

OBSAH

1. Úvod.....	7
1.1. Situace lokality.....	7
2. Metodika.....	9
3. Geomorfologie a geologie oblasti.....	10
3.1. Geomorfologie.....	10
3.2. Geologie.....	10
3.2.1. Krystalinikum.....	10
3.2.2. Devon a spodní karbon.....	11
3.2.3. Perm.....	11
3.2.4. Mezozoikum.....	11
3.2.5. Terciér.....	11
3.2.6. Kvartér.....	12
4. Klimatické poměry, hydrologie a hydrogeologie lokality.....	14
4.1. Klimatické poměry.....	14
4.2. Hydrologie.....	15
4.3. Hydrogeologie.....	16
5. Bilance těžebních jam.....	20
5.1. Moravičany a Mohelnice.....	20
5.2. Mohelnice I.....	23
6. Chemické složení podzemní vody.....	26
7. Diskuze.....	27
8. Závěr.....	29
9. Seznam použité literatury.....	30
10. Seznam příloh.....	31
11. Přílohy	

1. Úvod

V České republice představuje těžba štěrkopísků jednu z nejvýznamnějších těžebních aktivit. Ložiska štěrkopísků jsou často situována v rozsáhlých akumulacích kvartérních sedimentů v nivách velkých vodních toků (Kuchovský, Říčka, Červenková 2005).

Území, kterým se ve své práci zabývám, je součástí dobývacích prostorů (dále jen DP) Kámen Zbraslav, spol. s.r.o. Pískovna Mohelnice. DP Mohelnice, Mohelnice I a Moravičany se nacházejí přibližně 2 km východně od města Mohelnice, severně od obce Moravičany. V současné době probíhá aktivní těžba především v DP Mohelnice I, částečně v DP Mohelnice. Dobývací prostor Moravičany je spojen plavebním kanálem s DP Mohelnice a dochází přes něj k odtoku důlních vod do řeky Moravy (Prudil, Pospíšil., Hertlová 2006).

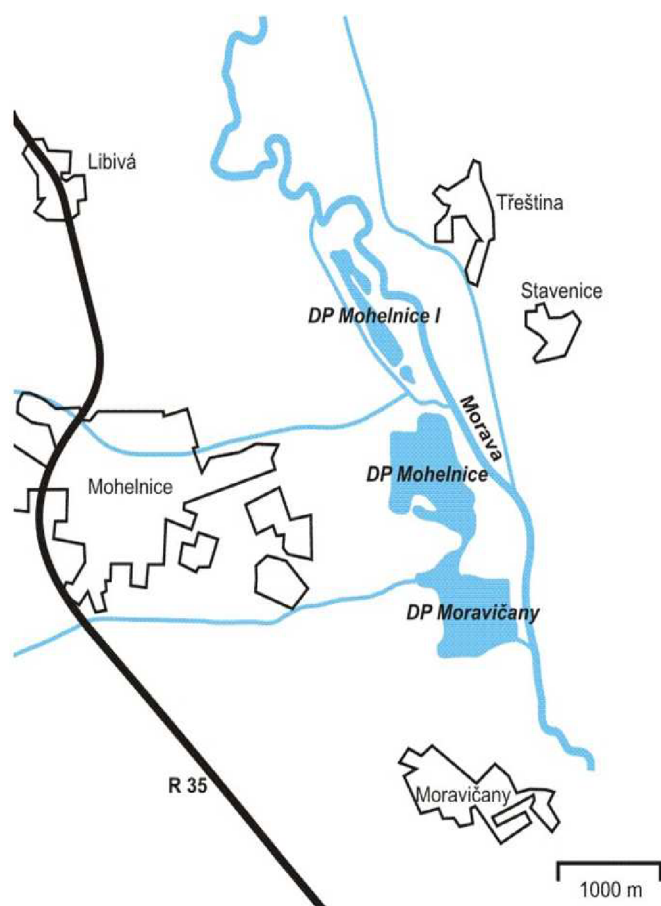
Cílem bakalářské práce je:

- doplnění stávajících znalostí o lokalitě o vliv těžebních jam na chemické složení podzemní vody
- zjištění chemického složení podzemní vody v těžebních jamách a po odtoku z jam
- vysvětlení mechanismu změn koncentrace železa v těžebních jamách
- zpřesnění stávajícího numerického modelu o vliv klimatických poměrů

1.1. Situace lokality

Dobývací prostory jsou v nivě střední části toku řeky Moravy. Celková plocha všech tří DP převyšuje 100 ha, hloubka těžebních jam dosahuje až 35 m. Těžební jámy jsou situovány ve vzdálenosti 100 až 300 metrů od koryta řeky Moravy (obr.1). Těžební prostory se samovolně zaplňují podzemní vodou, přitékající z okolních zvodněných písčitých štěrků. Z toho lze usuzovat na výrazné ovlivnění úrovní hladin a směrů proudění podzemních vod v okolí (Kuchovský, Říčka, Červenková 2005). Hodnocené území se tedy nachází v akumulačním prostoru fluviálních sedimentů řeky Moravy, která vzhledem k charakteru svého povodí a silně meandrujícímu a neupravenému korytu nad DP Mohelnice I, téměř každoročně vybřežuje, především v období tání sněhové pokrývky v oblasti Jeseníků, a zaplavuje ve větší či menší míře okolní území. Po směru toku Moravy od DP Mohelnice je koryto regulováno napřímením toku a vyrovnáním rozdílů hladin umělým stupněm.

V roce 2006 proběhl na lokalitě každoroční monitoring hydrogeologických a hydrologických poměrů, který byl zaměřen na DP Moravičany, při jehož okraji je instalován výpustný objekt. Monitoring dalších dvou DP byl ukončen zavezením průtrže mezi nimi v roce 2002. Monitoring byl zaměřen především na vyhodnocení organoleptických vlastností důlních vod (barva, zákal, pach, přítomnost sedimentu) a byly změřeny jejich elektrochemické ukazatele (konduktivita, pH, teplota), v rámci obou etap byly také odebrány kontrolní vzorky vod na analytické stanovení koncentrací nepolárních extrahovaných látek (NEL). Analytické stanovení sledovaných kontaminantů v podzemní vodě provedly akreditované laboratoře Zdravotního ústavu se sídlem v Brně se zavedeným systémem jakosti podle technické normy ČSN EN ISO/IEC 17025 (Prudil, Pospíšil, Hertlová 2006).



Obr.1 Situace lokality (Kuchovský, Říčka, Červenková 2005)

2. Metodika

Vlastnímu zpracování tématu bakalářské práce předcházela etapa rešerše dostupných dat, která byla následně vyhodnocena a dále zpracována.

Rešeršní etapa

V této části jsem shromáždila dostupná data o lokalitě z různých zdrojů. Údaje o průtocích a chemickém složení povrchových vod jsem získala z webové aplikace Českého hydrometeorologického ústavu, který má v Moravičanech měřicí stanici, z monitoringu, který provedla firma AQUA ENVIRO s.r.o v roce 2006 jsem použila údaje o chemizmu podzemních vod z vrtu HV 808, které byly podkladem pro geochemické modelování. V neposlední řadě jsem čerpala také z dřívějších prací a z knihovny Přírodovědecké fakulty.

Terénní etapa

Tato část práce byla spíše doplňková, protože nebylo nutné vlastního měření. V terénní etapě jsem se blíže seznámila s prostředím dané lokality, přírodními podmínkami a způsobem prací. Dále jsem provedla fotodokumentaci, kterou uvádím v příloze.

Zpracování dat

Etapa zpracování dat byla velice důležitá pro vlastní výsledky práce. Získaná data o chemickém složení podzemní vody byla zpracována do geochemického modelu, který byl vytvořen pomocí programu Geochemist's Workbench. Tento program je souborem softwarových nástrojů pro zpracování chemických reakcí, vypočítání stabilitních diagramů a rovnovážných stavů přírodních vod, sledování reakčních procesů a vyhodnocování výsledků těchto výpočtů (Bethke 2002). Software se skládá z pěti programů, ze kterých bude pro mou práci využit program React, který počítá distribuci prvků ve vodných roztocích a sleduje reakční cesty zahrnující fluida, minerály a plyny.

Dále bylo ke kvalifikaci vlivu štěrkovent na podzemní vodu použito numerické počítačové modelování programem PMWIN ver. 5.3, který pracuje s metodou konečných rozdílů (Chiang a Kinzelbach 2000).

3. Geomorfologie a geologie oblasti

3.1. Geomorfologie

Studovaná oblast geomorfologicky spadá do oblasti Mohelnické brázdy. Tuto 3-5 km širokou příkopovitou depresi mezi Bludovem, Zábřehem na Moravě a Třesínským prahem, lze dělit jednak na základní depresi (snad tektonicky podmíněnou) celkového směru S-J, a jednak na příčnou a výše položenou Policko-líšnickou kotlinu, orientovanou od Z k V. Ta je dále základní depresí rozdělená na dvě části - západní (líšnickou) a východní (polickou). Základní depresí Mohelnické brázdy protéká řeka Morava a podél jejího koryta se proti proudu šíří z Hornomoravského úvalu a napříč Třesínským prahem zcela bez přerušení Středomoravská niva. Lemuje východní okraj Mohelnické brázdy. Zbývající část základní deprese Mohelnické brázdy i Policko-líšnickou kotlinu vyplňuje mírně zvlněná pahorkatina na málo odolných mladotřetihorních a kvartérních sedimentech, šířící se v úrovních 250-280 a 290-340 m n.m. (Demek et al. 1987)

3.2. Geologie

3.2.1. Krystalinikum

V širším okolí Mohelnické brázdy vystupují horniny silezika, zastoupené jak pestrým souvrstvím keprnické skupiny, které je tvořeno jemnozrnnými pararulami, dvojslídnyými svory, grafitickými fylity, kvarcity, erlány a vápenci (Mísař et al. 1983). Jednu z obalových sérií jádra keprnické skupiny tvoří skupina Branné, která litologicky představuje komplex metamorfovaných sedimentárních jílovopísčitých a karbonátových hornin. Jsou to převážně fylity (grafitické a vápnité) s polohou krystalických vápenců v podloží (Svoboda 1962). Jesenskou skupinu tvoří biotitické a dvojslídnyé ruly slabě migmatitizované, které místy obsahují pestřejší vložky, jako amfibolity, kvarcity, popř. erlány (Mísař 1983).

Horniny lugika vystupují v podobě staroměstského, zábřežského a svinovsko-vranovského krystalinika, které jsou převážně tvořeny biotitickými a dvojslídnyými rulami, fylity, metadrobami a dalšími metamorfovanými horninami. Svinovsko-vranovské krystalinikum také obsahuje dvojslídnyé, většinou granátické svory fylonitového vzhledu (Mísař 1963)

3.2.2. Devon a spodní karbon

Hranice mezi karbonátovým devonem a kulmskou litofacií spadající do intervalu famen-tournai není v celé oblasti synchronní, přičemž je flyšová facie uložena na různých faciích devonu. Kulmská facie moravskoslezského spodního karbonu pokračuje bez přerušení sedimentace do svrchnokarbonské uhlonosné formace v ostravsko-karvinském revíru. Na severovýchodě od Mohelnice zasahuje do zájmového území devon náležející devonskému strukturnímu patru silezika. Je zastoupen sericitickými a sericiticko-chloritickými kvarcity a sericitickými, chloriticko-sericitickými a grafitickými fylity, které se ve své spodnější části střídají s polohami kvarcitů, ve svrchnější části pak s polohami metabazitů (Mísař in Svoboda et al.1962).

3.2.3 Perm

Podle vrtu u obce Malíkov, který je vzdálen 11 km JZ od Mohelnice bylo zjištěno, že mocnost permských uloženin je asi 45,15 metrů (Vajdík 1978). Tyto horniny se ale v blízkosti štěrkoven nenachází. Litologie permských usazenin je podobná litologii usazenin stejného stáří v jiných oblastech Českého masivu. Nejčastěji jsou zastoupeny hrubozrnné a středně zrnné pískovce, drobové pískovce a arkózové pískovce. Časté jsou polohy slepenců a brekcií, které jsou pravděpodobně uloženinami aluviálních kuželů.

3.3. Mezozoikum

Sedimenty svrchní křídý jsou rozšířeny v západní části listu Mohelnice a do prostoru štěrkoven nezasahují. Podle faciálního členění české křídové pánve (Mísař 1983), patří svrchnokřídové usazeniny na území listu k orlicko-žďárskému faciálnímu vývoji. Regionálně patří tyto sedimenty ke kyšperské synklinále.

3.4. Terciér – miocén

Již od svrchní křídý, během paleogénu a neogénu, dochází ke zdvihu SV kry Českého masivu. Tento zdvih byl kolísavý, přerušovaly jej drobné transgrese a je ukončen mořskou transgresí ve spodním badenu.

V miocénu se podél Třebůvky ukládaly modrozelené, šedé a hnědé jíly, písky a štěrky. Mocnost těchto sedimentů je proměnlivá. V nejmladším období terciéru vznikly nejspíše písky a písčité štěrky v morfologicky výrazném, plochém výplavovém kuželu. Na

základě starších vrtných prací k nim lze přiřadit i sedimenty zastižené v podloží terciérních fluviálních štěrků v přílehlé části nivy Moravy mezi Třeštinou a Zábřehem na Moravě. Tento nejmladší pliocenní dvojdílný komplex vznikl v místy tektonicky omezené depresi. Pliocenní sedimenty v Hornomoravském úvalu a Mohelnické brázdě dosahují místy mocnosti až 250 metrů (Růžička 1986). Ukládají se zde lakustrinní, fluviální nebo proluviální sedimenty (jíly, prachy, písky, štěrky). Nižší část profilu představuje redeponované fosilní zvětraliny, které ovlivnily pestré složení i zabarvení sedimentů (Přichystal et al. 1993).

3.5. Kvartér

Vývoj území během kvartéru probíhal ve střídání eroze a akumulace, které byly odezvou klimatických výkyvů i mladých tektonických pohybů. V oblastech převážně sedimentačních, jsou rozšířeny sedimenty fluviální a eolické. Vznikají říční terasy s vložkami fosilních půd, také náplavové kužely. Během glaciálů se ukládají spraše na závětrných svazích, takže větších mocností dosahují v západní části (Musil in Přichystal et al. 1993).

V období spodního pleistocénu vznikaly terasy jak podél Moravské Sázavy, tak podél Třebůvky. Podél údolí Moravy jsou zřejmě jejich relikty zakryty buď sprašemi, sprašovými hlínami a deluviálními sedimenty, nebo nebyly denudovány. Nejstarším členem střednopleistocenních sedimentů jsou zřejmě fluviální písčité štěrky. Mladší fluviální akumulaci středního pleistocénu představuje tzv. hlavní terasa. Podle výškových poměrů by hlavní terasy měly reprezentovat písčité štěrky vyskytující se v podloží spraší.

Ve svrchním pleistocénu vznikaly fluviální akumulace a zejména pokračovala eolická a denudačně akumuláční činnost (spraše, sprašové hlíny, deluvioeolické sedimenty) převážně podél pravého břehu Moravy na závětrném svahu.

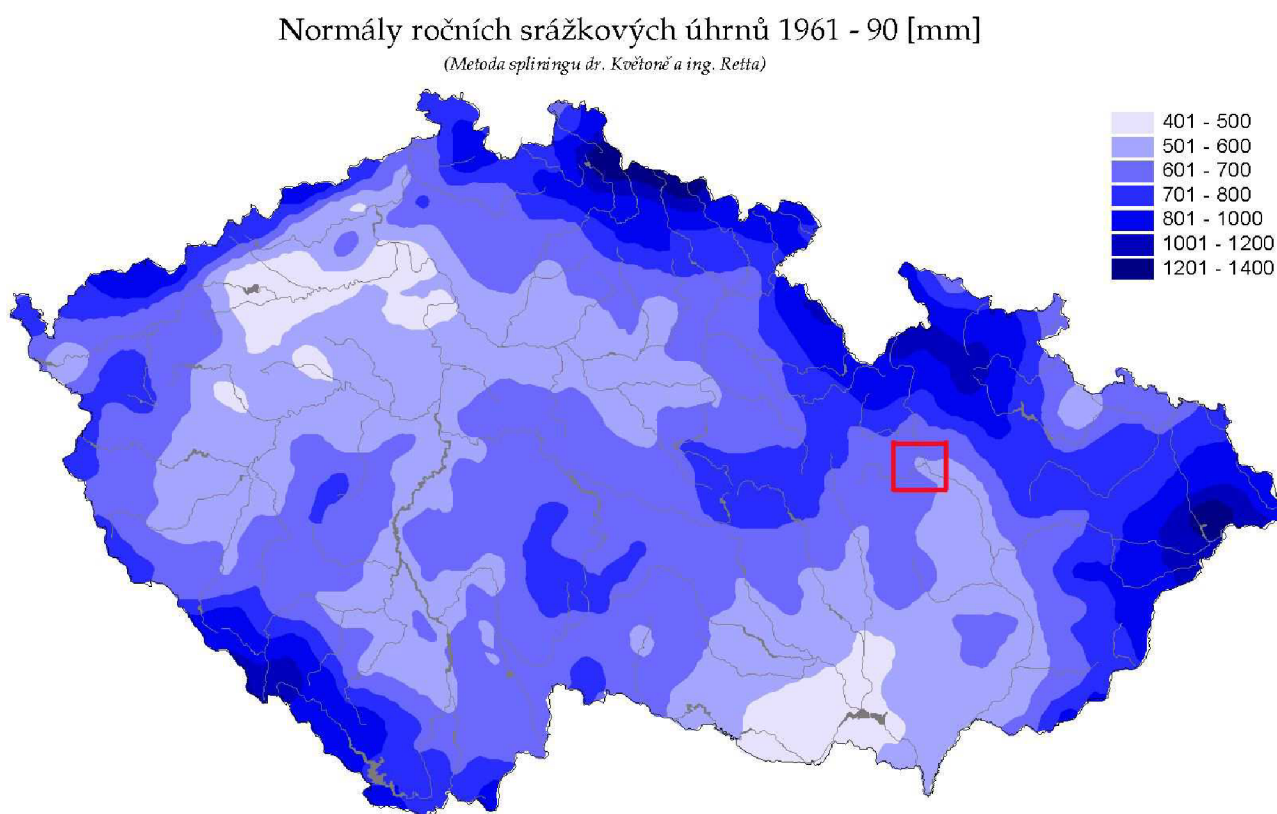
Klastický materiál (Staňková 1979) byl do oblasti Mohelnické brázdy transportován ze silezika (křemen, vyvřelé horniny granitoidní povahy, metamorfované horniny - převážně ruly a amfibolity), z oblasti moravskoslezského kulmu (drobové pískovce, prachovce, slepence), z oblasti křídly a permokarbonu Boskovické brázdy a poorlického permu (pískovce, prachovce, arkózové pískovce).

Nejmladším nivním fenoménem jsou fluviální písčitohlinité sedimenty (povodňové hlíny) místy se subfosilními půdami.

4. Klimatické poměry, hydrologie a hydrogeologie lokality

4.1. Klimatické poměry

Oblast Mohelnice náleží podle mapy podnebných oblastí do teplé oblasti, pro kterou je charakteristické dlouhé teplé léto s 50-70 letními dny a poměrně krátká, na srážky chudší zima. Podle mapy normál ročních srážkových úhrnů (obr. 2), byly v letech 1961-1990 v oblasti naměřeny dlouhodobé průměry srážek mezi 500-700 mm. Průměrné roční úhrny srážek naměřené na stanici ČHMÚ v Olomouci mezi lety 2004-2006 jsou nižší, 492,9 mm (tab.1), přičemž největší množství přichází v letním období a v době jarního tání.



Obr. 2 Roční srážkové úhrny v ČR (ČHMÚ 2006)

Tab. 1 Srážkové úhrny v mm (ČHMÚ 2006)

Měsíc/rok	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	roční průměr
1961 -1990	27,5	25,5	27,2	37,8	73,3	78,4	76,4	68,8	45	40	40,4	30,3	570
2006	26,3	35,3	52,1	56,7	74,2	79,1	17,8	91,2	9,7	14,5	34	22,2	513,1
2005	29,4	31,6	9,7	31,1	78,3	32,4	73,5	50,6	29	2,3	43,2	44,1	455,2
2004	28	19,4	22,9	44,6	19,2	93	96,6	25,7	40	68,1	36,3	16,4	510,5

Tab. 2 Průměrné teploty ve °C (ČHMÚ 2006)

Měsíc/rok	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	roční průměr
1961 - 1990	-2,4	-0,2	3,8	9,1	14,2	17,1	18,6	18	14	9,1	3,7	-0,4	8,7
2006	-7,8	-3,2	0,2	10,2	14,4	18,6	23,2	16,9	17	10,6	6,2	2,5	9
2005	-0,6	-3,1	1,4	10,4	14,3	17,4	19,7	17,9	16	9,3	2,5	-1,2	8,7
2004	-3,9	-0,1	3,4	10,5	13,3	16,9	18,5	19,6	14	10,7	4,1	-0,3	8,9

Průměrná roční teplota z předchozích třech let se pohybuje okolo 8,8 °C, přičemž průměrně nejteplejším měsícem je červenec s průměrnou teplotou 20,25 °C a nejchladnější leden s teplotami každoročně pod bodem mrazu (tab.2).

Množství srážek spadlých během roku má vliv na výšku hladiny podzemní vody. V zimním období, kdy je nízký výpar a rostliny nespotřebují tolik vody, se zásoby podzemní vody zvyšují nejvíce. Naopak v měsících letních, kdy je sice srážkový úhrn větší, se ale díky vyšší teplotě z půdy vypařuje větší množství vody, na infiltraci připadá jen malé množství srážek, což zásoby podzemní vody neobohacuje.

4.2. Hydrologie

Oblast náleží do povodí řeky Moravy, k hydrologické mu rajónu 4-10-02 Moravská Sázava a Morava od Moravské Sázavy po Třebůvku.

Řeka Morava tvoří regionální drenážní bázi tohoto území. Hydrologické poměry v nivě Moravy jsou ovlivněny antropogenní činností (odvodňování pozemků, těžba štěrkopísků, regulace koryt). Vodohospodářský význam Mohelnické brázdy je zdůrazněn vyhlášením Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV) Kvartér řeky Moravy, která zaujímá skoro celou plochu údolní nivy Moravy mezi Zábřehem na severu a Řimicemi na jihu. Část studovaného území též spadá do chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví.

V tabulce 3. průměrných průtoků lze vidět, že největší průtoky v řece Moravě připadají na duben, minima na říjen. Největší vodnosti dosahuje Morava v jarních měsících, nejmenší naopak připadá na srpen až říjen.

Tab.3 Průměrné průtoky Q (m^3/s) za období 2004-2005 (ČHMÚ 2006)

měsíc/rok	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
2004	8,55	17,7	25,1	29,2	12,2	7,22	3,18	4,02	3,82	7,34	7,51	11
2005	16	16,3	8,46	52,1	18,2	11,5	7,68	9,97	5,33	4,11	4,08	6,22

4.3. Hydrogeologie

Hydrogeologicky toto území náleží do rajónu 161 Fluviální sedimenty v povodí horní Moravy. Pliopleistocenní sedimenty Mohelnické brázdy mají v tomto rajónu velký význam pro jímání podzemní vody za účelem hromadného vodárenského zásobování. Sedimentární výplň Mohelnické brázdy tvoří pliopleistocenní jíly, písky nebo štěrkopísky, které jsou v různých mocnostech kryty holocenními fluviálními sedimenty, méně pak sprašemi, sprašovými a svahovými hlínami. Dřívější regionální průzkumy (Wünsch, 1965, 1972; Malý 1983, 1985, 1988; Neubauer, 1960), stejně jako zpracování vstupních podkladů pro konstrukci hydrogeologické mapy, potvrdily vysokou až lokálně velmi vysokou transmisivitu kolektoru písčitých štěrků údolní nivy. Jednotkové specifické vydatnosti hydrogeologických vrtů běžně dosahují i $10 \text{ l.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. Sedimentární výplň Mohelnické brázdy nepředstavuje homogenní izotropní hydrogeologické prostředí, protože pelitické sedimenty pliopleistocénu lokálně oddělují jednotlivé zvodnělé kolektory v hrubozrnnějších sedimentech a přispívají tak k částečnému hydraulickému lokálnímu oddělení jednotlivých kolektorů či vytvoření mírně napjaté hladiny podzemní vody. Samostatnost jednotlivých kolektorů nelze při značné faciální rozmanitosti sedimentačního prostoru Mohelnické brázdy předpokládat. Proudění podzemní vody však neprobíhá v celém průtočném profilu údolní nivy rovnoměrně, nýbrž po tzv. privilegovaných cestách prostřednictvím geofiltračních proudů (Jareš 1990), které vznikly v době divočení povrchových toků postupným překládáním jejich koryt. Tento fenomén ve svém důsledku vytvořil síť jednak míst zvýšeného pohybu podzemní vody tam, kde došlo k ukládání dnových sedimentů, a jednak míst ztíženého pohybu tam, kde docházelo ke vzniku agradačních valů. Pohyb podzemní vody je tedy dán sítí depresí a elevací. Podzemní vody v kolektorech Mohelnické brázdy jsou v bezprostřední závislosti na průtocích, respektive vodních stavech povrchových toků, jež reflektují množství atmosférických srážek.

Podzemní vody v této oblasti jsou celkově slabě mineralizované, kyselé, s charakteristickou přítomností volné kyseliny křemičité. Původní hydrochemický typ Ca-HCO₃ zůstává sice v rámci celé Mohelnické brázdy zachován, směrem k jihu je však výraznější nález hořčíku. Zatímco v severní části brázdy byly dokumentovány pouze nižší obsahy železa a manganu, směrem k jihu dochází k výraznému nárůstu jejich obsahů v podzemní vodě (až na koncentrace v jednotkách mg.l⁻¹). Hlavní příčinou mohou být oxidačně redukční procesy při provzdušňování podzemní vody v mělce uložených kolektorech kvartéru, při styku s povrchovou vodou, případně srážení limonitu. Převládající křemité klastika v horninovém prostředí se také projevují na poměru rMg/rCa, kde vápník převládá (Čurda et al 2001).

Při monitoringu prováděném firmou AQUA ENVIRO s.r.o byl, jak již bylo řečeno, prováděn chemický rozbor vlastností důlních i podzemních vod. Všechny vzorky podrobené organoleptickému screeningu byly bezbarvé, čiré, bez sedimentu a bez pachu, nevykazovaly tedy žádný náznak znečištění. Při měření elektrochemických ukazatelů kvality vod (konduktivity, pH, teploty) bylo zjištěno, že konduktivita důlních vod se pohybuje od 174 do 299 μS/cm (viz. příloha 2), hodnota pH se pohybuje ve slabě zásaditých hodnotách (viz. příloha 3). Vyšší hodnoty pH důlních vod souvisejí s klimatickými podmínkami, kdy vlivem intenzivní fotosyntézy dochází během slunečných dnů k odčerpání volného CO₂ z vody, což má za následek zvýšení pH především v hladinové vrstvě s fytoplanktonem. Teplota důlní vody (viz. příloha 4) je ovlivňována okolními klimatickými podmínkami a má přímý vliv na chemickou a biochemickou reaktivitu vod. Naopak konduktivita vod podzemních dosahuje dlouhodobě nižších hodnot (viz. příloha 5), pH se pohybuje v neutrální či mírně zásadité oblasti (viz. příloha 6). Teplota podzemní vody v hloubce 15 metrů dosahuje stálých hodnot pohybujících se v rozmezí 9,5-12°C (viz. příloha 7).

Chemizmus podzemních vod může být také ovlivněn těžbou šterkopísků, které jsou těženy z vody v otevřených těžebních jezerech plovoucími korečkovými bagry (obr.3) s případným dotěžením drapákovými bagry v hlubších polohách ložisek (viz. příloha 8).



Obr.3 Plovoucí korečkový bagr

Vodní plocha z již ukončené těžby štěrkopísků v lokalitě Moravičany-jih (dnešní přírodní rezervace Moravičanské jezero o ploše 33,7 ha s maximální hloubkou 17 metrů) je zčásti zavezena navážkami inertního materiálu s převahou hlinité složky. Přes tyto navážky je kanálem propojena s vodní plochou Mohelnice (tzv. Jasenské jezero, 56,1 ha hloubka až 16 metrů). Moravičanské jezero má na jižní straně silně zakolmantované břehy.

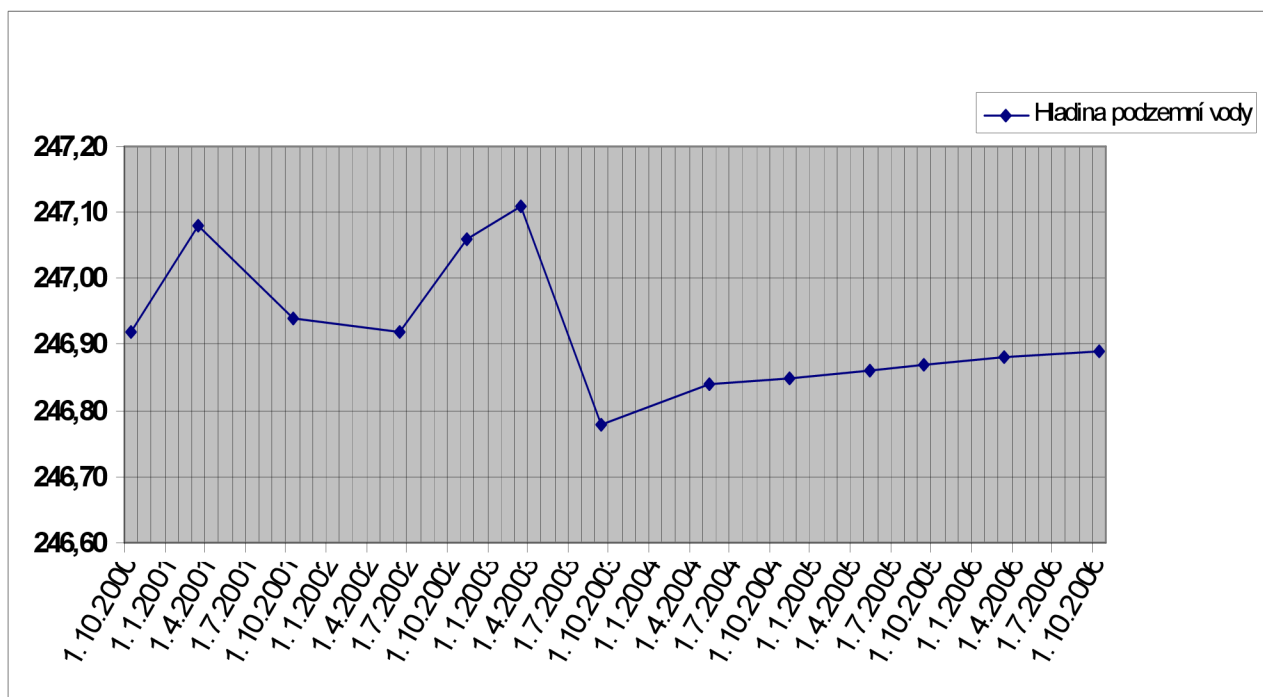
Před zahájením těžby v první polovině 20. století se při ložiskových průzkumech pohybovala hladina podzemní vody v prostoru Moravičany-jih na kótě od 246 do 250 m n.m., v prostoru Moravičany-sever (Mohelnice) cca 249 až 251 m n.m (Kuchovský, Říčka, Červenková 2005)

Úroveň hladiny důlní vody v DP Mohelnice a Moravičany, které jsou propojeny plavebním kanálem, je stanovena výpustným objektem situovaným na JV okraji DP Moravičany na kótě 247,1 m n.m., z čehož je patrné, že oproti přirozenému stavu se hladina vody v jezeře Mohelnice I snížila asi o 1,3 metru. Tento umělý zásah související s těžbou štěrkopísků lze považovat pro hydrogeologický režim pravobřežní části údolní nivy Moravy spíše za zlepšení nepříznivého hydrogeologického stavu vyvolaného předchozím napřímením koryta řeky Moravy. Režim podzemních vod v protilehlé, levobřežní části údolní nivy řeky Moravy, v místech bývalého trvale podmáčeného lužního lesa, není těžbou štěrkopísků ovlivňován a stávající stav je podmíněn vymýcením lužních lesů a odvodněním podmáčených ploch pro zemědělskou činnost.

Podzemní vody jsou v přímé hydraulické spojitosti s důlními vodami dobývacích prostorů a s řekou Moravou, která tvoří regionální erozní bázi a odvodňuje kvartérní písčito-štěrkovité sedimenty Mohelnické brázdy.

V důsledku vyrovnání hladin dochází při severním okraji DP Moravičany k přítoku podzemních vod do jezera, zatímco při jižním okraji naopak důlní vody infiltrují do horninového prostředí. V tomto prostoru se hladina důlní vody nachází o 0,4 - 0,9 m výše, než hladina okolních podzemních vod, viz. obr. 4. Úroveň hladiny důlních vod v DP Moravičany se pohybuje v závislosti na přítoku podzemních vod do DP Mohelnice. Rozkyv hladin důlních vod zaznamenaný od roku 2000 dosahuje 0,33 metrů v závislosti na přítoku podzemních vod do šterkovny.

Obr. 4 Úrovně hladin DP Moravičany (AQUA ENVIRO, s.r.o, 2006)



5. Bilance těžebních jam

V této kapitole jsou pomocí modelu vytvořeném v programu PMWIN formulované hydrologické bilance těžebních jam a také formulovány závěry o pozicích nátokových a odtokových stran těžebních jam. Situace byla uvažována podle dnešního stavu dobývacích prostor.

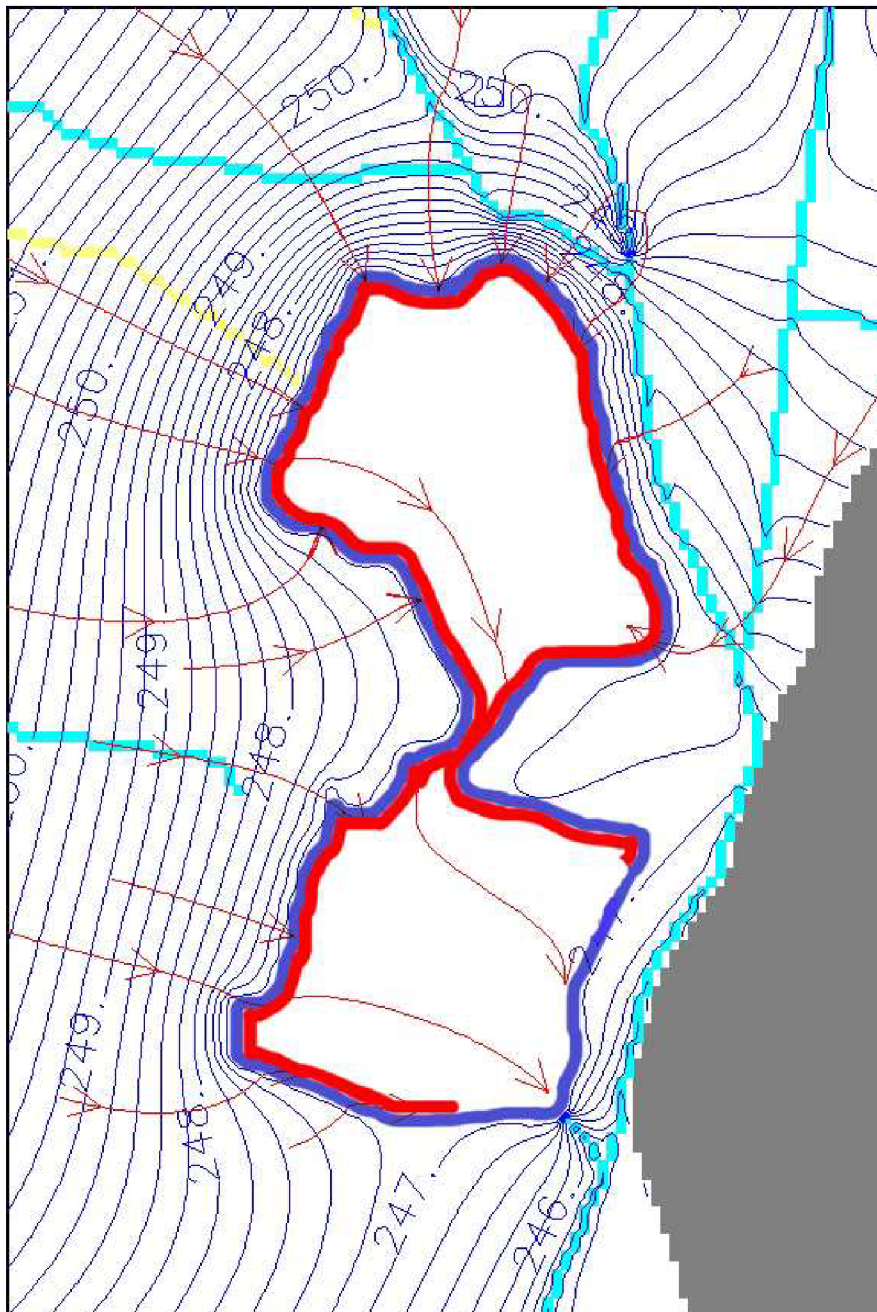
Okrajové podmínky modelu byly voleny tak, aby reálně simulovaly přítok podzemní vody do oblasti a byly voleny pro všechny modelované situace stejně. Modelové situace komplikují četné drenážní rýhy, drobnější vodoteče, z nichž některé nejsou v přímé hydraulické spojitosti se simulovanou zvodní, podobně jako elektrárenský náhon.

5.1. Moravičany a Mohelnice

Na obrázku 5. jsou obrysy znázorněny dobývací prostory Moravičany (dole) a Mohelnice (nahore). Podzemní vody přitékají do těžebních prostor ze všech stran, ve větším množství ze strany severní, kde díky výškovému rozdílu přitékají z horního jezera Mohelnice I, z části se na přítoku podílí okolní vodoteče. Ze strany západní přitéká podzemní voda díky vyššímu hydraulickému gradientu. Přítok z východní části, kde se nachází koryto řeky Moravy, probíhá pouze do jezera Mohelnice.

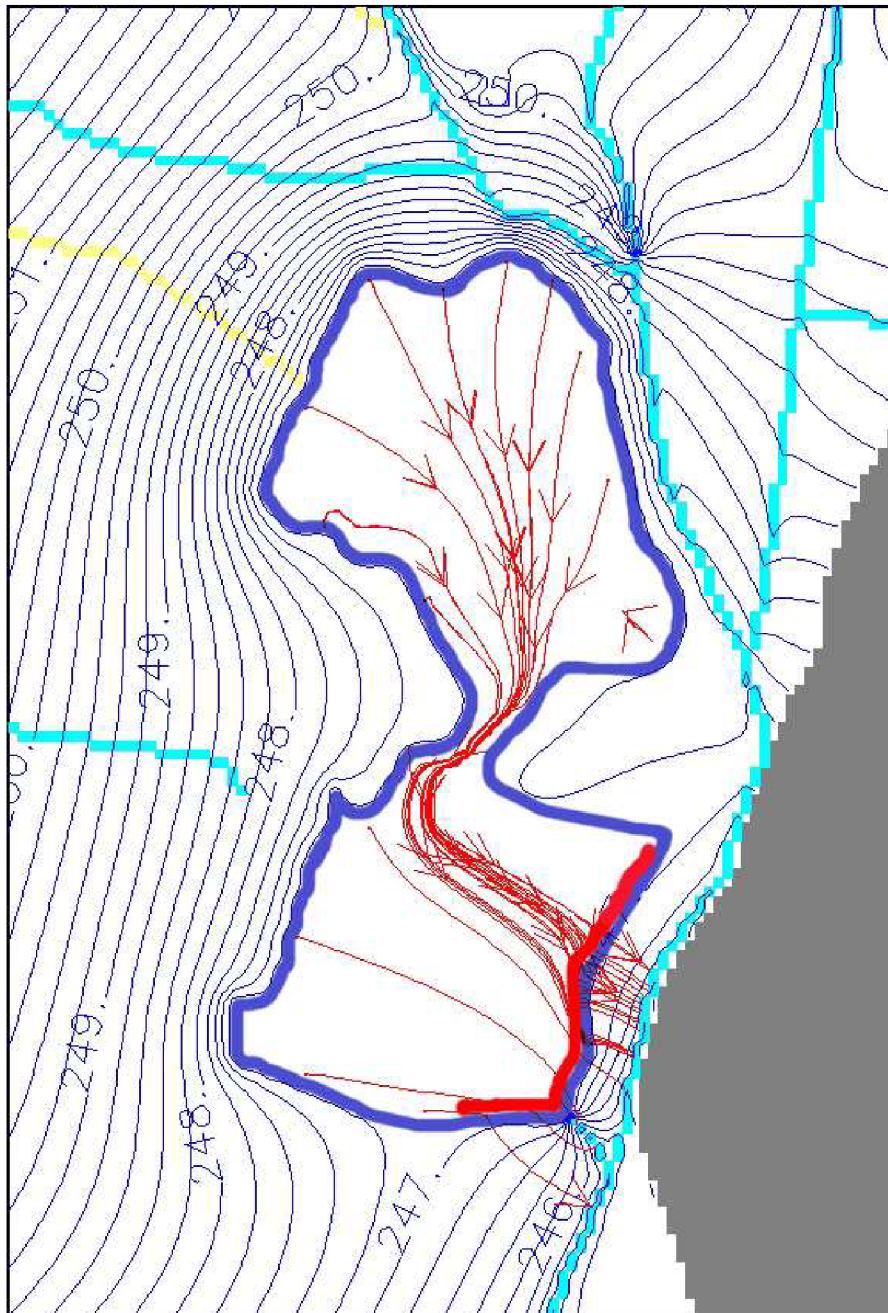
Na obrázku 6. je červeně znázorněna odtoková hrana těžební jámy Moravičany, ze které odtéká všechna voda, která se do těžebních jam dostane z okolních vrstev. Podzemní vody se po přítoku do jezer akumulují v horní těžební jámě a poté odtékají přes uměle vytvořený kanál do jezera dolního, na jeho JV straně jsou drénovány korytem řeky Moravy.

Na obrázcích 5.a 6. je vidět nesoulad mezi délkou nátokových a odtokových stran, který je dán umístěním přelivu v jižní části jámy Moravičany. Pokud by zde přeliv nebyl, odtokové strany by se výrazně protáhly a nátokové zmenšily.



- 248 — hydroizohypsy
- vodoteč
- meliorace
- obrys těžební jámy
- směr proudění podzemní vody
- nátokové strany

Obr. 5 Nátokové strany těžebních jam Mohelnice a Moravičany



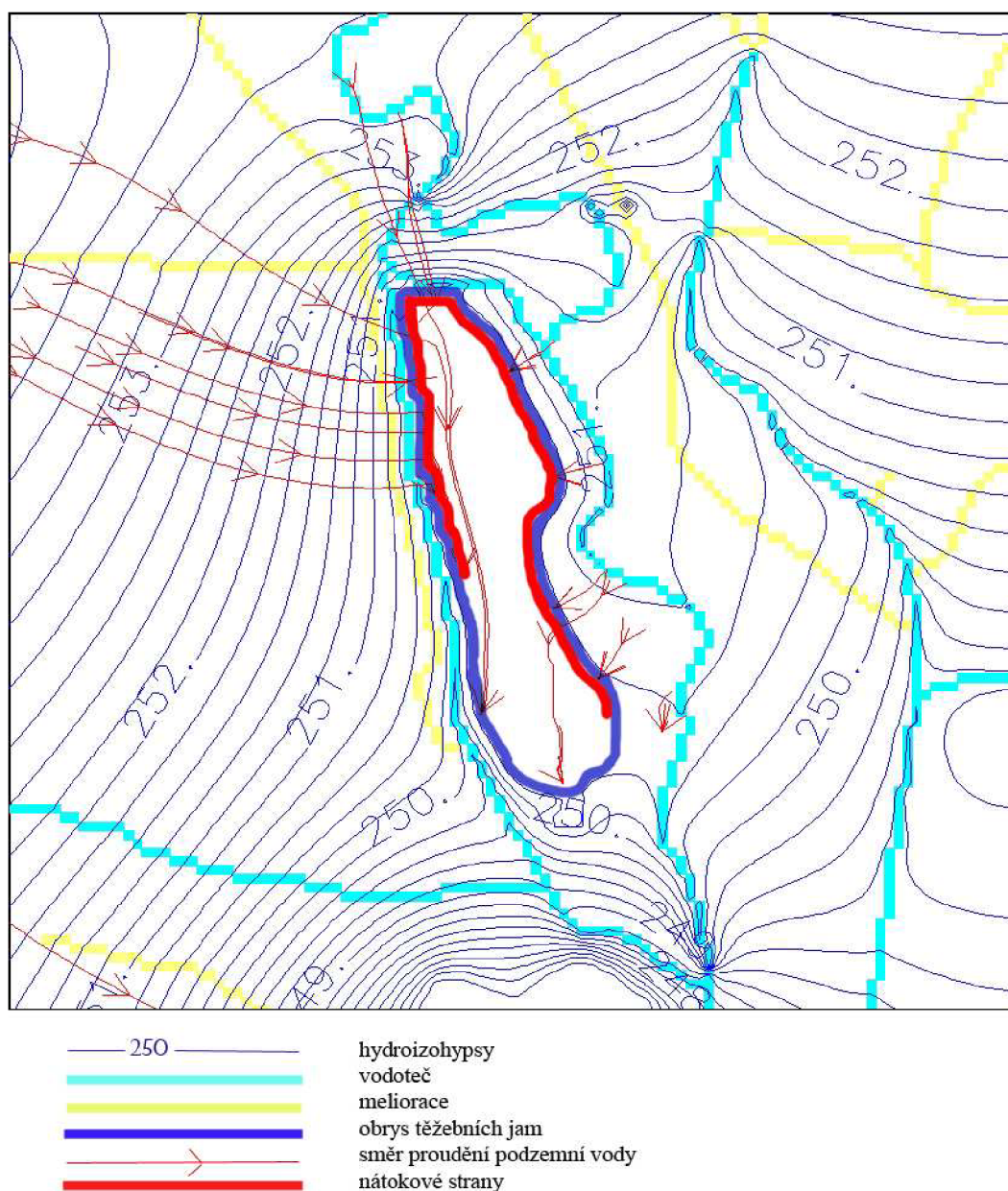
hydroizohypsy
 vodoteč
 meliorace
 obrys těžební jámy
 směr proudění podzemní vody
 odtokové strany

Obr.6 Odtokové strany těžebních jam Mohelnice a Moravičany

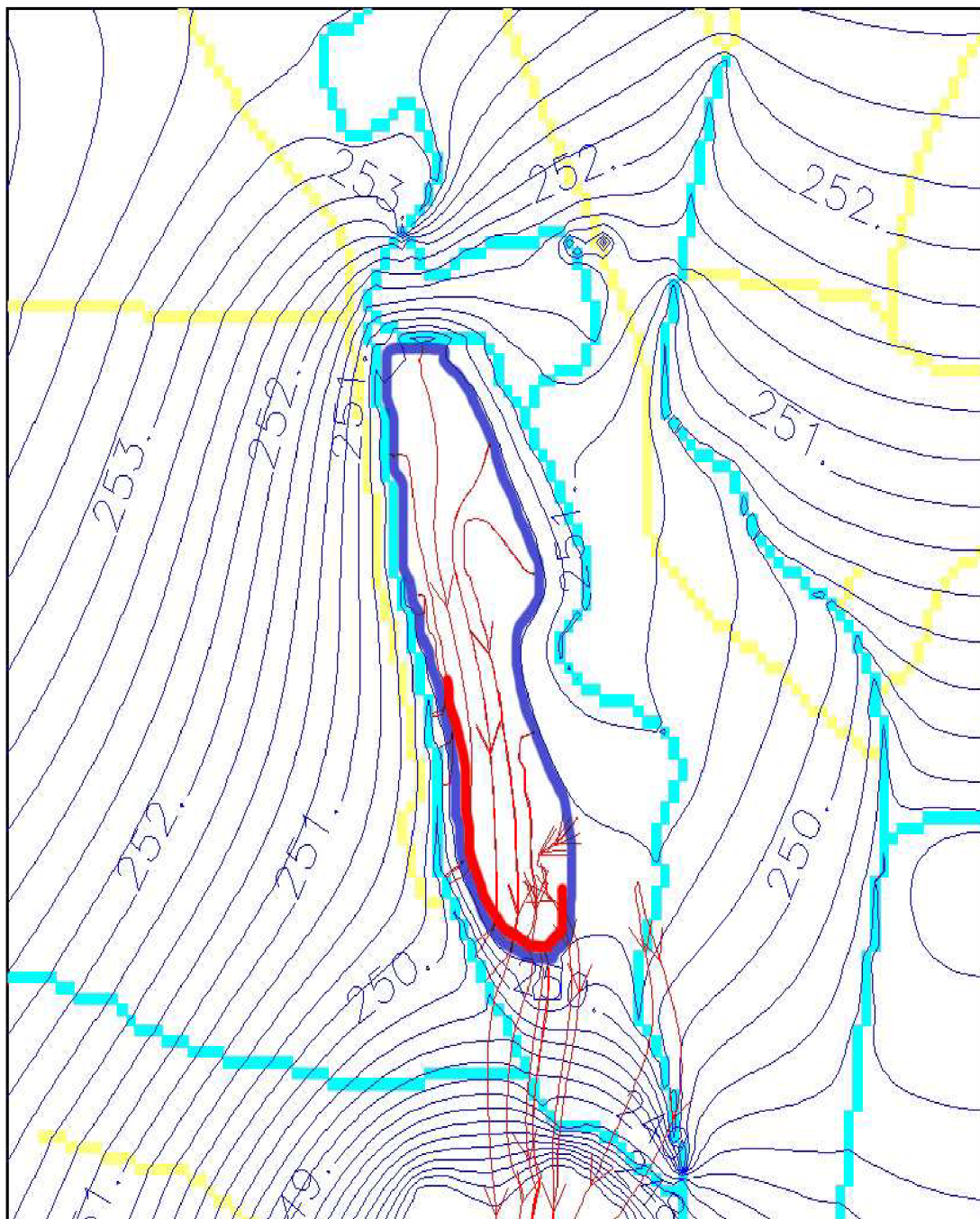
5.2. Mohelnice I

V další modelované situaci (obr. 7) je znázorněno pouze nejmladší, stále těžené jezero Mohelnice I, které není spojeno s dalšími dvěma prostory. V severní části štěrkovna podzemní vody drénuje z okolních vrstev. Z východu se o dotaci podzemní vody stará koryto řeky Moravy.

Podzemní vody z jezera odtékají téměř podél jeho osy a v jižní části tvoří odtokovou hranu (obr.8). Na JV jámy se podzemní vody vracejí zpět do potoka, který teče v celé délce prostoru Mohelnice I a na jihu se podzemní vody vlévají do jam Moravičany a Mohelnice, které jsou níže položené.



Obr. 7 Nátokové strany těžební jámy Mohelnice I



- | | |
|---------|-----------------------------|
| — 250 — | hydroizohypsy |
| — | vodoteč |
| — | meliorace |
| — | obrys těžební jámy |
| —>— | směr proudění podzemní vody |
| — | odtokové strany |

Obr. 8 Odtokové strany těžební jámy Mohelnice I

Z modelu je zřejmé, že těžební jámy ovlivňují tok podzemní vody jen na pravém břehu řeky Moravy a to jen do vzdálenosti několika desítek až stovek metrů.

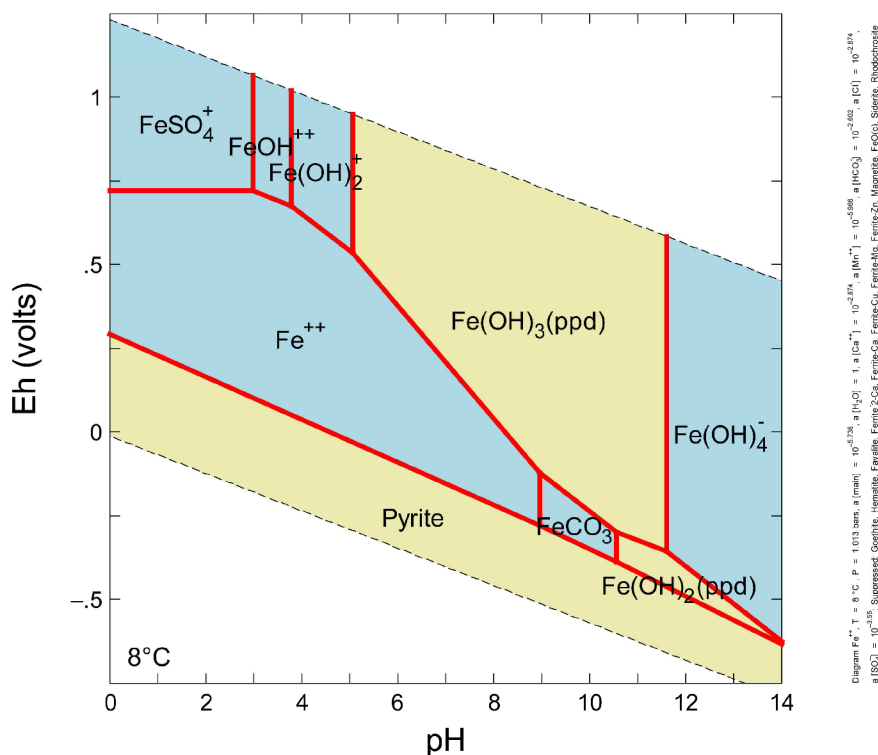
Podle výpočtů programu PMWIN, je celkový přítok do těžebních jam Mohelnice a Moravičany přibližně 80,8 l/s podzemní vody a odteče 55,4 l/s, celková výměna (přítok-odtok) spodních jezer je tedy 25,4 l/s. Celková bilance v jezeře Mohelnice I je -12,4 l/s, přičemž přitéká 28 l/s a odtok je 40,4 l/s (viz. příloha 9).

6. Chemické složení podzemní vody

Do programu Geochemist's Workbench (GWB) jsem jako vstupní parametry zadala chemické složení podzemní vody z vrtu HV 808 (viz. příloha 10).

V počátečním složení před přítokem do těžebních jam, bylo při teplotě 8°C, pH 6,65 a Eh 0,150 V vygenerováno z programu GWB chemické složení (obr.9), kde z rozpuštěných forem Fe převládá Fe^{2+} a z pevných složek se nejvíce vysráželo pyritu a hydroxidu železitého ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), který se v přírodě vyskytuje jako minerál bernalit. Podle textového souboru programu, se hydroxidu železitého vysráží 0,00002968 g, což zabírá přibližně 9,533 cm³ objemu (viz. příloha 11).

Poté, co se podzemní voda dostane do těžebních prostor, dojde ke kontaktu s atmosférou. Teplota zůstává konstantní, pH stoupl na 8,143 a oxidačně redukční potenciál stoupl na 0,7685 V (viz.příloha 12). V systému došlo ke změnám chemického složení. Hydroxid železitý přešel z pevné fáze do roztoku a jeho pole stability se zmenšilo, dvojmocné železo se změnilo na již zmíněný hydroxid a tím se jeho koncentrace v roztoku snížila (viz.příloha 13)



Obr. 9 Diagram převládající stability před vstupem podzemní vody do těžebních jam

7. Diskuze

V bakalářské práci byl posuzován vliv těžby štěrkopísků na chemické složení podzemní vody na lokalitě nedaleko Mohelnice, v nivě střední části toku řeky Moravy. Tři těžební prostory, z nichž je v současné době v činnosti pouze nejmladší z nich Mohelnice I, byly uměle vybudovány sto až tři sta metrů od koryta řeky, která tvoří regionální drenážní bázi tohoto území. Prostory výrazně ovlivňují vlastnosti podzemní vody, jak z hlediska proudění, chemického složení, tak i pH a dalších charakteristik.

Těžební prostory sice ovlivňují režim podzemních vod v oblasti, ale jen do vzdálenosti několika desítek až stovek metrů od těžebních jam.

Pomocí programu PMWIN byly vymodelovány nátokové a odtokové strany těžebních jam. V jezerech Mohelnice a Moravičany jsou pozice nátokových stran určeny dotací podzemní vody z okolních písčitých štěrků. Odtokové strany jsou ovlivněny přítomností jezu, který se nachází na jihu jezera Moravičany. Díky tomuto jezu je odtoková strana tak krátká, pokud by zde jez nebyl zbudován, měla by odtoková strana pravděpodobně jinou polohu i rozměry. V prostoru Mohelnice I jsou nátokové strany ovlivněny tokem řeky Moravy, která je od jezera vzdálena řádově v desítkách metrů. Podél západního břehu těžební jámy teče menší potok, který dotuje těžební prostory podzemní vodou, tyto vody se ale na odtoku vrací zpět do potoka, takže nebyly uvažovány jako směrodatné pro stanovení odtokových stran Mohelnice I. Podzemní voda po přítoku do jezera proudí téměř podélně s tokem řeky Moravy středem těžebního prostoru, infiltruje do kolektoru a poté se vlévá do jezer Mohelnice a Moravičany.

Jelikož je hladina podzemní vody na odtokových stranách vyšší, měly by se případné jímací vrty umísťovat podél těchto míst. I co se týče kvality vody, je vyšší na stranách odtokových, protože se snížily obsahy železa a manganu, které by jinak musely být odstraněny.

Těžební jámy se též podílejí na změně chemického složení podzemní vody poté, co se dostane do kontaktu s atmosférou po přítoku do těžebních jam. Z dvojmocného železa, kterým je podzemní voda v okolních vrstvách nabohacená, se po kontaktu s atmosférou stává hydroxid železitý.

Pro budoucí studium lokality by bylo dobré odebrat vzorky sedimentu a vody z těžebních jam pro porovnání s výsledky geochemického modelu. V modelované situaci byl totiž uvažován kontakt podzemní vody s atmosférou okamžitě po přítoku do těžebních

jam, v reálné situaci by se tak nestalo, protože koncentrace kyslíku v jamách klesá od povrchu s hloubkou. Průměrná hloubka těžebních jam je 35 metrů, takže by se měla provést stratifikace vody s ohledem na koncentraci atmosférického kyslíku. Dále by bylo třeba pro upřesnění geochemického modelu analyzovat vysrážené fáze, protože minerál bernalit, který odpovídá složení $\text{Fe}(\text{OH})_3$ je v přírodě poměrně vzácný, ale v modelované situaci se ho vysráželo větší množství. Pro upřesnění minerálního druhu provést například analýzu na elektronové mikroskopii.

8. Závěr

Při vyhodnocování výsledků bakalářské práce jsem dospěla k těmto závěrům:

- režim podzemních vod v oblasti je ovlivněn uměle zbudovanými těžebními prostory, které se nachází ve vzdálenosti sto až tři sta metrů od pravého břehu řeky Moravy
- ovlivnění nemá regionální charakter, jedná se pouze o oblast v okruhu několika set metrů v okolí těžebních prostor
- úroveň hladiny podzemních vod závisí na množství srážek a také na výparu a je držena přelivem v jižní části těžební jámy Moravičany při kótě 241,7
- v zimním období, kdy sice není srážkový úhrn velký, ale je nízký výpar, se hladina podzemních vod zvyšuje, nejvyšší ale bývá při tání sněhu v jarním období
- v letním období převládá výpar nad srážkami a dotace pro podzemní vody není tak značná
- podzemní voda po vstupu do těžebních jam mění směr svého proudění z původně kolmého na tok řeky Moravy na téměř rovnoběžný s jejím tokem
- nátokové a odtokové strany těžebních jam byly formulovány podle modelu PMWIN v kapitole 6. Bilance těžebních jam
- hladina podzemní vody je vyšší u stran odtokových
- chemické složení podzemní vody se mění v závislosti na jejím přítoku do těžebních jam, kde se dostane do kontaktu s atmosférickým CO₂, přičemž s mění pH z 6,65 na slabě zásadité
- kvalita vod je vyšší po odtoku z těžebních jam, proto je dobré umísťovat jímací vrty na odtokových stranách
- podzemní vody jsou v oblasti slabě mineralizované, směrem k jihu listu, kde se nachází studované území, stoupá obsah železa a hořčíku
- na dně těžebních jam se v důsledku tohoto jevu sráží minerály jako pyrit, pyroluzit a zejména kalcit, kterého se vysráží až 90mg/l (viz.příloha 14)

9. Použitá literatura:

Bethke, Craig M. (2002): The Geochemist's Workbench, A User's Guide to Rxn, Act2, Tact, React, and Gtplot. – University of Illinois.

Čurda, J., Hanžl, P., Havlíček, P., Koverdinský, B., Manová, M., Majer, V., Miller, V., Otava, J., Rejchrt, M., Rýda, K., Skácelová, D., Šamanský, K. (2001): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50000, list Mohelnice. – Čes. geol. úst. Praha.

Demek, J.(edit.) et al.(1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Horniny a nížiny.- Academia.Praha

Hsing Chiang, W., Kinzelbach, W. (2000): 3D-Groundwater Modeling with PMWIN.- Springer, Berlin.

Jareš, J. (1990): Státní pozorovací síť hlubokých zvodní – hydrogeologický rajón 161 - fluviální sedimenty v povodí Horní Moravy. – MS. Geotest. Brno.

Koverdinský, B. et al. (1998): Soubor geologických a účelových map ČR. Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 14-43 Mohelnice. – ČGÚ. Praha.

Malý, J. (1983): Hydrogeologie kvartéru Hornomoravského úvalu a Mohelnické brázdy. – Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 17, 45-79. Praha

-(1985): Dílčí zpráva o regionálním hydrogeologickém průzkumu fluviálních uloženin v Mohelnické brázdě. Lokality Leština, Bohuslavice, Třeština.- MS Geotest. Brno.

-(1988): Podrobný hydrogeologický průzkum jímacího území Mohelnická brázda-II. Územní celek (lokality Bludov, Leština, Zvole). Závěrečná zpráva o podrobném hydrogeologickém průzkumu jímacích území.-MS Geotest. Brno.

Mísař, Z., Dudek, A., Havlena, V., Weiss, J. (1983): Geologie ČSSR I. Český masiv. – S.p.n. Praha.

Neubauer, M. (1960): Pomoraví. Zpráva o výsledku hydrogeologického průzkumu.- MS Geol. průzk. Brno.

Prudil, V., Pospíšil, O., Hertlová, L. (2006) : Hydrogeologické a hydrologické poměry DP Moravičany. Monitoring pro knihu odvodňování. MS AQUA ENVIRO, s.r.o. Brno.

Přichystal, A., Obstová, V., Suk, M. (1993): Geologie Moravy a Slezska. – Moravské zemské muzeum a Sekce geol. Věd PřF MU. Brno

Růžička, M. (1986): Kvartér v Hornomoravském úvalu. – Zpr. geol. Výzk. v R. 1984, 181-182. Praha.

Staňková, L. (1979): Petrografická charakteristika kvartérních sedimentů řeky Moravy mezi Šumperkem a Litovlí. – Sbor. GPO, 19, 8, 69-75. Ostrava

Svoboda, J., Beneš, K., Bernard, J., Cícha, I., Donič, J., Dvořák, Jar., Dvořák, J., Havlena, V., Horný, R., Chaloupský, J., Chlupáč, I., Kalášek, J. Kettner, R., malecha, A., Mísař, Z., Pacovská, E., Petránek, J., Řezáč, B., Soukup, J., Vodička, J., Zoubek, V., Zrůstek, V. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000, list Česká Třebová. – Čes. geol. úst. Praha.

Vajdík, J. (1978): Závěrečná zpráva Východočeská a Západomoravská křída. – MS Geofond. Praha.

Wünsch, B. (1965): Zábřeh-Šumperk. Základní hydrogeologický průzkum. – MS Geol. Průzk. Brno.

-(1972): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu v hydrogeologickém rajonu XVIII-Q-32-b Horní Morava.-MS Geotest. Brno.

<http://www.chmi.cz> (Portál Českého hydrometeorologického ústavu)

10. Seznam příloh

1. Výřez geologické mapy 1: 50 000, list 14-43 Mohelnice (Koverdinský 1998)
- 2.-4. Elektrochemické ukazatele důlní vody v DP Moravičany
 2. konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
 3. pH
 4. teplota $^{\circ}\text{C}$
- 5.-7. Elektrochemické ukazatele podzemní vody v DP Moravičany
 5. konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
 6. pH
 7. teplota $^{\circ}\text{C}$
8. Drapákový bagr
9. Bilance těžebních jam
10. Chemické složení podzemní vody z vrtu HV 808
11. Textový soubor programu Geochemist's Workbench se složením při vstupu podzemní vody do těžebních prostor
12. Textový soubor programu Geochemist's Workbench se složením podzemní vody na odtoku z těžebních jam
13. Diagram převládající stability po odtoku podzemní vody z těžebních jam
14. Vysrážené minerály v systému