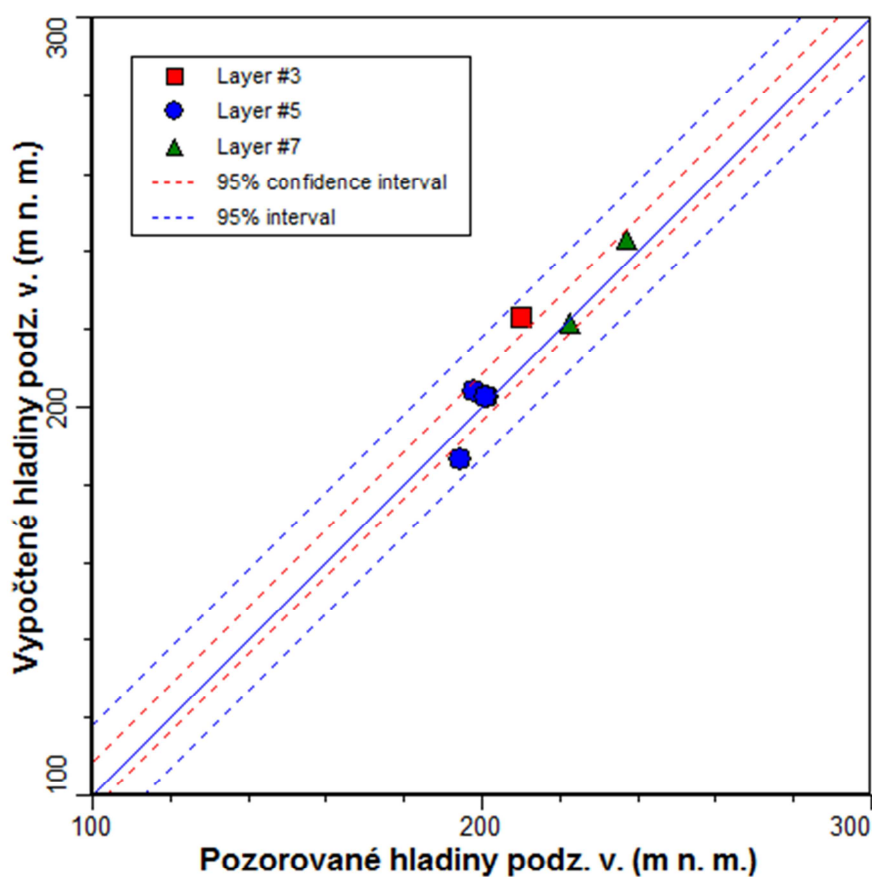


Max. Residual: -14.814 (m) at K-1A/1
 Min. Residual: 0.749 (m) at V-3A/1
 Residual Mean : -2.577 (m)
 Abs. Residual Mean : 3.614 (m)

Num. of Data Points : 9
 Standard Error of the Estimate : 1.712 (m)
 Root Mean Squared : 5.486 (m)
 Normalized RMS : 8.743 (%)
 Correlation Coefficient : 0.972

Obr. 25: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 2 (ČR 1990)

Pozn.: Červený čtverec odpovídá kolektoru 2 (třetí modelová vrstva), modré kolečko kolektoru 3 (pátá modelová vrstva) a zelený trojúhelník kolektoru 4 (sedmá modelová vrstva).

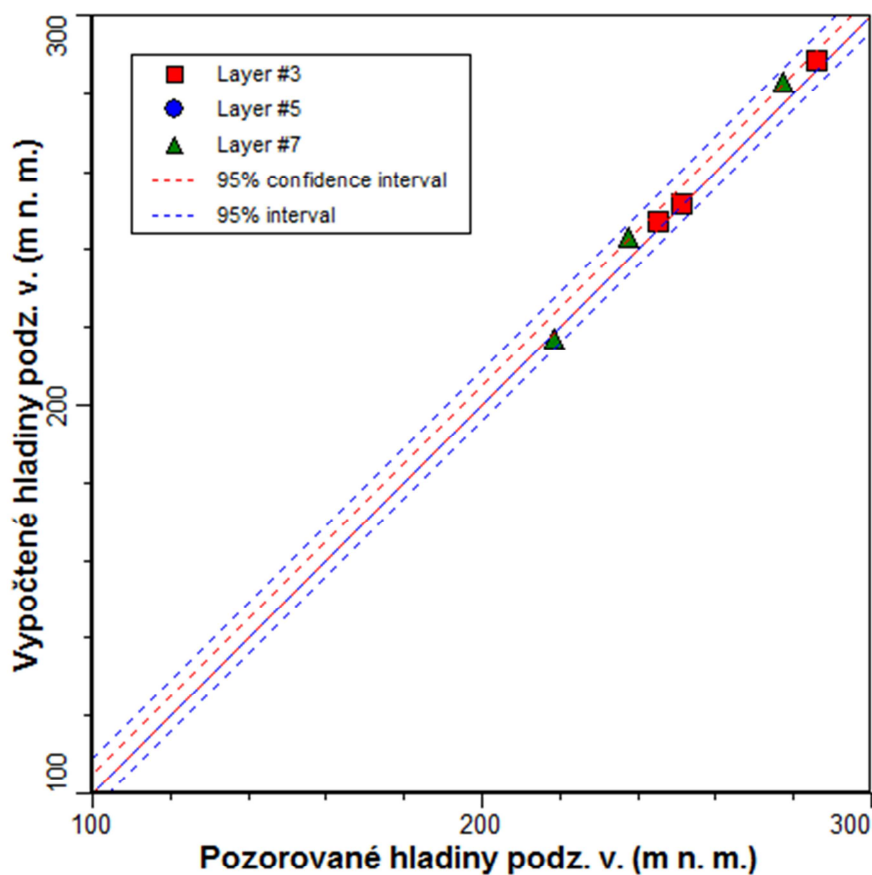


Max. Residual: 13.059 (m) at P-10/1
 Min. Residual: 1.112 (m) at 2H-304/1
 Residual Mean : 2.577 (m)
 Abs. Residual Mean : 5.162 (m)

Num. of Data Points : 7
 Standard Error of the Estimate : 2.473 (m)
 Root Mean Squared : 6.584 (m)
 Normalized RMS : 15.371 (%)
 Correlation Coefficient : 0.943

Obr. 26: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 3 (ČR 2007)

Pozn.: Červený čtverec odpovídá kolektoru 2 (třetí modelová vrstva), modré kolečko kolektoru 3 (pátá modelová vrstva) a zelený trojúhelník kolektoru 4 (sedmá modelová vrstva).

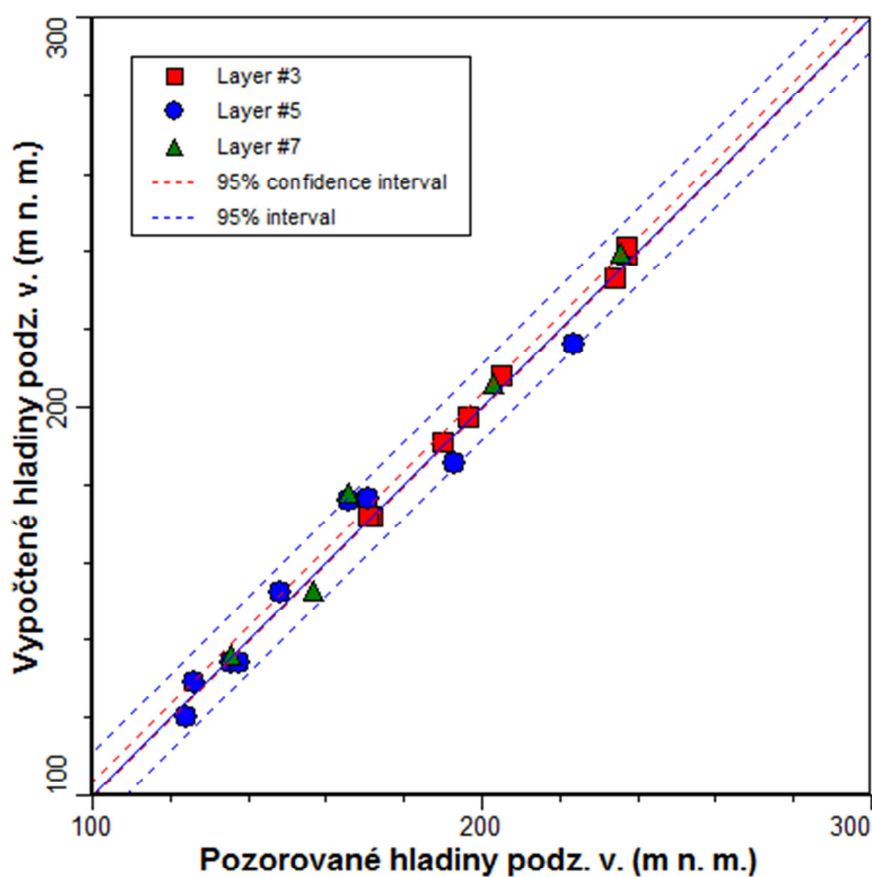


Max. Residual: 5.578 (m) at VP-8508/1
 Min. Residual: 0.791 (m) at VP-8503/1
 Residual Mean : 2.48 (m)
 Abs. Residual Mean : 2.872 (m)

Num. of Data Points : 6
 Standard Error of the Estimate : 1.068 (m)
 Root Mean Squared : 3.443 (m)
 Normalized RMS : 5.1 (%)
 Correlation Coefficient : 0.996

Obr. 27: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 4 (ČR 2007 kontinuálně sledované vrtý)

Pozn.: Červený čtverec odpovídá kolektoru 2 (třetí modelová vrstva), modré kolečko kolektoru 3 (pátá modelová vrstva) a zelený trojúhelník kolektoru 4 (sedmá modelová vrstva).

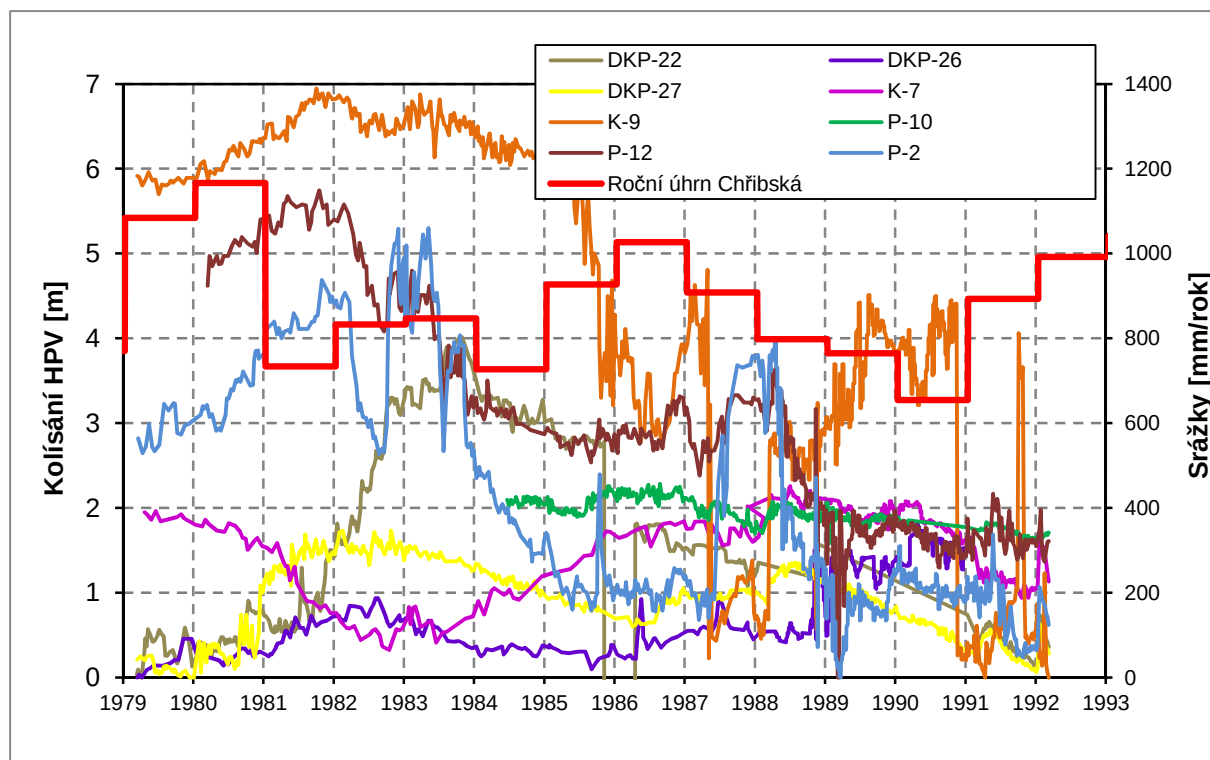


Max. Residual: 11.895 (m) at 50516018/1
 Min. Residual: 0.31 (m) at 50516014/1
 Residual Mean : 1.464 (m)
 Abs. Residual Mean : 3.907 (m)

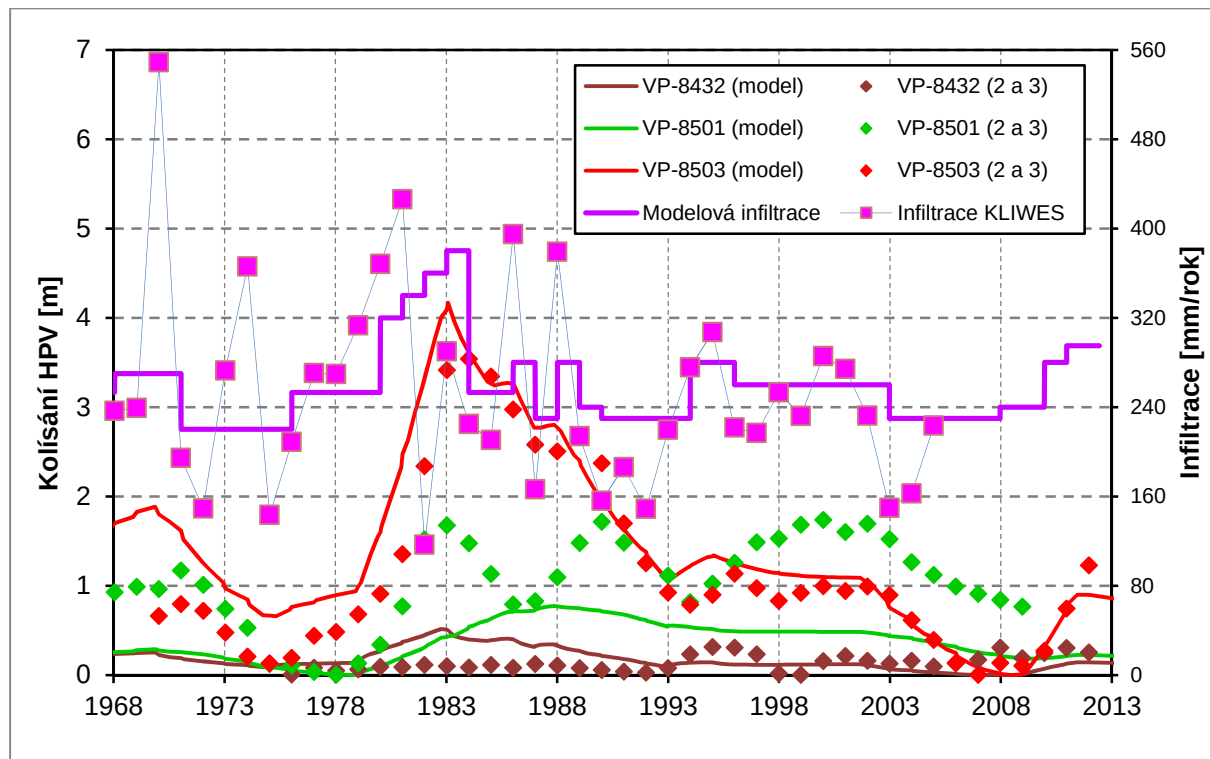
Num. of Data Points : 24
 Standard Error of the Estimate : 0.967 (m)
 Root Mean Squared : 4.863 (m)
 Normalized RMS : 4.3 (%)
 Correlation Coefficient : 0.992

Obr. 28: Grafické porovnání pozorovaných a vypočtených hladin podzemní vody – kalibrační skupina 5 (GER 2007)

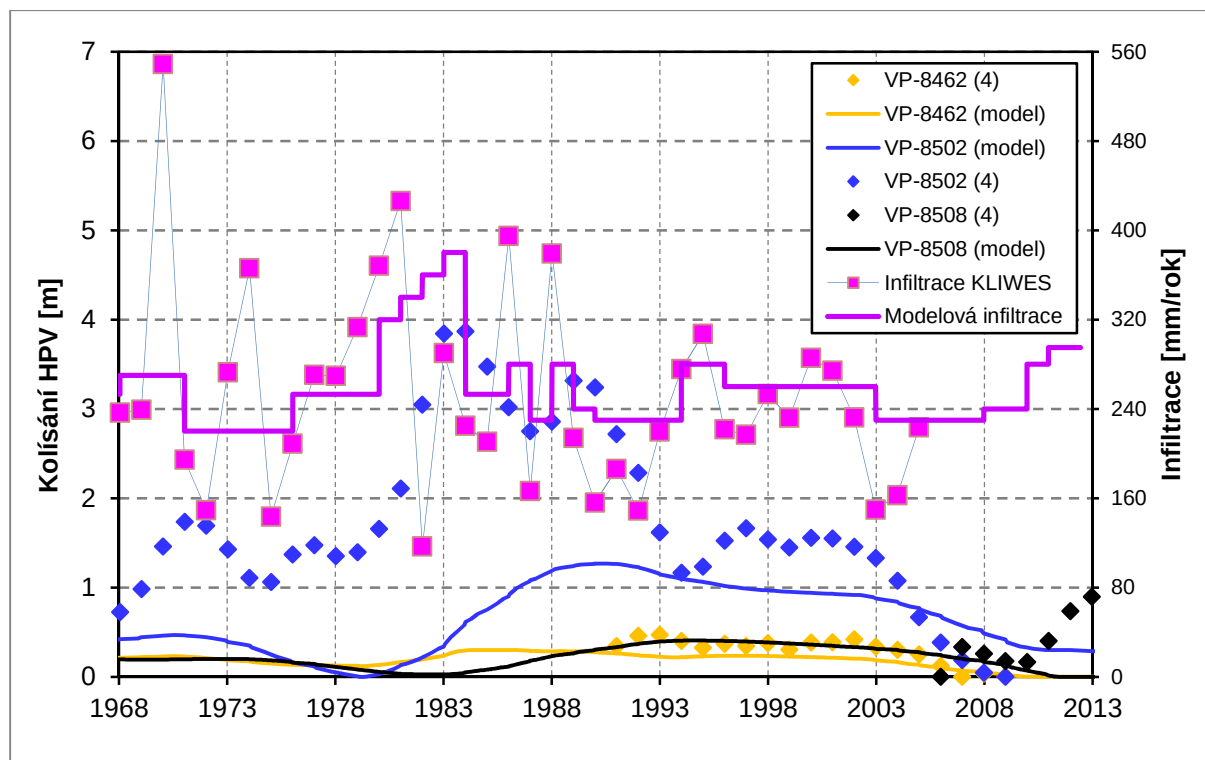
Pozn.: Červený čtverec odpovídá kolektoru 2 (třetí modelová vrstva), modré kolečko kolektoru 3 (pátá modelová vrstva) a zelený trojúhelník kolektoru 4 (sedmá modelová vrstva).



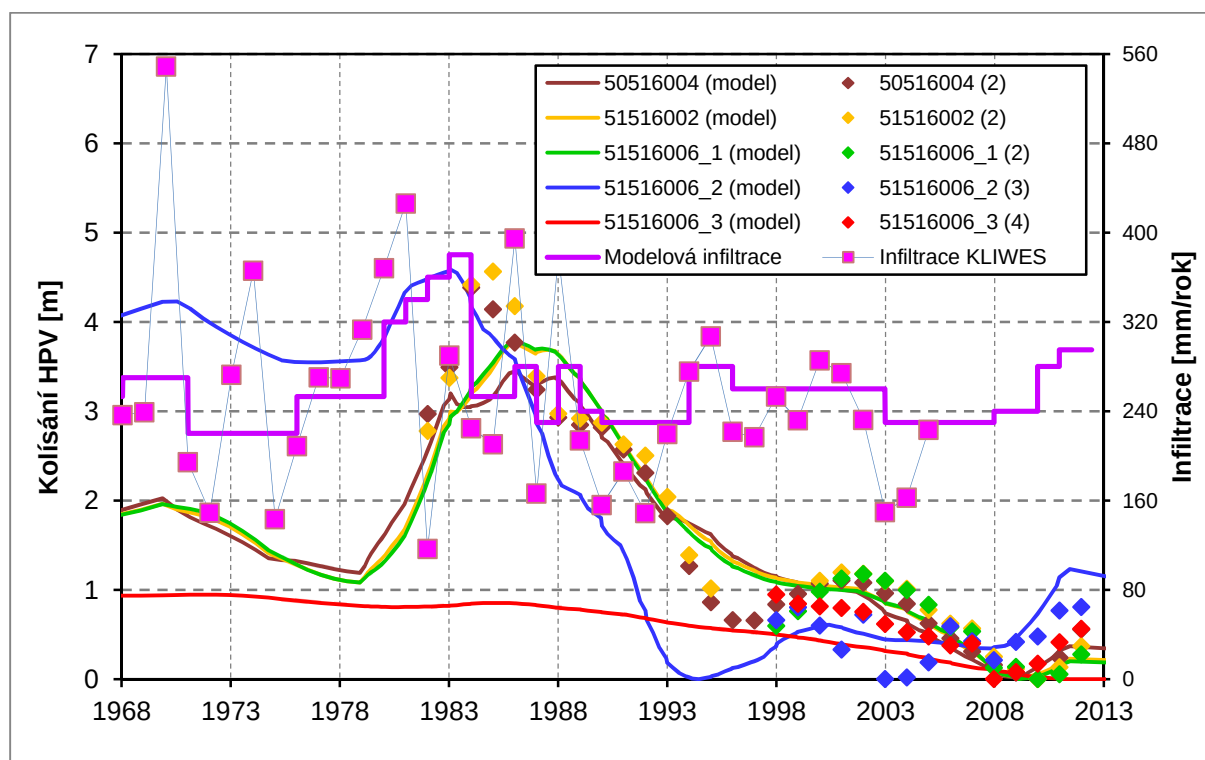
Obr. 29: Kolísání hladin podzemní vody v jímacím území Hřensko



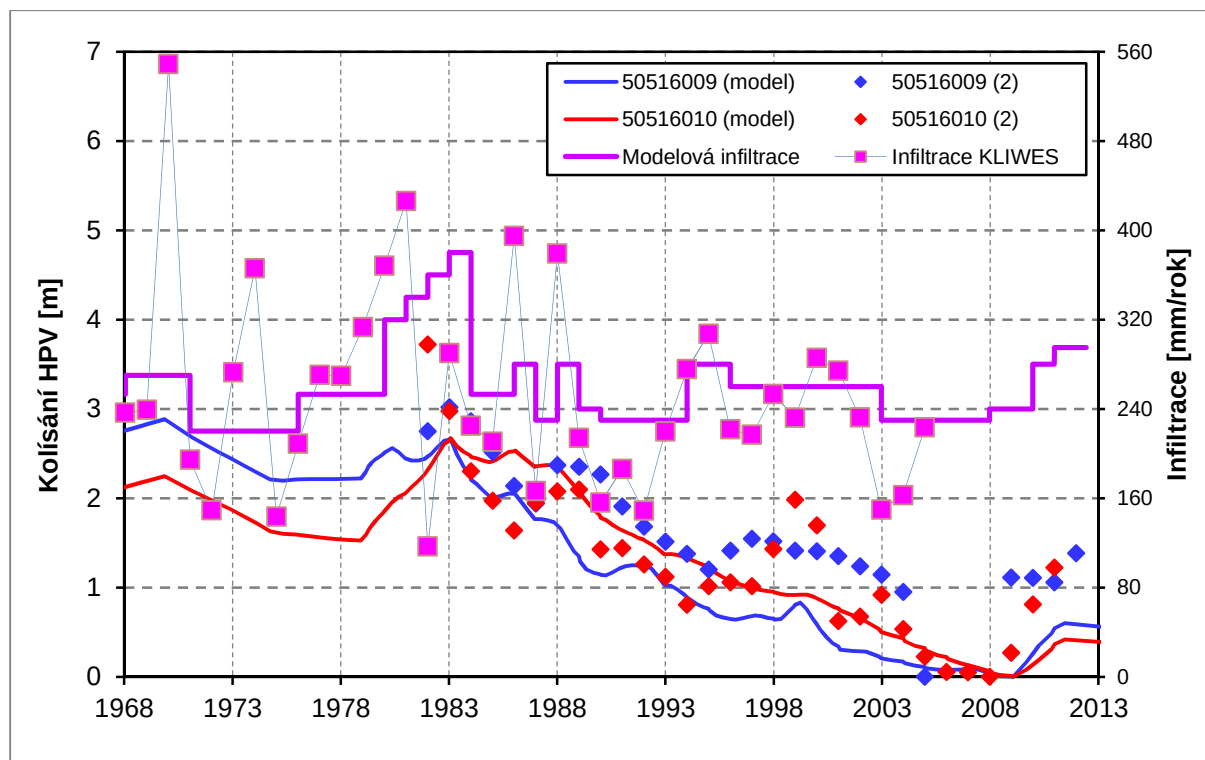
Obr. 30: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – spojený kolektor 2+3 – české území



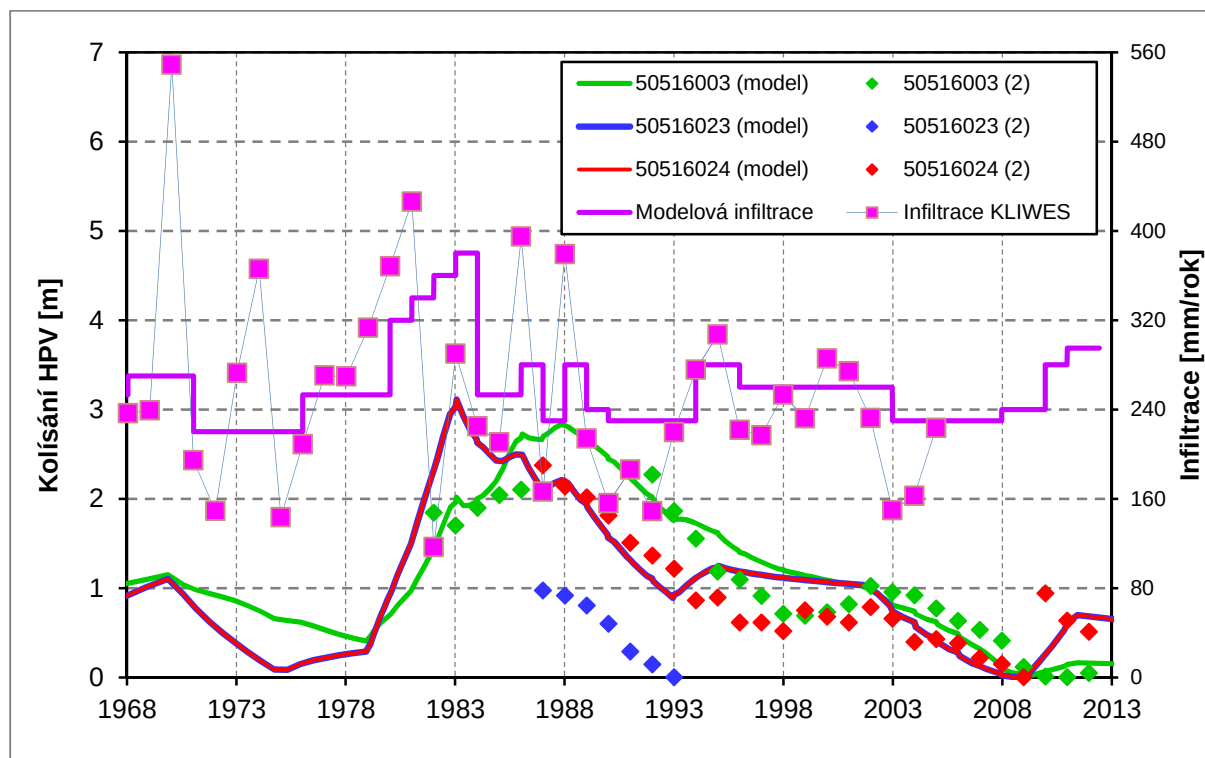
Obr. 31: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 4 – české území



Obr. 32: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektory 2, 3 a 4 – německé území mezi státní hranicí a vulkanickým tělesem

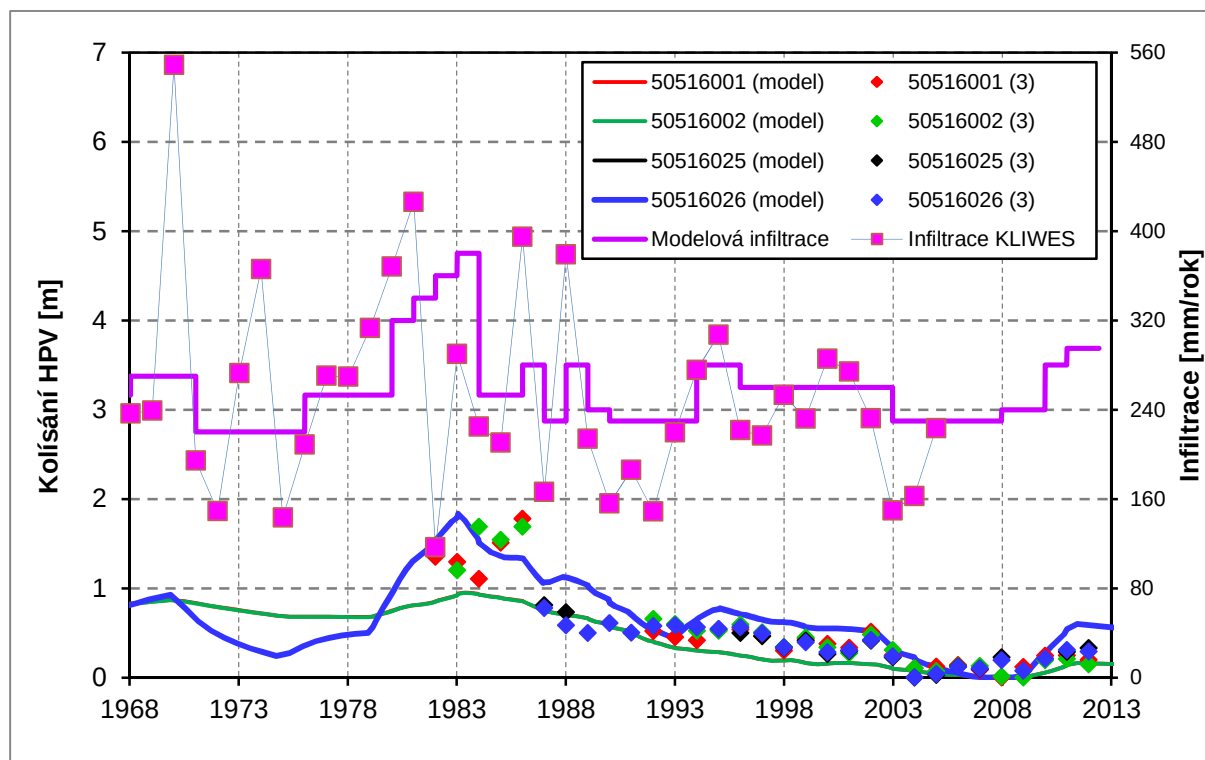


Obr. 33: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 2 – německé území mezi jímacím územím a vulkanickým tělesem



Obr. 34: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 2 – německé území na západním okraji modelové oblasti

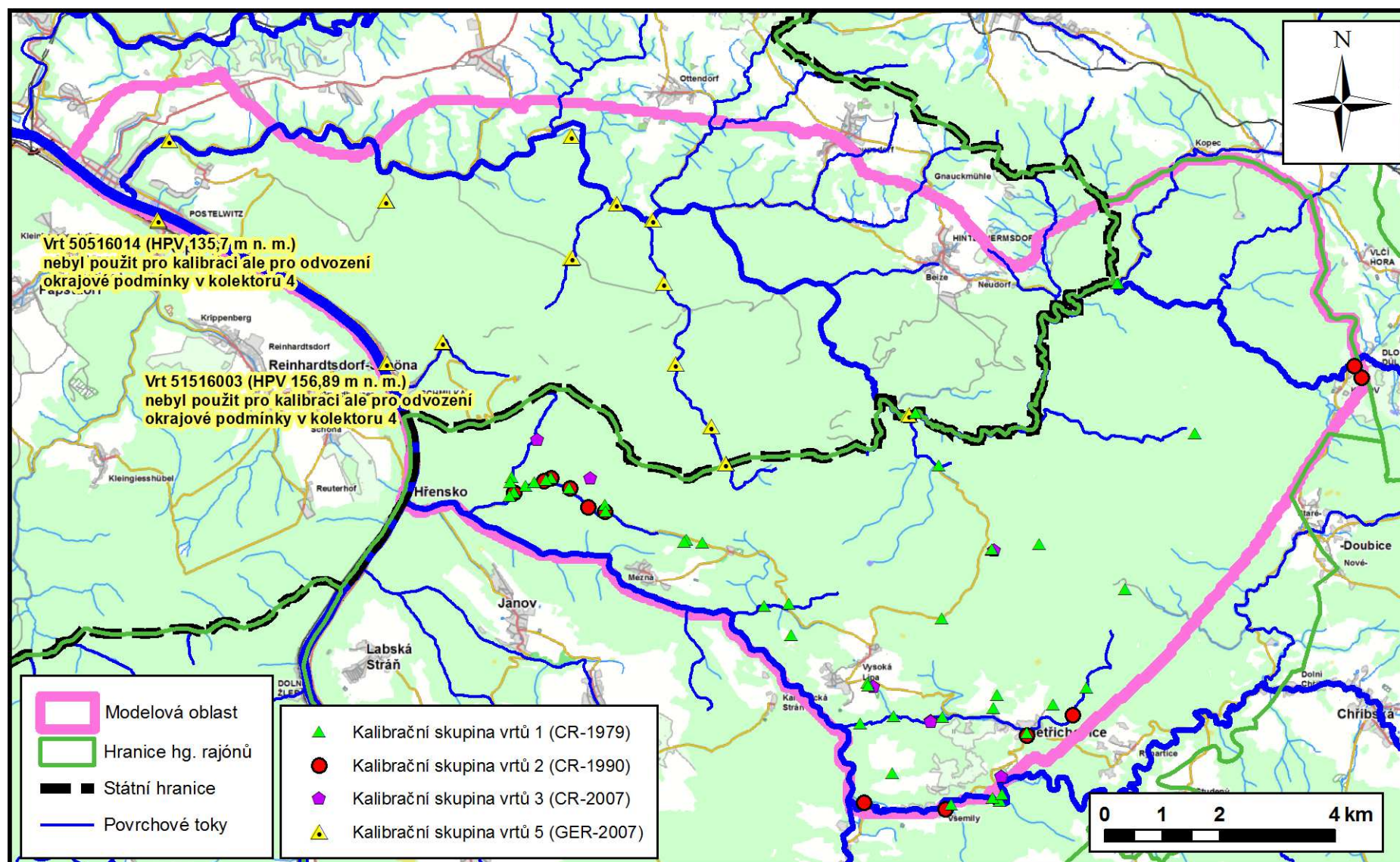
Pozn.: Ačkoliv mají vrt 50516023 a 50516024 víceméně stejné hladiny podzemní vody, vrt 50516023 vykazuje menší kolísání hladin než vrt 50516024, protože nebyl monitorován v době nejnižších hladin podzemní vody (rok 2009 u na vrtu 50516024). Pokud by byl měřen i v současnosti, relativní kolísání hladiny podzemní vody by bylo totožné jako na vrtu 50516023.



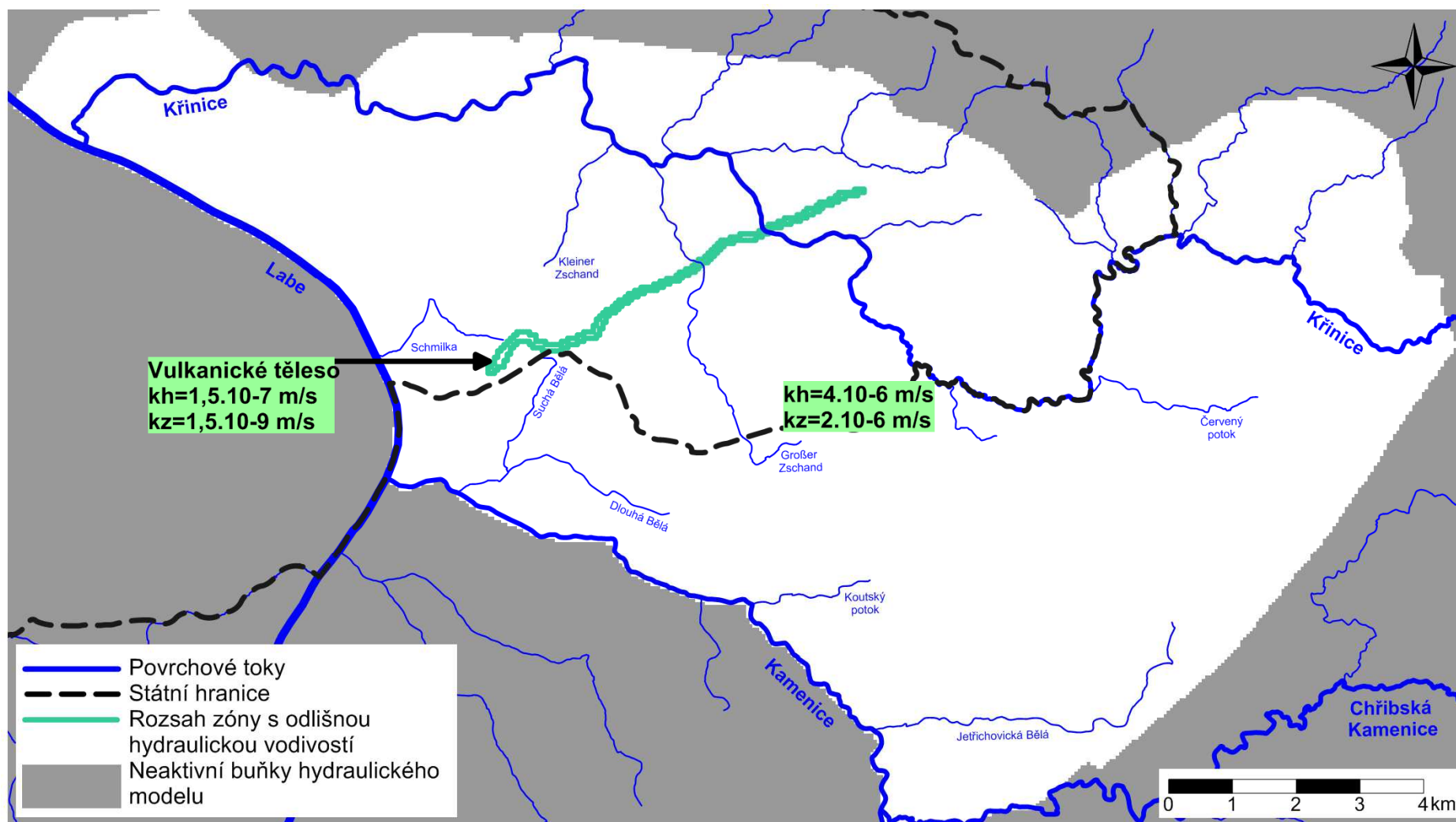
Obr. 35: Kalibrace na kolísání hladin podzemních vod – kolektor 3 – německé území na západním okraji modelové oblasti

Tab. 7: Přijaté hydraulické parametry nakalibrovaného modelu

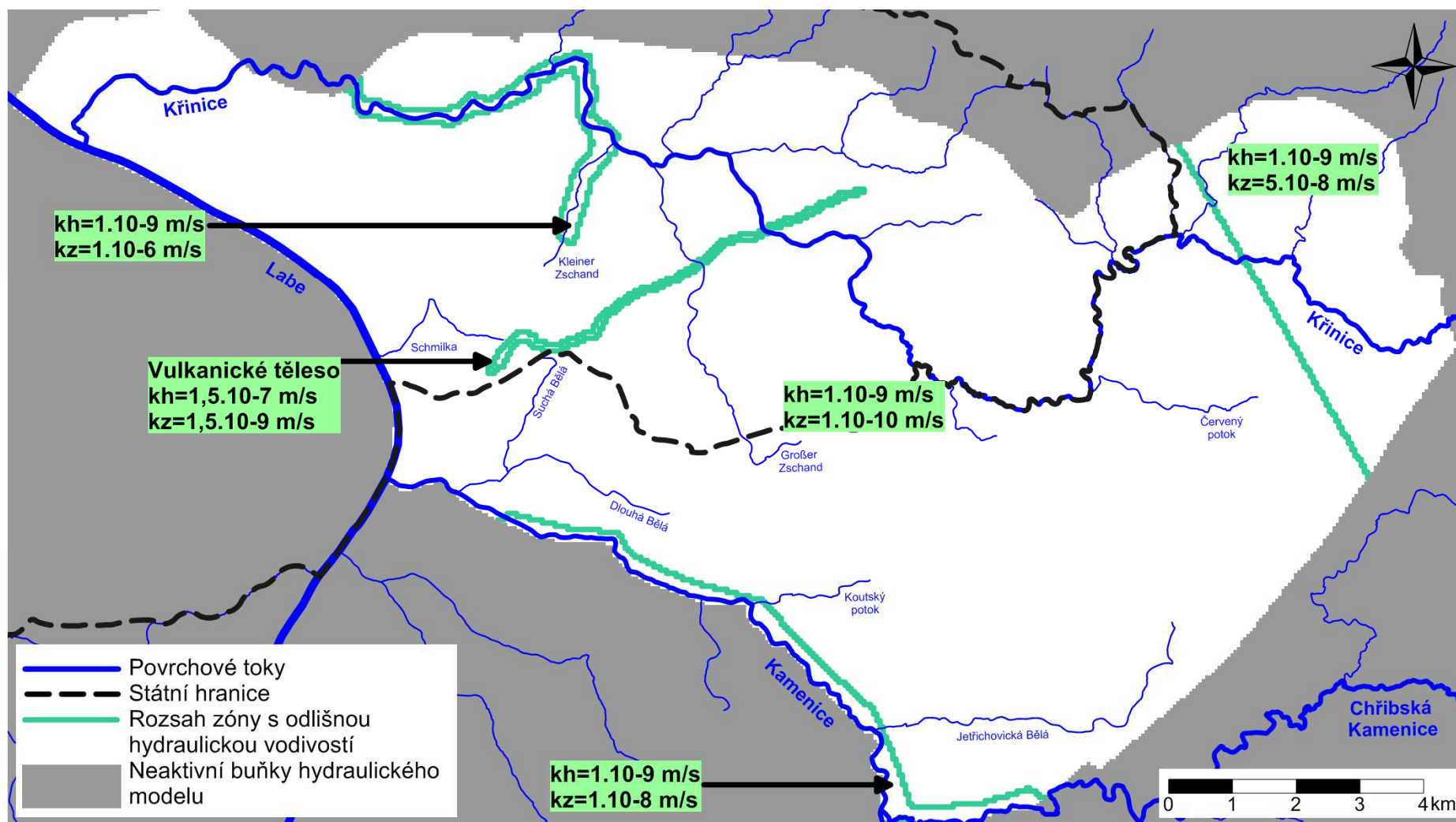
Modelová vrstva	Hydrogeol. zařízení	Hydraulická vodivost [m/s]		Mapa	Storativita	
		Horizontální	Vertikální		volná[-]	Specifická [1/m]
1	Kolektor 1	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	Obr. 43	0,1	0,0001
2	Poloizolátor 1/2	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	Obr. 42	0,01	0,0001
3	Kolektor 2	$1,5 \cdot 10^{-7} - 1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^{-5}$	Obr. 41	0,1	0,0001
4	Poloizolátor 2/3 a spojený kolektor 2+3	$1,0 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^{-5}$	Obr. 40	0,01–0,1	0,0001
5	Kolektor 3	$1,5 \cdot 10^{-7} - 5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^{-5}$	Obr. 39	0,1	0,0001
6	Poloizolátor 3/4	$1,0 \cdot 10^{-9} - 1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-10} - 1,0 \cdot 10^{-6}$	Obr. 38	0,01	0,0001
7	Kolektor 4	$1,5 \cdot 10^{-7} - 4,0 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-9} - 2,0 \cdot 10^{-6}$	Obr. 37	0,05	0,0001



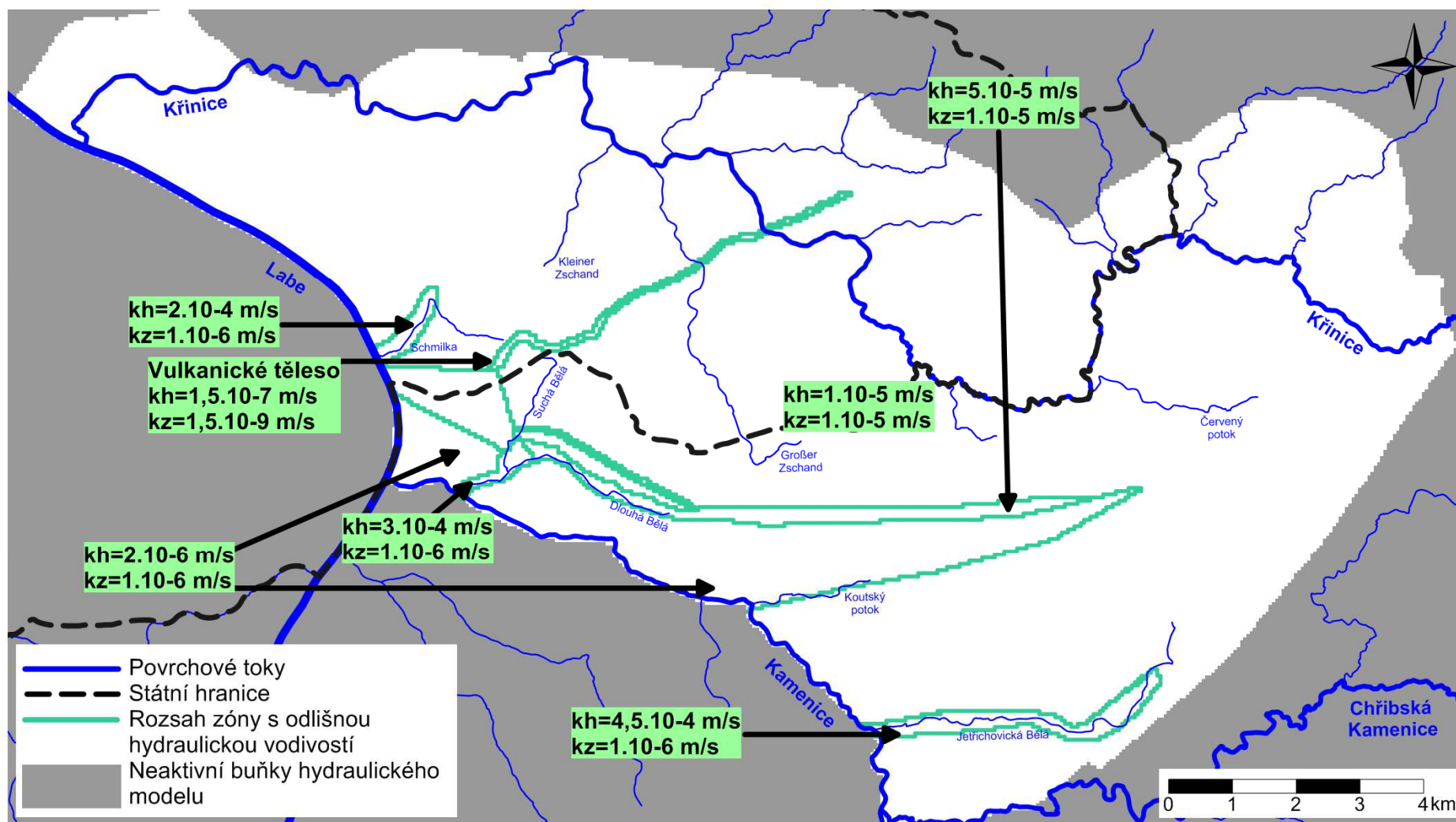
Obr. 36: Situace kalibračních skupin 1, 2, 3 a 5



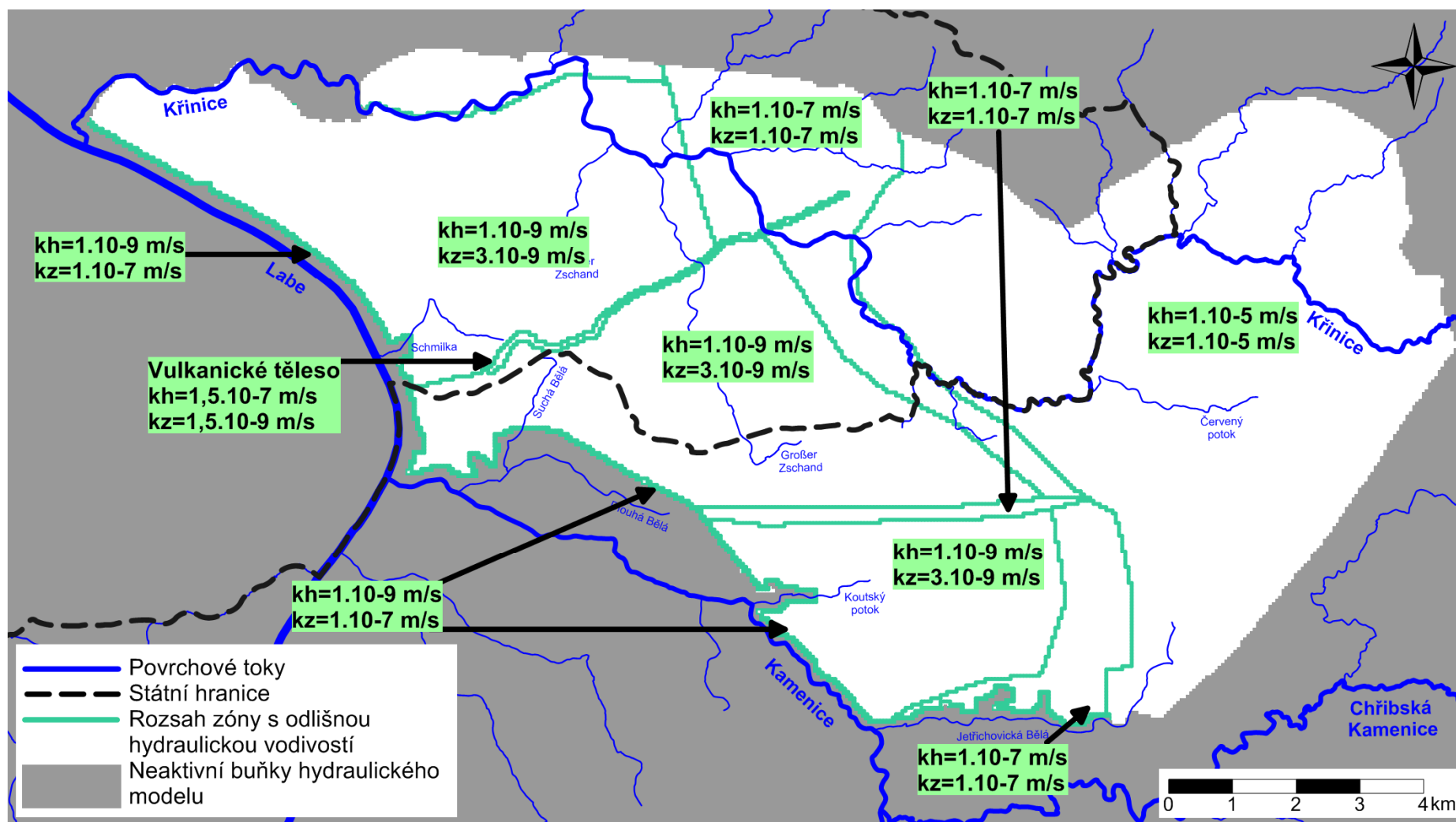
Obr. 37: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 4



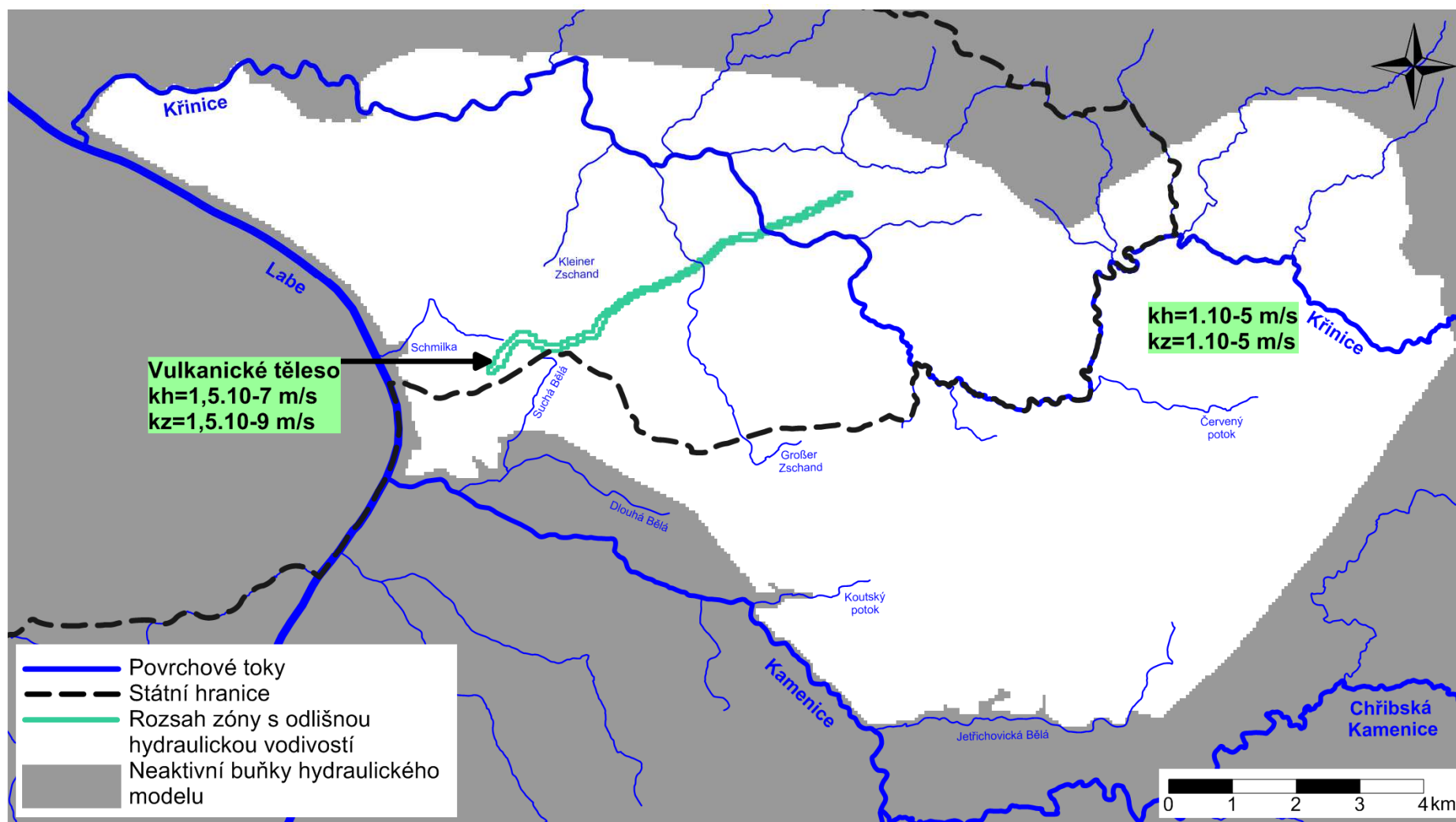
Obr. 38: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Poloizolátor 3/4



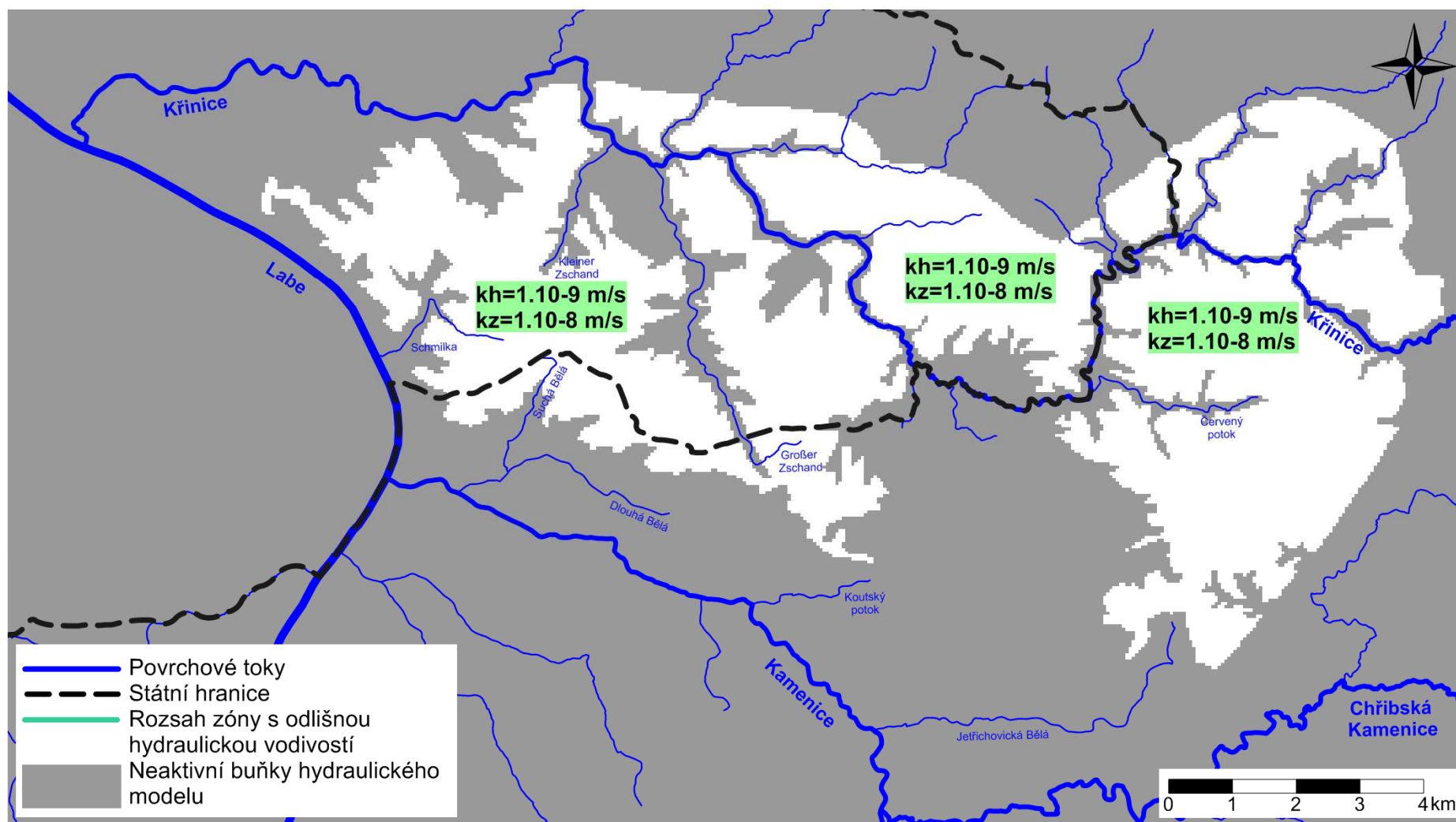
Obr. 39: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 3



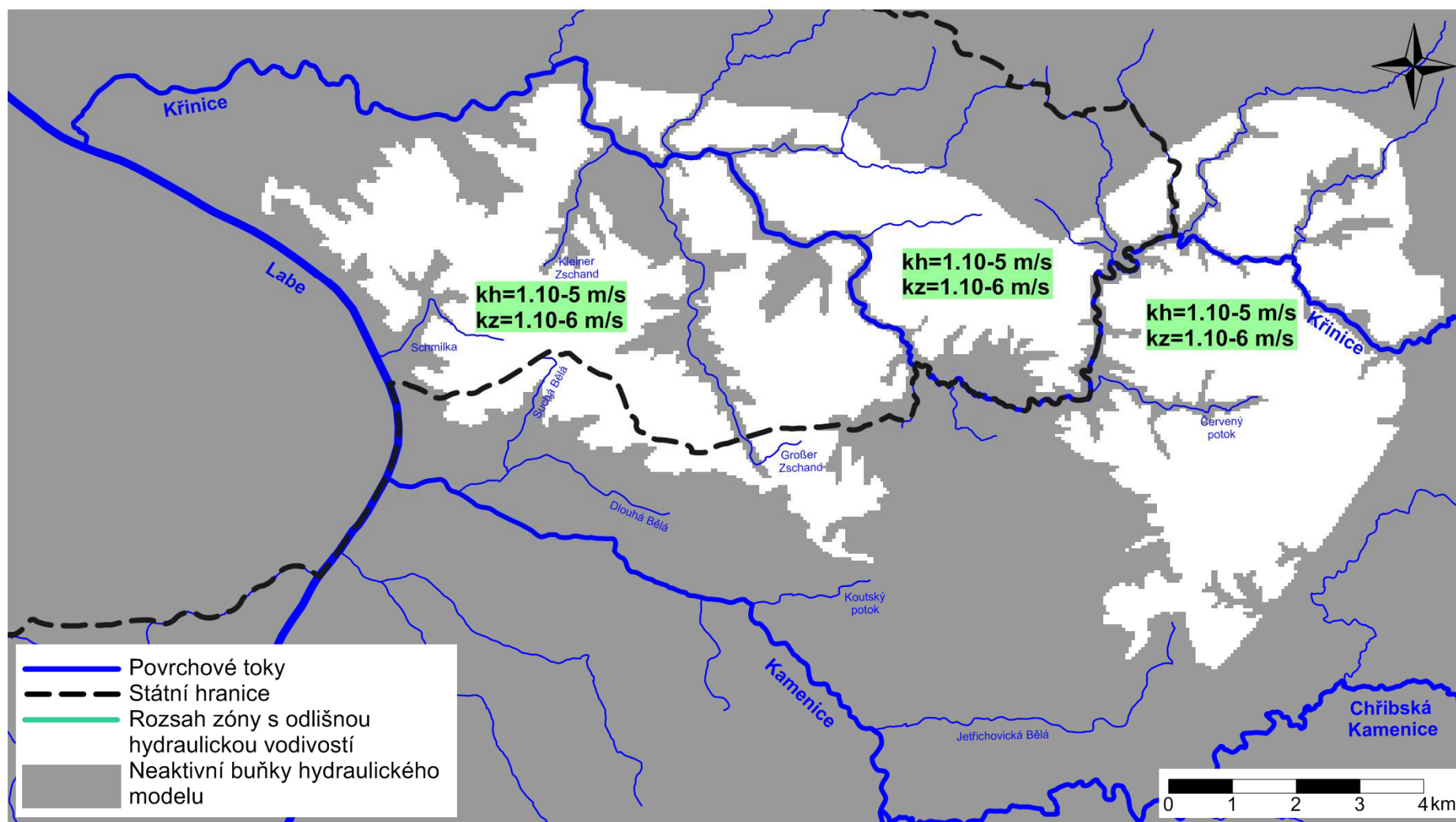
Obr. 40: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Poloizolátor 2/3



Obr. 41: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 2



Obr. 42: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Poloizolátor 1/2



Obr. 43: Zóny s odlišnou hydraulickou vodivostí – Kolektor 1

4.8. Simulované proudění podzemní vody

Modelové hydroizohypsy v jednotlivých kolektorech jsou zobrazeny na **Obr. 46 až Obr. 49**. Prezentovaný proudový model oblasti vystihuje piezometrické poměry zkoumaného území Hřensko-Křinice/Kirnitzsch. Výstupy kalibrovaného modelu jsou dále v textu označovány jako **scénář V2S0-1**.

Podzemní voda v kolektorech 2–4 proudí od východu na západ. V kolektoru 1 podzemní voda přetéká do podložního kolektoru 2 a proudí ve směru úklonu dílčích výskytů kolektoru 1. Proudění podzemní vody je v kolektoru 2 řízeno především Křinicí, existencí vulkanického tělesa a rozsahem poloizolátoru 2/3. Ve východní části modelové oblasti je hladina podzemní vody v kolektoru 2 totožná s hladinou podzemní vody v kolektoru 3 a vytváří spojený kolektor 2+3. V centrální části modelové oblasti se v modelových hydroizohypsách projevuje drenážní vliv Křinice. Dochází zde také k vytvoření rozdílu hladiny podzemní vody mezi kolektory 2 a 3 (díky přítomnosti poloizolátoru 2/3). Hladina podzemní vody v kolektoru 2 se pohybuje zhruba o 5 až 20 m výše než v kolektoru 3. Zhruba podél státní hranice se vytváří rozvodnice a hlavní proud podzemní vody se štěpí na severní a jižní. Severní proud směřuje ke Křinici a jižní proud podzemní vody míří k okrajům výskytu kolektoru 2, kde přetéká do kolektoru 3. V kaňonu Labe a Kamenice je kolektor 2 drénován omezeně, což je dáno předpokládaným úklonem báze kolektoru 2 ke Křinici. Na modelových hydroizohypsách v kolektoru 2 se výrazně projevují dva prvky: dílčí deprese vyvolaná přetékáním do kolektoru 3 podél předpokládaného zlomu v linii Dlouhá Bělá (**Obr. 40 a Obr. 47**) a hladinový skok způsobený nižší propustností vulkanického tělesa (**Obr. 39 a Obr. 47**).

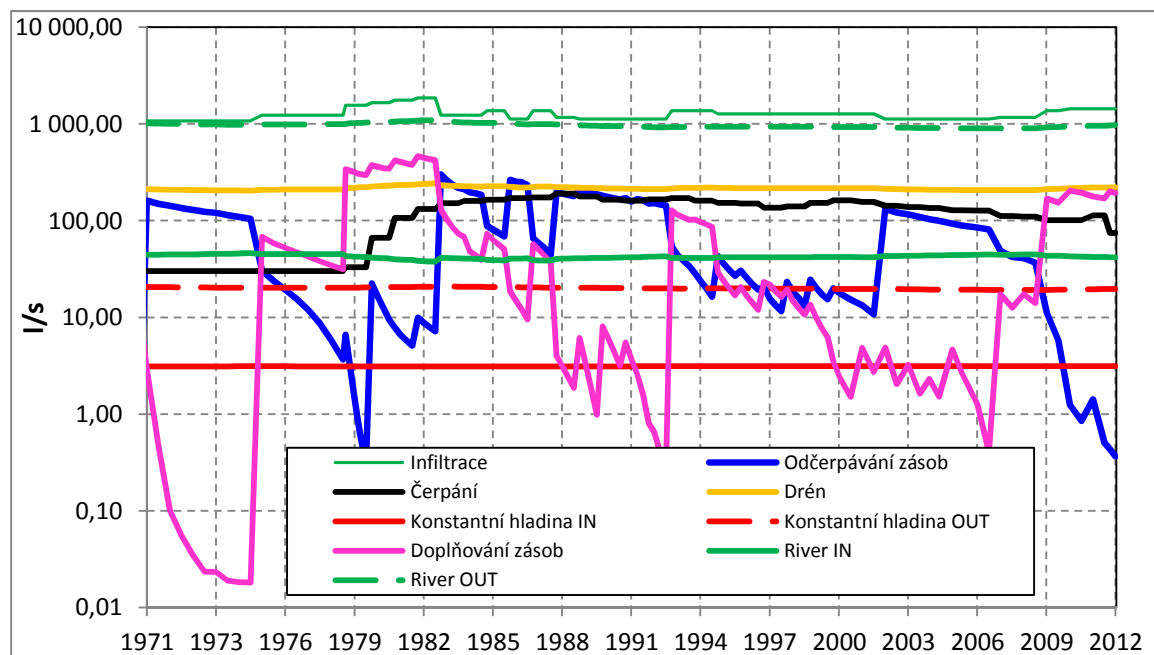
Podzemní voda v kolektoru 3 proudí v západní části modelové oblasti stejným směrem jako podzemní voda v kolektoru 2. V centrální části dochází k oddělení severního a jižního proudu stejně jako v případě kolektoru 2 (**Obr. 48**). Jižní proud směřuje k jímacímu území Hřensko a ke Kamenici. Severní proud směřuje k jímacímu území ve Felsenmühle a Neumannmühle a ke Křinici v Bad Schandau, kde je drénován do toku Křinice, a k Labi, kde dochází k jeho odvodnění.

Podzemní voda v kolektoru 4 proudí z infiltrační oblasti na východě směrem na západ k Labi, kde však k drenáži nedochází (**Obr. 49**). Podzemní voda v kolektoru 4 Labe patrně podtéká. Lokálně je podzemní voda drénována do Kamenice přes kolektor 3 a v údolí Křinice do kolektoru 3.

V následující tabulce (**Tab. 8**) je shrnuta vodní bilance hydraulického modelu odpovídající roku 2012. Jelikož je simulace transientní, je i modelová vodní bilance závislá na čase. Z grafu na **Obr. 44** je tato závislost dobře patrná. Dobře patrné jsou změny odvozené infiltrace a skutečného čerpání a s tím související v čase se měnící toky přes jednotlivé okrajové podmínky. Z grafu je i znatelná reakce modelu na kolísání infiltrace ve formě kolísání drenáže do povrchových toků (okrajová podmínka „drén“ a „řeka“) a doplňování nebo naopak vyprazdňování statických zásob. Nejvyšší historické odběry podzemních vod na konci osmdesátých let a počátkem devadesátých let minulého dvacátého století doprovázené velmi suchým obdobím jsou dokumentované odčerpáváním statických zásob, které se projevuje jak zaznamenaným, tak i modelovaným poklesem hladiny podzemní vody v celé struktuře (viz porovnání měřených a modelových hladin na **Obr. 30 až Obr. 35**).

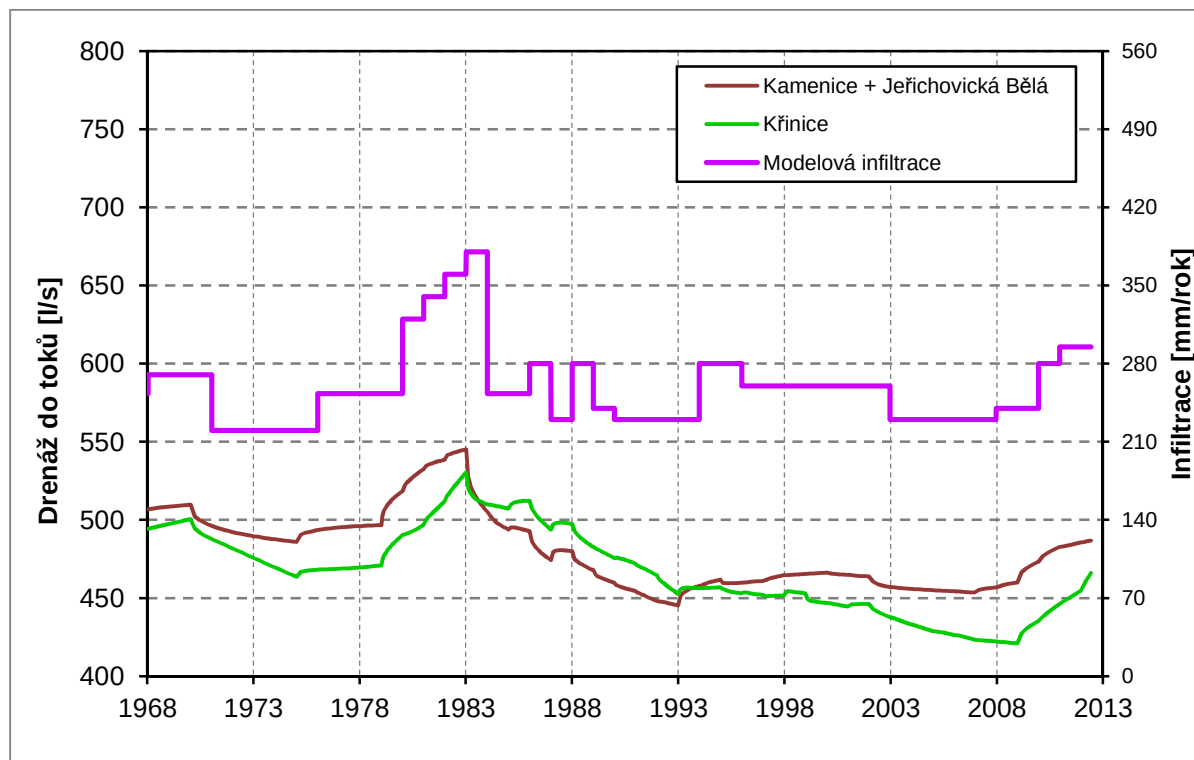
Tab. 8: Vodní bilance

Kolektor	Bilanční položka	Vtok	Odtok
		[l/s]	[l/s]
1	Infiltrace	653.5	0.0
	Zásoby	0.0	97.9
	Drén	0.0	11.8
	Přetok do kol. 2	0.0	543.9
2	Přetok do/z kol. 1	543.9	0.0
	Infiltrace	572.5	0.0
	Řeka	38.8	444.2
	Drén	0.0	0.7
	Studny	0.0	11.1
	Zásoby	0.0	66.3
	Přetok do/z kol. 3	101.0	733.9
3	Přetok do/z kol. 2	733.9	101.0
	Infiltrace	178.0	0.0
	Zásoby	0.1	24.4
	Studny	0.0	90.1
	Drén	0.0	205.3
	Řeka	3.5	503.1
	Přetok do/z kol. 4	34.1	23.1
4	Přetok do/z kol. 3	23.1	34.1
	Infiltrace	32.1	0.0
	Konstantní hladina	3.1	19.4
	Zásoby	0.7	5.4
Celkem		2918.4	2915.6
Chyba vtok/odtok (%)		4.85E-02	



Obr. 44: Graf závislosti modelové vodní bilance na čase

Na **Obr. 45** je do grafu vynesena závislost velikosti modelové drenáže podzemní vody do Křinice a do Kamenice na čas. Bilance je vypočtena pro ústí obou toků do Labe. Z grafu je patrná reakce odtoku na kolísající infiltraci. Určitý podíl na velikosti drenáže má i čerpání podzemní vody. V závislosti na infiltraci a čerpaném množství průtok na Křinice kolísá mezi 420 a 530 l/s a Na Kamenici mezi 450 a 550 l/s.



Obr. 45: Graf závislosti velikosti modelové drenáže podzemní vody do Křinice a Kamenice v celé modelové oblasti na čas

4.9. Vliv čerpání podzemní vody a infiltrace na režim a stav podzemních vod

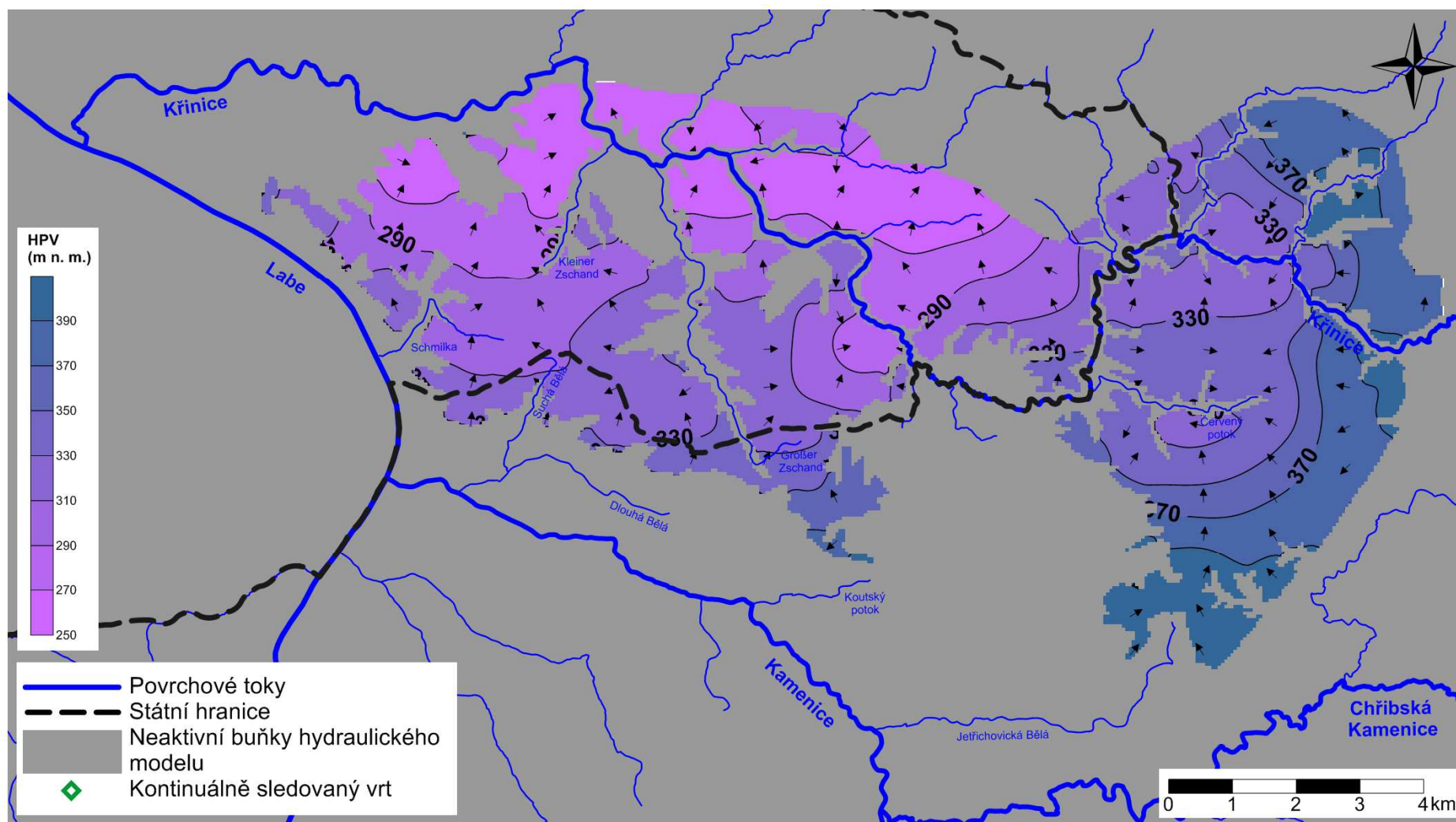
Na kolísání hladin podzemní vody se podílejí dva faktory – velikost odběrů podzemních vod a změny infiltrace. Zatímco odběry jsou díky registraci čerpání faktorem snadno definovatelným, skutečná infiltrace v čas je stanovitelná s omezenou přesností. Odběry vstupují do hydraulického modelu jako průměrná množství v každém zaznamenaném roce a v hydraulickém modelu se nijak neupravují. Infiltrace se mění podle kalibrace hydraulického modelu na kolísání hladin podzemních vod na dlouhodobě sledovaných vrtech (kalibrační skupiny vrtů 6 a 7). V případě, že byl hydraulický model dobře nakalibrován na dostupné hladiny podzemní vody, lze je použít pro kvantifikaci obou faktorů na kolísání hladin podzemních vod. V hydraulickém modelu se zruší všechna modelová jímání podzemní vody a provede se simulace bez čerpání úplně stejným způsobem jako v případě simulace s odběry. Oba scénáře se porovnají jak v ploše, tak i graficky prostřednictvím rozdílu hladin podzemní vody variant s odběry (označované jako **scénář V2S0-1**) a bez odběrů (**scénář V2S0-2**) (**Obr. 50 a Obr. 51**).

Modelový rozdíl mezi stavem bez čerpání a stavem s čerpáním je více výrazný v kolektoru 3 na prameništi Hřensko než v jímacím území ve Felsenmühle a Neumannmühle, které jímá

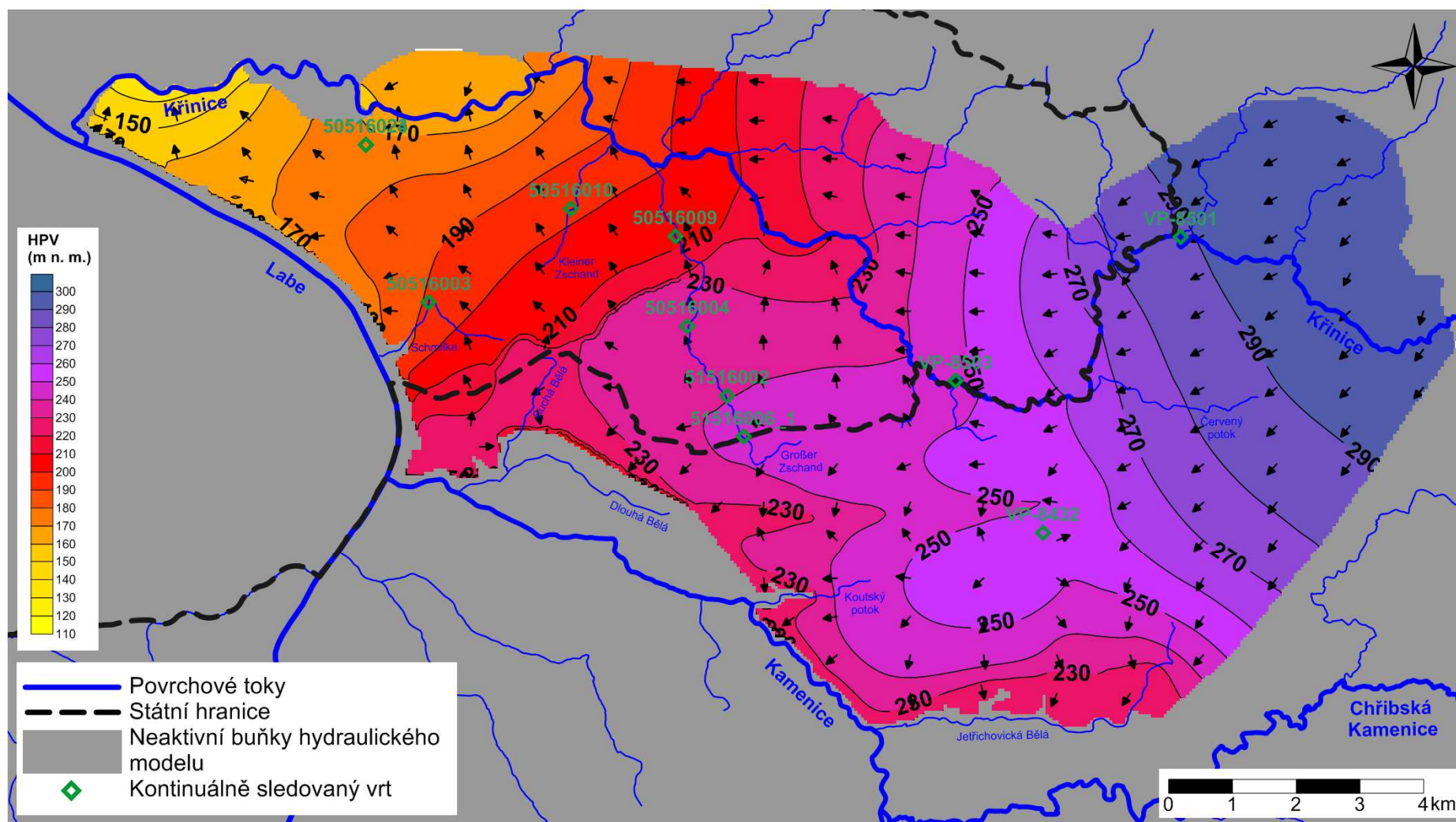
podzemní vodu přirozeně se drénující do Křinice. Rozdíl hladin dosahuje až 8 m v jímacím území Hřensko a 4 m na pozorovacím vrtu 5051600_2, což však není možné potvrdit přímým pozorováním, protože sledování na vrtu začalo až v roce 1998 a nepokrývá tudíž období největších poklesů (**Obr. 32**).

V kolektoru 2, kde je snížení způsobeno především poklesem hladin podzemní vody v kolektoru 3, poklesy hladin podzemní vody nepřekračují 2,2 m. Na českém území modelově dochází i poklesu podzemní vody v kolektoru 2, i když se podzemní voda odebírá pouze z kolektoru 3. Příčinou je přetok podzemní vody z kolektoru 2 na jeho okraji a přes tektonickou poruchu do kolektoru 3. Pokud hladina podzemní vody v kolektoru 3 (vlivem odběrů) poklesne, zvýší se přetékání z kolektoru 2 do kolektoru 3, což má za následek pokles hladiny podzemní vody i v kolektoru 2.

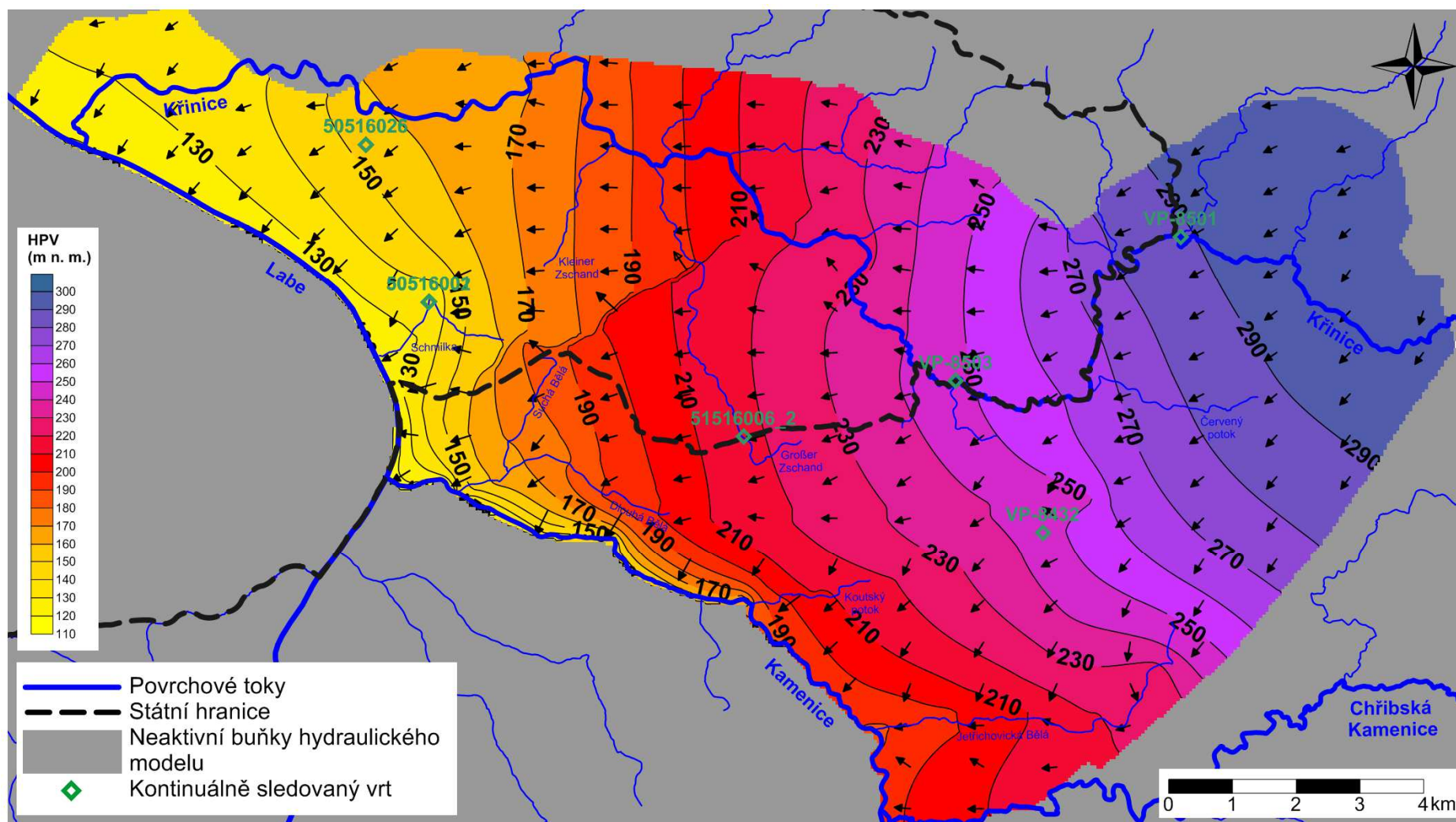
Pokud uvážíme, že nejvyšší průměrný roční pokles byl zaznamenán na vrtu 51516002 (4,6 m – viz **Obr. 32**) a modelové poklesy hladin podzemní vody vyvolané čerpáním nepřekračují 2,2 m na dlouhodobě pozorovaných vrtech, lze odhadnout, že vliv odběrů na poklesy hladin podzemní vody je zhruba 50%.



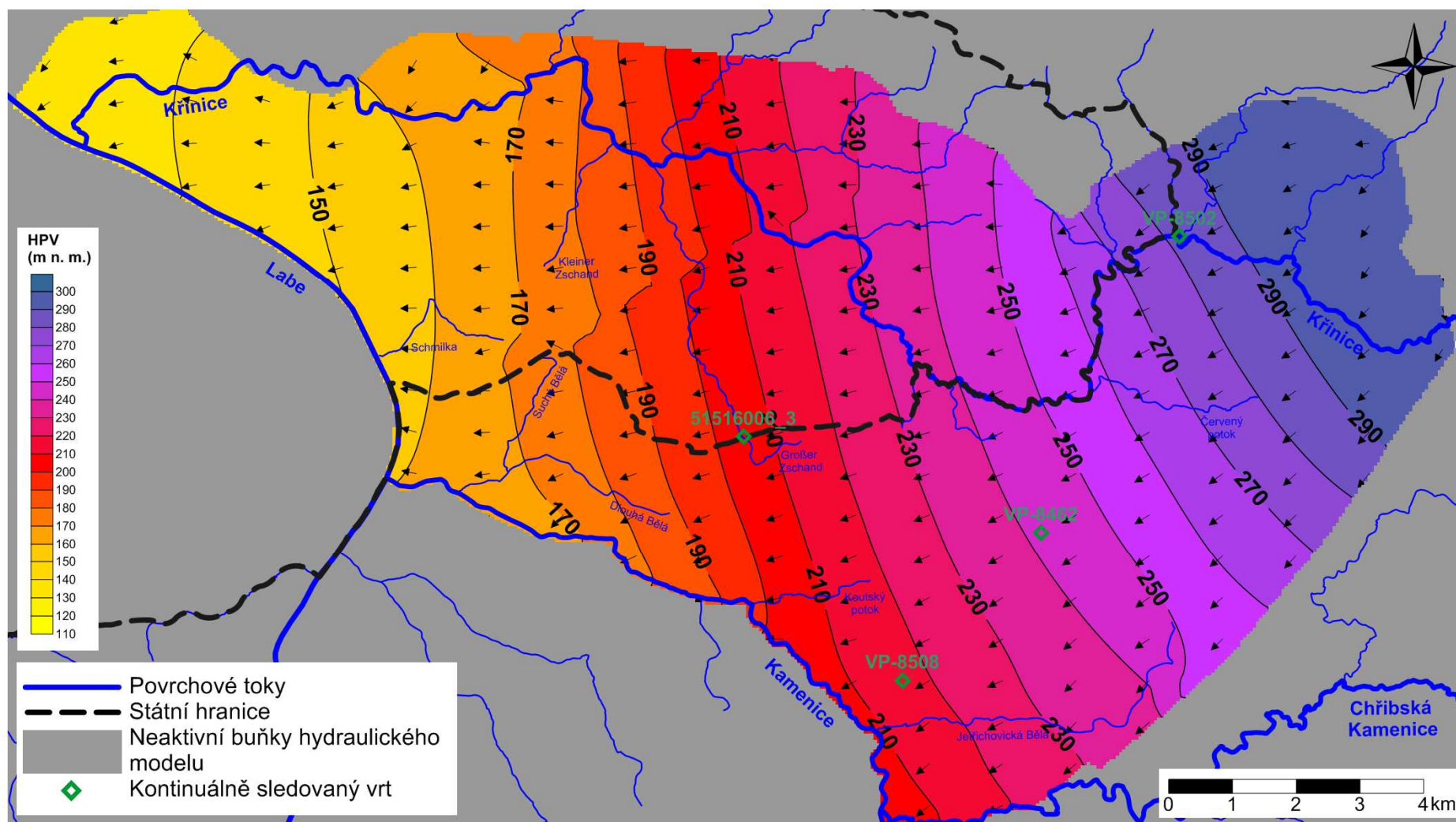
Obr. 46: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 1 (scénář V2S0-1)



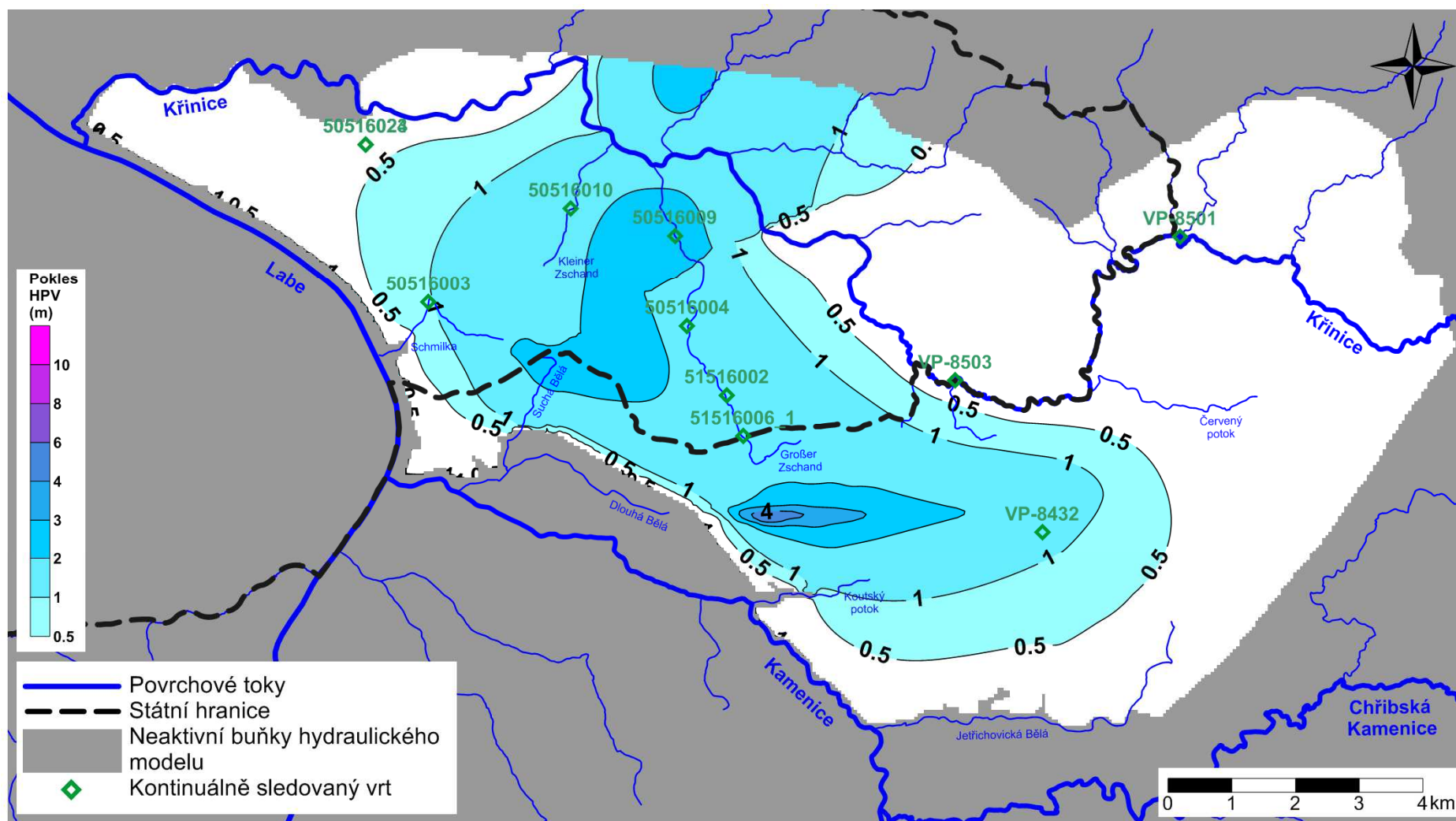
Obr. 47: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 2 (scénář V2S0-1)



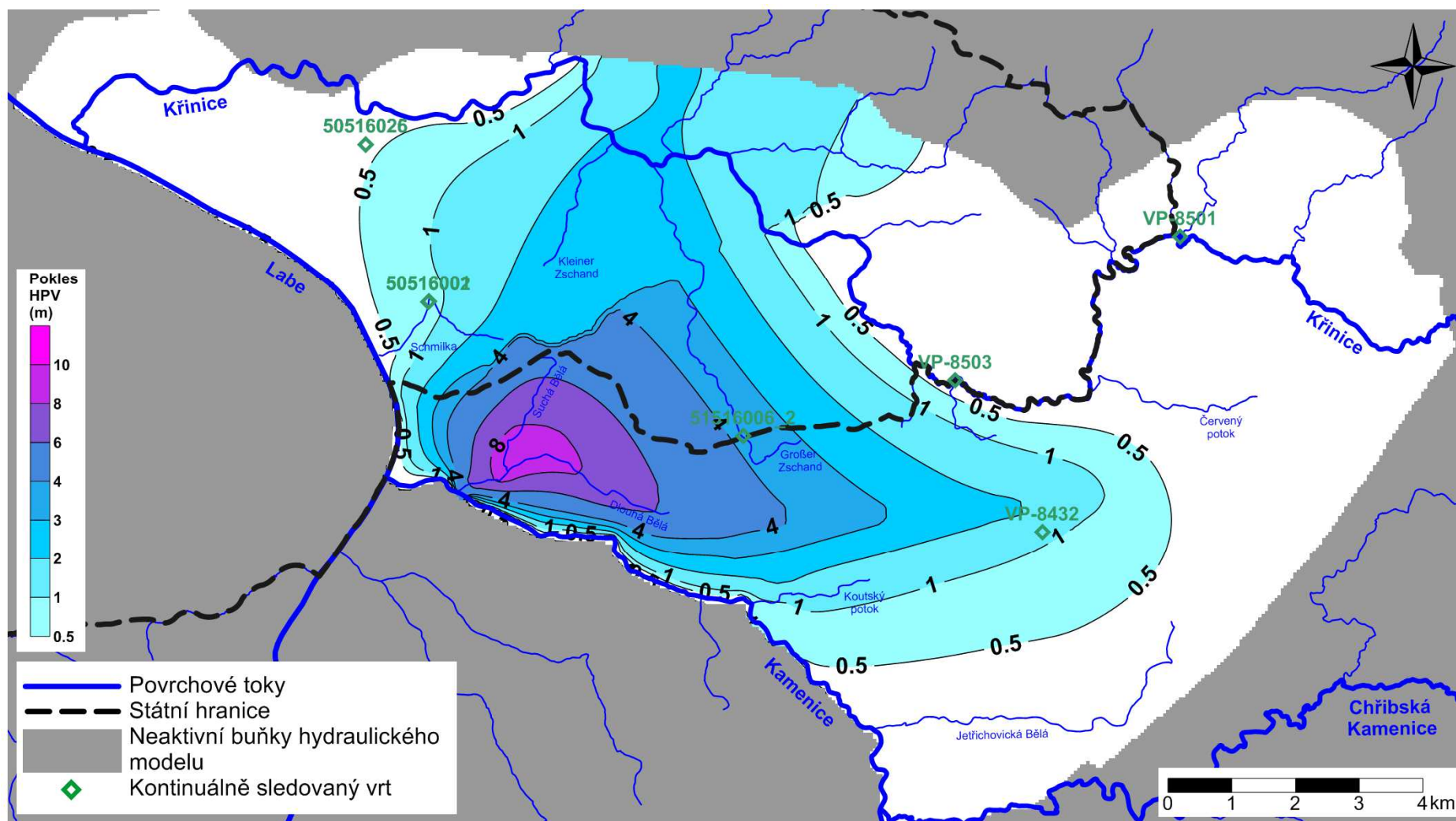
Obr. 48: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 3 (scénář V2S0-1)



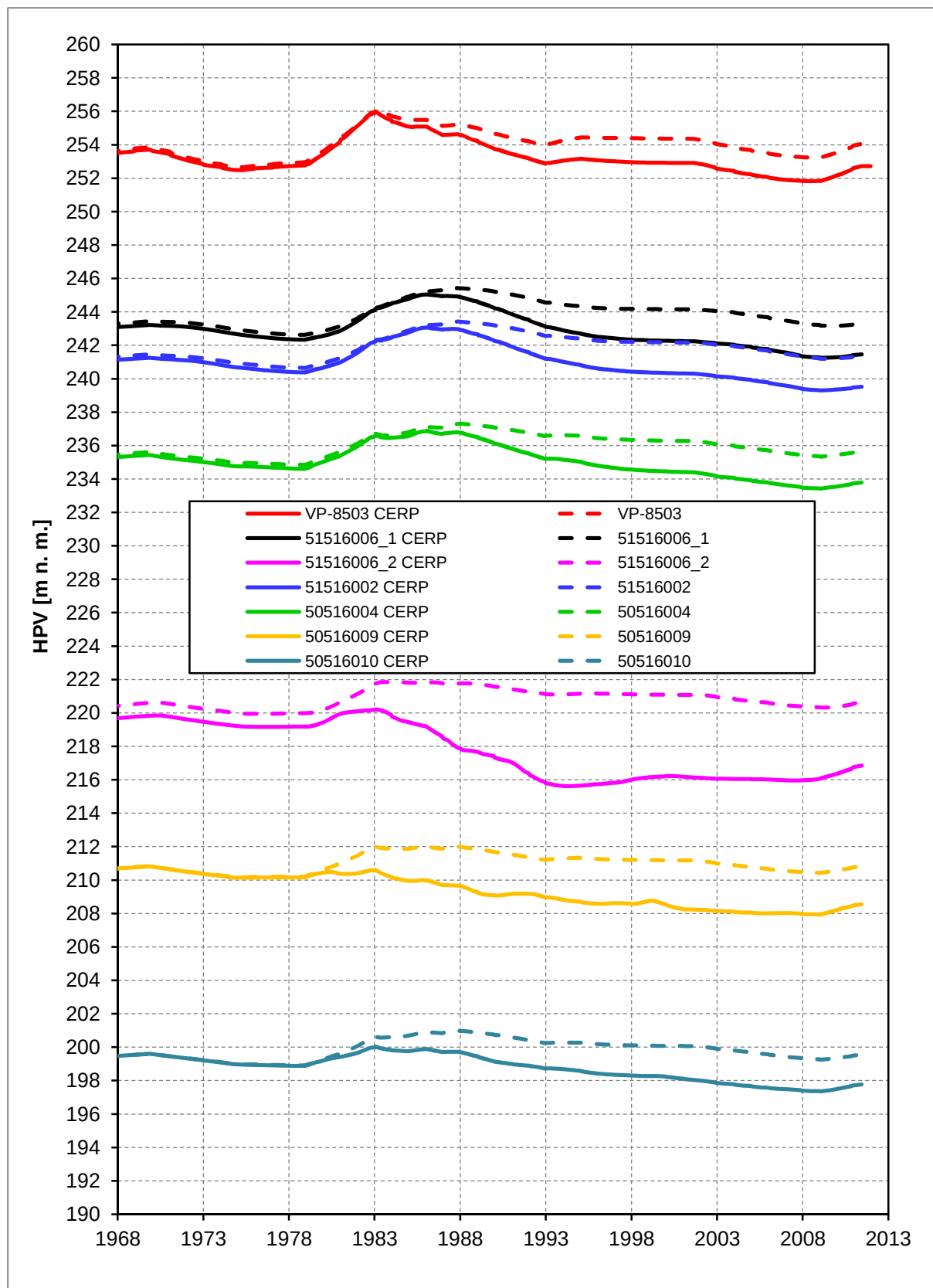
Obr. 49: Modelové hladiny podzemní vody a směry proudění v kolektoru 4 (scénář V2S0-1)



Obr. 50: Rozdíl mezi modelovou hladinou podzemní vody s čerpáním (scénář V2S0-1) a bez čerpání podzemní vody (scénář V2S0-2) – kolektor 2



Obr. 51: Rozdíl mezi modelovou hladinou podzemní vody s čerpáním (scénář V2S0-1) a bez čerpání podzemní vody (scénář V2S0-2) – kolektor 3



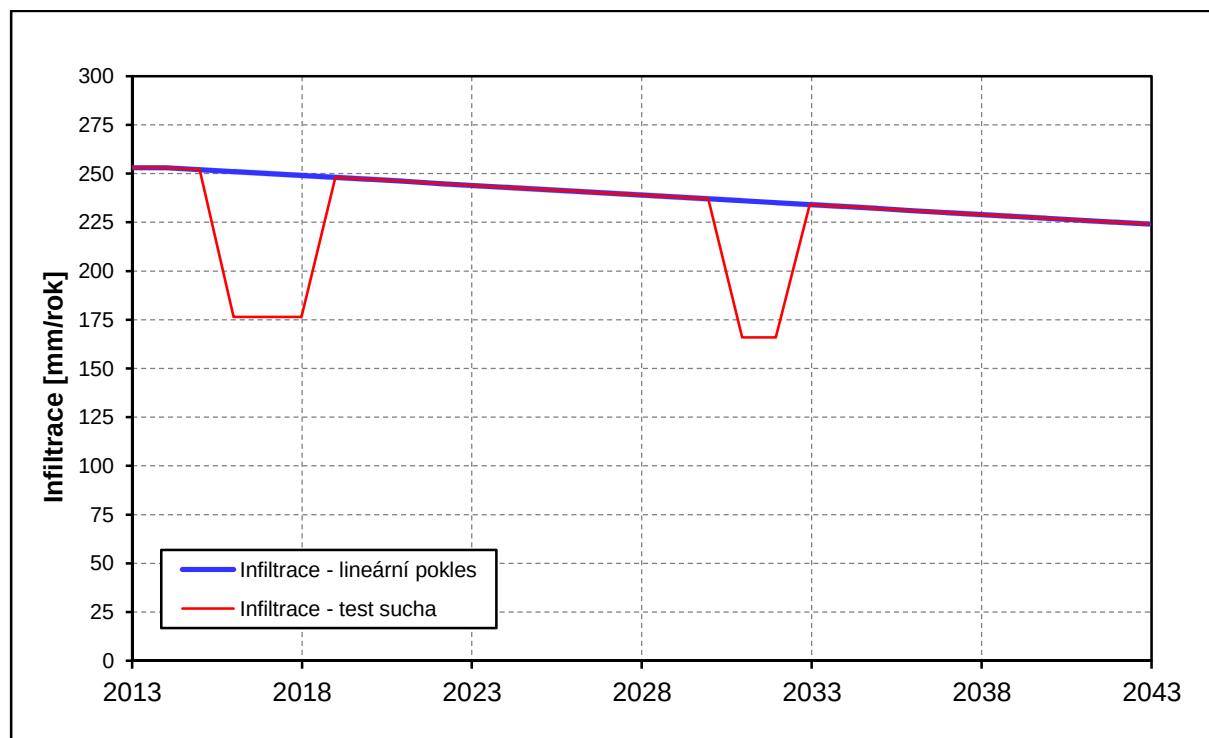
Obr. 52: Časové porovnání modelových hladin podzemní vody s čerpáním (scénář V2S0-1) a bez čerpání podzemní vody (scénář V2S0-2) – vybrané vrty s kontinuálním sledováním
 Pozn.: Zkratka „CERP“ v legendě značí scénáře s uvažovaným čerpáním podzemní vody.

4.10. Predikce vývoje hladin podzemní vody

Nakalibrovaný hydraulický model byl použit pro predikci vývoje hladin podzemních vod. Každý scénář (V2S1-1 až V2S3-6) byl charakterizován odběry podzemních vod (**Tab. 9**) a infiltrací (**Obr. 53**). Pro každý scénář (V2S1-1 až V2S3-6) byly porovnány modelové hladiny podzemní vody v roce 2043 s výchozím scénářem (V2S1-1) s cílem popisu plošných změn za daného nastavení po uplynutí 30 let (**Tab. 9**). Časové změny hladin podzemní vody pro všechny scénáře byly dále porovnány na kontrolních bodech, které odpovídají důležitým kontinuálně sledovaným vrtům na českém a německém území (**Obr. 54 až Obr. 62**).

V prognózních scénářích jsou uvažovány různé velikosti odběrů podzemní vody. Vycházíme přitom ze znalosti skutečně zaznamenaných odběrů a platných vodoprávních povolení pro jednotlivá jímací území. Data o povolených odběrech německých objektů byla získána od LfULG, data z ČR byla získána od zadavatele z databáze vodoprávní evidence (portál HEIS VÚV) a od SČVK, a.s., které provozují jímací objekty ve Hřensku.

Dále je v prognózních scénářích uvažována různá infiltrace. Scénáře označené jako S1 předpokládají konstantní infiltraci po celou dobu prognózy odpovídající průměrné odvozené infiltraci (253 mm/rok). Scénáře označené S2 a S3 předpokládají postupný pokles infiltrace o 1 mm/rok vlivem působení klimatické změny (zvyšování teploty zvýší podíl evapotranspirace a sníží infiltraci). Scénáře S3 mají navíc za cíl otestovat vliv krátkodobých suchých period (dvou- a tříletých), kdy je infiltrace snížena o 30 %. Uvažovaná křivka vývoje infiltrace ve scénářích S2 a S3 je uvedena na **Obr. 53**.



Obr. 53: Modelová infiltrace pro predikce

Pozn. Odhad změny infiltrace pro budoucí období byl získán na základě výstupů projektu TA02020320 "Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu" financovaného Technologickou agenturou ČR (Martínková, 2014).

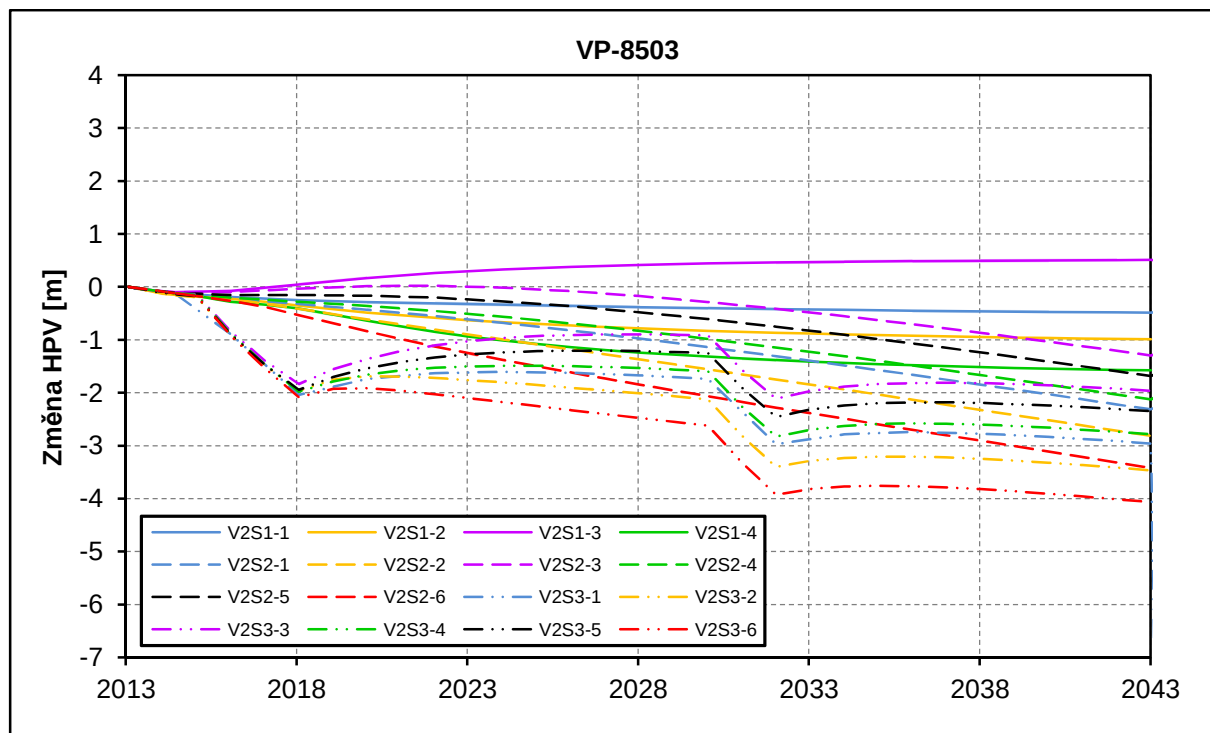
Tab. 9: Scénáře V2S0-1 až V2S3-6

Varianta a scénář	Odběry a čerpání podzemních vod [l/s]			Průměrná roční infiltrace [mm/rok]	Popis výsledků, hlavní změna vůči výchozímu stavu	Grafy kolísání hladin	Mapa snížení v kolektorech 2 a 3
	Charakteristika	ČR	SRN				
V2 S0-1	Skutečné, časová řada ročních průměrů do roku 2012	<i>Obr. 7</i>	<i>Obr. 7</i>	Modelově odvozená infiltrace (časově proměnná řada 1965–2012)	Výsledkem je nakalibrovaný model, který reflektuje kolísání hladin podzemní vody v minulosti.	<i>Obr. 30 až Obr. 35</i>	<i>Obr. 50 a Obr. 51</i>
V2 S0-2	Nulové	15	0		Scénář bez zadaných odběrů v nakalibrovaném modelu. Slouží pro stanovení vlivu čerpání na kolísání hladin podzemních vod. Pokud odběry v modelu nejsou uvažovány, hladiny podzemní vody se pohybují zhruba o 2,2 m výše, což představuje zhruba 50% velikost zaznamenaných poklesů podzemní vody.	<i>Obr. 52</i>	
V2 S1-1 (výchozí scénář)	Skutečné (v roce 2012, konstantní do 2043)	74,30	38,7	Konstantní hodnota 253 mm/rok pro období 2013–2043	Výchozí stav se současnými odběry podzemních vod, který lze v podstatě považovat za ustálený, protože nedochází k významným nárůstům či poklesům modelových hladin podzemní vody. Slouží k porovnání s ostatními scénáři.	<i>Obr. 54 až Obr. 62, Obr. 93 a Obr. 99</i>	–
V2 S1-2	Současné platné povolené množství (roční průměr)	103	70		Dochází k až 1–2 m poklesu hladin podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech. V roce 2043 je stav ustálen.		<i>Obr. 63 a Obr. 64</i>
V2 S1-3	Nulové	15	0		Dochází k až 0,5–3,5 m nárůstu hladin podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech. V roce 2043 je stav ustálen.		<i>Obr. 65 a Obr. 66</i>
V2 S1-4	Maximální zaznamenané (konstantní do 2043)	139,18	61		Dochází k až 0,6–4 m poklesu hladin podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech. V roce 2043 je stav ustálen.		<i>Obr. 67 a Obr. 68</i>
V2 S1-5	Snížené na 85 % ze skutečných v roce 2012 – pro stanovení využitelných zdrojů	63,15	32,89		Dochází k mírnému nárůstu hladin (do 1 m) podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech. V roce 2043 je stav ustálen.	<i>Obr. 93 a Obr. 99</i>	–
V2 S1-6	Zvýšené na 115 % ze skutečných v roce 2012 – pro stanovení využitelných zdrojů	85,45	44,49		Dochází k mírnému poklesu hladin (do 1 m) podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech. V roce 2043 je stav ustálen.		–
V2 S1-7	Snížené na 85 % maximálních zaznamenaných – pro stanovení využitelných zdrojů	118,30	51,85		Dochází k až 0,5–3 m poklesu hladin podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech. V roce 2043 je stav ustálen.		–
V2 S1-8	Zvýšené na 115 % maximálních zaznamenaných v roce 2012 – pro stanovení využitelných zdrojů	160,06	70,15		Dochází k až 5 m poklesu hladin podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech. V roce 2043 je stav ustálen.		–
V2 S2-1	Skutečné (v roce 2012, konstantní do 2043)	74,30	38,7	Lineární pokles z 253 na 224	V případě, že dojde během následujících 30 let k lineárnímu poklesu o 29 mm/rok, hladiny	–	<i>Obr. 69 a Obr. 70</i>

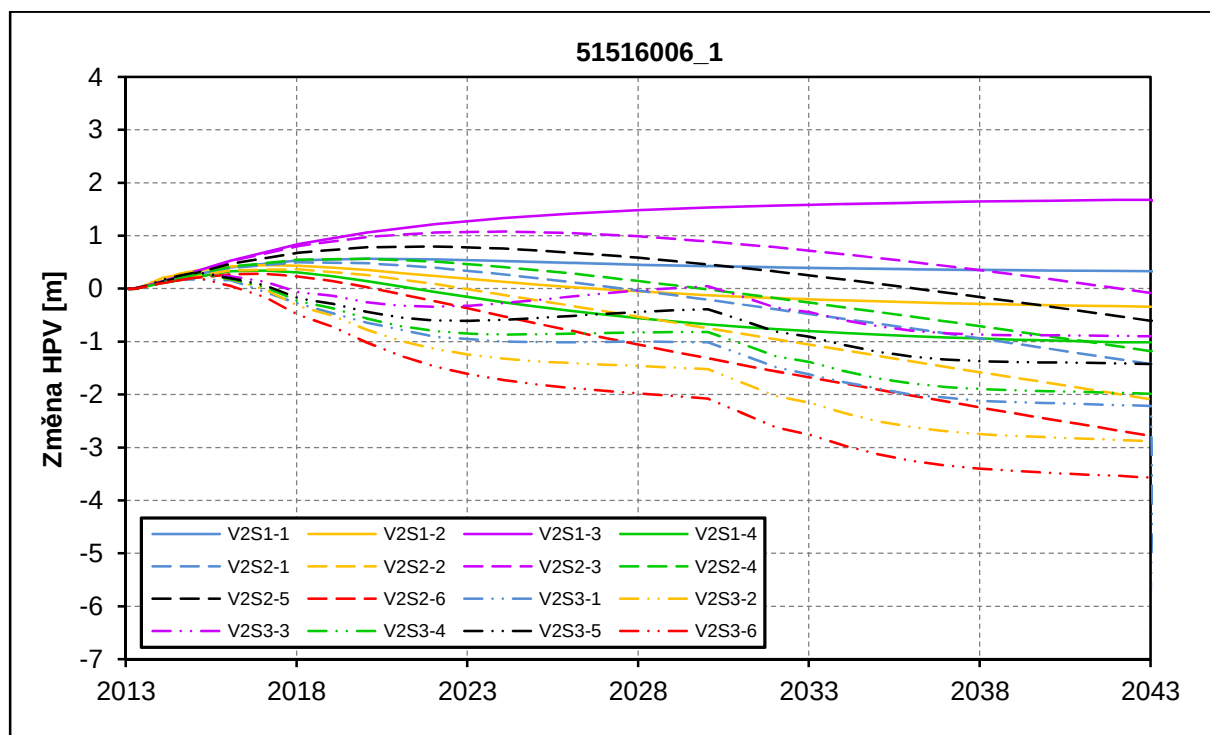
Varianta a scénář	Odběry a čerpání podzemních vod [l/s]			Průměrná roční infiltrace [mm/rok]	Popis výsledků, hlavní změna vůči výchozímu stavu	Grafy kolísání hladin	Mapa snížení v kolektorech 2 a 3
	Charakteristika	ČR	SRN				
				během následujících 30 let	podzemní vody se sníží o 0,8 až 2,5 m v kolektoru 2. V kolektoru 3 budou maximální poklesy nižší – 1,3 m. K největším k poklesům dojde v infiltračních oblastech a na rozvodnici. V drenážních oblastech budou poklesy nejmenší.		
V2 S2-2	Současné platné povolené množství (roční průměr v roce 2014, konstantní do 2043)	103	70		Čerpání podle povoleného množství způsobí pokles hladin podzemních vod až o 3,5 m v kolektorech 2 i 3. V německé části hladina podzemní vody může zaklesnout až o 6–9 m díky téměř dvojnásobnému modelovému čerpání.		Obr. 71 a Obr. 72
V2 S2-3	Nulové	15	0		Scénář bez odběrů podzemních vod ukazuje strmý až 6 m nárůst hladin podzemních vod v kolektoru 3 mezi jímacími územími a zhruba 1 m nárůst v kolektoru 2 (lokálně až 3 m). Do 20–25 let simulace budou hladiny podzemní vody na dlouhodobě sledovaných vrtech díky snižující se infiltraci na úrovni výchozího stavu.		Obr. 73 a Obr. 74
V2 S2-4	Snížené na 85 % ze skutečných v roce 2012	63,15	32,89		15% snížení odběrů podzemní vody způsobí krátkodobý nárůst podzemní vody. Po 10 letech simulace však převáží pokles infiltrace a hladiny podzemní vody jsou níže než u výchozího stavu a to zhruba do 1,5 m v kolektoru 2 a 1–2 m v kolektoru 3.		Obr. 75 a Obr. 76
V2 S2-5	Snížené na 50 % ze skutečných v roce 2012	37,15	19,34		Hladiny podzemní vody se zvyšují v okolí a mezi jímacími územími. Po 10–20 letech simulace klesají hladiny podzemní vody pod úroveň výchozího stavu ve všech oblastech mimo jímací území.		Obr. 77 a Obr. 78
V2 S2-6	Maximální zaznamenané	139,18	61		Historicky maximální odběry podzemní vody způsobí pokles hladin podzemní vody až o 3,3 m v kolektoru 2 a až o 10 m v kolektoru 3 oproti výchozímu stavu.		Obr. 79 a Obr. 80
V2 S3-1	Skutečné (v roce 2012, konstantní do 2043)	74,30	38,7	Test sucha – infiltrace specifikována podle Obr. 53	Hladiny se po 30 letech simulace nacházejí zhruba o 0,6 až 1,2 m níž než u obdobného scénáře s lineárním poklesem infiltrace (V2 S2-1).	–	Obr. 81 a Obr. 82
V2 S3-2	Současné platné povolené množství (roční průměr)	103	70		Hladiny se po 30 letech simulace nacházejí zhruba o 0,6 až 1,2 m níže než u obdobného scénáře s lineárním poklesem infiltrace (V2 S2-2).		Obr. 83 a Obr. 84
V2 S3-3	Nulové	15	0		Hladiny se po 30 letech simulace nacházejí zhruba		Obr. 85 a Obr. 86

Varianta a scénář	Odběry a čerpání podzemních vod [l/s]			Průměrná roční infiltrace [mm/rok]	Popis výsledků, hlavní změna vůči výchozímu stavu	Grafy kolísání hladin	Mapa snížení v kolektorech 2 a 3
	Charakteristika	ČR	SRN				
					o 0,6 až 1,2 m níže než u obdobného scénáře s lineárním poklesem infiltrace (V2 S2-3).		
V2 S3-4	Snížené na 85 % ze skutečných v roce 2012	63,15	32,89		Hladiny se po 30 letech simulace nacházejí zhruba o 0,6 až 1,2 m níže než u obdobného scénáře s lineárním poklesem infiltrace (V2 S2-4).		<i>Obr. 87 a Obr. 88</i>
V2 S3-5	Snížené na 50 % ze skutečných v roce 2012	37,15	19,34		Hladiny se po 30 letech simulace nacházejí zhruba o 0,6 až 1,2 m níže než u obdobného scénáře s lineárním poklesem infiltrace (V2 S2-5).		<i>Obr. 89 a Obr. 90</i>
V2 S3-6	Maximální zaznamenané	139,18	61		Hladiny se po 30 letech simulace nacházejí zhruba o 0,6 až 1,2 mm níže než u obdobného scénáře s lineárním poklesem infiltrace (V2 S2-6).		<i>Obr. 91 a Obr. 92</i>

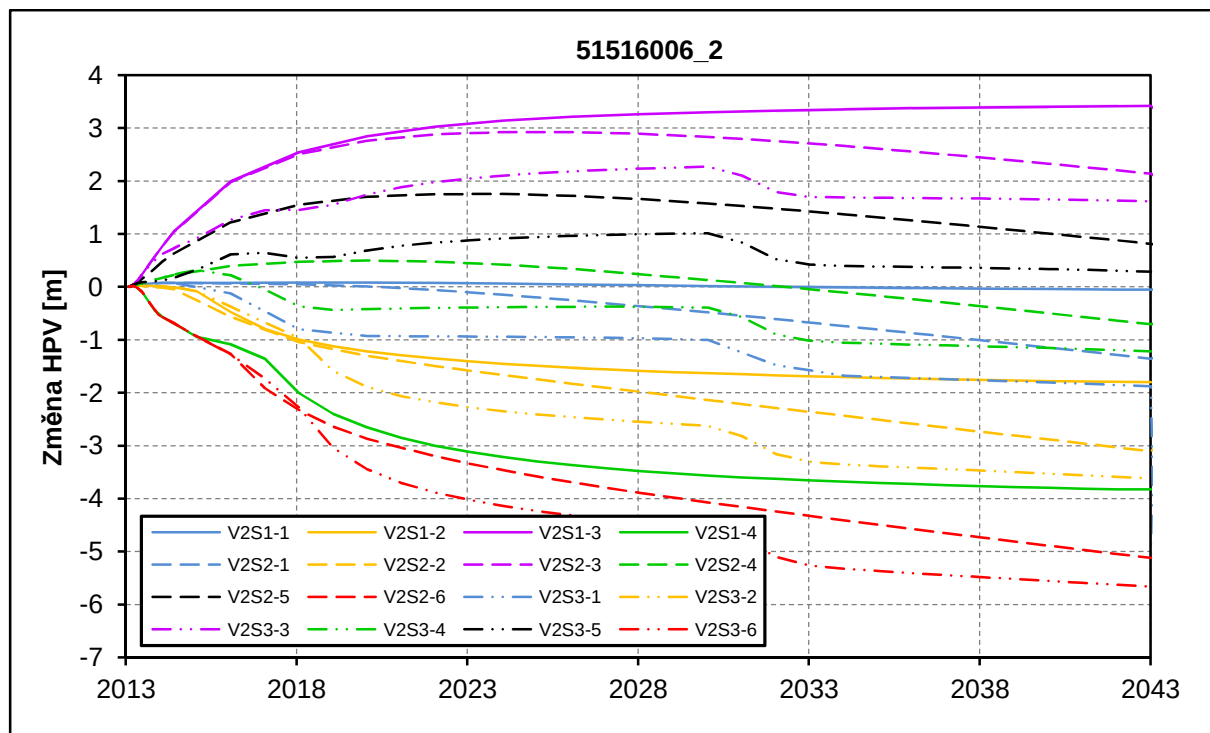




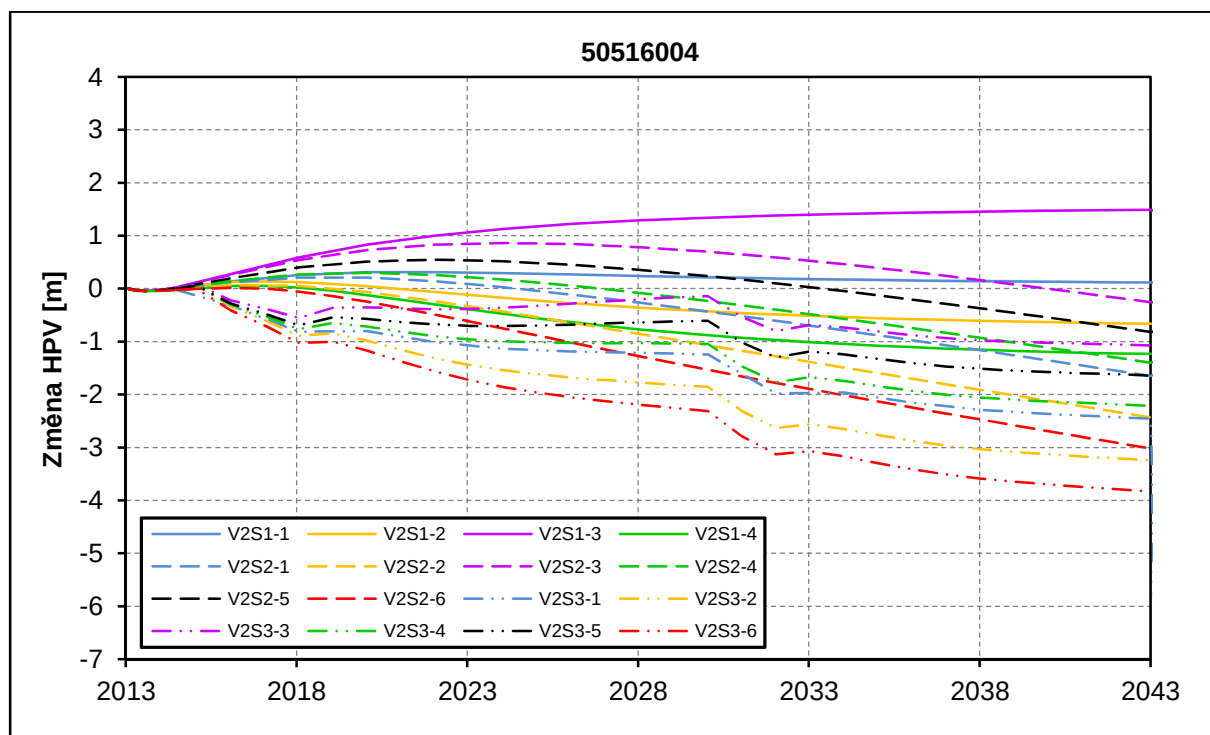
Obr. 54: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu VP-8503



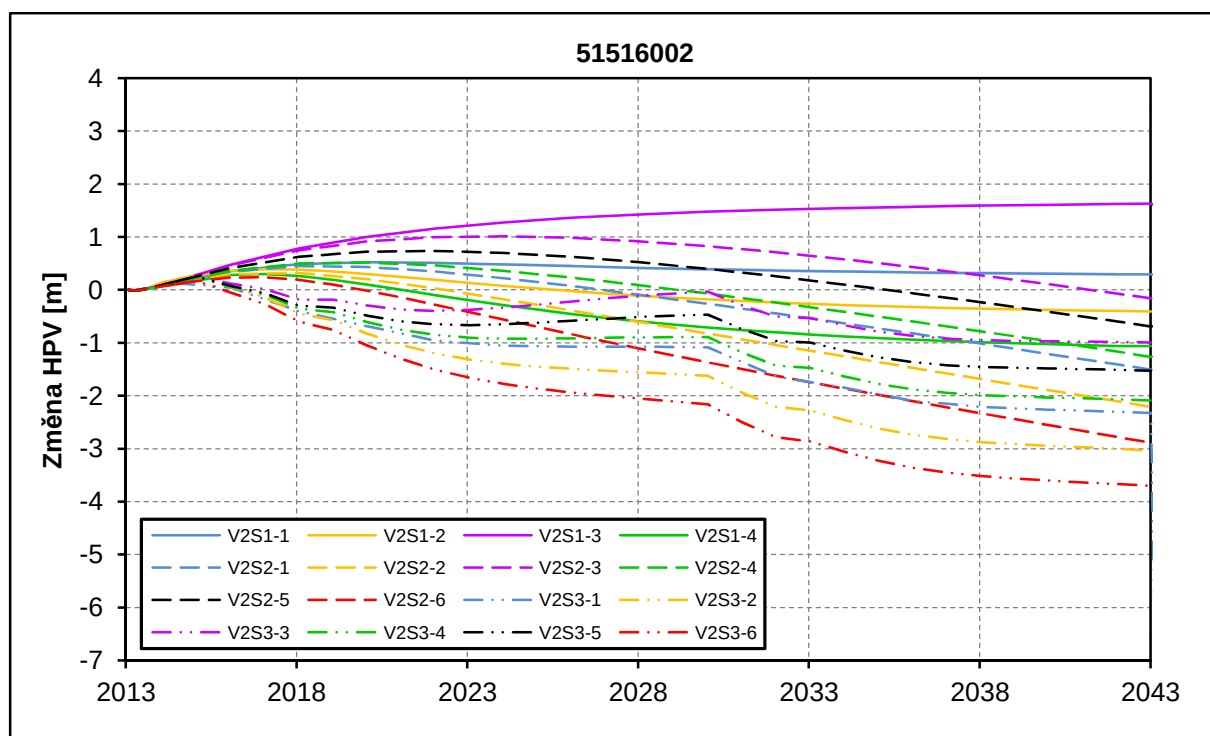
Obr. 55: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 51516006_1



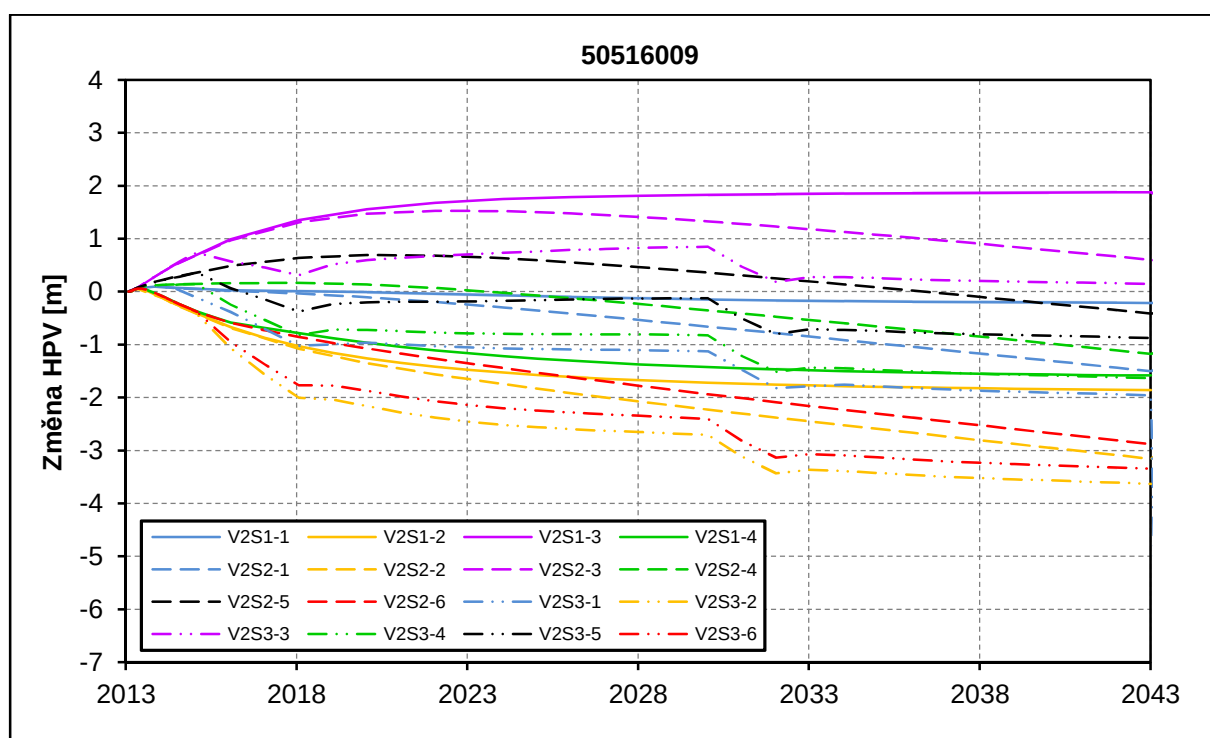
Obr. 56: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 51516006_2



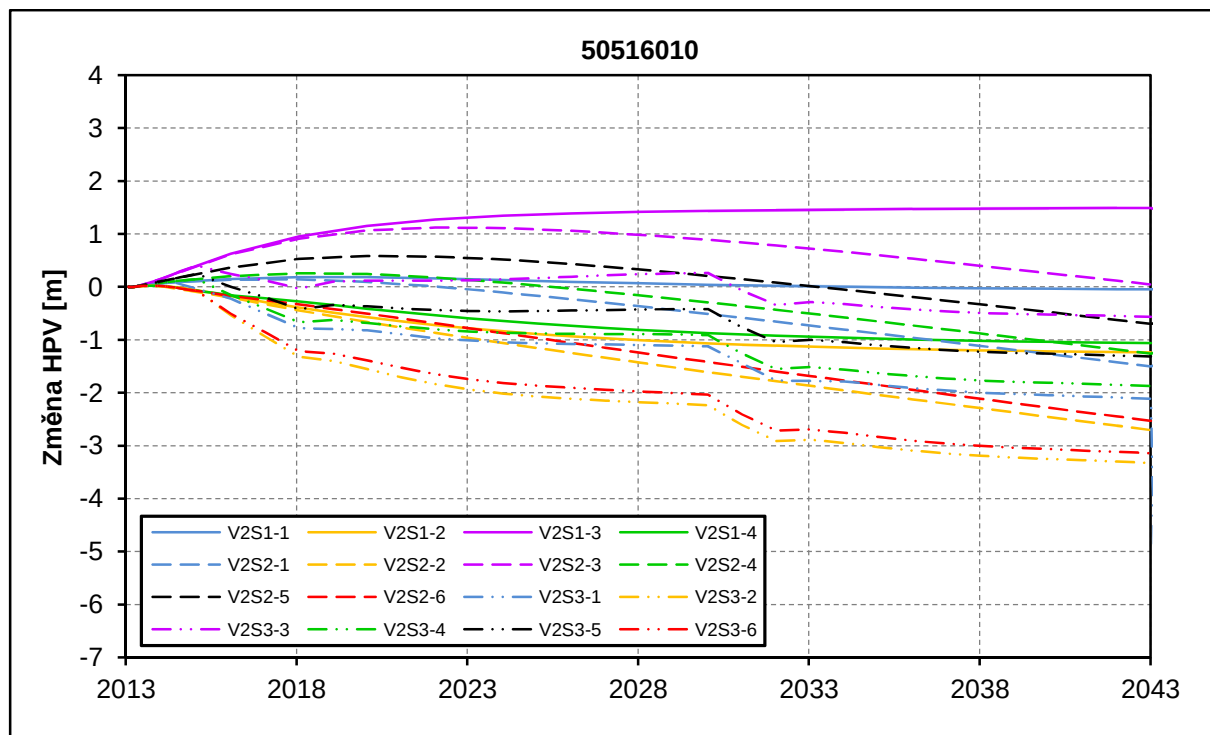
Obr. 57: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516004



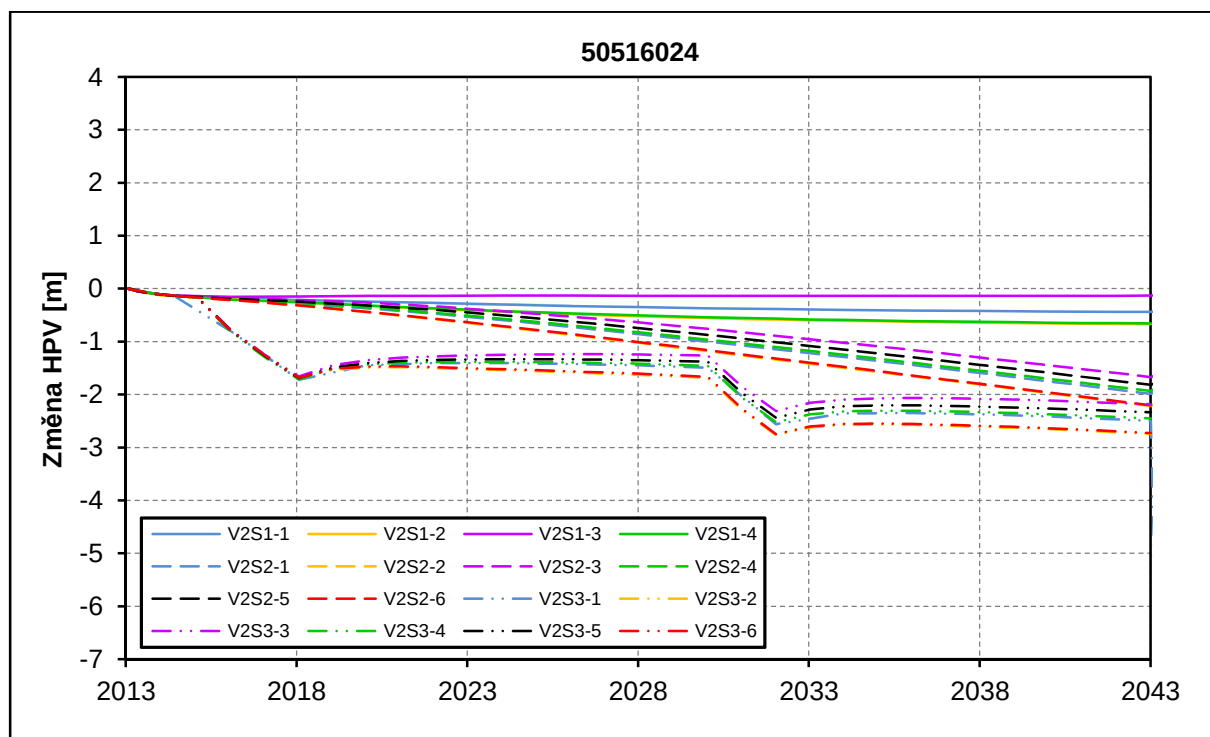
Obr. 58: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 51516002



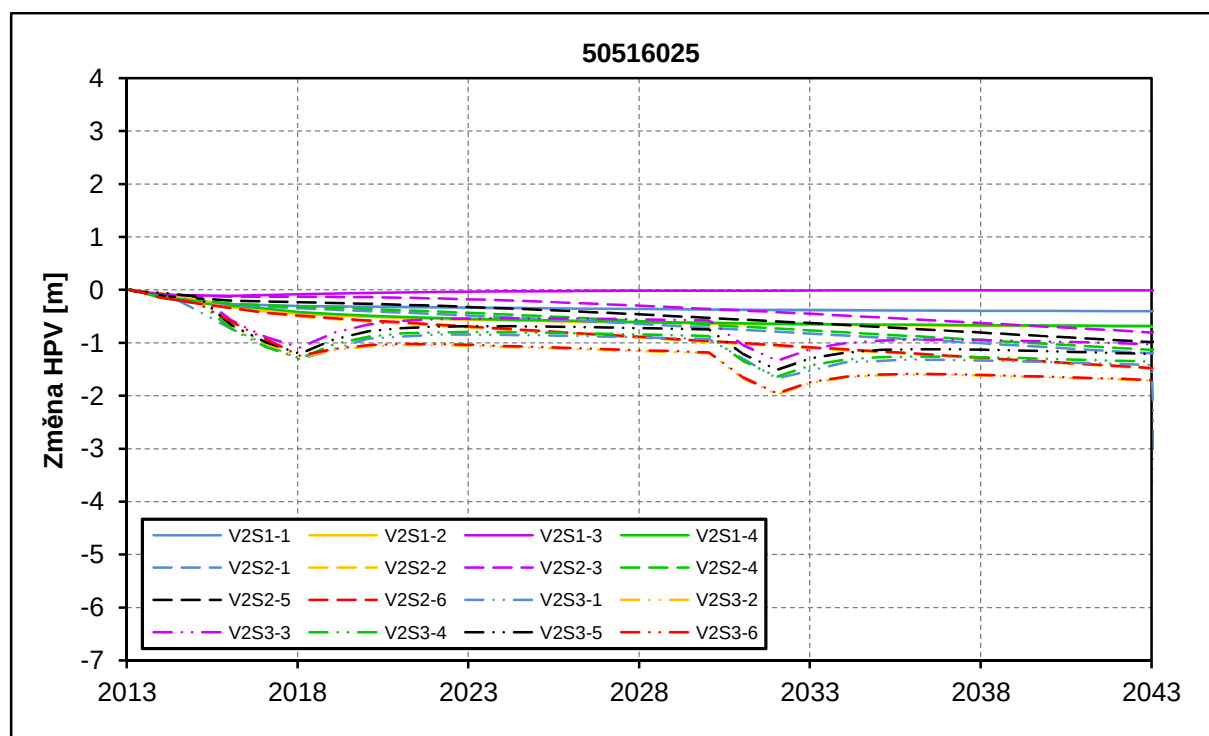
Obr. 59: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516009



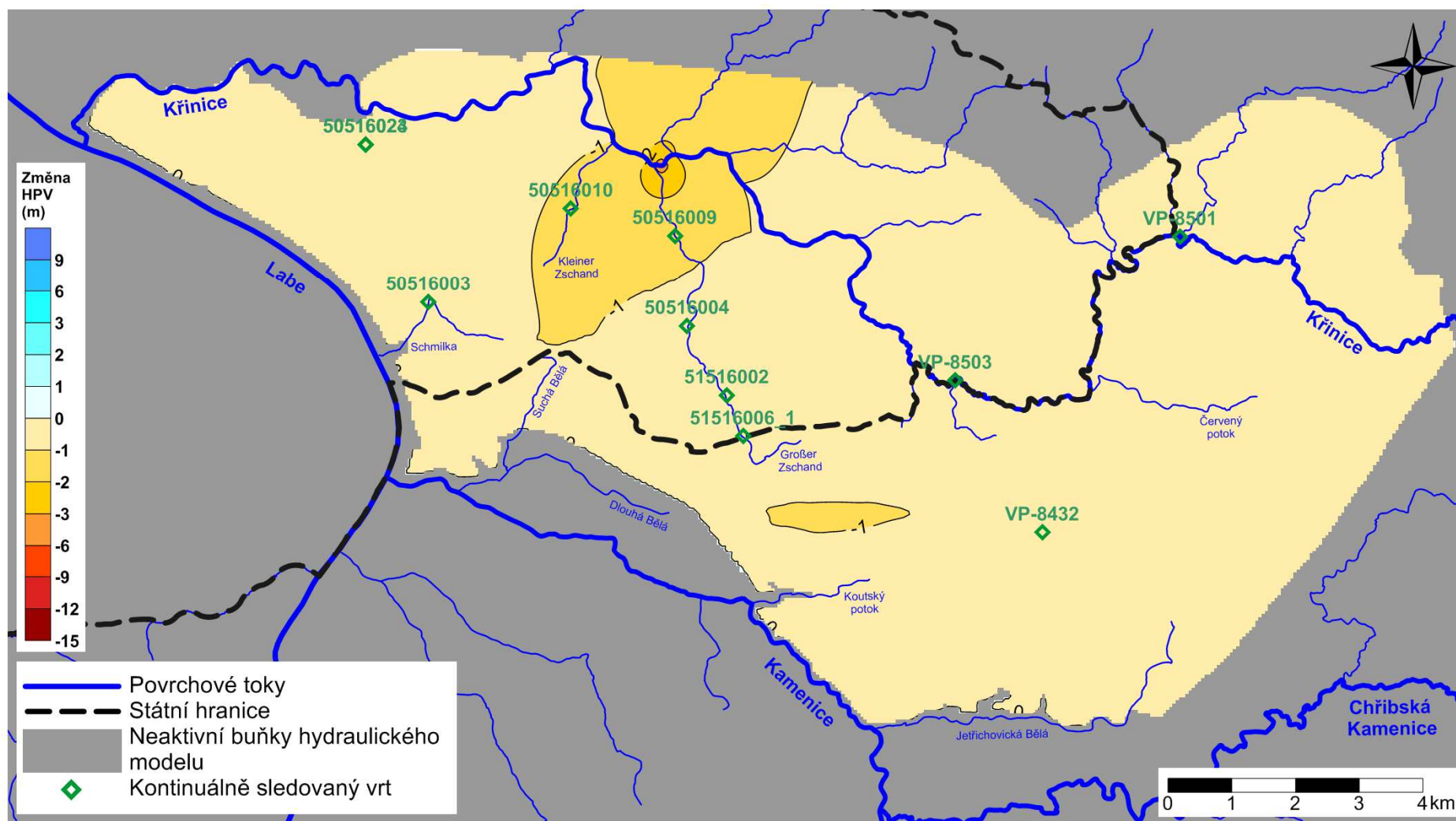
Obr. 60: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516010



Obr. 61: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516024

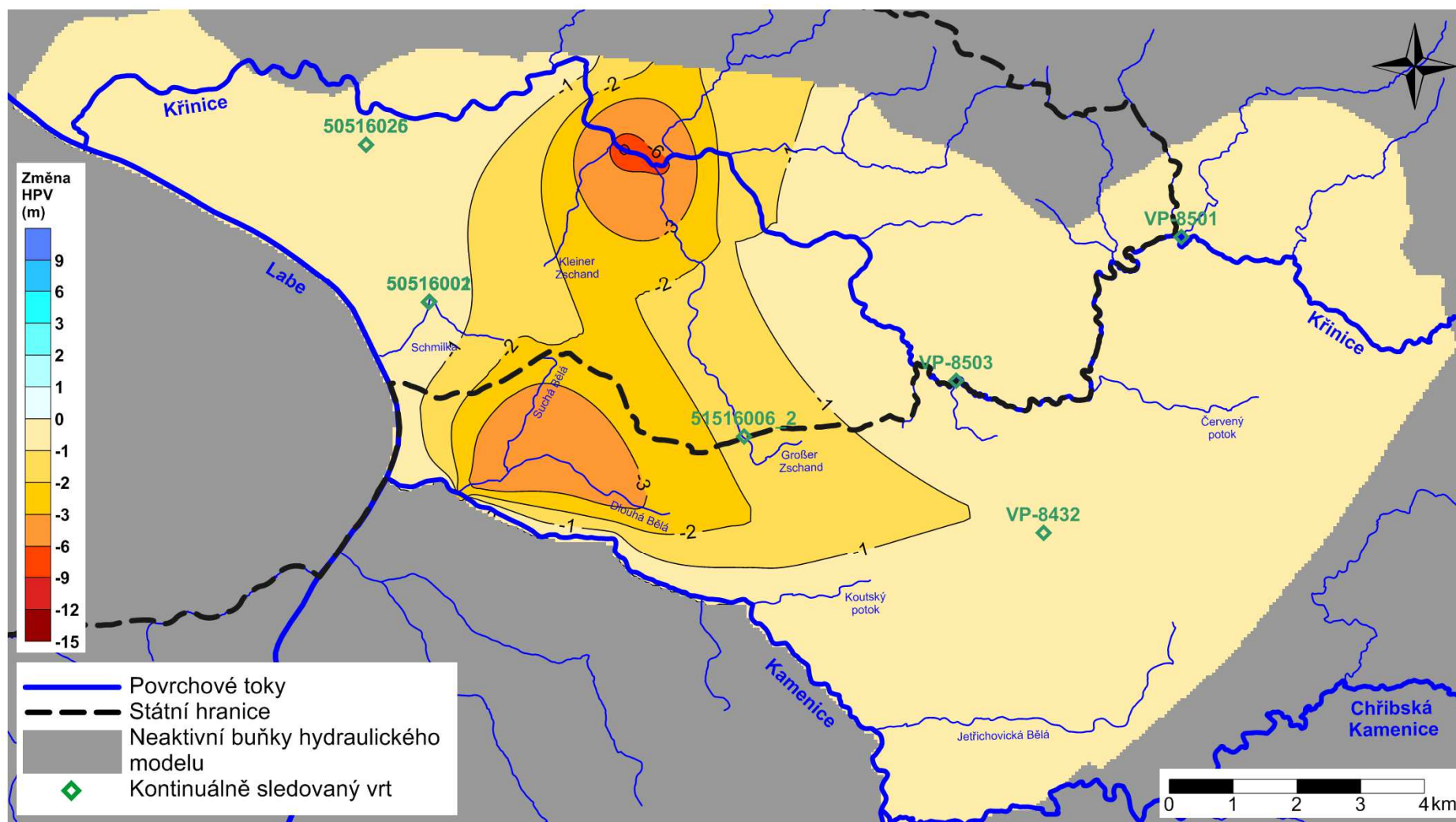


Obr. 62: Porovnání modelových predikcí pro scénáře V2S1-1 až V2S3-6 na vrtu 50516025



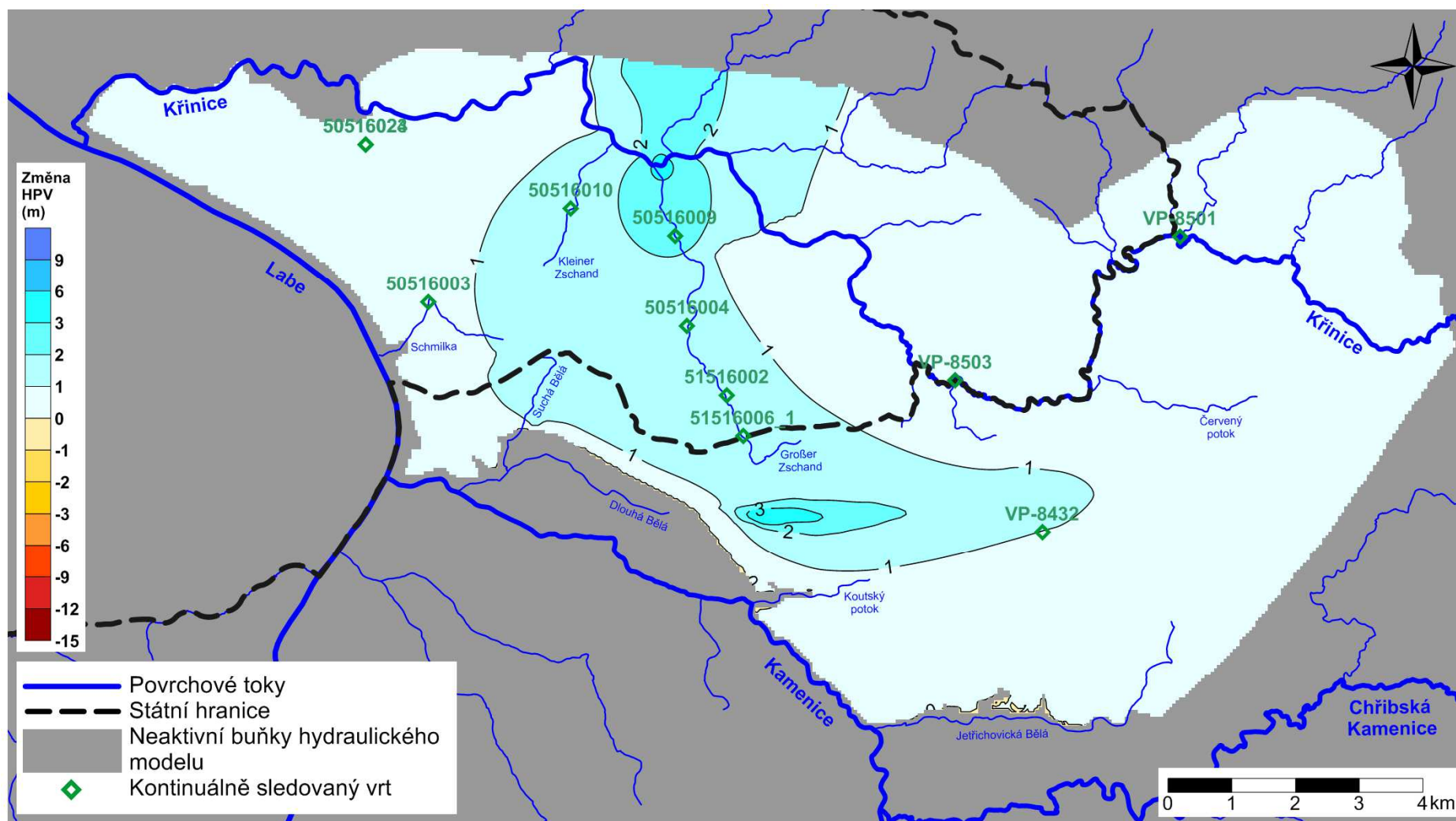
Obr. 63: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-2 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



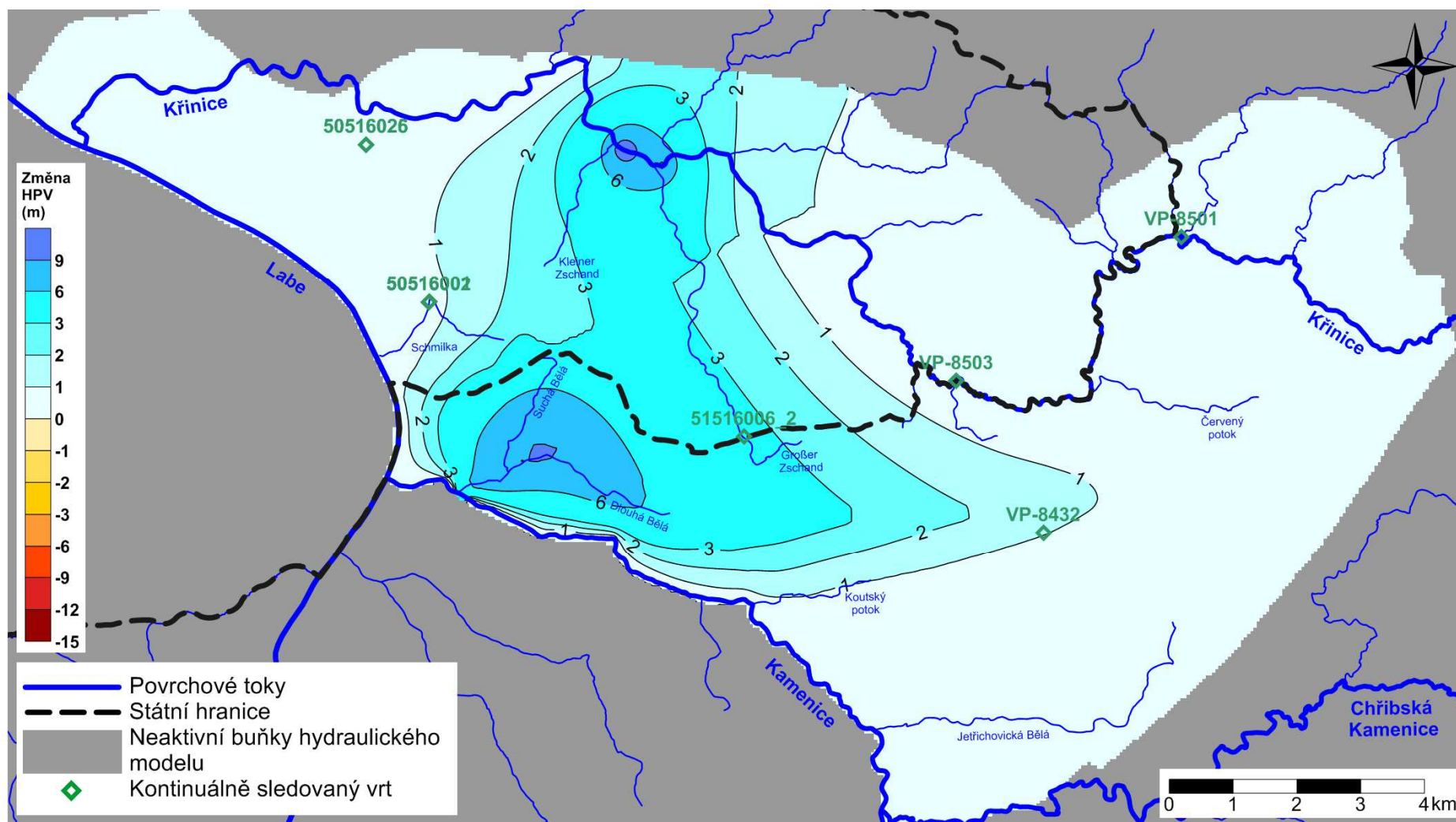
Obr. 64: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-2 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



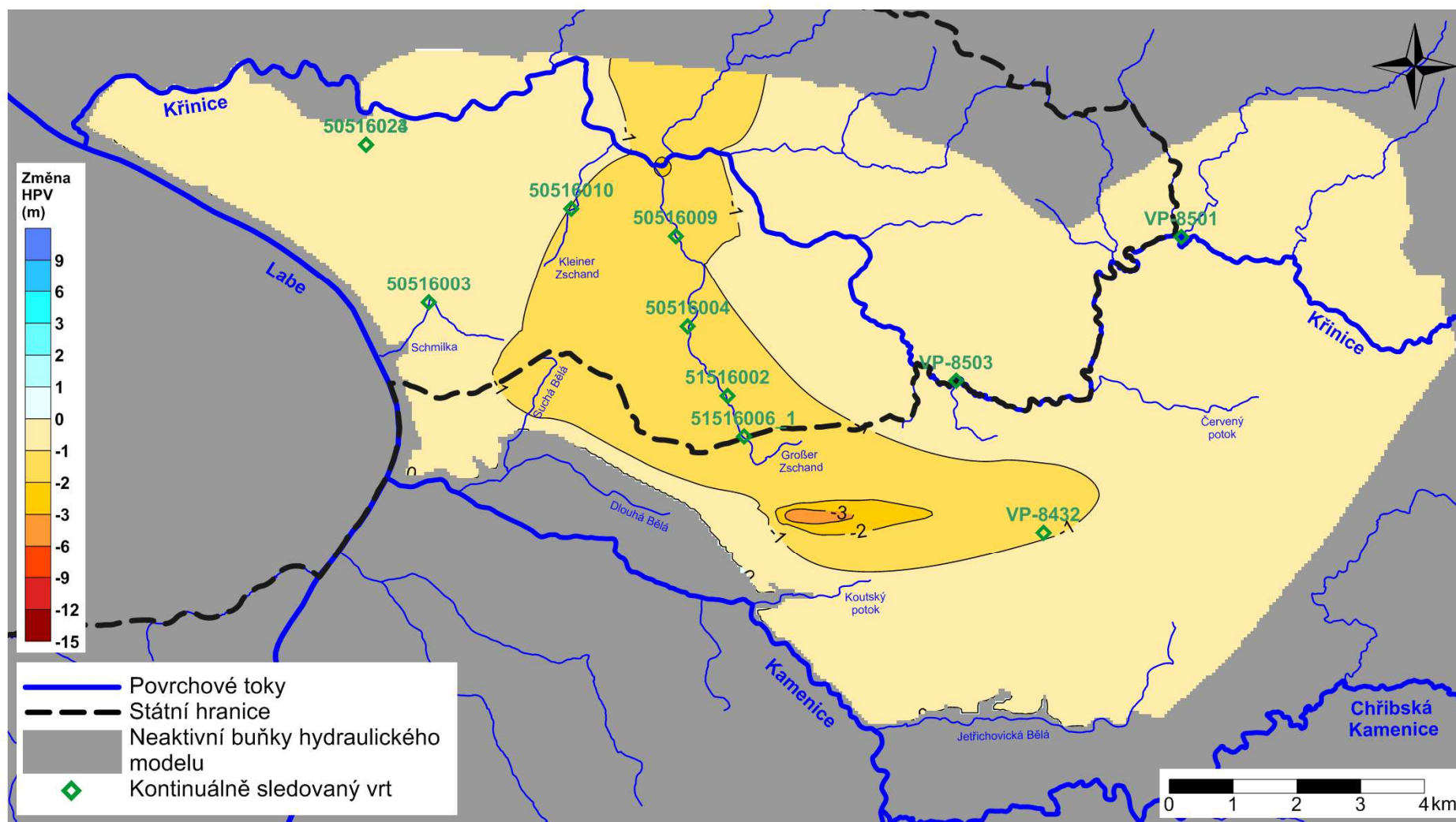
Obr. 65: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-3 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



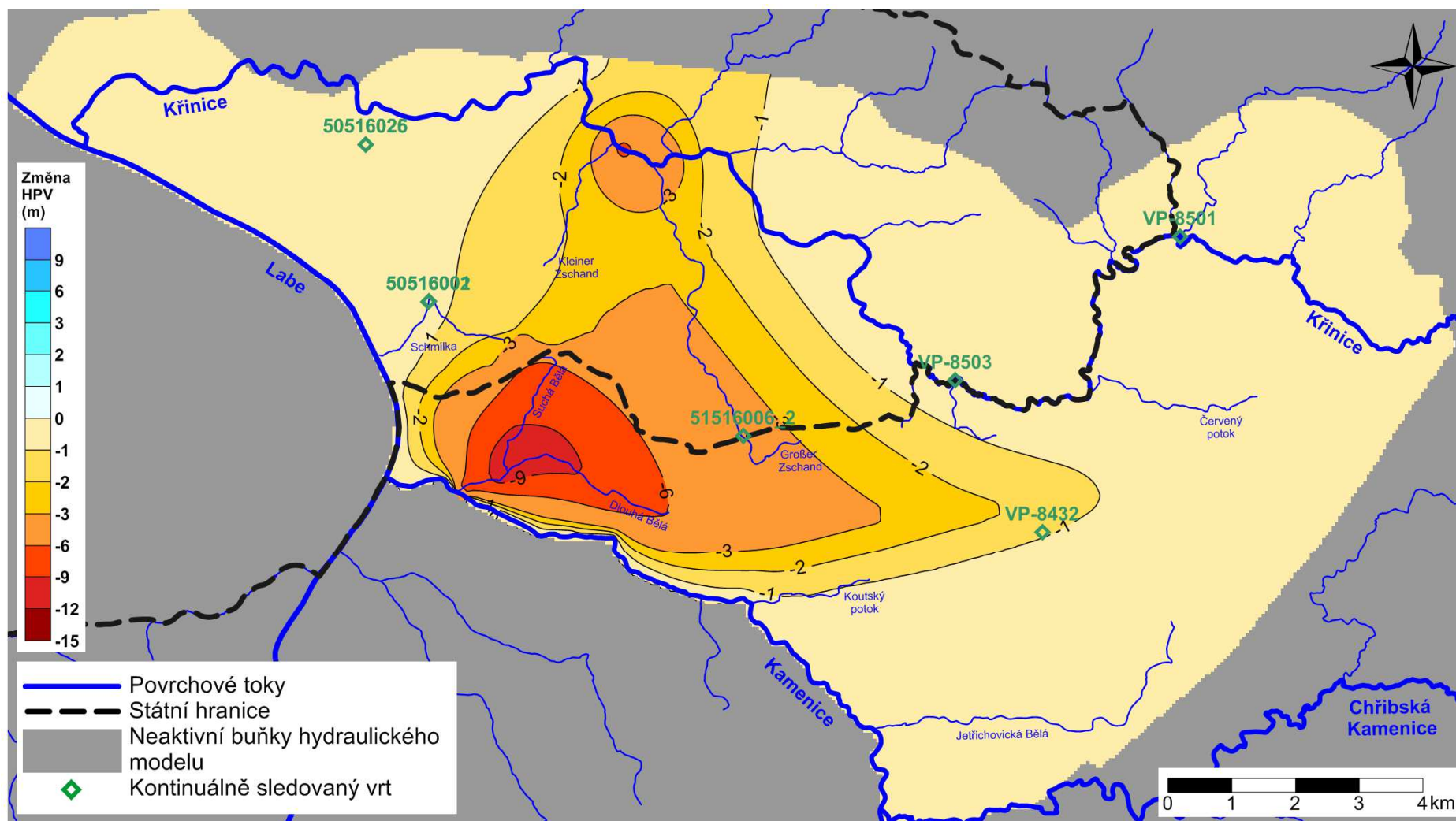
Obr. 66: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-3 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



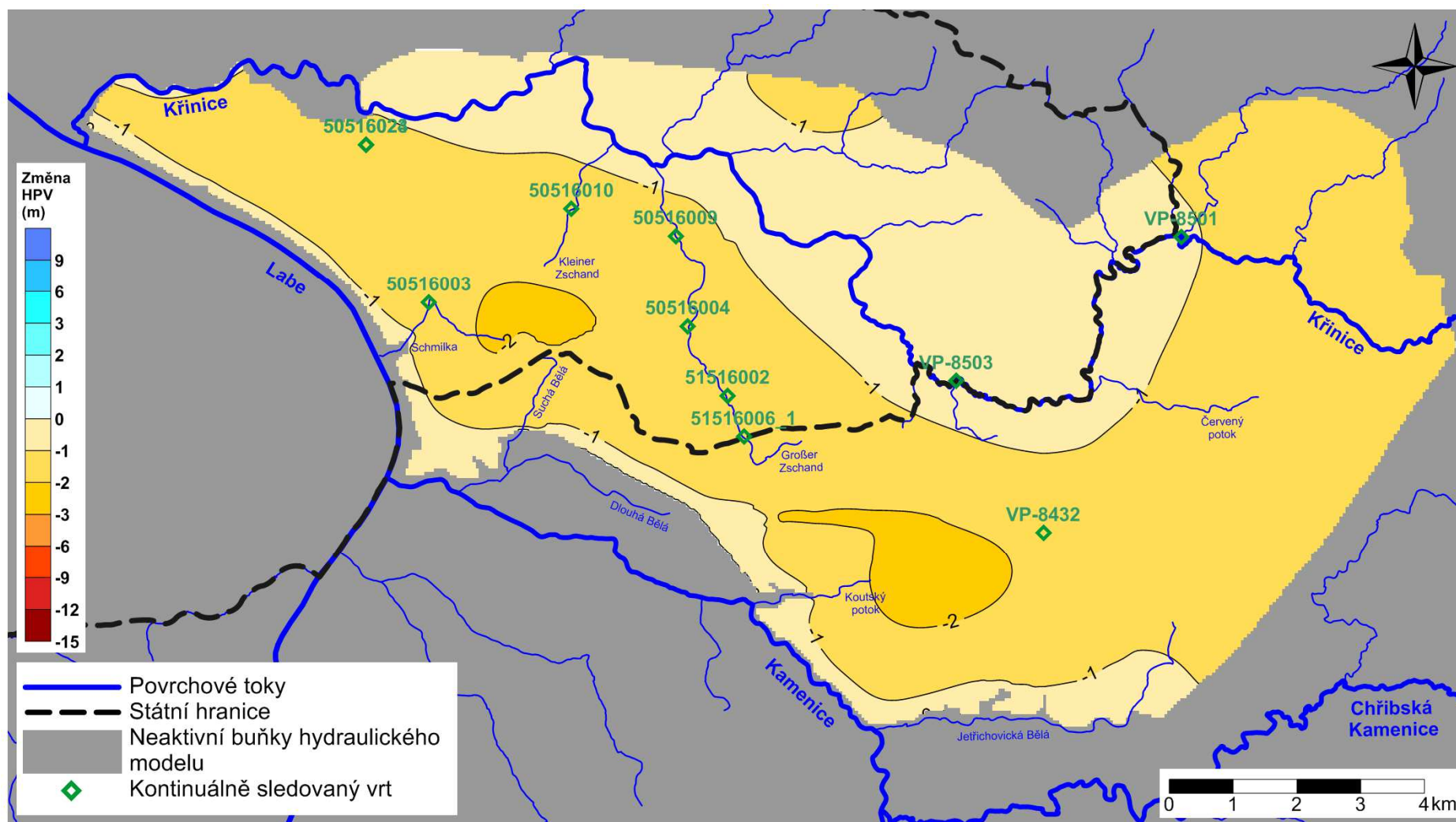
Obr. 67: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-4 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



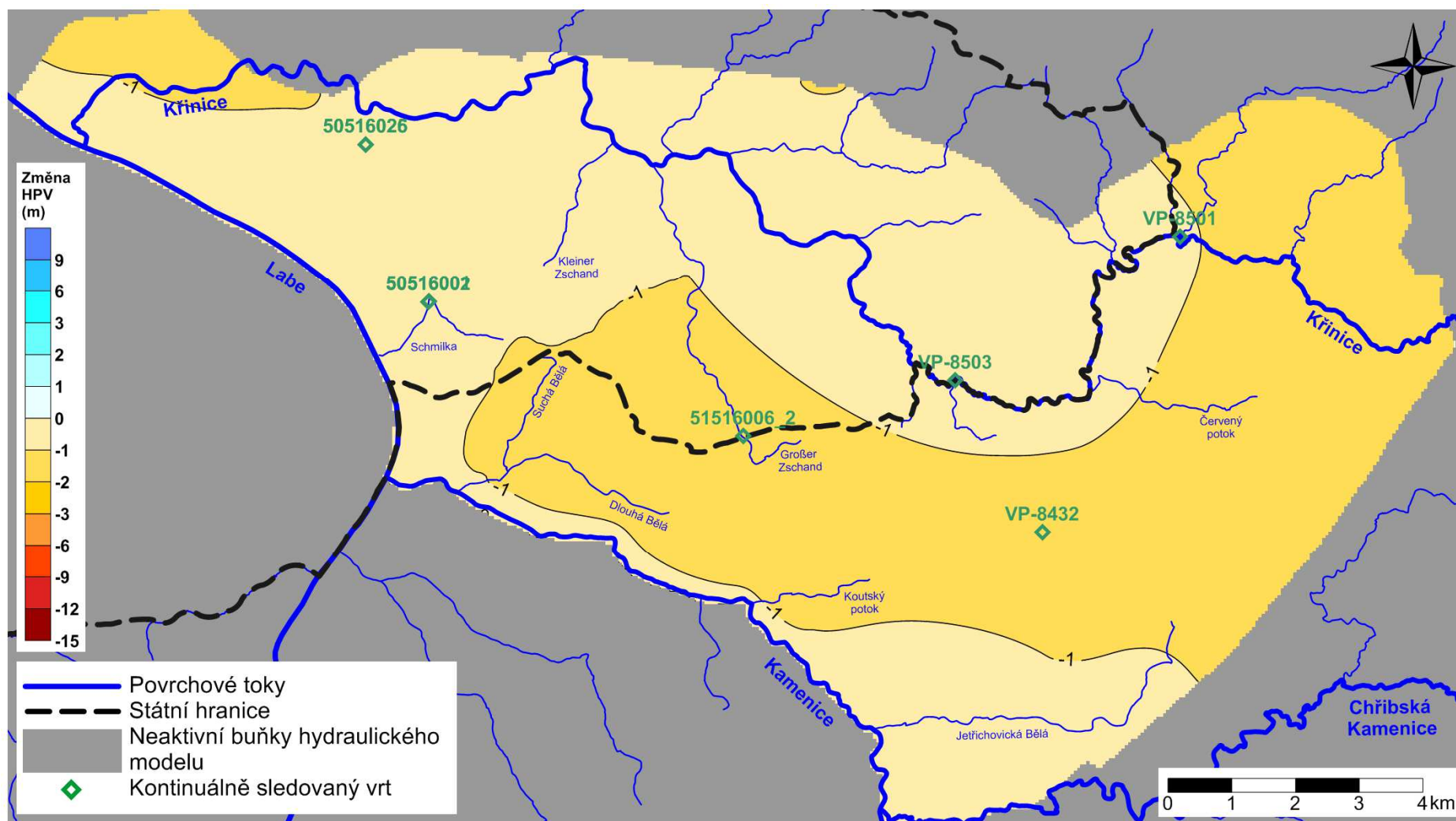
Obr. 68: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S1-4 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



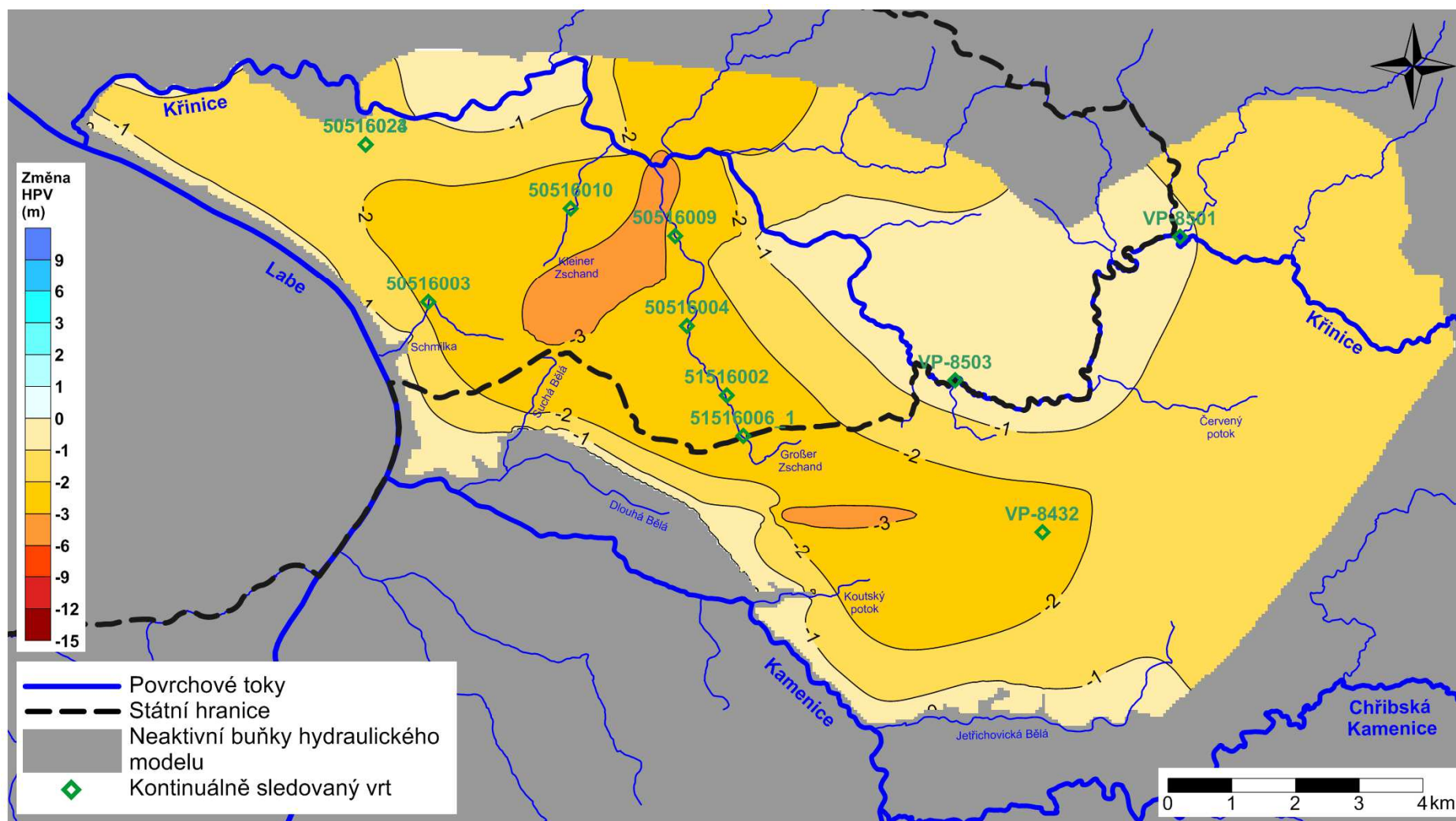
Obr. 69: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-1 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



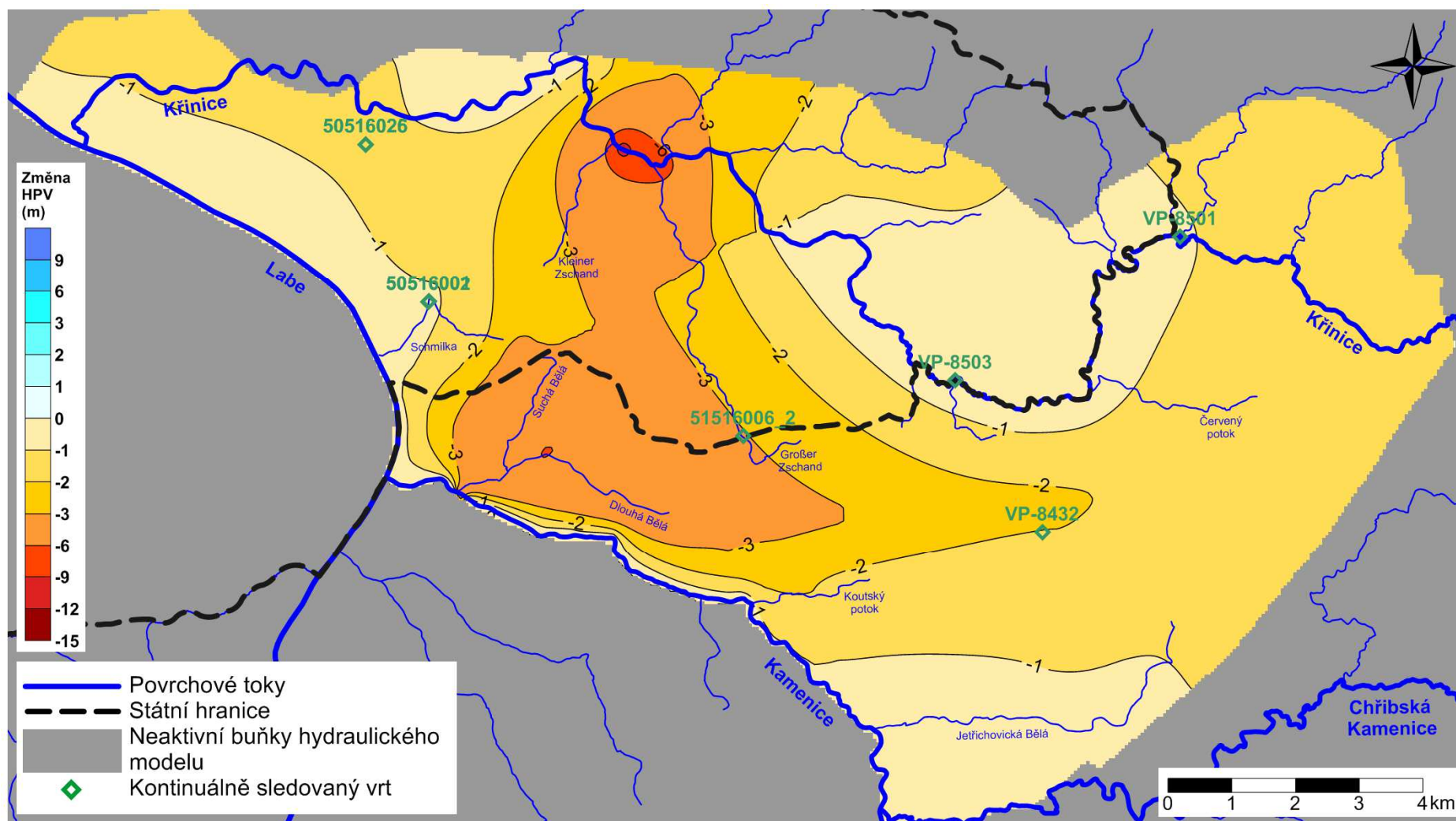
Obr. 70: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-1 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



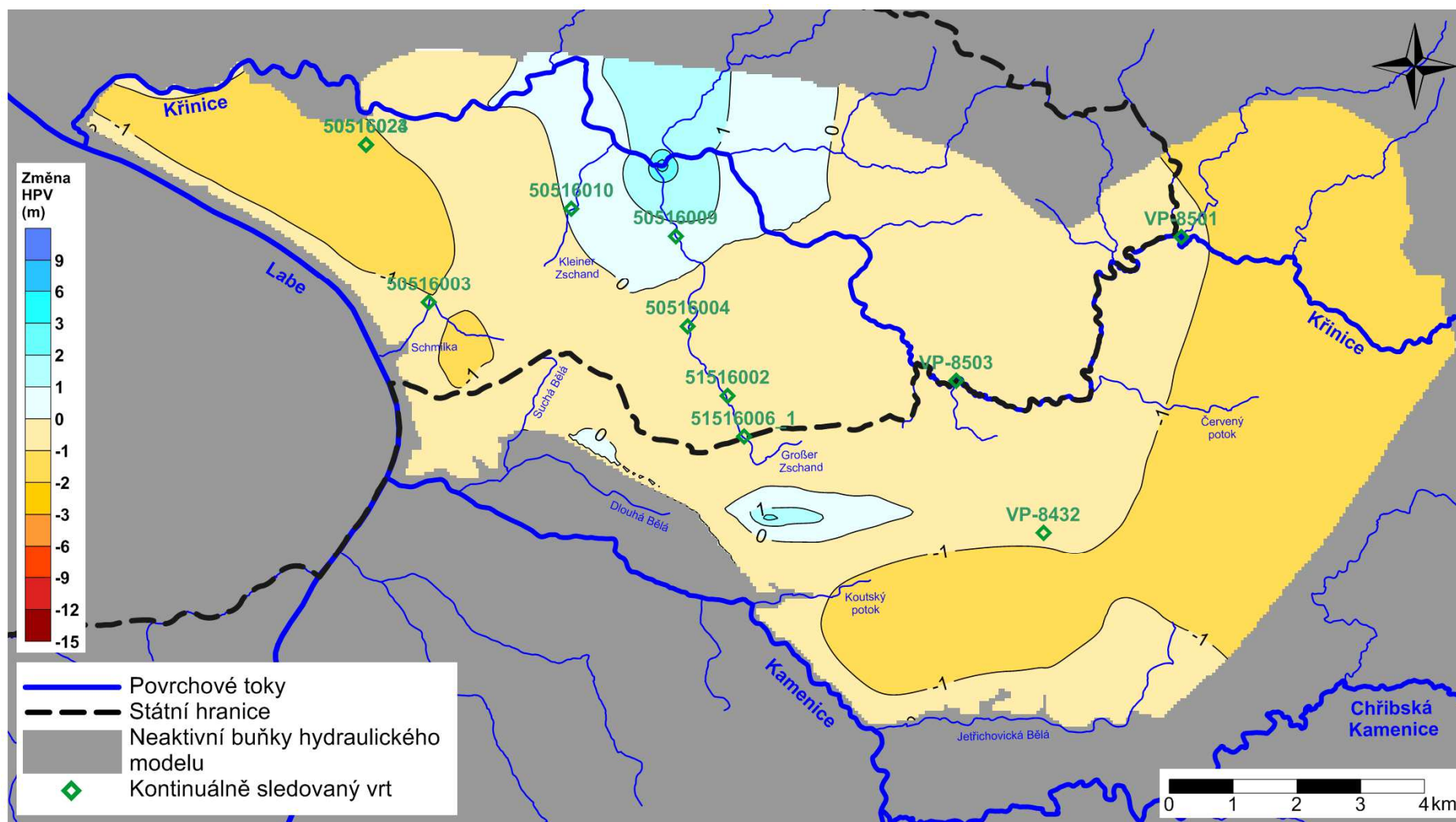
Obr. 71: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-2 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



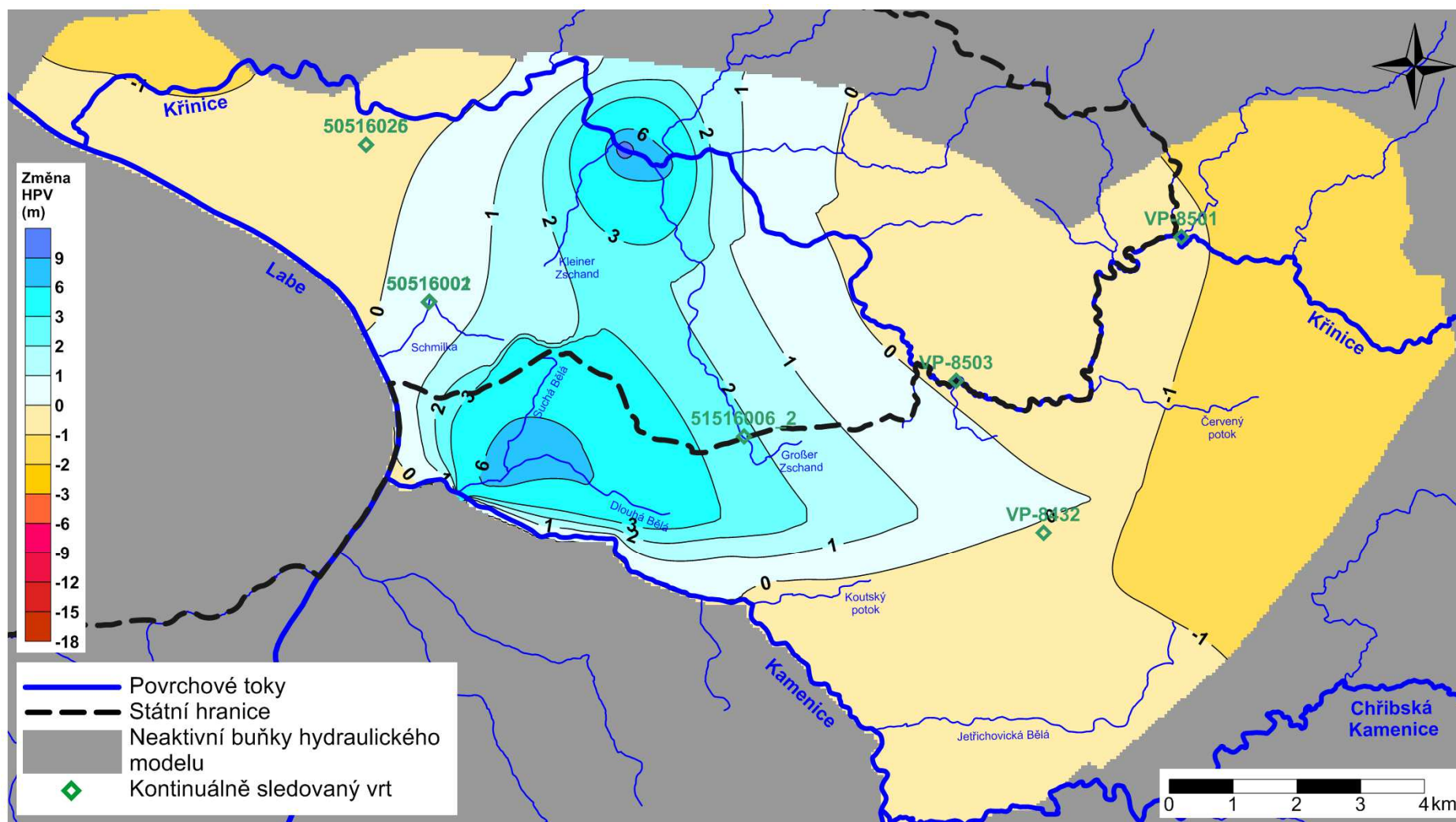
Obr. 72: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-2 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



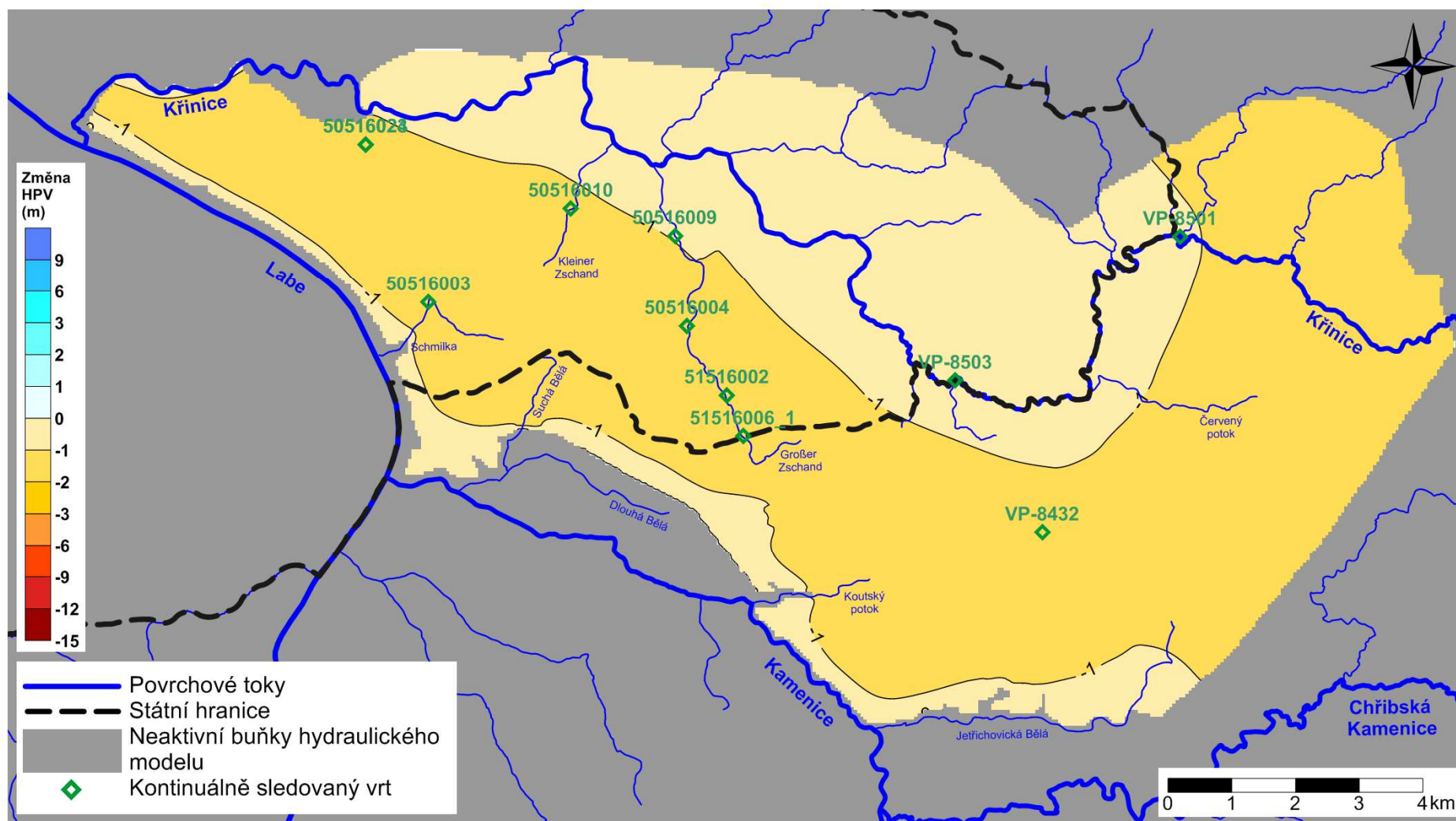
Obr. 73: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-3 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



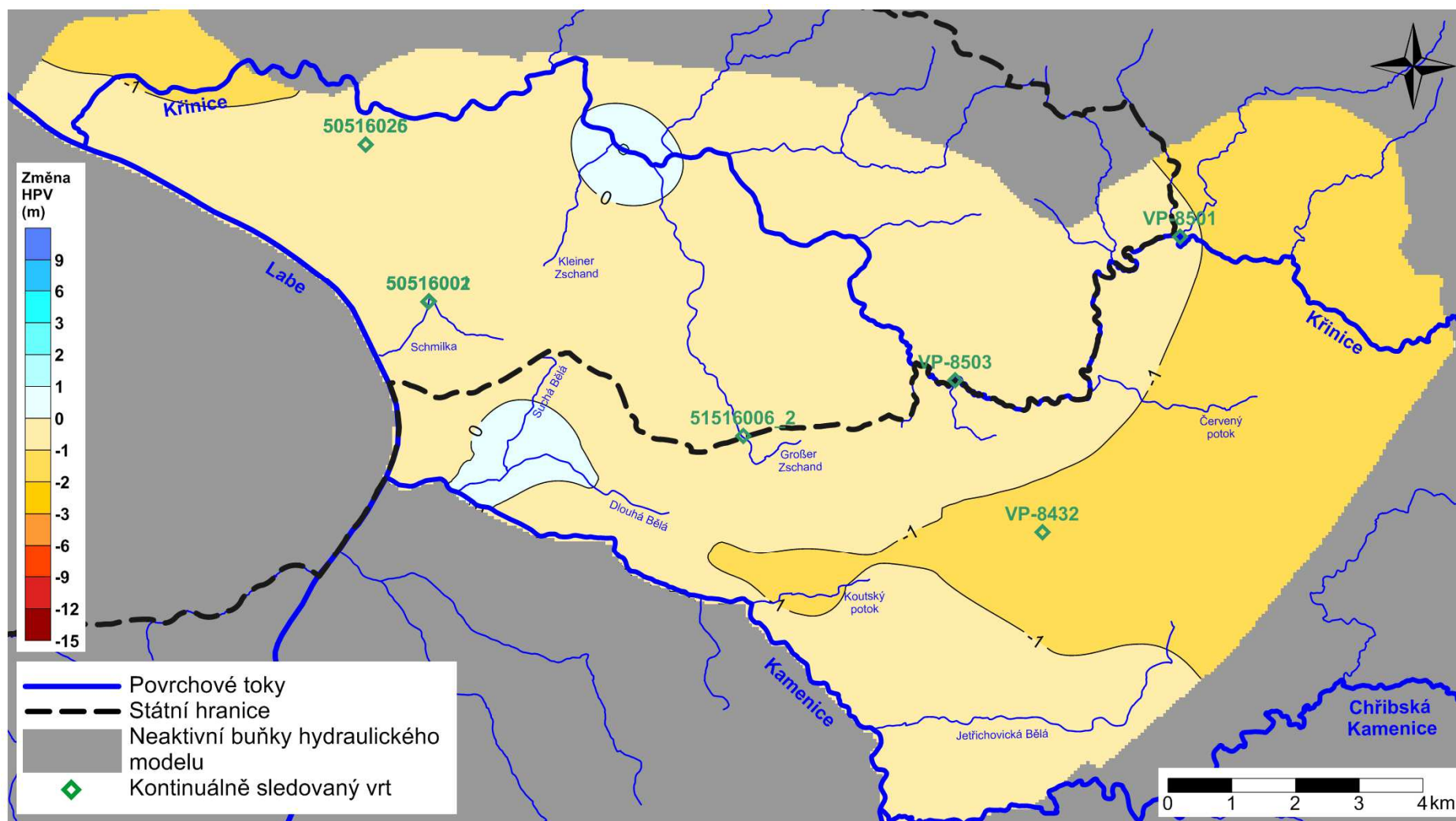
Obr. 74: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-3 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



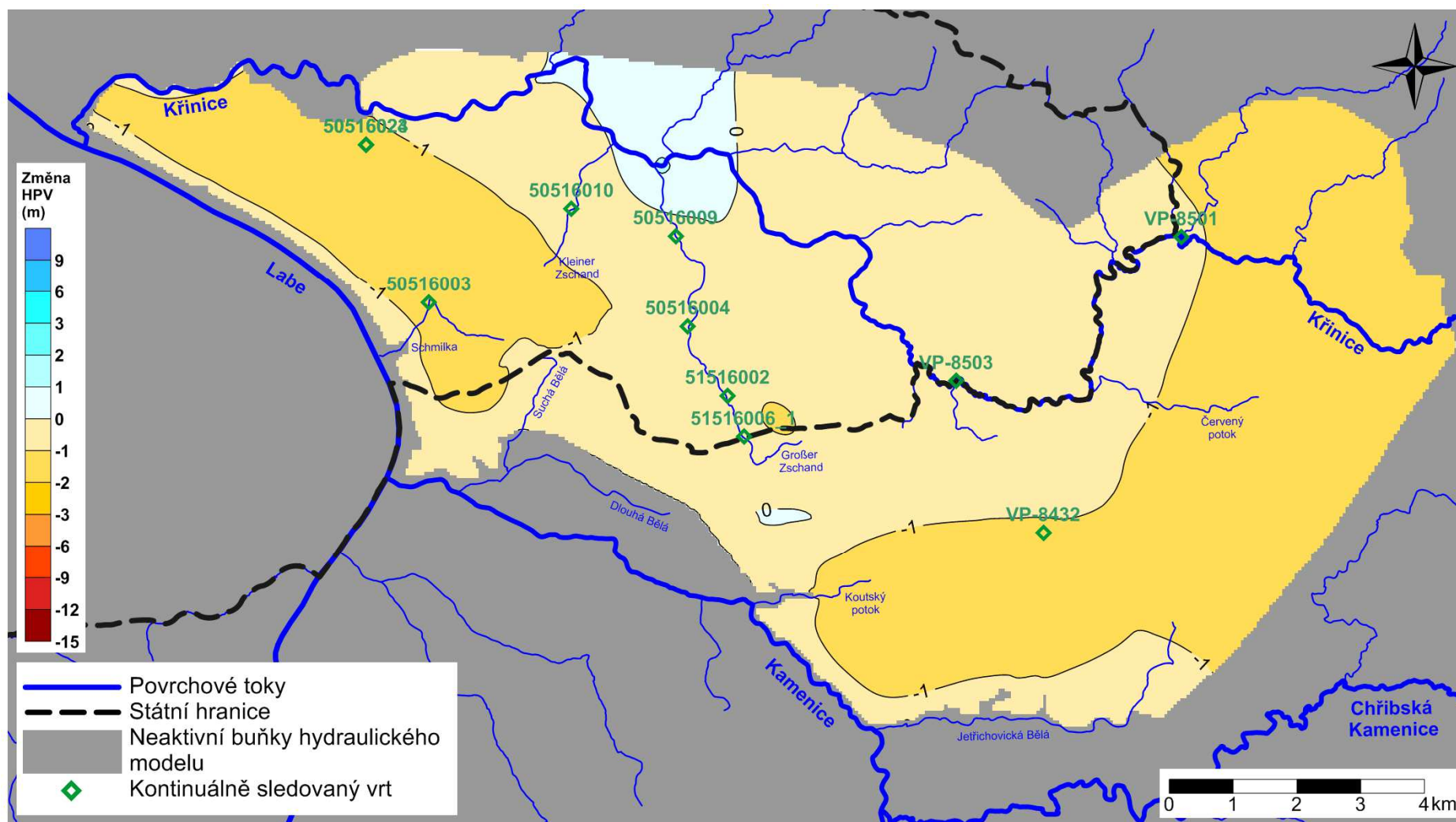
Obr. 75: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-4 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



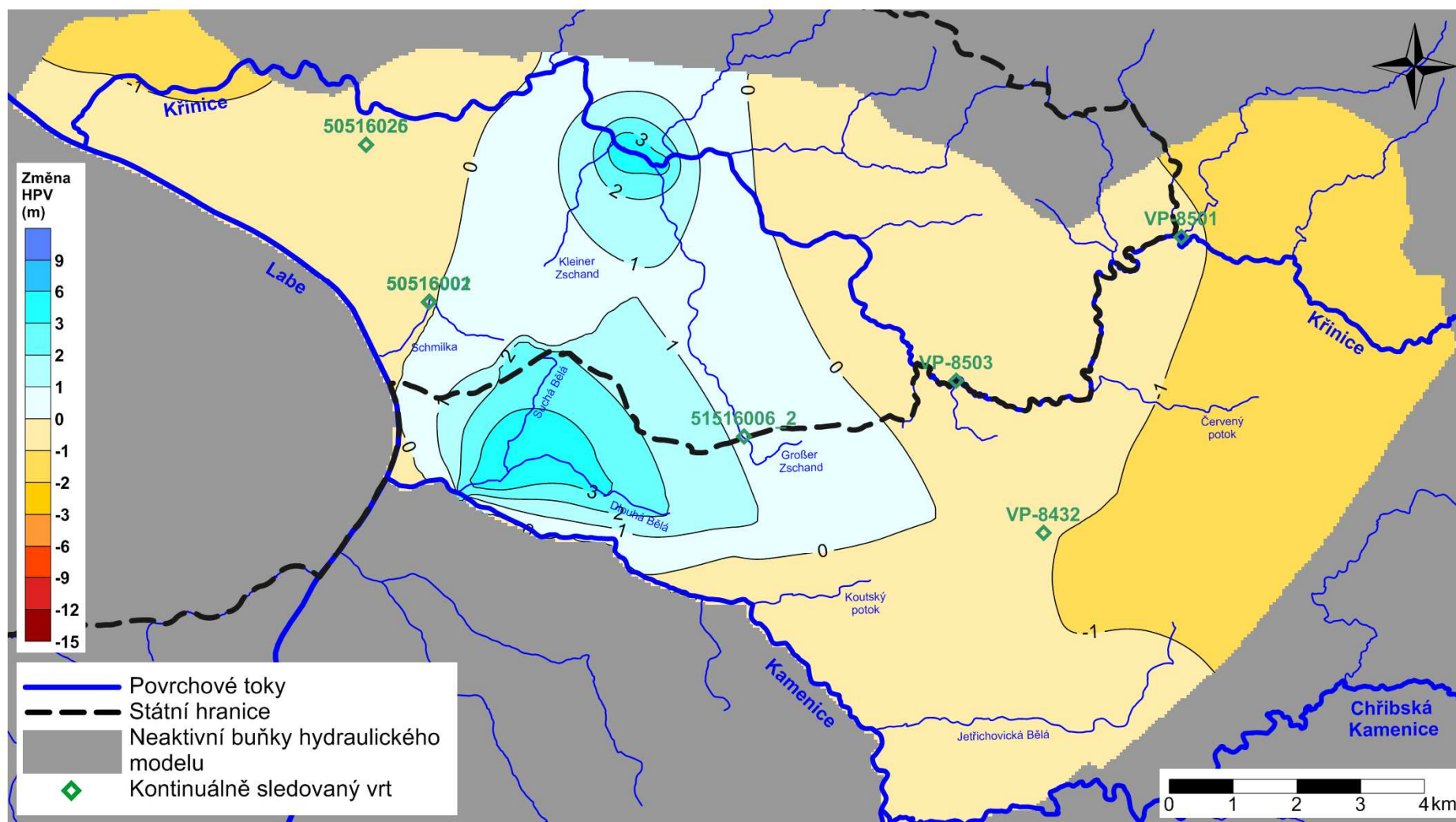
Obr. 76: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-4 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



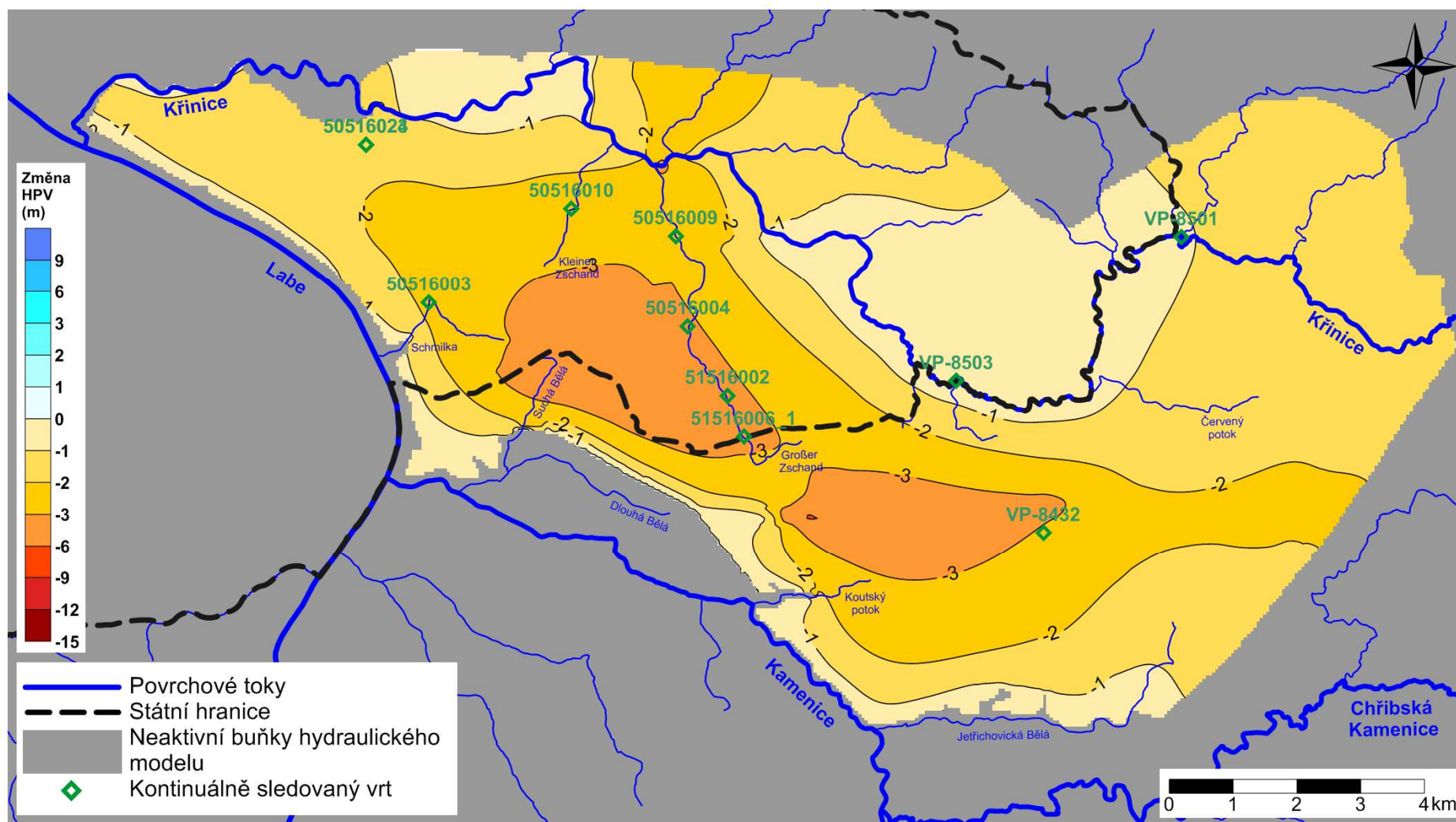
Obr. 77: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-5 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



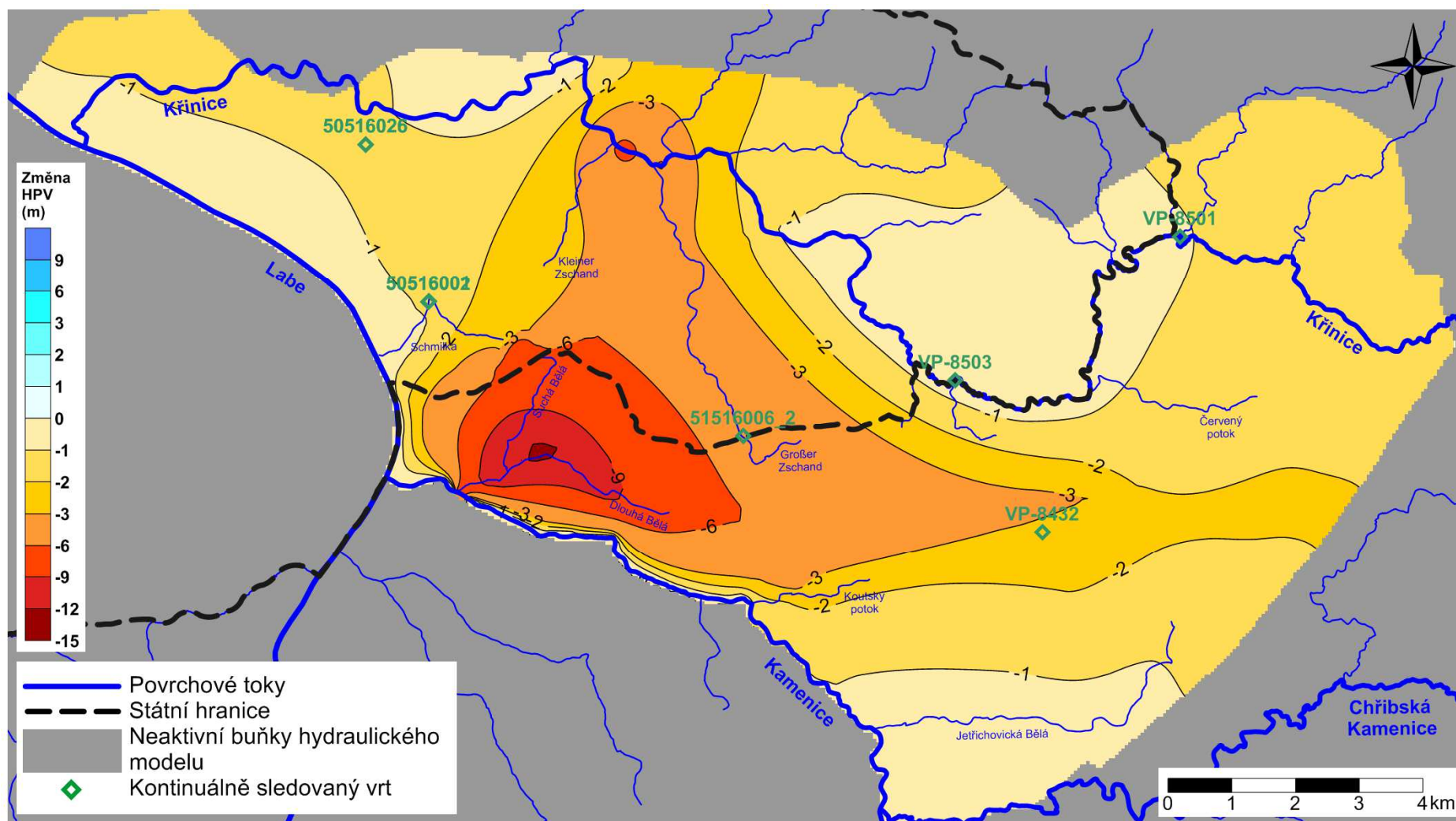
Obr. 78: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-5 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



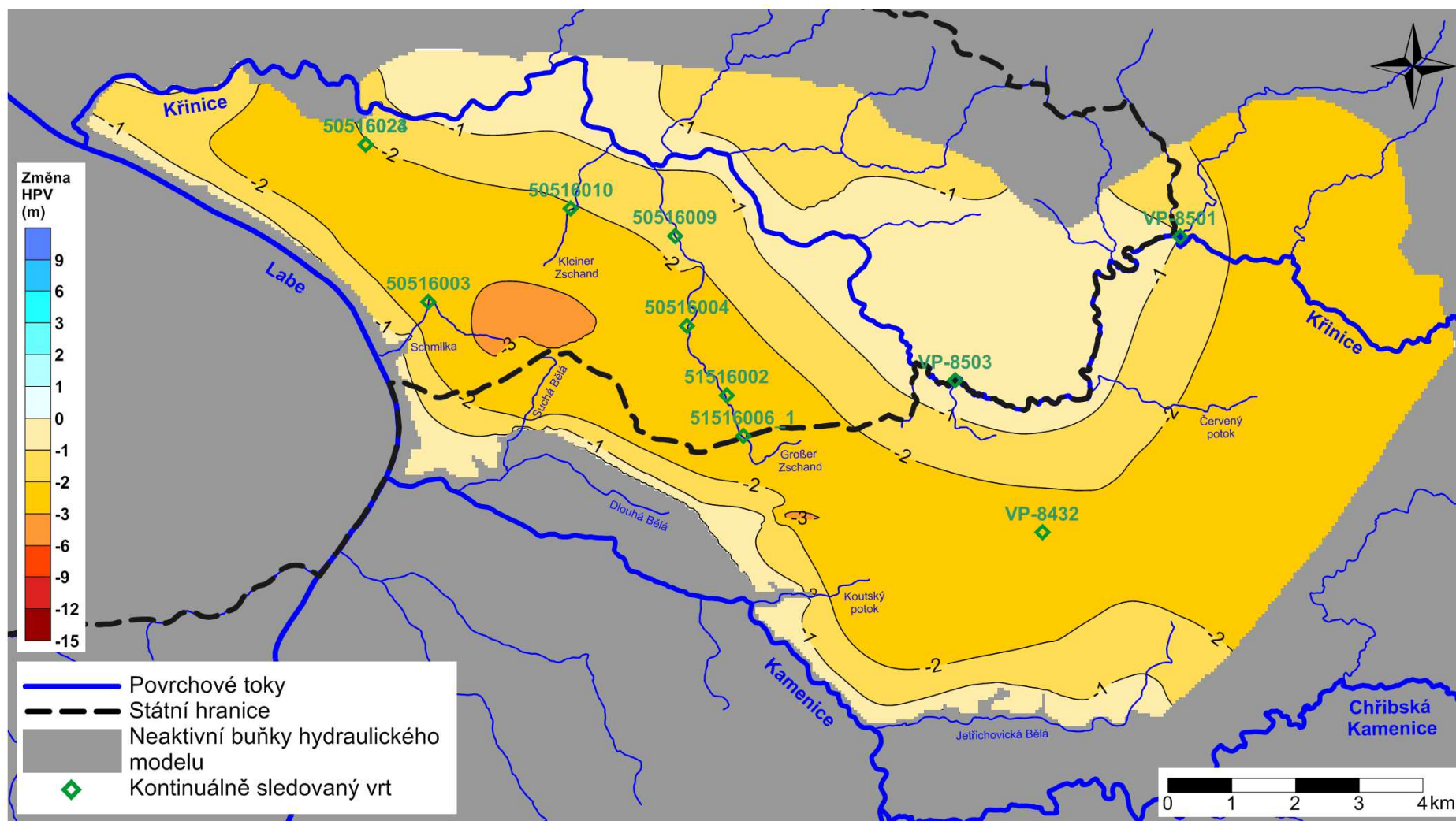
Obr. 79: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-6 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



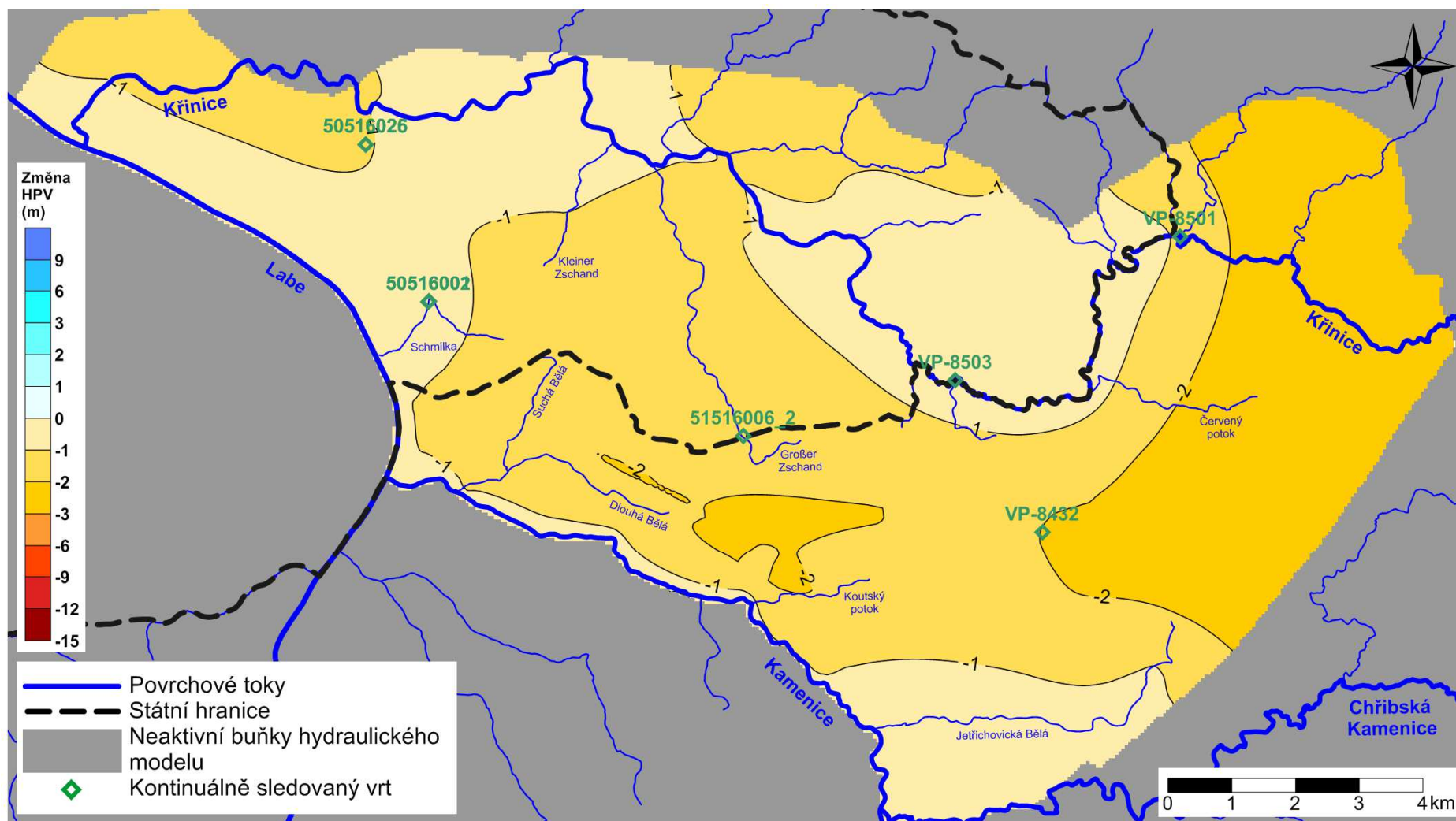
Obr. 80: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S2-6 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



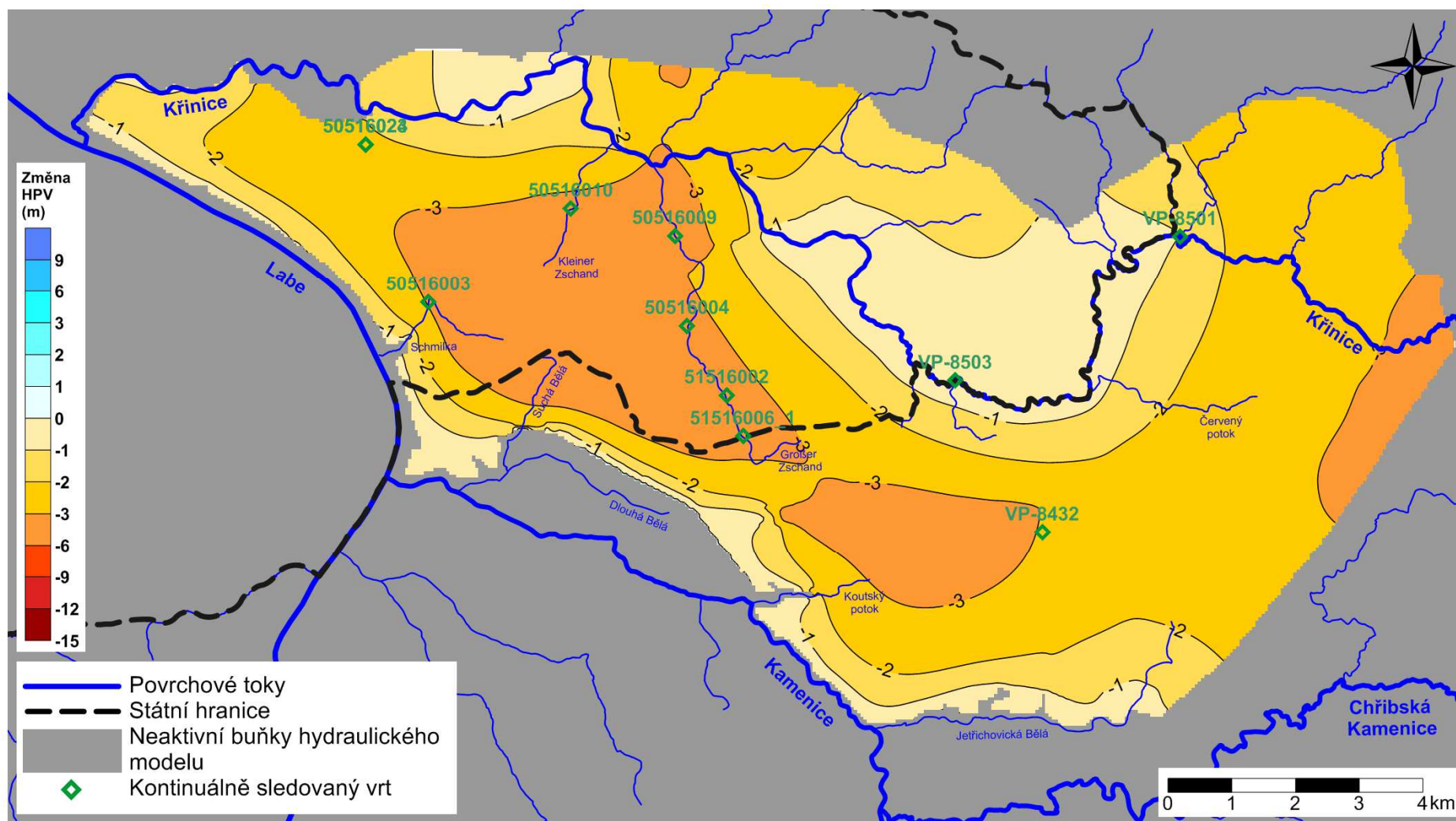
Obr. 81: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-1 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



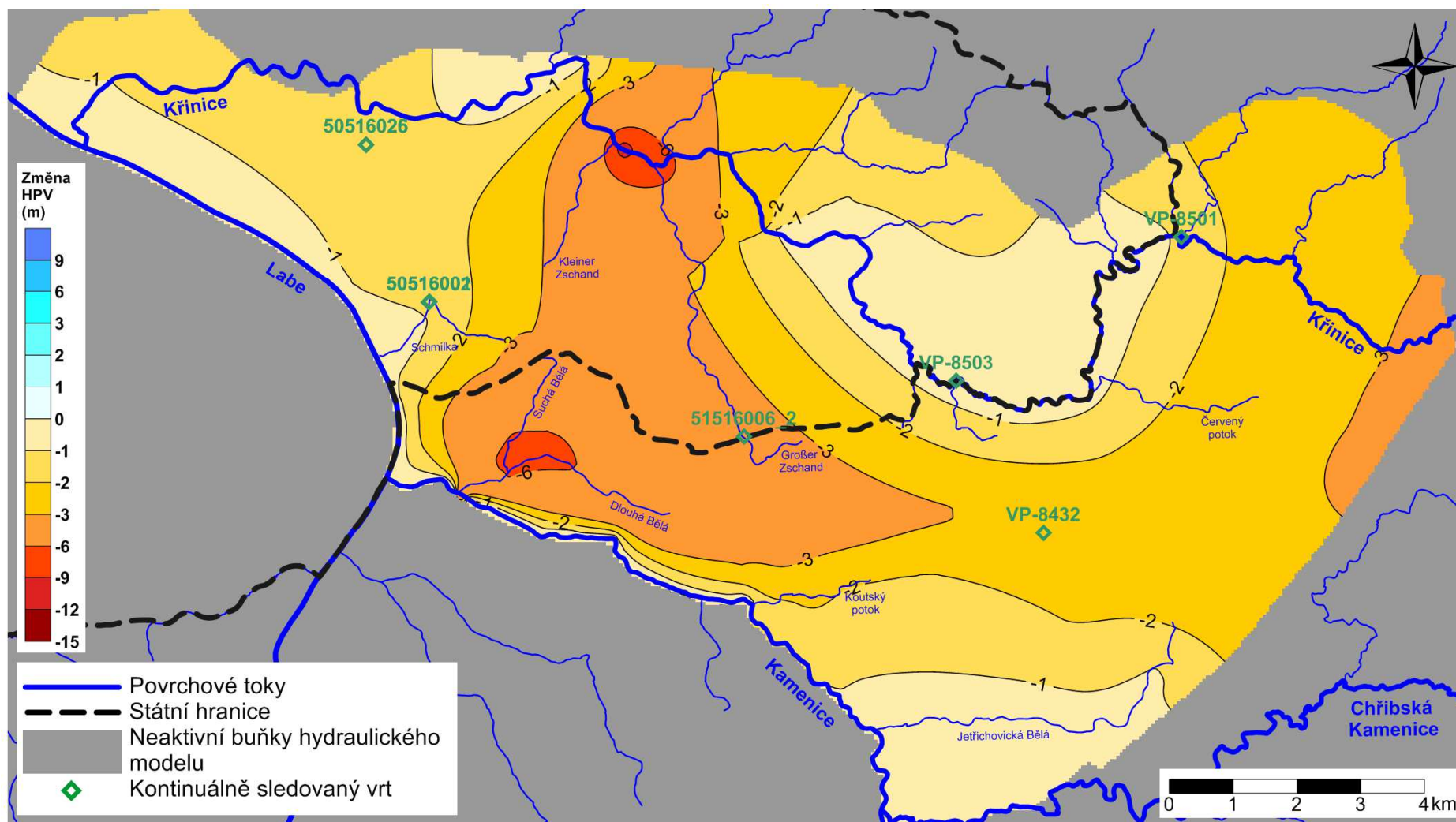
Obr. 82: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-1 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



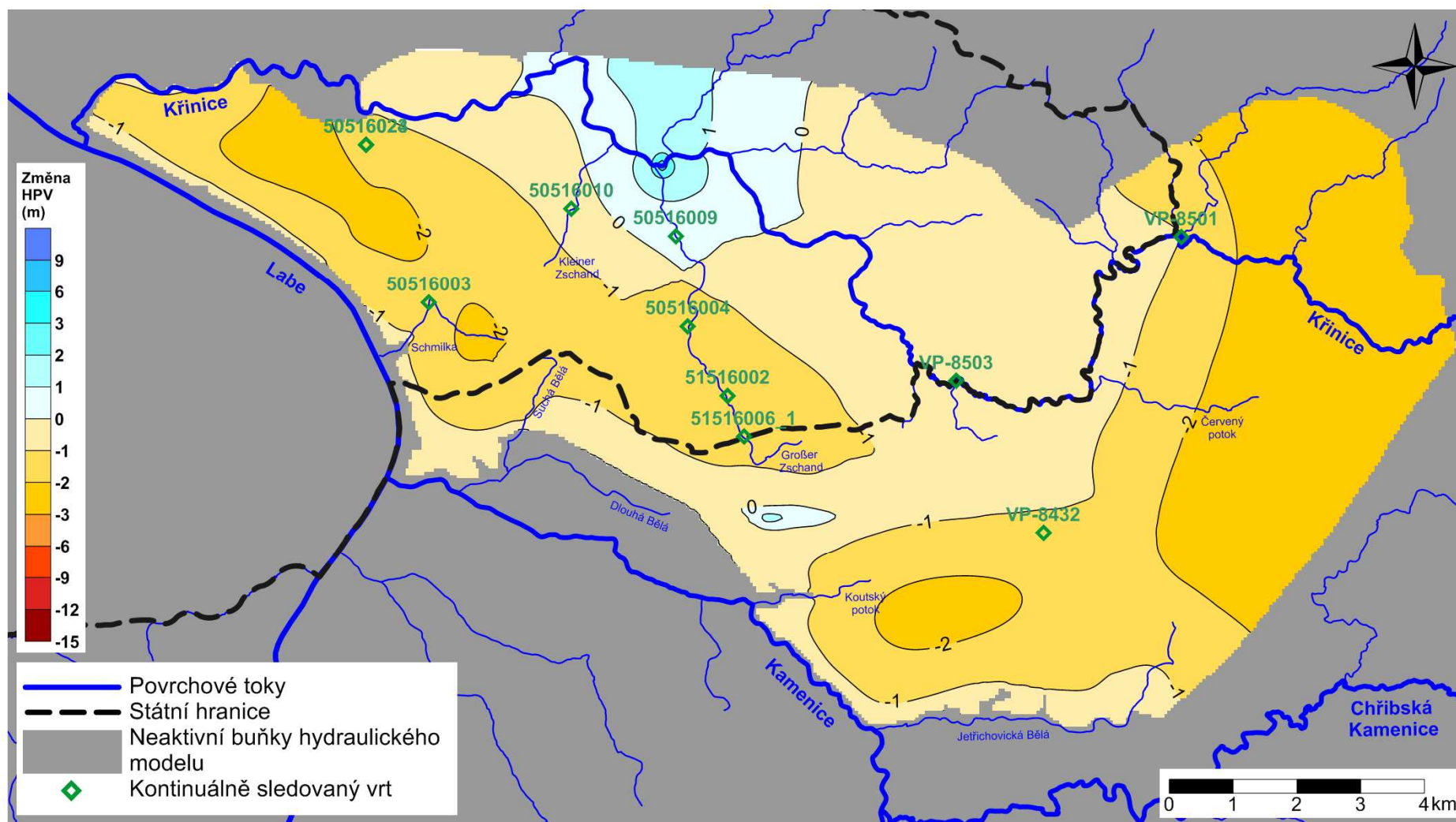
Obr. 83: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-2 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



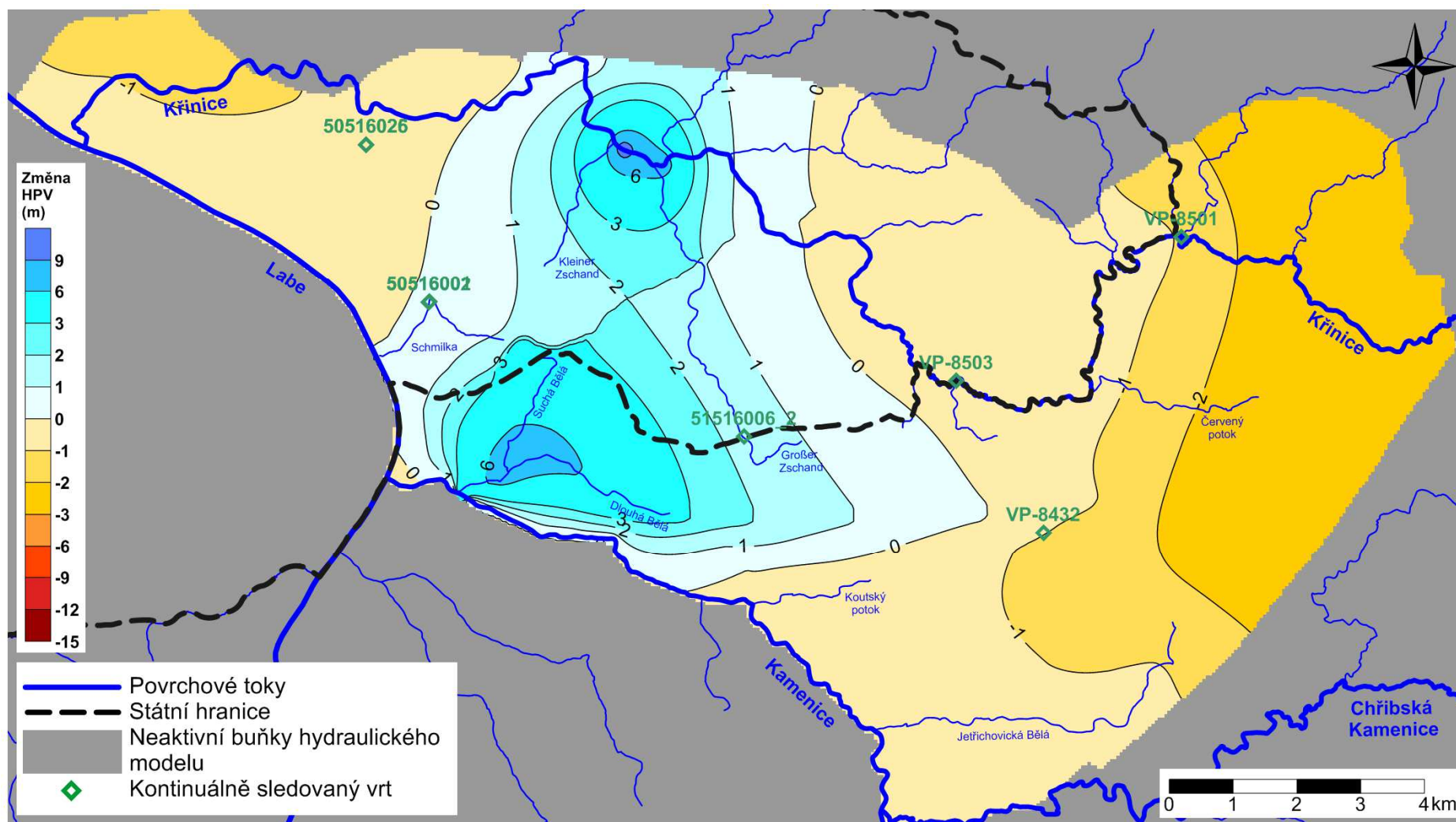
Obr. 84: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-2 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



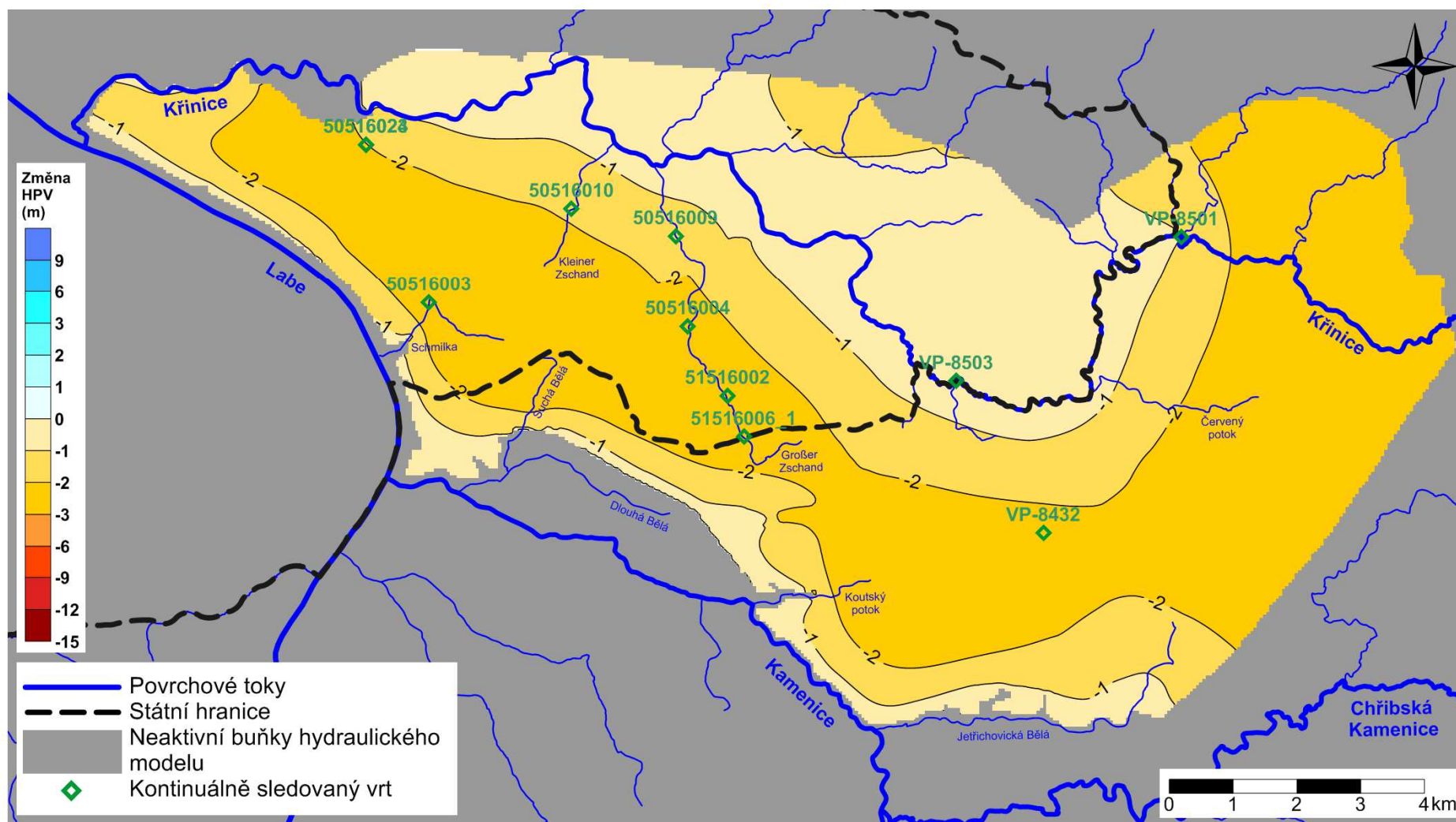
Obr. 85: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-3 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



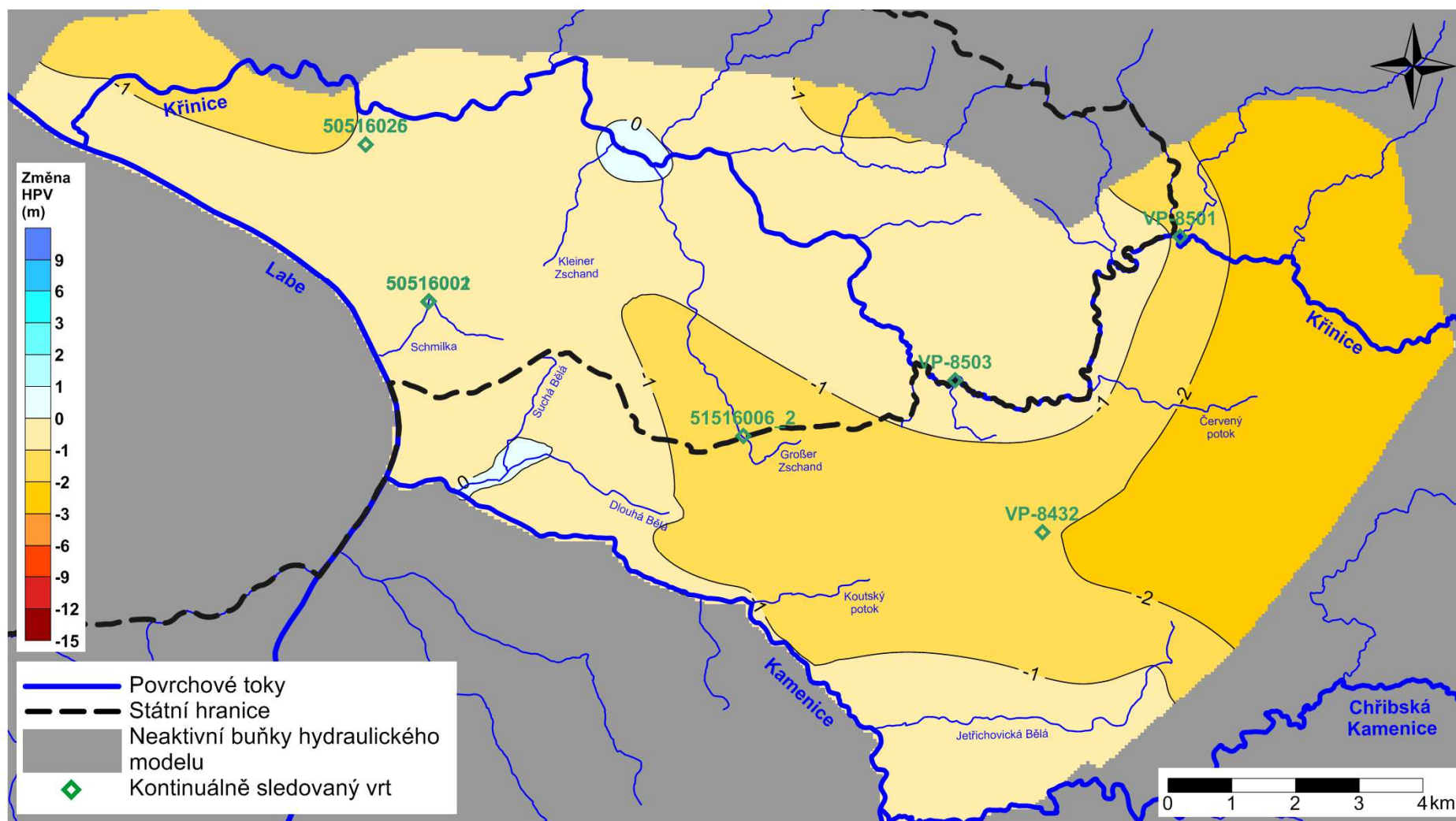
Obr. 86: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-3 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



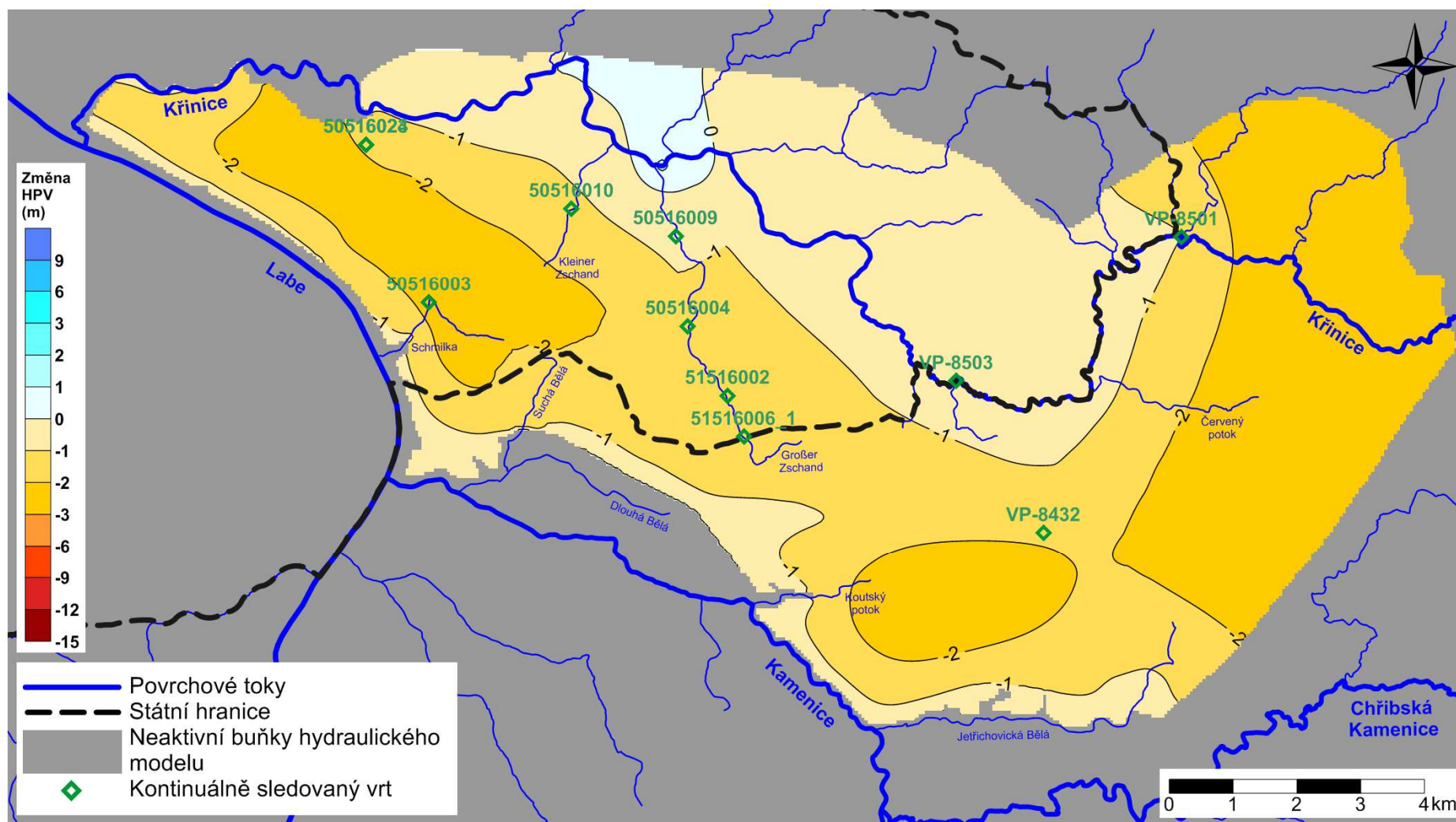
Obr. 87: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-4 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



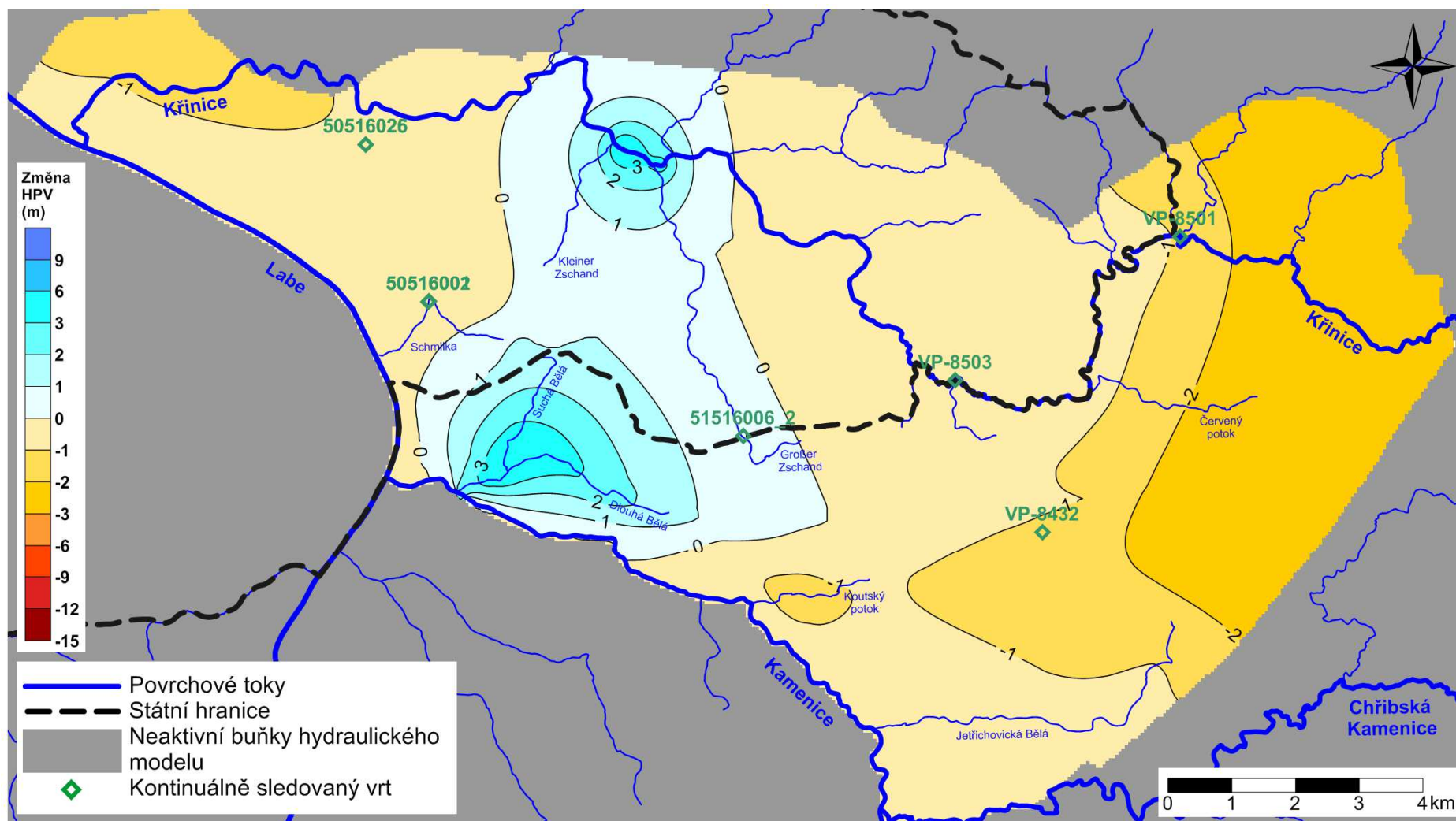
Obr. 88: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-4 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



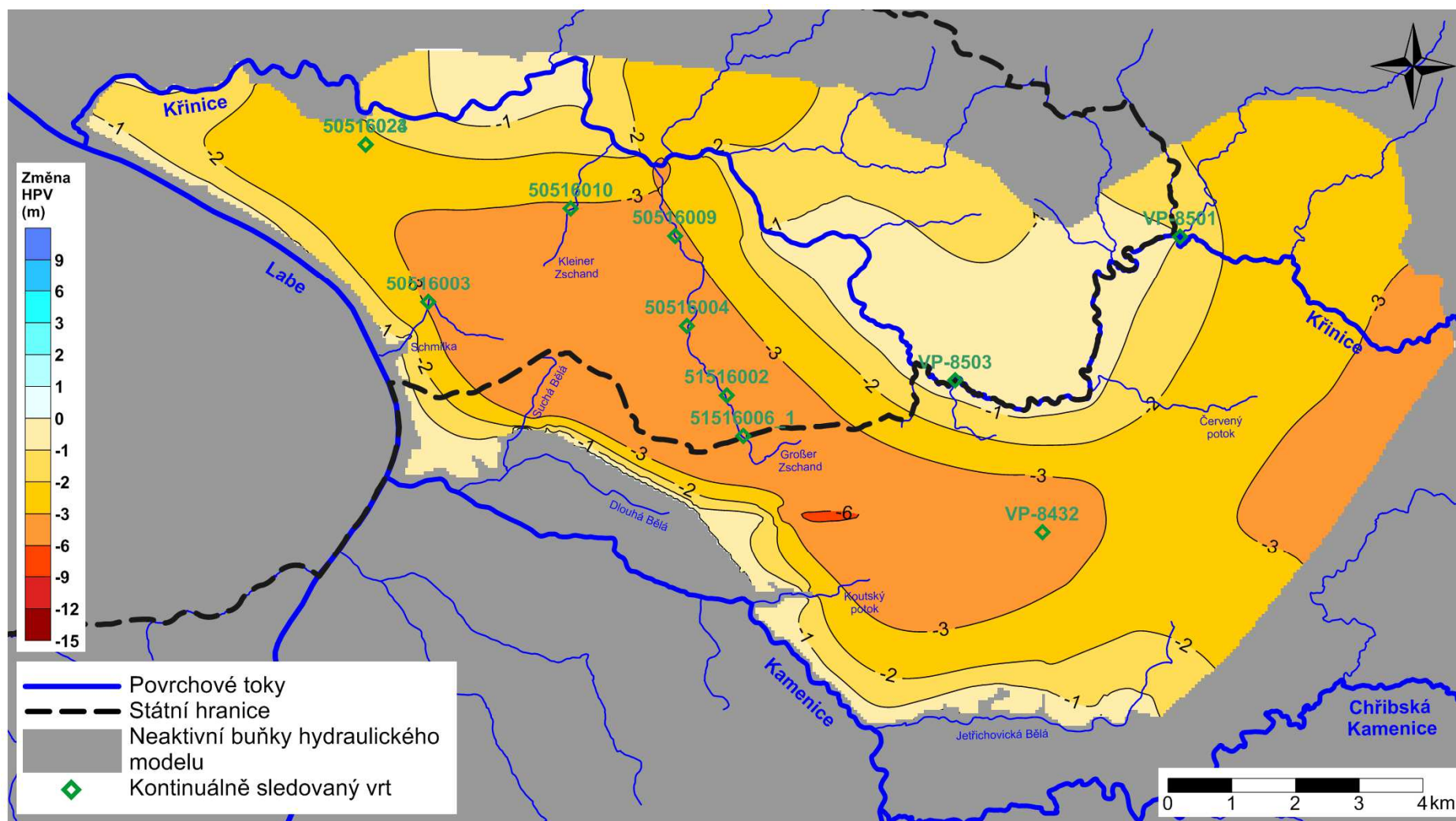
Obr. 89: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-5 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



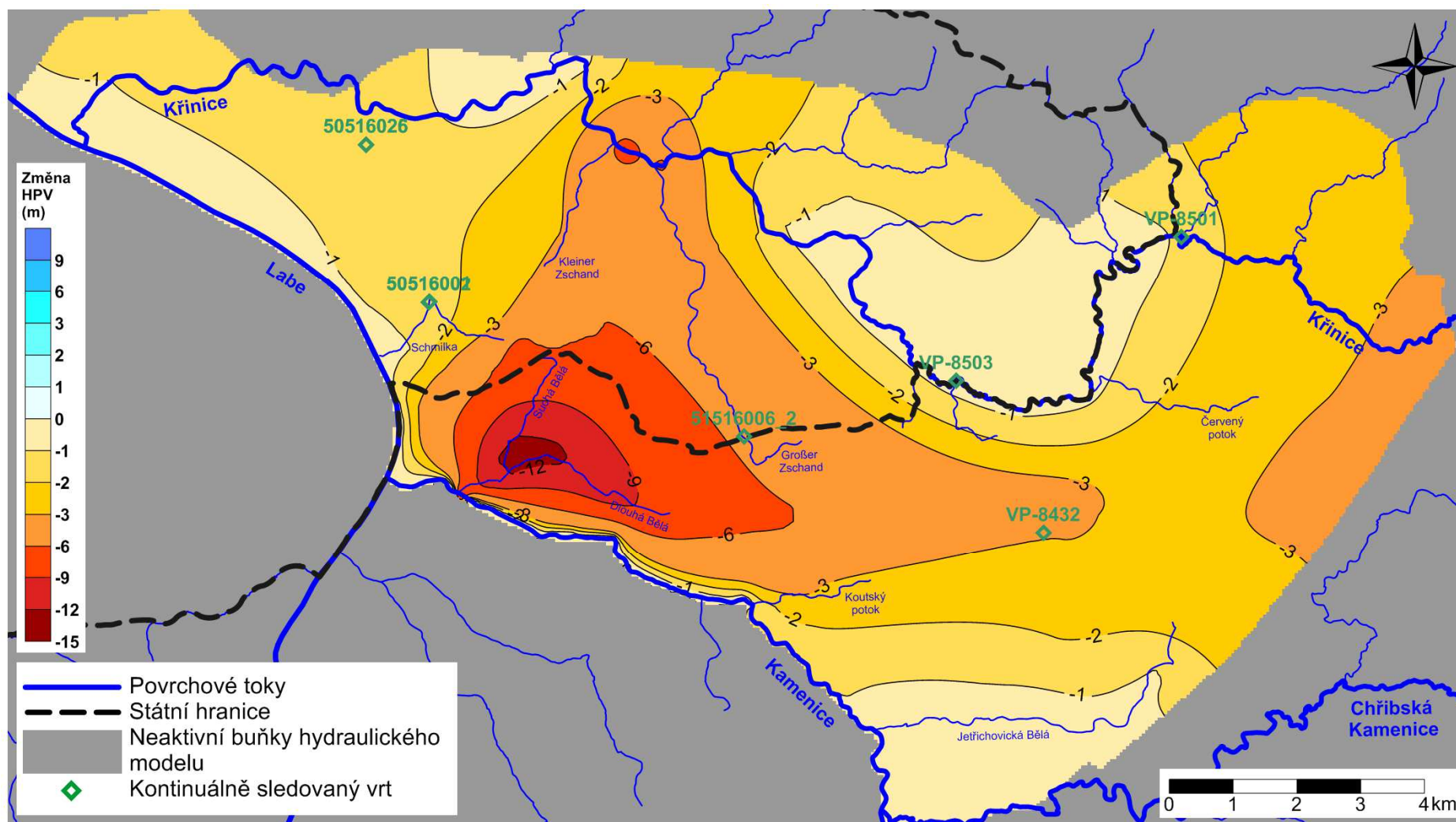
Obr. 90: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-5 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



Obr. 91: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-6 – kolektor 2, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.



Obr. 92: Rozdíl hladin podzemní vody scénářů V2S1-1 a V2S3-6 – kolektor 3, rok 2043

Pozn.: Záporné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody znamenají snížení hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1. Kladné hodnoty rozdílů hladin podzemní vody popisují nárůst hladiny podzemní vody oproti scénáři V2S1-1.

Z grafické dokumentace prognózních scénářů je patrný jeden společný rys – ovlivnění hladiny podzemní vody ve scénářích s maximálními zaznamenanými odběry nebo s maximálními povolenými odběry a konstantní infiltrací, které je sice významné (dojde k poklesu podzemní vody), ale nepřesahuje přírodní zdroje dané oblasti a tudíž dochází k ustálení hladiny podzemní vody během testovaných 30 let.

Prognózní scénáře počítající se současnou velikostí odběrů a simulující postupný pokles infiltrace (V2S2-1, resp. V2S3-1) se projevují snížením hladiny podzemní vody v celé modelové oblasti o 1 až 5 m, resp. 1 až 6 m, přičemž větší poklesy se projevují v čistě infiltračních oblastech v SRN, kdežto drenážní oblast se vyznačuje poklesy nižšími.

4.11. Stanovení využitelných zdrojů podzemní vody – stacionární predikce

Z celkové sumy přírodních zdrojů lze dostupnými technickými prostředky využít jen určitou část, aniž by došlo například k nežádoucímu snížení průtoků v povrchových tocích během suchých period, během nichž je většina odtoku tvořena právě odtokem podzemním. A právě definování kritérií pro stanovení mezního (přijatelného) vlivu odběru rovnajícímu se využitelným zdrojům, má zásadní vliv na výslednou velikost stanovených využitelných zdrojů. Pokud bychom jako kritérium nastavili např. požadavek na setrvalý stav hladiny podzemní vody bez dalšího poklesu, pak by bylo možné využitelné zdroje podzemních vod ztotožnit s velikostí současných odběrů, jelikož každé další, byť nepatrné zvýšení čerpání bude v modelu ve výsledku znamenat snížení úrovně hladiny podzemní vody. To samé platí i v případě, že bychom zvolili „objemové“ kritérium, tedy například základní odtok v některém z povrchových toků drénujících hlavní kolektor.

Je tedy nutné nastavit určité limity ať už ve formě minimální úrovně hladiny podzemní vody ve specifikovaných vrtech, nebo minimálního základního odtoku, při jejichž dosažení bude konstatováno, že dalším snižováním hladiny podzemní vody by již mohlo dojít k negativnímu vlivu na okolí. Tento „negativní vliv“ má přitom velmi obecný charakter a může se týkat např. ovlivnění na vodu vázaných ekosystémů, dodržení hygienického (minimálního) průtoků v povrchových tocích nebo zachování vydatnosti důležitých vodárenských objektů.

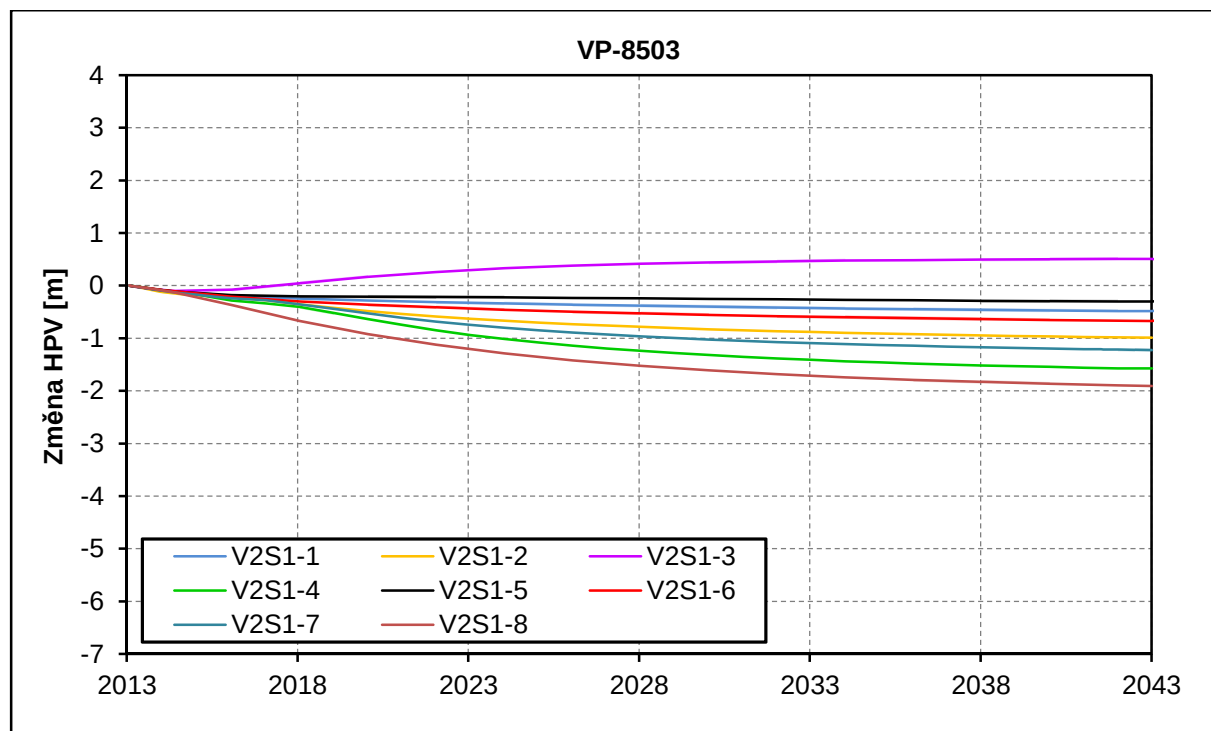
Pro naše účely jsme využili tzv. „institut minimální změny hladiny“, kdy je hledána maximální velikost čerpání, při níž ustálená hladina podzemní vody na pozorovacích bodech nepoklesne, anebo klesne o určitou stanovenou hodnotu a zároveň dojde k proudění podzemní vody.

Pro modelová řešení s výše uvedeným zadáním byly využity scénáře V2S1-1 až V2S1-8 (viz **Tab. 9**), které předpokládají konstantní infiltraci a čerpání po celou dobu predikce. Čas 30 let simulace je dostatečný k tomu, aby došlo k ustálení proudění podzemní vody a dosažení stacionárního stavu. Výsledky jsou graficky uvedeny na

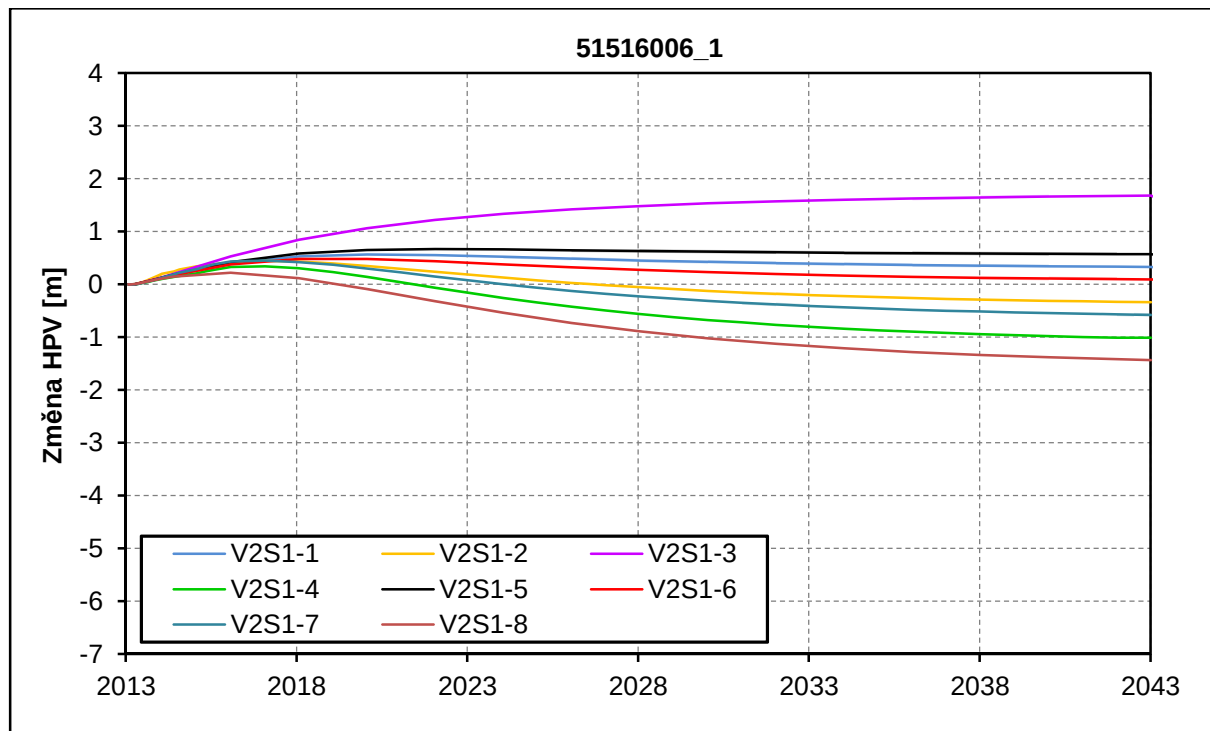
Obr. 93 až Obr. 99. Pokud zvolíme jako kritérium nulovou změnu hladiny podzemní vody při konstantní infiltraci, stávající odběry na českém i německém území splňují toto kritérium. K největším prognózním poklesům podzemní vody dochází na vrtu 51516006_2 (kolektor 3), což je dáno napjatým režimem podzemních vod v kolektoru 3 a rychlejšími změnami stavu podzemních vod a dosahem obou depresních kuželů z českého a německého jímacího území. Pokud zvolíme tento vrt jako rozhodující kritérium, můžeme stanovit několik úrovní využitelného množství podle velikosti snížení hladiny podzemní vody na vrtu 51516006_2 (**Tab. 10**).

Tab. 10: Využitelné množství vs. poklesy hladiny podzemní vody na vrtu 51516006_2

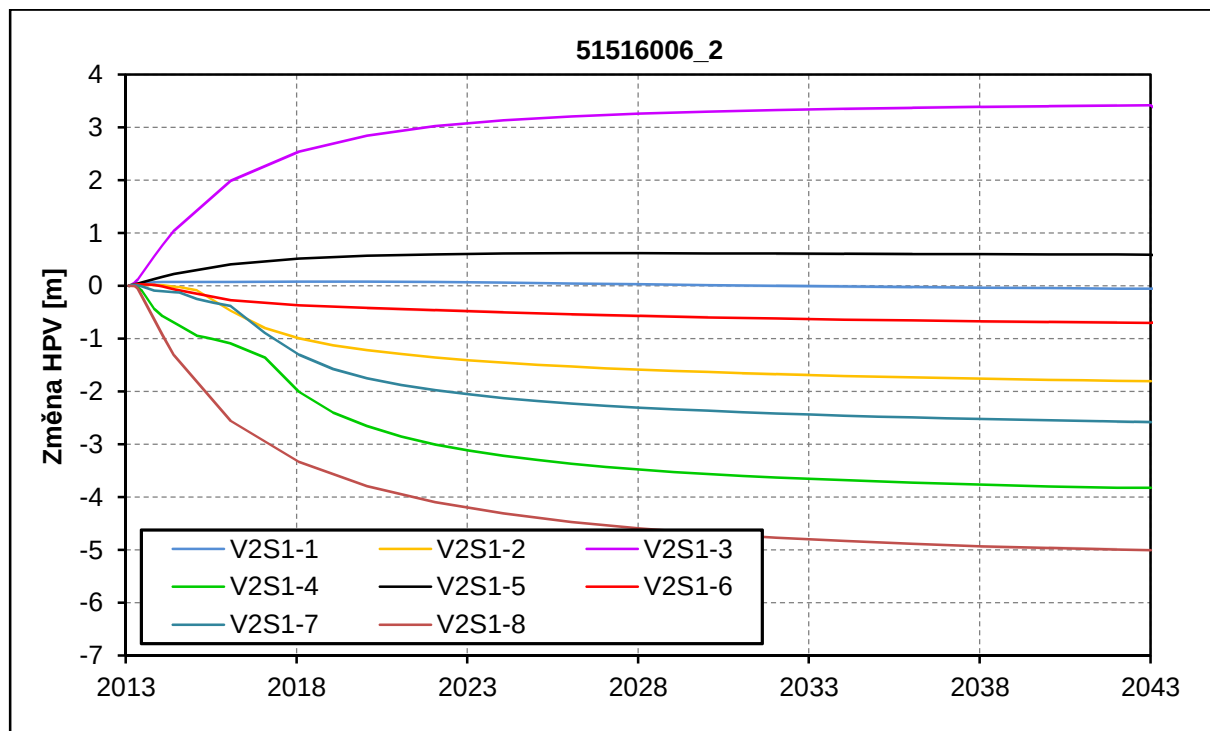
Scénář	Popis	Odběry podzemní vody odpovídající využitelnému množství [l/s]		Poklesy hladiny podzemní vody na vrtu 51516006_2 [m]	Ustálený stav
		ČR	SRN		
V2 S1-1 (výchozí scénář)	Skutečné (v roce 2012, konstantní do 2043)	74,30	38,7	nulové	Ano
V2 S1-6	Zvýšené na 115 % ze skutečných v roce 2012 – pro stanovení využitelných zdrojů	85,45	44,49	do 1 m	Ano
V2 S1-2	Současné platné povolené množství (roční průměr)	103	70	do 2 m	Ano
V2 S1-7	Snížené na 85 % maximálních zaznamenaných – pro stanovení využitelných zdrojů	118,30	51,85	do 3 m	Ano
V2 S1-4	Maximální zaznamenané (konstantní do 2043)	139,18	61	do 4 m	Ano
V2 S1-8	Zvýšené na 115 % maximálních zaznamenaných v roce 2012 – pro stanovení využitelných zdrojů	160,06	70,15	do 5 m	Téměř ano



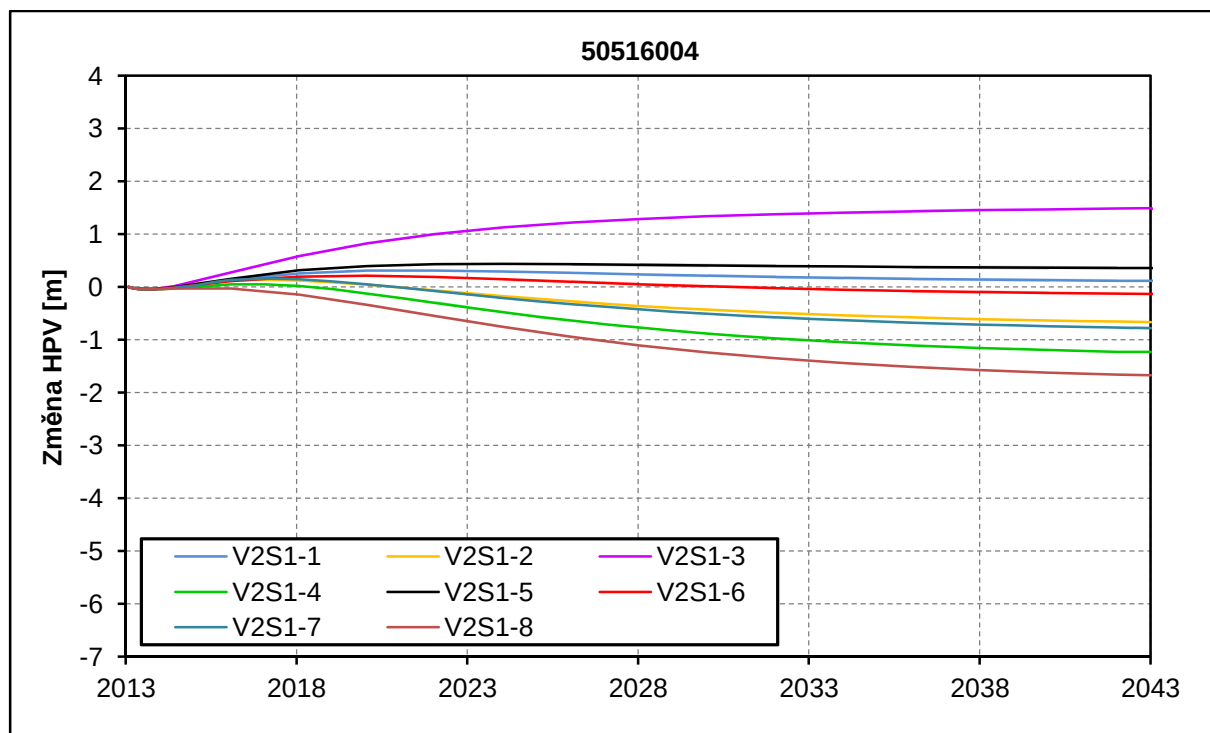
Obr. 93: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu VP-8503



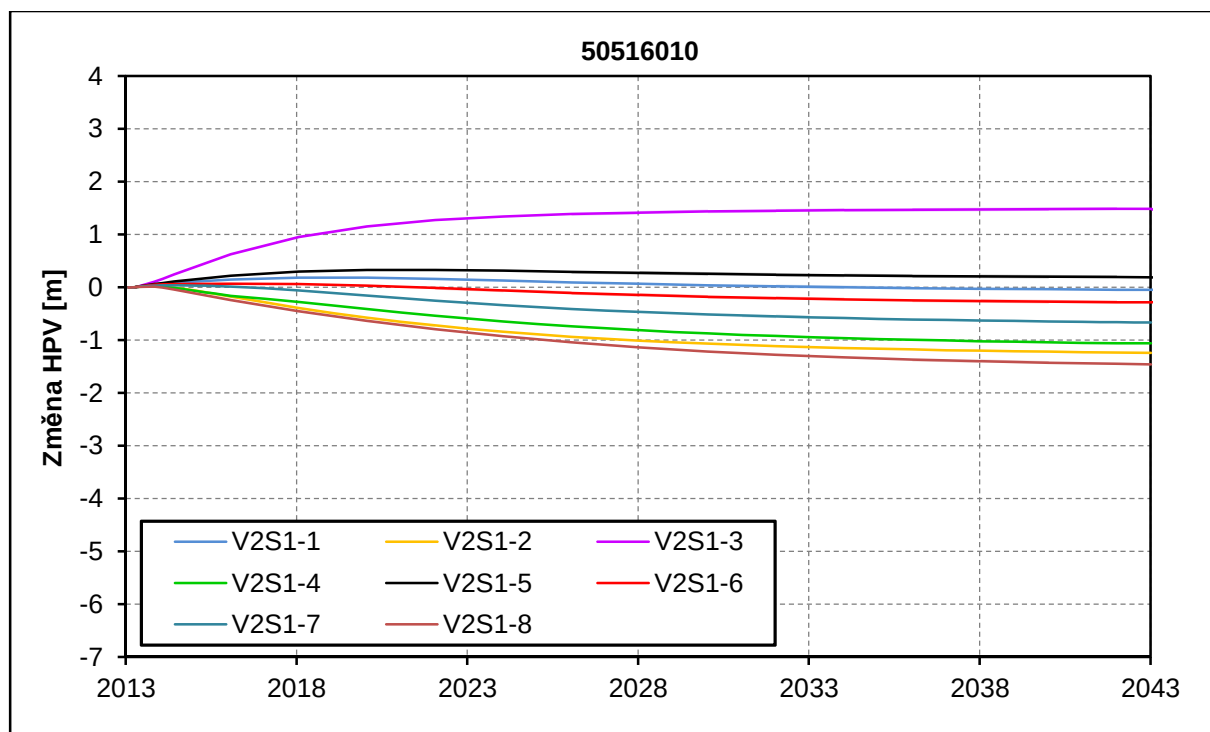
Obr. 94: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 51516006_1



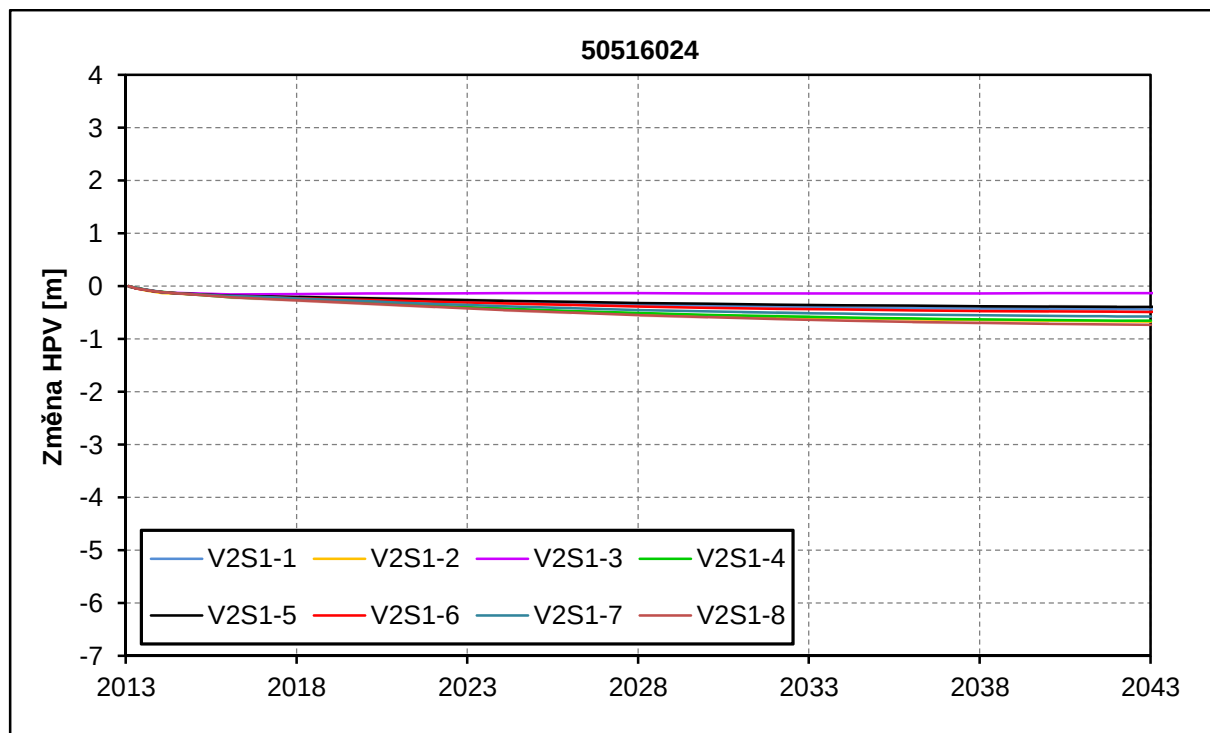
Obr. 95: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 51516006_2



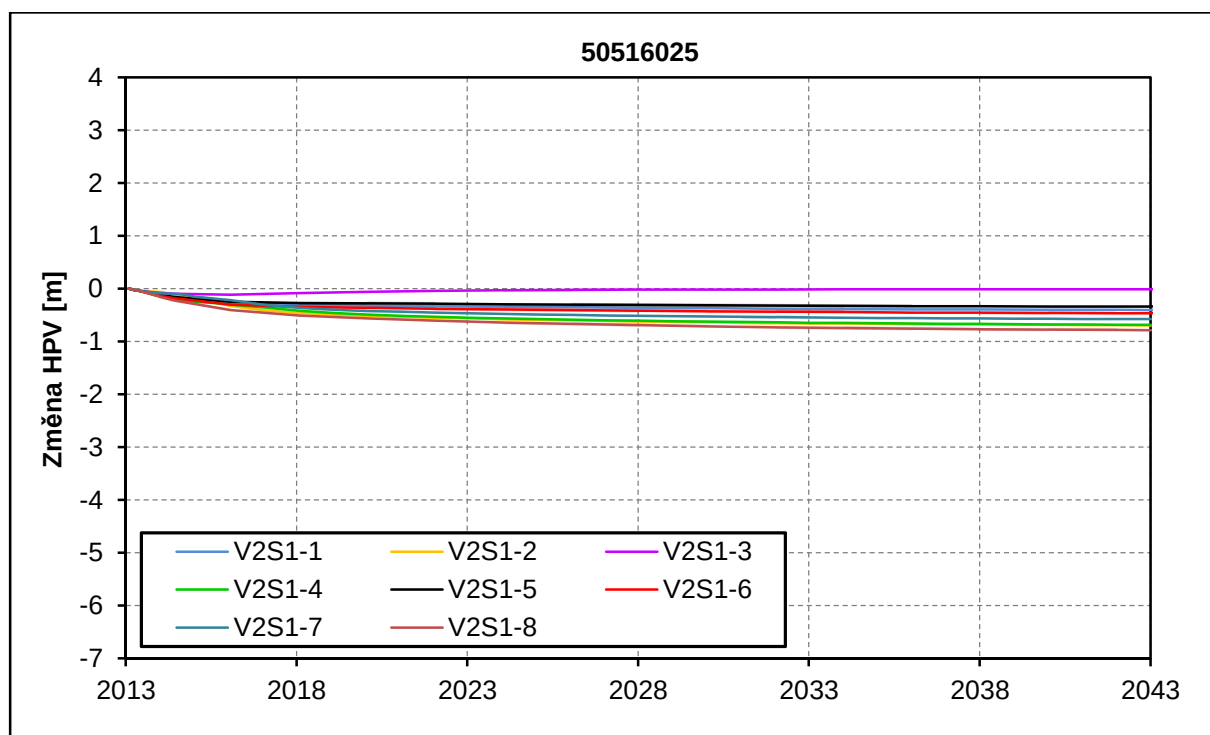
Obr. 96: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516004



Obr. 97: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516010



Obr. 98: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516024



Obr. 99: Modelové predikce (scénáře V2S1-1 až V2S1-8) pro stanovení využitelných zdrojů na vrtu 50516025

Při daném nastavení testu hodnocení využitelných zásob je možné konstatovat, že při akceptaci poklesů hladiny podzemní vody v modelovém území o maximálně 2 m, odpovídá velikost využitelných zdrojů podzemní vody sumě platných povolených odběrů (ročnímu průměru). Velmi důležité je však připomenout, že velikost stanovených využitelných zdrojů

podzemních vod v rámci modelové oblasti je ovlivněna nejen všemi modelovými nejistotami (viz **Kap.5.**), ale zejména volbou kritérií, která nesmí být překročena. V modelovém hodnocení byl využit institut minimální hladiny na vrtu 51516006_2. Je nutné poznamenat, že při jiné volbě kritérií nebo rozdílném nastavení jejich limitních hodnot se může výsledné stanovení využitelných zdrojů značně lišit.

5. Nejistoty a citlivostní analýza

Nejvýznamnější nejistotou hydraulického modelu je geometrie kolektoru 2 na českém území, skutečný rozsah poloizolátor 2/3 v celé modelové oblasti (včetně velikosti hydraulické komunikace mezi kolektory 2 a 3) a podíl odběrů podzemní vody z kolektoru 2 na celkových odběrech. Zatímco v české části se čerpá především v kolektoru 3, který je dobře popsán měřenými hladinami podzemní vody, v německé části se podzemní voda odebírá z obou kolektorů (2 i 3). Vývoj hladiny podzemní vody je přitom z pozorovacích vrtů znám pouze v kolektoru 2. Z tohoto důvodu lze v české části a německé části spolehlivě popsat hydraulickou komunikaci pouze lokálně (např. vrty 50516006_1 a 50516006_2).

Citlivostní analýza ukazuje (viz dále v textu), že i relativně malá změna vertikální vodivosti kolektoru 2 může vyvolat dramatické změny v kolísání hladin podzemní vody v kolektoru 3, do kterého jsou situovány největší odběry podzemní vody.

Důležitým faktorem pro interpretaci kolísání hladin podzemní vody je podíl podzemní vody z kolektoru na celkových odběrech. Jímací vrt v Neumannmühle odebírá podzemní vodu z kolektorů 2 i 3. Nelze stanovit poměr velikosti odběru podzemní vody z jednotlivých kolektorů. Z důvodu minimalizace chyby bylo při kalibraci dodržováno pravidlo, aby kolektory 2 i 3 měly stejnou hydraulickou vodivost (odběr vody je v modelu automaticky rozpočítán na základě transmisivity kolektorů). Zde je možnost chyby zvýrazněna i obtížně definovatelnou hydraulickou komunikací s Křinicí, ze které může voda vsakovat do podložního kolektoru 2 a tím snižovat přesnost bilance podzemní vody v této oblasti.

V české části se podzemní voda čerpá pouze z kolektoru 3. Nicméně významná část přitéká z kolektoru 2. Mechanismus přetékání může být trojího typu: podél předpokládané tektonické poruchy, plošným přetékáním, nebo přetokem přes rozpukanou zónu na okraji výskytu kolektoru 2 (popř. jejich kombinacemi). Sledované pozorovací vrty neposkytují dostatek informací pro jednoznačný popis způsobu komunikace mezi kolektory 2 a 3.

Velmi důležitým faktorem je reprezentativnost pozorovacích objektů, a to hned ze dvou důvodů: stáří vrtu a jeho lokalizace. Nejdéle pozorované vrty mají záznamy dlouhé 30–45 let, které však mohou být ovlivněny stavem vrtu. Na řadě vrtů s dlouhým záznamem bylo po provedení karotáže v posledních 10 letech ukončeno jejich sledování a vrty byly kvůli svému stavu vyřazeny z monitorovací sítě. Koncepce celé struktury a změny zásob podzemních jsou přitom odvozeny především z údajů z pozorovacích vrtů.

Celá modelová oblast je morfologicky velmi členitá a vyznačuje se hlubokými kaňony, které pravděpodobně vznikly na predisponovaných nehomogenitách (puklinový systém). Zájmové území se dále vyznačuje velmi nízkou přístupností. Proto byly historicky všechny monitorovací vrty situovány na dnech těchto kaňonů, které se vyznačují díky tektonickému porušení mnohem vyšší propustností. Vrty tedy poskytují dobré informace o propustných zónách na dnech údolí, které však tvoří malou část modelové oblasti. Používané hydraulické parametry a hladiny podzemní vody tak nemusejí dobře charakterizovat oblasti mimo údolí a kaňony.

Pro určitou míru kvantifikace modelových nejistot vycházejících z odhadů hydraulických parametrů byla provedena citlivostní analýza. Po dohodě se zadavatelem a s německým partnerem (LfULG) byly do citlivostní analýzy zahrnuty vybrané hydraulické parametry, které mají největší vliv na modelované proudění podzemní vody (**Tab. 11, Obr. 100**). Citlivostní analýza kvantifikuje reakce modelu (modelových výsledků) na změny hodnot vstupních parametrů. Její

výsledky lze interpretovat tak, že parametry, na jejichž změnu je model citlivý, je možné relativně přesně stanovit. Naopak stanovení parametrů s nízkou nebo nulovou citlivostí je neprůkazné.

Z výsledků vyplývá, že daleko nejcitlivější je model na změny horizontální hydraulické vodivosti kolektorů 2 a 3 (kx_{11} a kx_{12}) a vertikální hydraulické vodivosti poloizolátoru 2/3 mezi kolektory 2 a 3 (kz_{11} a kz_{14}). Důvodem je dostatečné množství pozorovacích bodů pro regionální rozsahy těchto parametrů, které reprezentují kolektor 2 a 3 a přetékání mezi kolektory 2 a 3 v místech, kde se poloizolátor 2/3 vyskytuje. U poloizolátoru 2/3 ovšem citlivostní analýza nepostihuje skutečný rozsah poloizolátoru 2/3, jenž není ve skutečnosti přesně znám (viz výše). Hydraulické parametry charakterizující regionálně kolektor 4 (kx_{17}), lokálně vulkanické těleso (kx_{21}), lokálně tektonickou zónu v Dlouhé Bělé (kz_{18}) a porušený poloizolátor 3/4 v údolí Kamenice vykazují relativně velkou citlivost, což je způsobeno dostatečným množstvím pozorovaných hladin pozemní vody pro odvození daného parametru.

Nižší citlivost byla nalezena pro parametry v oblastech, které nelze dostatečně charakterizovat přímým záměrem hladiny podzemní vody. Jedná se o přechodovou zónu poloizolátoru 2/3 (kz_{24}), která se nachází mezi hladinově prokázaným poloizolátorem 2/3 a kolektorem 2+3, vertikální hydraulická vodivost poloizolátoru 3/4 v oblasti u lužické poruchy (kz_{18}) a zóny, které obklopují oblast jímacího území Hřenska (kx_{13} , kx_{28} a kx_{29}). U parametrů kx_{13} , kx_{28} a kx_{29} je nižší citlivost způsobena jejich vyšším korelačním koeficientem s parametry z okolních zón.

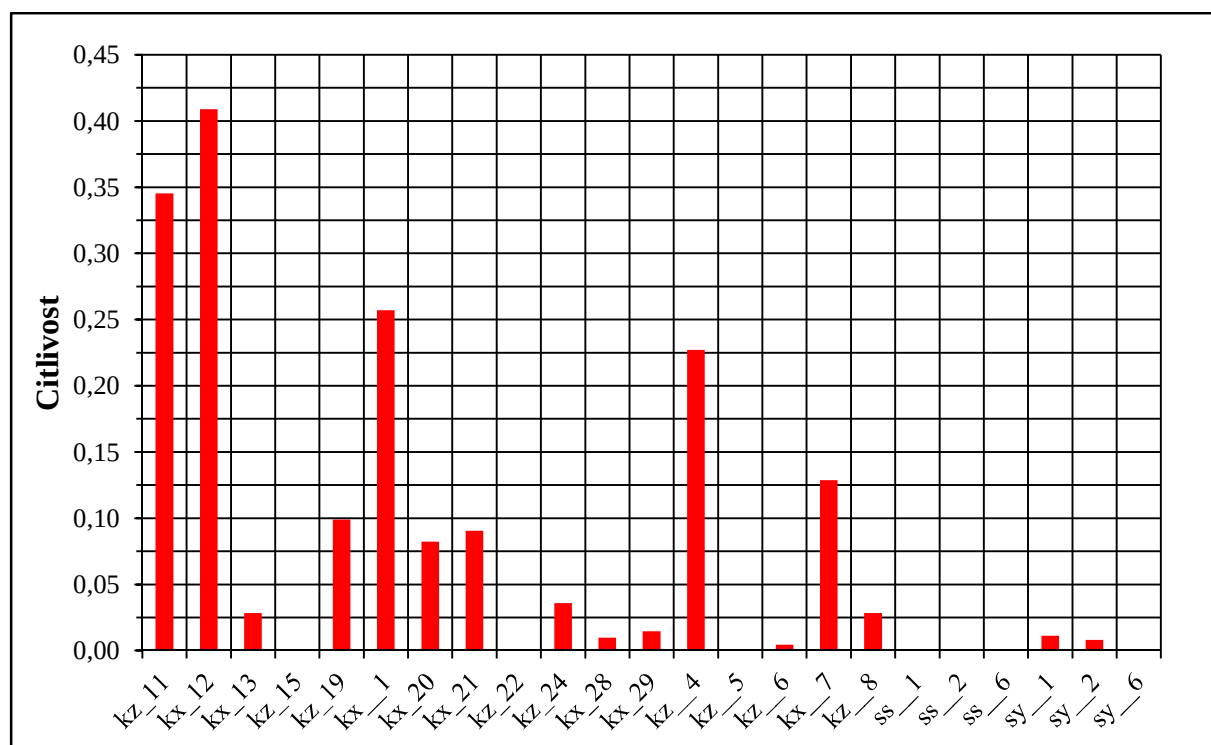
Nižší citlivost má i volná storativita v kolektoru 1 (sy_{11}), v kolektoru 2 a 3 (sy_{12}) a specifická storativita v kolektoru 2 a 3 (ss_{12}). Ač je volná storativita v kolektoru 2 a 3 (sy_{12}) velmi důležitý parametr, má menší citlivost než v modelové oblasti Petrovice/Lückendorf. Model původně počítal s hodnotou 0,05. Německá strana však předložila archivní zprávy, z nichž vyplývají hodnoty podstatně vyšší. Na základě širší diskuse a po korelaci s údaji z oblasti Petrovice-Lückendorf proto byla odsouhlasena hodnota 0,1 a model přecalibrovan tak, aby byla dosažena stejná shoda mezi modelovými a pozorovanými hladinami podzemní vody. To dokládá velmi málo spolehlivé odvození volné storativity. Změna volné storativity z 0,05 na 0,1 měla za následek upravení nejcitlivějších parametrů – horizontální hydraulické vodivosti kolektorů 2 a 3 (z původních $2 \cdot 10^{-5}$ m/s na současných $1 \cdot 10^{-5}$ m/s) a horizontální hydraulické vodivosti tektonické zóny v Dlouhé Bělé (kz_{18} , z původních $8 \cdot 10^{-4}$ m/s na současných $5 \cdot 10^{-4}$ m/s). To znamená, že se zvýšila „kapacita“ kolektorů na úkor přítoku podzemní vody do jímacích území, ve kterých je převážná část pozorovaných hladin podzemních vod. Modelové stanovení volné storativity je nejednoznačné, proto byla převzata odsouhlasená průměrná hodnota 0,1 z hydraulických testů.

Ostatní testované parametry jsou velmi málo citlivé.

Hydraulický model není v prognózních scénářích schopen reflektovat sezónní kolísání infiltrace a tím vliv na úroveň hladiny podzemní vody. Veškeré prognózy vycházejí ze stanovené průměrné infiltrace pro modelovou oblast a odrážejí tak předpokládaný obecný trend vývoje hladiny podzemní vody. Skutečný režim hladiny podzemní vody může být poznamenán nejen střídáním suchých a vlhkých period, ale i nepravidelným rozložením srážek v průběhu jednotlivých let a jejich intenzitou, a může proto pravděpodobně daleko více rozkolísaný.

Tab. 11: Seznam parametrů testovaných citlivostní analýzou

Označení	Parametr	Lokalizace	Citlivost	Pořadí podle citlivosti (1=nejvyšší)
kz_11	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 2/3 - mezi vulkanickým tělesem a Křinicí	0.345353	2
kx_12	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 2	0.40877	1
kx_13	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 3 - zóna mezi Dlouhou Bělou a Kamenicí	2.84E-02	11
kz_15	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 2/3 - zóna Křinice na německém území	7.20E-04	17
kz_19	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 3/4 - oblast Kamenice	9.89E-02	6
kx__1	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 3	0.25713	3
kx_20	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 3 - tektonická zóna Dlouhé Bělé v jímácím území	8.23E-02	8
kx_21	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 2,3,4 - vulkanické těleso na německém území	9.05E-02	7
kz_22	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 3/4 - oblast Křinice	5.58E-04	19
kz_24	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 2/3 - přechodná oblast	3.59E-02	9
kx_28	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 3 - mezi jímácím území Hřensko, vulkanickým tělesem a Labem	9.69E-03	14
kx_29	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 3 - mezi jímácím území Hřensko a Kamenicí v údolí Bělé	1.46E-02	12
kz__4	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 2/3 - mezi vulkanickým tělesem a Kamenicí	0.227091	4
kz__5	vertikální hydraulická vodivost	Kolektor 2+3	3.72E-04	21
kz__6	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 3/4	4.47E-03	16
kx__7	horizontální hydraulická vodivost	Kolektor 4	0.128804	5
kz__8	vertikální hydraulická vodivost	Poloizolátor 3/4 v oblasti u lužické poruchy	2.84E-02	10
ss__1	specifická storativita	Kolektor 2 a 3	6.82E-04	18
ss__2	specifická storativita	Kolektor 1	0	23
ss__6	specifická storativita	Kolektor 4	4.07E-04	20
sy__1	volná storativita	Kolektor 2 a 3	1.12E-02	13
sy__2	volná storativita	Kolektor 1	8.17E-03	15
sy__6	volná storativita	Kolektor 4	0	22



Obr. 100: Výsledky citlivostní analýzy

6. Závěr

V souladu se zadáním byl zkonstruován transientní model proudění podzemní vody v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch. Transientní model byl kalibrován na všechny dostupné informace s cílem, aby dobře popisoval vývoj hladin podzemních vod v minulosti. Nakalibrovaný model umožnil odlišit vliv čerpání podzemních vod a infiltrace na změny hladin podzemních vod a predikovat vývoj hladin podzemních vod podle zadaných klimatických scénářů a velikosti odběrů podzemních vod.

Na základě provedených simulací lze konstatovat, že na kolísání hladiny podzemní vody v modelové oblasti měla v minulosti vliv kombinace 2 faktorů – velikosti infiltrace a odběrů podzemní vody. Dlouhodobý pokles hladiny podzemní vody ve všech pozorovacích vrtech v období 1982–1991 byl způsoben vysokými odběry podzemní vody. Celkový efekt byl navíc znásoben předcházejícím velmi vlhkým obdobím (1980–1981) a naopak následnými suchými obdobími (1980–1985, 1990–1991), která měla za následek zvýšení poklesů hladin podzemní vody na dlouhodobě pozorovaných vrtech. Vliv obou faktorů na kolísání hladin podzemních vod je zhruba rovnocenný.

Po roce 1991, kdy došlo k významnému snížení odběrů podzemní vody, lze zaznamenané kolísání hladin připsat zejména kolísání infiltrace, neboť odběry podzemních vod jsou od této doby na obou stranách relativně stabilní.

Z hlediska budoucího vývoje zásob podzemních vod v řešeném území je důležitý poznatek o vlivu infiltrace na kolísání úrovně hladiny podzemní vody. Pokud budeme uvažovat průměrný pokles infiltrace o 1 mm ročně jako důsledek klimatické změny, pak dojde při konstantním odběru podzemních vod (maximální povolené množství) k poklesu až o 3,5 m v kolektoru 2, resp. 6–9 m v kolektoru 3 (v závislosti na lokalitě – drenážní/infiltrační oblast).

Z hlediska využitelných zdrojů podzemních vod je nutné poznamenat, že jak maximální odběry, které byly zaznamenané v historii, tak i suma všech současně povolených odběrů v modelové oblasti zřejmě nepřekračují využitelné zdroje podzemních vod. Pokud budou odběry podzemní vody pokračovat ve stávajícím množství a zároveň se nezmění infiltrace, nedojde k poklesům hladin podzemních vod. Pokud se odběry podzemních dlouhodobě přiblíží k maximálně zaznamenaným odběrům, hladina podzemní vody klesne až o 4 m v kolektoru 3, avšak režim podzemních vod bude ustálený a hydrogeologická struktura nebude přetížena

Matematický model splnil cíle definované v zadávací dokumentaci, tzn. transientní simulaci proudění podzemní vody, odpověď na příčiny historických poklesů hladiny podzemní vody a prognózu budoucího vývoje úrovně a zásob podzemních vod.

7. Použité podklady

DITTRICH, J.; KUNOTH, K.; MÜNCH, A.; WAHREN, A.: Přípravný posudek hraniční vody Křinice-Hřensko/ Vorbereitendes Gutachten Grenzgewässer Kirnitzsch/Krinice-Hrensko. - Dr. Dittrich & Partner, leden 2002, nepublikováno

Eckhardt P. (2013): "Vývoj vydatnosti pramenů a pramenných oblastí v oblasti Hřensko-Křinice/Kirnitzsch. Závěrečná zpráva." - VÚV TGM, v.v.i. Praha, prosinec 2013, 95 stran

Harbaugh, A. W. a McDonald, M .G. (1996): User's documentation for MODFLOW- 96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model, USGS Open-File Report 96-485.

Herčík F., Nakládal V. (1987): Hydrogeologická syntéza české křídové pánve – BILANČNÍ CELEK 3, Stavební geologie n.p., Praha.

Jetelová, D. (1972): Regionální hydrogeologický průzkum v povodí Ploučnice, Kamenice a Křinice. Stavební geologie n.p., Praha

Kahnt, R., Löser, R., Gabriel, A., Hermann, D., Renker, S., Helbig, M., Kutzke, A. (2014): Abschlussbericht Entwicklung zweier 3D-Modelle hydrogeologischer Körper im sächsisch-böhmischen Grenzgebiet im Rahmen des Ziel 3-Projektes GRACE, G.E.O.S., Halsbrücke.

Martínková, M. (2014): Vliv klimatické změny na celkovou vodnost oblastí „Hřensko - Křinice/Kirnitzsch“ a „Petrovice - Lückendorf – Johnsorf –Oybin“. Závěrečná zpráva dílčí studie projektu GRACE. Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i.

MIBUS, H.-P (1977): Hydrogeologická závěrečná zpráva detailní průzkum Sebnitz /Hydrogeologischer Ergebnisbericht Detailerkundung Sebnitz. - VEB Hydrogeologie, 30.06.1977, nepublikováno

MIBUS, H.-P. (1981): Závěrečná zpráva z trubkové sondy podzemních vod Schmilka /Abschlussbericht GWBR Schmilka. - VEB Hydrogeologie, 19.11.1981, nepublikováno

MIBUS, H.-P. (1996): Bericht über die Abteufung der Bohrungen Grenzgrundwasser Großer Zschand 1 und 1a/95 mit Ausbau zur Grundwassermessstelle. - G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, NL Dresden, 21.10.1996, nepublikováno

MIBUS, H.-P.; SZYMCZAK, P. (1997): Posudek k vývoji a prognóze dynamiky podzemních vod v oblasti Hinterhermsdorfu (okres Saské Švýcarsko) a Hřenska (ČR) / Gutachten zur Entwicklung und Prognose der Grundwasserdynamik im Gebiet Hinterhermsdorf (Landkreis Sächsische Schweiz) und Hrensko (Tschechische Republik). - G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH, 28.08.1997, nepublikováno

Nakládal, V. (1975): Tlustecký blok – hydrogeologický průzkum. Zpráva z 1. etapy a ideový projekt II. etapy, Stavební geologie, Praha.

Nakládal, V. (1990): Hřensko – prameniště. Zpráva o výsledcích geologickoprůzkumných prací. Stavební geologie. Praha.

Nol, O. (2009): Hydraulický model jetřichovické antiklinály in Skořepa J. (2011): Hydrogeologický průzkum širšího okolí Hřenska. Závěrečná zpráva za období 2007 - 2009. AQUATEST a.s., Praha.

Skořepa, J. (2007): Hydrogeologický monitoring hraničních povodí Kamenice a Křinice v Národním parku České Švýcarsko a CHKO Labské pískovce. Závěrečná zpráva za rok 2007. AQUATEST a.s., Praha.

Skořepa, J. (2011): Hydrogeologický průzkum širšího okolí Hřenska. Závěrečná zpráva za období 2007 - 2009. AQUATEST a.s., Praha.

Rösner, S., P. Szymczak, R. Höhn (2008) Zustandsüberwachung Grenzgrundwasser / Operatives Messnetz. G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH. Freiberg.

Šimek P. (2013): Stáří a mísení podzemních vod. Oblast 1: Hřensko - Křinice/Kirnitzsch. - závěrečná zpráva, projekt GRACE 2012-13, MS VÚV TGM, v.v.i. Praha

Valečka, J., Herčík F., Herrmann Z. (1999): Hydrogeologie české křídové pánve, Český geologický ústav. Praha

Další podklady:

Vodohospodářská studie hraničních vod Křinice. Praha, 1984

Dočasná skupina expertů pro hraniční podzemní vody mezi ČSSR a NDR: Vodohospodářská studie hraničních vod Křinice. 1984.

<http://geoportal.gov.cz/web/guest/home>

<http://www.chmi.cz>

<http://www.mzp.cz>

<http://www.vuv.cz>