Masarykova Universita

Přírodovědecká fakulta

Distribuce metanu a oxidu uhličitého v půdním vzduchu ve východní části lanžhotské kry ve vídeňské pánvi

diplomová práce

Ondřej Prokop

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Rostislav Melichar, Dr.

Konzultant: RNDr. Juraj Franců, CSc.

Brno 2015

©2016
Ondřej Prokop
Všechna práva vyhrazena

Masarykova univerzita

Přírodovědecká fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Ondřej Prokop**

Studijní program: **Geologie**
Studijní obor: **Geologie**

Ředitel Ústavu geologických věd PřF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje diplomovou práci s tématem:

Distribuce metanu a oxidu uhličitého v půdním vzduchu ve východní části lanžhotské kry ve vídeňské pánvi

Distribution of methane and carbon dioxide in the soil air in eastern Lanžhot elevation of the Vienna Basin

Oficiální zadání: Cílem práce je změřit složení půdního vzduchu ve vymezeném prostoru nad vytěženým ložiskem ropy a plynu ve vídeňské pánvi a zhodnotit vliv atmosférických činitelů a difuze plynů z hlubšího podloží na obsah metanu a oxidu uhličitého v půdním vzduchu.
Zásady pro vypracování DP:
Posluchač sestaví rešerši na téma geologická stavba vídeňské pánve, metodika měření půdních plynů a interakce fluid s horninovým prostředím.
Posluchač provede:

- terénní měření pomocí přenosného přístroje a odběr vzorků pro analýzu půdního vzduchu v laboratoři
- registrace podmínek terénních měření a jejich grafické znázornění
- hodnocení vlivu hlubší geologické stavby vybraného území zejména akumulací uhlovodíků a CO2
- hodnocení vlivu půdních sorbentů a propustnosti okolních sedimentů
- hodnocení vlivu hydrogeochemie
- zobrazí výsledky v trojrozměrném modelu vybraného území

Doporučená literatura: podle zadání školitele

Jazyk závěrečné práce: čeština
Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Rostislav Melichar, Dr.
Konzultant: RNDr. Juraj Franců, CSc.
Datum zadání diplomové práce: listopad 2014

V Brně dne 18. 11. 2014

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD
Kotlářská 2, 611 37 Brno

doc. RNDr. Josef Zeman, CSc.
ředitel Ústavu geologických věd

Zadání diplomové práce převzal dne: 4.12.2014

Podpis studenta

Zadání diplomové práce.

Bibliografické údaje

Autor:	Ondřej Prokop Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita Ústav geologických věd

Název práce:	Distribuce metanu a oxidu uhličitého v půdním vzduchu ve východní části lanžhotské kry ve vídeňské pánvi
Studijní program:	Geologie, magisterský program
Studijní obor:	Geologie
Vedoucí práce:	Doc. RNDr. Rostislav Melichar CSc.
Konzultant práce:	RNDr. Juraj Franců, CSc.
Akademický rok:	2015/2016
Počet stran:	50 + 25
Klíčová slova:	vídeňská pánev; migrace uhlovodíků, půdní vzduch, monitorování přírodního pozadí lokality

Bibliographic Entry

Author:	Ondřej Prokop Faculty of Science, Masaryk University Department of Geological Sciences
Title of Thesis:	Distribution of methane and carbon dioxide in the soil air in eastern Lanžhot elevation of the Vienna Basin
Degree Programme:	Geology, Master programme
Field of Study:	Geology
Supervisor:	Doc. RNDr. Rostislav Melichar CSc.
Consultant:	RNDr. Juraj Franců, CSc.
Academic Year:	2015/2016
Number of Pages:	50 + 25
Keywords:	Vienna Basin, hydrocarbons migration, baseline monitoring

Abstrakt

V předložené diplomové práci jsou zpracována atmogeochemická měření půdních plynů v chráněném ložiskovém území Lanžhot-východ, které je situováno v jv cípu moravské části vídeňské pánve. Sledované byly obsahy oxidu uhličitého, metanu a celkových plynných uhlovodíků. Výsledky jsou zhodnoceny z hlediska vzájemných poměrů složek a faktorů ovlivňujících typ půdního plynu. Z celkového počtu 230 měření vyplývá, že hodnota přirozeného pozadí obsahu uhlovodíků je pro metan a celkové uhlovodíky ca. 100ppm a pro oxid uhličitý ca. 800ppm. Měření nad uvedenými hodnotami jsou považována za lokální zvýšené hodnoty, které převyšují přírodní pozadí a to u metanu 6-26krát a u oxidu uhličitého 2-6krát. Mezi obsahem CO_2 a uhlovodíků byla pozorována nepřímo úměrná závislost v místech s omezenou propustností a přísunem kyslíku nebo uhlovodíků, zejména v jílovitějších případně podmáčených typech půd. Naopak přímo úměrná závislost byla zjištěna v propustnějších, písčitých půdách se zvýšenou dotací uhlovodíků. Hodnocení vztahu složení půdního vzduchu k hlubšímu geologickému podloží se zakládá na 3D modelu ložiskové oblasti. Bylo zjištěno, že zvýšené obsahy uhlovodíků a oxidu uhličitého se na povrchu vyskytují i ve vzdálenosti ca. 200 metrů mimo obrys ropné a plynové zóny vlastní ložiskové akumulace.

Abstract

In this theses atmogeochemical measurings of soil gases in CHLú Lanžhot-east are processed. It is located in south-east tip of a Moravian part of the Vienna Basin. Contents of carbon dioxide, methane and total hydrocarbons gases were being monitored. Results are assessed with a respect to a mutual ratio of components and factors influencing type of soil gas. Total of 230 measurements indicates that the value of natural background of hydrocarbon content is for methane and total hydrocarbons ca. 100ppm and for carbon dioxide ca. 800ppm. Measurements above meantioned values are considered as local increased values, which exceed natural background, as for methane 6 to 26 times and as for carbon dioxide 2 to 6 times. Regarding the content of carbon dioxide and hydrocarbons, an inversely proportional relationship was observed, namely in places with limited permeability or access of oxygen or hydrocarbons, especially in clay and water-soaked types of soil. On the other hand, proportional relationship was found out in permeable sandy soils with an increased support of

hydrocarbons. An assessment of relationship between soil gas composition and deeper geological bedrock is based on 3D model of deposit area. It was found out that increased content of hydrocarbons and carbon dioxide is on the surface in a distance of 200 meters outside of an outline of oil and gas zone of actual deposit accumulation.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat spoustě lidem za hojnou psychickou podporu a pomoc v průběhu zpracování této práce. V prvé řadě, však chci poděkovat RNDr. Vítu Hladíkovi, MBA za to, že mi umožnil se podílet na projektu REPP-CO_2 věnovaný problematice přípravy pilotního projektu ukládání CO_2 v horninovém prostředí. Zvláštní poděkování patří nadaci Norských fondů, která financuje uvedený projekt. Dále děkuji RNDr. Juraji Franců CSc. za odborné konzultace. Doc. RNDr. Rostislavu Melicharovi CSc. děkuji za vedení diplomové práce, její korekturu a oborné diskuze po celou dobu studia na přírodovědecké fakultě. V neposlední řadě děkuji organizacím MND Hodonín i Palivovému kombinátu Ústí za možnost seznámit se s terénními pracemi při relikvidaci vrtů.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a ostatní prameny, z nichž jsem při přípravě čerpal, řádně cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Brně dne: ……

Ondřej Prokop

OBSAH

1 ÚVOD 1
2 PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ 3
2.1 Geologická stavba a charakteristika lokality 3
2.2 Stratigrafie a litologie vídeňské pánve 3
2.2.1 Závěr karpatu – spodní baden 5
2.2.2 Střední baden 6
2.2.3 Svrchní baden 7
2.2.4 Sarmat 8
2.2.5 Pannon 8
2.3 Ložiska uhlovodíků ve vídeňské pánvi 9
2.3.1 Geologické poměry na ložisku Brodské 9
2.4 Charakteristika prostředí studované lokality 12
2.4.1 Mělký oběh v první zvodni na typové lokalitě 14
2.4.2 Převládající druhy půd na typové lokalitě 16
2.5 Atmogeochemie v prospekci, monitoringu a sledování globálních změn 20
2.5.1 Složení půdního plynu 20
2.5.2 Migrace uhlovodíků v sedimentárních pánvích 21
2.5.3 Sorpce plynů na organickou hmotu 21
2.5.4 Referenční vzduch z o. Hawai, Mauna Loa 22
2.5.5 Vliv člověka na složení půd typové lokality 23
2.5.6 Difuze přes vynucený odtah 24
2.5.7 Otevřený versus polouzavřený půdní systém v 25
3 METODIKA 26
3.1 Metodika atmo-geochemického monitorování 26
3.1.1 Měřící rozsahy a kalibrace 26
3.2 Způsoby měření v terénu 29
3.2.1 Kontinuální měření 29
3.2.2 Bodová měření (mapování) 29
3.2.3 Měření toku (flux) 30
3.3 Vlastní měření v terénu 30

3.3.1 Statistické vyhodnocení 33
4 VÝSLEDKY 34
5 DISKUSE 42
6 ZÁVĚRY 48
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 49
8 PŘÍLOHY 51

1 ÚVOD

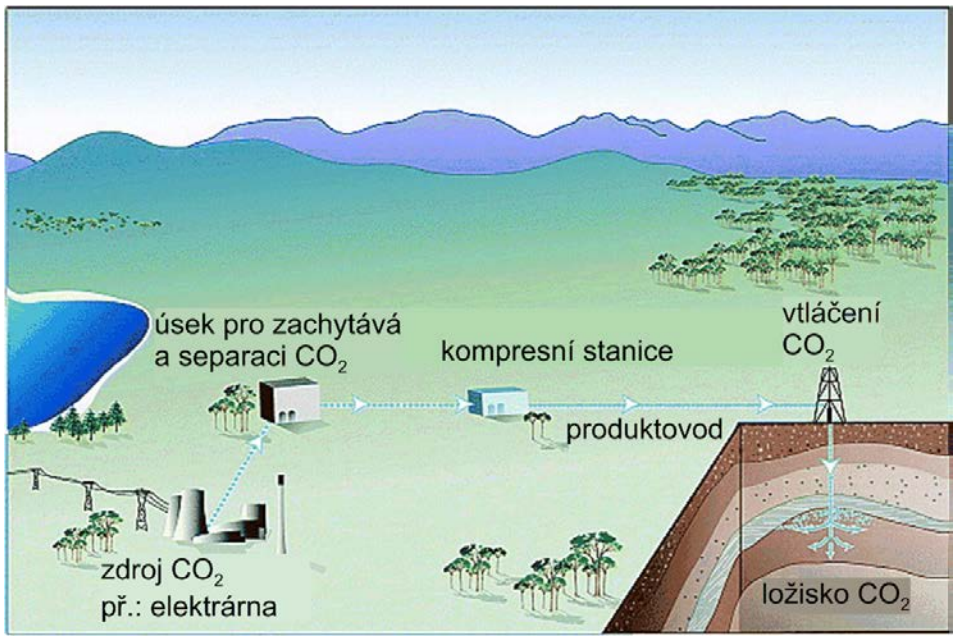
Na celém světě neustále roste poptávka po energii a fosilních palivech. Stále rostoucí lidské populace spotřebují stále více surovin na chod svého denního života.
S rostoucím množstvím fosilních paliv, které spálíme, roste i množství látek, které se dostávají do atmosféry v různých formách. Nejvážnější je charakter globálního koloběhu uhlíku, který má zásadní vliv na vývoj globálních teplot a pH vody na Zeměkouli.

Od 90. let 20. století se v Evropě, USA, Kanadě a Japonsku zahájily mezinárodní projekty zaměřené na hledání řešení v redukci oxidu uhličitého při spalování a těžbě fosilních paliv. V průběhu několika let vzniklo potencionální řešení na separaci a ukládání oxidu uhličitého v horninovém prostředí. Projekt nese název Carbon Capture and Storage (CCS). CCS získává v posledních letech legislativní a finanční podporu v mnoha zemích Evropské unie včetně České republiky.

V jihomoravském kraji funguje CCS, jako příprava na pilotní projekt pro ukládání oxidu uhličitého v geologickém podloží (REPP-CO_2) pod záštitou České geologické služby (ČGS) financováno pomocí Norský fondů.

Snižování emisí bylo legislativně podpořeno v prosinci 1997 ve městě Kjóto v Japonsku, kde se přes 50 států dohodlo a podepsalo mezinárodní smlouvu o Rámcové úmluvě OSN o klimatických změnách, která stanovila hladinu emisí z roku 1990. Realizace tohoto závazku se podařilo splnit většině států v letech 2008 až 2012. Další snížení emisních bilancí je naplánováno předběžně na rok 2020 (AAPG wiki).

Při zpracování fosilních paliv v budoucnosti bude elektrárna, či těžební věž disponovat filtry a separátory pro oxid uhličitý. Plyn bude následně uskladněn v silech, kde bude několikrát v procesu čištění a homogenizace. V rámci čištění dochází opakovaně ke zkapalnění a zmražení plynu, tím dojde ke ztrátě příměsí a nečistot. Takto očištěný plyn putuje do kompresní stanice, kde je stlačen do kapalné fáze. Odtud je pomocí produktovodů transportován a následně vtláčen do horninového kolektoru.



Obr. 1. Schéma procesu CCS – zachytávání a ukládání CO_2 do horninového prostředí (www.co2geonet.com).

Jedním z úkolů v projektu je „base-line monitoring“ což v praxi znamená, terénní analýzy půdních plynů z přírodního pozadí. Jejich výsledné hodnoty jsou vizualizovány a porovnávány ve vývoji v časové ose v zájmovém území. Tyto údaje slouží pro realizaci ukládání CO_2 a monitorování projevů netěsnosti úložního komplexu Brodské.

Práce sestávala z terénního měření, laboratorní analýzy plynů, zpracování vrtných dat, hodnocení analytických výsledků a sestrojení geochemických izoliniových map. Všechny údaje byly začleněny do 3D modelu ložiska Brodské.

2 PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ

2.1 Geologická stavba a charakteristika lokality

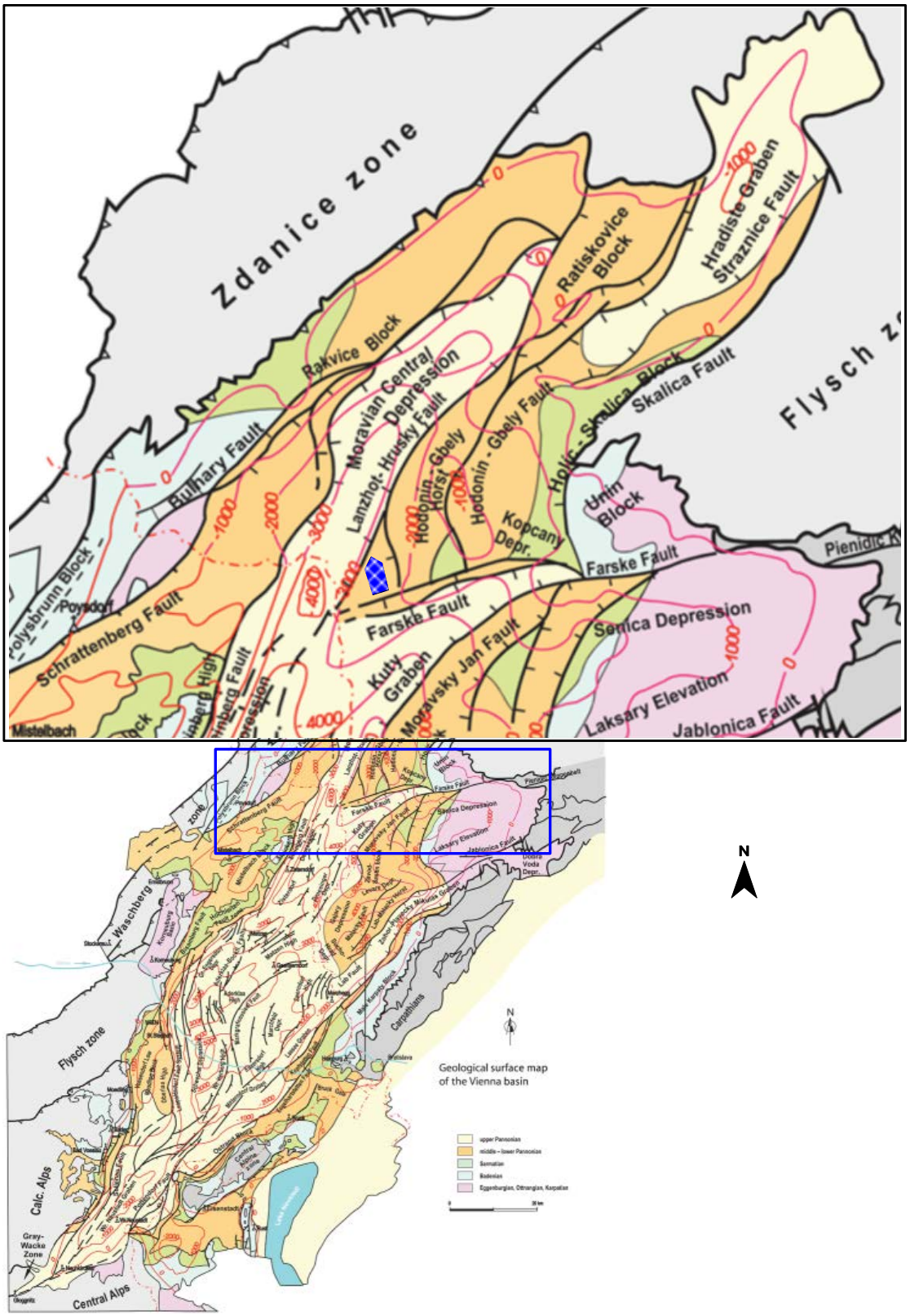
Zájmové území zahrnuje část lanžhotského bloku v jižním výběžku hodonínsko-gbelské hrásti (obr). Podrobněji ho charakterizovali např. Bílek, Jiříček, Buchta, Wessely, Arzmüller *et al.*

Pro projekt CCS byla vybrána lokalita, kde bylo možné změřit objemy půdních plynů v oblasti vytěženého ložiska Lanžhot-východ (bývalé Brodské-sever). Většina geologických dat byla poskytnuta společností MND Hodonín.

2.2 Stratigrafie a litologie vídeňské pánve

Vídeňská pánev je neogenní struktura, která je naložená na příkrovech Východních Alp a Západních Karpat. Její nepravidelný tvar vznikal v několika fázích, kdy byla sunuta na okraj západoevropské platformy, respektive na brunovistulikum. Výsledkem orogenetických pochodů je systém lineárně protažených, dílčích depresí, které představovaly pomyslný základ pro budoucí sedimentární pánve. Na území Moravy zaujímá vídeňská pánev totožný prostor Dolnomoravského úvalu.

Vývoj litologické výplně pánve začal na přelomu stupně eggenburg a pokračoval až do stupně roman (22,5-1,8 milionů let), v omezené míře až do kvartéru. Hluboké podloží vídeňské pánve je tvořeno brunovistulikem. Na něm jsou uloženy příkrovy jednotek Severních Vápencových Alp a vnějších Západních Karpat, které tvoří bezprostřední podloží neogenní výplně. Z pohledu naftové prospekce jsou nejdůležitější ložiskové horizonty, které jsou zaznamenány především ve stupních baden a sarmat (Franců 2010).



Obr. 2. Strukturní mapa vídeňské pánve s vyznačenou zájmovou oblastí a nejvážnější zlomové systémy (Arzmüller *et al.* 2006, upr).

2.2.1 Závěr karpatu – spodní baden

V alpsko-karpatské předhlubni došlo ke značným paleogeografickým změnám, zásadní příčinou byla změna tektonického režimu, následně dosunutí příkrovů a výsledkem bylo zvrásnění reliéfu v celé oblasti se značným denudačním trendem. Během ukládání sedimentární výplně se celá pánev postupně změlčovala a vyslazovala. V tomto období docházelo k periodické reaktivaci hlubinných zlomů, které jsou tvořeny rozsáhlými systémy zlomů, velmi často se projevují na povrchu inverzí reliéfu. Nejvážnější, z pohledu těsnících vlastností a přírodních drah uhlovodíků, jsou systémy zlomů lanžhotsko-lužicko-hrušecký, farský, bulharsko-schrattenberský systém a steinnberský zlom, podél kterého došlo místy až k masivnímu poklesu pod úroveň terénu. Pro tektonickou evoluci vídeňské pánve má zásadní význam i tehdy vznikající moravská ústřední deprese alias moravská centrální deprese (Jiříček 2002).

Ve stupni baden, zmizela výhradně mořská sedimentace, jak z alpsko-karpatské předhlubně, tak i z vídeňské pánve. Během intervalu asi 16,5 do 13,5 miliónů let, se předhlubeň stala pevninou a mořská sedimentace se posunula směrem k severní Moravě a pokračovala dál do Polska. Prostor vídeňské pánve se skláněl směrem k jihu, vznikaly výškové izolinie podobné tvaru a rozložení jak v současné době. Souběžně s inverzí reliéfu docházelo ke vzniku několika propojení přes pannonskou pánev situovanou na jihu.

Tento cyklus začal rozsáhlým regresním režimem. Regrese v nejvyšším karpatu se přehoupla až do nejranější fáze spodního badenu a způsobila značnou erozi sedimentů svrchního karpatu, došlo k uložení depoziční sekvence typu SB 1. Hranici mezi závěrem karpatu a spodním badenem doprovází nejdéle trvající hiát ve vývoji vídeňské pánve. Během následující transgrese se uložilo mocné souvrství lanžhotské, které se začalo ukládat už v průběhu transgresivního traktu a během stavu vysoké hladiny (HST) docházelo postupně k trendu změlčování. Toto souvrství je tvořeno především tégly šedé až šedozelené barvy s bohatým foraminiferovým společenstvem. Zvláštní pozornost zasluhují foraminifery rodu *Lagenida*, jenž tvoří hranici mezi odděleními (Brzobohatý 2003).

2.2.2 Střední baden

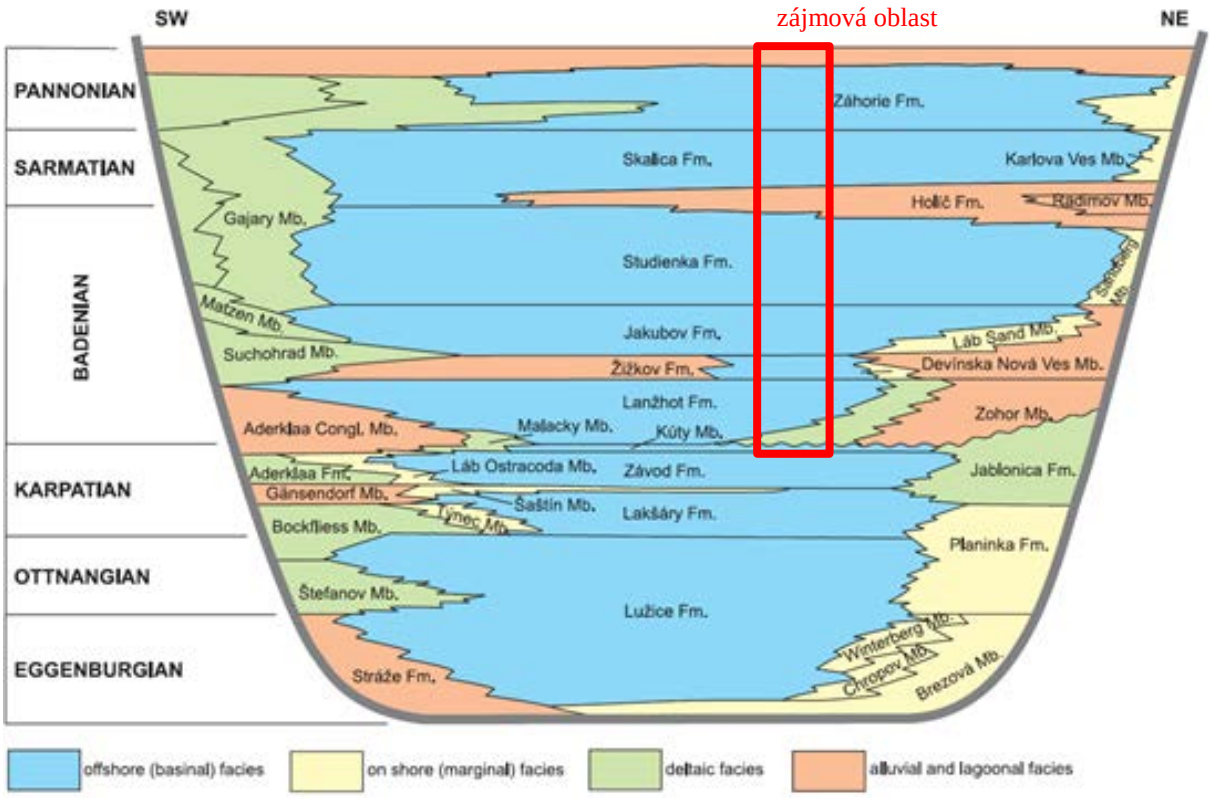
Sedimentace reagovala na další transgresivní režim, který se obdobně šířil slovinským koridorem, ukládaly se sedimenty bohaté na společenstva *Orbulina saturalis*. Při nejvyšší fázi transgrese byl zaplaven celý systém pannonských pánví (chorvatská, vídeňská, dunajská, východoslovenská pánev) i karpatská předhlubeň.

Sekvenční cyklus začal diskordancí typu SB 1, následovala sedimentace žižkovských vrstev v rámci nízkého stavu hladiny, kdy se ukládala ve spodní části profilu pestré, brakické, vápnité jíly, které vyplňují oblasti depresí a lagun, později se rozšířily i v moravské ústřední depresi. Během následujícího taktu (TST) sedimentovaly lábské písky v nadloží žižkovských vrstev. Tyto písky reprezentují plážové lemy a valy paralelní s pobřežím. Blíže k nadloží, při maximálním stavu akomodačního prostoru (HST), se uložilo souvrství hrušecké, které je převážně budováno vápnitými pelity s hojnou faunou *Spirorutilus carinatus*
(Grillova zóna aglutinancí). V současnosti je oddělení středního a svrchního stupně baden rozdělen na základě paleoekologie planktonních foraminifer (Brzobohatý 2003, Jiříček 2002).

svrchní-pozdní baden bývá označován jako zóna bulimino-bolivinová s převažují rody foraminifer *Bolivina* a *Bulimina* v mělčích faciích s velmi hojnými zástupci rodu *Ammonia*, zakončeno prezencí *Rotalia beccarii*

svrchní-spodní baden bývá v literatuře označován jako zóna aglutinancí, současně zóna *Spirorutilus carinatus*, v hlubším podloží převaha facií s aglutinovanými foraminiferami

střední-vyšší baden bývá označován jako zóna lagenidová (spodní a svrchní), převládají foraminifery čeledi *Lagenidae*



Obr. 3. Depoziční systémy rakouské a slovenské části vídeňské pánve (Baráth *et al.* 2001).

2.2.3 Svrchní baden

Poslední doložená transgrese zalila téměř celou za obloukovou oblast, je datována ke svrchnímu badenu (cca 13,6 mil. let) a je doložena druhem *Velapertina indigena* a společenstvy neogenního vápnitého nanoplanktonu zóny 6 (NN6). Zlomová aktivita pokračovala a způsobovala rozšiřování pánve. Trend změlčování oblasti pokračoval a svrchnobadenská depozita se ukládala i na recentních elevacích, ukládaly se litorální až sublitorální písky, místy s řasovými biostromami. Pokračovala sedimentace hrušeckého souvrství s mikrofaunou bulimino-bolivinové zóny (*Bolivina dilatata maxima, Bulimina intonsa*; Brzobohatý 2003).

V centru pánve byla nalezena sekvenční hranice typu SB 2 bez vazby k erozi, naproti tomu v okrajových částech je zřetelná hranice SB 1 se subaerickým, erozivním povrchem. Hranice typu SB 1 je tvořena zjevnou úhlovou diskordancí v severních částech vídeňské pánve. Pozdní baden leží transgresivně na svém podloží.

Během mořské záplavy (TST) se ukládaly sedimenty již mimo moravskou část vídeňské pánve. Při maximálním stavu hladiny v závěru cyklu jsou známy další poklesy salinity, tvorba bariér, lagun a estuárií (Jiříček 2002).

2.2.4 Sarmat

Sedimenty sarmatu tvoří pouze bílovické souvrství, které rozdělil Jiříček (2002) do pěti zón (A-E) na základě výskytu specifických druhů měkkýší fauny. Pohyby na zlomech nadále pokračovaly, ale s výrazně nižší intenzitou. Daleko vážnější byly eustatické změny, které měly za následek ústup moře v moravské části vídeňské pánve. Docházelo k ukládání převážně deltových a lagunárních deposit. Na konci stupně sarmat došlo k transgresi, která zasáhla až do nově vznikajícího hradišťského příkopu.

2.2.5 Pannon

Během pannonu došlo ve VP k zásadní změně. Došlo k definitivnímu ústupu moře z pánve, to znamená, že se ukládala pouze terestrická depozita. Tento vývoj je, společný pro celou oblast Paratethydy, a spojuje se s messinským eventem – periodické vysychání rozsáhlé vodní plochy, kterou dnes nazýváme Středozemní moře. Pannon je obdobím dalšího vyslazování této pánve, která se pozvolna tranformuje na vyslazený mořský záliv.

V nadloží pannonu se po hiátu uložily horizonty pestré serie sedimentů, převážně hrubozrné až písčité štěrky s čočkámi křemenných písků. Jedná se o jezerní a říční depozita zachovaná pouze jako denudační relikty. Významným fenoménem v tomto stupni je vznik významných uhelných slojí (Jiříček 2002).

gbelské souvrství

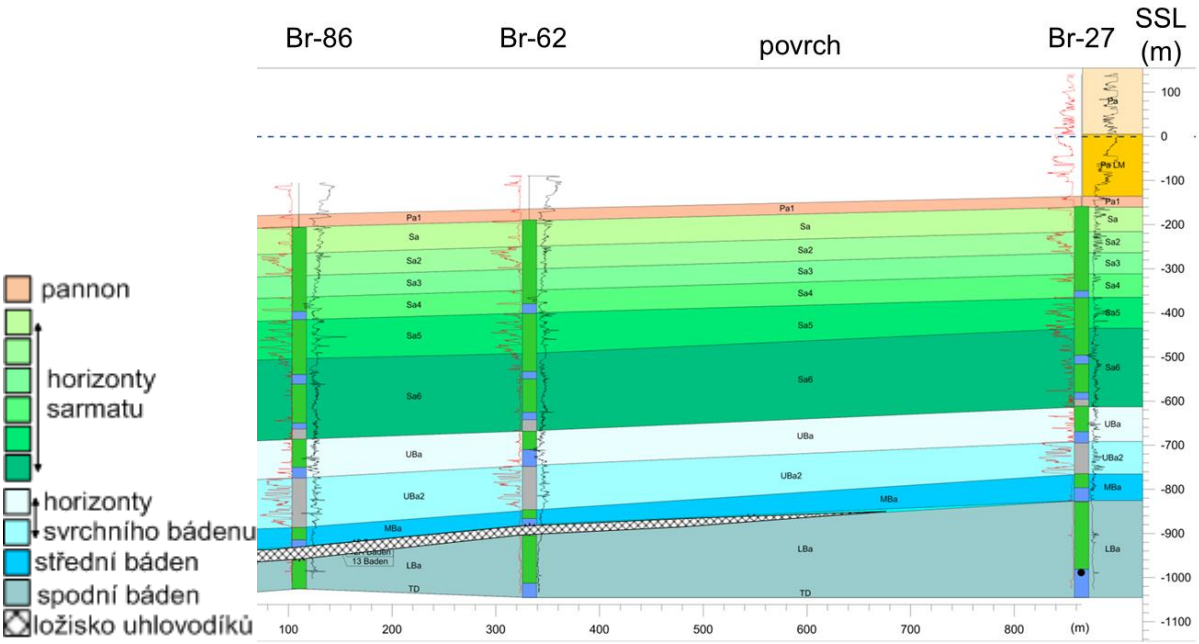
převažuje sladkovodní, jezerní sedimentace jílů v aridním klimatu

dubňanské souvrství

areál vídeňské pánve se mění na sladkovodní liman, dubňanská sloj

bzenecké souvrství

převaha psamitické sedimentace četné nálezy makrofauny, velký pannonský písek, kyjovská lignitová sloj



Obr. 4. Stratigrafický profil, který byl vytvořen na základě sekvenční stratigrafie a karotážního měření vybraných vrtů.

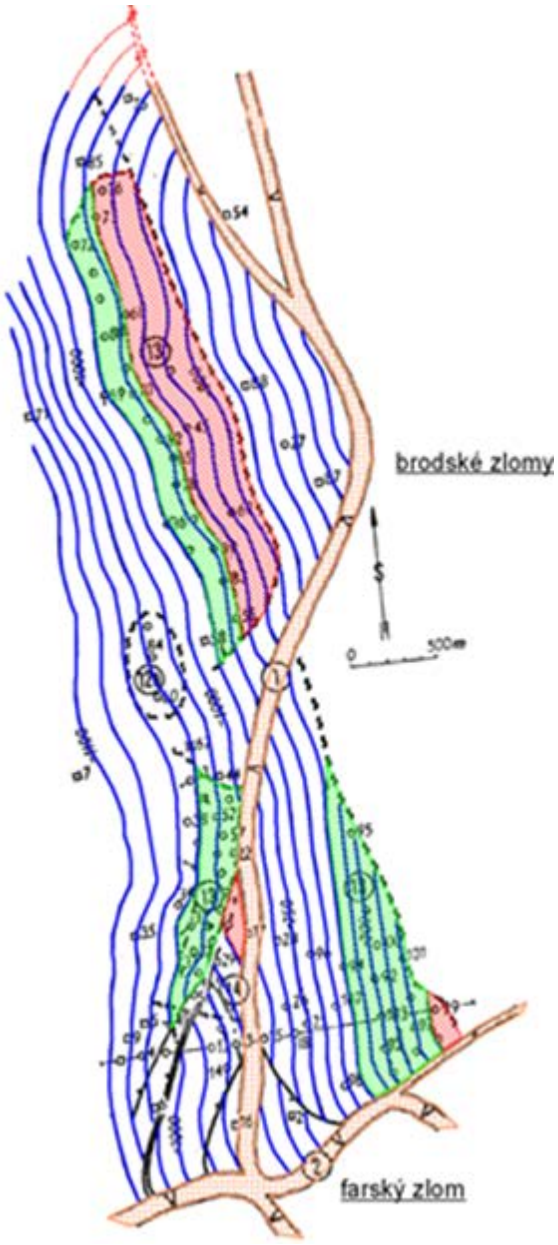
2.3 Ložiska uhlovodíků ve vídeňské pánvi

V jihomoravské části vídeňské pánve byly objeveny akumulace uhlovodíků ve všech stratigrafických stupních neogenní výplně, od eggenburgu až po sarmat. Nejproduktivnějším ložiskovým horizontem je takzvaný lábský obzor, který je situován ve stupni středním badenu. Primární ložiska uhlovodíků jsou vázána na regionálně významné zlomy JZ-SV směru. Výše uvedené zlomové systémy vymezují základní tektonické kry pánve, od západu je to rakvická kra, mistelbašská kra, moravská ústřední prohlubeň a hodonínsko-gbelská hrásť. Moravská ústřední prohlubeň sousedí na JV s hodonínsko-gbelskou hrástí, od které je oddělena pomocí lanžhotského a lužického zlomového systému. Rozdíl výšek podél lanžhotského zlomu dosahuje místy až 500 metrů (Arzmüller *et al.* 2006).

2.3.1 Geologické poměry na ložisku Brodské

Produktivní obzory ropy a zemního plynu jsou soustředěny na stupně baden a sarmat. Ložiska jsou nejrozšířenější v badenu, kde docházelo k vrstevním migracím a vytlačením z nadložních i podložních mateřských vrstev a následné kumulaci uhlovodíků. Některé akumulace uhlovodíků jsou ohraničeny litologicky a jejich migrace způsobily vyklenování i zahlubování terénu centrální oblasti pánvi a úklony vrstev (Bílek 1974).

V době, kdy se uložily mocné horizonty písků středního badenu, došlo k naplnění pastí ropou a plynem vznikal brodský zlom, který rozdělil akumulace uhlovodíků do dvou ker. Větší část zůstala na pokleslé kře, menší na vysoké.



Obr. 5. Izoliniová strukturní mapa středního badenu ložiska Lanžhot-východ (Bílek 1974, upr)

Část lokálních akumulací je uzavřena v nadloží 13. a 14. písčitého horizontu středního a svrchního badenu. Hlavním roponosným obzorem celé ložiskové struktury jsou písky

středního badenu, odpovídající labskému obzoru. Kolektorem ropy a plynu jsou jemně až středně zrnité písky s dobrou propustností (Bílek 1974).

Tabulka 1. Ložiska jihomoravského revíru ve vídeňské pánvi podle (Baráth *et al.* 2001):

název ložiska	rok objevení	geologické stáří	typ reservoáru	porozita %	převažující surovina	status produkce
Břeclav	1946	baden	klastika	15	ropa a plyn	pozitivní
Brodské	1951	baden	klastika	20	ropa	pozitivní
Hodonín	1920	sarmat	klastika	15-20	ropa a plyn	pozitivní
		baden	klastika	20		
		spodní miocén	klastika	18-20		
Hrušky - Josefov	1959	sarmat	klastika	15-25	ropa a plyn	pozitivní
		baden	klastika	20		
		karpat	klastika	18-20		
Kostice	1953	sarmat	klastika	15-25	ropa a plyn	neznámá
		baden	klastika	20-25		
Lanžhot	1957	sarmat	klastika	20	ropa a plyn	sanační r.
		baden	klastika	15		
Týnec	1959	Račanská jed.	klastika	15-20	ropa a plyn	pozitivní
		spodní miocén	klastika	15-18		
Prušánky	2001	sarmat	klastika	20-25	plyn	pozitivní

2.4 **Charakteristika prostředí studované lokality**

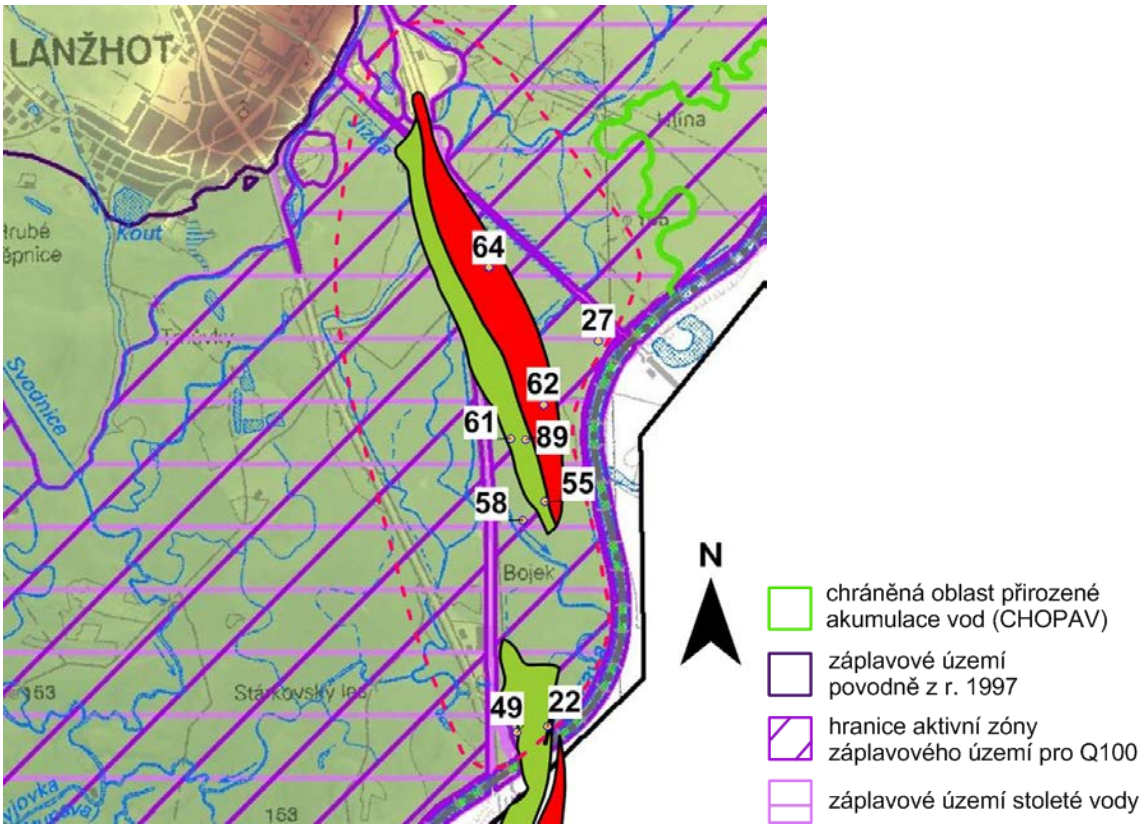
Zkoumaná lokalita je situována v soutokové oblasti Dyje a Moravy ve výškově vyrovnaném terénu. Terén ložiska Brodské je tvořen především lužními lesy, vřesoviště, močály, lukami, zemědělsky využívanými poli i lesy. Oblast je stále dotována vodou řek Morava a Dyje, které zde zanechaly během paleovývoje rozsáhlé akumulace sedimentů. V mocném komplexu říčních niv je zachována poměrně hustá drenáž kanálů a mrtvých ramen řek, které komunikují s řekami jen výjimečně, nebo vůbec (Janderková *et al.* 2015).

Fotopříloha 1. Fotomozaika typů prostředí studovaných lokalit.

1. luční porost
2. vřesoviště a močály
3. okraj lužního lesa
4. lesní cesta, okraj lužního lesa

Studovaná lokalita byla posouzena z klimatologického hlediska *citace citace*, a zařazena do zóny teplé T4 s průměrnými teplotami 9 až 10°C. Pro oblast je charakteristické dlouhé teplé léto s nejteplejším měsícem červen, teplota vzduchu dosahuje v průměru 19 až 21°C. Krátké relativně teplé přechody mezi létem a zimou, teplotní průměry měsíců listopad a říjen jsou velmi podobné mezi 9 až 11°C. Zima je většinou krátká, suchá až velmi suchá, sněhová pokrývka nemá dlouhodobé rozšíření. Nejchladnější měsícem je leden, kdy teploty dosahují v průměru -1 až -3°C (Janderková *et al.* 2015).

Průměrný úhrn srážek za rok na lokalitě se pohybuje cca 500 – 600mm. Největší množství srážek je zaznamenáno v měsíci červen a červenec, naopak nejmenší množství je v únoru. V rámci vegetačního období (od dubna do září) padá průměrně 300 – 350mm. V zimních měsících je úhrn okolo 200 až 300mm. Bouřkových dní bývá přibližně 20 do roka.



Obrázek 6. Mapový podklad širšího území záplavové oblasti s lokalitami terénního měření a ropo-plynným ložiskem Lanžhot-východ podle (Janderková *et al.* 2015, upr.).

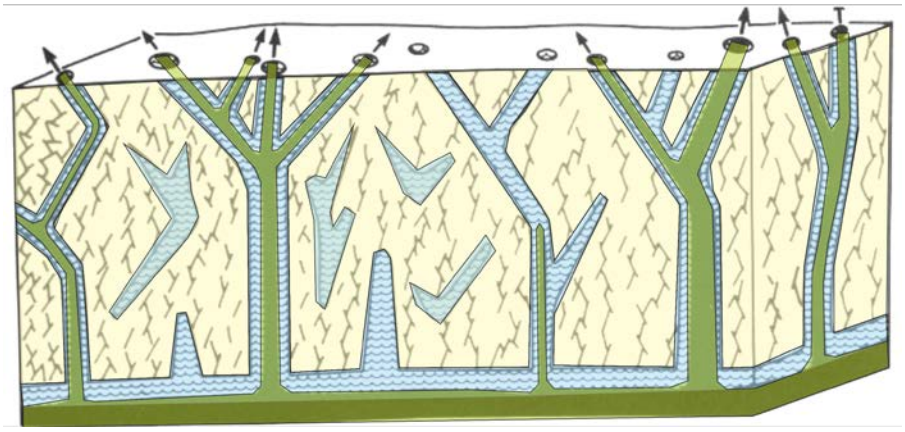
Charakteristické proudění vzduchu pro danou oblast, v rámci vegetačního období je severozápadní vergence.

Poté se postupně stáčí a v zimních měsících je proudění dominantní ve směru jihovýchodním. Větrné poryvy dosahují nejvyšších rychlostí zejména od března do května, naopak nejnižší rychlosti jsou registrovány v září a říjnu.

Zkoumaná lokalita patří mezi nejsušší a nejteplejší v republice. Na většině území převládá nízký specifický odtok podzemní vody běžně okolo 2 $l*s^{-1}*km^{-2}$. Tato bilance je vysvětlována na základě vztahu, mezi nízkým úhrnem srážek s vysokými průměrnými teplotami na lokalitě, a vysoký výparem (Janderková *et al.* 2015).

2.4.1 **Mělký oběh v první zvodni na typové lokalitě**

Systémy podzemní vody jak s lokálním tak s regionálním typem proudění ovlivňují směr migrace uhlovodíků. Proudění vody je především horizontálního charakteru a vertikální migrace plynů je z velké míry podřízena dominantnímu proudění vody.



Obr 7. Ilustrační příklad migrace uhlovodíků (zelená) v zavodněném půdním systému.

Mělký oběh vod v první zvodni je soustředěn v kvarterních, fluviálních sedimentech řek Dyje i Moravy, a to především v sedimentech údolní nivy a říčních terasách.

Říční niva buduje nejnižší úroveň terénu, v této úrovni meandrují významné řeky, které zde tvoří erozní bázi, drobné vodoteče a mrtvá ramena. Tento nivní komplex je tvořen dvěma typy faciálních souvrství (Janderková *et al.* 2015).

V podloží nivy převládají s proměnlivým poměrem písčité a štěrkovité frakce, které dosahují místy až 10 m, běžný rozsah je od 5 do 7 m. Vznik těchto poloh je spojován s říční sedimentací meandrujících koryt, která jsou zahloubena v odlišných úrovních. Ve svrchní

souvrství dominují povodňové hlíny o průměrné mocnosti 2 až 4 m. Je tvořeno jemně zrnitými, soudržnými a velmi špatně propustnými sedimenty.

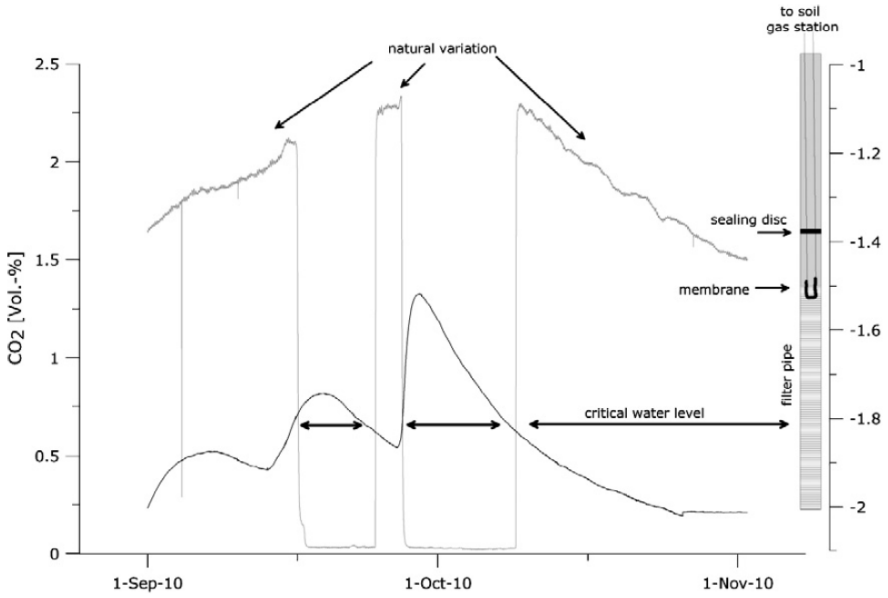
Propustné kolektory hornin v kvarterních uloženinách jsou tvořeny, převážně spodním souvrstvím říční nivy, štěrky, štěrkopísky a písky s proměnlivou vytříděností i zrnitostí. Těsnící a krycí funkci mají povodňové hlíny, svrchního souvrství říční nivy, které jsou velmi slabě až slabě propustné, a proto dochází k míšení srážkových a podzemní vod jen velmi omezeně.

V prostoru mrtvých ramen a řek je koncentrováno větší zastoupení hrubě až středně zrnité frakce, proto mají geologické nadložní vrstvy vyšší pórovitost a permeabilitu než je průměr širšího okolí. A tudíž je Migrace plynů limitována pouze propojeností souvrství.

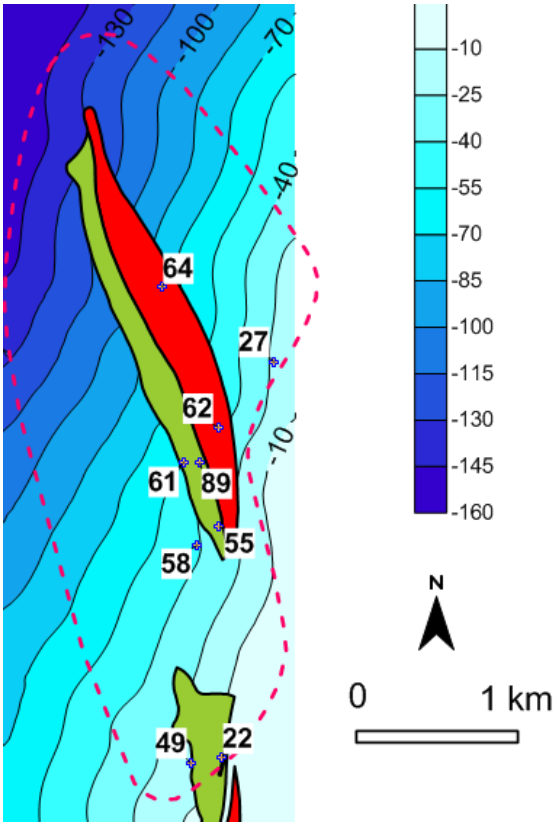
V prostoru záplavových oblastí převládají povodňové hlíny s nízkou pórovitostí a permeabilitou. Zde je migrace plynů vázána na toky podzemní vody (Janderková *et al.* 2015).

V zamokřené poloze je vertikální výstup plynů téměř zastaven, pak dochází ke zvyšování koncentrace, disperzi ve vodě a k horizontální migraci. Všechny tři jevy bývají přítomny současně, ale s odlišným zastoupením. Epizodicky dochází k vysušování povrchových, jinak běžně zamokřených, poloh a uvolnění půdních plynů přes vyschlý povrch.

V geologickém záznamu je zachyceno překrývání sedimentů koryt a povodňových hlín v několika úrovních, jeto důkaz meandrování a přepínání koryt řek v minulosti.



Obr 8. Ukázka výsledků Schlöemer (2003) závislost mezi hladinou podzemní vody a migracemi plynů (prezence vody=asbsence plynů X absence vody=prezence plynů).



Obrázek 9. Mělký oběh vod v první zvodni na typové lokalitě (Janderková *et al.* 2015, upr.).

2.4.2 Převládající druhy půd na typové lokalitě

Složení půdního pokryvu je odrazem vztahu půdotvorných faktorů a klimatických podmínek. Mezi nejdůležitější půdotvorné faktory řadíme druh výchozí matečné horniny, aktivita organismů, tvar reliéfu a čas.

Studovaná oblast Dyjsko-moravské nivy spadá do pedoregionu moravských poříčních půd s převládajícími fluvizeměmi, gleji a regozeměmi.

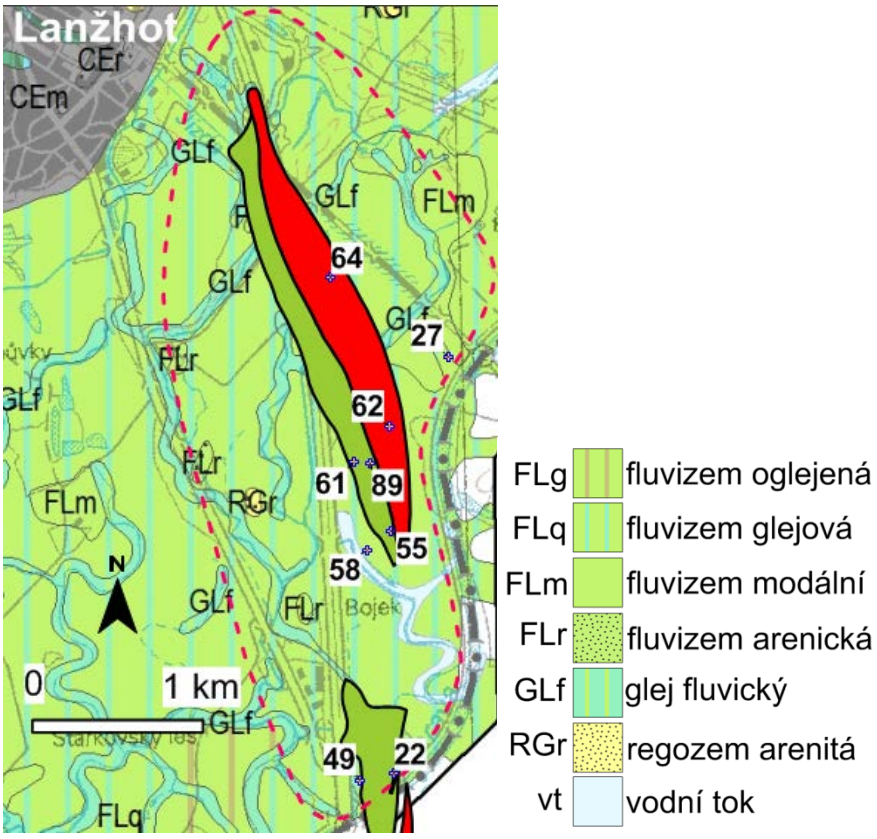
Regozemě vznikly z nezpevněných sedimentů procesem humifikace. Od nejúrodnějších černozemí se liší méně vyvinutým humusovým horizontem a nižší stupněm humifikace. V zájmovém území je vyvinut spíše subtyp regozemě arenická s vyšším podílem písku. Dominantním půdním typem v oblasti je fluvizemě. Fluvizemě vznikají z aluviálních sedimentů v blízkosti vodních toků. Často jsou v nich přítomny uzavřeniny humusových poloh, na lokalitě bylo odlišeno několik subtypů fluvizemě: modální, arenická, glejové a oglejené (Janderková *et al.* 2015).

V říčních nivách, vzniká vedle fluvizemí, půdní typ glej. Gleje se tvoří půdotvornými procesy v podmínkách trvalého nasycení vodou ve spodní části profilu, především v depresích, kde je hladina vody vysoko. Gleje a fluvizemě často plynule přechází mezi sebou a nelze je vždy přesně odlišit (Janderková *et al.* 2015).

V glejích jsou utlumeny oxidační reakce, protože jsou nasyceny vodou. V této půdě, tak mohou snadno probíhat redukční procesy za spoluúčasti mikroorganismů. Dochází zde ke spotřebě volného kyslíku a hromadění organických látek v půdě.

Rhizosféra je tenká vrstva půdy obklopující kořeny rostlin. Od půdy bez kořenů se liší: chemickým složením, strukturou půdy, nižší pH a Eh, biologickou činností a zvýšenými obsahy CO_2.

Sorpční komplex neboli organo-minerální komplex ovlivňuje kovalentní vazebnou kapacitu (KVK) čili množství kationtů, která je půda schopna poutat při pH 7. Dále se dělí na efektivní (kolik je v daném konkrétním pH vazebných míst) a potenciální (nejvyšší hodnota vazebných míst při zvýšeném pH).



Obrázek 10. Pedologická mapa s vyznačenými lokalitami a ložiskem Lanžhot-východ (Janderková *et al.* 2015, upr.).

Půdní typy a jejich vliv na migraci půdních plynů

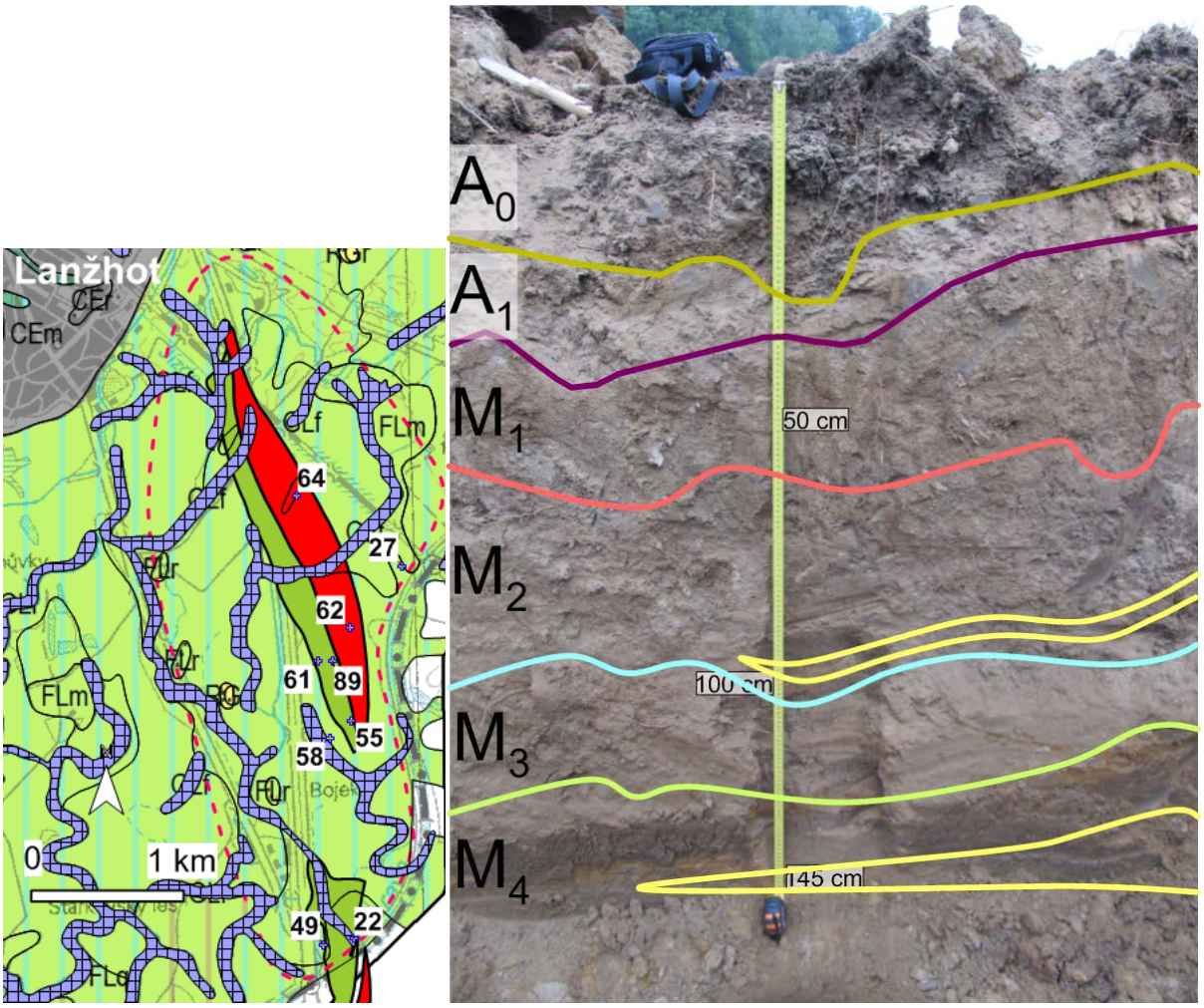
Polohy až čočky písku a suché jíly jsou většinou dostatečně pórovité a permeabilní pro migrace plynů. Vrstvy tvořené tímto materiálem jsou ideální jako kolektory půdního vzduchu. Na druhé straně, vlhké až mokré jíly i zavodněné polohy půdy mají převážně tendence k nízké pórovitosti a permeabilitě. Tento typ kompozice má vlastnosti izolačních vrstev, ale jen za předpokladu dotace vody. V případě když poklesne hladina podzemní vody, nebo po déletrvajícím suchu, jsou tyto půdní součástky vysušeny a jejich charakter se posouvá do funkce kolektoru (Schlöemer 2003).

Tabulka 2. Orientační přehled sorpční kapacity nejběžnějších půd přirovnané k půdám na lokalitě.

půdní druh = přirovnání	sorpční kapacita (mmol(+)/100g)
písčitá = fluvizem arenická	2 – 10
hlinitá = fluvizem modální	20 – 30
jílovitá = glej	40 – 50
organické půdy = humus hor.	60 – 80 až 150

Tabulka 3: Seznam navštívených lokalit s popisem půdy a prostředí.

č.vrtu	datum (dd:mm:rr)	zóna ložiska	popis půdy	popis lokality
Br-22	5.8.2015	oil zone	jílovito písčitá hlína, nízký vegetační pokryv, vlhké , suchý povrch	louka, záplavová oblast, poblíš Moravy (50 m)
Br-27	16.3.2016	out	písčitá hlína, hlína bohatá na humus a písek, vlhké, prokypřená část 30x30 cm	lesní cesta, na hranici louka/les
Br-27	21.3.2016	out	písčitá hlína, hlína bohatá na humus a písek,	lesní cesta, na hranici
Br-49	5.8.2015	oil zone	jílovito písčitá hlína, nízký vegetační pokryv, vlhké , suchý povrch	louka, záplavová oblast, poblíš Moravy (70 m)
Br-49	3.12.2015	oil zone	jílovito písčitá hlína, nízký vegetační pokryv, vlhké , suchý povrch	louka, záplavová oblast, poblíš Moravy (70 m)
Br-55	16.3.2016	oil zone	jilovito-písčitá půda, málo vyvinuty humusový hor. hladina 40 cm pod povrchem	lužní les
Br-58	16.3.2016	out	jilovito-písčitá půda, málo vyvinuty humusový hor. hladina 20 cm pod povrchem	lesní cesta okraj lužního lesa
Br-61	16.3.2016	oil zone	povrch suchý, ve sloupci asi 15 cm pod povrchem voda, v okolí nasypaný materiál z	lesní cesta lužní les
Br-62	3.11.2015	gass zone	hlinito-písčitá půda, biota	lesní cesta lužní les
Br-62	16.3.2016	gass zone	zavodněné 1, vlhké 2, suché 3 4 5, hlinito-písčitá půda, biota, 60 cm pod povrchem voda	lesní cesta lužní les
Br-64	3.11.2015	gass zone	písčito jílovitá hlína, suché	lesní cesta lužní les
Br-64	3.12.2015	gass zone	písčito jílovitá hlína, suché	lesní cesta lužní les
Br-64	21.3.2016	gass zone	vykopaná sonda 50 cm hladina vody 40 cm , písčito jílovitá hlína, zavodněné	lesní cesta okraj lužního lesa
Br-89	16.3.2016	oil zone	suché, ve sloupci asi 60 cm pod povrchem voda, v okolí nasypaný materiál z vrtné	lesní cesta lužní les



A0 humusový horizont, známky biologické aktivity, v době profilování vlhký
A1 ostrý přechod humusového horizontu, v době profilování suché
M1 fluvizem modální slabě oglejené, vyšší podíl písčité frakce
M2 fluvizem modální slabě oglejené, vložky písku
M3 fluvizem modální slabě oglejené, vložky písku
M4 fluvizem modální slabě oglejené, vyšší podíl písčité frakce, průsaky vody

Obr 11. Půdní profil z lokality Br-22, vypracován ke dni 17.8.2015..

2.5 Atmogeochemie v prospekci, monitoringu a sledování globálních změn

Atmogeochemie jako vědní disciplína je zaměřena na složení půdního vzduchu v připovrchové zóně Země, to znamená první desítky metrů pod povrchem. Sleduje fyzikálně chemické změny plynů, coby projevy migrací, které mohou sloužit k lepšímu pochopení a k upřesnění výskytu migračních drah uhlovodíků. Jednou z nejběžnějších metod pro detekci a projekci povrchového modelu sledovaných anomálií je spojena s měřením uhlovodíku v kapalné i plynné fázi, které mají neustálou tendenci migrovat směrem k připovrchové zóně, anebo k povrchu. Jako média pro uhlovodíky vhodná k pořizování dat jsou půda, atmosféra, vodní sloupec oceánu, sedimenty oceánského dna, první zvodeň a povrchová dynamická voda.

2.5.1 Složení půdního plynu

Půdní prostředí je specifický otevřený systém, jenž si neustále v závislosti na atmosférických podmínkách (jako například teplota, srážky, tlak) předává a vyměňuje velké objemy plynů. Výměna plynů mezi atmosférou a půdou je neustále se opakující proces citlivý na vnější vlivy, tento děj můžeme pozorovat několik metrů pod povrchem. Během slunného dne se vlivem tepla půdní plyny rozpínají a následně část uniká po dosažení povrchu do atmosféry. Když se teplota razantně sníží, příkladem přes noc, půdní plyny zmenší svůj objem a dochází k vtahování vzduchu bohatého na kyslík z atmosféry, resp. z plynného prostoru nad povrchem. Dalším významným činitelem je voda nejen v podobě srážek, některé plyny jsou snadno rozpustné ve vodě za atmosférických podmínek, půda nasákne vodu s rozpuštěnými plyny, které se za vhodných termo-barometrických podmínek uvolní. V neposlední řadě atmosférický tlak ovlivňuje množství vzduchové výměny mezi sférami (Schlöemer 2003).

K nejvážnějším plynům řadíme dusík, kyslík, oxid uhličitý, uhlovodíky a jejich deriváty. Dusík zůstává poměrně konstantní přibližně k 80% až do úrovně hloubky, po kterou probíhá výměna plynů s atmosférou, ta je unikátní pro každou oblast. Míra kyslíku se do 6 m blíží k 20%, reaguje inverzně s oxidem uhličitým, kterého je běžně kolem 1% a může se vyšplhat až k 5%. Inverzní reakce, tj. v případě zvýšené koncentrace oxidu uhličitého se snižuje množství kyslíku, které bylo spotřebováno na syntézu CO_2 a naopak.

Naftová prospekce se zabývá především uhlovodíky či jejich deriváty a oxidem uhličitým ostatní plyny, jako kyslík, dusík jsou doprovodné předměty pozorování.

Nejběžnější uhlovodíky, které lze v půdních horizontech měřit je skupina alkanů. Základní alkany tvoří podstatnou součást ropy. Jsou to nasycené, převážně jedno vazebné uhlovodíky s obecným vzorcem C_nH_{2n+n}

2.5.2 Migrace uhlovodíků v sedimentárních pánvích

V případě, kdy masa ropy „přibrzdí“ o izolační vrstvy, jsou známy následující typy forem transportu k povrchu:

- difuze
- kompakce
- efuze
- strukturní poruchy

Difuze je jev, při kterém se po určitém časovém úseku nastolí koncentrační rovnováha mezi dvěma látkami v porézním prostředí. Kapalné i plynné uhlovodíky difundují do nadloží o vyšší permeabilitě a vytlačují při tom plyny i vodu z pórů horniny.

Povrchové anomálie mohou být způsobeny i kompakcí. Při vydatných, dlouhotrvajících srážkách, proniká voda podstatně hlouběji a může vytlačovat zpětně uhlovodíky z porézního tělesa. Uhlovodíky se ve vodě rozptylují a migrují směrem k povrchu ve formě koloidních částic až bublinek. Efuze uhlovodíků je chápána jako výlev či vyvrhnutí fluid velkého objemu, obdobně jako extrusivní vulkanický proud. Tento pojem lépe postihuje děj makro a mikroprůniku. Při procesu makroprůniku jsou viditelné stopy ropy na povrchu a dochází k silné efuzi plynných uhlovodíků, které jsou bezbarvé a bez zápachu. Mikroprůnik se liší v objemu emisí plynných uhlovodíků a absencí viditelné ropy na povrchu (Saeed 1991).

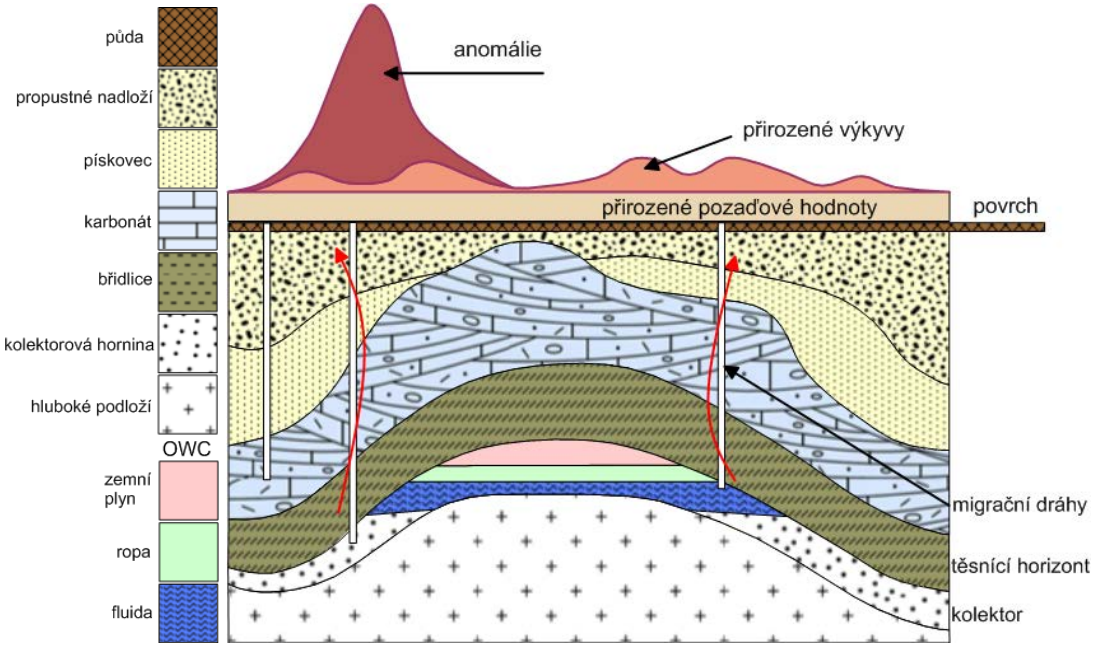
2.5.3 Sorpce plynů na organickou hmotu

Lokalita je situována v záplavové oblasti, s dotací vody ze soutoku řek Morava a Dyje. Jemnozrnný říční materiál je ideální substrát pro vegetační pokryv. Vegetace je zde často zaplavována a utopena v hlinito-písčité hmotě. Takto postupně odumírající biota je vhodná pro pomnožení širokého spektra bakteriálních společenstev. Polohy s bakteriemi jsou vázané na vlhké až mokré vrstvy s organickými zbytky, typicky v hloubce kam nedopadá sluneční záření, ale proniká atmosférický kyslík. Z organické hmoty v různé fázi rozkladu v zamokřeném prostředí, se uvolňují v odlišné míře huminové látky, v závislosti na okolní teplotě a dostatku reaktantů (Schlöemer 2003).

Huminové látky jsou přírodní organické sloučeniny, které vznikly rozkladem organických zbytků, převážně rostlinných. Obtížně podléhají dalšímu rozkladu, výrazně mění pH/Eh potenciály v kapalině i půdě. Dále se dělí následovně:

- fulvonové kyseliny
- huminové kyseliny
- huminy

Fulvonové kyseliny jsou rozpustné ve vodě nezávisle na hodnotě pH prostředí. Ze skupiny látek mají nejsvětlejší barvu, žlutá až hnědo-žlutá. Huminové kyseliny jsou rozpustné jen v případě, že pH vody je 2 a nižší. Typická barva těchto kyselin je hnědá až hnědo-černá.
Huminy jsou ve vodě zcela nerozpustné a běžně mají černé odstíny. Huminové látky obecně mění sorpční vlastnosti látek. Při styku huminových látek s uhlovodíkovým plynem dojde k sorpci uhlovodíků na organické kyseliny. Tato vazba je velmi stabilní.

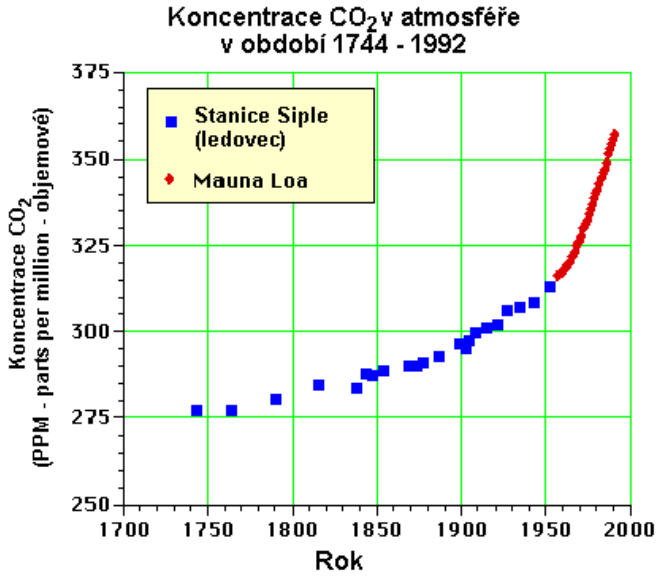


Obrázek 12. Schéma projevů anomálií v připovrchové zóně a migrace plynů přes těsnící horizont směrem k nadloží.

2.5.4 Referenční vzduch z o. Hawai, Mauna Loa

V diplomové práci byly použity údaje od agentury Národní úřad pro oceán a atmosféru (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) o světovém referenčním objemu CO_2 z ostrovů Hawai, Mauna Loa (referenční koncentrace CO_2 pro celou Zeměkouli). Byly použity měsíční trendy pro jednotlivé měsíce v terénu.

Laboratoř svá data pravidelně aktualizuje. Koncentrace světového standardu oxidu uhličitého je $CO_{2\ ref}$ = 407ppm (květen 2016). Povrchový signál atmosférického CO_2 na Mauna Loa ve vybraných měsících:



Obr. 13. Graf vývoje koncentrace CO_2 v atmosféře v letech 1744 – 1992.

Tabulka 4. Vývoj referenčního CO_2 v jednotlivých měsících.

datum (měsíc rok)	Mauna Loa (ppm)
srpen 15	399
listopad 15	400
prosinec 15	402
březen 16	405
květen 16	407

2.5.5 Vliv člověka na složení půd typové lokality

Na ložisku Brodské byla zahájena těžba k roku 1951. Při konstrukci nového vrtu je zásadní stabilní a pevné podloží, proto se okolí vrtu musí upravit. Povrch je třeba několikrát vyrovnat a zhutnit, během realizace je navezena spousta cizorodého materiálu, především písku. Na závěr je celý úsek pokryt panely ze stavebního železo-betonu (obr. 14). Tyto panely jsou odolné a stálé vůči povrchovým podmínkám na velmi dlouhou řadu let.

Jeden panel tvoří prakticky nepropustnou vrstvu pro jakékoliv plyny a kapaliny, ale na jeho kontaktech s ostatními panely je relativně volný, porézní prostor. To je jedno z vysvětlení, proč byly během terénních analýz půdních plynů na stejné lokalitě vrtu, o stejném datu nalezeny místa bez výskytu uhlovodíků a sektory bohaté na uhlovodíky (metan i vyšší plynné uhlovodíky).

Anomálně zvýšené hodnoty uhlovodíků jsou registrovány už od 50. let 20. století až po současnost. Není tak prosté vyrovnávat povrchové podmínky s těmi ložiskovými, a proto čas od času dojde například k efuzi uhlovodíků na zemský povrch, technologických havárií, anebo makroprůsakům ve vodě i půdě. Následující příklady se staly na sousedních ložiscích.

V roce 1973 vrt Gbely B-13 eruptoval a následně vzplanul, rok 1980 vrt Hrušky 116 a 225 silná erupce a roztrhání vrtné konstrukce. S těžbou je spojena i řada technologických omylů a problémů příkladem mohou být havárie vrtů Hrušky 11 a Břeclav 25 v letech 1960 až 1962, kdy došlo k silným erupcím vody. Havárie, která se stala přímo na typové lokalitě, lze považovat zacementování vrtu po silné tlakové změně v roce 1957 Lanžhot 3 (dnešní Br-3) (wiki AAPG).

Obr. 14. Betonová základna vrtu porostlá mechem (červené linie) a betonové ostatky skeletu základny vrtu (modré linie).

2.5.6 Difuze přes vynucený odtah

Během nasávání půdního vzduchu přístrojem, dochází k difuzi plynných uhlovodíků. Difuze těchto uhlovodíků přes polohy nasycené vodou, vede částečně k jejich rozptýlení v celém, souvislém objemu kapaliny (kapalná, srážková, spodní voda). Přístroj Ecoprobe5 není koncipován k měření rozpuštěných, či jinak rozptýlených uhlovodíků v kapalině.

(hydrostatický tlak je v hloubce menší než geostatický). Plyny obecně migrují, z míst s vyšším tlakem do míst s nižším tlakem. Proto se plyny, které vniknout do kapaliny, velmi ochotně rozptýlí (disperze). V praxi to znamená, že objem plynných uhlovodíků, který se dostal k povrchu přes polohy nasycené kapalinou, je ve výsledku do jisté míry podhodnocen. Kapalná voda (různého původu) klade odpor při průchodů uhlovodíkových plynů přes hladinu vody. Naopak během suchých měsíců (červenec až září) se hladina podzemní vody ztenčuje a

s tím i velikost prostoru, který je ovlivňován kapilární třásní. Uhlovodíkové plyny tak mohou snáze migrovat k povrchu (Hunt 1995).

2.5.7 Proces relikvidace vrtných děl na typové lokalitě

Veškerá vrtná díla mají omezenou životnost a je proto nutné po překročení životní záruky, daný vrt příslušně „ošetřit“. V praxi se vrty po určité době přeměřují na sledované plyny, příkladem mohou být skupiny uhlovodíků. Výsledná data se porovnávají a v případě, že objemy plynů překročí meze je nutná opětovná sanace vrtného díla. Proces (re)sanace probíhá ve zkratce následovně (viz. fotopříloha 4):

1. obnaží se ústí vrtného díla
2. připraví se terén pro vrtací soupravu, která je schopna dosáhnout minimálně konečné hloubky vrtu
3. vrt je opět převrtán, vycementován a v perforovaných úsecích je přidán cementový můstek
4. kontrola projevů plynů na povrchu nad nově zlikvidovaným ústím

2.5.8 Otevřený versus polouzavřený půdní systém v

Otevřený půdní systém aktivně komunikuje se svým širokým okolím, cyklicky dochází ke koloběhu a migraci plynných látek. Tento typ systému je charakteristický, dlouhodobě vyrovnanými oscilacemi koncentrací půdních plynů, které reagující na vnější podmínky s jistým opožděním. Na lokalitě je otevřený systém registrován v podobě arenických fluvizemí, které jsou bohaté na písčitou složku.

Polouzavřený systém komunikuje se svým širokým okolím omezeně. Půdní plyny sem difundují obtížně přes polozavodněné, jílovité podloží. Cirkulace plynů je zde ovlivněna přítomností společenstev bakterií, které svým životním cyklem vážně ovlivňují poměry půdních plynů, které unikají k povrchu. Polouzavřené systémy jsou citlivé na déle trvající změny vnějšího prostředí. Zároveň jsou vhodné pro kolonie bakterií, které jsou závislé na stálém pH. Na ložisku Brodské je tento typ reprezentován fluzeměmi s různým stupněm oglejení a gleji (Hinrichs 2000).

3 METODIKA

3.1 Metodika atmo-geochemického monitorování

Pro kvalifikaci a kvantifikaci hodnot půdních plynů z terénních měření na lokalitě je použita metodika Ecoprobe5. Pro zvýšení věrohodnosti dat, bylo využito více způsobů odběru vzorků. Proběhl bodový i plošný sběr dat, hodnotily se rozsahy kontaminací pomocí souřadné sítě.

Obr. 15. Terénní analyzátor půdních plynů Ecoprobe5.

Metoda je nedestruktivní, nepoškodí ani neznečistí studovaný plyn, díky tomu lze tentýž vzorek využít pro další druhy analýz.

Pro posouzení vztahů geologického podloží s geochemickými projevy migrací plynů, byly provedeny terénní analýzy na složení půdního vzduchu na místech rekultivace vrtů.

Na lokalitě nebylo během ani po zvýšené dotaci vody, měřeno, protože:

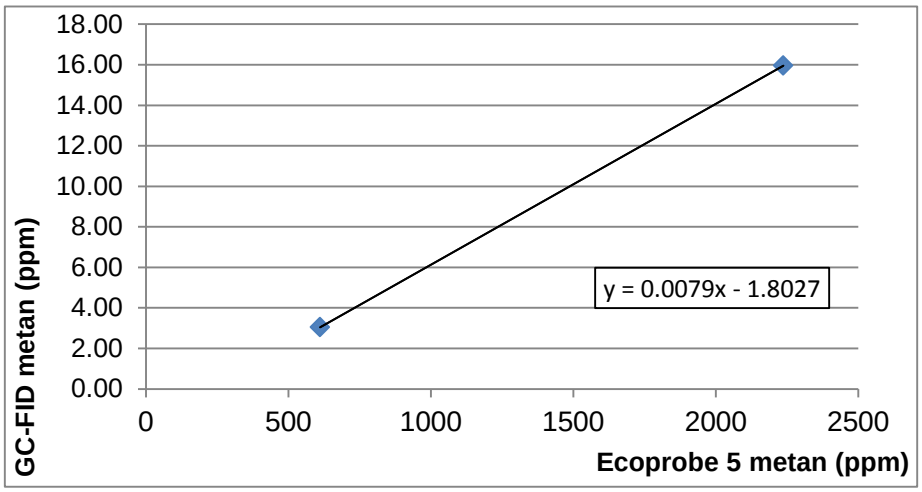
- přístroj není přizpůsoben k separaci a měření uhlovodíků ve vodě
- nespecifikovaný objem plynů je rozptýlen v souvislé úrovni hladiny vody
- podhodnocené výsledky

Zvolená metodika je schopna odlišit oxid uhličitý, selektivní metan, celkové vyšší uhlovodíky a kyslík. Pro terénní analýzy půdních plynů byla použita rozlišovací schopnost infračerveného detektoru.

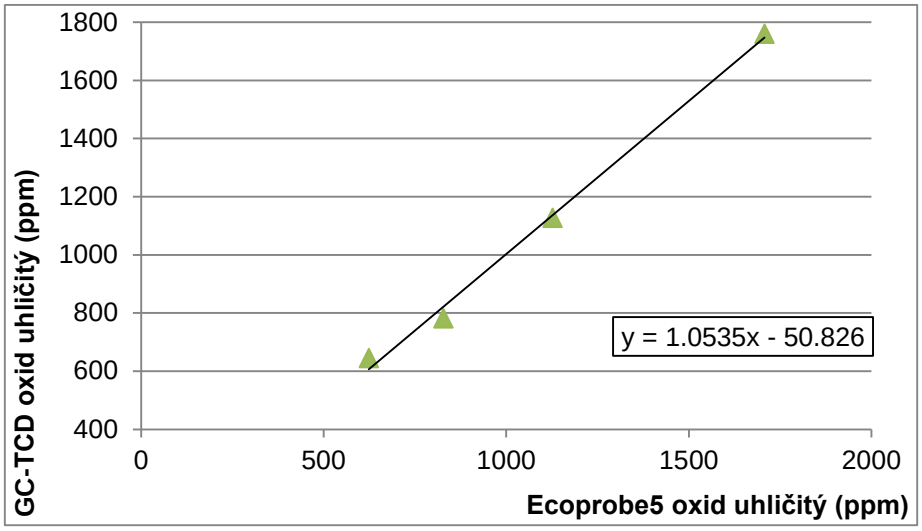
3.1.1 Měřící rozsahy a kalibrace

Přístroj Ecoprobe5 byl kalibrován firmou RS Dynamics použitím sady standardů.

V laboratoři byla změřena známá koncentrace směsí tří referenčních vzorků plynů připravené v laboratorních podmínkách, z dusíku a metanového plynu s obsahem metanu 100ppm 1000ppm a 10 000ppm. Chemické složení použitých referenčních plynů bylo změřeno plynovou chromatografií s tepelně vodivostním a plamenově ionizačním detektorem. Kalibrační diagram je na obr. 17 a 18. Nejistota měření je garantována výrobcem do 0,002% v rámci měřících rozsahů (viz. tab. 5).



Obr. 16. Kalibrační křivka metanu Ecoprobe5 a GC-FID.



Obr. 17. Kalibrační křivka oxidu uhličitého Ecoprobe5 a GC-TCD.

Základní kalibraci provádí výrobce, nebo certifikovaná laboratoř, v tomto případě je nutné, aby přístroj splňoval detekční limit a míru nejistoty. V dostatečné vzdálenosti od zdroje kontaminace je změřen srovnávací vzorek okolního vzduchu, který neobsahuje sledované organické sloučeniny, vůči kterému je měřený vzduch srovnáván a následně vyhodnocen.

Přístroj vyhodnocuje měřená data pomocí dvou typů detektorů, prvním je IR analyzér (Infra Red) a PID analyzér (Photo Ionizated Detector). Většina dat je vyhodnocena IR detektorem. Analýza probíhá v rovině infračerveného záření. Výhodou jsou čtyři nezávislé komory, kde dochází k výpočtu hustoty a identifikaci sledovaných látek, jimi jsou metan, celkové vyšší uhlovodíky (C1 – C4) a oxid uhličitý. Rozlišovací schopnost je v řádech miligramů na metr krychlový, detekční limit je 20 – 500 000ppm, pro celkové vyšší uhlovodíky, selektivní analýza metanu a oxid uhličitý.

Tabulka 5 Měřící rozsahy garantované výrobcem RS Dynamics.

	Měřící rozsahy	
složka	spodní limit	svrchní limit
CH_4 a TP	500 (ppm obj.)	450 000 (ppm obj.)
CO_2	500 (ppm obj.)	450 000 (ppm obj.)

Foto ionizační detektor disponuje mnohem vyšším rozpoznávacím efektem, detekční limit se pohybuje v rovině 0,1ppb tedy 0,0001ppm do 4 000ppm, detekční rozsah je menší než u IR. Lze kalibrovat pro detekci širokých skupin těkavých látek, například chlorované uhlovodíky, aromáty, atd. Rychlost odezvy při výpočtu hodnost se pohybuje kolem půl sekundy. Je vhodný pro detekci mikroprůniků těkavých sloučenin a látek o velmi nízkých koncentrací i pod detekčním limitem IR. Jako nezávislý detektor slouží k ověřování výsledků v terénu i v laboratorním prostředí (Bláha 2004).

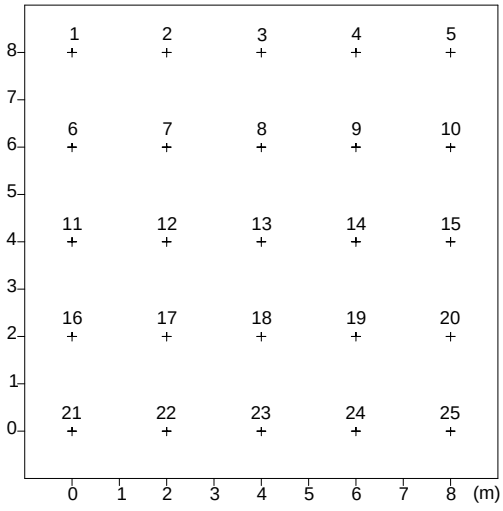
3.2 Způsoby měření v terénu

3.2.1 Kontinuální měření

Způsob kontinuálního měření sloužil k předběžnému průzkumu, má pouze jedno počáteční odečtení od srovnávacího pozadí a nekonečnou sérii měření. Výsledkem bylo nalezení nejvyšší hodnoty obsahu sledovaných složek a lokalizace ploch pro podrobnější, bodové měření.

3.2.2 Bodová měření (mapování)

Pro metodu, bodového měření, byla vytyčena síť bodů s rozestupy cca 1,5 až 2 m. Před vlastním odběrem půdního plynu byl odstraněn vegetační pokryv. Veškerá naměřená data mají svoje globální souřadnice díky propojení s GPS. V každém bodě, ve kterém přístroj zaregistroval zvýšené koncentrace uhlovodíků, byla zaražena hloubící sonda Eijkelkamp do hloubky 60 až 80 cm. Do vzniklého otvoru byla následně zavedena měřící sonda s těsnícím špuntem, který bránil v průniku atmosférického vzduchu do otvoru a vyvětrání půdních plynů do atmosféry. Měřená data byla ukládána do paměti (data logeru) jako průměr a maximální hodnota. Rychlost sání vzduchu byla 0,25 l/s v případě jílovité zeminy a 0,5 l/s v písčitých vrstvách. Po vyhodnocení půdního plynu byly vzniklé otvory zasypány.



Fotopříloha 2. Vyznačení bodové sítě na lokalitě Br-49 v prosinci 2015.

3.2.3 Měření toku (flux)

Měření toku plynů z horninového prostředí do atmosféry bylo provedeno komorovou metodou. Komora byla umístěna na půdní podklad zbaveného živé vegetace a mělkých kořenů, následně byly její okraje zčásti vtlačeny do půdy a utěsněny. Byl zvolen přibližně půl hodinový interval, kdy se nechal průnik půdních plynů hromadit v zatěsněné komoře. Složení vzduchu v komoře bylo poté v minutových intervalech měřeno přístrojem Ecoprobe5 v režimu *group measurment*. Tento režim umožnil počáteční srovnání směsí atmosférických a půdních plynů a během sérií srovnávacích měření povoluje opětovnou rekalibraci plynů.

3.3 Vlastní měření v terénu

Hodnotily se projevy migrací uhlovodíků v těsném okolí monitorovacích vrtů, které byly v různé fázi sanačního režimu. Vrty byly zaměřeny na podkladové, satelitní mapě pomocí světových souřadnic, které byly poskytnuty MND Hodonín s.r.o. Poté postupně nalézány pomocí GPS zařízení a mapy ložiska.

Nad ústím navštívených vrtů byl nejprve proveden předběžný průzkum pomocí režimu *sniffing*. Podle výskytu uhlovodíků se upravila čtvercová síť o velikosti 25 bodů, kdy ústí vrtu bylo směřováno doprostřed (sonda13). V každém bodě byla odstraněna vegetace a odebráno asi 10 cm povrchu zeminy. V půdách s vyšším stupněm oglejení bylo vyhrabáno až 20 cm a poté asi 50 cm prokypřeno rýčem, následně se nechalo „uležet“ 5 až 10 minut. V případě, že se v hloubené sondě objevila voda, k měření nedošlo. Při měření se nesmí přístroj, ani plynný vzorek dostat do kontaktu s vodou.

Před měřením byl nastaven přístroj na jedenkrát změřit srovnávací vzorek a poté nekonečnou sérii měření, tato funkce se nazývá *group measuremnet*. Srovnávací vzorek byl měřen přibližně 15 m od místa měření. Rychlost nasávací pumpy, byla zvolena od 0.25 do 0.5 l/sec podle množství viditelného písku v sondě. Ze sondy Ecoprobe5 vedou dva ventily, jeden je na přítah a druhý na odtah směsi plynu. Na přítahový ventil byla umístěna inertní hadička od RS Dynamics o průsvitu 7 mm a délce asi metr na jejím konci byl použit trychtýř na pohonné hmoty. Trychtýř byl umístěn ve vykopané sondě (10 až 40 cm) a poté přikryt zeminou. Proběhla i opakovaná měření na stejné sondě. Každé měření mělo tři fáze:

1. resetting phase
2. pre-integrační phase
3. integrační phase

Během *resetting* fáze se přístroj „připravuje na měření“ měřící detektor IR se zahřívá na měřící teplotu. Následuje pre-integrační fáze kdy je odsáván vzduch z hadičky a nepočítá se do měření, byla nastavena na 4 sec. Ve finální fázi přístroj nasává vzduch a současně ho analyzuje na hledané plyny: metan, oxid uhličitý, uhlovodíky v plynné fázi a kyslík v jednotkách objemových ppm. Integrační fáze byla nastavena v době měření na 14 sec. Výsledné hodnoty měření pro jednotlivé plyny byly graficky zpracovány následujícími způsoby: hodnoty jednotlivých plynů byly vyneseny do grafu v závislosti na lokalitě a dni, konstrukce izoliniových 1D modelů objemů, sledovaných složek, prostorové modely dvou složek, které slouží k porovnání anomálií v prostoru.

Vzduchový filtr musí být umístěn mezi přístroj a sací hadici, aby se zabránilo průniku vody či vlhkosti do přístroje, v opačném případě může dojít až ke zničení analyzátoru. Tedlarové vaky, ampulky s teflonem a inertní hadičky jsou základem pro věrohodná data. Měřené plyny velmi snadno reagují s neušlechtilým povrchem, dochází ke vzniku sloučenin, které zkreslují výsledná data. Kompas je nezbytný v terénu s vysokým vegetačním pokryvem, protože GPS lokátor je v lese omezen a udává značně odchylnou polohu. Hloubící sonda byla do substrátu zaražena do hloubky cca 80 cm.

Na lokalitě byla ústí vrtů lokalizována pomocí kombinace mapy, GPS a kompasu. Měření bylo provedeno nad jednotlivými vrty před a po sanačním režimu. Nad ústím vrtu byla vytyčena pravidelná síť bodů (5x5) s rozestupy cca 1,5 až 2 m, kde střed byl samotné ústí vrtu. Do pomyslných bodů byly zaraženy kolíky s čísly pro snazší orientaci na měřené ploše.
Před vlastním měřením byl přístroj nastaven podle aktuálního stavu terénu. Byly zadány hodnoty pro velikost sání, citlivost, režim měření a připojení lokátoru přímo k analyzátoru. Před vlastním sběrem dat je analyzována srovnávací směs atmosférických plynů vůči, které byly půdní plyny vyhodnocovány. Ke každému měření byly přiřazeny světové souřadnice, ale vzhledem k odchylkám ve stanovení absolutní polohy byl kladen větší důraz na zaměření okrajových bodů.

V první fázi proběhlo mělké měření u každého kolíku, někdy i opakovaně. Půdní plyny byly vyhodnocovány *in situ* Ecoprobem5 na oxid uhličitý, metan, celkové plynné uhlovodíky (TP) a kyslík všechny výsledky jsou vyjádřeny v objemových ppm. Vegetační pokryv je odebrán, v průměru s 5 až 10 cm půdy, kvůli možnosti nadhodnocení hodnot CO_2.

V další fázi se uskutečnilo hluboké měření (fotopříloha 3), pouze v místech, kde byly naměřeny zvýšené hodnoty uhlovodíků. Před měřením v hloubce cca 80 cm, byla zaražena hloubící sonda. Hloubící sonda je vybavena podélným žlábkem, který odkrojí půdní vzorek po celém profilu sondy. Při vytržení způsobem, aby se stěny substrátu nepropadly dovnitř, byl vzniklý otvor ihned poté ucpán gumovým, nereaktivním špuntem. Vyhloubená půdní sonda poskytla volný prostor pro půdní plyny, které sem difundovaly. Po krátkém časovém úseku, se skrz špunt zarazila sonda měřící, která se kladla se zvýšenou opatrností dovnitř, důvody byly následující:

- sonda se mohla ucpat jílovými součástkami ze stěny otvoru
- sonda mohla být vražena do dna a ucpána
- vznikající přetlak při zasouvání měřící sondy vyfukuje půdní plyny ven

1. zarážení hloubící sondy
2. vytržená hloubící sonda s půdním vzorkem

Fotopříloha 3 Měření v hlubší úrovni terénu na typové lokalitě.

Během laboratorní fáze jsou vyhodnoceny odebrané vzorky na chromatografu, jsou stanoveny odchylky a meze nejistot. Správnost vyhodnocených dat se posuzuje na základě kalibrace v laboratoři. Přístrojem jsou změřeny předem namíchané směsi plynů metanu a dusíku o známých koncentrací. Kyslík a oxid uhličitý se kalibrují samostatně (viz. obr. 17 a 18).

Vizualizace naměřených hodnot v rámci celého ložiska byla umístěna na rektifikovaném, mapovém podkladu pro regionální přehled.

Jednotlivé mapové modely obsahů pro jednotlivé, sledované plyny, jsou mezi sebou korelovány a stupeň jejich korelace je posuzován na základě dostupných informací. Výsledky jsou vhodné pro další povrchový, atmogeochemický průzkum, slouží k popisu migraci plynů.

3.3.1 3D model a statistické vyhodnocení

Pro sestrojení 3D modelu ložiska LBr-1 byl použit program Voxler 3 a Surfer 11 (Golden Software). Naměřené hodnoty půdních plynů byly statisticky vyhodnoceny pomocí:

Mez detekce (Limit of Detection) je změřený interval, kde lze hodnotit přítomnost látky.

LOD je práh koncentrace, která vyvolá odezvu měřicího přístroje větší než je trojnásobek hladiny (úrovně) šumu pozadí (h_n).

$LOD = 3*h_n$

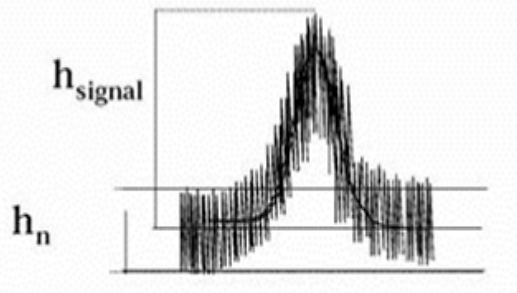
Mez kvantifikace=stanovitelnosti (Limit of Quantification, LOQ) je naměřený interval, kde lze koncentraci látky dobře stanovit.

LOQ je interval koncentrace, který vznikl na základě odezvy měřicího přístroje větší než je desetinásobek hladiny (úrovně) šumu pozadí (h_n).

$LOQ = 10*h_n$

Funkce směrodatná odchylka (SMODCH.VÝBĚR.) je velikost rozptylu od průměrné hodnoty z jednoho souboru dat. Funkce medián (MEDIAN) je prostřední hodnota v souboru dat, kde má polovina čísel vyšší hodnotu než medián a druhá polovina čísel je nižší než medián.

Ve výpočtech pro hodnoty menší než je mez stanovitelnosti je použita hodnota 30ppm, to znamená polovina z hodnoty meze stanovitelnosti.



Obr. 18. Schématický graf poměrů pozaďového šumu h_n vůči signálu h_{signal}.

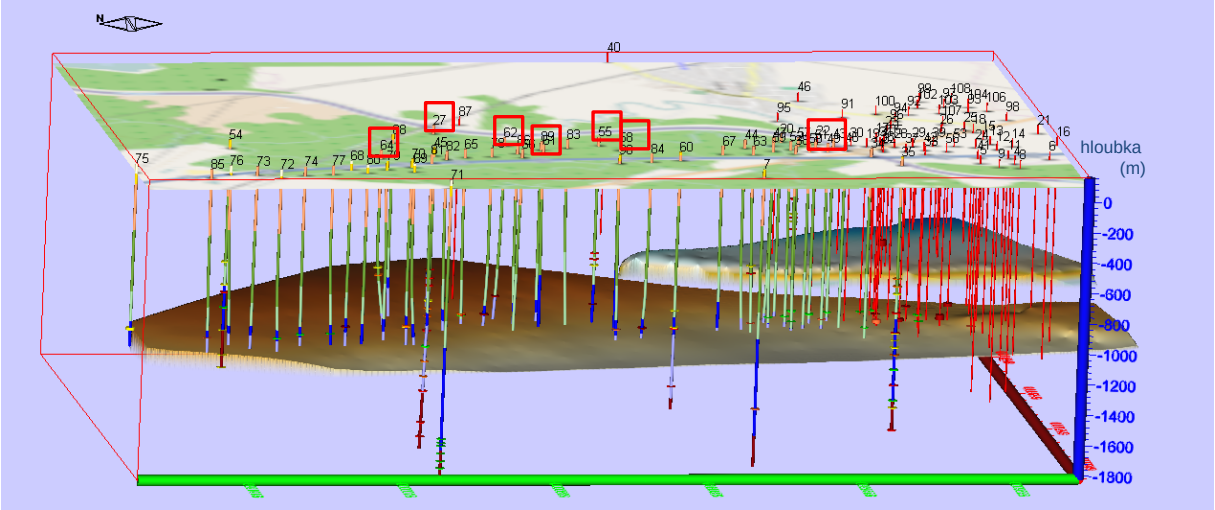
$$\sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Obr. 19. Definice funkce směrodatné odchylky pomocí rovnice, kde x je aritmetický průměr ze souboru, n je velikost hodnoty.

4 VÝSLEDKY

V časovém rozmezí 5.8. 2015 až 21.3. 2016 byly provedeny terénní analýzy půdního vzduchu v chráněném ložiskovém území Lanžhot východ (v minulosti označované jako Brodské) nad ložiskem ropy a plynu s ukončenou těžbou a zlikvidovanými vrty. Výsledné hodnoty jednotlivých složek jsou vyjádřeny v objemových ppm. Datové soubory obsahů samotného metanu a celkových uhlovodíků jsou kontrolovány pomocí chromatografické analýzy vzorků půdních plynů.

V průběhu minulého roku bylo provedeno celkem 230 terénních měření půdního vzduchu, přehled lokalit-vrtů je uveden v tab. 6. a na obr. 20 kde je také vyobrazeno ložisko Brodské s ropnou a plynovou zónou.



Obr. 20. 3D model lábského horizontu středního badenu ložiska Lanžhot-východ-Brodské: topografie terénu, vrty (červeně na území SR), lokality měření složení půdního plynu jsou vyznačeny červenými čtverci. Sestrojeno na základě dat z publikace Bílek (1974).

Primární měřené údaje přístrojem Ecoprobe5 jsou v přílohách v tabulce 18 – 31. Statistické hodnoty jsou uvedeny pro jednotlivé lokality v tab. 8 – 16. Vedle terénních dat byly ve vybraných případech odebrány vzorky plynů, výsledky laboratorních analýz jsou v tabulce 17.

Vztah měřených bodů (červené čtverce, obr. 20) k topografii ložiska ropy a plynu v lábském horizontu středního badenu znázorňuje 3D hloubkový model sestrojený v programovém prostředí Voxler 3.

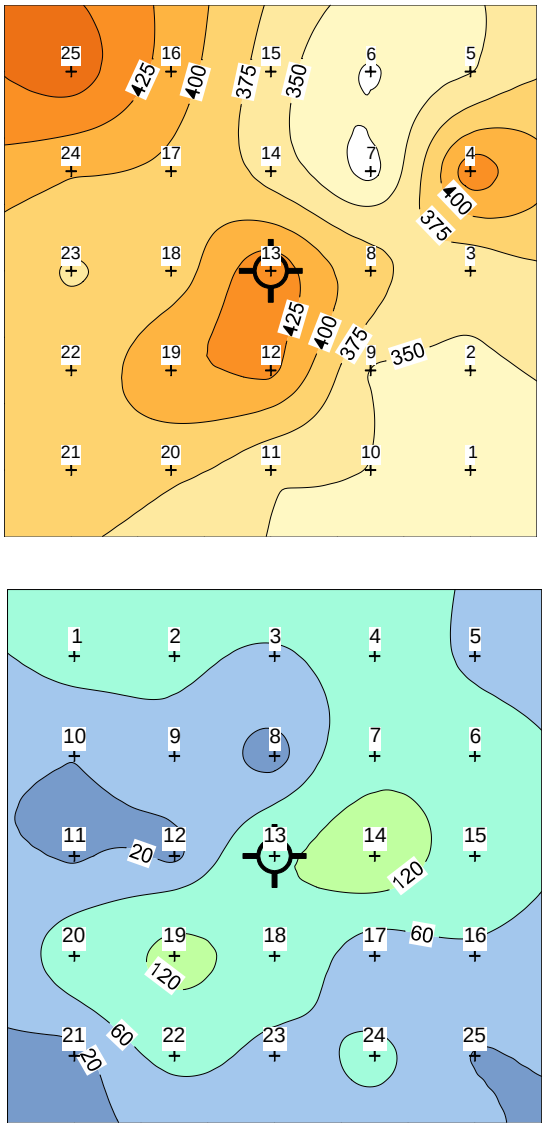
Tabulka 6. Přehled lokalit terénních měření a jejich vztah k ropné a plynové zóně ložiska.

č. vrtu	**stručný popis lokality**	**zóna ložiska**	**datum**	**počet měření**
Br-22	louka, záplavová oblast, nedaleko Moravy (50 m)	ropná	5.8.15	25
Br-27	lesní cesta, na hranici louka/les	mimo ložisko	16.3.16 21.3.16	32
Br-49	louka, záplavová oblast, nedaleko Moravy (70 m)	ropná	5.8. 15 3.12.15	50
Br-55	lužní les	ropná	16.3.16	8
Br-58	lesní cesta okraj lužního lesa	mimo ložisko	16.3.16	8
Br-61	lesní cesta lužní les	ropná	16.3.16	8
Br-62	lesní cesta lužní les	plynová	3.11.15 16.3.16 21.3.16	66
Br-64	lesní cesta okraj lužního lesa	plynová	3.11.15 3.12.15 21.3.16	38
Br-89	lesní cesta lužní les	plynová	16.3.16	13

Lokalita Br-22

Terénní měření na vrtu 22 proběhlo 5. srpna. 2015 v ropné zóně ložiska Brodské. Vrt je situován nedaleko řeky Moravy (asi 50 m), v luční, záplavové oblasti řeky. Půdní typ byl označen pedologem jako fluvizemě s různým stupněm oglejení. Vegetace tvořila nízkým lučním porost náletových bylin. Zhruba 10 cm povrchu zeminy bylo odebráno společně s flórou. Samotná analýza plynů trvala zhruba od 17:00 do 17:30. V záznamu o meteorologických podmínkách (2.8-6.8) je zachycen vyrovnané kolísání tlaku s minimem 1014hPa a maximem 1021hPa. Teplota měla vyrovnané oscilace mezi 15 a 35°C.

V lokalizované síti bodů nad ústím vrtu Br-22 nebyl detekován metan, pouze indikace vyšších plynných uhlovodíků s maximální hodnotou 177ppm (sonda 8). Maximum oxidu uhličitého bylo stanoveno na 466ppm (sonda 25).



Obr. 21. Izoliniové-mapy obsahu sledovaných plynů CO_2 a TP: křížek - Br-22, 1 – 25 půdní sondy.

Lokalita Br-27

Terénní sběr dat na lokalitě 27 se uskutečnil 16. a 21. března 2016. Tento vrt je situován v CHLÚ, mimo ložiskové zóny v okolí lesní cesty na hranici mezi lužním lesem a loukou. V místě sond byla půda písčitého charakteru s tenkým humusovým horizontem bez vegetace. Sběr dat trval asi od 15:00 do 15:30 (16.3) a přibližně od 16:00 do 16:30 hodin (21.3) V meteorologických datech za 13. -17. březen, je patrný vyrovnaný trend teploty i tlaku. Trend tlaku se držel v intervalu mezi 1020hPa a 1032hPa, nezávisle na teplotním trendu, který

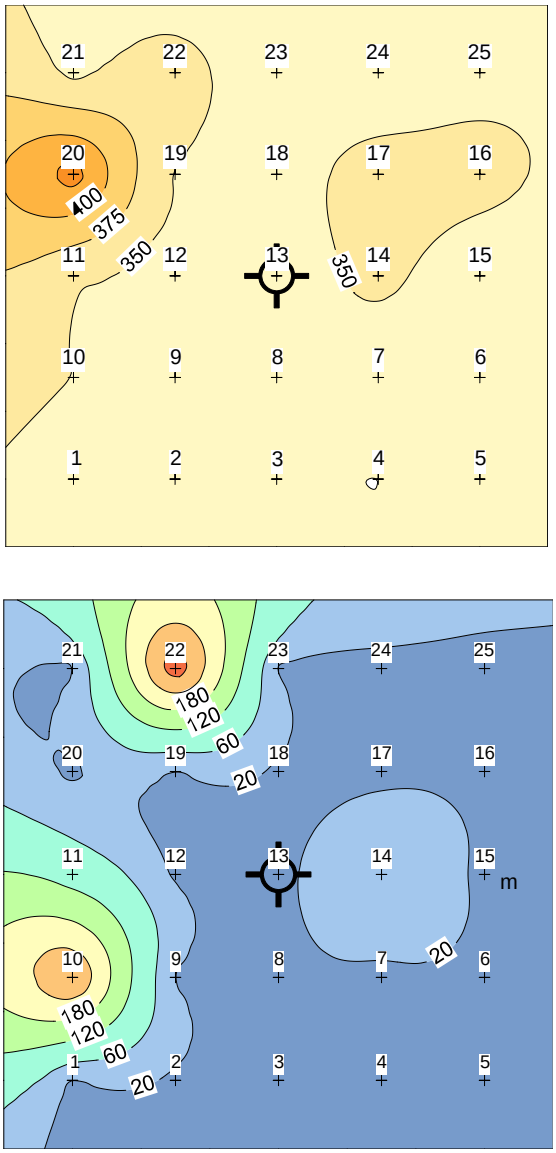
nepřekročil interval od 0 do 11 °C. Ke konci měsíce teplota pravidelně osciluje mezi 5 až 15 °C, ale tlaková křivka klesá z počátečních 1023hPa až pod hranici 1010hPa.
Na lokalitě Br-27 byly naměřeny nejvyšší hodnoty metanu 1 419ppm (č. m. 22), celkových uhlovodíků 256ppm (č. m. 22) a oxidu uhličitého 2 132ppm (č. m. 20).

Lokalita Br-49

Analýza půdního vzduchu nad ústím 49 byla provedena 5.8. 2015 a 3.12.2015. Br-49 je umístěn v ropné zóně ložiska v záplavové oblasti asi 70 metrů od řeky Moravy.
V místě měření byl v srpnu odebrán luční vegetační pokryv, v prosinci vegetace chyběla. Půda byla označena jako fluvizemě s vyšším podílem jílové složky, ale nikoliv zavodněná (Janderková a Sedláček 2015). Záznam trval přibližně od 15:00 do 15:30 v srpnu a 12:30 až 13:00 hodin v prosinci. Vývoj tlaku na začátku srpna byl poměrně vyrovnaný a kolísal od 1014 do 1021hPa nezávisle na teplotě vzduchu, která dosahovala od 15 do 35°C. V prosinci (30.11-4.12) měl tlak vzestupný charakter od minima 1015 až k 1035hPa, zatímco teplota vyrovnaně kolísala mezi 5 až 13 °C. Na lokalitě byla lokalizovanou sítí sond naměřena maxima metanu 306 (sonda 10) a 339ppm (sonda 22), celkových uhlovodíků 319ppm (sonda 10) a oxid uhličitý 436ppm (sonda 20).

Lokalita Br-55

Monitorování na lokalitě 55 bylo realizováno 16.3. 2016 od 11:30 do 11:50 v ropné zóně, v lužním lese CHLÚ. Půdní plyny se měřily v jílovito-písčitém substrátu se zakrnělým humusovým horizontem. V hloubené sondě se objevila voda zhruba 40cm pod povrchem.
Nejvyšší naměřené hodnoty u metanu 3325ppm (č. m. 8), u celkových uhlovodíků 2 339 (č. m. 8) a oxid uhličitý 1 723ppm (č. m. 1)



Obr. 22. Izoliniové-mapy obsahu sledovaných plynů CO_2 a CH_4: křížek - Br-49, 1 – 25 půdní sondy.

Lokalita Br-58

Rozbor půdních plynů Ecoprobem5 nad ústím vrtu 58 bylo učiněno 16.3. 2016 od cca 12:00 do 12:30 hodin. Vrt byl odvrtán mimo aktuální ložiskové zóny a v současnosti je na povrchu pomyslný okraj mezi lužními lesy a lukami. Půda byla jílovito-písčitého charakteru se zakrnělým humusovým horizontem u povrchu asi 5 cm. Ve vykopané sondě se objevila voda už 20 cm pod povrchem.

Maxima půdních plynů dosáhla u metanu 896ppm (č. m. 1), u celkových uhlovodíků byly zaznamenány spíše podprahové hodnoty a oxid uhličitý dosáhl až na 2 377ppm (č. m. 5).

Lokalita Br-61

Poměry půdních plynů nad vrtem 61 se odměřily 16.3. 2016 asi od 12:50 do 13:10 v ropné zóně poblíž cesty v lužním lese. Substrát byl z velké části tvořen antropogenní navážkou písku. V kopané sondě byla objevena voda asi 15 cm pod povrchem tenkého humusového horizontu (do 5 cm).

Metan ani celkové uhlovodíky nebyly v místě zaznamenány, maximum oxidu uhličitého bylo stanoveno na 552ppm (č. m. 4).

Lokalita Br-62

Rozbor komponent půdních plynů na lokalitě 62 byl proveden 3.11. 2015 a 16.3. 2016 asi od 13:40 do 14:00 v listopadu a od 14:00 do 14:20 v březnu. Vrt je situován v plynové zóně a jeho ústí v lužním lese. Půda byla hlinito-písčitá se zavodněnými a suchými polohami. Během listopadu byl povrch spíše mírně navlhlý bez vegetačního krytu a zavodněných poloh. V polovině března byla na lokalitě v hloubené sondě nalezena voda asi 60 cm pod povrchem. Ve vývoji klimatu na začátku listopadu je patrný klesající trend od 1.listopadu z 1038hPa do 4.11 až na 1022hPa. Teplota během začátku listopadu má vyrovnaný trend od 3 do 12°C.

V místě měření nebyl nalezen metan, byly zaregistrovány pouze maximální hodnoty celkových uhlovodíků 148ppm (č. m. 37) a oxidu uhličitého 3345ppm (č. m. 13).

Lokalita Br-64

Terénní analýza plynů v půdním substrátu nad vrtem 64 byla uskutečněna 3.11. 2015 cca od 15:00 do 15:30, 3.12.2015 asi od 16:20 do 17:20 a 21.3.2016 přibližně od 17:45 do 18:00. Vrt je lokalizován v plynové zóně ložiska Brodské poblíž lesní cesty lužního lesa. Půda byla atypicky písčito-jílovitá. V roce 2015 lokalita bez živého vegetačního pokryvu a suchá. Během březnové analýzy byla vykopána sonda, ve které hladina vody vyšplhala asi do 40 cm pod povrchem s nízkou flórou. Na lokalitě 64 proběhla v prosinci analýza plynů i v hlubší úrovni terénu přibližně od 60 do 80 cm hloubky.

Výsledné, maximální objemy půdních plynů byly v listopadu vypočteny pouze pro oxid uhličitý 547ppm, metan ani celkové uhlovodíky nebyly zaznamenány. Během prosince, v mělké úrovni nebyly uhlovodíky zaregistrovány. V hlubší úrovni, téhož měsíce, se maxima metanu vyhoupla až na 1276ppm (č. m. 7), celkové uhlovodíky 86ppm (č. m. 7) a oxidu

uhličitý 21 831ppm (č. m. 7). Z měření v závěru března byla vyhodnocena absence uhlovodíků a maximální objem oxidu uhličitého byl 2655ppm (č. m. 9).

Tabulka 7. Aritmetický průměr a směrodatná odchylka pro sledované složky plynů.

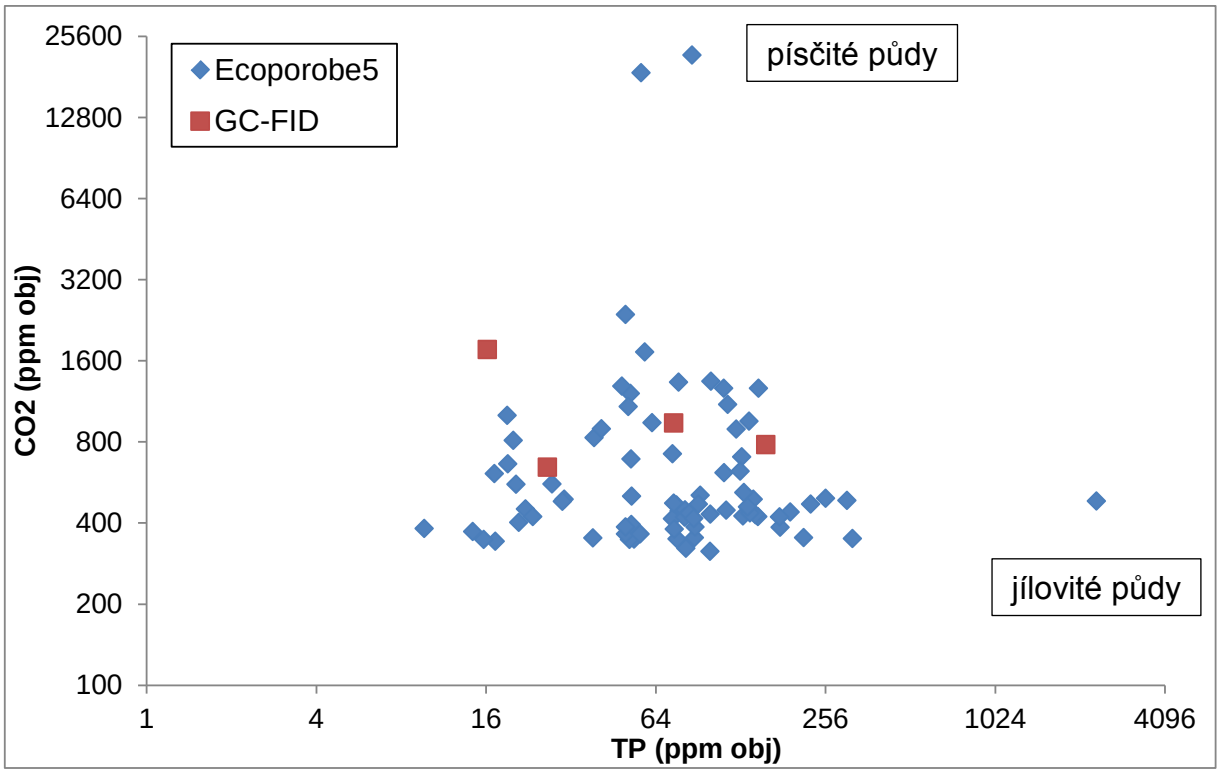
č.vrtu	datum (dd:mm:rr)	CH4 prům (ppm)	CH4 s	TP prům (ppm)	TP s	CO2 prům (ppm)	CO2 s
Br-22	5.8.2015	<LOQ		68	41	381	40
Br-27	16.3.2016	292	391	60	45	920	546
Br-27	21.3.2016	38	13	100	57	615	278
Br-49	5.8.2015	74	75	66	63	346	21
Br-49	3.12.2015	<LOQ		<LOQ		417	29
Br-55	16.3.2016	780	1046	397	788	612	450
Br-58	16.3.2016	747	283	24	11	862	641
Br-61	16.3.2016	<LOQ		<LOQ		485	44
Br-62	3.11.2015	<LOQ		70	58	498	27
Br-62	16.3.2016	36	18	73	37	1351	819
Br-64	3.11.2015	<LOQ		<LOQ		431	24
Br-64	3.12.2015	182	386	52	9	4900	5810
Br-64	21.3.2016	<LOQ		<LOQ		1532	989
Br-89	16.3.2016	<LOQ		<LOQ		1432	1030

prům aritmetický průměr
s směrodatná odchylka
LOQ mez stanovitelnosti (TP,CH_4) = 30ppm

Lokalita Br-89

Složení půdního vzduchu na lokalitě 89 bylo prošetřeno 16.3. 2016 asi od 13:10 do 13:30 hodin. Vrtné dílo je situováno v ropné zóně nedaleko lesní cesty lužního lesa. Zde byl přírodní substrát z velké části tvořen antropogenním pískem a navážkou. V hloubené sondě se ustálila hladina vody na asi 60 cm pod povrchem. Flóra tvořila nízký, nesouvislý porost.

Výsledek terénní analýzy neprokázal přítomnost uhlovodíků, pouze strop koncentrace oxidu uhličitého 2883ppm (č. m. 12).

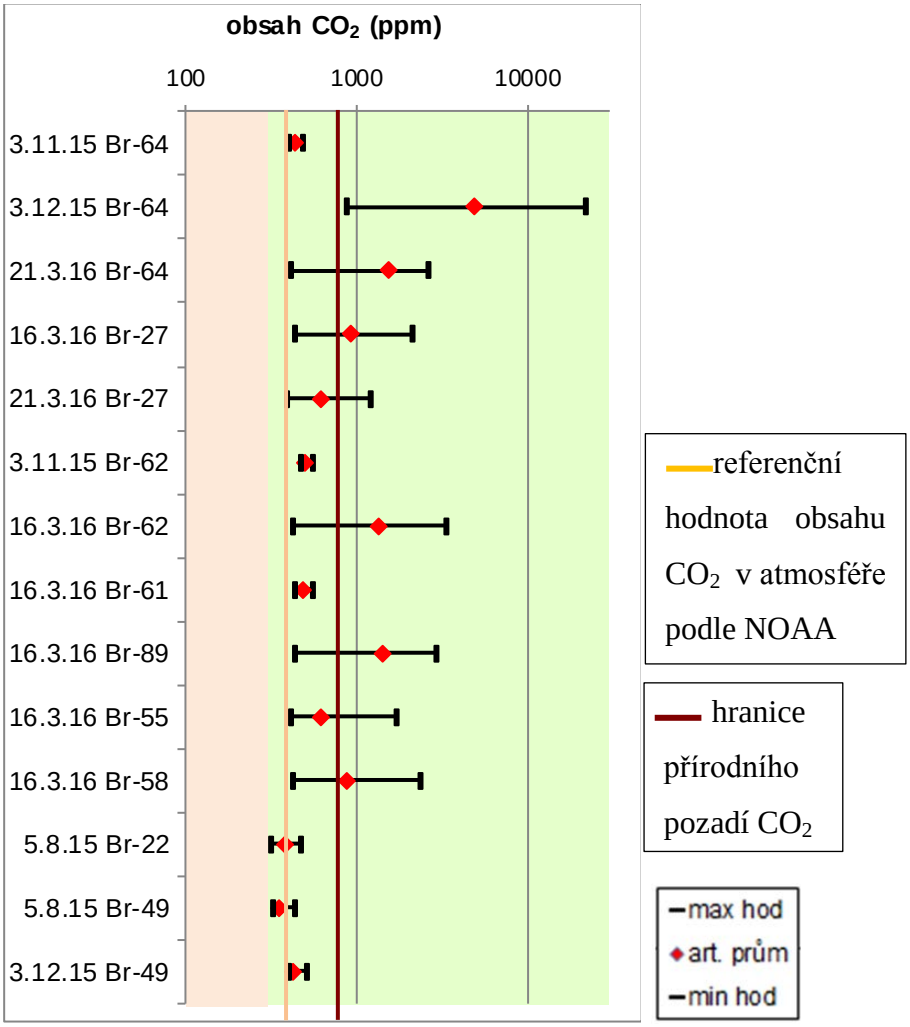


Obr 23. Obsah CO_2 v závislosti na obsahu celkových uhlovodíků (TP) ze všech měřených lokalit použitím terénního měřiče Ecoprobe5 a z analýz vzorků plynů metodou GC-FID-TCD.

5 DISKUSE

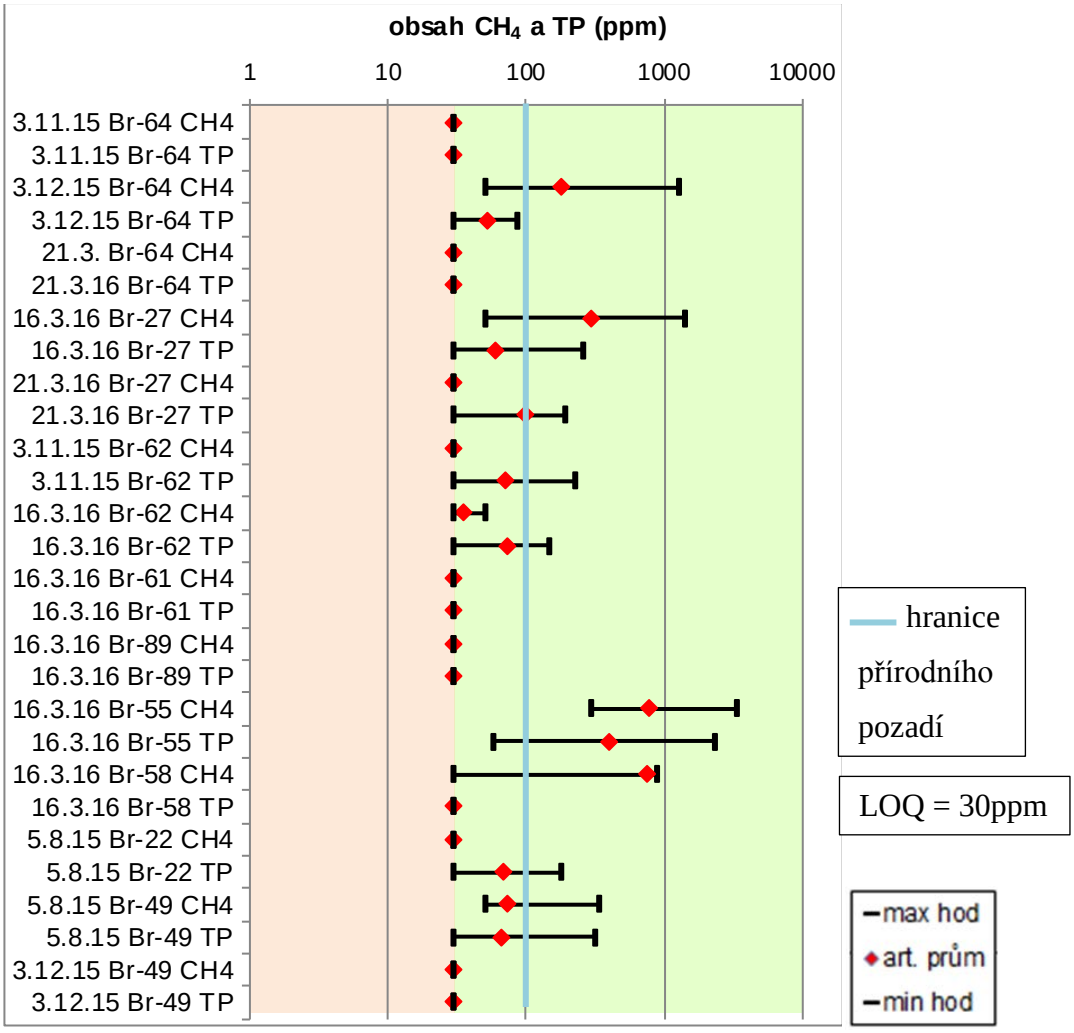
Ve výsledcích byly zjištěny hodnoty blízké mezi stanovitelnosti (LOQ) a prokazatelně zvýšené hodnoty. Z datového souboru měření terénním přístrojem Ecoprobe5 byl vypočten spodní limit kvantifikace pro plynné uhlovodíky a metan LOQ (TP, CH_4) = 30ppm (obr. 26) a LOQ (CO_2) = 300ppm (obr. 24).

Jako standartní přírodního pozadí v oblasti LBr-1 lze pokládat hladinu koncentrace CO_2 na lokalitě Br-49 z 3. prosince ($CO_{2\ průměr}$ = 417ppm), která je o 1.03 vyšší než je globální referenční standart CO_2 z prosince 2015 z Mauna Loa ($CO_{2\ ref}$ = 402ppm).



Obr. 24. Rozsah měření oxidu uhličitého (CO_2) v jednotlivých lokalitách uspořádaných od severu k jihu. Každý soubor dat je znázorněn aritmetickým průměrem, minimální a maximální hodnotou. Globální standard je 417ppm znázorněno modrou hranicí (tab. 32).

Obsah metanového plynu kolísá v rozmezí od 0 do 3 325ppm. Maximální hodnota byla zaregistrována na lokalitě Br-55, kde selektivní $CH_{4\ max}$ = 3 325ppm. Maximální hodnota plynných uhlovodíků, TP_{max} = 2 339ppm byla naměřena nad vrtem Br-55. Maximální hodnota oxidu uhličitého byla $CO_{2\ max}$ = 21 830ppm zaznamenána nad ústím Br-64.



Obr. 25. Rozsah měření metanu (CH_4) a celkových uhlovodíků (TP) v jednotlivých lokalitách uspořádaných od severu k jihu. Každý soubor dat je znázorněn aritmetickým průměrem, minimální a maximální hodnotou (tab. 32).

Hodnota přirozeného pozadí obsahu uhlovodíků na lokalitě Lanžhot-východ je pro CH_4 a TP empiricky odhadnuta na 103ppm (obr. 25). Hraniční hodnoty pozadí, nad kterými lze považovat data za lokálně zvýšené hodnoty jsou u CO_2 odhadnuty na ca. 800ppm.

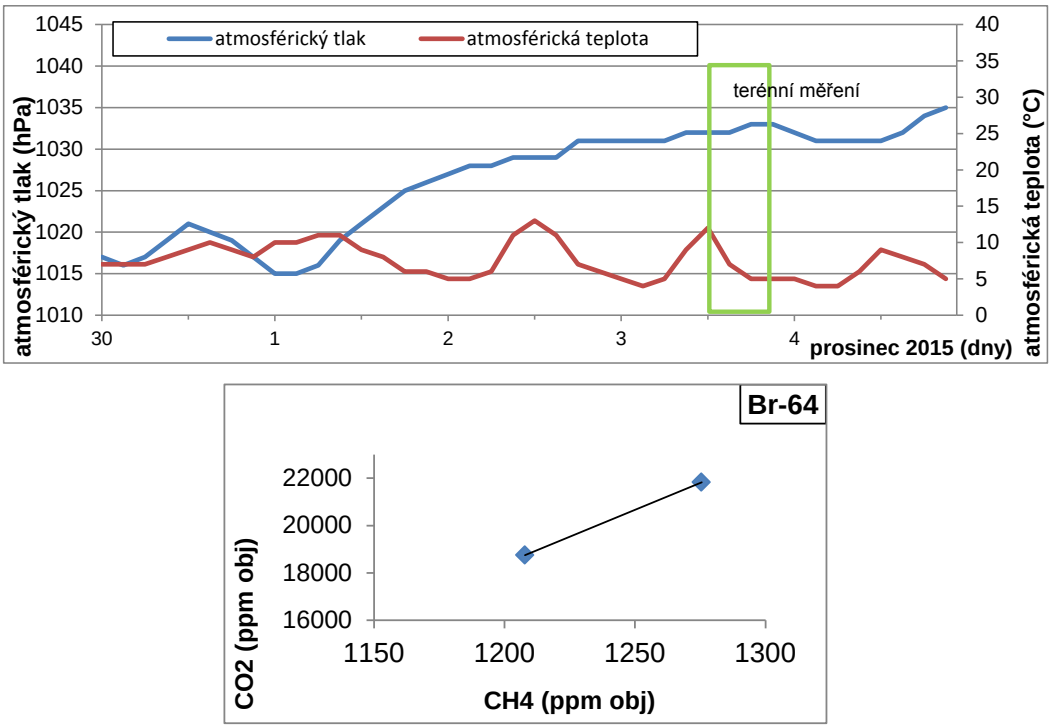
Anomálně zvýšené projevy uhlovodíků, které byly zjištěné v následujících vrtech (obr 29): Br-22 (TP=50-177ppm), Br-27 (CH4=50-1 419ppm), Br-49 (TP=50-339ppm), Br-55 (CH4=297-3325ppm), Br-58 (Ch4=50-896ppm), Br-62 (TP=50-227ppm) a Br-64 (CH4=50-1276ppm). Ve vyhodnoceném souboru dat byly rozlišeny dva krajní případy vztahů sledovaných složek půdních plynů:

1. s rostoucím objemem jedné složky roste objem i druhé složky (např. Br- 22, 49 a 64)
2. objemy CO_2 a CH_4 jsou nepřímo úměrné nebo nejsou přímo úměrné (např. Br- 58 a 55 a 27).

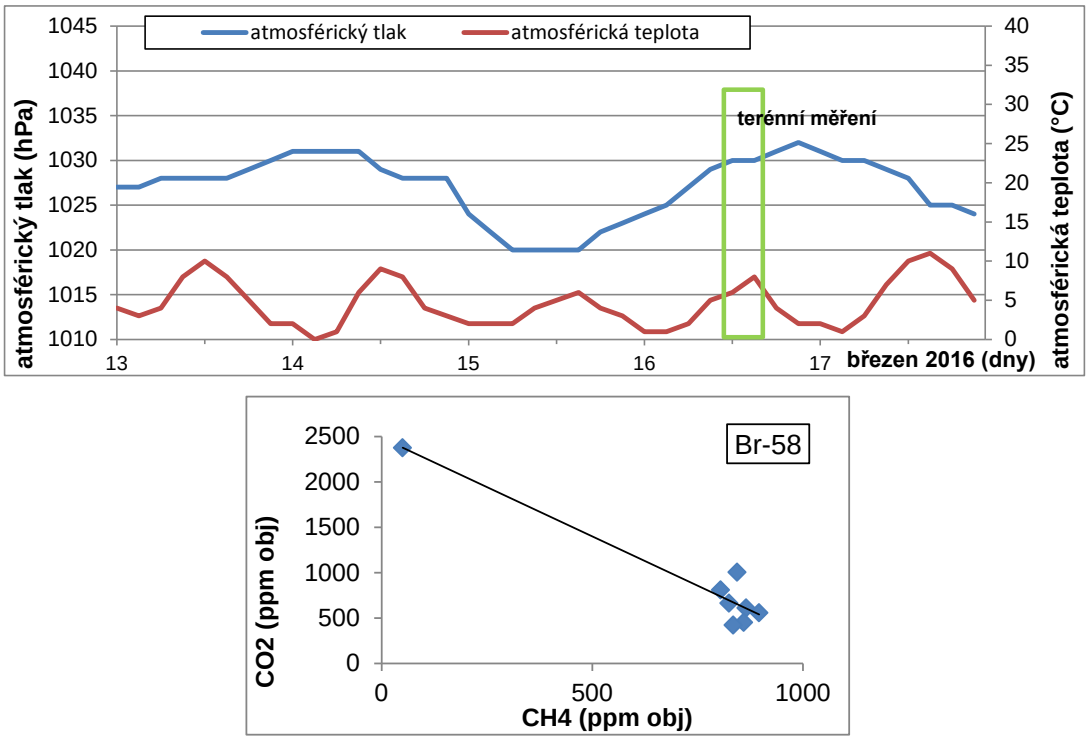
Uvedené závislosti zjištěných hodnot CO_2, TP a CH_4 jsou blíže rozvedeny v následující diskuzi:

1) Jako první příklad je lokalita Br-64, kde byly naměřeny hodnoty CO_2, které přímo úměrně korelují s obsahy CH_4 ve dvou dílčích měřeních. V místech zvýšeného CH_4 byla naměřena rovněž zvýšená hodnota CO_2. Nízké hodnoty CH_4 jsou na úrovni detekčního limitu. Hladina podzemní vody byla 30 cm pod úrovní terénu. Teplota byla cca 13 °C, barometrický tlak v posledních 60 hodinách soustavně rostl a dosáhl cca 1032hPa. Ve výše zmíněných parametrech jsou lokality 58 a 64 vzájemně dost podobné, liší se navzájem v písčitém složení půdy v místech vpichu se zvýšenými hodnotami CH_4 a CO_2 na lokalitě Br-64 a jílovitější půdou na lokalitě Br-58. V písčitějším prostředí je pravděpodobná přítomnost otevřenějšího pórového systému a volnější migrace půdních plynů jak TP, CH_4 tak i CO_2. Lokalita Br-64 je situována na plynovou zónou ložiska LBr-1 s pravděpodobně stálou mírnou dotací metanového plynu z geologického podloží podél zlikvidovaného vrtu a jeho souběžnou oxidací v mělkých úrovních pod povrchem. Tak lze interpretovat koexistenci jak zvýšeného obsahu metanu, tak i jeho oxidačního produktu CO_2 (obr. 26).

2) Druhý případ se zápornou korelací CH_4-CO_2 představuje lokalita Br-58. Hladina podzemní vody byla 10 – 15 cm pod úrovní terénu (5-10 cm odhrábnuto). Teplota byla cca 5°C, barometrický tlak okolo 1030hPa se setrvalým vzestupem za posledních 24 hod před měřením. Půda byla hlinito-jílovitá, částečně oglejená s podružnou písčitou složkou. Výsledná data zahrnují jak vysoké obsahy CH_4 a nízké CO_2 typické pro redukční prostředí tak vysoké hodnoty CO_2 a nízkými obsahy CH_4 charakteristické pro oxidační prostředí. Na obrázku 28 je zobrazen vztah výrazné nepřímé úměry mezi CO_2 a CH_4. Rozhodující role je přičtena převažující jílovité složce půdy se sníženou propustností, kde mikrobiální oxidace metanu není plynule kompenzována dotací nového metanu (obr. 27).

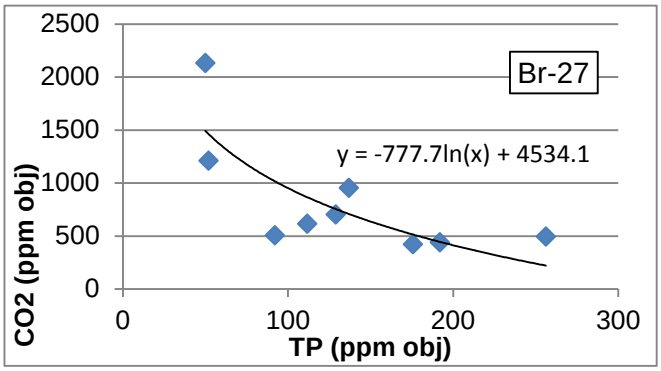


Obr. 26. Opakovaná měření na lokalitě Br-64: meteorologická data (teplota, tlak) a obsah CO_2 v závislosti na obsahu CH_4.



Obr. 27. Meteorologický vývoj tlaku a teploty (hPa, °C) a měření plynů na lokalitě Br-58, kde CO_2 a CH_4 vykazují nepřímou závislost.

Obdobný případem je lokalita Br-27, kde vztah mezi diskutovanými složkami půdních plynů je spíše nepřímoúměrný (obr. 28).

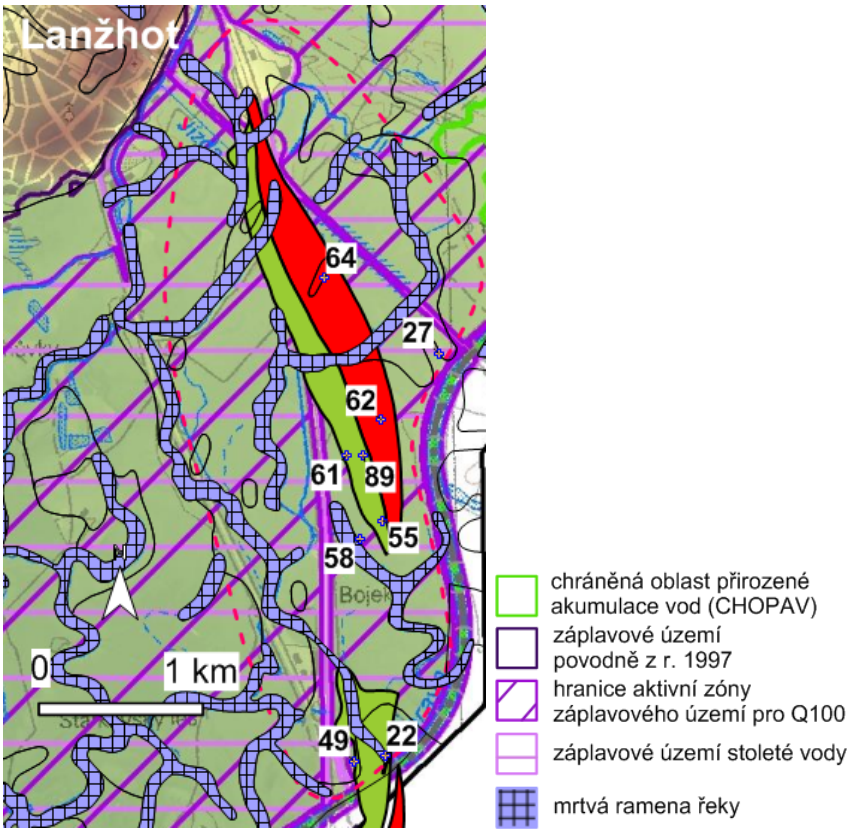


Obr 28. Opakovaná měření na lokalitě Br-27: meteorologický vývoj (hPa, °C) a závislost obsahů CO_2 a celkových uhlovodíků (TP).

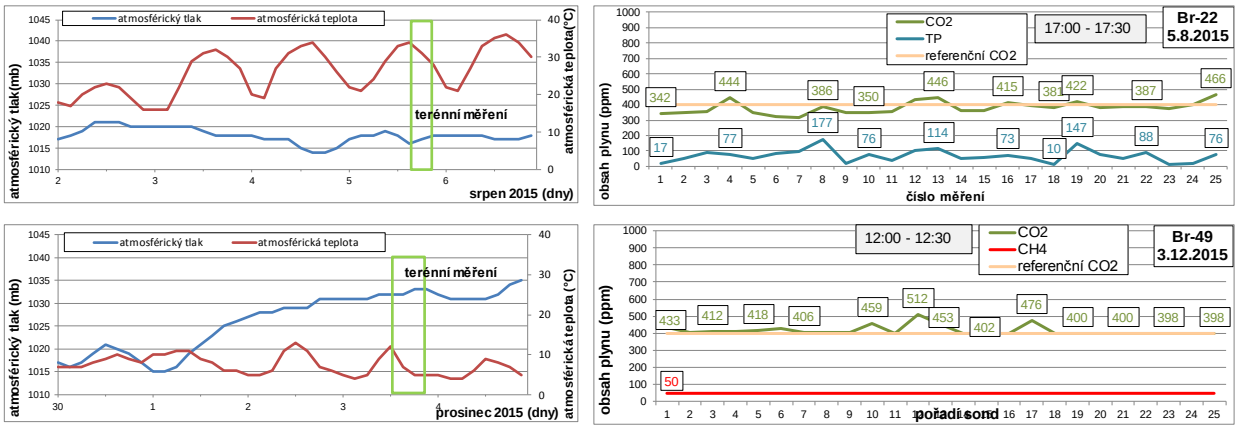
Projevy odlišné litologie byly srovnány z lokalit Br-58 a 64. Nad vrtem 58 byla zjištěna nepřímá úměra mezi koncentracemi plynů CH_4 a CO_2. V místě, kde převládala v půdním substrátu jílovitá složka nad písčitou, byl zaregistrován současně snížený obsahu metanu a zvýšení obsah CO_2. Zjištěný trend se opírá o jednu hodnotu v intervalu vysokého CO_2 a nízkého CH_4. Tato lokalita je spojena s příkladem polouzavřeného systému, který komunikuje se svým okolím, avšak v omezené míře v závislosti na klimatických změnách.

V lokalitách Br-27 a 58, která jsou situovány mimo ložiskové zóny, byly zjištěny koncentrace uhlovodíků. Aritmetický průměr obsahů uhlovodíků ze všech měření nad mimoložiskovou zónou převyšuje aritmetický průměr všech měření nad plynovou zónou 2,9 krát a 1,9 krát více než nad ropnou zónou ložiska Brodské.

Přímý vliv klimatologických podmínek na naměřená data nebyl přesvědčivě prokázán.
Naměřená data z lokalit Br-22 a Br-49 jsou pořízena v době s největším rozdílem atmosférického tlaku 1017 a 1033hPa. Hladiny CO_2 u Br-22 i 49 jsou obě velice srovnatelné se světovým standardem oxidu uhličitého (obr. 30, tab. 4).
Pro vyšší statistickou významnost je nutné nadále pokračovat v terénních analýzách půdních plynů na všech lokalitách, aby výsledný soubor dat měl dostatečnou základnu pro další způsoby zpracování.



Obr. 29. Podrobnější výřez z mapového podkladu záplavového území s detailem mrtvých ramen, vrtů LBr, ropo-plynnou zónou a měřených lokalit (vrtů) (Janderková *et al.* 2015, upr.)



lokalita	prům CO2 (ppm)	stand CO2 (ppm)	atm. tlak (hPa)
Br-22	381	399	1017
Br-49	417	402	1033

Obr. 30. Porovnání vlivů klimatologických podmínek na naměřená data.

6 ZÁVĚRY

V průběhu řešení diplomové práce bylo provedeno

1. 230 měření složení půdního vzduchu ve vymezeném prostoru nad vytěženým ložiskem ropy a plynu Lanžhot-východ (dříve Brodské) ve vídeňské pánvi
2. zhodnocen vliv pravděpodobné migrace plynů z hlubšího podloží a atmosférických činitelů na obsah metanu a oxidu uhličitého v půdním vzduchu.
3. Byla zjištěna pozitivní korelace mezi obsahem metanu a celkových uhlovodíků (C1–C4), což indikuje termogenní původ uhlovodíkové složky plynu.
4. Hodnota přirozeného pozadí obsahu uhlovodíků na lokalitě Lanžhot-východ je pro CH_4 a TP empiricky odhadnuta na 100ppm (obr. 25). V následujících vrtech bylo zjištěno několikanásobné překročení přírodního pozadí:

   Br-64 6krát

   Br-27 10krát

   Br-58 25krát

   Br-55 26krát.
5. Hraniční hodnoty pozadí, nad kterými lze považovat data za lokálně zvýšené hodnoty jsou u CO_2 odhadnuty na ca. 800ppm (obr. 24). Tato hodnota byla překročena ve vrtech:

   Br-62 1,7krát

   Br-89 1,8krát

   Br-64 1,9krát a 6,1krát (tj. stejné zvýšení jako v případě metanu).
6. Mezi obsahem CO_2 a uhlovodíků byla pozorována nepřímo úměrná závislost zejména v jílovitějších případně podmáčených typech půd, např. Br-55 a 58. Naopak přímo úměrná závislost byla zjištěna v propustnějších, písčitých půdách, např. Br-64. Tuto zákonitost je nutné v budoucnu statisticky ověřit na větším počtu měření, než jaké byly získány v předložené diplomové práci.
7. Nad vytěženým ložiskem byly zjištěny v několika lokalitách zvýšené obsahy uhlovodíků a CO_2. Skutečnost, že měřené hodnoty neklesají na úroveň přírodního pozadí ve 100 až 200m vzdálenosti od obrysu ložiskové akumulace (např. Br-27 a 58) nasvědčují širšímu dosahu difuzní migrace plynů ve vertikálním a částečně i horizontálním směru.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Arzmüller, G., Buchta, Š., Ralbovský, E., Wessely, G. (2006): The Vienna basin, *in* Golonka, J., Pícha, F. J., eds., The Carpathians and thein forehand: Geology and hydrocarbon resources: AAPG Memoir 84, p. 191 – 204.

Bílek, K. et al. (1974): Mineralia Slovaca: Časopis Slovenskej geologickej spoločnosti a slovenských geologicko prieskumných organizácií. Bratislava: Slovenská geologická spoločnosť, roč. 6, 5-6.

Bláha, J. (2004): Application of Ecoprobe5, Case studies. — RS Dynamics. Praha.

Baráth, Ivan, (1961): Miocene depositional systems and sequence stratigraphy of the Vienna Basin . *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 2004, No. 246, p. 187-212. ISSN 0341-4116

Brzobohatý, R., Cicha I., Kováč, M. & Rögl, F. (eds) (2003): The Karpatian – a Lower Miocene stage of the Central Paratethys. – Masaryk University, pp. 360, Brno.

CO2geonet [online], Evropa, dostupné z: http://www.co2geonet.com, dne: 18.5.2016

Franců, J. –Bůzek, F. – Hanuš, V. & Geršl, M. (2010): Geochemie a dynamika výstupu oxidu uhličitého a metanu z horninového prostředí v oblasti Západních Karpat. — MS, Závěrečná zpráva projektu MŽP-OOHPP-85/08/GP. Česká geologická služba. Brno.

Franců, J., Honěk, J., Doláková, N., Krásný, J., a Mikuláš, R. (2010): Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky – Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-759-8. Praha.

Hanžl, P. – Krejčí, Z. – Vít, J.– Otava, J.–Novák, Z.& Stráník, Z. (2000): Geologická mapa Brna a okolí. — Český geologický ústav. Praha.

Cháb, J.– Stráník, Z.& Eliáš, M. (2007): Geologická mapa České republiky 1:500 000. — Česká geologická služba. Praha.

Hinrichs, K-U.–Summons, R. E.– Orphan, V.– Sylva, S. P. & Hayes, J. M. (2000): Molecular and isotopic analysis of anaerobic methane-oxidizing communities in marine sediments. — OrganicGeochemistry,**31**, *1685–1701*.

Hunt, M. J. (1995): Petroleum geochemistry and geology. — W.H.Freeman and Company.New York.

Janderková, J., Havlíček, P., Sedláček, J., Kociánová, L. (2015): Geografická charakteristika lokality LBr-1, MS ČGS, pp. 75, Brno.

Jiříček, R. (2002): Geological model of the Vienna Basin and adjacent Carpathian Foredeep. EGRSE, IX, 1-2/2002, pp. 1-179.Brno.

Menčík, E. & Adamová, M.. (1983): Geologie Moravskoslezských Beskyd a Podbeskydské pahorkatiny. — Česká geologická služba. Praha.

Saeed, M. (1991): Light Hydrocarbon Microseepage Mechanism(s): Theoretical Consideration.— MS, PhD. Thesis. Faculty and the Board of Trustees of the Colorado School of Mines. T–4081.

Suk, M.–Ďurica, D.& Obstová, V. (1991): Hluboké vrty v Čechách a na Moravě a jejich geologické výsledky. — Gabriel. Praha.

Tedesco, S. A. (1995): Surface Geochemistry in Petroleum Exploration, Atoka Exploration. — Chapman and Hall. New York.

Tissot, B. P. &Welte, D. H. (1984): Petroleum Formation and Occurrence; a New Approach to Oil and Gas Exploration. — Springer.Berlin.

Schlömer, S., Furche, M., Dumke, I., Poggenburg, J., Bahr, C., Seeger, S., Vidal, A., Faber, E. (2013): A review of continuous soil gas monitoring related to CCS – technical advances and lessons learned. Applied Geochemistry 30, 148-160

The American Association of Petroleum Geologists, [online], USA, dostupné z: http://wiki.aapg.org/Main_Page, dne: 18.5.2016

8 PŘÍLOHY

Tabulka 8 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-22.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	30	30	342	16:54:27	Br-22	5.8.2015
2	30	54	348	16:55:27	Br-22	5.8.2015
3	30	88	353	16:56:27	Br-22	5.8.2015
4	30	77	444	16:57:32	Br-22	5.8.2015
5	30	52	348	16:58:27	Br-22	5.8.2015
6	30	82	322	16:59:27	Br-22	5.8.2015
7	30	100	314	17:00:32	Br-22	5.8.2015
8	30	177	386	17:01:27	Br-22	5.8.2015
9	30	30	347	17:02:27	Br-22	5.8.2015
10	30	76	350	17:03:27	Br-22	5.8.2015
11	30	38	352	17:04:27	Br-22	5.8.2015
12	30	100	432	17:05:27	Br-22	5.8.2015
13	30	114	446	17:06:32	Br-22	5.8.2015
14	30	50	364	17:07:32	Br-22	5.8.2015
15	30	56	364	17:08:27	Br-22	5.8.2015
16	30	73	415	17:09:27	Br-22	5.8.2015
17	30	52	395	17:10:32	Br-22	5.8.2015
18	30	30	381	17:11:32	Br-22	5.8.2015
19	30	147	422	17:12:32	Br-22	5.8.2015
20	30	74	380	17:13:32	Br-22	5.8.2015
21	30	30	387	17:14:27	Br-22	5.8.2015
22	30	88	387	17:15:27	Br-22	5.8.2015
23	30	30	372	17:16:27	Br-22	5.8.2015
24	30	30	402	17:17:27	Br-22	5.8.2015
25	30	76	466	17:18:27	Br-22	5.8.2015

Tabulka 9 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-27.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	30	30	429	14:59:18	Br-27	16.3.2016
2	30	30	694	15:00:05	Br-27	16.3.2016
3	30	30	468	15:01:56	Br-27	16.3.2016
4	30	30	521	15:02:35	Br-27	16.3.2016
5	30	30	663	15:03:21	Br-27	16.3.2016
6	30	30	464	15:05:07	Br-27	16.3.2016
7	30	30	598	15:05:54	Br-27	16.3.2016
8	30	30	846	15:06:44	Br-27	16.3.2016
9	30	30	794	15:09:48	Br-27	16.3.2016
10	702	30	459	15:10:42	Br-27	16.3.2016
11	30	30	645	15:11:38	Br-27	16.3.2016
12	30	30	1112	15:12:16	Br-27	16.3.2016
13	707	30	909	15:14:16	Br-27	16.3.2016
14	699	30	698	15:14:56	Br-27	16.3.2016
15	718	30	1127	15:15:37	Br-27	16.3.2016
16	30	30	1487	15:16:20	Br-27	16.3.2016
17	30	30	1727	15:17:03	Br-27	16.3.2016
18	30	30	1876	15:17:58	Br-27	16.3.2016
19	30	30	2010	15:18:56	Br-27	16.3.2016
20	610	30	2132	15:20:28	Br-27	16.3.2016
21	811	92	507	15:24:41	Br-27	16.3.2016
22	1419	256	494	15:25:58	Br-27	16.3.2016
1	30	112	615	16:04:56	Br-27	21.3.2016
2	30	52	1210	16:05:41	Br-27	21.3.2016
3	32	137	955	16:11:48	Br-27	21.3.2016
4	30	129	704	16:13:27	Br-27	21.3.2016
5	44	192	439	16:14:31	Br-27	21.3.2016
6	41	176	421	16:15:44	Br-27	21.3.2016
7	30	30	397	16:17:37	Br-27	21.3.2016
8	30	30	389	16:18:37	Br-27	21.3.2016
9	30	30	388	16:21:08	Br-27	21.3.2016
10	30	30	634	16:22:10	Br-27	21.3.2016

Tabulka 10 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-49.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	30	30	341	15:04:16	Br-49	5.8.2015
2	30	30	334	15:05:10	Br-49	5.8.2015
3	30	30	327	15:06:10	Br-49	5.8.2015
4	30	30	324	15:07:52	Br-49	5.8.2015
5	30	30	346	15:09:32	Br-49	5.8.2015
6	30	30	341	15:10:57	Br-49	5.8.2015
7	30	30	341	15:11:42	Br-49	5.8.2015
8	30	30	347	15:12:41	Br-49	5.8.2015
9	30	30	334	15:14:17	Br-49	5.8.2015
10	306	319	350	15:15:11	Br-49	5.8.2015
11	95	214	353	15:20:15	Br-49	5.8.2015
12	30	30	333	15:21:02	Br-49	5.8.2015
13	30	30	337	15:21:44	Br-49	5.8.2015
14	30	30	355	15:23:31	Br-49	5.8.2015
15	30	30	332	15:24:14	Br-49	5.8.2015
16	30	30	358	15:24:55	Br-49	5.8.2015
17	30	30	363	15:25:44	Br-49	5.8.2015
18	30	30	340	15:26:31	Br-49	5.8.2015
19	30	30	348	15:27:09	Br-49	5.8.2015
20	30	30	436	15:27:49	Br-49	5.8.2015
21	30	30	344	15:28:34	Br-49	5.8.2015
22	339	30	358	15:31:01	Br-49	5.8.2015
23	30	30	339	15:31:47	Br-49	5.8.2015
24	30	30	326	15:32:23	Br-49	5.8.2015
25	30	30	343	15:33:16	Br-49	5.8.2015
1	30	30	433	12:34:10	Br-49	3.12.2015
2	30	30	407	12:35:57	Br-49	3.12.2015
3	30	30	412	12:37:29	Br-49	3.12.2015
4	30	30	413	12:38:19	Br-49	3.12.2015
5	30	30	418	12:38:55	Br-49	3.12.2015
6	30	30	426	12:40:02	Br-49	3.12.2015
7	30	30	406	12:40:42	Br-49	3.12.2015
8	30	30	405	12:41:22	Br-49	3.12.2015
9	30	30	404	12:42:14	Br-49	3.12.2015
10	30	30	459	12:43:31	Br-49	3.12.2015
11	30	30	402	12:44:23	Br-49	3.12.2015
12	30	30	512	12:45:28	Br-49	3.12.2015
13	30	30	453	12:46:40	Br-49	3.12.2015
14	30	30	401	12:47:45	Br-49	3.12.2015

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
15	30	30	402	12:49:29	Br-49	3.12.2015
16	30	30	401	12:50:27	Br-49	3.12.2015
17	30	30	476	12:51:30	Br-49	3.12.2015
18	30	30	401	12:52:14	Br-49	3.12.2015
19	30	30	400	12:53:14	Br-49	3.12.2015
20	30	30	401	12:56:13	Br-49	3.12.2015
21	30	30	400	12:56:59	Br-49	3.12.2015
22	30	30	397	12:57:43	Br-49	3.12.2015
23	30	30	398	12:58:34	Br-49	3.12.2015
24	30	30	398	12:59:32	Br-49	3.12.2015
25	30	30	398	13:00:13	Br-49	3.12.2015

Tabulka 11 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-55.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	308	59	1723	11:34:52	Br-55	16.3.2016
2	339	81	448	11:35:49	Br-55	16.3.2016
3	297	81	420	11:36:54	Br-55	16.3.2016
4	343	84	435	11:38:19	Br-55	16.3.2016
5	367	87	416	11:39:03	Br-55	16.3.2016
6	384	142	490	11:41:46	Br-55	16.3.2016
7	873	305	484	11:42:50	Br-55	16.3.2016
8	3325	2339	482	11:43:56	Br-55	16.3.2016

Tabulka 12 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-58.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	896	30	557	12:07:27	Br-58	16.3.2016
2	865	30	611	12:08:10	Br-58	16.3.2016
3	824	30	664	12:08:59	Br-58	16.3.2016
4	844	30	1004	12:12:16	Br-58	16.3.2016
5	30	30	2377	12:12:56	Br-58	16.3.2016
6	804	30	811	12:14:42	Br-58	16.3.2016
7	860	30	451	12:16:02	Br-58	16.3.2016
8	834	30	422	12:17:31	Br-58	16.3.2016

Tabulka 13 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-61.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	30	30	491	12:53:44	Br-61	16.3.2016
2	30	30	533	12:54:22	Br-61	16.3.2016
3	30	30	512	12:55:31	Br-61	16.3.2016
4	30	30	552	12:56:30	Br-61	16.3.2016
5	30	30	446	12:57:40	Br-61	16.3.2016
6	30	30	457	12:58:51	Br-61	16.3.2016
7	30	30	436	13:00:14	Br-61	16.3.2016
8	30	30	451	13:01:07	Br-61	16.3.2016

Tabulka 14 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-62.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	30	30	547	13:57:46	Br-62	3.11.2015
2	30	30	534	13:58:49	Br-62	3.11.2015
3	30	30	518	14:01:41	Br-62	3.11.2015
4	30	53	504	14:03:06	Br-62	3.11.2015
5	30	30	494	14:04:00	Br-62	3.11.2015
6	30	30	490	14:04:46	Br-62	3.11.2015
7	30	30	481	14:05:43	Br-62	3.11.2015
8	30	74	473	14:07:20	Br-62	3.11.2015
9	30	91	470	14:08:23	Br-62	3.11.2015
10	30	227	470	14:10:42	Br-62	3.11.2015
1	30	30	437	13:41:38	Br-62	16.3.2016
2	30	30	434	13:42:17	Br-62	16.3.2016
3	30	30	1013	13:43:04	Br-62	16.3.2016
4	30	30	2482	13:43:41	Br-62	16.3.2016
5	30	30	2863	13:44:19	Br-62	16.3.2016
6	30	30	1316	13:45:09	Br-62	16.3.2016
7	30	30	1878	13:45:46	Br-62	16.3.2016
8	30	30	2200	13:46:24	Br-62	16.3.2016
9	30	30	2289	13:47:00	Br-62	16.3.2016
10	30	30	2276	13:47:39	Br-62	16.3.2016
11	30	30	2597	13:48:14	Br-62	16.3.2016
12	30	30	3041	13:48:51	Br-62	16.3.2016
13	30	30	3345	13:49:27	Br-62	16.3.2016
14	30	30	910	13:56:58	Br-62	16.3.2016
15	30	30	1363	13:57:35	Br-62	16.3.2016

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
16	30	30	1707	13:58:10	Br-62	16.3.2016
17	30	30	1938	13:58:50	Br-62	16.3.2016
18	30	30	2146	13:59:34	Br-62	16.3.2016
19	30	73	722	14:01:01	Br-62	16.3.2016
20	30	30	558	14:01:54	Br-62	16.3.2016
21	30	52	691	14:02:35	Br-62	16.3.2016
22	30	39	829	14:03:13	Br-62	16.3.2016
23	30	41	894	14:03:53	Br-62	16.3.2016
24	30	62	944	14:04:44	Br-62	16.3.2016
25	30	51	1083	14:05:31	Br-62	16.3.2016
26	30	49	1290	14:06:32	Br-62	16.3.2016
27	30	77	1334	14:07:27	Br-62	16.3.2016
28	30	111	1264	14:09:58	Br-62	16.3.2016
29	31	130	425	14:10:35	Br-62	16.3.2016
30	35	145	429	14:11:39	Br-62	16.3.2016
31	33	138	436	14:12:23	Br-62	16.3.2016
32	32	135	459	14:13:09	Br-62	16.3.2016
33	32	131	519	14:13:53	Br-62	16.3.2016
34	31	128	624	14:14:31	Br-62	16.3.2016
35	30	124	893	14:16:18	Br-62	16.3.2016
36	30	115	1103	14:17:03	Br-62	16.3.2016
37	36	148	1265	14:17:41	Br-62	16.3.2016
38	30	101	1345	14:18:18	Br-62	16.3.2016

Tabulka 15 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-64.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	30	30	423	15:06:06	Br-64	3.11.2015
2	30	30	484	15:07:00	Br-64	3.11.2015
3	30	30	434	15:07:45	Br-64	3.11.2015
4	30	30	441	15:13:07	Br-64	3.11.2015
5	30	30	434	15:14:07	Br-64	3.11.2015
6	30	30	437	15:16:32	Br-64	3.11.2015
7	30	30	410	15:20:03	Br-64	3.11.2015
8	30	30	409	15:20:57	Br-64	3.11.2015
9	30	30	412	15:21:48	Br-64	3.11.2015
10	30	30	459	15:22:43	Br-64	3.11.2015
11	30	30	403	15:24:59	Br-64	3.11.2015
1	30	30	2796	16:22:38	Br-64	3.12.2015
2	30	30	1744	16:32:10	Br-64	3.12.2015
3	30	30	5578	16:42:16	Br-64	3.12.2015
4	30	30	5892	16:48:18	Br-64	3.12.2015
5	30	30	861	16:57:42	Br-64	3.12.2015
6	30	30	2675	17:03:26	Br-64	3.12.2015
7	30	30	3152	17:11:47	Br-64	3.12.2015
8	30	30	2364	17:16:09	Br-64	3.12.2015
1	30	30	1093	16:20:58	Br-64	3.12.2015
2	30	30	3356	16:30:49	Br-64	3.12.2015
3	30	30	3065	16:38:58	Br-64	3.12.2015
4	30	30	4315	16:46:10	Br-64	3.12.2015
5	30	30	1236	16:57:01	Br-64	3.12.2015
6	1208	57	18747	17:01:16	Br-64	3.12.2015
7	1276	86	21831	17:04:22	Br-64	3.12.2015
8	30	30	2094	17:10:51	Br-64	3.12.2015
9	30	30	2253	17:12:56	Br-64	3.12.2015
10	30	30	5147	17:15:24	Br-64	3.12.2015
1	30	30	446	17:44:31	Br-64	21.3.2016
2	30	30	441	17:45:55	Br-64	21.3.2016
3	30	30	778	17:49:05	Br-64	21.3.2016
4	30	30	1901	17:49:45	Br-64	21.3.2016
5	30	30	2271	17:50:25	Br-64	21.3.2016
6	30	30	412	17:51:27	Br-64	21.3.2016
7	30	30	2342	17:54:09	Br-64	21.3.2016
8	30	30	2546	17:55:55	Br-64	21.3.2016
9	30	30	2655	17:58:12	Br-64	21.3.2016

Tabulka 16 Statistické vyhodnocení půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-89.

č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	č.vrtu	datum
1	30	30	434	13:12:31	Br-89	16.3.2016
2	30	30	442	13:13:28	Br-89	16.3.2016
3	30	30	486	13:14:21	Br-89	16.3.2016
4	30	30	832	13:15:10	Br-89	16.3.2016
5	30	30	499	13:15:53	Br-89	16.3.2016
6	30	30	627	13:17:20	Br-89	16.3.2016
7	30	30	1393	13:17:59	Br-89	16.3.2016
8	30	30	2095	13:18:38	Br-89	16.3.2016
9	30	30	2510	13:19:14	Br-89	16.3.2016
10	30	30	2770	13:19:57	Br-89	16.3.2016
11	30	30	2863	13:20:34	Br-89	16.3.2016
12	30	30	2883	13:21:13	Br-89	16.3.2016
13	30	30	777	13:28:37	Br-89	16.3.2016

Tabulka 17. Výsledky rozboru vzorků půdních plynů na plynovém chromatografu.

mez detekce	plyn (ppm obj)	Br-27	Br-62 /1	Br-62 /2	Br-62 /3
0.002	He	6	9	0	3
0.002	H2	0	0	0	0
0.005	CO2	1126	1760	781	645
0.0039	Ar	8930	8980	10088	10136
0.002	O2	198423	197357	183375	193930
0.00182	N2	791501	791878	805599	795260
0.028	metan-FID	7	9	100	14
0.01	CO	0	0	0	0
0.000018	eten	0	0	0	0
0.00002	etan	0	0	13	1
0.00002	propen	0	0	0	0
0.000373	propan	0	0	8	1
0.000153	isobutan	0	0	5	0
0.00014	n-butan	0	0	6	1
0.00004	2,2-DMpropan	0	0	1	0
0.00004	2-Mbutan	1	1	4	1
0.000055	n-pentan	1	0	6	1
2.25E-05	cyklopentan	1	1	2	1
0.00002	suma i-C6	3	3	7	5
0.00002	n-hexan	1	2	5	3
	SUMA	100%	100%	100%	100%

Tabulka 18 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-22: dne 5.8.2015

Br-22 5.8.2015 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	342	16:54:27
2	<LOQ	54	348	16:55:27
3	<LOQ	88	353	16:56:27
4	<LOQ	77	444	16:57:32
5	<LOQ	52	348	16:58:27
6	<LOQ	82	322	16:59:27
7	<LOQ	100	314	17:00:32
8	<LOQ	177	386	17:01:27
9	<LOQ	<LOQ	347	17:02:27
10	<LOQ	76	350	17:03:27
11	<LOQ	38	352	17:04:27
12	<LOQ	100	432	17:05:27
13	<LOQ	114	446	17:06:32
14	<LOQ	<LOQ	364	17:07:32
15	<LOQ	56	364	17:08:27
16	<LOQ	73	415	17:09:27
17	<LOQ	52	395	17:10:32
18	<LOQ	10	381	17:11:32
19	<LOQ	147	422	17:12:32
20	<LOQ	74	380	17:13:32
21	<LOQ	<LOQ	387	17:14:27
22	<LOQ	88	387	17:15:27
23	<LOQ	<LOQ	372	17:16:27
24	<LOQ	<LOQ	402	17:17:27
25	<LOQ	76	466	17:18:27

Tabulka 19 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-27: dne 16.3.2016

Br-27 16.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	429	14:59:18
2	<LOQ	<LOQ	694	15:00:05
3	<LOQ	<LOQ	468	15:01:56
4	<LOQ	<LOQ	521	15:02:35
5	<LOQ	<LOQ	663	15:03:21
6	<LOQ	<LOQ	464	15:05:07
7	<LOQ	<LOQ	598	15:05:54
8	<LOQ	<LOQ	846	15:06:44
9	<LOQ	<LOQ	794	15:09:48
10	3042	<LOQ	459	15:10:42
11	<LOQ	<LOQ	645	15:11:38
12	<LOQ	<LOQ	1112	15:12:16
13	3063	<LOQ	909	15:14:16
14	3031	<LOQ	698	15:14:56
15	3112	68	1127	15:15:37
16	<LOQ	<LOQ	1487	15:16:20
17	<LOQ	<LOQ	1727	15:17:03
18	<LOQ	<LOQ	1876	15:17:58
19	<LOQ	<LOQ	2010	15:18:56
20	2644	<LOQ	2132	15:20:28
21	3514	399	507	15:24:41
22	6151	1110	494	15:25:58
23	17112	9883	492	15:27:12

Tabulka 20 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-27: dne 21.3.2016

Br-27 21.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	3914	112	615	16:04:56
2	3351	52	1210	16:05:41
3	2408	137	955	16:11:48
4	2322	129	704	16:13:27
5	2300	192	439	16:14:31
6	2130	176	421	16:15:44
7	<LOQ	<LOQ	397	16:17:37
8	<LOQ	<LOQ	389	16:18:37
9	<LOQ	<LOQ	388	16:21:08
10	<LOQ	<LOQ	634	16:22:10

Tabulka 21 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-49: dne 5.8.2015

Br-49 5.8.2015 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	341	15:04:16
2	<LOQ	<LOQ	334	15:05:10
3	<LOQ	<LOQ	327	15:06:10
4	<LOQ	<LOQ	324	15:07:52
5	<LOQ	<LOQ	346	15:09:32
6	<LOQ	<LOQ	341	15:10:57
7	<LOQ	<LOQ	341	15:11:42
8	<LOQ	<LOQ	347	15:12:41
9	<LOQ	<LOQ	334	15:14:17
10	305	319	350	15:15:11
11	95	214	353	15:20:15
12	<LOQ	<LOQ	333	15:21:02
13	<LOQ	<LOQ	337	15:21:44
14	53	<LOQ	355	15:23:31
15	<LOQ	<LOQ	332	15:24:14
16	<LOQ	<LOQ	358	15:24:55
17	<LOQ	<LOQ	363	15:25:44
18	<LOQ	<LOQ	340	15:26:31
19	<LOQ	<LOQ	348	15:27:09
20	<LOQ	<LOQ	436	15:27:49
21	<LOQ	<LOQ	344	15:28:34
22	338	<LOQ	358	15:31:01
23	<LOQ	<LOQ	339	15:31:47
24	<LOQ	<LOQ	326	15:32:23
25	<LOQ	<LOQ	343	15:33:16

Tabulka 22 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-49: dne 3.12.2015

Br-49 3.12.2015 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	433	12:34:10
2	<LOQ	<LOQ	407	12:35:57
3	<LOQ	<LOQ	412	12:37:29
4	<LOQ	<LOQ	413	12:38:19
5	<LOQ	<LOQ	418	12:38:55
6	<LOQ	<LOQ	426	12:40:02
7	<LOQ	<LOQ	406	12:40:42
8	<LOQ	<LOQ	405	12:41:22
9	<LOQ	<LOQ	404	12:42:14
10	<LOQ	<LOQ	459	12:43:31
11	<LOQ	<LOQ	402	12:44:23
12	<LOQ	<LOQ	512	12:45:28
13	<LOQ	<LOQ	453	12:46:40
14	<LOQ	<LOQ	401	12:47:45
15	<LOQ	<LOQ	402	12:49:29
16	<LOQ	<LOQ	401	12:50:27
17	<LOQ	<LOQ	476	12:51:30
18	<LOQ	<LOQ	401	12:52:14
19	<LOQ	<LOQ	400	12:53:14
20	<LOQ	<LOQ	401	12:56:13
21	<LOQ	<LOQ	400	12:56:59
22	<LOQ	<LOQ	397	12:57:43
23	<LOQ	<LOQ	398	12:58:34
24	<LOQ	<LOQ	398	12:59:32
25	<LOQ	<LOQ	398	13:00:13

Tabulka 23 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-55: dne 16.3.2015

Br-55 16.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	1335	254	1723	11:34:52
2	1469	352	448	11:35:49
3	1287	352	420	11:36:54
4	1488	365	435	11:38:19
5	1590	379	416	11:39:03
6	1664	614	490	11:41:46
7	3783	1323	484	11:42:50
8	14406	10134	482	11:43:56

Tabulka 24 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-58: dne 16.3.2016

Br-58 16.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	3881	89	557	12:07:27
2	3747	74	611	12:08:10
3	3571	83	664	12:08:59
4	3656	82	1004	12:12:16
5	<LOQ	<LOQ	2377	12:12:56
6	3485	87	811	12:14:42
7	3725	96	451	12:16:02
8	3616	102	422	12:17:31

Tabulka 25 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-61: dne 16.3.2016

Br-61 16.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	491	12:53:44
2	<LOQ	<LOQ	533	12:54:22
3	<LOQ	<LOQ	512	12:55:31
4	<LOQ	<LOQ	552	12:56:30
5	<LOQ	<LOQ	446	12:57:40
6	<LOQ	<LOQ	457	12:58:51
7	<LOQ	<LOQ	436	13:00:14
8	<LOQ	<LOQ	451	13:01:07

Tabulka 26 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-62: dne 3.11.2015

Br-62 3.11.2015 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	547	13:57:46
2	<LOQ	<LOQ	534	13:58:49
3	<LOQ	<LOQ	518	14:01:41
4	<LOQ	53	504	14:03:06
5	<LOQ	<LOQ	494	14:04:00
6	<LOQ	<LOQ	490	14:04:46
7	<LOQ	<LOQ	481	14:05:43
8	<LOQ	74	473	14:07:20
9	<LOQ	91	470	14:08:23
10	<LOQ	227	470	14:10:42

Tabulka 27 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-62: dne 16.3.2016

Br-62 16.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	437	13:41:38
2	<LOQ	<LOQ	434	13:42:17
3	<LOQ	<LOQ	1013	13:43:04
4	<LOQ	<LOQ	2482	13:43:41
5	<LOQ	<LOQ	2863	13:44:19
6	<LOQ	<LOQ	1316	13:45:09
7	<LOQ	<LOQ	1878	13:45:46
8	<LOQ	<LOQ	2200	13:46:24
9	<LOQ	<LOQ	2289	13:47:00
10	<LOQ	<LOQ	2276	13:47:39
11	<LOQ	<LOQ	2597	13:48:14
12	<LOQ	<LOQ	3041	13:48:51
13	<LOQ	<LOQ	3345	13:49:27
14	<LOQ	<LOQ	910	13:56:58
15	<LOQ	<LOQ	1363	13:57:35
16	<LOQ	<LOQ	1707	13:58:10
17	<LOQ	<LOQ	1938	13:58:50
18	<LOQ	<LOQ	2146	13:59:34
19	2729	73	722	14:01:01
20	2397	<LOQ	558	14:01:54
21	2357	52	691	14:02:35
22	2237	39	829	14:03:13
23	2120	41	894	14:03:53
24	2021	62	944	14:04:44
25	1859	51	1083	14:05:31
26	1826	49	1290	14:06:32
27	1873	77	1334	14:07:27
28	2204	111	1264	14:09:58
29	2148	130	425	14:10:35
30	2039	145	429	14:11:39
31	1985	138	436	14:12:23
32	1902	135	459	14:13:09
33	1839	131	519	14:13:53
34	1782	128	624	14:14:31
35	1807	124	893	14:16:18
36	1823	115	1103	14:17:03
37	1925	148	1265	14:17:41
38	1625	101	1345	14:18:18

Tabulka 28 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-64: dne 3.11.2015

Br-64 3.11.2015 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	423	15:06:06
2	<LOQ	<LOQ	484	15:07:00
3	<LOQ	<LOQ	434	15:07:45
4	<LOQ	<LOQ	441	15:13:07
5	<LOQ	<LOQ	434	15:14:07
6	<LOQ	<LOQ	437	15:16:32
7	<LOQ	<LOQ	410	15:20:03
8	<LOQ	<LOQ	409	15:20:57
9	<LOQ	<LOQ	412	15:21:48
10	<LOQ	<LOQ	459	15:22:43
11	<LOQ	<LOQ	403	15:24:59

Tabulka 29 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-64: dne 3.12.2015

Br-64 3.12.2015 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)	hlobka sondy (m)
1	<LOQ	<LOQ	2796	16:22:38	0.20
2	<LOQ	<LOQ	1744	16:32:10	0.20
3	<LOQ	<LOQ	5578	16:42:16	0.20
4	<LOQ	<LOQ	5892	16:48:18	0.20
5	<LOQ	<LOQ	861	16:57:42	0.20
6	<LOQ	<LOQ	2675	17:03:26	0.20
7	<LOQ	<LOQ	3152	17:11:47	0.20
8	<LOQ	<LOQ	2364	17:16:09	0.20
1	<LOQ	<LOQ	1093	16:20:58	0.80
2	<LOQ	<LOQ	3356	16:30:49	0.80
3	<LOQ	<LOQ	3065	16:38:58	0.80
4	<LOQ	<LOQ	4315	16:46:10	0.80
5	<LOQ	<LOQ	1236	16:57:01	0.80
6	5234	246	18747	17:01:16	0.80
7	5527	373	21831	17:04:22	0.80
8	<LOQ	<LOQ	2094	17:10:51	0.80
9	<LOQ	<LOQ	2253	17:12:56	0.80
10	<LOQ	<LOQ	5147	17:15:24	0.80

Tabulka 30 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-89: dne 16.3.2016

Br-89 16.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	434	13:12:31
2	<LOQ	<LOQ	442	13:13:28
3	<LOQ	<LOQ	486	13:14:21
4	<LOQ	<LOQ	832	13:15:10
5	<LOQ	<LOQ	499	13:15:53
6	<LOQ	<LOQ	627	13:17:20
7	<LOQ	<LOQ	1393	13:17:59
8	<LOQ	<LOQ	2095	13:18:38
9	<LOQ	<LOQ	2510	13:19:14
10	<LOQ	<LOQ	2770	13:19:57
11	<LOQ	<LOQ	2863	0.55595
12	<LOQ	<LOQ	2883	13:21:13
13	<LOQ	<LOQ	777	13:28:37

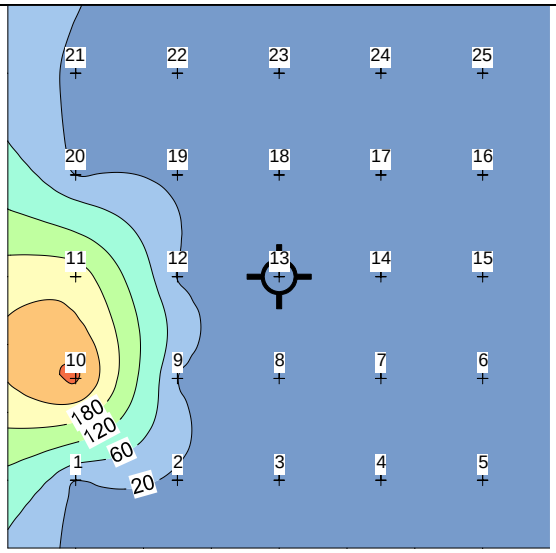
Tabulka 31 Měření půdního vzduchu v místě zlikvidovaného vrtu Br-64: dne 21.3.2016

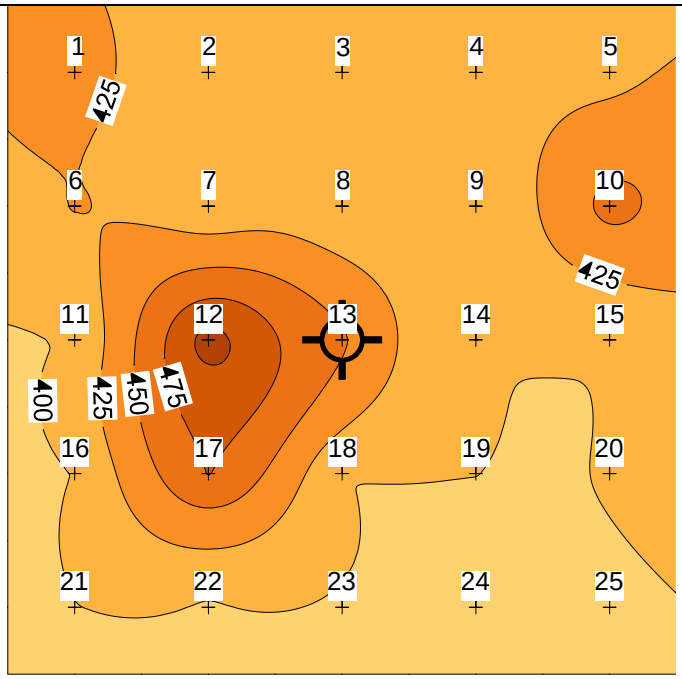
Br-64 21.3.2016 č.měření	CH4 (ppm obj)	TP (ppm obj)	CO2 (ppm obj)	čas měření (hh:mm:ss)
1	<LOQ	<LOQ	446	17:44:31
2	<LOQ	<LOQ	441	17:45:55
3	<LOQ	<LOQ	778	17:49:05
4	<LOQ	<LOQ	1901	17:49:45
5	<LOQ	<LOQ	2271	17:50:25
6	<LOQ	<LOQ	412	17:51:27
7	<LOQ	<LOQ	2342	17:54:09
8	<LOQ	<LOQ	2546	17:55:55
9	<LOQ	<LOQ	2655	17:58:12

Tabulka 32 Výsledné hodnoty měření: aritmetický průměr, minimální a maximální hodnota z celého souboru dat

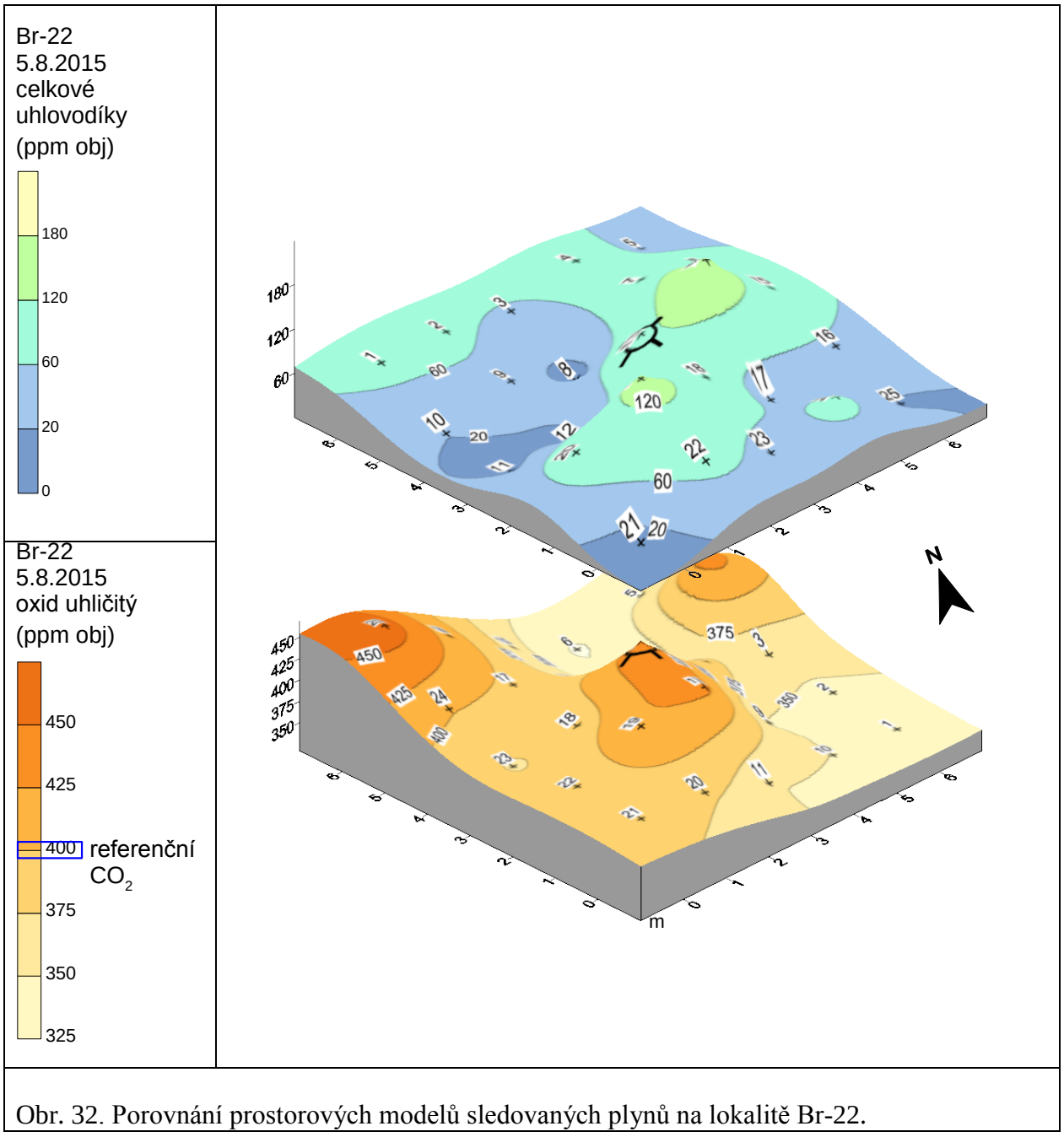
datum	vrt_plyn	art. prům	min hod	max hod
3.11.2015	Br-64_CO2	431	403	484
3.12.2015	Br-64_CO2	4900	861	21831
21.3.2016	Br-64_CO2	1532	412	2655
16.3.2016	Br-27_CO2	920	429	2132
21.3.2016	Br-27_CO2	615	388	1210
3.11.2015	Br-62_CO2	498	470	547
16.3.2016	Br-62_CO2	1351	425	3345
16.3.2016	Br-61_CO2	485	436	552
16.3.2016	Br-89_CO2	1432	434	2883
16.3.2016	Br-55_CO2	612	416	1723
16.3.2016	Br-58_CO2	862	422	2377
5.8.2015	Br-22_CO2	381	314	466
5.8.2015	Br-49_CO2	346	324	436
3.12.2015	Br-49_CO2	417	397	512
3.11.2015	Br-64_CH4	30	30	30
3.11.2015	Br-64_TP	30	30	30
3.12.2015	Br-64_CH4	182	50	1276
3.12.2015	Br-64_TP	52	30	86
21.3.2016	Br-64_CH4	30	30	30
21.3.2016	Br-64_TP	30	30	30
16.3.2016	Br-27_CH4	292	50	1419
16.3.2016	Br-27_TP	60	30	256
21.3.2016	Br-27_CH4	30	30	30
21.3.2016	Br-27_TP	100	30	192
3.11.2015	Br-62_CH4	30	30	30
3.11.2015	Br-62_TP	70	30	227
16.3.2016	Br-62_CH4	36	30	50
16.3.2016	Br-62_TP	73	30	148
16.3.2016	Br-61_CH4	30	30	30
16.3.2016	Br-61_TP	30	30	30
16.3.2016	Br-89_CH4	30	30	30
16.3.2016	Br-89_TP	30	30	30
16.3.2016	Br-55_CH4	780	297	3325
16.3.2016	Br-55_TP	397	59	2339
16.3.2016	Br-58_CH4	747	30	896
16.3.2016	Br-58_TP	30	30	30
5.8.2015	Br-22_CH4	30	30	30
5.8.2015	Br-22_TP	68	30	177
5.8.2015	Br-49_CH4	74	50	339

datum	vrt_plyn	art. prům	min hod	max hod
5.8.2015	Br-49_TP	66	30	319
3.12.2015	Br-49_CH4	30	30	30
3.12.2015	Br-49_TP	30	30	30

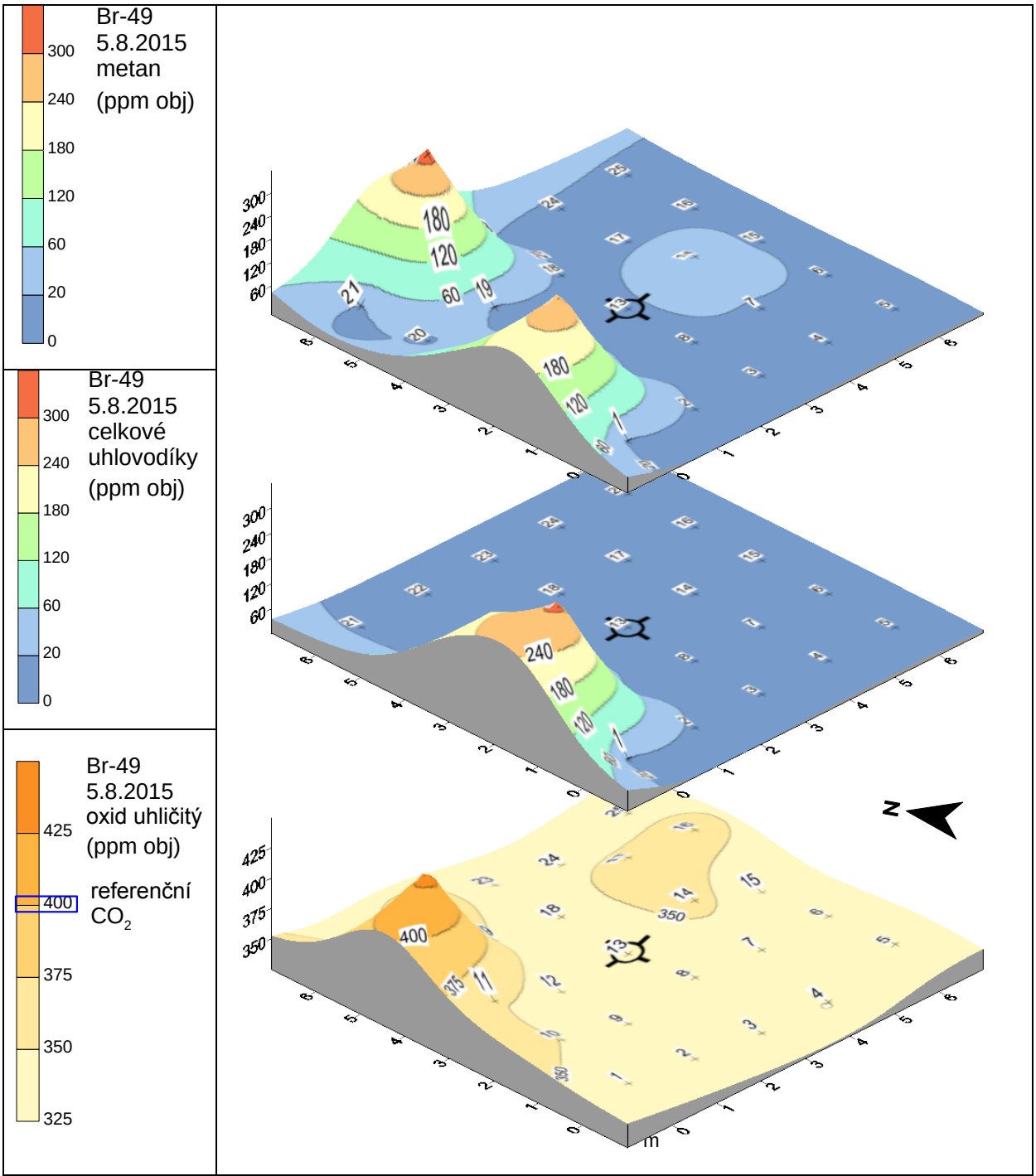




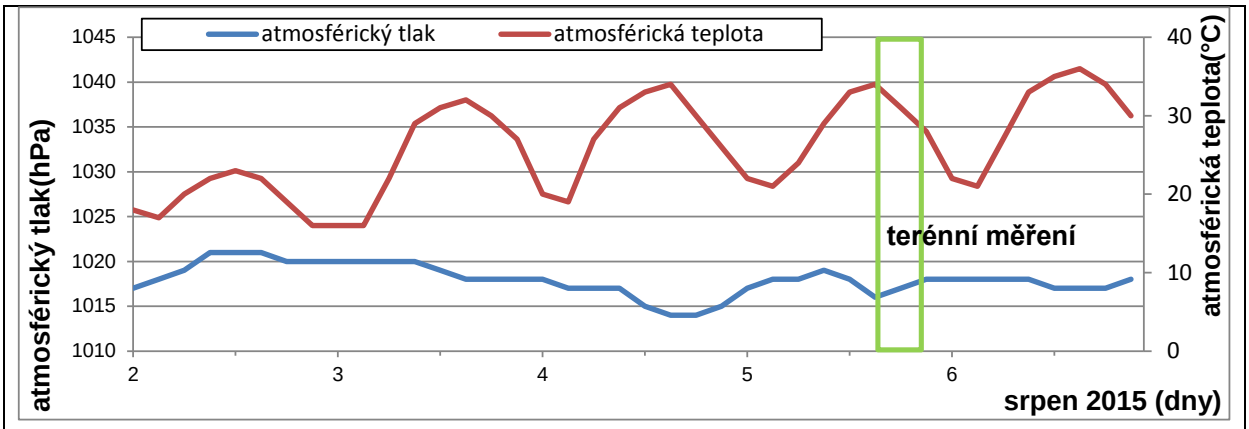
Obr. 31. Izoliniové-mapy obsahu sledovaných plynů CO_2. Křížek - Br-49, 1 – 25 půdní sondy.



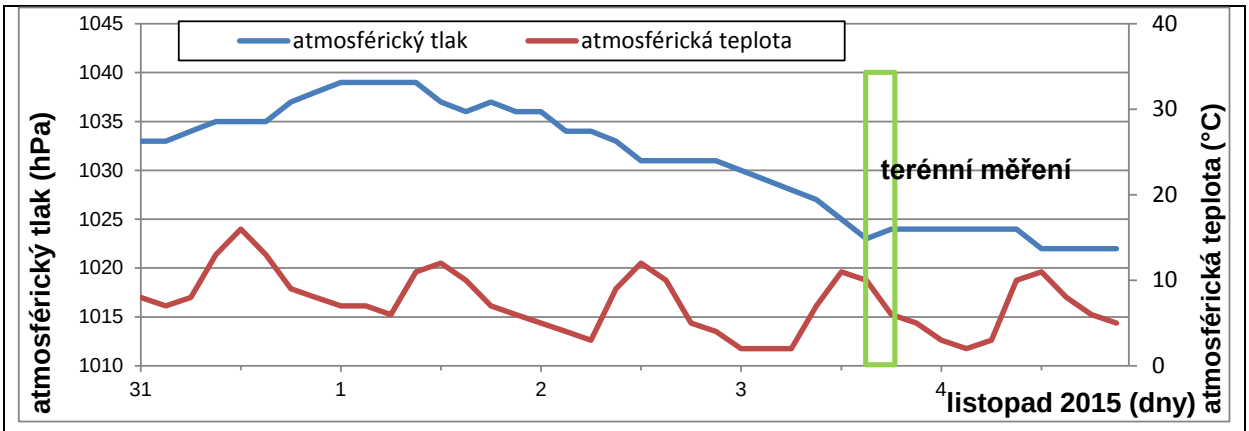
Obr. 32. Porovnání prostorových modelů sledovaných plynů na lokalitě Br-22.



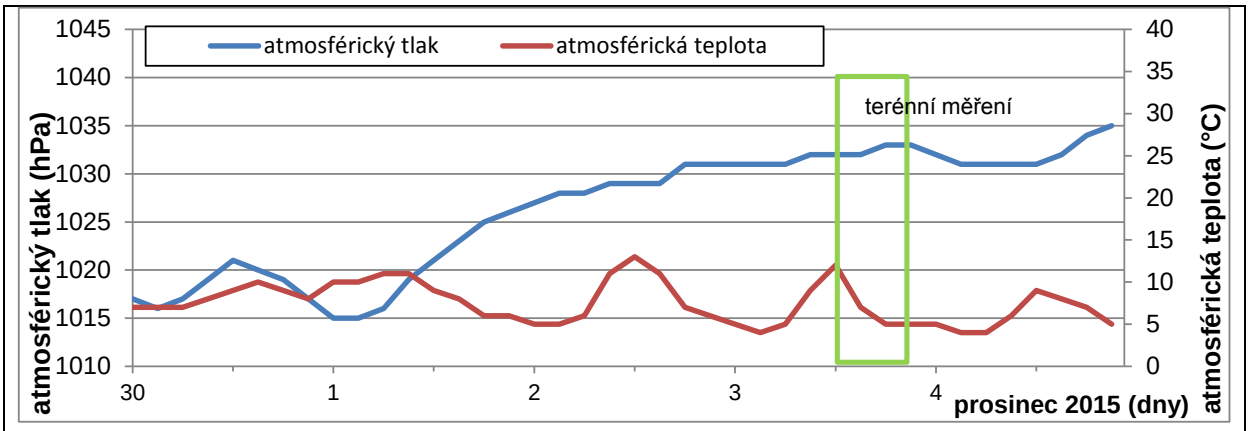
Obr. 33. Porovnání prostorových modelů sledovaných půdních plynů z lokality Br-49.



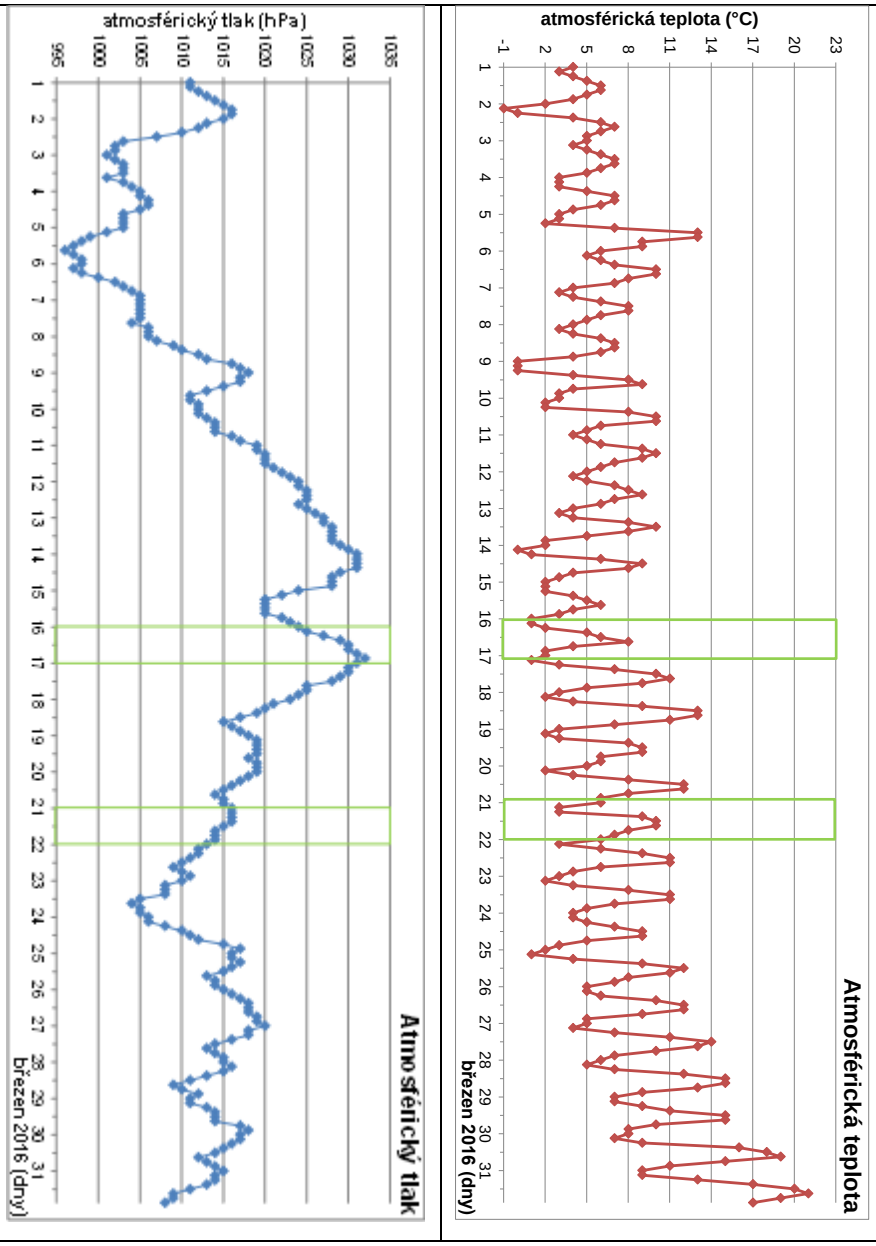
Obrázek 34. Záznam meteorologických dat za měsíc srpen 2015 s vyznačeným dnem, kdy proběhlo terénní měření.



Obrázek 35. Záznam meteorologických dat za měsíc listopad 2015 s vyznačeným dnem, kdy proběhlo terénní měření.



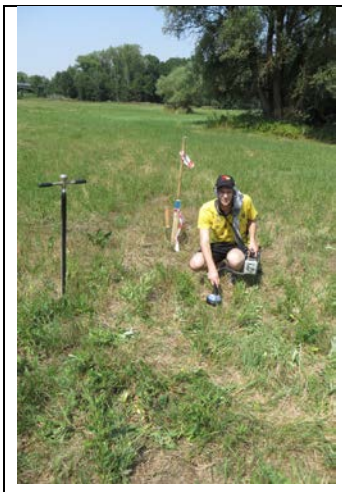
Obrázek 36. Záznam meteorologických dat za měsíc prosinec 2015 s vyznačeným dnem, kdy proběhlo terénní měření.



Obrázek 37. Záznam meteorologických dat za měsíc březen 2016 s vyznačenými dny, kdy proběhlo terénní měření.

Fotopříloha 4. Proces likvidace vrtné sondy Br-22:

1. Určení GPS polohy podle databáze, specifickým rysem lokality je vyschlý rostlinný pokryv v místě nad zlikvidovaným vrtem, pravděpodobně z důvodů výstupu plynu půdním horizontem. Zde bylo provedeno atmogeochemické měření před relikvidaci vrtu.
2. Příprava šachty vrtu Br-22 pro opakovanou likvidaci.
3. Obnažení ústí vrtu Br-22.
4. Detail řídící a úvodní kolony zlikvidovaného ústí vrtu. Modré úlomky jsou zbytky cementu.



1

2

3

4

5

6

Fotopříloha 5. Fotomozaika navštívených lokalit (vrtů).

1. Br-49
2. Br-55
3. Br-22
4. Br-58
5. Br-61
6. Br-62

Fotopříloha 6. Odběru vzorků plynů.

1. odběr plynů během relikvidace vrtu Br-22
2. odběr plynů během terénního měření ze dne
3. testování kapalného vzorku in situ