

1	Úvod.....	3
2	Všeobecné informace .....	4
2.1	Geografie.....	4
2.2	Geomorfologie .....	5
2.3	Klimatické poměry .....	5
2.4	Hydrologie.....	8
2.5	Hydrogeologie.....	10
2.6	Geologie .....	11
2.6.1	Holocenní aluviálních sedimenty v Hornomoravském Úvalu .....	14
2.7	Geochemie těžkých kovů .....	15
2.7.1	Geochemie sorpce a desorpce .....	16
2.7.2	Interakce těžkých kovů s jílovými minerály .....	17
2.7.3	Interakce těžkých kovů s oxidy a hydroxidy Al, Fe a Mn .....	18
2.7.4	Interakce těžkých kovů s organickou hmotou.....	19
2.8	Vlastnost těžkých kovů .....	19
2.8.1	As-arzen .....	19
2.8.2	Cd-kadmium.....	20
2.8.3	Co-kobalt.....	20
2.8.4	Cr-chrom .....	21
2.8.5	Cu-měď .....	21
2.8.6	Ni-nikl .....	22
2.8.7	Pb-olovo .....	22
2.8.8	Sb-antimon .....	23
2.8.9	Zn zinek.....	23
2.9	Fluviální sedimentační prostředí .....	23
2.9.1	Sedimenty mrtvých ramen .....	25
2.10	Charakter říční sítě horního toku řeky Moravy .....	26
2.11	Environmetalní sedimentologie.....	27
2.12	Environmentální sedimentologie ve fluviálním prostředí .....	27
2.12.1	Přírodní vliv na sedimentaci.....	28
2.12.1.1	Klimatické změny .....	28
2.12.1.2	Tektonika.....	29
2.12.1.3	Lesní požáry .....	29
2.12.1.4	Vulkanická činnost.....	29
2.12.2	Antropogenní vliv na sedimentaci.....	30
2.12.2.1	Zemědělství, odlesnění .....	30
2.12.2.2	Těžba nerostných surovin.....	31
2.12.2.3	Regulace toku .....	31
2.12.2.4	Urbanizace.....	32
2.12.2.5	Průmysl.....	32
2.13	Studie recentních aluviálních sedimentů.....	32
2.14	Zdroje těžkých kovů v zájmovém území .....	34
2.14.1	Přirozené zdroje.....	34
2.14.2	Antropogenní zdroje.....	35
2.14.2.1	Průmysl.....	36
2.14.2.2	Skládky komunálního a průmyslového odpadu .....	36
2.14.2.3	Odpadní vody z domácností.....	37
2.14.2.4	Těžba nerostných surovin (руды).....	37
2.14.2.5	Zemědělství .....	38

2.14.2.6	Ostatní zdroje .....	38
3	Metodika.....	38
3.1	Výběr lokalit.....	38
3.2	Odběr vzorků a zpracování vzorky .....	38
3.3	Geofyzikální metoda: elektrická rezistivita.....	39
3.4	Laboratorní metod .....	39
3.4.1	Granulometrie.....	39
3.4.2	Měření <sup>137</sup> Cs na gamaspektrometru.....	40
3.4.3	Měření barev Kolorimetr.....	41
3.4.4	Měření magnetické susceptibility.....	42
3.4.5	Měření koncentrací těžkých kovů .....	43
3.5	Zpracování dat.....	43
4	Prameny.....	43
4.1	Literární zdroje .....	43
4.2	Internetové zdroje.....	46
4.3	Soupis map .....	47

## Seznam obrázků

<b>OBR. 1</b>	ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ ( <a href="http://geoportál.cuzk.cz">HTTP://GEOPORTAL.CUZK.CZ</a> 2011).....	4
<b>OBR. 2</b>	KLIMATICKÉ OBLASTI V OLOMOUCKÉM KRAJI (ŠAFÁŘ ET AL. 2003) .....	6
<b>OBR. 3</b>	PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ TEPLoty ZE STANIC PASEKA, OLMOUC A LUKA (ČHMÚ).....	7
<b>OBR. 4</b>	STANICE LITovel PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ SRÁŽKY (ČHMÚ).....	7
<b>OBR. 5</b>	MĚRNÝ PROFIL MORAVIČANY DLOUHODOBÝ MĚSÍČNÍ PRŮMĚR (ČHMÚ) .....	10
<b>OBR. 6</b>	SEDIMENTAČNÍ PROSTŘEDÍ MEANDRUJÍCÍCH ŘEK (NICHOLS 2009) .....	25
<b>OBR. 7</b>	VZNIK CUT OFF MEANDRU (WALKER R.G. 1984) .....	26
<b>OBR. 8</b>	LASEROVÝ GRANULOMETR .....	40
<b>OBR. 9</b>	GAMASPEKTROMETR GR 320.....	41
<b>OBR. 10</b>	Spektrální fotometr SP-62.....	42

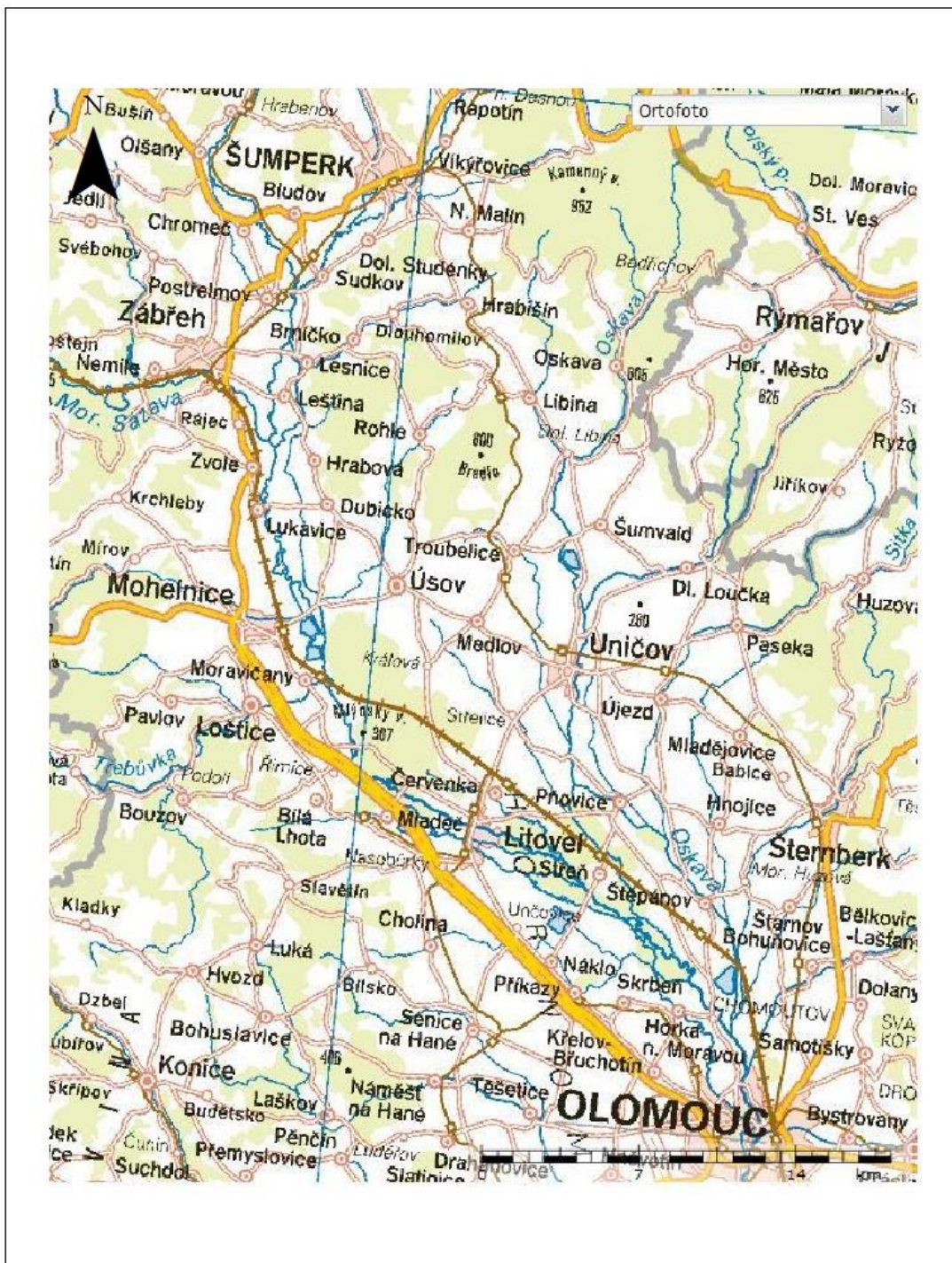
# 1 Úvod

Cílem této práce je studium recentních aluviálních sedimentů na horním toku řeky Moravy.

## 2 Všeobecné informace

### 2.1 Geografie

Studovaná oblast je na střední Moravě a rozkládá se mezi sídly Šumperk až Olomouc. Podél toku Moravy se dále nacházejí tyto významné sídelní celky Zábřeh na Moravě, Mohelnice a Litovel. Studovaná oblast je na jihu omezena krajským městem Olomouc (**obr.1**).



Obr. 1 Zájmové území (<http://geoportal.cuzk.cz> 2011)

## **2.2 Geomorfologie**

Severní část studovaného území tvoří mohelnická brázda patřící do geomorfologické jednotky Jesenická podsoustava IV C. Mohelnická brázda je úzká protáhlá sníženina, kterou protéká řeka Morava. Území je ohraničeno Zábřežskou vrchovinou na Z a Hanušovickou vrchovinou na V. Rozloha je 122,16 km<sup>2</sup>. Větší část studovaného území náleží Hornomoravskému úvalu (HÚ), jež patří do jednotky Západní Vněkarpatských sníženin. Rozkládá se mezi Dražanskou vrchovinou na Z a Nízkým Jeseníkem na V (Demek a Mackovčín, 2006). Výrazný geomorfologický předěl mezi těmito dvěma celky tvoří tzv. Třesínský práh. V přibližné ose obou jednotek teče řeka Morava, jejíž recentní sedimenty jsou v této diplomové práci studovány. Konkrétně studovaná oblast spadá do podcelku Středomoravské nivy.

## **2.3 Klimatické poměry**

Z makroklimatického hlediska náleží studovaná oblast k severnímu mírnému podnebí. Dochází zde ke střetu vlivů Atlantského oceánu od západu a euroasijského kontinentálního z východu. Převážné proudění atmosférických má sv. směr.

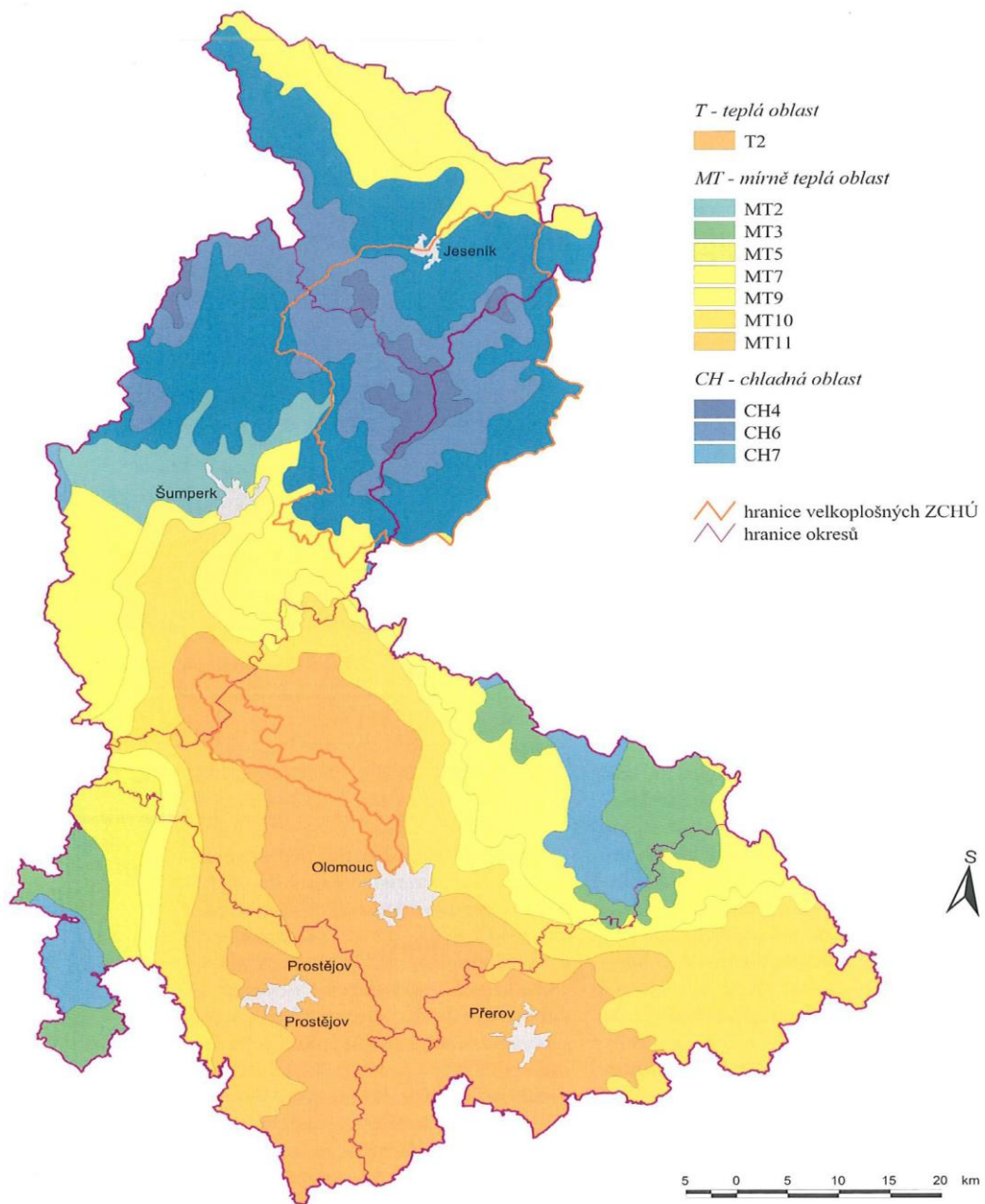
Podle Köppenovy klimatické klasifikace, která je celosvětově nejuznávanější spadá HÚ do podtypu podnebí listnatých lesů mírného pásma Cfb.

Quittova klimatická klasifikace rozlišuje 23 jednotek ve třech oblastech (teplá, mírně teplá, chladná) definovaných určitými kombinacemi hodnot 14 klimatologických charakteristik ( počet letních, mrazových a ledových dní, počet zamračených a jasných dní, počet dní se sněhovou pokrývkou, počet dní se srážkami 1 mm a víc, průměrná teplota vzduchu, v dubnu, v červenci, a v říjnu, srážkový úhrn za vegetační období (duben až září) a v zimním období ( říjen až březen) a počet dní s průměrnou teplotou 10 °C ). Dle Quittovi klasifikace spadá HÚ do teplé oblasti T2 a Mohelnická brázda do mírně teplé oblasti MT11 ( Tolasz et al., 2007). Klimatické oblasti studovaného území a přilehlých oblastí je znázorněno na **obr.2**.

Studované území je charakteristické dlouhým létem , teplým suchým a velmi krátkým teplým přechodným obdobím s teplým až mírně teplým jarem. Typická je krátká, mírně teplá, suchá až velmi suchá zima s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky.

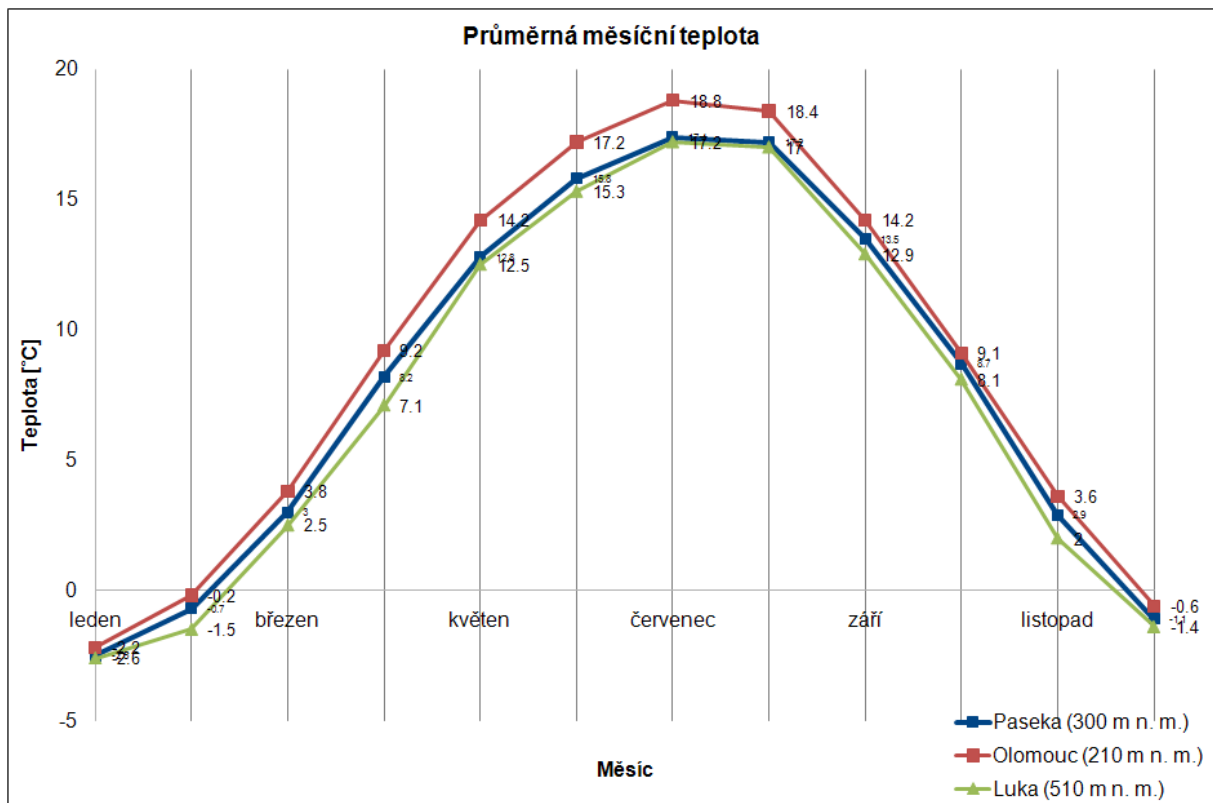
Mohelnická brázda a HÚ mají roční průměrné teploty mezi 7-9 °C. Přilehlá území Hanušovické vrchovině a Kralickému Sněžníku má nižší průměrné teploty oproti Mohelnické Brázdě a HÚ mezi 2-6 °C ( Tolasz et al., 2007).

Průměrné měsíční teploty ze stanic Paseka, Luka a Olomouc (**obr. 3**) ukazují průběh teplot během roku z dlouhodobých průměrů za období 1975 až 2000. Stanice v Olomouci ukazují nejvyšší průměrné teploty po celý rok, ale nejvýraznější rozdíl je během letních měsíců. Tento rozdíl je dán především rozdílnou nadmořskou výškou stanic. Teploty se v průměru budou v Hů podobat teplotám z Olomouce. Oblast Mohelnické brázdy leží teplotně mezi stanicemi Olomouc a Paseka.

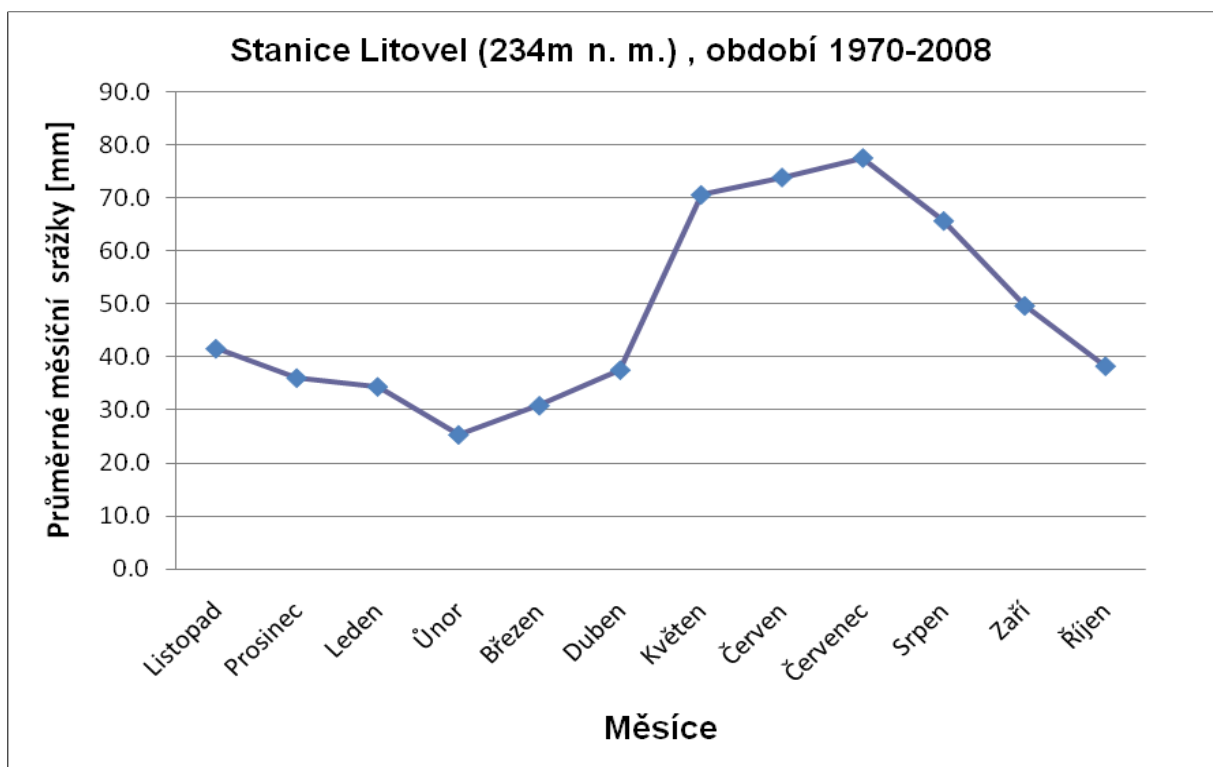


**Obr. 2** Klimatické oblasti v Olomouckém kraji (Šafář et al. 2003)





**Obr. 3** Průměrné měsíční teploty ze stanic Paseka, Olomouc a Luka (ČHMÚ)



**Obr. 4** Stanice Litovel průměrné měsíční srážky (ČHMÚ)

Srážkové úhrny Mohelnické brázdy a Hú jsou poloviční oproti pramenité oblasti řeky Moravy v oblasti Kralického Sněžníku. Dlouhodobý roční úhrn srážek se pohybuje mezi 500-600 mm/rok. Úhrny srážek severně od Šumperka dosahují hodnot 700-1200 mm/rok a maxima jsou ve vrcholových partiích Kralického Sněžníku, kde dosahují až 1400mm/rok. Z toho vyplývá velká dotace atmosférickými srážkami v prameni oblasti řeky Moravy. Důvod nižších srážek je dán polohou oblasti na závětrné straně Zábřežské a Dražanské vrchoviny. Nejvyšší úhrn srážek je v letních měsících červen červenec, což souvisí s větším výparem a následnou kondenzací vodních par v lokálním měřítku. **Obr. 4** znázorňuje průměrné měsíční srážky z hydrometeorologické stanice Litovel. Průměrné měsíční srážky jsou spočítány za období 1970 až 2008.

Počet dnů s trvalou sněhovou pokrývkou kolísá mezi 30-40 dny. Průměrná rychlost větru je  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Specifikem mikroklimatu mezi Litovlí a Olomoucí v místech lužního lesa je častý vznik přízemních radiačních inverzí a mlh

## 2.4 Hydrologie

Studované území patří do povodí Moravy, která je 3. nejdelší řekou České republiky a protéká stejnojmenným historicko-správním regionem Morava. Povodí Moravy má rozlohu 26 580 km<sup>2</sup>, pramení pod Kralickým Sněžníkem a vlévá se do Dunaje, který ústí do Černého moře.

Délka	řeky	Moravy	je	354	km.
-------	------	--------	----	-----	-----

Morava pramení na jz. svahu Kralického Sněžníku ve výšce 1380 m n. m. V prvních 8 km prudce klesá do nadmořské výšky 550 m n.m.. Dále protéká Brannenskou vrchovinou a u Postřelmova vtéká do Mohelnické brázdy, kde začíná studijní oblast této práce. Od ústí řeky Desné u Postřelmova dochází ke změně bystrinného charakteru Moravy a zároveň se začíná více uplatňovat akumulární činnost oproti erozivní činnosti. Sklon toku Moravy se zmenšuje. Tok Moravy v Mohelnické brázdě byl v průběhu posledních 2 stoletích velmi pozměněn regulací toku. Regulace je patrná u velké části toku například. bývalý meandr u Zvole odříznutý od hlavního toku v roce 1973. Dále jsou to odříznuté meandry u Postřelmova, Lesnice nebo Moravičan. K regulaci docházelo kvůli proti povodňovým opatřením a vysoušení půdy. Tohle napřímení vedlo k rychlejším průtokům a tím, zmenšení akumulární činnosti v regulovaných částech a naopak zvýšení akumulární částech v nezregulovaných, jak je podobně popisováno i z oblasti Strážnického Pomoraví (Grygar et al. 2009).



Pod přítokem Třebůvky u Moravičan vtéká Morava do Hú, kde protéká jeho střední částí Středomoravskou nivou. Od Třestinského prahu začíná Morava mít anastomozní charakter ,který je typický větvením a meandrováním Moravy. Tato hustá říční síť propojených meandrujících koryt vytváří tkz. vnitřní deltu (Kirchner et al. 1998). Spád řeky Moravy v Hú je poměrně malý pohybuje se kolem  $70 \text{ cm} \cdot \text{km}^{-1}$  podle Panoše (in Šarapatka 1991). Díky svému málo antropogeně ovlivněnému toku a zachovalým lužním lesům s bohatou faunou a florou je tok Moravy a přilehlé oblasti součástí CHKO Litovelské Pomoraví, které začíná u Mohelnice a táhne se až k Olomouci.

Délka řeky Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví činí přibližně 40 km, z toho bylo regulováno 18 km toku a 22 km je tvořeno převážně přírodě blízkým, neupravovaným korytem. Od silnice Mohelnice – Stavenice až po cestu Mladeč – Nové Zámky je řeka víceméně částečně regulována, následuje asi dvoukilometrový úsek přirozeně meandrujícího toku v národní přírodní rezervaci Vrapač. Těsně nad Litovlí a v její zastavěné části je řeka opět regulována, pod ní následuje dlouhý úsek přirozeně meandrujícího toku v národní přírodní rezervaci Ramena řeky Moravy. V tomto úseku je provedeno jen několik krátkých stabilizačních úprav toku, a sice nad mosty a jezy.

Přirozeně meandrující hlavní tok řeky Moravy se v lužních lesích větví na řadu bočních, trvale či periodicky protékaných říčních koryt (na Hané lidově nazývaných „smohe“).

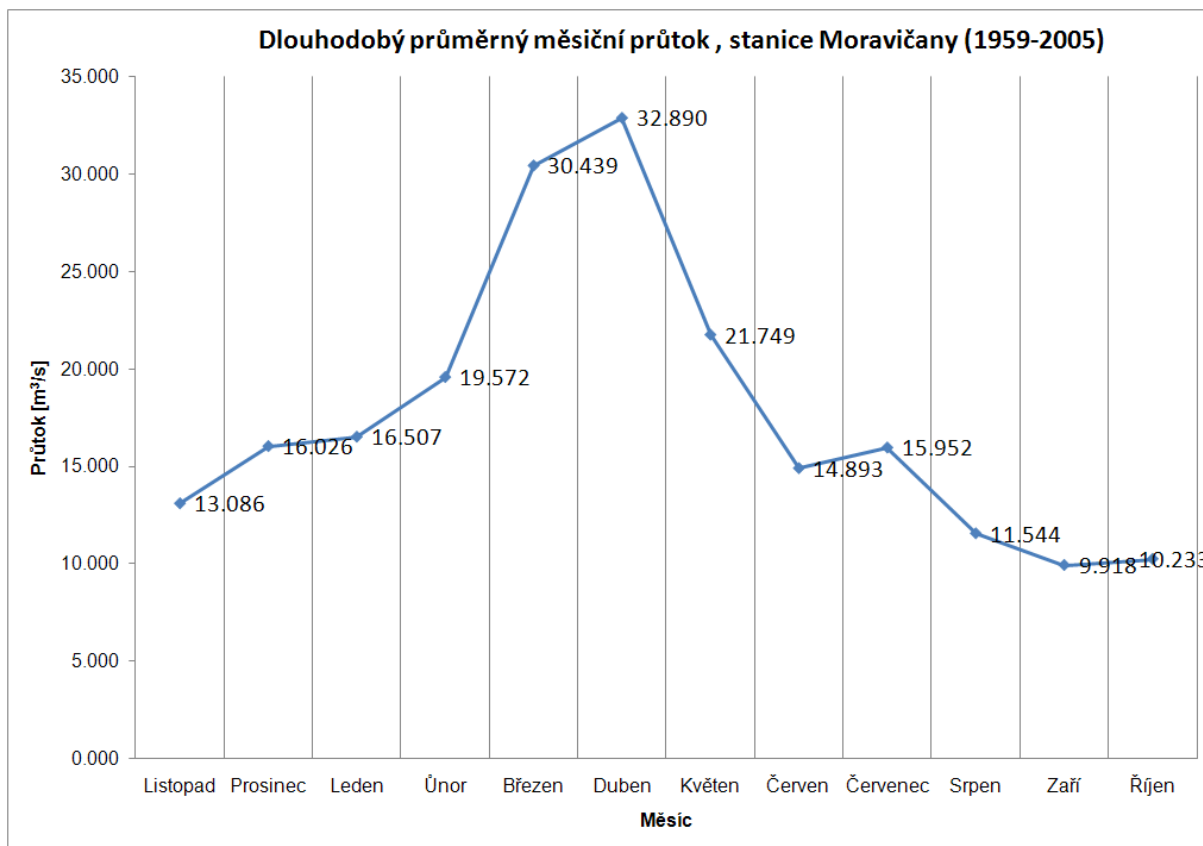
Hospodářským působením člověka, zejména údržbou koryt, těžbou šterků a regulací (napřímováním) vodních toků docházelo k postupné přeměně anastomozního říčního vzoru na říční vzor s jedním (dominantním) korytem, které je oproti původním říčním ramenům značně zahlobeno a rozšířeno.

Při povodních se voda rozlévá rozsáhlým systémem meandrujících koryt a smoh po celém komplexu lužního lesa, po povodních zůstává v korytech v podobě jarních periodických tůní, postupně zasakuje do půdy lužního lesa, až v letním suchém období zcela zmizí. V důsledku rozlivů do lužních lesů a luk dochází k zpomalení a tlumení povodňové průtoků.

#### Krajina

Průtok řeky Moravy kolísá během roku (**obr. 5**). Maxima dosahuje v jarních měsících březnu a dubnu a naopak minima od srpna do října. Z **obr. 4** je vidět, že nejvyšší srážky v letních měsících nezpůsobují největší průměrné ,měsíční průtoky. Tohle je způsobeno, zachycením srážek na rostlinný pokryv a větším výparem a tím zmenšení povrchového odtoku. Nejvyšší průtoky v jarních měsících souvisí s táním sněhu ve vrcholových pramenné oblasti Kralického Sněžníku a z povodí přítoku Moravy z Hrubého Jeseníku. **Tab. 1** ukazuje

průměrný průtok ze třech měřících stanic ze studovaného území. Stanice Raškov leží ještě před vstupem Moravy do Mohelnické brázd



**Obr. 5** Měrný profil Moravičany dlouhodobý měsíční průměr (ČHMÚ)

Vodoměrná stanice	Průměrný průtok [m³·s <sup>-1</sup> ]	Sucho [m³·s <sup>-1</sup> ]
Raškov	6,5	1,54
Moravičany	17,8	3,6
Olomouc	27,1	5

**Tab. 1** Průměrný průtok řeky Moravy z měřících stanic Raškov, Moravičany a Olomouc (ČHMÚ)

## 2.5 Hydrogeologie

Zájmové území ležící na podloží mohutných vrstev zvodnělých kvartérních štěrkopísků, zajišťuje vysoký stupeň územní ochrany strategicky významných zdrojů pitné vody pro olomoucký kraj. Meandrující tok má díky přirozenému charakteru dna vysokou samočisticí schopnost, kterou zlepšují kmeny stromů napadané do toku. Bohaté nánosy společenstev bakterií a mikrobentosu filtrují říční vodu a tvoří obrovskou biologickou čistírnu. Přírodu Litovelského Pomoraví dotvářejí také jezera, vzniklá v nedávné minulosti těžbou štěrkopísku. Pozůstatky po těžbě zanechávají v krajině nesmazatelné jizvy. Pokud však zůstanou břehy vytěžených jezer s mělčinami ponechány spontánnímu růstu vegetace, mohou některé lokality postupně získat novou přírodovědeckou hodnotu. To je příklad Chomoutovského jezera, na kterém je dnes přírodní rezervace vodních ptáků, nebo jezera

Poděbrady, s oblibou využívaného ke koupání a rekreaci. Na Moravičanských jezerech u Mohelnice těžba šterkopísku dosud probíhá. Před zahájením těžby v 70. letech 20. století zde byla zničena velká rozloha původních luk a meandrující řeka byla odvedena do umělého rovného kanálu..

## **2.6 Geologie**

Práce se z geologického pohledu zabývá recentními sedimenty řeky Moravy tkz. povodňové hlíny. Jde o sedimenty převážně aulertické a pelitické frakce.

Kdybychom odstranily mocný kvartérní sedimenty podél řeky Morava, uvidíme, že řeka Morava protéká pestrou skladbou hornin na rozmezí Českého masívu a západních Karpat.

Hornomoravský úval byl zkoumán od počátku geologických výzkumů. První geologická mapa zájmové oblasti byla znázorněna na listu Olmütz, kterou sestavil E. Tietze a byla vytištěna v roce 1898 ve Vídni v měřítku 1:75 000.

Geologii Hornomoravského úvalu (HÚ) se věnovala rada geologů např.: (Zapletal 1954), (Barth et al. 1958,1971), (Roth et al. 1962), (Buday et al. 1967), (Přichystal et al. 1993), Přehled o geologii je zpracován v (Sedlák 2007).

HÚ leží na hranici Českého masívu a Západních Karpat. Pod molasovými sedimenty karpatské předhlubně se nalézají krystalinické horniny Moravosilezika. Tyto paleozoické horniny jsou díky tektonice vyzdviženy nad terciérní a kvartérní sedimenty. Český masív byl konsolidován při variské orogenezi v mladším paleozoiku.

Karpaty, jejichž součástí je Hornomoravský úval, jsou mladší než Český masív. Karpaty byly zformovány teprve procesy alpínského vrásnění. Na území České republiky zasahuje úsek části vnějších Západních Karpat tvořen flyšovým pásmem a karpatskou předhlubní. Flyšové pásmo je tvořeno příkrovy mezozoických a terciérních hornin, které byly od jihu a jihovýchodu nasunuty na Český masív v mladším terciéru.

Dle stavby a stratigrafického rozsahu se předhlubeň člení na část jižní, střední a severní. Ve střední části je předhlubeň porušena právě strukturou HÚ. (Chlupác et al. 2002). Sedimentace v každé části probíhala v jiném období. Sedimentace v jižní části začala v eggeru a skončila ve sp. badenu. Sedimentace v severní části začala v eggenburgu a skončila ve středním a svrchním badenu. Výplň HÚ je ukončena terestrickými sedimenty z pliocénu.

Geologický vývoj oblasti Hornomoravského úvalu a okolí se odehrál na třech velkých krátech, omezených zlomy směru SZ-JV až SSZ-JJV (Barth et al. 1971). Ústřední polohu zaujímá kra Hornomoravského úvalu, která vedle vlastního Hornomoravského úvalu zahrnuje též severní část Dražanské vrchoviny (Barth et al. 1971). Na sv. sousedí s bradelsko-malenickou krou. Hranicí mezi krami tvoří olomoucko-přerovský zlom s průběhem od Litovle přes Olomouc na Přerov. Bušínský zlom je severní pokračování tohoto zlomu. Paralelně s jeho jižní částí leží holešovský zlom. Na jihozápade sousedí s krou Hornomoravského úvalu kra dražanská, ke které vedle střední části Dražanské vrchoviny náleží též jihozápadní část Hornomoravského úvalu. Všechny uvedené zlomy sudetského směru tvoří dohromady poruchové pásmo Hané (Barth et al. 1971) Poruchové pásmo Hané ovlivnilo paleogeografický vývoj oblasti.

Z tektonického hlediska má jižní část HÚ komplikovanou stavbu. (Hrubeš et al. 2000). Střední patro geologické stavby tvoří variské horniny (střední devon, spodní karbon). Sedimenty devonu byly společně s flyšovým komplexem kulmu postiženy dvěma fázemi deformace. Starší fáze, na hranici spodního a svrchního karbonu se projevila vznikem vrásových a zlomové vrásových deformací, doprovázených četnými násuny až drobnými příkrovy. Devon vystupuje z velké části v autochtonní pozici, na kontaktu s podložním krystalinikem bývá porušen četnými přesmyky spojenými s redukcí vrstevního sledu. Tektonický charakter má i hranice mezi karbonátovým devonem a kulmem, která má ráz násunových ploch. Mladší variská fáze, spadající do závěru orogeneze na hranici svrchního karbonu a permu, měla extenzivní charakter. Neoidní fáze tektonického vývoje byla spojena se štýrskými pohyby karpatských příkrovu. Projevila se oživením pohybu podél hlavních zlomu sudetského směru, zejména zlomu olomoucko-přerovského, holešovského a východního zlomu lučínského. Tektonika měla extenzní ráz a dala vzniknout řadě depresí bádenského a plio-pleistocenního stáří (Hrubeš, 2000).

Nejstarším prvkem geologické stavby území je před devonské krystalinikum (Hrubeš et al. 2000) Ostrovy před devonských hornin v HÚ. jsou považovány za analogické s brněnským plutonem a na základe toho jsou řazeny k prekambričkému brunovistuliku. Předpokládá se, že brunovistulikum tvoří podklad celého HÚ (Hrubeš et al. 2000).

Na krystalinikum sedimentovali ve spodním až středním devonu bazální klastické souvrství,

reprezentované kvarcicity až křemitými konglomeráty. Mořská transgrese zasáhla území ve středním devonu, kdy se uložily lažánecké vápence a dolomity. Ve vyšším givetiu až spodním frasnem pokračovala karbonátová sedimentace chemicky velmi čistými vápenci vilémovickými. Lažánecké a vilémovické vápence tvoří macošské souvrství na Dražanské vrchovině. Mladší líšeňské souvrství je zastoupeno hněvotínskými laminovanými vápenci s vložkami pestrých vápnitých břidlic. Na základě konodontové fauny jsou zařazeny do frasnem až spodního famenu. Mocnost devonského souvrství nebyla na území HÚ ověřena.

Devon vystupuje na povrch v HÚ jižně od Hněvotína. Jedná se o devon střední a svrchní. V devonu středním je téměř naprostá litologická shoda s vývojem u Čelechovic. Vývoj devonu svrchního je poněkud odlišný (Roth et al. 1962). Ve vrtu na Horním náměstí v Olomouci byly v hloubce 63-81 m rovněž zastíženy vápence podobné vápencům od Čelechovic a Hněvotína, v hloubce 81-188 m na podložním krystaliniku křemence (Roth et al. 1962).

Ve spodním karbonu sedimentoval klasický flyšový vývoj kulmské facie (Roth et al. 1962). Sedimenty kulmské facie vystupují v zájmovém území také v Olomouci v jednotlivých více či méně izolovaných výchozech menšího rozsahu. V Olomouci i v celém úvalu bylo rozšíření kulmu sledováno hlavně na základě vrtu.

Ve svrchním karbonu a permu byla oblast HÚ souší a stejné tomu bylo i v triasu (Barth et al. 1971). Po vzniku variských struktur se s největší pravděpodobností stalo zájmové území dlouhodobě souší. Oblast byla dlouhodobě vystavena intenzivní denudaci. Dokazuje to nepřítomnost sedimentu variské molasy, mesozoika, paleogénu i spodního neogénu.

Orogeze Karpat v paleogénu a neogénu vedlo k vytváření okrajových depresí, které byly zaplaveny mořem. HÚ se stal součástí karpatské předhlubně. K nejrozsáhlejší transgresi došlo ve spodním badenu, kdy moře zasáhlo mimo karpatskou předhlubeň i dále do Českého masivu. HÚ byl v té době zaplaven mořem, jehož hloubka se odhaduje na 100-200 m.

Badenská mořská transgrese byla přes svůj velký plošný rozsah poměrně krátkodobá. Na rozhraní spodního a středního badenu došlo k regresii a oblast se stala na krátkou dobu souší. Pánev byla tektonicky přemodelována a vznikl nový kontinentální sedimentační prostor a započalo ukládání pliocenního souvrství (Barth et al. 1971).

V pliocénu již HÚ nabýval postupně dnešní podoby nejen ve střední a jižní části, ale i na severu. Na severu došlo k poklesu okrajové části bradelsko-malenické kry a HÚ se zvětšil o

rozlehlou sníženinu mezi Uničovem, Litovlí a Štěpánovem. Jezerní pliocenní sedimenty jsou zde uloženy přímo na paleozoické podloží.

V teplém a vlhkém klimatu vytvořila soustava jezer spojených vodními toky, mezi nimi již v té době zřejmě dominovala Morava. Do nich byly splavovány intenzivně zvětralé horniny z okol. Mladší část pliocenního souvrství je tvořena jemnozrnnými siliciklasticky.

Série leží v nadloží badenských téglu a v podloží spodnopleistocenních fluviálních sedimentů. Mocnost pliocénu na elevacích je většinou menší než 10 m. V depresích nebyla mocnost spolehlivě zjištěna. Na východ a jih od Olomouce je 30-50 m, v Lutínské Brázdě byl vrt HJ 308 ukončen v hloubce 238 m, aniž dosáhl podloží pliocénu z toho připadá horních 54 m na kvartér (Hrubeš et al. 2000).

Klimatické oscilace kvartéru spojené se zaledněním měly vliv na sedimentaci v HÚ. Řeka Morava pravděpodobně zprostředkovala styk s horskými ledovci Jeseníků, protože již existovalo spojení přes oblast Třesínské prahu s mohelnickou brázdou.

Na konci středního pleistocénu se hlavní tok Moravy přesunul do dnešního řečiště. Vedle fluviálních sedimentů se v pleistocénu uložili na okraji HÚ spraše a sprašové hlíny. Po posledního glaciálu pokračoval až do holocénu transport štěrku.

V holocénu se na utváření krajiny podílelo vedle klimatických oscilací i antropogenní činnost. V současnosti geologickou činnost reprezentují povodně, na něž je vázán přínos nových sedimentů v nivách rek, a gravitační pohyby (Hrubeš et al. 2000). Mocnost kvartéru v nivě řeky Moravy je různá. Nejmenší mocnost je u Řimcic, kde je Morava zúžena. Mocnost kvartérních sedimentů je zde kolem 6,4 m z toho 3,2 m jsou siltové jíly až písčité jíly. Směrem do podloží sediment obsahuje hrubší frakci středně až hrubě zrnité písky. U Litovle je mocnost fluviálního kvartéru kolem 15 m z toho povodňové hlíny 2-3 m (Kirchner et al. 1998). Půdní pokryv na aluviálních sedimentech jsou tvořeny fluvisoly.

### **2.6.1 Holocenní aluviálních sedimenty v Hornomoravském Úvalu**

Tato práce se zabývá recentními sedimenty o stáří do 100. let, ale k sedimentaci aluviálních sedimentů docházelo z různou intenzitou již v průběhu holocénu. Počátek sedimentace aluviálních sedimentů nastal na závěr Atlantiku. Hlavní sedimentace aluviálních sedimentů začala až s rostoucím osídlením v průběhu vrcholící kolonizace ve 12. století. Niva se při záplavách zanášela mnohametrovými vrstvami sedimentů (Šafář et al. 2003). Krátké přerušení došlo ke konci 15. století a v 1. polovině 16. století, kdy se při vrcholu teplotního optima tvořila svrchní fosilní půda při zmírnění povodní. S nástupem novověku a ochlazením v malé

době ledové se opět rozběhlo ukládání povodňových hlín až do vodohospodářských úprav toků ve 20. století. V současnosti stále dochází k akumulaci aluviálních sedimentů. Jejich zdrojem jsou zřejmě zejména materiály z ornice poměrně rozsáhlých zemědělských lánů v horním povodí Moravy (Šafář et al. 2003).

## 2.7 Geochemie těžkých kovů

Těžké kovy (TK) jsou z chemického hlediska definovány měrnou hmotností větší než 5 000 kg m<sup>-3</sup> nebo také tím, že se jejich soli srážejí se sulfidem sodným za vzniku málo rozpustných sulfidů (Pitter 1999).

TK se dostávají do životního prostředí prostřednictvím přírodních a antropogenních procesů. Přírodní zdroje představují procesy zvětrávání. Antropogenní zdroje zahrnují především těžbu a zpracování rud, spalování fosilních paliv a zemědělské aktivity (Ďurža et al. 2002).

Jemnozrné sedimenty s velikostí částic < 63 μm (prachovitá a jílovitá frakce) mají schopnost akumulovat větší množství těžkých kovů než hrubozrné částice s velikostí > 63 μm. Jemnozrné částice projevují vhodnější schopnosti pro fyzikálně-chemickou sorpci a iontovou výměnu TK než hrubozrné částice díky většímu povrchu. Důležitým faktorem jemnozrných sedimentů je taky jejich složení, které ovlivní velikost povrchu. Povrch materiálů <2 μm se pohybuje mezi 10 po 1900 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>.

Jílové minerály, hydroxidy Al, Fe, Mn a organická hmota jsou tři hlavní materiály, na které se sorbují těžké kovy. Rozdíl povrchu je značný.

Jílové minerály mají povrch od 10-150 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup>, hydroxidy Al, Fe a Mn mají okolo 300 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> a největší povrch má organická hmota především pak humnové kyseliny s povrchem až 1900 m<sup>2</sup>·g<sup>-1</sup> (Miler et al. 2007).

**Tab. 2** znázorňuje limitní koncentrace těžkých kovů v zeminách, které stanovuje zákon ČNR č. 388/1991 Sb., Příloha č. 2a Ukazatelé a normativy pro zeminy. Koncentrace jsou v mg/kg pro sušiny. Koncentrace se dělí do 3. kategorie. Kategorie A charakterizuje hodnoty přibližné jejich přírodním pozadovým koncentracím. Při dosažení koncentrací kategorie B se vyžaduje průzkum či šetření s cílem vysvětlit původ či zdroj znečištění. Koncentrace kategorie C jsou mezní hodnoty, od kterých se provádí asanační zásah, jeli prokázáno riziko migrace znečištění do okolí a poškození dalších složek životního prostředí.



Prvek	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C
As	20	50	100
Ba	600	1000	2000
Be	3	20	30
Cd	0,4	5	20
Co	25	50	300
Cr celkem	130	250	800
Cr <sup>VI</sup>	2	0,10	50
Cu	70	100	500
Hg	0,4	3	10
Mo	0,8	40	200
Ni	60	100	500
Pb	70	150	600
Sn	20	100	500
V	120	200	500
Zn	150	500	3000

**Tab. 2** Limitní koncentrace pro sušinu v mg/kg

### 2.7.1 Geochemie sorpce a desorpce

Jak bylo výše uvedeno TK mohou být v sedimentech sorbovány na povrch minerálů, vysráženy, nebo adsorbovány do struktur minerálů (Förstner 2004).

Adsorbenty kovů jsou jílové minerály, organické látky a oxohydroxidy Fe a Mn. K Sorpci dochází díky elektricky nabitým povrchům. Náboj povrchu závisí na krystalografii minerálu. Významnou reakcí při změně náboje povrchu je přijetí nebo odtržení vodíkového kationu od hydroxylové skupiny. Náboj na povrchu minerálů není stálý a mění se v závislosti na pH. Povrch minerálu není jednotně nabit, ale vždy kladný nebo záporný náboj převládá.

Díky slabým vazbám TK na sorpční komplexi oproti vazbám v sulfidech, mohou být TK snáze převedeny do roztoku a tím představují potenciální nebezpečí při změně fyzikálněchemických vlastností (pH, eH, ) dochází k desorpci kovů a jejich přechodu do roztoku (Ďurža et al. 2002).

TK mohou být v systému přítomny především v následujících formách: rozpuštěné ve vodě, jako vyměnitelná fáze (ionty kovů, které se v závislosti na pH, Eh a iontovém složení roztoku mohou adsorbovat nebo desorbovat z povrchu jílových minerálů a organické hmoty), jako kovy vázané v karbonátech, oxidech železa a manganu, organické hmotě, sulfidech a základní matici sedimentu v primárních a sekundárních minerálech.

Ph a redox potenciál jsou hlavní faktory, které ovlivňují podmínky v prostředí a mají vliv na chování těžkých kovů.

Redox potenciál může ovlivnit zadržování kovů přímo pomocí změny oxidačního stavu samotných kovů, nebo nepřímo změnou oxidačního stavu iontů, které mohou tvořit komplexy s kovy (Clark et al. 1998).

Změně fyzikálně-chemických podmínek způsobuje změnu v procesech jako je sorpce, desorpce, tvorba a rozpad hydroxidů, oxohydroxidů, karbonátů, sulfidů a organických komplexů. Zvýšení Eh má za následek oxidační rozklad sulfidů. Při acidním pH dochází k uvolnění kovů ze sedimentu do vodného prostředí pórové vody nebo vody nad sedimentem (Calmano et al. 1993).

Ve svrchních vrstvách, kde převládají oxidační podmínky, je rozdělení kovů určeno zejména sorpcí na povrch Fe a Mn oxidů, případně společného srážení kovů s hydroxidy a oxohydroxidy. V těchto vrstvách nemusí vždy dominovat oxidační podmínky. Anoxické sedimenty, typické černým páskováním, mohou být přítomny díky zvýšené koncentraci organické hmoty i bezprostředně pod povrchem. Rozdělení ve větších hloubkách, kde převažují redukční podmínky, je kontrolováno především vstupem kovů do stabilních pevných fází. Dominantním způsobem fixace se stává tvorba sulfidů (Miler et al. 2007).

V redukčních podmínkách jsou kovy vázané v sulfidech a organické hmotě relativně stabilní, všeobecně je jejich rozpustnost velmi nízká. Pokud se však anoxické sedimenty dostanou do kontaktu s atmosférickým kyslíkem nebo kyslíkem rozpuštěným ve vodě, jsou oxidovány. To vyvolá změny vazeb těžkých kovů a dojde k jejich redistribuci (Calmano et al. 1993).

Ke změně fyzikálně-chemických sedimentů může dojít při změně hladiny vody

Během oxidace sedimentu dochází ke zvýšení redox potenciálu a rozkladu sulfidů, organické hmoty a desorpci. Při desorpci se TK uvolňují do vodného prostředí. V závislosti na jejich chemických vlastnostech může být část uvolněného materiálu vysrážena v podobě sekundárních minerálů, část opět adsorbována na povrch hydroxidů a oxohydroxidů, některé kovy mohou zůstat v roztoku (Kelderman et al. 2007).

Snížení pH má za následek zvýšení mobility většiny těžkých kovů a tím může růst jejich koncentrace v roztoku. Kyselé pH bývá nejčastěji důsledkem oxidace sulfidických složek, rozkladu organické hmoty nebo dotace kyselých atmosférických srážek

## **2.7.2 Interakce těžkých kovů s jílovými minerály**

Jílové minerály patří do skupiny alumosilikátů a jsou to především produkty zvětrávání jiných jílových minerálů nebo jiných minerálů. Jsou častou součástí sedimentárních hornin. Jejich

vlastnosti je předurčují k využití v širokém spektru od semi-propustných stěn pro zachycení kotaminantů.

Jílové minerály se skládají s tetraedrických a oktaedrických vrstev. Tetraedrické vrstvy jsou složeny s tetraedrů s  $\text{Si}^{4+}$  nebo  $\text{Al}^{3+}$  jako centrálními atomy, které jsou obklopeny 4 záporně nabitými  $\text{O}^{2-}$ . Oktaedrická vrstva je tvořena oktaedry, jejíž centrálním atomem může být Al, Mg nebo Fe. Centrální atom je obklopen 8 záporně nabitými atomy O nebo OH. Dvěmi různými spojeními tetraedrických a oktaedrických vrstev vznikají 2 typy jílových minerálů a to buď typ 1:1 nebo 2:1. Struktura 1:1 se skládá s jedné vrstvy tetraedrické a jedné oktaedrické. Druhá struktura 2:1 je typická jednou vrstvou oktaedrickou obklopenou dvěma vrstvami tetraedrickými. Nabití povrchu u jílových minerálů je u různých minerálů rozdílně a závisí na množství substituce  $\text{Al}^{3+}$  za  $\text{Si}^{4+}$  v tetraedrické vrstvě a konstituci  $\text{Mg}^{2+}$  nebo  $\text{Fe}^{2+}$  za  $\text{Al}^{3+}$  v oktaedrické vrstvě. Kaolinit má velmi nízkou iontovou výměnu díky mále substituci ve struktuře. Ve struktuře kaolinitu jsou tetraedrická vrstva s oktaedrickou vrstvou pevně vázány vodíkovými vazbami, které neumožňují vnikání iontu do struktury kaolinitu (Miler et al. 2007).

Smektit je příklad z druhého konce, který má vysokou iontovou výměnu. Ve strukturách 1:1 je všeobecně menší iontová výměna než ve strukturách 2:1. Jílové minerály oproti organické hmotě jsou daleko méně významné sorpci těžkých kovů v přírodním prostředí (Miler et al. 2007).

### **2.7.3 Interakce těžkých kovů s oxidy a hydroxidy Al, Fe a Mn**

Amorfní oxidy a hydroxidy Al, Fe a Mn jsou významnými lapači těžkých kovů a podílí na kontrole množství rozluštěné a vysrážené frakce těžkých kovů. Hydroxidy Fe a Mn jsou důležitějšími, neboť mohou zachytit větší množství těžkých minerálů oproti hydroxidům Al. Sorpce těžkých kovů na hydroxidy Fe a Mn se děje ve dvou krocích. Nejdříve dojde k sorpci iontu na povrch hydroxidů a posléze ionty difundují do mezer ve struktuře hydroxidů.

Nejintenzivněji probíhá sorpce na amorfní hydroxidy, které nemají vyvinutou krystalickou strukturu a jsou tvořeny koloidními částicemi. Při krystalizaci oxidů a hydroxidů klesá jejich schopnost sorbovat těžké kovy. Nejčastější Fe oxidy a hydroxidy v půdách a sedimentech jsou goethit ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ), lepidokrokrit ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ), ferrihydrit ( $\delta\text{-FeOOH}$ ), hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) a magnetit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Hydroxidů Mn je velká řada s isomorfní strukturou s velkou proměnlivostí složení (Miler et al. 2007).

Fe a Mn oxidy a hydroxidy vznikají v prostředí, kde se míchá voda o různém Eh. Například v prameni zóně nebo výtoky vody z vrchovišť, kde dochází oxidaci  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Mn}^{2+}$  na trojmocné a precipitaci oxidů a hydroxidů

#### **2.7.4 Interakce těžkých kovů s organickou hmotou**

Organická hmota tvoří třetí skupinu látek, na kterou se mohou těžké kovy sorbovat. Organická hmota má nejlepší iontovou výměnu díky obrovskému povrchu. Zdroj organické hmoty jsou odumřelé části rostlin živočichů. Iontová výměnná kapacita je u organické hmoty šestkrát vyšší než u jílových minerálů. Ne celý tento potenciál je využitelný, protože závisí na pH a část je uzavřena ve struktuře organické hmoty. Organická hmota je tvořena především huminovými a fulvo kyseliny. Fulvo kyseliny mají menší molekulovou hmotnost a snadněji se rozpouštějí, proto se uplatňují rozpuštěné ve vodě při transportu kovů. Humnové kyseliny jsou naopak více zastoupené v organických sedimentech, kde zachycují těžké kovy (Miler et al. 2007).

Obě dvě skupiny mají velkou afinitu přijmout těžké kovy. Při samotné sorpci se uplatňují různé druhy funkčních skupin, které obklopují pevnou organickou hmotu. Nejdůležitější funkční skupiny jsou karboxylová  $-\text{COOH}$  a fenolová, jejíž povrch je záporně nabit. S rostoucím pH roste také náboj. Sorpce iontu na organickou hmotu se děje jednak adsorpcí a taky výměnou iontů. Vazba kovů na organickou hmotu je proměnlivá od slabých vazeb a po vazby, které neumožní biotě přijmout ionty z organické hmoty.

## **2.8 Vlastnost těžkých kovů**

### **2.8.1 As-arsen**

Arsen je esenciální prvek pro některé organizmy, ale pro většinu je toxický. Arsen je součástí základního chemismu těchto minerálů arsenopyrit ( $\text{FeSAs}$ ), realgar ( $\text{AsS}$ ), orpiment ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) a arsenolit ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ). Může být příměsí v živcích, magnetitu, ilmenitu, pyritu, galenitu, sfaleritu a apatitu. Arsen se využívá resp. vyžíval ve slitinách, v nátěrech na ochranu dřeva, v barvách, v textilním průmyslu, v bateriích. Do přírodního prostředí se dostane nejčastěji spalováním hnědého uhlí, zpracovávání sulfidických rud, v odpadních vodách, při používání fosfátových hnojiv dále pak v insekticidech, fungicidech a herbicidy (1. Generace). V přírodních podmínkách není moc mobilní. Ve vodním prostředí je rychle absorbován ve formě sulfidů na jílové minerály Fe-oxidy a hydroxidy. Nejtoxičtější je  $\text{As}^{+5}$  oproti  $\text{As}^{+3}$

Vysoké přírodní koncentrace As byly zjištěny ve spodní vodě v Indii a Bangladeži. V **tab. 3** jsou některé povolené limity pro As. (Reimann a Caritat, 1998)

US EPA pitná voda	0,05 mg/l
Kanada CWQG pitná voda	0,05 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	20 mg/kg
Česko pitná voda	0,01 mg/l

**Tab. 3** Limitní koncentrace pro arzen

### 2.8.2 Cd-kadmium

Pro některé organismy je v malých dávkách esenciální. Pro většinu je toxický a karcinogenní. Kadmium je součást základního chemismu těchto minerálů arsenopyrit greenockit (CdS), octavit (CdCO<sub>3</sub>) a monteponit (CdO). Může být příměsí v biotitu, amfibolitech, sfaleritu a smithsonitu.

Kadmium byl a je využíván v mnoho odvětvích průmyslu při pokovování, výrobě Ni-Cd baterii, výroba stabilizátorů pro plastů, výroba obrazovek. Do přírodního systému se kromě odpadních vod z průmyslu, dostane při spalování hnědého uhlí, při využívání zemědělských hnojiv. Kadmium je středně mobilní, část se dostane do podzemní vody. Většina je vázána v fluviálních sedimentech, kde se adsorbují na jílové minerály (Reimann a Caritat, 1998). Při nízkém pH je rozpustnější. **Tab. 4** ukazuje některé limitní koncentrace Cd v sedimentech a pitné vodě

US EPA pitná voda:	0,005 mg/l
Kanada CWQG pitná voda	0,005 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	1,5 mg/kg
Česko pitná voda	0,005 mg/l

**Tab. 4** Limitní koncentrace pro kadmium

### 2.8.3 Co-kobalt

Kobalt je esenciální prvek pro člověka, neboť je ve struktuře vitamínu B 12. Od 25 mg/den je toxický pro člověka. Kobaltový prach je karcinogenní. V přírodě je součástí struktury smaltitu ((Co, Ni)As<sub>2-2,5</sub>), kobaltitu ((Co, Fe) AsS), linnaeitu ((Co,Ni)<sub>3</sub>S<sub>4</sub>), erytritu (Co<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O). Může být příměsí v olivínu, pyroxenech, amfibolech, slídách, granátech, pyritu a sfaleritu.

Kobalt se využívá v leteckém, hutním průmyslu dále při galvanaci, v barvách a ztvrdění plastů. Do přírodních systémů se uvolňuje při těžbě a zpracování Ni, Ag, Pb, Fe rud, dále při

spalování uhlí, při zvětrávání a z hnojiv (Reimann a Caritat, 1998). **Tab. 5** ukazuje některé limitní koncentrace Co v sedimentech a pitné vodě.

Rusko pitná voda	0,1 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	50 mg/kg

**Tab. 5** Limitní koncentrace pro kobalt

#### 2.8.4 Cr-chrom

Esenciální pro některé organismy v podobě  $Cr^{+3}$ , která je relativně neškodný oproti toxické formě  $Cr^{+6}$ . Některé sloučeniny s  $Cr^{+6}$  jsou karcinogenní. Typický je v chromitu ( $FeCr_2O_4$ ) a kroitu ( $PbCrO_4$ ) a může být příměsí v pyroxenech, amfibolech, slídách, granátech a spinelu.

V průmyslu se využívá do slitin, pigmentů, pochromování, v oceli. Do přírody se dostává z chemického, hutnického průmyslu, ze zpracování Cu rud, spalováním nafty, zemního plynu a uhlí, odpadní voda a hnojením.  $Cr^{+6}$  je více mobilní než  $Cr^{+3}$ , ale  $Cr^{+6}$  po několika týdnech redukuje na  $Cr^{+3}$  (Reimann a Caritat, 1998). **Tab. 6** ukazuje některé limitní koncentrace Cr v sedimentech a pitné vodě.

US EPA pitná voda	0,1 mg/l
Kanada CWQG pitná voda	0,05 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	100 mg/kg
Česko pitná voda	0,05 mg/l

**Tab. 6** Limitní koncentrace pro chrom

#### 2.8.5 Cu-měď

Měď je hlavní součástí těchto minerálů chalkopyrit ( $CuFeS_2$ ), bornit ( $Cu_5FeS_4$ ), chalkozit ( $Cu_2S$ ), malachit ( $Cu_2CO_3(OH)_2$ ), kovelit ( $CuS$ ), digenit ( $Cu_9S_5$ ), tetrahedit ( $Cu_{12}SbS_{13}$ ), dále Cu může být příměsí ve slídách, pyroxenech, amfibolech a magnetitu.

Měď je esenciální prvek pro všechny organismy, ale ve velkých koncentracích je toxická. Měď se využívá v elektroprůmyslu, k výrobě trubek, mincí, barev a insekticidů. Do přírodního prostředí se dostává při zpracování Cu-rudy, z chemického průmyslu, zemědělství, odpadní vody z zemědělských družstev (prasečí farmy), a při zvětrání hornin. Lidé a prasata jsou oproti skotu a ovcím schopni přijmout větší koncentrace mědi (Reimann a Caritat, 1998).

**Tab. 7** ukazuje některé limitní koncentrace Cu v sedimentech a pitné vodě.

US EPA pitná voda	1,3 mg/l
Norsko pitná voda	0,3 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	100 mg/kg
Česko pitná voda	1 mg/l

**Tab. 7** Limitní koncentrace pro měď

### 2.8.6 Ni-nikl

Měď je hlavní součástí těchto minerálů nikelin (NiAs), gersdorffit (NiAsS), pentlandit ((Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>), kullerudit (NiSe<sub>2</sub>), ullmanit ((Ni,Mg)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) a může být příměsí v olivínech, pyroxenech, amfibolech, slídách, granátech, pyritu a v chalkopyritu.

Nikl je pro některé organismy esenciální. V podobě Ni<sup>+2</sup> je relativně netoxický, ale jiné sloučeniny Ni jsou vysoce toxické a karcinogenní. Využívá se ve slitinách s dalšími kovy, k výrobě baterií, pigmentů a magnetických pásek. Do přírody se uvolňuje těmito cestami z hutního průmyslu, ze zpracování ropy, z komunálních skladek a odpadních vod, při používání hnojiv, z výfukových plynů, při zvětrávání a z vulkanické činnosti (Reimann a Caritat, 1998). **Tab. 8** ukazuje některé limitní koncentrace Ni v sedimentech a pitné vodě.

US EPA pitná voda	0,1 mg/l
Norsko pitná voda	0,05 mg/l
Česko pitná voda	0,02 mg/l

**Tab. 8** Limitní koncentrace pro nikl

### 2.8.7 Pb-olovo

Olovo je hlavní součástí galenitu (PbS), anglezitu (PbSO<sub>4</sub>), cerruzitu (PbCO<sub>3</sub>) a dále může být příměsí v K-živci, plagioklasech, slídách, zirkonu a magnetitu. Pb je vždy toxické. Využívá se při výrobě baterií, olovnatého benzínu, ve slitinách. Do přírodního prostředí se dostává přes výfukové plyny, z hutnického průmyslu, odpadní vody, ze spalování uhlí a zvětráváním. Pb se sorbuje na organickou hmotu a je málo mobilní. Takřka se nevyskytuje v podzemní vodě. Olovo se koncentruje v organickém horizontu půd (Reimann a Caritat, 1998). **Tab. 9** ukazuje některé limitní koncentrace Pb v sedimentech a pitné vodě.

US EPA pitná voda	0,05 mg/l
Norsko pitná voda	0,015 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	100 mg/kg
Česko pitná voda	0,01 mg/l

**Tab. 9** Limitní koncentrace pro olovo



### 2.8.8 Sb-antimon

Antimon je typický pro stibnit ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), valentit ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ), cervantit ( $\text{Sb}_2\text{O}_4$ ) a může být příměsí v ilmenitu, Mg-olivínu, galenitu, sfaleritu a pyritu. Sb není esenciální prvek a při velkých koncentracích je toxičtější než As nebo Pb. Využívá se ve slitinách, bateriích, barvách, k výrobě kaučuku. Do přírody se dostává z spalování uhlí, z výfukových plynů a odpadní vody. Sb není moc mobilní (Reimann a Caritat, 1998). **Tab. 10** ukazuje některé limitní koncentrace Sb v sedimentech a pitné vodě.

US EPA pitná voda	0,0006 mg/l
Norsko pitná voda	0,01 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	5 mg/kg
Česko pitná voda	0,005 mg/l

**Tab. 10** Limitní koncentrace pro antimon

### 2.8.9 Zn zinek

Zinek je hlavní komponenta sfaleritu ( $\text{ZnS}$ ), smitonitu ( $\text{ZnSO}_4$ ), zincit ( $\text{ZnO}$ ) a dále může být příměs v pyroxenech, amfibolech, slídách, granátech a magnetitu. Zinek je esenciální prvek pro organismy. Jeho toxicita je nízká. Využívá se k výrobě slitin, barev, chemikálií, skla, plastů, baterií, pesticidů a fungicidů. Do přírodních systémů se dostává z hutnického průmyslu, z dopravy, z odpadní vody a zvětrávání. Zn je vysoce mobilní v kyselém a aerobním prostředí. Zn se sorbuje na organickou hmotu a jílové minerály (Reimann a Caritat, 1998). **Tab. 11** ukazuje některé limitní koncentrace Zn v sedimentech a pitné vodě.

Kanada pitná voda	5 mg/l
Norsko pitná voda	0,3 mg/l
Zemědělská půda BRD, max. koncentrace	300 mg/kg

**Tab. 11** Limitní koncentrace pro zinek

## 2.9 Fluviální sedimentační prostředí

Řeky jsou hlavním transportním kanálem z místa eroze do místa sedimentace. Řeka se dá rozdělit do několika částí od pramene až po ústí do moře. Každá část je typická tvarem koryta nebo koryt a intenzitou eroze a sedimentace. Tok se dělí na horní, střední a spodní. Horní tok se vyskytuje především v horských oblastech a je typický erozivní činností. Střední tok je

typicky pro aluviální nivu s aluviálními sedimenty. Spodní se vyskytuje v pobřežních oblastech a je typická především sedimentací. Všechny sedimenty uložené říční akumulací jsou fluviální sedimenty, ale ne všechny fluviální sedimenty jsou aluviálními, takhle se popisují jen sedimenty v aluviálních (záplavových) nivách.

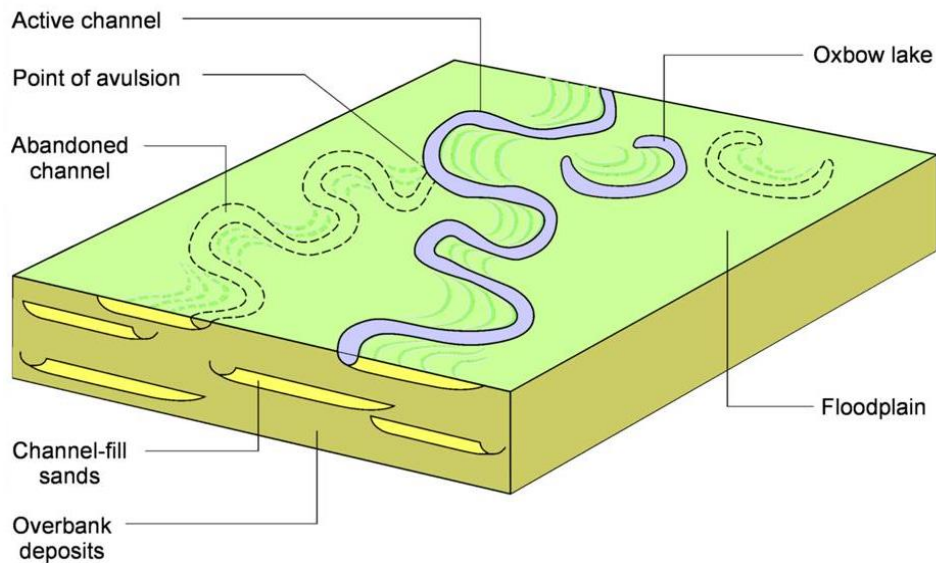
Řeka může mít několik forem, které závisí na několika faktorech přímot koryta, množství meandrů, počet koryt a typ sedimentů. Dali by se vyčlenit tři hlavní typy řek (Nichols 2009) divočící řeky, řeky meandrující a řeky anastomozním systémem. Divočící řeky a anastomozní říční systémy jsou typické více koryty oproti, řekám meandrujícím, které má jedno hlavní koryto.

Fluviální sedimentace se dělení na horizontální akumulaci typickou pro aluviální nivu a laterální akumulaci typickou pro jesepy. Podle (Leopold et al. 1964 in Reineck et al. 1980) rozlišuje 8 fluviálních subprostředí sedimenty výplně koryt, vertikální akrece, aluviální niva, koluvium, laterální akrece, řečištní reziduální štěrk .

S praktického hlediska se fluviální sedimenty dělí na 3 hlavní skupiny korytové sedimenty, břehové sedimenty a sedimenty aluviálních niv. V některých případech, kdy aluviální niva není zcela vyvinuta se břehové sedimenty řadí k sedimentům aluviální nivu (Allen 1965 in Reineck et al. 1980)

Meandrující řeka (**obr. 6**) má oproti divočící řece jedno hlavní koryto, které však mění svůj směr a tvar a tak vynikají slepá ramena. Řeka se označuje jako meandrující v případě, že její vlnitost je větší než 1,5. Meandrující řeka má nízký sklon.

## Depositional architecture of a meandering river



**Obr. 6** Sedimentační prostředí meandrujících řek (Nichols 2009)

Sedimenty meandrujících řek patří k sedimentům ve střední části toku. Část kde převládá agregace sedimentů oproti erozi, která je typická pro horní část toku. Řeky s anastomózním charakterem mají stejně jako divočící řeky několik koryt a vytváří zákruty a meandry, ale oproti meandrujícím řekám je boční eroze a změna koryt méně dynamická. Anastomózní charakter je typický v prostředí s bujnou vegetací, která zpevňuje břeh a zabraňuje boční erozi.

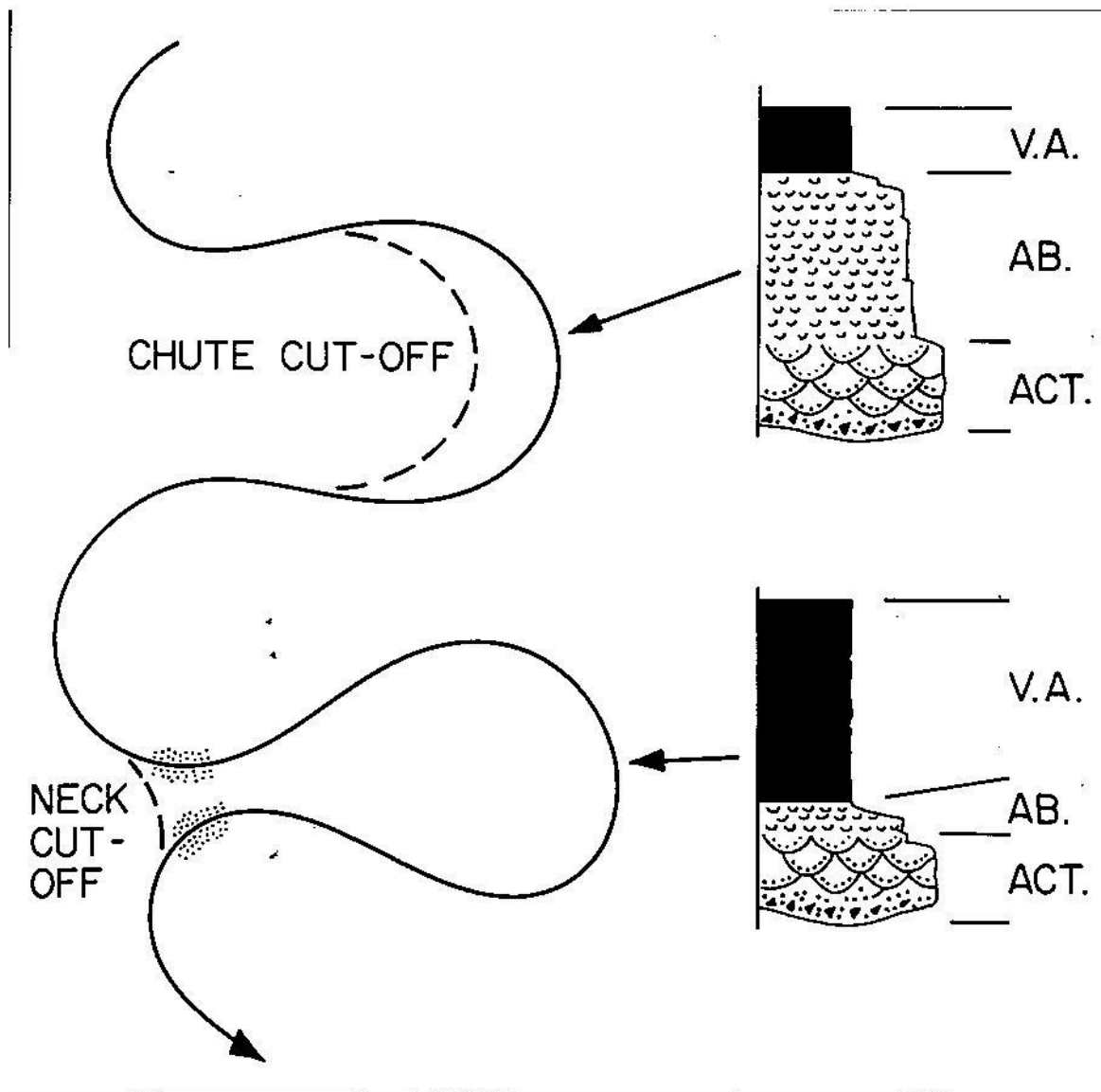
### 2.9.1 Sedimenty mrtvých ramen

Sedimenty mrtvých ramen reprezentují fluvialní sedimenty koryt, která byla opuštěna hlavním tokem. Existují dva typy mrtvých ramen podle geneze chute cut-off a neck cut-off (**obr. 7**). Chute cut-off vyniká při pomalé změně koryta odchylovajícího se od původního tvaru, oproti tomu neck cut off vzniká rychle zkrácení toku v nejužším místě meandru a odříznutí meandru.

Na začátku po odříznutí je sedimentace rychlá a zanese se přístupový kanál od hlavního toku. Neck cut off meandr je zanášen rychleji než chute cut-off meandr.

V druhé fázi je sedimentace v mrtvém ramenu pomalejší. Sedimentace se podobá sedimentaci v záplavových pánvích. Sedimentuje jemně laminované prach a jílu. Sediment má vysoký

obsah organické hmoty, neboť mrtvá ramena jsou ideálními místy pro široké spektrum fauny a flory. Zbytky organismů a rostlin jsou běžnou součástí vrtných jader z mrtvých ramen.



**Obr. 7** Vznik Cut off meandru (Walker R.G. 1984)

Poslední fáze mrtvého ramena nastává kdy je kompletně zaplněno především organickým sedimentem. Laminace sedimentu může být způsobena změnou barvy, složení nebo velikosti zrn (Reineck H. E. , Singh I. B. 1980)

## **2.10 Charakter říční sítě horního toku řeky Moravy**

Říční systém řeky Moravy byl v celé její délce značně antropogeně ovlivněn. Především šlo o zkrácení koryta. Celá délka Moravy i mimo zájmové území činila kolem roku 1880 329 km a dnes je její délka přibližně 267 km. Největší regulaci došlo ve Strážnickém Pomoraví.

V Mohelnické Brázdě došlo taky k výrazné regulaci o zkrácení o 7 km (43,5 na 36,7) mezi Bohumínem a Římicemi (Kilianová 2000).

Od Hanušovi teče Morava jižním směrem a tok má charakter bystřiny v přírodním korytě. Místy jsou na něj napojeny náhony. Mezi obcemi Chromeč a Bludov Morava výrazně meandruje. Od Bloudovského (Habrmanova Mlýna) teče Morava dvěma rovnocennými koryty, které se spojují před soutokem s řekou Desnou. Dále teče řeka Morava jako jediný tok z typicky meandrujícím charakterem. K opětovnému rozdělení dochází u Lukavic a třestěna a posléze u Římcic, kde vtéká do Litovelského Pomoraví (Kilianová 2000).

Tok se dělí do několika rovnocenných ramen, který je literatuře popisován jako anastomozní charakter (Kirchner, Ivan 1999). Litolí protéká Morava ve čtyřech ramenech, kterými pokračuje i dále. Na vznik ojedinělé anastomozní říční sítě měl vlivy tektonické tak vlivy vodohospodářské

Postupně se slévá a západně od Hynkova již pokračuje pouze 2 koryty: Morava hlavní tok a Mlýnský potok (Kilianová 2000). K soutoku obou ramen dochází v Olomouci j. od historického centra.

## **2.11 Environmentální sedimentologie**

Environmentální sedimentologie není důležitá jen z hlediska sub-recentní resp. Recentní stratigrafie a sledování kontaminací, čím se zabývá tato práce. Environmentální sedimentologie v širším smyslu, se snaží zkoumat změny v životním prostředí. Každá dobrá studie, potřebuje kvalitní data. Ideální místo k odběru sedimentárního záznamu by mělo splňovat několik kritéria. Sediment se ukládal dostatečně dlouhou dobu, v dostatečné kvantitě a kvalitě. V průběhu sedimentace by nemělo docházet k častým přerušení sedimentace a sediment by neměl být příliš ničen např. bioturbací nebo antropogenní činností (tažení sítí po mořském dně).

Tato studie sleduje vývoj těžkých kovů v recentních sedimentech.

Biostratigrafie mikrofosílie jednobuněčných organismů (foraminifera), pyly, spory řas jsou vědeckým indikátorem změn životního prostředí.

## **2.12 Environmentální sedimentologie ve fluvialním prostředí**

Řeky jsou důležitým transportním kanálem materiálu z oblastí eroze do oblastí sedimentačních pánví. Sedimenty jsou transportovány vlečením, v suspenzi a rozpuštěné v roztocích. Poměr suspendované a rozpuštěné složky závisí na druhu zvětrávání, které

souvisí s klimatem klimatu. Vedle přírodních tak i antropogenní vlivy ovlivnili v průběhu kvartéru kvantitu a kvalitu transportovaného materiálu. Hydrologie a režim jednotlivých povodí se měnil v závislosti změn klimatu především pak glaciálu a interglaciálu. Antropogenní činnost nenechala takřka žádný světový tok bez určité regulace nebo kontaminace v centrech průmyslu a zemědělství (Meybeck 2003).

## **2.12.1 Přírodní vliv na sedimentaci**

Režim a prostředí mohou ovlivnit tyto přirozené činitele klimatické změny, tektonika, vulkanická činnost a lesní požáry. Jednotliví činitelé nevystupují většinou samostatně a na režimu sedimentace se podílí více faktorů. Každý možný

### **2.12.1.1 Klimatické změny**

Klimatické změny mohou být definovány jako změna dlouhodobého režimu srážek a teplot. Podle Knighton (In Perry et al. 2007) přichází s klimatickou změnou následně i změna druhového zastoupení fauny a flory. Klimatické změny se projevují v časovém měřítku od 1000 až 10000 až po 1000 až 100 let.

Klima je ovlivňováno prvky terestrickými a mimo terestrickými. Do mimo terestrických se podle Lewis (In Perry et al. 2007) řadí sluneční aktivita a dále změny vyvolané Milankovičovým cyklem (Lewis in Perry et al. 2007). Milankovič cyklus obsahuje změnu dráhy Země a excentricitu dráhy, tato změna se děje v intervalu 100000 let. Další je změna úhlu osy země, kdy osa má úhel v rozmezí 21,5° až 24,5°. Tento cyklus trvá 4100 let. Poslední je precese, kdy dochází k rotaci zemské osy a jeden cyklus proběhne za 23000 let.

K terestrickým vlivům na klima patří vulkanická a tektonická potažmo orogenní činnost, dále změna proudění oceánsko atmosférického výměníku, který funguje jednak jako rozvod tepla na Zemi, ale i ochlazování. Albedo povrchu země je další činitel, který má vliv kolik sluneční energie bude absorbováno povrchem a kolik reflektováno zpět do vesmíru. Velký rozdíl mezi glaciálem a interglaciálem. Ledovce odráží sluneční záření a tím způsobí další ochlazení (vysoké albedo).

První studie kladly důraz na vztah mezi srážkami a množstvím sedimentu (Langbein in Perry et al. 2007), podle nich největší množství sedimentu je při největším množství srážek. Pozdější práce ukázaly, že tento vztah je komplexnější (Walling in Perry et al. 2007) a je zapotřebí zahrnout další faktory jako sezónní výkyvy, geomorfologie, geologie a užití krajiny, které již spadá do antropogenního ovlivnění. Frekvence povodní hraje hlavní roli v režimu

eroze a depozice ve fluviálním prostředí (Rumsby in Perry et al. 2007). Holocenní fluviální sedimenty Anglie a sz. Evropy jsou těžko porovnatelné především díky různým vlhkým a suším obdobím a dále jiným počtem extrémních povodní (Starkley in Perry et al. 2007). Fluviální sedimenty jsou často využívány ke studium klimatu díky přímému ovlivnění klimatickými změnami. Přelom Pleistocénu a Holocénu přinesl změnu ve zvýšení průtoků a množství transportovaného materiálu (Thomas in Perry et al. 2007).

### **2.12.1.2 Tektonika**

Pohyby na zlomech vyvolávají poklesy a přesmyky území, které následně vede ke změně rychlosti eroze resp. Depozice. Další prvek, který je nutno zařadit k této kategorie je "isostatic rebound". V dnešní době dochází k velkému výzdvihu Himalájí a taky jejich erozi. Materiál je transportován do akumulacních oblastí bengálské pánve (Alison in Perry et al. 2007). Izostatický rebound je typicky pro sv. Evropu především Skandinávie, kde tento proces ovlivňoval silně říční sedimentaci v Holocénu

### **2.12.1.3 Lesní požáry**

Při požárech dochází k odstranění rostlinného pokryvu a ke změně půdních vlastností. Tyto změny přispívají, k zvýšení průtoku v řekách a ke kvantitativnímu zvýšení podílu jemného materiálu v sedimentech (Morris in Perry et al. 2007). Čas, který potřebují rychlost eroze a depozice k návratu před požárovým hodnotám je relativně krátký v rozmezí 2 až 10 let. Požáry není možné brát jen přírodní fenomén, neboť mnoho požárů vzniká antropogenně. Během holocénu docházelo k úmyslnému a systematickému vypalování lesů, kvůli získání zemědělské půdy. Oheň byl využíván již během pleistocénu při lovech, tudíž ovlivnění krajiny sahá do hluboké lidské historie (Simmsons in Perry et al. 2007).

### **2.12.1.4 Vulkanická činnost**

Vulkanická činnost ovlivní vždy hydrologie přilehající oblast ať už bezprostředně tak i v rámci několika dekád. Řeky v blízkosti vulkánů jsou podobny řekám v aridních oblastech, pro které jsou typické bleskové povodně ( Hayes in Perry et al. 2007). Při vulkanické činnosti dochází k uvolnění velkého množství vodních par, které kondenzují a následně v podobě srážek padají k zemi. Při smíšení vody s nezpevněnými pyroklastiky vznikají rychle tekoucí lahary. Ke změně sedimentačního prostředí dochází při přehrazení řeky lávovými proudy.



K tomu to došlo i při vulkanické činnosti na bruntálsku, kde byla u Meziny přehrazena řeka Moravice a v nově vytvořeném jezeře sedimentovaly pyroklastika a vznikly tufy a tufity.

## **2.12.2 Antropogenní vliv na sedimentaci**

Antropogenní vliv se dá vysledovat až do paleolitu. Jeden velký vliv je na sedimentaci mělo o potenciál, sice i to bylo regionálně rozdílné. K prvnímu plošně velkému odlesnění došlo v antice ve středozezemním regionu. Díky prudkým středomořským srážkám, příkrých svahů a málo hlubokého potenci pokryvu došlo po odlesnění ve středozezemí k rychlé erozi. Erodovaná půda se ukládala v nížinách, takže přístavy jako Ostia, Paestum či Ravenna byly záhy obklopeny bažinami a octly se kilometry daleko od moře. Přístav Utica u kartága dnes leží 7 km od pobřeží a je okryt 10 metry sedimentů (Cílek 2006).

Antropogenní ovlivnění hydrologie řek potažmo rychlosti sedimentace se dá vyhledat do období již před velkými civilizacemi. Ať již to byla kácení lesů, zemědělská činnost, regulace toků, ale i těžba nerostných surovin a v novověku pak i průmyslová činnost. Častější povodně a následné i zvětšení objemu transportovaného materiálu jsou dobře zdokumentovány (Robinson in Perry et al. 2007).

### **2.12.2.1 Zemědělství, odlesnění**

Již od počátku zemědělství byla úrodná půda získávána odlesněním. Tato činnost vyvolalo obrovskou vlnu eroze. Několik studií došlo k závěrům, že poustvení člověka došlo k zvýšení eroze s následně sedimentace fluvialních sedimentů. , studovali sedimenty žluté řeky v Číně. Výsledkem studie v Číně bylo, že žlutá řeka transportuje 4 až 7 více materiálu než 1000 BP (Mei in Perry et al. 2007).

Eroze půdy z polí je odnášena jak vodou ze srážek tak i ze zavlažovacích systémů. Erodovaná půda bývá zdrojovým materiálem, který zanáší celosvětově umělé vodní nádrže, které slouží at' zdroj pitné vody nebo vody užitkové. Každoročně je erodováno 75 mil tun půdy díky zemědělství (Myers in Perry in et al. 2007). Zemědělství přispívá kontaminaci sedimentu především hnojivy bohaté na C, N, P (Owens in Perry et al. 2007). První generace pesticidů využívala často těžké kovy, které byly uvolněny to přírodního prostředí během počátku intenzivního zemědělství ve 30. a 40. letech 20. století.

Lesy byli dále využívány jako zdroj energie s velkou intenzitou až do 19 století. Ještě před 60 lety byly české pohraniční hory méně zarostlé lesy než je tomu dnes. Bylo to taky díky

většímu počtu obyvatel. Některé části Anglie můžou být extrémním příkladem, co způsobilo středověké a novověké odlesnění. Velká Británie vynaložilo mnoho peněz na opětovné zalesnění, ale díky extrémním srážkám a taky extenzivnímu pastevectví, se obnova lesů daří jen sporadicky.

### **2.12.2.2 Těžba nerostných surovin**

Jak povrchová tak podpovrchová těžba mění hydrogeologické podmínky. Bývalé bánské díla jsou rychleji drénována a dochází obnosu zvětralého materiálu. Především ložiska sulfidických rud mohou být zdrojem těžkých kovů. Při zvětrávání sulfidu se do vody uvolňují sírany

### **2.12.2.3 Regulace toku**

Regulace toku se prováděla a provádí z mnoha odlišných důvodů. Prvotně to bylo často zavlažování, dále zrychlení toku a vysoušení lužních lesů napomáhalo k získávání více půdy k obdělávání.

Dnes už ani často na první pohled nejde rozeznat nedávnou regulaci toku a bereme ji za přirozenou. Tok se dále může regulovat z důvodu využití vody k výrobě elektrického proudu ve vodních elektrárnách. Přehrazení řek vede k akumulaci sedimentu v přehradě a na druhé straně, tok pod přehradou má větší sílu erodovat. V deltě Mississippi došlo redukcí přineseného materiálu z 817 mil na 207 mil tun díky několika násobnému přehrazení. Díky této redukci dochází k větší erozi pobřeží (**Keown in Perry et al. 2007**). Dále jsou proti povodňové opatření hrází. Na území České republiky se začali toky regulovat již 18. století, kdy začalo budování plavebních kanálů, náhonů a protipovodňových úprav. S postupem industrializace v průběhu 19. století byli nejprve regulovány hlavní toky v blízkosti sídlištních celků např. regulace toku dolní Moravy nebo Dyje. K regulaci drobnějších toků začalo docházet po roce 1884, kdy byl vydán tkz. Meliorační zákon. K plošnému regulaci toků došlo v letech 1919-1935 v souvislosti s pozemkovou reformou. Řasa stavebních prací byla na tocích prováděna i v rámci veřejně prospěšné činnosti zajatci z 1. světové války nebo nezaměstnanými za hospodářské krize ve 30. letech. Další období regulace odstartovalo v 50. letech 20. století v souvislosti se socialistickou kolektivizací. Postupné zprůmyslnění zemědělství a snaha o využití i méně vhodných pozemků k pěstování plodin vedly k masivním úpravám drobných vodních toků.

V Mohelnické Brázdě byla Morava regulována v období 1. republiky například regulace u Lesnice nebo u Moravičan, a pak v druhé polovině 20. století meandr u Zvole nebo Kurfürstovo rameno u Štěpánova. Při regulaci toku dochází k zrychlení průtoku a k zahlubování toku v regulované části a naopak větší sedimentaci v části nezregulované. Regulované části byly osazovány jezy, aby omezily erozivní činnost řeky (Langhammer in Perry et al. 2007).

#### **2.12.2.4 Urbanizace**

Urbanizace má prvotně výsledek zrychlení eroze a transportu sedimentu při stavební činnosti. Vybudované urbanizované sídlo přispívá k zvýšením průtoků při extrémních srážkách díky nemožnosti srážek dostatečně efektivně infiltrovat (Knighton in Perry et al. 2007).

#### **2.12.2.5 Průmysl**

Odpadní vody a skládky průmyslových odpadů ovlivňují celosvětově kvalitu povrchové vody a tím pádem i kvalitu sedimentů.

### **2.13 Studie recentních aluviálních sedimentů**

Řeky jsou celosvětově kontaminovány hnojivý, organickými látkami, těžkými kovy a radioaktivními sloučeninami. Forma transportu je pro každou sloučeninu či prvek odlišná a závisí na vlastnostech. Zn je především transportován v rozpuštěné formě a naopak většina Pb je sorbováno na částičky sedimentu. Toky, které byly antropogeně okyseleny třeba díky těžbě sulfidických rud, mohou transportovat velké množství k rozpuštěným kovům. pH je ve směru toku zvyšováno a tím dochází i k vysrážení kovů a jejich sedimentaci. Ve vysokém pH jsou kovy transportovány jako sorbované na jílech. Díky povrchovému náboji a velké ploše jílových a prachových částic se kovy koncentrují v těchto sedimentech (Salamons et al. 1978). Organická hmota má velký kationové výměnné kapacity, tudíž může zachytit značné množství kovů. Díky vlastnostem jílových minerálů jsou kovy navázány do sedimentu. Především to jsou sedimenty záplavových pánví a sedimenty vyplňující mrtvé ramena řek. Kontaminanty uložené v sedimentu se mohou změnou chemických vlastností prostředí jako je pH, redox potenciál, opětovně uvolňovat do životního prostředí (Hudson-Edwards in Perry et al. 2007).

Sedimenty aluviálních niv jsou v hodné pro rekonstrukci fluviální aktivity v holocénu.

Studiem aluviálních sedimentů se v poslední době zabývá více autorů jak v České republice (Bábek et al. 2008, Kadlec et al. 2008) tak v zahraničí (Odkaz Španělska geo služba). Jeden směr studia jsou geochemické vlastnosti sedimentu a organických a anorganických kontaminantů a geochemické procesy a interakcemi s nimi spojenými (Bábek et al. 2008, Filipka 2009).

Druhá část výzkumu je zaměřena na environmentální stratigrafie, která slouží k lepšímu pochopení interakce člověka s krajinou během holocénu (Kadlec et al. 2008, Ciszevski et al. 2007). Obě dvě strany výzkumu se prolínají. Tato práce patří svým zaměřením spíše do druhé kategorie.

V povodí Moravy byla většina prací situována do prostředí jižně od Olomouce (Bábek et al. 2008, Kadlec et al. 2008) především pak v prostředí Strážnického Pomoraví (Kadlec et al. 2008). Dosavadní studie se zabývaly částí Moravské nivy, která pravděpodobně byla více ovlivněná průmyslovou činností než niva Moravy mezi Postřelmovem a Olomoucí, která je zájmová oblast této práce.

Studie (Bábek et al. 2008) využila  $^{137}\text{Cs}$  ke stanovení rychlosti sedimentace. Nejvyšší hmotnostní aktivita  $^{137}\text{Cs}$  v sedimentárním jádru z mrtvém ramenu Čerták u Otrokovic odpovídá vypuštění Cs do přírodního prostředí během havárie Černobylské atomové elektrárny v dubnu roku 1986. Rychlost sedimentace byla spočítána na 7-7,7 cm/rok během 1986 až 2007. Studie dále poskytla výsledky k vývoji TK během posledních 70 let, které se shodují s podobnými pracemi ze středo a západního evropského regionu.

Výsledky ukázaly, že některé TK si drží stabilní koncentraci během posledních 70 let a tudíž se jedná o koncentrace související s geochemickým pozadím a nejsou antropogeně ovlivněny. Tato skupina obsahuje **V, Co, Ni, Mo**. Další skupina TK je silně antropogeně ovlivněna a ukazuje nejvyšší koncentrace v rozmezí od 30. let 20. století do poloviny 80. desítek 20. století. Od poloviny 80. let dochází k poklesu koncentrací těchto TK. U některých je pokles značný (Cr, Cd, Sb, As, Zn, Hg, a As), což souvisí ukončením činnosti množství těžkého průmyslu ke konci 80. let a začátkem 90. let v regionu. Některé TK vykazují jen pozvolný pokles (Cu, Pb), jeden ze zdrojů přispívající k malému poklesu je podle studie (Bábek et al. 2008) výfukové plyny z dopravy.

Ze studie (Kadlec et al. 2008) vyplývá, že horních 50cm sedimentu v zátopové oblasti ve Strážnickém Pomoraví je kontaminováno antropogením znečištěním. Jedná se o organické i

anorganické kontaminanty. Vzorky pro tuto studie byly odebrány z nárazových břehů a aluviální nivy. Průměrná rychlost sedimentace v nejsvrchnějším horizontu byla stanovena na 0,8 cm ročně. Podle studie dále došlo v posledních 60 letech k zvýšení eroze a potažmo sedimentace vlivem intenzivního zemědělství. Zvýšení eroze je v sedimentu odraženo zvýšením magnetické susceptibility. To mělo by být způsobeno hlubší orbou, která uvolnila do životního prostředí větší počet magnetických minerálů (Kadlec et al. 2008).

Úprava toku způsobuje změnu rychlosti sedimentace v neupravených částech toku směrem po proudu (Grygar et al. 2009). Datování uhlíkem  $^{14}\text{C}$  velmi recentních kontaminovaných sedimentů podléhá nejasnosti kalibrační křivky mezi 1620 a 1955. Tento problém je částečně vyřešen užití roku 1900 jako začátek sedimentace industriálních kontaminovaných sedimentů (Grygar et al. 2009).

Podle studie z povodí řeky Litávka je většina TK transportována v suspenzi nesorbována na jílové částice. Koncentrace TK v roztoku je oproti transportu na jílových částicích zanedbatelná (Žák et al. 2009). Sedimenty mohou být během velkých povodní přetransportovány a níže sedimentovány po toku od zdroje kontaminace, mohou obsahovat větší koncentrace TK. Začátek sedimentace jemnozrnných povodňových hlín v povodí řeky Litávka je spojována s kolonizací 13. století. Následkem odlesnění a těžby v Příbramském revíru došlo k zvýšení eroze a sedimentace v řece Litávka podobně jako v jiných částech Evropy (Žák et al. 2009).

Studie Cieszevski et al. 2007 se zabývá TK v prostředí velmi ovlivněno průmyslovou činností. Ostravska a dolního Poodří v Polsku

Většina řek byla od začátku průmyslové revoluce v 19. století zkrácena a kanalizována např. řeka Odra byla zkrácena o 36 % (Ciszewski et al. 2007). Úprava toku byla rychleji a znatelněji provedena v industriálních oblastech. Industrializace byla po 2. Světové válce zdvojnásobena a tím i spalování uhlí a zpracování rud v metalurgie.

## **2.14 Zdroje těžkých kovů v zájmovém území**

### **2.14.1 Přirozené zdroje**

Těžké kovy se na některých místech přírody vyskytují ve zvýšených koncentracích, která pak mohou ovlivnit pozadové koncentrace jednotlivých prvků. Tyto geochemické anomálie jsou

častými nalezišti minerálních asociací, které se těží jako tkz. železné rudy. Především jde o sulfidy. Řeka Morava protéká kolem několika geochemických anomálie, které jsou přímo v na kraji Mohelnické Brázdy. Ty to lokality jsou to u Lukavic a Zvole. Dále řeka Morava teče mezi Hanušovicemi a Postřelmovem podél ložisek železné rudy v Rudě nad Moravou, které může představovat geochemickou anomálie. Jelikož jmenované anomálie nejsou v bezprostřední blízkosti toku, je jejich ovlivnění chemismu řeky Moravy nejasný a význam bude pravděpodobně lokální. Z tohoto důvodu přírodní ovlivnění koncentrací těžkých kovů bude malé oproti antropogenímu vlivu

## 2.14.2 Antropogení zdroje

Hlavní antropogenní zdroji těžkých kovů jsou odpadní vody z těžby a metalurgie, z fotografického, textilního, kožedělného a chemického průmyslu, z energetiky a zemědělství (tab. 12).

Severní část Hornomoravské úval a Mohelnická Brázda se jeví na první pohledu jako méně antropogeně ovlivněna než oblast řeky Moravy jižně od Olomouce. I přesto tu jsou a byly zdroje, z kterých se mohly nebo dostaly těžké kovy do aluviálních sedimentů.

Průmyslová činnost	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Se	Zn
Doly a metalurgie	X	X	X	X	X	X	X	X
Galvanické pokovování			X	X				X
Zpracování ropy a uhlí	X				X			
Výroba barev		X	X	X	X	X	X	
Výroba pesticidů	X				X	X		X
Kožedělný průmysl			X					
Chemický průmysl			X	X		X		
Gumárenský průmysl						X		X
Farmaceutický průmysl	X					X		
Textilní průmysl			X	X				
Papírenský průmysl						X		

**Tab. 12** Použití těžkých kovů v průmyslu upraveno (Försner 1989)

Antropogení zdroje těžkých kovů mohou pocházet z několika zdrojů. Morava a její přítoky protékají několika významnými průmyslovými městy Šumperk, Zábřeh, Mohelnice a Litovel, dále Morava protéká kolem několika menších a středně velkých ložisek železných rud, které byly těženy, skládky v blízkosti řeky a nejrozsáhlejším zdrojem těžkých kovů mohlo být zemědělství, které je rozšířeno v těsné blízkosti toku po většinu toku.

### 2.14.2.1 Průmysl

Ve studované oblasti je nejrozšířenější potravinářský, textilní, papírenský, strojírenský a elektrotechnický průmysl. Nejvíce se podílel na znečištění životního prostředí průmysl papírenský (Hg,Cd). **Tab. 13** ukazuje přehled nejvýznamnějších průmyslových závodů, které se mohli a nebo stále podílejí vypouštěním odpadních vod na ovlivnění životního prostředí. Toto ovlivnění se dá hodnotit jako bodové znečištění.

Název zdroje	Průmysl	Sídlo	Vodoteč	Objem vyp. vod (tis.m <sup>3</sup> /rok) rok měření 1995	Objem vyp. vod (tis.m <sup>3</sup> /rok) rok měření 2002	Těžké kovy v odpadních vodách	Překročení limitních koncentrací v odpadní vodě (2002)
Olišanské papírny a.s. Jindřichov	papírenský	Jindřichov	Branná	920,8	644,3		
ZKL Hanušovice	strojírenský	Hanušovice	Morava		16,6		
PIVOVAR HOLBA, a.s.	potravinářský	Hanušovice	Morava	139,1		Hg	
Noblesan	textilní	Hanušovice	Morava	98			
OP Papírna Olšany	papírenský	Olšany	Morava	713,6	3154,2	Hg	
Olišanské papírny a.s. Aloisov	papírenský	Aloisov	Morava	382,1	268,2	Cd,Hg	
Rapotínské sklárny	sklářský	Rapotín	Desná	198,3	201,1		
Velosteel Trading	strojírenský	Loučná nad Desnou	Desná		129,5		
Velamos	strojírenský	Sobotín nad Desnou	Merta	11,8	7,5		
MEP Postřelmov	elektrotechnický	Postřelmov	Morava	216	63,0		
Olišanské papírny a.s. Lukavice	papírenský	Lukavice	Morava	517,3	724,3	Cd,Hg	
Olišanské papírny Vlčice	papírenský	Vlčice	Třebůvka	230,1	209,4	Cd,Hg	
ALFACHROM Litovel	strojírenský	Litovel	Morava		26,3		
Unex Uničov	strojírenský	Uničov	Oskava		365,9		
Papcel Litovel	strojírenský	Litovel	Morava		21,7		
Pars nova a.s.,	strojírenský	Šumperk	Desná			Cd, Pg, Hg	
PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk	strojírenský	Šumperk	Desná			Ni, Hg	
Siemens Elektromotory, s.r.o	strojírenský	Mohelnice	Mírovka			Cd,Ni,Pb,Hg	
DELTACOL CZ s.r.o	elektrotechnický	Litovel	Morava			Hg, Ni	
Elektropraga	elektrotechnický	Litovel	Mlýnský potok	20,5			
Tesla Lanškroun	elektrotechnický	Lanškroun	Ostrovský potok	96			
HEDVA, a.s. Moravská Třebová	textilní	Moravská Třebová	Třebůvka	316	107,631	Pb,Hg Cd	Fe
PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk	strojírenský	Šumperk	Desná		69,200		NI
VAB, s.r.o. Šumperk - oddělný závod Rapotín	strojírenský	Rapotín	Desná		0,003		NI

**Tab. 13** Významná průmyslová střediska v zájmové oblasti

### 2.14.2.2 Sklárky komunálního a průmyslového odpadu

Dalším zdrojem jsou komunální sklárky a černé sklárky, které se kolem toku nacházejí např. sklárka Sklalička v Zábřehu na Moravě, Bludov-sklárka průmyslového odpadu ukončena, Rejchartice – sklárka tuhých komunálních odpadů (Skácelová et. al. 1999), Dále sklárky, které jsou evidovány v systému evidovaných kontaminovaných míst. Tyto sklárky komunálního nebo průmyslového odpadu jsou převážně situovány do starých říčních meandrů nebo do luků šterkopísku. V této databázi jsou evidovány tyto sklárky: Raškův Dvůr, Chromeč, Postřelmov, Sudkov, Leština u Zábřeha, Hrabová, Zvole u Zábřeha, Lukavice na Moravě, Háj u Moravy u obce Třeština, Moravičany, Doubravice, Horka nad Moravou a Chomoutov.

Sklárky jsou směsí organického a anorganického odpadu a většina z nich se částečně nachází pod hladinou podzemní vody. Z organických kontaminantů se zde nejčastěji nachází ropné látky a chlorované alifatické a aromatické uhlovodíky. Dále je ve sklárkách směs



těžkých kovů s niž některé překračovaly nebo překračují limitní koncentrace v podzemní a povrchové vodě. Nejčastěji vyskytující se těžké kovy jsou: As, Cu, Cr, Hg a Ni (<http://sekm.cenia.cz/portal/>, 2011 ).

### 2.14.2.3 Odpadní vody z domácností

Významným zdrojem znečištění byly v minulosti odpadní vody z veřejných kanalizací, které nebyly nikterak čištěny ve většině sídel z velké části 20. století. K zlepšení došlo od druhé poloviny 90. let 20. století. **Tab. 14** uvádí přímé a nepřímé znečišťovatele odpadními vodami pro rok 1997 (Kolektiv in Hekera 1999). Od poloviny 90. let 20. století byly budovány nové čistírny odpadních vod i v dalších sídlech, z čehož vyplývá, že ovlivnění odpadními vodami z domácností by mělo klesat.

Město	Typ zdroje	Vodoteč
Mohelnice	ČOV	Morava
Štěpánov	veřejná kanalizace	Oskava
Litovel	ČOV	Morava
Moravská Třebová	ČOV	Třebůvka
Loštice	veřejná kanalizace	Třebůvka
Lanškroun	veřejná kanalizace	Ostrovský potok
Uničov	ČOV	Oskava
Šumperk	ČOV	Desná
Zábřeh na Moravě	ČOV	Moravská Sázava
Chromec	veřejná kanalizace	Chromecský náhon
Bludov	veřejná kanalizace	Vesník
Hanušovice	veřejná kanalizace	Morava
Leština	veřejná kanalizace	Loučský potok
Sudkov	veřejná kanalizace	Desná
Úsov	veřejná kanalizace	Doubravka
Šternberk	ČOV	Sitka

**Tab. 14** Zacházení s odpadními vodami stav z roku 1997

### 2.14.2.4 Těžba nerostných surovin (rud)

Přímé okolí řeky Moravy v Hornomoravském Úvalu a Mohelnické Brázdě není ovlivněno těžbou rud, které jsou zdrojem při uvolnění těžkých kovů do životního prostředí.

Několik ložisek železných rud se nachází od konce Mohelnické Brázdě proti toku řeky Moravy mezi Rudou na Moravě a Hanušovicemi. Ložisko Ruda nad Moravou.

Přímo na z. kraji Mohelnické Brázdy byla těžena ložiska u Květína a okrajově také u Zvole, Rajce, Raječku, Skaličky, Podolí a Podolíčka (Skácel 1961). Těžil se limonit, němž obsah železa byl kolísal mezi 30 a 35 %. Těžba byla ukončena na počátku 20. století. Pravděpodobné ovlivnění aluviálních sedimentů produkty exogenních procesů zvětrávání hald železné bylo a je minimální a má lokální charakter

#### **2.14.2.5 Zemědělství**

Největším a plošně nerozšířenějším zdrojem těžkých kovů je zemědělství. Studovaná oblast je zemědělsky intenzivně obdělávána. Morava teče v Mohelnické brázdě převážně kolem zemědělských ploch jako jsou pastviny a pole. Severní část Hornomoravského úvalu je taky intenzivně obdělávána, ale řeka Morava neteče z velké její části v přímém kontaktu se zemědělskou půdou.

.Během posledních 60 let byli používány hnojiva, mořidla, insekticidy a herbicidy, které obsahovaly a obsahují těžké kovy. Především pesticidy první generace využívaly těžké kovy ve velkém. Tyto pesticidy měli vysokou perzistenci a malou účinnost (**Šarapatka et al. 2002**) 70-90% Cd v orné půdě je z používání agrochemikálie (**Hekstra 1995**).

Možným zdrojem kontaminace

#### **2.14.2.6 Ostatní zdroje**

TK mohlo být spalování uhlí v domácnostech především Pb, které je vysoce zastoupeno v atmosférických spadech po spalování uhlí. V českých zemí došlo k masivnímu rozšíření spalování uhlí po roce 1900 (Grygar et al. 2009)

### **3 Metodika**

#### **3.1 Výběr lokalit**

K výběru lokalit sloužily ortografické snímky ze serverů [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz) ,<http://maps.google.com/maps?ct=reset> a <http://kontaminace.cenia.cz/>, kde je možnost podívat se na fotomapy z 50. let 20. století.

#### **3.2 Odběr vzorků a zpracování vzorky**

Na celém studijním území bylo vzorkována na 8 místech. Mezi první lokalitou Habrmanův mlýn mezi Bludovem a Postřelmovem a poslední lokalitou Kurfürstovo rameno je vzdušná vzdálenost 36 km, ale podél toku Moravy je vzdálenost minimálně 44 km. Celkem bylo odebráno 20 jader o různých mocnostech. Odběr jader byl proveden píستový vzorkovač firmy Eijkelkamp (Holandsko). Při odběru dochází k částečné stlačení jádra. Záleží na odebíraném sedimentu a na provedeném odběru. Odběr vzorků proběhl v 5 etapách od listopadu 2009 až do prosince 2010.

Odebrané sedimentární jádra byla v laboratoři vytlačena z jádrovnice, nafotografována a na krájena po 0,5 cm respektive 1 cm. Takto upravené vzorky byly sušeny v sušárně na 50 C cca. 24 hodin.

Po vysušení byly vzorky jednotlivě zabaleny do polypropylenových sáčků a uchovány pro další analýzy.

### **3.3 Geofyzikální metoda: elektrická rezistivita**

Metodou elektrické rezistivity byli změřeny 3 2D profily na 2 lokalitách. 14.7. 2010 byl změřen 1 profil na lokalitě Litovelské luhy. Tento profil byl korelován s jádry LIT1-3.

9.12.2010 byly měřeny 2 profily na lokalitě Kurfürstovo rameno. Změřený profil byl korelován s vrty CH3 a CH4. Rozpětí elektrod během měření bylo 2 m.

### **3.4 Laboratorní metod**

#### **3.4.1 Granulometrie**

Granulometrie byla pro většinu vzorku provedena kvalitativně při tření v třecí misce a pozorování zda sediment obsahuje středně hrubý až hrubý písek. Dále byl sediment zkoušen třít mezi prsty a zjistit přibližnou zrnitost.

Kvantitativně pak byly změřeny vybrané vzorky v laserovém granulometru Silas 1060 (**obr.8**), který má horní hranici detekce 0,5 mm (hranice mezi středně hrubým až hrubým pískem), ale z technických důvodů byla první sada vzorku selektována tak, že analyzovaný materiál měl zrna do 0,1 mm.



**Obr. 8** Laserový granulometr

### **3.4.2 Měření $^{137}\text{Cs}$ na gamaspektrometru**

K měření izotopu  $\text{Cs } 137$  byl použit gamaspektrometr GR 320 (**obr. 9**) od firmy Georadis. Gamaspektrometr je tvořen detektorem a řídicí jednotkou. Jako detektor slouží monokrystal jodidu sodného aktivovaný thaliem. Když záření pronikne dovnitř krystalu, je transformováno na slabé světelné pulsy, čili na scintilaci a to proporcionálně k energii záření. Dále je záření zesíleno v zesilovači, kde se zároveň oddělí záření s různou energií, teprve pak je záření fyzicky změřeno (**Musset 2000**). Před laboratorním měřením byly vzorky uzavřeny minimálně 14 dní, aby došlo k ustálení koncentrace  $\text{Cs}$ . Před samotným měřením byl vzorek zvážen. Hmotnost byla zadána do programu Lab Center. Koncentrace  $\text{Cs}$  byla měřena pro každé 4-6 cm odebraného jádra. Při menší hmotnosti vzorku dochází k větší chybě. Doba měření je 30 minut



**Obr. 9** Gammaspektrometr GR 320

### **3.4.3 Měření barev Kolorimetr**

Pro tuto metodu byl využit spektrální fotometr SP-62, X-Rite (**obr. 10**) na přírodovědecké fakultě UP v Olomouci. Jedná se o ruční spektrální fotometr s kulovou geometrií X-Rite SP 62 + databázový software QA-Master1 pro spektrofotometr SP62. Spektrofotometr SP 62 snímá a zobrazuje celé viditelné spektrum v rozsahu 400 až 700nm s rozlišením 10 nm a umožňuje prezentaci kolorimetrických dat v barevných prostorech CIE  $L^*a^*b^*$ , CIE  $L^*C^*h^\circ$ . Vzorek byl před analýzou rozdrčen v třecí misce, aby neměl žádné hrudky. Dále byl vysypán na papír a upraven pro měření. Samotné měření spočívá v přiložení plastické zaměřovacího kruhu fotometru na vzorek a zecvaknutí přístroje. Spektrum barev je změřeno během několika sekund.

Při tomto postupu docházelo k zaprášení lampy, proto se přistoupilo k postu, kdy vzorek byl měřen přes polypropylenový sáček.



**Obr. 10** Spektrální fotometr SP-62

### **3.4.4 Měření magnetické susceptibility**

Magnetická susceptibilita je schopnost látek se zmagnetizovat. Látky se dělí na diamagnetické, které mají nulovou schopnost (grafit, diamat, křemen). Částečně magnetizovatelné látky se jmenují paramagnetické (siderit, pyrit, muskovit, biotit, amfibol, olivín, pyroxen) Paramagnetické látky mají susceptibilitu v rozmezí  $10^{-5}$  až  $10^{-3}$ . Přechodné prvky Mendlovy periodické soustavy Fe, Ni, Co patří do skupiny ferromagnetických látek, které mají nevyšší magnetickou susceptibilitu v řádech od  $10^{-1}$  až 101 (magnetit, pyrhotin, hematit, ilmenit). Měření magnetické susceptibility bylo prováděno na kapamůstku KLY-4 na přírodovědecké fakultě UP v Olomouci. Před měřením byla změřena magnetická susceptibilita držáku s polypropylenovým pytlíkem, která se pak odečítá od měřené susceptibility vzorků.

Vzorky byl jednotlivě vkládány do plastového držáku a po zaznění signálu vloženy do přístroje a po opětovném zaznění signálů vytáhnuty.

Naměřené hodnoty byly poděleny hmotnosti, neboť magnetická susceptibilita závisí na hmotnosti vzorku

### **3.4.5 Měření koncentrací těžkých kovů**

Koncentrace těžkých kovů byla měřena ručním XRF spektrometrem na přírodovědecké fakultě MU v Brně. Vzorek byl podržen, rozemlet a homogenizován v třecí misce. Homogenizovaný vzorek byl vysypán na papír a upraven tak aby pod analyzátozem bylo přibližně 1 cm vzorku.

Samotné měření začíná přiložením ručního XRF spektrometru na vzorek a zmáčknutím spouště. Měření trvá přibližně 1 minutu. Vzorky byly měřeny v režimu sytké matrice, která je vhodná pro vzorky půd a nezpevněných sedimentů.

### **3.5 Zpracování dat**

Data byla zpracována v programu Ms Excel.

## **4 Prameny**

### **4.1 Literární zdroje**

Tolasz R., Brázdil O., Dobrovolný P., Dobrovský M., Hájková L., Halasová O., Hostýnek J., Janouch M., Kohout M., Krška K., Křivancová S., Květon V., Lepka Z., Lipina P., Macková J., Metelka L., Míková T., Mrkvica Z., Možný M., Nekovář J., Němec L., Pokorný J., Reitschläger J.D., Richterová D., Rožnovský J., Řepka M., Semerádová D., Sosna V., Stříž M., Šercl P., Šlachová H., Štěpánek P., Štěpánková P., Šuvanírová P., Trnka M., Valeriánová A., Valter J., Vaníček K., Vavruška F., Voženílek V., Vrablík T., Vysoudil M., Zahradníček J., Zusková I., Žák M., Žalud Z. (2007): Atlas podnebí Česka. – Český hydrometeorologický ústav, Praha

Demek J., Mackovčín P., Balatka B., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D., Havlíček M., Hrádek M., Kirchner K., Lacina J., Pánek T., Slavík P., Vašátko J., Ochman J. (2006): Zeměpisný lexikon ČR :hory a nížiny. – AOPK ČR, Brno

Terry J., Kostaschik R. A., Garimella S. (2006): Sediment deposition rate in Falefa river basin, Upolu Island, Samoa. - Journal of Environmental Radioactivity 86; 45-63

Reimann C., Caritat P. (1998): Chemical Elements in the Environment factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. – Springer-Verlag, Berlin.

Šarapatka, B., Dlapa, B., Bedrna, Z., (2002): Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého, Olomouc.

Reineck H. E., Singh I. B. (1980): Depositional Sedimentary Environments Second, Revised and Updated Edition. – Springer-Verlag, Berlin.

Pitter, P. (1999): Hydrochemie. – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 568 s..

Đurža, O., Khun, M. 2002. Environmentálna geochémia niektorých ťažkých kovov. 115 s. Univerzita Komenského v Bratislave, Bratislava. ,

Walker R. G. (1984): Facies Models, Second Edition. – Geology Association of Canada department of Earth Sciences, Newfoundland.

Sedlák P., Cícha, I., Hanzlíková, E., Chmelík, F., Koráb, T., Kuthan, M., Němčík, J., Pícha, F., Roth, Z., Seneš, J., Scheibner, E., Stráník, Z., Vaškovský, I., Žebera, K. (2007): Využití technologie GIS Při rekonstrukci podloží severní části Hornomoravského úvalu. – MS, disertační práce. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno, 651 s..

Barth, V. (1971): Geologické exkurze do Hornomoravského úvalu a okolí. Vydavatelství UP, Olomouc, 108 s.

Barth, V. (1958): Historický přehled geologických výzkumu v Hornomoravském úvalu. Sbor. VŠP v Olomouci, Přírod. vědy 5, Praha, s. 25–78.

Zapletal, K. (1954): Přehled geologie Olomouckého kraje. Vydavatelství SLUKO, Olomouc.

Roth, Z., Cícha, I., Demek, J., Eliáš, M., Frajová-Eliášová, H., Hanzlíková, E., Jetel, J., Mencl, V., Mísař, Z., Pašek, J., Paulík, J., Pícha, F., Plička, M., Polák, A., Šamanský, K., Šamalíková, M., Šimek, R., Šmíd, B., Tyráček, J., Unzeitig, M. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě CSSR 1:200 000 M-33-XXIV Olomouc. SAV, Praha, 226 s.

Buday, T (1967): Regionální geologie CSSR. Díl II. (Západní Karpaty), sv. 2, Nakl. CSAV, Praha.



Přichystal, A., Obstová, V., Suk, M. (eds.) (1993): Geologie Moravy a Slezska. MZM a PřF MU Brno, 168 s.

Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z. (2002):  
Geologická minulost České republiky. Academia, Praha, 436 s.

Hrubeš, M. a kol. (2000): Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1:25 000 24-224 Olomouc. Český geologický ústav, Praha, 70 s.

Šafář, J., Mackovičín, P., Sedláček, M. (2003): Olomoucko: Chráněná území ČR, svazek VI. – Agentura pro ochranu přírody a krajiny ČR, EkoCentrum Brno, Praha

Kirchner, K., Ivan, A. (1998): Anastomozní říční systém v CHKO Litovelské Pomoraví. – Geologický výzkum Moravy a Slezska, Brno, 19s.

Šarapatka, B. (1991): Odborný dokument Ohraňené krajinné oblasti Litovelské Pomoraví. – MS UP, Olomouc

Miler, J.R., Orbock Miller S.M. (2007): Contaminated Rivers A Geomorphological-Geochemical Approach to Site Assessment and Remediation. – Springer, Dordrecht.

Langhammer, J. (2007) Povodně a změny v krajině. - Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha.

Skácel, J. (1961): Ke genezi rudních ložisek u Květnice mezi Mohelnicí a Zábřehem na Moravě.- In Časopis Moravského musea, Vědy přírodní, Slezský ústav ČSAV, Opava.

Perry, Ch., Taylor, K. (2007): Environmental Sedimentology. Blackwell Publishing, Oxford, 441 s.

Förstner, U. (1989): Contaminated Sediments. Springer Verlag, New York

Cílek, V. (2006): Tsunami je stále s námi eseje o klimatu, společnosti a katastrofách. Alfa Publishing, Praha, 344 s.

Nichols, G. (2009): *Sedimentology And Stratigraphy*, Second Edition. – Wiley-Blackwell, Oxford, 419 s..

Kilianová, H. (1999): *Řeka Morava na mapách III. vojenského mapování z let 1876-1880: příspěvek k fluviální dynamice.*- Geologický výzkum Moravy a Slezska, Brno.

Bábek, O., Hilscherová, K., Nehyba, S., Zeman, J., Famera, M., Franců J., Holoubek, I., Machát, J., Klánová, J. (2008): Contamination history OF suspended river sediments accumulated in oxbow lakes over tle last 25 years. – *Journal Soil Sediments* , Springer-Verlag. 8, 165-176.

Kadlec, J., Grygar, T., Světlík I., Ettler, V., Mihaljevič, M., Diehl, J.F., Beske-Diehl, S., Vitásková-Svobodová, H. (2009): Morava River floodplain development dutiny tle last millenium, Strážnické Pomoraví, Czech republic. – *Tle Holocéne*, SAGE Publication, 19, 3, 499-509.

Ciszewski, D., Czajka, A., Blazej, S. (2008): Rapid migration of heavy metals and 137 Cs in alluvial sediments, Upper Odra River halley, Poland. – *Environmental Geology*, Springer-Verlag, 55, 1577-1586.

Žák, K., Rohovec J., Navrátil, T. (2009): Fluxes OF Heavy Metal from a Highly Polluted Watershed Dutiny Flood Events: A Case Study OF Litavka River, Czech Republic. – *Water Air Sbil Pollution*, Springer Science + Business Media B.V., 203, 343-358.

Grygar, T., Světlík, I., Lisá, L., Koptíková, L., Bajer, A., Wray, D.S., Ettler, V., Mihaljevič, M., Nováková T., Koubová, M., Novák, J., Mačka, Z., Smetana, M.(2009): Geochemical tools for the stratigraphic correlation of floodplain deposits of the Morava River in Strážnické Pomoraví, Czech Republic from tle last millenium. – Elsevier, 80, 106-121.

## **4.2 Internetové zdroje**

<http://sekm.cenia.cz/portal/> 10.2.2011

### **4.3 Soupis map**

[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(fusviz454dg1gizfgtzugn45\)\)/Default.aspx?mode=Mapa&news=yess&menu=11&UvodniStrana=yes](http://geoportal.cuzk.cz/(S(fusviz454dg1gizfgtzugn45))/Default.aspx?mode=Mapa&news=yess&menu=11&UvodniStrana=yes) 20.11.2010

<http://kontaminace.cenia.cz/> 10.2.2011

<http://mapy.cz/#mm=ZTtTcP@x=139124736@y=134993920@z=9> 10.2.2011

<http://maps.google.com/maps?hl=en&tab=wl> 10.2.2011

<http://geoportal.cuzk.cz> 10.2.2011