Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geologie

Sedimenty přehradní nádrže Fryšták na střední Moravě a analýza environmentálních rizik

Diplomová práce

Autor: Bc. Daria Masaeva

Osobní číslo: R200008

Studijní program: Environmentální geologie

Vedoucí práce: prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Autor: Bc. Daria Masaeva

Název práce: Sedimenty přehradní nádrže Fryšták na střední Moravě a analýza environmentálních rizik

Typ práce: diplomová

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

Vedoucí práce: prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

Rok obhajoby práce: 2024

Abstrakt: Diplomová práce se zaměřuje na studium sedimentů přehradní nádrže Fryšták na střední Moravě a analýze environmentálních rizik. Pomocí vrtné platformy byly odebrany vzorky na zrnitostní a rentgenovou fluorescenční analýzy, na určení hodnot magnetické susceptibility, ^{137}Cs a koncentrace různých chemických prvků. Cílem této práce bylo prozkoumat proces sedimentace v přehradě Fryšták, včetně vlivu kontaminace a zrnitosti, určit jak vypadal sediment v přehradě, zda je kontaminován a zjistit rychlosti akumulace sedimentů.

Klíčová slova: přehrada Fryšták, přehradní sedimenty, kontaminace přehrad, těžké prvky, magnetická susceptibilita, ^{137}Cs, rentgenová fluorescenční analýza, faktor nabohacení, zrnitostní analýza, persistentní organické polutanty, rychlost sedimentace.

Jazyk: čeština

Bibliographical identification

Author: Bc. Daria Masaeva

Title of thesis: Sediments of the Fryšták dam reservoir in Central Moravia and analysis of environmental risks

Type of thesis: diploma

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

Supervisior: prof. Mgr. Ondřej Bábek, Dr.

The year of presentation: 2024

Abstract: The diploma thesis focuses on the study of the sediments of the Fryšták dam reservoir in Central Moravia and the analysis of environmental risks. Using the drilling platform, samples were taken for granularity and X-ray fluorescence analysis, to determine the values of magnetic susceptibility, ^{137}Cs and the concentration of various chemical elements. The aim of this work was to investigate the process of sedimentation in the Fryšták dam, including the influence of contamination and grain size, to determine what the sediment in the dam looked like, whether it is contaminated, and to determine the rate of sediment accumulation.

Keywords: Fryšták dam, dam sediments, dam contamination, heavy elements, magnetic susceptibility, ^{137}Cs, X-ray fluorescence analysis, enrichment factor, particle size analysis, persistent organic pollutants, sedimentation rate.

Language: Czech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně a veškerá použitá literatura je v práci řádně citována.

V Olomouci dne: _____

Bc. Daria Masaeva

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce prof. Mgr. Ondřeji Bábkovi, Dr. za jeho odborné vedení, vstřícnost, trpělivost a pomoc v terénu. Dále bych chtěla moc poděkovat své rodině, kamarádům a Bohouškovi za morální podporu a pomoc.

Obsah

1. Úvod....9
2. Geografická charakteristika....10
2.1. Geografie....10
2.2. Geomorfologie....10
2.3. Klimatologie....13
2.4. Hydrologie....14
2.5. Přehradní nádrž Fryšták....16
3. Geologická charakteristika....17
3.1. Flyšové pásmo....19
3.1.1. Magurská skupina příkrovu....19
3.2. Kvartérní sedimenty....26
4. Přehradní nádrže....30
4.1. Typy a klasifikace přehrad....31
4.2. Přehradní sedimenty....32
5. Kontaminace přehrad....33
5.1. Těžké prvky....33
5.1.1. Arsen....34
5.1.2. Měď....34
5.1.3. Nikl....35
5.1.4. Olovo....36
5.1.5. Zinek....36
5.2. Persistentní organické polutanty (POPs)....37
5.2.1. Organochlorované pesticidy (OCP)....37
5.2.2. Polychlorované bifenyly (PCB)....38

5.2.3. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs).....39
5.3. Zdroje kontaminace v zájmové lokalitě.....40
6. Metodika práce.....41
6.1. Terénní část.....41
6.1.1. Odběr vzorků.....41
6.2. Laboratorní část.....42
6.3. Zpracování dat.....44
7. Výsledky.....44
7.1. Litologie a zrnitost.....44
7.2. Magnetická susceptibilita (MS).....50
7.3. Datování pomocí ^{137}Cs.....51
7.4. Rentgenová fluorescenční analýza (EDXRF).....53
7.4.1. Koncentrace prvků ve vzorcích a jejich vertikální distribuce ve vrtech.....53
7.5. Celkový obsah organického uhlíku (TOC).....58
7.6. Persistentní organické polutanty (POPs).....59
7.6.1. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs).....59
7.6.2. Organochlorované pesticidy (OCP).....61
8. Diskuze.....62
8.1. Prostorová distribuce zrnitosti sedimentů v přehradě.....62
8.2. Datování sedimentů pomocí ^{137}Cs a výpočet rychlosti sedimentace.....63
8.3. Závislosti koncentrací vybraných prvků.....65
8.4. Chemické složení sedimentů, závislost kontaminace od magnetické susceptibility (MS) a faktory nabohacení (EF).....68
8.5. Celkový organický uhlík (TOC).....74
8.6. Kontaminace persistentními organickými polutanty (POPs).....74
9. Závěr.....76

Literatura a internetové zdroje.....77

Přílohy.....84

1. Úvod

Vyplňování přehradních nádrží sedimentem představuje důležitý environmentální a ekonomický problém kvůli nákladům spojeným s odkalením a riziku antropogenní kontaminace sedimentů. Existuje velké množství lokálních a regionálních faktorů, které ovlivňují rychlost akumulace v přehradách a ukládání antropogenních látek v nich, a proto je obtížné stanovit univerzální prediktivní model výplně přehrad.

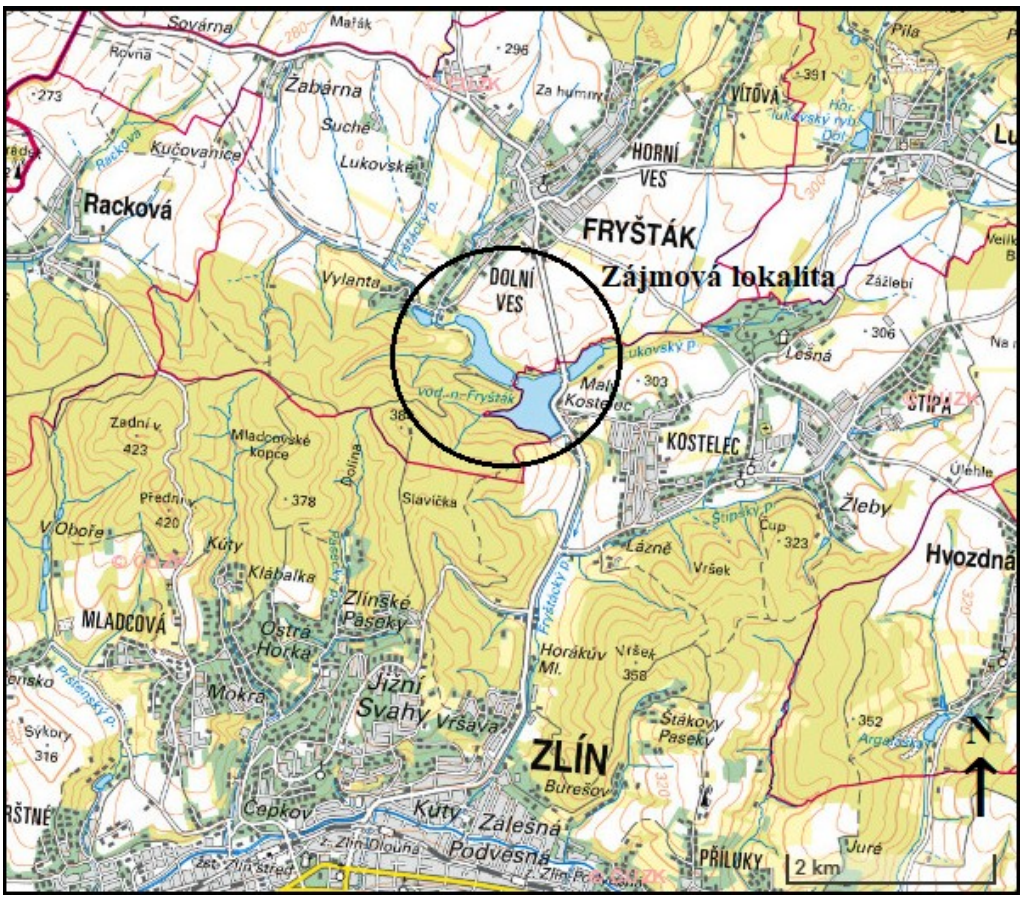
Diplomová práce bude zaměřena na stratigrafickou a geochemickou analýzu sedimentů v přehradě Fryšták, která se nachází na střední Moravě. Práce se bude skládat z rešeršní i praktické (laboratorní) části. Pomocí speciálních metod budou stanoveny: zrnitost vzorků, magnetická susceptibilita (MS), hmotnostní aktivita ^{137}Cs, a hloubková distribuce hlavních toxických kovů.

Cílem této práce je prozkoumat proces sedimentace v přehradě Fryšták, včetně vlivu kontaminace a zrnitosti, určit charakter sedimentu v přehradě, zda je kontaminován a zjistit rychlost akumulace sedimentů.

2. Geografická charakteristika

2.1. Geografie

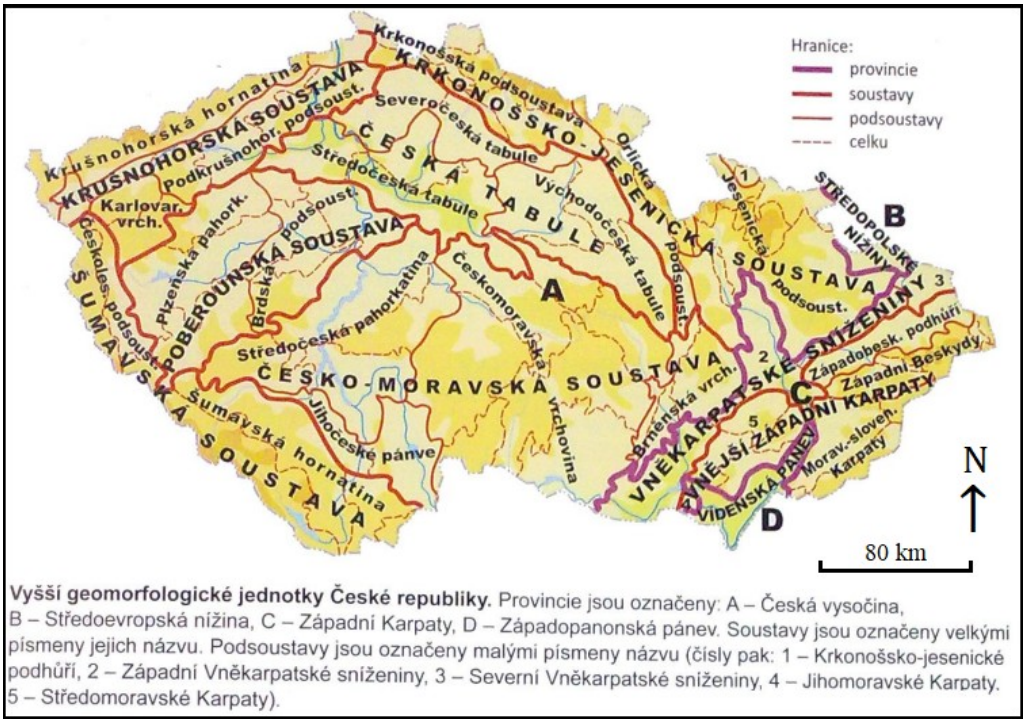
Diplomová práce je zaměřena na studium přehradní nádrže Fryšták. Vodní nádrž se nachází j. od obce Fryšták ve Zlínském kraji České republiky (Obr. 1). Zlínský kraj leží v jv. části Česka, má rozlohu 3963 km² a hraničí na SZ s Olomouckým krajem, na S s Moravskoslezským krajem, na JZ s Jihomoravským krajem a na V se Slovenskem. GPS souřadnice hráze přehrady jsou 49°15'49.569"N, 17°41'26.701"E. Čtyři kilometry j. od přehrady leží město Zlín. Další velká města v okolí nádrže jsou Holešov na S, Kroměříž na Z a Slušovice na V.



Obr. 1. Poloha studované oblasti (geoportal.cuzk.cz).

2.2. Geomorfologie

Z hlediska geomorfologického členění studované území patří do geomorfologické oblasti Slovensko-moravské Karpaty, která náleží do soustavy Vnějších ZápadníchKarpat (Obr. 2). Ty se řadí do provincie Západní Karpaty Alpsko-himalájského systému (Demek a Mackovčin, 2014).

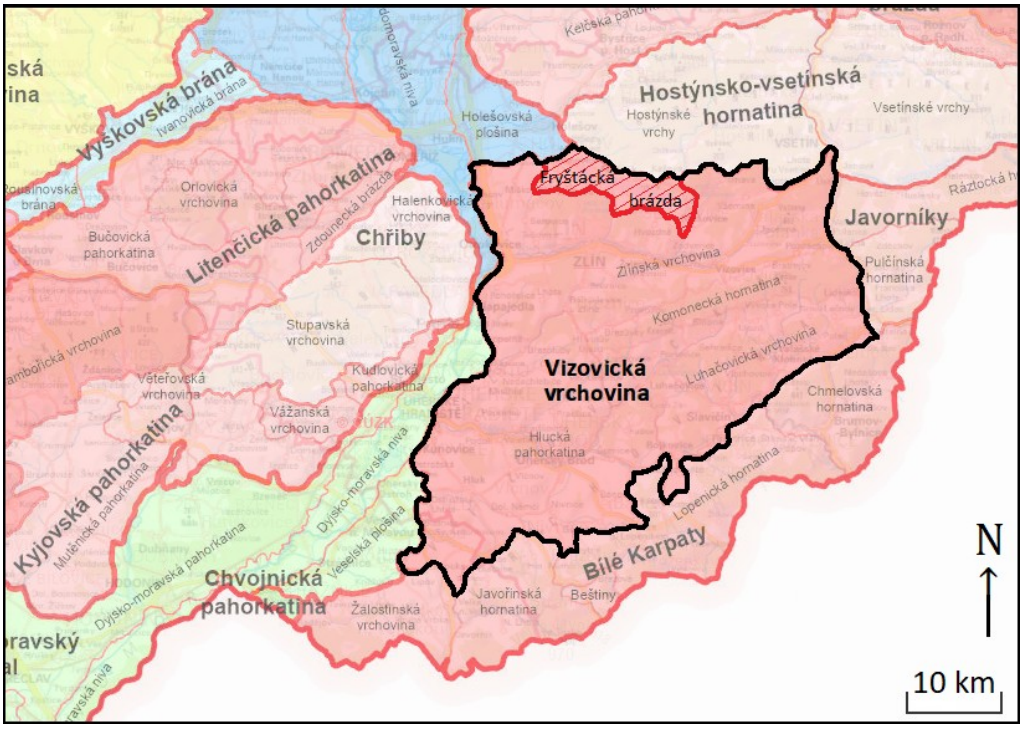


Vyšší geomorfologické jednotky České republiky. Provincie jsou označeny: A – Česká vysočina, B – Středoevropská nížina, C – Západní Karpaty, D – Západopanonská pánev. Soustavy jsou označeny velkými písmeny jejich názvu. Podsoustavy jsou označeny malými písmeny názvu (čísly pak: 1 – Krkonošsko-jesenické podhůří, 2 – Západní Vněkarpatské sníženiny, 3 – Severní Vněkarpatské sníženiny, 4 – Jihomoravské Karpaty, 5 – Středomoravské Karpaty).

Obr. 2. Geomorfologické členění České republiky (Bína a Demek, 2012).

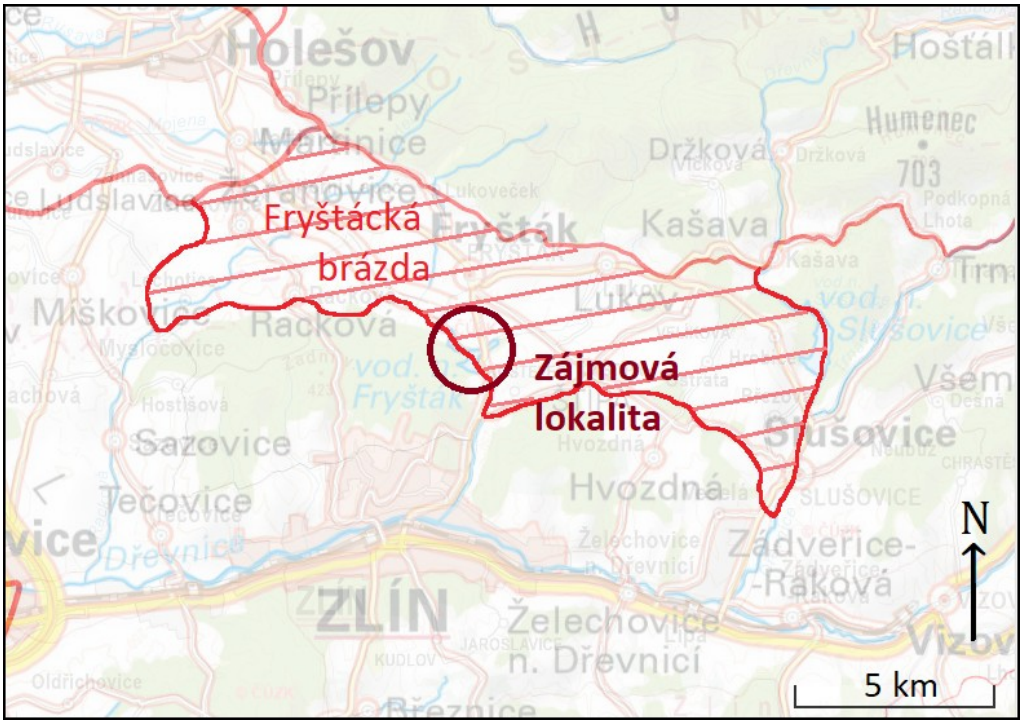
Slovensko-moravské Karpaty mají několik geomorfologických celků. Jedním z nich je Vizovická vrchovina (Obr. 3). Jde o členitou vrchovinu o rozloze 1391,62 km^2, se střední výškou 338,7 m n.m., středním sklonem 5°20′ a nejvyšším bodem Klášťov (752,9 m). Vrchovina se skládá ze zvrásněných hornin račanské a bystrické jednotky magurské skupiny karpatských příkrovů, omezeně též mezozoickými a neogenními sedimenty a neovulkanity (Demek a Mackovčin, 2014). Vrchovina zaujímá rozsáhlou oblast mezi Hostýnskými vrchy na S a Bílými Karpatami na J a JV. Na Z hraničí s tektonickými sníženinami Dolnomoravského a Hornomoravského úvalu (Demek, 1965).

Vizovická vrchovina se dále dělí na několik menších geomorfologických podcelků.



Obr. 3. Geomorfologické vymezení Vizovické vrchoviny (ags.cuzk.cz/geoprohlizec).

Zájmová lokalita se nachází v jednom z nich – Fryštácké brázdě (Obr. 4). Fryštácká brázda je tektonická sníženina, která na Z přechází do Hornomoravského úvalu. Má rozlohu 55 km^2, střední výšku 299 m n. m. a střední sklon 3°21′. Nejvyšším vrcholem jsou Úlehle (355 m n. m.) (Bína a Demek, 2012).



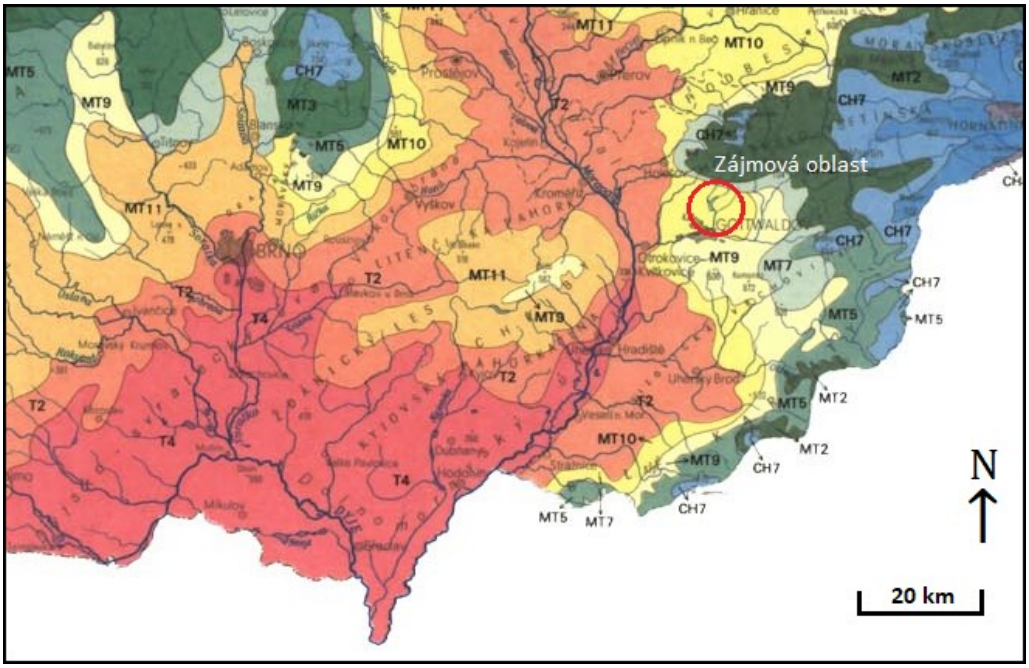
Obr. 4. Geomorfologické vymezení Fryštácké brázdy (ags.cuzk.cz/geoprohlizec).

Fryštácká brázda je vyplněna pliocenními sedimenty, které pokrývají pohřbený členitý povrch flyšových hornin račanské jednotky magurské skupiny příkrovu (Demek a Mackovčin, 2014).

2.3. Klimatologie

Z klimatického hlediska je území povodí Moravy značně rozmanité, což je způsobeno jeho velkým výškovým rozpětím. Průměrný dlouhodobý úhrn srážek za období 1961-1990 činí pro oblast povodí Moravy 670 mm. V dlouhodobém průměru je srážkově nejbohatší měsíc červen s úhrnem srážek 89 mm, následují měsíce červenec a květen s průměrným úhrnem 80, resp. 75 mm. Na srážky nejchudší jsou měsíce únor a březen s dlouhodobým úhrnem srážek 37 mm. Průměrná dlouhodobá roční teplota vzduchu v oblasti je 8,1 °C. Nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou dlouhodobou teplotou vzduchu -2,6 °C, nejteplejším pak měsíc červenec s průměrnou dlouhodobou teplotou vzduchu +17,7 °C (Bartoš et al., 2009).

Díky své poloze zájmové území klimaticky spadá do mírně teplé oblasti MT10 (Obr. 5) vyznačující se dlouhým, teplým a mírně suchým létem, krátkým přechodným obdobím s mírně teplým jarem i podzimem, krátkou, mírně teplou a velmi suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky (Quitt, 1971).



Obr. 5. Klimatická mapa jihovýchodní části České republikys vyznačením studovaného území(podle Quittovy klasifikace, 1971).

Počet dnů se sněhovou pokrývkou, průměrné teploty a srážkové úhrny v průběhu roku oblasti MT10 jsou uvedeny v tab. 1 (podle Quittovy klasifikace; Tolasz, 2007).

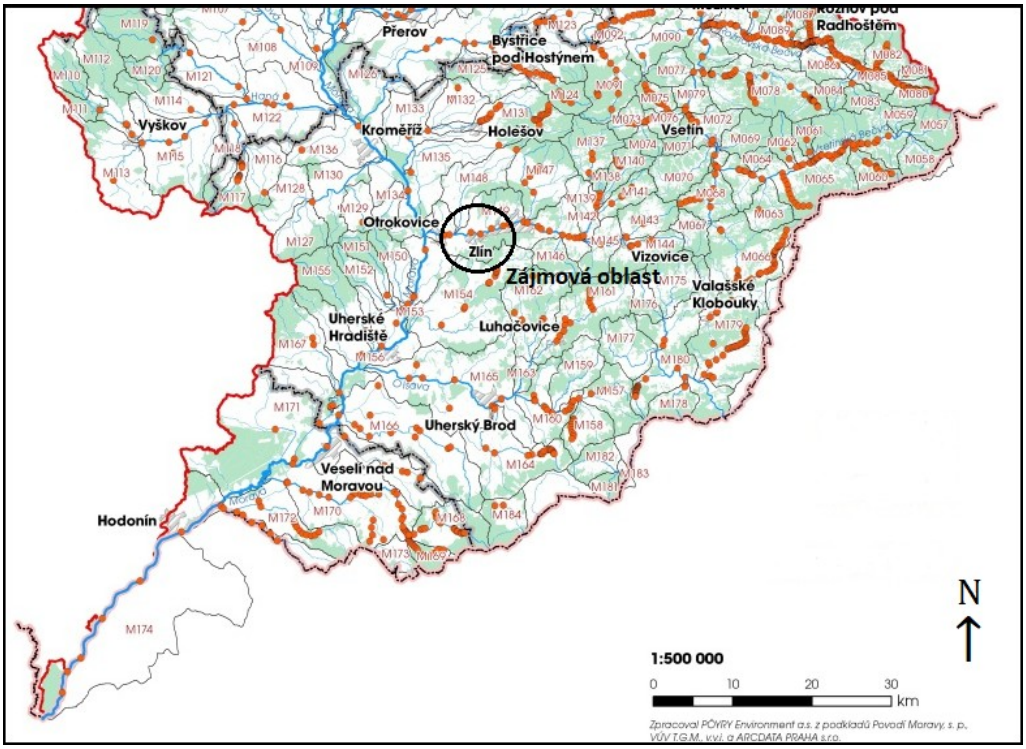
Tab. 1. Klimatické podmínky zájmové oblasti MT10 (podle Quittovy klasifikace; Tolasz, 2007).

Klimatická oblast	MT10
Počet letních dnů	40 — 50
Počet mrazivých dnů	110 — 130
Průměrná teplota v lednu	-2 — -3°C
Průměrná teplota v červenci	+17 — +18°C
Srážkový úhrnvevegetačnímobdobí	400 — 450 mm
Srážkový úhrnvzimnímobdobí	200 — 250 mm
Suma srážek celkem	600—700mm
Počet zatažených dní	120—150
Početdnísesněhovoupokrývkou	50 — 60

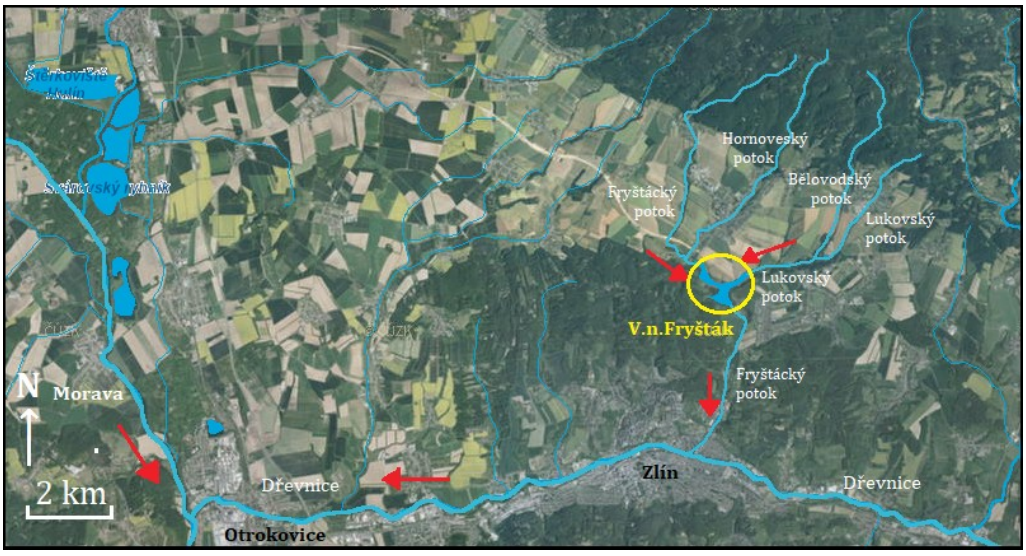
2.4. Hydrologie

Z hydrologického hlediska patří studovaná oblast do povodí Moravy, které náleží k úmoří Černého moře a na území Česka má rozlohu přes 21000 km^2 (Obr. 6). Řeka Morava pramení na j. svazích Králického Sněžníku ve výšce 1380 m n. m. a ústí zleva do Dunaje u Děvína v 136 m n.m. Plocha povodí je 26579,7 km^2, délka toku je 353,1 km, průměrný průtok u ústí je 120 $m^3.s^{-1}$ (Kestřánek a Kříž, 1984). Morava se svými přítoky odvodňuje převážnou část území Olomouckého a Zlínského kraje České republiky. Základním zdrojem vody jsou atmosférické srážky, v omezeném rozsahu jsou dostupné i podzemní vody. Hora Praděd s 1491 m n. m. je nejvyšším místem v povodí, nejnižším bodem je soutok řek Moravy a Dyje se 148 m n. m.

Morava má více než 30 přítoků, jeden z nich je řeka Dřevnice (Obr. 7). Ta pramení na Lučkách ve výšce 510 m n.m., ústí zleva do Moravy u Otrokovic v 182 m n.m.; plocha jejího povodí je 434,6 km^2, délka toku 42,3 km, průměrný průtok u ústí 3,15 $m^3.s^{-1}$ (Kestřánek a Kříž, 1984).



Obr. 6. Jižní část povodí Moravy s vyznačením zájmové lokality (http://www.pmo.cz/).



Obr. 7. Hydrologická mapa studované oblasti (geoportal.gov.cz).

Vodní nádrž Fryšták leží na soutoku Fryštáckého a Lukovského potoka (Obr. 7).

Fryštácký potok pramení sv. od Lukovečku ve výšce 500 m n. m. a v nadmořské výšce 210 m se vlévá na Janušticí ve Zlíně jako pravostranný přítok do Dřevnice. Plocha povodí je 58 km^2, délka toku je 13,7 km a průměrný průtok u ústí je 0,27 m^3.s^{-1} (Kestřánek a Kříž, 1984).

Lukovský potok pramení v údolí mezi hřbetem hradu Lukov a Rablinou ve výšce 487 m n.m. V místě, kde začíná ZOO Lešná, se stéká s pravostranným přítokem Bělovodského potoka, který pramení pod sedlem U obrázku v nadmořské výšce 550 m.

2.5. Přehradní nádrž Fryšták

Obr. Přehradní nádrž Fryšták (atlasceska.cz).

Základní charakteristika přehradní nádrže Fryšták je uvedena v tab. 2.

Přehrada Fryšták se nachází asi 2 km j. od obce Fryšták nad soutokem s řekou Dřevnicí a 5 km na S od města Zlín. Před druhou světovou válkou se město Zlín stalo průmyslovým centrem regionu, což vedlo k nárůstu potřeb zajištění dodávek vody. To vyvolalo nutnost stavby nové přehrady. Hlavním účelem nádrže bylo zajištění dostatečného množství vody pro skupinový vodovod Zlína. Vodárenské využití přehrady však bylo zrušeno v roce 1996, ačkoli nádrž je stále klasifikována jako vodárenská, s možností obnovení odběrů vody v případě budoucí potřeby. Proto je zakázáno využívat nádrž k rekreačním účelům. Pro zachování kvality tohoto zdroje povrchové vody byla v povodí nádrže stanovena ochranná pásma vodního zdroje. Nádrž nyní zajišťuje minimální průtok v toku pod hrází a slouží také k zadržení části průtoků za povodňových situací (Broža, 2005).

Hráz je postavena z místních nepropustných jílovitých hlín a má homogenní strukturu. Těsnění hráze je návodní, jílové, a koruna hráze má šířku 5 m s obslužnou

komunikací. Návodní svah hráze je opevněn masivními betonovými deskami, zatímco vzdušný svah je oset. Vybudováním hráze vznikla nádrž o celkovém objemu téměř 3 mil. m^3 se zatopenou plochou o rozloze přes 62 ha. V nádrži, u hráze levého břehu, se nachází kruhová odběrná věž, která umožňuje odebírat vodu pro vodárenské účely a ovládat výpustná zařízení. Na vrcholu věže je strojovna, přístupná po lávce z koruny hráze. Potrubí vodárenského odběru a spodní výpusti se nacházejí v její dolní části a vyúsťují za věží do odpadní štoly pod hrází. Celková kapacita spodních výpustí je 25,5 m^3/s. U levého břehu je situován boční nehrazený bezpečnostní přeliv, který má délku 32,5 m. Na přeliv navazuje spadiště a kaskádový skluz, končící ve vývaru pod hrází. Kapacita přelivu při maximální hladině v nádrži je 79,5 m^3/s (Broža, 2005).

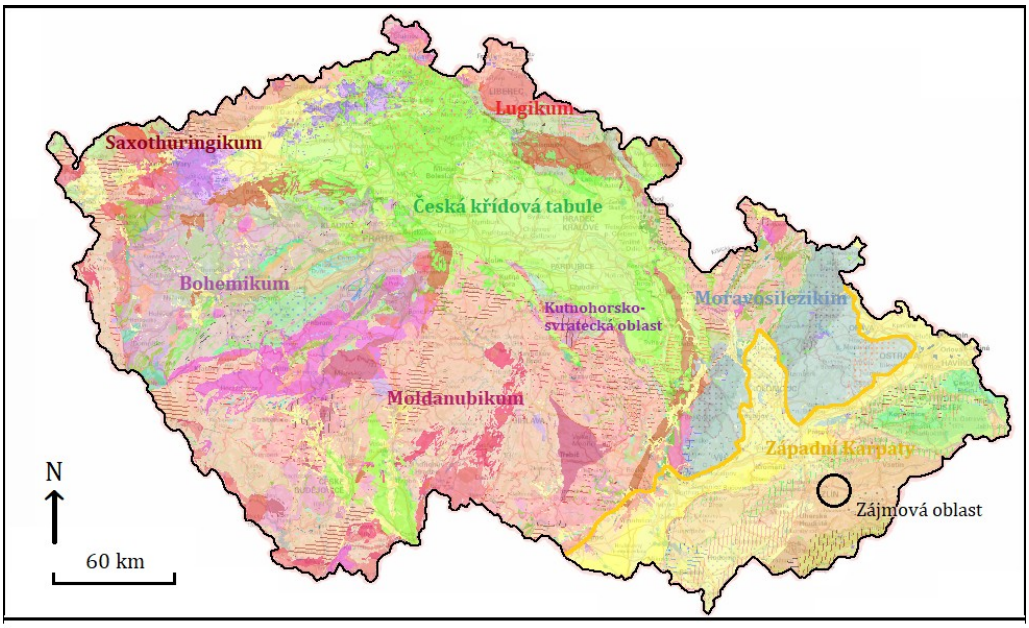
Tab. 2. Základní charakteristika přehrady Fryšták (Broža, 2005).

Kraj/okres/obec	Zlínský/ Zlín/ Fryšták	**Typ hráze**	homogenní sypaná z jílovitých hlín
Tok	Fryštácký potok; délka 4,23 km	**Těsnění**	homogenní
Celkový objem nádrže	2,95 mil.m^3	**Kóta a šířka koruny**	249,15 m n.m ; 5,0 m
Výstavba	1935 - 1938	**Délka hráze v koruně**	198 m
Účel	vodárenský odběr , protipovodňová ochrana	**Výška hráze nad terénem**	13,5 m
Plocha povodí	43,7 km^2	**Neškodný odtok**	11,0 m^3/s
Průměrný dlouhodobý roční průtok	~ 0,24 m^3/s	**Minimální odtok**	0,015 m^3/s
Stálé nadržení	0,87 mil.m^3	**Počet x průměr spodní výpusti**	2 × 1100 mm
Hladina stálého nadržení	243,15 m n.m.	**Typ bezpečnostního přelivu**	boční, nehrazený
Zásobní prostor	0,9 mil.m^3	**Počet polí x délka přelivu**	1 × 32,5 m
Hladina zásobního prostoru	245,75 m n.m.	**Kóta přelivu**	246,85 m n.m.

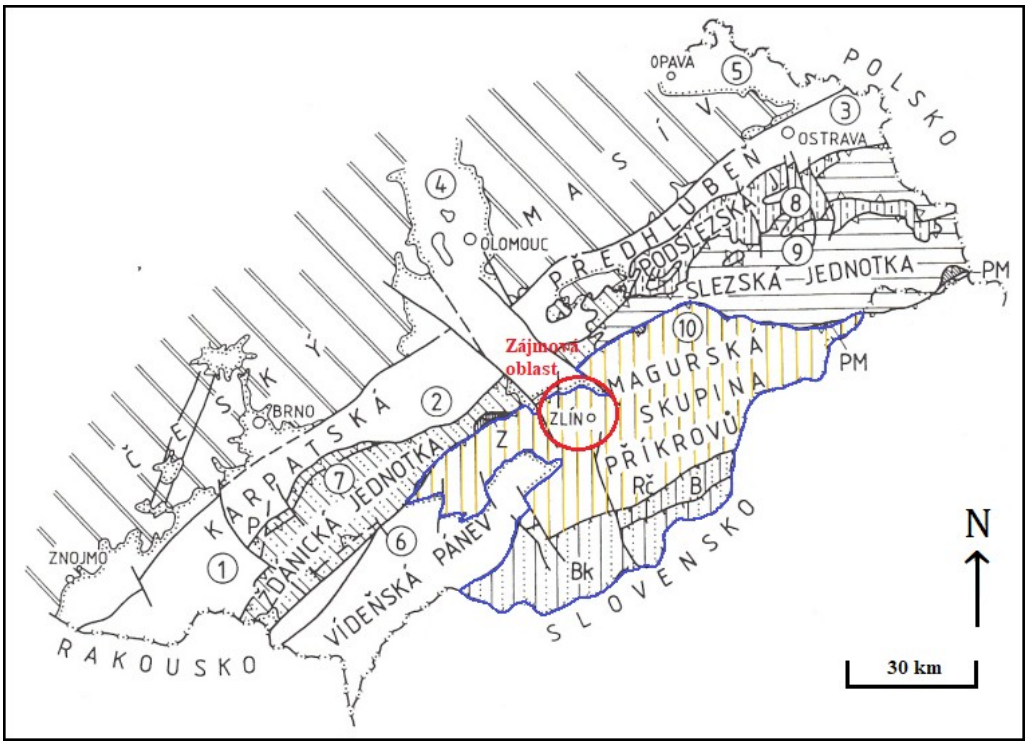
3. Geologická charakteristika

Studovaná oblast se nachází v jv. části České republiky (Obr. 8). Oblast patří do území Západních Karpat (Obr. 9). Západní Karpaty náleží k horstvu alpsko-karpatské soustavy, které se utvářelo během alpinské orogeneze v křídě a terciéru (Stráník, 2021).

Západní Karpaty se dělí na dvě jednotky: internidy (centrální a vnitřní) a externidy (vnější). Na území České republiky zasahují Vnější Západní Karpaty.



Obr. 8. Schematická geologická mapa České republiky s vyznačením zájmové oblast (geology.cz).



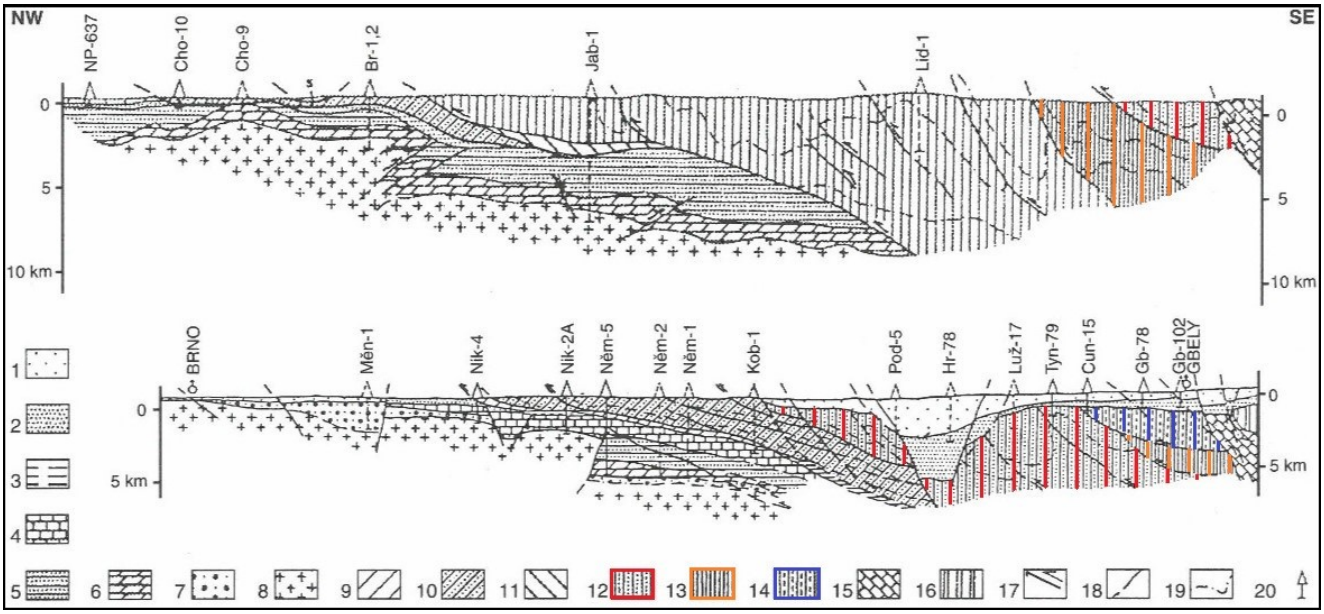
Obr. 9. Schéma regionálního geologického členění Západních Karpat v České republice (Stráník, 1995). 1 – jižní část karpatské předhlubně; 2 – střední část karpatské předhlubně; 3 – severní část karpatské předhlubně; 4 – Hornomoravský úval a Mohelnická brázda; 5 – opavská pánev; 6 – vídeňská pánev; 7 – ždánická jednotka (j.); 8 – podslezská j.; 9 – slezská j.; 10 –

magurská skupina příkrovů; Rč – račanská j.; B – bystrická j.; Bk – bělokarpatská j.; P –pouzdřanská j.; PM – předmagurská j.; Z – zdounecká j.

3.1. Flyšové pásmo

Vnější Západní Karpaty se dále dělí na několik jednotek. Jednotkou, na které se nachází přehrada Fryšták, je flyšové pásmo, které představuje příkrovový alochton, který vznikl za neoalpínských orogenetických procesů (Stráník, 2021).

Flyšové pásmo je nejrozsáhleší z karpatských jednotek na českém území. Základními podjednotkami flyšového pásma jsou vnější (menilito-krosněnská) skupina příkrovů a magurská skupina příkrovů, které se dále dělí na dílčí faciálně-tektonické jednotky (Chlupáč et al., 2002; Stráník, 2021) (Obr. 9, 10).



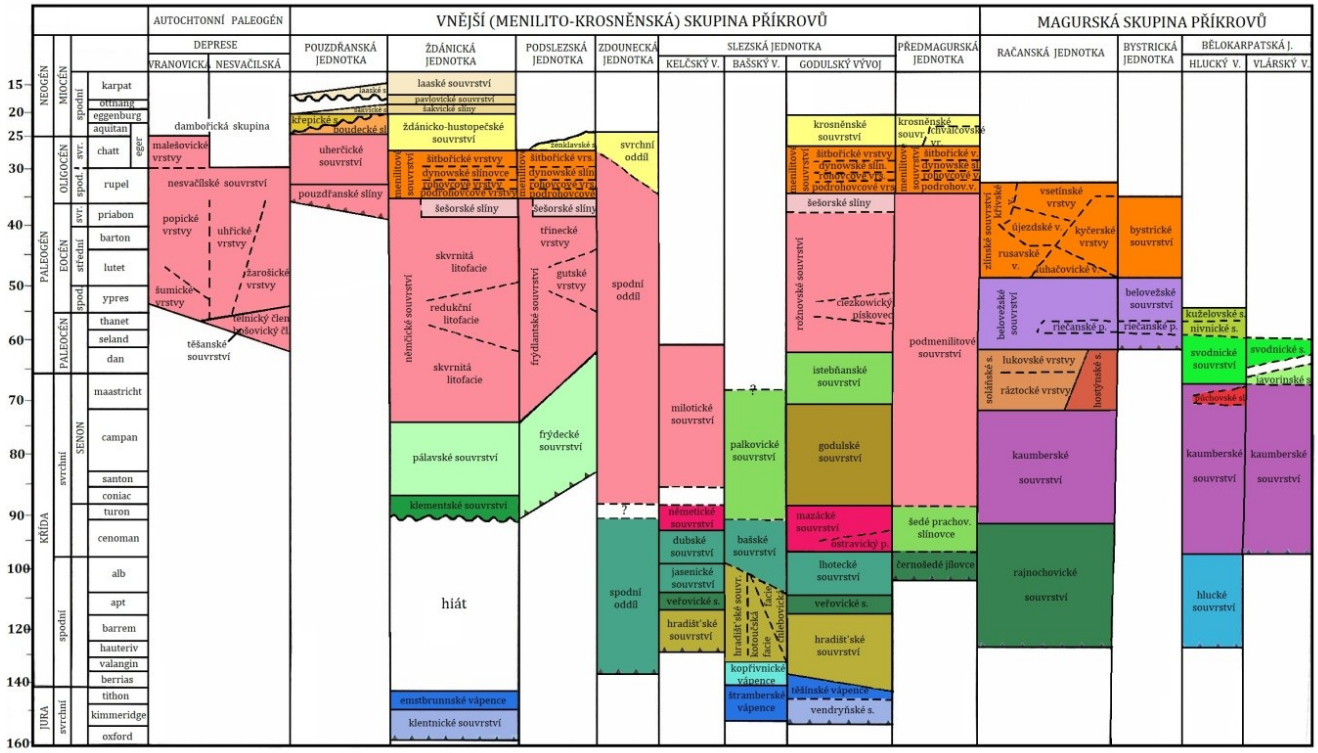
Geologické profily východním okrajem Českého masivu a flyšovým pásmem Západních Karpat na Moravě (Z. Stráník, orig.). Linie profilů vyznačeny na obr. 6, nahoře řez Blahuňovice–Vršatec, dole Brno–Gbely. 1, 2 – miocén karpatské předhlubně a vídeňské pánve (1 – střední a svrchní, 2 – spodní); 3 – autochtonní paleogén (nesvačilské souvrství); 4 – autochtonní mezozoikum; 5 – karbon; 6 – karbonáty devonu a spodního karbonu; 7 – bazální devonská klastika; 8 – brunovistulikum; 9 – pouzdřanská jednotka; 10 – ždánická a podslezská j.; 11 – předmagurská j.; 12 – račanská j. magurské skupiny příkrovů; 13 – bystrická j.; 14 – bělokarpatská j.; 15 – pěninské bradlové pásmo; 16 – mezozoikum Centrálních Karpat; 17 – příkrovová přesunutí a přesmyky; 18 – zlomy; 19 – strukturní linie uvnitř příkrovů; 20 – hlubinné vrty.

Obr. 10. Geologické profily východním okrajem Českého masívu a flyšovým pásmem Západních Karpat na Moravě (Chlupáč et al., 2002).

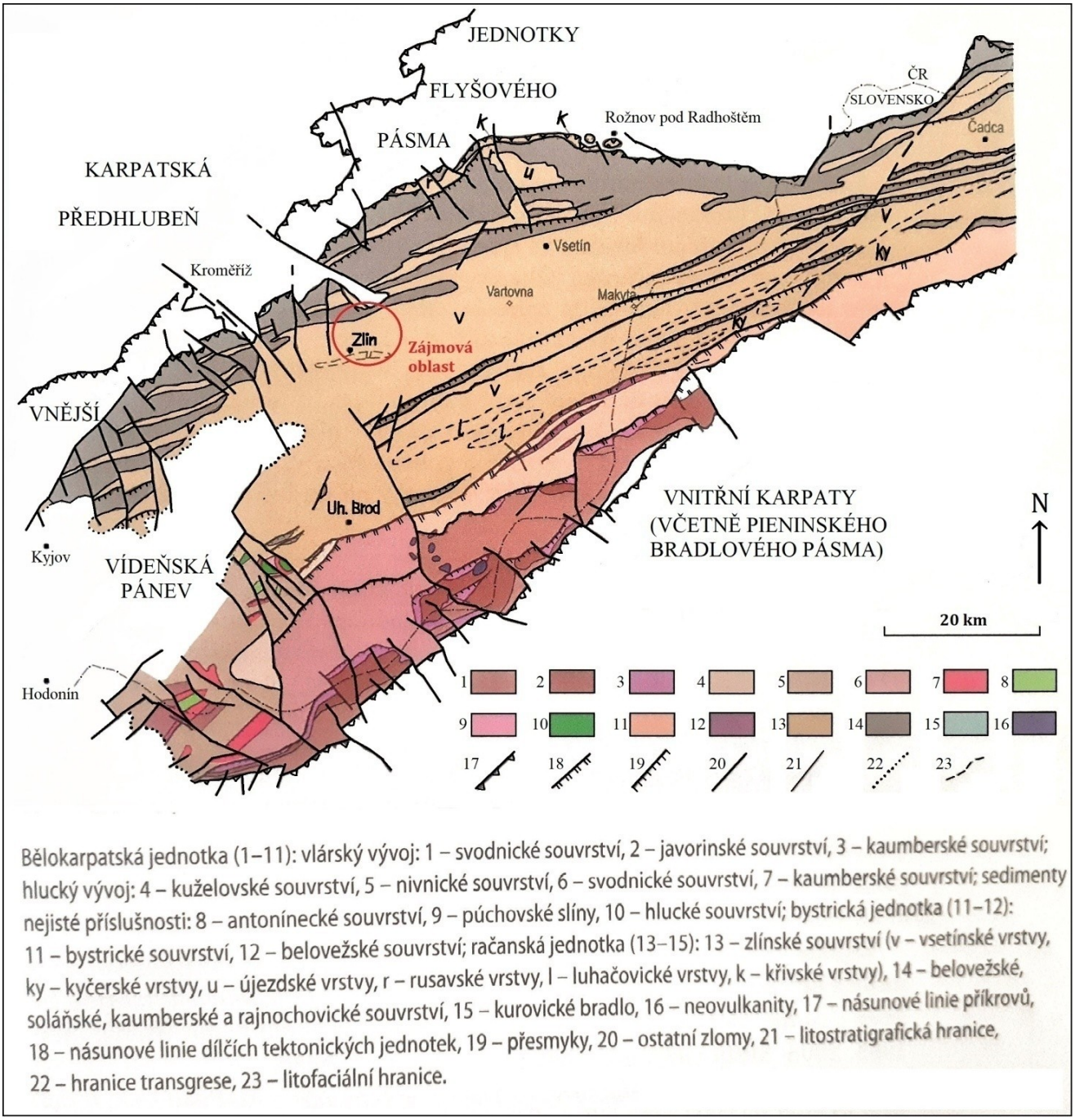
3.1.1. Magurská skupina příkrovu

Magurská skupina příkrovů je nejvyšší strukturní jednotkou flyšového pásma Západních Karpat, která obsahuje kontinuální vrstevní sled stratigrafického rozsahu hauteriv/barrem až spodní oligocén (Obr. 11, 12) (Stráník, 2021). Skupina je charakterizována flyšovou sedimentací, která se vyznačuje rytmickým střídáním

psamitů a pelitů. Je rozdělena do tří faciálně-tektonických jednotek, které se táhnou od SZ k JV: račanské, bystrické a bělokarpatské jednotky. V těchto jednotkách lze pozorovat trend mládnutí sedimentace směrem k vnějšímu okraji orogenu. Magurská skupina příkrovů zahrnuje geomorfologické celky Chřiby, Hostýnsko-vsetínskou vrchovinu, Bílé Karpaty a Javorníky. V Dolnomoravském úvalu tvoří podloží vídeňské pánve (Čtyroký a Stráník, 1995). Území, na které se nachází zájmová lokalita, patří do račanské jednotky.



Obr. 11. Stratigrafie autochtonního paleogénu a flyšového pásma Západních Karpat na Moravě a ve Slezsku (Chlupáč et al., 2002, upraveno).



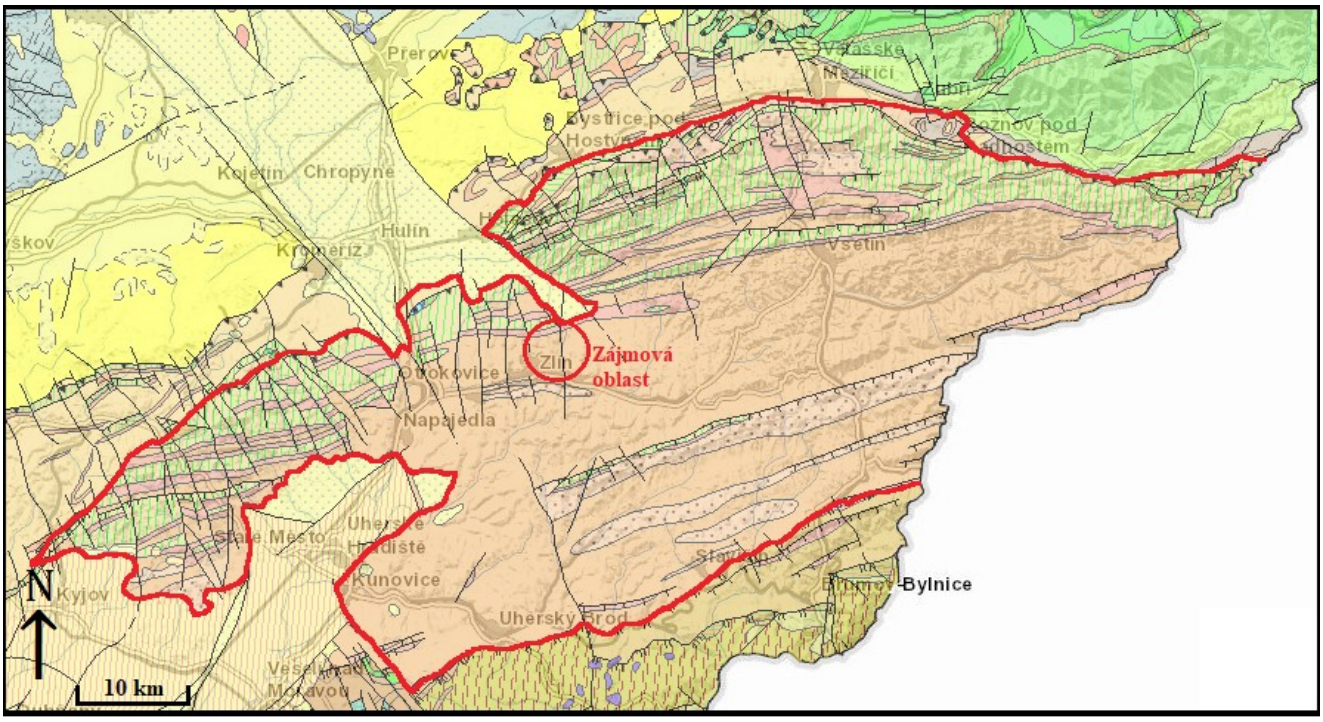
Obr. 12. Tektonická skica magurské skupiny příkrovů (Stráník, 2021).

3.1.1.1. Račanská jednotka

Račanská jednotka představuje vnější geologickou jednotku, která je plošně nejrozsáhlejší integrální součástí magurské skupiny příkrovu Západních Karpat, zahrnující území České republiky, Polska a Slovenska (Obr. 13). Sedimenty jednotky stáří hauteriv/barrem až spodní oligocén se vyznačují velkou faciální proměnlivostí. Tato jednotka je charakterizována flyšovými sedimenty, které se skládají ze střídání jílovců a pískovců s polohami slepenců. Typické uloženiny pro spodní křídu jsou tmavé

jílovce, pro svrchní křídu pestré a šedé jílovce. V maastrichtu až spodním oligocénu převažují facie drobně až hrubě rytmického flyše (Stráník, 2021).

Račanská jednotka se nachází v několika geografických oblastech, včetně Hostýnských vrchů, Chřibů, Vizovických a Vsetínských vrchů, Beskyd a dalších. V podloží vídeňské pánve jednotka pokračuje do greitensteinského příkrovu Vídeňského lesa v Rakousku. Jednotka má zajímavý vrstevní sled. Souvrstvími, z nichž se skládá, jsou rajnochovické, kaumberské, soláňské, hostýnské, belovežské a zlínské (Stráník, 2021).



Obr. 13. Geologické vymezení račanské jednotky (mapy.geology.cz).

Rajnochovické souvrství

Nejstarší známé flyšové vrstvy račanské jednotky tvoří sedimenty rajnochovického souvrství (hauteriv-cenoman), o mocnosti 100-350 m. Charakterizuje je drobně až středně rytmický flyš složený z černošedých a zelenošedých jílovců, šedých, jemně až středně zrnitých křemitých a křemito-vápnitých pískovců. Tyto sedimenty jsou převážně gradačně zvrstvené, s nerovně laminovanými horními částmi lavic (Stráník, 2021).

Kaumberskésouvrství

Kaumberské souvrství (cenoman až campan/maastricht) je charakterizováno pestře zbarvenými červenými a zelenými hemipelagickými až pelagickými jílovci (Gilíková a Otava, 2002). Jílovce se často proužkovitě střídají s cm až dm mocnými polohami jemnozrnných, vzácně i střednozrnných křemito-vápnitých pískovců a prachovců, a jsou vzájemně barevně skvrnité. Souvrství má v určitých částech sledu flyšový vývoj a dosahuje mocnosti až 300 m. Typicky se nachází na úpatí jednotlivých dílčích příkrovů račanské jednotky. Spodní část souvrství je srovnatelná s pestrými vrstvami mazackého souvrství slezské jednotky. Souvrství je většinou chudé na fosilní stopy (Stráník, 2021).

Soláňské souvrství

Soláňské souvrství (Obr. 14) (campan-maastricht až paleocén), představující typický flyšový sled s proměnlivým podílem pískovců a jílovců, leží v nadloží kaumberského souvrství. Pískovce a slepence soláňského souvrství jsou charakterizovány vysokým obsahem zrn a oblázků jurských vápenců a úlomků řas (*Lithothaminum*), které pravděpodobně pocházejí ze slezského hřbetu a jeho mělkého šelfu. Tyto sedimenty vykazují značné podobnosti se složením pískovců a slepenců istebňanského souvrství slezské jednotky, které se nacházejí na druhé straně slezského hřbetu. Litostratigraficky se sedimenty soláňského souvrství dělí na ráztocké, hostýnské a lukovské vrstvy. Mocnost souvrství je maximálně několik set metrů (Stráník, 2021).

Hostýnské souvrství

Mocnost hostýnského souvrství (campan-maastricht až paleocén), které má charakter středně až hrubě rytmického flyše, je cca 800 m. Nachází se v okrajové sz. části račanské jednotky v Hostýnských vrších a na omezené ploše v sv. části Chřibů. Souvrství je charakterizováno střídáním sekvencí s převládajícím počtem pískovců,

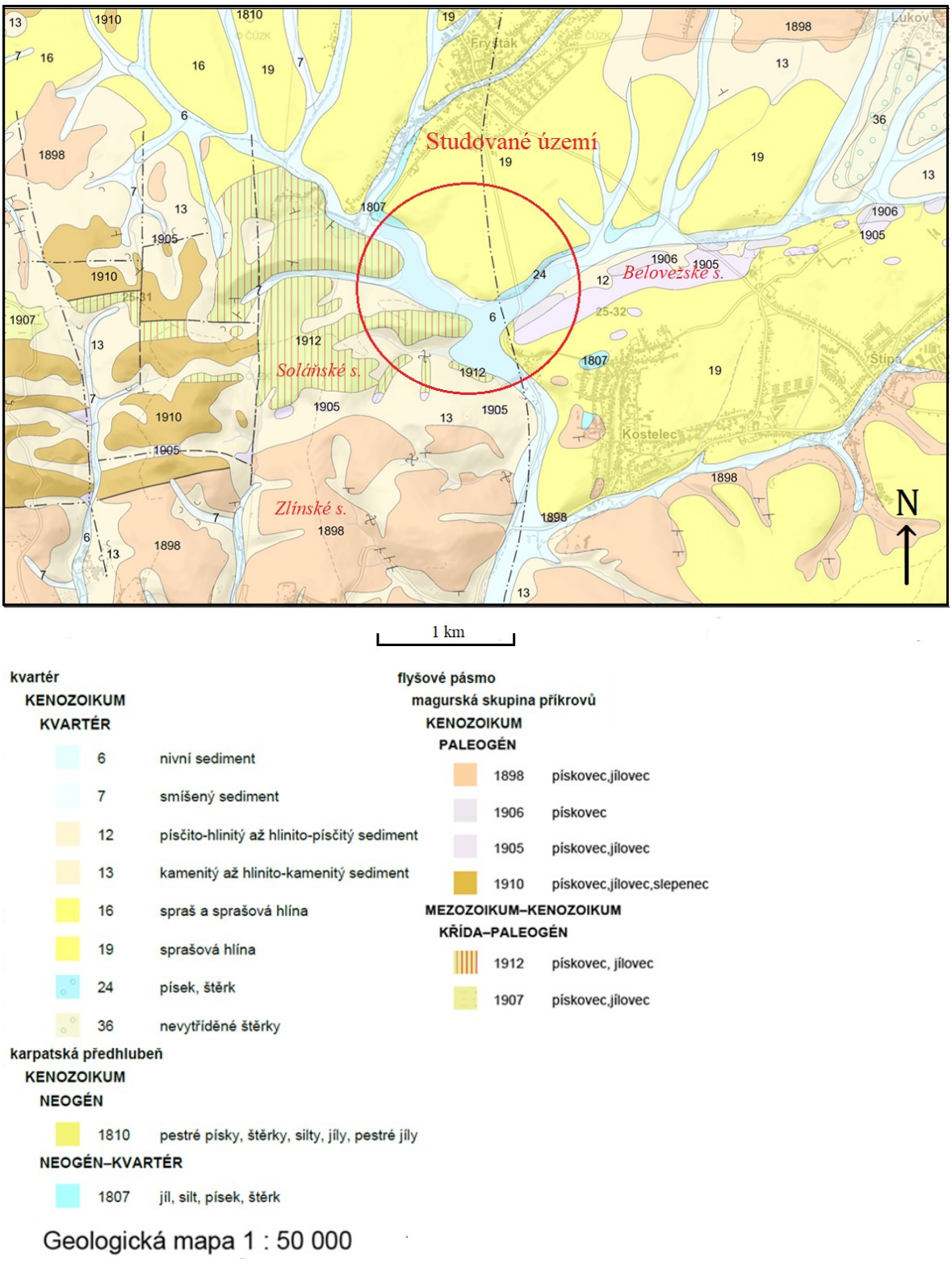
často hrubě lavicovitých, a sekvencemi s vyrovnaným poměrem pískovců a jílovců. Pískovce jsou jemně až hrubě zrnité, modrošedé, vápnité, arkózovité i drobovité, organodetritické, často drobně slepencovité, s častými jílovcovými závalky. Po zvětrání získávají žlutavě šedou barvu a drolivou konzistenci kvůli odvápnění. Podíl biodetritu v pískovcích je proměnlivý. Jílovce jsou zelenošedé a šedé, občas tmavě skvrnité. V souvrství převládají pískovcové turbidity uložené v rámci podmořského vějíře na pánevním úpatí (Stráník, 2021).

Belovežské souvrství

V belovežském souvrství (Obr. 14) (paleocén až střední eocén) o mocnosti cca 300 m se střídají převažující zelenošedé a rudohnědé nevápnité jílovce s drobně rytmickými vrstvami jemnozrnných pískovců o mocnosti jen několik cm. Ve vnitřní, j. části račanské jednotky jsou do tohoto vrstevního sledu vloženy (až několik desítek metrů mocné) polohy jemně až hrubě zrnitých arkózovitých pískovců, které jsou litologicky blízké lukovským vrstvám. Svrchní polohy belovežského souvrství jsou charakterizovány drobně rytmickým flyšem, který se skládá ze střídání slabých vložek jílovců a pískovců, šedých a zelených jílovců a křemito-vápnitých pískovců (Stráník, 2021).

Zlínské souvrství

Litologicky nehomogenní zlínské souvrství (Obr. 14) (střední eocén až střední eocén/spodní oligocén), dosahující mocností až 2500 m, je stratigraficky nejmladší. Souvrství pokrývá většinu území račanské jednotky s výjimkou Chřibů, kde převládá soláňské souvrství. Jednotlivými částmi souvrství jsou křivské, rusavské, újezdské, luhačovické, vsetínské a kyčerské vrstvy. Zlínské souvrství je tvořeno zelenošedými vápnitými a nevápnitými jílovci a pískovci s psamitickou, nestejnoměrně zrnitou strukturou a karbonátovými fosíliemi. Vzácně se vyskytují i vložky šedých, velmi jemnozrnných vápenců (Stráník, 2021).



Obr. 14. Geologická mapa zájmové oblasti (mapy.geology.cz).

3.2. Kvartérní sedimenty

Z hlediska vývoje kvartérních pokryvných útvarů se Západní Karpaty dělí na tři oblasti s odlišným vývojem sedimentů: denudační horská oblast, akumulačně-denudační podhorská-středohorská oblast a akumulační oblasti karpatské předhlubně a vídeňské pánve.

Horské oblasti zahrnují Hostýnsko-vsetínskou hornatinu, Javorníky, Moravskoslezské Beskydy, Bílé Karpaty a část Chřibů a Ždánického lesa. Charakteristickým rysem těchto oblastí je omezený výskyt prakticky jediného genetického typu sedimentů ze skupiny gravitačních sedimentů, které pokrývají svahy (plošné svahoviny a sesuvy). Fluviální sedimenty jsou omezeně vázány na údolní dna nebo nízké terasy. Pleistocenní (Obr. 15) svahoviny s mocností 1 až 10 m mají převážně charakter hlinito-kamenitých sedimentů a kamenitých až balvanitých sutí. Typické zvrstvení, které se vyznačuje střídáním hrubších a jemnějších vrstev, je důsledkem klimatických změn. Ke gravitačním sedimentům patří také uloženiny, které vznikly působením nasycených proudů, a které vytvářejí úzké, špatně tříděné akumulace. Časté jsou sedimenty, které vznikly během pleistocénu a holocénu, a které se nacházejí v údolních výplavách (Stráník, 2021).

Podhorské a středohorské oblasti jsou charakterizovány menším výškovým rozpětím a nižší energií reliéfu. To vede ke snížení intenzity denudačních procesů, která se projevuje v litologickém charakteru a v nárůstu mocnosti a plošného rozsahu kvartérních sedimentů. Svahoviny v těchto oblastech jsou téměř výlučně kamenito-hlinité a jemnozrnnější než v horských oblastech (Stráník, 2021).

V pahorkatinách a brázdách podhorských a středohorských oblastí se nacházejí typické eolické sedimenty (spraše a sprašové hlíny). Charakteristickým prvkem pahorkatin jsou výplavové kužely, které jsou tvořeny horskými toky při ústí na plochý reliéf podhůří. Tyto kužely jsou většinou složeny ze štěrkovitých sedimentů s proměnlivou příměsí jemnozrnné složky. Velké rozšíření mají výplavové akumulace v podhůří Chřibů, Vizovické pahorkatiny a Bílých Karpat (Stráník, 2021).

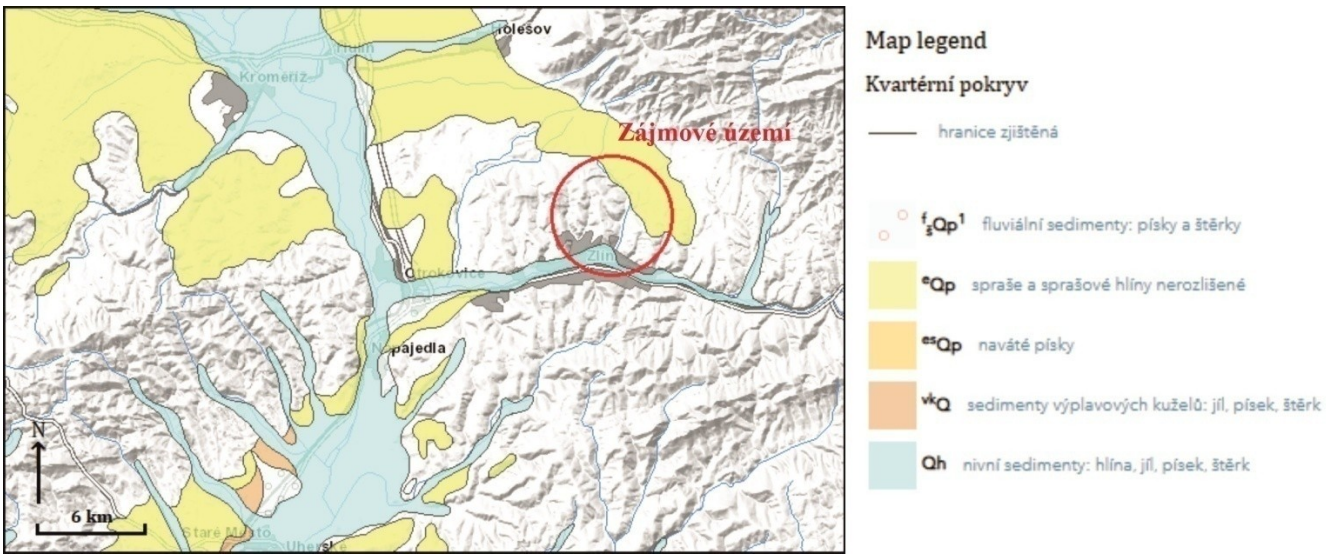
Pleistocenní vrstevní sled je ukončen sprašovými hlínami, místy i s vápnitými sprašemi o mocnosti 2-10 m. Dnešní údolní dna jsou vyplňována pleistocenními štěrky, které jsou překryty holocenními přelivovými jemnozrnnými uloženinami (Stráník, 2021).

Pro oblasti Moravské brány, Hornomoravského a Dyjskosvrateckého úvalu, které nebyly zasaženy ledovcem, jsou charakteristické eolické a fluviální sedimenty. Vápnité spraše v těchto úvalech, s výjimkou údolních niv a v Moravské bráně, se nacházejí na velkém plošném rozsahu a dosahují mocnosti až 10 m. V některých závějích dokonce

přesahují mocnost 20 m. Stále se zvětšující rozšíření mají antropogenní sedimenty (navážky, deponie, skládky, zemní konstrukce atd.). Sedimenty kvartérního pokryvu studovaného území jsou znázorněny na Obr. 16.

roky BP			kontinentální zalednění sev. Evropy	horské zalednění Alp	Fridrich 1997		kultury	vývoj člověka
10 300	PLEISTOCÉN	svrchní	WEICHSEL (glaciál)	WÜRM	PALEOLIT	mladý	magdalénien solutreén gravettien aurignatien szeletien	Homo sapiens sapiens
			EEM (intergl.)	RISS/WÜRM		střední	moustérien	Homo sapiens neanderthalensis
130 000		střední	SAALE (glaciál)	RISS			acheuleén	Homo sapiens steinheimensis
			HOLSTEIN (interglaciál)	MINDEL/RISS				Homo erectus pekinensis
			ELSTER (glaciál)	MINDEL		starý	clactonien	
			CROMER (několik gl. a igl.)	HASLACH				Homo erectus erectus
				GÜNZ/MINDEL			abbévillien	
		spodní	BAVEL complex (několik gl. a igl.)	GÜNZ		nejstarší	"heidelbergien"	Homo erectus heidelbergensis
788 000				DONAU/GÜNZ				
			MENAP (glaciál)	DONAU				
			WAAL (interglaciál)					
1 650 000			EBURON (glaciál)					

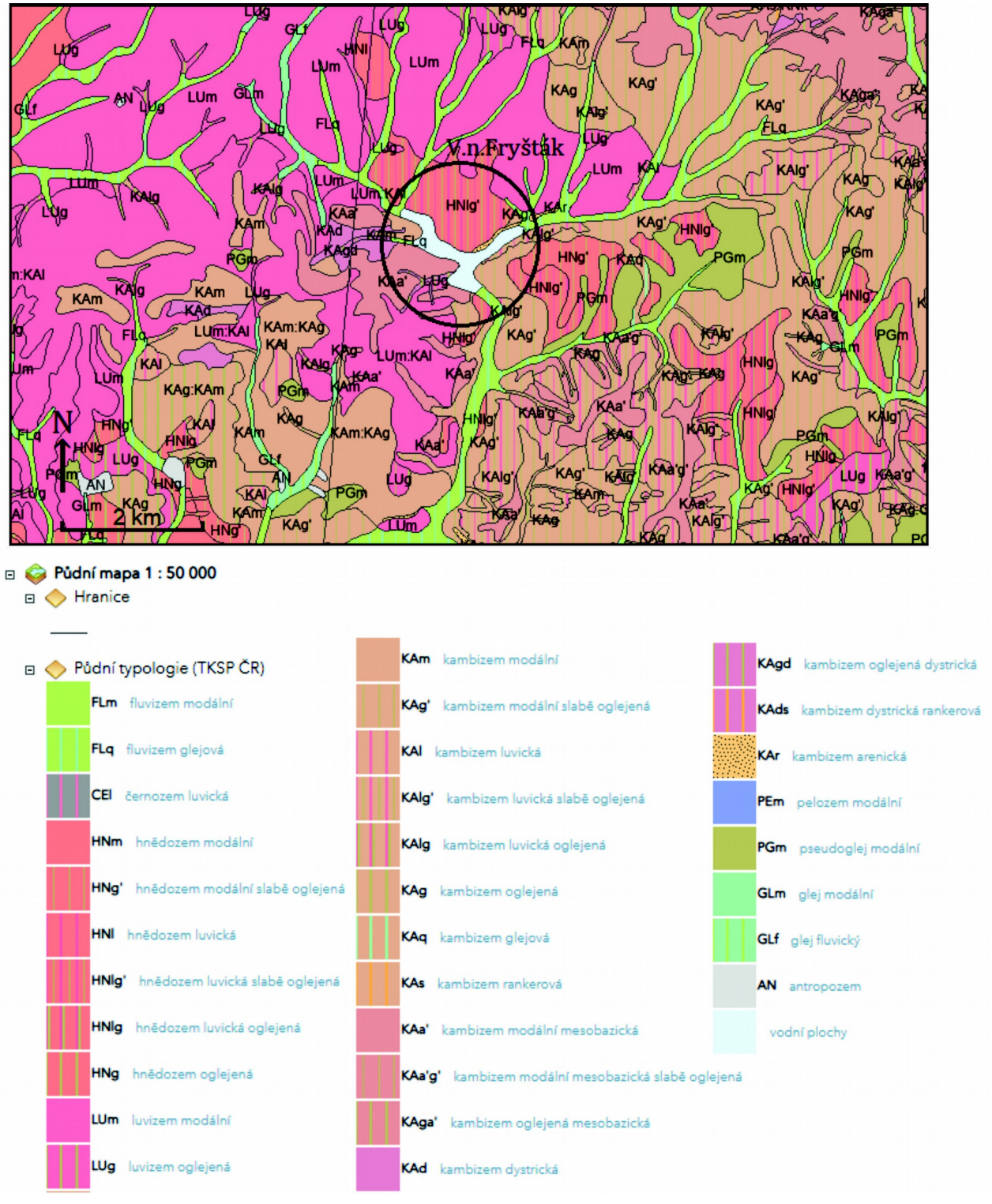
Obr. 15. Stratigrafické schéma pleistocénu (Chlupáč et al., 2002).



Obr. 16. Mapa kvartérního pokryvu studovaného území (mapy.geology.cz).

Pedologie

V oblasti povodí Moravy v největší míře převládají kambizemě, které se vyskytují přibližně na polovině rozlohy z celkové plochy oblasti povodí, dále černozemě, hnědozemě a fluvizem glejová. Rozšíření půd ve studované oblasti je uvedeno na Obr. 17.



Obr. 17. Půdní mapa zájmové oblasti (mapy.geology.cz).

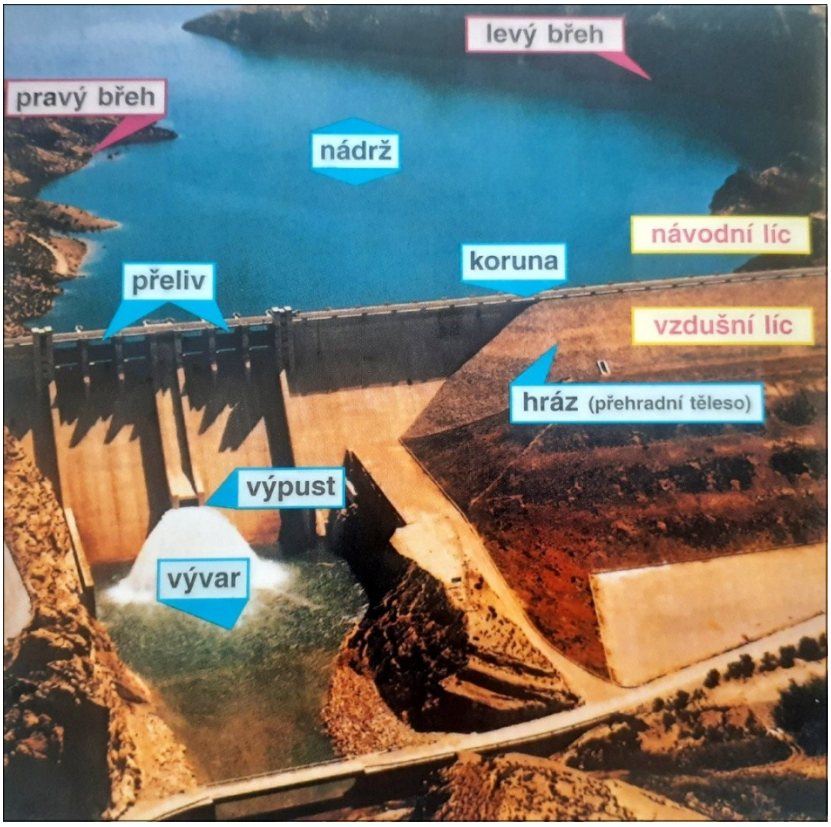
Hydrogeologie

V oblasti povodí Moravy se lokálně vyskytují podzemní vody hlubinného oběhu. Jedná se o mineralizované a často termální podzemní vody. Mezi zvláštní geologické znaky oblasti povodí Moravy z hlediska hydrogeologie patří přítomnost krasových terénů s jedinečným vodním režimem a také antropogenní vlivy na transport a sedimentaci v údolních nivách. Pouze kvartérní a některé křídové a terciérní klastické sedimenty obsahují významné akumulace průlinové podzemní vody. Podzemní vody neogenních sedimentů jsou často mineralizovány nebo smíšeny s ropnými vodami bohatými na metan a sirovodík. Kyselky vázané na hlubinný výstup CO_2 převládají v Českém masivu, minerálky bez juvenilní složky jsou rozšířeny převážně v oblasti neogenních výplní úvalů a Vnějších Karpat. Typické pro karpatskou oblast jsou sirovodíkové minerální vody (Bartoš, 2009).

4. Přehradní nádrže

Česká republika je vnitrozemský stát bez přístupu k moři, proto jsou vodní zdroje země značně omezené a zastoupené hlavně řekami, říčkami, potoky, podzemními vodami a umělými vodními díly. K posledně jmenovaným patří např. přehradní nádrže, tedy příčné stavby na vodních tocích s víceúčelovým použitím, které mohou být vybudovány ze zeminy, betonu, a kamene. Hlavním účelem přehrady je vytvoření vodní nádrže, která bude ve svém provozu sloužit k hospodaření s vodou. Dalšími účely jsou zásobování pitnou a průmyslovou vodou, chov ryb, rekreace, ochrana před povodněmi, využití vodní energie atd. (Blažek, 2006).

Na Obr. 18 je vidět základní části vodního díla, a to bezpečnostní přeliv, který slouží jako ochrana proti přelití hráze a umožňuje bezpečný odtok přebytečné vody přes hráz; vrchol anebo koruna hráze; a spodní výpust s vývarem, které se používají k vypouštění nádrže za různými účely, např. opravami tělesa hráze.



Obr. 18. Hlavní části vodního díla na toku (Broža, 2005).

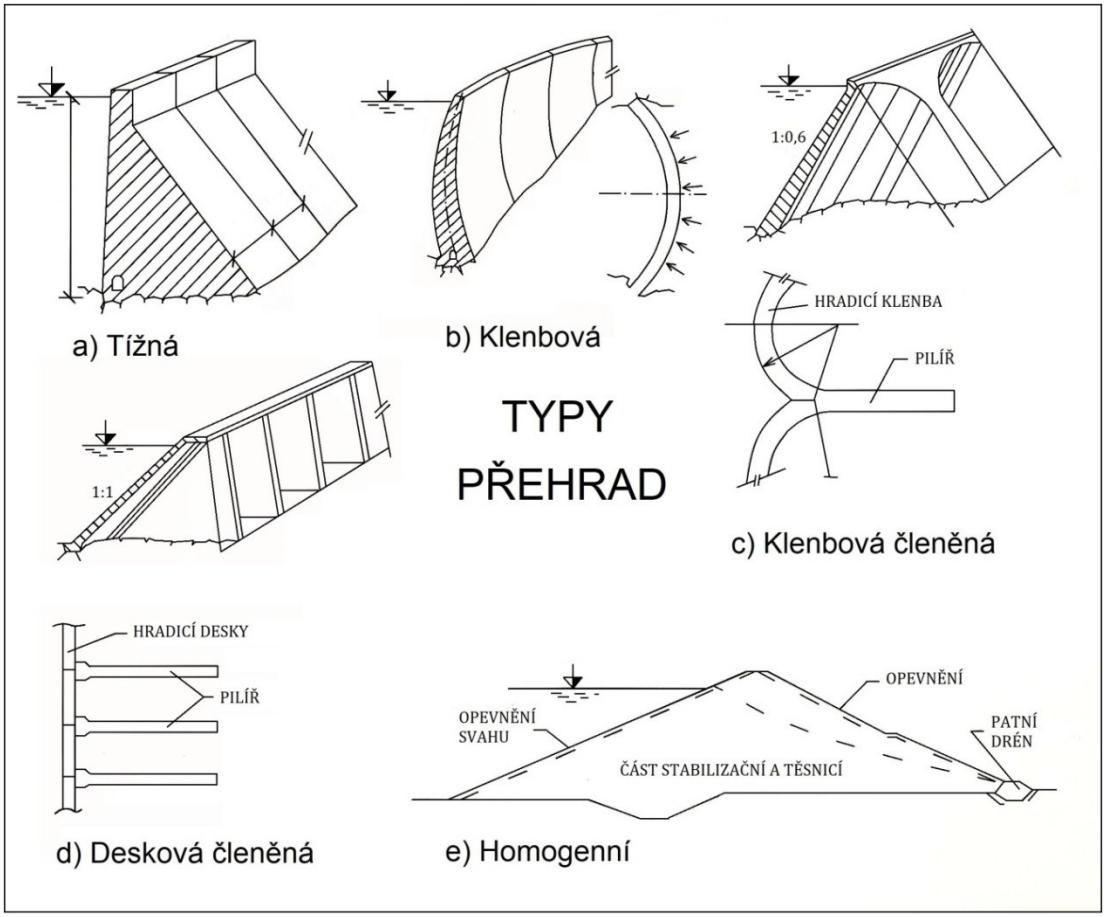
4.1. Typy a klasifikace přehrad

Podle účelu lze přehrady klasifikovat na ochranné a zásobní. Přehrady prvního typu slouží k ochraně území a objektů před velkými vodami. Budují v horních částech toku, kde zachycují povodňové vlny. Přehrady druhého typu v době nadbytečných průtoků mohou ve svém zásobním prostoru obsahovat určené množství vody, aby tato byla k dispozici v době jejího nedostatku.

Podle hlavního stavebního materiálu se přehrady dělí na sypané (zemní, kde zemina je hlavní stavební hmotou, a kamenité – stavební hmotou je kámen bez pojiva) a betonové, přehrady z lomového zdiva a ostatních materiálů (dřevěné, ocelové atd.). Sypané přehrady jsou nejrozšířenějším přehradním typem s gravitačním účinkem.

Na základě konstrukce a statického působení lze přehrady klasifikovat na tížné (gravitační), klenbové, členěné, pilířové atd. Tížné přehrady (Obr. 19) díky své vlastní tíze odolávají silám vyvozeným tlakovým působením vody v nádrži. V klenbových přehradách (Obr. 19) je podstatný podíl zatížení vodou přenášen klenbovým účinkem tělesa přehrady do boku údolí. Podmínkami pro použití klenbových přehrad jsou kvalitní skalní podloží, dobré základové poměry a vhodný (dostatečně úzký) tvar údolí.

Hlavním znakem členěných přehrad (Obr. 19) je přítomnost samostatných pilířů, na které se opírají hradicí desky (klenby) z betonu (Broža, 2005; 2007).



Obr. 19. Typy přehrad (Broža, 2005).

4.2. Přehradní sedimenty

Umělá jezera a nádrže sehrávají klíčovou roli v procesu transportu říčních sedimentů (Sedláček, 2017). Tato vodní díla poskytují cenné informace o současném objemu sedimentů, procesech zanášení, účincích povodní a znečištění. Kvůli zpomalení toku řek přehrady často slouží jako lapače suspendovaných sedimentů. Částice klesají ke dnu přehrady a akumulují se jako jemnozrnný sedimentární archiv kontaminace organickými polutanty a toxickými těžkými kovy, které jsou často transportovány říčními vodami vázanými na jemnozrnné částice nesené ve vznosu. Na rozdíl od záplavových oblastí řek a jiných přirozených míst akumulace fluviálních sedimentů jsou archivy přehrad často nepřerušené a jen v malé míře ovlivněné bioturbací, růstem rostlin a zemědělstvím. Přehradní sedimenty proto představují vynikající archivy jak pro přirozené změny prostředí, tak pro vliv člověka v průmyslovém věku včetně

kontaminace organickými polutanty a těžkými kovy. Sedimenty přehrad mohou představovat vážné riziko pro životní prostředí v důsledku remobilizace těžkých kovů a dalších toxických sloučenin ze sedimentů zpět do životního prostředí. Koncentrace znečišťujících látek v sedimentárních archivech mohou být ovlivněny parametry sedimentů, jakými jsou velikost zrna, minerální složení, organická hmota, redoxní potenciál a výměnná kapacita kationtů (Sedláček et al., 2012). Úplnost záznamu sedimentů v nádržích závisí na řadě faktorů včetně hloubky vody, topografie povodí a parametrů nádrže. Některé nádrže jsou extrémně mělké, což vede k rychlé ztrátě jejich zásobní kapacity (Carvalho et al., 2000) se závážnými ekologickými důsledky. Analýza sedimentárního záznamu z nádrží může být užitečná při předpovídání jejich budoucnosti, pro environmentální rozhodování a další úvahy (Audry et al., 2004).

Rozložení sedimentů v nádržích není rovnoměrné a usazeniny v nich mohou dosáhnout různé mocnosti (Clark et al., 2015). Ve směru k přehradní stěně jsou sedimenty převážně jemnozrnnější a litologicky homogenní (Sedláček et al., 2016).

5. Kontaminace přehrad

5.1. Těžké prvky

Ve vodních zdrojích je možné detekovat většinu přirozeně se vyskytujících kovů a polokovů periodické soustavy prvků, včetně těch, které patří do skupiny vzácných zemin. Podle Pittera (2009) jsou těžké kovy z chemického hlediska definovány buď svou objemovou hmotností, která je vyšší než 5000 $kg \cdot m^{-3}$ nebo tím, že jejich soli reagují se sulfidem sodným a vytvářejí málo rozpustné sulfidy. Toxické kovy jsou takové kovy, které při překročení určité koncentrace způsobují újmu lidskému zdraví a přírodním ekosystémům. Mezi nejznámější zástupce těžkých kovů patří chrom (Cr), kobalt (Co), nikl (Ni), měď (Cu), zinek (Zn), arsen (As), selen (Se), stříbro (Ag), antimon (Sb), rtuť (Hg), titan (Ti) a olovo (Pb).

Škodlivost kovů je značně ovlivněna jejich schopností pronikat do buněk. Tato schopnost je vyšší u jednoduchých iontových forem nebo nízkomolekulárních organokovových sloučenin než u rozsáhlých organických a anorganických komplexů. Proto je konečný toxický účinek spíše závislý na formě, v níž se kov vyskytuje, než na jeho celkové koncentraci v prostředí. Fyzikálně-chemické faktory jako je pH vody,

koncentrace rozpuštěného organického uhlíku, složení sedimentů aj. proto sehrávají významnou roli v dostupnosti kovů pro vodní organismy (Kopáček, 2020).

Kovy a polokovy lze podle stupně zdravotního rizika rozdělit do několika kategorií: ty, které jsou přímo toxické (např. Hg, Cd, As, Se, Pb, Zn), ty, které mají karcinogenní (rakovinotvorné) a teratogenní (negativní vliv na embryonální vývoj) účinky (např. As, Cd, Ni, Cr), kovy a polokovy s chronickou toxicitou (Hg, Cd, Pb, As) a s negativními organoleptickými účinky na chuť vody (Mn, Fe, Cu, Zn), a to již při koncentracích, které nejsou přímo toxické (Pitter, 2009). Všechny zmíněné kovy se rovněž přirozeně vyskytují v zemské kůře.

5.1.1. Arsen

Arsen (As) je toxický polokovový prvek. V zemské kůře je relativně vzácný, s průměrným obsahem pouze 2 až 5 ppm. V mořské vodě jsou jeho koncentrace extrémně nízké, pouze 0,003 mg/l. Arsenopyrit (FeAsS), realgar (As_4S_4) a auripigment (As_2S_3) jsou nejznamnější sulfidy arsenu, které se vyskytují v přírodě. Koncentrace As v nekontaminovaných půdách leží v rozmezí 2 mg/kg až 10 mg/kg. V blízkosti elektráren spalujících fosilní paliva, metalurgických závodů a lokalit s aplikací arsenových pesticidů bývá koncentrace prvku v půdě podstatně vyšší (Pitter, 2009).

Antropogenními zdroji As jsou hutní a těžební průmysl, koželužny, spalování fosilních paliv a aplikace některých pesticidů. Odpadní a důlní vody mohou tento prvek také obsahovat. Arsen je v přírodě značně rozšířen v malých množstvích. Běžná koncentrace prvku v podzemních a povrchových vodách se pohybuje v rámci jednotek až desítek μg/l.

Arsen je značně jedovatý prvek, mající teratogenní a karcinogenní účinky. Projevy trvalé a nadměrné expozice As na zdraví jsou rozmanité a zahrnují dermatologická poškození, zvýšený výskyt kardiovaskulárních chorob a potratů u žen.

5.1.2. Měď

Měď (Cu) je kovový prvek s charakteristickým červeným nádechem. V přírodě se měď nejčastěji vyskytuje ve formě sulfidů jako je chalkopyrit ($CuFeS_2$) a chalkozín (Cu_2S), které se mohou rozkládat a uvolňovat značné množství mědi do podzemních

vod. Dalšími významnými formami mědi jsou hydroxid-uhličitany, jako je malachit ($Cu_2(OH)_2CO_3$) a azurit ($Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$), a oxidy, jako je tenorit (CuO) (Pitter, 2009).

Měď je v zemské kůře relativně vzácná, s odhadovaným obsahem mezi 55 a 70 ppm (mg/kg). V mořské vodě je její koncentrace velmi nízká, pouze 0,003 mg/l. Koncentrace Cu ve vodách závisí na jejich celkovém složení. V prostých podzemních a povrchových vodách se měď obvykle vyskytuje v koncentracích jednotek až desítek µg/l. V nádržích a jezerech jsou koncentrace Cu v desetinách až jednotkách µg/l a lze pozorovat její vertikální stratifikaci. V některých jezerech připadá na rozpuštěné formy asi 80 % celkové mědi. Průměrná koncentrace mědi v pitné vodě ČR povrchového původu rovnala se cca 5 µg/l a ve vodách podzemního původu byla asi 10 µg/l (Pitter, 2009).

Hlavními antropogenními zdroji mědi jsou odpadní vody z výroby a zpracování mosazi a bronzu, povrchových úprav kovů, fungicidy, atmosférické depozice v okolí hutních závodů, těžba a zpracování rud (Kopáček, 2020).

Měď je esenciálním prvkem, který se vyskytuje v řadě enzymů a ovlivňuje metabolismus sacharidů, tvorbu kostní hmoty a krvetvorbu, jakož i funkci nervové soustavy. Nicméně, měď je toxická pro vodní organismy, zejména ryby, sinice a řasy (Kopáček, 2020).

5.1.3. Nikl

Nikl (Ni) je bílý, feromagnetický a kujný kov, vyskytující v různých minerálech, např. v nikelinu (NiAs), gersdorfitu (NiAsS), pentlanditu [$(Fe,Ni)_9S_8$] a dalších. Průměrný obsah Ni v zemské kůře je cca 100 ppm, v mořské vodě od 0,1 do 2 µg/l. Oplachové vody z povrchové úpravy kovů mohou obsahovat větší koncentraci Ni, a to desítky až stovky mg/l. Známými antropogenními zdroji Ni jsou odpadní vody z povrchové úpravy kovů a z barevné metalurgie, keramický a sklářský průmysl, poniklované části zařízení přicházejících do styku s vodou, např. v rozvodných sítích. Pro lidský organismus není Ni příliš toxický, může však způsobit alergické reakce, při velkých dávkách se silně zvyšuje riziko vzniku rakoviny (Pitter, 2009).

5.1.4. Olovo

Olovo (Pb) je měkký, nízkotavitelný, velmi těžký toxický kov, který je v zemské kůře zastoupen relativně vzácně, s průměrným obsahem pouze 12-16 ppm. V mořské vodě je jeho koncentrace velmi nízká, pouze 0,03 µg/l. Galenit (PbS), anglesit ($PbSO_4$), cerusit ($PbCO_3$) a hydrocerusit [$Pb_3(CO_3)_2(OH)_2$] jsou nejznámnějšími olověnými rudami. Průměrná koncentrace olova v mořské vodě je 0,03 µg/l až 3,0 µg/l. Průměrná koncentrace prvku v pitných vodách povrchového a podzemního původu je 9 µg/l a 15 µg/l. V minerálních vodách se olovo obvykle nestanovuje (Pitter, 2009).

Výfukové plyny motorových vozidel byly v minulosti významným antropogenním zdrojem olova. Hlavními bodovými zdroji Pb jsou odpadní vody ze zpracování rud, výroby slitin, olověných akumulátorů, barviv a ze sklářských a keramických provozů. Vypuštěné olovo má schopnost vázat se na partikulované částice ve vodách a kumulovat se v sedimentech. Nejvýznamnějším plošným zdrojem olova pro životní prostředí je spalování fosilních paliv a doprava, a to vinou používání olovnatého benzinu, které bylo omezeno v 80. a 90. letech 20. století. Významným zdrojem olova pro lidský organismus bylo také používání olověných trubek pro rozvody pitné vody a nádob na ukládání nápojů a potravin. Prvek má neurotoxické účinky na lidský organismus. Poruchy centrálního mozkového systému, anémie, kolika, bolesti hlavy a křeče jsou typickými příznaky otravy olovem. Toxicita olova pro vodní organismy a jeho schopnost se v nich kumulovat závisí na chemismu vody a druhu organismu (Kopáček, 2020).

5.1.5. Zinek

Zinek (Zn) je měkký, lehce tavitelný, modrobílý kovový prvek s výrazným leskem, který je běžnou součástí hornin, půd a sedimentů. Sfalerit (ZnS) a smithsonit ($ZnCO_3$) jsou nejrozšířenějšími zinkovými rudami. Zinek je v zemské kůře relativně bohatě zastoupen, s průměrným obsahem kolem 100 mg/kg, což odpovídá 100 ppm. V mořské vodě je koncentrace zinku také značně vysoká, a to 0,01 mg/l. V sladkých podzemních a povrchových vodách je zinek obvykle přítomen v koncentracích mezi 5 a 200 µg/l. Velikost této hodnoty je ovlivněna celkovým chemickým složením vody. V minerálních vodách jsou koncentrace zinku v desítkách µg/l celkem běžné, zatímco koncentrace nad

100 µg/l jsou již výjimečné. Průměrná koncentrace Zn v českých pitných vodách podzemního a povrchového původu je 300 µg/l a 200 µg/l (Pitter, 2009).

Prvek je do životního prostředí uvolňován při spalování fosilních paliv a zpracování rud barevných kovů. Dalšími zdroji zinku jsou odpadní vody z metalurgických provozů, jako je výroba a zpracování mosazi, elektrotechnických výrob a povrchových úprav kovů (Kopáček, 2020).

Zinek je esenciálním prvkem pro lidské zdraví, zvířata a rostliny. Je součástí některých enzymů a jeho nedostatek může vést k zdravotním problémům, jako jsou pomalé hojení ran, smyslové poruchy a zhoršování paměti (Kopáček, 2020). Prvek je toxický pro ryby a jiné vodní oganismy.

5.2. Persistentní organické polutanty (POPs)

Persistentní organické polutanty jsou chemické látky vytvořené lidskou činností, které vykazují toxické vlastnosti a mohou způsobit škody člověku, zvířatům, zemědělským plodinám nebo přírodním ekosystémům, pokud jsou tyto vystaveny určité dávce nebo délce působení. Škodlivost těchto látek závisí na jejich vlastnostech, typu postiženého organismu, množství látky, délce expozice a dalších faktorech a může se projevovat jako akutní nebo chronická toxicita. Hlavním prostředím jejich přenosu je atmosféra, ale mohou jím být i voda a migrující organismy. Tyto látky se vyskytují v ovzduší, vodě, půdě a potravinách. Patří k nim například i organochlorované pesticidy (OCP), polychlorované bifenyly (PCB), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) (Kalač, 2010).

5.2.1. Organochlorované pesticidy (OCP)

Pesticidy jsou látky, které slouží k likvidaci nebo prevenci nežádoucích organismů, jako jsou škůdci, plevele, houby a plísně. Při používání pesticidů se do životního prostředí uvolňuje značné množství cizorodých látek. Po aplikaci se mohou účinné látky rozkládat na transformační produkty (metabolity, degradační produkty), které mohou být více nebo méně toxické než původní účinná látka. Kontaminace půdy může nastat při ošetřování zemědělských plodin, výrobě i skladování pesticidů. Podle biologické činnosti se pesticidy dělí na herbicidy (prostředky proti plevelům, např. propachlor, propazin, simazin, metolachlor atd), fungicidy (proti škodlivým parazitickým houbám,

např. zineb, maneb, faltan, kaptan) a insekticidy (prostředky k hubení hmyzu, např. DDT, HCB, HCH, lindan, fosalon, diazinon, etoprofos). Podle působení pesticidů na ošetřovaný organismus je možné rozdělit je na dvě skupiny: kontaktně působící, které zůstávají na povrchu, a systémově působící, které pronikají do vnitřních částí organismu, včetně kořenového systému rostlin nebo vnitřních orgánů živočichů (Pitter, 2009).

Organochlorované pesticidy (OCP) jsou mimořádně persistentní znečišťující látky. V minulosti byly široce používány. Mezi nejznámější zástupce patří dichlorodiphenyltrichloroethan (DDT) a jeho transformační produkty dichlorodiphenyldichloroethylen (DDE) a dichlorodiphenyldichloroethan (DDD), hexachlorocyklohexany (HCH), hexachlorbenzen (HCB), polychlorované cyklodieny (aldrin, dieldrin, endrin) a heptachlor. DDT se používalo k ochraně rostlin, zemědělských produktů a k likvidaci škůdců, jako jsou vši nebo komáři. HCH bylo používáno v zemědělství jako prostředek k hubení parazitů a k ošetřování porostů. HCB se používalo jako fungicid k ošetření pšenice, cibule a jako mořidlo osiva proti plísním. Vzniká také jako vedlejší produkt při výrobě chlorovaných rozpouštědel. Dalšími zdroji HCB jsou vysokoteplotní procesy jako spalování plastů, metalurgické procesy a požáry. Polychlorované cyklodieny se používaly zejména coby insekticidy proti klíšťatům, molům, termitům a v menší míře k moření osiva. Heptachlor se používal k hubení půdního hmyzu a mravenců.

5.2.2. Polychlorované bifenyly (PCB)

Polychlorované bifenyly (PCB) jsou skupinou syntetických látek, které se skládají z bifenylových molekul, na které jsou navázány atomy chlóru v různé míře. Počet atomů chlóru v molekule a jejich vzájemné polohy určují, kolik různých kongenerů (izomerů) PCB může existovat ― teoreticky až 209. Nejčastěji se stanovují kongenery PCB 18, 28, 31, 44, 52, 101, 118, 138, 153, 149, 180 a 194.

PCB vznikaly náhodně jako důsledek lidské činnosti. Byly však také záměrně vyráběny a využívány jako izolační materiály v elektrických transformátorech a kondenzátorech, kapaliny pro hydraulické systémy, mazací látky nebo jako přísady do barev, laků, plastů a tmelů. Do životního prostředí se tyto látky dostávají především z

nebezpečných nebo nelegálních skládek a z úniků během výroby, transportu nebo provozu zařízení.

PCB jsou jedním z nejstarších typů persistentních organických polutantů (POPs), společně s DDT. Jejich zdrojem může být spalování odpadů, které obsahují staré barvy, plasty a oleje. V 70. a 80. letech 20. století polychlorované bifenyly patřily mezi nejvíce sledované a prioritní škodliviny v prostředí. Ačkoli byla jejich výroba ukončena koncem 80. let minulého století, stále se dostávají do prostředí kvůli své chemické a biologické stabilitě (Pitter, 2009).

5.2.3. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs)

Všeobecně rozšířené znečišťující látky, které se skládají z více než jednoho benzenového jádra, nazýváme polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs). Existuje více než 100 sloučenin PAHs, ale podle soudobých poznatků je jich zdravotně rizikových asi 16 (Kalač, 2010).

Benzo[a]pyren je nejznámějším představitelem polycyklických aromatických uhlovodíků, avšak jeho karcinogenní účinek tvoří pouze asi 10-20% celkového karcinogenního potenciálu této skupiny látek. Proto by neměl být zaměňován s celou skupinou PAHs.

Přirozené zdroje PAHs jako spontánní lesní požáry, sopečné erupce, biosyntéza rostlin a mikroorganismů a syntéza z rozkladajícího se organického materiálu, přispívají pouze minimálně k celkové bilanci těchto znečišťujících látek. Mnohem významnějším zdrojem je lidská činnost, zejména nedokonalé spalování biomasy a fosilních paliv (zejména uhlí) v elektrárnách a domácích topeništích a spalování benzínu a nafty v mobilních zdrojích (Kopáček, 2020). Antropogenní zdroje PAHs lze rozdělit do dvou skupin: petrogenní a pyrogenní. Petrogenní zdroje zahrnují přímé úniky fosilních paliv do vodních toků, kde se pak PAU usazují v sedimentech. Pyrogenní zdroje jsou nejvýznamnější v oblastech, kde se spalují paliva, např. ve městech. Tyto zdroje nejprve emitují PAHs do vzduchu, ty pak vstupují do vod a sedimentů. Akumulace PAU v sedimentech závisí na jejich složení, obsahu organického uhlíku a velikosti částic. PAHs vázané na sedimenty jsou považovány za stabilní látky kvůli svým fyzikálně chemickým vlastnostem, což znamená, že po vázání prakticky nepodléhají dalším změnám. Některé PAU však mohou vznikat v sedimentech během procesů diageneze z

organického materiálu. Například perylen se používá jako indikátor této diageneze. Vznik PAHs probíhá ve dvou fázích: pyrolýze při vysokých teplotách nad 400°C, kdy vznikají jednodušší látky a radikály, a následné pyrosyntéze, při které se při teplotách 400-800°C tvoří PAHs. (Kalač, 2010). PAHs mají významné karcinogenní, mutagenní a teratogenní účinky, takže mají vliv na krvetvorbu, imunitní systém a reprodukci (Holoubek, 1996).

5.3. Zdroje kontaminace v zájmové lokalitě

Bodové zdroje antropogenní kontaminace v povodí často silně ovlivňují akumulaci znečišťujících látek v nádržích. Nebodové zdroje by však měly být zvažovány stejně (Sedláček, 2017). Vzhledem k rozsáhlému území zemědělských ploch, orné půdy a vinic v bývalém Československu může být dlouhodobé používání hnojiv a pesticidů významným plošným zdrojem těžkých kovů (Komárek et al., 2008; Uprety et al., 2009). V současné České republice se spotřeba průmyslových hnojiv snížila na třetinu dřívějších úrovní, což ovlivnilo intenzitu nebodového znečištění. Nicméně proces eroze půdy stále může způsobit poškození půdy a znečištění vod a sedimentů (Beránková a Ungerman, 1996). Některé studie ukázaly zvýšený obsah mědi a zinku ve svrchních vrstvách půdy v důsledku různých zemědělských aktivit po celém světě. Někteří kontaminanti jsou do prostředí emitováni prostřednictvím atmosférického spadu, který zahrnuje látky, které se dostávají do ovzduší spalováním fosilních paliv, výfukovými zplodinami a zplodinami z vysokých pecí. Mezi další zdroje znečištění patří bodové zdroje vypouštěné z průmyslových nebo komunálních odpadních vod v povodí řeky Moravy (Sedláček, 2013; 2017).

Zdrojem kontaminace v okolí přehrady mohou být i automobilní doprava, silnice, průmyslové zóny v Lukově a Fryštáku (např. valašský dřevoprůmysl, výrobní družstvo Fryšták, výroba dílů pro automobilový průmysl).

6. Metodika práce

6.1. Terénní část

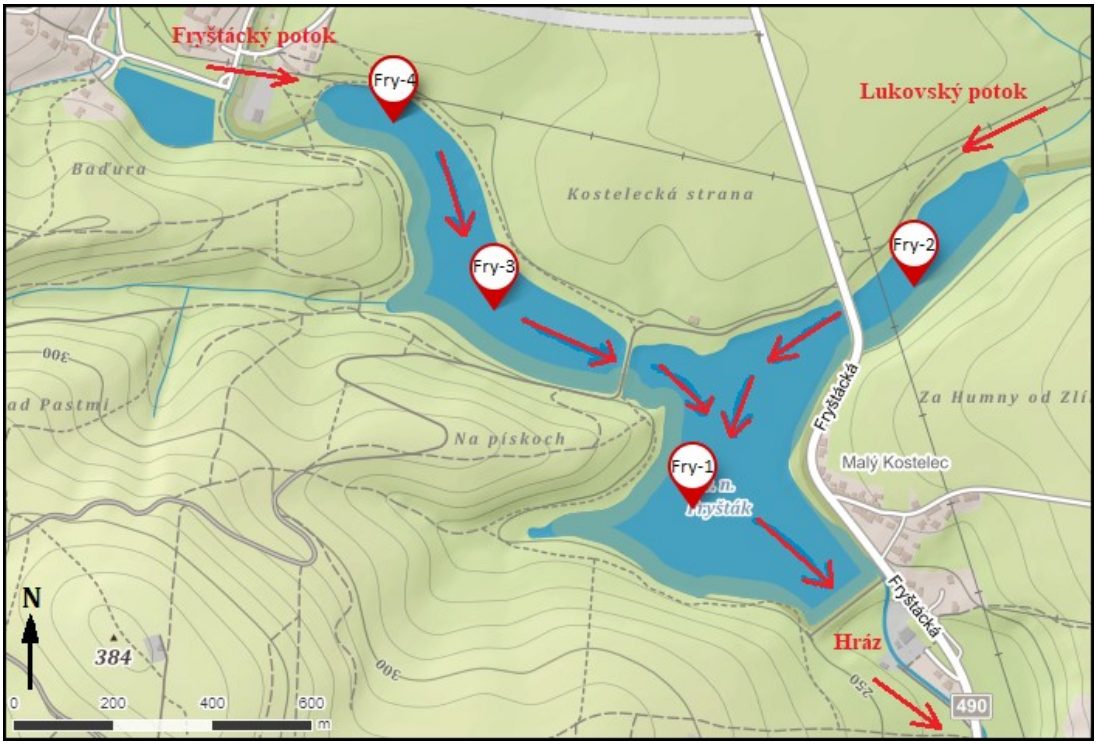
6.1.1. Odběr vzorků

Terénní část proběhla v létě 2021. V průběhu provádění odběru vzorků ze dna nádrží Fryšták byly odebrány 4 sedimentární profily Fry-1 až Fry-4 (Obr. 20). Mocnost vrtaných jáder a jejich GPS souřadnice jsou uvedeny v tab. 3. Vrtání jáder probíhalo pomocí plovoucí vrtné platformy (viz Příloha 1) a ručního pístového vzorkovače UWITEC (viz Příloha 1) rakouské výroby s délkou jádrovnice 1,3 m.

Fotodokumentace z odběrů vrtných jader je předložena v Příloze 1.

Tab. 3. Mocnost vrtaných jáder a jejich souřadnice.

Název vrtů	Delka jader (cm)	GPS Souřadnice
Fry-1	104	49°15'55.680"N, 17°41'10.920"E
Fry-2	80	49°16'10.140"N, 17°41'33.120"E
Fry-3	76	49°16'8.580"N, 17°40'51.180"E
Fry-4	104	49°16'20.760"N, 17°40'41.220"E



Obr. 20. Mapa lokalizace odebraných sedimentárních profilů (mapy.cz).

6.2. Laboratorní část

Laboratorní práce probíhala na katedře geologie Univerzity Palackého v Olomouci.

❖ **Příprava vzorků**

Po odběrů byla vrtná jádra nafotografována (viz Příloha 1), pak podélně rozřezána a znovu navzorkována po 2 cm. Bylo získáno 182 vzorků, které byly umístěny do plastových kalíšků. Dále se tyto vzorky sušily v sušárně při teplotě 55ºC během 24 hodin. Po vysušení byl každý vzorek drcen do práškového stavu na mlýnku a byl naskládán do zipového polyetylenového sáčku.

❖ **Granulometrie**

Vizuálně všechny vzorky odpovídají prachové (siltové) frakci. Proto byla pro definici jejich zrnitosti použita metoda laserové granulometrie, která proti síťové analyze může zjistit velikost i velmi malých zrn. Měření se provádělo na nerozemletých vzorcích pomocí laserového granulometru FRITSCH Analysette 22 MicroTec plus (viz Příloha 2) s měřícím rozsahem 0,0008 – 2 mm a dvouminutovým trváním jednoho měření. Pro měření byla použita dispergace morkou cestou. Metodou bylo analyzováno 182 vzorků.

❖ **Magnetická susceptibilita (MS)**

Magnetická susceptibilita (MS) je fyzikální veličina, která ukazuje míru magnetizace minerálů v hornině nebo sedimentu. Tato veličina se také používá jako proxy parametr pro litologii, identifikaci redukci amorfních zón, pedogenní alteraci atd. Příkladem hornin s vyšší mírou MS jsou prachovce a jílovce, nižší míru mají pískovce (Bábek, 2013).

Měření hmotnostně-specifické magnetické susceptibility se provádělo pomocí laboratorního kapamůstku KLY-4 (AGICO, s.r.o.) s citlivostí 3.10^{-8} (SI) a intenzitou magnetického pole 300 Am^{-1}. Před měřením vzorků byla definována magnetická susceptibilita polyetylenového sáčku. Jeho MS se potom odečítá od měřené susceptibility vzorků. Každý vzorek se měří během půl minuty. Výslednou hodnotou je objemová MS (SI).

Naměřené hodnoty se dále přepočítájí na hmotnostně-specifickou magnetickou susceptibilitu pomocí vzorce (1):

$$\chi[m^3kg^{-1}] = K[SI]*10 / m[g] / 1000, \quad (1)$$

kde **χ** je hmotnostně-specifická MS, **K[SI]** je změřená objemová MS v jednotkách SI, **m** je hmotnost vzorku (bez sáčku) v gramech, **10** je kalibrace můstku na objem 10 cm^3 a **1000** je převod na výslednou jednotku m^3kg^{-1}.

❖ **Datování pomocí ^{137}Cs**

Pro určení vertikální distribuce hmotnostní aktivity ^{137}Cs byl použit laboratorní gamaspektrometr GS-320, který je vybaven scintilačním detektorem 3x3“ NaI(Tl) od kanadského výrobce Exploranium Inc. Je určen pro měření spekter záření gama v laboratorních podmínkách. Tento přístroj umožňuje měřit hmotnostní aktivitu, koncentrace draslíku (K), ekvivalentní uran (eU), ekvivalentní thorium (eTh) a hmotnostní aktivitu ^{137}Cs. K obsluze přístroje slouží osobní počítač a příslušný software. Před měřením byly vzorky zváženy a poté vloženy do gamaspektrometru a změřeny s délkou měření 30 minut. Pro zobrazení dat na počítači byl použit program Lab Center.

❖ **Rentgenová fluorescenční analýza (EDXRF)**

Pro určení koncentrací jednotlivých prvků ve vybraných práškových vzorcích sedimentů byla použita metoda energiově-disperzní rentgenové fluorescenční analýzy (EDXRF). Pomocí této analýzy je možné zijstit koncentraci takových prvků jako Rb, Al, Ti, Zr, Ni, Fe, Zn, Cu, As atd. Pro měření byl aplikován spektrometr americké výroby Innov-X Delta (Příloha 2), v módu GEOCHEM s dobou měření 2 x 120 s.

❖ **Obsah organického uhlíku (TOC) a persistentních organických polutantů (POPs)**

Analýza pro určení obsahu organického uhlíku (TOC) a persistentních organických polutantů (POPs) byla provedena v laboratoři Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem. Z důvodu vysokých nákladů pro definici TOC a POPs bylo naměřeno jen jedno sedimentární jádro Fry-1.

6.3. Zpracování dat

Naměřená data byla zpracována v programech Microsoft Excel a Coreldraw.

7. Výsledky

7.1. Litologie a zrnitost

Sedimentární jádra mají tmavě hnědou až černou barvu, vysoký obsah organické hmoty a kvůli tomu i specifický pach. Makroskopicky sedimenty odpovídají prachové (siltové) frakci. Výsledky granulometrických analýz jsou kumulativní křivky distribuce zrnitosti (Obr. 21), křivky hloubkové distribuce mediánů zrnitosti M ve vrtech (Obr. 22) a grafické zobrazení procentního poměru jílové a siltové frakce (Obr. 23).

Zrnitostní křivky všech 4 profilů v různých hloubkách ukazují, že prachová frakce (80% až 94%) převládá nad jílovou (6% až 20%), což znamená, že studované sedimenty jsou jílovitým prachem (siltem).

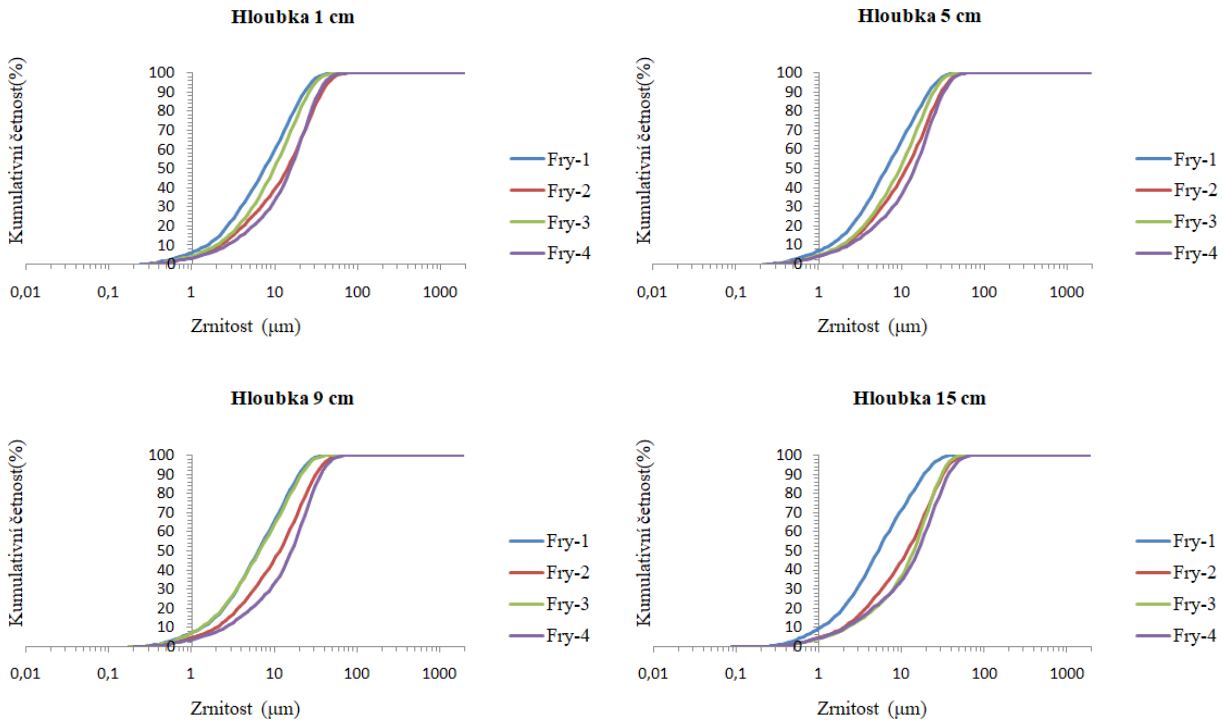
Ve většině vzorků se mediány pohybují v rozmezí od 5μm (Fry-1) do 28 μm (Fry-4). Střídají se polohy jemnějších a hrubších sedimentů. Sedimenty mají dobré vytřídění, na které ukazují tvary kumulativních křivek. Ve vrtných jádrech byly pozorovány následující zrnitostní trendy:

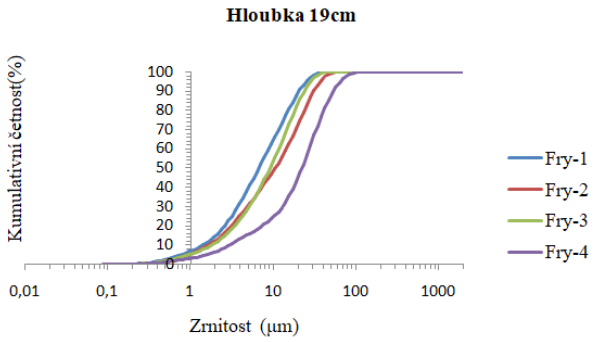
• hrubozrnnější sedimenty (Fry-4, průměr 14,65μm; Fry-2=9,61μm) leží blíže k nápusti do přehrady;

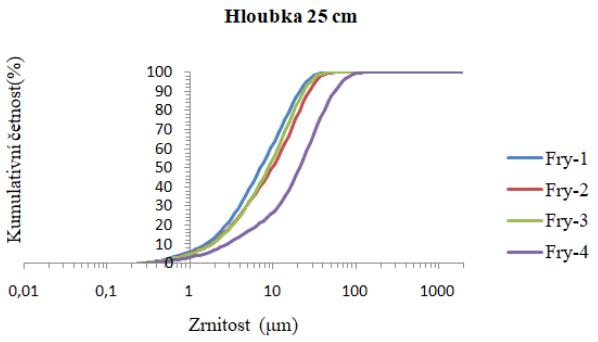
• jemnozrnnější sedimenty leží dále v přehradě, blíže k hrázi (Fry-3=8,73μm; Fry-1=8,23μm).

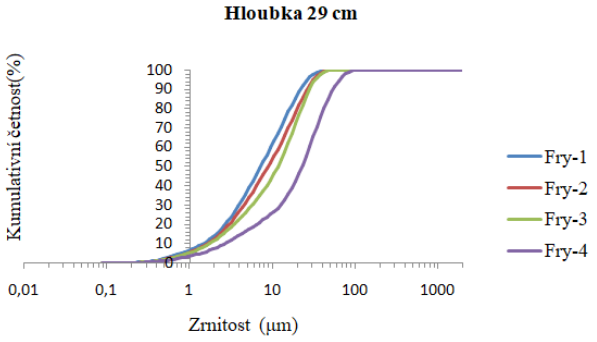
Na Obr. 22 je vidět, že jádro Fry-4 vhloubkách 16-30 cm má vrstvu hrubozrnnějšího sedimentu, kterou lze korelovat s podobnou vrstvou jádra Fry-1 v hloubkách 54-76 cm.

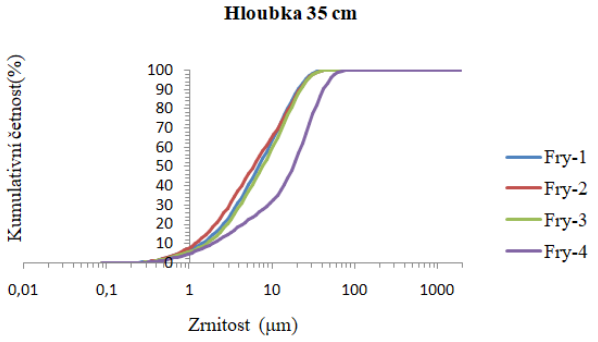
V hloubkách 1 a 5 cm jsou sedimenty jádra Fry-1 nejjemnejší, Fry-4 nejhrubší. V hloubce 9 cm je zrnitost Fry-1 a Fry-3 víceméně podobná. Graf v hloubce 15 cm ukazuje, že zrnitostní frakce Fry-1 je v této hloubce výrazně jemnější než ostatní tři. Dále je vidět, že v hloubkách 19, 25, 29, 35 a 49 cm je pozorována opačná situace: sedimenty Fry-4 jsou zde znatelně hrubozrnnější. Navíc v hloubce 49 cm je velikost zrn Fry-1, Fry-2 a Fry-3 zhruba stejná. V hloubkách 55 a 59 cm na začátku patří nejjemnejší sedimenty do Fry-1, ale potom s rostoucí velikostí zrn do Fry-3. Zrnitostní frakce Fry-3 je nejjemnejší v hloubkách 65 a 69 cm, v hloubce 69 cm je hrubozrnnější frakcí Fry-1. Sedimenty Fry-2 jsou nejjemnejší v hloubce 79 cm. V hloubkách 80-104 cm jsou sedimenty vrtů Fry-1 a Fry-4 relativně podobné.

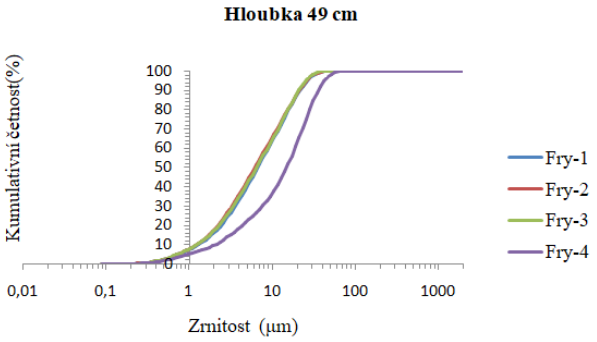


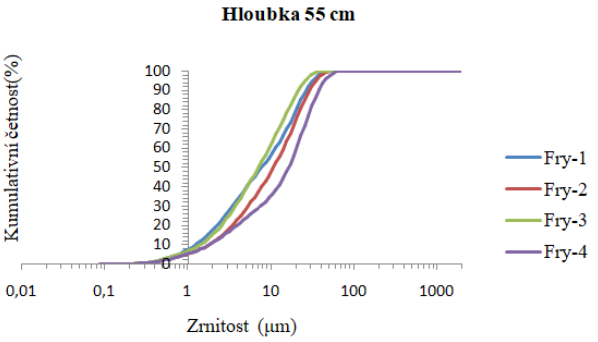

Hloubka 19cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4

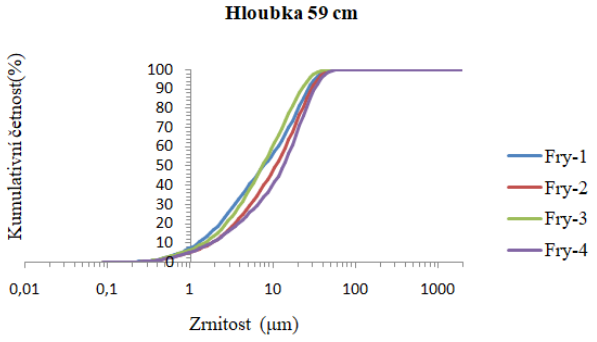

Hloubka 25 cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4

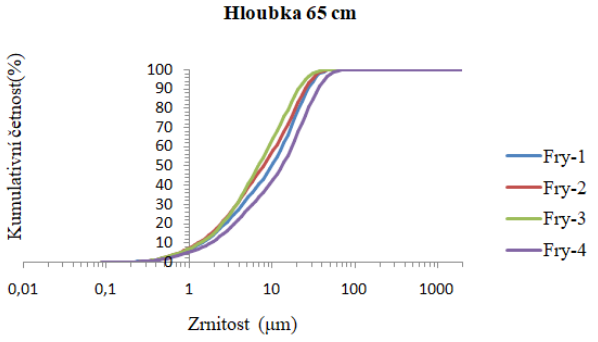

Hloubka 29 cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4

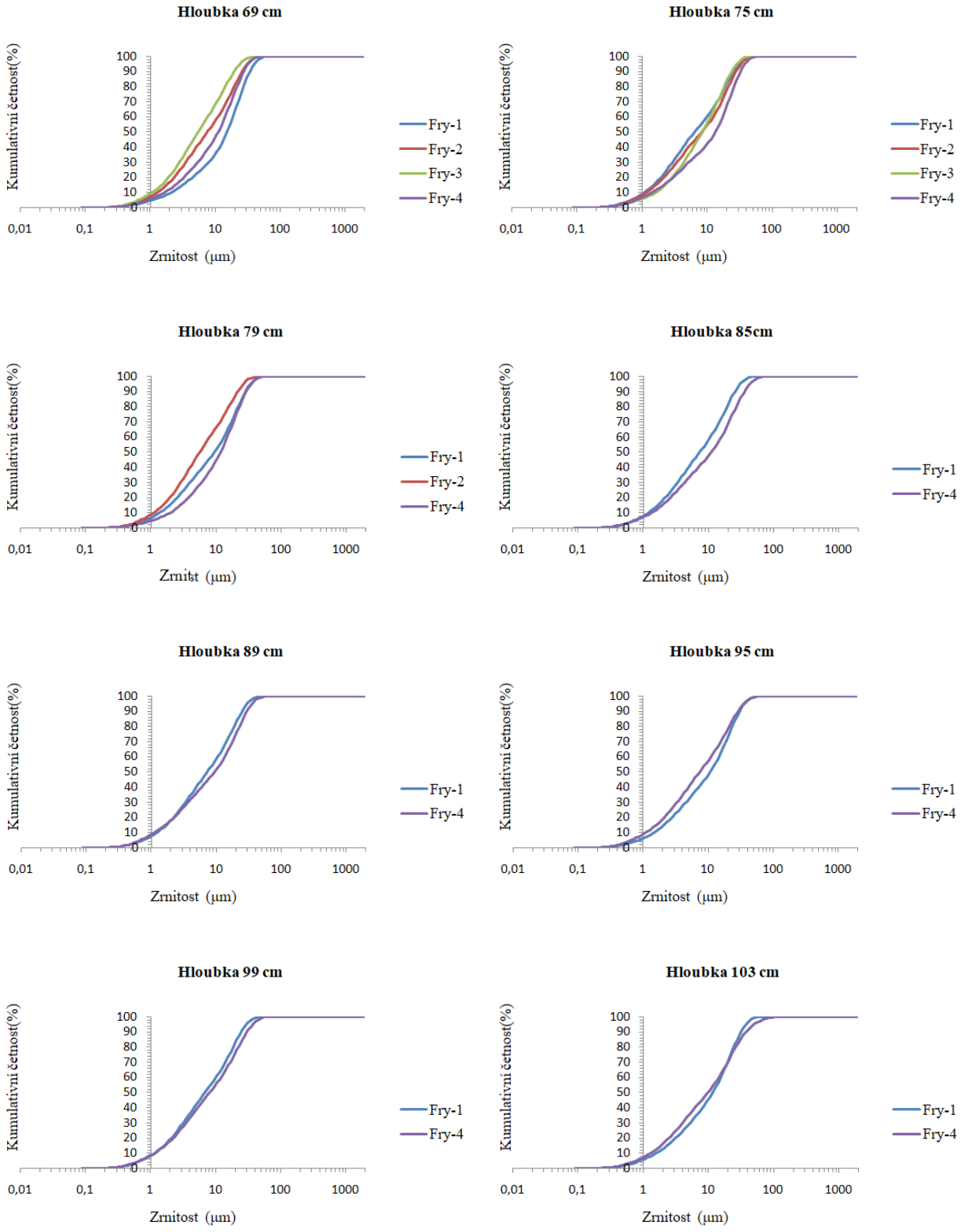

Hloubka 35 cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4


Hloubka 49 cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4

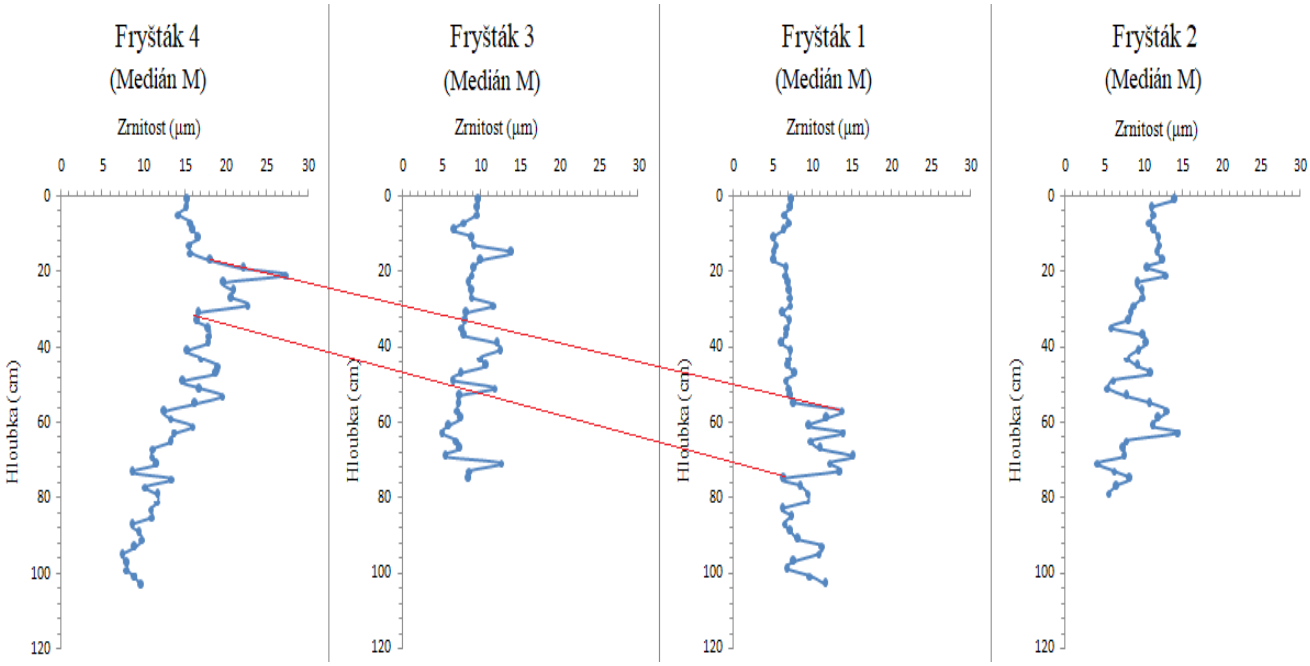

Hloubka 55 cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4


Hloubka 59 cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4

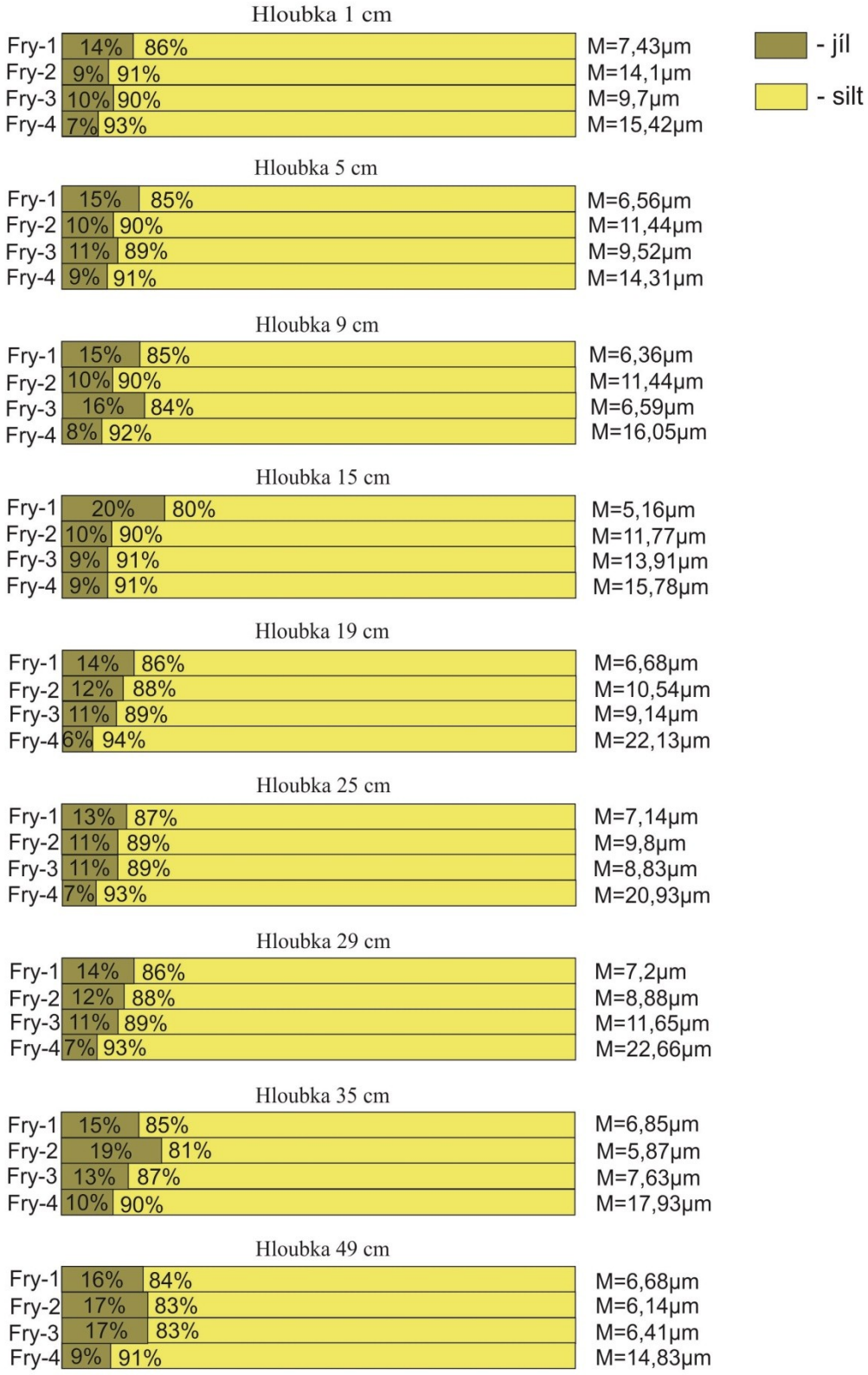

Hloubka 65 cm
Kumulativní četnost(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,01
0,1
1
10
100
1000
Zrnitost (µm)
Fry-1
Fry-2
Fry-3
Fry-4

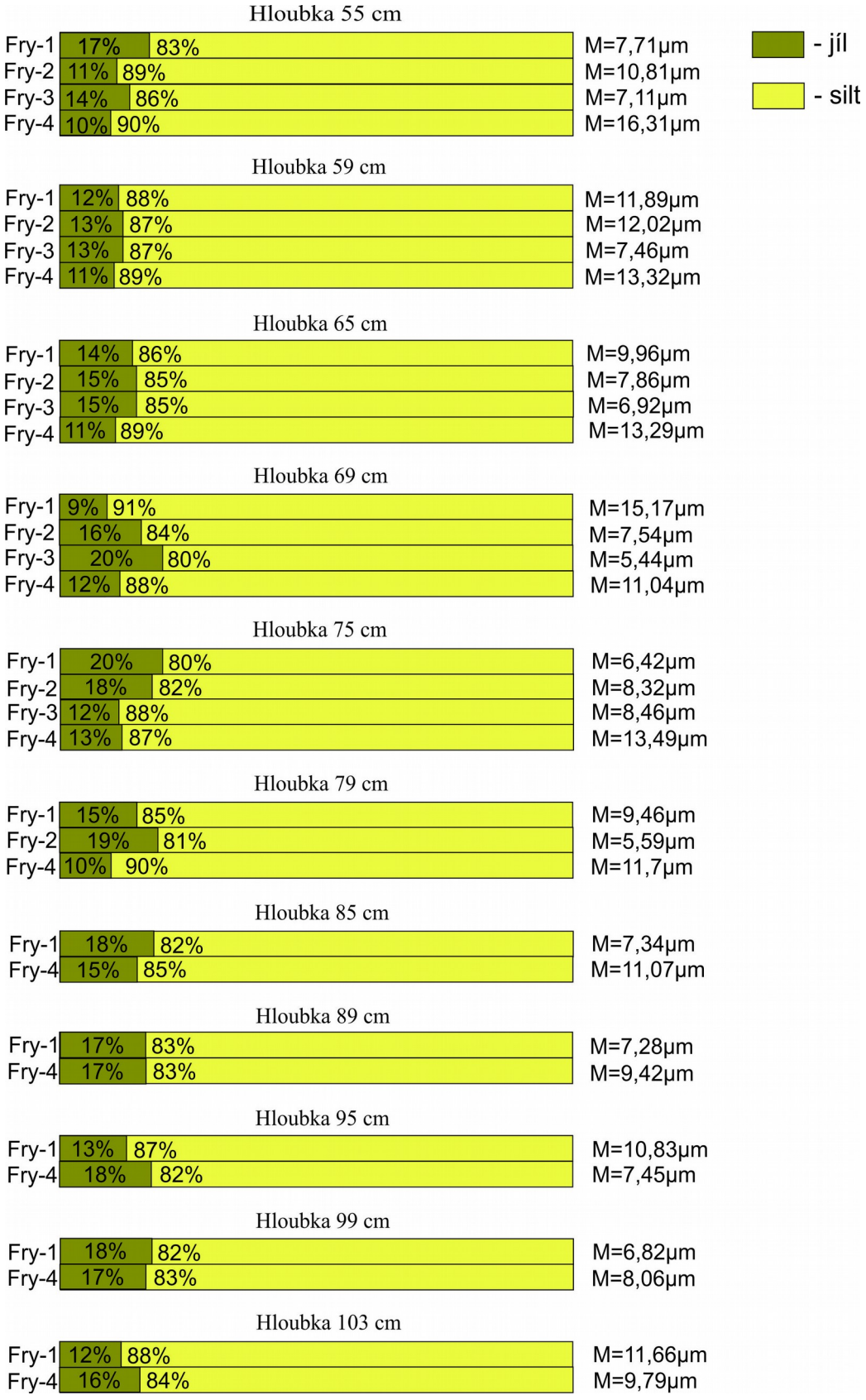


Obr. 21. Vybrané kumulativní křivky distribuce zrnitosti ve vzorcích z vrtů Fry-1 až Fry-4.



Obr. 22. Hloubková distribuce mediánů (M) zrnitosti vzorků ve vrtech Fry-1 až Fry-4, a korelace hranic hrubozrnných a jemnozrnných vrstev.


Hloubka 1 cm
Fry-1 14% 86% M=7,43µm
Fry-2 9% 91% M=14,1µm
Fry-3 10% 90% M=9,7µm
Fry-4 7% 93% M=15,42µm
- jíl
- silt
Hloubka 5 cm
Fry-1 15% 85% M=6,56µm
Fry-2 10% 90% M=11,44µm
Fry-3 11% 89% M=9,52µm
Fry-4 9% 91% M=14,31µm
Hloubka 9 cm
Fry-1 15% 85% M=6,36µm
Fry-2 10% 90% M=11,44µm
Fry-3 16% 84% M=6,59µm
Fry-4 8% 92% M=16,05µm
Hloubka 15 cm
Fry-1 20% 80% M=5,16µm
Fry-2 10% 90% M=11,77µm
Fry-3 9% 91% M=13,91µm
Fry-4 9% 91% M=15,78µm
Hloubka 19 cm
Fry-1 14% 86% M=6,68µm
Fry-2 12% 88% M=10,54µm
Fry-3 11% 89% M=9,14µm
Fry-4 6% 94% M=22,13µm
Hloubka 25 cm
Fry-1 13% 87% M=7,14µm
Fry-2 11% 89% M=9,8µm
Fry-3 11% 89% M=8,83µm
Fry-4 7% 93% M=20,93µm
Hloubka 29 cm
Fry-1 14% 86% M=7,2µm
Fry-2 12% 88% M=8,88µm
Fry-3 11% 89% M=11,65µm
Fry-4 7% 93% M=22,66µm
Hloubka 35 cm
Fry-1 15% 85% M=6,85µm
Fry-2 19% 81% M=5,87µm
Fry-3 13% 87% M=7,63µm
Fry-4 10% 90% M=17,93µm
Hloubka 49 cm
Fry-1 16% 84% M=6,68µm
Fry-2 17% 83% M=6,14µm
Fry-3 17% 83% M=6,41µm
Fry-4 9% 91% M=14,83µm

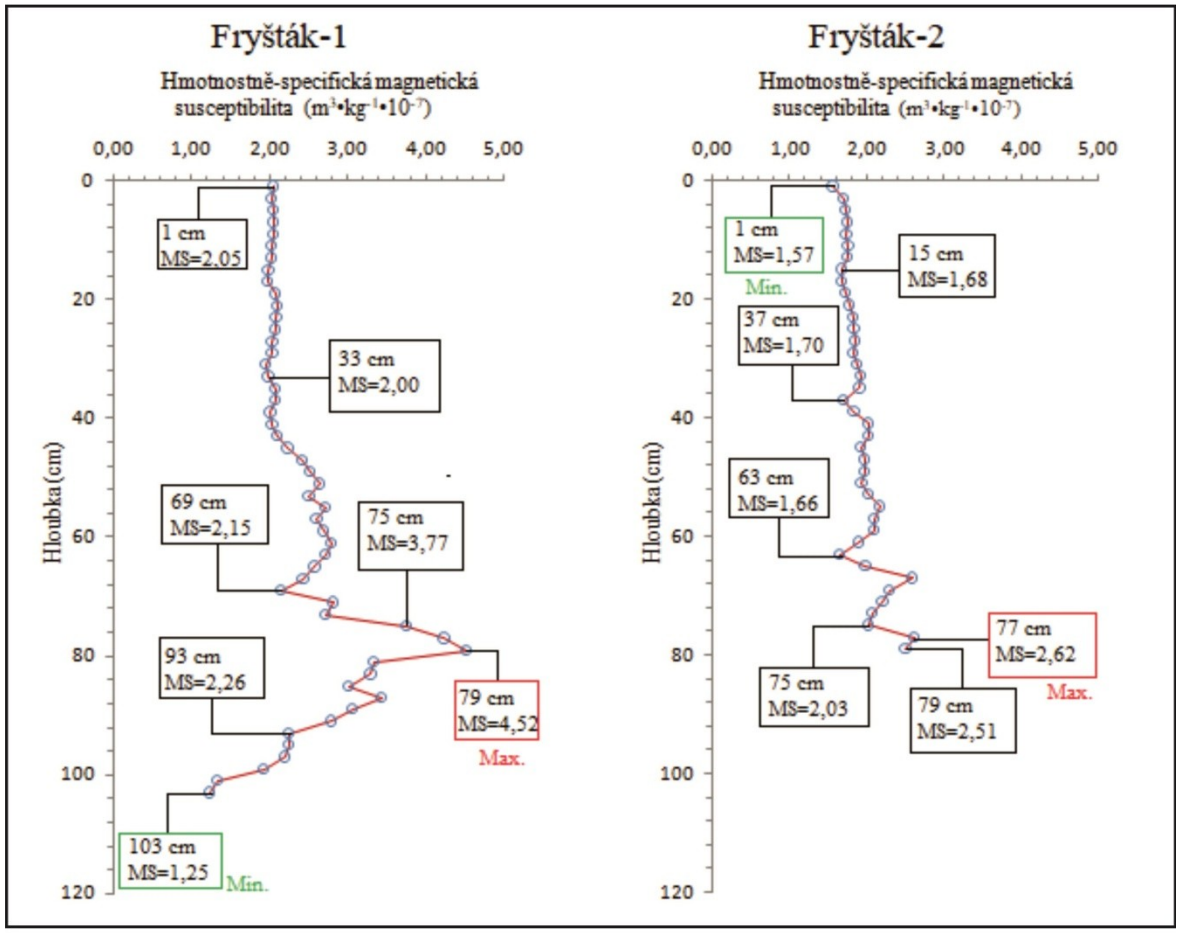


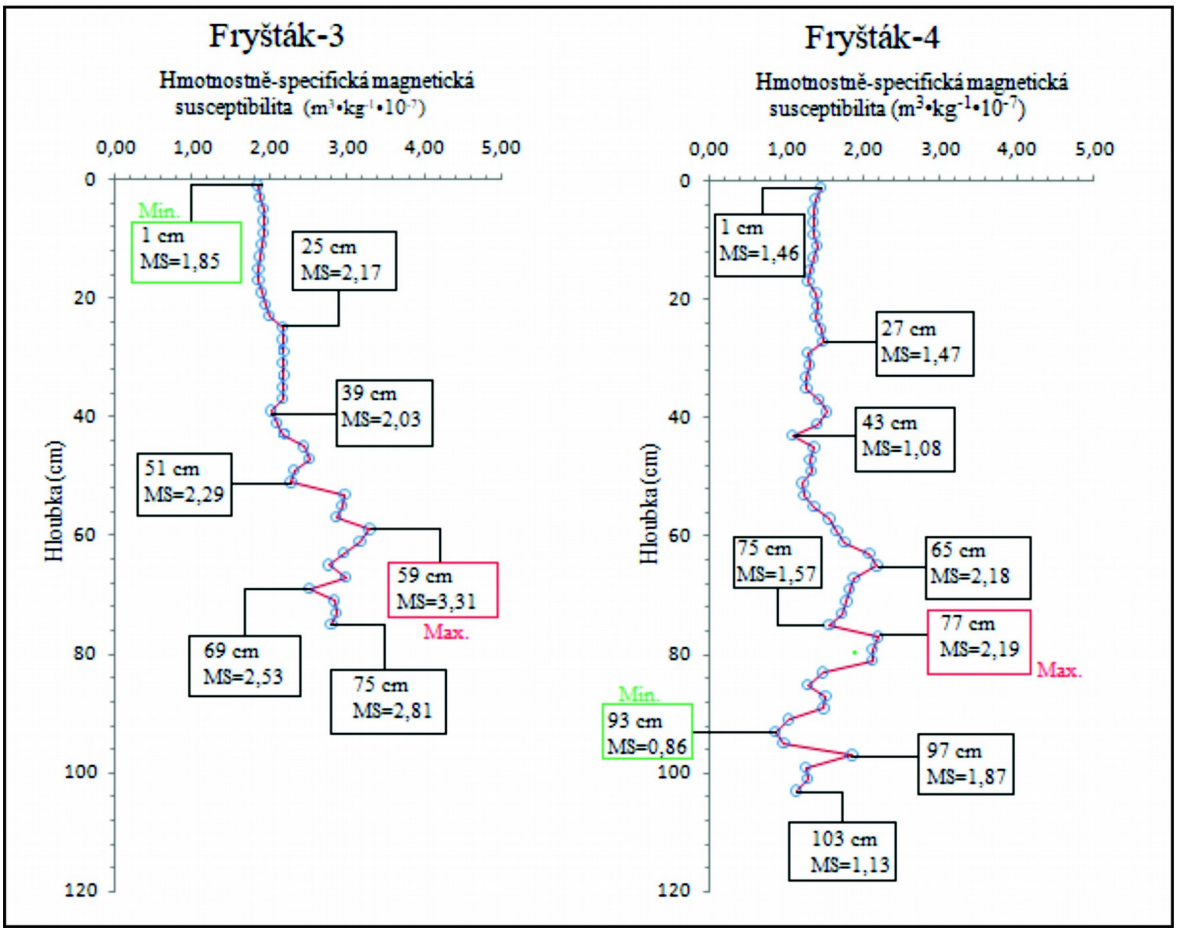
Obr. 23. Procentní distribuce jílové a siltové frakce s uvedením mediánů M.

7.2. Magnetická susceptibilita (MS)

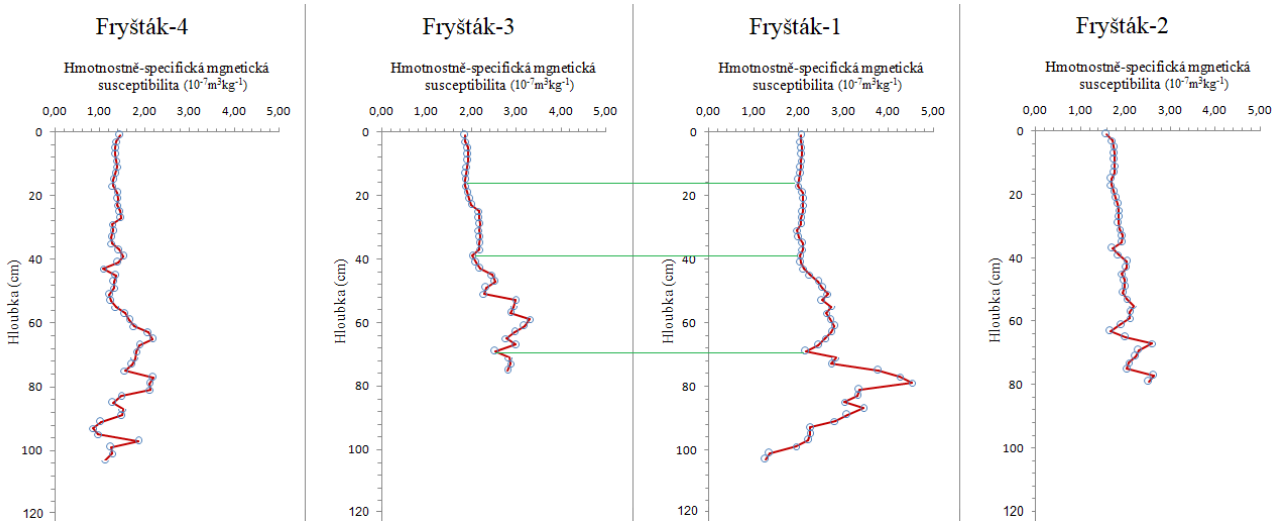
Výsledky měření magnetické susceptibility jsou distribuční křivky hodnot hmotnostně-specifické MS v závislosti na hloubce (Obr. 24). V grafech jsou také ukazány některé hodnoty MS s uvedením maxima a minima. Obr. 25 zobrazuje vertikální distribuci hmotnostně-specifické MS ve vrtech Fry-1 až Fry-4 , přičemž jsou znázorněny možné korelace mezi vybranými vrty. Naměřené hodnoty MS jsou uvedeny v Příloze 3.

Průměr pro sedimentární jádro Fry-1 je 2,43$m^3kg^{-1}10^{-7}$, pro Fry-2 je 1,94 $m^3kg^{-1}10^{-7}$, pro Fry-3 je 2,35 $m^3kg^{-1}10^{-7}$, pro Fry-4 je 1,47$m^3kg^{-1}10^{-7}$. Průměrné hodnoty MS pro Fry-1 a Fry-3 jsou vyšší než u Fry-2 a Fry-4. Zároveň Fry-2 a Fry-4 leží blíže k nápusti do přehrady a jsou hrubozrnnější.





Obr. 24. Grafy distribuce MS v závislosti na hloubce.



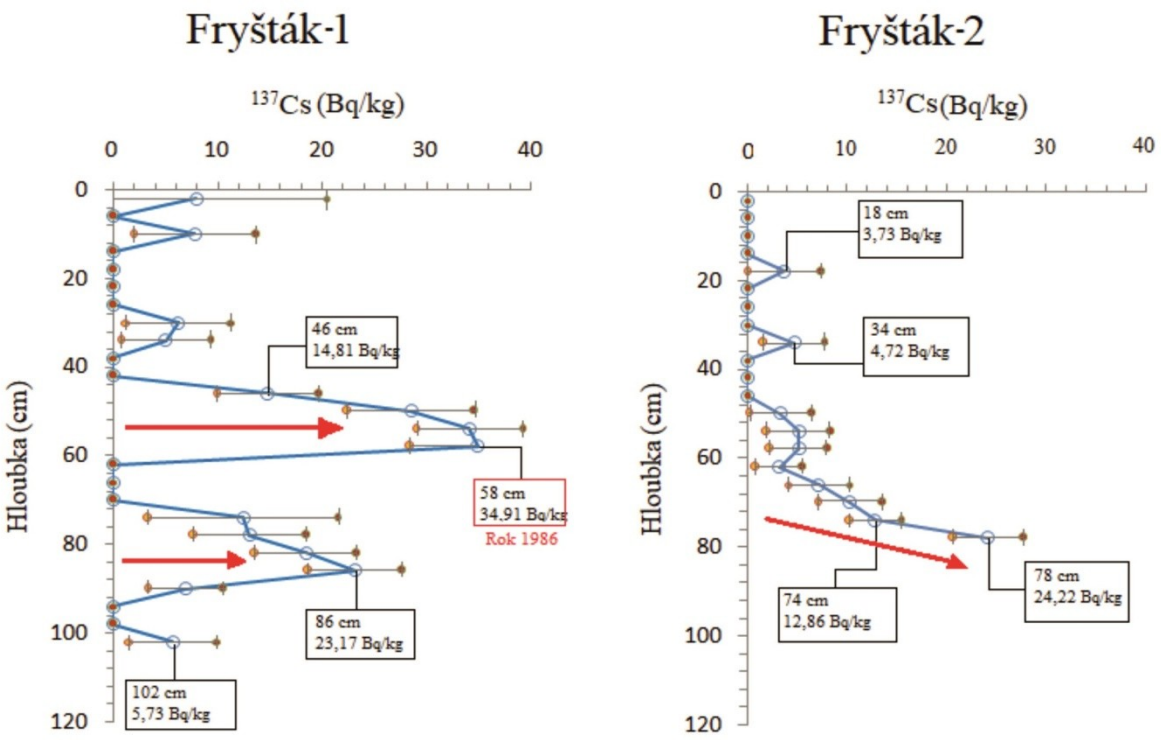
Obr. 25. Vertikální distribuce hmotnostně-specifické magnetické susceptibility ve vrtech Fry-1 až Fry-4 a znázornění možné korelace mezi vybranými vrty.

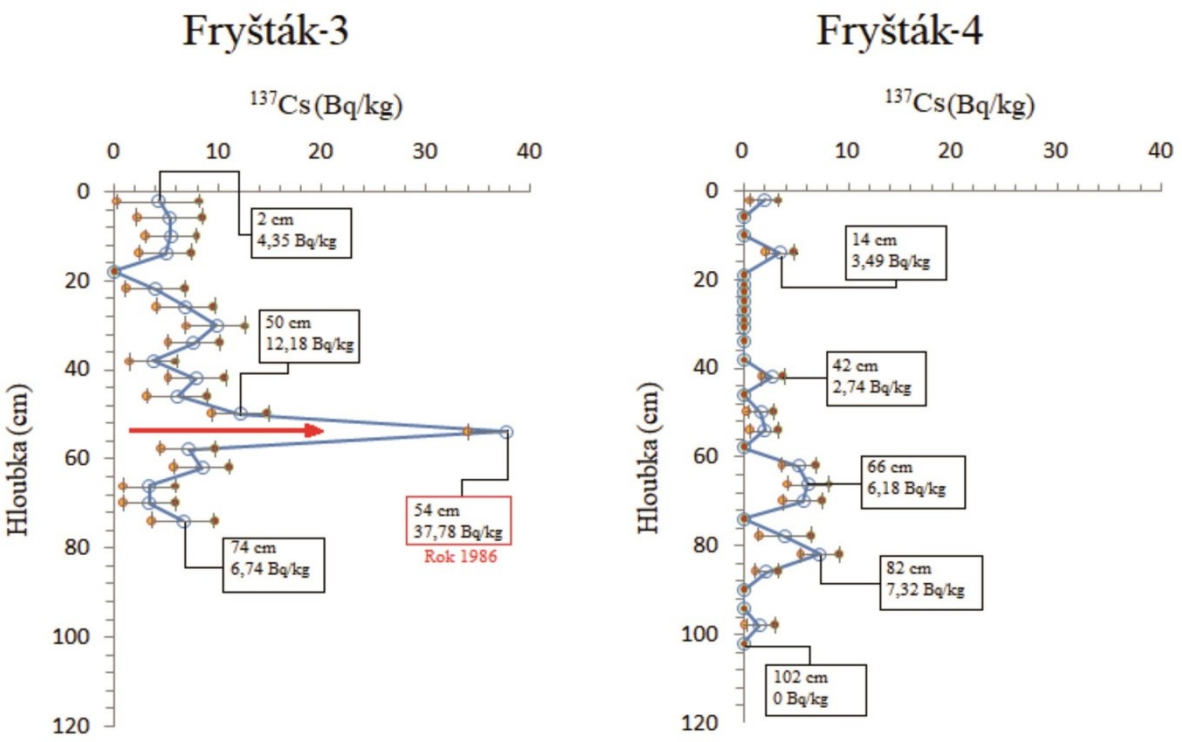
7.3. Datování pomocí ^{137}Cs

Naměřené hodnoty hmotnostní aktivity ^{137}Cs pro sedimentární profily Fry-1, Fry-2, Fry-3 a Fry-4 jsou uvedeny v Příloze 4. Na grafech je vidět distribuce hodnot ^{137}Cs v

závislosti na hloubce (Obr. 26). Průměrné hodnoty pro vrty Fry-1, Fry-2, Fry-3 a Fry-4 jsou 8,42 Bq/kg, 4 Bq/kg, 7,71 Bq/kg a 1,53 Bq/kg.

Pro sedimentární jádro se Fry-1 maximální hodnota ^{137}Cs nachází v hloubce 58 cm a rovná se 34,91 Bq/kg. Pro Fry-2 je hodnota ^{137}Cs 24,22 Bq/kg v hloubce 78 cm, pro Fry-3 je 37,78 Bq/kg v hloubce 54 cm a pro Fry-4 je 7,32 Bq/kg v hloubce 82 cm. V jádrech Fry-1 a Fry-3 jsou dobře viditelné píky koncentrací ^{137}Cs, které jsou pravděpodobně spojeny s Černobylskou katastrofou v dubnu 1986. V jádrech Fry-2 a Fry-4 budou píky zastiženy ve větších hloubkách.





Obr. 26. Distribuce hodnot ^{137}Cs (s chybovými úsečkami jednotlivých měření) v závislosti na hloubce v jádrech Fry-1 až Fry-4.

7.4. Rentgenová fluorescenční analýza (EDXRF)

7.4.1. Koncentrace prvků ve vzorcích a jejich vertikální distribuce ve vrtech

Metoda rentgenové fluorescenční analýzy umožňuje zjistit koncentraci různých chemických prvků. Naměřené koncentrace zájmových prvků jsou uvedeny v Příloze 4. Minimální, maximální a průměrné hodnoty některých prvků pro sedimentární profily Fry-1, Fry-2, Fry-3 a Fry-4 jsou uvedeny v tab. 4.

Pomocí hodnot koncentrací určitých minerálů je možno definovat základní litologické složení zájmových sedimentárních profilů. Jílové sedimenty mají vysoké koncentrace Al. Minimální hodnoty Al pro Fry1-4 jsou 3,23%, 2,71%, 3,71% a 2,37% a nachází se v hloubkách 69, 27, 15 a 43 cm; max. jsou v hloubkách 99, 71, 39 a 103 cm (Obr. 27-30).

Ve všech 4 vrtech jsou rovněž patrné relativně vysoké koncentrace Si, což znamená přítomnost písčitých sedimentů. Minimální koncentrace Si ve vrtu Fry-1 je 12,77% a nachází se v hloubce 1 cm, ve Fry-2 je 11,49% v hloubce 27 cm, ve Fry-3 je

15,29% v hloubce 73 cm, ve Fry-4 se rovná 17,2% v hloubce 101 cm. Maximální koncentrace Si v sedimentárních profilech Fry1-4 byly zastiženy v hloubkách 101, 63, 51 a 43 cm (Obr. 27-30).

Tab. 4. Rozsahy koncentrací zájmových prvků ve vrtech Fry-1 až Fry-4.

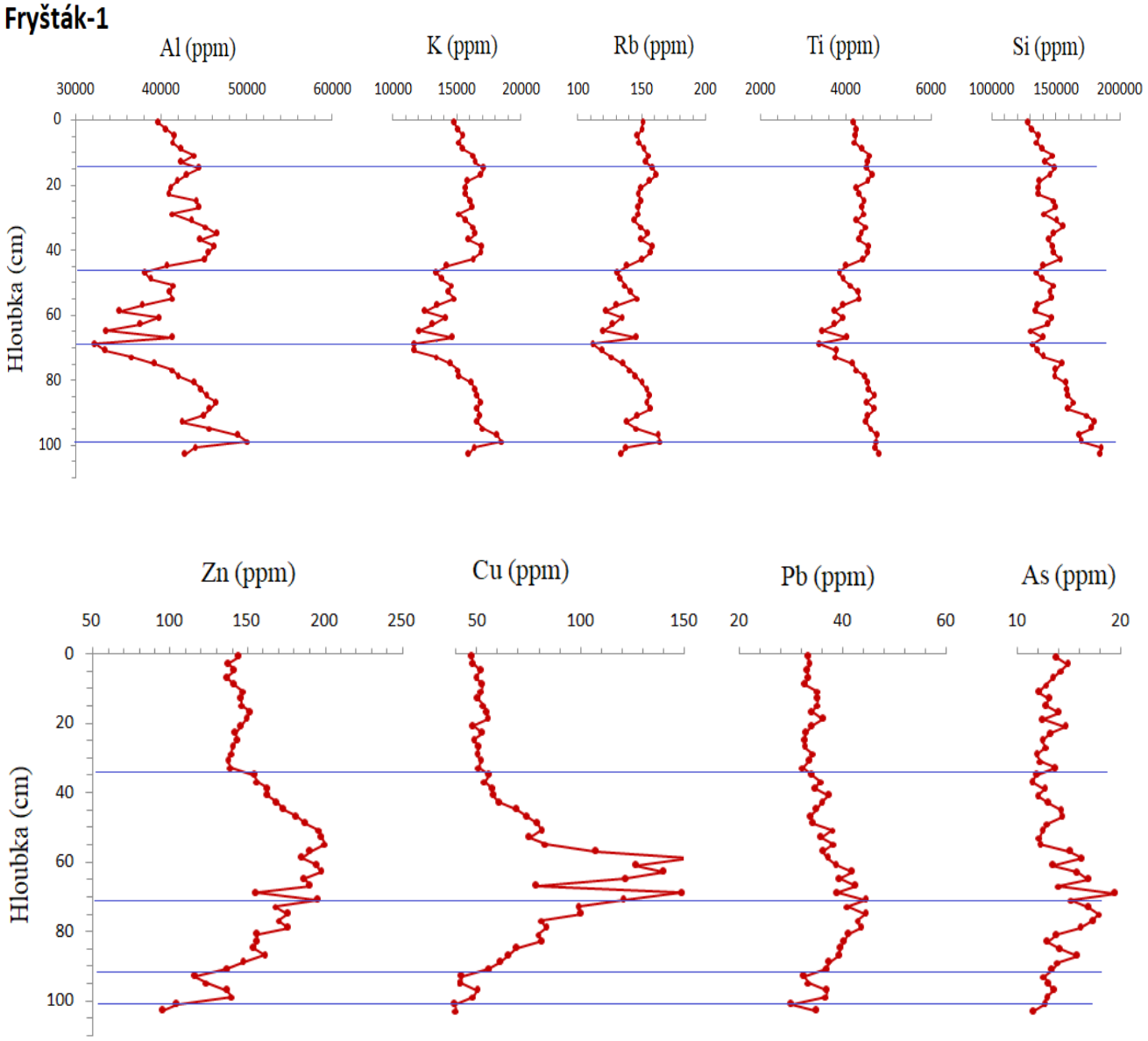
Fryšták-1										
Prvky	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Rb (ppm)	Pb (ppm)	Ca (%)
Min. hodnota koncentrace prvku	3,23	12,77	1,16	0,34	39,58	95,42	11,42	111,26	30,06	0,47
Max. hodnota koncentrace prvku	5,01	18,46	1,85	0,48	153,57	199,93	19,50	164,55	44,31	8,65
Průměrná hodnota koncentrace prvku	4,20	14,84	1,54	0,43	70,41	157,50	13,82	144,58	36,42	4,16
Prvky	Th (ppm)	S (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)	Ni (ppm)	Se (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Mo (ppm)
Min. hodnota koncentrace prvku	26,84	41,75	196,74	513,63	2,92	12,00	0,00	108,16	135,28	0,00
Max. hodnota koncentrace prvku	46,30	3634,89	298,49	1309,39	4,11	77,21	6,78	252,33	254,56	4,54
Průměrná hodnota koncentrace prvku	34,55	1042,80	250,39	807,69	3,75	41,62	2,31	171,28	164,67	2,95

Fryšták-2										
Prvky	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Rb (ppm)	Pb (ppm)	Ca (%)
Min. hodnota koncentrace prvku	2,71	11,49	0,94	0,24	13,38	80,40	3,72	60,67	15,60	0,74
Max. hodnota koncentrace prvku	4,41	20,28	1,72	0,53	108,05	209,79	15,01	151,19	31,94	6,93
Průměrná hodnota koncentrace prvku	3,65	16,48	1,52	0,46	50,84	131,19	10,84	123,95	28,54	2,47
Prvky	Th (ppm)	S (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)	Ni (ppm)	Se (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Mo (ppm)
Min. hodnota koncentrace prvku	32,73	0,00	43,81	360,96	1,67	9,15	0,83	69,68	135,39	0,00
Max.hodnota koncentrace prvku	45,92	1049,74	284,78	1128,47	3,53	102,52	10,30	243,22	508,34	5,76
Průměrná hodnota koncentrace prvku	39,83	328,56	236,60	643,65	2,91	56,37	4,51	142,12	282,30	3,76

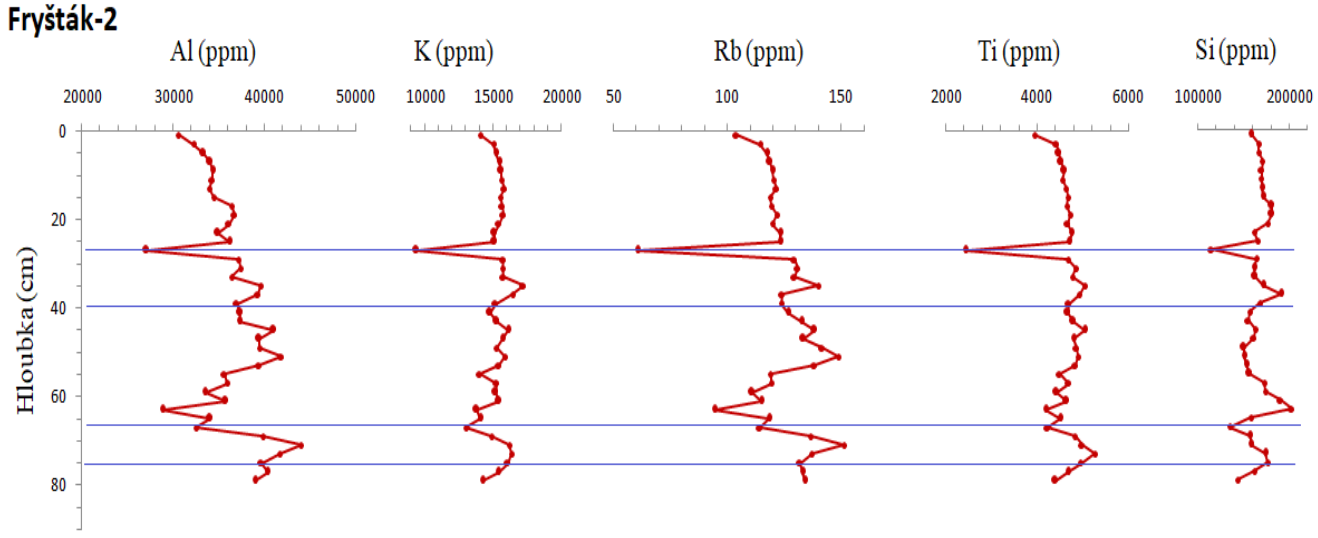
Fryšták-3										
Prvky	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Rb (ppm)	Pb (ppm)	Ca (%)
Min. hodnota koncentrace prvku	3,71	15,29	1,51	0,45	35,57	126,94	10,90	130,00	29,64	1,52
Max. hodnota koncentrace prvku	4,72	18,62	1,87	0,52	81,53	351,85	22,79	157,15	49,78	4,89
Průměrná hodnota koncentrace prvku	4,24	16,82	1,73	0,49	46,66	201,14	15,48	143,61	37,54	2,34
Prvky	Th (ppm)	S (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)	Ni (ppm)	Se (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Mo (ppm)
Min. hodnota koncentrace prvku	28,72	33,93	213,48	632,60	3,08	19,31	1,11	128,70	190,25	1,74
Max. hodnota koncentrace prvku	43,34	2511,26	297,46	1076,67	4,01	50,01	2,82	194,74	312,37	4,97
Průměrná hodnota koncentrace prvku	37,17	592,72	250,36	808,45	3,58	36,06	1,60	143,05	235,49	3,20

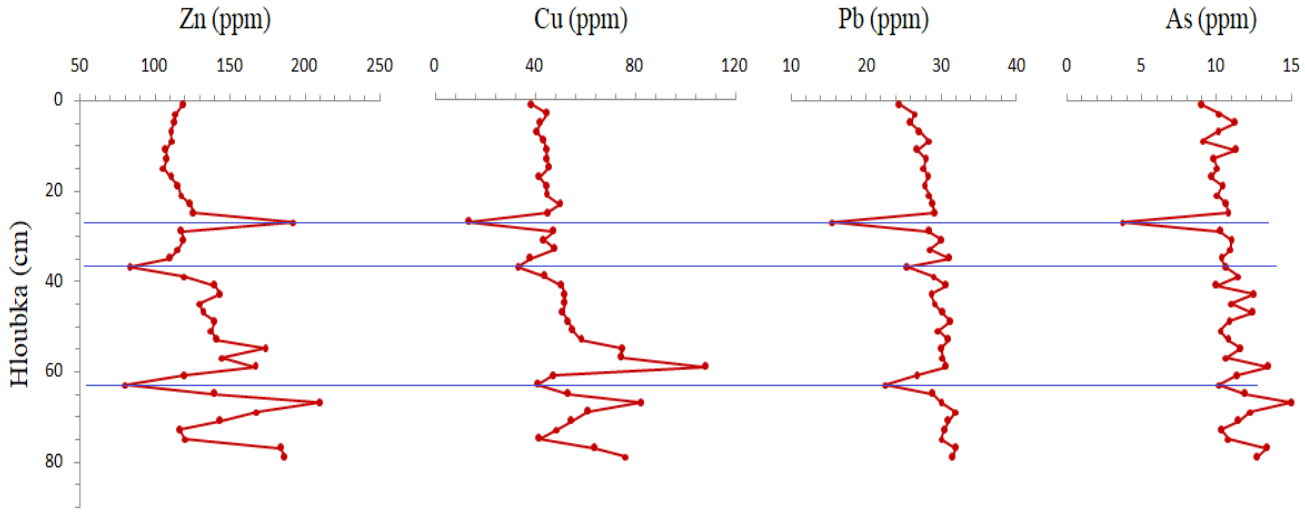
Fryšták-4										
Prvky	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ti (%)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	As (ppm)	Rb (ppm)	Pb (ppm)	Ca (%)
Min. hodnota koncentrace prvku	2,37	17,20	1,40	0,23	14,47	59,87	7,96	71,54	14,64	0,22
Max. hodnota koncentrace prvku	4,71	24,13	1,93	0,50	43,79	192,12	16,98	152,76	34,87	1,77
Průměrná hodnota koncentrace prvku	3,46	19,96	1,68	0,45	30,15	102,05	11,00	109,38	26,00	0,51
Prvky	Th (ppm)	S (ppm)	V (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)	Ni (ppm)	Se (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Mo (ppm)
Min. hodnota koncentrace prvku	30,15	0,00	169,42	266,43	1,21	12,41	0,90	76,94	249,31	2,87
Max. hodnota koncentrace prvku	47,41	506,34	296,79	1234,90	3,62	61,47	12,00	131,84	551,63	2,87
Průměrná hodnota koncentrace prvku	40,41	29,06	220,06	472,90	2,22	33,91	4,82	104,51	385,54	4,32

Obr. 27-30 ukazují vertikální distribuce koncentrací Al, Si, K, Ti, Cu, Zn, Ar, Rb a Pb ve vrtech Fry-1 až Fry-4. Na základě podobnosti je možné provést korelace mezi některými prvky. Spolu se dobře korelují Al, K, Rb a Ti, Zn a Cu, Pb a As.



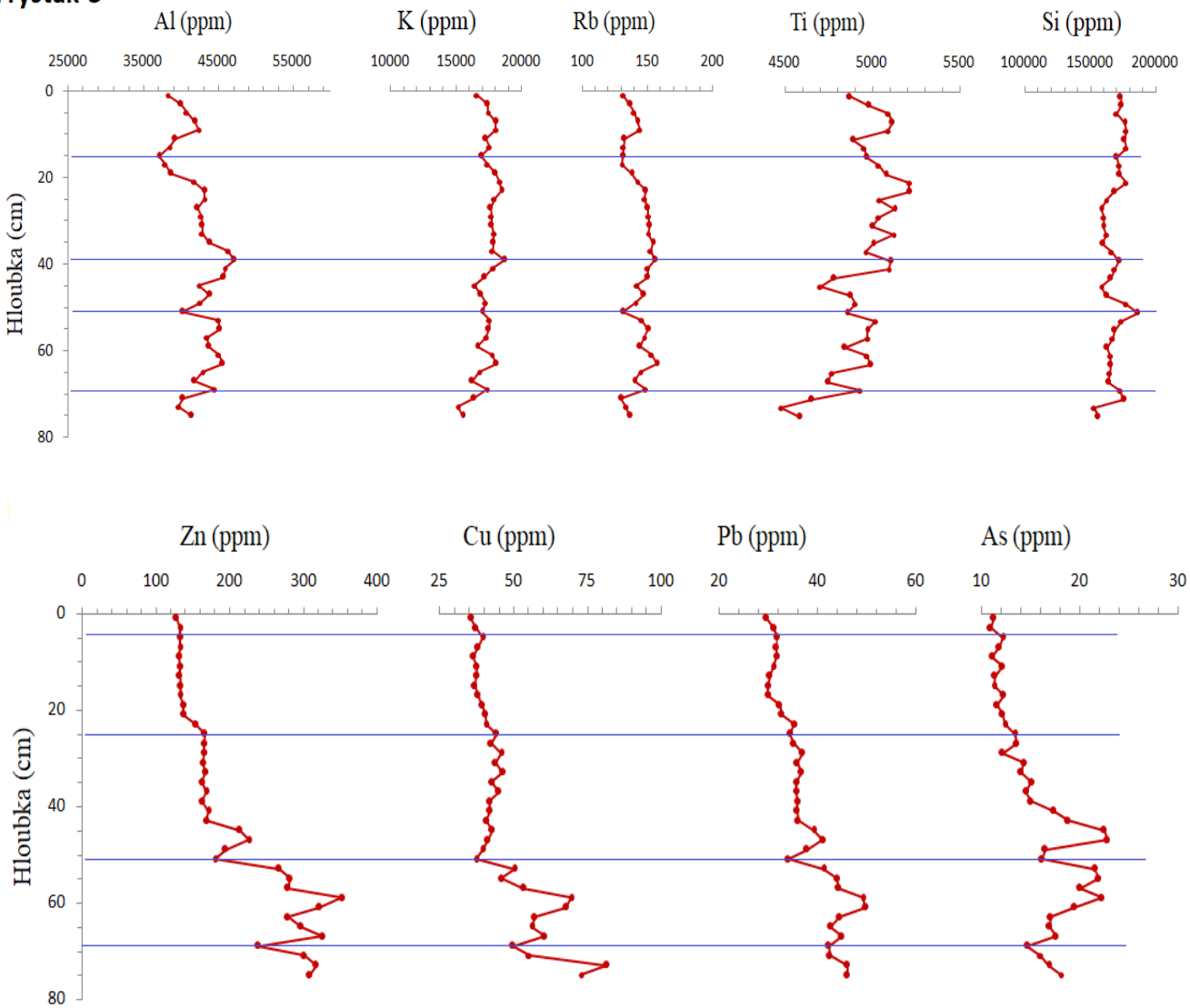
Obr. 27. Vertikální distribuce prvků Al, Si, K, Ti, Cu, Zn, Ar, Rb a Pb ve vrtu Fry-1.



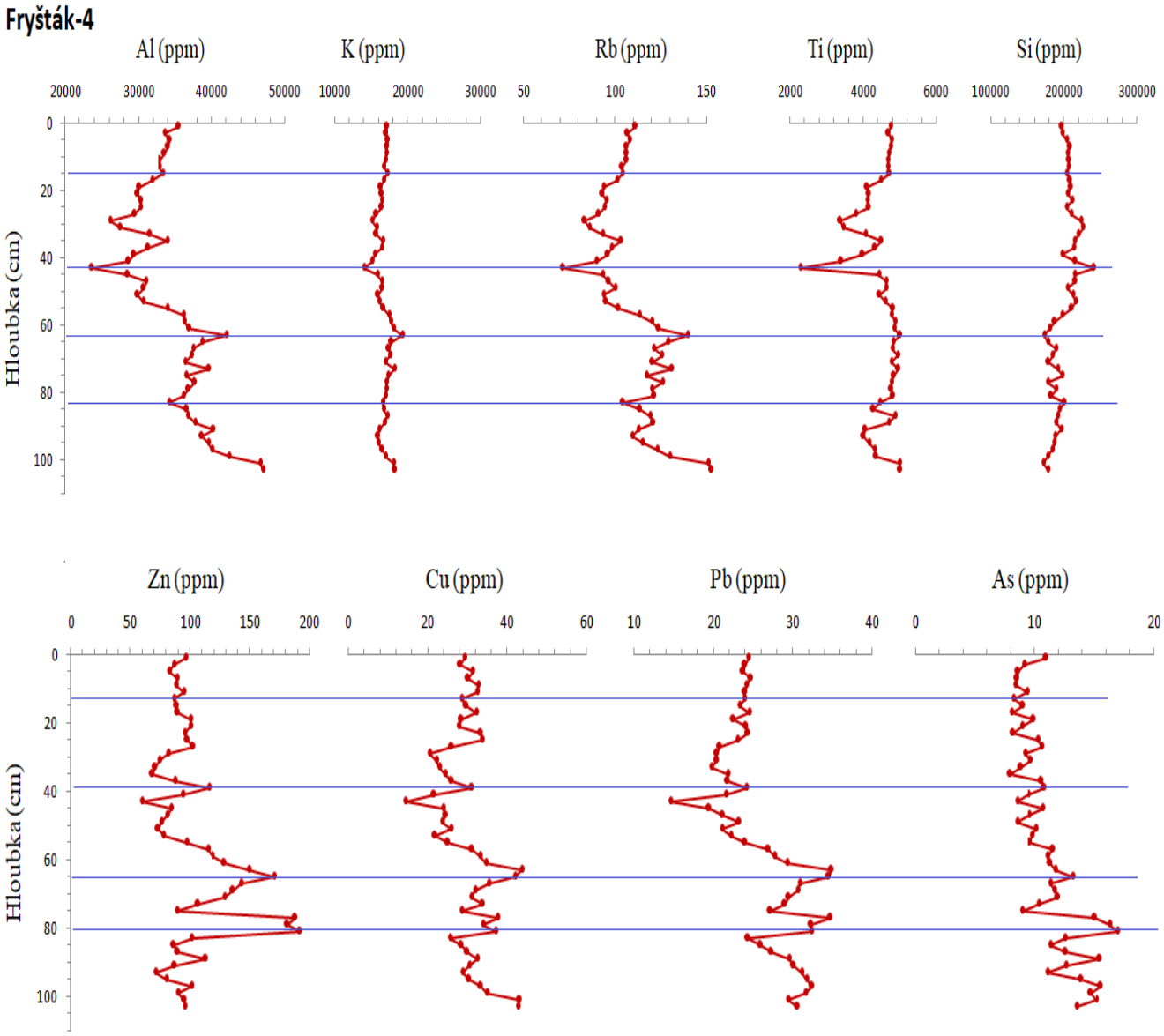


Obr. 28. Vertikální distribuce prvků Al, Si, K, Ti, Cu, Zn, Ar, Rb a Pb ve vrtu Fry-2.

Fryšták-3



Obr. 29. Vertikální distribuce prvků Al, Si, K, Ti, Cu, Zn, Ar, Rb a Pb ve vrtu Fry-3.

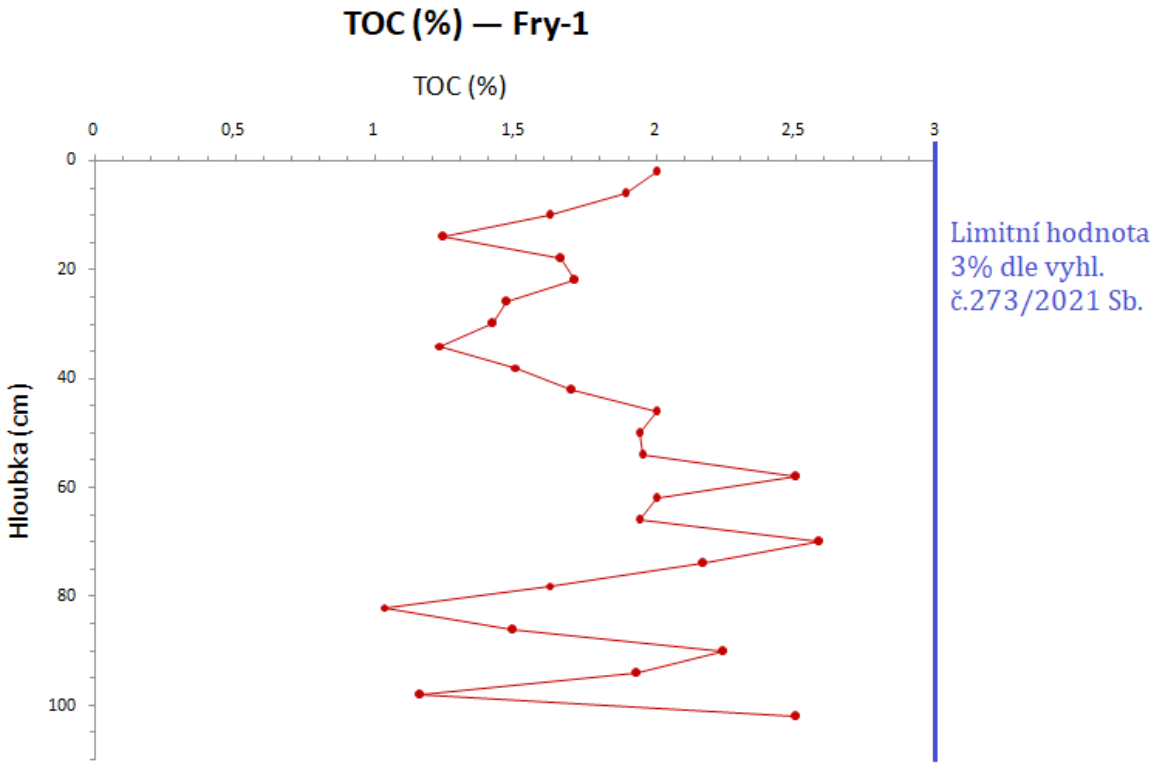


Obr. 30. Vertikální distribuce prvků Al, Si, K, Ti, Cu, Zn, Ar, Rb a Pb ve vrtu Fry-4.

7.5. Celkový obsah organického uhlíku (TOC)

Vertikální distribuce TOC (%) v sedimentárním profilu Fry-1 je vidět na Obr. 31. Průměrná hodnota TOC vrtu Fry-1 se rovná 1,79 %, medián je 1,8 %. V hloubce 70 cm je pozorována maximální hodnota TOC 2,58 %. Minimální hodnota TOC 1,03 % se nachází v hloubce 82 cm. Další výraznější koncentrace 2,5 % TOC jsou v hloubkách 58 cm a 102 cm, a 2,24 % v hloubce 90 cm. Ze začátku byl pozorován mírně klesající trend až do hloubky 34 cm s hodnotou TOC 1,23 %. Dále je vidět výrazný nárůst s dvěma maximálními hodnotami v hloubkách 58 cm a 70 cm, který pak mírně klesá do hloubky 82 cm a znovu roste až do konce sedimentárního profilu v hloubce 102 cm. Modrou

čarou je na grafu vyznačena limitní hodnota 3% obsahu TOC dle vyhlášky č. 273/2021 Sb. (Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady).



Obr. 31. Vertikální distribuce TOC (%) ve vrtu Fry-1.

7.6. Persistentní organické polutanty (POPs)

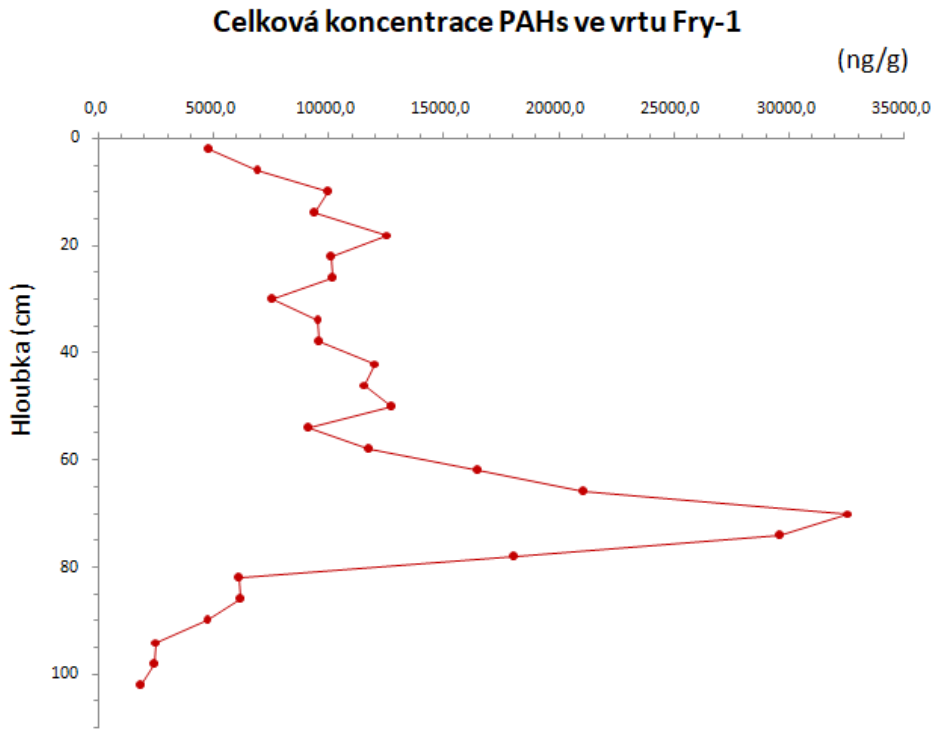
7.6.1. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs)

Průměrné hodnoty PAHs sedimentárního profilu Fry-1 jsou prezentovány v tab. 5. Obr. 32 zobrazuje hloubkovou distribuci celkové koncentrace PAHs (sumu 16 vybraných látek). Celkově se koncentrace PAHs pohybují v rozmezí od 1876 do 32621,9 ng/g. Maximální hodnota PAHs byla naměřena v hloubce 70 cm. Minimální naměřená hodnota byla 1876 ng/g v hloubce 102 cm.

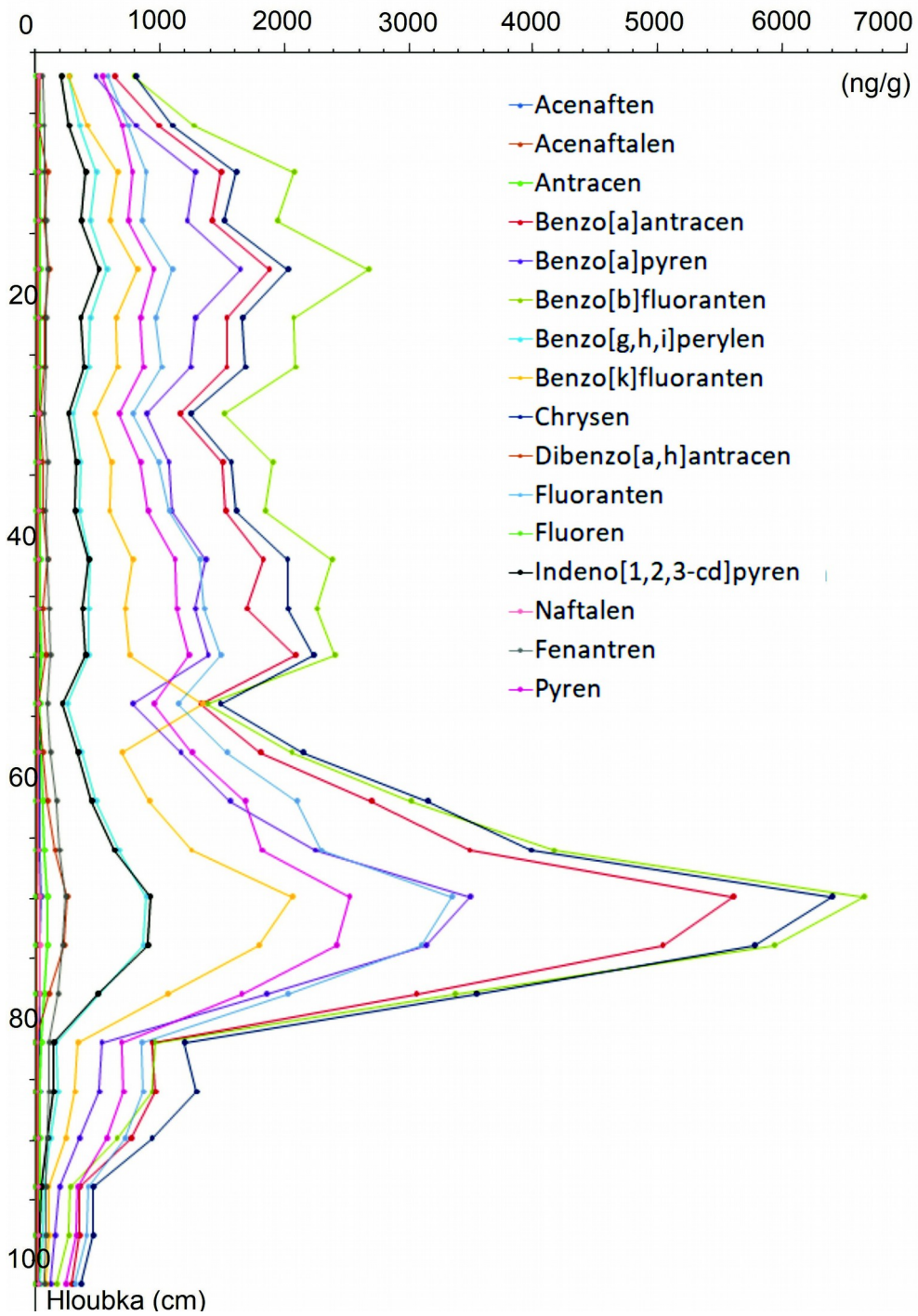
Vertikální distribuce jednotlivých PAHs v sedimentárním profilu Fry-1 jsou patrné z Obr. 33. Grafy koncentrací jednotlivých látek vykazují podobný profil s výraznými maximy v hloubkách 18 cm, 50 cm a 70 cm.

Tab. 5. Průměrné hodnoty PAHs ve vrtu Fry-1.

PAHs	Průměrné hodnoty (ng/g)
Acenaften	38,1
Acenaftalen	16,6
Antracen	48,9
Benzo[a]antracen	1773
Benzo[a]pyren	1204
Benzo[b]fluoranten	2122
Benzo[g,h,i]perylen	389
Benzo[k]fluoranten	709
Chrysen	2015
Dibenzo[a,h]antracen	72,6
Fluoranten	1246
Fluoren	0,087
Indeno[1,2,3-cd]pyren	355
Naftalen	30,1
Fenantren	116,4
Pyren	1024



Obr. 32. Celková koncentrace PAHs ve vrtu Fry-1.



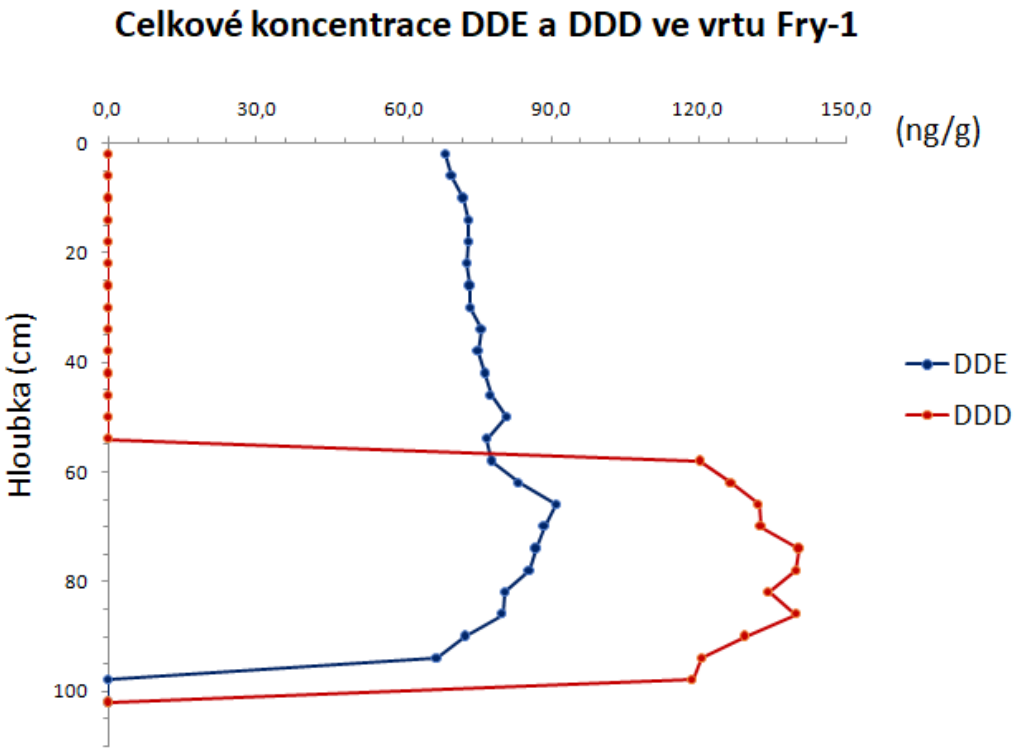
Obr. 33. Vertikální distribuce PAHs ve vrtu Fry-1.

7.6.2. Organochlorované pesticidy (OCP)

V sedimentárním profilu Fry-1 byly detekovány metabolity dichlorodiphenyltrichloroethanu (DDT). Jsou jimi dichlorodiphenyldichloroethylen (DDE) a dichlorodiphenyldichloroethan (DDD). Samotný DDT ve vzorku nalezen nebyl. Vertikální distribuce DDE a DDD je vidět na Obr. 34.

Hodnoty DDE se pohybují v rozmezí od 66,7 ng/g do 91,1 ng/g. Hodnoty ukazují mírně rostoucí trend od povrchu až do hloubky 66 cm, kde je pozorována maximální

hodnota DDE 91,1 ng/g. Dále trend klesá, v hloubce 94 cm se nachází minimální hodnota DDE 66,7 ng/g. V hloubkách 96 až 104 cm DDE nebyl nalezen. Hodnoty DDD v hloubkách 0 až 54 cm a 102 cm pozorovány nebyly. Od hloubky 54 cm je detekován prudký růst hodnot DDD, které se pohybují v rozmezí od 119 do 140 ng/g. Maximální hodnota DDD 140 ng/g se nachází v hloubkách 74, 78 a 86 cm. Minimální hodnota je zachycena v hloubce 98 cm.



Obr. 34. Vertikální distribuce DDE a DDD ve vrtu Fry-1.

8. Diskuze

8.1. Prostorová distribuce zrnitosti sedimentů v přehradě

Granulometrická analýza byla provedena pro vrty Fry-1 až Fry-4. Výsledky ukazují závislost zrnitosti od magnetické susceptibility. Čím jemnozrnnější sediment, tím vyšší hodnotu MS má. Toto pravidlo funguje i v opačném případě (kap. 7.2, odst. 2).

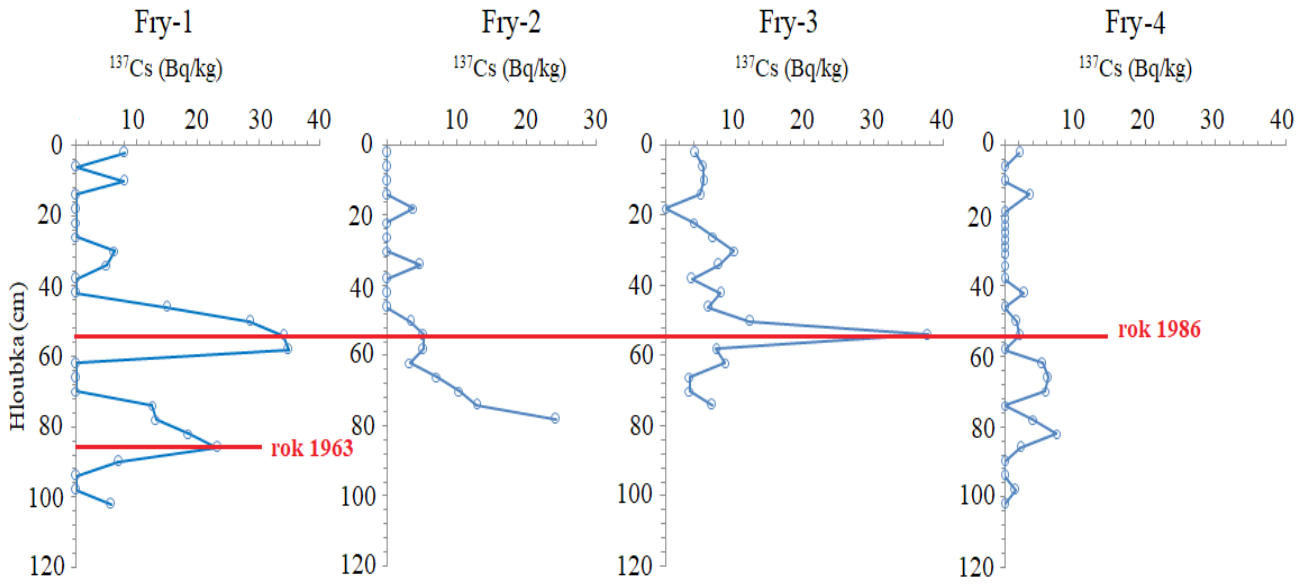
Rozložení sedimentů v nádrži není rovnoměrné a usazeniny mohou v nádrži dosáhnout různé tloušťky (Clark et al., 2015). Sedimenty poblíž přehradní zdi jsou typicky jemnozrnnější a litologicky homogenní, což způsobuje obtíže při rozlišování

časových změn pouze na základě litofaciálního záznamu v sedimentárním záznamu (Sedláček et al., 2016). Sedimenty mohou vykazovat značné litologické rozdíly napříč stratigrafií kvůli střídání procesů suspenze a usazování, které jsou spojeny s hyperpyknálními průtoky během povodní v povodí. Tyto litologické změny mohou mít vliv na míru kontaminace těžkými kovy (Bábek et al., 2020). V přehradě Les Království jsou koncentrace mnoha analyzovaných prvků alespoň částečně závislé na velikosti zrna sedimentu, jak ukazuje jejich pozitivní korelace s kumulativním procentem frakcí jílu a bahna (Bábek et al., 2020). Variace velikosti zrn mezi vrchními vrstvami (písčité bahno) a dna (jílovité splavy) sedimentů silně regulují koncentrace litogenních prvků (Al, Fe, K a Ti), ale mají relativně nízký vliv na koncentrace toxických kovů (Zn, Cu, Pb) a TOC. Se sníženým efektem velikosti zrn vykazují toxické kovy silnou afinitu k TOC a zřetelnou pilovitou vertikální distribuci v jádrech, což naznačuje, že jejich distribuce je ovlivněna událostmi depozičního stylu při hyperpyknálních tocích (Bábek et al., 2020).

8.2. Datování sedimentů pomocí ^{137}Cs a výpočet rychlosti sedimentace

Měření hmotnostní aktivity ^{137}Cs je jednou ze spolehlivých metod datování moderních sedimentů. Tento umělý radionuklid se do životního prostředí dostává prostřednictvím antropogenní činnosti, konkrétně jaderných testů a havárií. První intenzivní jaderné testy byly provedeny v bývalém SSSR v roce 1954. Vrchol testování probíhal mezi lety 1961-1963. Do roku 1983 jsou hodnoty klesající až k mezím detekce. Roku 1986 došlo k jaderné havárii v Černobylu, čímž bylo do prostředí uvolněno největší množství tohoto radioizotopu (Appleby, 2002; Kalff, 2003).

Obr. 35 ukazuje korelace píků mezi jednotlivými vrty Fry-1 až Fry-4. Spodní menší pík vrtu Fry-1 může být spojen s rokem 1963, ve kterém bylo zákazano provádění nadzemního testování jaderních zbraní.



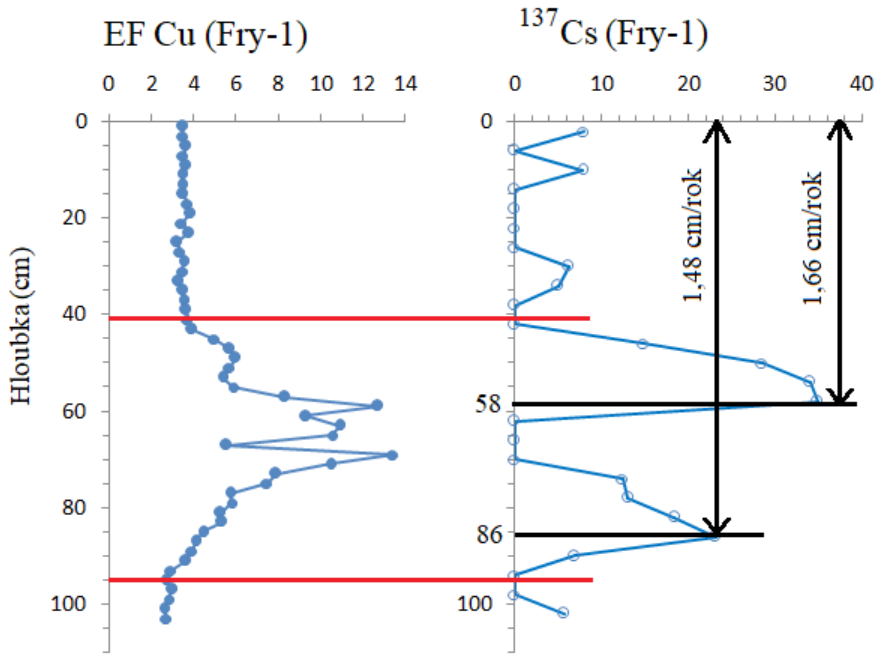
Obr. 35. Korelace píků hodnot ^{137}Cs ve vrtech Fry-1 až Fry-4.

Rychlosti sedimentace mohou být velmi variabilní v nádržích. Průměrné hodnoty akumulace sedimentů jsou často vyšší než 2 cm/rok (Müller et al., 2000; Arnason a Fletcher, 2003). Větší nádrže, jako například Železná brána na Dunaji (Vukovic et al., 2014), mohou vykazovat vyšší míry akumulace. Takto vysoké rychlosti sedimentace mohou poskytnout jemnější časové rozlišení (Shotbolt et al., 2001; Smol, 2008) a zachovat historické záznamy kontaminace těžkými kovy (Audry et al., 2004). Vysoká míra sedimentace také omezuje dobu, po kterou sediment zůstává na reaktivním rozhraní sediment-voda, což může ovlivnit záznam znečištění (Callender, 2000). Sedláček a kol. zjistili, že lokální míra akumulace sedimentu se pohybuje od 42 mm/rok poblíž vtoku do 2,9 mm/rok poblíž hráze v nádrži údolního typu. Velikost zrna sedimentu, tloušťka vrstev sedimentu, obsah organického uhlíku a objemová hustota sedimentu v těchto sedimentárních tělesech prokazují progresivní změny podél podélného profilu jezera (Bábek et al., 2020).

Rychlost sedimentace se počítá tak, že určitá hloubka se dělí na uplynulý čas. V daném případě to bude černobylská havárie v roku 1986, uplynulý čas bude roven 35 letem od roku 2021 (rok odběru vzorků). Pro Fry-1 rychlost sedimentace v černobylském píku je rovna 58 cm /35 let = 1,66 cm/rok. Pro druhý, menší pík ^{137}Cs ve větším úseku v hloubce 86 cm se rychlost sedimentace rovná 86 cm /58 let = 1,48 cm/rok (Obr. 36). To znamená, že rychlost sedimentace není zcela lineární napříč časem a mění se. Pro Fry-2 bude minimální rychlost sedimentace rovna 78 cm /35 let = 2,23

cm/rok. Maximální rychlost sedimentace pravděpodobně bude zastižena ve větší hloubce. Pro Fry-3 bude rychlost sedimentace 54 cm /35 let = 1,54 cm/rok.

Rychlost akumulace sedimentů v přehradě Fryšták se pohybuje mezi 1,48 až 2,23 cm/rok v různých částech nádrže. Nejnižší hodnota 1,48 cm/rok byla zaznamenána ve vrtu Fry-1 v roce 1963, který leží nejblíže k hrázi přehrady. Vrt Fry-2 má nejvyšší rychlost akumulace v hlubších vrstvách, minimální hodnota je 2,23 cm/rok. Tyto hodnoty jsou relativně nízké, například srovnatelná nádrž Les Království má hodnoty rychlosti akumulace od 3,6 do 9,7 cm/rok (Bábek et al., 2020).



Obr. 36. Korelace faktoru nabohacení (EF) Cu a ^{137}Cs ve vrtu Fry-1.

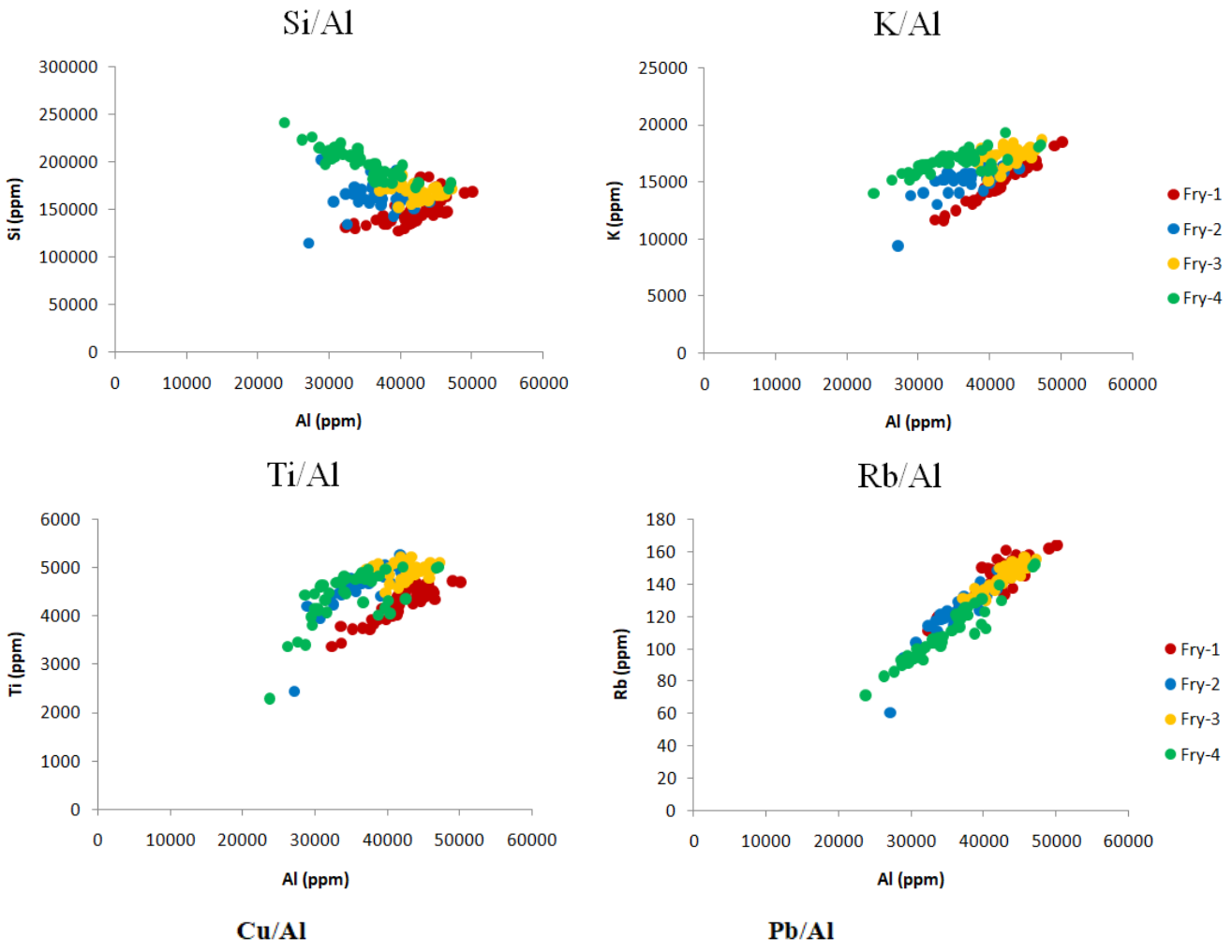
Pomocí ^{137}Cs je možné spočítat stáří znečištění. Vzhledem k tomu, že pík faktoru nabohacení (kap. 8.4, odst. 9) mědi je nejvýraznější, počítá se stáří znečištění tímto prvkem: hloubka se dělí na rychlost sedimentace. Bude to 95/1,66 = 57 let.

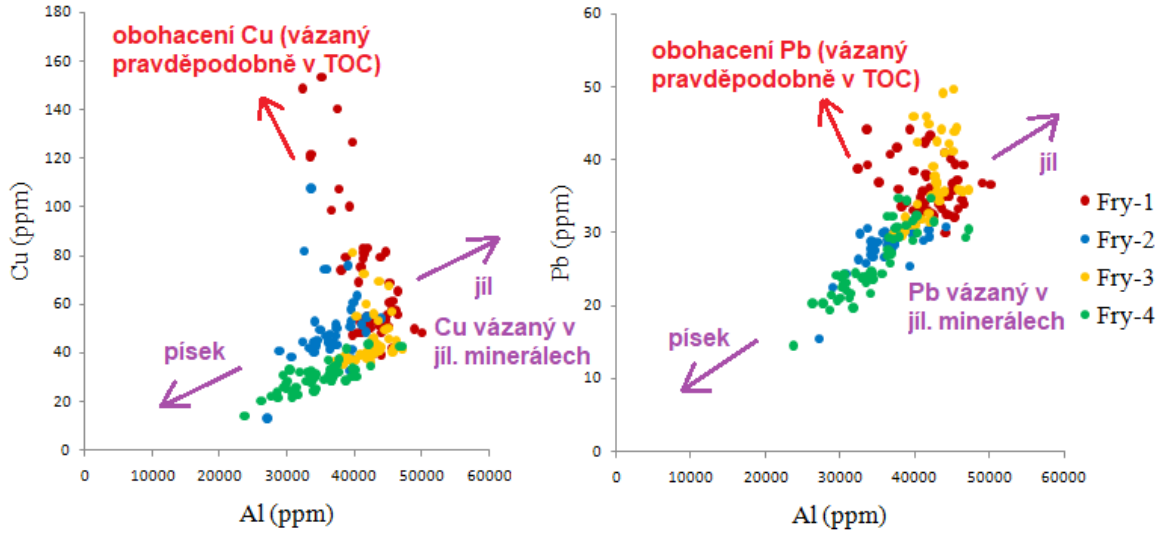
8.3. Závislosti koncentrací vybraných prvků

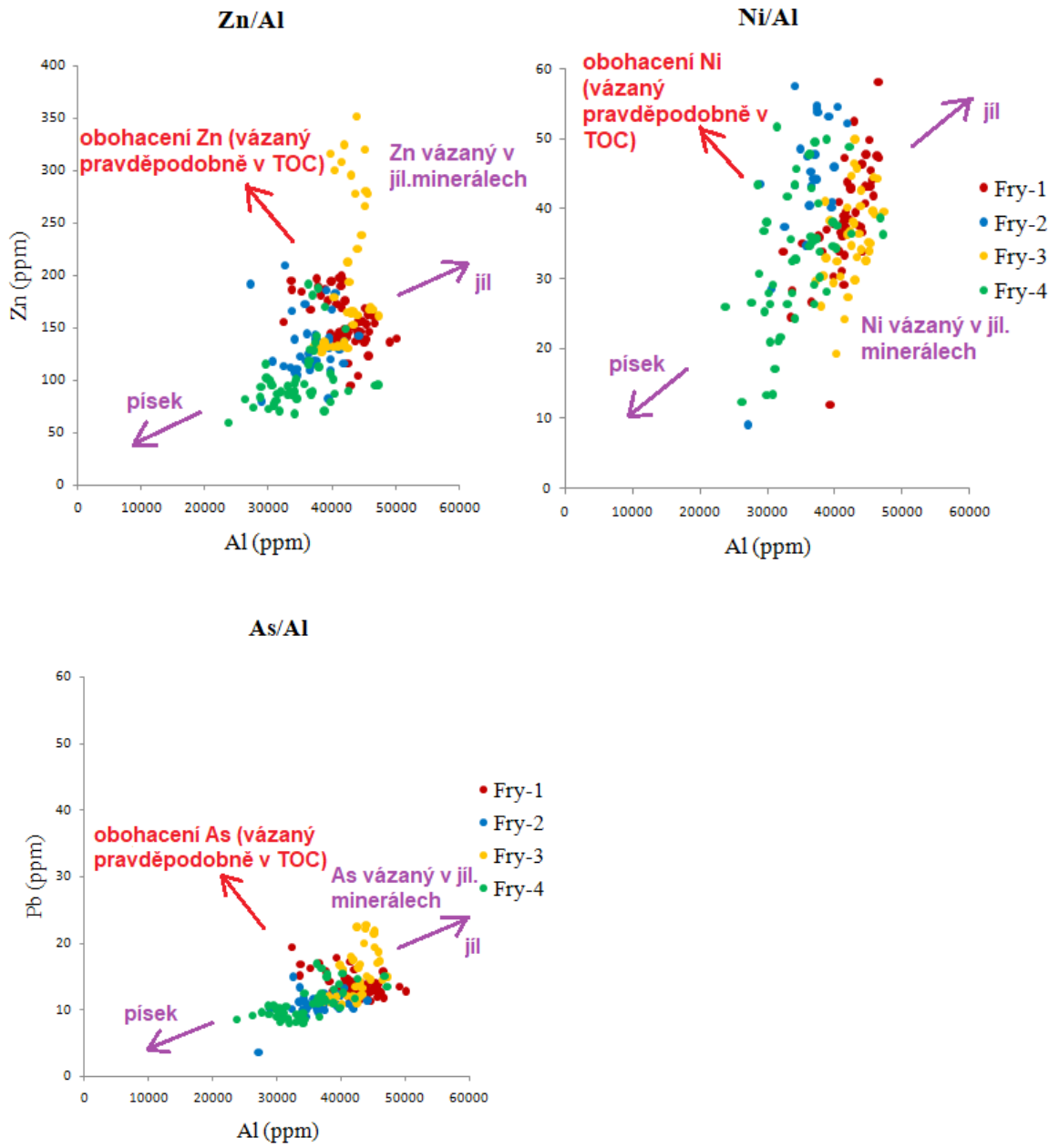
V některých vrtech vykazují koncentrace vybraných prvků pozitivní korelaci, např. K a Al ve vrtu Fry-1 a Fry-4, Ti a Al ve vrtech Fry-1a Fry-2, Ru a Al ve všech vrtech. Naopak Si a Al vykazuje negativní korelaci ve vrtu Fry-4 (Obr. 37). Tyto pozitivní i negativní závislosti odráží závislost koncentrací prvků na zrnitosti. Hliník, draslík, titan a rubidium jsou prvky, které jsou koncentrovány v alumosilikátových minerálech (slídy a jílové minerály) prachové a jílové frakce. Naopak křemík je preferenčně koncentrován

v křemeni prachové a písčité frakce. Podíl jílové, prachové a písčité frakce se potom odráží ve společné korelaci těchto prvků.

Kromě toho distribuce K a Al, a Ti a Al vytvářejí výrazné shluky s pozitivní korelací ve vrtech Fry-3 a Fry-4 na jedné straně, a ve vrtu Fry-2 a Fry-1 na straně druhé (Obr. 37). Tyto shluky ukazují, že materiál vrtů se chemicky liší.







Obr. 37. Vertikální distribuce vybraných prvků a normalizace litogenní a antropogenní kontaminace pomocí Al ve vrtech Fry-1 až Fry-4.

Toxické kovy vykazují odlišnou závislost na hliníku. Olovo, zinek, a zčásti i měď a arsen vykazují pozitivní korelaci s Al ve vrtu Fry-4, podobně jako K, Ti a Rb. Tato závislost pravděpodobně souvisí se zrnitostí. Kromě toho ale tyto prvky vykazují výrazné obohacení, zejména Zn, Pb a As ve vrtu Fry-3 a Cu ve vrtu Fry-1. Toto obohacení se projevuje vysokými hodnotami Cu, Zn, Pb a As při relativně nízkých hodnotách Al (Obr. 37).

8.4. Chemické složení sedimentů, závislost kontaminace od magnetické susceptibility (MS) a faktory nabohacení (EF)

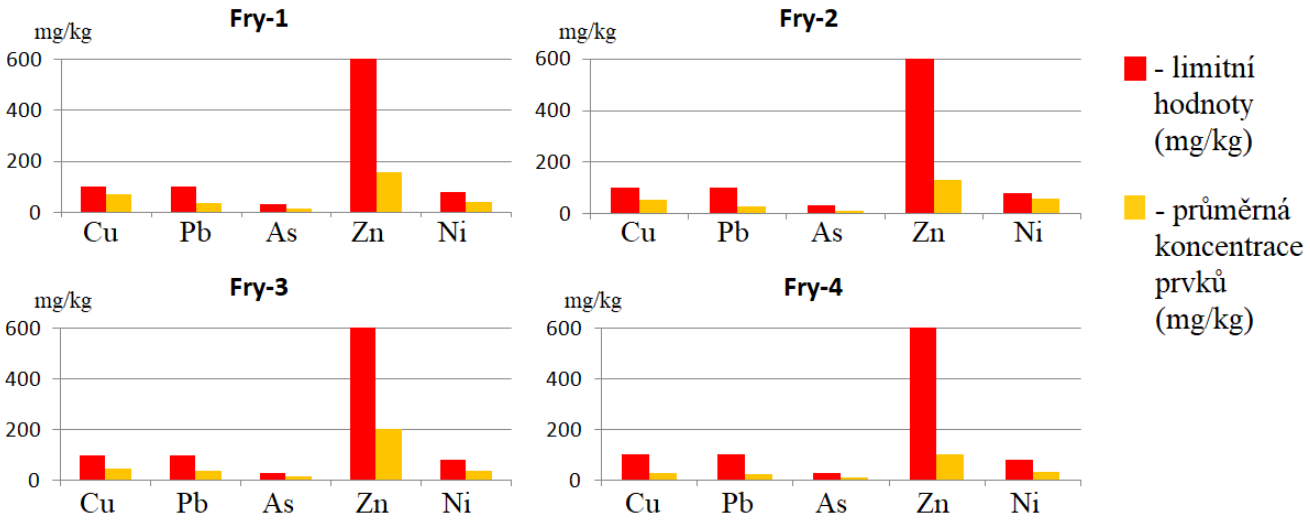
Geochemické údaje z EDXRF mohou sloužit jako proxy pro litologii. Konkrétně typické mineralogenní prvky jako Al, Si, Rb, Ti a K mohou být použity jako citlivé proxy pro velikost zrna, jak bylo potvrzeno mnoha studiemi (Koinig et al., 2003; Kylander et al., 2011; Bloemsma et al., 2012).

Metodou EDXRF byly analyzovány obsahy prvků Al, Si, Rb, Ti, K a dalších. Koncentrace těchto prvků jsou zásadní pro určení způsobu likvidace sedimentů z přehradní nádrže. Koncentrace Al a Rb v přehradě Fryšták je vyšší blíže hrázi. Koncentrace Si je vyšší u Fry-2 a Fry-4, které leží blíže k nápusti. Koncentrace Ti jsou vyšší u nápusti, a koncentrace K ve Fry-1 je nižší než ve Fry-4, ale vyšší než ve Fry-2 (tab. 4).

V České republice je následné umístění vytěženého sedimentu regulováno vyhláškou č. 273/2021 Sb. (O podrobnostech nakládání s odpady), která stanovuje limity pro těžké kovy a persistentní organické látky. Celkově lze z výsledků konstatovat, že naměřené průměrné koncentrace obsahů prvků Cu, Pb, Zn, Ni a As splňují limity stanovené touto vyhláškou (Tab. 6, Obr. 38).

Tab. 6. Limitní hodnoty dle vyhl. č. 273/2021 Sb. a průměrné koncentrace prvků profilů Fry-1 až Fry-4 (zpracovaná data nejsou kalibrovaná).

Prvky	Limitní hodnoty (mg/kg sušiny)	Průměrná koncentrace prvků (mg/kg)			
		Fry-1	Fry-2	Fry-3	Fry-4
Cu	**100**	70,41	50,84	46,66	30,15
Pb	**100**	36,42	28,54	37,54	26
As	**30**	13,82	10,84	15,48	11
Zn	**600**	157,5	131,19	201,14	102,05
Ni	**80**	41,62	56,37	36,06	33,91



Obr. 38. Limitní hodnoty dle vyhl. č. 273/2021 Sb. a průměrné koncentrace prvků profilů Fry-1 až Fry-4.

Sedimenty nahromaděné v nádržích často nesou antropogenní zátěž znečištění včetně těžkých kovů a persistentních organických polutantů. Další rizika jsou spojena s potenciální redistribucí polutantů z nádržních sedimentů zpět do vodního sloupce během povodní a/nebo splachování nebo proplachování sedimentů (Bábek et al., 2020).

Normalizace celkových koncentrací prvků Cu, Pb, Zn, Ni a As pomocí hliníku je standartně prováděná metoda, díky které je možno odlišit geologické pozadí a antropogenní kontaminaci (Vasile et al., 2008). Z grafů normalizace litogenní a antropogenní kontaminace pomocí Al (Obr. 37) je patrné, že koncentrace těžkých kovů (Cu, Pb, Zn, Ni a As) je z části vázaná na jílové minerály a z části na TOC.

Magnetická susceptibilita silně souvisí se složením sedimentu a původem, což naznačuje, že studie kontaminace využívající magnetickou susceptibilitu jako zástupce znečištění mohou mít pouze místní, nikoli však globální hodnotu (Sedláček, 2017). MS může být účinným indikátorem kontaminace. Zvýšené hodnoty MS mohou být spojeny s paramagnetickými slídami a jílovými minerály, které mají částice vzniklé spalováním fosilních paliv a průmyslové popílky, s vyšší schopností vázat těžké kovy. Dále vykazují vysokou hodnotu MS antropogenní magnetické minerály ve formě sférulí a vyšší množství těžkých kovů vázaných na ně (Sedláček, 2013).

Obvykle se koncentrace kovů snižují ve směru toku. Opakovaná tendence zvýšených koncentrací kovů u přehradní zdi byla popsána Čao a kol. (2013) v nádrži Manwan kvůli vyššímu podílu jemnozrnných částic. Na rozdíl od jiných podobných

studií (např. Petrovského et al., 1998; Desenfant et al., 2004; Sedláčka et al., 2013) nebyla zjištěna jasná korelace mezi magnetickou susceptibilitou a těžkými kovy (Sedláček, 2017).

Objemová magnetická susceptibilita byla měřena u všech vzorků.Tato metoda je vhodným parametrem pro proxy litologii. Literatura uvádí, že někdy zvýšené hodnoty MS ukazují na zvýšenou kontaminaci. Toto tvrzení platí i pro přehradu Fryšták (kap. 8.4, odst. 11).

Řada různých přístupů byla vyvinuta k odlišení antropogenní kontaminace od přirozených pozadí koncentrací. Zejména faktory nabohacení (Enrichment factor – EF) na základě statistického zpracování velkých geochemických souborů dat se používají k výpočtu úrovně kontaminace v záplavových oblastech, jezerech a nádržích. Vzhledem k tomu, že pozadí koncentrací těchto toxických prvků, jako jsou Pb, Zn, Cu a Ni, může být silně ovlivněno místní geologií, byl zaveden koncept místního pozadí (Blaser et al., 2000; Reimann a De Caritat, 2005; Nováková et al., 2013; Matys et al., 2014). Stanovení EF slouží k detekci antropogenního znečištění v dané oblasti. Srovnává se koncentrace sledovaného prvku s koncentrací stejného prvku v mezinárodním standardu UCC. Jako pozaďové hodnoty byly použity průměrné koncentrace prvků pro dané prostředí (Rudnick a Gao, 2004). V této práci byly spočítány factory nabohacení Pb, Zn, Cu, As a Ni. Pro výpočet se používá vzorec (2):

$$\mathbf{EF} = \frac{\frac{X(s)}{Al(s)}}{\frac{X(bg)}{Al(bg)}}, \qquad \mathbf{(2)}$$

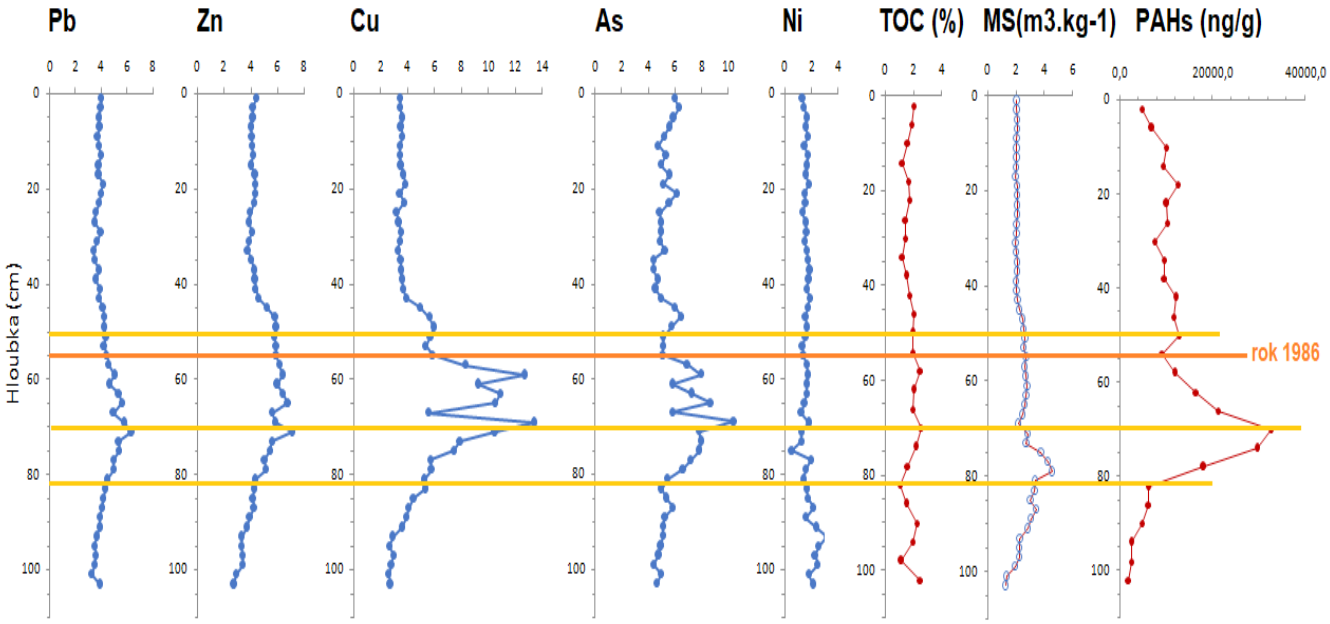
kde **X(s)** – koncentrace prvku X v studovaných vzorcích, **Al(s)** – koncentrace Al v studovaných vzorcích, **X(bg)** – koncentrace stejného prvku X v mezinárodním standardu UCC, **Al(bg)** – koncentrace Al v mezinárodním standardu UCC.

Podle Dunga (2013) lze konečnou koncentraci rozdělit do několika skupin (tab. 7).

Tab. 7. Stupně znečištění prostředí v závislosti na EF (upraveno podle Dunga, 2013).

Stupně znečištění prostředí	EF
Nekontaminované	< 1
Mírné znečištěné	1< EF < 3
Středně znečištěné	3 < EF < 5
Středně těžké znečištěné	5 < EF < 10
Silné znečištěné	10 < EF < 25
Velmi silně znečištěné	25 < EF < 50
Extrémně silně znečištěné	EF > 50

Faktory nabohacení Pb, Zn, Cu a As u vrtu Fry-1 se pohybují v hodnotách středního až středně těžkého znečištění (Obr. 39). Jen hodnoty Ni ukazují mírné znečištění tímto prvkem. Průměrné hodnoty jsou následující: EF Pb – 4,2; EF Zn – 4,6; EF Cu – 5,1; EF As – 5,8; EF Ni – 1,7. Křivky mají mírně klesající charakter s výraznými maximy v hloubkách 55 až 77 cm. Zároveň jsou v těchto hloubkách sedimenty jemnozrnnější než v blízkosti povrchu.

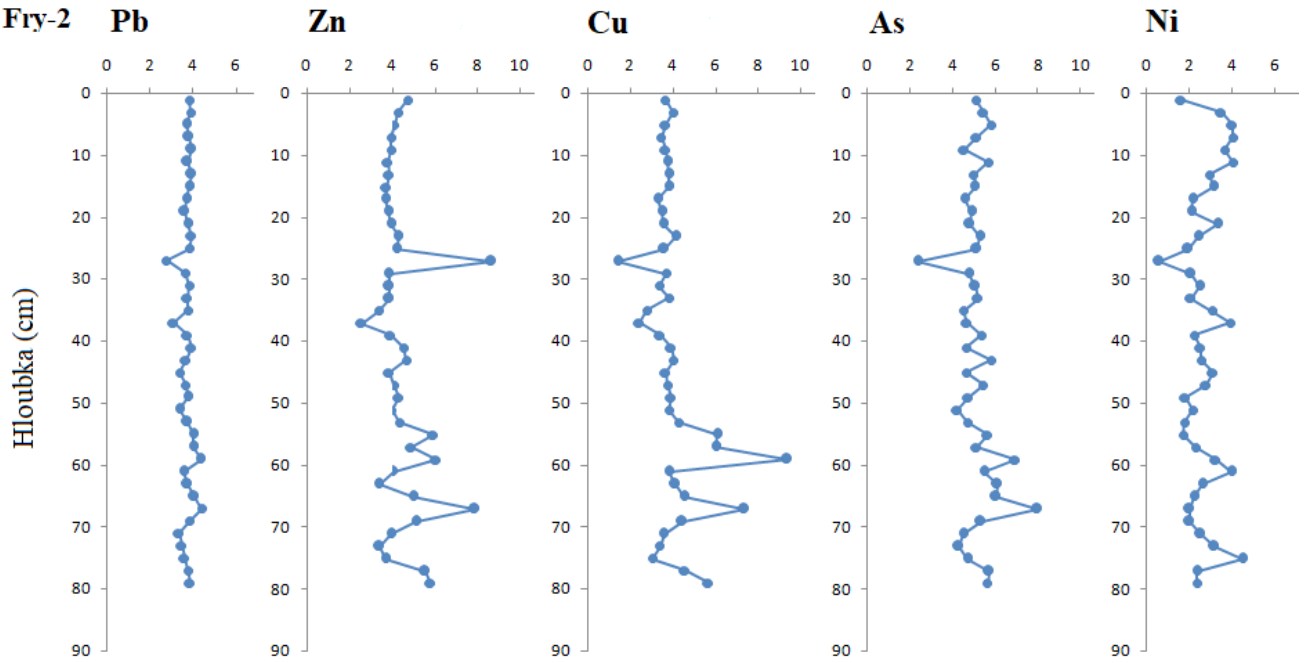


Obr. 39. Korelace hodnot faktorů nabohacení vybraných prvků, TOC, MS a PAHs v sedimentárním profilu Fry-1 (zpracovaná data nejsou kalibrovaná).

Na Obr. 39 je pozorována korelace hodnot faktorů nabohacení u vybraných prvků s hodnotami TOC, hmotnostně-specifické MS a PAHs ve vrtu Fry-1. Je vidět, že vyšší nabohacení vykazují jemnozrnnější sedimenty, které mají i vyšší hodnoty MS.

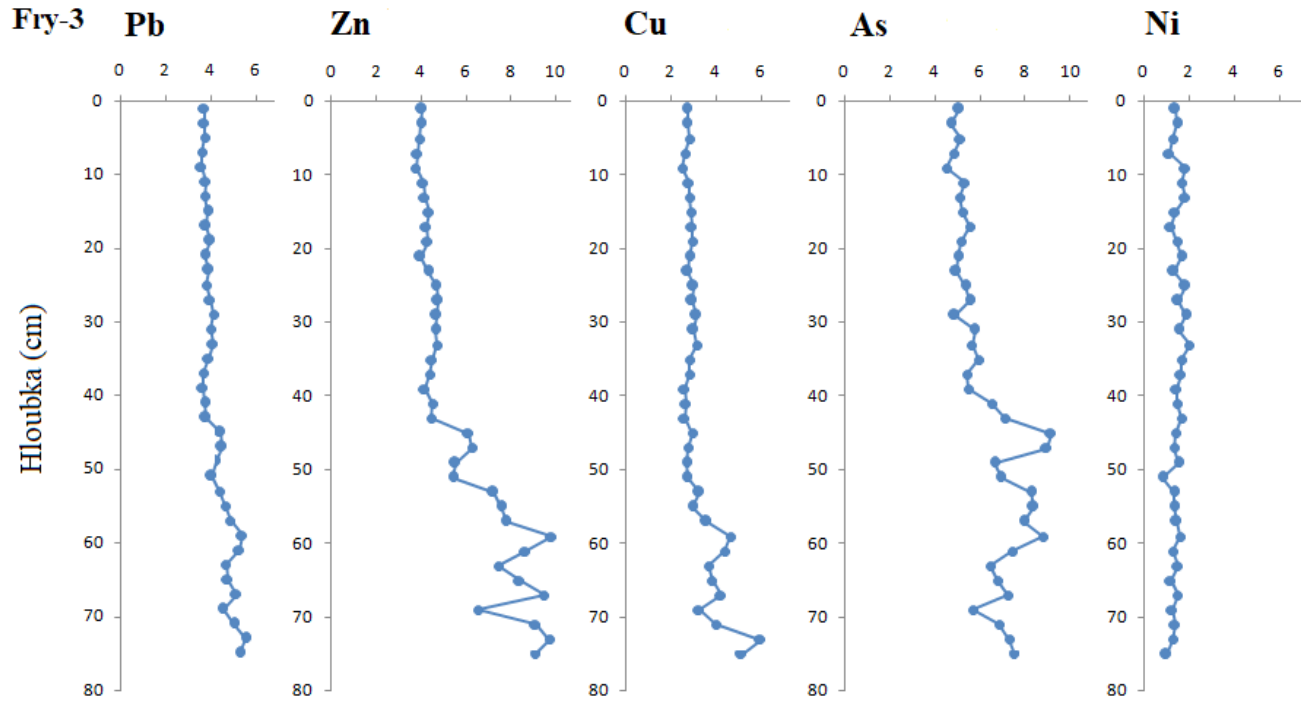
Podobný stupeň znečištění ukazují prvky ve vrtu Fry-2 (Obr. 40). Průměrné hodnoty jsou EF Pb – 3,8; EF Zn – 4,4; EF Cu – 4,1; EF As – 5,1; EF Ni – 2,7.

Relativně konstantní křivku ukazují pouze hodnoty Pb. Hodnoty ostatních prvků mají rozkolísaný charakter.



Obr. 40. Faktory nabohacení vybraných prvků pro vrt Fry-2.

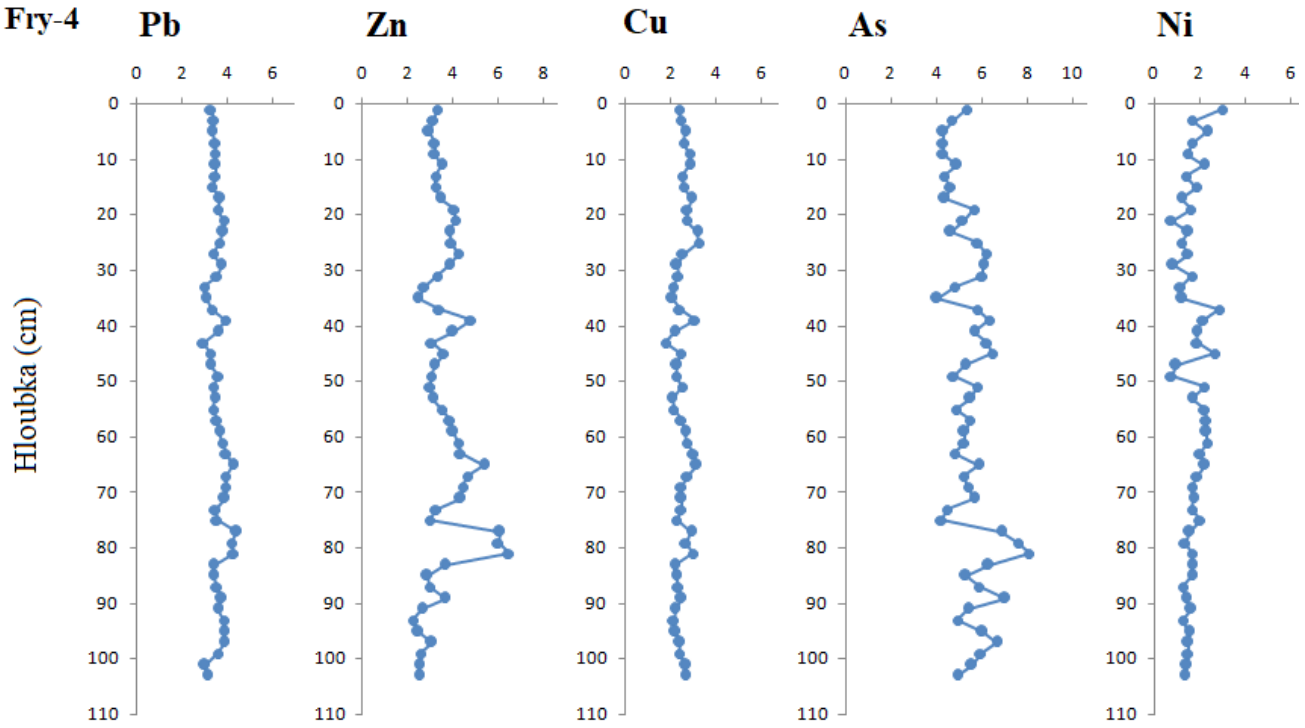
Hodnoty EF ve vrtu Fry-3 se také vztahují ke stupni středního až středně těžkého znečištění (Obr. 41). Průměrné hodnoty prvků ve vrtu Fry-3 jsou EF Pb – 4,2; EF Zn – 5,8; EF Cu – 3,2; EF As – 6,3; EF Ni – 1,5. Hodnoty Pb a Ni ukazují konstantnější křivky než hodnoty Zn, Cu a As. Hodnoty posledních tří prvků mají tendenci zvyšovat se s rostoucí hloubkou.



Obr. 41. Faktory nabohacení vybraných prvků pro vrt Fry-3.

Koncentrace Pb a Zn ve vrtu Fry-4 odpovídají střednímu stupni znečištění, zatímco EF As spadá do kategorie středně těžkého znečištění (Obr. 42). Výjimkou je měď, kde hodnoty EF Cu indikují mírné znečištění. Průměrné hodnoty jsou následující: EF Pb – 3,6; EF Zn – 3,6; EF Cu – 2,5; EF As – 5,5; EF Ni – 1,7.

Podobné hodnoty EF byly nalezeny v přehradě Nové Mlýny. Bylo zjištěno mírné znečištění Zn a Cu (EF ~2 až 5) v horním povodí a Zn, Cu a Pb (EF ~2 až 4,5) ve středním povodí s vrcholem znečištění koncem 80. let, což naznačuje, že obě povodí měly různé historie kontaminace (Sedláček, 2017).



Obr. 42. Faktory nabohacení vybraných prvků pro vrt Fry-4.

8.5. Celkový organický uhlík (TOC)

Celkový organický uhlík (TOC) je významným ukazatelem, který může poskytnout cenné informace pro řešení otázek týkajících se dřívější podoby životního prostředí a odhadu regionálních klimatických změn v minulosti (Meyers a Teranes, 2001). Obsah TOC se skládá ze dvou komponent: suspendovaného organického uhlíku (POC) a rozpuštěného organického uhlíku (DOC) (Simpson et al., 2005).Vysoký obsah TOC indikuje nízkoenergetické sedimentační prostředí, které je příznivé pro usazování jemnozrnných sedimentů (Nehyba et al., 2011). Proto je obsah TOC obecně vyšší v jemnozrnných sedimentech. Korelace hodnot TOC a faktorů nabohacení vybraných

prvků ve vrtu Fry-1 je znázorňena na Obr. 39, na kterém je také trochu vidět, že kontaminace je zčásti vázána na TOC.

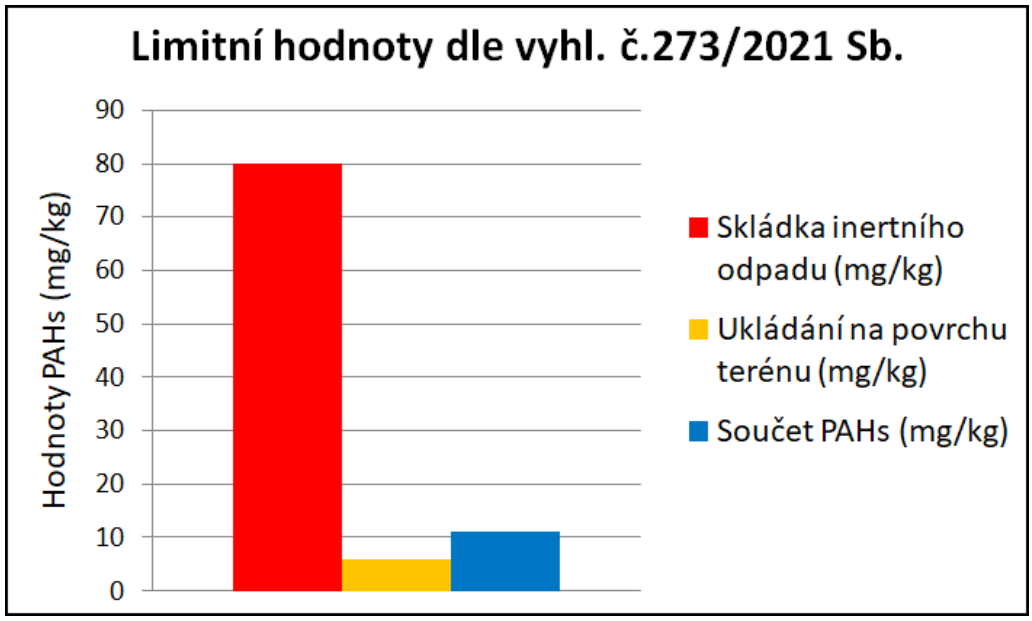
8.6. Kontaminace persistentními organickými polutanty (POPs)

V poslední době se do životního prostředí dostala řada nových škodlivých látek, včetně PAHs, PCB, OCP a dalších pesticidů. Mnoho z nich bylo později zakázáno kvůli jejich vysoké toxicitě pro živé organismy. Některé znečišťující látky mohou v sedimentech přetrvávat po dlouhou dobu. Například postdepoziční migrace PAHs je omezena kvůli jejich hydrofobní povaze a silné sorpční kapacitě do nevodních fází. Bylo popsáno podobné chování pro PCB (Sedláček et al., 2020). Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou považovány za indikátory úrovně industrializace a urbanizace v blízkosti místa jejich uložení. Distribuce PAHs v sedimentarních profilech může odrážet historii depozice a znečištění, zatímco jejich diagnostické poměry se používají k určení původu nebo zdroje znečištění. Většina organických polutantů byla zavedena a poté, kvůli novým datůmo jejich škodlivosti, zakázána. To potenciálně poskytuje vynikající nástroj pro datování sedimentů: zavádění a používání znečišťujících látek a obvykle ostrý nástup v sedimentárních hloubkových profilech následují špičkové hodnoty díky maximální produkci (Sedláček et al., 2020). Většina PAHs je pravděpodobně spojena se spalováním ropy a uhlí z difúzních zdrojů, včetně silniční a železniční dopravy a tepelných elektráren v širší oblasti, včetně České republiky, Polska a Německa. Některé zdroje PAHs mohou pocházet také z místního míchání asfaltu, rostlin a provozních činností (Bábek et al., 2020).

Klíčovým faktorem adsorpce PAHs je přítomnost organického materiálu v sedimentech. Koncentrace PAHs se zvyšuje s růstem množství organického materiálu. Tato přímá závislost je demonstrována na Obr. 39, kde jsou korelovány koncentrační křivky PAHs a TOC. Nejvyšší hodnoty obou grafů se nacházejí v hloubce cca 70cm.

Vyhláška č. 273/2021 Sb. určuje maximální množství PAHs, které mohou být uloženy na skládku inertního odpadu, a to 80 mg/kg sušiny. Dále stanovuje limit pro obsah PAHs v odpadech používaných na povrchu terénu, a to 6 mg/kg sušiny (Obr. 43). Do součtu těchto PAHs patří acenaften, acenaftalen, antracen, benzo[a]antracen, benzo[a]pyren, benzo[b]fluoranten, benzo[g,h,i]perylen, benzo[k]fluoranten, chrysen,

dibenzo[a,h]antracen, fluoranten, fluoren, indeno[1,2,3-cd]pyren, naftalen, fenantren a pyren.



Obr. 43. Limitní hodnoty PAHs dle vyhlášky č.273/2021 Sb.

9. Závěr

Přehradní sedimenty fungují jako spolehlivý environmentální archiv. Tato diplomová práce se proto zaměřila na studium stratigrafie a kontaminace sedimentů v přehradní nádrži Fryšták na střední Moravě. Práce sestávala z rešeršní i praktické (laboratorní) části. Celkem bylo zkoumáno 182 vzorků ze 4 vrtných jader. Výsledky získané z nádrže umožnily podrobnější náhled na sedimenty, které odrážejí změny litologie, antropogenních vlivů a organické produktivity nádrží. Tyto změny jsou způsobeny činnostmi člověka, jako jsou průmyslové aktivity, zemědělství a další, které ovlivňují chemické a fyzikální vlastnosti sedimentů.

U všech vzorků byla provedena granulometrická analýza, která ukázala, že sedimenty přehradní nádrže jsou tvořeny jemnozrnným sedimentem, konkrétně jílovitým prachem. Pomocí datování ^{137}Cs byly rozpoznány dvě významné události: první z nich je spad radioaktivních látek z Černobylské havárie v roce 1986. Druhou je rok 1963, kdy byla zakázána nadzemní testování jaderných zbraní, což vedlo k uvolnění radionuklidů do prostředí po těchto testech. Dále byla spočítána rychlost sedimentace, která se v přehradě Fryšták pohybuje mezi 1,48 až 2,23 cm/rok v různých částech

nádrže. Bylo zjištěno, že rychlost sedimentace není zcela lineární napříč časem a mění se.

Tato práce se také zabývala měřením magnetické susceptibility (MS), stanovením kontaminace těžkými kovy (Cu, Pb, Zn, Ni a As), výpočtem faktorů nabohacení a určením obsahu persistentních organických polutantů. Bylo zjištěno, že zvyšené hodnoty MS ukazují zvýšenou kontaminaci. Vyšší hodnoty faktorů nabohacení měly jemnozrnnější sedimenty, mající i vyšší hodnoty MS.

V jadrech byla zaznamenána zvýšená koncentrace těžkých kovů, která souvisí s rozvojem průmyslu a emisemi toxických látek do prostředí ve 2. polovině 20. století. Tato zvýšená koncentrace byla v přehradě z části vázaná na jílové minerály a z části na TOC. Naměřené průměrné koncentrace obsahů Cu, Pb, Zn, Ni, As a TOC splňovaly limity stanovené vyhláškou č. 273/2021 Sb.

Literatura a internetové zdroje

Appleby P. G. (2002): Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In Tracking environmental change using lake sediments, Springer, Dordrecht, 171–203.

Arnason J. G., Fletcher B. A. (2003): A 40C year record of Cd, Hg, Pb, and U deposition in sediments of Patroon Reservoir, Albany Country, NY, USA. Environ. Pollut. 123, 383–391.

Audry S., Schäfer J., Blanc G., Jouanneau J. M. (2004): Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoir (France). Environ. Pollut. 132, 413–426.

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

Bábek O., Kielar O., Lenďáková Z., Mandlíková K., Sedláček J., Tolaszová J. (2020): Reservoir deltas and their role in pollutant distribution in valley-type dam reservoirs: Les Království Dam, Elbe River, Czech Republic. CATENA, 184, 104251.

Bartoš M., Buček A., Cílek V., Černý M., Hladný J., Janský B., Kliment Z., Kopp J., Kukal Z., Lošťák P., Ložek V., Máčka Z., Metelka L., Mrkvičková M., Němec J., Petříček V., Pretel J., Punčochář P., Šobr M., Tolasz R., Vácha D., Zagórski P.

(2009): Vodstvo a podnebí v České republice : v souvislosti se změnou klimatu. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.

Beránková D., Ungerman J. (1996): Nonpoint sources of pollution in the Morava River basin. Water Sci. Technol. 33 (4–5), 127–135.

Bína J., Demek J. (2012): Z nížin do hor : geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha.

Blaser P., Zimmermann S., Luster J., Shotyk W. (2000): Critical examination of trace element enrichments and depletions in soils: As, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn in Swiss forestsoils. Sci. Total Environ. 249, 257–280.

Blažek V., Hladný J., Němec J. (2006): Voda v České republice. Consult, Praha.

Bloemsma M. R., Zabel M., Stuut J. B. W., Tjallingii R., Collins J. A., Weltje G. (2012): Modelling the joint variability of grain size and chemical composition in sediments. Sediment. Geol. 280, 135–148.

Broža V. (2005): Přehrady Čech, Moravy a Slezska. Knihy 555, Liberec.

Broža V., Satrapa L. (2007): Hydrotechnické stavby 1. ČVUT, Praha.

Callender E. (2000): Geochemical effects of rapid sedimentation in aquatic systems: minimal diagenesis and the preservation of historical metal signatures. J. Paleolimnol. 23, 243–260.

Carvalho N. O., Junior N. P. F., Coutinho dos Santos P. M., Lima J. E. F. (2000): Reservoir sedimentation assessment guideline. Brazilian Electricity Regulatory Agency, Brasilia.

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

Clark E. V., Odhaiambo B. K., Yoon S., Pilati L. (2015): Hydroacoustic and spatial analysis of sediment fluxes and accumulation rates in two Virginia reservoirs, USA. Environ. Sci. Pollut. 22 (11), 8659–8671.

Čtyroký P., Stráník Z. (1995): Zpráva pracovní skupiny české stratigrafické komise o regionálním dělení Západních Karpat. - Věst. Čes. geol. Úst. 70, 3, 67–72. Praha.

Demek J. (1965): Geomorfologie českých zemí.

Demek J., Mackovčin P. (2014): Zeměpisný lexikon ČR : hory a nížiny. I a II. část.

Desenfant F., Petrovský E., Rochette P. (2004): Magnetic signature of industrial pollution of stream sediments and correlation with heavy metals: case study from South France. Water Air Soil Pollut 152:297–312.

Dung T., Cappuyns V., Swenned R., Phung N. K. (2013): From geochemical background determination to pollution assessmen of heavy metals in sediments and soils. –Rev. Environ. Sci. Biotechnol, 2, 4, 335–353.

Geografický místopisný slovník (1993): Academia, Praha.

Gilíková H., Otava J., Stráník Z. (2002): Petrological characteristics of sediments of the Magura Flysch at the map-sheet Holešov. Česká geologická služba, Brno.

Holoubek I. (1996): Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) v prostředí. Český ekologický ústav, Praha.

Kalač P., Tříska J., Kolář L., Jírovcová E. (2010): Chemie životního prostředí. JU, České Budějovice.

Kalff J. (2003): Limnology. Prentice-Hall. New Jersey, 1–592.

Kestřánek J. et al. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže. Academia, Praha.

Koinig K. A., Shotyk W., Lotter A. F., Ohlendorf C., Sturm M. (2003): 9000 years of geochemical evolution of lithogenic major and trace elements in the sediment of an alpine lake: the role of climate, vegetation, and land-use history. J. Paleolimnol. 30, 307–320.

Komárek M., Száková J., Rohošková M., Javorská H., Chrastný V., Balík J. (2008): Copper contamination of vineyard soils from small wine producers: A case study from the Czech Republic. Geoderma 147, 16 –22.

Kopáček J., Hejzlar J., Rulík M. (2020): Voda na Zemi. JU, České Budějovice.

Kylander M. E., Ampel L., Wohlfarth B., Veres D. (2011): High-resolution X-ray fluorescence core scanning analysis of Les Echets (France) sedimentary sequence: new insights from chemical proxies. J. Quat. Sci. 26 (1), 109 –11.

Matys Grygar T., Elznicová J., Bábek O., Hošek M., Engel Z., Kiss T. (2014): Obtaining isochrones from pollution signals in a fluvial sediment record: A case study in a uraniumpolluted floodplain of the Ploučnice River, Czech Republic. Appl. Geochem.48, 1–15.

Meyers P. A., Teranes J. L. (2001): Sediment organic matter. In: Last WM, Smol JP (Eds.): Tracking environmental chase using lake sediments - Volume 1: Basin Analysis, Coring, andChronological Techniques (Developments in Paleoenvironmental Research). Kluwer Academic publisher, Dordrecht.

Müller J., Ruppert H., Muramatsu Y., Schneider J. (2000): Reservoir sediments – a witness of mining and industrial development (Malter Reservoir, eastern Erzgebirge, Germany). Environ. Geol. 39, 1341–1351.

Nehyba S., Nývlt D., Schkade U., Kirchner G., Franců E. (2011): Depositional rates and dating techniques of modern deposits in the Brno reservoir (Czech Republic) during the last 70 years. Journal of Paleolimnology 45: 41–55.

Nováková T., Matys Grygar T., Bábek O., Faměra M., Mihaljeviš M., Strnad L. (2013): Distinguishing regional and local sources of pollution by trace metals and magnetic particles in fluvial sediments of the Morava river, Czech Republic. J. Soils Sediments 13, 460–473.

Petrovský E., Kapička A., Zapletal K., Šebestová E., Spanilá T, Dekkers M. J., Rochette P. (1998): Correlation between magnetic parameters and chemical

composition of lake sediments from northern Bohemia – Preliminary study. Phys Chem Earth 23:1123 –1126.

Pitter P. (2009): Hydrochemie. VŠCHT, Praha.

Quitt E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Academia, Praha.

Reimann C., De Caritat P. (2005): Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. Sci. Total Environ. 337, 91–107.

Rudnick R. L., Gao S. (2004): Composition of the Continental Crust. University of Maryland, College Park, MD, USA; China University of Geosciences, Wuhan, People's Republic of Chinaand Northwest University, Xi'an, People's Republic of China. Treatise On GeochemistryISBN (set): 0-08-043751-6, Volume 3; (ISBN: 0-08-044338-9); 53–54.

Sedláček J. (2013): Vysokorozlišující stratigrafie a historie kontaminace recentních sedimentů přehradních nádrží na Moravě. Masarykova univerzita, Brno.

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., Matys Grygar T. (2012): Trends and evolution of contamination in a well-dated water reservoir sedimentary archive: the Brno Dam, Moravia, Czech Republic. Environ. Earth Sci. 69, 2581–2593.

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. Sci. Total Environ. 574, 1456 –1471.

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 Pollut., 231: 208.

Shotbolt L., Hutchinson S. M., Thomas A. D. (2001): Establishing the sediment stratigraphy of reservoirs in the southern Pennines, UK. Hydrol. Sci. J. 46 (5), 701–714.

Simpson S. L., Graeme E. B., Anthony A. C. H., Stauber J. L., King C. K., Chapman J. C., Hyne R. V., Gale S. A., Roach A. C., Maher W. A. (2005): Handbook for Sediment Quality Assessment. CSIRO, Bangor.

Smol J. P. (2008): Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective, 2nd edn. Wiley, Oxford.

Stráník Z., Bubík M., Gilíková H., Tomanová Petrová P. (2021): Geologie Vnějších Západních Karpat a jihovýchodního okraje Západoevropské platformy v České republice. Česká geologická služba, Praha.

Tolasz R. (2007): Atlas podnebí Česka = Climate atlas of Czechia. Český hydrometeorologický ústav, Praha; Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc.

Uprety D., Hejcman M., Száková J., Kunzová E., Tlustoš P. (2009): Concentration of traceelements inm arable soil after long-term application of organic and inorganic fertilizers. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 85, 241–252.

Vasile G. D., Nicolau M., Vladescu L. (2008): Zinc speciation in sediments from a polluted river, as an estimate of its bioaccesibility. Environ Monit Assess, DOI 10.1007/ s10661-008-0658-y.

Vukovic D., Vukovic Z., Stankovic S. (2014): The impact of the Danube Iron Gate Dam on heavy metal storage and sediment flux within the reservoir. Catena 113, 18–23.

Zhao Q., Liu S., Deng L., Dong S., Wang C. (2013): Longitudal distribution of heavy metals in sediments of a canyon reservoir in Southwestern China due to dam construction. Environ. Monit. Assess. 185, 6101– 6110.

Geological map 1 : 500,000 (geology.cz)

Geoprohlížeč (cuzk.cz)

Mapy.cz

Plán oblasti povodí Moravy (pmo.cz)

Prohlížení - Národní geoportál INSPIRE (gov.cz)

Vodní nádrž Fryšták - AtlasCeska.cz

Vyhláška č. 273/2021 Sb. - o podrobnostech nakládání s odpady, dostupná na: Platná legislativa (mzp.cz)

Přílohy

Příloha č.1. – Fotodokumentace z odběru vrtných jáder.

Foto 1. Plovoucí vrtná platforma.

Foto 2. Pístový vzorkovač UWITEC.

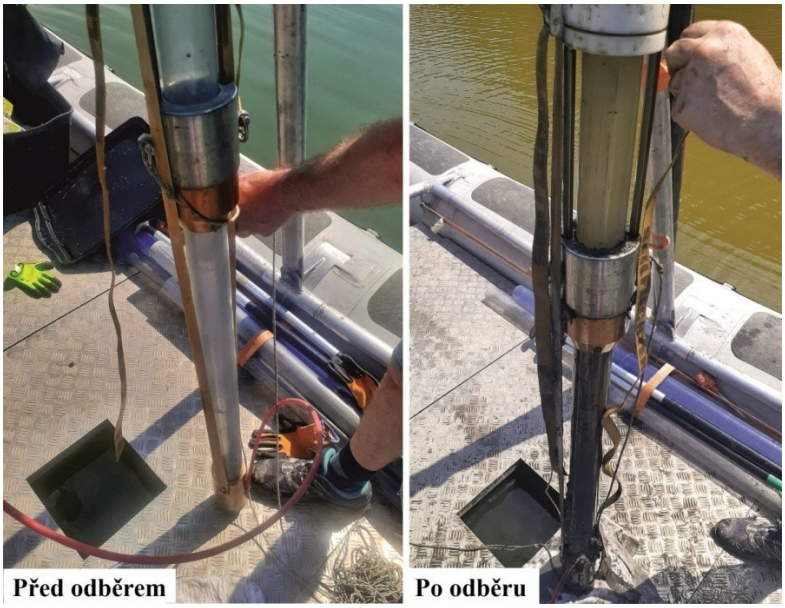


Foto 3. Jádrovnice před a po odběrů jáder.

Foto 4. Vrtná jádra z vybranných lokalit.

Příloha č. 2. – Použité přístroje

Foto 5. Laserový granulometr FRITSCH Analysette 22 MicroTec plus.

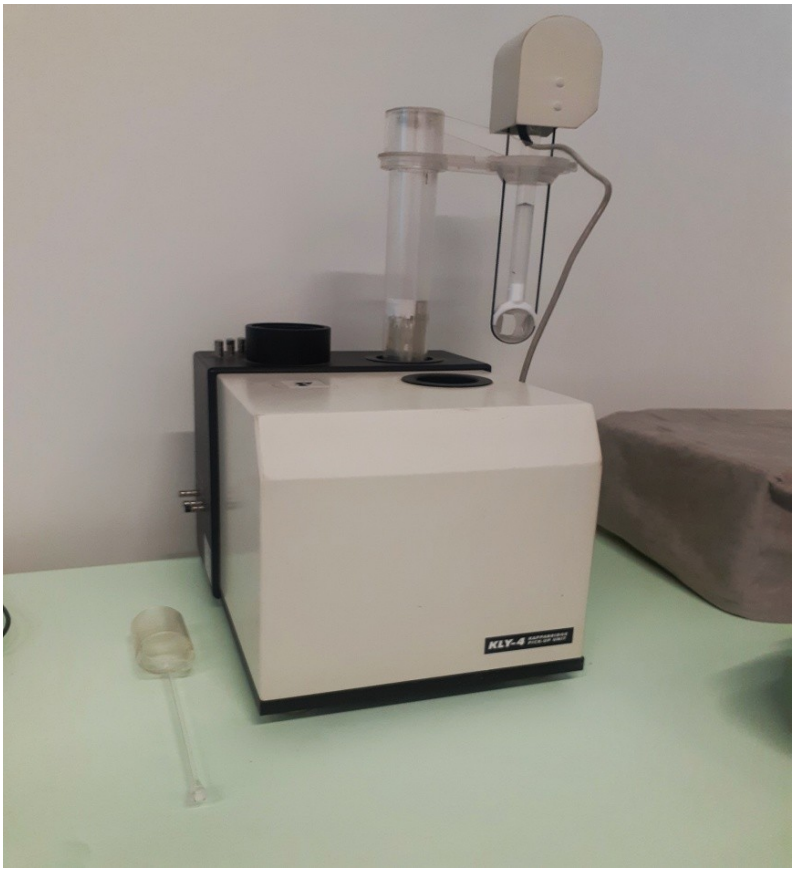


Foto 6. Kapamůstek KLY-4.

Foto 7. Gamaspektrometr SG-1000 LAB.

Foto 8. Ruční EDXRF fluorescenční spektrometr DELTA (Innov-X, Inc., USA).

Příloha č. 3. –Tabulky naměřených hodnot MS pro sedimentární jádra Fry-1, Fry-2, Fry-3 a Fry-4.

Objemová magnetická susceptibilita (*10^-6), (SI)				
hloubka (cm)	FRY-1	FRY-2	FRY-3	FRY-4
0-2	62,72	83,34	83,95	239,4
2-4	62,69	122,6	131,9	249,3
4-6	73,44	133,2	140,4	222,4
6-8	60,31	121,1	149,4	221,2
8-10	78,82	119,9	180,7	252,8
10-12	71,63	126,1	182,7	248,2
12-14	94,76	107,6	182,2	256,5
14-16	97,94	124,1	165,7	264
16-18	86,11	108,1	191,4	271,1
18-20	104,1	105,7	189,9	272,7
20-22	61,33	121,7	194,7	260,4
22-24	80,36	114,6	178,6	304,7
24-26	90,96	107,6	204,6	285,3
26-28	82,71	124,6	212,2	317,5
28-30	90,73	110,9	191,3	295,9
30-32	81,3	124,1	222,8	261,1
32-34	93,69	127,9	213,8	246,2
34-36	119,7	167,3	208,3	285,5
36-38	93,1	183,4	216	333,2
38-40	103,8	133,3	217	319,2
40-42	105,7	150,9	208,2	298,5
42-44	106	163,5	200,9	241,9
44-46	90,43	151	220,3	245,7
46-48	97,77	159,4	204,9	269,4
48-50	98,05	144,9	240,2	268
50-52	110,2	152,6	288,2	240,2
52-54	114,8	143,5	294,1	224,4
54-56	124,6	155,1	278	237
56-58	104,8	174	286,9	263,9
58-60	97,73	215,4	289,6	256
60-62	130,2	197,1	278,6	300,7
62-64	77,53	190,3	273,6	280
64-66	78,84	189,6	265,5	308,8
66-68	95,79	150	275,5	238,3
68-70	61,7	171,7	277,7	232,2
70-72	105	181,3	245,7	256,1
72-74	85,46	216,8	201,1	294,4
74-76	156,3	223,9	209,5	243,4
76-78	184,8	227,4		235,2
78-80	211,7	177,6		225,8
80-82	150,4			241
82-84	190,1			292,2
84-86	175,5			266,5
86-88	185			289
88-90	202,5			288,2
90-92	189,3			183,7
92-94	230,6			165,3
94-96	178,7			170,3
96-98	230,3			307
98-100	155,1			207,1
100-102	61,68			242,4
102-104	76,39			212,2

Hloubka (cm)	Hmotnost (g)				Hmotnostně-specifická magnetická susceptibilita (m3*kg-1*10^-7)			
	FRY-1	FRY-2	FRY-3	FRY-4	FRY-1	FRY-2	FRY-3	FRY-4
0-2	3,06	5,3	4,53	16,45	2,05	1,57	1,85	1,46
2-4	3,08	7,19	7,04	18,08	2,04	1,71	1,87	1,38
4-6	3,57	7,69	7,3	16,4	2,06	1,73	1,92	1,36
6-8	2,93	6,93	7,75	16,35	2,06	1,75	1,93	1,35
8-10	3,84	6,88	9,37	18,44	2,05	1,74	1,93	1,37
10-12	3,52	7,15	9,62	17,73	2,03	1,76	1,90	1,40
12-14	4,66	6,14	9,71	19,02	2,03	1,75	1,88	1,35
14-16	4,91	7,4	8,87	20,19	1,99	1,68	1,87	1,31
16-18	4,35	6,45	10,24	20,97	1,98	1,68	1,87	1,29
18-20	4,99	6,1	9,93	19,56	2,09	1,73	1,91	1,39
20-22	2,92	6,81	9,92	18,56	2,10	1,79	1,96	1,40
22-24	3,84	6,26	8,93	21,82	2,09	1,83	2,00	1,40
24-26	4,36	5,83	9,42	19,71	2,09	1,85	2,17	1,45
26-28	4,04	6,73	9,76	21,55	2,05	1,85	2,17	1,47
28-30	4,43	6,04	8,74	23,08	2,05	1,84	2,19	1,28
30-32	4,14	6,63	10,25	20,03	1,96	1,87	2,17	1,30
32-34	4,69	6,64	9,74	19,5	2,00	1,93	2,20	1,26
34-36	5,74	8,72	9,56	22,51	2,09	1,92	2,18	1,27
36-38	4,47	10,78	9,92	23,28	2,08	1,70	2,18	1,43
38-40	5,13	7,25	10,71	20,83	2,02	1,84	2,03	1,53
40-42	5,17	7,44	9,9	21,25	2,04	2,03	2,10	1,40
42-44	5,02	8,09	9,17	22,47	2,11	2,02	2,19	1,08
44-46	4,03	7,86	8,96	17,97	2,24	1,92	2,46	1,37
46-48	4,02	8,09	8,11	20,46	2,43	1,97	2,53	1,32
48-50	3,88	7,3	10,3	20,11	2,53	1,98	2,33	1,33
50-52	4,16	7,85	12,6	19,67	2,65	1,94	2,29	1,22
52-54	4,57	7,09	9,84	17,98	2,51	2,02	2,99	1,25
54-56	4,57	7,15	9,43	17,37	2,73	2,17	2,95	1,36
56-58	4,01	8,31	9,98	16,84	2,61	2,09	2,87	1,57
58-60	3,62	10,28	8,76	15,4	2,70	2,10	3,31	1,66
60-62	4,66	10,39	8,75	17,06	2,79	1,90	3,18	1,76
62-64	2,85	11,47	9,22	13,43	2,72	1,66	2,97	2,08
64-66	3,05	9,52	9,56	14,15	2,58	1,99	2,78	2,18
66-68	3,93	5,78	9,19	12,6	2,44	2,60	3,00	1,89
68-70	2,87	7,49	10,97	12,73	2,15	2,29	2,53	1,82
70-72	3,71	8,18	8,64	14,29	2,83	2,22	2,84	1,79
72-74	3,14	10,47	6,99	17,1	2,72	2,07	2,88	1,72
74-76	4,15	11,02	7,45	15,51	3,77	2,03	2,81	1,57
76-78	4,35	8,68		10,72	4,25	2,62		2,19
78-80	4,68	7,08		10,68	4,52	2,51		2,11
80-82	4,5			11,34	3,34			2,13
82-84	5,75			19,74	3,31			1,48
84-86	5,82			20,66	3,02			1,29
86-88	5,37			19,07	3,45			1,52
88-90	6,6			19,29	3,07			1,49
90-92	6,75			17,83	2,80			1,03
92-94	10,22			19,2	2,26			0,86
94-96	7,95			17,51	2,25			0,97
96-98	10,41			16,46	2,21			1,87
98-100	8,02			16,52	1,93			1,25
100-102	4,6			18,9	1,34			1,28
102-104	6,12			18,79	1,25			1,13

Příloha č. 4. – Tabulky koncentrací naměřených chemických prvků pro sedimentární jádra Fry-1, Fry-2, Fry-3 a Fry-4.

Fryšták-1

hloubka	hloubka	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Mo	Pb	Th
cm		ppm																				
0-2	1	39717,1	127698	3565,94	511,28	14773,3	43524,1	4179,07	252,13	900,22	40230,5	30,41	47,62	144,62	13,79	0,93	150,62	180	140,92	4,01	33,23	34,39
2-4	3	40580,7	130746	3613,04	897,51	15076,6	46327,1	4239,29	216,59	849,48	40765,8	34,02	48,47	137,99	14,86	0	149,82	186,89	142,29	3,22	33,42	36,14
4-6	5	41591,9	136349	3754,73	1207,41	15423	48767,3	4226,12	232,6	817,69	39825	39,67	51,99	141,44	14,23	2,16	146,79	189,12	139,28	2,14	33,13	33,29
6-8	7	41288	134697	3811,66	797,77	15138,3	45816,7	4202,43	248,17	843,85	40299,4	38,27	49,66	136,92	13,42	0	147,98	186,2	142,37	3,22	33,23	35,41
8-10	9	42299,3	138990	3448,47	920,57	15466,9	40718	4367,62	251,85	804,68	40032,4	43,07	52,87	141,57	12,75	1,28	151,37	174,83	146,14	2,12	32,7	31,89
10-12	11	43871,4	147332	3011,09	780,86	16264,3	32342	4549,43	233,63	850,06	40314	37,43	52,31	147,25	12,1	2,47	155,23	160,35	151,59	3,21	35,03	36,96
12-14	13	42347,1	141165	2803,66	930,56	16381,8	31447,2	4499,61	249,43	745,97	40174,7	42,9	50,51	145,9	13,11	1,84	153,48	159,89	152,61	4,48	35,16	42,59
14-16	15	44446,4	148659	2549,57	654,41	17101,2	24547,9	4489,23	290,15	735,78	39894	43,28	53,35	146,48	12,78	1,93	158,37	144,61	151,04	3,57	35,05	37,6
16-18	17	43047,5	144704	2504,86	527,28	16886,5	25071,4	4614,36	250,34	714,06	40267,2	39,56	55,05	152,05	14,03	0	161,33	146,43	149,89	3,75	34,06	36,08
18-20	19	41845,8	136911	3070,03	594,42	15817,9	33869	4495,78	266,29	796,88	40045,4	43,92	55,16	149,2	12,51	0	155,96	161,72	155,63	3,25	36,16	37,26
20-22	21	41065,5	136138	3419,62	1101,25	15652,6	46663,1	4234,31	241,72	732,48	40153,6	36,15	48,47	146,19	14,64	2,23	149,65	186,91	151,66	4,43	34,06	41,51
22-24	23	40839,8	136348	3672,13	800,23	15667,3	49706	4305,45	263,67	771,5	38713,8	36,74	52,69	142,3	13,21	2,35	146,94	187,71	147,99	4,41	32,85	37,13
24-26	25	44062,5	147940	3363,95	484,76	16047,2	39491	4406,94	256,64	731,7	38014,7	33,93	48,51	143,58	12,42	2,41	149,55	167,31	158,35	4,14	32,69	35,76
26-28	27	44440,1	149358	3500,81	595,65	16175,3	41959,8	4368,89	233,54	719,05	37480,6	40,87	51,14	140,4	12,78	2,68	147,05	169,15	159,94	4,05	32,54	37,07
28-30	29	41317,2	140469	3568,38	625,58	15175,1	46616,1	4410,3	258,65	751,53	38252,8	39,11	50,24	139,73	11,86	1,39	147,21	180,43	159,54	4,2	34,18	34,48
30-32	31	43499,7	149779	3459,51	1029,18	15691,8	43522,8	4246,9	265,72	649,59	38088,7	37,67	51,9	137,41	12,29	2,19	144,16	178,34	157,41	2,12	33,49	30,83
32-34	33	45183,4	155372	3252,22	698,49	16252,5	40016,8	4454,89	257,49	625,19	37659,1	43,28	51,11	139,54	13,73	2,26	149,28	172,07	162,98	2,59	32,27	34,58
34-36	35	46538,9	148244	3380,13	491,49	16431,8	40214,4	4341,81	257,99	685,75	38594,3	47,34	56,1	154,74	11,89	1,78	154,81	168,9	145,67	2,58	34	29,38
36-38	37	44560,3	144176	3572,67	871,88	15904	45723,7	4298,23	276,54	716,68	38846,5	47,82	53,9	156,38	11,42	1,85	149,54	178,15	143,85	0	35,73	28,59
38-40	39	46230,7	147071	3156,82	536,68	16914,5	38373,7	4522,77	257,47	703,23	38067,9	47,64	57,64	163,09	12,64	2,09	158,18	166,08	149,66	3,82	34,61	36,64
40-42	41	45526,1	148121	3309,61	537,13	16835,1	38745	4509,37	248,65	723,14	37551,2	44,15	58,09	163	11,98	2,68	156,84	166,95	150,6	3,86	37,28	37,21
42-44	43	45119,3	152753	3508,15	622,76	16231,9	40052,3	4402,07	265,62	760,32	36690,9	49,96	60,95	169,06	13,04	3,98	150,53	169,95	155,97	3,32	35,88	35,28
44-46	45	40619,2	139873	4352,98	1304,2	14220,4	60910	3997,29	240,94	782,44	35953	41,06	69,34	173,41	14,2	1,89	138,59	206,95	138,75	2,45	34,91	34,1
46-48	47	38099,3	134541	5037,09	1471,03	13383,2	74202,4	3828,02	227,34	816,36	35088,9	33,93	74,27	181,54	14,31	2,35	131	231,57	138,53	2,26	33,73	27,62
48-50	49	38743,5	138912	4980,26	1063,74	13804,4	65655,3	3917,75	237,98	822,99	34536,8	37,11	79,47	187,51	12,94	2,46	133,27	217,12	142,31	1,99	34,29	26,84
50-52	51	41496	147850	4503,56	879,06	14523	52053,1	4098,17	243,94	832,03	34812,5	37,43	81,26	196,1	12,41	2,33	137,02	193,24	147,92	2,02	37,85	28,71
52-54	53	40968,7	144722	4489,84	616,22	14321,4	49643,1	4279,26	248,83	850,07	35071,7	31,22	75,51	197,84	12,16	0,98	141,21	188,5	147,1	1,89	35,78	30,97
54-56	55	41356,7	146376	3996,7	573,24	14785,3	44708	4311,28	248,34	868,04	34626,9	33,42	83,36	199,93	12,2	1,07	146,31	174,49	146,88	2,38	38,15	32,6
56-58	57	37735,3	135413	4857,59	1614,74	13437,2	65929,5	3924,95	237,8	909,48	35433,9	35,99	107,74	190,47	15,12	2,59	130,13	216,27	147,08	3,65	36,12	34,46
58-60	59	35136,4	133709	4942,54	2384,12	12491,4	74037,5	3728,55	202,97	911,9	36274,9	35,09	153,57	185,12	16,25	2,6	121,91	228,01	149,67	2,85	36,99	27,71
60-62	61	39770,8	146578	4180,13	1860,17	14101,5	53279,7	3921,41	271,5	970,28	35879,2	37,96	126,84	194,61	13,46	2,89	134,23	186,55	148,36	3,15	38,52	33,09
62-64	63	37535,8	143354	4343,38	2880,28	13103	65182,1	3729,82	206,25	865	36508,3	36,17	140,54	197,42	15,82	3,49	127,38	213,46	144,67	3,41	41,83	30,53
64-66	65	33611,8	129931	4409,68	2925,11	12035,6	75193,7	3442,67	224,45	827,94	37653,5	28,37	121,83	186,62	16,9	2,99	120,03	225,53	138,58	3,26	39,4	27,62
66-68	67	41308,3	139610	3489,31	2095,23	14663,5	51689,4	4023,98	252,53	745,31	38096,4	29,25	78,98	190,48	14,01	2,19	145,82	183,43	135,28	4,09	42,44	36,02
68-70	69	32292,3	131680	4945,87	3634,89	11682,6	86500,5	3364,95	196,74	764,55	36557,3	33,99	149,02	155,6	19,5	3,87	111,26	252,33	158,75	3,53	38,9	31,8
70-72	71	33496,5	135286	5100,01	2039,38	11640,1	83136,4	3777,31	230,15	1276,93	33731,2	24,56	120,59	195,42	15,21	1,25	118,84	224,29	162,14	4,48	44,31	35,89
72-74	73	36556,4	139432	4169,95	2522,95	13342,7	66562,2	3747,24	250,41	939,78	36441,3	26,71	99,03	167,72	16,96	2,82	126,37	204,77	166,21	2,56	40,89	35,27
74-76	75	39236,2	154532	3865,65	2343,06	14500,5	52934,9	4154,51	200,93	1309,39	41108,6	12	100,49	176,1	17,86	0,97	135,28	183,47	179,95	4,54	44,3	46,3
76-78	77	41353,5	149413	3257,64	1796,05	15077,1	40456,2	4235,64	248,47	947,13	40481,6	47,39	81,39	170,02	17,32	4,53	140,71	170,18	171,37	2,89	42,76	31,93
78-80	79	41953,5	148292	3305,63	1447,22	15165,6	38348,2	4432,49	240,48	1000,32	39562,7	38,69	83,49	176,26	16,08	0,74	145,2	162,17	174,81	2,57	43,44	36,21
80-82	81	43934,2	157430	2965,82	619,62	16147,9	29590,8	4502,9	245,13	1011,89	37520,5	36,66	79,59	156,53	13,85	0,8	149,88	141,16	193,12	2,73	41,03	36,91
82-84	83	44666,4	158525	2659,25	573,4	16407,9	22134,8	4531,34	273,39	958,74	38110,6	43,15	81,74	156,01	12,95	0,7	153,58	131,32	182,97	1,86	40,26	32,23
84-86	85	45281,5	159231	2492,64	494,12	16596,7	19782	4649,41	276,65	963,92	38661	45,56	69,19	154,21	14,12	1,14	156,11	128,73	182,6	1,97	39,5	33,94
86-88	87	46446,6	163738	2394,76	760,99	16848	20989,5	4484,58	289,89	852,12	39183,9	58,25	65,55	161,07	15,81	3,29	153,58	132,87	183,86	2,15	39,39	37,61
88-90	89	45678,8	159337	2091,43	591,27	16568,6	19110,4	4660,25	263,12	756,58	38921,3	41,95	61,51	147,03	13,92	0	156,73	126,47	191,96	3,08	37,31	32,04
90-92	91	44962,7	173700	2244,59	378,23	16820,2	16821,6	4513,15	252,65	832,97	36170,1	61,87	55,85	136,88	13,36	4,93	146,64	121,8	225,47	1,83	36,81	35,7
92-94	93	42403,9	179708	1833,85	337,72	16580,6	14699,8	4464,92	227,8	653,09	32570,6	77,21	42,82	116,23	12,62	6,64	138,19	118,6	254,56	3,01	32,47	38,03
94-96	95	45658,4	177817	1717,13	329,13	17013,3	11934,8	4559,87	270,3	613,46	35431,9	67,52	42,16	123,81	13,06	5,64	145,71	116,88	232,12	1,68	33,36	36,31
96-98	97	48997,3	167809	1687,77	314,61	18143,6	8500,61	4721,55	292,63	649,85	38695,2	63,84	50,16	136,89	13,56	2,46	162,52	116,72	194,3	1,96	36,86	33,41
98-100	99	50057,5	169038	1596,23	41,75	18487,4	4687,66	4701,5	298,49	609,51	38002,2	71,73	48,35	140,21	12,85	3,03	164,55	108,49	187,28	1,58	36,65	37,54
100-102	101	43958,6	184607	1452,01	63,71	16303,6	5200,83	4685,37	282,08	513,63	30132,4	46,44	39,58	104,55	12,63	6,78	137,82	108,16	237,99	2,35	30,06	37,19
102-104	103	42797,9	184516	1371,58	53,02	15923,4	5474,18	4774,15	263,23	515,42	29211,5	52,62	40,12	95,42	11,62	4,2	133,83	111,15	242,76	2,73	34,84	37,96

Fryšták-2

hloubka	hloubka	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Mo	Pb	Th
cm		ppm																				
0-2	1	30623,9	158427	2179,75	349,56	14064,2	18860	3952,21	175,47	783,54	25478,1	28,61	38,48	118,67	9	6,9	104,02	129,37	276,97	2,76	24,48	32,73
2-4	3	32307,2	166608	2341,18	309,22	15077	24684,6	4430,77	217,5	762,48	27169,7	65,05	44,69	113,81	10,2	6,52	114,46	148,23	300	3,6	26,42	34,7
4-6	5	33363,4	166490	2342,1	334,31	15213,2	26704,5	4481,75	219,83	711,1	27591,9	76,8	42,14	112,66	11,24	6,76	117,41	152,62	292,44	3,29	25,92	35,73
6-8	7	34052,1	170600	2220,23	387,77	15480,1	24589,9	4530,34	241,98	652,36	27703	78,95	40,51	110,33	10,09	6,8	118,81	148,65	295,22	3,41	27,09	37,61
8-10	9	34394,6	169786	2193,61	379,83	15579,9	23243,3	4601,49	250,07	629,15	28068,1	72,33	43,34	111,27	9,06	6,46	119,85	147,42	303,01	2,98	28,39	36,83
10-12	11	34302,2	169429	2142,59	426,29	15623,5	22456,8	4564,88	246,94	605,22	27979,9	79,62	44,51	107,14	11,3	6,93	120,37	145,34	298,26	4,26	26,81	41,53
12-14	13	34018,7	170462	1950,33	387,5	15836,1	19081,7	4643,57	224,27	563,07	27396,1	57,65	44,74	107,77	9,81	6,2	121,6	138	324,37	4,58	27,91	42,17
14-16	15	34496,4	171502	1924,57	493,95	15530,1	18417,6	4679,75	237,46	539,24	26888,4	62,15	45,43	105,4	10,07	5,84	118,96	135,73	319,5	3,59	27,68	38,24
16-18	17	36420,9	180570	1874,55	251,02	15671,8	17256,4	4657,57	245,62	543,09	26576,8	45,36	41,59	110,32	9,66	5,78	119,35	132,65	333,44	3,32	28,21	40,23
18-20	19	36744,4	180633	1870,16	337,9	15750,8	15693,5	4729,63	219,17	557,79	27583,3	44,39	44,51	115,32	10,39	5,64	121,88	127,52	338,15	3,01	27,76	39,38
20-22	21	36164,3	176537	1780,92	226,34	15437,7	14211,1	4675,66	215,71	545,67	27681,7	69,57	44,45	116,96	10,08	6,46	119,98	124,54	338,3	3,61	28,43	35,43
22-24	23	34916,3	161687	2217,59	344,66	15104,3	23533,7	4766,65	234,29	718,78	29632,6	48,66	49,74	123,22	10,67	4,69	123,42	145,78	300,15	4,82	28,82	44,4
24-26	25	36221,2	165104	2264,53	421,46	15094,6	24561,4	4706,03	238,53	737,56	29909,2	40,56	44,92	125,56	10,76	4,19	123,41	149,11	298,23	3,86	29,17	40,47
26-28	27	27087,6	114875	1367,4	389,77	9403,8	13108,5	2444,14	43,81	360,96	16706	9,15	13,38	192,3	3,72	0,83	60,67	69,68	135,39	0	15,6	38,1
28-30	29	37217,2	164379	2008,73	479,98	15743,7	19470,6	4680,99	238,7	657,22	31275,3	44,32	47,32	117,51	10,25	3,71	129,45	138,1	279,91	3,77	28,4	42,36
30-32	31	37420,1	161630	2067,34	676,98	15711,7	20547,2	4852,03	260,28	667,32	31419,1	53,84	43,46	118,92	10,98	3,56	130,95	140,96	275,98	4,12	30,1	42,23
32-34	33	36453,5	162250	2002,96	891,39	15759,7	19982,8	4784,91	241,98	620,07	31323,1	43,33	47,82	115,21	10,94	3,03	129,48	140,34	277,26	4,05	28,54	42,37
34-36	35	39599,4	171437	1470,24	300,1	17211,5	7407,69	5052,41	268,74	439,23	31704,1	69,88	38	109,73	10,31	3,7	140,04	116,93	253,48	5,01	31,13	43,43
36-38	37	39302,1	190873	1585,93	0	16447,4	11332,3	4936,5	227,86	369,61	26772,9	88,81	32,9	82,89	10,63	6,9	124,11	111,22	340,52	3,94	25,51	44,22
38-40	39	37010	167675	2454,92	149,97	15181,3	25585,1	4697,4	264,85	615,72	28240,7	47,85	43,58	119,45	11,46	3,97	123,85	137,33	313,81	3,31	28,95	39,62
40-42	41	37359,9	156970	2907,04	272,5	14768,3	38564,7	4673,36	237,7	743,24	30247,1	54,32	50,41	139,58	10,01	3,77	126,73	161,42	257,09	2,82	30,69	38,36
42-44	43	37274,7	155104	2281,87	361,93	15255,6	28173	4800,02	252,79	646,44	31819,2	54,85	51,87	143,23	12,52	3,28	132,65	143,75	261,11	5,5	28,65	44,97
44-46	45	41036,6	163248	2240,14	407,65	16126,7	23021,6	5047,85	264,24	588,39	32318,8	73,55	51,82	129,69	10,99	4,01	138,3	134,22	266,99	3,04	29,09	39,43
46-48	47	39434,3	161310	2034,45	312,25	15721,6	20481,3	4802,68	270,01	535,21	31761,9	63,04	50,98	131,79	12,4	3,59	133,35	126,83	267,6	5,56	30,18	45,92
48-50	49	39509,3	150223	2955,12	149,3	15243,1	35840,2	4868,29	273,18	720,12	34143,3	40,99	53,23	139,65	10,83	1,68	141,71	164,18	205,85	5,58	31,23	44,68
50-52	51	41870,9	150776	2662,79	97,27	15880,2	30575,1	4903,04	273,46	633,1	34576,5	52,29	54,93	137,46	10,24	2,01	148,88	153,6	187,64	4,89	29,59	35,55
52-54	53	39466,2	153217	2566,73	128,24	15422,6	28165,7	4845,86	251,92	611,97	31411,4	40,21	58,16	140,92	10,76	1,73	138,3	145,63	223,74	3,73	30,96	40,74
54-56	55	35640,8	156490	3622,53	543,58	14039,6	48040	4501,1	218,02	859,94	29839,9	34,86	74,8	173,27	11,63	3,1	119,09	187,07	257,66	3,78	30,01	34,73
56-58	57	35937	172777	2486,9	280,95	15265,1	22827,7	4701,97	253,93	645,86	27540	47,57	74,57	144,61	10,67	3,4	119,46	135,54	312,44	5,11	30,19	43,74
58-60	59	33551,4	173850	2318,64	42,61	15184,8	19436,8	4429	240,03	657,01	24914,6	62,46	108,05	166,64	13,48	6,18	110,93	126,99	372,94	5,76	30,69	45,39
60-62	61	35802	190478	1926,96	0	15440,2	13233,6	4646,45	241,43	505,64	25295,6	82,23	47,15	119,32	11,37	7,71	114,91	115,71	384,63	3,25	26,72	42,67
62-64	63	28890,3	202797	2011,87	0	13807,4	15290,2	4195,32	215,84	518,43	19727,9	43,55	40,92	80,4	10,19	10,3	94,35	114,36	508,34	4,95	22,6	43,64
64-66	65	34083,9	158341	3461,89	272,24	14067,8	43874,7	4516,29	239,46	845,37	28358,4	43,45	53,09	139,4	11,92	3,29	118,46	187,02	276,48	4,56	28,92	39,05
66-68	67	32516,1	134684	4740,09	647,47	13024,5	69266,9	4239,52	192,93	1128,47	29559,8	37,54	82,28	209,79	15,01	2,87	114,3	243,22	212,88	3,68	29,98	35,5
68-70	69	39881,3	157177	2999,12	579,48	14899,2	33007,6	4839,22	224,18	741,47	32665,9	46,08	61,01	167,87	12,27	2,32	136,73	162,13	218,67	3,99	31,93	38,62
70-72	71	44062,8	157825	2352,24	222,23	16179,9	21558,9	4989,97	265,66	624,53	35277,6	64,35	54,42	142,99	11,49	2,22	151,19	137,51	187,68	3,04	30,94	35,62
72-74	73	41744,5	174212	1697,74	0	16371,5	9634,67	5271,34	249,66	458,92	30466,5	75,92	48,72	116,45	10,33	3,67	137,21	108,85	287,19	3,64	30,47	39,97
74-76	75	39676,7	176392	1923,46	0	16069,7	12303	4961,18	243,18	491,07	29983,6	102,52	41,63	120,18	10,8	6,18	131,86	113,39	308,72	3,44	29,96	40,64
76-78	77	40390,4	161447	2945,87	236,8	15410,4	29665	4681,67	284,78	793,98	31898,4	54,67	63,71	183,81	13,38	2,32	133,25	147,83	241,74	2,79	31,94	37,01
78-80	79	39017	143633	3746,69	1049,74	14232,7	52336,4	4403,02	258,73	917,68	35074,2	53,3	76,19	186,13	12,72	1,89	134,16	196,18	158,27	0	31,53	35,07

Fryšták-3

hloubka	hloubka	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Mo	Pb	Th
cm		ppm																				
0-2	1	38263,3	173210	3001,19	33,93	16593,8	27616,5	4870,56	213,48	770,98	32143,8	30,47	35,57	126,94	11,25	2,27	131,4	142,56	245,23	3,83	29,64	35,31
2-4	3	40050,1	173823	3027,6	77,1	17403,3	24415,6	4979,26	227,1	761,99	33377,1	34,51	37,22	132,18	10,9	1,36	136,64	142,02	250,02	2,77	31,1	35,31
4-6	5	40821,6	169972	2772,42	68,92	17419,9	19308,7	5093,05	248,07	763,67	34488,8	30,38	39,54	132,75	12,16	1,36	139,83	137,51	256,61	2,97	31,91	39,06
6-8	7	41909,8	176235	2662,11	120,43	18022,5	17738,1	5113,7	220,02	757,86	34670,5	27,38	37,97	132,16	11,76	1,3	142,4	133,82	250,31	2,14	31,62	35,52
8-10	9	42409,5	177350	2532,74	145,06	18020,8	16439,6	5089,43	227,75	743,95	34454,1	44,78	36,29	131,24	11,08	1,23	144,43	132,93	247,1	2,6	31,79	36,2
10-12	11	39250,1	175892	2765,61	672,96	17260,6	23312,4	4890,87	214,72	705,99	32302,8	38,36	37,63	132,48	12,1	1,61	132,51	143,15	267,62	1,95	31,06	38,45
12-14	13	38518,6	177438	2793,25	794,94	17526,9	24601,9	4952,75	235,71	687,55	31960,2	41,12	37,46	131,74	11,36	1,72	131,52	143,53	278,27	2,54	30,3	38,13
14-16	15	37095,2	170083	2569,09	508,34	16920,9	21707,2	4968,28	225,28	659,42	31284,3	29,66	36,84	133,14	11,26	1,64	131,36	138,7	275,48	3,88	29,99	37,73
16-18	17	37986,8	172043	2716,27	544,74	17407	25060,4	5037,68	223,97	669,23	31666,3	26,17	37,94	132,21	12,21	1,62	130,42	143,11	279,42	3,76	30	43,34
18-20	19	38686,8	172242	2362,17	530,16	18000,8	19381	5077,74	243,9	670,93	33241,8	33,03	39,27	137,1	11,57	2,09	137,91	134,88	270,46	4,97	32,27	39,62
20-22	21	41781,5	177408	2431,5	628,77	18327,8	15881,6	5213,01	248,68	681,05	34717,9	40,23	40,53	136,84	12,14	1,19	142,38	128,7	258,05	2,4	32,76	40,71
22-24	23	43232,9	168272	2296,98	335,67	18450,9	15249,8	5213,14	257,55	743,75	36192,6	33,2	40,63	153,48	12,38	2,12	148,74	130,77	251,75	4,81	35,33	40,14
24-26	25	43195,9	162231	2692,18	341,25	17895,3	21472,8	5040,86	262,84	866,28	36755,7	45,84	44,3	165,86	13,38	1,82	147,72	140,73	237,17	3,46	34,47	38,31
26-28	27	42207,3	158480	2626,92	362,01	17609,6	22085,1	5127,88	232,91	829,44	36827,9	36,94	42,48	165,12	13,55	1,63	150,13	142,69	234,3	3,03	35,18	37,2
28-30	29	42780,7	160286	2549,82	372,28	17702,4	21499,2	5036,27	263,58	867,48	37276,4	46,53	45,85	165,13	12,1	1,41	150,8	140,52	228,19	4,13	37,01	35,43
30-32	31	42864,9	159902	2594,69	425,55	17697	22093,6	5001,6	254,18	831,17	37441,3	37,97	43,83	163,57	14,31	1,42	151,56	142,7	222,74	3,35	35,86	39,01
32-34	33	42896,3	162382	2740,23	447,09	17876,1	23351,4	5122,34	244,25	844,95	37933,6	50,01	46,31	166,61	14	2,06	150,54	144,07	222,74	3,74	36,79	36,18
34-36	35	43868	159526	2547,65	320,01	17846,1	20861,3	5005,13	263,53	767	38513,3	42,72	42,62	162,28	15,09	1,19	154,15	139,14	211,01	2,64	35,79	37,31
36-38	37	46316,9	166510	2841,37	267,92	17761,5	23016,9	4960,69	241,46	833,15	38757,2	44,37	44,98	167,62	14,52	1,47	152,56	137,09	205,84	2,68	35,81	37,05
38-40	39	47185,4	172052	2173,83	413,84	18700,4	16570,1	5106,53	285,04	693,46	37577,3	39,66	41,84	162,06	14,99	1,22	155,82	129,68	225,83	2,83	36,02	35
40-42	41	45913,9	168466	2746,54	629,57	17801,3	25684,9	5094,15	244,5	738,4	37455,4	39,28	41,97	170,68	17,35	1,45	150,14	145,69	220,34	2,54	35,84	36,78
42-44	43	45732,2	165654	2935,28	850,11	17150,4	27972,2	4779,76	256,28	789,83	39212,8	44,63	40,72	167,97	18,79	1,27	150,39	146,95	190,25	1,97	36,07	28,72
44-46	45	42398,3	158431	3720,54	1097,65	16399,6	35768,1	4703,24	283,27	880,6	39227,2	34,84	42,85	213,38	22,49	1,11	141,76	159,66	216,19	3,81	39,26	36,2
46-48	47	43848,8	162486	3265,82	886,69	16878,9	24252,7	4876,48	265,26	884,44	40100,8	34,25	41,27	225,51	22,79	1,29	147,42	145,82	211,53	3,58	41,1	39,02
48-50	49	42603,7	177137	2944,21	249,35	17252,5	17731,3	4902,92	249,6	908,03	34562,9	38,23	39,53	193,98	16,44	1,83	140,78	130,08	238,05	4,65	37,83	38,92
50-52	51	40219	186240	3302,4	197,6	16966,5	17313,7	4855,67	237,64	859,47	31312,2	19,31	37,36	179,7	16,15	1,64	131,28	129,88	294,95	3,35	34,07	37,76
52-54	53	45017,4	173765	2950,82	505,88	17533,3	18526	5017,6	236,02	853,03	35508,3	35,26	50,26	266,57	21,54	2,42	145,57	133,54	243,24	2,05	41,27	38,38
54-56	55	45186,5	168557	2868,46	608,73	17475,4	17713,5	4971,99	263,39	909,19	37624,9	35,1	45,91	280,98	21,91	1,33	150,63	132,89	217,2	1,81	43,97	34,88
56-58	57	43509	167218	2832,57	504,42	17296,1	18818,3	4973,08	291,07	882,35	36177,3	36,52	53,35	278,23	20,03	1,66	147,58	137,85	224,53	4,97	44,26	42,62
58-60	59	43717,9	162842	3639,71	754,64	16607,2	27866,6	4843,78	236,06	1076,67	37623,9	40,46	69,58	351,85	22,26	1,32	144,24	155,15	212,4	2,75	49,3	38,31
60-62	61	45110,4	165435	3304,2	506,75	17719,8	18866,7	4969,52	297,46	984,13	38588,5	34,04	67,84	320,49	19,42	1,58	153,3	135,21	208,64	4,72	49,78	36,67
62-64	63	45572,4	165733	2847,63	346,14	18074,5	15397,3	4990,88	266,08	820,7	38499	39,72	57,24	278,41	17,04	1,8	157,15	130,86	198,51	4,5	44,53	40,87
64-66	65	42920,2	164722	3695,57	548,84	16744,1	28442,5	4767,41	257	957,87	36225,9	29,91	56,2	295,81	16,9	1,31	144,63	153,32	205,62	3,61	42,66	38,23
66-68	67	41813	163908	4023,24	767,34	16211,5	34260,9	4745,79	268,74	893,85	36084,8	36,37	60,45	325,16	17,55	1,6	140,11	162,54	209,85	2,2	44,97	35,78
68-70	69	44548,5	172660	2605,24	878,95	17346,1	20969,9	4931,2	268,42	632,6	34707,1	32,62	49,75	238,64	14,64	1,11	148,94	139,47	221,82	2,85	42,31	33,59
70-72	71	40274,2	175723	2936,36	1050,84	16315,2	24190	4654,73	271,6	711,62	30753	32,6	55,3	300,54	15,98	2,82	130	146,17	312,37	4,14	42,49	39
72-74	73	39716,5	152870	4048,95	2217,62	15120,4	48937,4	4479,88	228,48	939,21	37066,5	29,48	81,53	316,67	16,82	1,68	133,68	194,74	201,9	1,74	46,07	30,4
74-76	75	41457,2	155871	3576,88	2511,26	15490,3	45468,2	4584,62	258,95	849,65	37764,1	24,29	72,89	308,16	18,05	1,68	136,57	187,78	202,96	1,89	46,06	31,36

Fryšták-4

hloubka	hloubka	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Zr	Mo	Pb	Th
cm		ppm																				
0-2	1	35534,1	197066	1635,45	0	17181,9	5402,48	4756,1	212,35	489,6	22358,2	61,47	29,3	96,55	10,98	4,65	111,24	112,32	365,11	3,53	24,45	40,91
2-4	3	33609,6	198050	1472,79	0	17055,2	4880,19	4697,38	237,47	422,94	20702	32,61	28,23	86,72	9,16	3,31	106,88	110,6	384,82	5,1	23,99	42,75
4-6	5	34315,4	203951	1388,15	0	17288,4	4498,25	4773,43	207,71	356,11	20378,7	45,74	31,33	82,74	8,6	5,93	107,87	109,15	379,86	4,18	23,75	39,27
6-8	7	34049,8	208399	1371,49	0	17156,6	3988,62	4759,61	203,11	342,33	20010,8	32,97	30,17	89,44	8,54	5,44	106,23	109,07	409,48	3,61	24,74	40,97
8-10	9	33586,1	205149	1525,39	0	17126,2	4463,6	4713,1	211,66	342,9	19804,3	28,03	32,77	88,41	8,43	3,23	106,34	108,41	418,24	2,88	24,18	39,8
10-12	11	32959	207251	1480,92	0	16954,5	5277,49	4686,16	205,26	349,46	19621,3	41,82	32,45	94,95	9,38	4,49	106,24	110,14	418,77	3,86	23,98	39,32
12-14	13	32901,9	206313	1361,39	0	16775,4	3915,67	4682,14	222,24	296,1	18807,5	26,44	28,62	86,85	8,27	4,18	103,93	106,92	440,66	3,18	23,95	35,53
14-16	15	33423,2	204278	1173,33	0	17247,6	3345,37	4714,61	230,24	281,58	18806,5	35,66	29,68	88,76	9,01	5,31	104,15	107,72	440,98	5,2	23,29	42,12
16-18	17	31921,8	208313	1490,12	0	16723,6	3314	4485,41	196,32	300,83	17839,6	21,74	32,21	89,51	8,11	4,27	101,24	104,92	445,41	2,96	24,56	33,58
18-20	19	30160,3	209708	1610,9	27,83	16317	3802,65	4109,46	201,87	354,25	16976,2	28,06	28,43	100,54	9,93	6,59	93,94	104,71	455,17	3,74	22,54	39,48
20-22	21	29897,1	205531	1515,17	42,48	16450,5	3987,9	4158,58	194,12	340,22	16778	13,41	27,81	100,65	8,99	4,75	93,17	103,76	462,24	4,63	24,09	39,33
22-24	23	30418	211220	1471,99	0	16458,9	4021,99	4114,45	182,91	345,2	16944,4	26,47	33,32	95,78	8,22	7,16	95,24	104,89	471,77	4,5	24,36	44,12
24-26	25	30333,8	203877	1580,17	50,67	16426,8	4753,09	4160,21	210,86	367,21	17496,9	21,02	33,75	97,7	10,28	5,65	94,22	104,37	479,79	4,4	23,1	44,91
26-28	27	29560,7	210047	1817,94	0	15685,9	4398,19	3802,24	189,25	466,49	17451,9	25,37	26,04	102,72	10,63	6,67	91,17	100,61	458,09	4,47	20,8	41,65
28-30	29	26187,3	223373	1600,21	0	15165,9	3436,51	3371,27	176,34	367,48	14824,5	12,41	20,56	82,03	9,22	7,8	83,29	95,38	419,23	4,92	20,43	42,06
30-32	31	27587,7	226267	1597,79	0	15737,1	2796,42	3464,12	192,67	365,68	15327,5	26,66	22,25	74,65	9,68	11,05	86,12	94,07	448,53	5,92	20,42	44,16
32-34	33	31618,1	220235	1667,42	0	15716,7	2934,97	4072,67	186,37	362,69	17118,6	21,05	22,99	70,92	8,86	6,84	93,36	99,1	421,7	4,06	19,78	35,76
34-36	35	34008,4	214978	1471,91	0	16618,7	3170,58	4501,91	209,72	320,99	19219,8	24,33	24,43	68,48	7,96	3,39	103,28	102,98	408,21	3,45	21,81	33,9
36-38	37	31360,4	213670	1688,42	0	16470,9	5797,18	4329,22	200,9	417,06	18437,5	51,76	26	87,36	10,56	7,08	98,27	107,5	436,86	3,57	21,77	37,96
38-40	39	29453,5	197815	1705,3	0	15537,3	4546,15	3981,84	214,63	464,23	19013,7	36,86	31,16	116,07	10,82	6,39	95,97	98,22	401,57	5,52	24,2	42,06
40-42	41	28686,1	215418	1596,13	0	15174,7	4391,89	3400,85	199,81	397,44	17488,5	30,76	21,67	93,91	9,45	10,38	90,08	91,52	325,57	4,8	21,57	40,12
42-44	43	23702,2	241320	1404,54	0	14027,6	2255,62	2288,91	180,86	266,43	12117,1	25,98	14,47	59,87	8,57	12	71,54	76,94	249,31	5,39	14,64	32,44
44-46	45	28575	214724	1463,83	0	15853,6	5246,66	4430,75	169,42	369,66	16684,3	43,53	23,92	84,5	10,71	8,68	93,26	104,4	457,33	4,86	19,46	43,95
46-48	47	31109,3	215698	1413,3	0	16478,1	4581,55	4637,79	207,52	342,59	17186,8	17,17	24,55	81,23	9,54	5,45	96,56	104,59	468,56	4,1	21,19	40,23
48-50	49	30795,5	205399	1246,24	0	16547,8	3694,74	4639,46	213,86	319,7	18524,6	13,48	23,67	76,33	8,56	4,2	100,27	103,89	477,01	5,49	23,25	45,43
50-52	51	29903,5	212373	1177,44	0	15951	2848,87	4449,76	204,41	347,06	16330,3	38,14	25,86	73,47	10,1	7,82	93,77	101,69	528,62	5,19	21,11	44
52-54	53	30731,7	215855	1384,99	0	16123	2886,55	4608,7	211,83	383,51	17410,9	29,16	21,86	77,99	9,81	7,58	95,02	100,94	551,63	4,31	22,18	45,74
54-56	55	34005,3	210698	1634,54	0	16665,1	3078,87	4818,74	218,26	481,64	19822	43,47	25,01	97,5	9,59	5,23	101,95	102,18	486,15	3,11	23,98	42,01
56-58	57	36232,2	198139	1629,51	0	17495	3926,04	4782,56	217,27	515,86	22791,8	47,85	31,14	115,16	11,55	4,71	113,43	106,35	423,08	4,93	26,94	44,41
58-60	59	36346,4	187571	1767,52	0	17702,5	8563,34	4883,62	239,61	548,87	24383,8	47,98	33,24	119,1	11,09	4,36	120,12	116,01	365,1	5,16	27,74	44,14
60-62	61	37024,6	180749	1620,43	0	18059,8	8449,84	4848,29	232,17	508,65	25276,2	49,64	34,71	128,88	11,29	3,49	123,93	116,73	381,03	5,17	29,29	46,96
62-64	63	42088,6	173611	1352,3	0	19335,8	4323,65	5010,17	253,88	461,25	29483,1	48,91	43,79	149,28	11,73	3,55	139,8	109,2	353,99	5,43	34,87	46,44
64-66	65	38804,9	178154	1520,75	74,45	17769,7	5511,21	4823,23	251,25	515,96	27283,8	50	42,07	170,79	13,2	3,17	128,89	111,62	380,97	4,17	34,49	42,71
66-68	67	37557,5	188985	2057,87	0	17402,5	10452,8	4806,81	237,63	587,65	25428,3	40,89	35,43	143,12	11,35	3,72	121,34	119,25	356,43	4,23	30,89	38,71
68-70	69	37290,4	184763	1854,35	77,16	17610	12069,3	4948,91	262,01	486,58	26195	35,81	31,94	136,05	11,69	3,58	125,72	123,28	330,35	4,5	30,66	41,61
70-72	71	36418,4	178967	1887,59	44,9	16954,2	11959,1	4779,13	226,82	516,32	25358,7	36,14	31,08	129,28	11,96	3,06	120,44	118,91	349,09	6,43	29,5	47,41
72-74	73	39704,4	191444	1476,31	0	18215,9	4405,06	4961,78	233,6	418,99	26953,6	38,14	33,86	106,65	10,35	2,42	131,27	108,58	317,38	3,24	29,02	37,88
74-76	75	36552	198160	1538,8	0	17380,7	3785	4845,64	242,33	386,03	23196,2	42,98	28,53	89,12	9	3,1	117,24	105,16	376,1	3,42	27,19	36,99
76-78	77	37730,4	178562	2439,42	243,49	17084,9	17732,7	4783,81	222,3	639,16	27904,6	33,89	37,7	188,07	15,06	3,11	126,03	131,84	304,48	4,11	34,78	42,58
78-80	79	36895,8	189679	2205,44	443,99	17070,6	13750,2	4764,91	240,12	587,66	26810,6	29,17	33,94	181,67	16,29	2,95	120,12	122,25	322,06	3,6	32,29	38,72
80-82	81	36178,7	182600	1917,99	506,34	16969,8	11179,9	4815,51	232,14	550,8	27389,4	34,77	37,18	192,12	16,98	5,02	121,38	118,65	318,05	5,19	32,38	42,75
82-84	83	34233,9	200800	1570,87	0	16593,6	4566,09	4456,78	206,12	394,91	20271,8	32,82	25,65	101,65	12,56	3,37	104,38	101,5	407,78	3	24,34	38,62
84-86	85	36639,4	194220	1526,93	0	16726	3182,02	4283,16	231,66	460,18	23657,7	35,36	28,47	86,44	11,32	2,55	113,68	95,15	331,79	3,07	25,96	32,25
86-88	87	36851,6	191837	1420,3	0	17194,1	3562,23	4882,39	234,9	447,56	24249,9	26,49	29,9	89,51	12,6	2	119,33	101,91	358,34	4,21	27,27	40,76
88-90	89	37786	189641	1674	0	16864,6	3564,62	4708,97	207,43	602,83	26609,7	30,32	32,48	113,17	15,45	2,06	120,98	98,6	329,62	3,28	29,56	39,35
90-92	91	40303,7	196690	1463,49	0	16094,3	2334,35	4055,13	234,71	916,45	28728,7	37,69	30,56	87,23	12,64	3,13	112,82	87,24	265,85	3,84	30,1	30,15
92-94	93	38720,2	188142	1139,82	0	15949,3	2223,32	4014,8	231,35	658,37	28095,8	28,18	28,8	71,12	11,09	3,68	109,56	86,23	277,3	5,44	31,12	38,09
94-96	95	39649	187191	1122,95	0	15984	3110,46	4165,65	232,01	1234,9	29790	34,75	30,42	80,02	13,91	3,54	115,66	91,16	291,27	5,32	31,76	39,78
96-98	97	40124,1	184608	1302,22	0	16570	4964,21	4322,82	259,38	1066,99	29651,3	34,42	33,33	101,34	15,54	3	123,09	98,63	272,91	4,33	32,45	37,11
98-100	99	42468,9	178418	1323,28	0	16947,7	3162,26	4355,72	260,94	753,92	31264,1	36,48	34,98	89,91	14,71	3,08	130,07	93	269,5	5,15	31,66	37,83
100-102	101	46716,6	171985	1575,35	0	18063,1	2390,73	4994,48	296,79	552,68	36227,9	38,73	43,1	95,37	15,15	1,53	150,99	95,23	280,33	3,52	29,41	41,48
102-104	103	47091,2	178118	1370,39	0	18252	2309,54	5008,35	264,95	516,79	33928,4	36,4	42,77	95,87	13,54	0,9	152,76	97,21	274,5	2,87	30,59	41,14