

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

Studijní program: Aplikovaná geologie
Studijní obor: Aplikovaná geologie



Mgr. Tomáš Lipanský

**Dlouhodobý režim proudění podzemních vod
v hlubokých pánevních kolektorech
na příkladu ovlivnění hydrogeologických poměrů české křídové
pánve hornickou činností v okolí Stráže pod Ralskem**

**Long-term groundwater regime in multilayered
water-bearing systems
on the example of uranium mining impact on groundwater
conditions of the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic**

Doktorská disertační práce

Vedoucí závěrečné práce / Školitel:
RNDr. Josef V. Datel, Ph.D.

Praha, 2016

Prohlášení:

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

V Praze, 1. 7. 2016

Tomáš Lipanský

Poděkování:

Poděkování patří mému školiteli RNDr. J. V. Datlovi, Ph.D., za vedení práce a umožnění participace na projektu „Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem“, jehož dílčí část se stala základem pro zpracování této disertační práce.

Za poskytnutí dat dlouhodobého hydrogeologického monitoringu děkuji Státnímu podniku DIAMO o.z. Těžba a úprava uranu Stráž pod Ralskem a Českému hydrometeorologickému ústavu. Pracovníkům těchto organizací děkuji za poskytnutí konzultací a četných rad.

Společnosti Watersystem Praha děkuji za poskytnutí podpory a zázemí.

A dále děkuji všem, kdo mě podporovali během studia a zpracování této práce.

Obsah:

1. Úvod, cíl a uspořádání práce.....	10
2. Charakteristika území	13
2.1. Geografické a geomorfologické vymezení území	13
2.2. Geologické poměry území.....	14
2.3. Tektonika	17
2.4. Hydrogeologické poměry území	22
2.5. Hydrologické poměry	30
2.6. Stručná historie průzkumných prací a těžby radioaktivních surovin	30
3. Metodika	38
4. Významné momenty vývoje hydraulického systému.....	42
5. Monitorovací sítě podzemních vod.....	44
5.1. Monitorovací síť s. p. DIAMO, o. z. TÚU	44
5.2. Monitorovací síť ČHMÚ	46
5.3. Vývoj monitorovací sítě.....	51
6. Hodnocení piezometrických poměrů a ovlivnění režimu podzemních vod	53
6.1. Cenomanská zvodeň strážského bloku	53
6.2. Cenomanská zvodeň strážského bloku - skupiny vrtů	72
6.3. Hladinové poměry v širší oblasti	79
7. Rozsah ovlivnění režimu podzemní vody na základě analýzy směrodatných odchylek.....	88
8. Korelace hladin ve strážském bloku.....	93
9. Korelace hladin přes pásmo strážského zlomu	98
10. Diskuse a závěr.....	102
Literatura.....	106

Seznam obrázků:

- Obr. 1. Rozsah zkoumané oblasti na podkladu geografické mapy
- Obr. 2. Výřez mapy zlomů České křídové pánve.
- Obr. 3. Lužická porucha - komplikovaná tektonická struktura v infiltrační oblasti křídových zvodní, a) u obce Křížany, b) u obce Frýdštejn, c) v oblasti Suchých skal.
- Obr. 4. Přehledná mapa zájmového území.
- Obr. 5. Rozsah hranic interpolačních sítí pro strážský a tlustecký blok a linie podélného profilu piezometrickým povrchem
- Obr. 6. Vývoj počtu monitorovaných objektů podzemních vod v jednotlivých zvodních. Vysvětlivky: CS - cenomanská zvodně strážského bloku, TS - turonská zvodně strážského bloku, CT - cenomanská zvodně tlusteckého bloku, TT - turonská zvodně tlusteckého bloku.
- Obr. 7. Vývoj celkového počtu monitorovaných objektů podzemních vod
- Obr. 8. Mapa sledovaných vrtů v zájmové oblasti - sítě DIAMO a ČHMÚ.
- Obr. 9. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1967. V obrázku jsou pro lepší orientaci zobrazeny dobývací plochy DH I a DK I a kontury vyluhovacích polí DCHT a hydrobariér (v roce 1967 ještě neexistujících).
- Obr. 10. Hydrogeologická mapa cenomanské zvodně - 1967 (Lusk 2015)
- Obr. 11. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1970. V širší oblasti mimo vznikající depresní kužel odvodnění hlubinné těžby se jedná o neovlivněný stav.
- Obr. 12. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1990 - užší oblast.
- Obr. 13. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1990 - širší oblast.
- Obr. 14. Průběh odvodnění bazálního kolektoru strážského bloku (1967-1990) v části Profilu 1
- Obr. 15.: Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1970 a 1990 - užší oblast
- Obr. 16. Cenomanská zvodně v okolí objektů hlubinné těžby s vyznačením významných změn
- Obr. 17. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1970 a 1990.
- Obr. 18. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 2001 před zahájením zatápění - užší oblast.
- Obr. 19. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1990 a 2001 - užší oblast před zahájením zatápění.
- Obr. 20. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 2000.
- Obr. 21. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1990 a 2000.
- Obr. 22. Průběh úvodní fáze zatápění prostoru hlubinné těžby (DH I) s vyznačením významných momentů průběhu zatápění a velikosti ročních vzestupů úrovně hladiny
- Obr. 23. Graf úrovně hladin důlních vod (DK I a DH I) při zatápění prostoru hlubinné těžby
- Obr. 24. Průběh odvodňování, udržovaného osušení a následného zatápění prostoru hlubinné těžby (DH I), s odhadem budoucího vývoje. Celkový vzestup úrovně hladiny v cenomanské zvodni od 23.4.2001 do konce roku 2014 celkem 125 m.
- Obr. 25. Průběh zatápění bazálního kolektoru strážského bloku (1990-2014) v části Profilu 1.
- Obr. 26. Průběh hladin v prostoru vyluhovacích polí chemické těžby (DCHT), s odhadem budoucího vývoje.
- Obr. 27. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 2008.
- Obr. 28. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2001 a 2008
- Obr. 29. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2007 a 2008.
- Obr. 30. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku ke konci roku 2014.
- Obr. 31. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2000 a 2014 - změna úrovně hladiny od zahájení zatápění prostoru hlubinné těžby.
- Obr. 32. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2013 a 2014 - současná meziroční rychlost změn úrovně hladiny podzemní vody.

- Obr. 33. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1970 a 2014
- Obr. 34. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru DH I, okolí jámy č. 1.
- Obr. 35. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru DH I, okolí jámy č. 2.
- Obr. 36. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v okolí dolu Hamr I.
- Obr. 37. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru DH II, okolí jámy 6 a 7.
- Obr. 38. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru vyluhovacího pole VP 6.
- Obr. 39. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v okolí Osečné a Kotle.
- Obr. 40. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v okolí obcí Břevniště, Křížany a Rozstání.
- Obr. 41. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v blízkosti lužické poruchy.
- Obr. 42. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru hydraulické bariéry Stráž.
- Obr. 43. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru vyluhovacích polí DCHT.
- Obr. 44. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v jihozápadním a jižním předpolí DCHT.
- Obr. 45. Hydroizohypsy turonské zvodně strážského bloku a zvodní tlusteckého bloku, v roce 1970.
- Obr. 46. Reakce turonské zvodně na průval v dobývací komoře DH I.
- Obr. 47. Hydroizohypsy turonské zvodně strážského bloku a zvodní tlusteckého bloku, v roce 1990.
- Obr. 48. Turonská zvodně v prostoru DCHT (výběr).
- Obr. 49. Hydroizohypsy turonské zvodně strážského bloku a zvodní tlusteckého bloku, v roce 2000.
- Obr. 50. Hydroizohypsy turonské zvodně strážského bloku a zvodní tlusteckého bloku, v roce 2014.
- Obr. 51. Turonská zvodně strážského bloku (výběr).
- Obr. 52. Cenomanská zvodně strážského bloku - vrty ČHMÚ.
- Obr. 53. Turonská zvodně strážského bloku - vrty ČHMÚ.
- Obr. 54. Cenomanská zvodně tlusteckého bloku - vrty ČHMÚ.
- Obr. 55. Turonská zvodně tlusteckého bloku - vrty ČHMÚ.
- Obr. 56. Hodnoty směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin v jednotlivých vrtech - turonská zvodně tlusteckého bloku.
- Obr. 57. Hodnoty směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin v jednotlivých vrtech - cenomanská zvodně tlusteckého bloku.
- Obr. 58. Rozložení četností hodnot směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin ve zvodních CS, TS, CT a TT.
- Obr. 59. Porovnání hodnot směrodatných odchylek mezi zvodněmi CS, TS, CT a TT.
- Obr. 60. Izolinie hodnot směrodatných odchylek souboru měřených hladin podzemní vody v cenomanské zvodni strážského a tlusteckého bloku.
- Obr. 61. Izolinie hodnot směrodatných odchylek souboru měřených hladin podzemní vody v turonské zvodni strážského a tlusteckého bloku.
- Obr. 62. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 1970
- Obr. 63. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 1990
- Obr. 64. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 2000
- Obr. 65. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 2014
- Obr. 66. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, v blízkosti lužické poruchy.
- Obr. 67. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, severozápadně od dolu Křížany.
- Obr. 68. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, severně od Hamru na Jezeře.
- Obr. 69. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, na úrovni hydrobariéry Stráž.
- Obr. 70. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, severozápadní okraj vyluhovacích polí DCHT.
- Obr. 71. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, jihozápadně od České Lípy (Blíževedly).

Seznam tabulek:

- Tabulka 1: Označení hydrogeologických těles
- Tabulka 2: Rozsah vrtné činnosti ve strážském bloku
- Tabulka 3: Rozmezí souřadnic JTSK sítě interpolovaných hodnot pro strážský a tlustecký blok
- Tabulka 4: Významné momenty vývoje hydraulického systému na ložiscích Hamr pod Ralskem - DH I, DH II a Břevniště pod Ralskem - DK I (hlubinná těžba)
- Tabulka 5: Významné momenty vývoje hydraulického systému na ložisku Stráž pod Ralskem (hydrochemická těžba)
- Tabulka 6: Objekty významné pro vývoj hydraulického systému:
- Tabulka 7: Vrtý sítě ČHMÚ v cenomanské zvodni strážského bloku - CS
- Tabulka 8: Vrtý sítě ČHMÚ v turonské zvodni strážského bloku - TS
- Tabulka 9: Vrtý sítě ČHMÚ v cenomanské zvodni tlusteckého bloku - CT
- Tabulka 10: Vrtý sítě ČHMÚ v turonské zvodni tlusteckého bloku - TT

Seznam zkratek:

- DCHT důl chemické těžby
- DH důl Hamr
- DK důl Křížany
- HB hydraulická bariéra
- DCS DIAMO coordinate system - souřadný systém používaný s.p. DIAMO o.z. TÚU
- JTSK souřadný systém „Křovák“
- ČKP česká křídová pánev
- VP vyluhovací pole chemické těžby
- CS cenomanská zvodně strážského bloku
- TS turonská zvodně strážského bloku
- CT cenomanská zvodně tlusteckého bloku
- TT turonská zvodně tlusteckého bloku
- s. p. DIAMO o. z. TÚU Státní podnik DIAMO, odštěpný závod těžba a úprava uranu Stráž pod Ralském
- ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav
- ISL in situ leaching - chemická těžba in situ
- ZTR zbytkové technologické roztoky

Abstrakt:

Práce předkládá hodnocení vývoje režimu podzemních vod zvrstveného vícekolektorového zvodněného systému české křídové pánve v oblasti předpokládaného maximálního dosahu ovlivnění podzemních vod těžbou radioaktivních surovin v okolí Stráže pod Ralskem. Hlavním směrem práce bylo zpracování mapových interpolací dat z monitoringu úrovní hladin podzemní vody v jednotlivých zvodních zkoumané oblasti a popis režimu podzemních vod na základě změřených dat.

Sestavené mapy piezometrických povrchů jednotlivých zvodní umožňují představu dlouhodobého vývoje režimu podzemních vod. Toho bylo dosaženo i přesto, že tato práce není založena na hydraulickém modelu, ale interpolaci dat z terénního monitoringu. Mapy a gridové soubory piezometrických povrchů je tedy vhodné použít pro kalibraci hydraulických modelů v zájmovém území.

Hladina cenomanské zvodně byla v letech 1970 až 2001 v prostoru hlubinné těžby uranu snížena až o 170 metrů, s dosahem ovlivnění více než 50 km, od infiltrační oblasti při lužické poruše k oblasti drenáže v údolí Labe. Rozsah ovlivnění piezometrického povrchu bazální křídové zvodně je výrazně větší (600-700 km²) než rozsah ovlivnění chemizmu podzemních vod kyselým loužením radioaktivních surovin in situ (24-27 km²). Pozitivem však je, že takto rozsáhlý zásah bazální zvodně ve vícevrstevném zvodněném systému nezpůsobil výrazné ovlivnění ostatních zvodní v zájmové oblasti.

Při současné rychlosti zatápění zbytkové piezometrické deprese v jednotkách metrů ročně lze předpokládat přiblížení piezometrických poměrů přírodním podmínkám během několika desetiletí. Možnost návratu k přírodnímu režimu podzemních vod v prostoru DCHT a jeho jižním a jihojihozápadním předpolí však závisí především na provozu sanačních technologií v budoucnosti. Na takto rozsáhlý zásah do režimu podzemních vod v bazálním křídovém kolektoru je nutné nahlížet v kontextu jeho dlouhodobého vývoje.

Na základě zjištěného dalekosáhlého vlivu odvodnění a zatápění prostoru těžby radioaktivních surovin na piezometrický povrch bazální cenomanské zvodně směrem k jihozápadu, tedy ve směru přirozeného proudění podzemních vod, je vhodné nazývat celé území boleslavsko-mělnického zvodněného systému přiléhající ke středohorskému zlomovému pásmu (od infiltrační oblasti při lužické poruše oblasti drenáže v údolí řeky Labe) jako *strážský blok v širším smyslu*.

Pozn. Práce není zaměřena na hodnocení ovlivnění chemizmu podzemních vod důlní činností a chemickou těžbou uranu.

Abstract:

This thesis summarises the development of groundwater regime in a multilayered water-bearing system of the Bohemian Cretaceous Basin in maximal proposed extent of area where the groundwater regime had been affected by mining of radioactive materials near Stráž pod Ralskem. The aim of the work was to describe the groundwater regime on the basis of measured monitoring data and map interpolations.

The former Uranium mining from Cenomanian sandstone sediments represents the largest human impact on the natural groundwater flow of a multilayered water-bearing system within both the Bohemian Cretaceous Basin and the Czech Republic.

Newly created graphs and maps of piezometric surfaces bring an insight into the dynamics of the Bohemian Cretaceous Basin water-bearing system and give an idea of long-term groundwater heads and flow directions development in the studied area. This was achieved despite the fact that this study does not present a hydraulic model, but an interpolation of monitoring data. Maps and grids of piezometric surfaces can be used for calibration of hydraulic models in the area of interest.

Piezometric surface of the Cenomanian aquifer in the Stráž block was lowered by 170 m due to an underground uranium mining, with an affected area of more than 50 km along the regional flow direction, from infiltration to drainage area. The extent of the piezometric surface affected is several times larger (600-700 km²) than the area directly affected by chemicals used in acid in situ leaching (24-27 km²). Other aquifers, especially the Turonian aquifer widely used as a water supply, have not been seriously affected.

At the current rate of flooding of residual depression, the piezometric surface may reach the pre-mining state within several decades. Possibility of returning to the natural groundwater regime in the in-situ leaching area and its forefield depends on the regime of remediation technology used at those sites in the future. Such an extensive intervention into the groundwater regime has to be seen in the context of its long-term development.

Based on the recorded far-reaching influence of mining drainage and flooding on the piezometric surface of the Cenomanian aquifer towards southwest, ie. in the natural direction of groundwater flow, it is appropriate to refer to the entire area of the Boleslav-Mělník water-bearing system adjacent to Středohoří Fault Zone (from the infiltration area at Lužice fault to the drainage area in the Labe river valley) as the *Stráž block in the wider sense*.

This thesis does not describe changes in groundwater quality caused by underground uranium mining or in-situ leaching.

1. Úvod, cíl a uspořádání práce

Dřívější těžba radioaktivních surovin v okolí Stráže pod Ralskem představuje největší antropogenní zásah do přirozeného režimu proudění podzemních vod na území české křídové pánve i celé České Republiky, jak z hlediska doby trvání, tak i plošného dosahu ovlivnění hladin podzemní vody zejména v bazálním křídovém kolektoru.

Cílem práce je popis režimu proudění podzemních vod ve zvrstvených vícekolektorových systémech v dlouhodobém časovém horizontu, se zaměřením na ovlivnění přirozeného režimu podzemních vod výraznými antropogenními zásahy.

Hlavním studovaným antropogenním zásahem je dřívější dlouhodobá hornická činnost a pozdější sanační aktivity státního podniku DIAMO v okolí Stráže pod Ralskem.

Zkoumaná oblast předpokládaného maximálního dosahu ovlivnění režimu podzemních vod aktivitami s. p. DIAMO o. z. TÚU Stráž pod Ralskem je vymezena přibližně severovýchodní hranicí křídových sedimentů v oblasti lužické poruchy, na jihovýchodě tokem Jizery po její ústí do Labe, na jihozápadě tokem Labe po Litoměřice a na severozápadě přibližně spojnici měst Litoměřice a Hrádek nad Nisou. Z regionálně-hydrogeologického hlediska se zkoumaná oblast nachází při hranici dvou zvodněných systémů - *boleslavsko-mělnického* na jihovýchodě a *benešovsko-ústeckého* na severozápadě, vzájemně oddělených *středohorským zlomovým polem* a zejména jeho severovýchodní částí - *strážským zlomem* (zlomovým polem), probíhajícím zhruba ve směru SV-JZ.

Přestože se jedná o území s velmi podrobnou prozkoumaností v rámci mnoha geologických disciplín (např. Coubal et al. 1993, Fiedler 1999, Slezák 2001, Charvát et al., 2008, Datel 2009 a další), kde bylo zpracováno několik hydraulických a transportních modelů (např. Herčík a Kůrka 1990, Lietava 2000, Novák et al. 2000, Novák 2001, Čermáková 2002, Mužák & Novák 2002, Novák et al. 2002, Hokr et al. 2004, Datel 2009) a dopady hornické činnosti na životní prostředí popisuje řada prací českých i zahraničních (např. Datel & Ekert 2008, Ekert 2008, Ekert & Mužák 2010, IAEA 2005a,b, Krásný et al. 2012, Lusk 1998, Mužák 2008, Slezák 2001, Smetana et al. 2002, Pačes et al. 2008, Balatka et al. 2006, Novák 2001), nebyl dosud uspokojivě popsán regionální dosah kvantitativního ovlivnění podzemních vod hornickou činností, zejména ovlivnění piezometrického povrchu bazální křídové zvodně v území od oblasti infiltrace při Lužické poruše na severovýchodě po oblast drenáže v údolí Labe na jihozápadě.

Podobně je tomu i v případě četných ložisek radioaktivních surovin ve světě. Řada ložisek v rozmanitých geologických formacích byla nebo stále je těžena různými způsoby, jako je klasická hlubinná těžba, povrchová těžba nebo chemická těžba loužením in-situ (ISL).

Této tématice se věnují četné publikované články, které popisují geologické, mineralogické, technologické, hospodářské nebo environmentální aspekty, jako je geochemie podzemních vod, jejich znečištění a sanace (např. IAEA 1993, IAEA 2005a, Wolkersdorfer & Bowel 2005, Taylor et al. 2004, Zielinski et al. 2007, Adams & Younger 2001, Robertson et al. 2016, Merkel et al., 2002). V podobných hydrogeologických podmínkách jako ložiska v okolí Stráže pod Ralskem - rovněž v bazálním kolektoru křídové pánve - bylo dříve těženo ložisko Königstein u Drážďan v Německu, jak klasickou hlubinnou těžbou, tak i chemickým loužením z podzemí (Klinger et al. 2000, Merkel 2002, Paul et al. 2013, Jenk et al. 2014). Popis regionálního dosahu ovlivnění piezometrických poměrů jednotlivých zvodní však ani u tohoto ložiska není publikován.

Problematika odvodňování a následného zatápění těžebních lokalit v různých zemích je též v literatuře popisována, převážně však se zaměřením na vlastní prostor těžby, nebo jeho blízké okolí (IAEA 1993, IAEA 2005a, Paul et al. 2006, Jakubick et al. 2002, Merkel 2002, Merkel et al., 2002).

Regionální rozsah a dlouhodobý vývoj vlivu těžebních aktivit na režim hladin podzemních vod je však zmiňován zřídka, a to navzdory skutečnosti, že jeho rozsah může být podstatně větší, než ovlivnění chemismu podzemních vod, zejména ve vícekolektorových sedimentárních pánvích.

Práce shrnuje přírodní poměry zájmové oblasti se zaměřením na geologické, tektonické a hydrogeologické podmínky proudění podzemních vod; shrnuje zásadní technické události, které znamenaly významné ovlivnění režimu podzemních vod v období od zahájení průzkumných prací do současnosti. Dále je uvedena charakteristika monitorovacích sítí podzemních vod v zájmové oblasti a dostupných dat monitoringu hladin podzemní vody. V další části jsou analyzovány hladinové poměry cenomanské a turonské zvodně strážského a tlusteckého bloku, se zaměřením na rozsah ovlivnění režimu podzemních vod, vymezení oblastí s podmínkami pro možnost vzniku mezikolektorového přetoku a vlivu pásma strážského zlomu na šíření tlakových změn ve zvodních.

Hlavním směrem práce bylo zpracování mapových interpolací dat z monitoringu úrovní hladin podzemní vody v jednotlivých zvodních zkoumané oblasti a popis režimu podzemních vod na základě změřených dat.

Cílem práce nebylo zpracování hydraulického modelu proudění vod v zájmovém území. Práce není zaměřena na hodnocení ovlivnění chemizmu podzemních vod důlní činností a chemickou těžbou uranu.

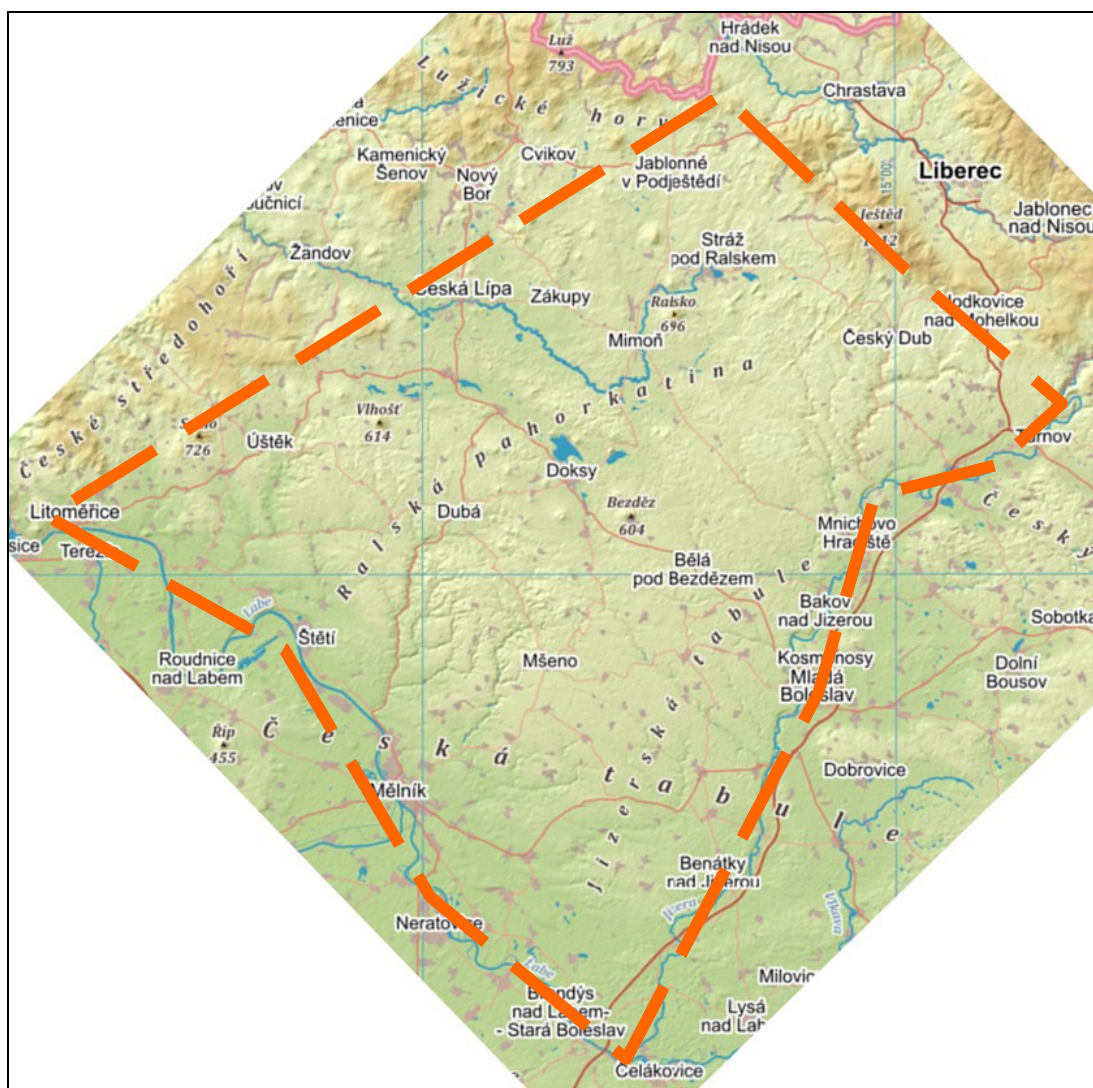
Práce byla z větší části vytvořena v rámci úkolu „Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem“ (Datel 2009) a její dílčí části „Monitoring podzemních vod, analýza stavu, návrh optimalizace“ (Lipanský 2009) a aktualizována k stavu v roce 2014.

V rámci přípravy disertační práce byl zpracován článek „Long-term monitoring of uranium mining effect on regional groundwater flow, Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic“, který byl odeslán do recenzovaného odborného časopisu *Mine Water and the Environment* (Lipanský 2016).

2. Charakteristika území

2.1. Geografické a geomorfologické vymezení území

Zkoumaná oblast předpokládaného maximálního dosahu ovlivnění režimu podzemních vod aktivitami s. p. DIAMO o. z. TÚU Stráž pod Ralskem je vymezena přibližně severovýchodní hranicí křídových sedimentů v oblasti lužické poruchy, na jihovýchodě tokem Jizery po její ústí do Labe, na jihozápadě tokem Labe po Litoměřice a na severozápadě přibližně spojnici měst Litoměřice a Hrádek nad Nisou.



Obr.1. Rozsah zkoumané oblasti na podkladu geografické mapy

Ze správného hlediska leží území převážně v Libereckém kraji, jihovýchodní část území leží v kraji Středočeském a menší část území na jihozápadě leží v Ústeckém kraji. Území leží v okresech Liberec, Česká Lípa, Mladá Boleslav, Mělník a Litoměřice.

Dle regionálně geomorfologického členění reliéfu České republiky (Bína&Demek 2012) náleží zájmové území k soustavě Česká tabule (VI). Větší část zájmového území leží v podsoustavě Severočeská tabule (VIA), celku Ralská pahorkatina (VIA-1) a jeho podcelkům Dokeská pahorkatina (VIA-1A) a Zákupská pahorkatina (VIA-1B). Východní okraj zájmového území náleží celku Jičínská pahorkatina (VIA-2), podcelku Turnovská pahorkatina (VIA-2A). Jihovýchodní část zájmového území náleží do podsoustavy Středočeská tabule (VIB), celku Jizerská tabule (VIB-2) a podcelkům Středojizerská tabule (VIB-2A) a Dolnojizerská tabule (VIB-2B).

2.2. Geologické poměry území

Česká křídová pánev představuje největší zvodnělou strukturu v rámci českého masivu. Je typickou hydrogeologickou vícekolektorovou pánví. Současná plocha výchozů křídových sedimentů, překrytých jen kvartérními fluvialními sedimenty je přibližně 14 600 km², z nichž 12 480 km² leží na území České Republiky (Herčík et al. 2003). Pánev je prodloužená ve směru severozápad - jihovýchod. V podélném směru má největší délku 290 km, v příčném směru přibližně 100 km (Krásný et al. 2012).

Předkřídové podloží pánve je budováno horninami vulkanosedimentárního komplexu permokarbonského stáří a krystalickými horninami lužické a sasko-durynské oblasti (Valečka 2009, Skácelová et al. 2011). Krystalinické podloží vytváří společně s jeho permokarbonským pokryvem poměrně zarovnaný reliéf, na jehož povrch se v období křídý ukládaly mocné sedimenty, tvořící dnes českou křídovou pánev (Skácelová et al. 2011). Předkřídové podloží bylo později společně s pánevními sedimenty porušeno a vertikálně rozčleněno tektonickými pohyby v předpolí vznikajícího alpského horstva.

Sedimentace v období křídý začala ve spodním cenomanu, možná už i na konci albu, pokračovala až do santonu a trvala přibližně 13-15 milionů let. Sedimentární komplex je tvořen převážně klastickými sedimenty rozmanitých zrnitostních frakcí a karbonáty a je odrazem proměnlivého charakteru sedimentačního prostoru, kde došlo k několika epizodám transgrese a regrese mělkého epikontinentálního moře (Krásný et al. 2012). Litostratigraficky jsou sedimenty děleny do **šesti souvrství**: nejstarší **perucko-korycanské** (cenoman) a dále **bělohorské**, **jizerské**, **teplické** (turon), **březenské** (coniac) a **merboltické** (santon). Dochovaná mocnost sedimentů je dosahuje obvykle 200-400 m. Největší a zároveň úplná mocnost sedimentů české křídové pánve dosahuje na děčínsku 1000 až 1100 m (Herčík et al. 2003).

Významnou geologicko-hydrogeologickou charakteristikou zájmového území, ležícího v severní části české křídové pánve, je jeho příslušnost k tzv. **severnímu progradacnímu areálu** – (Krásný et al. 2012, Valečka 1999), dříve označovanému jako lužická a jizerská faciální oblast (Krásný et al. 2012). Tento progradacní areál se vyznačuje naprostou převahou či významným zastoupením pískovcových těles, vzniklých erozí a transportem materiálu ze zdrojových oblastí tzv. západosudetského ostrova, v době sedimentace vynořenému z křídového moře v prostoru severovýchodně od zájmového území. Pískovcová tělesa vytvářejí mocné, rozsáhlé a dobře propustné hydrogeologické kolektory s prouděním podzemních vod regionálního rozsahu. Značných mocností dosahují pískovcové kolektory především podél lužické poruchy v území sv. od České Kamenice a Jablonného v Podještědí, kde v tzv. **přízdrojovém areálu** tvoří celou výplň české křídové pánve, dosahující mocnosti až kolem 750 m. Z tohoto území k okrajům progradacního areálu, tedy směrem k JZ, J a JV, se zrnitost i mocnost pískovců všeobecně zmenšuje, s odlišnou rychlostí v různých litostratigrafických jednotkách, a významněji se uplatňují hydrogeologické izolátory, v uvedených směrech tvořené stále mocnějšími písčito-jílovitými a vápnito-jílovitými polohami, oddělovajícími hydrogeologické kolektory. Při okrajích zvodněných systémů mohou tyto málo propustné sedimenty zcela převládat. V rámci tohoto všeobecného litologického schématu, určujícího prostorové rozdělení hydrogeologických těles a charakter proudění podzemních vod, jsou hydrogeologické poměry v různé míře ovlivňovány zlomy a zlomovými poli i dalšími nehomogenitami - žilami a dalšími tělesy terciérních neovulkanitů.

Bazální **perucké vrstvy**, které vyplňují a zarovnávají deprese předkřídového reliéfu, jsou tvořeny terestrickými, tj. říčními, jezerními a deltovými sedimenty, které jsou s postupem mořské transgrese vystřídány oscilačně marinními a brakickými sedimenty. Perucké vrstvy sestávají většinou z bazálních brekcií a slepenců a výše obvykle z cyklicky uspořádaných, do nadloží zjemňujících poloh, přecházejících do jílovců. Celková mocnost peruckých vrstev dosahuje až 20 m.

Mořská transgrese, reprezentovaná **korycanskými vrstvami**, postupovala ve více fázích (Uličný 2001, Uličný et al. 2009a) V korycanských vrstvách o průměrné mocnosti kolem 60 m převládají jemně až středně zrnité pískovce s proměnlivým obsahem základní hmoty. V přízdrojovém areálu při lužické poruše dosahuje mocnost pískovců místy i více než 100 m (max. 120 m). Mocnost pískovců klesá směrem do centra pánve na 10-25 m (při údolí Labe), kde postupně na přecházejí v nejvyšší části do jemně písčitých jílovitých prachovců.

Perucko-korycanské souvrství je v terminologii s. p. DIAMO děleno s ohledem na provozní potřeby na několik odlišných poloh. Naspodu jsou prachovce a písčito-prachovité brekcie peruckých vrstev „kontinentálního cenomanu“ se značením jednotlivých poloh A₁-A₃. Korycanské vrstvy sestávají z tzv. „rozmyvu“ (B₁-B₃) a v jeho nadloží z rozpadavých pískovců

(C) a fukoidových prachovitých pískovců (D) až po přechodovou zónu prachovců (E) při rozhraní s bělohorským souvrstvím.

Písčité sedimenty perucko-korycanského souvrství vytvářejí **bazální cenomanský kolektor**, rozšířený v celém zájmovém území i ve většině území české křídové pánve.

Litologicky výrazné rozhraní mezi perucko-korycanským souvrstvím a mladším bělohorským souvrstvím odpovídá stratigrafickému rozhraní cenoman - turon a přechodu sedimentace do typicky marinního charakteru (Uličný et al. 2009b).

Mladší marinní sedimenty jsou charakterizovány dvěma odlišnými faciemi v závislosti na vzdálenosti od zdrojové oblasti. Pro přízdrojovou facii je charakteristická přítomnost hrubozrnných křemenných pískovců až slepenců s proměnlivým podílem základní hmoty a mírou tmelení. Tyto hrubozrnné sedimenty vytvářejí nejvýznamnější **hlavní - turonský kolektor** s regionálním prouděním. Naproti tomu pánevní facie / areál je charakterizován přítomností jemnozrnných sedimentů (prachovce, jílovce, vápnité prachovce - opuky), které směrem do centra sedimentární pánve převládají nad pískovci a vytvářejí rozsáhlé hydrogeologické (polo)izolátory (Herčík et al. 1999, Krásný et al. 2012). Jsou odrazem hlubokovodní mořské sedimentace ve větší vzdálenosti od zdrojové oblasti (Uličný et al. 2009b).

Bělohorské souvrství (spodní turon) je ve své spodní části většinou zastoupeno slínovci, příp. spongolity, které vzhůru postupně přecházejí do křemenných pískovců. Při lužické poruše jsou slínovce málo mocné nebo zcela chybí a vyskytují se zde jen pískovce. Naopak v okrajových částech progradačního areálu přecházejí pískovce ve svrchní části bělohorského souvrství do slínovců, které spolu se slínovci nadložních souvrství vytvářejí mocný hydrogeologický izolátor. V zájmovém území v okolí Stráže pod Ralskem převládá v bělohorském souvrství nejprve pelitický vývoj, výše přecházející do prachovců až pískovců při hranici s jizerským souvrstvím. Obvykle není možno na základě litologických rozdílů sedimenty bělohorského a jizerského souvrství odlišit. V s. p. DIAMO se v bělohorském souvrství vymezují při jeho bázi kalové vápence (F) a v jejich nadloží slínovce (G) a prachovce (H), které přecházejí písčítými prachovci (I) do jizerského souvrství.

Jizerské souvrství je v přízdrojovém areálu při lužické poruše vyvinuto převážně v pískovcovém až slepencovém vývoji a dosahuje svých maximálních mocností až kolem 400 m. Typický je cyklický vývoj pískovců od jemnozrnných, přes středně zrnité po hrubozrnné pískovce až štěrčíkovité slepence, s mocnostmi cyklů od jednotek metrů po max. 60-70 m. . Směrem k JZ, v souvislosti s přechodem do jemnozrnnějšího vývoje sedimentů a s postupným nahrazováním pískovců prachovci až jílovci, se celková mocnost jizerského souvrství i mocnost pískovcových poloh podstatně zmenšuje. Ve vyzdviženém strážském

bloku je jizerské souvrství zastoupeno jen svou spodní částí, jehož neúplná mocnost zde dosahuje pouhých několika desítek metrů. Cyklickou sedimentaci podrobně popisuje Uličný (2001, 2009a, 2009b) a Uličný et al. (2001). V terminologii DIAMO jsou v nadloží písčitých prachovců (I) vymežovány prachovité pískovce (Y) a kvádrové pískovce (J).

Mladší křídová souvrství - **teplické (coniac) a březenské souvrství (santon)** jsou zachována pouze v tlusteckém bloku, tj. v benešovsko-ústeckém zvodněném systému. Jemně až středně zrnité pískovce jsou ve větších mocnostech vyvinuty opět jen v několik kilometrů široké zóně u lužické poruchy. Dále k JZ obě souvrství obvykle přecházejí do vápňitých jílovců až slínovců. Tato litologická změna je podstatně rychlejší u méně mocného teplického souvrství s obvyklou mocností mezi 35-60 m než u výrazně mocnějšího březenského souvrství. Z hydrogeologického hlediska je tato okolnost významná, protože v tlusteckém bloku vytvářejí pelity teplického souvrství nadložní izolátor pískovcovému kolektoru jizerského souvrství.

Cyklickou sedimentaci v rámci cenomanu a turonu podrobně popisuje Uličný (2001, 2009a, 2009b) a Uličný et al. (2001) a na základě jednotlivých cyklů dále dělí tyto stupně na dílčí epizody ve vývoji sedimentární pánve. Toto detailní dělení však nemá velký význam pro hodnocení ovlivnění hydrogeologického režimu v zájmovém území, zejména proto, že převážná většina monitorovacích hydrogeologických vrtů v jednotlivých zvodněných tělesech je otevřena přes generelně vymezené kolektory a izolátory a neumožňuje tak detailnější popis tlakových poměrů v dílčích sedimentárních cyklech.

2.3. Tektonika

Sedimentární výplň české křídové pánve byla společně s předkřídovým podložím porušena a vertikálně rozčleněna tektonickými pohyby v předpolí vznikajícího alpského horstva.

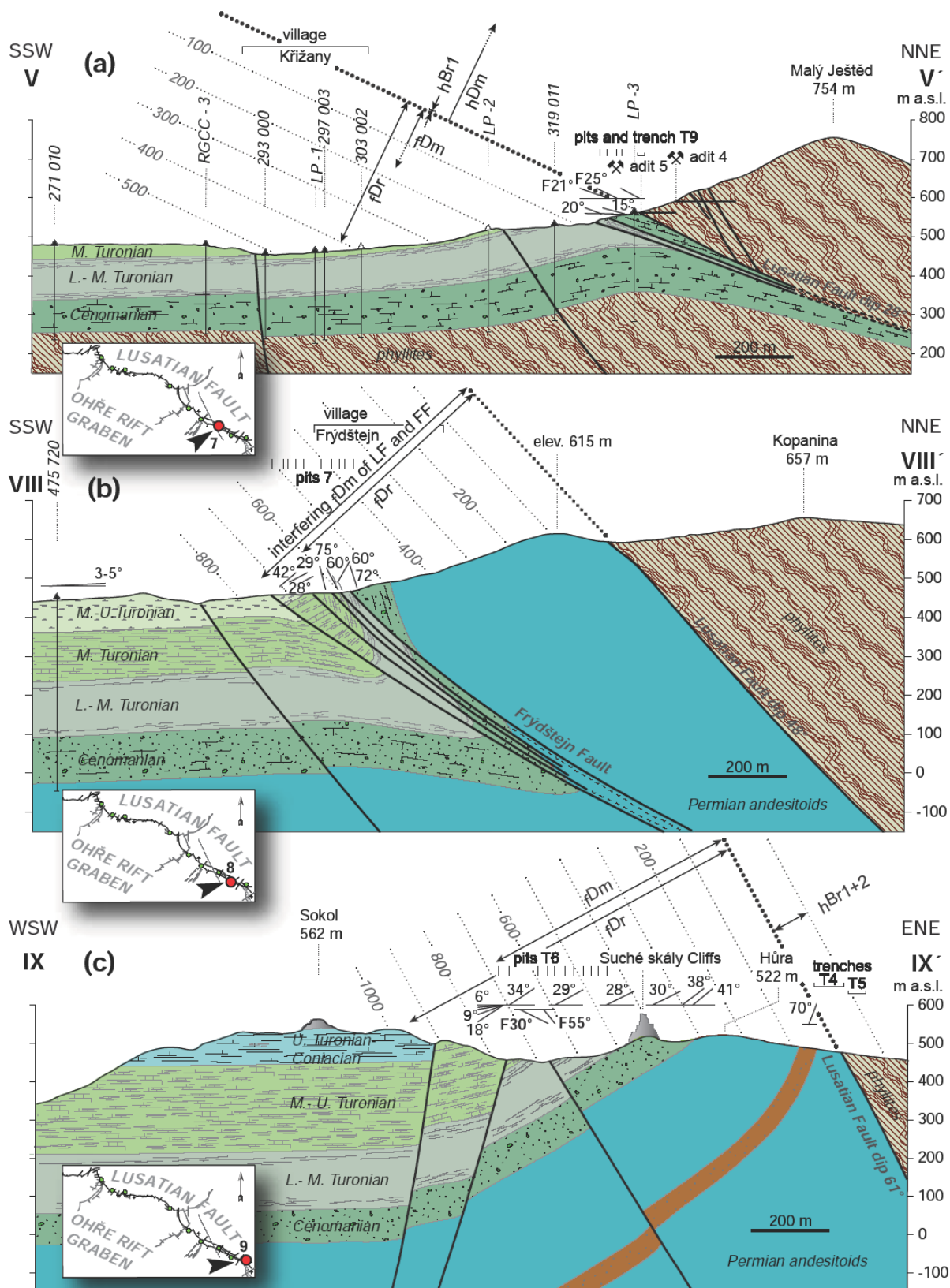
Hlavními zlomovými strukturami, které ohraničují zájmové území a rozdělují jej na dílčí části, jsou: **Lužická porucha** (lužická zlomová zóna) na severovýchodě, **Středohorská zlomová zóna** (zlomová zóna Českého středohoří) oddělující boleslavsko-mělnický a benešovsko-ústecký zvodněný systém, **Labská zlomová zóna** na jihozápadě a **Jizerská zlomová zóna** na jihovýchodě, viz. obr. 2.



Obr. 2. Výřez mapy zlomů české křídové pánve (Uličný et al. 2011)

Lužická porucha (zlomová zóna), představující severovýchodní tektonickou hranici české křídové pánve, je hluboká tektonická zóna labského směru, založená v období variského orogenního cyklu, později reaktivovaná v souvislosti s výzdvihem sudetského bloku během svrchní křídy až paleogénu. Lužická porucha odděluje horniny krkonoško-jizerského krystalinika a lužického plutonu na severovýchodě od mladších sedimentárních hornin permokarbonu a křídy na jihozápadě. Podél lužické poruchy došlo v rámci regionálního zkracování předpolí alpského orogénu k výzdvihu a přesunutí krkonoško-jizerského krystalinika a lužického plutonu přes mladší horniny permokarbonu a křídy. Relativní pozice horninových bloků přes pásmo zlomu ukazuje na vertikální posuny v řádu více než 1000 m. Celkový pohyb na zlomovém pásmu mohl však být i výrazně rozsáhlejší, neboť horniny krystalinika o mocnosti více než 3,6 km mohly být erodovány a přeneseny jako klastický materiál do prostoru české křídové pánve během turonu a mladších stupňů křídového útvaru (Coubal et al. 2014).

Velmi komplikovanou strukturu Lužické poruchy v úseku od strážského zlomu po Suché skály ukazuje Obr. 3, převzatý z práce Coubala et al. (2014).



Obr. 3. Lužická porucha - komplikovaná tektonická struktura v infiltrační oblasti křídových zvodní, a) u obce Křížany, b) u obce Frýdštejn, c) v oblasti Suchých skal (Coubal et al. 2014).

Další regionálně významnou tektonickou zónou, oddělující boleslavsko-mělnický zvodněný systém od benešovsko-ústeckého systému je **středohorská zlomová zóna** (středohorské zlomové pole - Krásný et al. 2012, zlomová zóna českého středohoří - Cajz et al. 2004), probíhající na vzdálenost 70 km od lužické poruchy k jihozápadu až západu k Velemínu sz. od Lovosic. Tato komplikovaná tektonická zóna představuje jihovýchodní okraj oherského riftu a je tvořena dílčími zlomy převážně směru severovýchod-jihozápad, strmě ukloněnými k severozápadu. Tyto hlavní zlomy jsou často rozčleněny a posunuty pravostrannými zlomy východo-západního směru. Podél středohorské zlomové zóny poklesla severní kra celkově o 400-700 m, s různou výškou pohybu na dílčích mezikrách zlomové zóny (Cajz et al. 2004).

Severovýchodní úsek Středohorské zlomové zóny představuje **strážský zlom / strážská zlomová zóna**, která dělí zájmové území na “**strážský blok**” na jihovýchodě a “**tlustecký blok**” na severozápadě od zlomového pásma.

Strážský zlom tak odděluje méně mocnou a tektonicky málo postiženou oblast boleslavsko-mělnického systému s maximy mocností křídových sedimentů do cca 200 m, a hluboko zapadlou benešovskou synklinálu náležející k benešovsko-ústeckému zvodněného systému, dosahující ve své osové části mocnosti až kolem 1000 m.

Strážský blok představuje tektonicky vymezenou vyzdviženou strukturu v předkřídovém podkladu (Skácelová et al. 2011). Severozápadní hranici tvoří strážský zlom, severovýchodní hranici tvoří lužická porucha, jihovýchodní hranici tvoří pásmo Čertových zdí - vypreparovaných vertikálních vulkanických žil. Jihozápadní hranice strážského bloku není jasně určena hydrogeologicky, ani tektonicky. Hradčanský zlom, který má podle Smetany et al. (2002) nebo IAEA (2005b) uzavírat strážský blok, byl doložen geofyzikálními měřeními pouze v krystalinickém podloží, ne však v sedimentárních formacích české křídové pánve (Kozáková&Pokorný 2009).

Jako tlustecký blok je v této práci uvažována pouze část benešovsko-ústeckého zvodněného systému s relativně jednoduchými tektonickými poměry (Cajz et al. 2004), přiléhající ze severozápadu ke středohorskému zlomovému pásmu.

Architekturu strážského zlomu podrobně analyzoval Krásný (2009) v rámci dílčí části Hydrogeologické poměry pásma strážského zlomu v rámci úkolu Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem (Datel 2009).

Krásný (2009) uvádí, že strážský zlom odděluje nejen dvě území s různým zastoupením litostratigrafických jednotek, ale také dvě strukturně zcela odlišné oblasti. Území benešovsko-ústeckého zvodněného systému je strukturně velmi komplikované.

Kromě okrajových zlomů vymežujících samotný zvodněný systém, v zájmovém území lužické poruchy a strážského zlomu, zde uvádí Valečka (in Herčík et al. 1999) nebo nověji Cajz et al (2004) mnohé další zlomy různé orientace, s uvedenými zlomy paralelní nebo na ně kolmé, o výškách skoku, dosahujících až 150-200 m, některé jen předpokládané.

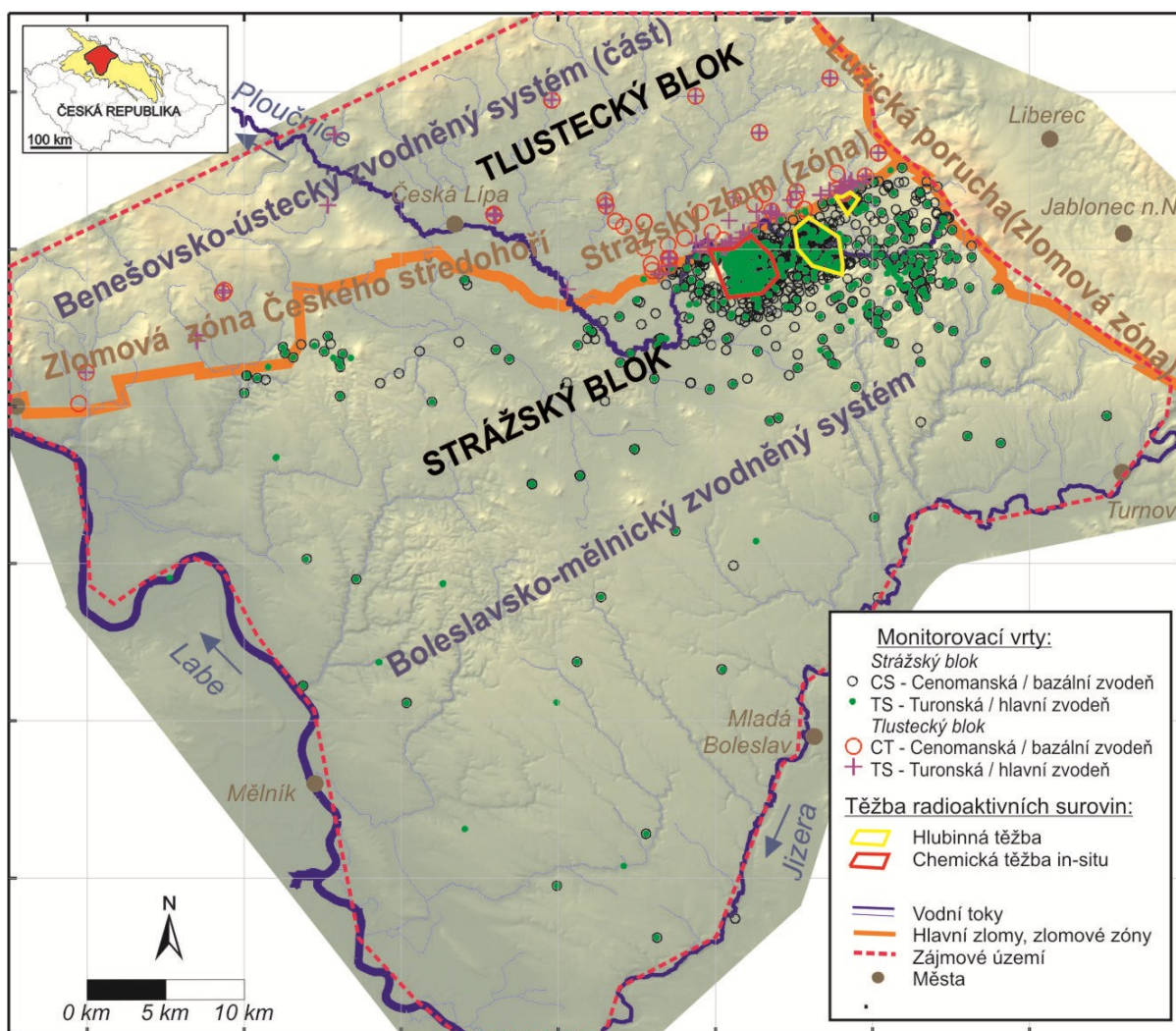
Naopak prostor mělnicko-boleslavského zvodněného systému přísluší k nejméně tektonicky postiženým územím v celé české křídové pánvi. Jedná se o tzv. strážskou homoklinálu s velmi mírným převládajícím úklonem vrstev k JZ až J. V samotném zájmovém území bylo při průzkumných a těžebních pracích s.p. DIAMO zjištěno množství zlomů, podél nichž však docházelo, ve srovnání s územím sz. od strážského zlomu, k relativně malým vertikálním posunům max. do 20 m. Tyto poruchy jsou někdy vyplněny žilami neovulkanitů.

Pásmo strážského zlomu začíná severovýchodně od obce Křížany kontaktem s lužickou poruchou a pokračuje generelně k jihozápadu (krušnohorský směr) s drobnými dílčími odskoky, způsobenými příčnou tektonikou (sudetský směr). Západně od Mimoně je hranice mezi boleslavsko-mělnickým a benešovsko-ústeckým zvodněným systémem (resp. pokračováním strážského a tlusteckého bloku) tvořena zlomem Brennén, okřešickým zlomem, lukovským zlomem, úštěckým zlomem a litoměřickým zlomem, shodně s prací Datla (2008).

V dalších částech textu i ve zobrazených mapách je jako strážský zlom pro zjednodušení uvažována pouze linie maximálního poklesu tlusteckého bloku proti strážskému bloku, ne celé pásmo s několika dílčími pokleslými krami.

2.4. Hydrogeologické poměry území

Z regionálně-hydrogeologického hlediska se zkoumaná oblast nachází při hranici dvou zvodněných systémů - **boleslavsko-mělnického** na jihovýchodě a **benešovsko-ústeckého** na severozápadě, vzájemně oddělených *středohorským zlomovým polem* a zejména jeho severovýchodní částí - **strážským zlomem** (zlomovým polem), probíhajícím zhruba ve směru SV-JZ (obr. 4). Podrobnou regionální hydrogeologickou charakteristiku zájmového území podává Krásný et al. (2012). Slezák (2001) popisuje přehledně geologické a hydrogeologické poměry území dřívější těžby radioaktivních surovin, historii průzkumu a těžby, problematiku nakládání s vodami a sanační technologie.



Obr. 4. Přehledná mapa zájmového území.

Benešovsko-ústecký zvodněný systém (Krásný et al. 2012) zaujímá území o ploše přibližně 1 700 km², severně od středohorského zlomového pásma. Jeho hranice, tvořené především tektonickými zónami o velké výšce skoku a v případě jednotlivých kolektorů též významnými litofaciálními rozhraními, vymezují prostor s téměř úplně

uzavřeným prouděním podzemních vod v rozsahu všech přítomných kolektorů. Podzemní vody jsou zde využívány jak k zásobování prostou vodou, tak v oblastech jejich zvýšené teploty jako zdroj geotermální energie (Děčíně, v Ústí nad Labem - Datel 2008, Dupalová 2012).

Boleslavsko-mělnický zvodněný systém (Krásný et al. 2012) představuje rozsáhlý, hydraulicky jednotný celek v sedimentech české křídové pánve, mezi Jizerou, Labem, zlomovým pásmem českého středohoří a lužickou poruchou, s bazálním kolektorem v perucko-korycanském souvrství a hlavním kolektorem v pískovcích jizerského a částečně i bělohorského souvrství, s generelním prouděním podzemní vody od severovýchodu k jihozápadu, tj. od lužické poruchy k zóně drenáže v údolí Labe.

Část boleslavsko-mělnického zvodněného systému přiléhající k pásmu strážského zlomu je označována jako **strážský blok**. Strážský blok je tektonicky vymezen v rámci svrchnokřídových sedimentů - na SZ pásmem strážského zlomu, na SV tektonický styk s krystalinikem (lužická porucha), na JV pásmem žilných neovulkanitů Čertových zdí. Jihozápadní hranice strážského bloku není jasně hydrogeologicky vymezená.

Část benešovsko-ústeckého zvodněného systému přiléhající ze severozápadu k pásmu strážského zlomu je označována jako **tlustecký blok**.

Svrchnokřídové sedimenty centrální části strážského bloku dosahují mocností maximálně do cca 300 m. Jihovýchodně od pásma Čertových zdí směrem k Jizeře mocnost sedimentů české křídové pánve stoupá až na několik set metrů. Rozdílná je situace v tlusteckém bloku, kde jsou sedimenty křídvy zachovány v mocnostech až 1000 m.

V důsledku uvedených rozdílů v zachovaných mocnostech křídových sedimentů na obou stranách strážského zlomu se v obou zvodněných systémech (blocích) nachází různý počet křídových souvrství a následkem toho také hydrogeologických těles – kolektorů a izolátorů. V boleslavsko-mělnickém systému se nachází pouze spodní část křídové sekvence, tvořená perucko-korycanským, bělohorským a neúplným jizerským souvrstvím, zatímco v benešovsko-ústeckém systému se jako v jediném území české křídové pánve zachovaly všechny litostratigrafické jednotky od perucko-korycanského po merboltické souvrství, mnohé z nich ve velkých mocnostech.

Hydrogeologická tělesa

V zájmovém území předpokládaného maximálního dosahu ovlivnění hladin podzemních vod aktivitami s.p. DIAMO jsou ve strážském i tlusteckém bloku významné dva hydrogeologické kolektory či komplexy kolektorů, vesměs v pískovcovém vývoji:

- **bazální křídový kolektor** (Krásný et al. 2012), označovaný též **kolektor A** (Herčík et al. 1999), vázaný na perucko-korycanské souvrství cenomanu (fukoidové pískovce, rozpadavé pískovce)
- **hlavní křídový kolektor** (Krásný et al. 2012), označovaný též **kolektor C** (Herčík et al. 1999), reprezentovaný pískovci jizerského souvrství (kvádrové pískovce, slínito-prachovité pískovce).

Tyto kolektory jsou od sebe odděleny (polo)izolátorem pelitických sedimentů bělohorského a jizerského souvrství (písčité prachovce, prachovce, slínovce, kalové vápence).

Celkem se tedy v zájmové oblasti nacházejí **4 zvodně s individuálními hladinovými poměry a režimem proudění podzemních vod**, které jsou významné v rámci řešení této práce.

V terminologii s.p. DIAMO o. z. TÚU Stráž pod Ralskem a rámci této práce je používáno následující označení hydrogeologických těles (tab. 1):

Tabulka 1: Označení hydrogeologických těles

Regionální názvosloví (Krásný et al. 2012)	Terminologie s. p. DIAMO o. z. TÚU Stráž pod Ralskem
bazální kolektor boleslavsko-mělnického zvodněného systému	cenomanská zvoděň strážského bloku (CS)
hlavní kolektor boleslavsko-mělnického zvodněného systému	turonská zvoděň strážského bloku (TS)
bazální kolektor benešovsko-ústeckého zvodněného systému	cenomanská zvoděň tlusteckého bloku (CT)
hlavní kolektor benešovsko-ústeckého zvodněného systému	turonská zvoděň tlusteckého bloku (TT)

Ve **strážském bloku** (boleslavsko-mělnickém zvodněném systému) jsou z regionálního pohledu významné oba zmíněné hydrogeologické kolektory převážně v pískovcovém vývoji: **bazální křídový kolektor / cenomanská zvoděň CS**, vázaný na perucko-korycanské souvrství, i **hlavní křídový kolektor / turonská zvoděň TS**,

reprezentovaný pískovci jizerského souvrství (kolektor C), často souvisejícími s vyšší částí bělohorského souvrství ve vývoji pískovců (kolektor BC).

Cenomanská zvodně CS je rozšířena ve většině zájmového území. V severní části zvodněného systému dosahuje obvykle mocnosti v rozmezí 30-70 m, přibývající od Z k V a v Pojizeří v okolí Turnova dosahuje maximálních mocností až kolem 100 m. Mocnost tohoto kolektoru je nižší v prostoru maršovicko-bezdězské elevace cca 5 km sz. od Doks.

K infiltraci do zvodně dochází v úzkém (1-2 km) tektonicky velmi komplikovaném pásu výchozů cenomanských pískovců podél Lužické poruchy, kde se v rámci paralelních zlomových struktur mohou nacházet bloky a útržky cenomanských pískovců i pod nasunutými horninami krkonošsko-jizerského krystalinika (Coubal et al. 2014). Lužická porucha zóna představuje komplikovanou hydrogeologickou strukturu, kde k infiltraci do cenomanských pískovců může docházet přímo ve výchozech, nebo nepřímo přes mladší turonské sedimenty i z puklinové zvodně krystalinika. Další, i když značně omezená dotace cenomanské zvodně je možná v celé ploše kolektoru z nadložní turonské zvodně. Hladina podzemní vody cenomanské zvodně je napjatá. Propustnost je převážně dvojná. Zvodně je drénována v údolí řeky Labe přes kvartérní sedimenty a částečně i přes nadložní křídová souvrství.

Hydraulická vodivost K bazálního křídového kolektoru dosahuje hodnot $1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$, průměrná efektivní porozita je 0,18 (Datel 2009). Hydraulická difuzivita je uváděna v řádovém rozmezí $5 \cdot 10^5 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ až $5 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Krásný et al. 2012).

Turonská zvodně TS je vázána převážně na pískovce jizerského souvrství středního turonu a částečně i na pískovce bělohorského souvrství spodního až počátku středního turonu. Kolektor vychází v zájmovém území a jeho širokém okolí na povrch, ve větších vzdálenostech dále k J a JV však bývá překryt izolátorem teplického, popř. březenského souvrství.

Zvodně je dotována zejména plošnou infiltrací srážkové vody. Hladina podzemní vody je převážně volná, napjatá hladina se vyskytuje v místech překrytí izolátorem nebo v zóně přechodu do slínovců a prachovců. Zvodněná mocnost kolektoru všeobecně klesá z maximálních až 200 m v severní a centrální části zvodněného systému k JZ a J k jeho eroznímu okraji podél údolí Labe, kde kolektor postupně vyklíňuje v místech faciálního přechodu pískovců do slínovců a prachovců na JV. Zvodně je drénována v údolí řeky Labe a částečně v údolí Ploučnice a Jizery, kde je úroveň hladiny podzemní vody řízena drenážním účinkem povrchových toků.

Propustnost je dvojná, generelně klesá od zóny infiltrace k zóně drenáže v souladu s litofaciálním vývojem křídového komplexu. Hydraulická vodivost K hlavního křídového kolektoru dosahuje hodnot $5 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$, průměrná efektivní porozita je 0,15 (Datel 2009).

Oba kolektory, bazální a hlavní, jsou odděleny **izolátorem pelitických sedimentů**, většinou bělohorského a někdy také jizerského souvrství s vertikální hydraulickou vodivostí v řádu $1 \cdot 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$ (Datel 2009).

V severovýchodní části **tlusteckého bloku** (benešovsko-ústeckého zvodněného systému) při lužické poruše, tedy v přízdrojovém areálu a jeho okolí převládají hydrogeologické kolektory, reprezentované pískovci. Při lužické poruše s. od Nového Boru tvoří pískovce až 100% vrstevního sledu všech křídových sedimentů v mocnosti až 700 m a představují vůbec největší známé mocnosti kolektorských hornin v české křídové pánvi. Z tohoto území k JZ, J a JV se do převážně pískovcové sekvence postupně vkládají polohy jemnozrnných sedimentů, většinou slínovců, představujících izolátory. Jejich mocnost se v uvedených směrech všeobecně zvětšuje. Ve stejných směrech také dochází k zjemňování pískovců. Tak jsou postupně pískovcové polohy nahrazovány pelity převážně písčito-jílovitého charakteru (slínovce). Faciální změny jsou různě rychlé: nejbliže k lužické poruše proběhly v teplickém, dále od této poruchy v březenském a posléze v jizerském, popř. v bělohorském souvrství.

Turonská zvodeň tlusteckého bloku TT v blízkosti přízdrojového areálu v okolí lužické poruchy dosahuje největších mocností až kolem 500 m. Je zde tvořena především pískovci jizerského souvrství, v některých územích též psamity svrchní části bělohorského souvrství a zčásti dalšími křídovými souvrstvími v pískovcovém vývoji. Z tohoto území mocnosti hlavního kolektoru k okrajům progradčního areálu všeobecně klesají až po úplné vyklínění, jako např. v širším okolí Ústí nad Labem.

K západu a JZ od přízdrojového areálu tvoří spodní část bělohorského souvrství v pelitickém vývoji stropní izolátor bazálnímu křídovému kolektoru - **cenomanské zvodni CT**. Pokud nedošlo k větším vertikálním posunům podél zlomů, odděluje tento izolátor bazální křídový kolektor od nadložního hlavního kolektoru, tvořeného převážně jizerským souvrstvím.

Ve směru od přízdrojového areálu dále k jihozápadu dochází k poměrně rychlým faciálním změnám většiny březenského a zejména teplického souvrství z pískovců ve slínovce, takže v nadloží hlavního kolektoru TT se ve značné části zvodněného systému

vytváří mocný nadložní izolátor. Hladiny podzemní vody cenomanské i turonské zvodně jsou napjaté.

Lokálně jsou podél větších vodních toků vyvinuty **kvartérní fluviální sedimenty**, dosahující mocností do několika metrů. Vytvářejí se v nich mělké zvodně, které jsou obvykle v hydraulické spojitosti s podzemními vodami hlavního křídového kolektoru.

Pro hromadné zásobování pitnou vodou mají největší význam turonské pískovce hlavního kolektoru C ve smyslu Herčíka et al. (2003), které poskytují asi 52% využívaných podzemních vod. Ostatní kolektory jsou využívány méně - A 20%, B 14% a D 14% (Herčík et al. 2003).

V rámci regionálního proudění podzemních vod v jednotlivých kolektorech se **významně uplatňují hlavní tektonické zóny** - Středohorská a Lužická. Tektonické prvky nižšího řádu, představující radiální tektoniku krušnohorského riftu, nemají významný vliv na směry a charakter proudění podzemních vod zájmové oblasti (Pačes et al. 2008, Kopecký & Slezák 2000).

V důsledku výrazného poklesu tlusteckého bloku proti strážskému bloku se v některých partiích strážského zlomového pásma dostávají do protilehlé pozice kolektorské vrstvy strážského bloku s kolektory tlusteckého bloku, v jiných částech naopak proti sobě leží kolektor na jedné straně a izolátor na druhé straně strážského zlomu. Tato situace výrazně komplikuje interpretaci hydrogeologické funkce strážského zlomového pásma. Zároveň vzniká předpoklad pro možný mezikolektorový přetok podzemních vod mezi strážským a tlusteckým blokem i pro přetok mezi cenomanským a turonským kolektorem jednotlivých bloků po zlomových plochách i částečně pokleslých dílčích krách zlomového pásma (Krásný 2009).

Převládající hodnoty hydraulických parametrů (Krásný 2009)

Porozita všech pískovcových kolektorů je průlinovo-puklinová (dvojná). Ve směrech výše uvedených litofaciálních změn z psamitického v pelitický vývoj klesá podíl průlinové porozity, rozhodující se stává puklinová propustnost.

Velikost efektivní porozity (storativity) kolísá v závislosti na zrnitosti těchto sedimentů a charakteru jejich tmelu. Ve strážském bloku odhadl Herčík (1999) průměrné hodnoty jizerského souvrství ve výši 0,105 pro kvádrové pískovce a 0,020 pro vápnito-jílovité pískovce. Fiedler (1999) uvádí aktivní pórovitost 18% pro turonské pískovce, 10% pro fukoidové pískovce a 15% pro rozpadavé pískovce.

V boleslavsko-mělnickém zvodněném systému jsou v souladu s větší mocností bazálního kolektoru vyšší hodnoty **transmisivity** zaznamenávány v sv. části systému. Většinou však zde nejsou patrné zřejmé regionální trendy. Nejvyšší transmisivita bazálního kolektoru se pohybuje mezi 200-400 m².d⁻¹, medián v různých územích kolísá od 34 do 138 m².d⁻¹ (Herčík et al. 1999).

Hodnoty koeficienty **hydraulické difuzivity** (tlakové vodivosti) bazálního křídového kolektoru ve strážském bloku se pohybují v rozmezí 5.10⁵-5.10⁶ m².d⁻¹, reprezentativní hodnota je udávána ca 1.10⁶ m².d⁻¹. Výrazně nižší difuzivitu mají horniny v povodí Ploučnice a horní Kamenice: bazální kolektor 45 000 m².d⁻¹, překrytá část hlavního kolektoru jizerského souvrství s napjatou hladinou v rozmezí 130 - 85 000 m².d⁻¹. V této izolátory překryté části středního kolektoru dosahuje v podmínkách napjaté zvodně průměrná storativita 1.10⁻³.

Izolátor pelitických sedimentů, většinou bělohorského a někdy také jizerského souvrství, který odděluje cenomanskou a turonskou zvoď, je charakterizován vertikální hydraulickou vodivostí v řádu 1.10⁻⁷ ms⁻¹ (Datel 2009). Pro neporušené souvrství spodního turonu v oblasti strážského bloku uvádí (Fiedler 1999) součinitel filtrace v řádu 10⁻¹⁰ m.s⁻¹ a nižší – lze je považovat za izolátor.

Pokud se jedná o vertikální změny propustnosti bazálního kolektoru, podle poznatků pracovníků s.p. DIAMO dosahují nejvyšších hodnot střednozrné pískovce bazální části korycanských vrstev, tzv. rozpadavé pískovce, jejichž hydraulická vodivost je v prostoru těžby odhadována v mezích 1-7 m.d⁻¹. Fukoidové pískovce v jejich nadloží, stejně jako tzv. rozmyv v podloží rozpadavých pískovců, jsou zhruba o řád méně propustné. Odhadovaná celková pórovitost bazálního kolektoru je 0,28 a jeho efektivní pórovitost 0,18 (Krásný 2009).

Maximální hodnoty transmisivity hlavního kolektoru (jizerského souvrství) udávají Herčík et al. (1999) v tisících m².d⁻¹ (3300 až 7500 m².d⁻¹), medián v různých územích však většinou kolísá mezi 200 a 300 m².d⁻¹. V území sv. od Labe a z. od Jizery se značně liší převládající transmisivita středního kolektoru v závislosti na tektonické expozici a hydrogeologické pozici příslušného území: zatímco v pruhu podél Jizery a v dalších údolích, tedy v územích tektonicky obvykle více postižených a reprezentujících zóny drenáže podzemních vod, se transmisivita pohybuje v rozmezí 240-3400 m².d⁻¹, v místech terénních elevací - na hřbetech nebo v polohách relativně vyšších oproti úrovni místní erozní báze, tj. hydrogeologicky v infiltračních zónách, převládají hodnoty mezi 2,6 a 250 m².d⁻¹.

V benešovsko-ústeckém zvodněném systému bývá v přízdrojovém areálu, přes mimořádnou mocnost tohoto spojeného kolektoru, tvořeného hrubozrnnými sedimenty, transmisivita místy poměrně nízká. Příčinou může být vedle nízkého stupně vytřídění sedimentů také hydrogeologická pozice území v zóně infiltrace, nelze však vyloučit také vliv

výskytů četných neovulkanitů v tomto území. Transmisivita bazálního kolektoru dosahuje obvykle více desítek $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ s maximy kolem $200 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$. Střední hodnoty z různých území jsou obvykle uváděny mezi 30 a $100 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ (Datel 2008).

Pokud se jedná o transmisivitu hlavního kolektoru, s výjimkou relativně nižších hodnot v přízdrojovém areálu, lze v důsledku nárůstu prachovité a jílovité složky v pískovcích a zmenšování jeho celkové mocnosti sledovat všeobecný pokles hodnot od mnoha set až více tisíc $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ na SV po převládajících více desítek $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ s maximy kolem $200 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ na JZ, v blízkosti vyklínění středního kolektoru.

Dle hydrogeologické rajonizace České republiky (heis.vuv.cz) náleží zájmové území do rajonů základní vrstvy - turonská zvodeň (hlavní kolektor):

4640	Křída Horní Ploučnice	TS
4410	Jizerská křída pravobřežní	TS
4522	Křída Liběchovky a Pšovky	TS
4523	Křída Obrtky a Úštěckého potoka	TS
4650	Křída Dolní Ploučnice a Horní Kamenice	TT
4620	Křída Dolního Labe po Děčín - pravý břeh	TT

Cenomanská zvodeň (bazální kolektor) náleží do rajonů hlubinné vrstvy:

4720	Bazální křídový kolektor od Hamru po Labe	CS
4710	Bazální křídový kolektor na Jizeře	CS
4730	Bazální křídový kolektor v benešovské synklinále	CT

Celé zájmové území náleží do Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV): 215 Severočeská křída.

2.5. Hydrologické poměry

Hydrologicky náleží zájmové území do povodí Labe, které představuje regionální erozní a drenážní bázi. Území je charakteristické a v rámci české křídové pánve vyjímečně velmi řídkou sítí povrchových toků. Jihovýchodní část území je odvodňována pravostrannými přítoky Jizery - Mohelka, Zábrdka, Strenický potok (povodí 1-05-02 Jizera od Kamenice po Klenici a 1-05-03 Jizera od Klenice po ústí). Jižní část území je odvodňována pravostrannými přítoky Labe - Košátecký potok, Pšovka, Liběchovka, Obrtka (povodí 1-05-04 Labe od Jizery po Vltavu a 1-12-03 Labe od Vltavy po Ohři). Severozápadní část území je odvodňována Ploučnicí a jejími přítoky (povodí 1-14-03 Ploučnice).

Vztah povrchových toků a křídových zvodní v zájmovém území je komplikovaný (Datel 2009). Výsledky hydrologických prací v horním povodí Ploučnice prokázaly, že odvodňování dolů v cenomanské zvodni a změna výtlačných úrovní zvodní ve prospěch sestupného přetoku má vliv i na turonský kolektor a projevuje se značným snížením volného odtoku podzemních vod do Ploučnice v celém jejím sledovaném povodí, tj. od Osečné až k Brenně. I přes toto závažné zjištění pokračoval extenzivní rozvoj těžby uranu ve strážském bez jakéhokoli omezení. Paradoxní ovšem je, že bylo ukončeno hydrologické sledování a vyhodnocování. Hydrologická pozorování a vyhodnocování byla obnovena až v r.1991. Časoprostorové reakce turonské zvodně na odvodňování cenomanského kolektoru potvrdily poloizolační charakter souvrství spodního turonu, které odděluje oba kolektory a zároveň signalizují výraznou funkci pásma strážského zlomu (Kopecký 1998, Datel 2009).

2.6. Stručná historie průzkumných prací a těžby radioaktivních surovin v zájmové oblasti

Kapitola je zpracována podle Slezáka (2001) a Datla (2009).

V roce 1959 vznikla tzv. sedimentární skupina n. p. Jáchymovské doly - Geologický průzkum (JD-GP), jejímž úkolem bylo provádět průzkum sedimentárních oblastí s cílem lokalizovat v Československé republice nová perspektivní ložiska radioaktivních surovin. Práce této skupiny nebyla úspěšná až do roku 1964. Souběžně s tímto specializovaným průzkumem pracoval Ústřední Ústav Geologický na podložní geologické mapě a prognostické mapě ložisek nerostných surovin nevystupujících na povrch. Pro účely tohoto úkolu bylo na celé republice provedeno regionální aeromagnetické a gravimetrické měření, které bylo ve vybraných územích doplněno podrobným geofyzikálním měřením (elektrické

metody, podrobná aeromagnetika magnetika, seismika apod.) a sítí strukturních vrtů, které geofyzikální průzkum doplňovaly a upřesňovaly. Na těchto strukturních a všech ostatních vrtech byly předepsány kromě odběrů jader také komplexy karotážních metod mezi nimiž byla také gama-karotáž.

V rámci aeromagnetického průzkumu byla v okolí vrchu Děvín jihovýchodně od obce Hamr na Jezeře zjištěna výrazná anomálie. Na ověření této anomálie byl odvrtán strukturní vrt HJ-1, ve kterém gama-karotážní měření v roce 1962 zaznamenalo dvě průmyslově významné rudní polohy v hloubce 201 m a 203 m. Radioaktivní anomálie se vyskytovala v pískovcovém souvrství cenomanu.

Radioaktivní suroviny tak zde byly objeveny do jisté míry náhodou - nebyly primárním cílem průzkumu v této oblasti. Ložiska radioaktivních surovin se nacházejí při bázi sedimentárních formací české křídové pánve a jsou překryta sedimenty značných mocností. Povrchové projevy radioaktivity jsou proto výrazně menší, než v případě uranových ložisek v krystaliniku. Ta jsou často provázena přítomností radioaktivních minerálních pramenů, které jsou zejména v českých pohraničních horách významným geologickým fenoménem a představují dosud málo využívané léčivé zdroje, které jsou v posledních několika letech intenzivně zkoumány terénními radiohydrogeologickými metodami (Goliáš 2007, Goliáš et al. 2010, 2013, 2014, Lipanský&Goliáš 2016). Průzkum radioaktivních pramenů tak svým zaměřením navazuje na podrobný průzkum ložisek radioaktivních surovin, který byl prováděn v 50. a 60. letech na území českého masivu a po objevení radiometrických anomálií v okolí Stráže pod Ralskem se zaměřil i na sedimentární formace české křídové pánve.

V roce 1963 byly v okolí založeny skupiny vrtů k detailnímu ověření radioaktivních anomálií. V okolí budoucího DH I většinou tyto vrty havarovaly, v okolí HJ-1 byly odvrtány v řídké síti, takže zasáhly pouze okraje budoucího ložiska. Přes počáteční neúspěch bylo rozhodnuto v ověřování anomálie vrtnými pracemi pokračovat.

V roce 1964 převzal vrtné práce v oblasti severočeské křídvy od závodu Geologický průzkum II, Zábřeh závod Geologický průzkum V, Ostrov nad Ohří, který zvládl technologii vrtání ve zvodněných pískovcích. Explosivní rozvoj vrtných a geologických prací v lokalitě Hamr na Jezeře (do konce roku 25 vrtů) umožnil předložit první výpočet zásob ložiska Hamr.

Dalším průzkumem oblasti byl v roce 1965 v rámci Československého uranového průmyslu ustaven závod č. 5 GPUP Příbram, který se později přetransformoval na GPUP Liberec. Ten měl zajistit jak vrtný průzkum vrty z povrchu, tak těžký geologický průzkum, hornickou otvírku dvou experimentálních dobývacích bloků – bloku Lužice (BL) a bloku Sever

(BS), které měly ověřit technickou i ekonomickou možnost dobývání ložiska klasickou hornickou těžbou ve dvou různých částech ložiska. Plošný rozsah obou pokusných bloků byl zvolen 250x200 m.

Průzkumné práce v oblasti Hamr na Jezeře a Stráž pod Ralskem dále pokračovaly vrtným průzkumem. Za základní vyhledávací síť vrtů, od které se pak odvíjelo jejich zahušťování, byla zvolena síť vrtů s rozměry 3 200 x 3 200 m, se zahuštěním na 1 600 x 1 600 m. Vlastní vyhledávací síť pro lokalizaci jednotlivých ložisek byla 800 x 800m, 400 x 400 m, resp. 400 x 200 m. Předběžný průzkum byl prováděn v síti 200 x 100 m až 200 x 50 m. Jenom v ojedinělých případech byla hustota vrtů vyšší a to 50 x 50m (50 x 25m) nad experimentálními bloky BS (Blok Sever) a BL (Blok Lužice).

Geologickým průzkumem byla v letech 1964 – 1967 v oblasti strážského bloku celkem zjištěna tři velká ložiska uranových rud, ložiska Hamr, Osečná – Kotel a Stráž, čtyři střední ložiska Holičky, Břevniště pod Ralskem, Mimoň a Hvězdov a menší ložisko Křížany. Později v roce 1971 byla etapa vyhledávacího průzkumu ukončena. Pokračoval pouze detailnější průzkum již objevených ložisek a který byl ukončen v 90. letech.

Tři z těchto ložisek byla těžena - ložisko Hamr pod Ralskem (Důl Hamr I, Důl Hamr II), ložisko Břevniště (důl Křížany), a ložisko Stráž pod Ralskem (chemická těžba loužením in situ z povrchu - důl chemické těžby). V letech 1965 až 1996 bylo vytěženo celkem 30 000 tun uranového koncentráту (Kafka 2003, Datel & Ekert 2008).

V roce 1968 začaly otvírkové práce na zpřístupnění ložiska Hamr pod Ralskem hlubinným dobýváním. V souvislosti s otvírkovými pracemi se započaly odvodňovací práce cenomanského kolektoru prostřednictvím clonových vrtů. S rozvojem klasické hornické těžby na ložisku Hamr pod Ralskem a Břevniště pod Ralskem se vrtaly vrty různých průměrů výhradně pro potřeby dolů (větrací, čerpací, materiálové, kabelové, zakládkové, makadamové, clonové, pozorovací). Technické vrty byly vrtány bezjádrovou technologií, vrtné průměry a konečná výstroj se lišily podle konečného využití vrtů. Všechny technické vrty byly vystrojeny Fe pažnicemi. Při vrtání a vystrojení vrtů, které měly ústít do důlních děl, se z bezpečnostních důvodů důsledně dbalo na spolehlivé oddělení turonské a cenomanské zvodně a mezikruží všech použitých pažnicových kolon bylo cementováno. Tyto vrty nepředstavují žádné riziko možnosti propojení turonské a cenomanské zvodně.

V souvislosti s objevením ložisek v oblasti strážského bloku byla v roce 1965 založena skupina při tehdejší ČSÚP, která měla za úkol vytipovat hlavní problematiku těžby a zpracovat studii na podzemní loužení uranu prostřednictvím vrtů.

První vyluhovací pokus se odehrál v alkalickém režimu (soda) pod vrchem Děvín blízko vrtu HJ-1. K pokusu byl využit již dříve navrtaný (9 vrtů 1965 – 1966) hydrogeologický kříž VZ-1. Pokus potvrdil správnost teoretických výpočtů o proudění mezi vtláčecími a těžebními vrty, avšak získaný roztok nebyl dostatečně obohacen uranem.

Druhý vyluhovací pokus pro ověření podzemního loužení se měl uskutečnit již s loužícím roztokem kyseliny sírové. Pro pokus bylo plánováno odvrátat 10 vrtů vtláčecích v uzavřeném polygonu se 2 vrty čerpacími uprostřed. Pokus byl situován mezi obcemi Hamr na Jezeře a Útěchovicemi. V průběhu realizace vrtů se přišlo na nevhodnost umístění pokusu v místech, kde hrozil unik kyselých roztoků směrem do depresního kužele právě hloubené jámy 1 Sever. Z tohoto důvodu byly odvrátány pouze dva vrty a od pokusu se upustilo.

Třetí vyluhovací pokus byl situován na východní úpatí vrchu Ralsko. Celkem bylo odvrátáno 12 vrtů ve tvaru šestiúhelníku s čerpacími vrty v centru. Jako loužící medium byl použit roztok kyseliny sírové. Výsledky pokusu byly tak ohromující, že bylo rozhodnuto provést experiment v poloprovozním měřítku a započalo vrtání VP-4. Do konce roku 1969 bylo již odvrátáno 198 vrtů, kterými byla zahájena těžba.

Chemická těžba začínala hrát významnou úlohu v plnění základní produkce celého ČSUP. Rozvoj vyluhovacích polí byl tak velký, že v roce 1975 bylo již v provozu 12 těžebních polí. Na konci roku 1980 bylo již v provozu 20 těžebních polí s 5 551 technologickými vrty. V roce 1985 bylo již odvrátáno 27 těžebních polí s 6 636 vrty. Ke konci roku 1993 bylo již v provozu 36 vyluhovacích polí s 8 535 technologickými vrty různé konstrukce.

Rozvoj dvou odlišných těžebních metod (chemické loužení a hlubinná těžba) v jedné hydrogeologické struktuře a především odlišné požadavky obou těžebních metod na řízení vodního režimu v podzemí přinášel obtížně řešitelné problémy. Základním problémem koexistence obou dobývacích metod byla nutnost udržení hydraulického dipólu, kdy na jedné straně bylo požadováno úplné osušení dolového pole DH I a na straně druhé zachování téměř přirozených podmínek v ploše chemické těžby. Rozdíl hladin až 140 m na vzdálenost 2,5 km zákonitě vedl k pohybu technologických roztoků z prostoru chemické těžby do dolového pole DH I.

Z důvodů zamezení úniku technologických roztoků z oblasti Dolu chemické těžby do dolových polí ložiska Hamr pod Ralskem byl v letech 1977-1988 vystavěn systém hydraulických bariér (HB) - umělé tlakové rozvodí v cenomanské zvodni vytvořené vtláčením vody do linie hydrogeologických vrtů. Optimální funkci však začala HB plnit až v roce 1985.

Délka HB Stráž je přibližně 9,2 km a délka HB Svěbořice je cca 2,7 km. Systém hydraulických bariér představuje 175 hydrogeologických vtláčecích a monitorovacích vrtů.

V zájmové oblasti, zejména ve strážském bloku, se nachází několik tisíc vrtů, které neslouží hydrogeologickému monitoringu.

Jedním z hlavních činitelů, který může ovlivňovat režim podzemních vod v prostoru dosahu ovlivnění dřívější těžbou radioaktivních surovin v zájmovém území i postup sanace a její cílové parametry je možnost vzniku vzestupného mezikolektorového přetoku podzemních vod, tj. přetoku podzemních vod z cenomanského do turonského kolektoru způsobeného kromě přírodních podmínek i sekundárními anizotropiemi ve spodním turonu, zejména vrtnými pracemi při průzkumu ložisek a těžbě uranu.

S. p. DIAMO o.z. TÚU proto shromažďuje údaje z archivních materiálů o vrtném průzkumu a další vrtné činnosti v zájmové oblasti a o realizaci a stavu výstroje jednotlivých vrtů a rizikové vrty postupně likviduje.

Většina vrtných prací byla kumulována do ložiskových partií. Ve strážském bloku bylo celkem odvrtno 15 251 vrtů, z toho 14 339 vrtů prošlo souvrstvím spodního turonu (polo-izolátorem) a narušily tak jeho homogenitu v přírodním uložení.

Z uvedeného počtu vrtů, které prošly do souvrství cenomanu se podle členění vrtů ve strážském bloku podle účelu vrtání jedná o:

- 8 576 technologických vrtů, které byly využívány pro podzemní loužení uranu „in situ“;
- 4 408 geologicko-průzkumných vrtů, které sloužily k vyhledání a průzkumu ložisek uranu;
- 1 255 hydrogeologických vrtů, které byly využívány především k hydrogeologickému monitoringu a odvodnění;
- 56 technických vrtů, které souvisely s klasickým důlním dobýváním, jde o vrty větrací, dopravní atd.;
- 44 ostatních vrtů, které nebylo možno zařadit do výše uvedených skupin.

Vrty jednotlivých skupin jsou v rozděleny do „kategorií rizik“ z hlediska možného propojení cenomanské a turonské zvodně (Datel 2009, Fiedler 1999): KR – 0 minimální riziko propojení zvodní, KR – 1 možné riziko propojení zvodní, KR – 2 zvýšené riziko propojení zvodní, KR – 3 vysoké riziko propojení zvodní.

Rozsah zdokumentované vrtné činnosti ve strážském bloku je uveden v tabulce č. 2.

Tabulka 2: Rozsah vrtné činnosti ve strážském bloku (nezahrnuje vrty ČHMÚ)

Ložisko	GP vrty		HG vrty		Technol. vrty		Tech.vrty		Ostatní vrty		Celkem	
	odvrt.	likvid.	odvrt.	likvid.	odvrt.	likvid.	odvrt.	likvid.	odvrt.	likvid.	odvrt.	likvid.
Stráž pod Ralskem	1 451	1 115	958	201	7 839	2 074	2	2	68	41	10 318	3 433
Hamr pod Ralskem	1 461	625	565	357	737	713	34	26	95	40	2 892	1 761
Mimoň	76	30	39	17							115	47
Osečná – Kotel	587	351	186	64							773	415
Křížany	54	23	38	15							92	38
Hvězdov	114	53	24	6							138	59
Holičky	188	151	77	20							256	171
Břevniště pod Ralskem	477	214	156	73			20	19	5	4	658	310
Celkem	4 408	2 562	2 043	753	8 576	2 787	56	47	168	85	15 251	6 234

GP - Geologicko-průzkumné vrty, HG - Hydrogeologické vrty, Technol. - Technologické vrty, Tech. - Technické vrty. Odvrt. - odvrtané, likvid. - likvidované.

Při realizaci geologicko-průzkumných vrtů se používalo jádrového i bezjádrového způsobu vrtání. Pro jádrové vrtání se používaly jádrové korunky vidiové nebo šrotové do průměru 152 mm. Požadavky na výnos horninových vzorků byly od 50 % výše, u některých vrtů až 90 % výnosu. V případě, že nebylo dosaženo požadovaného výnosu jádra, se buď přistupovalo k odvrtání opakovaného vrtu v blízkosti vrtu původního, nebo byl ve vrtu ve stanovené hloubce usazen tzv. úhybový klín, na kterém došlo k odbočení z původního stvolu vrtu, a byl proveden opakovaný pokus o odebrání jádra ze zájmového intervalu. V některých případech docházelo k vícenásobnému opakování celého vrtu, případně usazení několika úhybových klínů ve vrtu až do doby, dokud nebyl odebrán požadovaný výnos jádra, nebo nebyly vyčerpány všechny dostupné možnosti vrtání. Bezjádrové vrtání listovými nebo valivými dláty malého průměru se používalo pro zvýšení rychlosti vrtání pro vrty hodnocené karotážními metodami.

Jednalo se o jednorázové využití těchto vrtů, které byly po svém odvrtání, odběru vrtného jádra a následném karotážním změřením zlikvidovány, většinou nekvalitně provedenou tamponáží - u některých vrtů nebyla provedena vůbec nebo nedostatečně. Do roku 1967 se vrty likvidovaly záhozem jílem, šterkem, skartovaným jádrem, nebo cementovou směsí.

Likvidace vrtů jednotným způsobem byla řešena až od roku 1972 na základě kritérií hydrogeologických (zamezení propojení zvodnění), geologických, technických a kontrolních. Od roku 1992 jsou další směrnici řešeny zásady pro tamponáž těžebních a vtláčecích vrtů vyluhovacích polí a hydrogeologických vrtů a také sekundární tamponáž geologicko-průzkumných vrtů v oblasti severočeské křídly. Od roku 2006 je v platnosti provozní předpis o. z. TÚU Všeobecný technologický postup pro likvidace technologických, hydrogeologických a technických vrtů a pro sekundární likvidaci geologicko-průzkumných vrtů v oblasti severočeské křídly, na jehož základě jsou likvidovány starší vrty, s cílem zamezit mezikolektorovému přetoku. Mapy a seznamy rizikových vrtů uvádí Datel (2009).

Technologické vrty pro chemickou těžbu se prováděly v hustých sítích (až 11 x 11 m) především bezjádrovou technologií, jádrově byly odvrťovány především tzv. zajišťovací vrty, realizované před zahájením vrtání širokoprofilového čerpacího vrtu. Vrtné průměry se lišily podle konečného využití vrtu. Všechny technologické vrty využívané pro chemickou těžbu byly vystrojeny pažnicemi z materiálů odolných proti účinkům technologických roztoků (zpočátku novodur a později polyetylén). Z těžebních vrtů byly roztoky čerpány pomocí airliftů, později čerpadly z odolných ušlechtilých ocelí. Tato čerpadla však vyžadovala mnohem dražší vrty o větších průměrech s kvalitním pažením, nepropouštějícím abrazní částice horniny. Konstrukce vrtů musela vedle parametrů vyžadovaných technologií těžby zajistit i ekologické požadavky, především nepropustnost mezikruží vrtného stvolu. Starší úzkoprofilové vrty vystrojené pouze jednou kolonou, která propojovala dva vodní horizonty, představují riziko propojení zvodní a znečištění turonské zvodně loužícím roztokem.

Vyluhovací vrty byly později vrtány větším průměrem (175 mm) a v turonském zvodněném horizontu zapaženy dvojitou pažnicovou kolonou, s kontrolovanou cementací. Pro řešení racionální těžby loužícího media byly kolem roku 1982 realizovány širokoprofilové čerpací vrty s konečným vrtaným průměrem 490 - 550 mm, s dvojitou pažnicovou kolonou průměru 530 - 630 mm v intervalu propustného turonu, v přípovrchových nesoudržných horninách až 1420 mm.

Dále se v oblasti nacházejí vrty které, byly používány v roce 1973 k tamponáži tektonické poruchy „Anežka“, kontrolní vrty pro ověření horninového prostředí, emanační vrty, kalibrační vrty pro karotážní soupravy apod. Technologie vrtání a konstrukce je podobná jako u výše popsaných skupin vrtů. Mohou také představovat riziko propojení zvodní.

Riziko dále představuje řádově několik set starších technologických vrtů, které v průběhu vrtání nebo vystrojování zhavarovalo, případně bylo nekvalitně provedeno. Tyto vrty byly opakovány a původní měly být zlikvidovány.

Jedním z hlavních současných úkolů o. z. TÚU je zajištění izolačních vlastností souvrství spodního turonu, který odděluje cenomanskou a turonskou zvodeň. Rozsáhlá vrtná činnost ve strážském bloku, je potenciálním zdrojem mezikolektorového přetoku. Cílem likvidací vrtů je aby při obnovení původních hydraulických podmínek byla zajištěna izolační schopnost spodního turonu. Každoročně je likvidováno cca 120 technologických, hydrogeologických, geologicko-průzkumných a ostatních vrtů.

Postup likvidace zahrnuje kontrolu průchodnosti, neutralizaci roztoků ve vrtu, kontrolu cementace cenomanu, torpedaci pláště při bázi turonu a finální cementace k úrovni terénu.

V rámci probíhajících sanačních prací se v současné době provádí vrtání sanačních vrtů. Po vrtání úvodní kolony Fe 1020 mm v nestabilních horninách a cementaci mezikruží následuje vrtání průměrem 920/970 mm do zastížení pevné soudržné horniny, s cementací kolony. Ve vrtání se pokračuje na nepřímý proplach 10-15 m do nepropustných hornin turonského souvrství průměrem 820/720 mm. Po stanovení litologických rozhraní karotážním měřením se provede zapažení turonského kolektoru (minimálně 10-15 m do nepropustných turonských sedimentů) ochrannou kolonou Fe o průměru 530 x 8 mm s následnou tlakovou cementací mezikruží a docementováním. Tímto pažením a cementací dojde k 100 % oddělení turonské a cenomanské zvodně. Ve vrtání se pokračuje na nepřímý proplach až do konečné hloubky vrtným průměrem 490 mm. Po dokončení vrtných prací je provedeno karotážní měření, na jehož základě bude vrt vystrojen pažnicemi odolnými proti kyselému prostředí se svařovanými nebo závitovými spoji (PE-HD o vnějším průměru 250 mm a síle stěny minimálně 22 mm).

3. Metodika

Sada více než 1,2 milionu dostupných záznamů měření hladin podzemních vod ve vrtech pozorovací sítě s.p. DIAMO, o.z. TÚU byla doplněna o záznamy měření hladin podzemních vod ve vrtech pozorovací sítě ČHMÚ a byla rozdělena čtyř skupin podle příslušnosti monitorovacích vrtů k jednotlivým útvarům podzemní vody v zájmové oblasti.

Pro každou skupinu byla vytvořena tabulka, obsahující název vrtu, souřadnice X a Y jak v souřadném systému DCS tak i JTSC a dále hodnoty Z jako piezometrické úrovně hladin podzemní vody v jednotlivých letech mezi 1965 a 2014 (nadmořské výšky).

Pomocí programu Golden Software Surfer 8 (Golden Software 2002), byly interpolovány piezometrické úrovně příslušných útvarů podzemních vod v zájmové oblasti v jednotlivých letech.

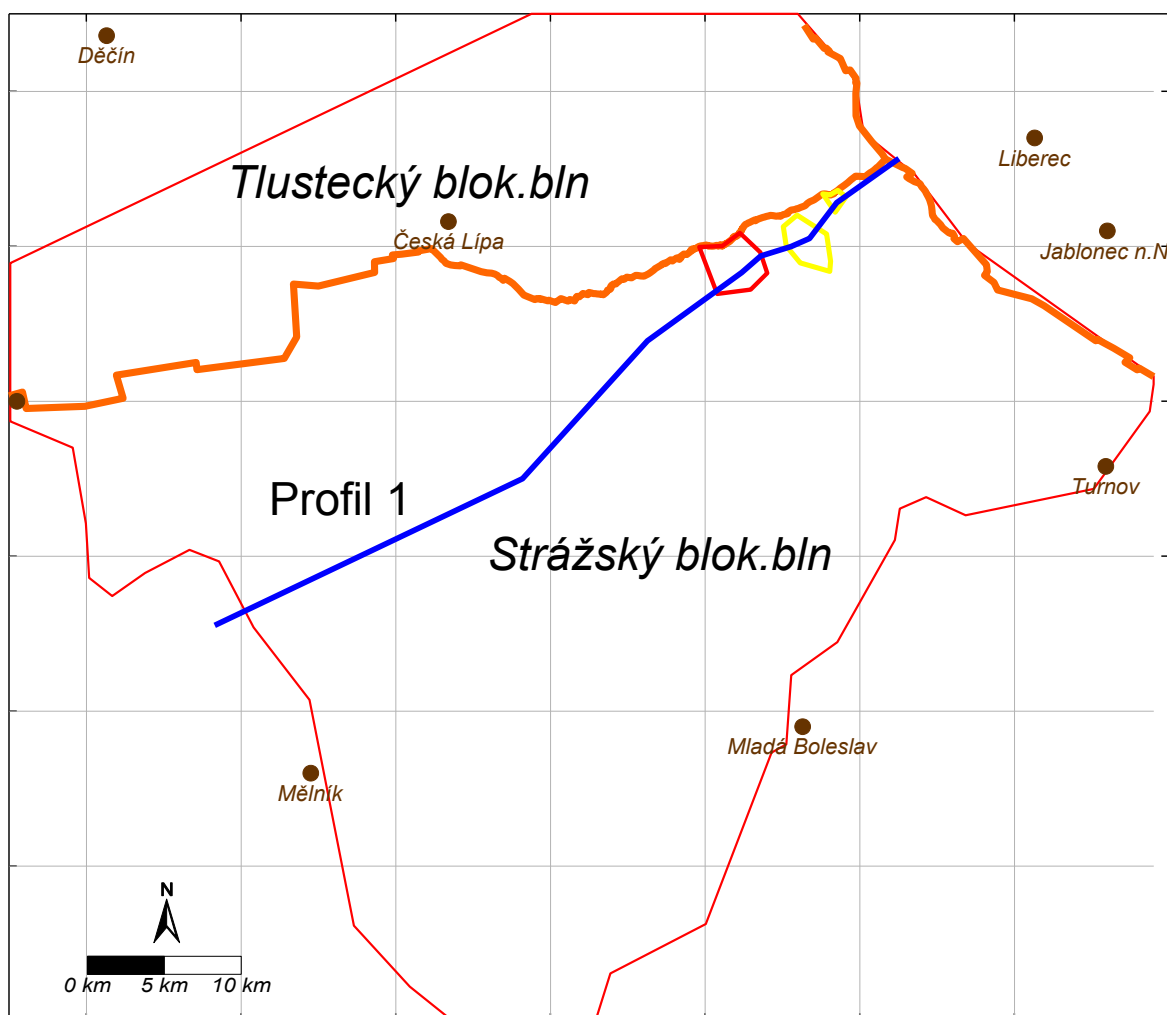
Vzhledem k obecně uznávané převažující nepropustnosti pásma strážského zlomu a značnému vzájemnému vertikálnímu posunu kolektorů až o cca 300 m mezi strážským a tlusteckým blokem (Herčík et al., 2003, Datel 2009, Kozáková a Pokorný 2009, Krásný et al. 2012), byly interpolace piezometrických úrovní prováděny odděleně pro jednotlivé útvary podzemních vod.

Izolinie byly interpolovány metodou kriging s rozlišení mřížky 100x100 m, pomocí funkce Grid-Data. Rozmezí souřadnic sítě pro strážský a tlustecký blok je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3: Rozmezí souřadnic JTSC sítě interpolovaných hodnot pro strážský a tlustecký blok

Blok	Strážský	Tlustecký
X minimum JTSC [m]	-757 000	-757 000
X maximum JTSC [m]	-681 000	-698 000
Y minimum JTSC [m]	-1 031 000	-990 500
Y maximum JTSC [m]	-974 000	-964 000

Hranice jednotlivých zvodní byly omezeny pomocí funkce *Grid-Blank*. Hranice strážského bloku byla určena pásmem strážského zlomu, lužickou poruchou a toky Jizery a Labe. Hranice tlusteckého bloku tvoří pásmo strážského zlomu, lužická porucha, tok Labe a spojnice měst Litoměřice a hrádek nad Nisou. Tyto hranice, dohromady tvořící obrys zájmového území, jsou zobrazeny na obrázku 5.



Obr. 5. Rozsah hranic interpolačních sítí pro strážský a tlustecký blok a linie podélného profilu piezometrickým povrchem

Na základě interpolovaných dat byly sestaveny mapy izolinií hladin podzemní vody v jednotlivých zvodních (CS, TS, CT, TT) v příslušných letech - *Contour Map*, s intervalem izolinií 20 m.

Pro zobrazení směrů proudění podzemní vody byly sestaveny vektorové mapy - *Vector Map*, zobrazující směr proudění vody jako spádnici piezometrického povrchu příslušné zvodně.

Pro zobrazení řezů piezometrickým povrchem jednotlivých zvodní v různých časových úsecích a částech zájmové oblasti byly pomocí funkce *Grid-Slice* získány datové soubory nadmořských výšek hladiny podzemní vody v podélném profilu strážským blokem ve směru generelního proudění podzemních vod boleslavsko-mělnickým zvodněným systémem přes prostor chemické i hlubinné těžby - Profil 1. Linie profilu je zobrazena v obrázku 5. Získané hodnoty byly zobrazeny v grafech.

K určení, vymezení a zobrazení oblastí potenciálního vzestupného a sestupného přetoku podzemní vody mezi cenomanským a turonským kolektorem byly vypočítány gridy rozdílu nadmořské výšky hladiny v jednotlivých uzlech sítě mezi turonskou a cenomanskou zvodní, pomocí funkce *Grid-Math*.

Rozdíl nadmořské výšky hladiny podzemní vody mezi turonskou a cenomanskou zvodní byl vypočítán podle rovnice:

$$\Delta Z = Z_T - Z_C$$

kde ΔZ je rozdíl piezometrických úrovní hladiny podzemní vody, Z_T - piezometrická úroveň turonské (hlavní) zvodně, Z_C - piezometrická úroveň cenomanské (bazální) zvodně.

Kladné hodnoty ΔZ tedy representují oblasti s piezometrickou úrovní turonské zvodně vyšší než u cenomanské (bazální) zvodně a představují tak oblasti s podmínkami umožňujícími vznik sestupného mezikolektorového přetoku z turonské do cenomanské zvodně.

Záporné hodnoty ΔZ naopak representují oblasti s podmínkami umožňujícími vznik vzestupného mezikolektorového přetoku z bazálního cenomanského kolektoru do nadložního hlavního turonského kolektoru. V těchto oblastech tak vznikají hydraulické podmínky pro možné šíření kontaminovaných vod (zbytkových technologických roztoků) z cenomanského kolektoru v prostoru dřívější chemické těžby radioaktivních surovin do turonského kolektoru, hojně využívaného jako zdroj pitné vody.

Na základě vypočítaných gridů hodnot ΔZ byly sestaveny mapy izolinií rozdílu piezometrických úrovní s intervalem izolinií 20 m.

Pro hodnocení vývoje ovlivnění piezometrické úrovně hladiny podzemní vody v cenomanské zvodni strážského bloku odvodněním prostoru hlubinné těžby, jeho následným zatápěním a vtláčením a čerpáním roztoků v rámci chemické těžby byly analogickým způsobem vytvořeny gridy rozdílu piezometrických úrovní cenomanské zvodně strážského bloku pro různá období vývoje hydraulického systému - zahájení odvodňování - maximální rozsah odvodnění, zahájení zatápění - současný stav.

Mapové vrstvy byly vloženy na sestavenou podkladovou mapu, zobrazující rozsah zájmového území, hlavní tektonické struktury, hydrogeologické systémy, vodní toky a prostory dřívější hlubinné i chemické těžby radioaktivních surovin.

Pro hodnocení dosahu ovlivnění piezometrické úrovně cenomanské zvodně a případného ovlivnění ostatních zvodní byly analyzovány soubory hodnot měřených úrovní

hladin podzemní vody v jednotlivých vrtech a zvodních. Na základě předpokládaného odlišného rozložení souboru hodnot mezi neovlivněným režimem hladiny podzemní vody a režimem ovlivněným vnějším (antropogenním) zásahem, byly vypočítány směrodatné odchylky pro jednotlivé pozorované řady hladin podzemní vody, podle vztahu:

$$\sigma = \sqrt{\sum \frac{(x - \bar{x})^2}{n}}.$$

Pomocí statistického software PAST (Hammer et al. 2001) byl testován vliv délky řady sledování hladin na rozložení hodnot směrodatných odchylek a analyzována četnost výskytů hodnot směrodatných odchylek v rámci jednotlivých zvodní.

Pro grafické zobrazení byly interpolovány hodnoty směrodatných odchylek datových souborů v jednotlivých zvodních analogickým způsobem jako nadmožské výšky hladin podzemních vod.

Rychlost zatápění odvodněného prostoru dřívější hlubinné těžby v cenomanské zvodni strážského bloku byla analyzována pomocí grafů měřeného vzestupu hladiny podzemní vody v monitorovacích vrtech v různých částech zájmového území. Kde byl pozorován vzestupný trend měřených hladin podzemní vody, byl na základě regrese proveden odhad nejkratší možné doby přiblížení úrovně hladiny podzemní vody k přirozeným podmínkám před zahájením těžby.

Používané souřadné systémy

V s. p. DIAMO o. z. TÚU Stráž pod Ralskem je pro uvádění souřadnic jednotlivých objektů používán souřadný systém DCS (DIAMO Coordinate System, v některých starších materiálech označovaný též VIOGEM). Jedná se o systém odvozený od systému S-JTSK posunutím jeho počátku. Pro převod souřadnic mezi systémem DCS a S-JTSK platí vztah:

$$X_DCS = 719\ 000 - Y_JTSK$$

$$Y_DCS = 992\ 000 - X_JTSK.$$

4. Významné momenty vývoje hydraulického systému

V souvislosti s přípravami a zahájením hlubinného dobývání ložisek radioaktivních surovin na ložiscích Hamr pod Ralskem a Břevniště pod Ralskem, pokusnou a průmyslovou těžbou uranu pomocí kyselého loužení in-situ v ploše vyluhovacích polí na ložisku Stráž pod Ralskem, činností hydraulických bariér a pozdějším útlumem těžby a zatápěním hlubinných dolů došlo k výraznému ovlivnění režimu proudění podzemních vod zejména v cenomanské zvodni strážského bloku. Významné momenty vývoje hydraulického systému jsou uvedeny níže, odděleně pro hlubinnou těžbu (tabulka 4) a chemickou těžbu (tabulka 5). V tabulce 6 jsou uvedeny významné objekty hlubinné těžby a zatápění dolů.

Tabulka 4: Významné momenty vývoje hydraulického systému na ložiscích Hamr pod Ralskem - DH I, DH II a Břevniště pod Ralskem - DK I (hlubinná těžba) - (upraveno podle Datel&Ekert 2008, aktualizováno dle informací DIAMO, o.z. TÚU)

1. Hlubinná těžba: ložiska Hamr pod Ralskem (Důl Hamr I - DH I a Důl Hamr II - DH II) a Břevniště pod Ralskem (Důl Křižany - DK I)	
1965	začátek hloubení jámy č.1 ložiska Hamr pod Ralskem (DH I) a jámy 9P Lužice (DH II)
1966, srpen	začátek odvodňování turonského kolektoru z čelby jámy č. 1 (DH I)
1967, srpen	začátek odvodňování cenomanského kolektoru (DH I)
1972	začátek dobývání experimentálního Bloku Sever (DH I)
1973	nařazení tektonické poruchy Anežka drénující cenomanský kolektor, přítok až 150 l/s, zatopení DH I (leden-listopad); začátek hloubení jámy č. 4 a č. 5 (DK I)
1980	maximum čerpání důlních vod DH I - 665 l.s ⁻¹ (říjen), roční průměr 596 l.s ⁻¹
1982	začátek ražby překopů na úrovni 5. patra DH I, ukončeno v roce 1987, čerpání kyselých technologických roztoků uniklých z chemické těžby
1984, květen	průval na dobývací komoře DH I, vznik komunikace mezi cenomanskou a turonskou zvodní, propad povrchu 150 m od Hamerského rybníku, jako opatření bylo provedeno vypuštění Hamerského rybníka, znovu napuštěn až v roce 1994
1985	maximum těžby na DK I, celkový přítok vody do dolu nepřesáhl 100 l.s ⁻¹
1987	dokončena výstavba centrální dekontaminační stanice čerpaných důlních vod (CDS); nařízena likvidace DH II, 1989 zatopení jam č. 6 a 7, pokračovalo čerpání z clonových vrtů a jámy č. 6 – čerpání regulující přítoky do jižních partií DH I
1990	ukončeno dobývání na DK I (květen), ukončeno čerpání důlních vod a zahájeno zatápění DK I (prosinec) - do r. 1994 pomocné odvodnění DK I (cca 30 l.s ⁻¹)
2001, duben	vypnutí čerpací stanice jámy č. 13 a jámy č. 3, po přechodnou dobu je v provozu náhradní čerpání pomocí vrtů z povrchu u jam č. 3 a č. 13 (DH I)
2001, srpen	zahájeno vtláčení alkalizací upravené odkalištní vody do vybraných technických vrtů v severozápadní části dolového pole DH I
2001, listopad	ukončeno čerpání důlních vod z jámy č. 6 a clonových čerpacích cenomanských vrtů v okolí jámy č. 6 pro potřeby Centrální dekontaminační stanice a HB Stráž, (DH II)
2003, květen	ukončeno veškeré čerpání důlních vod z DH I, celkem bylo od roku 1966 do roku 2003 z DH I vyčerpáno 435,55 mil. m ³ vody
2003, říjen	ukončeno vtláčení upravené odkalištní vody do DH I, celkem vtláčeno 4,72 mil. m ³ upravené odkalištní vody
2009, říjen	zkušební provoz nové sanační technologie Zpracování matečných louhů, výstupem jsou zbytkové technologické roztoky, které se vtláčí do vrtu V-5 v předpolí DH I
2012, červen	zahájeno vtláčení ZTR (alkalický sliv z technologie NDS ML a NDS 10) do vrtu HSCC-47 na západním okraji dobývacích bloků DH I
2015, květen	uzavřena poslední šachta DH I, probíhá demolice a dekontaminace povrchových technologií

Tabulka 5: Významné momenty vývoje hydraulického systému na ložisku Stráž pod Ralskem (hydrochemická těžba)

2. Hydrochemická těžba (ložisko Stráž pod Ralskem - Důl chemické těžby, DCHT)	
1966	první vyluhovací pokus (alkalické loužení) na ložisku Hamr pod Ralskem, malé nabohacení - další vyluhovací pokusy probíhaly s kyselinou sírovou (DCHT)
1969	začátek vyluhovacích pokusů s kyselinou sírovou na ložisku Hamr pod Ralskem, úniky loužících roztoků do depresního kužele jam č. 1 a 2 DH I, začátek těžby podzemním loužením na ložisku Stráž pod Ralskem
1977	začátek výstavby hydraulické bariéry (HB) Stráž, optimální funkce až v roce 1985
1987	začátek výstavby hydraulické bariéry (HB) Svěbořice, dokončena v roce 1988
1993	uvedeno do těžby poslední vyluhovací pole, celková plocha vyluhovacích polí DCHT byla 6,3 km ²
1996, duben	vyhlášena likvidace DCHT, zahájena sanace
1996, červen	ze Stanice likvidace kyselých roztoků I (SLKR I) vypuštěn první destilát do Ploučnice (DCHT)
2009, říjen	zahájen zkušební provoz nové sanační technologie Zpracování matečných louhů (NDS ML, dříve ZML), výstupem z NDS ML jsou zbytkové technologické roztoky (ZTR), které se vtlačí do vrtu V-5 v předpolí DH I; v plném provozu od července 2011
2012, červenec	zahájen zkušební provoz nové sanační technologie Neutralizační a dekontaminační stanice 10 (NDS 10), výstupem z NDS 10 jsou zbytkové technologické roztoky, které se vtlačí do vrtů V-5 a HSCC-47 v předpolí DH I; v plném provozu od července 2013

Tabulka 6. Objekty významné pro hodnocení vývoje hydraulického systému:

Název vrtu, jámy	X_JTSK	Y_JTSK	X_DCS	Y_DCS	Z_Terén
JAMA-1	978778,02	703087,78	15912,22	13221,98	350,50
JAMA-2	978752,84	703109,55	15890,45	13247,16	350,50
JAMA-3	978717,39	704630,01	14369,99	13282,61	322,10
JAMA-4	977175,00	701165,00	17835,00	14825,00	406,10
JAMA-5	977263,76	701076,79	17923,21	14736,24	420,60
JAMA-6	981285,00	702240,00	16760,00	10715,00	351,10
JAMA-7	981278,99	702132,46	16867,54	10721,01	353,50
JAMA-9P	980980,00	703527,00	15473,00	11020,00	345,60
VV-1	978843,68	703944,21	15055,79	13156,32	326,67
VV-2	978858,27	704377,95	14622,05	13141,73	315,20
HSTV-19	978768,59	704572,79	14427,21	13231,41	319,75

Objekty VV-1, VV-2 a HSTV-19 jsou technické vrty na DH I, do kterých se vtlačela alkalizací upravená odkalištní voda.

5. Monitorovací sítě podzemních vod

5.1. Monitorovací síť s. p. DIAMO, o. z. TÚU

V letech 1965 až 2014 bylo v zájmové oblasti v rámci monitoringu hladin podzemních vod v jednotlivých zvodních s. p. DIAMO o. z. TÚU sledováno více než 2000 vrtů.

Vrty jsou rozmístěny velmi nerovnoměrně - převážná část vrtů je situována v oblasti dřívější těžby uranu (vyluhovací pole DCHT a jejich okolí a dále okolí objektů hlubinné těžby), tj. v cenomanské zvodni strážského bloku. Druhou zvodni s velkým počtem monitorovacích vrtů je turonská zvodeň strážského bloku.

Počty monitorovacích vrtů v tlusteckém bloku jsou výrazně nižší, vrty jsou situovány převážně v blízkosti strážského zlomu.

Státní podnik DIAMO o. z. TÚU používá pro zpracování a evidenci dat získaných monitoringem měření hladin podzemní vody databázi „UrovenPV“, navázanou na základní údaje o poloze monitorovacích vrtů a jejich konstrukci z centrální databáze vrtů „Gtis_06“. Celkem jsou v databázi uloženy měření z 2133 vrtů, nejstarší data pocházejí z roku 1965.

Hydrogeologické vrty

Při vyhledávání, průzkumu a těžbě uranových rud byly neoddělitelnou součástí průzkumných metod hydrogeologické práce. Hydrogeologické práce ve strážském bloku se soustředily na následující problémy: výzkum hydrogeologické struktury strážského bloku; provozní otázky odvodnění ložiska; řešení problematiky těžby uranu podzemním loužením in situ; problematika možného ovlivnění zdrojů pitné vody. Odpovědi na výše uvedenou problematiku byly získávány prostřednictvím hydrogeologických vrtů. Součástí těžby byl i hydrogeologický monitoring turonského a cenomanského kolektoru.

Hydrogeologický monitoring byl realizován prostřednictvím vrtů, které jsou obdobné konstrukce jako vrty technologické. Jsou to vrty štíhlé (konečná kolona 110 mm) i širokoprofilové (konečná kolona 324 mm). Používají se hlavně k měření hladin (vývoj hydraulické situace), k hydrochemickému monitoringu (kvalitativní stanovení ZTR, důlních a podzemních vod), k čerpání za účelem zjištění hydraulických parametrů, k čerpání za účelem odvodnění ložiska a k vyvedení zbytkových technologických roztoků z turonského i cenomanského kolektoru.

Do konce roku 2008 bylo ve strážském bloku odvrtno celkem 2043 hydrogeologických vrtů různé konstrukce. K vrtání hydrogeologických vrtů se využívalo

především bezjádrového vrtání, jádrové vrtání bylo využíváno výjimečně. Vrtné průměry byly na rozdíl od geologicko-průzkumných vrtů větší, protože HG vrty byly téměř vždy vystrojené. Vystrojení vrtu technickou kolonou slouží především k zajištění stěn vrtu před možností jejich zborcení v průběhu vrtání vrtu. Konečnou výstrojí se rozumí vystrojení vrtu pažnicemi, které mají za úkol stabilizovat jeho parametry po celou dobu životnosti.

Nejstarší HG vrty byly vrtány cca 20 m do nepropustných turonských vrstev, vrt byl následně zapažen a zacementován nejčastěji Fe pažnicemi o \varnothing 127 mm a následně byl ponechán nezapažen nebo vystrojen tzv. ztracenou kolonou s perforovanou částí o průměru 108 nebo 89 mm. Vzhledem k malému prostoru v mezikruží nebyla cementace pažnic, které měly sloužit k oddělení turonské a cenomanské zvodně, vždy bezchybná, těsnost vrtu ohrožovalo i to, že v pažnicích byly prováděny vrtné práce při dovtřívání vrtu. Tato konstrukce vrtu se ukázala jako nespolehlivá k oddělení obou zvodní. Dalším způsobem vrtání HG vrtů byl způsob, kdy byl vrt odvrtán do konečné hloubky, a ochranné pažnice se využívaly jen podle geologických podmínek v konkrétním vrtu. Konečnou výstroj vrtu následně tvořily Fe pažnice o \varnothing 108 nebo 89 mm. Cementace se prováděla až po zapažení vrtu, nebo byl vrt nejdříve vystrojen pažnicemi o průměru 108 mm, tyto byly zacementovány a vrt byl dopažen pažnicemi o průměru 89 mm. Tato konstrukce zajišťovala jen o něco lepší oddělení zvodní.

Obě výše uvedené konstrukce patří do kategorie tzv. „1. generace vrtů“. Vrty 1. generace nezajišťovaly 100 % oddělení turonské a cenomanské zvodně a byly často vystrojeny Fe pažnicovou kolonou, která byla vystavena agresivnímu prostředí v důsledku podzemního loužení uranu roztokem kyseliny sírové.

Posledním způsobem, jakým byly realizovány HG vrty (2. generace) a který je využíván i v současnosti, je odvrtání vrtu dostatečně velkým průměrem vrtného nářadí minimálně 10,0 m do nepropustných prachovců spodního turonu. Vrt je zapažen Fe pažnicemi, jejichž průměr závisí na dalším využití vrtu. Tato pažnice je zacementována a vrt je dovtříván do konečné hloubky. Konečná výstroj vrtu je tvořena pažnicemi z materiálu PEHD, které jsou vybaveny perforovanou částí. Po zapažení je v aktivní části vrtu proveden obsyp kačirkem cca 2 m nad perforace, je proveden pískový obsyp, aby nedošlo k proniknutí cementové směsi do perforací vrtu, a mezikruží vrtu je zacementováno včetně intervalu vystrojeného Fe pažnicemi, které již oddělují turonskou zvodně od zbývajících částí vrtu. Tímto způsobem je dosaženo dvojího oddělení zvodní. Díky používaným vrtným průměrům, které jsou dostatečně velké, je možné zaručit úplnou a dostatečnou cementaci mezikruží. Kvalita provedené cementace je kontrolována i pomocí karotážních měření. Vrty 2. generace již zajišťují dokonalé oddělení turonské a cenomanské zvodně.

5.2. Monitorovací síť ČHMÚ

V zájmové oblasti maximálního dosahu možného ovlivnění režimu podzemních vod aktivitami s. p. DIAMO o. z. TÚU se nachází více než 100 vrtů hluboké sítě, pozorovaných ČHMÚ v různých obdobích.

Český hydrometeorologický ústav **provozuje jedinou celoplošnou pozorovací síť podzemních vod** na území ČR, zahrnující více než 2 000 sledovaných objektů - viz. <http://voda.chmi.cz/opzv/sit/sit.htm> .

Celoplošná pozorovací síť vznikla postupně v letech 1957 až 1969, s výjimkou pozorovací sítě hlubších zvodní. V dalším období byla doplňována a upravována. Současný stav pozorovací sítě podzemních vod je proto výsledkem vývoje od konce padesátých let až do počátku let devadesátých, kdy byla uskutečněna poslední významná změna, respektive doplnění pozorovaných objektů.

Pozorovací síť hlubokých zvodní měla být podle původního záměru jedním z výsledků programu regionálního hydrogeologického průzkumu probíhajícího v období od šedesátých do devadesátých let. Část vrtů byla sledována od roku 1970, ale budování pozorovací sítě nebyla dokončena. Jednotlivé objekty proto nikdy nevytvořily funkční systém. V roce 1986 bylo započato s výstavbou pozorovací sítě hlubších zvodní podle jednotného projektu, i když v omezeném rozsahu, ve vodohospodářsky nejvýznamnějších oblastech. V rámci prací byly posouzeny již dříve pozorované vrty a vybrané byly začleněny do nově vznikajícího pozorovacího systému. Vzhledem k omezeným finančním prostředkům byla pozorovací síť zahrnující necelých 300 objektů vytvářena přebíráním již existujících objektů podle dílčích projektů zpracovaných pro jednotlivé hydrogeologické struktury.

Pozorování se uskutečňovalo u větší části pozorovací sítě manuálně v týdenním intervalu pomocí dobrovolných pozorovatelů nebo limnigrafy. Pozorovací síť hlubších zvodní byla projektována a vybudována jako plně automatizovaná a pozorování hladin je prováděno pomocí tlakových čidel stanicemi Noel v denním a v případě potřeby v hodinovém intervalu.

Rozsah pozorovací sítě se mění v souvislosti s jejím postupným budováním a úpravami. Původní rozsah pozorovací sítě v roce 1996, kdy bylo sledováno 499 pramenů - vydatnost a teplota, 1926 vrtů - hladiny podzemních vod, z toho přibližně 320 v automatickém režimu. V roce 1997 došlo v rámci úsporných opatření k redukci pozorovací sítě na 401 pramenů a 1723 vrtů. Tímto opatřením byla síť redukována o maximum objektů, které bylo možné z pozorování vypustit bez narušení celkové funkce sítě. Objekty, které nejsou nadále pozorovány nebyly likvidovány.

Data monitorovací sítě jsou uložena v databázi ORACLE a pravidelně vyhodnocována v ročním intervalu jako celek. Kromě toho jsou zpracovávány účelové studie a podklady, ročenky a pod. ČHMÚ vydává pravidelně hydrologickou ročenku.

V letech 2006-2007 byla rozšířena monitorovací síť vrtů ČHMÚ zejména jihozápadním směrem k oblasti drenáže cenomanské zvodně.

Projekt ISPA/FS č.2000/CZ/16/P/PE/003, jehož nositelem a konečným příjemcem podpory byl Český hydrometeorologický ústav, byl zahájen v roce 2004. Účelem projektu bylo rekonstruovat státní monitorovací sítě podzemních vod, část monitorovací sítě povrchových vod a dovybavit ústav výpočetní technikou tak, aby monitorování a hodnocení splňovalo požadavky dané směrnicemi ES zejména Směrnice 2000/600/ES ustanovující rámec pro činnosti v oblasti vodní politiky a vyhověly i nárokům na ochranu podzemních vod v hustě osídlené a industrializované krajině, s důrazem na zjištění dlouhodobých trendů ve vztahu ke změnám klimatu, začlenění podzemních vod do hydrologické bilance jako složky odtoku, kontrolu užívání a dalších antropogenních ovlivnění režimu podzemních vod, získávání podkladů pro vodohospodářskou bilanci a posuzování vlivu režimu podzemních vod na ekosystém jako celek. Cílem obnovy pozorovací sítě bylo pokrýt přiměřeně celé území ČR bez ohledu na hydrogeologickou významnost a zachytit podrobněji hydrogeologické struktury, v nichž se vytváří největší množství podzemních vod. Minimální hustota pozorovací sítě by měla odpovídat složitosti hydrogeologických struktur a neměla by klesat pod 50 km² na jeden pozorovací objekt, přičemž nejmenší hustota pozorovací sítě by nikde neměla překročit 70 km² na jeden objekt, tak aby bylo možné popsat plošně režim podzemních vod. Ve vodohospodářsky významných hydrogeologických strukturách by měla hustota sítě dosáhnout 30 km² na pozorovací objekt.

V rámci projektu ISPA/FS bylo v zájmovém území v letech 2006-2007 vybudováno 50 vrtů sledujících jednotlivé křídové zvodně.

Z databáze ČHMÚ byly získány časové řady nadmořských výšek hladin podzemní vody ze 110 vrtů. Rozdělení vrtů podle jednotlivých zvodní je uvedeno v tabulkách 7 až 10.

Některé vybrané vrty monitorovací sítě ČHMÚ jsou totožné s vrty sledovanými v rámci sítě DIAMO, s.p.. Časové řady hladin podzemních vod z těchto vrtů byly doplněny do databáze hladin vrtů s. p. DIAMO, o. z. TÚU.

Maximální délka dostupných časových řad sledování hladin na vrtech sítě ČHMÚ je v období 1960 - 2014.

U objektů pozorovací sítě ČHMÚ v zájmové oblasti byla hodnocena kvalita dostupných dat (nadmořská výška hladiny podzemní vody), délka časové řady, zejména počátek pravidelného sledování hladin, a úplnost řady sledování. Kvalita časových řad je velmi rozdílná, u mnoha objektů chybí poměrně dlouhé úseky sledování. Některé tyto chybějící úseky jsou dodatečně doplněny lineárně dopočítanými hodnotami, které většinou neodpovídají sezónním výkyvům.

Tabulka 7: Vrtý sítě ČHMÚ v cenomanské zvodni strážského bloku - CS

číslo	název	X_DCS	Y_DCS	X_JTSK	Y_JTSK
VP7511	Bukovno (Líny), HSP 1 C	9405	-14725	-709 595	-1 006 725
VP7519	Brodce, KBL 1 A	10262	-30586	-708 738	-1 022 586
VP7528	Ralsko (Náhlov), 2H011	18750	7862	-700 250	-984 138
VP7529	Cetenov (Hrubý Lesnov), 2H013	20370	6022	-698 630	-985 978
VP7530	Jenišovice u Jablonce n. N., 2H018	33929	1398	-685 071	-990 602
VP7532	Ralsko, 2H023	12467	1078	-706 533	-990 922
VP7534	Bělá pod Bezdězem (Vrchbělá), 2H030	6456	-5933	-712 544	-997 933
VP7536	Bělá pod Bezdězem, 2H032	10149	-8127	-708 851	-1 000 127
VP7538	Ptýrov, VP7514N	19333	-10162	-699 667	-1 002 162
VP7539	Horní Bukovina, VP7521N	19130	-5063	-699 870	-997 063
VP7541	Bělá pod Bezdězem (Bezdědice), 2H036	1717	-10124	-717 283	-1 002 124
VP7543	Benátky nad Jizerou (Obodř), VP7520N	5288	-31801	-713 712	-1 023 801
VP7544	Vrátno, 2H130	188	-14248	-718 812	-1 006 248
VP7546	Kropáčova Vrutice (Střížovice), 2H132	-1090	-28492	-720 090	-1 020 492
VP7548	Nemyslovice, 2H135	4574	-25186	-714 426	-1 017 186
VP8201	VP8201	-13875	-8999	-732 875	-1 000 999
VP8214	Liběchov, SK 5 C	-17269	-15773	-736 269	-1 007 773
VP8216	VP8216 Úštěk J581781 C	-20851	3960	-739 851	-988 040
VP8221	Býčkovice (Velký Újezd), SH 13 C	-31570	2168	-750 570	-989 832
VP8225	Chcebuz (Chcebuz), 2H117	-17025	-7704	-736 025	-999 704
VP8227	Vysoká (Vysoká u Mělníka), 2H124	-10671	-16856	-729 671	-1 008 856
VP8235	Úštěk (Tetčiněves), VP8216N	-21006	2852	-740 006	-989 148
VP8419	VP8419 Doksy /Břehyně/ HP 21C	3858	-721	-715 142	-992 721
VP8421	VP8421 Tachov HJ 30C	-2659	-2946	-721 659	-994 946
VP8423	VP8423 Doksy /Obora/ HP 22C	382	-2409	-718 618	-994 409
VP8452	VP8452, Sosnová, Lesná, LO 6 J C	-6959	10013	-725 959	-981 987
VP8469	Chlum (Drachlava), 2H095	-9056	2277	-728 056	-989 723
VP8471	Tachov (Tachov u Doks), 2H118	-2698	-2927	-721 698	-994 927
VP8473	Jestřebí (Jestřebí u České Lípy), 2H234	-4992	5602	-723 992	-986 398
VP8482	Ralsko (Hradčany nad Ploučnicí), 2H250	5289	5906	-713 711	-986 094

Tabulka 8: Vrtý sítě ČHMÚ v turonské zvodni strážského bloku - TS

číslo	název	X_DCS	Y_DCS	X_JTSK	Y_JTSK
VP7501	Kobyly, HP-24 T	25072	96	-693928	-991904
VP7503	Bílá, VIčetín, HP-9 T	26799	9297	-692201	-982700
VP7505	Český Dub, Kněžičky, HP-14 T	24160	6801	-694840	-985199
VP7508	Všelibice, HP-18 T	4827	22075	-696925	-987173
VP7510	Cetenov, Hrubý Lesnov, HP-17 T	6104	20002	-698998	-985896
VP7512	Bukovno, Líny, HSP 1 T	9464	-14743	-709536	-1006743
VP7513	Ralsko, Náhlov, HP 15 T	7848	18766	-700234	-984152
VP7520	Benátky n.Jiz., Obodř, HSP 2 T	5256	-31792	-713744	-1023792
VP7523	Bělá pod Bezdězem, PT 2	-6569	11592	-707408	-998569
VP7525	Stránka, Tajná, PŠ 19	-1112	-16830	-720112	-1008830
VP7526	Kropáčova Vrutice, Sušno, V 3	-27236	3165	-715835	-1019236
VP7531	Jenišovice u Jablonce n. N., 2H017, T	33929	1398	-685071	-990602
VP7533	Ralsko, 2H022, T	12455	1076	-706545	-990924
VP7535	Bělá pod Bezdězem (Vrchbělá), 2H029 T	6459	-5926	-712541	-997926
VP7540	Horní Bukovina, VP7522N, T	19122	-5066	-699878	-997066
VP7542	Bělá pod Bezdězem (Bezdědice), 2H035T	1707	-10124	-717293	-1002124
VP7545	Vrátno, 2H129, T	178	-14248	-718822	-1006248
VP7547	Horní Slivno (Horní Slivno), 2H133, T	-1084	-28501	-720084	-1020501
VP7549	Nemyslovice, 2H136, T	4592	-25192	-714408	-1017192
VP8200	Brzánky, Br 1	-25751	-8906	-744751	-1000906
VP8202	Medonosy, Chudolazy, HJ 28 T	-13875	-8999	-732875	-1000999
VP8204	Vysoká, Chodeč, HJ 31 TP	-12432	-14273	-731432	-1006273
VP8205	Vysoká, Chodeč, HJ 31 TL	-12432	-14273	-731432	-1006273
VP8212	Hostín HS 1 A	-6961	-24884	-725961	-1016884
VP8213	Dobřeň, SK - 3 TA	-8358	-9296	-727358	-1001296
VP8215	Liběchov, SK 5 T	-17257	-15755	-736257	-1007755
VP8217	Úštěk J 581780 T	-20851	3960	-739851	-988040
VP8218	Snědovice /V. Hubenov/ O-16	-18974	-1234	-737974	-993234
VP8219	Štětí, Chcebuz, SK - 4 TA	-17078	-7727	-736078	-999727
VP8220	Býčkovice, Velký Újezd, SH - 13	-31570	2168	-750 570	-989 832
VP8226	Dobřeň, 2H121, T	-8353	-9259	-727353	-1001259
VP8228	Vysoká (Vysoká u Mělníka), 2H125, T	-10667	-16868	-729667	-1008868
VP8236	Úštěk (Tetčiněves), VP8217N, T	-21013	2851	-740013	-989149
VP8314	Snědovice (Velký Hubenov), 2H203, T	-18994	-1265	-737994	-993265
VP8420	Doksy /Břehyně/ HP 21T	3833	-703	-715167	-992703
VP8422	Tachov HJ 30T	-2659	-2946	-721659	-994946
VP8424	Doksy /Obora/ HP 22T	389	-2454	-718611	-994454
VP8425	Blíževedly /Hvězda/ LO 14 JT	-14222	5087	-733222	-986913
VP8453	Sosnová, Lesná, LO 6 P	-6975	10046	-725975	-981954
VP8470	Chlum (Drachlava), 2H096, T	-9056	2269	-728056	-989731
VP8472	Tachov (Tachov u Doks), 2H119, T	-2709	-2936	-721709	-994936
VP8474	Jestřebí (Jestřebí u České Lípy), 2H235, T	-4978	5594	-723978	-986406
VP8483	Ralsko (Ploužnice pod Ralskem), 2H253, T	10122	3432	-708878	-988568
VP8484	Ralsko (Hradčany nad Ploučnicí), 2H251 T	5298	5903	-713702	-986097
VP8486	Ralsko (Svébořice), 2H255, T	14237	4453	-704763	-987547

Tabulka 9: Vrtý sítě ČHMÚ v cenomanské zvodni tlusteckého bloku - CT

číslo	název	X_DCS	Y_DCS	X_JTSK	Y_JTSK
VP8207	Úštěk /Brusov/ LO 1A	-22 383	9 220	-741383	-982780
VP8210	Býčkovice SH 1 A	-31 069	4 165	-750069	-987835
VP8220	Býčkovice /V. Újezd/ SH-13	-31 550	2 165	-750550	-989835
VP8231	Úštěk (Brusov), VP8208N	-22 282	9 374	-741282	-982626
VP8413	Zdislava HP-4C	19 371	18 115	-699629	-973885
VP8415	Rynoltice /Jitřava/ HP 7C	16 298	22 875	-702702	-969125
VP8417	Jablonné v Podj. /Valdov/ HP 23C	11 797	19 425	-707203	-972575
VP8439	Jablonné v P. /Kunratické domky/ LO 12 JC	7 740	21 736	-711260	-970264
VP8445	Zákupy, Kamenice, 324 337 EHC	4 461	13 706	-714539	-978294
VP8446	Radvanec SK 10C	-1 429	21 477	-720429	-970523
VP8449	Česká Lípa /St. Lípa/ PO 1	-5 093	14 138	-724093	-977862
VP8475	Mařenice, 2H236	4 716	27 718	-714284	-964282
VP8479	Pertoltice pod Ralskem, 2H247	6 092	11 411	-712908	-980589
VP8491	Česká Lípa (Stará Lípa), VP8450N	-5 116	14 232	-724116	-977768

Tabulka 10: Vrtý sítě ČHMÚ v turonské zvodni tlusteckého bloku - TT

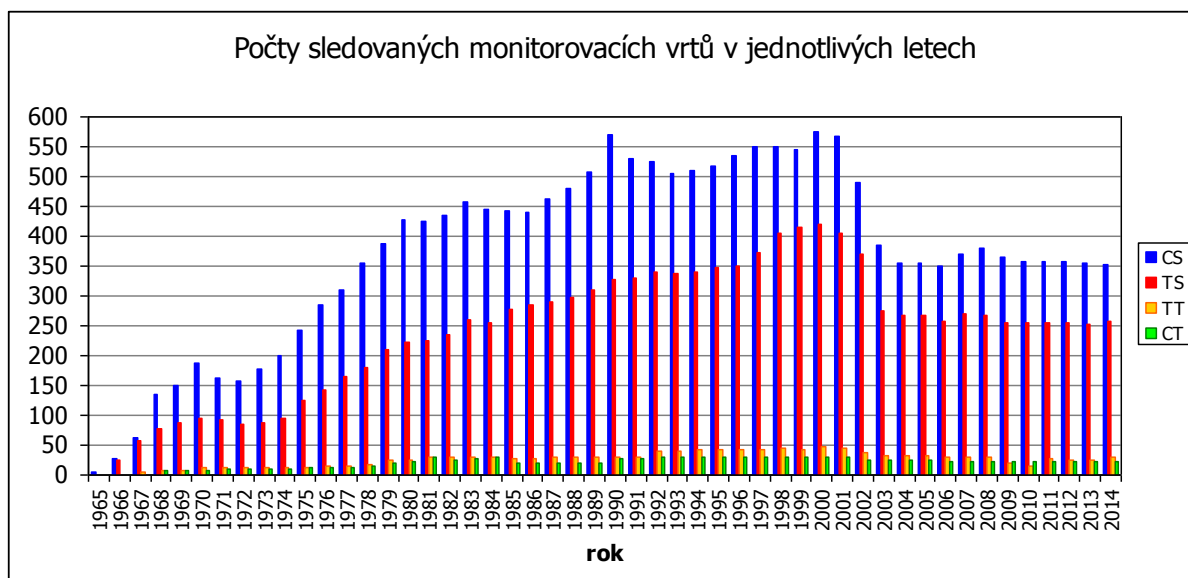
číslo	název	X_DCS	Y_DCS	X_JTSK	Y_JTSK
VP8208	Úštěk /Brusov/ LO 1B	-22383	9220	-741383	-982780
VP8209	Úštěk /Habřina/ SH 1A	-24010	6159	-743010	-985841
VP8211	Býčkovice SH 1	-31080	4156	-750080	-987844
VP8232	Úštěk (Brusov), VP8207N	-22 277	9 372	-741277	-982628
VP8234	Úštěk (Habřina u Úštěku), 2H215	-24 048	6 521	-743048	-985479
VP8414	Zdislava HP-4T	19383	18124	-699617	-973876
VP8416	Rynoltice /Jitřava/ HP 7T	16299	22885	-702701	-969115
VP8418	Jablonné v Podj. /Valdov/ HP 23T	11796	19415	-707204	-972585
VP8440	Jablonné v Podj. /Kunratické Domky/ LO 12 JT	7740	21731	-711260	-970269
VP8443	Zákupy 380 425 HT	2012	14810	-716988	-977190
VP8447	Radvanec LO 4	-1407	21495	-720407	-970505
VP8450	Česká Lípa /St. Lípa/ PO 2	-5056	14113	-724056	-977887
VP8451	Česká Lípa /St. Lípa/ PO 3	-4995	14115	-723995	-977885
VP8476	Mařenice, 2H237	4 709	27 723	-714291	-964277
VP8478	Zákupy (Brenná), 2H241	-415	9 444	-719415	-982556
VP8480	Pertoltice pod Ralskem, 2H248	6 093	11 419	-712907	-980581
VP8488	Žandov (Žandov u České Lípy), 2H275	-15 280	19 301	-734280	-972699
VP8489	Valteřice (Valteřice u Žandova), 2H278	-15 699	14 789	-734699	-977211
VP8490	Česká Lípa (Stará Lípa), VP8451N	-5 120	14 246	-724120	-977754

5.3. Vývoj monitorovací sítě

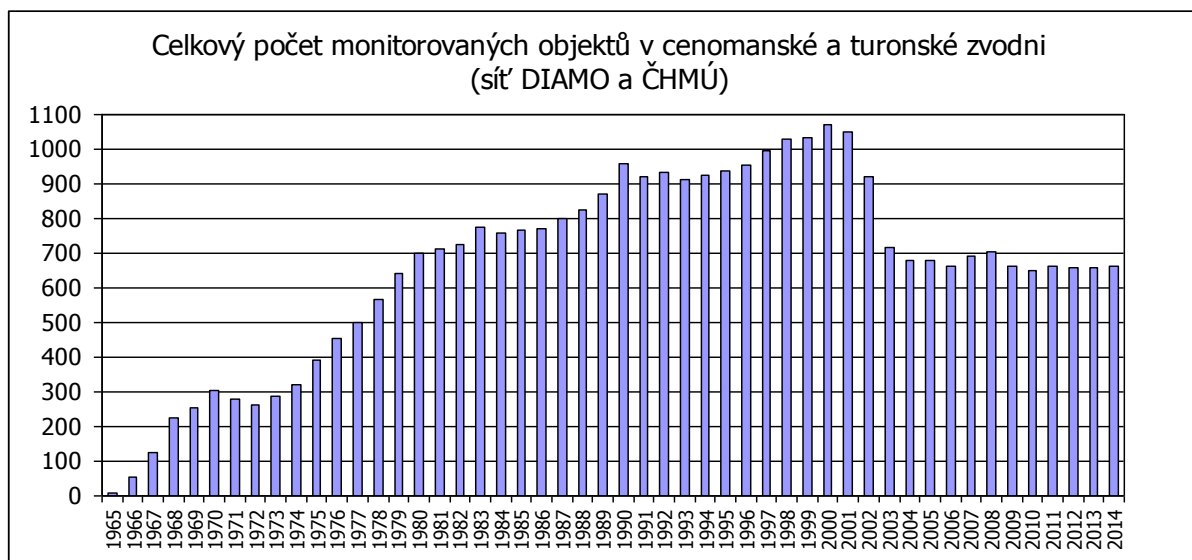
Počet monitorovaných objektů narůstá s rozvojem průzkumu radioaktivních surovin a následnou těžbou postupně od jednotek v roce 1965 po maximální počet 1057 objektů v roce 2001. Po roce 2001 je v rámci optimalizace sanačních prací snižován i počet monitorovaných objektů podzemních vod. Vývoj počtu monitorovaných objektů je zobrazen na obrázcích 6 a 7.

V celém sledovaném období, tj. od roku 1965 do současnosti, nebyly pouze budovány nové monitorovací vrty, ale často docházelo také k vyřazování objektů ze sítě, nahrazování jinými, nebo likvidacím nevyhovujících objektů. Celkem tedy bylo pro monitoring hladin podzemních vod v období 1965-2014 využito přibližně 2100 vrtů do cenomanské a turonské zvodně strážského a tlusteckého bloku - obr. 8.

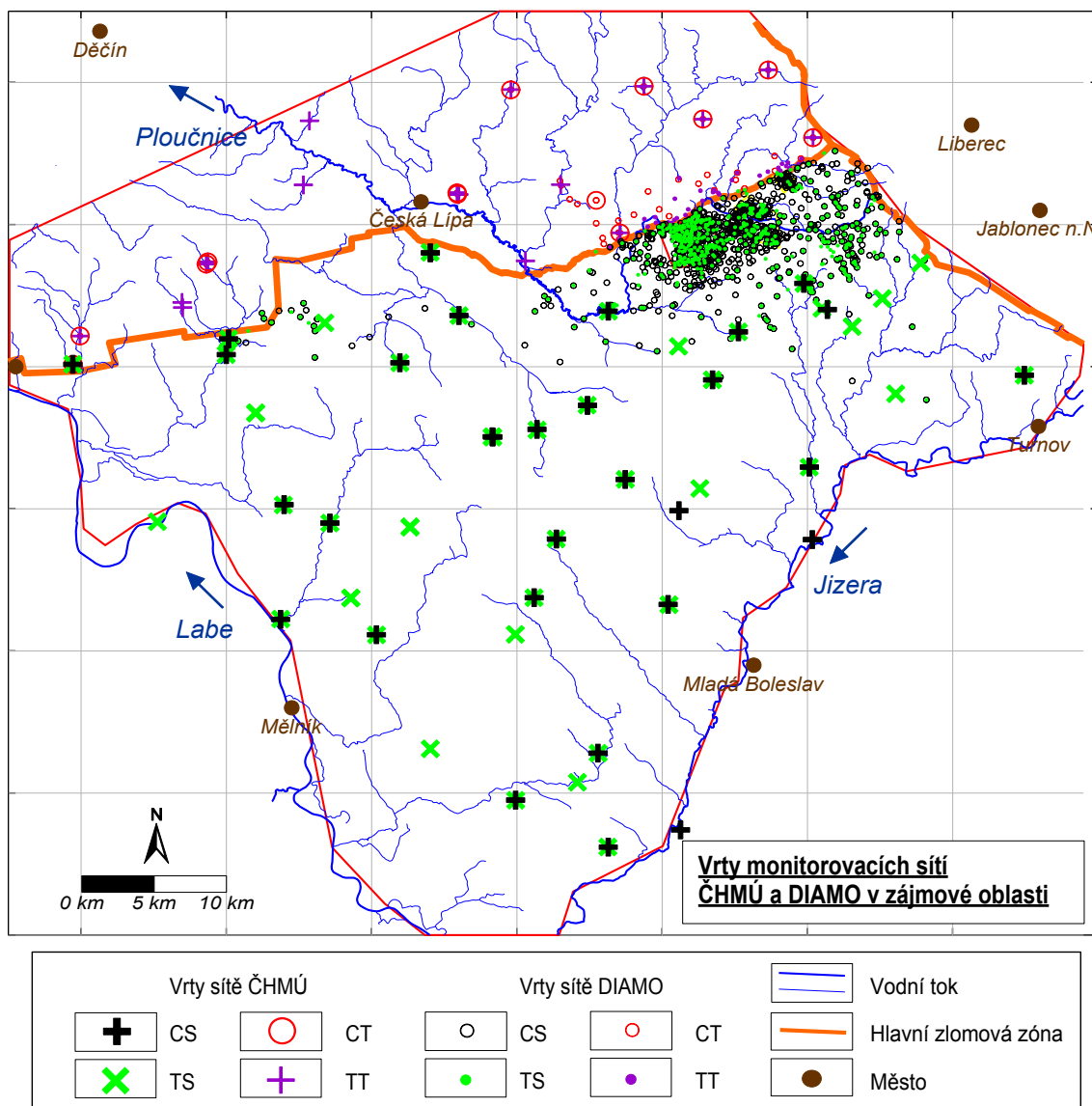
Pro úplnost je vhodné dodat, že s.p. DIAMO, o. z. TÚU, monitoruje od roku 1979 v různých etapách celkem 230 vrtů na odkališti a v okolí odkaliště úpravný uranu Stráž (tlustecký blok - coniak a „hrázové vrty“).



Obr. 6. Vývoj počtu monitorovaných objektů podzemních vod v jednotlivých zvodních. Vysvětlivky: CS - cenomanská zvodně strážského bloku, TS - turonská zvodně strážského bloku, CT - cenomanská zvodně tlusteckého bloku, TT - turonská zvodně tlusteckého bloku.



Obr. 7. Vývoj celkového počtu monitorovaných objektů podzemních vod



Obr. 8. Mapa sledovaných vrtů v zájmové oblasti - sít' DIAMO a ČHMÚ.

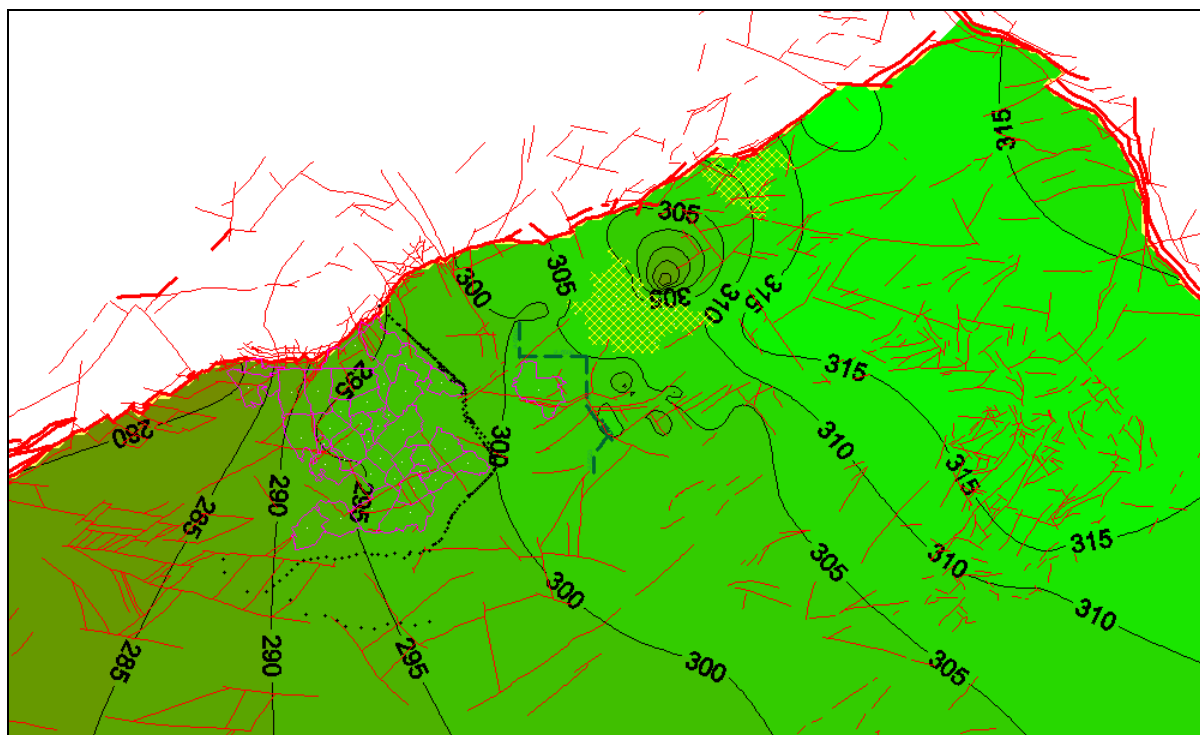
6. Hodnocení piezometrických poměrů a ovlivnění režimu podzemních vod

6.1. Cenomanská zvodně strážského bloku

Původní úroveň hladiny v cenomanské zvodni se pohybovala v hodnotách od 400 m n. m. u lužické poruchy, přes cca 300 m n. m. v oblasti vyluhovacích polí po přibližně 190 m n. m. směrem k údolí Labe, viz obrázek 9. a 11.

V cenomanské zvodni je již v roce 1967 zřetelná deprese hladiny podzemní vody, způsobená čerpáním vod při budování dolu Hamr I. Do konce roku 1967 byla hladina snížena již na cca 200 m n. m., tj. o cca 110 metrů.

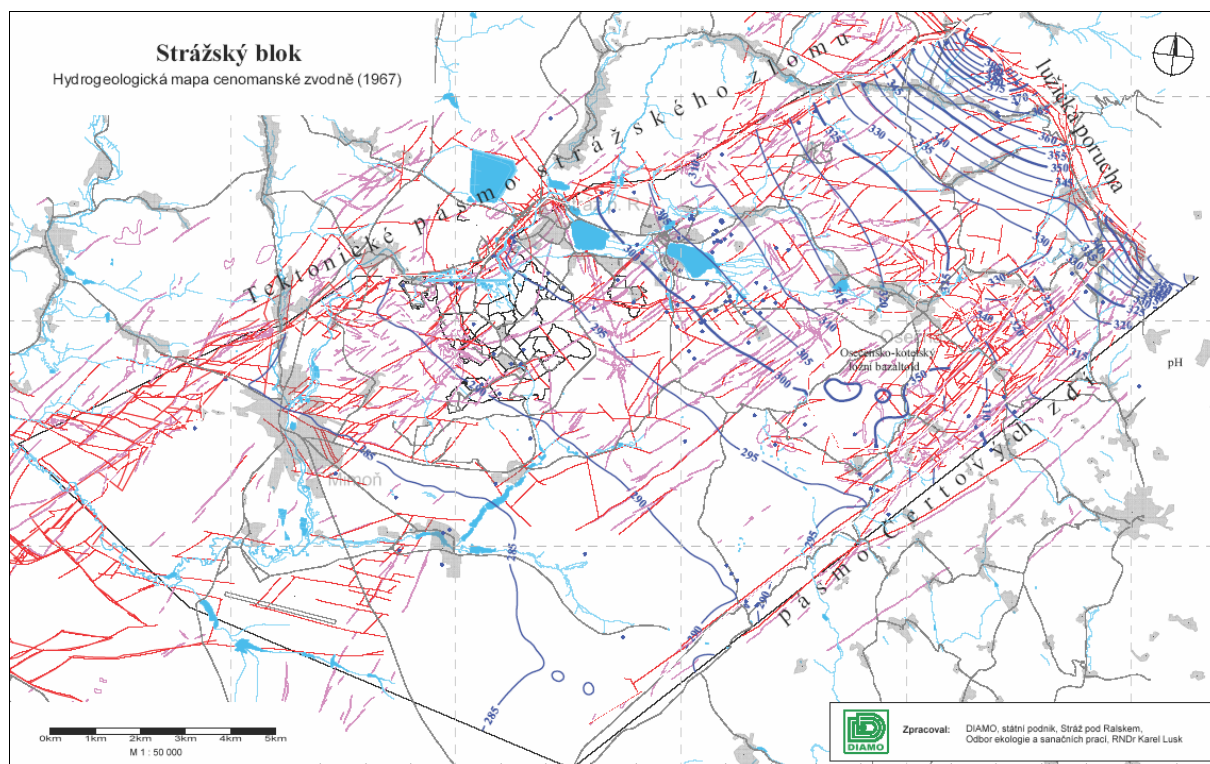
Mapa cenomanských hydroizopiez - stav v roce 1967 (obr. 9), byla sestavena z dostupných dat pouze pro užší oblast strážského bloku, zejména v okolí dolů Hamr a Křižany.



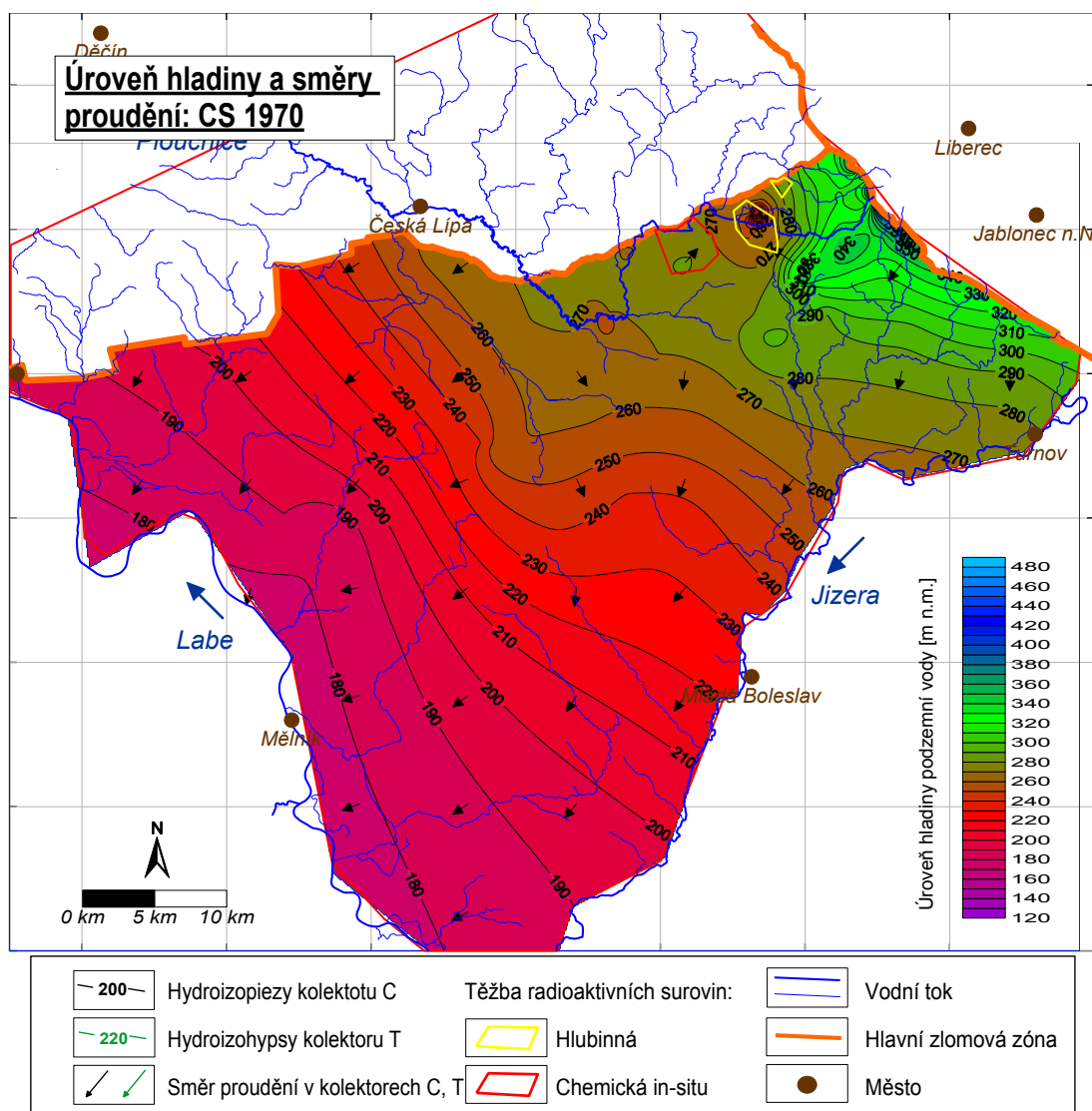
Obr. 9. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1967. V obrázku jsou pro lepší orientaci zobrazeny dobývací plochy DH I a DK I a kontury vyluhovacích polí DCHT a hydrobariér (v roce 1967 ještě neexistujících).

Mapy cenomanské a turonské zvodně, zobrazující stav před zahájením odvodňování v roce 1967, zpracoval též Lusk (2015), jako pracovní podklad pro kapitulu hydrogeologie strážského bloku pro grantový projekt TB010CBU002 "Nové technologické možnosti dobývání ložisek uranu v ČR s ohledem na minimalizaci dopadů na životní prostředí a jejich legislativní zajištění". Mapa cenomanské zvodně je uvedena na obr. 10.

Přestože autor uvádí, že se jedná o stav v roce 1967, není z map patrná již existující deprese hladiny cenomanské zvodně. Patrně se tedy jedná o stav starší.



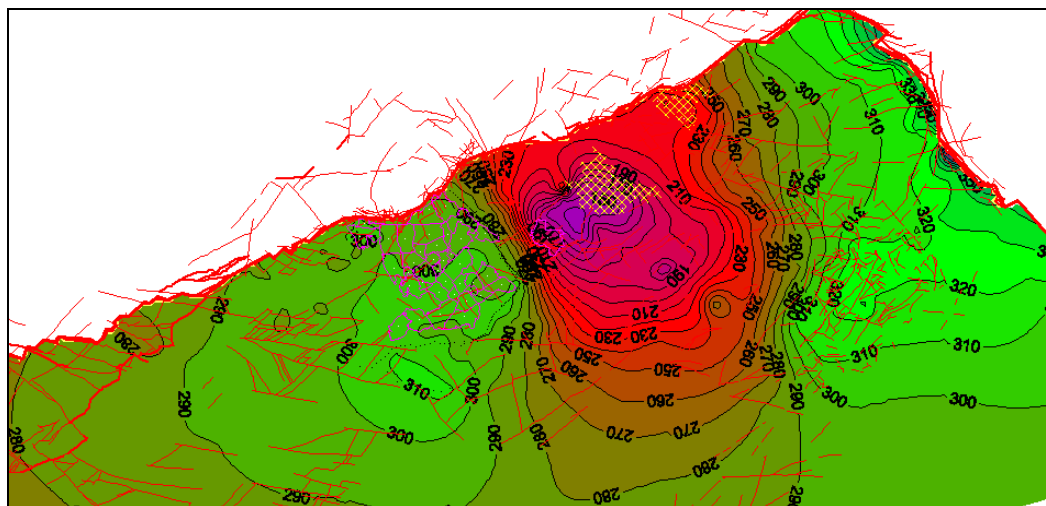
Obr. 10. Hydrogeologická mapa cenomanské zvodně - 1967 (Lusk 2015)



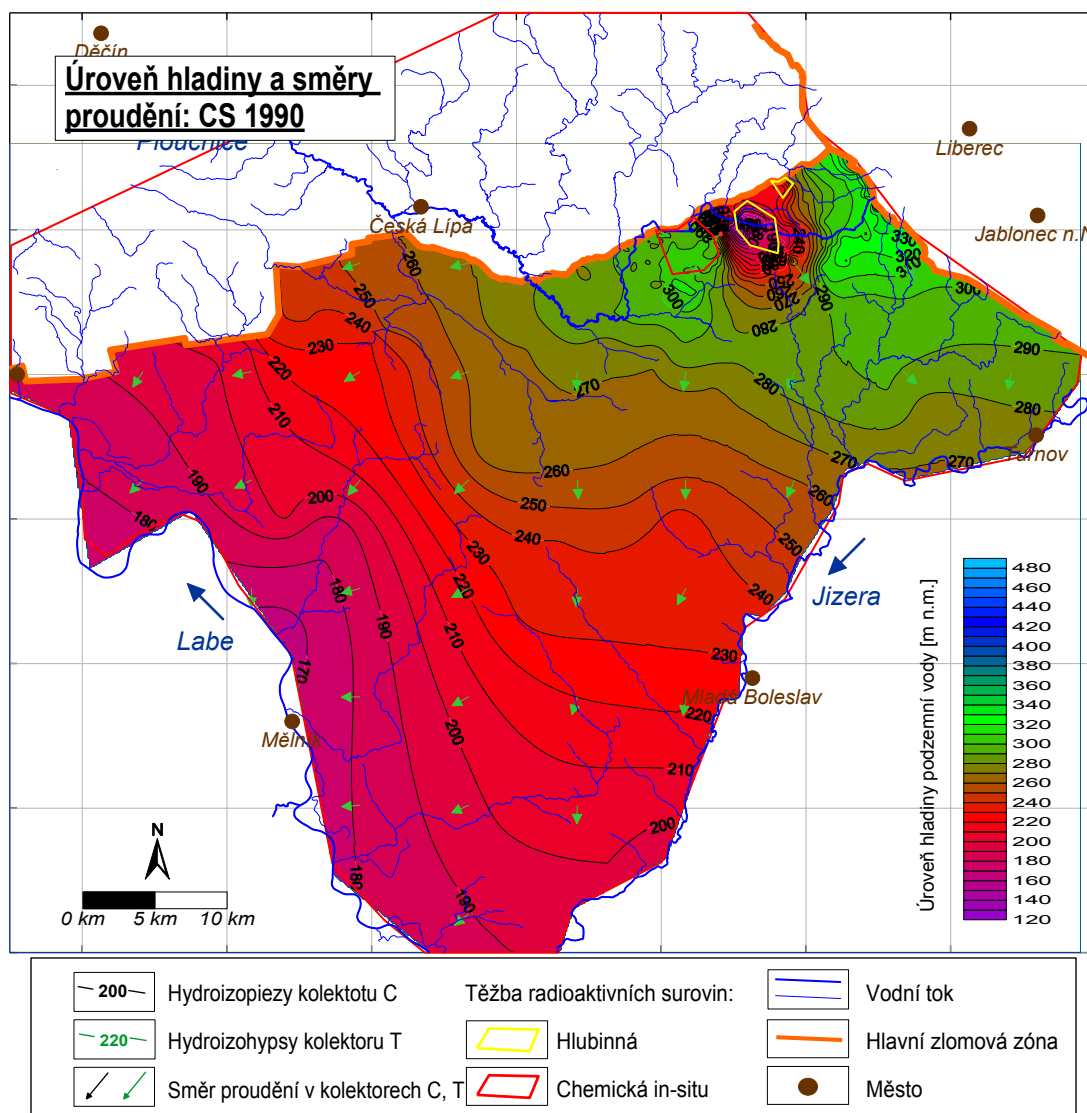
Obr. 11. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1970. V širší oblasti mimo vznikající depresní kužel odvodnění hlubinné těžby se jedná o neovlivněný stav.

Období těžby

V důsledku odvodňování v oblasti DH I a osušení dolového pole, což byl základní předpoklad pro provedení otvirkových, přípravných a těžebních prací na ložisku Hamr pod Ralskem, byla hladina cenomanské zvodně snížena až na úroveň cca 130 m n. m., tj. až o 170 m (jáma č. 13 DH I), obr. 12., širší oblast na obr. 13. Vzniklá depresní kotlina se rozšiřovala přibližně do roku 1991, kdy ve své centrální části dospěla k relativně ustálenému stavu. Tuto oblast ohraničuje přibližně hydroizopieza 260 m n. m. ve spojnici od strážského zlomu mezi severovýchodním okrajem DK I a obcí Křižany, přes obec Osečná po Náhlov. Vně této linie směrem k lužické poruše pokračoval pokles úrovně hladiny cenomanské zvodně převážně do roku 2001-2, v některých částech území (v blízkosti styku strážského zlomu s lužickou poruchou) trvá do současnosti.



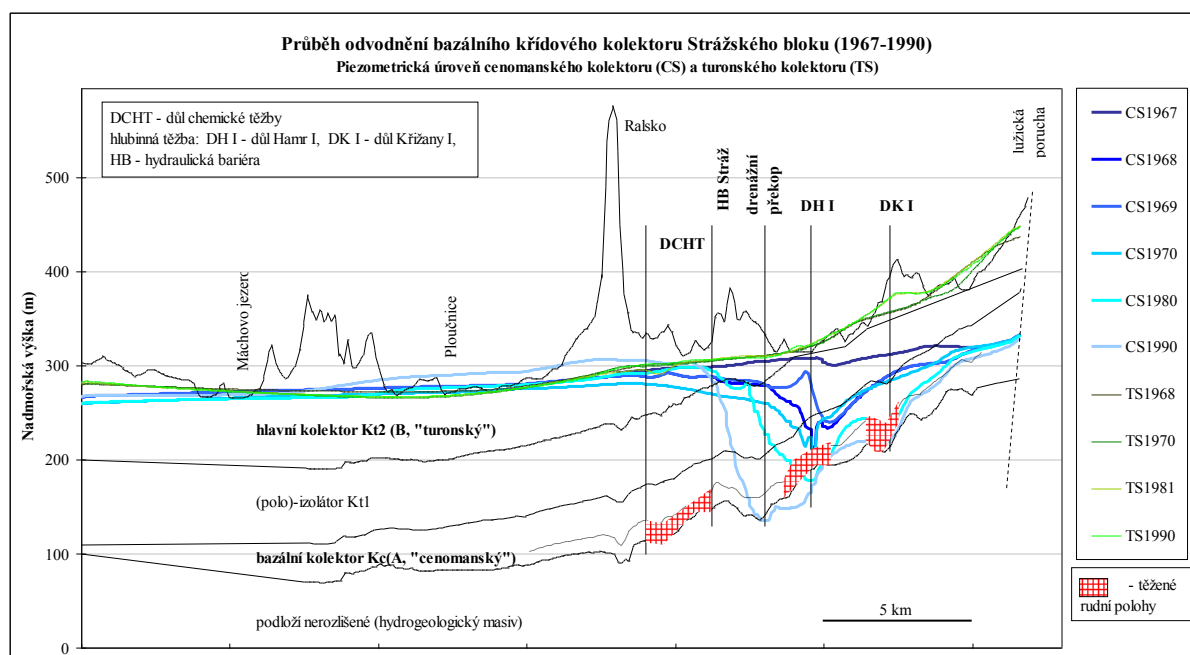
Obr. 12. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1990 - užší oblast.



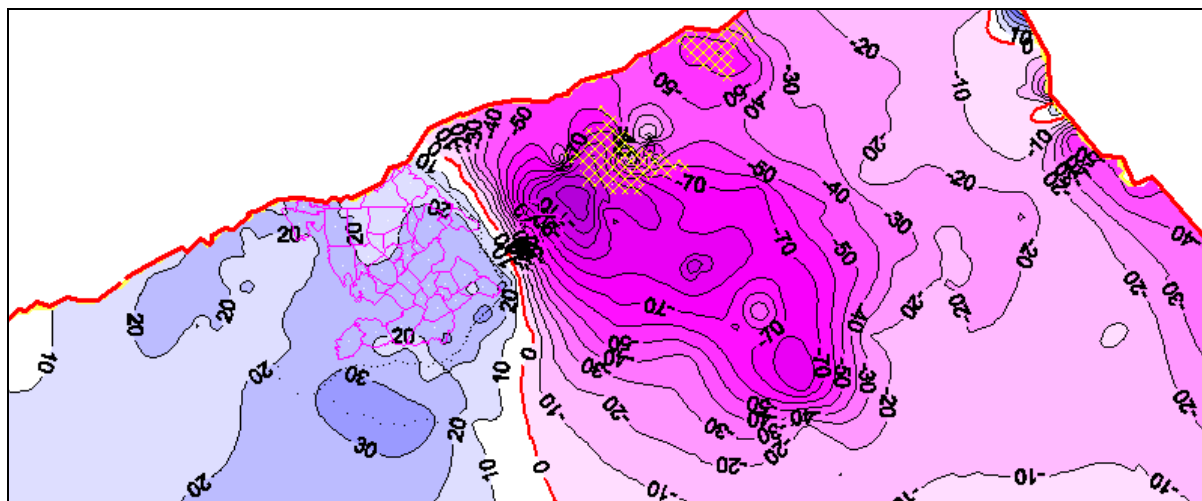
Obr. 13. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 1990 - širší oblast.

Mezi roky 1970 a 1990, kdy byly do provozu uváděny objekty hlubinné těžby, dochází v širším okolí dolu Hamr k výrazným poklesům hladiny v cenomanské zvodni. Tato deprese s centrem v dole Hamr I se postupně rozšiřuje k severovýchodu a východu až k lužické poruše. Naproti tomu v ploše vyluhovacích polí DCHT vzniká mírná nadbilance v cenomanské zvodni (objem vtláčených roztoků převažuje nad čerpáním) a mezi roky 1970 a 1990 zde dochází ke vzestupu hladiny až o 30 metrů. Maximální vzestup hladiny přibližně kopíruje linii hydraulických bariér (HB Stráž a HB Svěbořice, v plném provozu od roku 1985).

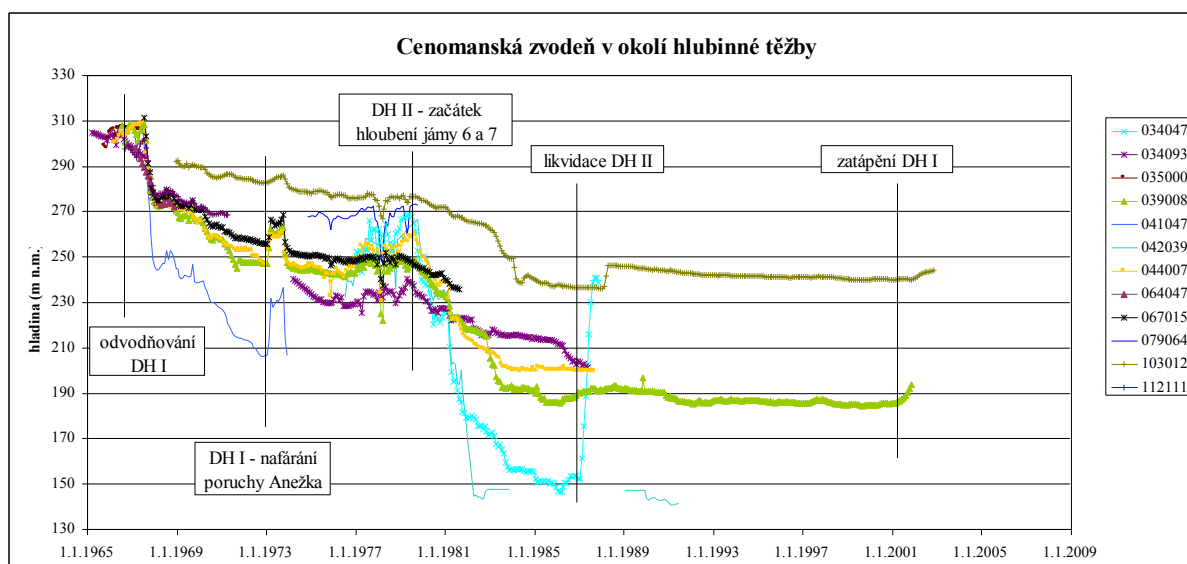
Na obr. 14, 15 a 16 je dokumentován postup odvodňování a reakce hladin v okolí hlubinné těžby.



Obr. 14. Průběh odvodnění bazálního kolektoru strážského bloku (1967-1990) v části Profilu 1

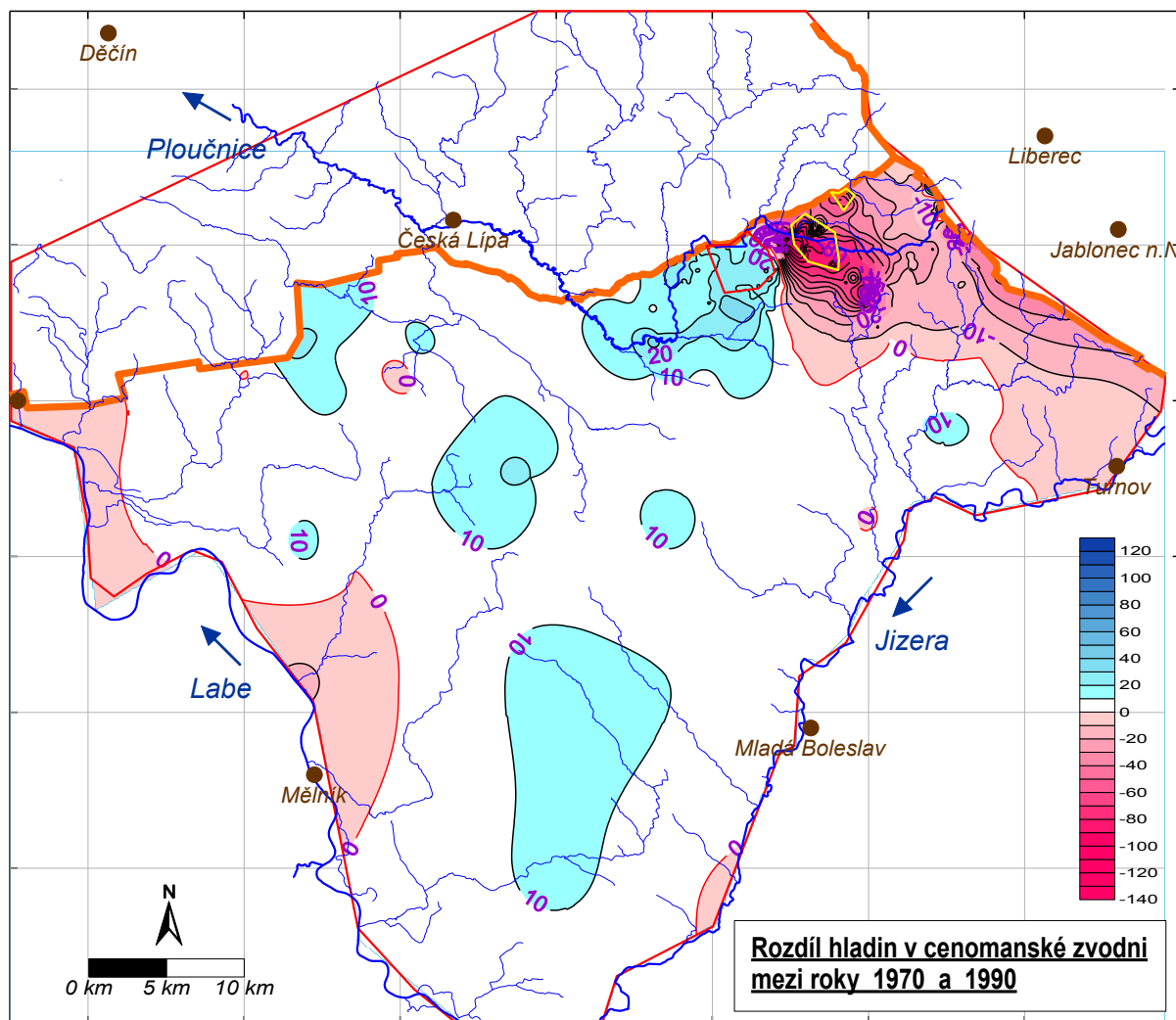


Obr. 15.: Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1970 a 1990 - užší oblast



Obr. 16. Cenomanská zvodně v okolí objektů hlubinné těžby s vyznačením významných změn

V širším zájmovém území, obr. 17, se postupně rozšiřuje depresní kotlina z okolí dolu Hamr k severu a východu k Lužické poruše a Jizeři. Směrem k drenážní oblasti jsou zaznamenány variabilní změny hladiny v cenomanské zvodni, které však mohou souviset s postupným budováním vrtů sítě ČHMÚ v širší oblasti. Při údolí Labe hladiny cenomanské zvodně mírně klesají.



Obr. 17. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1970 a 1990.

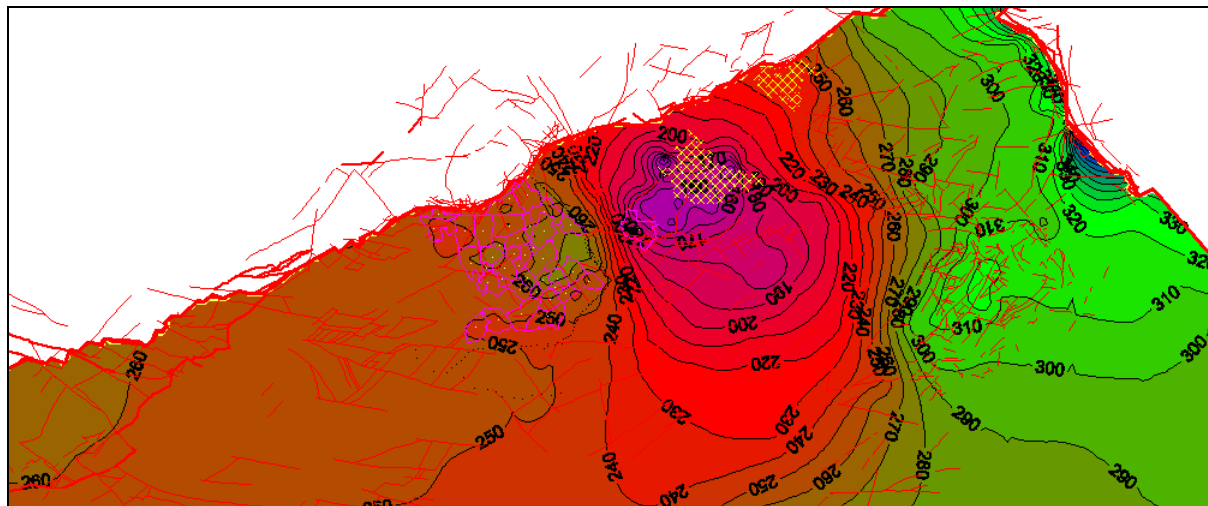
Stav před zatápěním DH I (1990-2001)

Od roku 1990 do roku 2001 je režim hladin v cenomanské zvodni v blízkém okolí DH I relativně ustálený (obr. 18,19). Mezi prostorem hlubinné a chemické těžby, resp. mezi hydraulickou bariérou Stráž a drenážními překopy DH I vzniká extrémní hydraulický gradient - rozdíl hladin až 170 m na vzdálenost 2,2 km. Směrem k lužické poruše pokračuje pomalý pokles hladiny. K výraznějšímu poklesu hladiny v cenomanské zvodni stále dochází jihovýchodně a jižně od DH I (pokles až 40 m).

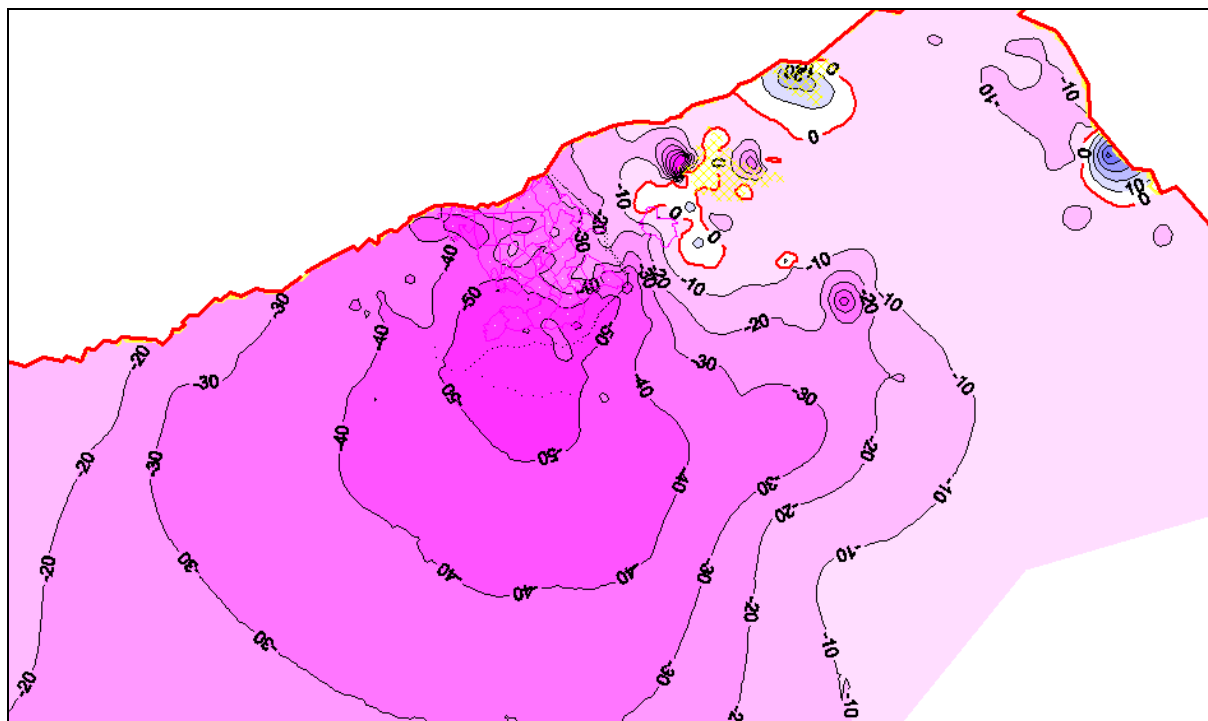
V ploše vyluhovacích polí DCHT klesá do roku 2001 hladina cenomanské zvodně až o 50 m proti roku 1990 (na úroveň 250-270 m n. m.), dosah poklesu hladin se výrazně rozšiřuje směrem k jihozápadu. Po roce 1990 je zatápen prostor dolu Křížany (DK I). Do roku

2001 se úroveň hladiny cenomanské zvodně v blízkém okolí DK I zvýšila o 20-30 metrů, tj. na úroveň kolem 240 m n. m. (obr. 19).

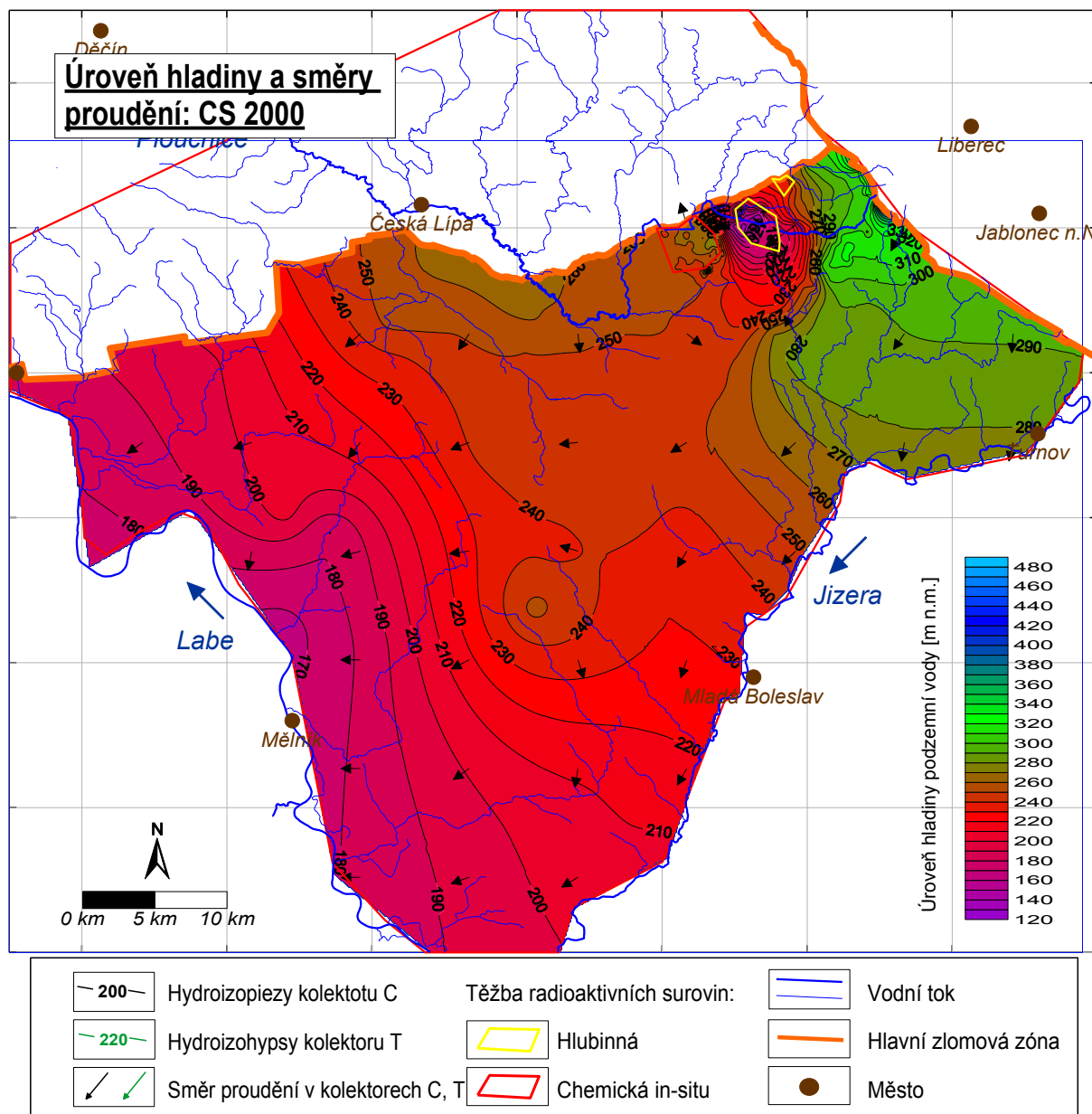
V širší zájmové oblasti (obr. 20, 21) je patrný pokles hladin v jihozápadním předpolí DCHT, který dosahuje k Jizeře a v prostoru Liběchovky až téměř k Labi, byť pouze v řádu prvních metrů.



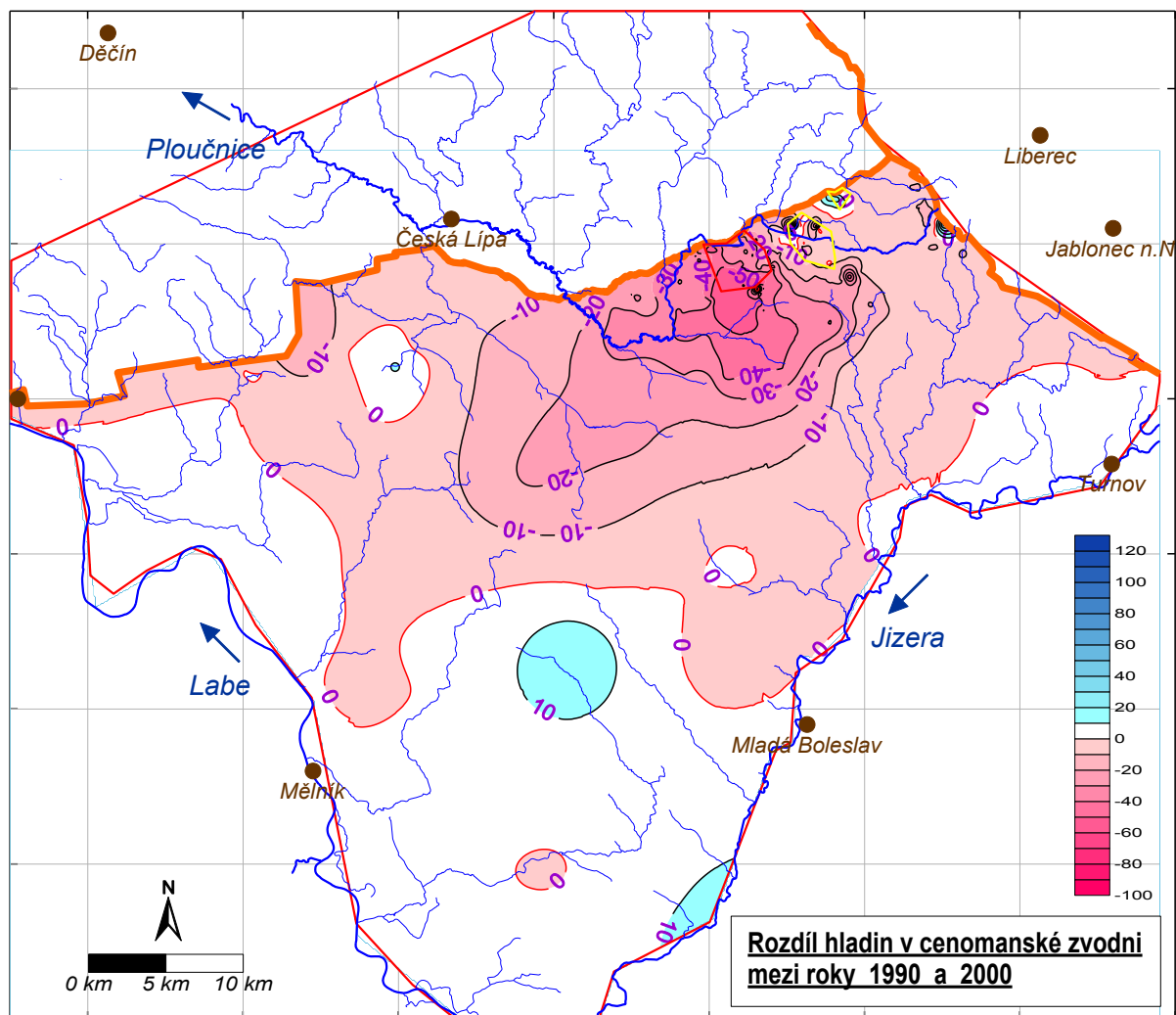
Obr. 18. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 2001 před zahájením zatápění - užší oblast.



Obr. 19. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1990 a 2001 - užší oblast před zahájením zatápění.



Obr. 20. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 2000.



Obr. 21. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1990 a 2000.

Průběh zatápění od roku 2001

Mezi lety 2001 a 2003 bylo postupně ukončeno čerpání důlních vod z dolu Hamr I (v dubnu 2001 jáma č. 13, květen 2003 konec čerpání z povrchu). Celkem zde bylo mezi lety 1966-2003 vyčerpáno 435,55 mil. m³ vody. V rámci zatápění byla do prostoru DH I v letech 2001 a 2003 vtláčena upravená voda z odkališť, celkem 4,72 mil. m³ (Datel 2009, Ekert & Mužák 2010).

Od roku 2001 dochází k výraznému vzestupu úrovní hladin v centrální části deprese cenomanské zvodně, viz obr. 22. Do konce roku 2003 hladina podzemní vody dosáhla stropu cenomanského kolektoru, při rychlosti vzestupu hladiny až 25 m/rok. Následně se rychlost vzestupu výtlačné úrovně hladiny výrazně snížila na 5-6 m/rok v centrální části deprese a dále postupuje lineárně v napjatém režimu hladiny.

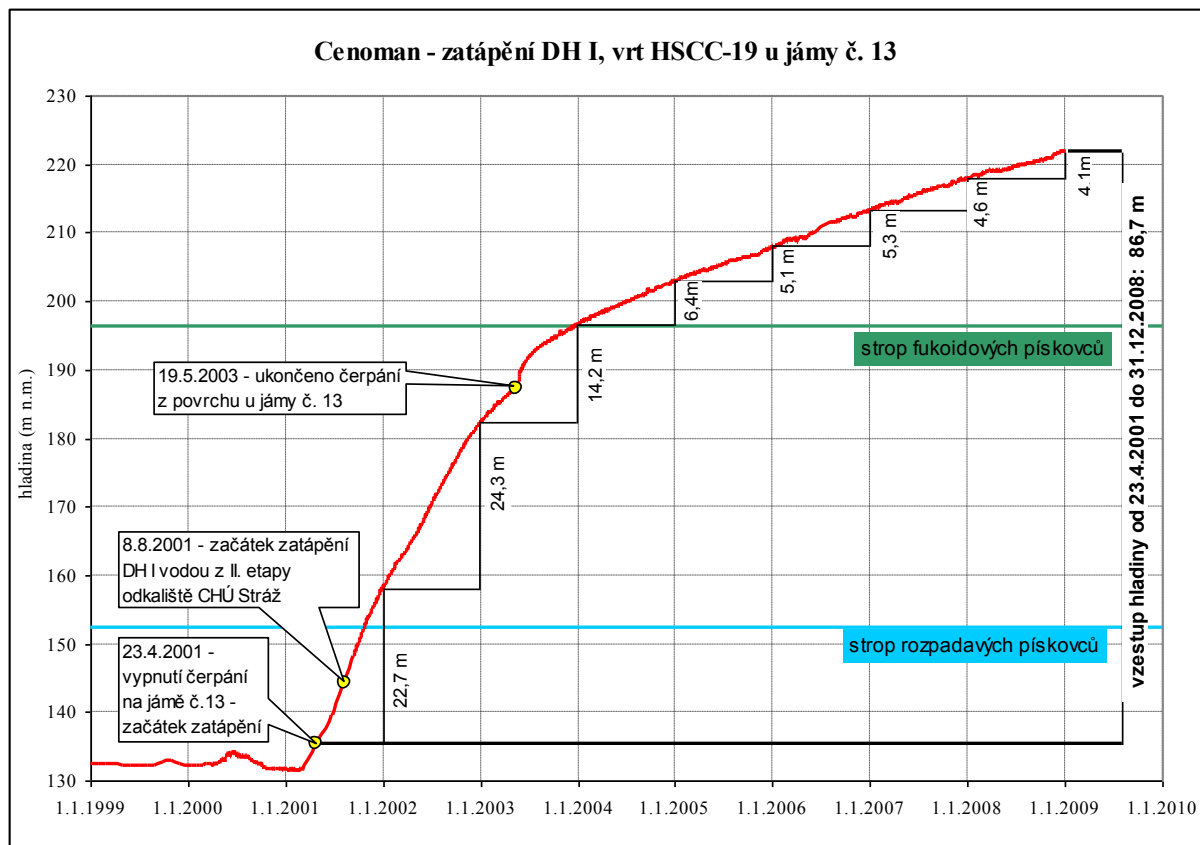
Do konce roku 2008 stoupla úroveň hladiny v blízkém okolí dolu Hamr I téměř o 90 m, do konce roku 2014 celkem o 125 m (obr. 23).

Na základě lineární regrese měřených hladin za posledních 10 let ve vrtu HSCC-19 v centru depresního kužele zatápěného Dolu Hamr I byla odhadnuta doba možného přiblížení hydraulických podmínek cenomanské zvodně ke stavu před zahájením odvodnění nejdříve kolem roku 2025, za předpokladu, že bude napjatá hladina zvodně stoupat i nadále stejnou rychlostí a nedojde k dalšímu ovlivnění v souvislosti se sanačními pracemi, viz obr. 24.

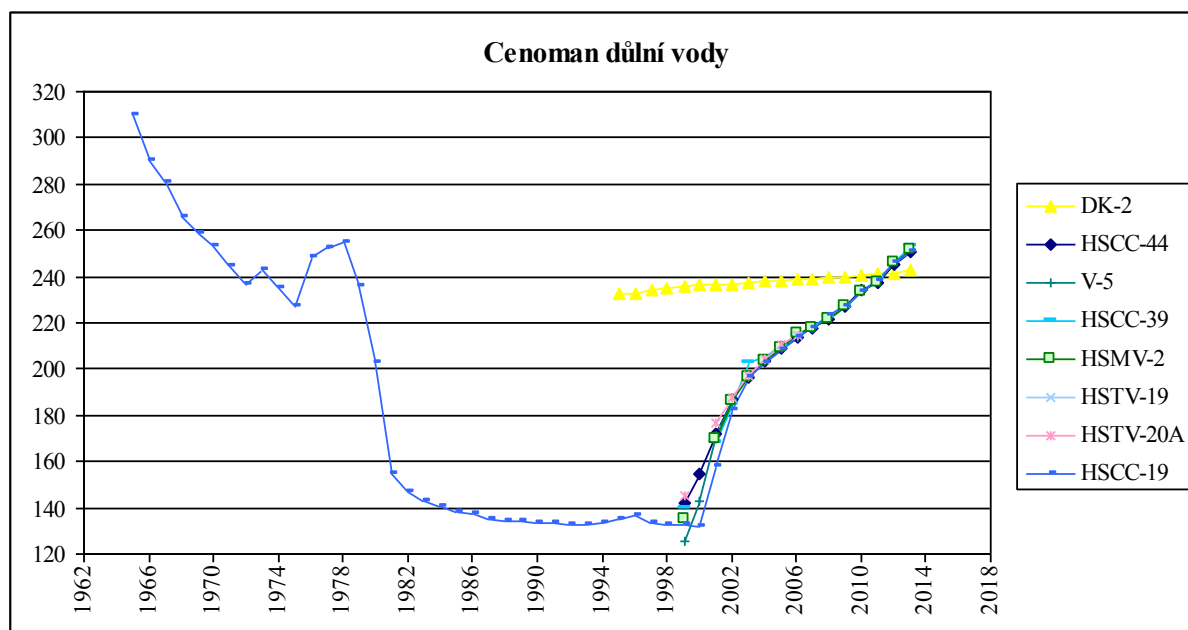
Rychlost zatápění ani dosah vzestupu hladin však nejsou v širším zájmovém území symetrické - směrem k jihu dosahuje změna úrovně hladin poměrně daleko, směrem k lužické poruše je dosah vzestupu úrovní hladin cenomanské zvodně výrazně menší - směrem k lužické poruše stále pokračuje postupný pomalý pokles hladiny cenomanské zvodně, viz obr. 25.

V prostoru vyluhovacích polí DCHT a blízkém okolí je od roku 1990 postupně snižována úroveň hladiny cenomanské zvodně v rámci probíhajících sanačních prací (zrychlení poklesu po roce 1996 kdy byla zprovozněna technologie SLKR I), z úrovně 300 m n. m. na 225 m n. m. v roce 2014.

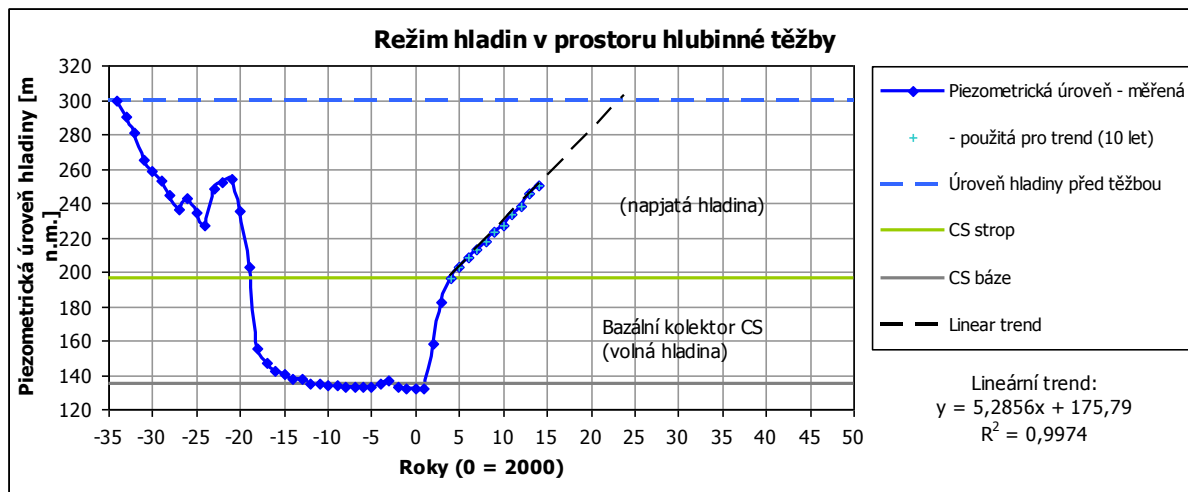
V prostoru vyluhovacích polí DCHT byl rovněž proveden odhad doby možného přiblížení hydraulických podmínek cenomanské zvodně k neovlivněnému stavu. Odlišný režim hladin proti prostoru hlubinné těžby dokumentuje obr. 26. Na základě lineární regrese měřených hladin za posledních 10 let byla doba možného přiblížení ke stavu před zahájením odvodnění odhadnuta nejdříve kolem roku 2050. V tomto prostoru však bude možnost obnovení přírodních poměrů záviset zásadním způsobem na režimu probíhajících sanačních prací.



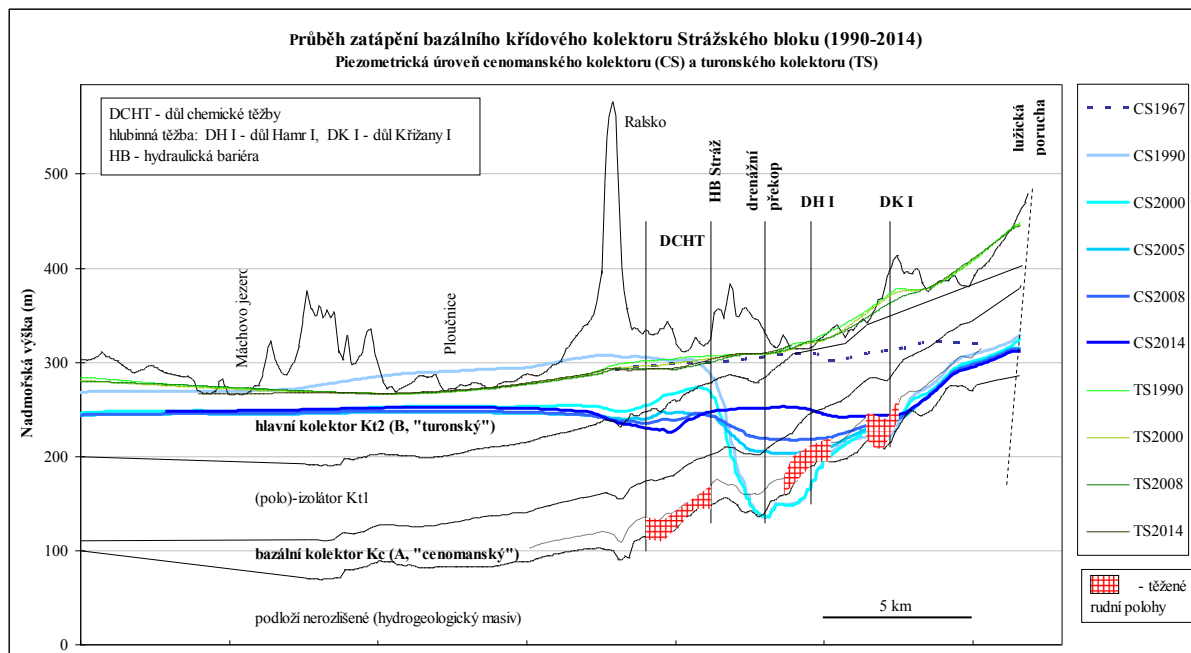
Obr. 22. Průběh úvodní fáze zatápění prostoru hlubinné těžby (DH I) s vyznačením významných momentů průběhu zatápění a velikosti ročních vzestupů úrovně hladiny cenomanské zvodně.



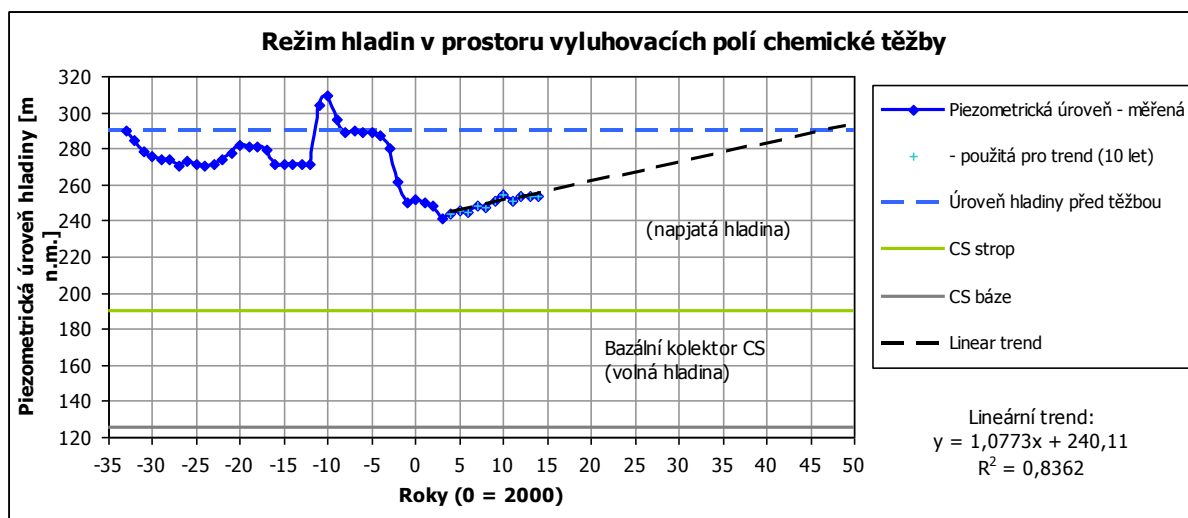
Obr. 23. Graf úrovně hladin důlních vod (DK I a DH I) při zatápění prostoru hlubinné těžby



Obr. 24. Průběh odvodňování, udržovaného osušení a následného zatápění prostoru hlubinné těžby (DH I), s odhadem budoucího vývoje. Celkový vzestup úrovně hladiny v cenomanské zvodni od 23.4.2001 do konce roku 2014 celkem 125 m.

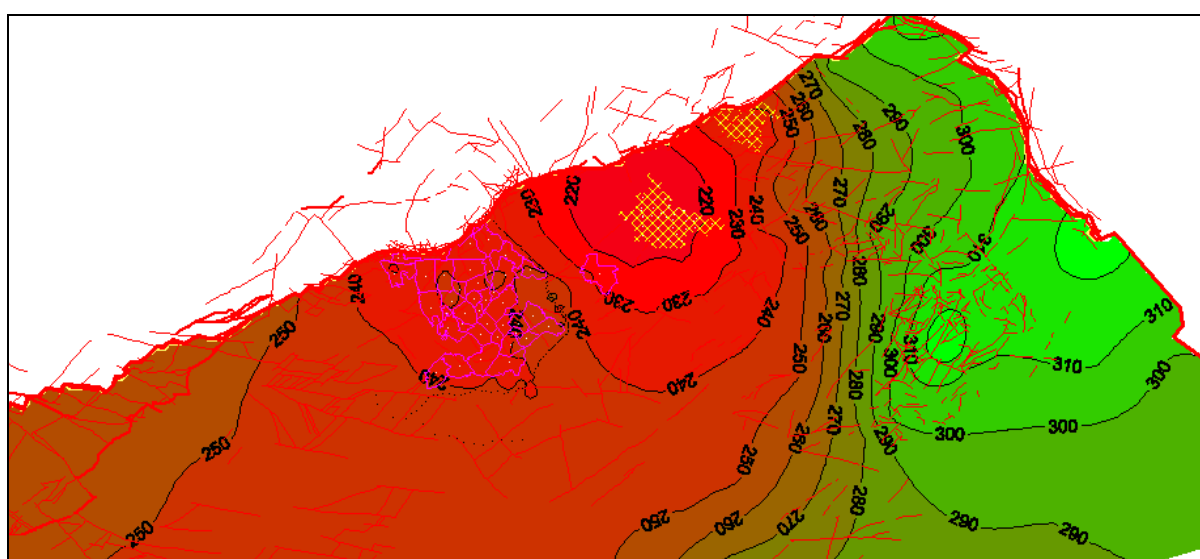


Obr. 25. Průběh zatápění bazálního kolektoru strážského bloku (1990-2014) v části Profilu 1.



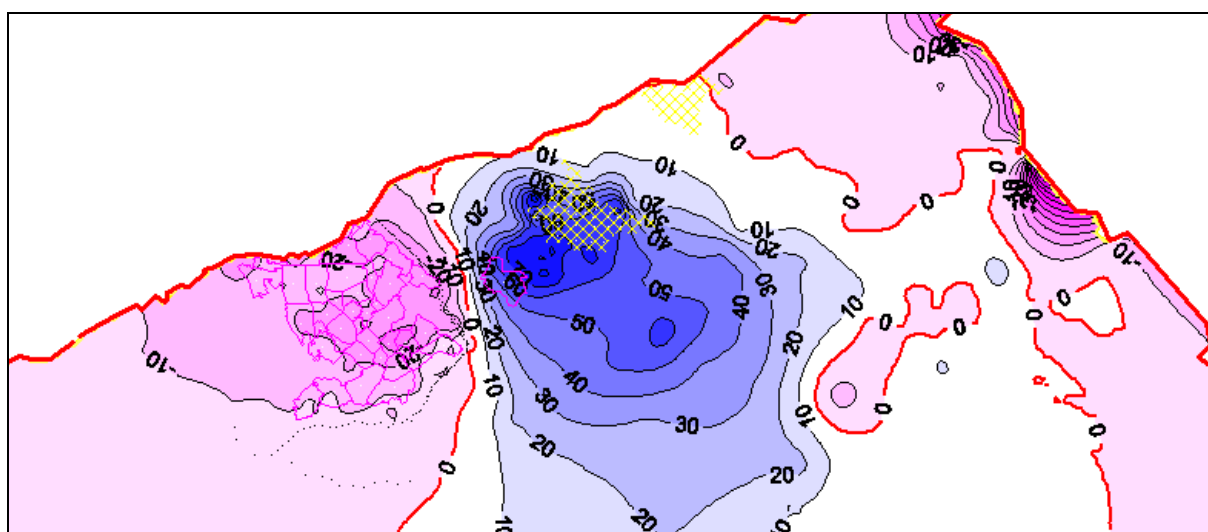
Obr. 26. Průběh hladin v prostoru vyluhovacích polí chemické těžby (DCHT), s odhadem budoucího vývoje.

V polovině dosavadního průběhu zatápění odvodněného a osušeného prostoru dřívější hlubinné těžby (rok 2008, obr. 27) dosahuje piezometrická úroveň hladiny cenomanské zvodně v širší zájmové oblasti nejvýše 320 m n. m. v blízkosti lužické poruchy a v okolí obcí Kotel a Zábrdí. V prostoru hlubinné těžby (DH, DK I) je stále výrazně patrná deprese hladiny cenomanské zvodně s hodnotami kolem 220 m n. m.. Výrazný hydraulický gradient, existující v dřívějších letech mezi prostorem DH I a vyluhovacích polí DCHT, je již značně snížen v důsledku zatápění prostoru DH I, ale také postupným snižováním piezometrické úrovně cenomanské zvodně v prostoru DCHT (v roce 2008 na úrovni 230-240 m n. m.).

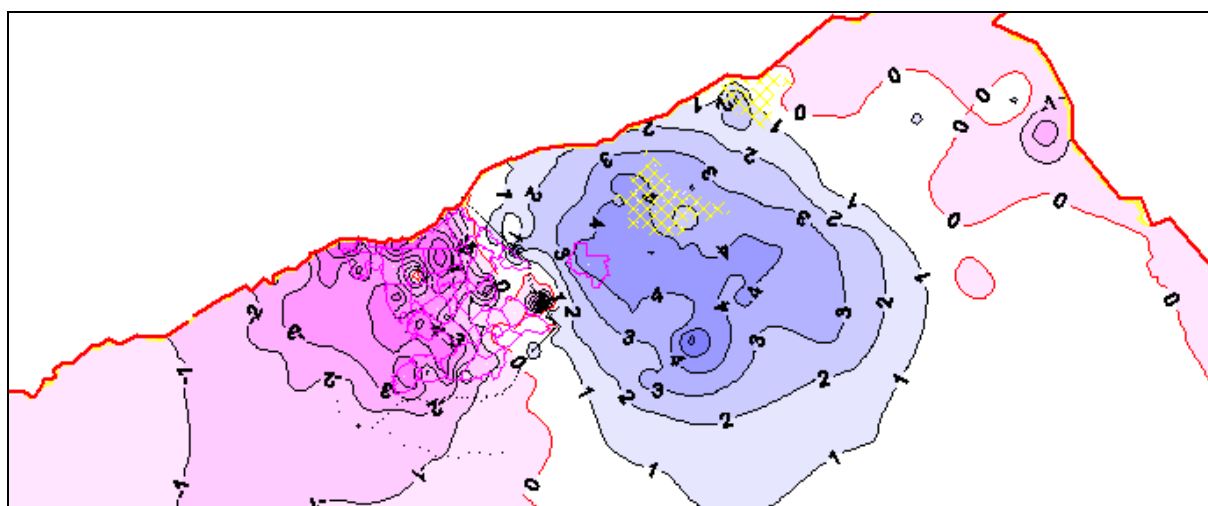


Obr. 27.: Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku v roce 2008.

Rychlost změn úrovně hladiny cenomanské zvodně je v ploše zatápěné deprese po hlubinné těžbě i v ploše vyluhovacích polí DCHT v současnosti nízká, viz obr. 28 a 29. Mezi lety 2007 a 2008 stoupla hladina cenomanské zvodně v zatápěném prostoru hlubinné těžby již jen o 4-6 m. V ploše vyluhovacích polí DCHT úroveň hladiny cenomanské zvodně klesla maximálně o 5 m. V blízkosti lužické poruchy stále docházelo k pozvolnému poklesu úrovní hladin cenomanské zvodně, byť jen o 0,5-2 metry za rok. Linie vzestupu úrovně hladiny se postupně přibližovala k lužické poruše.



Obr. 28. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2001 a 2008

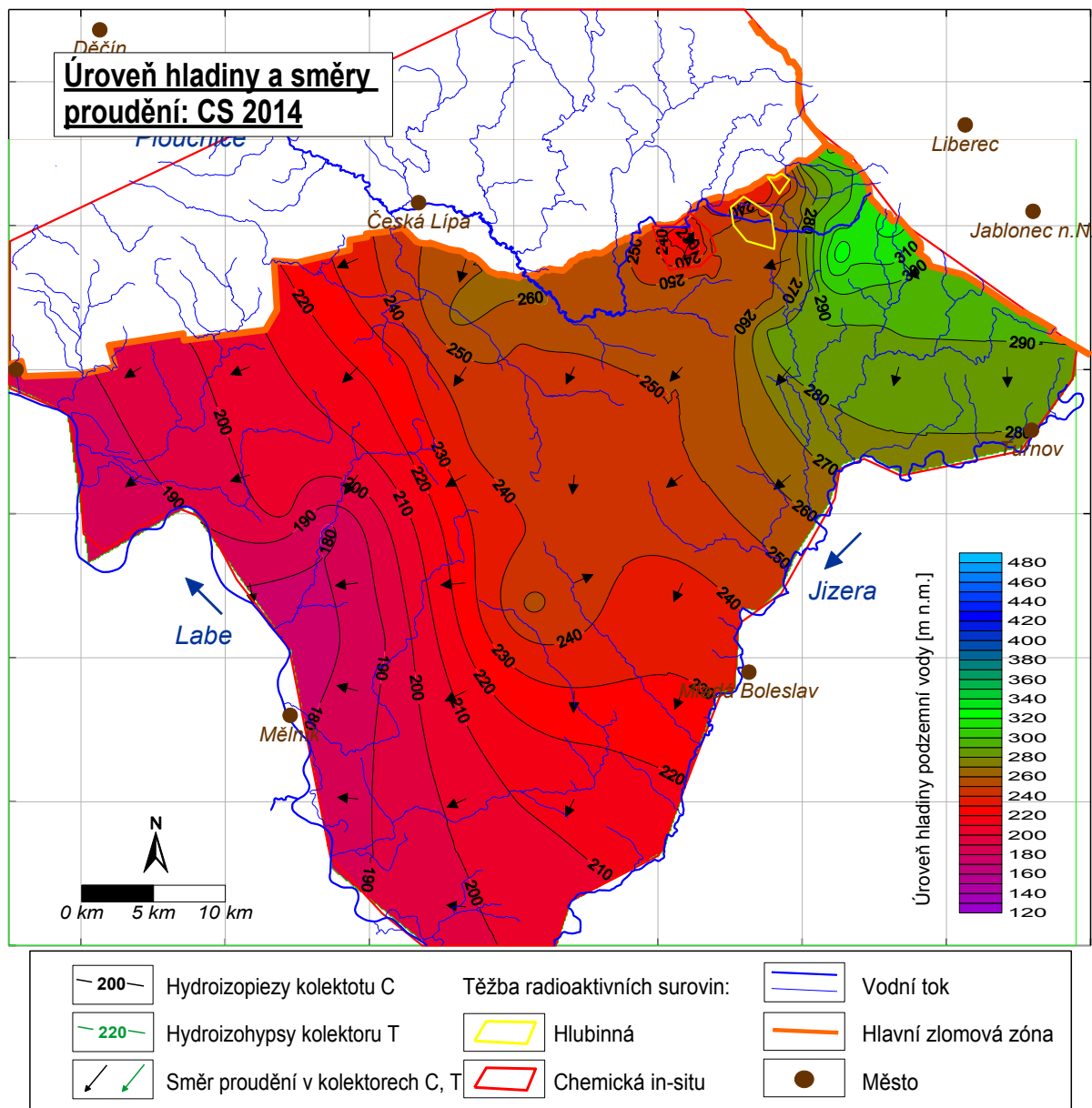


Obr. 29.: Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2007 a 2008.

Stav ke konci roku 2014

Zatápění odvodněného a osušeného prostoru dřívější hlubinné těžby probíhá dosud, viz obr. 30, 31 a 32.

Ke konci roku 2014 dosahuje piezometrická úroveň hladiny cenomanské zvodně ve strážském bloku nejvýše 320 m n. m. v blízkosti lužické poruchy u Světlé pod Ještědem.



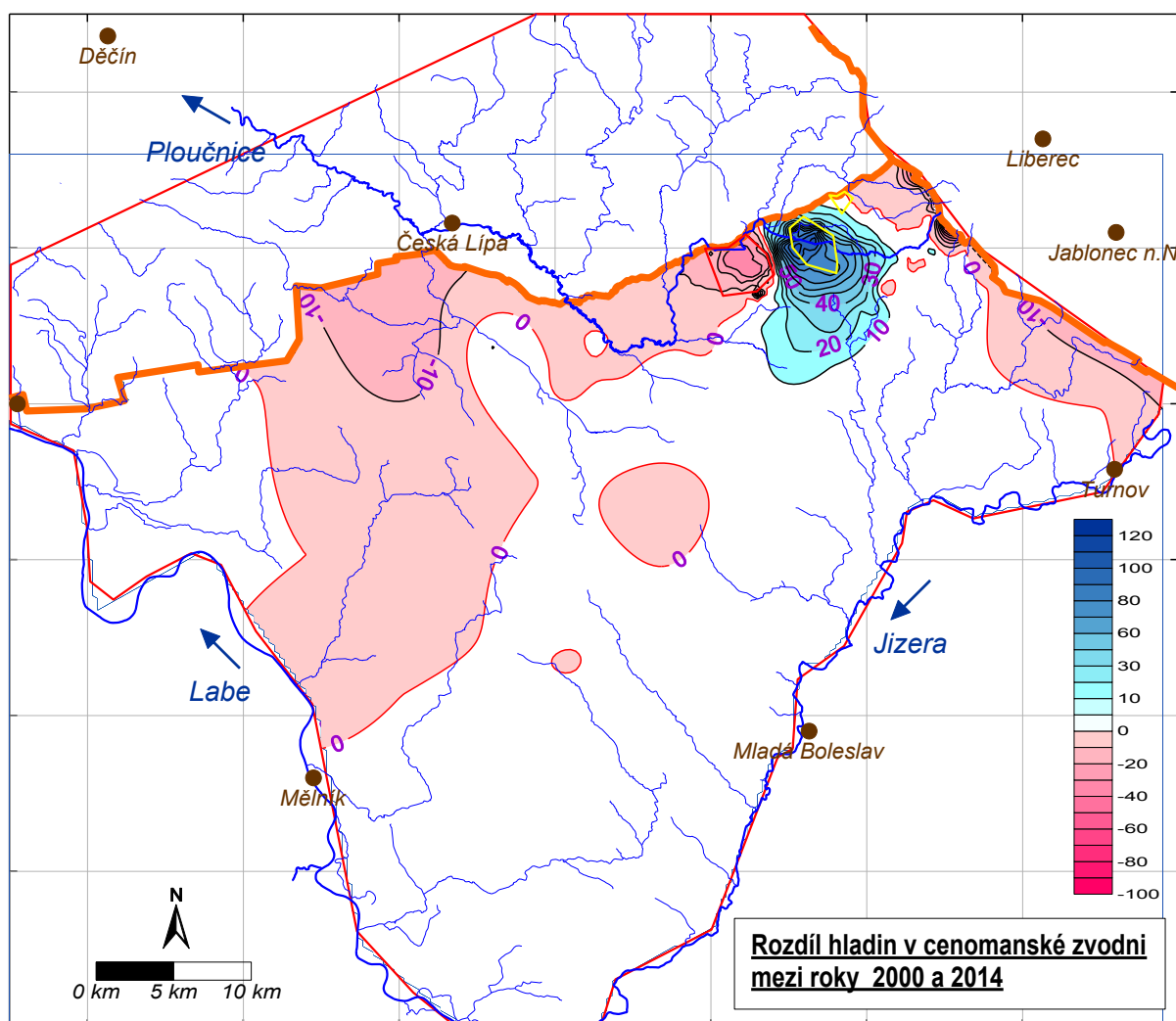
Obr. 30. Hydroizopiezy cenomanské zvodně strážského bloku ke konci roku 2014.

V prostoru hlubinné těžby je stále patrná asymetrická deprese hladiny cenomanské zvodně s úrovní hladiny kolem 240 m n. m. při strážském zlomu severně od dolu Hamr. V prostoru dolu Hamr postupuje nyní zaplňování deprese hladiny cenomanské zvodně rychleji než v prostoru dolu Křížany, kde již k vzestupu úrovně hladiny téměř nedochází.

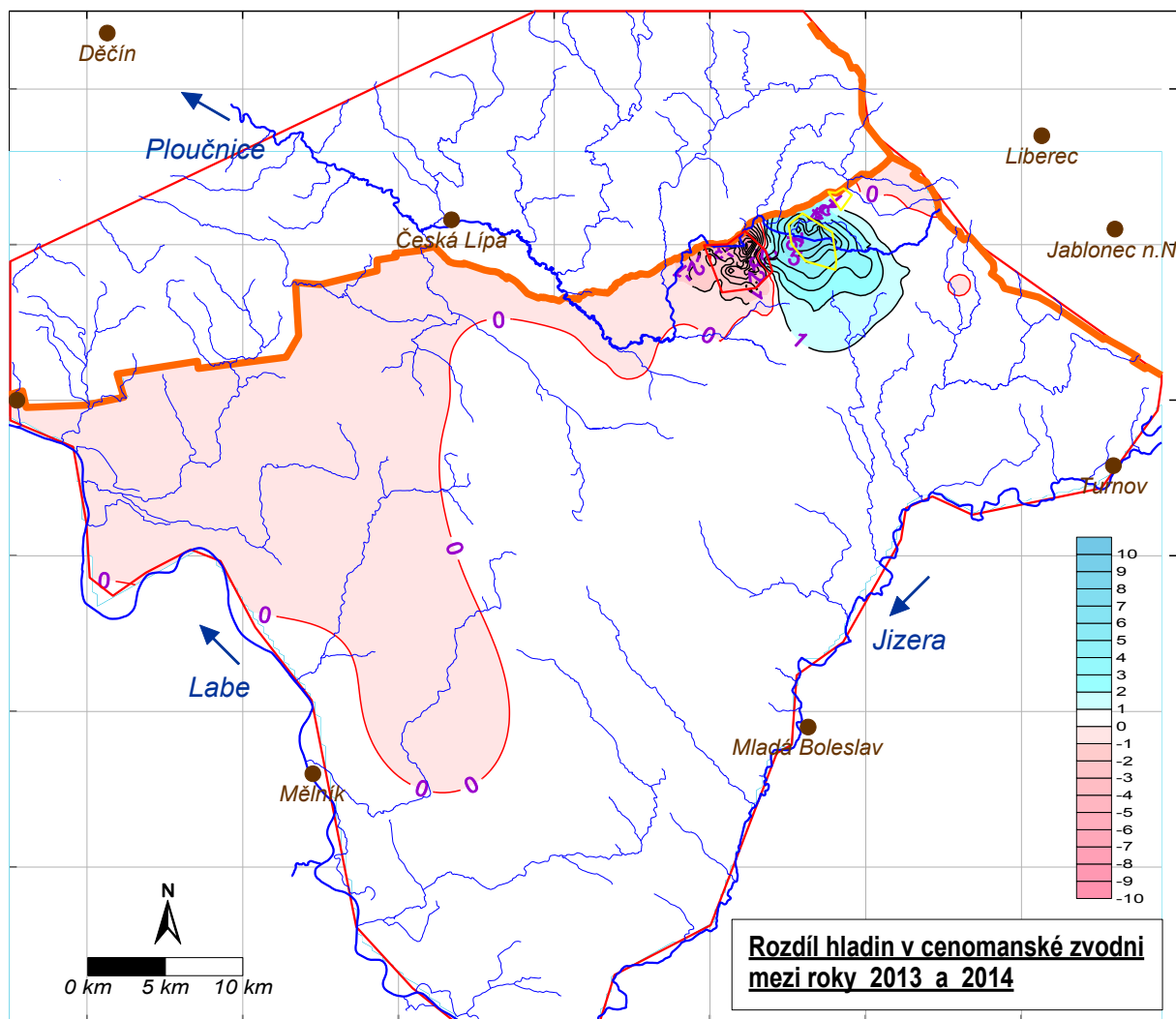
V nejsevernější části strážského bloku v blízkosti styku strážského zlomu s lužickou poruchou pokračuje pomalý pokles hladiny cenomanské zvodně rychlostí už jen méně než 1 m/rok.

Výrazný hydraulický gradient, existující v dřívějších letech mezi prostorem DH I a vyluhovacích polí DCHT, vymizel kolem roku 2010 v důsledku zatápění prostoru DH I, ale také postupným snižováním piezometrické úrovně cenomanské zvodně v prostoru DCHT. V současnosti již prostor vyluhovacích polí DCHT představuje novou depresi hladiny cenomanské zvodně s minimem 225 m n. m.), oddělenou linií HB Stráž od deprese hladiny v prostoru DH I.

V ploše vyluhovacích polí DCHT a okolí jsou do současnosti udržovány snížené úrovně hladiny cenomanské zvodně v důsledku zvýšení sanačního čerpání v rámci probíhající sanace prostoru VP (převažuje objem čerpání kontaminovaných vod nad vtlačováním upravených roztoků do cenomanské zvodně).



Obr. 31. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2000 a 2014 - změna úrovně hladiny od zahájení zatápění prostoru hlubinné těžby.



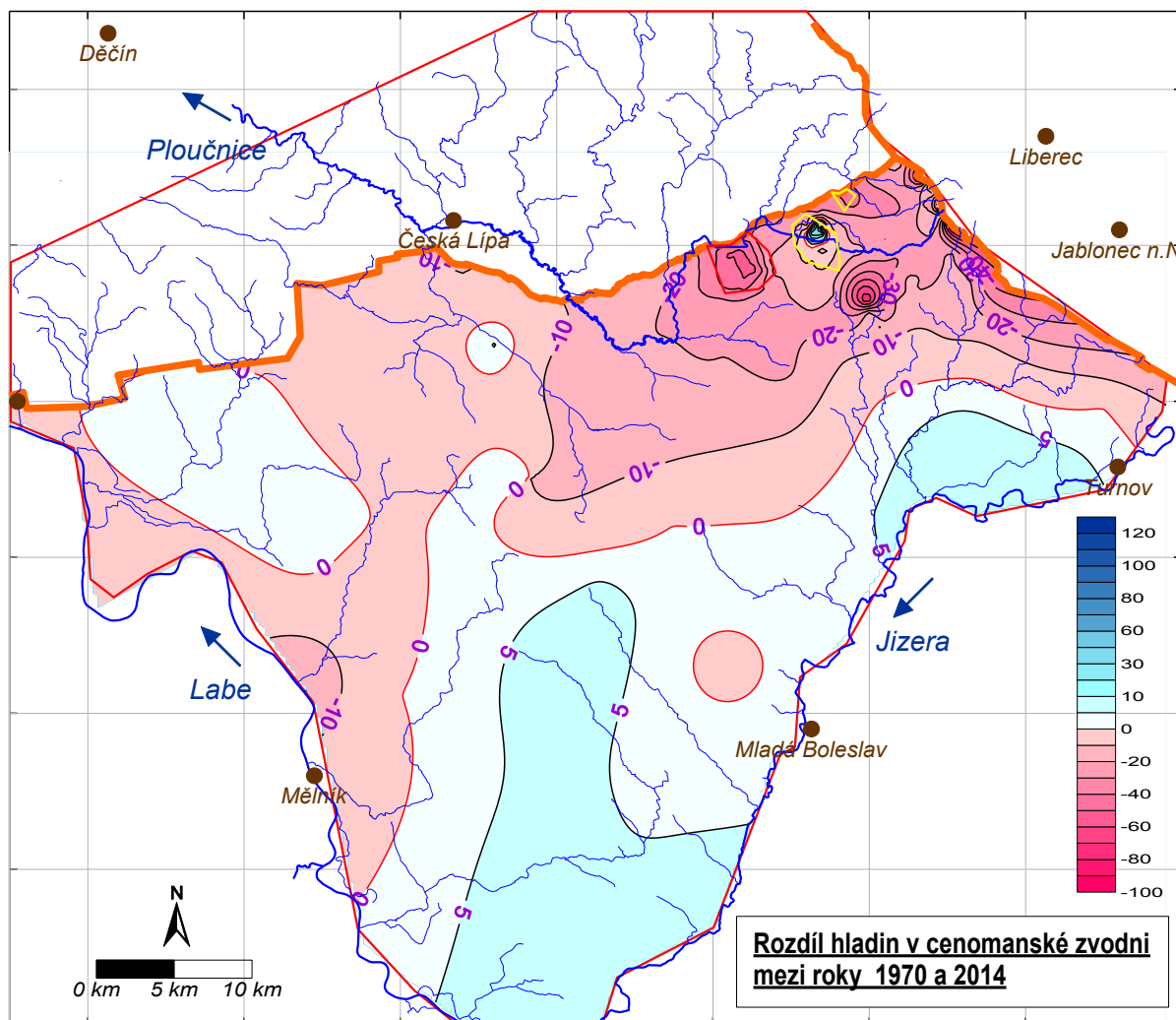
Obr. 32. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 2013 a 2014 - současná meziroční rychlost změn úrovní hladiny podzemní vody.

Současná rychlost změn úrovně hladiny cenomanské zvodně je v ploše zatápěné deprese po hlubinné těžbě i v ploše vyluhovacích polí DCHT v současnosti nízká (obr. 32). Mezi lety 2013 a 2014 stoupala hladina cenomanské zvodně v zatápěném prostoru hlubinné těžby rychlostí max. 5 m/rok. Pokles úrovní hladin cenomanské zvodně v blízkosti lužické poruchy již nebyl zaznamenán. V ploše vyluhovacích polí DCHT úroveň hladiny cenomanské zvodně kolísá nebo mírně klesá v závislosti na režimu sanačního čerpání. V širším zájmovém území k drenážní oblasti je režim ustálený, hladiny mírně oscilují v rozmezí přibližně 1-2 m.

Porovnání neovlivněného a současného stavu

Porovnáme-li úrovně hladiny cenomanské zvodně mezi obdobím zahájení těžby radioaktivních surovin (rok 1970, kdy je již dostatek podkladů pro konstrukci hydroizopiez v celém zájmovém území) a současností, je patrné, že ve většině prostoru strážského bloku je nyní úroveň hladiny cenomanské zvodně výrazně níže než v minulosti (obr. 33).

V ploše zatápěné deprese v okolí hlubinné těžby činí rozdíl úrovní hladin přibližně 50-60 metrů, v blízkosti lužické poruchy 20-30 m, v ploše vyluhovacích polí DCHT 60-70 m a v prostoru jižně a jihozápadně od DCHT 20-30 metrů. Při jižním okraji zájmového území jsou úrovně hladiny cenomanské zvodně 5-8 m výše než v roce 1970.



Obr. 33. Rozdíl hladin cenomanské zvodně strážského bloku mezi roky 1970 a 2014

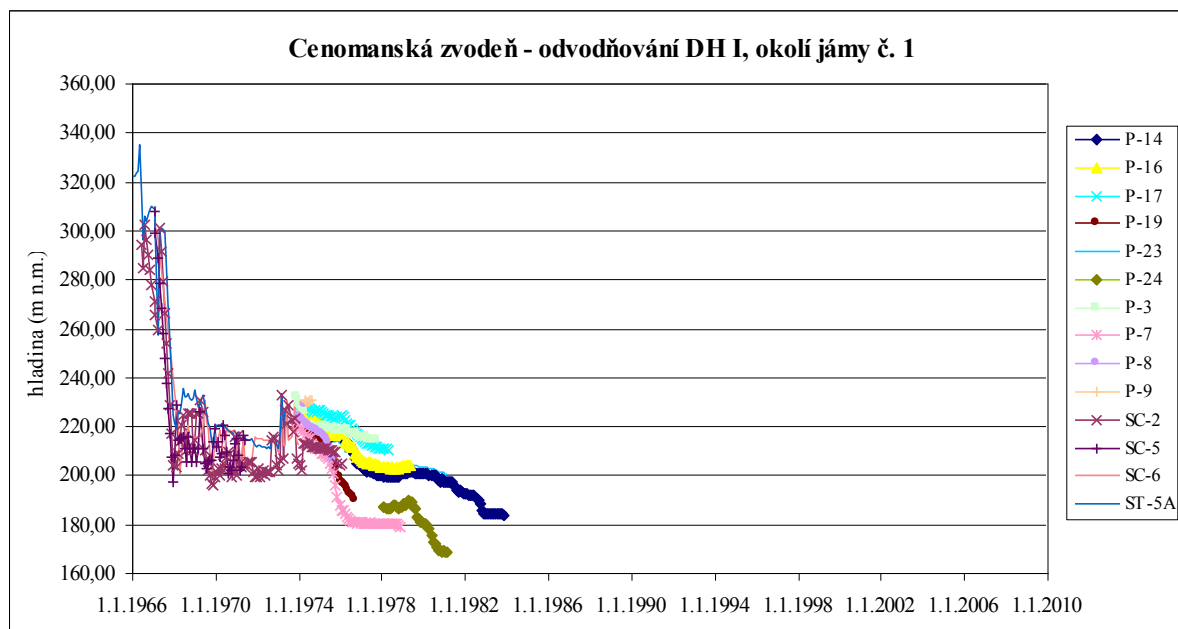
Při současné rychlosti zatápění prostoru hlubinné těžby v jednotkách metrů ročně a přetrvávajícím poklesu úrovní hladin cenomanské zvodně v okrajových oblastech lze předpokládat přiblížení původním úrovním hladiny v řádu několika desetiletí.

V prostoru sanovaných vyluhovacích polí DCHT je i nadále udržována podbilance (převažuje objem čerpání kontaminovaných vod (zbytkových technologických roztoků) nad vtláčením vyčištěných vod) a úroveň hladiny podzemní vody stále mírně klesá. Možnost návratu k přírodnímu režimu podzemních vod v tomto prostoru závisí v současné době především na provozu sanačních technologií v budoucnosti.

6.2. Cenomanská zvodně strážského bloku - skupiny vrtů

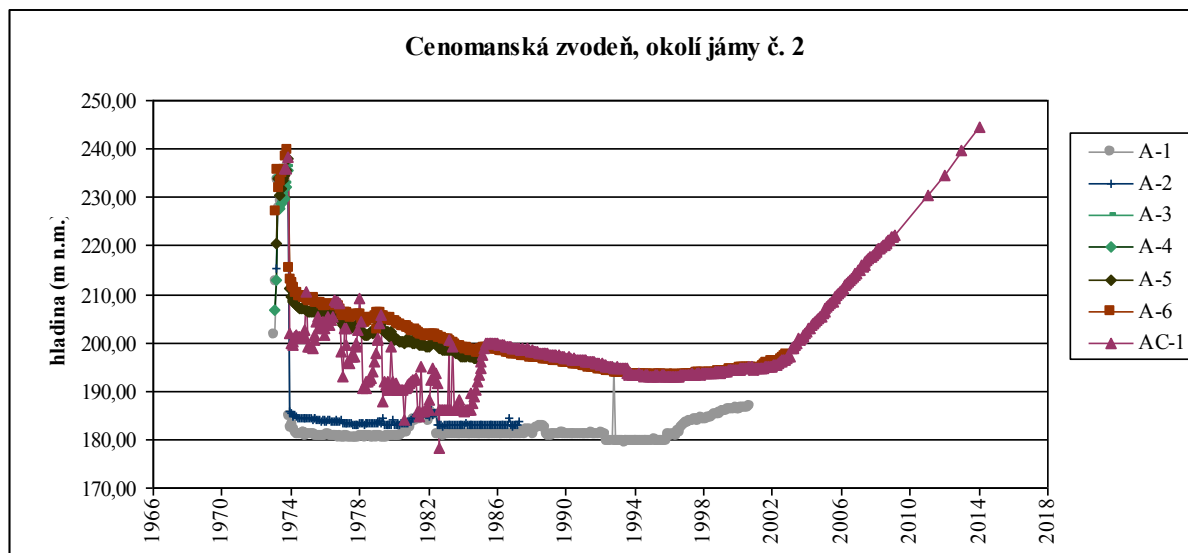
Na základě korelační analýzy časových řad hladin (piezometrických úrovní) cenomanské zvodně v užší oblasti strážského bloku byly monitorovací vrty rozděleny do skupin s podobným vývojem úrovně hladin.

První skupina časových řad hladin dokumentuje odvodňování cenomanské zvodně v prostoru jámy č. 1 (DH I), kdy byla do začátku roku 1968 snížena úroveň hladiny o 100-110 m na přibližně 210 m n. m.. V lednu 1973 došlo po nafárání tektonické poruchy Anežka ke vzestupu hladiny o 20-25 m. Po obnovení čerpání byla hladina snížena na úroveň 180-200 m n. m., viz. obr. 34.



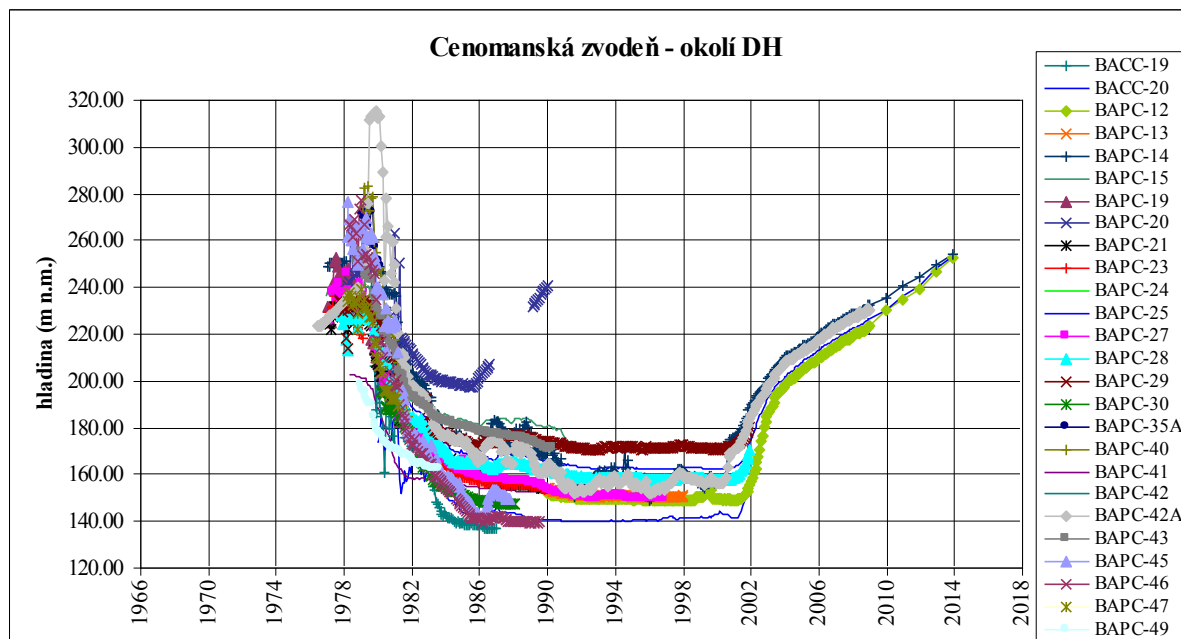
Obr. 34. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru DH I, okolí jámy č. 1.

Druhá skupina časových řad hladin (obr. 35) dokumentuje odvodňování cenomanské zvodně v prostoru jámy č. 2 (DH I). V této skupině je zaznamenáno i ukončení čerpání důlních vod v roce 2001 a průběh vzestupu hladiny v blízkém okolí jámy č. 2, do roku 2014 o 50 metrů.

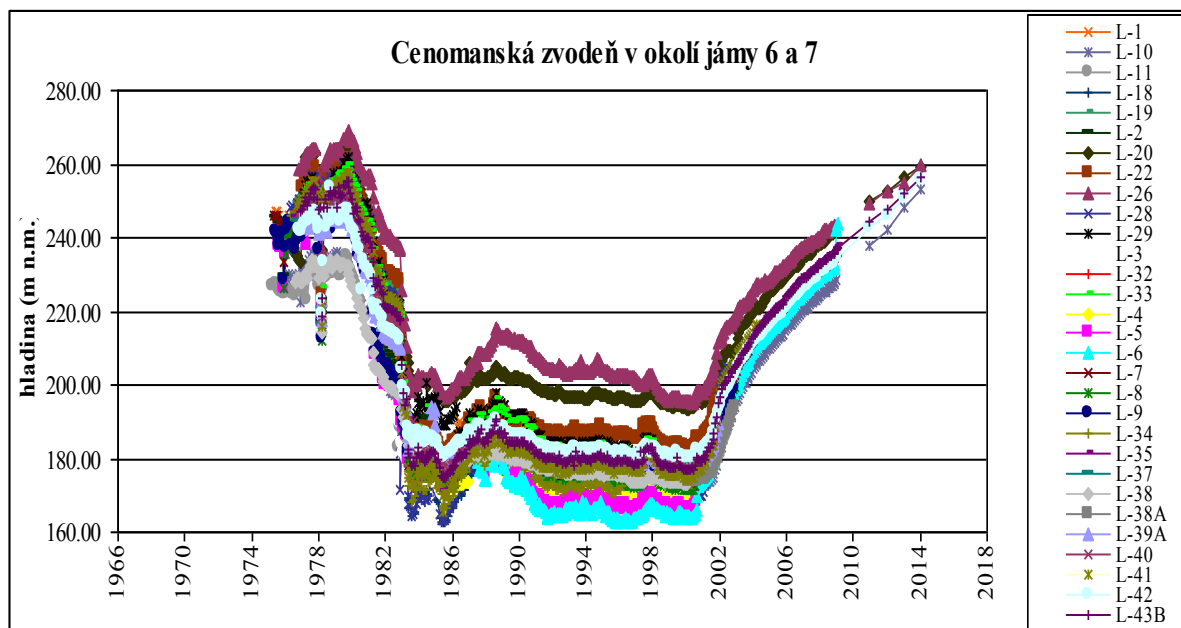


Obr. 35. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru DH I, okolí jámy č. 2.

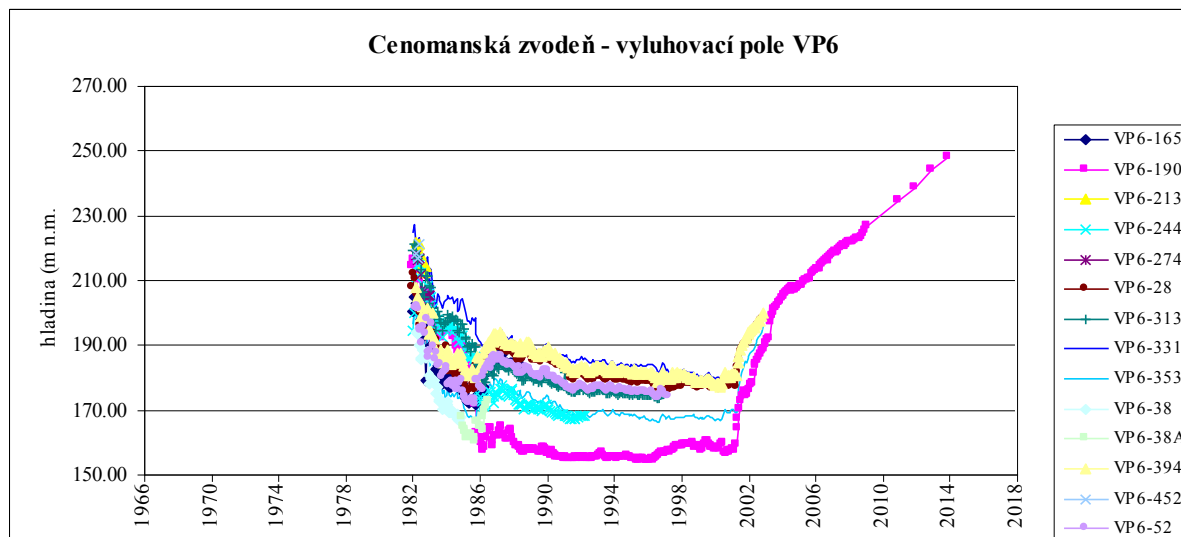
Následující tři skupiny časových řad hladin (obr. 36, 37, 38) dokumentují vývoj hladin cenomanské zvodně v širším okolí DH I a DH II (jámy č. 6 a 7) a v prostoru vyluhovacího pole VP 6 DCHT, ležícího mezi dolem Hamr I a hydraulickou bariérou Stráž. V těchto třech skupinách je patrný podobný časový vývoj hladin - po mírném vzestupu do roku 1980 následuje pokles hladin v důsledku hloubení jámy č. 6 a 7 (DH II). Od ledna 1983 se pokles hladin zrychluje v souvislosti s odvodňováním prostoru jámy č. 13. Od roku 1985 je hladina v cenomanské zvodni udržována přibližně na konstantní úrovni až do počátku zatápění prostoru hlubinné těžby v dubnu 2001. V období od podzimu 2001 do poloviny roku 2003 do prostoru DH I vtláčena upravená voda z odkaliště CHÚ Stráž. Do roku 2014 nastoupala hladina cenomanské zvodně v tomto prostoru o 110 metrů, tj. na úroveň 250 m n. m.. Nápadná je změna rychlosti nástupu hladiny po zaplavení cenomanského kolektoru a přechodu zvodně do režimu s najatou hladinou podzemní vody.



Obr. 36. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v okolí dolu Hamr I.

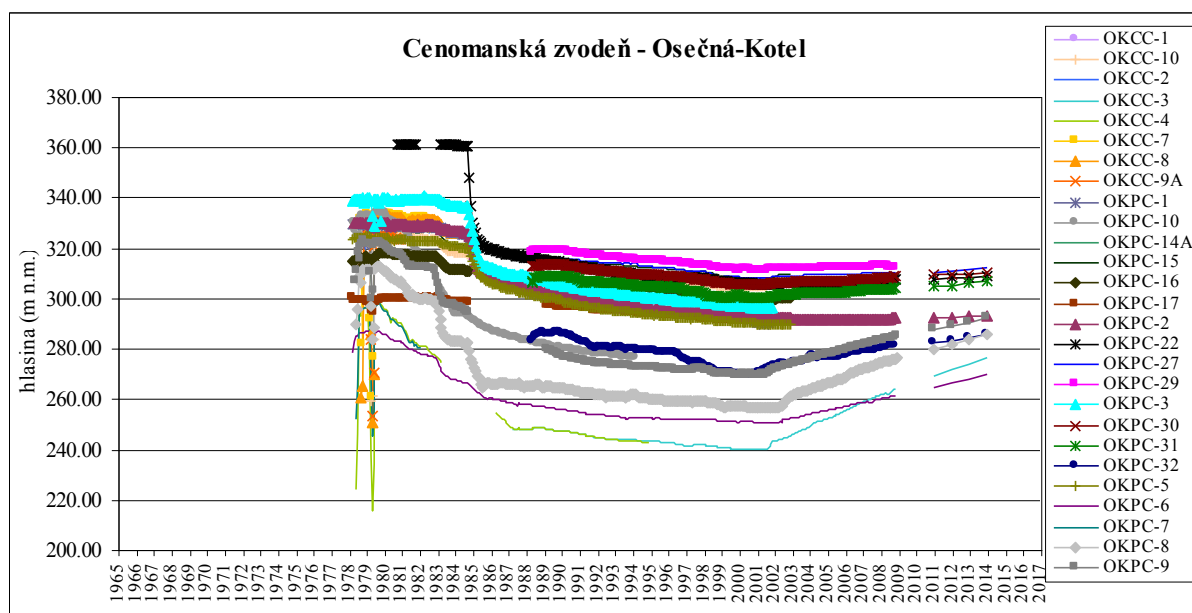


Obr. 37. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru DH II, okolí jámy 6 a 7.

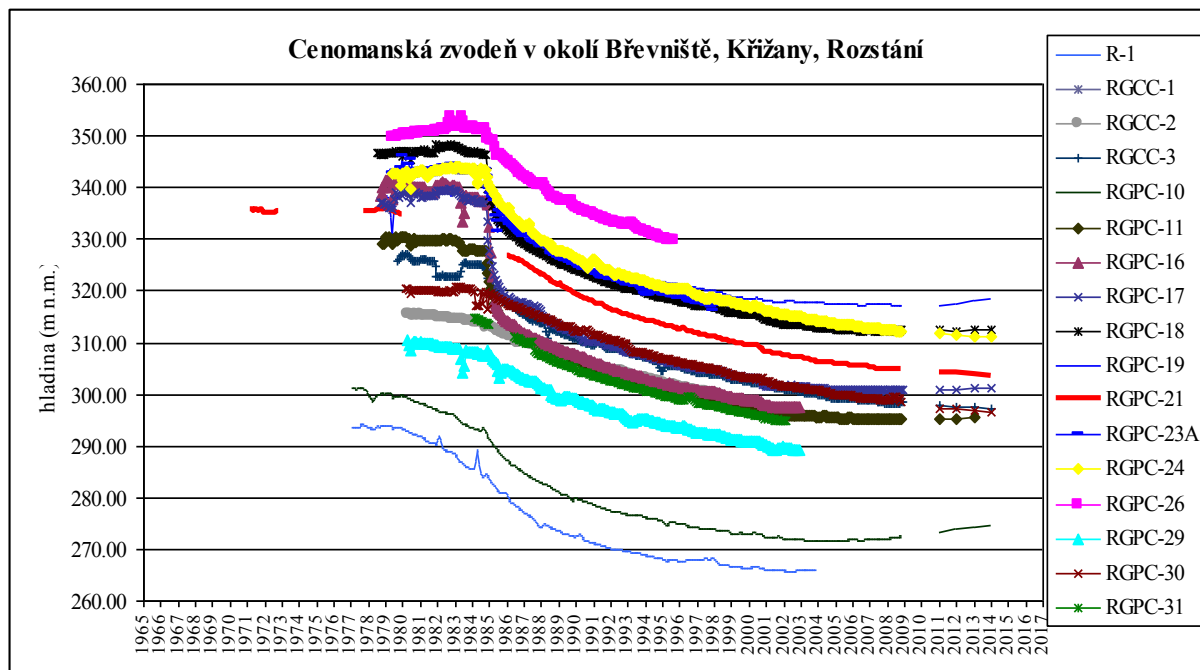


Obr. 38. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru vyluhovacího pole VP 6.

Vývoj hladin cenomanské zvodně v širším okolí Osečné, Kotle, Břevniště, Křížan a Rozstání představuje dvě skupiny vrtů s podobným vývojem. V této oblasti jsou hladiny cenomanské zvodně v monitorovacích vrtech relativně ustálené až do roku 1984, kdy v souvislosti s tamponáží vrtů, které propojovaly turonskou a cenomanskou zvodně, dochází k ostrému zlomu a rychlému poklesu hladin o 20-40 m s dalším postupným pomalým poklesem až do roku 2001, kdy v první skupině (Osečná, Kotel, obr. 39) začíná pozvolný vzestup hladin. Ve druhé skupině (okolí Břevniště, Křížan a Rozstání, obr. 40) není počáteční pokles hladiny v roce 1984 tak ostrý jako v předchozí skupině, avšak pokles hladin v této oblasti přetrvává u některých vrtů až do současnosti.

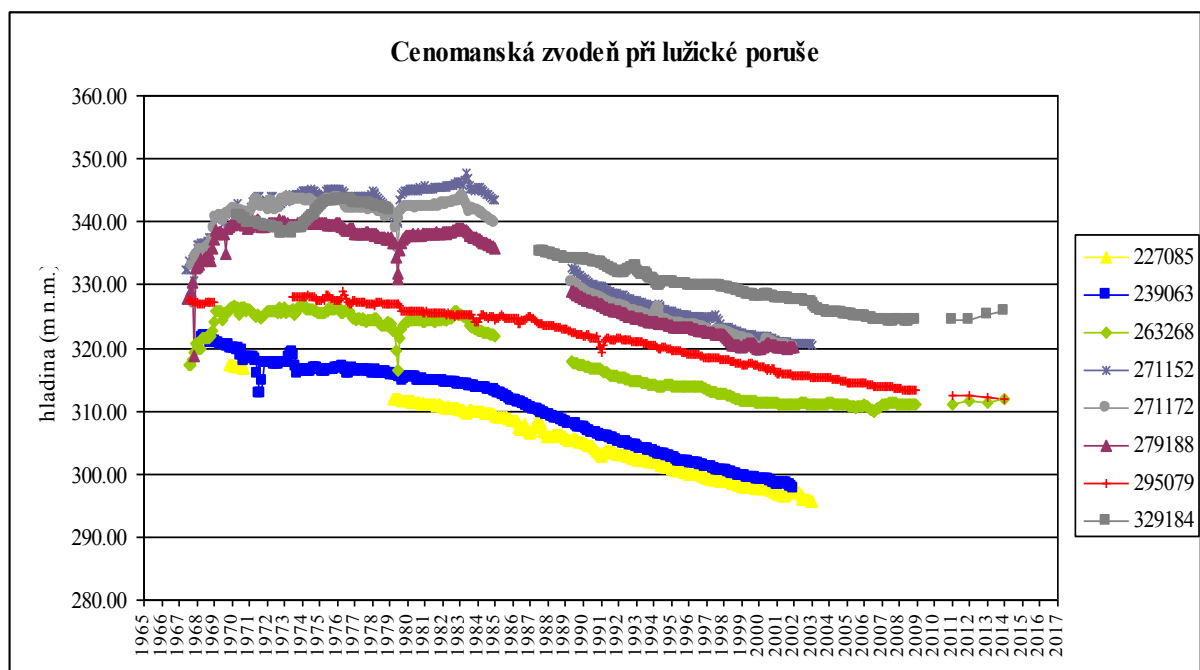


Obr. 39. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v okolí Osečné a Kotle.



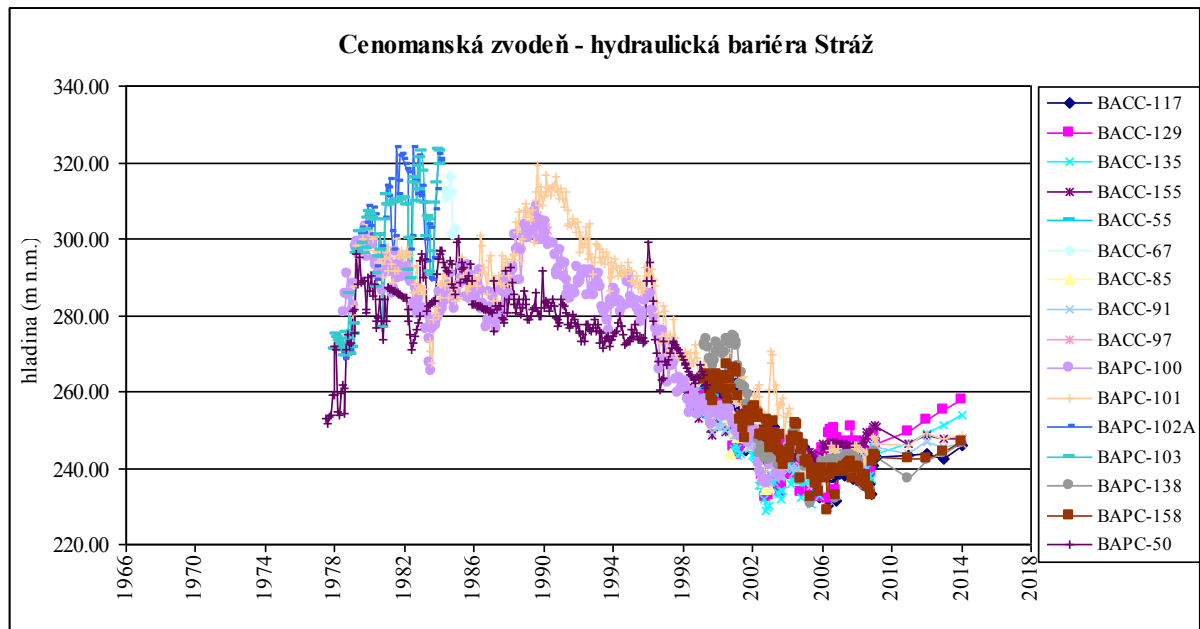
Obr. 40. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v okolí obcí Břevniště, Křížany a Rozstání.

Ve skupině monitorovacích vrtů ležících v blízkosti lužické poruchy (obr. 41) dochází u některých vrtů k poklesu hladin cenomanské zvodně po celou dobu sledování, u některých objektů hladiny mírně oscilují do roku 1983 a poté pomalu klesají až do současnosti.



Obr. 41. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v blízkosti lužické poruchy.

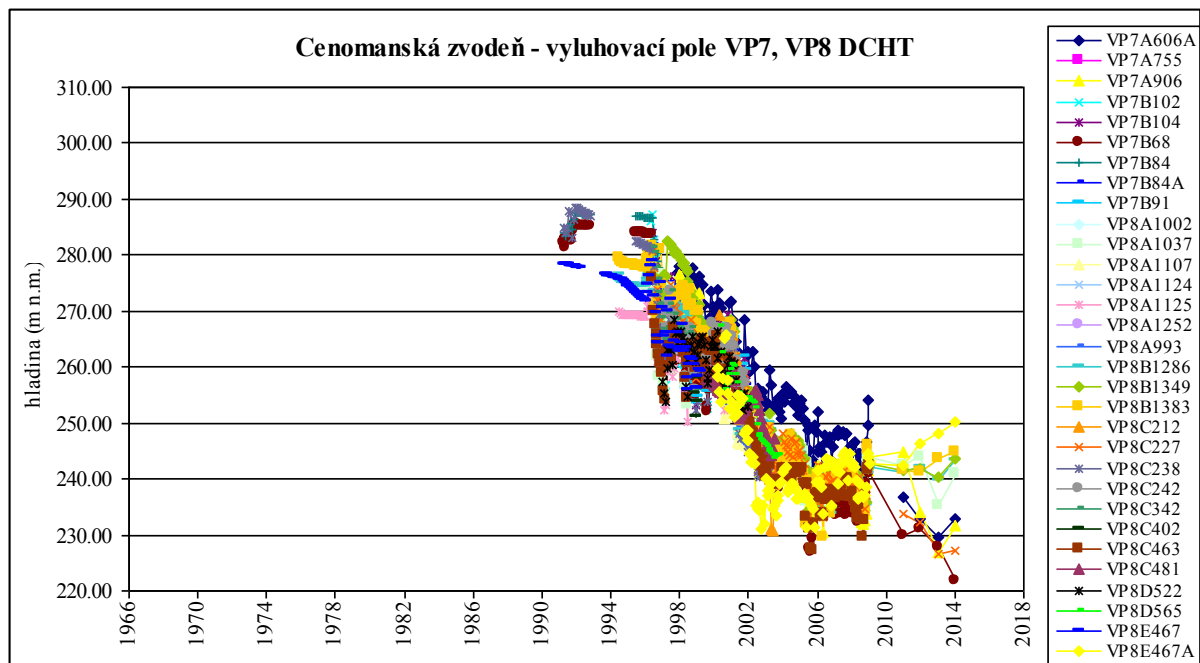
V prostoru hydraulické bariéry Stráž je od zahájení její činnosti v roce 1978 patrná značná rozkolísanost úrovní hladiny v monitorovacích vrtech při vzestupném trendu. Po roce 1996 hladiny na většině monitorovacích vrtů HB klesají, do roku 2008 o cca 40 metrů. Od roku 2010 je patrný přechod k mírnému vzestupnému trendu hladin (obr. 42).



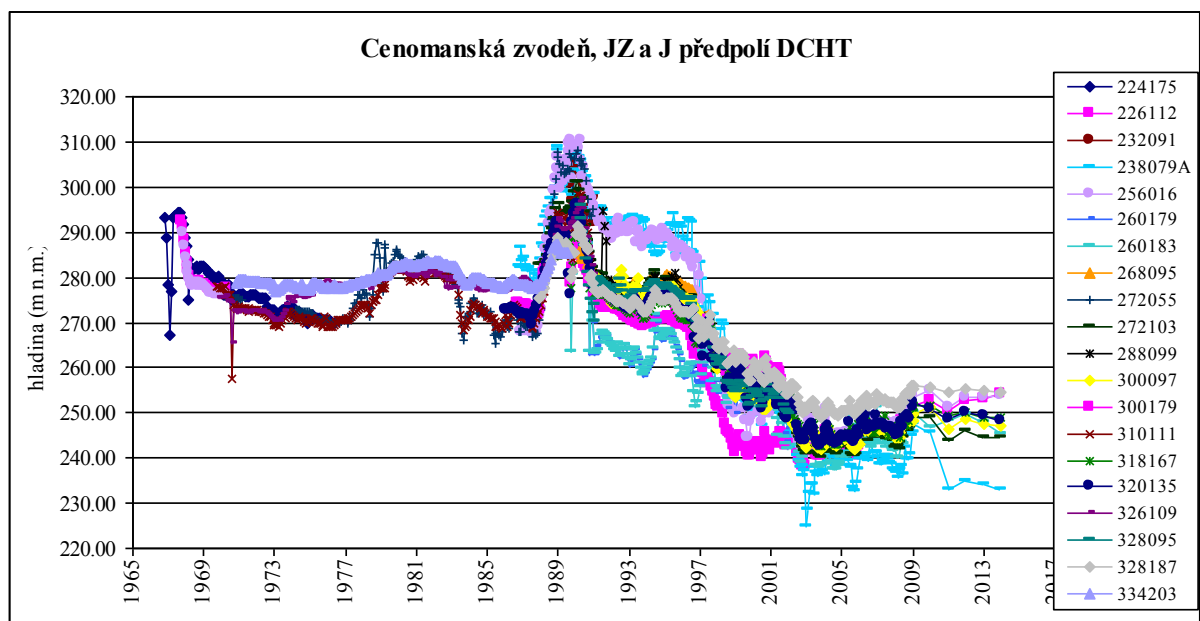
Obr. 42. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru hydraulické bariéry Stráž.

V prostoru vyluhovacích polí DCHT závisely v průběhu těžby úrovně hladiny cenomanské zvodně v monitorovacích vrtech na aktuálním režimu čerpání a vtláčení technologických roztoků v jednotlivých vyluhovacích polích. Převažující trend vývoje hladin je v letech 1990-2003 poklesový, od roku 2003 rozkolísaný (obr. 43).

Hladinové poměry cenomanské zvodně v jihozápadním a jižním předpolí vyluhovacích polí DCHT jsou značně ovlivněny provozem hydraulických bariér a režimem čerpání na vyluhovacích polích. Od počátku sledování hladin cenomanské zvodně v této oblasti hladiny mírně oscilují v rozmezí 270-280 m n. m., po zahájení provozu hydraulických bariér došlo do roku 1990 ke vzestupu hladiny cenomanské zvodně až na úroveň 310 m n. m.. Po roce 1990 hladiny klesají na úroveň 240-250 m n. m. a od roku 2003 jsou přibližně ustálené (obr. 44).



Obr. 43. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v prostoru vyluhovacích polí DCHT.



Obr. 44. Vývoj hladiny cenomanské zvodně v jihozápadním a jižním předpolí DCHT.

6.3. Hladinové poměry v širší oblasti - turonská zvodně strážského bloku a tlustecký blok

V této části jsou zobrazeny mapy hydroizohyps turonské zvodně ve strážském bloku a cenomanské i turonské zvodně v tlusteckém bloku, v širším okolí těžby radioaktivních surovin, tj. v oblasti předpokládaného maximálního dosahu ovlivnění režimu podzemních vod aktivitami s. p. DIAMO, o. z. TÚU Stráž pod Ralskem.

V širší zobrazené oblasti je hustota monitorovacích vrtů mnohonásobně nižší než v centrální části strážského bloku, kde probíhala těžba. Časové řady sledování hladin z většiny objektů širší oblasti nepostihují celý interval od počátku těžby až do současnosti (dostatek dat pro konstrukci map ve všech čtyřech zvodních současně je až od roku 1970). Z těchto důvodů mohou být mapy hydroizohyps v širší oblasti zatíženy poměrně velkými nepřesnostmi.

Mapy zobrazují období krátce po zahájení těžby (rok 1970), v období maximálního ovlivnění hladin (roky 1990 a 2000) a v průběhu zatápění depresní kotliny (rok 2014), viz obr. 45, 47, 49 a 50.

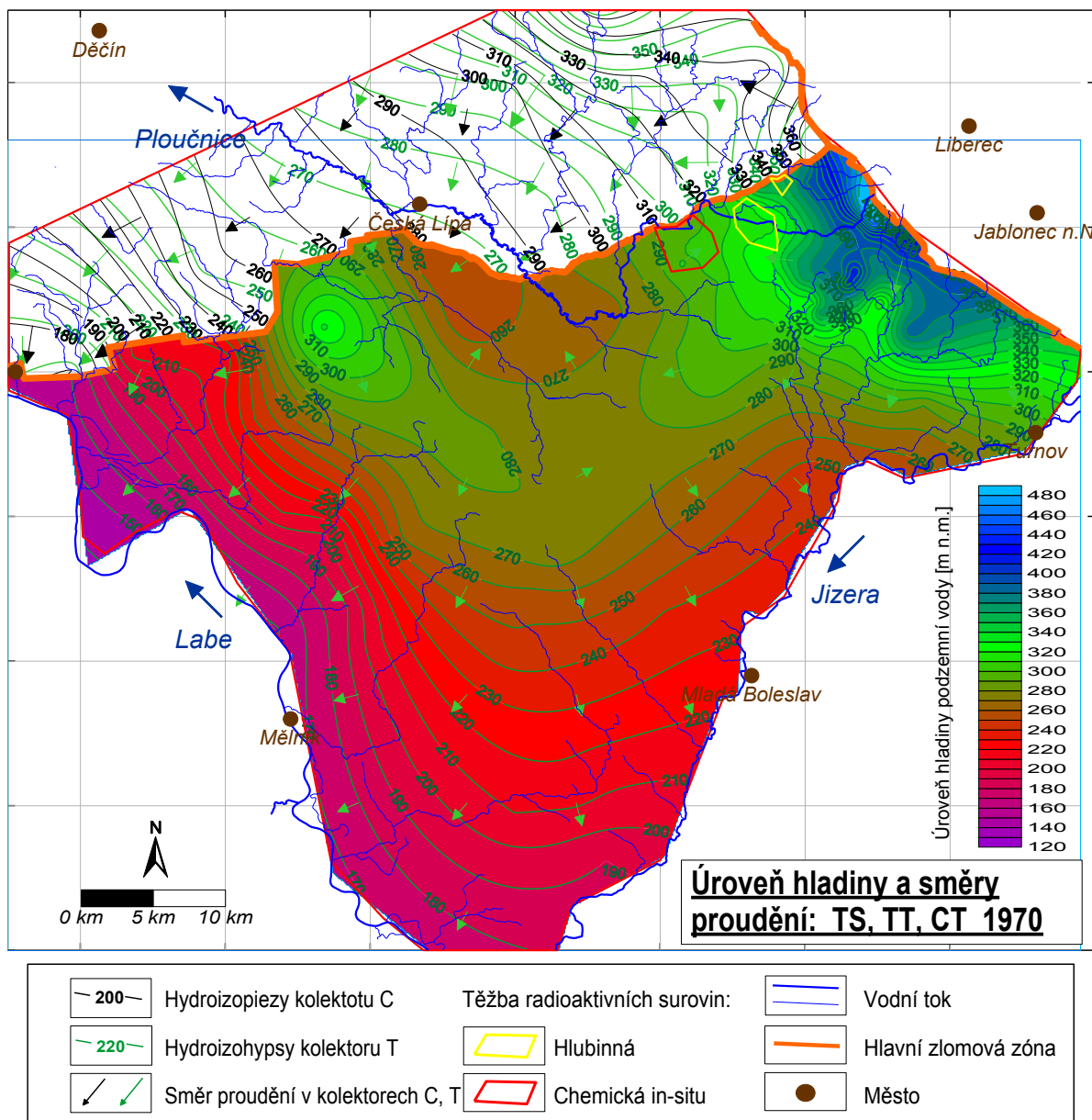
Hladinové poměry v turonské zvodně ve strážském bloku i v cenomanské i turonské zvodně v tlusteckém bloku jsou v celém sledovaném období poměrně vyrovnané a odrážejí pouze klimatické vlivy, s tendencí vyhlazení výkyvů ve směru od lužické poruchy k Labi.

Období po zahájení těžby - rok 1970

Hladina podzemní vody v turonské zvodni strážského bloku dosahuje úrovně kolem 520 m n. m. u lužické poruchy a klesá směrem k Labi na cca 170 m n. m., s dílčí depresí v údolí Ploučnice jihozápadně od Mimoně (260 m n. m.) a elevací v oblasti Polomených hor. Dílčí elevaci hladiny a rozvodnici turonské zvodně představuje maršovicko-bezděžská elevace (úroveň hladiny až 330 m n. m.).

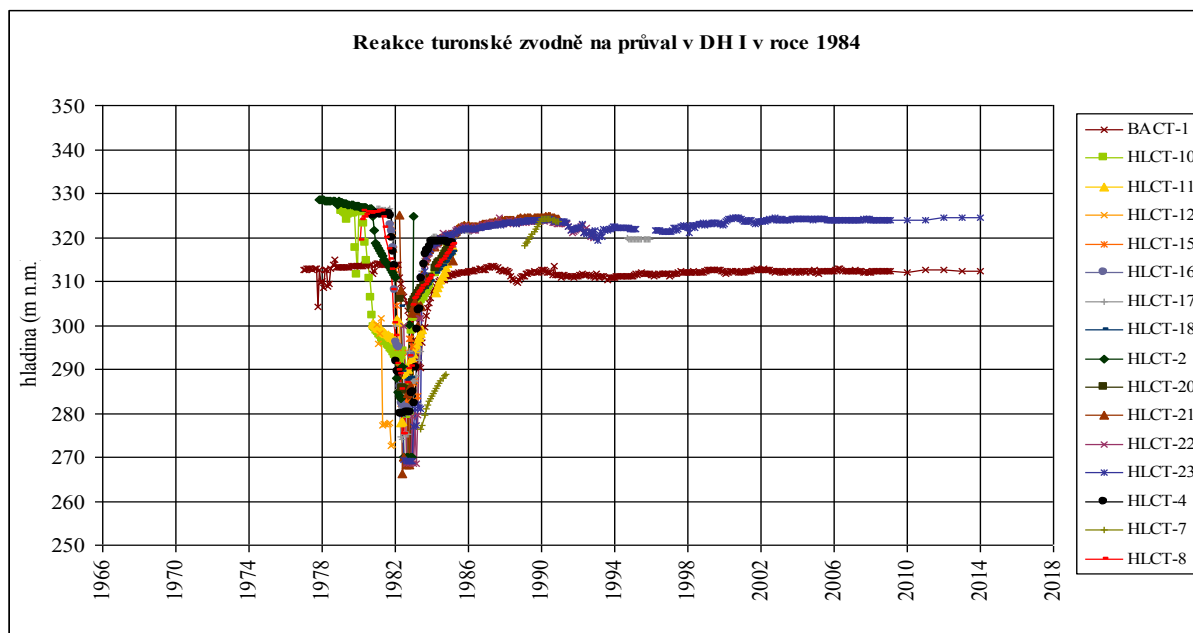
Hladina cenomanské zvodně tlusteckého bloku klesá plynule z úrovně cca 340 m n. m. u lužické poruchy na úroveň 190 m n. m. v okolí Úštěka. Hladina turonské zvodně tlusteckého bloku dosahuje u lužické poruchy úrovně 360 m n. m. a klesá směrem k Labi na úroveň přibližně 160 m n. m..

Hladký průběh izolinií hladin v jihozápadní části strážského bloku a v tlusteckém bloku je způsoben výrazně nižším počtem monitorovacích vrtů v tomto prostoru.



Obr. 45. Hydroizohypsy turonske zvodně strážského bloku a zvodně tlusteckého bloku, v roce 1970.

V turonske zvodni strážského bloku došlo v květnu 1984 na DH I k průvalu na dobývací komoře a propojení cenomanské a turonske zvodně. Tato událost se projevila výrazným poklesem hladiny turonske zvodně na vrtech v okolí dolu Hamr I, který byl postupně sanován (obr. 46).



Obr. 46. Reakce turonské zvodně na průval v dobývací komoře DH I.

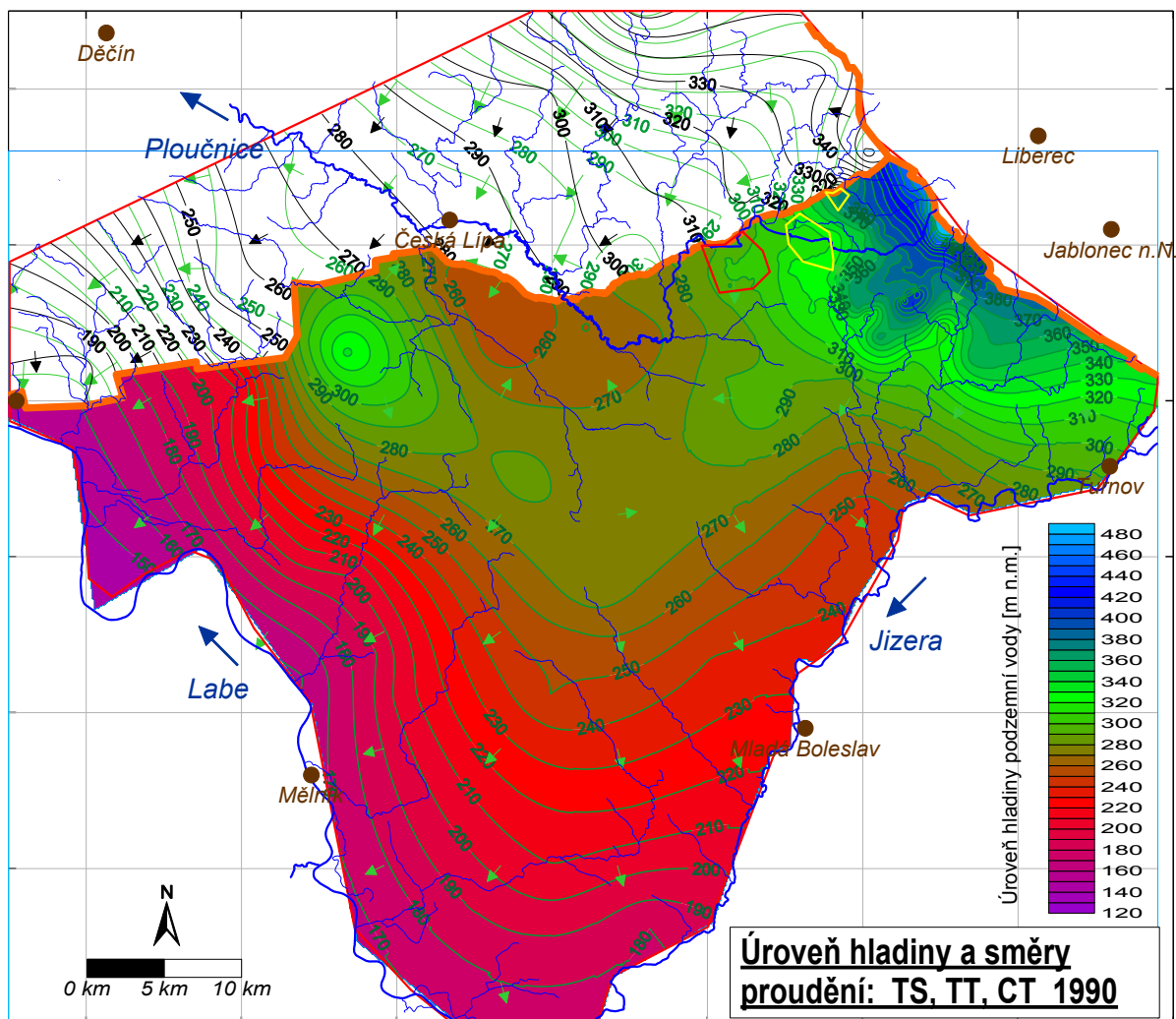
Období maximálního ovlivnění - rok 1990

V období intenzivní těžby uranu dochází k maximálnímu snížení hladiny cenomanské zvodně v centrální části strážského bloku až na úroveň 130 m n. m.. V důsledku činnosti hydraulických bariér Stráž a Svěbořice vzniká extrémní hydraulický gradient v cenomanské zvodni - přibližně 170 m na vzdálenost 2 km.

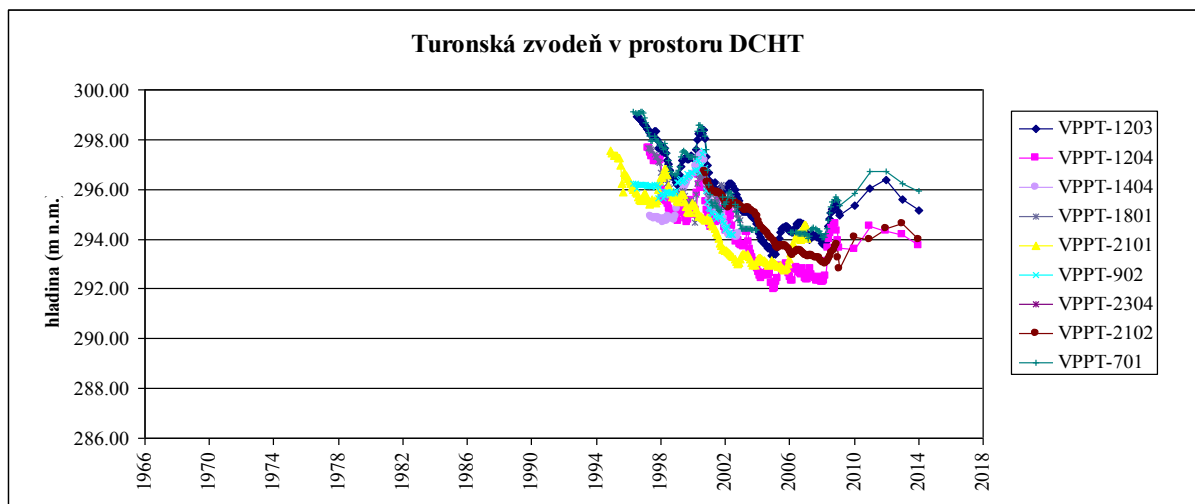
V turonské zvodni strážského bloku ani ve zvodních tlusteckého bloku se tyto výrazné změny neprojeví (obr. 47).

Zvětšením počtu monitorovaných objektů v širší oblasti dochází ke zpřesnění průběhu izolinií hladin v jednotlivých zvodních.

V prostoru vyluhovacích polí DCHT je v turonské zvodni strážského bloku zaznamenán na několika skupinách vrtů mírný poklesový trend mezi roky 1995 a 2008 (obr. 48). Od roku 1992 bylo zahájeno čerpání zbytkových technologických roztoků (ZTR) z turonské zvodně, od roku 1998 byly čerpány „čočky“ kontaminovaných vod v ploše vyluhovacích polí DCHT.



Obr. 47. Hydroizohypsy tuřonské zvodně strážského bloku a zvodni tlusteckého bloku, v roce 1990.

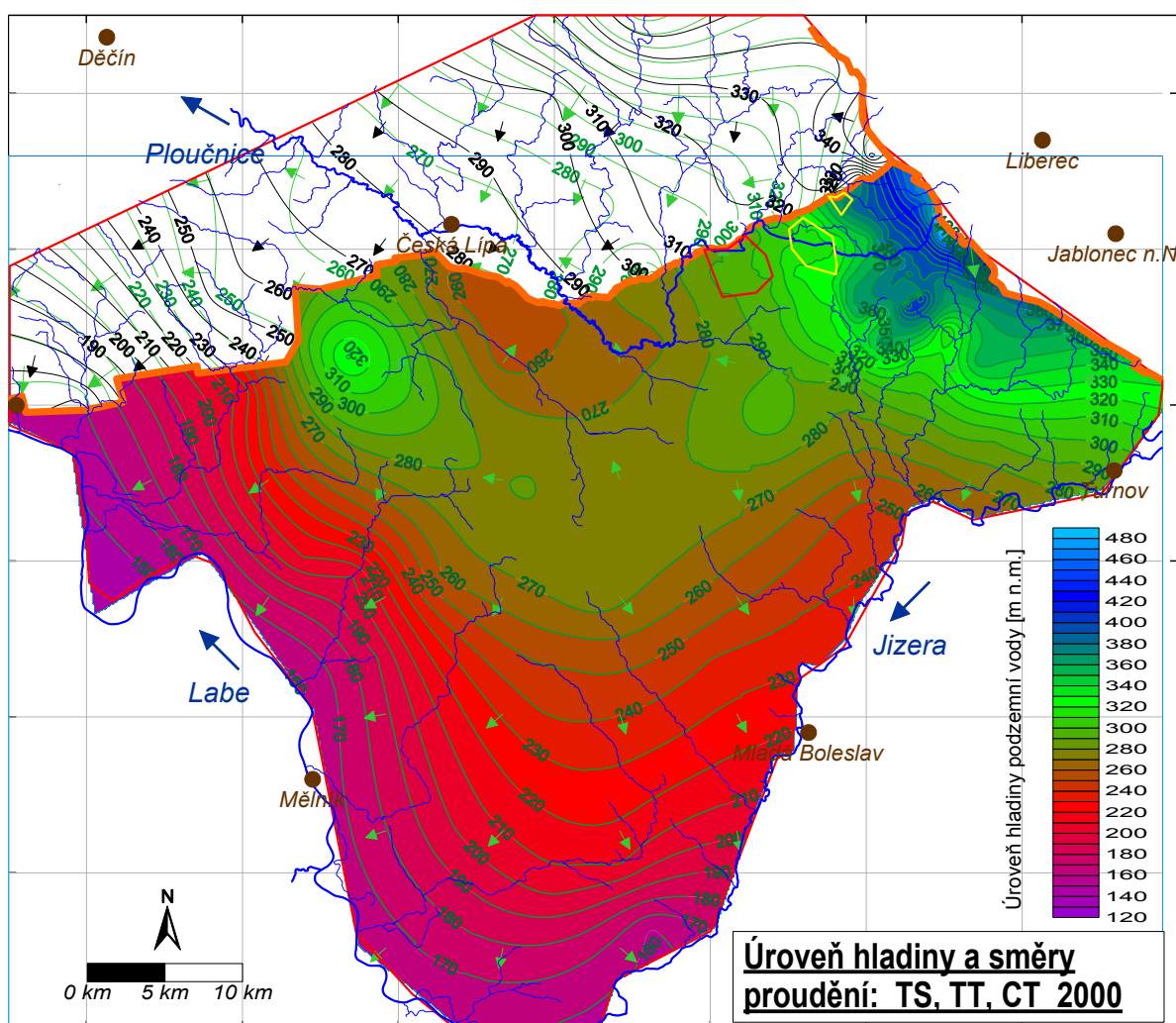


Obr. 48. Tuřonská zvodně v prostoru DCHT (výběr).

Období maximálního ovlivnění - rok 2000

Do roku 2000 dochází k maximálnímu rozšíření depresní kotliny cenomanské zvodně v centrální části strážského bloku. Se změnou režimu čerpání v prostoru vyluhovacích polí DCHT (pokles hladiny) souvisí poměrně výrazné rozšíření depresní kotliny cenomanské zvodně směrem k jihu a jihozápadu. Při lužické poruše pokračuje postupný pokles úrovně hladiny cenomanské zvodně.

Hladiny podzemní vody v ostatních zvodních mají přibližně stejný průběh jako v předešlých obdobích (obr. 49). V oblasti drenáže zvodní při toku Labe je patrný postupný pomalý pokles úrovně hladin cenomanské i turowské zvodně.

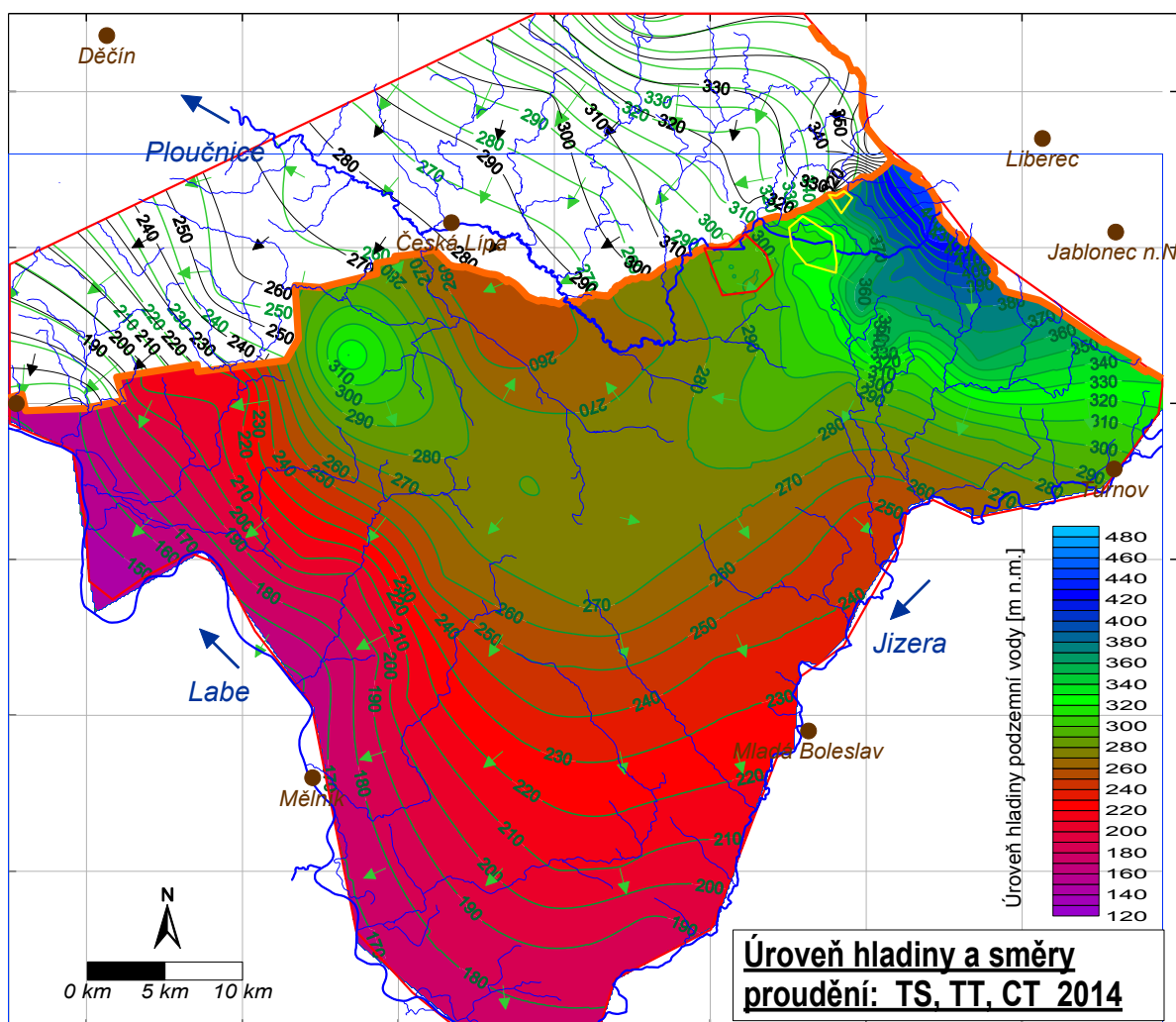


Obr. 49. Hydroizohypsy turowské zvodně strážského bloku a zvodní tlusteckého bloku, v roce 2000.

Stav ke konci roku 2014

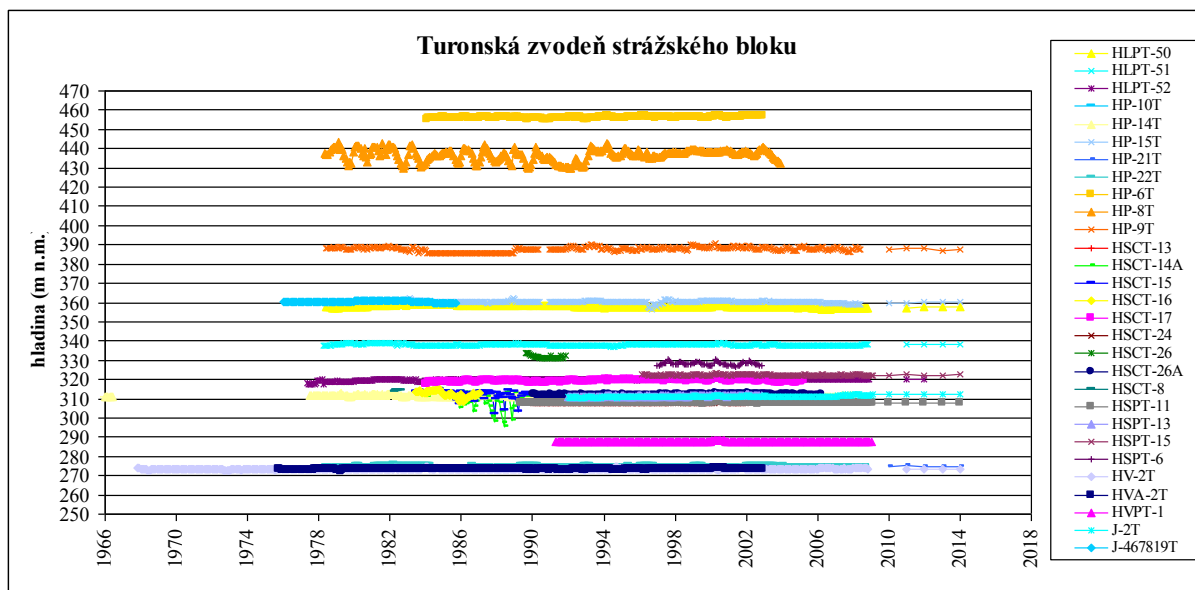
Od zahájení zatápění depresní kotliny cenomanské zvodně v prostoru dřívější hlubinné těžby (duben 2001) do současnosti došlo v centrální části strážského bloku ke vzestupu úrovně hladiny cenomanské zvodně přibližně o 100 metrů. V širší oblasti strážského bloku (k lužické poruše a jz. od prostoru DCHT) však přetrvává pomalý pokles úrovně hladiny cenomanské zvodně.

Hladiny podzemní vody v ostatních zvodních mají přibližně stejný průběh jako v předešlých obdobích (obr. 50).



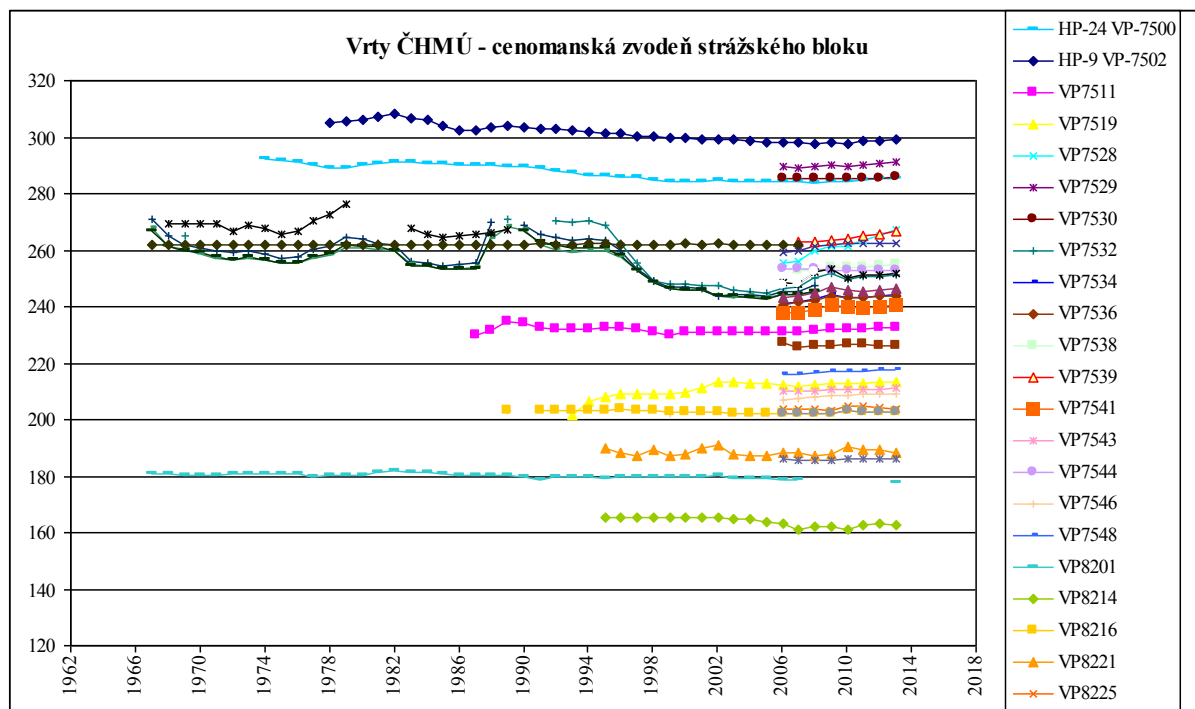
Obr. 50. Hydroizohypsy turonské zvodně strážského bloku a zvodní tlusteckého bloku, v roce 2014.

Ve vrtech turonské zvodně strážského bloku mimo prostor chemické těžby docházelo v celém hodnoceném období pouze k velmi mírnému kolísání úrovně hladiny (jednotky metrů), bez nápadného trendu, viz obr. 51.



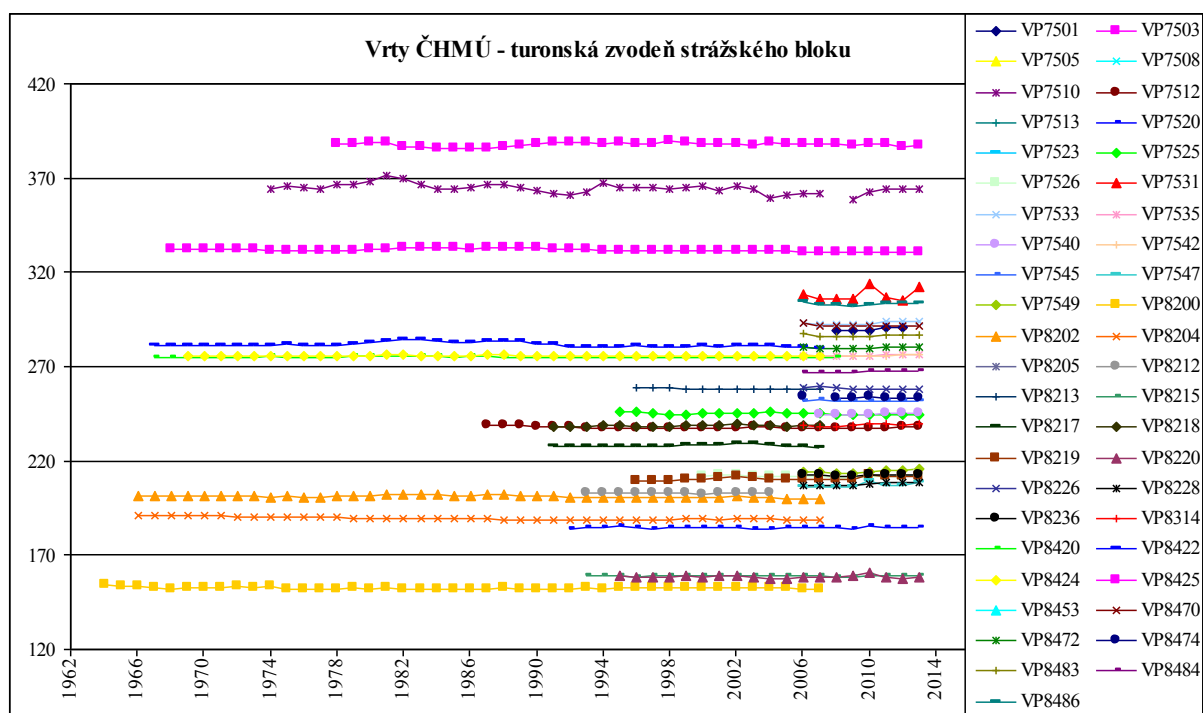
Obr. 51. Turonská zvrdeň strážského bloku (výběr).

Ve vrtech pozorovací sítě podzemních vod sítě ČHMÚ je v cenomanské zvrdeň strážského bloku (obr. 52) patrná reakce na odvodňování a zatápění prostoru dřívější hlubinné těžby i na režim hladin v prostoru DCHT, s tendencí k vyhlazování a zmenšování rozptylu hodnot se vzdáleností od centra ovlivnění. V posledních několika letech (přibližně od roku 2010) je ve většině vrtů v jihozápadním předpolí prostoru dřívější těžby patrný mírný vzestupný trend.

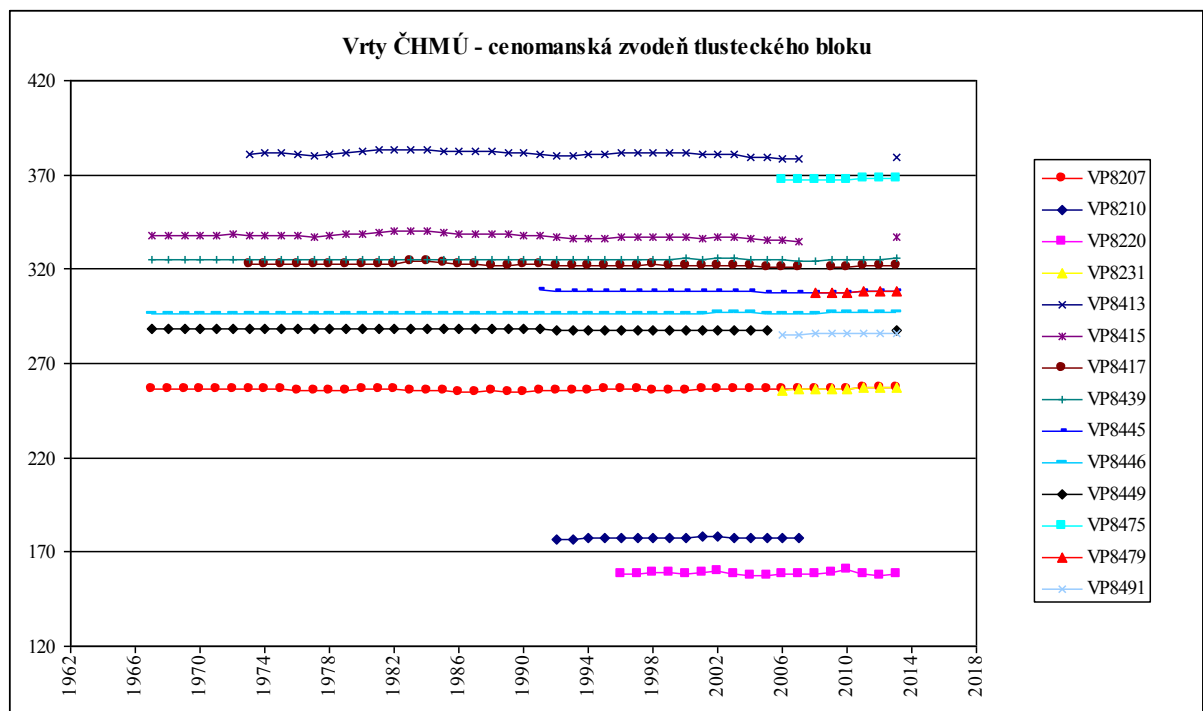


Obr. 52. Cenomanská zvrdeň strážského bloku - vrty ČHMÚ.

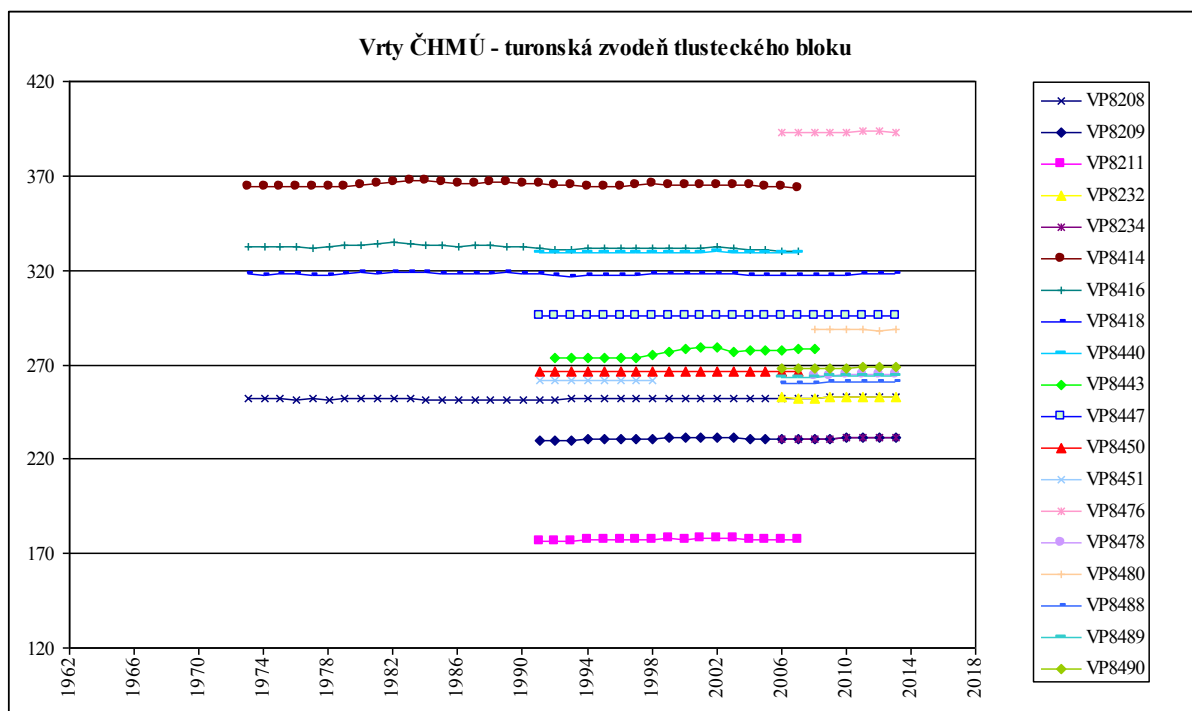
V turowské zvodni strážského bloku (obr. 53) i ve zvodních tlusteckého bloku (obr. 54, 55) jsou úrovně hladin podzemní vody ve vrtech pozorovací sítě ČHMÚ po celé sledované období přibližně ustálené, viz obr. 3-98, se slabší i výraznější přirozenou sezónní i víceletou oscilací, bez zjevného trendu.



Obr. 53. Turowská zvodněň strážského bloku - vrty ČHMÚ.



Obr. 54. Cenomanská zvodněň tlusteckého bloku - vrty ČHMÚ.

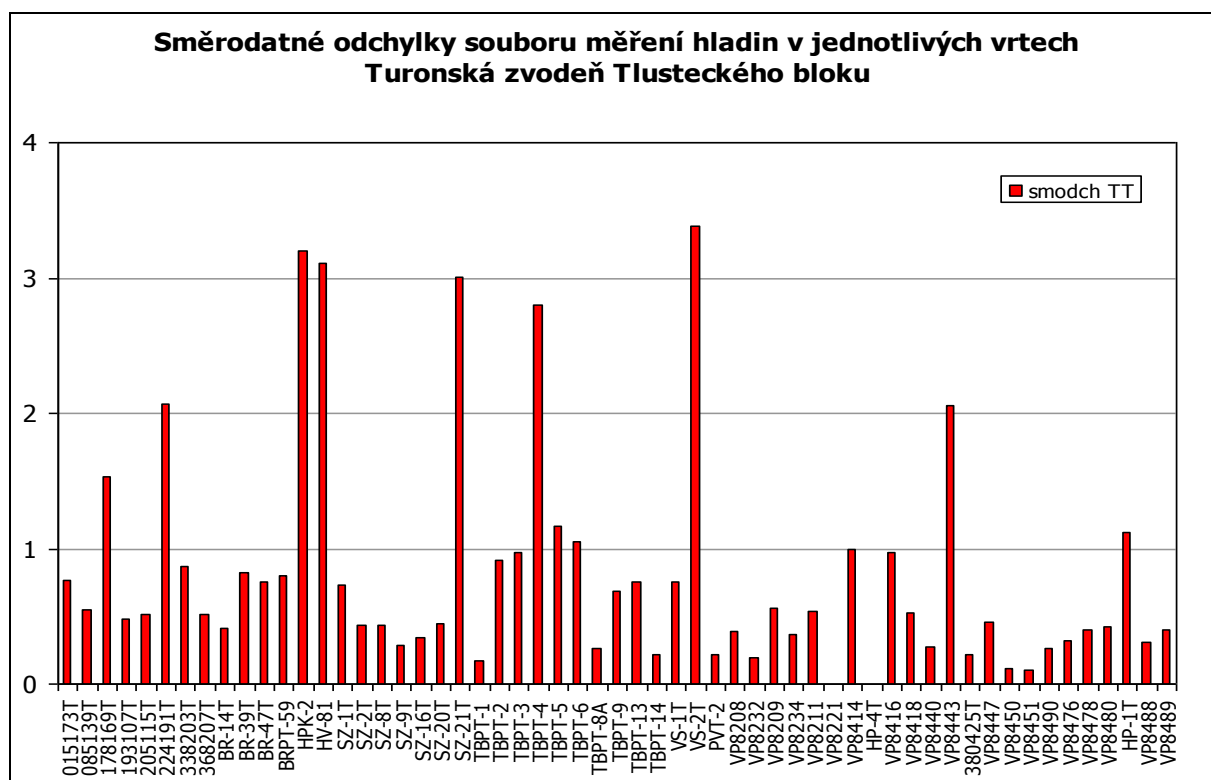


Obr. 55. Turonská zvrteň tlusteckého bloku - vrty ČHMÚ.

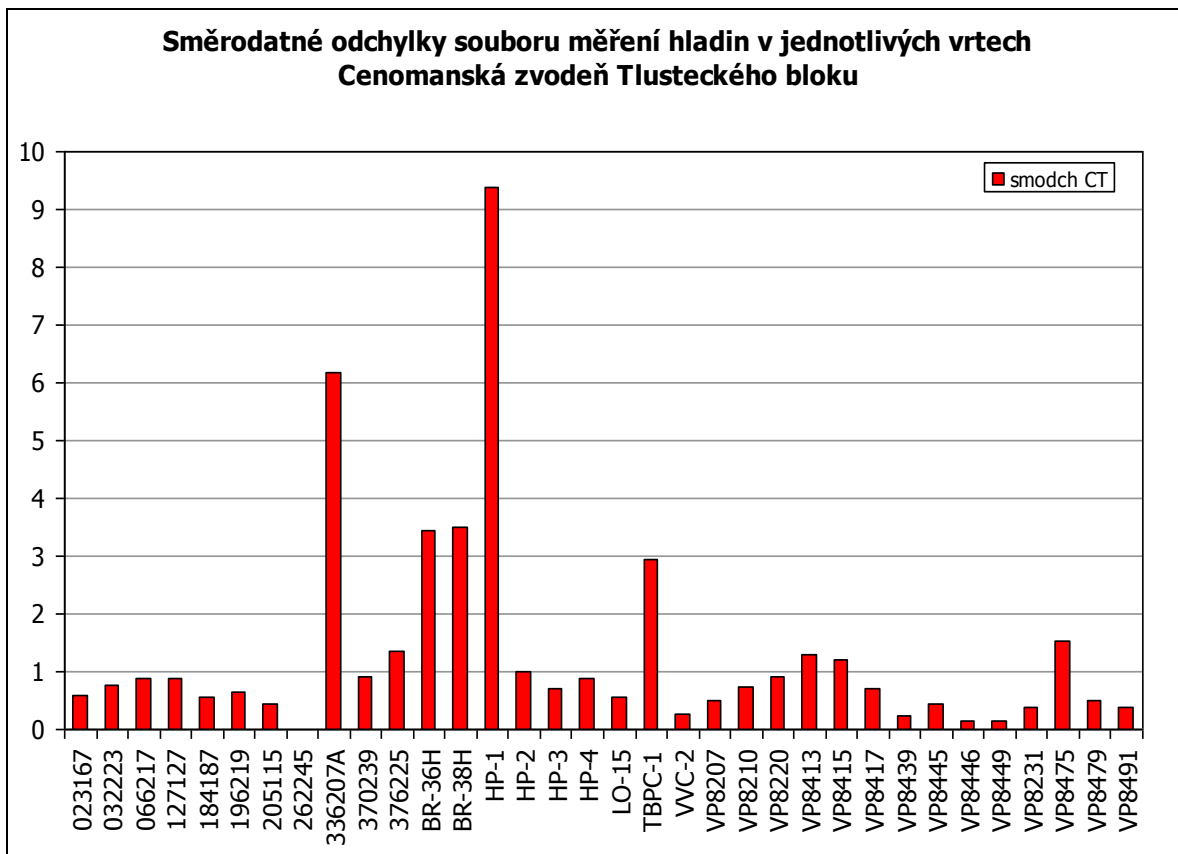
7. Rozsah ovlivnění režimu podzemní vody na základě analýzy směrodatných odchylek

Na základě předpokládaného odlišného rozložení souboru hodnot mezi neovlivněným režimem hladiny podzemní vody a režimem ovlivněným vnějším (antropogenním) zásahem, byly vypočítány směrodatné odchylky pro jednotlivé pozorované řady hladin podzemní vody, hodnoty interpolovány pro mapové zobrazení.

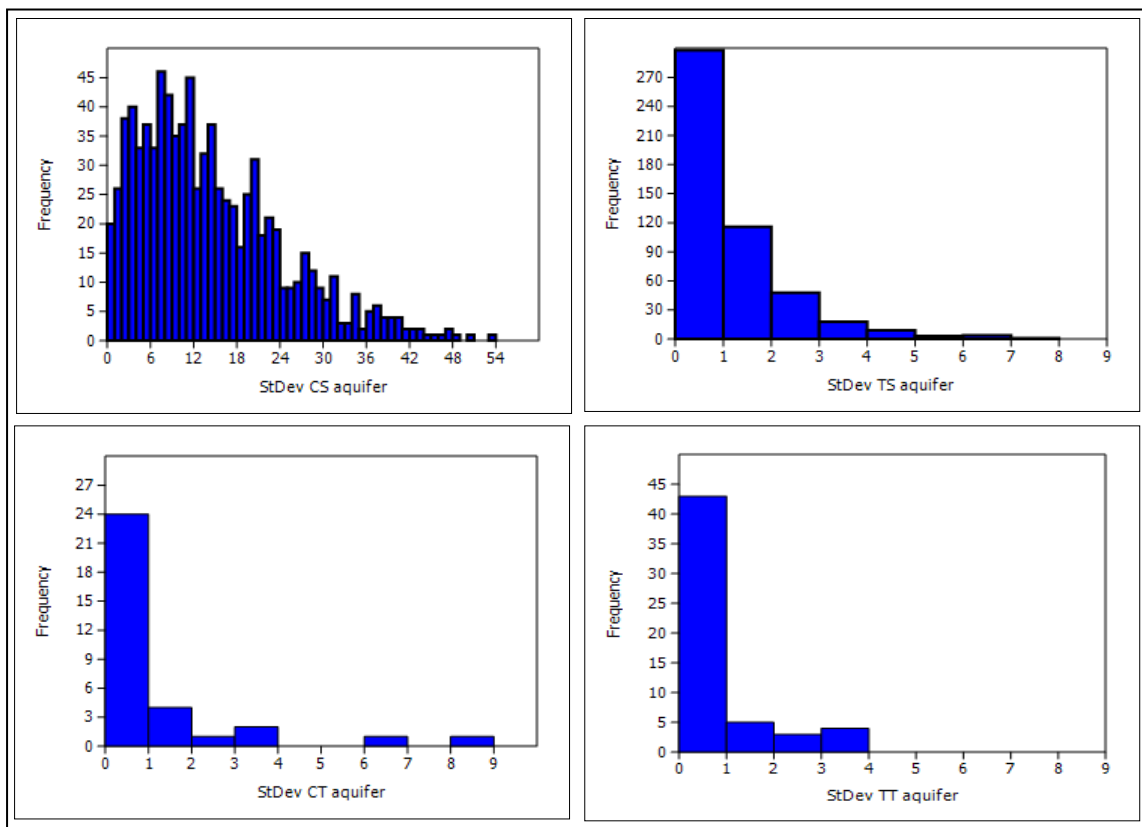
Ve zvodních tlusteckého bloku, které lze považovat za plošně neovlivněné díky nepropustnosti strážského zlomového pásma, byly zjištěny převážně nízké hodnoty směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin v jednotlivých vrtech za celé sledované období, viz obr. 56 a 57. V turowské zvodni strážského bloku rovněž převažují hodnoty $\sigma < 1$ ale poměrně často se vyskytují hodnoty $\sigma < 2$. Na proti tomu v cenomanské zvodni strážského bloku je rozložení odlišné, výrazně převažují vyšší hodnoty směrodatných odchylek - nejčastější hodnoty v rozmezí $\sigma = 8-12$, s maximálními hodnotami $\sigma = 40-50$. Rozložení četností hodnot směrodatných odchylek je zobrazeno v histogramech na obr. 58.



Obr. 56. Hodnoty směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin v jednotlivých vrtech - turowská zvodně tlusteckého bloku.

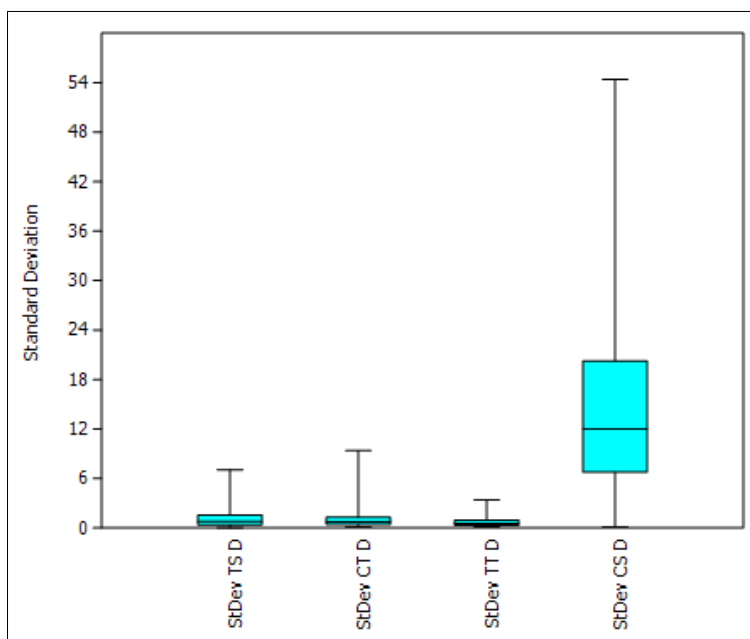


Obr. 57. Hodnoty směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin v jednotlivých vrtech - cenomanská zvrdeň tlusteckého bloku.



Obr. 58. Rozložení četností hodnot směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin ve zvodních CS, TS, CT a TT.

Porovnání četností výskytu hodnot σ mezi jednotlivými zvodněmi je zobrazeno pomocí krabicových grafů na obrázku 59, kde se nápadně zvodeň CS nápadně odlišuje od ostatních zvodní.



Obr. 59. Porovnání hodnot směrodatných odchylek mezi zvodněmi CS, TS, CT a TT.

Testování různých variant délky souboru měřených hladin podzemní vody v jednotlivých vrtech použitého pro výpočet směrodatných odchylek ukázalo, že použití dlouhých řad měření je výrazně citlivější pro určení objektů s ovlivněným režimem podzemní vody, než při použití kratších období sledování hladin. Výpočet z kratších období sledování hladin však lze využít k vymezení oblastí s ustáleným režimem hladin v dílčím časovém období.

Pro vymezení oblasti s ovlivněným režimem byly interpolovány hodnoty σ v jednotlivých zvodních zájmové oblasti a sestaveny mapy izolinií σ .

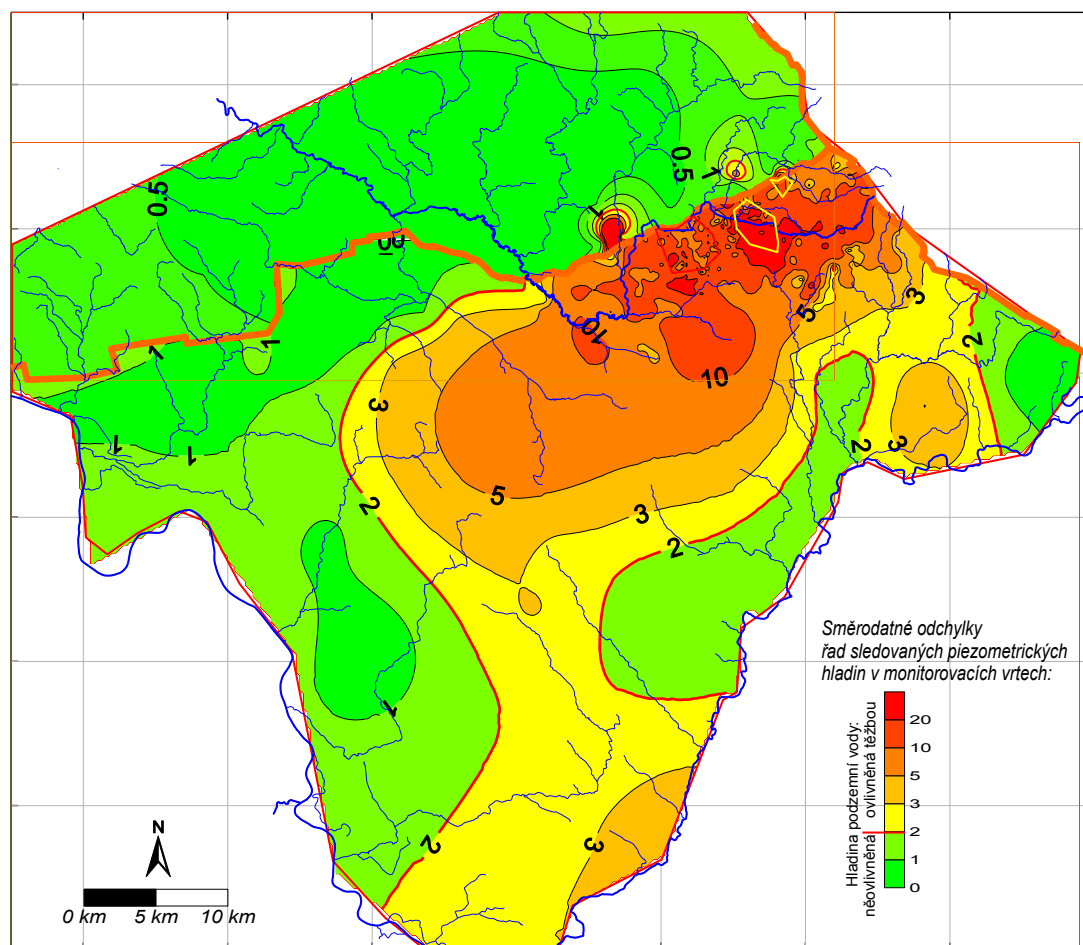
V Cenomanské zvodni strážského bloku bylo zjištěno rozsáhlé ovlivnění režimu hladin, viz obr. 60. V centrální části v okolí hlubinné I chemické těžby dosahují hodnoty směrodatných odchylek souboru měřených hladin za celé období až $\sigma = 54$. Prokazatelné ovlivnění režimu hladin ve vrtech, určené izolinií $\sigma = 2$, postihlo většinu plochy zájmového území.

Za neovlivněné lze považovat pouze území při středním toku Jizery, drenážní oblast při údolí Labe a dolních toků jeho pravostranných přítoků až po středohorské zlomové pásmo, západně od Ploučnice.

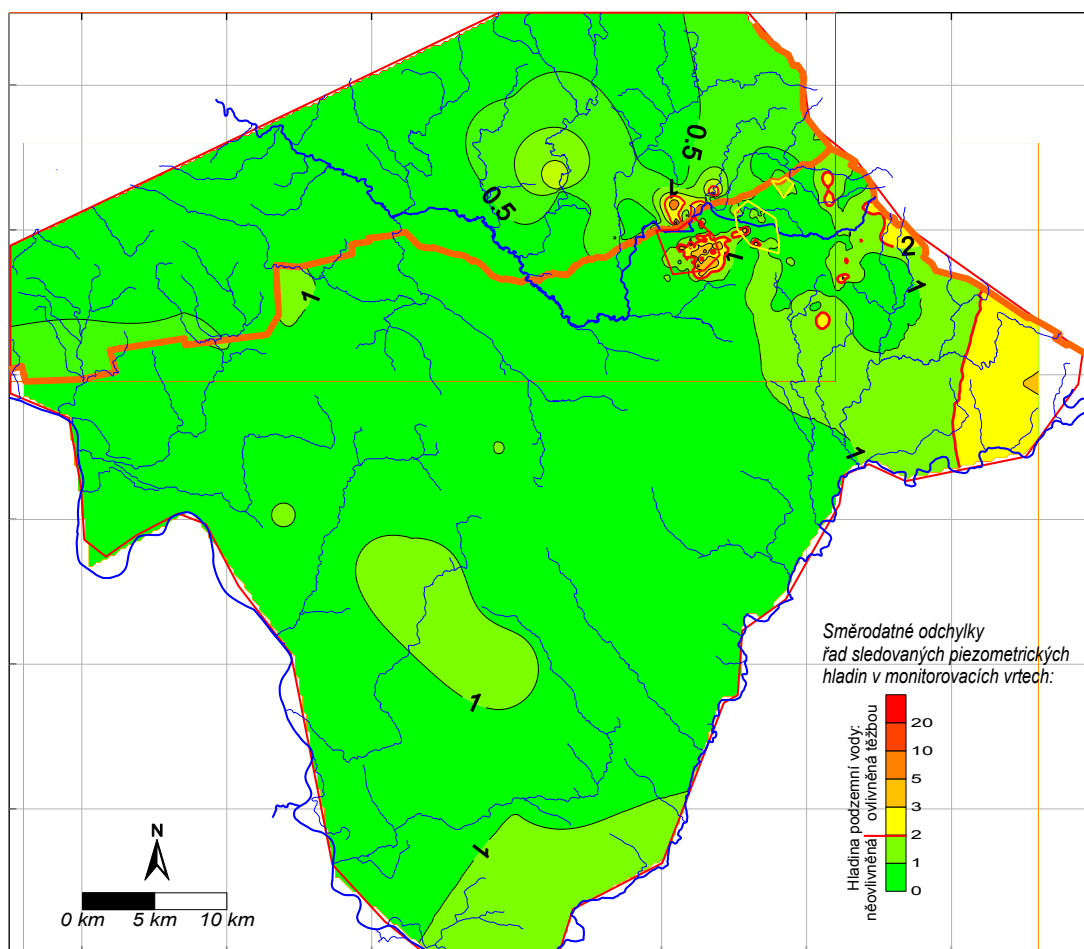
Na rozdíl od cenomanské zvodně strážského bloku nebylo v ostatních zvodních zjištěno plošné ovlivnění režimu hladin podzemní vody. Hodnoty směrodatných odchylek souborů sledovaných hladin v jednotlivých vrtech za celé sledované období jsou nízké, převážně nižší než 1, viz obr. 61. Větší rozptyl měřených hodnot se vyskytuje pouze lokálně. V turonské zvodni strážského bloku v prostoru vyluhovacích polí DCHT kde byl režim hladin podzemní vody ovlivněn technologickými roztoky a při lužické poruše a při Jizeře na východním okraji zájmového území v jednotlivých vrtech s výraznějším kolísáním hladiny.

V tlusteckém bloku jsou hodnoty směrodatných odchylek souboru měřených hladin nízké a odpovídají přirozenému kolísání hladin v neovlivněných zvodních. Lokálně však v cenomanské i turonské zvodni došlo ve vrtech přiléhajících k pásnu strážského zlomu k výraznějšímu kolísání hladiny.

Použitá metoda se tedy ukázala jako vhodná pro plošné zobrazení rozsahu antropogenního ovlivnění režimu hladin podzemní vody, které způsobuje zvýšení rozptylu hodnot měřených datových sad.



Obr. 60. Izolinie hodnot směrodatných odchylek souboru měřených hladin podzemní vody v cenomanské zvodni strážského a tlusteckého bloku.



Obr. 61. Izolinie hodnot směrodatných odchylek souboru měřených hladin podzemní vody v turonské zvodni strážského a tlusteckého bloku.

8. Korelace hladin ve strážském bloku

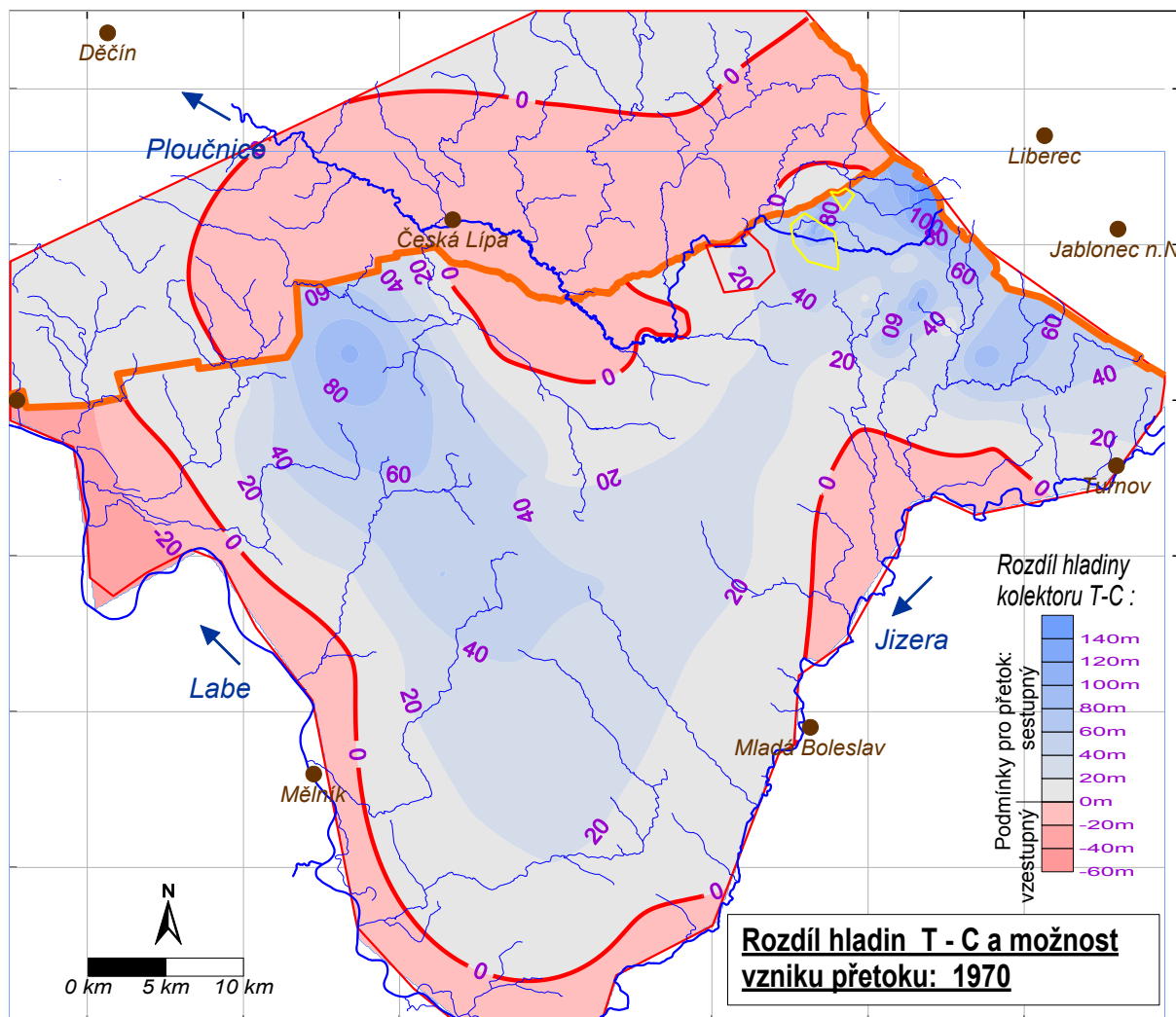
Oblasti s rizikem plošného přetoku z cenomanské do turonské zvodně ve strážském bloku jsou nejlépe patrné z map rozdílů úrovní hladiny v těchto zvodních, viz obr. 62 až 65. Mapy jsou vytvořeny odečtením úrovně hladiny cenomanské zvodně od úrovně hladiny turonské zvodně (tj. turon mínus cenoman, T - C). Kladné hodnoty představují hladinu turonské zvodně nad úrovní hladiny cenomanské zvodně, na nulové izolínii jsou výtlačné úrovně zvodní obou zvodní shodné, a záporné hodnoty představují situaci kdy výtlačná úroveň hladiny cenomanské zvodně leží výš než úroveň hladiny turonské zvodně.

Má-li cenomanská zvodně vyšší výtlačnou úroveň než zvodně turonská, vznikají hydraulické podmínky pro možnost vzniku vertikálního vzestupného proudění podzemní vody a zejména v oblastech porušení izolátoru může docházet k šíření kontaminace z cenomanské zvodně do vyšší turonské zvodně.

V období po zahájení těžby radioaktivních surovin se oblast možného přetoku z cenomanské do turonské zvodně nachází v okolí Ploučnice, od Mimoně přes Hradčany k severozápadu. Rozdíl úrovní hladin je malý, nedosahuje 10 m (obr. 62).

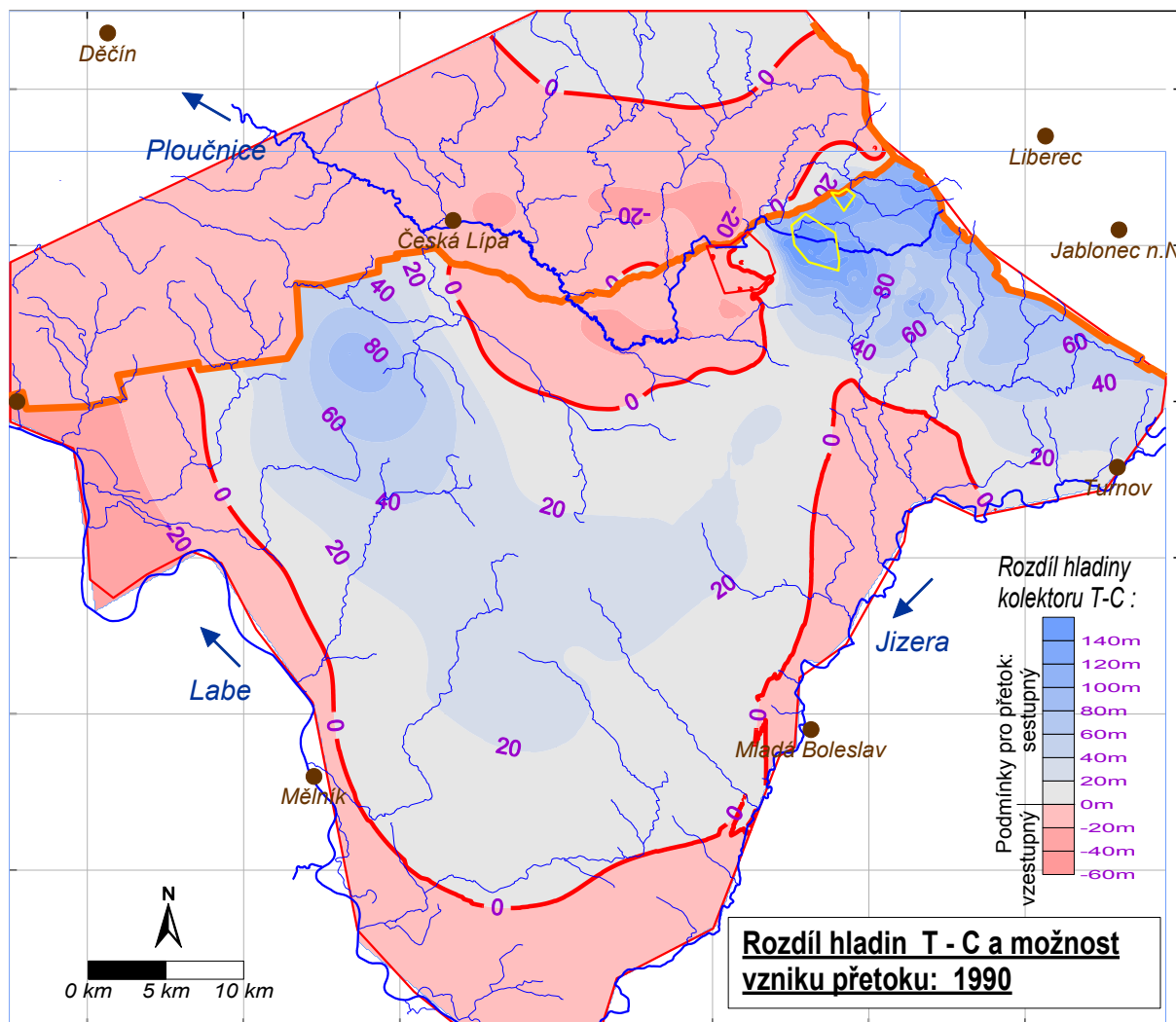
Druhou oblastí s výtlačnou úrovní hladiny cenomanské zvodně vyšší než je úroveň hladiny turonské zvodně je oblast drenáže obou kolektorů v blízkosti řeky Labe a Jizery a v povodí dolních toků pravostranných přítoků obou řek. Zde podmínky pro vzestupný přetok přetrvávají přirozeně po celé hodnocené období. V závislosti na mírných oscilacích hladin ve vrtech v drenážní oblasti se rozsah oblasti vzestupného přetoku v některých rocích mírně zvětšuje i zmenšuje.

V tlusteckém bloku se hladina turonské zvodně v oblasti infiltrace při lužické poruše a v oblasti drenáže při údolí Labe nachází výš než výtlačná úroveň cenomanské zvodně. Ve střední části popisovaného území tlusteckého bloku (benešovsko-ústeckého systému) má cenomanský zvodně vyšší výtlačnou úroveň než turonská zvodně.



Obr. 62. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 1970

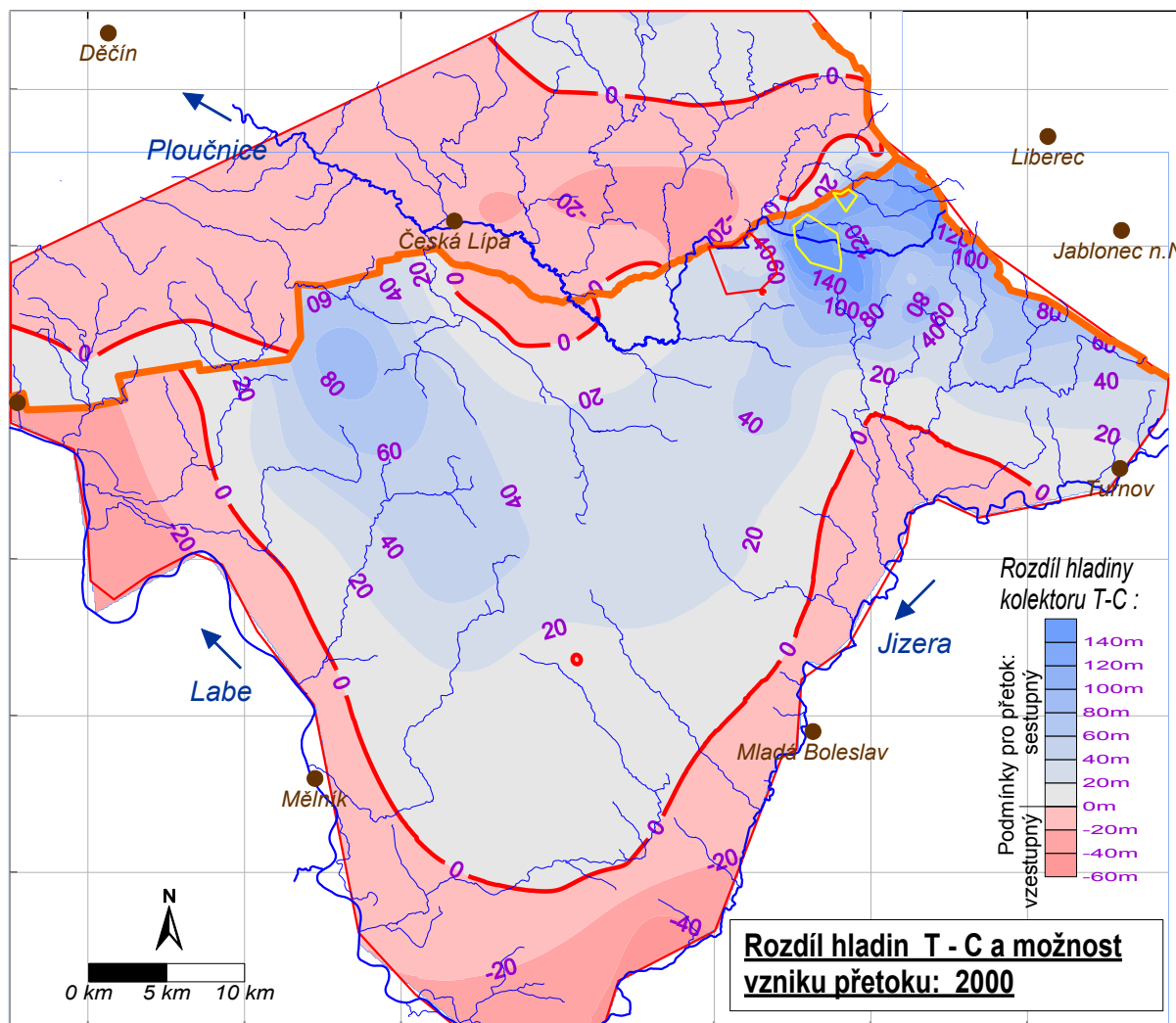
V období intenzivní těžby radioaktivních surovin (obr. 63, rok 1990) se oblast možného přetoku z cenomanské do turonské zvodně výrazně rozšiřuje - od strážského zlomu v prostoru vyluhovacích polí DCHT přes Svěbořice, Kuřivody a Máchovo jezero k České Lípě. Tato situace vzniká v důsledku vtlačení technologických roztoků do cenomanské zvodně v prostoru vyluhovacích polí DCHT a činnosti hydraulických bariér, kdy je zvýšena úroveň cenomanské hladiny. Vtláčení vody do vrtů hydraulických bariér tak paradoxně mohlo přispět k urychlení šíření kyselých roztoků od vyluhovacích polí směrem k jihozápadu (za předpokladu, že by kyselý roztok z prostoru VP unikly před dokončením bariér, tj. přibližně před rokem 1985). Šíření roztoků jihozápadním směrem však nebylo v období těžby na závalu. Zakyseloval se prostor budoucí chemické těžby v prostoru budovaného DCHT.



Obr. 63. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 1990

Se změnou režimu na vyluhovacích polích DCHT po roce 1996 (začátek provozu SLKR, pokles hladin až o 50 metrů) dochází k výraznému zmenšení plochy potenciálního přetoku z cenomanské do turonské zvodně. V roce 2000 je tato plocha omezena přibližně Sosnovou, Provodínem, Brennou a strážským zlomem.

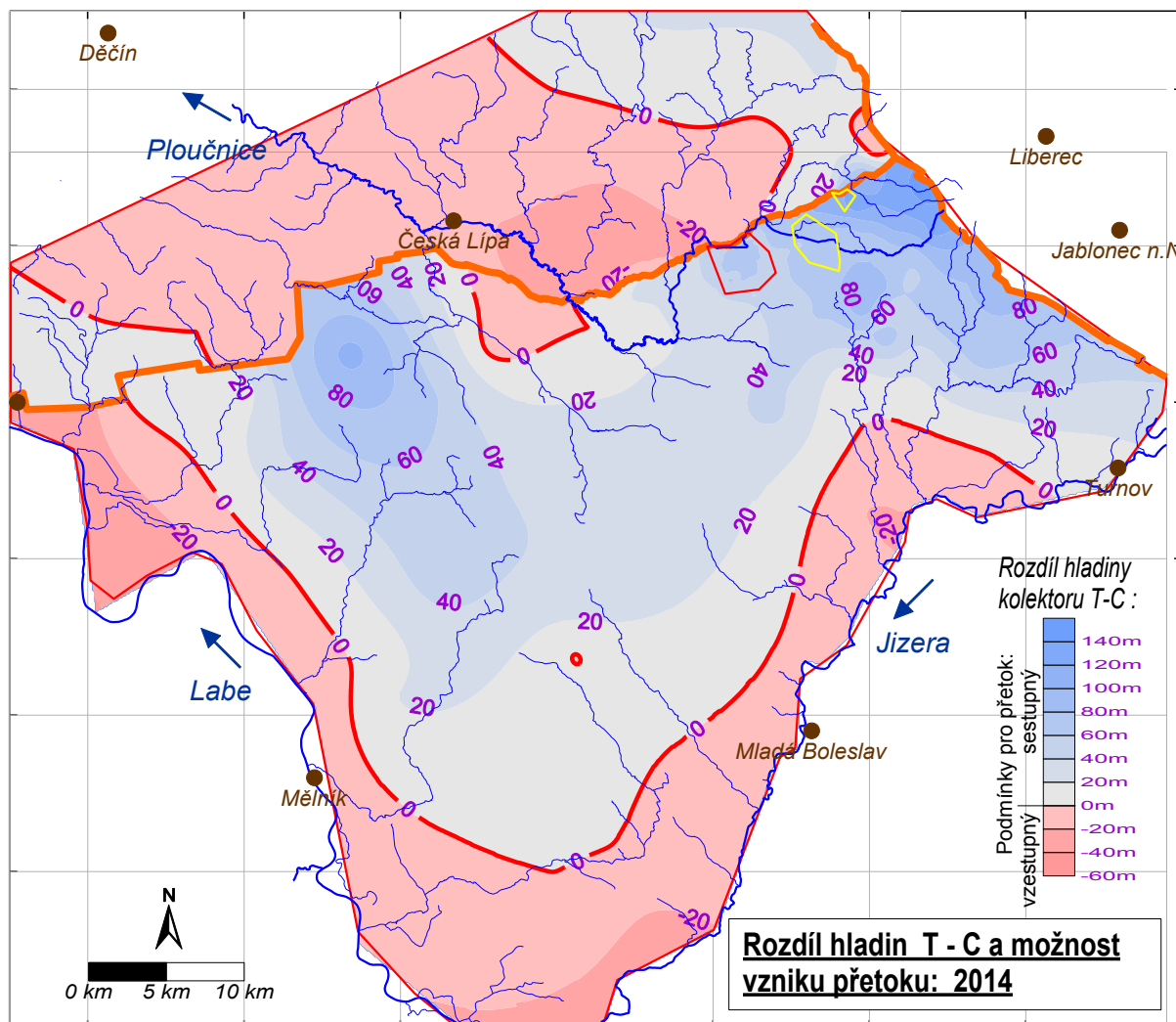
S poklesem úrovně hladiny v cenomanské zvodni v jižním předpolí DCHT (pokračující rozšiřování depresní kotliny cenomanské zvodně se středem v prostoru dolu Hamr) dochází i k mírné redukci plochy potenciálního přetoku při horních tocích pravostranných přítoků Jizery.



Obr. 64. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 2000

V roce 2014 (obr. 64) jsou hladinové poměry v okolí Ploučnice opačné podobné jako v roce 2000. Piezometrická úroveň cenomanské zvodně se nachází o cca 10-20 metrů níž než úroveň hladiny turonské zvodně. Prostor možného vzniku vertikálního přetoku z cenomanské do turonské zvodně se mírně zmenšuje.

V prostoru zatápěné depresní kotliny cenomanské zvodně v okolí dřívější hlubinné těžby dochází k postupnému pomalému sblížování úrovní hladiny cenomanské a turonské zvodně. V roce 2014 činí rozdíl hladin 50-70 metrů.

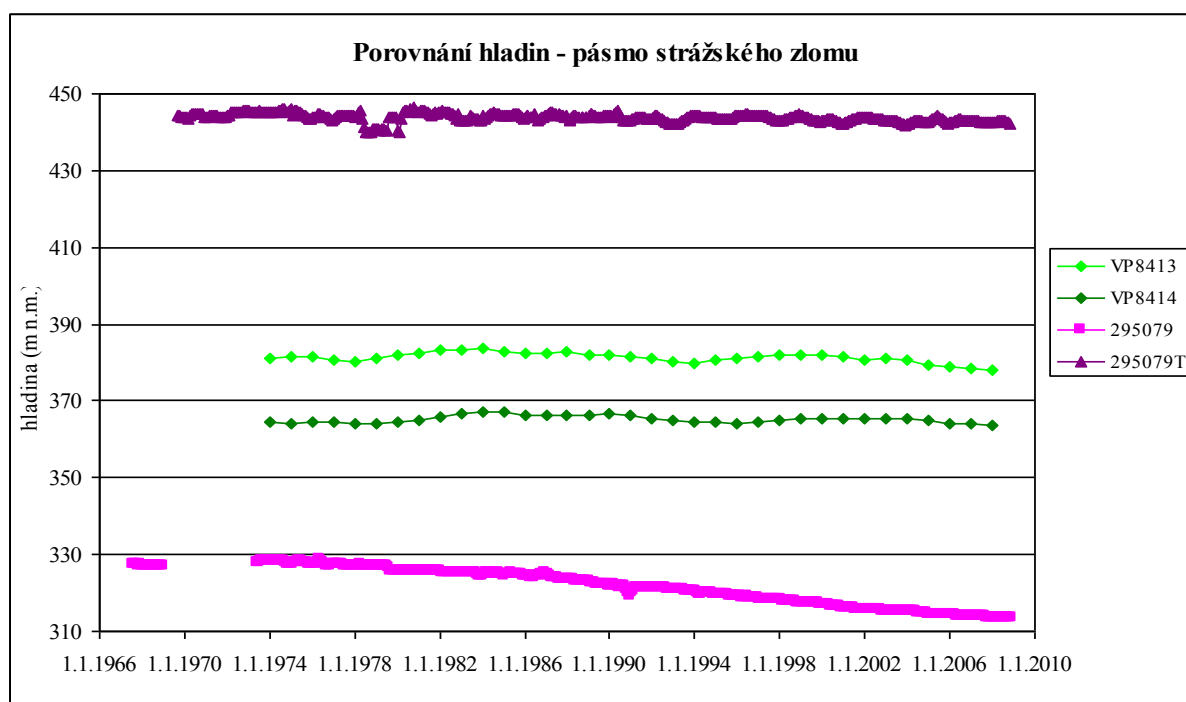


Obr. 65. Rozdíl hladin turonské a cenomanské zvodně, rok 2014

9. Korelace hladin přes pásmo strážského zlomu

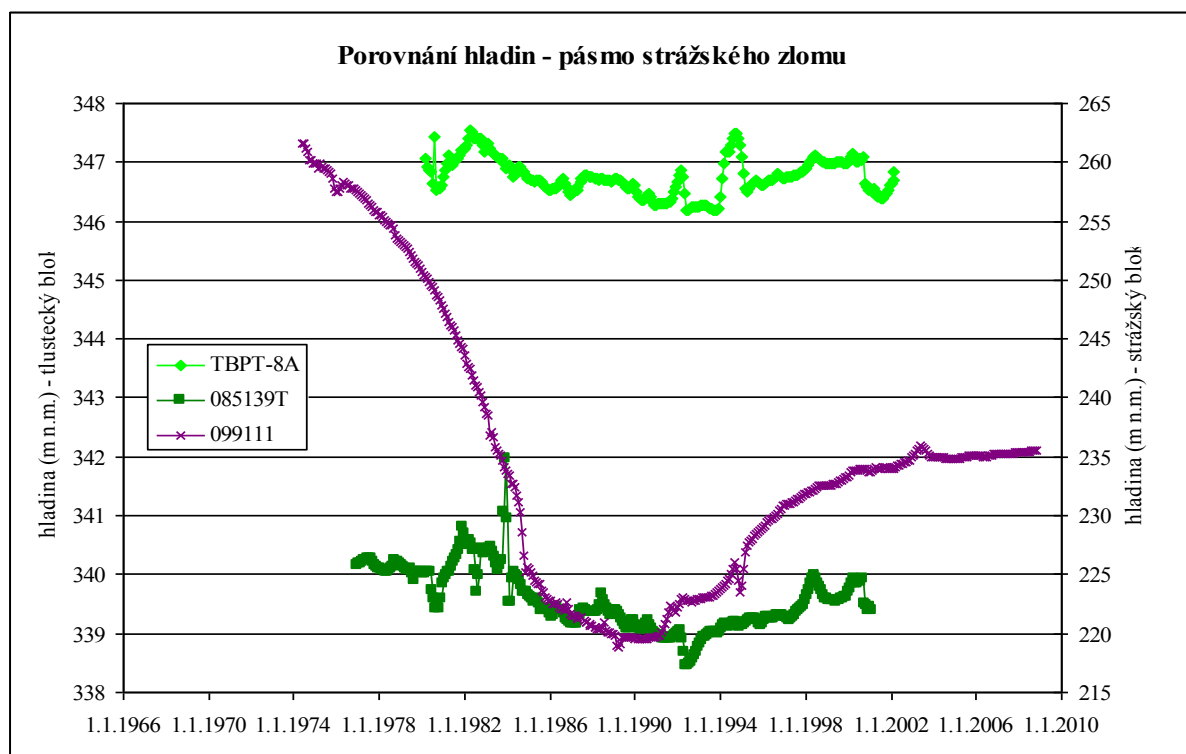
Porovnání časových řad hladin z monitorovacích vrtů, ležících na opačných stranách pásma strážského zlomu, je zobrazeno na obr. 66 až 71. V grafech jsou hladiny z objektů ležících ve strážském bloku zobrazeny růžově, hladiny z objektů v tlusteckém bloku zeleně.

V blízkosti lužické poruchy dochází v cenomanské zvodni strážského bloku k postupnému pomalému poklesu piezometrické úrovně po celou dobu sledování (obr. 66). Tento pokles se v ostatních zvodních neprojevuje - v turonská zvodni strážského bloku i ve zvodních tlusteckého bloku dochází pouze k sezónním výkyvům, bez výrazného trendu.



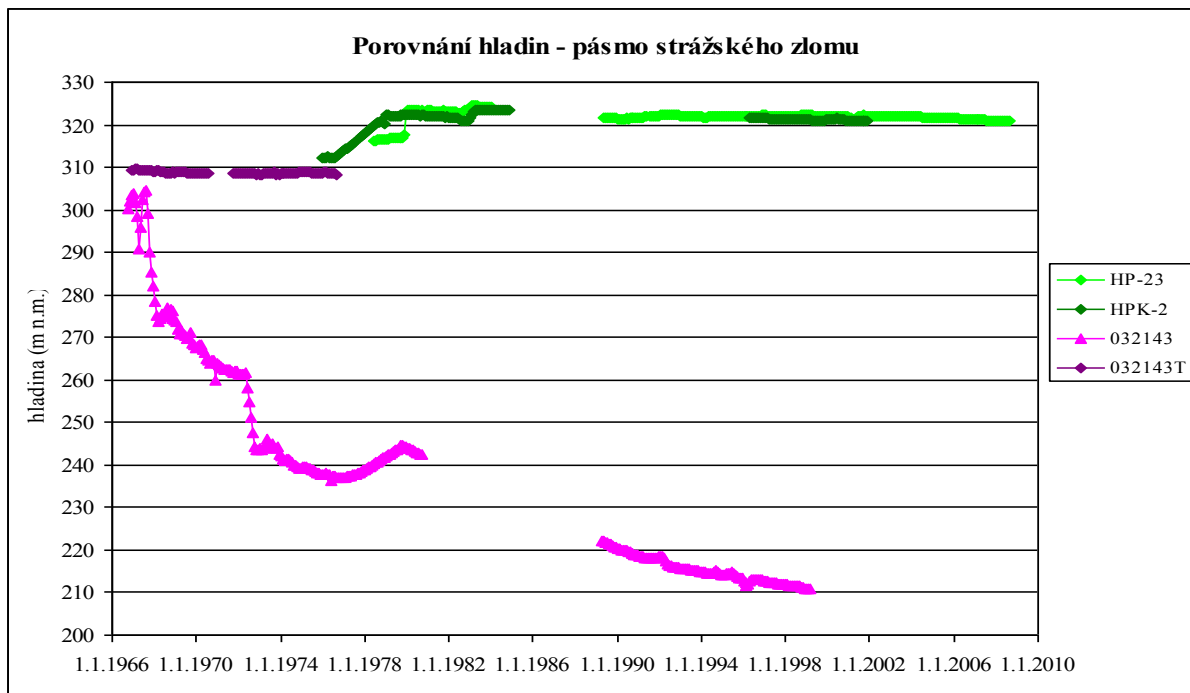
Obr. 66. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, v blízkosti lužické poruchy.

V okolí dolu Křižany (obr.67) reagují hladiny zvodní tlusteckého bloku na snížení hladiny cenomanské zvodně strážského bloku. Tato reakce se projevuje ve změně trendu pohybu hladiny turonské zvodně z mírně poklesového do mírně vzestupného, v reakci na odvodňování a následné zatápění prostoru DK I. Pohyb hladiny v cenomanské zvodni strážského bloku v rozmezí 40 m však způsobuje výkyv hladin v tlusteckém bloku pouze v řádu desítek cm až jednotek metrů.

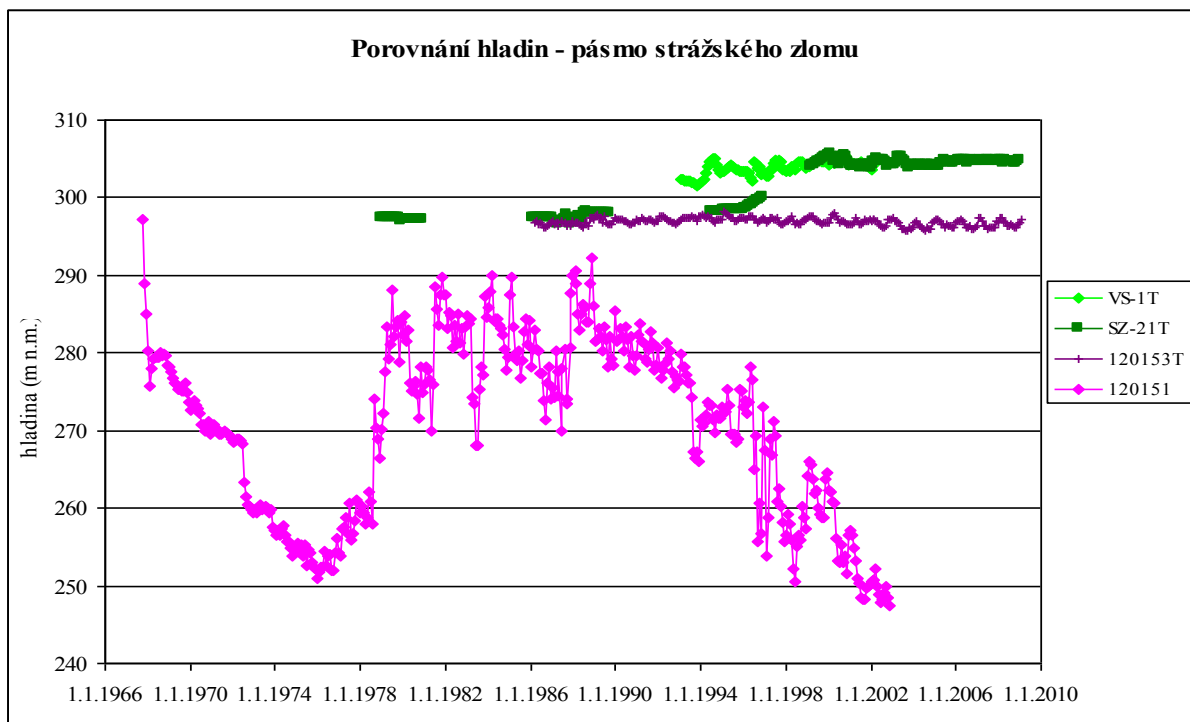


Obr. 67. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, severozápadně od dolu Křižany.

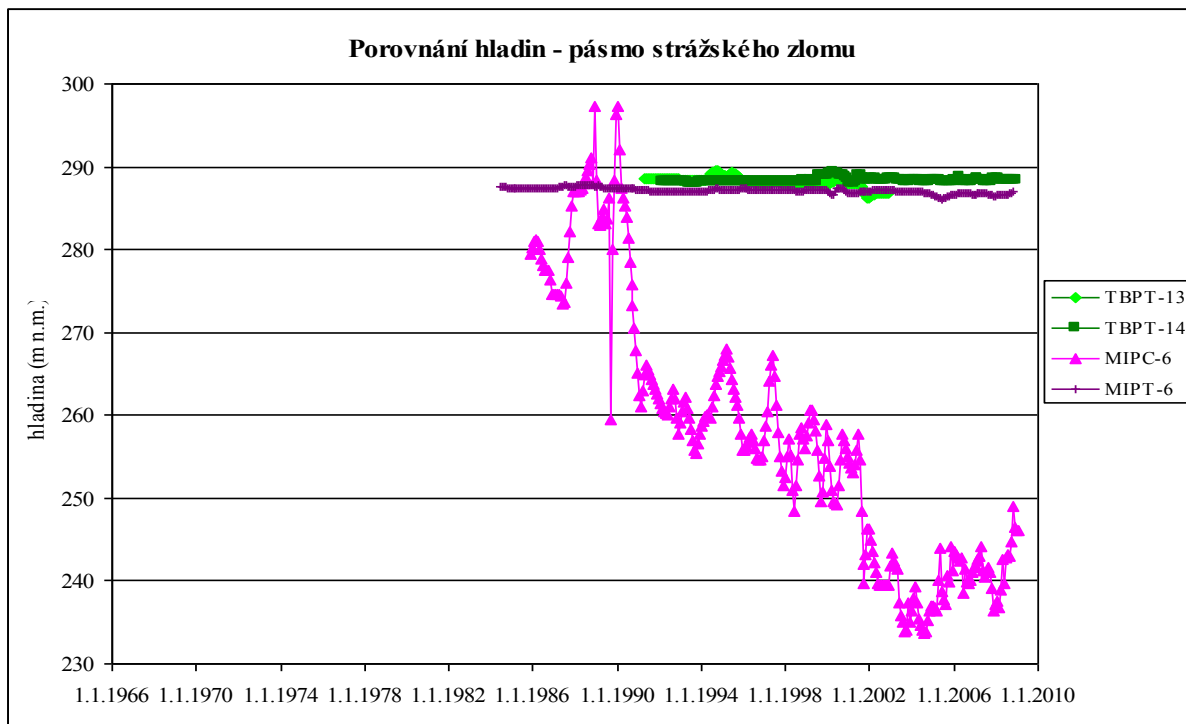
V dalších částech pásma strážského zlomu a navazujících zlomů směrem k jihozápadu se podle výsledků korelace časových řad hladin neprojevuje vliv výrazného snížení hladiny cenomanské zvodně strážského bloku na hladiny ostatních zvodní, viz grafy na obr 68 až 71. Přestože v cenomanské zvodni strážského bloku došlo v souvislosti s těžbou radioaktivních surovin k pohybům hladiny až o 100 metrů, v ostatních zvodních nebyly zjištěny odpovídající zlomové body ani úseky poklesového nebo vzestupného trendu, související s odvodňováním nebo zatápním prostoru ovlivněného těžbou.



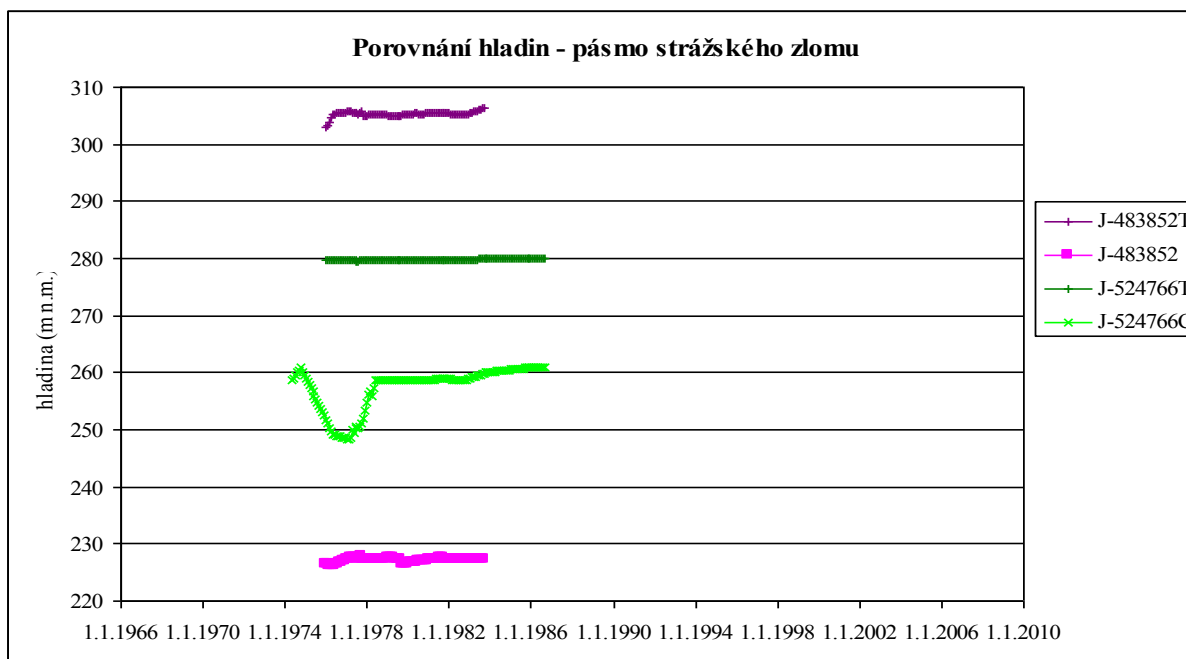
Obr. 68. Porovnání hladin v pásnu strážského zlomu, severně od Hamru na Jezeře.



Obr. 69. Porovnání hladin v pásnu strážského zlomu, na úrovni hydrobariéry Stráž.



Obr. 70. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, severozápadní okraj vyluhovacích polí DCHT.



Obr. 71. Porovnání hladin v pásmu strážského zlomu, jihozápadně od České Lípy (Blíževedly).

10. Diskuse a závěr

Práce předkládá hodnocení vývoje režimu podzemních vod zvrstveného vícekolektorového zvodněného systému české křídové pánve v oblasti předpokládaného maximálního dosahu ovlivnění podzemních vod těžbou radioaktivních surovin v okolí Stráže pod Ralskem, od počátků těžby uranu do současnosti. Hlavním směrem práce bylo zpracování mapových interpolací dat z monitoringu úrovní hladin podzemní vody v jednotlivých zvodních zkoumané oblasti a popis režimu podzemních vod na základě změřených dat.

Práce shrnuje přírodní poměry zájmové oblasti se zaměřením na geologické, tektonické a hydrogeologické podmínky proudění podzemních vod; shrnuje zásadní technické události, které znamenaly významné ovlivnění režimu podzemních vod v období od zahájení průzkumných prací do současnosti. Dále je uvedena charakteristika monitorovacích sítí podzemních vod v zájmové oblasti a dostupných dat monitoringu hladin podzemní vody. V další části jsou analyzovány hladinové poměry cenomanské a turonské zvodně strážského a tlusteckého bloku, se zaměřením na rozsah ovlivnění režimu podzemních vod, vymezení oblastí s podmínkami pro možnost vzniku mezikolektorového přetoku a vlivu pásma strážského zlomu na šíření tlakových změn ve zvodních.

Práce není zaměřena na hodnocení ovlivnění chemizmu podzemních vod důlní činností a chemickou těžbou uranu.

Práce byla z větší části vytvořena v rámci úkolu „Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem“ (Datel 2009) a její dílčí části „Monitoring podzemních vod, analýza stavu, návrh optimalizace“ (Lipanský 2009) a aktualizována k stavu v roce 2014.

Přes to, že byly komplikované hydrogeologické poměry popisovány pouze na základě monitoringu hladin, bylo možné vymezit oblasti s kvantitativním ovlivněním podzemních vod těžbou radioaktivních surovin a popsat ovlivnění režimu hladin podzemní vody v jednotlivých hydrogeologických tělesech a zejména popsat vývoj rozsahu oblastí s podmínkami pro možný vznik mezikolektorových přetoků.

Cílem práce nebylo zpracování hydraulického modelu proudění podzemních vod v zájmové oblasti - hydraulický a transportní model byl zpracován v rámci jiných dílčích úkolů - Wasserbauer (2009).

Vzhledem k nepravidelnému rozmístění monitorovacích vrtů v zájmové oblasti - v oblasti těžby vzdálenost vrtů je ve stovkách metrů, zatímco na okraji zkoumané oblasti je

vzdálenost vrtů až 20 km - odrážejí sestavené mapy piezometrického povrchu jednotlivých zvodní detailní stav podzemní vody v blízkosti bývalých těžebních lokalit, ale v širším okolí, představují všeobecný regionální obraz s potlačením lokálních vlivů.

Použitá metoda vymezení rozsahu antropogenního ovlivnění režimu hladin podzemní vody na základě analýzy směrodatných odchylek souborů hodnot měřených datových sad se ukázala jako vhodná pro plošné zobrazení rozsahu antropogenního ovlivnění režimu hladin podzemní vody, které způsobuje zvýšení rozptylu hodnot měřených datových sad.

Mezi roky 2030 a 2035 se předpokládá ukončení sanačních prací v cenomanské zvodni (Datel 2009). Monitoring podzemních vod bude hrát i nadále zásadní roli při sledování průběhu, optimalizaci a hodnocení probíhajících sanačních prací. Hustota monitorovací sítě s.p. DIAMO o.z. TÚU je v současné době stále velmi vysoká, přestože již byla několikrát redukována. Po ukončení sanačních prací je vhodné síť monitoringu redukovat tak, aby odpovídala přibližně hustotě pozorovací sítě ČHMÚ.

Frekvence měření úrovní hladin podzemních vod byla v minulosti rozmanitá. Pro budoucí hodnocení vývoje piezometrických poměrů lze považovat za dostačující provádění měření úrovní hladin s frekvencí 1x měsíčně. A to i přes skutečnost, že současné instrumentační prostředky umožňují automatické měření s výrazně vyšší frekvencí s dálkovým přenosem dat - ČHMÚ v současnosti zaznamenává úrovně hladin podzemní vody ve vrtech 1x denně. Zejména pro regionální hodnocení není takto časté měření potřebné.

Přestože již současné metody počítačového zpracování umožňují detailní simulace chování zvodněných vícekolektorových systémů na základě hydraulických modelů, je nutné i do budoucna považovat monitoring úrovní hladin podzemních vod a hodnocení získaných terénních dat jednoduchými interpolačními postupy za klíčovou úlohu pro kalibraci modelů a verifikaci prováděných simulací.

Závěrem lze konstatovat, že v souvislosti s dřívější těžbou radioaktivních surovin v okolí Stráže pod Ralskem byl zásadním způsobem ovlivněn přirozený režim proudění podzemních vod v cenomanské zvodni strážského bloku (bazální kolektor A boleslavsko-mělnického zvodněného systému), s dosahem od infiltrační oblasti při lužické poruše na severovýchodě k oblasti drenáže v údolí Labe. To představuje největší zásah do režimu proudění podzemních vod na území české křídové pánve, s rozsahem více než 50 km podél regionálního směru proudění.

Hladina cenomanské zvodně byla v letech 1970 až 2001 v prostoru hlubinné těžby uranu snížena až o 170 metrů. Naproti tomu v ploše vyluhovacích polí DCHT v cenomanské zvodni dochází mezi roky 1970 a 1990 ke vzestupu výtlačné úrovně hladiny až o 30 metrů. Výrazně se tak rozšířila oblast možného vzniku vzestupného přetoku z cenomanské do turonské zvodně.

Po roce 1996 je vlivem sanačního čerpání výtlačná úroveň cenomanské zvodně v prostoru DCHT snížena o 50-70 metrů. Snížení hladiny se rozšiřuje j. a jz. směrem na vzdálenost několika desítek kilometrů, dochází tedy k výrazné redukci a postupnému vymizení plochy potenciálního přetoku z cenomanské do turonské zvodně.

Od roku 2001, kdy bylo zahájeno zatápění prostoru hlubinné těžby, do roku 2014 nastoupala hladina cenomanské zvodně o 120 m v prostoru bývalého dolu Hamr I.

V celém prostoru strážského bloku je úroveň hladiny cenomanské zvodně výrazně níže než v období krátce po zahájení těžby. V ploše zatápěné deprese v okolí hlubinné těžby činí rozdíl úrovní hladin přibližně 50-60 metrů, v blízkosti lužické poruchy 20-30 m, v ploše vyluhovacích polí DCHT 60-70 m a v prostoru jižně a jihozápadně od DCHT 20-30 metrů s dosahem několika desítek kilometrů.

Piezometrický povrch bazální křídové zvodně byl ovlivněn v oblasti několikrát větší (600-700 km²) než je rozsah ovlivnění chemismu podzemních vod kyselým loužením radioaktivních surovin in situ, k němuž došlo podle různých autorů v ploše od 24 km² (Lusk 1998, Slezák 2001) do 27 km² (Datel 2009, Ekert & Mužák 2010, Vokál et al., 2013).

V důsledku napjatého režimu podzemní vody v bazální zvodni s velmi vysokou hydraulickou difuzivitou dochází k poměrně rychlému šíření tlakových změn podzemních vod. Bylo prokázáno, že zásahy do piezometrických poměrů bazální zvodně se poměrně rychle, v intervalech jen do několika let, přenášejí až na vzdálenosti mnoha kilometrů. V rozsáhlém území tak mohou vznikat podmínky pro vzestupný vertikální přetok a šíření kontaminace z prostoru dřívější chemické těžby z bazálního do vodohospodářsky velmi významného hlavního kolektoru. Narozdíl od rychlého šíření tlakových změn je vlastní proudění podzemních vod v bazální zvodni velmi pomalé (Alvarado et al. 2013).

Sestavené mapy piezometrických povrchů jednotlivých zvodní umožňují představu dlouhodobého vývoje režimu podzemních vod. Na rozdíl od dříve publikovaných prací (Herčík et al. 2003, Krásný 2012), kde jsou piezometrické úrovně prezentovány jako statické, nově vytvořené mapy přinášejí vzhled do dynamiky zvodněného systému české křídové pánve. Toho bylo dosaženo i přesto, že tato práce není založena na hydraulickém modelu, ale interpolací dat z terénního monitoringu. Mapy a gridové soubory piezometrických povrchů je tedy vhodné použít pro kalibraci hydraulických modelů v zájmovém území.

Při současné rychlosti zatápění zbytkové piezometrické deprese v prostoru hlubinné těžby v jednotkách metrů ročně můžeme předpokládat, že předpokládat přiblížení původním úrovním hladiny nejdříve kolem roku 2025. Přestože zatím vzestup hladiny postupuje lineárně v napjatém režimu podzemní vody, je velmi pravděpodobné, že postupně dojde ke zpomalení tohoto procesu. V okrajových oblastech lze předpokládat přiblížení k původním úrovním hladiny nejdříve kolem roku 2050.

Je tedy pravděpodobné, že celkově uplyne od zahájení přípravných prací pro hlubinnou těžbu uranu až do obnovení přírodního hydrogeologického režimu více než 100 let. Možnost návratu k přírodnímu režimu podzemních vod v prostoru DCHT a jeho jižním a jihojihozápadním předpolí však závisí především na provozu sanačních technologií v budoucnosti.

Na takto rozsáhlý zásah do režimu podzemních vod v bazálním křídovém kolektoru je nutné nahlížet v kontextu jeho dlouhodobého vývoje, zejména při hodnocení aktuálních stavů hladin podzemní vody v monitorovacích vrtech a jejich dlouhodobých charakteristik, kdy vzestupný trend nemusí vyjadřovat absolutní zlepšení stavu zvodně, ale pouze dílčí krok v návratu k přirozenému stavu před ovlivněním.

Pozitivem však je, že takto rozsáhlý zásah do jedné ze zvodní ve vícevrstevném zvodněném systému nezpůsobil téměř žádné ovlivnění ostatních zvodní v zájmové oblasti.

Otázkou však zůstává, jaký bude vliv velký počet vrtů odvrtných v různých obdobích přes (polo)izolátor do cenomanské zvodně až dojde k obnovení přirozené výtlačné úrovně této zvodně. Zejména v jihozápadní části předpolí chemické těžby tak mohou vzniknout podmínky pro potenciální vzestupný přetok z cenomanského do turonského kolektoru. Poškozenými nebo nedostatečně likvidovanými vrty může dojít k dalšímu šíření zbytkových kyselých roztoků do vodohospodářsky využívané turonské zvodně.

Na základě zjištěného dalekosáhlého vlivu odvodnění a zatápění prostoru těžby radioaktivních surovin na piezometrický povrch bazální cenomanské zvodně směrem k jihozápadu, tedy ve směru přirozeného proudění podzemních vod, je vhodné nazývat celé území boleslavsko-mělnického zvodněného systému přiléhající ke středohorskému zlomovému pásmu (od infiltrační oblasti při lužické poruše oblasti drenáže v údolí řeky Labe) jako *strážský blok v širším smyslu*.

Literatura

- ADAMS R., YOUNGER P. L. (2001) A strategy for modeling ground water rebound in abandoned deep mine systems. *Ground Water*, 2001, 39.2: 249-261.
- ALVARADO C. J.A., PAČES T., PURTSCHERT R. (2013): Dating groundwater in the Bohemian Cretaceous Basin: Understanding tracer variations in the subsurface. *Applied Geochemistry* 29 (2013) 189–198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.11.014>
- BALATKA M., ČERMÁKOVÁ H., NOVÁK J., & MUŽÁK J. (2006): The optimal strategy of cleaning of fucoid sandstone. In *Uranium in the Environment* (pp. 437-447). Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/3-540-28367-6_43
- BÍNA J., DEMEK J. (2012): Z nížin do hor, Geomorfologické jednotky České republiky. Academia Praha. Vyd. 1., 344 s.
- CAJZ V., ADAMOVIČ J., RAPPRIČH V. and VALIGURSKÝ L. (2004): Newly identified faults inside the volcanic complex of the České středohoří Mts., Ohře (Eger graben, North Bohemia). *Acta Geodyn. Geomater.* Vol.1, No.2 (134), 213-222, 2004
- COUBAL M., KLEIN V., PAZDÍREK O. (1993): Syntéza výsledků geologicko-průzkumných prací v jihozápadním předpolí ložiska Stráž za rok 1992, 1993. spisovna DIAMO s. p., Stráž pod Ralskem
- COUBAL M., ADAMOVIČ J., MÁLEK J., PROUZA V. (2014): Architecture of thrust faults with along-strike variations in fault-plane dip: anatomy of the Lusatian Fault, Bohemian Massif. *Journal of Geosciences*, 59 (2014), 183–208. DOI: 10.3190/jgeosci.174
- ČERMÁKOVÁ H. (2002): Optimizing the remediation of the subsurface environment in the Stráž deposit. In *Uranium in the Aquatic Environment* (pp. 793-802). Springer Berlin Heidelberg.
- ČHMÚ: Pozorovací síť podzemních vod ČHMÚ <http://voda.chmi.cz/opzv/sit/vrty.htm>
- DATEL J., 2008, Limity využívání termálních vod na příkladu konceptuálního modelu benešovsko-ústeckého zvodněného systému české křídové pánve, Doktorská disertační práce, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2008.
- DATEL, J.V. (2009): Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem. Závěrečná zpráva o provedených pracích v období 2007-2009. Stráž pod Ralskem, 2009.
- DATEL J.V., EKERT V. (2008) Environmental impacts of mine waters from chemical and deep uranium mining – Straz pod Ralskem, Czech Republic. 10th IMWA Congress, Mine Water and Environment, 2008, pp. 197-200, Karlovy Vary, Czech Republic, eds. Rapantova & Hrkal. ISBN 978-80-248-1767-5.
- DUPALOVÁ T. (2012): Geneze složení podzemních vod hlubokých pánevních struktur na příkladu vztahu české křídové pánve a oháreckého riftu. Doktorská disertační práce, PŘ UK Praha.
- EKERT V. (2008): Environmental Impact of Mine Water from Chemical Extraction and Underground Uranium Mining – Straz pod Ralskem, Czech Republic. Proceedings of the 10th IMWA Congress 2-5 June, 2008 Karlovy Vary, Czech Republic. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, 2008. s. 197-200. ISBN 978-80-248-1767-5.
- EKERT V., & MUŽÁK, J. (2010). Mining and remediation at the Stráž pod Ralskem uranium deposit. *GeoScience Engineering Volume LVI* (2010), No.3 - Special Issue, p. 1-6, ISSN 1802-5420
- GOLDEN SOFTWARE (2002): Surfer 8. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. User's guide. Golden Software, Inc. 640 p.
- FIEDLER J., 1999, Revize a aktualizace dostupných údajů z oboru geologie, hydrogeologie a vrtných prací v ploše CHT a blízkém předpolí směrem k Mimonu se zaměřením na ověření možných přetoků mezi zvodněmi. DIAMO, s. p., Stráž pod Ralskem, 1999.
- GOLIÁŠ V. (2007): Vývěry léčivých radioaktivních vod v Janských Lázních – Těsném dole. *Opera Corcontica* 44/1: 161–169.
- GOLIÁŠ V., PRZYLIBSKI T. A., LIPANSKÝ T., DOHNAL J., MIŠTA W., NOWAKOWSKI R., TEJNECKÝ V., MOKRÁ Z., VÁVROVÁ J., ŠIMON J. & JÁNĚ Z. (2010): Prameny radioaktivních

- minerálních vod na území Kowary – Horní Malá Úpa. Opera Corcontica 47/2010 Suppl. 1: pp. 75–90. (ISSN 0139-925X)
- GOLÁŠ V., HRUŠKOVÁ L., PRZYLIBSKI T., LIPANSKÝ T. & ČERNÍK T. (2013): Radioactive springs of the Krkonoše Mts and Jizera Mts as geological phenomena, healing sources and tourist attractions. Opera Corcontica 50/S: 135–142.
- GOLIÁŠ V., HRUŠKOVÁ L., ČERNÍK T., BRUTHANS J., NAKLÁDAL P., CHURÁČKOVÁ Z., KULA A. (2014): Radon-chloridové minerální vody z Albrechtic u Frýdlantu: Nový typ minerálních vod oháreckého riftu. In: XIV. Hydrogeological Congress - Exploration, exploitation and protection of groundwater: New tasks and challenges. Liberec 2014. Booklet of abstracts: ISBN 978-80-903635-4-0
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. (2001): Paleontological Statistics Software: Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica, 2001.
- HERČÍK F., & KŮRKA J. (1990). Indication of contaminated ground water in the vicinity of settling pond of uranium ore treatment plant at Straz pod Ralskem. Geologický Průzkum, 32(7), 197-200. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:22059728
- HERČÍK, F., HERRMANN, Z., VALEČKA, J. (1999): Hydrogeologie české křídové pánve. – Český geol. úst. Praha.
- HERČÍK F., VALEČKA J., HERRMANN Z. (2003) Hydrogeology of the Bohemian cretaceous basin. 1st ed. Prague: Czech Geological Survey, 2003. 91 p. ISBN 80-7075-604-7.
- HOKR M., MARYŠKA J., & SEVERÝN O. (2004): Application of Numerical Model on Extraction of Underground Contamination: Identification of Dual-Porosity Properties. Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions. Proc. 13th International Soil Conservation Organisation Conference (SR Raine et al., eds.), Conf. paper. <https://www.researchgate.net/publication/260319215>
- HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM - http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX_MAIN&IFRAME=1&LEGEND_HIDE=0&QUERY_SELECTION=1&FULLTEXT_CHECKED=1#
- CHARVÁT P., et al., 2008, Vyhodnocení dlouhodobého hydrologického monitoringu v širším okolí chemické těžby a návrh monitoringu na období sanace 2009 až 2035, Závěrečná zpráva 2008, AQUATEST, a. s., Praha, prosinec 2008.
- IAEA (1993): Uranium in situ leaching, IAEA, VIENNA, 1993, IAEA-TECDOC-720, ISSN 1011–4289
- IAEA (2005a): GUIDEBOOK ON ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR IN SITU LEACH MINING PROJECTS, IAEA, VIENNA, 2005, IAEA-TECDOC-1428, ISBN 92–0–113004–X, ISSN 1011–4289
- IAEA (2005b) app. VII: THE STRAZ BLOCK ISL PROJECT, pp. 119-131, In: GUIDEBOOK ON ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT FOR IN SITU LEACH MINING PROJECTS, IAEA, VIENNA, 2005, IAEA-TECDOC-1428, ISBN 92–0–113004–X, ISSN 1011–4289
- JAKUBICK, A.; JENK, U.; KAHNT, R. (2002) Modelling of mine flooding and consequences in the mine hydrogeological environment: flooding of the Koenigstein mine, Germany. Environmental Geology, 2002, 42.2-3: 222-234.
- JENK U., FRENZEL M., METSCHIES M., & PAUL M. (2014). Flooding of the underground uranium leach operation at Königstein (Germany)–A multidisciplinary report. In Proc. IMWA 2014 Annual Congress.
- KAFKA J., ed. a kol. (2003) Rudné a uranové hornictví České republiky. Ostrava: Anagram. 647 p. ISBN 80-86331-67-9.
- KLINGER C., JENK U., & SCHREYER J. (2000). Investigation of efficacy of reactive materials for reduction of pollutants in acid mine water in the former uranium mine of Königstein (Germany). In Proceedings 7th IMWA Congress, Mine Water and the Environment, Katowice-Ustron, Poland, (pp. 11-15).
- KOPECKÝ P. a kol. (1998): Jihozápadní předpolí ložiska Stráž, závěrečná zpráva o řešení geologického úkolu II. etapa, DIAMO s. p., Stráž pod Ralskem, 1998.

- KOPECKÝ P. & SLEZÁK J. (2000). Uranium mining in the North Bohemia, Straz, Czech Republic and geological evaluation prior to remediation. In: THE URANIUM PRODUCTION CYCLE AND THE ENVIRONMENT, 2, pp. 380-385. IAEA, VIENNA, 2002, IAEA-CSP-10/P, ISSN 1011-4289
- KOZÁKOVÁ V., & POKORNÝ R. (2009). Tektonické poruchy a potenciální rizika mezikolektorové kontaminace podzemních vod ve strážském bloku. Zprávy o geologických výzkumech, 2008, 248-251. Česká geologická služba, Praha, 2009. ISSN 0514-8057.
- KRÁSNÝ J. (2009): Kniha IIA - Regionální výzkum, hydrogeologické poměry širšího území., In: Datel J. (2009) Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem. Závěrečná zpráva o provedených pracích v období 2007-2009. Stráž pod Ralskem, 2009.
- KRÁSNÝ J. et al. (2012). Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Vyd. 1. Praha: Česká geologická služba, 2012. 1143 p. ISBN 978-80-7075-797-0.
- LIETAVA P. (2000). Risk-Assessment Model for Evaluating Environmental Remediation Options at The Stráž Underground Uranium Leaching Site. In The Environmental Challenges of Nuclear Disarmament (pp. 191-204). Springer Netherlands..
- LIPANSKÝ, T. (2009). Kniha IB - Monitoring podzemních vod, analýza stavu, návrh optimalizace. In: Datel J. (2009) Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem. Závěrečná zpráva o provedených pracích v období 2007-2009. Stráž pod Ralskem, 2009.
- LIPANSKÝ T. (2016): Development of regional impact of uranium mining on piezometric surfaces in multilayered water-bearing system, Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. Mine Water and The Environment. DOI: 10.1007/s10230-016-0420-6, <http://rdcu.be/IShy>
- LIPANSKÝ T., GOLIÁŠ V. (2016, in press): Radon-rich mineral springs in Orlické hory-Králický Sněžník Dome, Czech Republic. Journal of Environmental Radioactivity.
- LUSK K. (1998). Monitoring podzemních vod v severočeské oblasti těžby uranových rud, Sbor. 10. hydrogeol. konfer., Stráž pod Ralskem, 82-86.
- LUSK K. (2015). Hydrogeologická mapa cenomanské zvodně - 1967, Hydrogeologická mapa turonské zvodně - 1967. Projekt TB010CBU002 "Nové technologické možnosti dobývání ložisek uranu v ČR s ohledem na minimalizaci dopadů na životní prostředí a jejich legislativní zajištění". MEGA a.s. Stráž pod Ralskem
- MERKEL, B., PLANER-FRIEDRICH, B., WOLKERSDORFER, Ch. (2002, eds.). Uranium in the Aquatic Environment: Proceedings of the International Conference Uranium Mining and Hydrogeology III and the International Mine Water Association Symposium Freiberg, Germany, 15-21 September 2002. Springer Science & Business Media, 2012.
- MERKEL B. (2002). Flooding of the Königstein uranium mine—Aquifer reactivity versus dilution. In Uranium in the Aquatic Environment (pp. 263-272). Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-55668-5_30, <https://www.researchgate.net/publication/267963918>
- MUŽÁK, J. (2008) Remediation of consequences of chemical leaching of uranium in Straz pod Ralskem. 10th IMWA Congress, Mine Water and Environment, 2008, pp. 217-220, Karlovy Vary, Czech Republic, eds. Rapantova & Hrkal. ISBN 978-80-248-1767-5.
- MUŽÁK J. & NOVÁK J. (2002): Flooding of the deep uranium mine Hamr I by free water from tailings pond. In Uranium in the Aquatic Environment: proceedings of the International Conference [on] Uranium Mining and Hydrogeology III and the International Mine Water Association Symposium, Freiberg, Germany, 15-21 September 2002: with 453 figures, 151 tables and a CD-ROM (p. 311). Springer Science & Business Media.
- NOVÁK J. (2001), Groundwater remediation in the Stráž leaching operation, Mine Water and the Environment 20, 158–169.
- NOVÁK J., MUŽÁK J., & SMETANA R. (2002). Control of remediation of uranium deposit Stráž with use of numerical modelling approach.
- NOVÁK J., MUŽÁK J., SMETANA R., & WASSERBAUER V. (2000). Numerical modelling of ISL process in Straz uranium deposit. The Uranium Production Cycle and the Environment, 2, 527.
- PAČES T., ALVARADO J.C., HERRMANN Z., KODEŠ V., MUŽÁK J., NOVÁK J., PURTSCHERT R., REMENÁROVÁ D. & VALEČKA J. (2008) The Cenomanian and Turonian Aquifers of the

- Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. Natural Groundwater Quality. Eds.: W.M. Edmunds, P- Shand, Blackwell Publ., Chapter 17, pp. 372-390.
- PAUL M., JENK U., MEYER J., & GENGNAGEL M. (2006). Source manipulation in water bodies of flooded underground mines—experiences from the Wismut remediation program. Proc. of the 7th ICARD, March, 26-30.
- PAUL M., MEYER J., JENK U., BAACKE D., SCHRAMM A., & METSCHES T. (2013). Mine Flooding and Water Management at Underground Uranium Mines two Decades after Decommissioning. In Proc. IMWA Conference (pp. 1081-1087).
- ROBERTSON, A. J., RANALLI, A. J., AUSTIN, S. A., & LAWLIS, B. R. (2016). The source of groundwater and solutes to many Devils Wash at a former Uranium mill site in Shiprock, New Mexico (No. 2016-5031). US Geological Survey.
- SKÁCELOVÁ Z., MLČOCH B. TASÁRYOVÁ Z. (2011): Digital model of the crystalline basement and Permo-Carboniferous volcano-sedimentary strata in the Mnichovo Hradiště Basin and Correlation with the geophysical fields (Czech Republic). Acta Geodyn. Geomater., Vol. 8, No. 3 (163), 225–235, 2011, <https://www.researchgate.net/publication/261213886>
- SLEZÁK J. (2001) Historie těžby uranu v oblasti Stráže pod Ralskem v severočeské křídě a hydrogeologie. - Sbor. geol. Věd, Hydrogeol., inž. geol., 21, 5-36, Ústř. Úst. geol., Praha.
- SMETANA R., MUŽÁK J., NOVÁK J. (2002) Environmental Impact of Uranium ISL in Northern Bohemia. In: B. Merkel, B. Planer-Friedrich, Ch. Wolkersdorfer eds. Uranium in the Aquatic Environment, Proceedings of the International Conference Uranium Mining and Hydrogeology III and the International Mine Water Association Symposium, 2002, pp. 699 – 708, Freiberg, Germany, Springer – Verlag Berlin Heidelberg 2002, ISBN 3–540–43927–7.
- TAYLOR G. et al. (2004) Review of environmental impacts of the acid in-situ leach uranium mining process. In: CSIRO Land and Water Client Report. CSIRO Clayton, Victoria, 2004. p. 60.
- ULIČNÝ D. (2001) Depositional systems and sequence stratigraphy of coarse-grained deltas in a shallow-marine, strikeslip setting: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Sedimentology*, 48: 599-628.
- ULIČNÝ D. and LAURIN J. (2001) Well-log – based correlation of Turonian – Lower Coniacian depositional systems in the western part of the Bohemian Cretaceous Basin: New Basis for reconstructing the basin history. Proceedings of the 6th Meeting of the Czech Tectonic Studies Group, Donovaly, May 3-6, 2001. *Geolines*, 13: 121.
- ULIČNÝ D., ŠPIČÁKOVÁ L., GRYGAR R., SVOBODOVÁ M., ČECH S. & LAURIN J. (2009a): Palaeodrainage systems at the basal unconformity of the Bohemian Cretaceous Basin: roles of inherited fault systems and basement lithology during the onset of basin filling. *Bulletin of Geosciences* 84(4), 577–610 (15 figures). Czech Geological Survey, Prague. ISSN 1214-1119.
- ULIČNÝ D., LAURIN J., ČECH S. (2009b): Controls on clastic sequence geometries in a shallow-marine, transtensional basin: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Sedimentology* (2009) 56, 1077–1114 doi: 10.1111/j.1365-3091.2008.01021.x
- ULIČNÝ D., ŠPIČÁKOVÁ L., SKOPCOVÁ M., VACKOVÁ L., ČECH S., GRUNDLOCH J. (2011): Mapa zlomů české křídové pánve. Projekt MŽP SP/2e1/153/07. GFÚ AVČR, v.v.i. a ČGS
- VALEČKA J. (2009): Proboštov Fault Field, the newly identified tectonic structure in the eastern part of the České středohoří Mts. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2008. Česká geologická služba, Praha, 2009 • ISSN 0514-8057
- VOKÁL V., MUŽÁK J. & EKERT V. (2013). Remediation of Uranium In-Situ Leaching Area at Stráž pod Ralskem, Czech Republic. In ASME 2013 15th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management (pp. V002T04A016-V002T04A016). American Society of Mechanical Engineers. ISBN: 978-0-7918-5602-4
- WASSERBAUER V. (2009): KNIHA IIIB - Numerické modelování proudění podzemní vody a transportu rozpuštěných látek, In: Datel J. (2009) Kvantifikace přetoku mezi cenomanským a turonským kolektorem. Závěrečná zpráva o provedených pracech v období 2007-2009. Stráž pod Ralskem, 2009.

WOLKERSDORFER Ch, BOWEL R. (2005 EDS.) Contemporary Reviews of Mine Water Studies in Europe, Part 3. Mine Water and the Environment (2005) 24: 58–76

ZIELINSKI R. A., et al. (2007) Use of ²³⁴U and ²³⁸U isotopes to evaluate contamination of near-surface groundwater with uranium-mill effluent: a case study in south-central Colorado, USA. Environmental Geology, 1997, 32.2: 124-136.