

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geologie



**CHARAKTERISTIKA BŘEŽNÍCH A PŘÍBŘEŽNÍCH
SEDIMENTÁRNÍCH TĚLES ŘEKY ODRY**

Diplomová práce

Bc. Liana Bílá

Studijní obor: Environmentální geologie

Prezenční studium

Vedoucí práce: Mgr. Jan Sedláček, Ph.D.

Olomouc 2021

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně s použitím citované literatury.

V Olomouci, dne 28.5.2021

.....

Liana Bílá

Bibliografická identifikace

Autor: Bc. Liana Bílá

Název práce: Charakteristika březních a přibřežních sedimentárních těles řeky Odry

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra geologie

Studijní obor: Environmentální geologie

Vedoucí práce: Mgr. Jan Sedláček, Ph.D.

Rok obhajoby: 2021

Abstrakt: Předložená diplomová práce se zabývá studiem přibřežních sedimentárních těles řeky Odry v CHKO Poodří. Hlavním cílem práce bylo zjištění poproudové variability těchto těles s ohledem na změny fluviálních podmínek a provenienci. Dále byla zjišťována míra současné kontaminace těžkými kovy. Celkem bylo zkoumáno 19 přibřežních těles v úseku mezi obcemi Albrechtičky a Polanka nad Odrou. Odebrané vzorky byly podrobeny zrnitostnímu rozboru, valounové analýze, analýze tvaru klastů, byla u nich změřena magnetická susceptibilita, provedena analýza těžkých minerálů a energiově disperzní rentgenová fluorescence. V tělesech bylo identifikováno několik hlavních facií. Na většině z nich dominuje šterkovitá litofacie, zatímco písčité a prachovito-jílovité facie tvoří zpravidla povlaky či vrstvy o malé mocnosti. Ve zkoumaných tělesech byly zjištěny rozdíly v jejich zrnitosti, chemismu, petrografickém složení a asociacích těžkých minerálů. Magnetická susceptibilita je závislá na složení a zrnitosti, stejně jako koncentraci litogenních prvků. Současná míra kontaminace těžkými kovy je na nízké úrovni a spíše odráží litogenní pozadí. Byly identifikovány dvě hlavní zdrojové oblasti, a to Nízký Jeseník a vnější Západní Karpaty. Velkou roli v přínosu sedimentů hrají přítoky z vnějších Západních Karpat, které přináší velké množství hrubozrnného materiálu. Část materiálu je odvozena z břehů samotné řeky Odry.

Klíčová slova: korytovité sedimenty, přibřežní sedimentární tělesa, řeka Odra, sedimentologický rozbor, provenience, těžké kovy

Počet stran: 75

Bibliographic Entry

Author: Bc. Liana Bílá

Title of Thesis: Characteristics of the sedimentary bodies of the Odra river

Type of Thesis: Diploma thesis

Institution: Palacký University in Olomouc, Faculty of Science, Department of Geology

Field of Study: Environmental Geology

Supervisor: Mgr. Jan Sedláček, Ph.D.

Year of defence: 2021

Abstract: This diploma thesis deals with the study of channel bodies of the Odra River in the Poodří Protected Landscape Area. The main goal was to determine the downstream variability of these bodies with respect to changes in fluvial conditions and sediment provenance. Furthermore, the levels of current heavy metal contamination were investigated. In total, 19 of channel bars were examined in the river reach between the villages Albrechtičky and Polanka nad Odrou. The samples were used for grain-size analysis, cobble analysis, particle shape analysis, magnetic susceptibility measurements, analysis of heavy minerals and energy dispersive X-ray fluorescence. Several major facies have been identified in the sedimentary bodies. Most of them are dominated by gravelly lithofacies, while sandy and silt-clay facies usually form coatings or thin layers. Differences in their grain size, chemistry, petrographic composition and associations of heavy minerals were found in the examined bodies. Magnetic susceptibility depends on the composition and grain size, as well as on the concentration of lithogenic elements. The current levels of heavy metal contamination are low and rather reflect the lithogenic background. Two main source areas were identified, namely Nizký Jeseník and the outer Western Carpathians. Tributaries from the outer Western Carpathians, bringing large amounts of coarse-grained material, play a major role in the sediment supply. The material can be derived partly from the steep riverbanks of the Odra River.

Keywords: river-bed sediments, channel bars, Odra River, sedimentological analysis, provenance, heavy metals

Number of pages: 75

Poděkování

Děkuji Mgr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, konzultace i za poskytnutí literatury. Dále bych ráda poděkovala Mgr. Danielu Šimíčkoví, Ph.D. za odborné rady k práci, Mgr. Jaroslavu Kapustovi za pomoc při přípravě vzorků a následné zpracování vzorků na elektronové mikrosondě. V neposlední řadě také Mgr. Martinu Žídkovi za pomoc při zpracování mé práce.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Geomorfologický a geologický vývoj.....	9
2.1	Geomorfologie.....	9
2.2	Geologie.....	11
3	Hydrologie.....	14
4	Vývoj osídlení	15
5	Chráněná krajinná oblast Poodří	17
6	Fluviální systémy	18
6.1	Typy řečišť.....	18
6.2	Fluviální sedimenty	18
6.3	Faciální modely řečišť	21
7	Antropogenní ovlivnění toků	23
8	Metodika.....	24
8.1	Lokalizace.....	24
8.2	Laboratorní etapa.....	26
8.2.1	Zrnitostní analýza.....	26
8.2.2	Magnetická susceptibilita	26
8.2.3	Těžké minerály	27
8.2.4	EDXRF – rentgen-fluorescenční spektrometrie.....	27
8.2.5	Valounová analýza a analýza tvaru klastů	28
9	Výsledky.....	30
9.1	Zrnitostní analýza	31
9.2	Magnetická susceptibilita	35
9.3	Těžké minerály	36
9.4	EDXRF – rentgen-fluorescenční spektrometrie	38
9.5	Valounová analýza	40
10	Diskuze.....	52
10.1	Procesy a akumulace příbřežních těles	52
10.2	Petrografická variabilita ve složení příbřežních těles	53
10.3	Geochemie a řídicí faktory.....	58
10.4	Provenience.....	60

11	Závěr.....	63
12	Použitá literatura a internetové zdroje.....	64
13	Přílohy	71

1 Úvod

Studium fluviálních archivů může poskytovat informace o klimatické variabilitě, změnách v daném povodí a působení tektoniky, a to v dlouhodobém i krátkodobém horizontu. V posledním století také sílí vliv člověka na krajinu, který se projevuje i v sedimentárních záznamech. Fluviální prostředí se obecně vyznačuje velkou dynamikou, ale většina tuzemských řek byla regulována. Jedním z posledních míst v České republice, kde pokračují přirozené říční procesy, je tok řeky Odry v CHKO Poodří. Její tok zde má charakter meandrového pásu a je lemován množstvím březních a přibřezních sedimentárních těles (korytovité sedimenty), avšak jejich složení nebylo dosud blíže zkoumáno. Korytovité sedimenty, na rozdíl od výplní mrtvých ramen a sedimentů povodňových plošin, neposkytují stratigrafické archivy po delší časové období, ale na druhou stranu odráží současné podmínky v daném povodí. Dle novějších výzkumů je charakter řeky Odry silně ovlivněn přítoky, jež přináší velké množství materiálu. Studium těchto těles proto může přinést informace o fluviálním stylu a provenienci. Jemnozrnné facie mohou indikovat současnou míru kontaminace těžkými kovy atd.

Cílem práce je výzkum březních a přibřezních sedimentárních těles ve vybraném úseku toku řeky Odry v CHKO Poodří, zejména mezi obcemi Albrechtičky a Polanka nad Odrou. Odebraný materiál poslouží pro základní sedimentologický a petrofyzikální rozbor. Bude studována poproudová variabilita v petrografickém složení valounů těchto sedimentárních těles a změny v chemickém složení jemnozrnných facií, včetně určení míry kontaminace těžkými kovy. Dále budou interpretovány podmínky vzniku těchto těles a na závěr budou diskutovány provenienční změny.

2 Geomorfologický a geologický vývoj

2.1 Geomorfologie

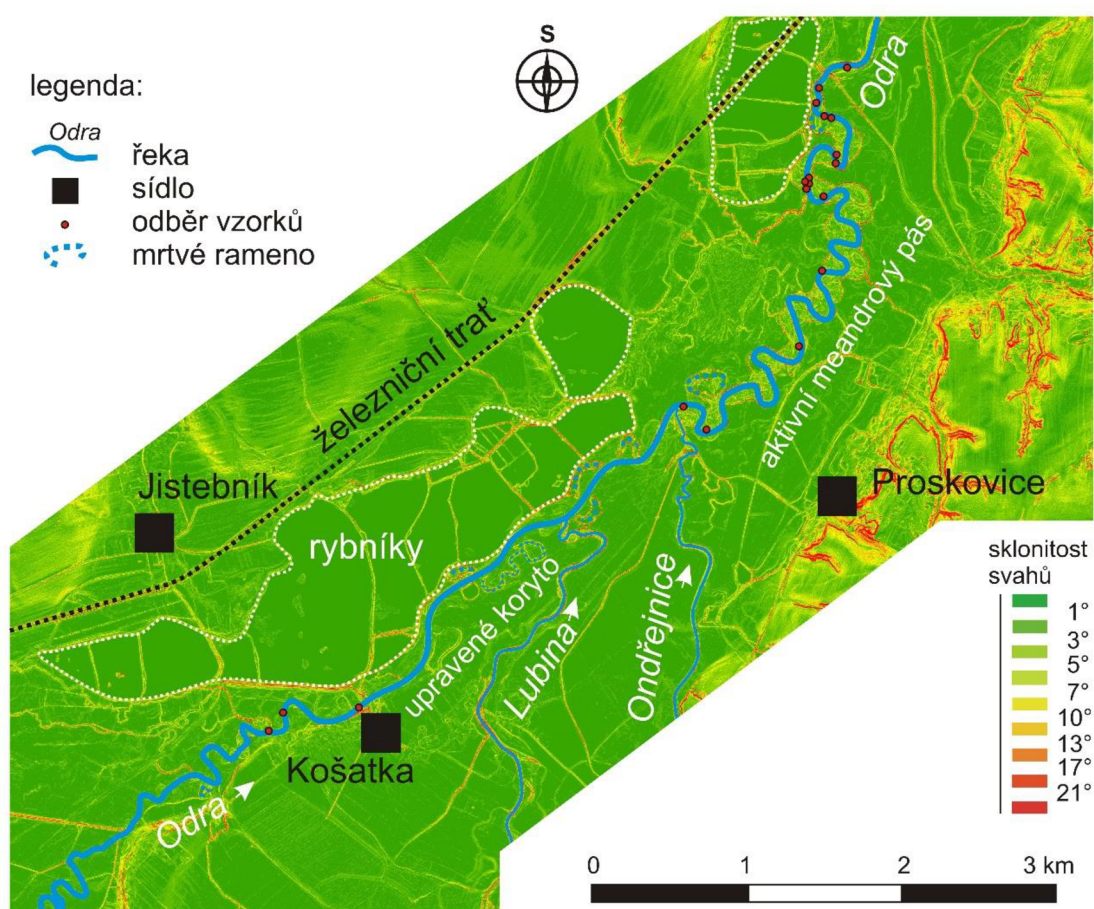
Studované území spadá pod celek Moravská brána, podcelek Oderská brána a přibližně v jeho středu je okrsek Oderská niva se samotným tokem řeky Odry (Demek 1965). Moravská brána je protáhlá deprese ve směru SV-JZ v předpolí karpatských příkrovů. Její vznik je spojen s nasouváním karpatských příkrovů směrem k SV během alpínské orogeneze (Czudek a Dvořák 1989). Oderská brána má rozlohu 378,69 km², se střední nadmořskou výškou 260,9 m a průměrným sklonem 1°46'. Reliéf lze charakterizovat jako plochý periglaciální povrch s rozsáhlými, vesměs asymetrickými údolími. Nejvyšším bodem je Lučická Stráž (339,2 m n. m.), významným bodem je i Blahutovický vrch (331 m n. m.), (Balatka et al. 2006). Oderská niva je rovina situovaná ve střední části Oderské brány s plochou 79,75 km² a šířkou 2,5 km, mající rozmezí nadmořských výšek od 212 do 271 m n. m. (Balatka et al. 2006, AOPK 2013).

Osou území oderské nivy je řeka Odra, pro kterou je na území CHKO Poodří typický aktivní meandrový pás (obr. 1) vyznačující se velkou dynamikou s množstvím zazemněných a aktivních meandrů (Hradecký et al. 2016). Ovšem současný stav meandrujícího toku nelze nazvat jako přírodní, v důsledku přímých i nepřímých antropogenních vlivů do hydrologické bilance povodí řeky Odry (Dušek a Hradecký 2011). Zazemněné meandry jsou v povodňových sedimentech stále patrné jako oválné deprese. Řeka Odra je lemována až 5 m vysokými nárazovými břehy z nezpevněných holocenních sedimentů, jež jsou náchylné na erozi, zvláště během vysokých průtoků. Vlivem boční eroze dochází k řícení a ústupu nárazových břehů rychlostí až několik m/rok (Hradecký et al. 2016), což ukazuje, že hlavním modelačním činitelem je tok řeky Odry, zejména v neregulované části toku s aktivním meandrovým pásem (Hradecký et al. 2016, Sedláček et al. 2019).

Výrazným modelačním činitelem byl kontinentální ledovec. Celá ostravská glacigenní oblast se v dobách elsterských a sálských zalednění vyznačovala velkou dynamikou vývoje reliéfu, což bylo odrazem častého kolísání čela ledovce. Dále docházelo ke střídání fází akumulace, eroze a stagnace v době, kdy bylo území pod ledovým příkrovem (Czudek 2005). Zejména glaci-fluviální sedimenty jsou efektivním činitelem pro zarovnání terénních nerovností. Ve výsledku zbyl po ústupu ledovce zahlazený reliéf. K další modelaci území došlo vlivem depozice spraší a sprašových hlín ve svrchním pleistocénu. Postglaciální vývoj krajiny byl utvářen především fluviálními procesy (Dušek a Hradecký 2011). V oderské nivě

došlo v důsledku fluviální aktivity k erozi sprašových akumulací společně se sedimenty sálského zalednění.

Nejčastějším antropogenním tvarem reliéfu jsou rybníční hráze. Území je protkáno množstvím náhonů, příkopů a kanálů pro převádění vody mezi rybníky (AOPK 2013). K výstavbě rybníků docházelo od středověku. V této době byla také zredukována původní plocha lužního lesa a následně nahrazena loukami. Mnohé tůně a mrtvá ramena byla v minulosti zavezena materiálem při terénních úpravách zemědělských pozemků (AOPK 2013).



Obr. 1: Mapa sklonitosti svahů zájmového území s vyznačenými hlavními toky, sídly a místy odběru (<https://ags.cuzk.cz/av>), upraveno

2.2 Geologie

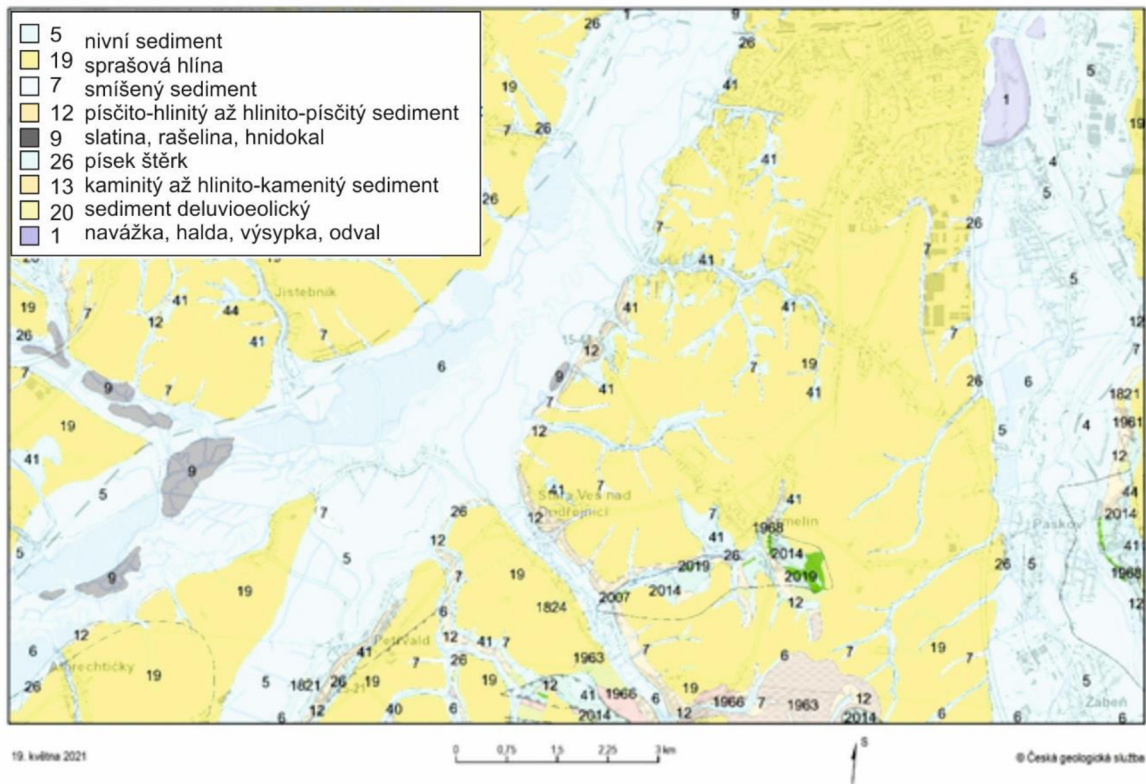
Oderská brána leží na linii oddělující Český masiv a Západní Karpaty a spadá pod karpatskou předhlubeň. Geologická mapa je uvedena na obr. 2. Podloží je budováno spodnoproterozoickými horninami Brunovistulika, v hlubokých vrtech byly popsány granodiority a plagioklasové pararuly. V nadloží je uložen sled devonských a karbonských sedimentů variské předhlubně začínající devonskými bazálními klastiky a pokračující karbonátovým vývojem devonu a spodního karbonu, flyšem slezského kulmu a v SV části Poodří byl zastížen svrchní karbon ostravským souvrstvím (AOPK 2013). Další geologický vývoj byl ovlivněn alpínskou orogenezí a poklesem oblasti Moravské brány během miocénu, což mělo za následek mořskou transgresi v karpátu (Czudek a Dvořák 1989). Celé území dále poklesávalo v badenu a došlo k depozici spodnobadenských sedimentů reprezentovaných vápnatými jíly, slíny a písky (Czudek a Dvořák 1989, AOPK 2013). Co se týče příkrovových jednotek Západních Karpat, okrajově byly zastíženy jen horniny těšínského příkrovu slezské jednotky v godulském vývoji (AOPK 2013). Předkvartérní podloží je překryto kvartérními sedimenty téměř na celém území CHKO.

Během kvartéru patřila oderská část Moravské brány mezi hlavní akumulární oblasti (Tyráček 2011). Důležitou událostí byl v kvartéru průnik kontinentálního ledovce spojený se dvěma postupovými fázemi v elsterském a sálském glaciálu, kdy ledovec pokrýval většinu území CHKO Poodří. Většina sedimentů z doby elsterského glaciálu byla erodována nebo překryta mladšími sedimenty sálského glaciálu (Nývlt et al. 2011). Největší mocnost elsterských sedimentů glacialakustrinní geneze byla popsána mezi obcemi Petřvaldík a Košatka (AOPK 2013). Mladší sálské zalednění bylo dle autorů nejrozsáhlejší a v Ostravské glacigenní oblasti byly identifikovány dvě oscilace (Růžička 2004, Nývlt et al. 2011). Lokálně mohlo docházet k vytvoření krátkodobých menších vodních ploch a sedimentaci glacialimnických sedimentů (Růžička 2004, Czudek 2005). Nejčastěji zastoupené jsou ovšem glacialfluviální sedimenty různé zrnitosti. Území Moravské brány představuje důležitou oblast ohledně stratigrafických úvah, protože lze korelovat systém alpských zalednění se stratigrafií kontinentálních zalednění (Macoun et al. 1965). Ledovec zanechal geneticky pestrou škálu uloženin v důsledku častého kolísání čela ledovce. Docházelo ke střídání akumulárních fází s erozí či fází přerušení vývoje reliéfu (Czudek 2005, Dušek a Hradecký 2011). Tavné ledovcové vody uložily vrstvy glacialfluviálních sedimentů různé zrnitosti a mocnosti až 30 m mezi Petřvaldíkem a Košatkou (Macoun 1965). Lokálně docházelo v předpolí ledovce k sedimentaci glacialakustrinních písčito-jílovitých sedimentů (AOPK 2013). Rozsáhlá eolická

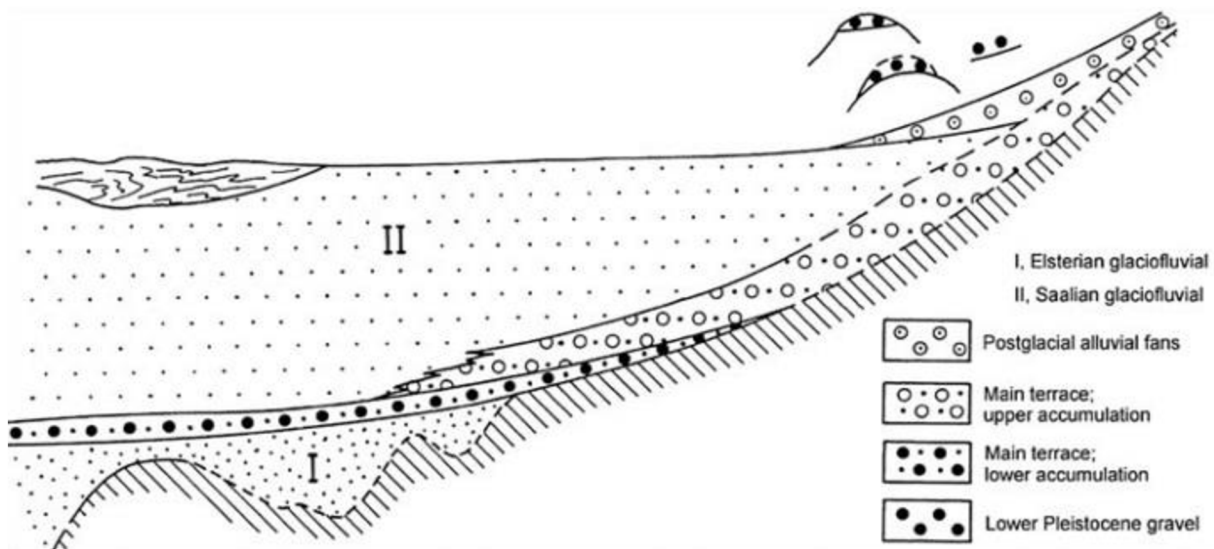
činnost vedla k akumulaci sprašových pokryvů. V současnosti pokrývají spraše, či druhotně odvápněné sprašové hlíny povrch na terasách mimo vlastní údolní nivu a dosahují mocnosti 3-5 m, u Studénky se uvádí dokonce 15 m (AOPK 2013).

Terasové akumulace řeky Odry jsou zde zachovány v podobě dvou akumulčních teras, přičemž nejvýznamnější je Hlavní terasa sálského stáří, představující důležitý stratigrafický horizont (odpovídá hlavní terase řeky Moravy), a proto umožňuje korelaci sedimentů zaledněných a nezaledněných území (Macoun 1968). Stáří sedimentů hlavní terasy řeky Odry činí $162,0 \pm 9,4$ ka BP. Hlavní terasa sestává ze dvou úrovní. Vyšší úroveň reprezentuje původní depoziční povrch a je pokryta glacialakustrinními písky a štěrky sálského zalednění. Dolní úroveň je výsledkem eroze hlavní terasy a je pokryta sprašovými akumulacemi svrchního pleistocénu. Relativní výška hlavní terasy kolísala od 5 do 17 metrů nad úrovní řeky. Na bázi je tvořena fluvialními písky a štěrky s proplásky jílu viselského stáří. Terasy z období spodního pleistocénu byly erodovány následnou ledovcovou činností v období glaciálu ve středním pleistocénu. Mladší údolní terasa je viselského stáří, relativní výška povrchu terasy je 2-3 m nad úrovní řeky Odry (Hradecký et al. 2016). Na obr. 3 je znázorněn průřez fluvialními a glaciálními sedimenty řeky Odry.

Ve svrchním pleistocénu došlo k depozici štěrkových akumulací a později v holocénu (Atlantik) povodňových hlín, které tvoří povrch současné nivy. Celková mocnost povodňových sedimentů řeky Odry dosahuje až 4,5 m. Litologicky se jedná o prachovité a ve svrchní části sledu písčité hlíny, světle šedé, místy žlutohnědé (Hradecký et al. 2016). Na bázi povodňových sedimentů se nachází četné subfosilní kmeny, datované do druhé poloviny 13. století, uložené z pozůstatků lužního lesa (Czudek 2005). Současné koryto řeky Odry je zahloubeno do tohoto sledu povodňových sedimentů až na bázi a za nižších průtoků až na podložní štěrky (Dušek a Hradecký 2011).



Obr. 2: Geologická mapa 1:50 000 s přiloženou legendou (www.geology.cz)



Obr. 3: Morfostratigrafické schéma řeky Odry (Tyráček a Havlíček 2009)

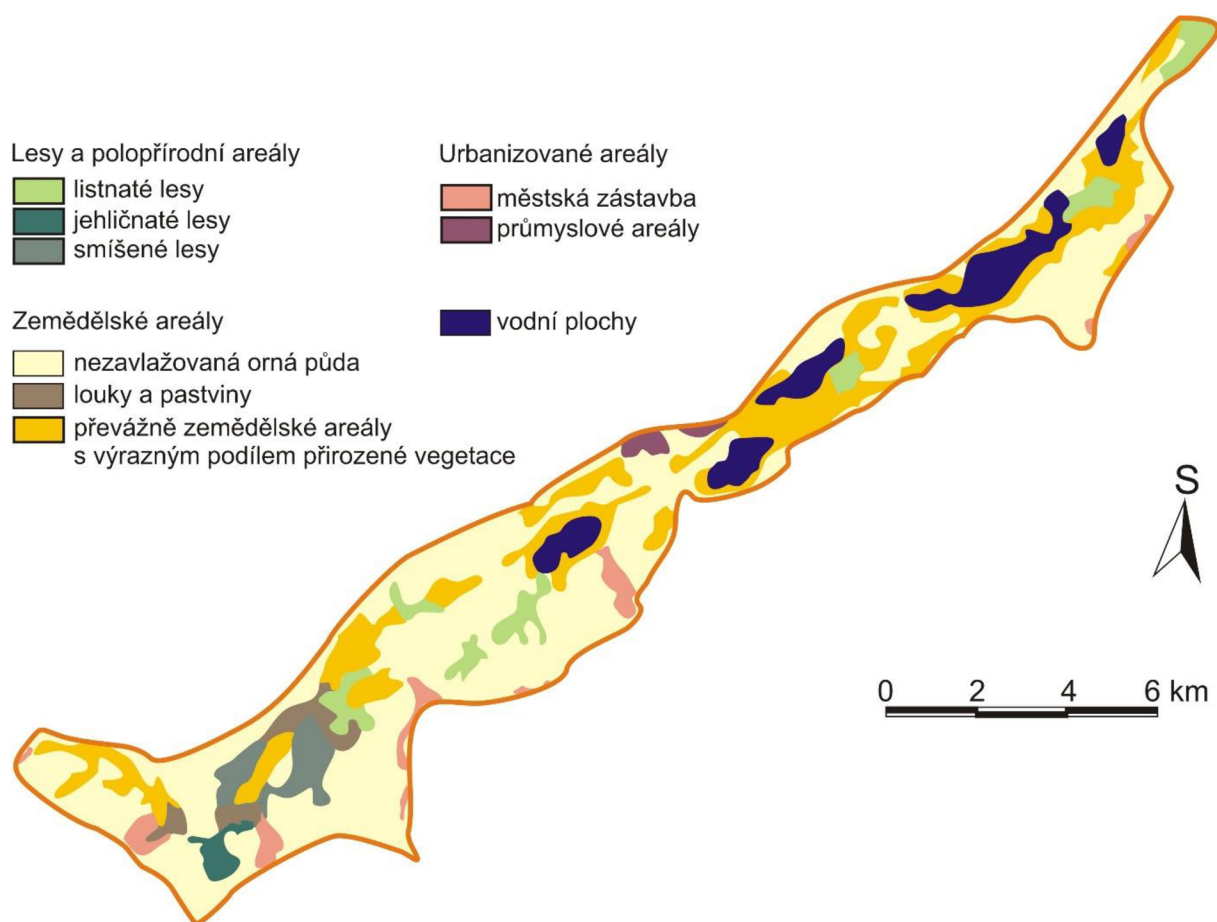
3 Hydrologie

Řeka Odra pramení v Oderských vrších ve výšce 634 m n. m. a její celková délka činí 854 km, poté se vlévá do Baltského moře, na území ČR je délka toku jen 112 km. Plocha povodí na našem území činí 6 252 km². Ačkoliv je řeka Odra osou území, vývoj krajiny je ovlivněn jejími přítoky (Hradecký et al. 2016). Nejvýznamnějšími pravostrannými přítoky jsou řeky Luha, Jičinka, Sedlnice, Lubina a Ondřejnice (www.pod.cz). Hlavní levostranné přítoky zahrnují toky Bílovka a Husí potok. Řeka Odra bývá pravidelně postihována záplavami, stává se tak zejména v důsledku jarního tání či vydatných srážek. Dobrým příkladem jsou povodně z nedávné minulosti v letech 1997, 2009 a 2010. Tyto povodně byly zároveň klasifikovány jako tři největší za celou dobu měření. Maximální naměřený průtok ve stanici Bartošovice činil 367 m³·s⁻¹ (1997), 126 m³·s⁻¹ (2009) a 76,2 m³·s⁻¹ (2010). Nejstarší záznam o povodni na této řece je datován dne 20.8.1501. Celkově bylo z historických záznamů zjištěno 31 povodní. V období středověku došlo k vykácení velkých ploch lesa, což vedlo ke zvýšení povodňové frekvence. Ta poklesla po roce 1950, s četností 1-3 povodně každých 10 let. Avšak pouze za posledních 10 let bylo zaznamenáno 8-9 povodní (Brázdil et al. 2005, Hradecký et al. 2016). Řeka Odra se na území Moravské brány vyznačuje nízkým sklonem, a proto zde dochází k boční erozi (Brosch 2005). Průtokový režim řeky Odry je výrazně rozkolísaný a je ovlivňován rozložením teplot a srážek (Mackovčín a Sedláček 2003). Maximální průtoky jsou v březnu a dubnu, méně často v letních měsících při přívalových srážkách (AOPK 2013). Při rozlivech dochází k infiltraci vod do tělesa štěrkopísků na bázi povodňových hlín a tím se zvyšuje napětí hladiny podzemní vody a postupně dochází k sycení celého půdního profilu. V místech terénních depresí může podzemní voda vystupovat až na povrch (Mackovčín a Sedláček 2003). Během povodní dochází k povrchovým rozlivům s průměrnou výškou 0,5 m. Dle správy CHKO Poodří má každoročně zaplavované území rozlohu až 20 km² (AOPK 2013).

4 Vývoj osídlení

Území CHKO Poodří v dnešní podobě je produktem lidské činnosti. Fluviální styl řeky Odry byl v holocénu ovlivněn vývojem osídlení. Poodří je oblastí využívanou pro dopravu již od období pravěku. Přítomnost lovců a rybářů z období mezolitu je doložena díky nálezům na říčních terasách podél aluviální plošiny. První doložené stopy člověka pocházejí z období gravettien (mladý paleolit, 40-20 tis. let př. n. l.). Již v této době se jednalo o důležitý koridor mezi Středomořím a Baltským mořem. Stezky vedly po vyvýšených územích na glacifluviálních terasách podél řeky Odry (Mackovčín a Sedláček 2003).

V průběhu atlantiku byl prostor Moravské brány pokryt souvislým lesním porostem. K transformaci krajiny došlo v neolitu s příchodem nositelů lineární keramické kultury. Řada archeologických nálezů nasvědčuje tomu, že tudy vedla cesta na sever do dnešního Polska, podél níž bylo založeno několik osad. S tím je spojeno první odlesňování pro získání orné půdy okolo osad. Toto osídlení ovšem nemělo permanentní charakter, a proto se krajina pozvolna vrátila k původnímu stavu. Doklady stálého osídlení nejsou známy ani z větší části eneolitu a začátku doby bronzové. V této době sloužilo Poodří pravděpodobně jako tranzitní území. Později se zde usadili lidé patřící pod kulturu popelnicových polí, kteří zde vydrželi až do doby železné. Jejich odchod opět znamenal návrat k přirozenému stavu. Hlavní změna nastala až ve 13. století, které je spojeno se začátkem stabilního osídlení, jež trvá prakticky dodnes. Období valašské kolonizace během středověku bylo spojeno s odlesňováním ve velkém měřítku, erozí a zanášením toků masivními splachy (Czudek 2005, Knápek 2011). Na mnoha místech CHKO Poodří jsou na bázi povodňových hlín odkryty subfosilní kmeny datované již do 7 až 8 století n. l. (Janíčková 2019). Současný povrch nivy je ovlivněn antropogenní činností, zejména soustavou rybníků, náhony a odvodňovacími kanály. Rybníkářství má v tomto regionu velkou tradici sahající až do 15. století (Mackovčín a Sedláček 2003). V současnosti je území CHKO mozaikou luk, polí, zastavěných území, vodních ploch a lesů (obr. 4).



Obr. 4: Krajinný pokryv, dle Mackovčín a Sedláček (2003), upraveno

5 Chráněná krajinná oblast Poodří

Chráněná krajinná oblast (CHKO) Poodří tvoří území o šířce od 0,5 do 4,5 km a délce 34 km, celkově zaujímá plochu 81,5 km². Statut chráněné krajinné oblasti byl udělen Poodří v roce 1991. Jde o harmonicky utvářenou krajinu nivy řeky Odry s významným podílem přírodě blízkých ekosystémů a také řadou kulturně-historických památek. Významný je také přirozený meandrující tok řeky Odry, včetně přítoků, nivy řeky Odry, starých ramen vodních toků, trvalých a periodických tůní. Toto území je periodicky zaplavováno. Uvnitř CHKO se nachází velké množství rybníků s druhově pestrá faunou a flórou. Díky místnímu ptactvu bylo zařazeno CHKO Poodří v roce 1993 mezi mokřady mezinárodního významu (Ramsarská úmluva) a v roce 2005 bylo území začleněno pod úmluvu Natura 2000 (Hradecký et al. 2016). Na seznam ohrožených mokřadů se území dostalo díky potencionální výstavbě průplavu Dunaj – Odra – Labe. Co se týká flóry, nachází se zde široké spektrum ohrožených druhů. Ze známějších je vhodné zmínit kriticky ohrožený topol černý (*Populus nigra subsp. nigra*), silně ohrožený leknín bílý (*Nymphaea alba*), ohrožený druh lilie zlatohlavá (*Lilium martagon*) i velice známou sněženku podsnežník (*Galanthus nivalis*). Ačkoliv je zde mnoho druhů předmětem ochrany, nachází se zde řada nepůvodních invazivních i expanzivních druhů. Nejznámějším případem je křídlatka japonská (*Reynoutria japonica*) či trnovník akát (*Robinia pseudacacia*), (AOPK 2013).

Na území CHKO Poodří byly vyčleněny Českou geologickou službou i dvě významné geologické lokality – Meandry řeky Odry a Kunín-hlaniště. Na první lokalitě jsou důvodem ochrany aktivní meandry řeky Odry s mocným profilem povodňových hlín, obnažených v nárazovém břehu. Při nízkém stavu vody v řece lze vidět dokonce vrstvu šterků v podloží povodňových sedimentů (www.geology.cz). Druhá zmiňovaná lokalita je významná díky sprašovým hlínám z posledního glaciálu. Významnější jsou glacialakustrinní jílovité prachy až jemně zrnité písky, které se nachází pod zmiňovanými sprašovými hlínami. Mezi šterkovitou frakcí na této lokalitě můžeme najít také horniny nordického původu (AOPK 2013).

Správa CHKO Poodří realizovala podrobný průzkum chráněné oblasti a pravidelně provádí monitoring a také zaštiťuje množství dalších aktivit v této oblasti. Jako příklad můžeme uvést kosení luk, péči o rybníky, likvidaci invazivních druhů rostlin, vyznačování hranic zvláště chráněných území či odstraňování černých skládek (Sovíková 2011).

6 Fluviální systémy

6.1 Typy řečišť

Původně byly vyčleněny jen dva typy koryta – divočíci a meandrující, přičemž přechod mezi oběma základními typy je určen sklonem, průtokem, množstvím a zrnitostí unášeného materiálu. Jak sklon (spádová křivka) klesá, tvar koryta přechází od divočícího toku k přirozeně meandrujícímu, totéž platí při stejné sklonu, ale poklesem průtoku (Leopold a Wolman 1957). V současnosti obecně uznávaná klasifikace uvádí čtyři říční základní vzory, a to divočíci, meandrující, anastomózní a přímá koryta (Miall 1977, Charlton 2008). Přirozeně přímá koryta jsou relativně vzácná. Divočíci toky představují klasický typ, charakterizovaný velkou dynamikou. Sestává z několika souběžných koryt. Valy mezi koryty jsou často přeplavovány. Tento typ řečišť je typický pro předpolí orogenních pásem nebo semiaridní oblasti (Galia 2017). Meandrující koryta vznikají za podmínek střední síly toku a menšího sklonu. Stupeň meandrování se může velice lišit, od koryt s mírným odklonem od formy přímého koryta po sekvenci vysoce stočeného meandrového pásu. Typickým prvkem meandrování je vývoj (migrace) meandrového pásu v povodňové plošině. Eroze se soustřeďuje na vnější stranu meandru, zatímco k sedimentaci dochází na vnitřní straně meandru (Charlton 2008). Anastomózní typ je relativně vzácný v porovnání s ostatními typy a sestává ze soustavy dvou a více dlouhodobě stabilních koryt. Tato koryta jsou typicky zařizována do povodňové plošiny a mezi nimi jsou vyvinuty velké ostrovy (Charlton 2008).

6.2 Fluviální sedimenty

Fluviální sedimenty jsou vznikem vázány na vodní toky, a tudíž neodráží kontinuální průběh říční aktivity, ale periodické události reprezentované povodněmi, kdy dochází ke zvýšení průtoku. V důsledku toho můžeme pozorovat zvýšenou erozi, transport i následné ukládání těchto sedimentů. Fluviální sedimenty můžeme rozdělit na dvě základní skupiny: sedimenty v korytě vodního toku a sedimenty uložené mimo říční koryto (Růžičková 2003). V této práci, vzhledem k jejímu zaměření, bude popsána jen první skupina. Protože se můžeme setkat s velkým rozsahem velikosti sedimentu od jílu až po balvany, dělíme dále korytové sedimenty na plaveniny, což jsou jemné sedimenty unášené ve vodním sloupci, a dnové splaveniny, které se odlišují hrubší frakcí a nachází se při dně. Režim každého toku většinou nevykazuje normální průtok, ale přirozeně kolísá v průběhu roku vlivem mnoha

faktorů, zejména vlivem počasí (sucho, záplavy, mráz atd.). To spoluovlivňuje procesy eroze, transportu a depozice sedimentárních částic v toku (Charlton 2008). Zrnitostní složení fluviálních sedimentů je určeno unášecí silou toku (Růžičková 2003). Procesy transportu sedimentů se dramaticky liší v závislosti na jeho zrnitosti. Vedle průtoku je tedy důležitým faktorem typ sedimentů přinášených do fluviálního systému (objem, litologie a jeho zrnitostní distribuce). Transport jemnozrnných částic probíhá v suspenzi, mnohdy na značnou vzdálenost, zatímco transport hrubozrnnějších (šterkových) klastů probíhá při dně toku v podobě sunutí, válení a saltace. Tento typ transportu je většinou omezen na krátké vzdálenosti (Charlton 2008, Galia 2017).

Korytovité sedimenty

Sedimenty v korytě vodního toku hrají důležitou roli ve fluviálním systému (Škarpich et al. 2010). Vznik korytovitých sedimentárních těles je podmíněn depozičními procesy, závisí také na tvaru a hloubce koryta, průtoku, turbulenci, rychlosti toku a zrnitosti unášeného sedimentu (Miall 1977, Chamley 1990). Lavice (angl. bars) jsou korytovité sedimentární akumulace a mohou sestávat ze zrnitostně variabilního materiálu od šterku po prach (Charlton 2008). Lavice jsou rozděleny do dvou základních typů: jednoduché a složené lavice (Smith 1974). Typickým tvarem v korytě jsou šterkové a písčité lavice, které vznikají v místech poklesu energie proudění. Některé lavice, zejména střídavé lavice (lateral bars), vznikají a jsou dále přeplavovány během povodňových průtoků a typicky se nachází střídavě po obou březích relativně přímého nebo křivolakého vodního toku. V místě, kde dochází k soutoku, se mohou akumulovat soutokové lavice (channel junction bars) v důsledku pomalejšího hydrodynamického proudění během spojení dvou toků (Galia 2017). Transversální, neboli diagonální lavice (transverse bars, diagonal bars), se vyskytují zpravidla v místech s relativním rozšířením koryta a opět ztrátou energie proudící vody (Galia 2017). Dalším typem jsou středové lavice (mid-channel bars), pokud dojde k jejich stabilizaci vegetací, mohou vzniknout ostrovy. Vrcholové lavice (point bars), neboli jesepty, jsou typickým prvkem meandrujících řek a vznikají laterální akrecí na vnitřní straně meandru v důsledku pomalejšího proudění.

Miallem (1977) navržená klasifikace korytovitých sedimentů sestává ze sedmi litofacií/architekturních jednotek v rámci koryta.

(1) Výplň říčního koryta (*channels*, zkratka litofacie *Ch*) je označení pro různé litofacie, jde o hrubozrnné až balvanové štěrky (štěrkové reziduum), vyznačují se konkávní erozní bází a většinou tvoří nesouvislé pokryvy nebo čočky o malé mocnosti a proměnlivém tvaru (Miall 2006), v jejichž nadloží se ukládají štěrkové valy, které se mohou střídat s pískovými tělesy (Růžičková 2003).

(2) Štěrkové valy a tělesa (*gravelly bars and bedforms – GB*) jsou typické pro divočící toky s větším spádem a velkým objemem transportovaných sedimentů. Štěrkové valy tvoří tabulovitá tělesa a jsou ukládány při poklesu energie proudění, zatímco písek je transportován dále. Pokud rychlost proudění poklesne ještě více, dochází k vyplnění volného prostoru mezi štěrkovým materiálem pískem. Jestliže dojde k náhlému snížení rychlosti proudu, sedimentuje zároveň štěrk i písek. Tato tělesa jsou za nízkého stavu vody v řece nad vodní hladinou, zatímco při povodních a za svrchního proudového režimu dochází k jejich rychlé modifikaci a štěrkové valy migrují příčně i podélně ke směru proudu (Růžičková 2003).

(3) Písková tělesa (*sandy bedforms – SB*) se ukládají na dně říčního koryta za podmínek spodního proudového režimu při nižších rychlostech proudění (do $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Typické je šikmé, méně často subhorizontální zvrstvení (Miall 1996). Mohou tvořit tělesa klínovitého, nebo čočkovitého tvaru (Miall 2006).

(4) Laminované písky (*laminated sand sheets – LS*) vznikají při povodních za podmínek svrchního proudového režimu, mají mocnost do 2,5 m a jsou horizontálně zvrstveny (Růžičková 2003).

(5) Tělesa vznikající akrecí směrem po proudu (*downstream accretion deposits – DA*) sestávají ze souborů šikmo zvrstvených písčítých těles uložených za podmínek spodního proudového režimu. Podmínkou pro tento typ těles je přítomnost materiálu písčité frakce v řece (Růžičková 2003).

(6) Sedimenty laterální akrece (*lateral accretion deposits – LA*) typicky přirůstají na vnitřní straně oblouků meandrujících toků, jde převážně o písčítý materiál. Vzácně mohou obsahovat i hrubší klasty, pocházející z povodní při jarním tání sněhu (transport v ledových krách), (Miall 1996).

(7) Sedimenty gravitačních proudů (*sediment gravity flow – SG*) vznikají kombinací fluvialních a gravitačních procesů. Transportním mechanismem je pohyb ve formě úlomkotoků, bahnotoků nebo zrnotoků. Tyto sedimenty vyplňují starší koryta (Růžičková 2003), tvoří laloky, vrstvy nebo povlaky. Typické je střídání se štěrkovými tělesy a valy (Miall 2006).

6.3 Faciální modely řečišť

V současnosti je všeobecně přijímáno 16 kategorií fluviálních faciálních modelů (Miall 2006), které reprezentují variabilitu přírodních řečišť a fluviálních stylů. Jednotlivé faciální modely jsou charakteristické pro určitá prostředí. Například řeky se štěrkovým dnem jsou typické pro proximální, tedy okrajové části pánví, a tvoří aluviální vějíře, zatímco řeky s písčítým dnem lze nalézt v distálních částech aluviálních plošin. V této diplomové práci bude popsána pouze charakteristika meandrujících tvarů řek.

Meandrující řeky se štěrkovým dnem: typická je přítomnost jednoho aktivního koryta, obsahující rozptýlená sedimentární tělesa a ostrovy, příležitostně se mohou vyvinout vedlejší koryta. Pokud se tvoří nová koryta, mají peřejovitý charakter. K sedimentaci dochází na širokých a plochých březních a přibřezních tělesech laterální akrecí. Tato tělesa běžně vykazují pokles zrnitosti po proudu, kdy se štěrková tělesa ukládají v záhlaví na horním konci a písčité duny v zápatí na dolním konci. Typická je přítomnost bazálních štěrků, jež bývají překryty pískem o různé zrnitosti a poté jílovito-prachovitými litofaciemi (Miall 2006).

Meandrující řeky se štěrkopísčítým dnem: v sedimentech koryt převažují písky a štěrkovité písky, příp. písky s izolovanými štěrkovými klasy s množstvím čeřin. K transportu sedimentu dochází při dně. Typické je narůstání těles na jesepech laterální akrecí a zjemňujícím se trendem do nadloží. V nivě jsou zřetelné uložení odškracených ramen, tvořící oválné deprese, vyplněné jílovito-prachovitým sedimentem (Miall 2006).

Meandrující řeky s písčítým dnem: korytovité sedimenty a lavice jsou tvořeny převážně pískem, ačkoliv mohou být přítomny štěrkové intraklasty uložené v důsledku eroze nárazových břehů. Materiál písčité frakce se typicky usazuje laterální akrecí na vnitřní straně meandrů (jesepey). Tento typ je podobný jako typ meandrující řeky se štěrkopísčítým dnem. Častěji se vyskytují průvalová koryta vyplněná průvalovými sedimenty (Miall 2006).

Periodicky meandrující řeky s písčítým dnem: vyskytují se především v aridních oblastech, kde dochází k bleskovým povodním. Typické je mělké proudění vody za ukládání písčítých frakcí od velmi jemnozrnných po hrubozrnné s dobře vyvinutými povodňovými valy. Mohou být přítomny tenké vrstvy jílu vzniklé v důsledku přítomnosti bahenních prasklin a čeřin. Písková tělesa se ukládají laterální akrecí, ale dochází k častým erozním událostem a resedimentaci těles. Písčítá tělesa sestávají z laterálně splývajícími čoček, typický je také anastomózní vzor tvořený dočasnými kanály (při povodních), (Miall 2006).

Meandrující řeky s jemnozrnným dnem: převažuje transport jemnozrnného materiálu v suspenzi. Tento říční typ o vysokém stupni meandrování je charakteristický pro eustária s nízkou energií proudění. Dobře vyvinuté jsou lavice, násypy a valy na vnitřních stranách meandrů. Nejběžnějším dnovým tvarem jsou čeřiny. Jesešní tělesa sestávají z výmolových písčitých vrstev, ale mohou se střídat litofacie písčito-jílovité. Na bázi jesešů mohou být přítomna šterková rezidua (Miall 2006).

7 Antropogenní ovlivnění toků

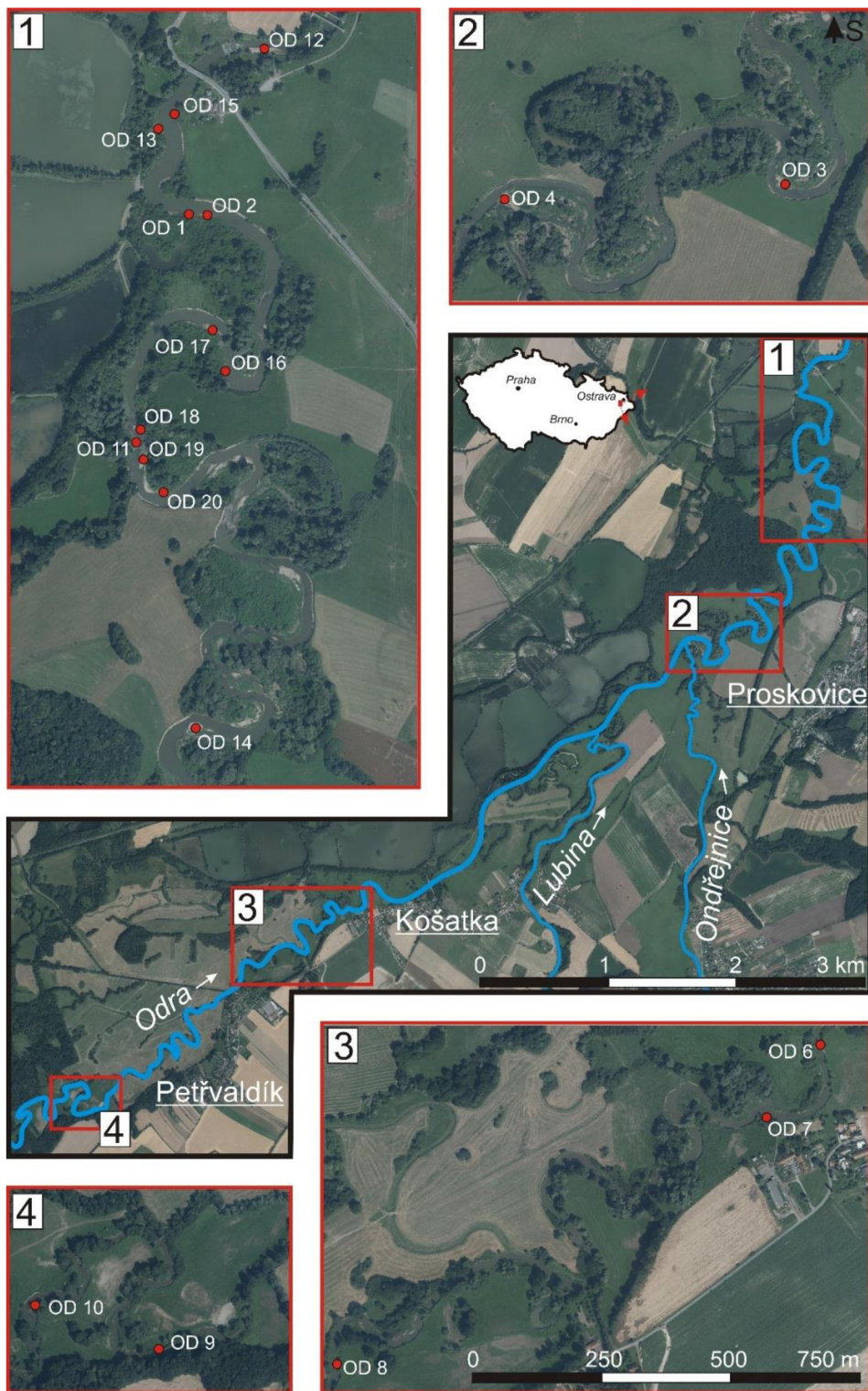
Vliv člověka na říční síť lze rozdělit na přímý a nepřímý. Prvně jmenovaný spočívá v úpravách samotného koryta a stavbě nádrží, zatímco druhý ve změnách (land-use) v povodí, jako je zvýšená míra eroze v důsledku odlesňování a zemědělských aktivit (Knighton 1998). Nepřímý vliv na vodní režim se začal projevovat na mnoha tocích již ve středověku, kdy došlo k masivní erozi z odlesněných oblastí v jejich povodí, jak bylo pozorováno na řekách v ČR (Kadlec et al. 2009, Pánek et al. 2013). Velká změna ve využití krajiny nastala po roce 1949 (kolektivizace), kdy došlo k přeměně malých polí do velkých celků (Van Rompaey et al. 2003). Potřeba úpravy samotných vodních toků vyvstala za účelem ochrany před povodněmi a zvýšení splavnosti (prohlubování a rozšiřování koryta, stavba přehradních struktur atd.). V současné době je většina povodí řek v ČR ovlivněna či modifikována činností člověka. Většina regulací říční sítě byla provedena v posledních 100 letech. Úprava meandrujících toků spočívala v jejich napřimování, čímž vzniklo velké množství uměle odškrcených mrtvých ramen. Kupříkladu řeka Morava byla zkrácena o 40 %, čímž vzniklo přes 180 umělých mrtvých ramen (Bábek et al. 2018). Dále byla ve velké míře provedena konsolidace břehů a stavba hrází. Všechny tyto změny vedly k omezení přirozených fluvialních procesů, rychlejšímu průtoku a zrychlené erozi břehů. Úpravy koryt také přispěly na některých řekách k lokálnímu snížení erozní báze (Stacke 2014, Bábek et al. 2018, Sedláček et al. 2019). Změny v hydrologické síti měly dalekosáhlý dopad na odtokový režim i na transport a sedimentaci plavenin. V upravených korytech také chybí sedimentační pastě, typické pro přirozené toky, v důsledku čehož jsou plaveniny unášeny dále po proudu. Tento fenomén může přispět k vyšším rychlostem sedimentace v přirozených úsecích řek ležících po proudu (Sedláček et al. 2016 a 2019). Úpravy vodních toků mají vliv na distribuci korytovitých sedimentů, zejména v horních částech povodí, protože mají výrazný vliv na fluvialní systém v dolních úsecích toku (Škarpich et al. 2010). Stavba hrází, stejně jako napřimování toku, vede k nižší četnosti zaplavování území nivy.

Tok řeky Odry byl zásadně upraven na Ostravsku (Hradecký et al. 2016), zatímco uvnitř CHKO Poodří šlo jen o dílčí úpravy koryta, zejména v úseku od obce Košatka po soutok s řekou Ondřejnicí. Tyto úpravy byly prováděny v letech 1964-1975. Během prací bylo vybudováno nové koryto, zatímco staré bylo zasypáno. Dílčí část se zachovala jako současná mrtvá ramena v okolí Košatky (Brosch 2005).

8 Metodika

8.1 Lokalizace

Zájmové území leží mezi obcemi Polanka nad Odrou a Albrechticky, nachází se uvnitř CHKO Poodří a zahrnuje neregulovanou část toku i regulované koryto u obce Košatka. V důsledku absence sedimentárních těles v regulované části toku byl původní zamýšlený úsek (pouze po obec Košatka) rozšířen. Břežní a příbřežní sedimentární tělesa vhodná k odběru vzorků byla vytipována na základě ortofoto map a posléze ověřena v terénu. Celkem bylo odebráno 23 vzorků z 19 sedimentárních těles. Vzorky byly označeny jako OD 1 až OD 20 (označení lokality), přičemž lokalita OD5 byla vyřazena. Na dvou lokalitách bylo odebráno více vzorků z jemnozrných facií. Na osmi lokalitách byly také odebrány valouny na valounovou analýzu. Přímou v terénu byl proveden stručný litologický popis těles, fotodokumentace a lokalizace odebíraných vzorků byla zaměřena pomocí GPS. Pozice odběrových míst je znázorněna na obr. 5. Samotný odběr byl prováděn polní lopatkou do připravených a popsaných uzavíratelných sáčků. Množství odebíraného materiálu záviselo na jeho zrnitosti. Vzorky byly usušeny v laboratorní sušičce Venticell při teplotě 50 °C a poté zváženy na digitální laboratorní váze. Vzorky byly podrobeny zrnitostní analýze v podobě sítování za mokra, laserové granulometrii, měření magnetické susceptibility, separaci a následné analýze těžkých minerálů a v neposlední řadě rentgen-fluorescenční spektrometrii (EDXRF).



Obr. 5: Ortofotomapa zájmového území a odběrových míst (<https://ags.cuzk.cz>).

8.2 Laboratorní etapa

8.2.1 Zrnitostní analýza

Vzorky (kromě vzorků pro valounovou analýzu) byly přesítovány za mokra pomocí sady sít na jednotlivé frakce s nejhrubším sítom o velikosti 8 mm po nejjemnější síto o velikosti 2 mm. Podsítná frakce byla využita pro laserovou granulometrii. Vzorky byly následně usušeny v sušičce a přesypány do uzavíratelných plastových sáčků. Následně byly jednotlivé frakce zváženy na digitální laboratorní váze, kdy se odečítá hmotnost sáčku, aby byla zvážena pouze váha sedimentu. Měření laserové granulometrie probíhalo na Katedře geologie na přístroji Fritsch Analysete 22 MicroTec Plus v rozsahu hodnot od 0,08 do 2000 μm . Příprava vzorků spočívala v jejich homogenizaci. Organická rezidua a rostlinné zbytky byly odstraněny manuálně. Dezintegrace agregátů byla provedena v ultrazvukové lázni (40 kHz), jakožto součásti granulometru. Data z obou typů zrnitostního rozboru byla agregována. Výsledky byly prezentovány jako procentuální zastoupení jednotlivých frakcí.

8.2.2 Magnetická susceptibilita

Měření objemové magnetické susceptibility bylo provedeno v laboratoři Katedry geologie na kappa můstku KLY-4S s citlivostí $3 \cdot 10^{-8}$ SI, intenzitou magnetického pole 300 Am^{-1} a operační frekvencí 920 Hz (výrobce Agico s.r.o.; ČR). Každý vzorek byl přesypán do uzavíratelného sáčku s rozměry $5 \times 10 \text{ cm}$ a vložen do kyvety s plastovým držákem, která se vkládá do měřicí komory v řídicí jednotce. Měření jednoho vzorku trvalo přibližně 15 s. U každého vzorku byly provedeny tři měření a výsledky byly zprůměrovány. Hodnoty objemové magnetické susceptibility byly přepočteny na hmotnostně specifickou magnetickou susceptibilitu dle vzorce níže a uvedeny v $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

$$\text{MS} = (\text{BULK}/\text{WEIGHT} \cdot 10)/1000$$

8.2.3 Těžké minerály

Pro analýzu těžkých minerálů bylo vybráno šest vzorků (OD 1, OD 2, OD 3a, OD 4, OD 6, OD 7). Těžké minerály byly separovány z frakce 250-500 μm kvůli snazší identifikaci minerálních zrn. Vzorky byly vybrány tak, aby reprezentovaly asociace těžkých minerálů po celé délce studovaného toku řeky Odry. Z každého vzorku bylo sítováním získáno 60-250 g požadované frakce. Následná separace proběhla v laboratořích České geologické služby v Praze na Barrandově. Separace probíhala v těžké kapalině 1,1,2,2-tetrabromethan o hustotě 2,96 g/cm^3 . Zrna těžkých minerálů byla následně očištěna technickým lihem a vysušena. Identifikace asociací těžkých minerálů probíhala na Katedře geologie v mikroskopové učebně. Nejprve bylo potřeba pomocí permanentního magnetu oddělit magnetickou frakci. Před samotnou analýzou byla vybrána zrna určená k analýze (aby reprezentovala zastoupené minerály v těžkém podílu) elektronovou mikrosondou JEOL JXA – 8600 na Katedře geologie. Z takto vybraných zrn byl vytvořen zrnový preparát, kdy byla zrna zalita epoxidem. Plocha preparátu byla dále nabroušena a naleštěna. Poté byl vzorek napařen uhlíkovou vrstvičkou silnou 25 nm. Takto připravený vzorek slouží k určení chemického složení a tedy přesnému mineralogickému určení. Je tedy možné určit, které minerály se ve vzorku vyskytují. Následně byl každý vzorek podroben semikvantitativní analýze pod binokulárním mikroskopem. Procentuální zastoupení bylo zjišťováno semikvantitativní metodou. Hodnoceny byly průsvitné i opakní minerální zrna.

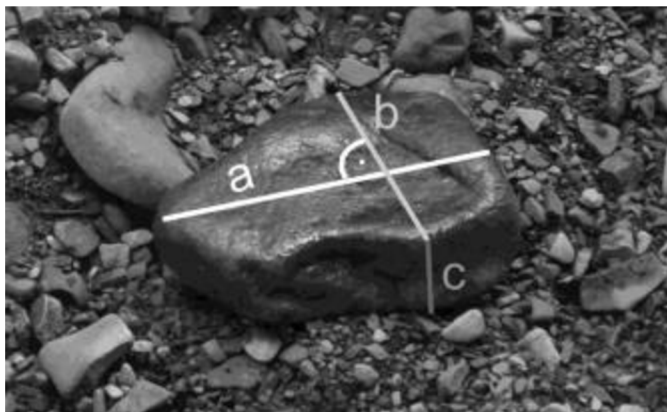
8.2.4 EDXRF – rentgen-fluorescenční spektrometrie

Chemické složení vzorků bylo analyzováno za použití příruční energiově-disperzní rentgenové fluorescence (EDXRF, Delta, Inov-X Systems Inc., USA) v režimu lehká matrice. Doba jednoho měření činila 120 s. K buzení RTG záření je využita RTG rheniová lampa s rozsahem napětí od 8 do 10 keV a proudem v rozpětí od 5 do 200 μA . Na analýzu byly použity celé vzorky pomleté v laboratorním vibračním mlýnku (na Katedře geologie). Připravený vzorek v podobě analyticky jemného prášku je uzavřen do plastové květy o objemu 4 cm^3 . Výsledkem je stanovení koncentrace vybraných prvků (Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Zr, Pb a Th) vyjádřené v % nebo ppm. K následnému zpracování surových dat byl použit program MS Excel.

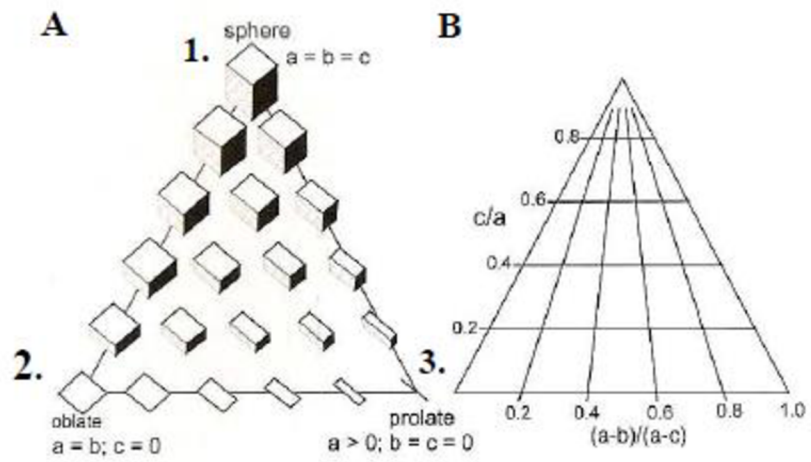
8.2.5 Valounová analýza a analýza tvaru klastů

Pro valounovou analýzu bylo odebráno minimálně 250 valounů v každém souboru z lokalit OD 1, 4, 6, 8, 9, 10, 11 a 14 (celkem 8 vzorků) pro dosažení reprezentativních výsledků (Bridgland 1986). Pro účely této práce byla hodnocena frakce 16-32 mm v b-ose valounu pro dobrou petrografickou určitelnost. Před samotným určováním byly vzorky očištěny a vysušeny. Petrografické rozlišení bylo vyhodnoceno makroskopicky a jednotlivé valouny byly zařazeny do základních skupin. Po rozřazení do jednotlivých skupin se valouny sečetly. Výsledky byly vyjádřeny jako jejich procentuální zastoupení a pro lepší srovnání také prezentovány formou kruhových diagramů.

Tvar klastů se standardně popisuje pomocí tří na sebe navzájem kolmých os, kdy osa a je nejdelší, osa b střední a osa c nejkratší. Tvar klastů je determinován vlastnostmi materiálu, transportními a depozičními procesy (Benn a Ballantyne, 1994). Následně byla velikost osy a , osy b a osy c měřena pomocí digitálního posuvného měřítka (obr. 6) ze souboru pro valounovou analýzu. Naměřená data byla zanesena do trojúhelníkového diagramu (obr. 7), kde jednotlivé vrcholy trojúhelníku představují mezní tvary tyč, krychle a disk (Sneed a Folk 1958, Benn a Ballantyne 1994). K vynesení výsledků byl použit program TRI-PLOT (Graham a Midgley 2002).



Obr. 6: Znárodnění os a , b a c (Galia, 2017)



Obr. 7: Trojúhelníkový diagram k analýze tvarů klastů (Sneed a Folk 1958)

9 Výsledky

Velikost sedimentárních těles byla podobná a jejich rozměry činily několik metrů či první desítky metrů na šířku a na délku. Typicky pokračovala pod vodní hladinu. Plošně největší pozorované těleso bylo na odběrovém místě OD 17. Tvar těles byl většinou oválný a čoučkovitého tvaru. Vesměš šlo o příbřežní tělesa typu střídavých lavic a jeseřů (vrcholové lavice), v jednom případě bylo těleso klasifikováno jako středová lavice a v jednom jako soutoková lavice, a to v místě odběru vzorku OD4. Zde dochází k soutoku s řekou Ondřejnicí, která do řeky Odry přináší velké množství hrubozrnného materiálu. Některá tělesa relativně výše nad hladinou řeky byla částečně porostlá vegetací, což má pravděpodobně stabilizující efekt na tato tělesa při vyšších průtocích. Tři příklady těles jsou zachyceny na obr. 8 až 10.

Zrnitostní složení těles nebylo stejnorodé, i když na většině z nich převládala štěrková



facie bez patrné imbrikace valounů. Jemnozrnnější písčité, případně prachovito-jílovité, tvořily jen izolované povlaky či proplástky o rozměrech několik dm a mocnosti prvních cm. Na některých místech také vyplňují základní hmotu štěrkové facie. Tyto jemnozrnnější facie byly uloženy v mírných depresích v rámci sedimentárních těles, případně v místech níže po proudu.

Obr. 8: Lokalita OD 7, písčítá litofacie, těleso je částečně porostlé vegetací, foto Liana Bílá.



Obr. 9: Lokalita OD4, soutokové těleso



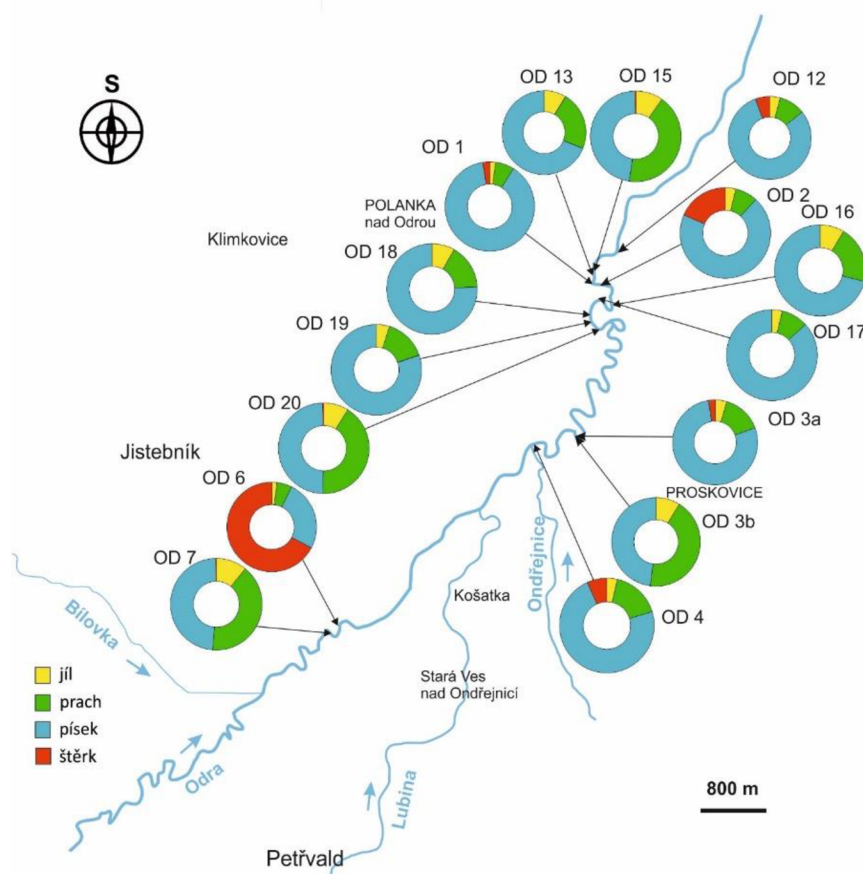
Obr. 10: Lokalita OD20, obě foto L. Bílá

9.1 Zrnitostní analýza

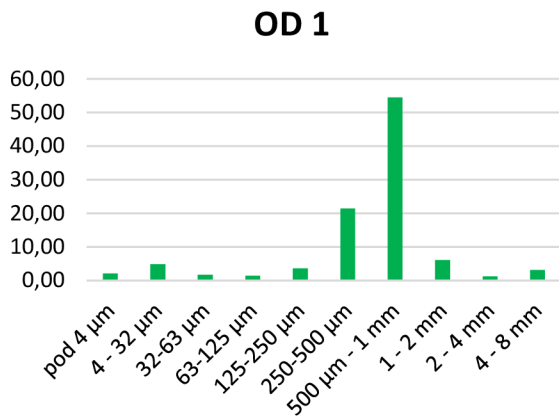
Zrnitostní distribuce vzorků byla velmi variabilní a byly zjištěny všechny hlavní zrnitostní kategorie od jílu po štěrk (tab. 1). Poproudová variabilita v zrnitostním složení jednotlivých lokalit je znázorněna na obr. 11. Data ukazují, že dominantní frakcí byl písek s variabilními podíly, které se pohybovaly od 25,3 do 88,6 %. Většina písčitých zrn spadala do rozmezí frakcí mezi 0,25-500 mm, což je střednězrný a hrubozrný písek. Velmi hrubozrná písčité frakce se vyskytovala spíše ojediněle, podíly nad 10 % byly zaznamenány u vzorků OD 2 a OD 12. Prachová frakce je zastoupena v rozmezí od 5,5 do 43,3 %, přičemž podíly jemnozrného prachu byly u všech vzorků vyšší oproti jemnozrnému prachu. Jílová frakce vykazovala nejmenší variabilitu, téměř všechny hodnoty byly pod 10 %, celkově se podíly pohybovaly od 1,9 do 10,9 %. Nejnižší podíl tvoří štěrková frakce, která v některých vzorcích chybí úplně (OD 3b, OD 13, OD 16, OD 18 a OD 19) a maximálně dosahuje 67,29 %. Většina klastů štěrkové frakce byla pod 4 mm (drobnozrný štěrk), do 8 mm byly jen jednotky procent. Pouze v jednom případě, u vzorku OD 6, bylo pozorováno větší množství hrubozrné štěrkové frakce nad 8 mm (21,1 %). Dle zrnitostního rozboru lze tedy většinu vzorků klasifikovat jako štěrkovitý písek a písčité štěrky, příp. prachovitý písek. Pro každý vzorek byl zkonstruován histogram (obr. 12-26) ukazující opět na převahu písčité frakce. Histogramy dále ukázaly, že téměř všechny vzorky měly unimodální zrnitostní distribuci, což značí větší vytříděnost sedimentu. U lokalit OD 7, OD 13, OD 15, OD 16 a OD 20 se projevuje bimodální typ křivky.

Tab. 1: Výsledky zrnitostního rozboru, procentuální zastoupení jednotlivých frakcí, v.f. = velmi jemnozrný písek, f. = jemnozrný písek, m. = střednězrný písek, c. = hrubozrný písek, v.c = velmi hrubozrný písek.

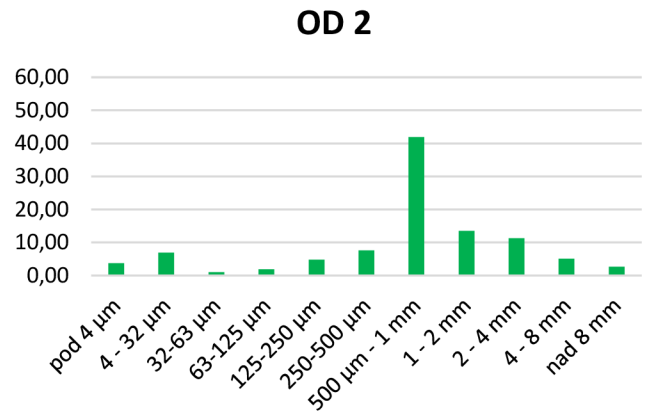
Vzorek	Procentuální zastoupení frakcí, velikost v μm											Suma
	Jíl	Prach		Písek					Štěrk			
				vf	f	m	c	vc				
	0-4	4-32	32-64	64-125	125-250	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8000	Nad 8000	
OD 1	2,1	4,9	1,8	1,4	3,6	21,5	54,5	6,1	1,3	3,2	0,0	100,0
OD 2	3,8	7,0	1,0	1,9	4,8	7,6	41,9	13,6	11,3	5,1	2,7	100,0
OD 3a	4,4	11,2	3,8	2,8	9,2	35,6	30,3	0,2	1,6	0,6	0,5	100,0
OD 3b	8,8	28,0	15,3	16,7	15,8	12,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
OD 4	3,6	10,5	6,2	6,3	16,1	24,3	25,2	1,1	5,4	1,1	0,3	100,0
OD 6	1,9	4,3	1,2	1,6	2,0	2,5	14,6	4,7	23,8	22,4	21,1	100,0
OD 7	10,9	30,2	10,2	9,0	6,8	26,2	6,5	0,0	0,2	0,0	0,0	100,0
OD 12	4,1	8,1	2,2	4,6	7,5	11,1	44,5	12,3	4,1	1,6	0,0	100,0
OD 13	8,7	18,6	3,9	4,9	16,8	43,6	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
OD 15	9,8	28,0	14,6	14,5	25,9	6,8	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0
OD 16	8,6	16,2	4,1	9,0	34,7	27,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
OD 17	3,7	7,4	2,1	2,6	4,6	43,4	35,8	0,3	0,1	0,0	0,0	100,0
OD 18	8,1	13,2	2,9	5,9	32,8	36,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
OD 19	4,8	10,5	4,5	5,1	17,0	46,7	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
OD 20	8,9	26,4	15,1	17,2	21,3	10,6	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	100,0



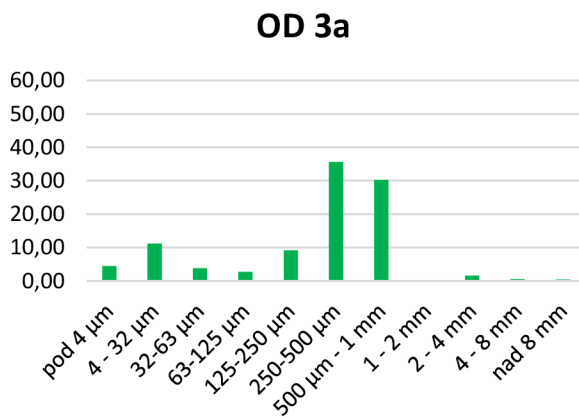
Obr. 11: Kruhové diagramy ukazující procentuální zastoupení zrnitostních frakcí na jednotlivých lokalitách.



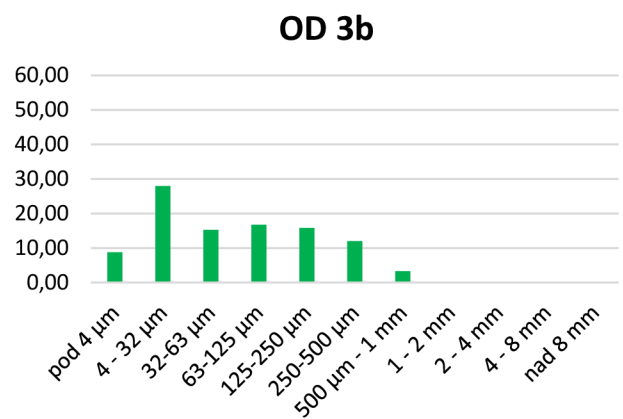
Obr.12: Podíl frakcí ve vzorku OD 1



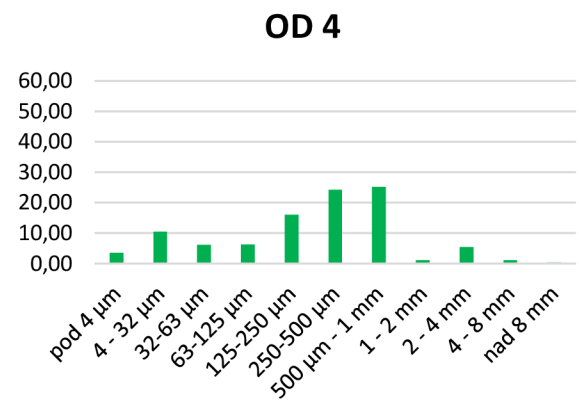
Obr.13: Podíl frakcí ve vzorku OD 2



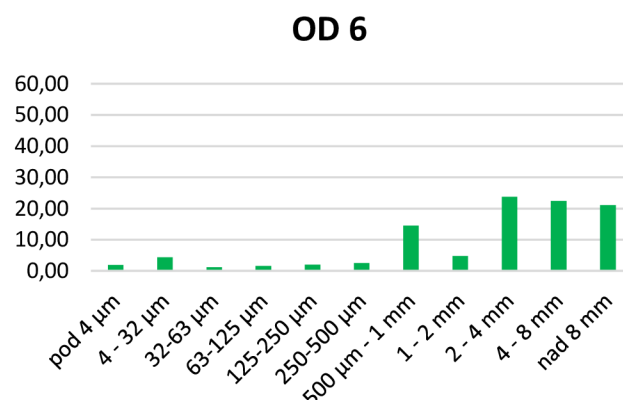
Obr.14: Podíl frakcí ve vzorku OD 3a



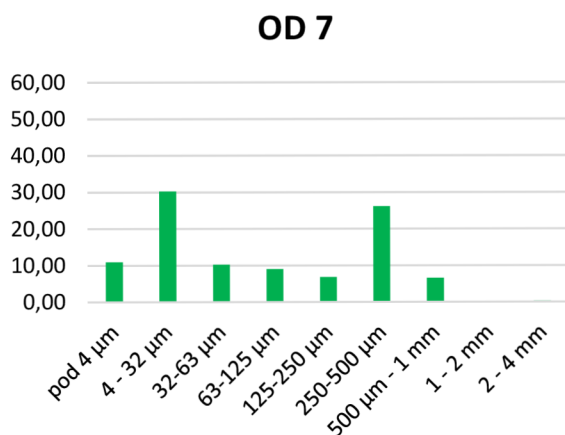
Obr.15: Podíl frakcí ve vzorku OD 3b



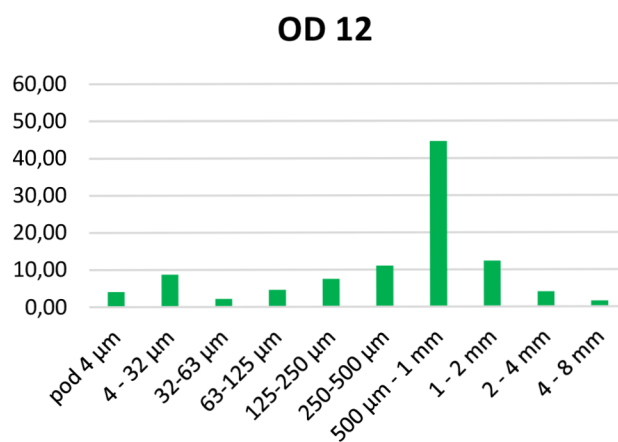
Obr.16: Podíl frakcí ve vzorku OD 4



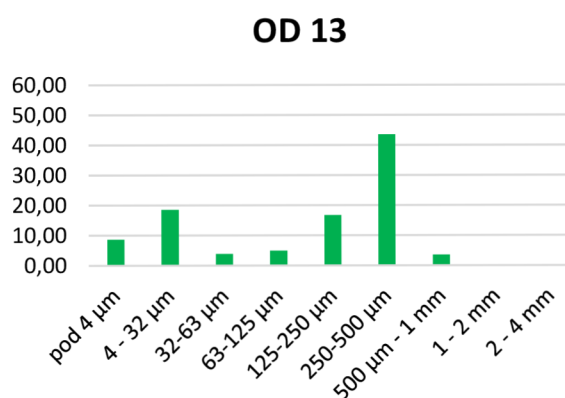
Obr.17: Podíl frakcí ve vzorku OD 6



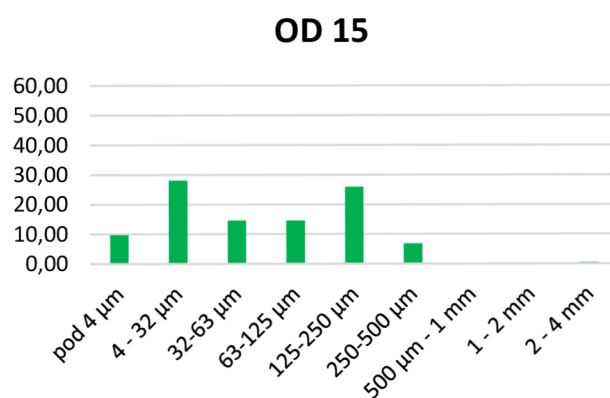
Obr. 18: Podíl frakcí ve vzorku OD 7



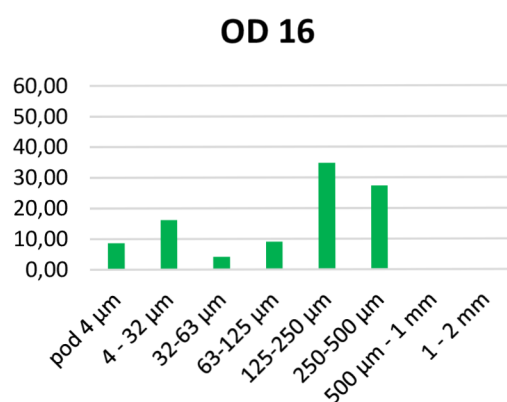
Obr. 19: Podíl frakcí ve vzorku OD 12



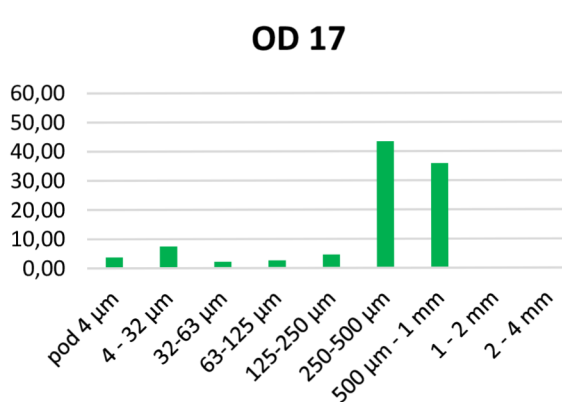
Obr. 20: Podíl frakcí ve vzorku OD 13



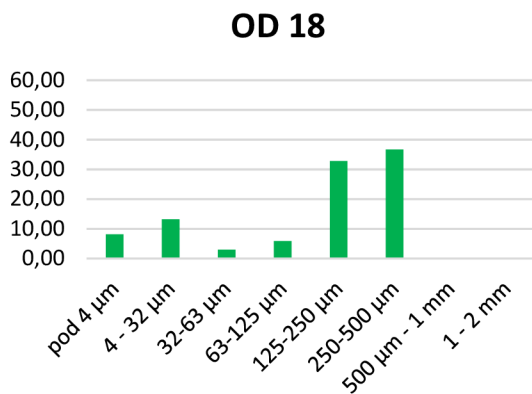
Obr. 21: Podíl frakcí ve vzorku OD 15



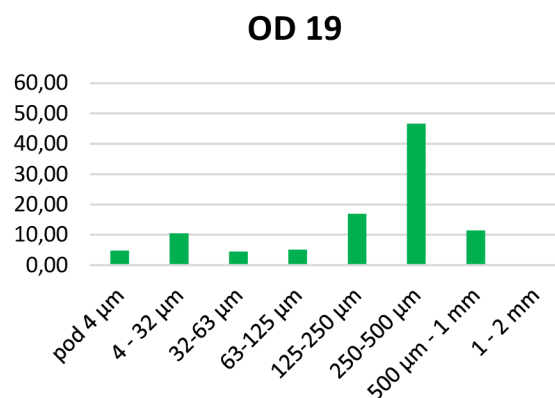
Obr. 22: Podíl frakcí ve vzorku OD 16



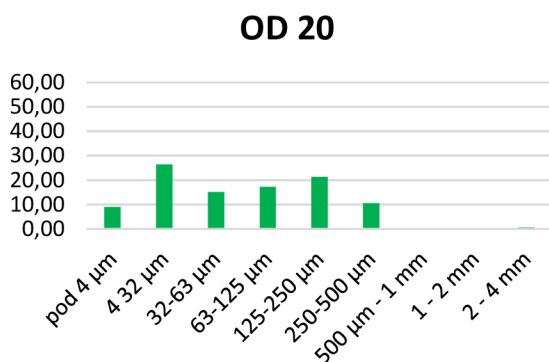
Obr. 23: Podíl frakcí ve vzorku OD 17



Obr. 24: Podíl frakcí ve vzorku OD 18



Obr. 25: Podíl frakcí ve vzorku OD 19



Obr. 26: Podíl frakcí ve vzorku OD 20

9.2 Magnetická susceptibilita

Naměřené hodnoty magnetické susceptibility se pohybují v rozmezí od $1,08 \cdot 10^{-7}$ do $9,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ (tab. 2). Nejnižší hodnoty byly naměřeny u čtyř hrubozrnných vzorků (OD 1, OD 12, OD 17 a OD 19), jež mají vysoký podíl šterkovito-písčité frakce. Tyto vzorky vykazovaly hodnoty od $6,43 \cdot 10^{-8}$ do $9,50 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Tyto hodnoty MS jsou o řád nižší oproti ostatním vzorkům. Hodnoty MS u ostatních jemnozrnnějších vzorků se pohybovaly v úzkém rozmezí od $1,08 \cdot 10^{-7}$ do $1,93 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. Celkově jsou tedy hodnoty MS korelovatelné se zrnitostí.

Tab. 2: Hodnoty magnetické susceptibility

Vzorek	hodnota MS [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]	Vzorek	hodnota MS [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]
OD 1	7,97E-08	OD 13	1,08E-07
OD2	1,61E-07	OD 15	1,79E-07
OD3a	1,13E-07	OD 16	1,52E-07
OD4	1,74E-07	OD 17	6,34E-08
OD6	1,37E-07	OD 18	1,44E-07
OD7	1,53E-07	OD 19	9,50E-08
OD 12	7,85E-08	OD 20	1,93E-07

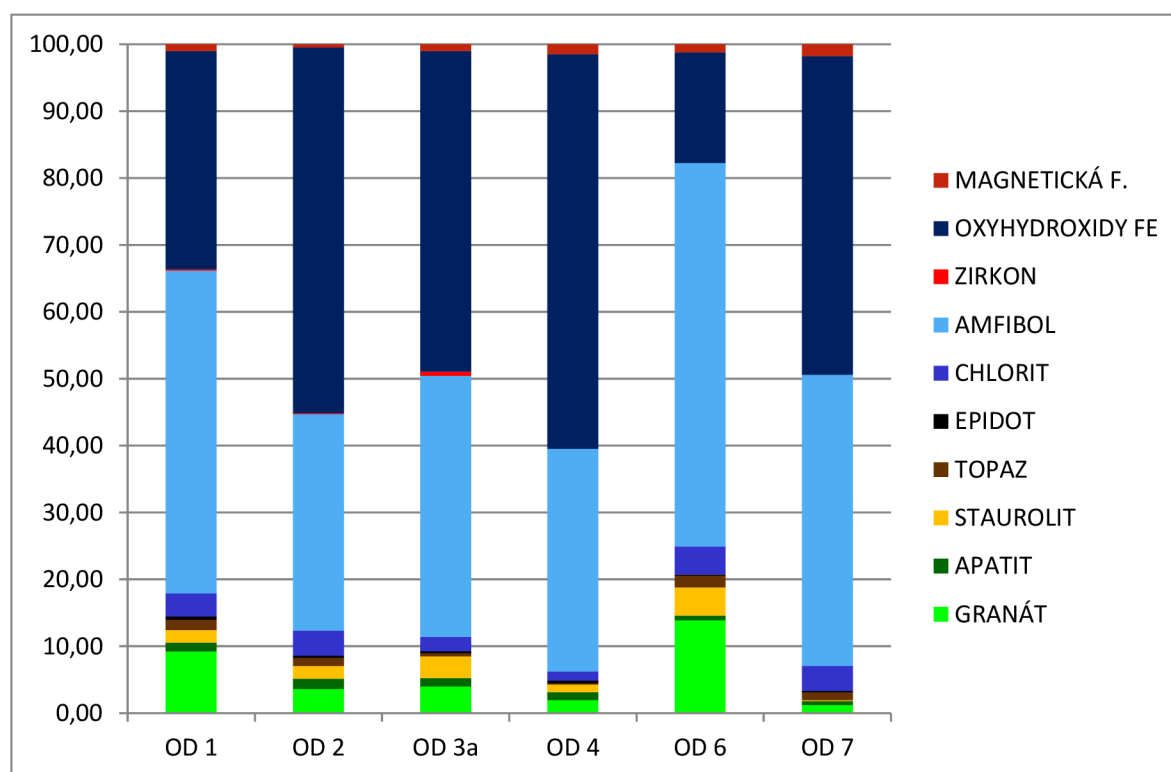
9.3 Těžké minerály

Pro účely studia těžkých minerálů byly hodnoceny magnetické, průsvitné i opakní minerály. Výsledná distribuce těžkých minerálů, či minerálních skupin byla vyjádřena jejich procentuálním zastoupením (obr. 27). Výsledky jsou uvedeny v tab. 3. Po separaci magnetické frakce bylo v podílu těžké frakce celkem identifikováno 9 minerálů. Konkrétně to byly granát, apatit, staurolit, topaz, epidot, chlorit, amfibol, zirkon a oxyhydroxidy/sekundární minerály železa (tab. 3). Tvar minerálních zrn byl variabilní, od tabulkovitých po ovální zrna. Významnější změny byly v asociacích těžkých minerálů pozorovány směrem po proudu, kdy se vzorky OD 6 a OD 7 lišily od ostatních (OD 1, OD 2, OD 3 a OD 4). Největší podíly, od 16 do 59 %, připadaly na sekundární minerály železa, které v některých případech tvořily více než polovinu procentuálního zastoupení s maximem ve vzorku OD 4. Z ostatních složek byly přítomny zejména amfiboly, patřící mezi nestabilní těžké minerály, s podíly od 32,3 do 57,3 %. Ve vzorcích se vyskytovaly dva typy, přičemž první typ zastoupený černým, krátce sloupečkovitým amfibolem se vyskytoval výrazně častěji než druhý typ tvořený amfibolem hnědé barvy. Obě variety byly hodnoceny jen jako jedna skupina. Nejnižší podíl amfibolů byl ve vzorku OD 4 a nejvyšší ve vzorku OD 6. Vzorky OD 6 a OD 7 vykazovaly vyšší podíly amfibolů oproti ostatním vzorkům. Poměrně hojná jsou růžová a zaoblená, příp. kulovitá zrna granátu, který patří mezi stabilní těžké minerály, zastoupená ve vzorcích od 1,2 (OD 7) do 13,9 % (OD 6). Zrna chloritu zelenošedé barvy se vyskytovala v nízkém zastoupení od 1,4 do 4,2 %, přičemž vyšší podíly byly nalezeny ve vzorcích OD 6 a OD 7. Ultrastabilní (zirkon) a středně stabilní (staurolit a apatit) těžké minerály tvořily ve většině vzorků jen příměs do prvních jednotek procent. Staurolit medové barvy byl zastoupen v podílech od 0,2 do 4,2 %. Nejvíce se vyskytoval ve vzorku OD 6. Topaz se vyskytoval v podobě průhledných

zaoblených zrn v podílech od 0,2 do 1,8 %, taktéž s nejvyšším zastoupením ve vzorku OD 6. Ve velmi malém množství se vyskytoval apatit bílé barvy a oválného tvaru, zastoupení od 0,6 % do 1,6 %. Jen velmi sporadicky (v podílech do 1 %) ale ve všech vzorcích, byl identifikován epidot. Průhledné sloupečky zirkonu, vykazující automorfní omezení, se vyskytovaly velice zřídka a byly identifikovány pouze ve třech vzorcích (OD 1, OD 2 a OD 3), vždy do 1 %.

Tab. 3: Procentuální podíl zastoupených těžkých minerálů ve vzorcích

Lokalita	OD 1	OD 2	OD 3a	OD 4	OD 6	OD 7
GRANÁT	9,2	3,6	4	2	13,9	1,2
APATIT	1,4	1,6	1,2	1,2	0,8	0,6
STAUROLIT	1,8	1,9	3,2	1,2	4,2	0,2
TOPAZ	1,6	1,2	0,5	0,2	1,8	1,2
EPIDOT	0,5	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2
CHLORIT	3,5	3,8	2,2	1,4	4,2	3,8
AMFIBOL	48,3	32,3	39,	33,3	57,3	43,5
ZIRKON	0,2	0,2	0,6	0	0	0
OXYHYDROXIDY FE	32,6	54,7	48	59	16,6	47,6
MAGNETICKÁ F.	1	0,5	1	1,5	1,2	1,8
Celkem	100	100	100	100	100	100



Obr. 27: Procentuální zastoupení těžkých minerálů ve vzorcích

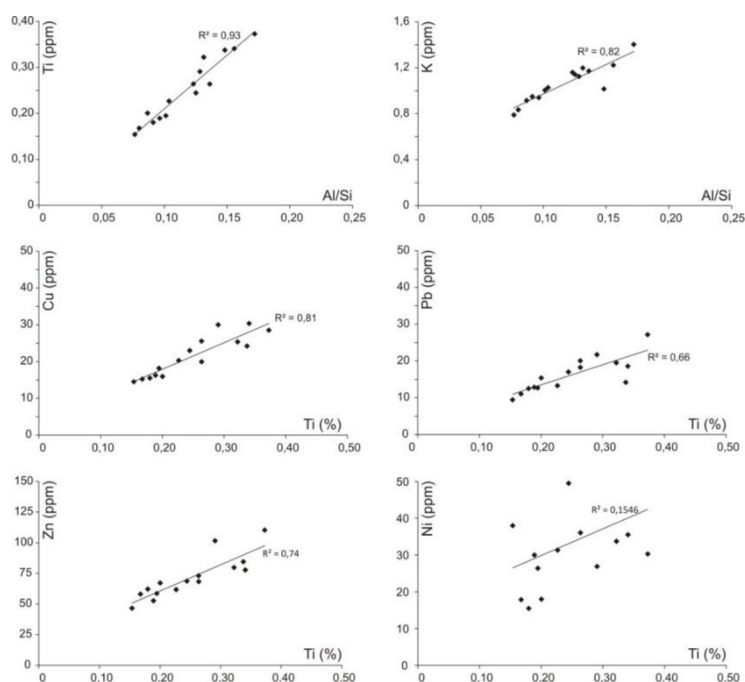
9.4 EDXRF – rentgen-fluorescenční spektrometrie

Výsledky z EDXRF poskytly informace o distribuci vybraných litogenních a stopových prvků (tab. 4). Zjišťovány byly koncentrace: Al, Si, K, Fe, Ca, Ti, P, Mn, Th, Cu, Pb, Zn, Ni, Rb a Zr. Ze zkoumaných prvků vykazovaly nejvyšší koncentrace Si, Al, K a Fe. Koncentrace Si se pohybovaly v rozmezí od 20,7 (OD 20) do 25,6 % (OD 12), koncentrace Al od 2 (OD 1) do 3,6 % (OD 7), přičemž vzorky mající vysoký obsah Si měly nižší obsah Al a naopak. Koncentrace K byly v rozmezí od 0,8 (OD 1 a 12) do 1,4 % (OD 7) a koncentrace Fe od 1,6 (OD 12) do 3,1 % (OD 6). Ze stopových prvků byla zjištěna poměrně velká variabilita v obsahu Rb (od 40 ppm ve vzorku OD12 do 83,8 ppm ve vzorku OD 7) a Zr (od 88,5 ppm ve vzorku OD12 do 311,9 ppm). Je tedy patrné, že vzorek OD 12 se od ostatních liší nižšími obsahy K, Zr a Rb a vyššími obsahy Si. Liší se také vzorek OD 7, jenž má vysoké obsahy Al, K a Rb při středních obsazích Si a vysokém obsahu Fe. Dále byl vypočítán poměr Al/Si, který ve fluvialních sedimentech slouží jako proxy parametr pro zrnitostní variace. Nižší hodnoty poměru jsou v hrubozrnném a písčitém materiálu kvůli vyššímu zastoupení Si a naopak vyšší hodnoty v jemnozrnných sedimentech obsahujících jílové minerály a bohatých na Al (Alvarez-Iglesias et al. 2007, Grygar et al. 2010, Matys Grygar et al. 2011, Sedláček et al. 2017, 2020). Poměr Al/Si byl použit také ve zkoumané oblasti v povodňových sedimentech (Janíčková 2019) a výplní mrtvých ramen (Sedláček et al. 2019). Hodnota poměru Al/Si se pohybovala v rozpětí od 0,08 do 0,16. Pozitivní korelace ($R^2 > 0,8$) byla nalezena také mezi poměrem Al/Si a prvky K a Rb a vyšší než 0,9 s Ti (obr. 28). Koncentrace těžkých kovů Cu, Ni, Zn a Pb jsou vesměs nízké a nevykazují velkou variabilitu (tab. 4), což platí především pro Cu a Pb. Maximální hodnoty jsou u většiny vzorků do 30 ppm. Vyšší koncentrace byly nalezeny pro Ni, kde je nevyšší hodnota 61,8 ppm u vzorku OD16. Nejvyšší koncentrace z těžkých kovů vykazoval Zn, kdy koncentrace u dvou vzorků (OD 3 a OD 7) mírně přesáhly 100 ppm. Koncentrace těžkých kovů byly dále normalizovány na Ti. Normalizace na vybraný litogenní prvek je standardní procedura, kvůli potlačení vlivu měnícího se podílu písčité frakce (Matys Grygar et al., 2011, Sedláček et al. 2017). Ti (obr. 28) byl vybrán empiricky, jelikož vykazuje s koncentracemi těžkých kovů nejlepší korelaci, podobně jako v jiné práci z povodí Odry (Sedláček et al. 2020). Nevyšší korelace ($R^2 > 0,6$) byla nalezena pro Cu, Pb a Zn, zatímco korelace mezi Ti a Ni byla slabá.

Tab. 4: Koncentrace litogenních a stopových prvků, výsledky z analýzy EDXRX, základní statistika: minimum, maximum a medián.

Vzorek	Si	Al	K	Fe	Ca	Ti	Th	Cu	Pb	Zn	Ni	Rb	Zr	Al/Si
	%						Ppm							
OD 1	24,8	2	0,8	2,0	0,5	0,2	23,0	15,2	11,0	58,0	17,8	45,8	119,9	0,08
OD 2	24,7	2,5	1,0	2,0	0,4	0,2	16,3	18,2	12,7	58,5	26,4	52,7	117,3	0,10
OD 3a	24,8	2,3	0,9	2,2	0,3	0,2	22,9	15,5	12,5	62,1	15,5	50,4	100,3	0,09
OD 3b	21,7	2,8	1,1	3,0	1,0	0,3	30,4	30,0	21,7	101,6	26,9	71,0	236,4	0,13
OD 4	24,9	2,2	0,9	1,8	0,7	0,2	24,8	15,9	15,4	67,1	18,0	50,2	129,3	0,09
OD 6	21,2	3,1	1,0	3,1	0,4	0,3	26,2	24,2	14,2	84,4	51,6	59,8	187,4	0,15
OD 7	21,2	3,6	1,4	3,0	0,5	0,4	28,0	28,5	27,2	110,2	30,3	83,8	226,4	0,17
OD 12	25,6	2	0,8	1,6	0,2	0,2	17,3	14,5	9,4	46,5	38,0	40,0	88,5	0,08
OD 13	22,9	2,9	1,1	2,0	0,5	0,2	22,6	23,0	17,0	68,7	49,5	60,8	160,4	0,13
OD 15	23	3	1,2	2,0	0,6	0,3	28,9	25,3	19,5	79,7	33,7	69,4	311,9	0,13
OD 16	22,9	2,8	1,2	1,8	0,5	0,3	21,3	19,9	18,3	68,2	61,8	56,2	202,1	0,12
OD 17	23,9	2,3	0,9	1,8	0,3	0,2	15,7	16,2	12,8	52,6	30,0	47,7	93,8	0,10
OD 18	23,7	2,5	1,0	1,7	0,4	0,2	24,4	20,3	13,3	61,8	31,3	53,2	131,1	0,10
OD 19	22	3	1,2	2,5	0,5	0,3	20,7	25,5	20,0	73,0	36,1	61,6	137,1	0,14
OD 20	20,7	3,2	1,2	2,1	0,7	0,3	22,0	30,4	18,6	77,8	35,5	67,4	268,8	0,16

	Si	Al	K	Fe	Ca	Ti	Th	Cu	Pb	Zn	Ni	Rb	Zr	Al/Si
Minimum	20,7	2	0,8	1,6	0,2	0,2	15,7	14,5	9,4	46,5	15,5	40	88,5	0,08
maximum	25,6	3,6	1,4	3,1	1	0,4	30,4	30,4	27,2	110,2	61,8	83,8	311,9	0,17
Medián	23	2,8	1	2	0,5	0,2	22,9	20,3	15,4	68,2	31,3	56,2	137,1	0,12



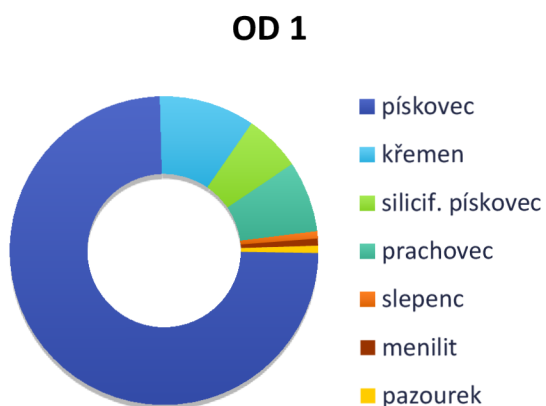
Obr. 28: Bivariantní grafy ukazující závislost obsahu poměru Al/Si na Ti a K (horní sloupec), závislost těžkých kovů na Ti (střední a dolní sloupec).

9.5 Valounová analýza

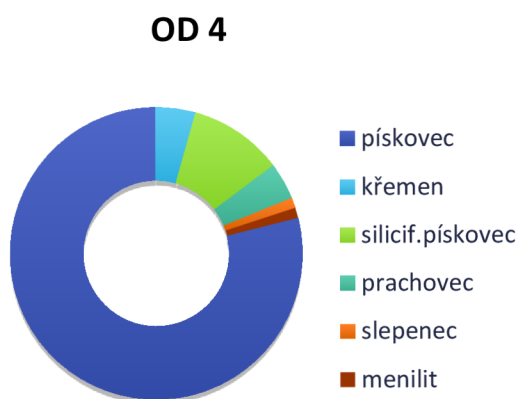
Výsledky valounových analýz byly uvedeny v počtech jednotlivých skupin (tab. 5) a pro větší přehlednost prezentovány formou kruhových diagramů (obr. 29-36). Celkem bylo identifikováno sedm horninových typů – pískovec, silicifikovaný pískovec, prachovec, slepenec, menilit, pazourek a rula. Zvlášť byl vyčleněn křemen. V každém vzorku bylo hodnoceno min. 250 valounů tak, aby byly výsledky reprezentativní (maximum 269 valounů ve vzorcích OD 1 a OD 4). Dominantním horninovým typem byl ve všech vzorcích pískovec, jehož podíly se pohybovaly v rozmezí od 62,8 % (vzorek OD 6) do 78,8 % (vzorek OD 4). U většiny vzorků byl hojně zastoupen křemen, s podíly od 4,5 do 19,5 %. Jako samostatný horninový typ byl vyčleněn silicifikovaný pískovec s podíly od 2,8 do 11,2 %. Ostatní horninové typy byly zastoupeny pouze v jednotkách procent. Zde lze uvést zejména prachovec, jehož valouny byly identifikovány na každém vzorku v podílech od 2,4 do 7,4 %. Akcesoricky byl zastoupen menilit, slepenec a pazourek. V jednom vzorku (OD 6) byl zaznamenán vyšší podíl menilitu (7,9 %). Zvláštností byl ojedinělý nález jednoho valounu ruly ve vzorku OD 11.

Tab. 5: Výsledky valounové analýzy, absolutní počet valounů v jednotlivých skupinách

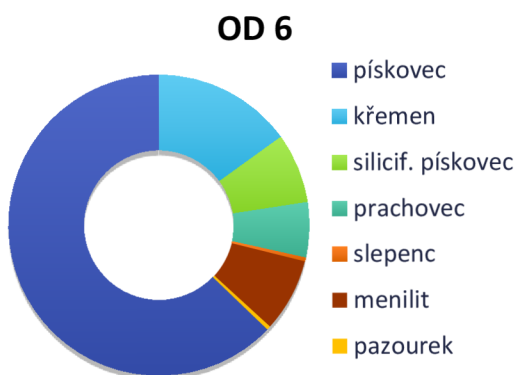
vzorek	počet klastů	pískovec	křemen	silicif. pískovec	prachovec	slepenec	menilit	pazourek	rula
OD 1	269	200	27	16	20	2	2	2	0
OD 4	269	212	12	28	11	3	3	0	0
OD 6	253	159	38	19	15	1	20	1	0
OD 8	250	168	45	18	14	0	5	0	0
OD 9	251	180	49	11	7	1	3	0	0
OD 10	252	194	14	28	6	0	8	2	0
OD 11	251	169	34	15	28	1	3	0	1
OD 14	250	162	31	17	30	1	9	0	0



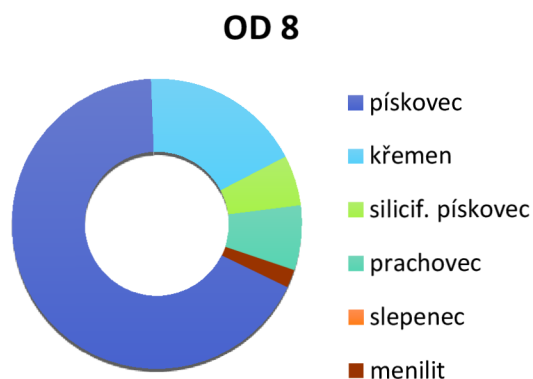
Obr. 29: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 1



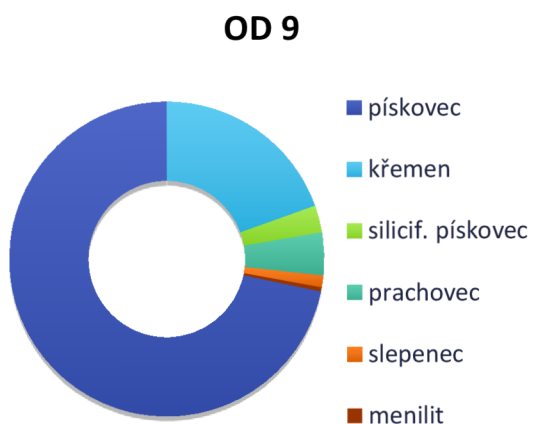
Obr. 30: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 4



Obr. 31: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 6



Obr. 32: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 8



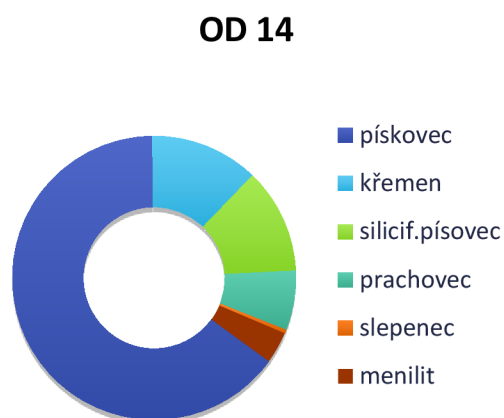
Obr. 33: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 9



Obr. 34: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 10



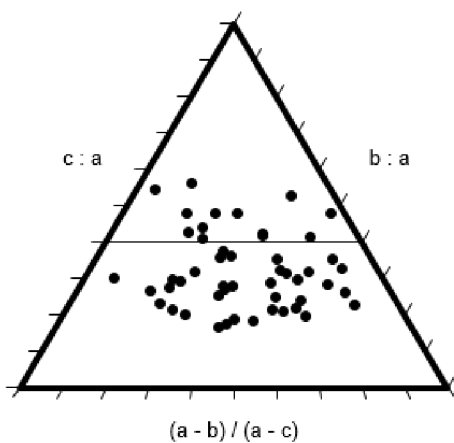
Obr. 35: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 11



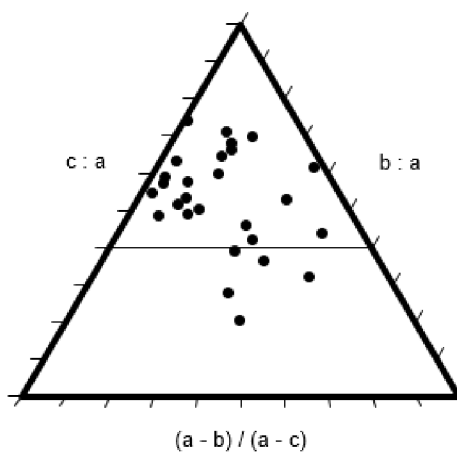
Obr. 36: Podíl jednotlivých horninových typů ve vzorku OD 14

Pro analýzu tvaru klastů byly použity všechny valouny ze souboru pro valounovou analýzu. Na diagramech (obr. 37-86) je vyznačena tzv. C40 linie spojující hodnoty 0,4 na osách c:a a b:a. Dominance klastů, nacházející se nad touto linií, indikuje, že materiál je tvořen pravidelnými úlomky s větším opracováním a tedy delším transportem (Benn, Evans 2004). Pokud většina měření leží pod touto linií, indikuje to potenciálně kratší transport.

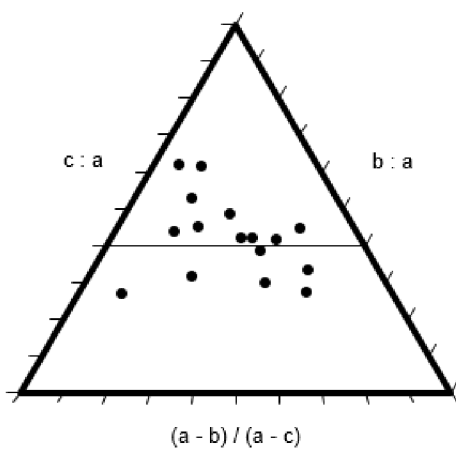
Klasy pískovců vykazují v TRI-PLOT diagramu větší rozptyl hodnot a nacházejí se nad i pod linií C40, což je patrné zejména u vzorků OD 1 a OD 4. Naproti tomu některé vzorky (OD 6, OD 10 a OD 14) vykazují výraznější příklon k deskovitým tvarům, kdy většina měření leží pod hranicí C40. Většinou inklinují k lehce deskovitým tvarům se zkrácenou c- osou. Křemen má povětšinou tendenci vykazovat sférické tvary. Valouny křemene vykazují na některých vzorcích dva odlišné tvary. První shluk inklinuje k ose c:a, zatímco druhý shluk se nachází ve střední části diagramu. To je patrné zejména u vzorků OD 1, OD 6 a OD 14.



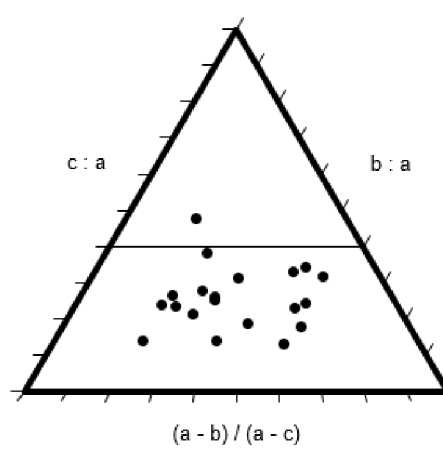
Obr. 37: Tvar klastů, OD 1, pískovec



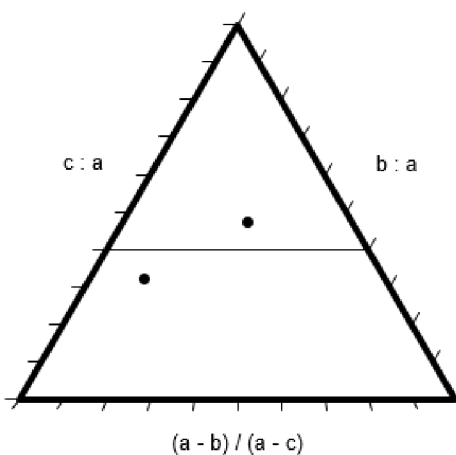
Obr. 38: Tvar klastů, OD 1, křemen



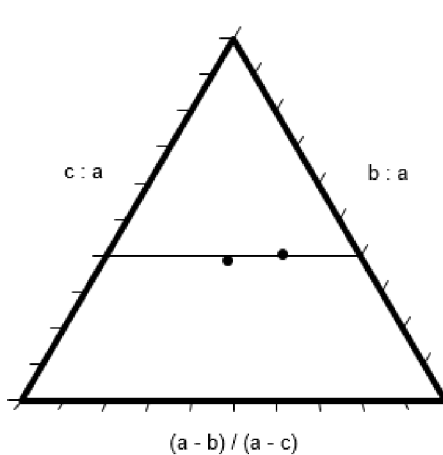
Obr. 39: Tvar klastů, OD 1, silicif. pískovec



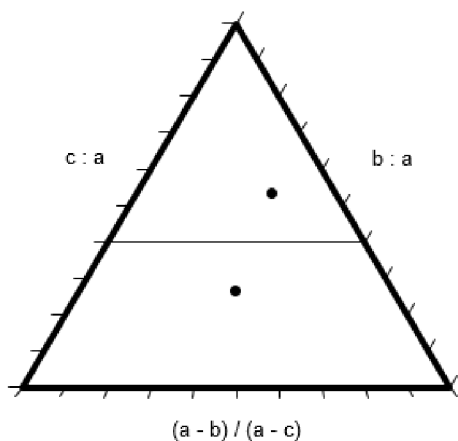
Obr. 40: Tvar klastů, OD 1, prachovec



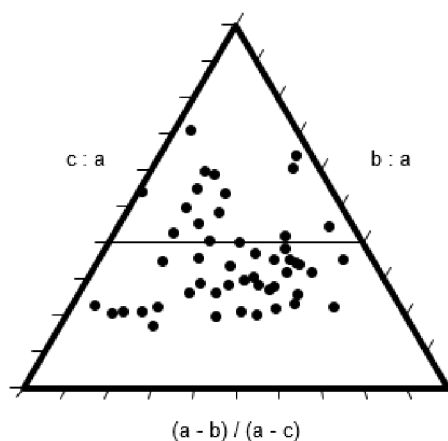
Obr. 41: Tvar klastů, OD 1, slepenc



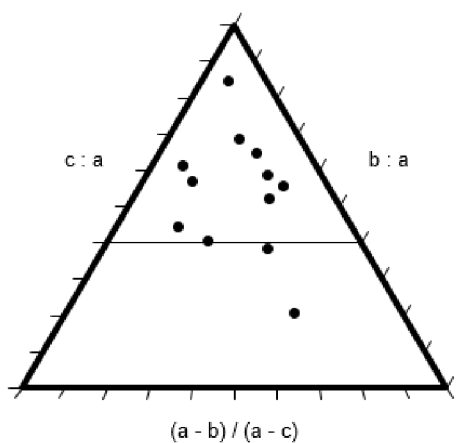
Obr. 42: Tvar klastů, OD 1, menilit



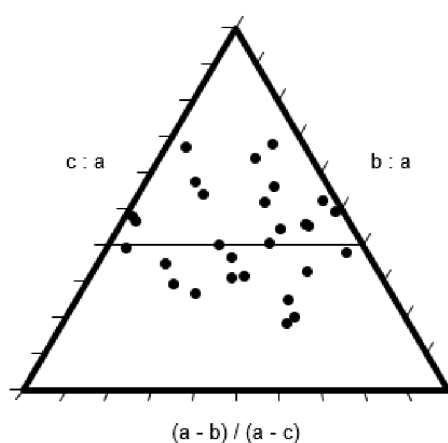
Obr. 43: Tvar klastů, OD 1, pazourek



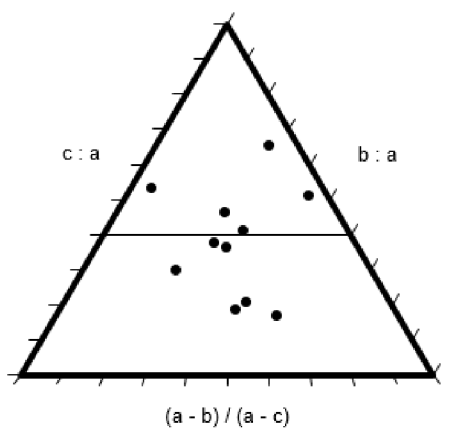
Obr. 44: Tvar klastů, OD 4, pískovec



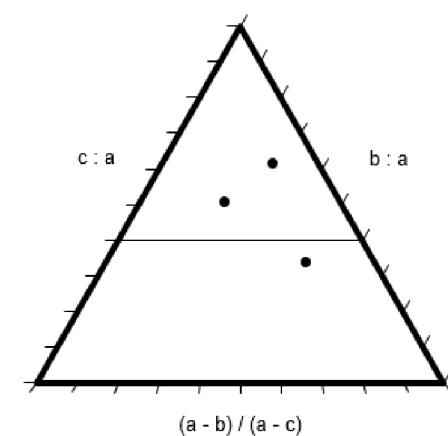
Obr. 45: Tvar klastů, OD 4, křemen



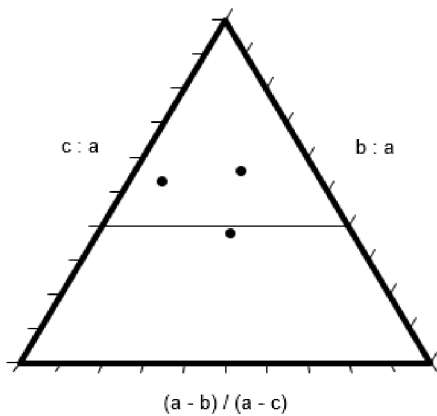
Obr. 46: Tvar klastů, OD 4, silicif. pískovec



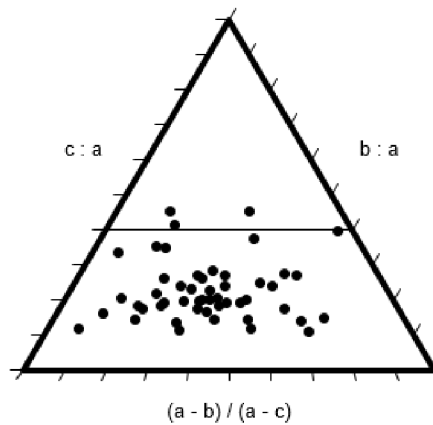
Obr. 47: Tvar klastů, OD 4, prachovec



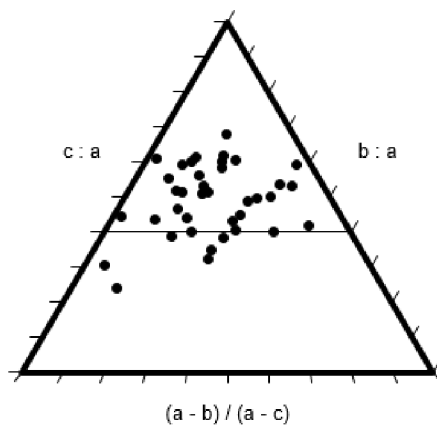
Obr. 48: Tvar klastů, OD 4, slepenec



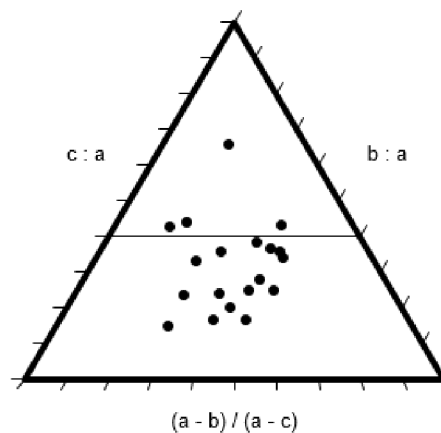
Obr. 49: Tvar klastů, OD 4, menilit



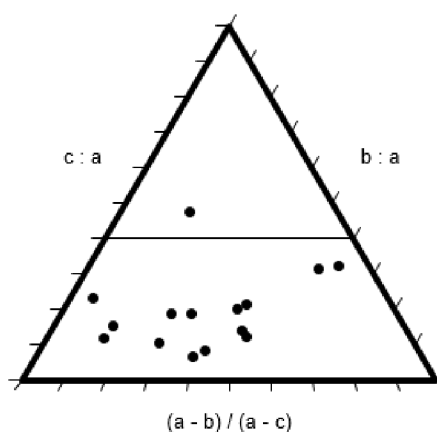
Obr. 50: Tvar klastů, OD 6, pískovec



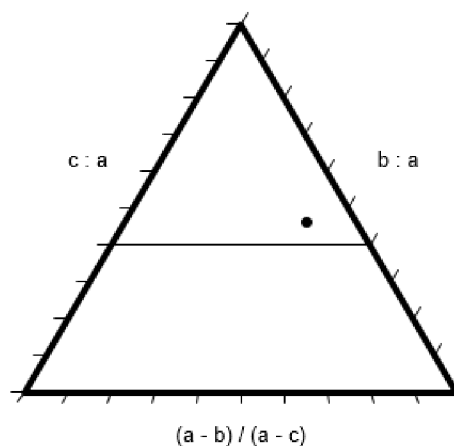
Obr. 51: Tvar klastů, OD 6, křemen



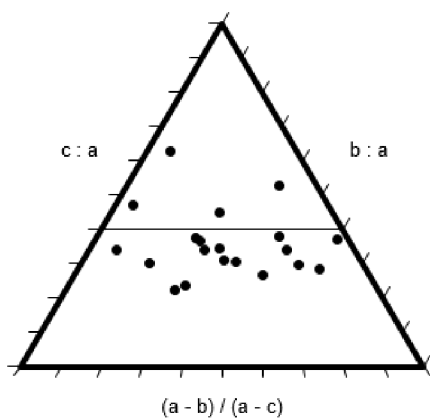
Obr. 52: Tvar klastů, OD 6, silicif. pískovec



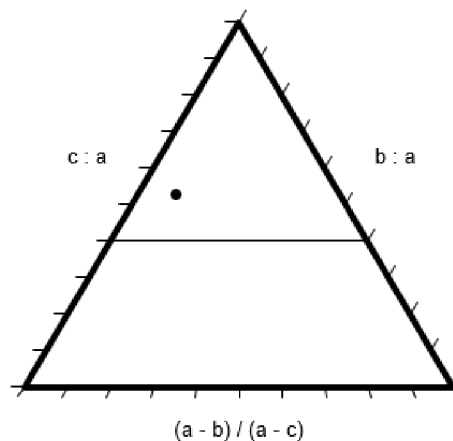
Obr. 53: Tvar klastů, OD 6, prachovec



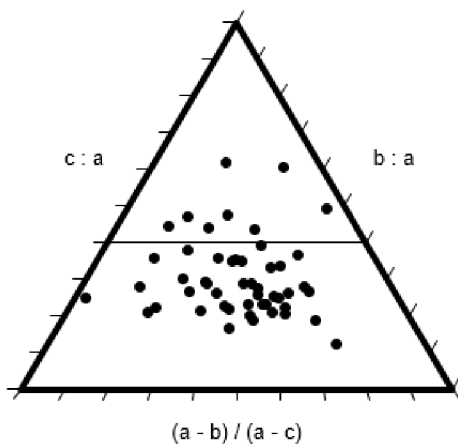
Obr. 54: Tvar klastů, OD 6, slepenec



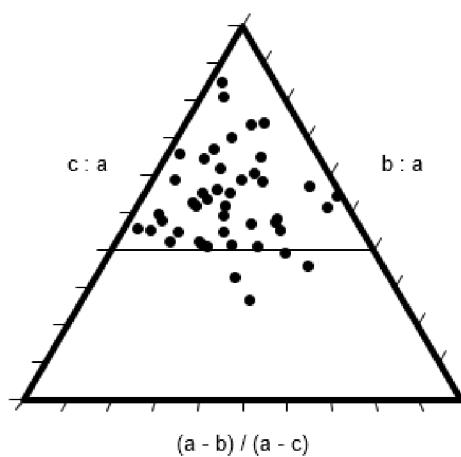
Obr. 55: Tvar klastů, OD 6, menilit



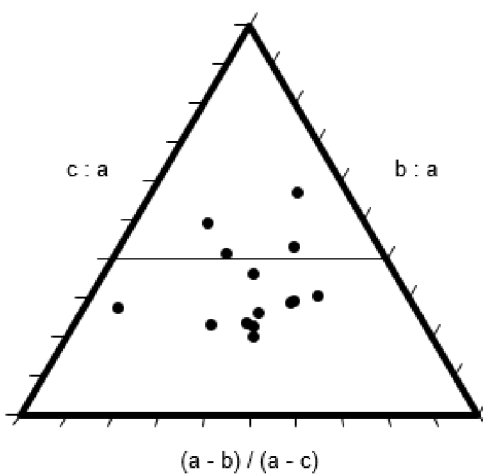
Obr. 56: Tvar klastů, OD 6, pazourek



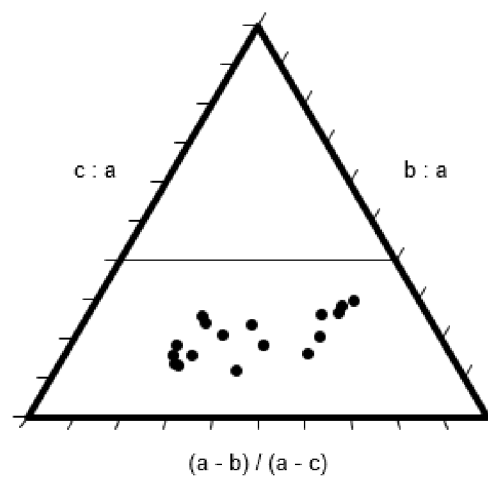
Obr. 57: Tvar klastů, OD 8, pískovec



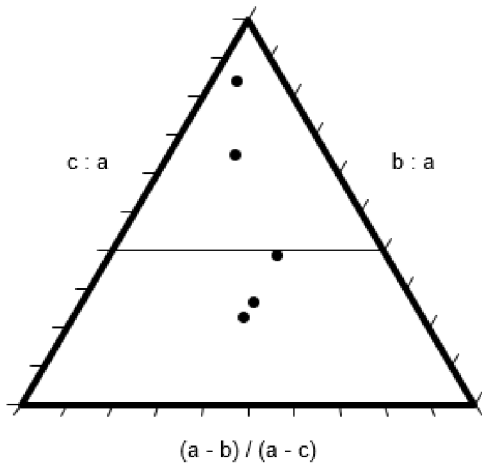
Obr. 58: Tvar klastů, OD 8, křemen



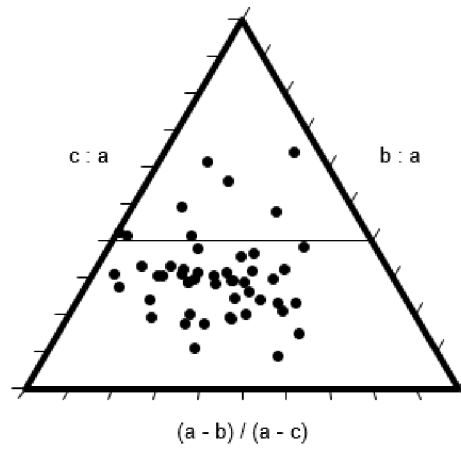
Obr. 59: Tvar klastů, OD 8, silicif. pískovec



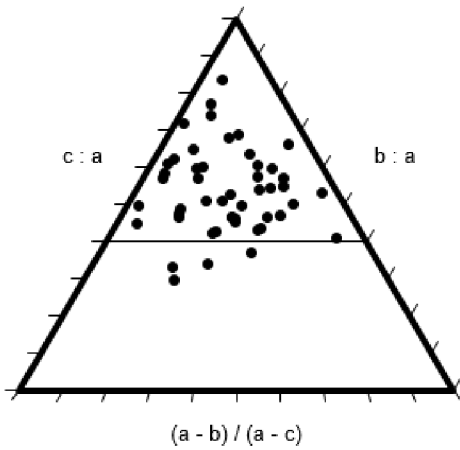
Obr. 60: Tvar klastů, OD 8, prachovec



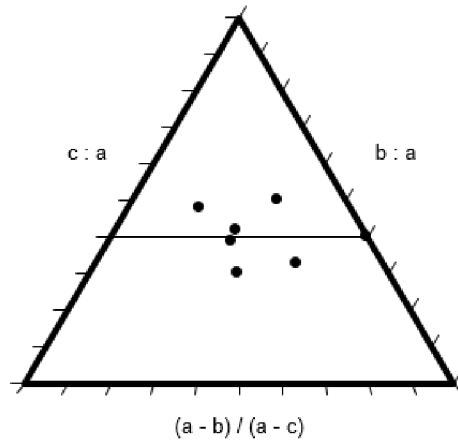
Obr. 61: Tvar klastů, OD 8, menilit



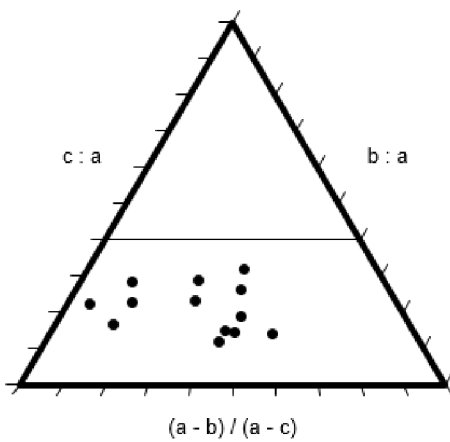
Obr. 62: Tvar klastů, OD 9, pískovec



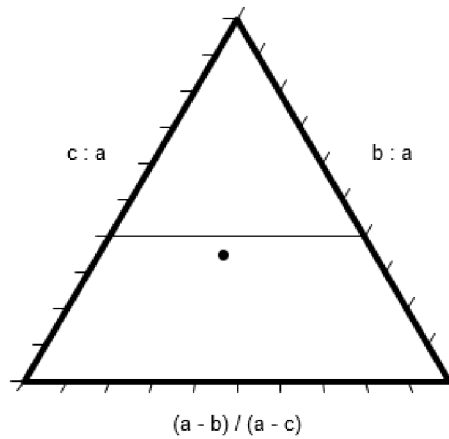
Obr. 63: Tvar klastů, OD 9, křemen



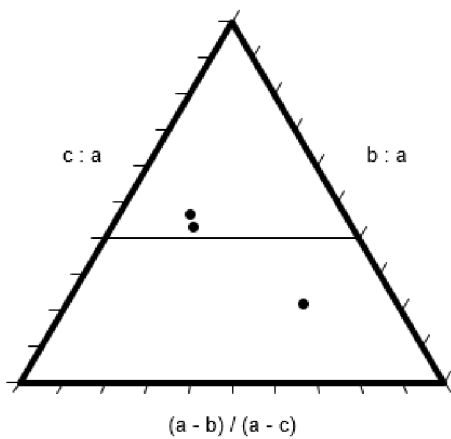
Obr. 64: Tvar klastů, OD 9, silicif. pískovec



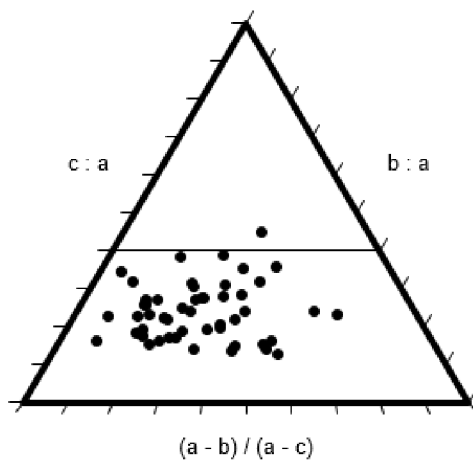
Obr. 65: Tvar klastů, OD 9, prachovec



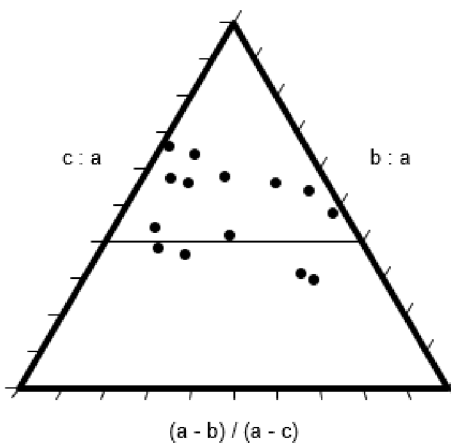
Obr. 66: Tvar klastů, OD 9, slepenec



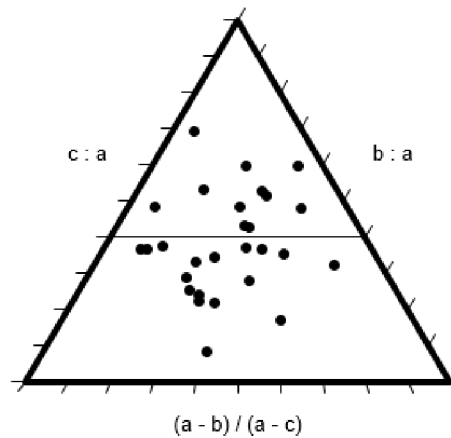
Obr. 67: Tvar klastů, OD 9, menilit



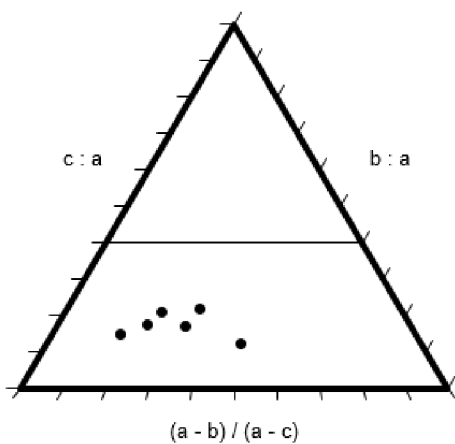
Obr. 68: Tvar klastů, OD 10, pískovec



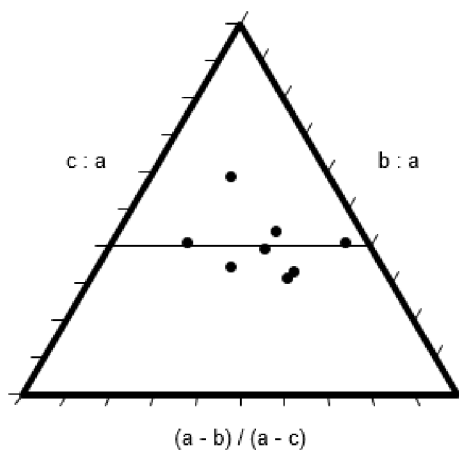
Obr. 69: Tvar klastů, OD 10, křemen



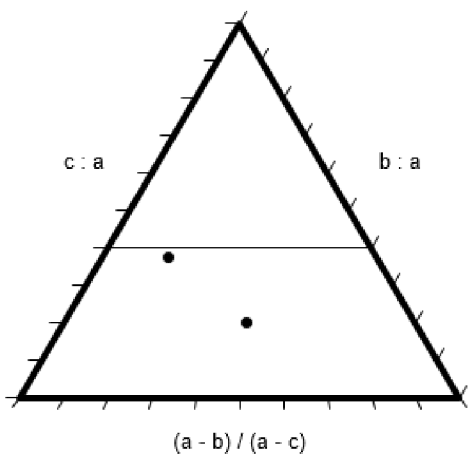
Obr. 70: Tvar klastů, OD 10, silicif. pískovec



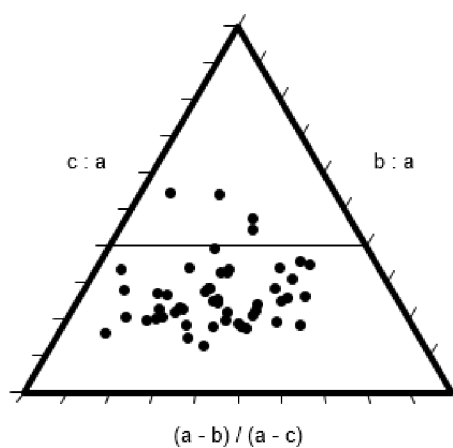
Obr. 71: Tvar klastů, OD 10, prachovec



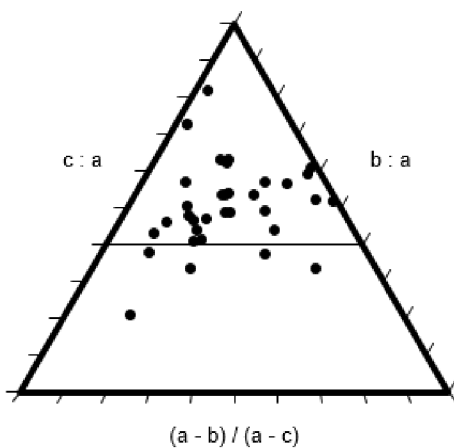
Obr. 72: Tvar klastů, OD 10, menilit



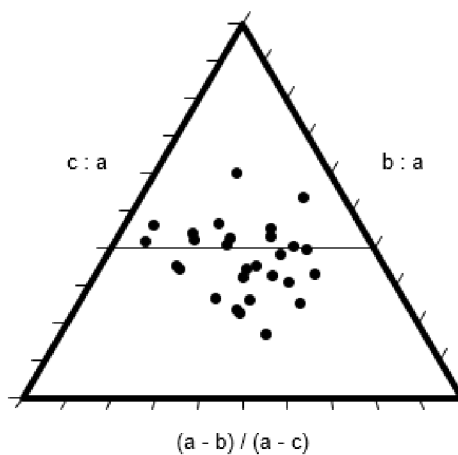
Obr. 73: Tvar klastů, OD 10, pazourek



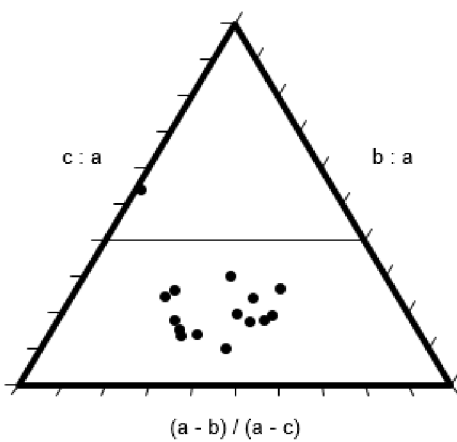
Obr. 74: Tvar klastů, OD 11, pískovec



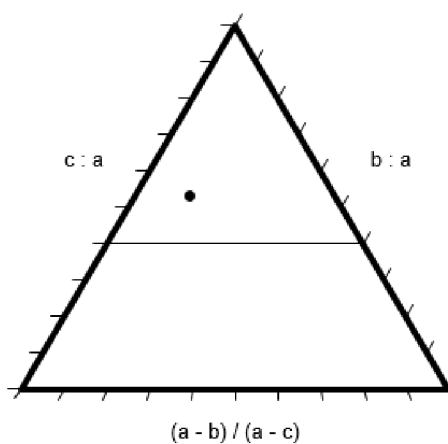
Obr. 75: Tvar klastů, OD 11, křemen



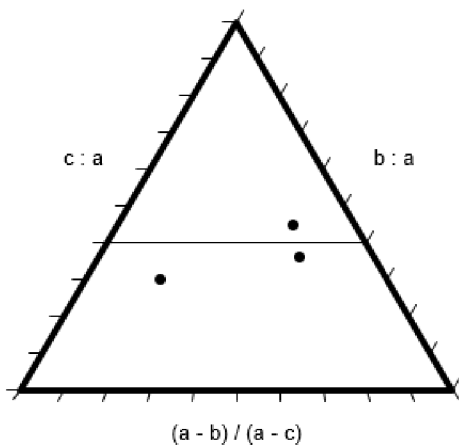
Obr. 76: Tvar klastů, OD 11 silicif. pískovec



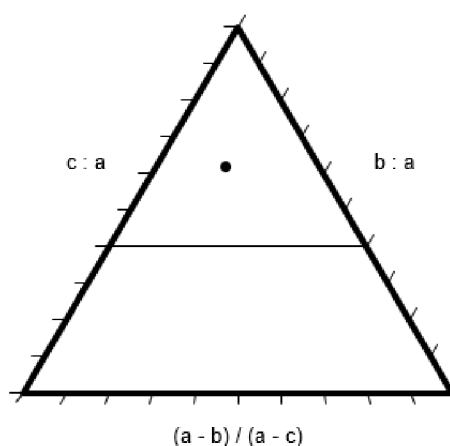
Obr. 77: Tvar klastů, OD 11, prachovec



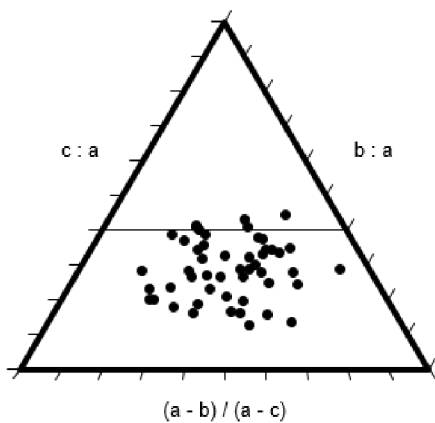
Obr. 78: Tvar klastů, OD 11, slepenec



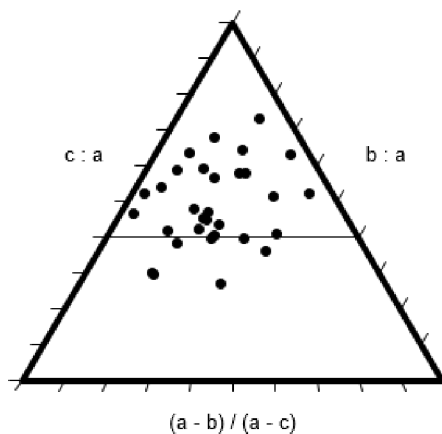
Obr. 79: Tvar klastů, OD 11, menilit



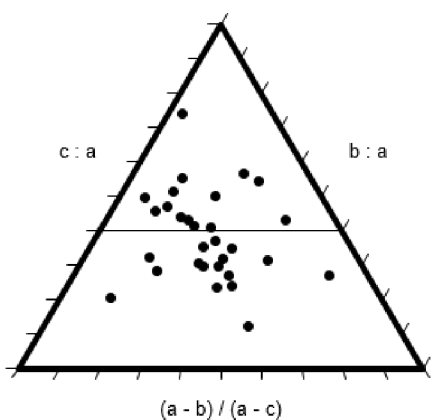
Obr. 80: Tvar klastů, OD 11, rula



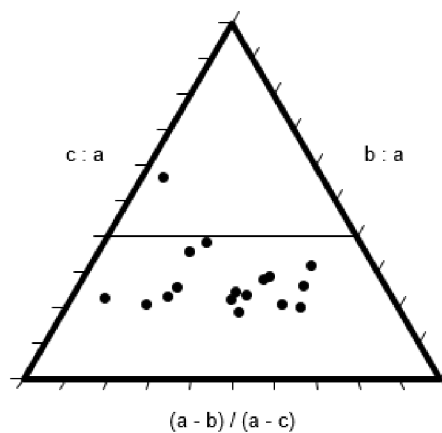
Obr. 81: Tvar klastů, OD 14, pískovec



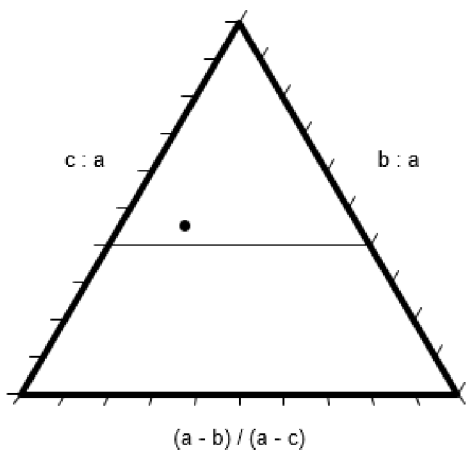
Obr. 82: Tvar klastů, OD 14, křemen



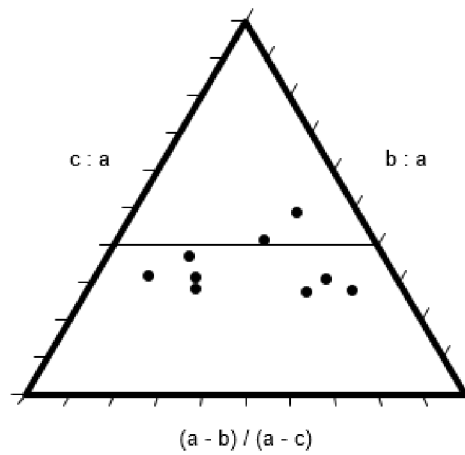
Obr. 83: Tvar klastů, OD 14, silicif. pískovec



Obr. 84: Tvar klastů, OD 14, prachovec



Obr. 85: Tvar klastů, OD 14, slepenec



Obr. 86: Tvar klastů, OD 14, menilit

10 Diskuze

10.1 Procesy a akumulace příbřežních těles

Příbřežní sedimentární tělesa vznikají v důsledku poklesu rychlosti proudění, kdy tok není schopen transportovat částice určité velikosti. Rychlost transportu sedimentu závisí na množství sedimentu a také na rychlosti průtoku (Yu et al. 2010 in Galia T., Hradecký J., 2011). Charakter a zrnitost korytovitých sedimentů je obecně odrazem poměru donášky sedimentů, tedy charakteristikami zdrojové oblasti („sediment supply controlled“) a částečně/sezonně transportní kapacitou vodního proudu („discharge controlled“), (Nehyba et al. 2010). Důležitou roli hraje litologie hornin budujících dané povodí, jako je mocnost vrstev, petrografické složení a zrnitost (Škarpich a Galia 2014). Zrnitostní složení se může lokálně lišit v závislosti na pozici uvnitř koryta řeky Odry. Větší rozdíly v zrnitosti byly pozorovány i v rámci sousedních příbřežních těles (západně od Proskovic), což lze vysvětlit rozdílnou rychlostí proudění v rámci koryta. Zastoupené frakce vypovídají o širokém spektru transportních mechanismů (suspenze, saltace a trakce) klastického materiálu dnových sedimentů.

Typické je rychlejší ukládání větších zrn a snižování sklonu spádové křivky, což vede v některých případech k celkovému zjemňování fluviálních sedimentů směrem po toku (Miall 2006, Nehyba et al. 2010, Galia 2017). V zájmové oblasti byl tento trend částečně pozorován, kdy docházelo k mírnému zvyšování podílu jílovito-prachovitých frakcí po proudu směrem k Polaneckému mostu. Místy byl tento trend narušen, nejspíše v důsledku bočního přínosu materiálu přítoky nebo erozí březních povodňových sedimentů. Zde lze zmínit zejména erozi podložních štěrkopísků, které jsou obnaženy na bázi sledu povodňových hlín při nižších stavech hladiny. Na některých místech byla pozorována rychlá boční eroze, ústup a řízení nárazových břehů (Hradecký et al. 2006, Sedláček et al. 2019), přičemž část tohoto erozí uvolněného materiálu sedimentuje téměř vzápětí po proudu u meandrujících řek (Zinger et al. 2011), což může být i případ některých těles na řece Odře. Čím větší zrnitost, tím se očekává kratší délka transportu, což platí zejména pro hrubozrnné štěrkové klasty uvolněné z bazální vrstvy sledu povodňových hlín. Dokonce i sousední příbřežní tělesa proto nemusela vzniknout při stejné povodňové události. Zrnitost také závisí na donášeném materiálu. V povodí řeky Odry a jejich přítoků se nacházejí i jemně rytmické sedimenty, a proto může docházet k donáše většího množství jemnějších zrnitostních frakcí do toku a projev fluviálních procesů je ve velikosti klastů těžko identifikovatelný (Škarpich et al. 2010).

Příbřežní tělesa jsou ze své podstaty nestabilní a při opětovném zvýšení energie proudění může dojít k jejich erozi. Rychlou modifikaci prodělávají zejména tělesa blízko nad hladinou řeky Odry, zatímco tělesa ve vyšší relativní výšce nad hladinou mají tendenci být stabilnější. Klasy štěrkových velikostí jsou transportovány jen při větších povodních, při odeznívání povodně dochází k jejich depozici. Postupným narůstáním ukládání klastů v řečišti vznikají lavice či ostrovy (středové lavice), (Galia 2017). Při větším poklesu energie toku sedimentuje jemnozrnnější materiál. Toto bylo pozorováno na několika zkoumaných tělesech, kdy materiál písčitých frakcí tvoří povlaky na štěrkových akumulacích.

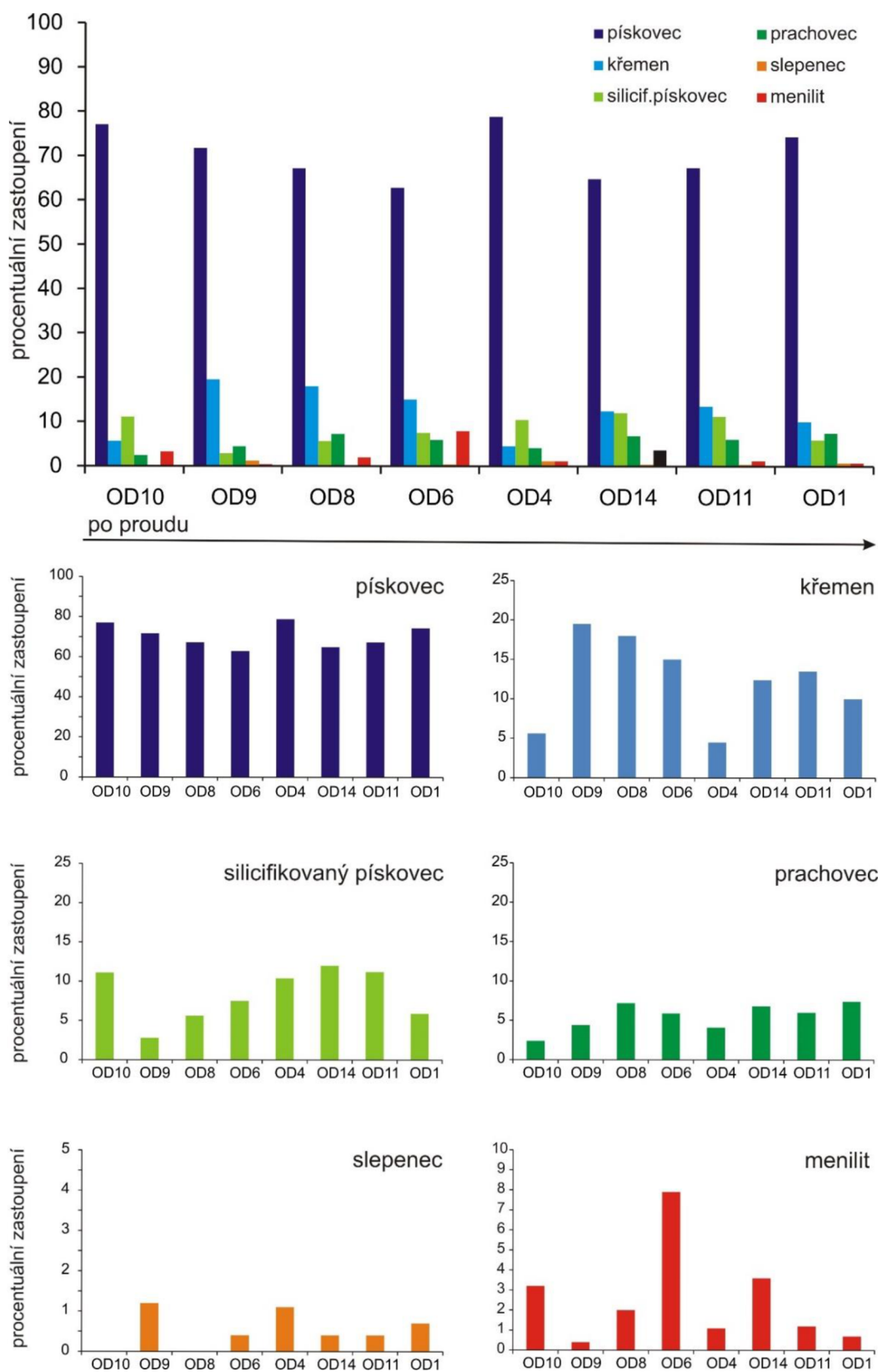
Velkou roli v míře eroze, transportu a depozice hrají antropogenní úpravy toku. Úsek řeky Odry v okolí Košatky byl napřímen a v tomto úseku nebyla pozorována žádná příbřežní tělesa. V důsledku vyšší rychlosti proudění a lokální hloubkové erozi (Sedláček et al. 2019) zde mohlo dojít k erozi dalšího materiálu a jeho sedimentaci v přirozeném úseku za soutokem s řekou Ondřejnicí.

Stabilitu korytovitých sedimentárních těles může zvýšit omezení povodňových událostí (Škarpich et al. 2016). Stabilizující efekt na tato tělesa má také vegetace, jelikož transport původně naplaveného materiálu je při přítomnosti vegetace omezen (Škarpich et al. 2016, Sedláček et al. 2019). Typické je zarůstání těles vegetací výše nad hladinou toku, jak bylo pozorováno v terénu při odběru vzorků. Díky tomu se sedimentární akumulace stává součástí břehu. Po určité době může být pokryto povodňovou hlínou nebo druhotně vytvořenou půdou. Také dřevo slouží jako významný faktor ovlivňující geomorfologii koryta. Stejně tak může ovlivnit sedimentaci materiálu neseného řekou. Na meandrujících tocích v nížinách i štěrkonosných řekách v podhorských oblastech tvoří zásadní drsnostní prvek, zapříčiňuje zpomalení rychlosti proudění. Tímto způsobem mohou vznikat středové i boční lavice. Může docházet ke zintenzivnění březní eroze a avulzi koryta (Miřijovský et al. 2015, Sedláček et al. 2019). Podstatnou roli hraje i velikost říčního dřeva. Ve studovaném území bylo v korytě pozorováno několik akumulací dřeva a někdy i celých kmenů stromů, jež způsobovaly změny v proudění.

10.2 Petrografická variabilita ve složení příbřežních těles

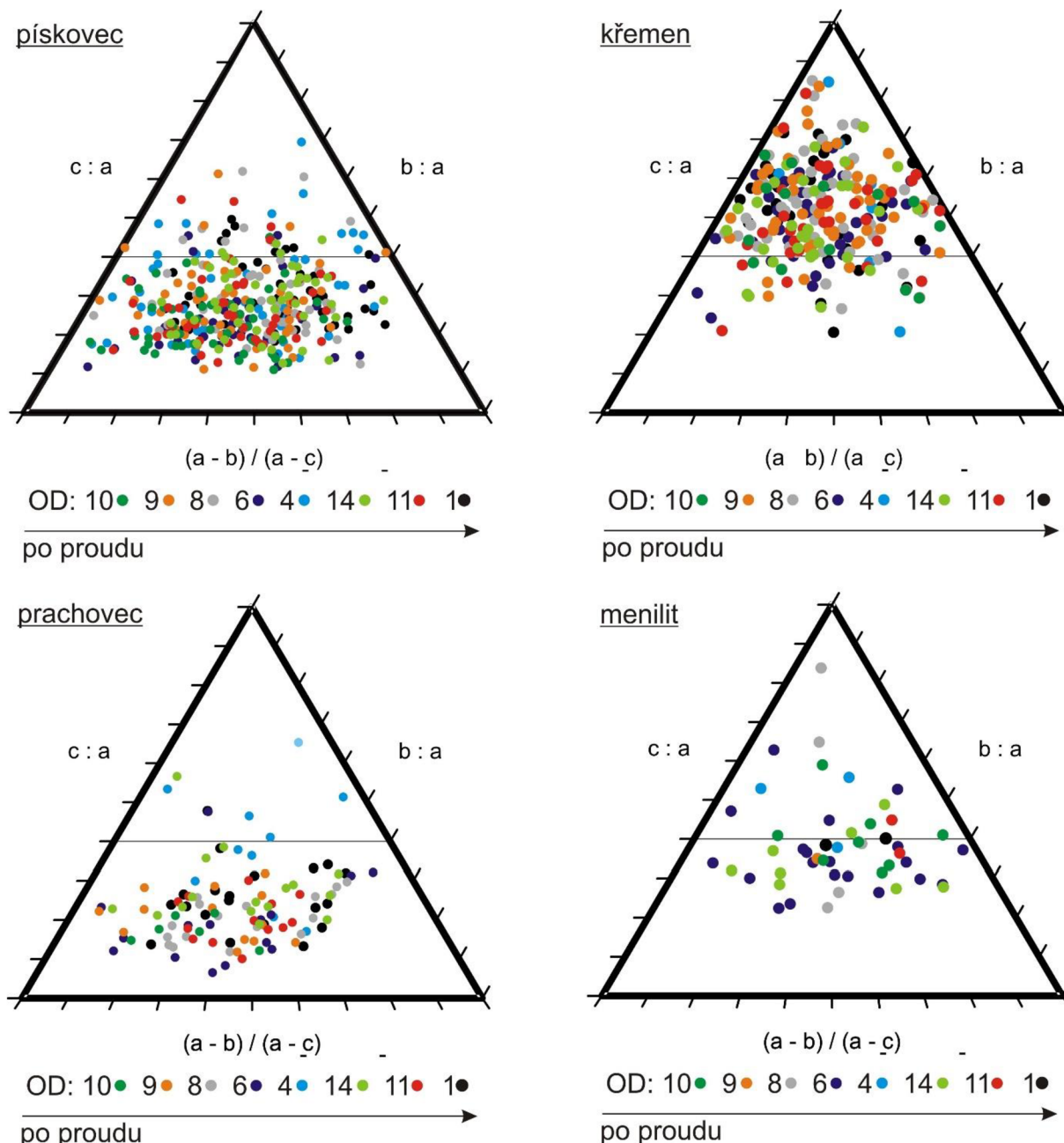
Výsledné složení příbřežních těles závisí na mnoha proměnných, zejména závisí na zdrojové oblasti (geologická stavba) a transportních procesech, které ovlivňují zrnitostní charakteristiku, tvar a opracování klastů. Proto byla zkoumána poproudová variabilita ve složení jednotlivých těles. Zřetelné trendy byly nalezeny v petrografickém složení valounů,

jak je znázorněno pro hlavní petrografické skupiny na obr. 87. Směrem po proudu ubývá valounů pískovce, a to od vzorku OD 10 po OD 6, což může být dáno rostoucí vzdáleností od zdrojové oblasti, nebo naředěním valounovým materiálem jiného složení. Celkově lze tvrdit, že pokud stoupá podíl valounů pískovce, klesá podíl valounů křemene, a naopak. To je dobře patrné na soutokovém tělese OD 4, kde je velmi vysoký podíl valounů pískovce na úkor křemene. Zajímavý je pozvolný nárůst podílů valounů silicifikovaného pískovce po proudu, což může být důsledkem přínosu tohoto typu horniny z více zdrojů. Podíly valounů prachovce a slepence nevykazují výrazné poproudové trendy, kromě mírného nárůstu valounů prachovce od vzorku OD 10 k OD 8, a poté mírnému poklesu k vzorku OD 4. Zajímavý je zvýšený podíl valounů menilitu ve vzorku OD 6, kdy jsou jeho podíly vyšší oproti ostatním tělesům třikrát.



Obr. 87: Graf valounové analýzy po proudu

Tvar klastů je ovlivněn typem a délkou transportu, stejně jako jejich složením, stupněm odolnosti, strukturou a texturou (Bezvodová et al. 1985, Benn a Evans 2004). Materiál transportovaný z větších vzdáleností má tendenci vykazovat sférické tvary a nižší rozptyl naměřených hodnot (Benn a Ballantyne 1994). Tvar klastů je také funkcí délky transportu, tedy valouny stejného petrografického typu mohou vykazovat různé tvary pro různě dlouhý transport. Za povšimnutí stojí tvary valounů křemene vykazující dva shluky (např. obr. 38 a 51), což indikuje různý původ. Vzhledem k velké odolnosti křemene shluk vykazující více sférické tvary mohl prodělat vícecyklový transport a může být odvozen i z podložních bazálních štěrků, zatímco plošší tvary s lehce zkrácenou c-osou mohly být odvozeny přímo z povodí. Široké rozpětí tvarů valounů pískovce, které můžeme vidět na obr. 88 je pravděpodobně dáno zastoupením různých typů pískovců s různými vlastnostmi a částečně také různou proveniencí. Větší disperze hodnot značí krátký transport. Většina valounů pískovců inklinuje od diskovitých po tyčovité tvary, což je dáno jejich petrologickými vlastnostmi, zejména vrstevnatostí. Tento trend je patrný také u prachovců, i když většina valounů spadá pod spodní část TRI-PLOT diagramu, více blokové tvary, nad linií C40, lze nalézt na odběrovém místě OD 4. To indikuje, že prachovce mají podobné vlastnosti a také zdrojovou oblast. Více sférické tvary mohou vznikat u pískovců bez patrné vrstevnatosti. Tvary silicifikovaných pískovců se liší vyšším množstvím blokových klastů, což může být dáno jejich vyšší odolností.



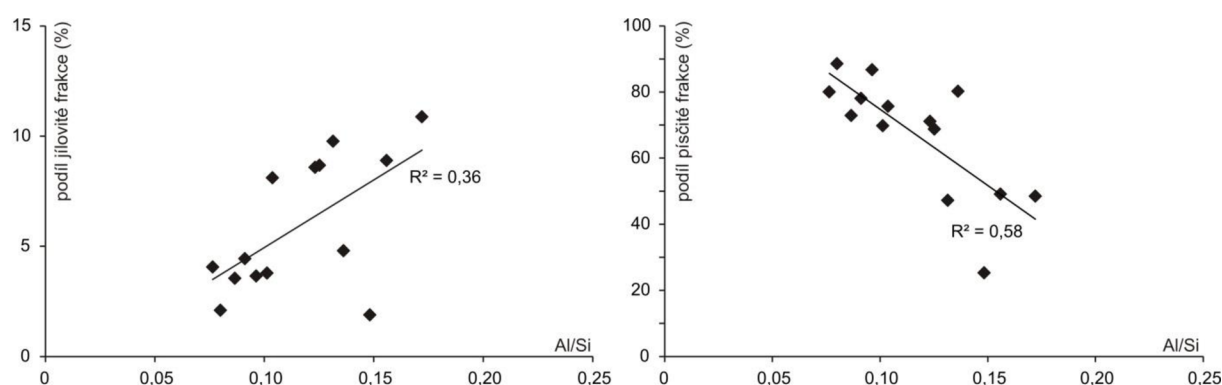
Obr. 88: TRI-PLOT diagramy pro jednotlivé petrologické skupiny po proudu

Hodnoty magnetické susceptibilitě slouží jako proxy relativního přínosu paramagnetických, ferrimagnetických a antiferomagnetických minerálů. Variace MS jsou odrazem podílu organické hmoty, mineralogického složení a provenience, zrnitosti (Smol 2008) a v některých případech také antropogenního příspěvku (Faměra et al. 2013). Hodnoty MS jsou citlivé na obsah a tvar zrn magnetických minerálů (Bábek 2013), ale ten je vzhledem k charakteru povodí nízký. To dokládají i výsledky ze studia těžkých minerálů, jež vesměs obsahovaly velmi malý podíl magnetické frakce. Ve studovaných vzorcích jsou hodnoty MS převážně funkcí zrnitosti, jak ukazuje pozitivní korelace s podílem jemnozrnných frakcí.

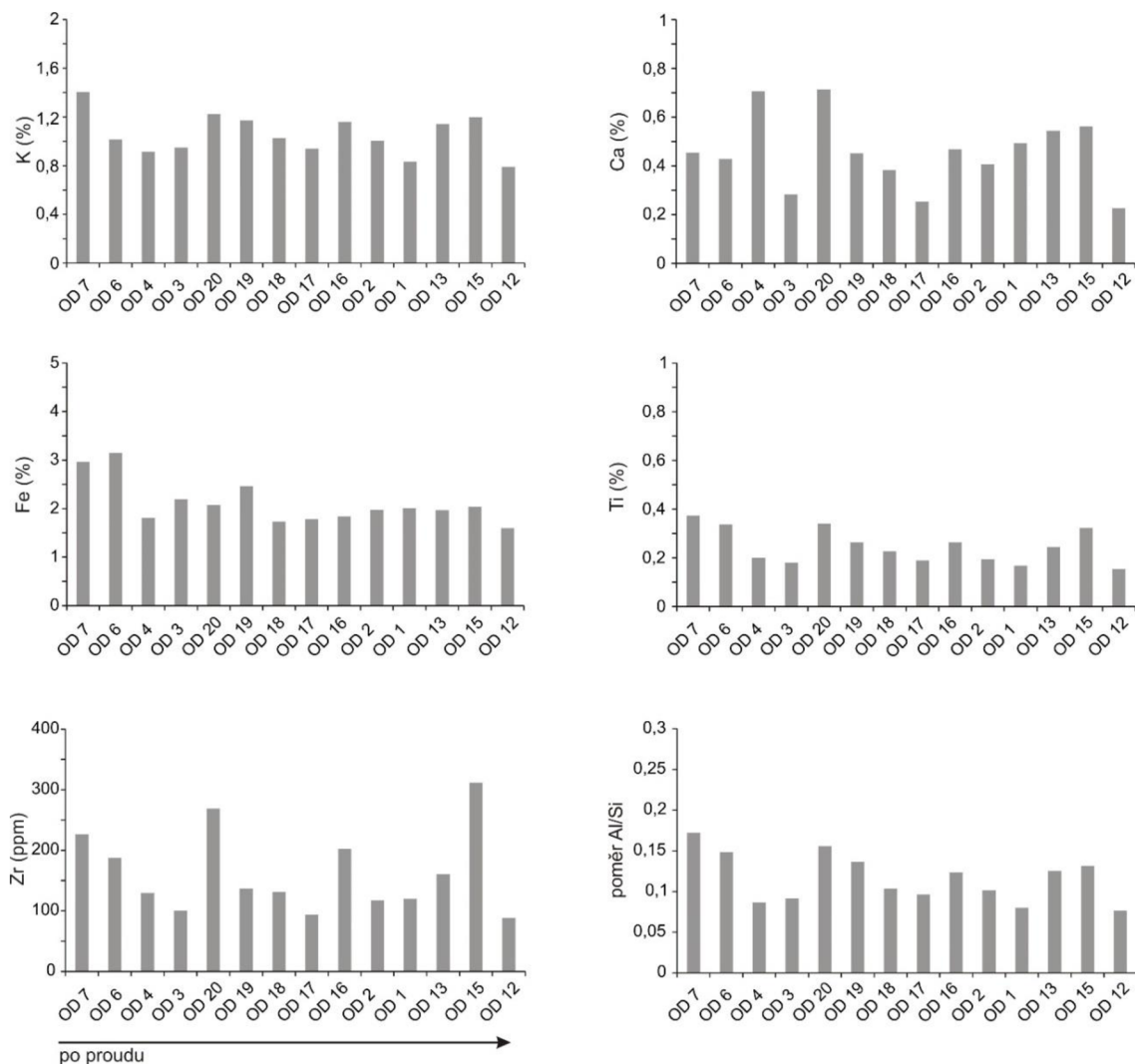
Naopak hrubozrnné facie vykazují nižší hodnoty MS kvůli vyššímu podílu diamagnetického křemene.

10.3 Geochemie a řídicí faktory

Variabilita geochemického složení odráží zrnitost sedimentů a geologickou stavbu zdrojové oblasti. Ve zkoumaných vzorcích se Si koncentruje v hrubozrnných a písčítých vrstvách, zatímco vyšší obsahy Al, K, Ti a Rb jsou typické pro jemnozrnné facie přibřežních těles. Také byla ověřena použitelnost poměru Al/Si na zrnitosti, jak ilustrují bivariantní grafy na obr. 89, ukazující pozitivní korelaci poměru Al/Si s podílem jílové frakce a negativní korelaci s podílem písčité frakce. Oba bivariantní grafy ukazují dva shluky, první shluk vykazuje nízké podíly jílové frakce při nízkém poměru Al/Si a druhý vyšší podíly při vyšších hodnotách poměru Al/Si. Podobně byl nalezen první shluk mající nižší podíly písčité frakce a vyšší poměr Al/Si a druhý shluk mající vyšší podíly písčité frakce a nižší hodnoty poměru Al/Si. Vyšší podíly hrubozrnného písku se také odráží v nižších koncentracích Al, K, Ca, Ti a vyšších koncentracích Si. Srovnání proproudové variability pro vybrané prvky ukazuje na zřetelné změny (obr. 90), které souvisí se zrnitostí jednotlivých těles, a také se změnami v provenienci. Fe vykazuje vyšší hodnoty u vzorků OD 6 a OD 7, a poté po proudu skokově klesá. Zajímavé trendy lze pozorovat po proudu v koncentracích Zr a Ti, kdy dochází k jejich postupnému poklesu od vzorku OD 7 po vzorek OD 3, což lze vysvětlit rostoucí vzdáleností od zdroje protolitu bohatého na tyto prvky.



Obr. 89: Bivariantní grafy ukazující korelaci podílu jílové (vlevo) a písčité frakce (vpravo) ku poměru Al/Si.

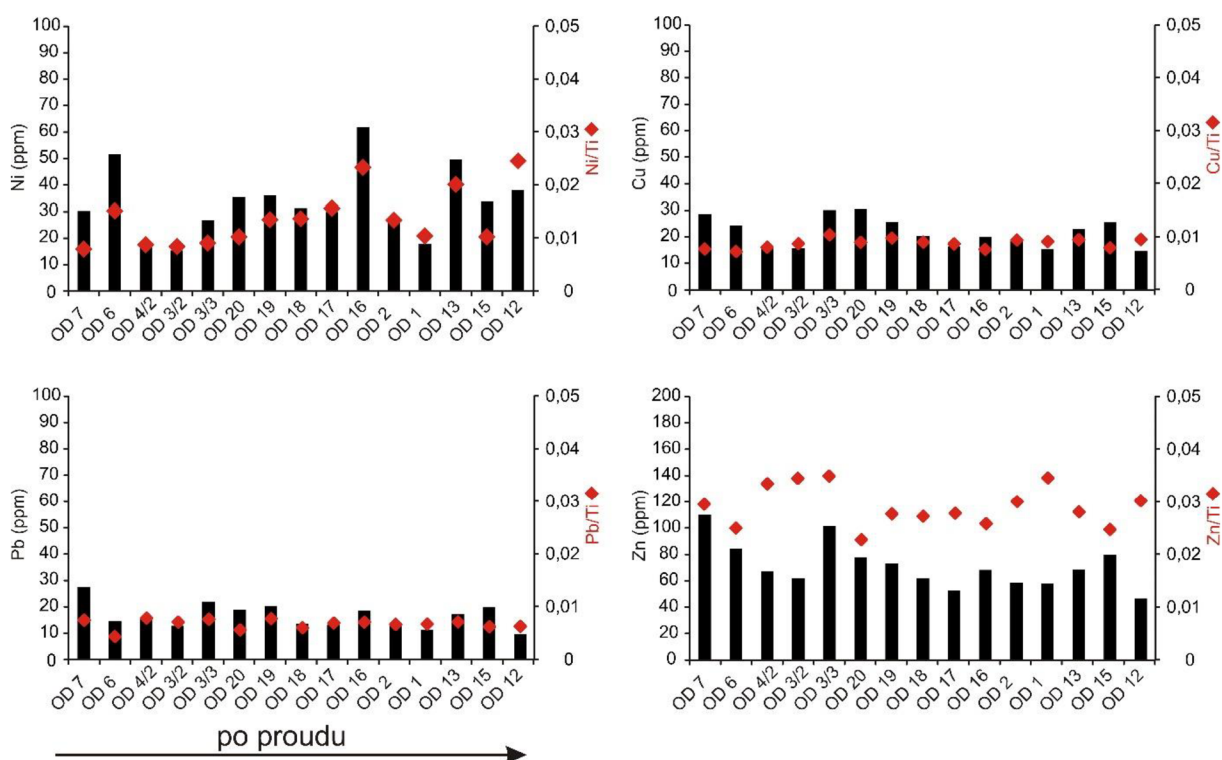


Obr. 90: Variabilita vybraných prvků v sedimentárních tělesech ve směru toku řeky Odry

Obsahy těžkých kovů jsou na úrovni litogenního pozadí a jsou vázány na jemnozrnné sedimenty, jak dokládá pozitivní korelace s K, Rb a poměrem Al/Si. Nízké koncentrace těžkých kovů bez velkých výkyvů ve směru toku řeky Odry jsou typické pro Cu a Pb. Vyšší rozptyl hodnot byl nalezen u Ni a zejména u Zn (obr. 91), ovšem i koncentrace těchto dvou prvků jsou řízeny litogenně i možnými změnami v provenienci.

Všechny hodnoty těžkých kovů jsou pod limitem pro zemědělské půdy (vyhláška č. 257/2009 Sb.), jenž činí 80 ppm pro Ni, 100 ppm pro Cu a Pb a 300 ppm pro Zn. Ve zkoumané oblasti bylo provedeno několik výzkumů, ve kterých byly zjišťovány koncentrace

těžkých kovů. Koncentrace těžkých kovů z nárazových břehů v okolí Proskovic byly na podobné úrovni. Svrchní části profilů vykazovaly max. hodnoty 50 ppm pro Pb, 70 ppm pro Cu a 150 ppm pro Zn a odrážely kontaminaci z konce 20. století (Janičková 2019). Podobné závěry byly vyvozeny z nivních sedimentů taktéž z okolí Proskovic (Zimová 2018). Nízké hodnoty těžkých kovů v současných příbřežních tělesech řeky Odry mohou být dány absencí výrazného zdroje kontaminace a také charakterem korytovitých sedimentů a v důsledku naředění koncentrací. Dle Faměry (2013) je významná část říční kontaminace ukládána právě v příbřežních sedimentárních tělesech a není vázána pouze na jemnozrnné facie, ale část kontaminace je obsažena v písčítých vrstvách.



Obr. 91: Koncentrace těžkých kovů po proudu

10.4 Provenience

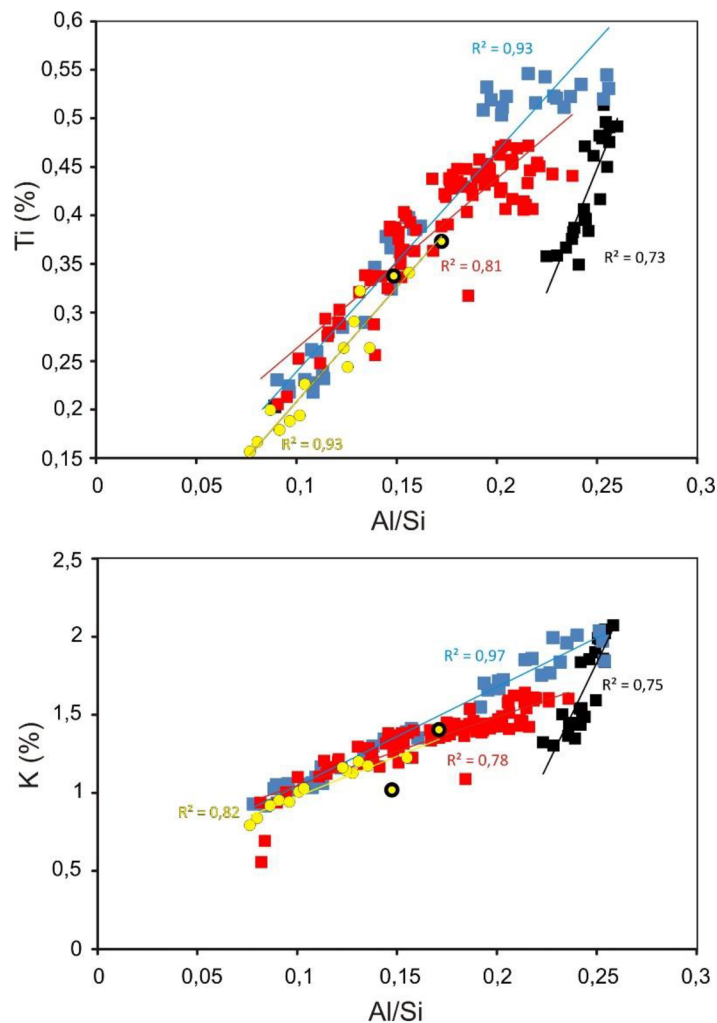
Zjištěná variabilita příbřežních těles poukazuje na provenienční změny směrem po proudu. K tomuto účelu lze využít prvkové poměry (Bábek et al. 2015, Nováková et al. 2015, Sedláček et al. 2019, Janičková 2019). V této práci byly použity prvkové poměry Ti ku Al/Si a K ku Al/Si. Stejně prvkové poměry byly použity pro sedimenty mrtvých ramen (Sedláček et al. 2019) a nárazových břehů (Janičková 2019) ze stejné oblasti. Výsledky bivariantních grafů vykazují na shodnou signaturu s dřívějšími daty (obr. 92) a ukazují na dominantní přínos

sedimentu z flyšového pásma. Některé vzorky (OD 6 a OD 7) se liší od ostatních, pravděpodobně kvůli přínosu většího množství materiálu z Nízkého Jeseníku. Z grafů je dále patrné, že studované vzorky se liší od sedimentů mrtvých ramen a povodňových hlín nižším poměrem Al/Si a nižšími obsahy K a Ti, což může být dáno hrubozrnnějším charakterem korytovitých sedimentů. Poměr Al/Si je také dobrým nástrojem pro rozlišení hlavních provenienčních oblastí. Materiál odvozený z Nízkého Jeseníku vykazuje vyšší hodnoty poměru Al/Si kvůli vyšším obsahům Al^2O^3 (Kumpera a Martinec 1995). Část materiálu může být odvozena ze samotných nárazových břehů. O tom svědčí i výsledky tvaru klastů, zejména křemene. Ten vykazuje dva shluky, přičemž klasty, jež prodělaly vícecyklový transport, mohou být odvozeny ze štěrkových teras řeky Odry, které jsou patrné na bázi nárazových břehů. Nedávné výzkumy poukazují na přínos velkého množství materiálu ze Západních Karpat, což se projevilo ve valounových analýzách. Tento materiál je přinášén přítoky řeky Odry, zejména řekami Sedlnice, Lubina a Ondřejnice. Vliv přínosu materiálu přítoky lze demonstrovat na odběrovém místě OD 4, které se nachází na soutokovém tělese řeky Odry s Ondřejnicí. Zde se mění litologické složení v důsledku přínosu velkého množství materiálu tímto přítokem, což se týká zejména pískovců. Avšak dále po proudu dochází k naředění materiálem z jiných oblastí. Pískovce (vápnité) mohou pocházet z hradištských vrstev těšínsko hradištského souvrství. Menility můžeme přiřadit k menilitovému souvrství. Druhá zdrojová oblast se nachází v Nízkém Jeseníku (Hradecký et al. 2016, Sedláček et al. 2019), v horninách nízkojesenického kulmu (droby, slepence, prachovce). Lze uvažovat, že relativní zastoupení komponent ze dvou hlavních zdrojových oblastí se může měnit podle aktuální situace v jednotlivých povodích (srážky, odlesňování, změny ve využití krajiny). Dalším vhodným provenienčním nástrojem je studium těžkých minerálů. Jak je patrné z výsledků, asociace těžkých minerálů u vzorků OD 6 a 7 se od zbytku poněkud liší.

U vzorku OD 6 je v porovnání s ostatními vzorky menší množství oxyhydroxidů Fe a převažujícím minerálem je zde amfibol. Současně je zde i vyšší podíl granátu, staurolitu a topazu v porovnání s ostatními vzorky. Toto naznačuje pravděpodobný přínos granátu, staurolitu, topazu a amfibolu z povodí řek Sedlnice a Jičínky. Byl zde naopak nalezen nejnižší obsah epidotu a apatitu, což značí zdrojovou oblast Nízký Jeseník (Hartley a Otava 2001).

Přítomnost zirkonu ve vzorcích OD 1 OD 2 a OD 3a, a naopak nepřítomnost ve vzorcích OD 4 OD 6 a OD 7 naznačuje, že by se mohlo jednat o přínos materiálu z řeky Ondřejnice. U zirkonu byla rovněž viditelně menší velikost zrn oproti ostatním zrnům. Mohlo tedy dojít ke špatné vytríděnosti na sadě sít a díky tomuto jevu došlo k zachycení zrn zirkonu ve frakci 250-500 μm .

Vápnité pískovce odpovídají hradištským vrstvám těšínsko hradištského souvrství. Rohovce můžeme přiřadit k menilitovému souvrství, kde se může vyskytovat zvýšený obsah síry. Pískovce, až slepencové pískovce, odpovídají Istebňanským vrstvám s minerálním složením zirkon, apatit, granáty, chlorit. Minerální zastoupení staurolit, granát, apatit, Fe minerály odpovídá godulskému souvrství, konkrétněji pestrým vrstvám či spodnímu oddílu. Složení epidot granát, zirkon a apatit se vyskytuje v horninách kulmu Nízkého Jeseníku, což odpovídá této zdrojové oblasti (Adamová 1986, Hartley a Otava 2001).



Obr. 92: Bivariantní diagramy ukazující korelaci Ti ku poměru Al/Si a K ku poměru Al/Si. Data z této práce jsou žlutá kolečka, vzorky před soutokem s řekou Ondřejnicí jsou tučná žlutá kolečka (OD 6 a OD 7). Černé čtverce jsou data z mrtvých ramen před soutokem řeky Odry s řekami Ondřejnice a Lubina a modré čtverce data za soutokem (Sedláček et al. 2019). Červené čtverce jsou data z nárazových břehů řeky Odry z okolí Proskovic (Janičková 2019).

11 Závěr

Výsledky v této práci potvrdily, že příbřežní sedimentární tělesa mohou sloužit jako cenný archiv, ve kterém je zaznamenána variabilita říčních podmínek a změny ve zdrojových oblastech. Většina těchto těles byla identifikována a vzorkována v přirozeném úseku toku řeky Odry východně od Proskovic, zatímco regulované koryto u obce Košatka bylo charakteristické nedostatkem těchto těles. Absence sedimentačních pastí v tomto úseku může přispívat, spolu s masivním přínosem sedimentů přítoky, k akumulaci většího množství sedimentárních těles v neregulovaném úseku pro proud. Mezi hlavní řídicí faktory patří typ a zrnitost přinášeného materiálu a vlastnosti samotného toku řeky Odry (spád, geometrie toku a průtok). Říční dřevina hraje významnou roli v modelaci koryta, kdy může způsobovat zrychlenou erozi koryta, nebo naopak podpořit vznik příbřežního tělesa či vznik středové lavice.

Antropogenní příspěvek nebylo prokázáno a koncentrace těžkých kovů byly na nízké úrovni, odrážející spíše litogenní pozadí. V sedimentech byly rozlišeny dvě hlavní zdrojové oblasti, a to Nízký Jeseník a vnější Západní Karpaty. Část materiálu byla také odvozena z nárazových břehů v důsledku erozních fluvialních procesů, které se v tomto úseku toku řeky Odry vyznačují velkou intenzitou. Většina hrubozrnného materiálu je přinášena z přílehlého povodí řek Ondřejnice a Lubiny, což prokázalo, že přítoky hrají velkou roli ve vývoji fluvialního stylu řeky Odry. K provenienčním úvahám se osvědčila kombinace valounových analýz, analýz těžkých minerálů a použití prvkových poměrů. Variabilita a změny v petrografickém složení sedimentů příbřežních těles byly dobře patrné z valounové analýzy.

Analýza těžkých minerálů a prvková geochemie jsou vhodné pro písčité a jemnozrnné facie. Pozvolný nárůst některých typů hornin, např. silicifikovaného pískovce, může značit kumulaci materiálu z více zdrojových oblastí nebo dílčích povodí. Analýza tvaru klastů je zase vhodným nástrojem k určení délky a způsobu transportu. Celkově se kombinace sedimentologických, petrofyzikálních a geochemických metod osvědčila pro studium variability příbřežních těles. To vede ke zpřesnění interpretace výsledků v takto proměnlivém prostředí, jako je tento typ říčních sedimentů.

12 Použitá literatura a internetové zdroje

Adamová M. (1986): Geochemické zhodnocení sedimentů slezské jednotky. – Sborník geologických věd, Geologie, 41, 167–245.

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky (2013): Rozbory Chráněné krajinné oblasti Poodří. 243 s.

Alvarez-Iglesias P., Quintana B., Rubio B., Pérez-Arlucea M. (2007): Sedimentation rates and trace metal input history in intertidal sediments from San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain) derived from ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs chronology. J. Environ. Radioact. 98, 229–250.

Bábek O. (2013): Moderní metody stratigrafické analýzy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. Studijní texty.

Bábek O., Grygar T., Faměra M., Hron K., Nováková T., Sedláček J. (2015): Geochemical background in polluted river sediments: how to separate the effects of sediment provenance and grain size with statistical rigour? Catena 135, 240–253.

Bábek O., Sedláček J., Novák, A., Létal A. (2018): Electrical resistivity imaging of anastomosing river subsurface stratigraphy and possible controls of fluvial style change in a graben-like basin, Czech Republic. Geomorphology, 317, 139–156.

Balatka B., (2006): Zeměpisný lexikon ČR. Vyd. 2. Editor J. Demek, editor P. Mackovčín. Brno. AOPK ČR, 580 s.

Benn D. I., Ballantyne C. K. (1994): Reconstructing the transport history of glacial sediments: a new approach based on the co-variance of clast shape indices. – Sedimentary Geology, 91, 215–227.

Bezdovová B., Demek J., Zeman A. (1985): Metody kvartérně geologického a geomorfologického výzkumu. – 1–121, SPN, Praha.

Bína J a Demek J. (2012): Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky, Praha: Academia ISBN 978-80-200-2026-0.

Brázdil R., Dobrovolný P., Elleder L., Kakos V., Kotyza O., Květon V., Macková J., Müller M., Štekl J., Tolasz R., Valášek H. (2005): Historické a současné povodně v České republice, Masyrykova univerzita /Český hydrometeorologický ústav, Brno /Praha, 369 s.

Bridgland D.R. ed. (1986): Clast lithological analysis. In QRA – Technical guide 3. – 1–207, Cambridge.

Brosch O. (2005): *Povodí Odry*. Povodí Odry s.p. Ostrava, Ostrava, 323 s. ISBN 80-7342-048-1

Czudek T. (2005): *Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru*. Brno: Moravské zemské muzeum, 238 s. ISBN 8070282703.

Czudek T., Dvořák J. (1989): Vznik morfostruktury Moravské brány. Sborník ČSGS, 94, 4, Praha, s. 241–248

David J. A. Evans Douglas I. Benn (2004): A Practical Guide to the Study of Glacial Sediments. London: Arnold. 266 s. ISBN 0340759593.

Demek J. (1965): Geomorfologie českých zemí. Vyd.1. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd. 335 s.

Faměra M., Bábek O., Matys Grygar T., Nováková T. (2013): Distribution of heavy-metal contamination in regulated river-channel deposits: a magnetic susceptibility and grain-size approach; River Morava, Czech Republic. *Water Air Soil Pollut* 224:1525

Galia T. (2017): Fluviální geomorfologie. Ostrava: Ostravská univerzita, ISBN 978-80-7464-901-1.

Graham J. D., Midgley, N.G. (2002): Technical communication: graphical representation of particle shape using triangular diagrams : an excel spreadsheet Metod. – *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 1473–1477.

Grygar T. M., Světlík I., Lisá L., Koptíková L., Bajer A., Wray D. S., Ettler V., Mihaljevič M., Nováková T., Koubová M., Novák J., Máčka Z., Smetana M. (2010): Geochemical tools for the stratigraphic correlation of floodplain deposits of the Morava River in Strážnické Pomoraví, Czech Republic from the last millennium. *Catena*, 80, 106–121.

Grygar T. M., Sedláček J., Bábek O., Nováková T., Strnad L., Mihaljevič M (2011): Regional Contamination of Moravia (South-Eastern Czech Republic): Temporal Shift of Pb and Zn Loading in Fluvial Sediments, *Water, Air and Soil Pollution* 223: 739–753

Hartley A. J., Otava J. (2001): Sediment provenance and **dispersal** in a deep marine foreland basin: the Lower Carboniferous Culm Basin, Czech Republic.

Hradecký J., Dušek R., Velešík M., Chudaničová M., Škarpich V., Jarošek R., Lipina J. (2016): Poodří – Landscape of Ponds and a Preserved Meander Belt of the Odra River. – In: Pánek T., Hradecký J. (eds): *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*. 333-346, Springer.

Chamley H. (1990): *Sedimentology*. x + 285 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona: Springer-Verlag.

Charlton R. (2008): *Fundamentals of fluvial geomorphology*. London: Routledge Taylor & Francis Group, xxiii, 234 s., ISBN 978-0-415-33454-9.

Janíčková K. (2019): *Studium sedimentů v CHKO Poodří*. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, Diplomová práce.

Kadlec J., Matys Grygar T., Světlík I., Ettler V., Mihaljevic J.F., Diehl S., Beske-Diehl S., Svitavská-Svobodová H. (2009): Morava River floodplain development during the last millenium, *Strážnické Pomoraví, Czech Republic. The Holocene* 19: 499–510.

Knápek A. (2011): Vliv lidské přítomnosti na Poodří od pravěku do vrcholného středověku. *Poodří, časopis obyvatel horní Odry* 3, 7-9.

Knighton D. (1998): *Fluvial forms and processes: a new perspective*. London: Hodder Education, xv, 383 s. ISBN (Brož.).

Kumpera O., Martinec P., (1995): The development of the Carboniferous accretionary wedge in the Moravian-Silesian Paleozoic Basin. *J. Czech Geol. Soc.* 40 (1–2), 47–64.
Leopold, L.B. and Wolman, M.G. (1957) *River Channel Patterns, Braided, Meandering and Straight*. U.S. Geol. Surv. Paper. 282-B.

Leopold L.B., Wolman M.G. (1957): *River Channel Patterns, Braided, Meandering and Straight*. U.S. Geol. Surv. Paper. 282-B.

Mackovčín a Sedláček J. (2003): Chráněná území ČR, svazek X. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 456 s.

Macoun J., Šibrava, V., Tyráček, J., Knebllová-Vodičková, V., (1965): Kvartér Ostravska a Moravské Brány. Nakladatelství ČSAV, Praha (In Czech).

Miall A. D. (1996): The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology., Berlin, Heidelberg, New York, xvi + 582 pp.

Miall, A. D. (1997): The Geology of Stratigraphic Sequences. xv + 435 pp. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong: Springer-Verlag.

Miall A. D. (2006): The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Berlin: Springer, xvi, 582 s. ISBN 3-540-59186-9.

Miřijovský J., Šulc Michalková M., Petyniak O., Máčka Z., Trizna M. (2015).

Spatiotemporal evolution of a unique preserved meandering system in Central Europe – the Morava River near Litovel. *Catena*, 127, 300–311.

Nehyba S., Hilscherová K., Jarkovský J. Dušek L., Kuchovský T., Zeman J., Klánová I., Holoubek I. (2010): Grain size, geochemistry and organic pollutants in modern fluvial deposits in eastern Moravia (Czech Republic)

Nováková T., Kotková K., Elznicová J., Strnad L., Engel Z., Matys Grygar T. (2015).

Pollutant dispersal and stability in a severely polluted floodplain: A case study in the Litavka River, Czech Republic. *Journal of Geochemical Exploration*, 156, 131–144.

Nývlt D., Engel Z., Tyráček J. (2011): Pleistocene glaciations of Czechia. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L., Hughes, P.D. (Eds.), Quaternary Glaciations—Extent and Chronology, A Closer Look. *Developments in Quaternary Science* vol. 15, pp. 37–46. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00004-0>

Pánek T., Smolková V., Hradecký J., Sedláček J., Zernitskaya V., Kadlec J., Pazdur A., Řehánek T. (2013). Late-Holocene evolution of a floodplain impounded by the Smrduta landslide, Carpathian Mountains (Czech Republic). *The Holocene*, 23 (2), 218–229.

Pánek T. a Hradecký J. (2016): ed. Landscapes and landforms of the Czech Republic. [Cham]: Springer, xv, 422 s. World geomorphological landscapes. ISBN 978-3-319-27536-9.

Pánek T., Tábořík P., Klimeš J., Komárková V., Hradecký J., Šťastný, M. (2011):

Deep-seated gravitational slope deformations in the highest parts of the Czech Flysch Carpathians: evolutionary model based on kinematic analysis, electrical imaging and trenching. *Geomorphology* 129, 92-112.

Růžička M., (2004): The Pleistocene glaciation of Czechia. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L. (Eds.), *Quaternary Glaciations—Extent and Chronology. Part I: Europe. Developments in Quaternary Science. vol. 2.* Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 27-34.

Růžičková E., Růžička M., Zeman A. a Kadlec J. (2003): Kvarterní klastické sedimenty České republiky: struktury a textury hlavních genetických typů. Praha: Česká geologická služba, 68 s.

Smith ND., (1974): Sedimentology and Bar Formation in the Upper Kicking Horse River, a Braided Outwash Stream. *The Journal of Geology* 82 (2).

Sedláček J., Bábek O., Kielar O., (2016): Sediment accumulation rates and high-resolution stratigraphy of recent fluvial suspension deposits in various fluvial settings, Morava River catchment area, Czech Republic. – *Geomorphology*, 254, 73–87.

Sedláček J., Bábek O., Nováková T. (2017): Sedimentary record and anthropogenic pollution of a complex, multiple source fed dam reservoirs: An example from the Nové Mlýny reservoir, Czech Republic. *Science of the Total Environment* 574: 1456–1471.

Sedláček J., Kapustová V., Šimíček D., Bábek O., Sekanina M. (2019): Initial stages and evolution of recently abandoned meanders revealed by multi-proxy methods in the Odra River (Czech Republic). *Geomorphology* 333: 16–29.

Sedláček J., Tolaszová J., Kříženecká S., Bábek O., Zimová K. (2020). Regional Contamination History Revealed in Coal-Mining-Impacted Oxbow Lake Sediments. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 208.

Smol J.P. (2008): *Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective*, 2nd Edition, Wiley-Blackwell, London.

Sneed E.D., Folk R. L. (1958): Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis. – *Journal of Geology*, 66, 2, 114–150.

Stacke V., Pánek T., Sedláček J. (2014): Late Holocene evolution of the Bečva River floodplain (Outer Western Carpathians, Czech Republic). *Geomorphology* 206, 440–451.

Sovíková L. (2011): 20 let Chráněné krajinné oblasti Poodří

Škarpich V., Galia T., Hradecký J., Peč J. (2010): Identifikace (dis)konektivit vodních toků za využití makrogranulometrické analýzy korytovitých sedimentů (Moravskoslezské Beskydy). *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku* 17, 1–2.

Škarpich V., Galia T., (2014): Projevy zdrojových oblastí sedimentů v zrnitostním složení korytovitých akumulací vodních toků v reliéfu budovaném flyšovými horninami. *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*

Škarpich V., Kašpárek Z., Galia T., Hradecký J. (2016): Antropogenní impakt a jeho odezva v morfologii koryt beskydských šterkonosných toků: příkladová studie řeky Ostravice, Česko. *Geografie*, 121, 1, 99–120.

Tyráček J. (2011): Continental glaciation of the Moravian Gate (Czech Republic). *J. Geol. Sci. Anthropozoic* 27, 39–50.

Tyráček J., Havlíček P. (2009): The fluvial record in the Czech Republic: a review in the context of IGCP 518. - *Global Planet. Change* 68, 4, 311-325. Van Rompaey, A., Krása, J., Dostal, T., Govers, G., 2003. Modelling sediment supply to rivers and reservoirs in Eastern Europe during and after the collectivisation period. *Hydrobiologia* 494, 169–176.

Van Rompaey A., Krása J., Dostal T. et al. (2003): Modelling sediment supply to rivers and reservoirs in Eastern Europe during and after the collectivisation period. *Hydrobiologia* 494, 169–176

Vianello D'Agostino, 2007 in Galia T., Hradecký J. (2011): Bedload transport and morphological effects of high-magnitude floods in small headwater streams—Moravskoslezské Beskydy Mts. (Czech Republic)

Yu G., Wang Z., Zhang K., Chang T., Liu H. (2009): Effect of incoming sediment on the transport rate of bed load in mountain streams. *Int. J. Sediment Res.*, 24, 260–273.

Zimová K. (2018): Vnitřní stavba nivy řeky Odry na lokalitě Proskovice a magnetická susceptibilita jako proxy znečištění. Olomouc. Univerzita Palackého v Olomouci, Bakalářská práce.

Zinger J.A., Rhoads B.L., Best J.L. (2011): Extreme sediment pulses generated by bend cutoffs along a large meandering river. *Nature Geoscience* 4, 675–678.

Internetové zdroje:

www1. ČÚZK. Nahlížení do katastru nemovitostí. Odry. Dostupné z: <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarExtent=-990320.44597457629%20-1239836%20-346646.55402542371%20-923033&MarWindowName=Marushka&fbclid=IwAR2Vt5RHVPRrQYHGRP6SiT7wk3GYtE5NqHqcw31hnGbKpfFZxPhV0RB8gnE> (cit. 19. 5. 2021).

www2. Česká geologická služba. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/> (cit. 19. 5. 2021).

www3: ČÚZK. Geoportál. Analýzy výškoměru. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av> (cit. 19. 5. 2021).

13 Přílohy

Příloha 1

Popis lokalit

- OD 1 – Rozměry 4×1m. Příbřežní těleso oválného tvaru, částečně zarostlé vegetací. Převažoval zde štěrk. Směrem k okraji byla přítomná i písčítá frakce.
- OD 2 – Rozměry 3×0,7 m. Příbřežní těleso oválného tvaru. Převažovala zde štěrková frakce, místy i přítomnost písčité frakce.
- OD 3 – Příbřežní těleso oválného tvaru tvořené štěrkovou frakcí. Z části pokryté vegetací.
- OD 4 – Soutokové těleso nepravidelného tvaru tvořené štěrkovou frakcí i písčitou frakcí. Z části pokryté vegetací
- OD 6 – Rozměry 4×1,5 m, Příbřežní těleso čokovitého tvaru. Poměrně zarostlé vegetací pokryté štěrkovou frakcí. K okraji tělesa písčítá frakce.
- OD 7 – Příbřežní těleso oválného tvaru s rozměry 3×0,8 m tvořený písčitou frakcí. Vegetace pouze v okrajových částech tělesa.
- OD 8 – Rozměry 1,3×0,6 m. Příbřežní těleso oválného tvaru tvořené štěrkovou frakcí. Část tělesa byla pod vodní hladinou.
- OD 9 – Rozměry 2,2×1,2 m Příbřežní těleso oválného tvaru tvořené štěrkovou frakcí. Část tělesa byla pokryta spadlým stromem.
- OD 10 – Příbřežní těleso oválného tvaru tvořené štěrkovou frakcí s rozměry 2,3×0,8 m. Velká část tělesa byla zatravněná. Část tělesa byla pod vodní hladinou.
- OD 11 – Příbřežní těleso o rozměru 3x 1,2 m tvořené štěrkovou frakcí
- OD 12 – Příbřežní těleso oválného tvaru tvořené písčitou frakcí o rozměrech 3,2×0,9 m.
- OD 13 – Příbřežní těleso o velikosti 3×1,2 m tvořené výhradně písčitou frakcí.
- OD 14 – Příbřežní těleso tvořené štěrkovou frakcí, rozměr 2×0,8 m.
- OD 15 – Příbřežní těleso tvořené výhradně písčitou frakcí o rozměrech 3,8×2,3m. Viditelné čeřiny.

- OD 16 – Drobné příbřežní těleso čočkovitého tvaru tvořené výhradně písčitou frakcí. Rozměry 1,5×0,4 m.
- OD 17 – Velký výrazně vyvýšený ostrůvek (středová lavice) porostlý vegetací o rozměrech 5×2,2 m, jehož součástí je patrně nověji vytvořené těleso bez vegetace. Vzorek byl odebrán v místech s písčitou frakcí a místy byl přítomen i štěrk.
- OD 18 – Příbřežní těleso (vrcholová lavice) o velikosti 4×2,5 m. Tvořená štěrkem ke kraji tělesa se vyskytovala i písčité frakce. Částečně porostlá vegetací. Viditelné čeřiny.
- OD 19 – Menší příbřežní těleso oválného tvaru o rozměrech. Přisun materiálu pravděpodobný z vedlejšího nárazového břehu. Tvořené téměř výhradně písčitou frakcí, nahodile se vyskytoval v menší míře i štěrk.
- OD 20 – Příbřežní těleso nepravidelného tvaru tvořené zřícením nárazového břehu o rozměrech 4,3×1,4 m. Většina je tvořena písčitou frakcí, místy bylo těleso pokryto i štěrkem bez náznaku imbrikace.

Příloha 2

GPS souřadnice

OD 1

N 49°46.27268', E 18°11.45768'
49°46'16.361"N, 18°11'27.461"E

OD 2

N 49°46.27497', E 18°11.49117'
49°46'16.498"N, 18°11'29.470"E

OD 3

N 49°46.02967', E 18°11.40845'
49°46'1.780"N, 18°11'24.507"E

OD 4

N 49°46.00932', E 18°11.40973'
49°46'0.559"N, 18°11'24.584"E

OD 6

N 49°44.03740', E 18°8.84350'
49°44'2.244"N, 18°8'50.610"E

OD 7

N 49°43.96015', E 18°8.77647'
49°43'57.609"N, 18°8'46.588"E

OD 8

N 49°43.63822', E 18°8.11125'
49°43'38.293"N, 18°8'6.675"E

OD 9

N 49°43.00137', E 18°7.17527'
49°43'0.082"N, 18°7'10.516"E

OD 10

N 49°43.04618', E 18°6.96172'
49°43'2.771"N, 18°6'57.703"E

OD 11

N 49°46.03277', E 18°11.41247'
49°46'1.966"N, 18°11'24.748"E

OD 12

N 49°46.45642', E 18°11.56663'
49°46'27.385"N, 18°11'33.998"E

OD 13

N 49°46.36545', E 18°11.39878'
49°46'21.927"N, 18°11'23.927"E

OD 14

N 49°45.73557', E 18°11.53607'
49°45'44.134"N, 18°11'32.164"E

OD 15

N 49°46.38055', E 18°11.42510'
49°46'22.833"N, 18°11'25.506"E

OD 16

N 49°46.10583', E 18°11.54837'
49°46'6.350"N, 18°11'32.902"E

OD 17

N 49°46.15222', E 18°11.52915'
49°46'9.133"N, 18°11'31.749"E

OD 18

N 49°46.03965', E 18°11.42035'
49°46'2.379"N, 18°11'25.221"E

OD 19

N 49°46.01373', E 18°11.42760'
49°46'0.824"N, 18°11'25.656"E

OD 20

N 49°45.98050', E 18°11.48698'
49°45'58.830"N, 18°11'29.219"E

Příloha 3

Tabulka zrnitostní analýzy

Tab. 6: Výsledky zrnitostní analýzy

Vzorek	Jíl	Prach	Písek	Štěrk
Velikost [μm]	0-4	4-64	64-2000	Nad 2000
OD 1	2,10	6,78	88,59	2,52
OD 2	3,78	7,95	69,78	18,45
OD 3a	4,44	14,96	78,05	2,55
OD 3b	8,82	43,29	47,89	0,00
OD 4	3,55	16,70	72,90	6,84
OD 6	1,89	5,50	25,30	67,29
OD 7	10,88	40,41	48,47	0,23
OD 12	4,06	10,23	80,01	5,63
OD 13	8,68	22,50	68,80	0,02
OD 15	9,77	42,55	47,21	0,45
OD 16	8,58	20,29	71,09	0,00
OD 17	3,65	9,55	86,75	0,06
OD 18	8,11	16,12	75,66	0,00
OD 19	4,80	14,98	80,22	0,00
OD 20	8,89	41,53	49,11	0,53