

**UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU**

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych

Marta Bielawska

PRACA DOKTORSKA

Mikromorfologiczny zapis sedymentacji osadów
korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły

pod kierunkiem
prof. dr hab. Grzegorza Rachlewicza

Poznań 2023

Podziękowania

Pragnę złożyć serdeczne podziękowania prof. dr. hab. Grzegorzowi Rachlewiczowi za nieocenioną pomoc udzieloną w trakcie przygotowywania pracy doktorskiej, cierpliwość i wyrozumiałość oraz motywację do krytycznego spojrzenia na problematykę badawczą. Dziękuję za udostępnienie związków do doświadczeń oraz umożliwienie wykonywania badań w ramach współpracy pomiędzy Wydziałem Chemii UAM.

Ogromne podziękowania dla dr. Simona Carr, który okazał mi ogromne wsparcie oraz cierpliwość podczas stażu naukowego odbytego w 2015 roku w Centrum Mikromorfologii, na Uniwersytecie Queen Mary w Londynie.

Chciałabym również podziękować Rodzinie oraz Przyjaciółom, za nieustanne wsparcie oraz motywację do ukończenia niniejszej pracy.

Spis treści

1. Wprowadzenie i dotychczasowy stan wiedzy	4
1.1. Cele i zakres pracy	6
1.2. Przegląd literatury mikromorfologicznej osadów nieskonsolidowanych.....	8
2. Ogólna charakterystyka obszaru badań	12
2.1. Budowa geologiczna i rzeźba terenu	17
2.2. Warunki hydrogeologiczne.....	20
2.3. Zabudowa hydrotechniczna	23
3. Metody badań	26
3.1. Prace kameralne.....	26
3.2. Prace terenowe.....	27
3.3. Analizy sedymentologiczne.....	32
3.4. Analizy geochemiczne.....	32
3.5. Analizy mikromorfologiczne.....	35
3.5.1. Przyjęte zasady opisu mikromorfologicznego	39
3.5.2. Cyfrowa analiza obrazów mikromorfologicznych.....	41
4. Charakterystyka stanowisk badawczych	44
4.1. Lokalizacja stanowisk.....	44
4.2. Warunki hydrologiczne	48
4.3. Tekstura osadów	53
4.3.1. Relacje między wskaźnikami uziarnienia	66
4.4. Geochemia osadów	71
4.4.1. Przestrzenne zróżnicowanie właściwości geochemicznych osadów	88
5. Mikromorfologiczna charakterystyka osadów	90
5.1. Opis makroskopowy i mikroskopowy szlifów	91
5.2. Interpretacja cech mikromorfologicznych badanych osadów	151
5.2. Cyfrowa analiza obrazu	154
6. Badania mikromorfologiczne jako źródło informacji o współczesnych procesach fluwialnych.....	161
7. Podsumowanie	169
Literatura:	172
Spis tabel	192
Spis rycin.....	193

1. Wprowadzenie i dotychczasowy stan wiedzy

Dynamika procesów fluwialnych znajduje swoje odzwierciedlenie zarówno w układzie koryta jak i w cechach aluwioów korytowych oraz pozakorytowych. Ze względu na istotną rolę procesów fluwialnych w kształtowaniu koryt rzek i ich dolin badania naukowe w tym zakresie są prowadzone powszechnie. Dotychczas poznano m.in. zależności pomiędzy typem koryta a jego spadkiem, budową doliny a reżimem rzeki oraz wyznaczono i sklasyfikowano formy korytowe (m.in. Leopold i Wolman 1957, Allen 1965, Brice 1975, Schumm 1971, 1977, Klimaszewski 1978, Teisseyre 1991, Rosgen 1994, Babiński 1982, 1992, 2002, Krzemień 2012). Cechy osadów przyjmowano z reguły jako wskaźnikowe dla typów koryta (prostolinijne, meandrujące, roztokowe i anastomozujące) i utożsamiano je ze zmianami klimatycznymi, głównie z zanikiem wieloletniej zmarzliny i rozwojem roślinności (m.in. Florek i in. 1987, Vandenberghe 1995, 2002, Starkel 2001, Macklin i in. 2006, Rosgen 1996). Ważnymi pracami badawczymi dotyczącymi obserwacji warunków transportu i sedymentacji w korytach rzecznych są opracowania: Ziemskiej (1928), Hjulströma (1935), Szancera (1951), Leopolda (1953, 1994), Bagnolda (1956, 1966), Jarockiego (1957), Leopolda i in. (1964), Nawary (1964), Allena (1965, 1970, 1977), Kostrzewskiego (1970), Grafa (1971), Gradzińskiego i in. (1976, 1986), Kanieckiego (1976), Blencha (1977), Yalina (1977), Wallinga (1978), Howarda (1980), Zwolińskiego (1980, 1985, 1989, 1993), Richardsa (1982), Teisseyre'a (1984), Emblentona i Thornesa (1985), Młynarczyka (1985, 1989, 1991, 1996), Pizzuto (1985), Brańskiego i Kondzielskiego (1986), Rotnickiego i Młynarczyka (1989), Ciupy (1990, 1991, 2009), Gölza (1990), Komara i Carlinga (1991), Bartnika (1992), Grovesa i Howarda (1994), Kostrzewskiego i in. (1994), Howarda i Grovesa (1995), Smolskiej (1996, 2009), Starkela (2001), Bridge'a (2003), Kurowskiego i Jędrzejczaka (2007), Młynarczyka i Słowika (2007), Szmańdy (2010, 2011) oraz innych.

Badania tendencji zmian i rozwoju koryt rzecznych są najczęściej wykonywane w skali ponadlokalnej (dla długich odcinków rzek), nie zastąpią one jednak równie istotnych badań zróżnicowania aluwioów w skali lokalnej. Badania lokalne pozwalają poznać osady rzeczne z dużo większą rozdzielczością, w związku z czym analizowany zapis zmian np. w postaci sedymentacji korytowej jest bardziej szczegółowy i pozwala na zrekonstruowanie dynamiki procesów fluwialnych, wrażliwych na zmiany warunków klimatycznych oraz na oddziaływania antropogeniczne. Cechy osadów fluwialnych mogą stanowić zatem ważny sedymentologiczny zapis przemian w układzie koryta (Falkowski 1967, 1971 1990, Szumański 1986, Andrzejewski 1985, Rotnicki i Młynarczyk 1989, Florek 1991, Kaczmarzyk

1997, Ludwikowska-Kędzia 2000, Michno 2004, Wachecka-Kotkowska 2004, Szmańda 2011, Szmańda i in. 2021).

Istotnym czynnikiem wpływającym na zapis sedimentologiczny jest przegradzanie koryt rzek zaporami, które stanowią istotną ingerencję w charakterystykę ich reżimu fluwialnego (Williams i Wolman 1984, Richter i in. 1996, Vörösmarty i in. 1997, Peeg i in. 2003, Nilsson i in. 2005, Suen 2011, Eng i in. 2013, Zhang i in. 2015, Gierszewski i in. 2020) oraz procesy erozyjno-akumulacyjne poniżej nich (Petts 1980, Babiński 1994, Kondolf 1997, Poff i in. 1997, Walling i Fang 2003, Słowik i in. 2018, Szmańda i in. 2021). Zagadnienia dotyczące wpływu zapór wodnych na procesy korytowe poruszano m.in. w Polsce na przykładzie zbiornika i zapory we Włocławku (Babiński 1982, 1990, 1992, 1994, 1997, 2002, Gariat 2003, Habel 2013, Gierszewski i in. 2020).

Dla odcinków rzek dorzecza Wisły i Odry, oprócz oddziaływania zapory we Włocławku na środowisko fluwialne Wisły, odnaleźć można prace dotyczące przegradzenia koryta Sanu (Punzet 1972, Dynowska 1984), Warty (Przedwojski i Wicher 1999), Soły (Malarza 2004), Wdy (Babiński i Szumińska 2006), Brdy (Szatten i in. 2018), Zgłowiączki (Bartczak 2007), Odry (Kosicki i Krężel 1977, Głowski i Parzonka 2007, Parzonka i Kosierb 2010).

Zespół warstw materiału korytowego, stanowiący sedimentologiczny zapis warunków hydrodynamicznych panujących w korycie w określonej jednostce czasu, posiada cechy teksturalne i strukturalne osadów (skala makroskopowa), oraz cechy mikromorfologiczne (skala mikroskopowa), których analiza możliwa jest po przygotowaniu próbek o nienaruszonej strukturze w postaci tzw. cienkich szlifów bądź cienkich płytek (z ang. *thin sections*). Metoda mikromorfologiczna czyli mikroskopowa analiza preparatów utrwalonych w postaci cienkich szlifów, poprzez badanie naturalnej (nienaruszonej) struktury odpowiednio wypreparowanych osadów, umożliwia wskazanie mikromorfologicznych cech diagnostycznych dla poszczególnych procesów oraz charakterystycznych dla specyficznych typów środowisk sedimentacyjnych (m.in. O'Brien i Slatt 1990, Maltman 1994, Carr 2001, 2004, Lachniet i in. 2001, van der Meer i in. 2003, Menzies i in. 2006). Szczegółowy przegląd literatury mikromorfologicznej przedstawiono w rozdziale 1.2.

Dotychczas dynamika procesów fluwialnych w ujęciu mikromorfologicznym ograniczała się do opisu typu uziarnienia osadów oraz ustalenia charakteru sedimentacji (m.in. Johnson 1982, van der Meer i in. 1994, 1996). Nieregularność stanów wody i jej przepływów oraz zabudowa regulacyjna powoduje zróżnicowanie procesów erozyjno-akumulacyjnych, które wpływają na charakter depozycji osadów na brzegach oraz

kształtowanie się form śródkorytowych (Babiński 1992, Banach 1998). Dzięki powyższym czynnikom możliwe jest badanie cech osadów bezpośrednio na ich powierzchni oraz pobór próbek bez potrzeb przeprowadzania specjalistycznych badań podczas wysokich stanów wody.

1.1. Cele i zakres pracy

Znakomita większość opublikowanych prac naukowych dotyczących charakterystyki mikrostruktur sedymentacyjnych powstających w wyniku procesów fluwialnych odnosi się do starszych geologicznie skał litych (m.in. Davies i Ethridge 1970, Jirsa 1984, Leeder 2011, Prothero i Schwab 2013, MacKenzie i in. 2017, Chima i in. 2018, Kale i in. 2020). Zdecydowanie brakuje opracowań odnoszących się do zagadnień mikromorfologicznych w osadach współczesnych, wykonanych w odniesieniu zarówno do rzek o przebiegu naturalnym, jak i w różny sposób zmienionym poprzez działalność człowieka, w tym przegrodzonych zaporami.

Analiza cienkich szlifów wykonanych z próbek pobranych z osadów pozakorytowych (brzeg, terasa zalewowa) oraz form korytowych (łacha) może zatem posłużyć do określenia cech charakterystycznych osadów występujących w środowisku fluwialnym w ujęciu mikroskopowym oraz wpływu przegrodzenia koryta rzeki zaporą na zmienność cech mikromorfologicznych.

Jako obszar badań, gdzie po raz pierwszy zastosowana została metoda mikromorfologicznej analizy cech strukturalnych w środowisku rzeczonym, wybrano koryto rzeki aluwialnej poddanej silnej antropopresji, tj. bieg dolny rzeki Wisły.

Nierozwiązanym dotąd problemem badawczym, znajdującym wyraz w podjęciu się realizacji niniejszej pracy, jest określenie charakterystycznych cech mikromorfologicznych współczesnych aluwów korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły, w środowisku w dużym stopniu przekształconym przez działalność człowieka. Przedmiotem szczegółowych badań są osady pobrane na trzech stanowiskach badawczych zlokalizowanych w charakterystycznych profilach: Kępa Polska (nieuregulowane koryto powyżej cofki Zbiornika Włocławskiego), Toruń (początek uregulowanego koryta poniżej Zbiornika Włocławskiego) i Grudziądz (uregulowane koryto). W związku z przedstawionym powyżej problemem badawczym w pracy postawiono następującą hipotezę:

Aluwia korytowe i pozakorytowe charakteryzują się oryginalnymi mikrostrukturami, odzwierciedlającymi różnicowanie środowiska fluwialnego poddanego antropopresji.

W ramach tak sformułowanej hipotezy badawczej określono zasadniczy cel pracy, tj.:

- ❖ określenie cech mikromorfologicznych w aluwiach korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły na tle dynamiki środowiska fluwialnego i jego przeobrażeń antropogenicznych.

Zadania badawcze sformułowane dla osiągnięcia zasadniczego celu pracy wymagały przede wszystkim poznania:

- 1) geometrii i typologii form współczesnego koryta dolnej Wisły,
- 2) warunków hydrodynamicznych panujących na analizowanym obszarze badawczym,
- 3) makro- i mikroskopowych cech strukturalnych i tekstualnych osadów korytowych i pozakorytowych, a na ich podstawie określenia warunków ich depozycji,
- 4) cech geochemicznych w odniesieniu do zawartości pierwiastków występujących w osadach na poszczególnych stanowiskach badawczych.

Zadania badawcze realizowane były odpowiednio poprzez:

- ogólne rozpoznanie koryta dolnej Wisły w oparciu o analizy teledetekcyjne oraz studia dokumentacji hydrotechnicznej, kartograficznej i literatury naukowej,
- kartowanie geomorfologiczne i litologiczne oraz weryfikację i aktualizację istniejących opracowań,
- wybór stanowisk i punktów badawczych,
- opis makroskopowy osadów we wkopach i odsłonięciach w strefie przykorytowej i korytowej oraz analiza cech teksturalnych osadów,
- pobór próbek osadów, w tym o nienaruszonej strukturze z wyznaczonych stanowisk i punktów badawczych,
- analizę danych hydrologicznych uzyskanych dla wybranych okresów badawczych,
- przeprowadzenie laboratoryjnych analiz sedymentologicznych pobranych próbek osadów oraz ich interpretację,
- przeprowadzenie analiz fizykochemicznych pobranych próbek osadów w warunkach laboratoryjnych, dla określenia charakterystyk geochemicznych oraz zawartości wybranych pierwiastków chemicznych wraz z interpretacją uzyskanych wyników,
- przygotowanie pobranych próbek do analiz mikromorfologicznych poprzez utwardzanie żywicą oraz przygotowanie szlifów w postaci cienkich płytek,
- interpretację i klasyfikację charakterystycznych cech mikromorfologicznych osadów fluwialnych dolnej Wisły.

1.2. Przegląd literatury mikromorfologicznej osadów nieskonsolidowanych

Wykorzystanie mikromorfologii do badań osadów fluwialnych jest zagadnieniem dotychczas rzadko stosowanym, ze względu na szereg utrudnień, począwszy od poboru próbek i konieczności impregnacji pobranych osadów. Osady fluwialne bezpośrednio po pobraniu niejednokrotnie posiadają wysoki stopień uwilgotnienia, albo nawet uwodnienia, co utrudnia utrzymanie ich nienaruszonej struktury, warunkującej przeprowadzenie analiz mikromorfologicznych. Większość publikacji dotycząca badań procesów fluwialnych z wykorzystaniem mikromorfologii poświęcona jest zagadnieniom związanym z badaniem materii organicznej w glebach stref nadbrzeżnych oraz dnach dolin (Wilkinson i Bunting 1975, Blaziejewski i in. 2005). Na uwagę zasługują publikacje van der Meera i in. (1994, 1996), dotyczące rzeki Ren, w których to autorzy przeprowadzili szczegółowe analizy mikromorfologiczne składu i struktury agregatów osadowych w celu ustalenia charakteru sedymentacji i jej stabilności. Opracowań dotyczących typowo zagadnień mikromorfologicznych związanych ze współczesną działalnością sedymentacyjną rzek w ostatnich dekadach XX i na początku XXI wieku jest niewiele, zwłaszcza jeżeli odnieść je do zastosowania tej techniki w badaniach nad charakterystyką glin lodowcowych, w których to metoda mikromorfologiczna jest stosowana od przeszło 50 lat (Hart i Rose 2001, Menzies i in. 2010).

Duża część terminologii używanej w mikromorfologii wywodzi się z gleboznawstwa i od tego czasu uzupełniana jest ona terminami typowymi dla geologii strukturalnej (Brewer 1976, Bullock i in. 1985, van der Meer 1993, 1996, Menzies 2000, Stoops 2003, FitzPatrick 2005).

Stan badań w literaturze mikromorfologicznej natomiast podzielić można na zagadnienia dotyczące: ogólnych aspektów sedymentologicznych; badań osadów zróżnicowanych pod względem środowiskowym: glacialnych, peryglacialnych, jeziornych, morskich, fluwialnych (omówionych powyżej), organicznych, eolicznych i pustynnych, jaskiniowych i ewaporatów, w tym skorup węglanowych; efektów procesów tektonicznych, wulkanicznych, stokowych, diagenetycznych oraz opracowywania metod wykonywania cienkich szlifów, a także badań eksperymentalnych (Nichols 2009, van der Meer i Menzies 2011). Wyróżnić można również analizę cienkich płytek ze skał litych, która w stosunku do powyższych zagadnień nie przysparza trudności w wykonywaniu preparatów mikromorfologicznych i jest powszechnie stosowana w badaniach geologicznych od połowy XIX wieku (Sorby 1858, Kubienski 1938, Łaszkiewicz 1957).

Ogólne aspekty sedymentologiczne w szlifach mikromorfologicznych uwzględniają głównie analizę wielkość ziaren (Johnson 1994), sortowania (Harrell 1984) i orientacji ziaren (Stroeven i in. 2005).

Mikromorfologia jest obecnie uznaną techniką w badaniach osadów lodowcowych, których przegląd można znaleźć w podręcznikach akademickich (van der Meer 1996, Carr 2004), jak i *Encyclopaedia of Quaternary Science* (Hiemstra 2007). Najstarsza pozycja dotycząca badań cienkich płytek osadów glacialnych pochodzi z 1940 (Lundqvist 1940) a badania prowadzone są obecnie zgodne z ustaloną praktyką pedologiczną (Zaniewski i van der Meer 2005). Autorzy prac z zakresu mikromorfologii glacialnej zajmują się głównie inwentaryzacją mikrostruktur, określeniem ich genezy oraz miejsca odpowiadającego procesom zachodzącym w systemie lodowcowym (Phillips i Auton 2000, Larsen i in. 2004, Thomason i Iverson 2006, Lee i Phillips 2008). Poznane mikrostruktury zgrupowano w kilku kategoriach oraz opracowano terminologię, która uznawana jest już jako standardowa (Brewer 1976, van der Meer 1982, 1993, Stoops 2003). W zakresie badań glacialnych jest to obiecująca metoda, która umożliwia szczegółową separację i stratyografię różnych faz (facji) depozycji i deformacji lodowcowych (van der Meer 1987, van der Meer i in. 2003, Menzies i in. 2006, Neudorf 2008).

W zakresie zastosowania mikromorfologii osadów w badaniach peryglacialnych można wydzielić trzy odrębne grupy: w pierwszej znajdują się badania związane z obecnymi obszarami peryglacialnymi w Arktyce, Antarktyce i występujące na znacznych wysokościach, w drugiej te związane z obszarami podlegającymi w przeszłości warunkom peryglacialnym, dotyczące plejstocenu, jak i starszych okresów geologicznych, w trzeciej grupie natomiast znajdują się badania eksperymentalne np. w komorach termicznych. We wszystkich trzech grupach analizy mikromorfologiczne prowadzone były od wczesnych lat pięćdziesiątych XX wieku i obecnie istnieje obszerna literatura na temat ich zastosowania. Niektóre badania mają na celu przedstawienie przeglądu mikrostruktur peryglacialnych (m.in. Konišev i in. 1973, van Vliet-Lanoë i in. 1984, Harris 1985, van der Meer i in. 1992, Huijzer 1993, Bertran i in. 2003, van Vliet-Lanoë 2010), podczas gdy inne dotyczą poszczególnych form terenu obszarów peryglacialnych, wykorzystując jedynie cienkie szlify jako jedną z metod badawczych (m.in. Coutard i Mùcher 1985, Mol i in. 1993, Elliott i Worsley 1999).

Mikromorfologia znalazła także odzwierciedlenie w badaniach osadów jeziornych, m.in. ze względu na ich rytmiczność. Literatura tematu nie jest jednak obszerna, większość badań dotyczy laminowania (warwowania) osadów, które badane są głównie pod kątem zawartości w nich składników biogenicznych w celu wykrycia zdarzeń sezonowych lub nie

sezonowych (Francus i Karabanov 2000, Lücke i Brauer 2004). Najbardziej szczegółowa klasyfikacja mikrostruktur jeziornych została przedstawiona m.in. w pracach Palmera (2005) oraz Reina i in. (2007). Ze względu na uwilgotnienie osadów jeziornych badania dotyczyły także występujących w nich deformacji, które mogą prowadzić do utraty laminacji poprzez całkowite wymieszanie osadu, a tym samym utratę zapisu rytmiczności (van der Meer i Warren 1997, Menzies i Taylor 2003).

Pobranie materiału osadów morskich do badań mikromorfologicznych jest zadaniem skomplikowanym, głównie ze względu na jego pozyskiwanie z dużych głębokości, w postaci mocno uwodnionych rdzeni. Pomimo tych trudności istnieją prace naukowe zajmujące się tym zagadnieniem, najczęściej dotyczące charakterystyki glonów (mat algowych) i zróżnicowania bioturbacji spowodowanych przez organizmy morskie (Kooistra 1978, 1981, Gerdes i in. 1985, Noffke i in. 1997). Badacze skupili się także na analizowaniu osadów morskich strefy pływów (Kooistra 1978, 1981, van der Meer i Laban 1990) oraz osadów po przejściu fal tsunami, w przypadku których mikromorfologia stała się narzędziem diagnostycznym dla rozróżnienia osadów po przejściu tsunami (tsunamigenicznych) (Kilfeather i in. 2007).

Badania mikromorfologiczne skupiały się również na analizach cienkich szlifów wykonanych z osadów zawierających znaczne ilości materii organicznej m.in. z gleb torfowych czy histozoli (de Vleeschouwer i in 2007). W cienkich szlifach wykonanych z osadów tego typu ujawniony został stan zachowania fragmentów roślin (Blazejewski i in. 2005), akumulacji fosforanów - świadczących o obecności ptaków (Liu i in. 2008) czy ogólnej zawartości materii organicznej w glebie (Stephens i in. 2005).

W zakresie badań osadów eolicznych i pustynnych analizy mikromorfologiczne skupiają się głównie na formacjach lessowych (Kemp 1999, Mestdagh i in. 1999, Mroczek 2008). Posłużyły one m.in. określeniu kierunku wiatru na podstawie orientacji ziaren (Matalucci i in. 1969). W innych pracach charakterystyka cech mikromorfologicznych dotyczy głównie budowy odrębnych lamin, agregatów i przemieszczania się cząstek pyłowych, ilastych i składników węglanowych (Volk i Geyger 1970, Evenari i in. 1974).

Mikromorfologia została także wykorzystana do badań archeologicznych w jaskiniach (Courty i in. 1989), analiz mikrostruktur warstwowych powstałych w stalagmitach (Paulsen i in. (2003) oraz innych naciekach jaskiniowych, w których uwidaczniają się zabarwienia spowodowane domieszkami węgla drzewnego i związków organicznych (Gradziński i in. 2003).

Literatura mikromorfologiczna obejmuje także zagadnienia dotyczące osadów pochodzenia chemicznego – ewaporatów oraz skorup węglanowych (Goudie i Pye 1983). Szeroko opisano powstawanie osadów lagunowych, analizując ich skład w cienkich szlifach (Arakel 1980), natomiast skorupa węglanowa powstająca w środowiskach deltowych została uwzględniona w publikacjach Menziesa i Branda (2007) oraz Lacelle’a (2007).

Literatura mikromorfologiczna obejmuje także zagadnienia dotyczące procesów tektonicznych, analizując niezlityfikowane osady zgromadzone w wyłobieniach uskokowych (Atkins 2004, Jeong i Cheong 2005, Mizogouchi i in. 2008), typy procesów stokowych (Mücher 1973, Bertran 1993, Bertran i Texier 1999, Mücher i in. 2010) a także procesów wulkanicznych, odnosząc się głównie do struktur warstw tefry i osadów wypełniających maary (Pirrung i in. 2008, Enache i Cumming 2006) oraz wietrzenie osadów wulkanicznych (Bishop i in. 2002).

Procesy diagenetyczne oddziałują na wszelkie typy osadów, prowadząc do ich zagęszczania, deformacji, a ostatecznie lityfikacji, stąd też w badaniach diagenetyki bardzo powszechne jest stosowanie cienkich szlifów, ponieważ przedstawiają one zarówno skład, jak i położenie oraz mikrostratygrafię osadu (Ledésert i in. 2003). Większość badań w tym zakresie dotyczy obecności cementacji węglanowych zarówno w osadach lądowych (James 1985), jak i morskich (Vrolijk i Sheppard 1991).

Znaczna część publikacji dotyczących mikromorfologii dotyczy zagadnień związanych z opracowywaniem metod wykonywania preparatów w postaci cienkich szlifów (Catt i Robinson 1961, Ashley 1973, Camuti i McGuire 1999, Josephs i Bettis 2003, Boës i Fagel 2005). Liczba publikacji znacznie zmniejsza się na przestrzeni lat, co może świadczyć o wypracowaniu właściwych procedur w zakresie impregnacji szlifów, w zależności od analizowanego materiału.

Istnieją także prace związane z zagadnieniami eksperymentalnymi, w których to badacze skupiają się na zrozumieniu procesów powstania określonych struktur głównie w sztucznie wytworzonych procesach eolicznych i związanych z uwodnieniem osadu (Mücher i de Ploey 1977, 1984, Mücher i in. 1981, Dalrymple i Jim 1984, Coutard i Mücher 1985, Dijkmans i Mücher 1989, Hiemstra i Rijdsdijk 2003, Thomason i Iverson 2006).

Wraz ze wzrostem liczby opracowań dotyczących osadów badanych za pomocą mikromorfologii możliwe jest ich porównywanie z uwzględnieniem pochodzenia i/lub depozycji w różnych środowiskach sedymentacyjnych. W obrębie wielu pojedynczych mikrostruktur występujących w osadach jest mało prawdopodobne, by jeden typ mikrostruktury był diagnostyczny dla danego środowiska depozycyjnego (Menzies i in.

2006). Rozległe prace badawcze nad rozwojem dużych zbiorów danych o cienkich szlifach, powinny w najbliższej przyszłości pozwolić na rozwinięcie analiz dotyczących odróżniania i powiązań między środowiskami oraz zachodzących w nich procesów. Analizy umożliwią następnie nowatorską metodę szybkiego i obiektywnego porównania osadów.

2. Ogólna charakterystyka obszaru badań

Wisła to europejska rzeka, której unikatowość związana jest z wielkością jej dorzecza oraz zróżnicowanym stopniem i sposobem uregulowania jej koryta. Charakteryzuje się wysoką zmiennością budowy geologicznej i litologii koryta, morfologicznym i hydrologicznym, a ponadto zróżnicowaną, bogatą historią ewolucji doliny (Tomczak 1982, Wiśniewski 1987, Babiński 1992, Starkel 2001, Żarska 2009), znacznie przekształconej przez człowieka (Plit 2008).

Pod względem geologicznym dorzecze Wisły obejmuje swym zasięgiem trzy główne jednostki tektoniczne Europy Środkowej i) prekambryjską platformę wschodnioeuropejską na wschodzie, ii) hercyńską/waryscyjską (paleozoiczną) platformę zachodnioeuropejską na zachodzie oraz iii) alpejski kenozoiczny łańcuch Karpat na południowym-wschodzie. Wisła stanowi również granicę między zachodnio- i środkowoeuropejskimi strukturami fałdowymi, zapadliskami, zrębami, a wschodnioeuropejską platformą prekambryjską (Mojski 1980, Mojski i Starkel 1990, Starkel 2001, Rychling i Ostaszewska 2006).

Uwzględniając podział Polski na jednostki fizycznogeograficzne według Kondrackiego (1998), Wisła przepływa przez dwa megaregiony: Region Karpacki (5) i Pozaalpejską Europę Środkową (3), trzy prowincje: Karpaty Zachodnie z Podkarpaciem Zachodnim i Północnym (51) Wyżyny Polskie (34), Niż Środkowoeuropejski (31) oraz przez siedem podprowincji: Zewnętrzne Karpaty Zachodnie (513), Podkarpacie Północne (512), Wyżynę Lubelsko-Lwowską (343), Wyżynę Małopolską (342), Niziny Środkowopolskie (318), Pojezierza Południowobałtyckie (314-315) i Pobrzeża Południowobałtyckie (313).

Za początek Wisły uznaje się źródła Czarnej Wisielki występujące na zboczu Baraniej Góry w Beskidzie Śląskim na wysokości 1107 m n.p.m., ujście natomiast znajduje się w Bałtyku. Całkowita jej długość wynosi 1047 km (Stachy 1986, Kondracki 1998, Gutry-Korycka 2006).

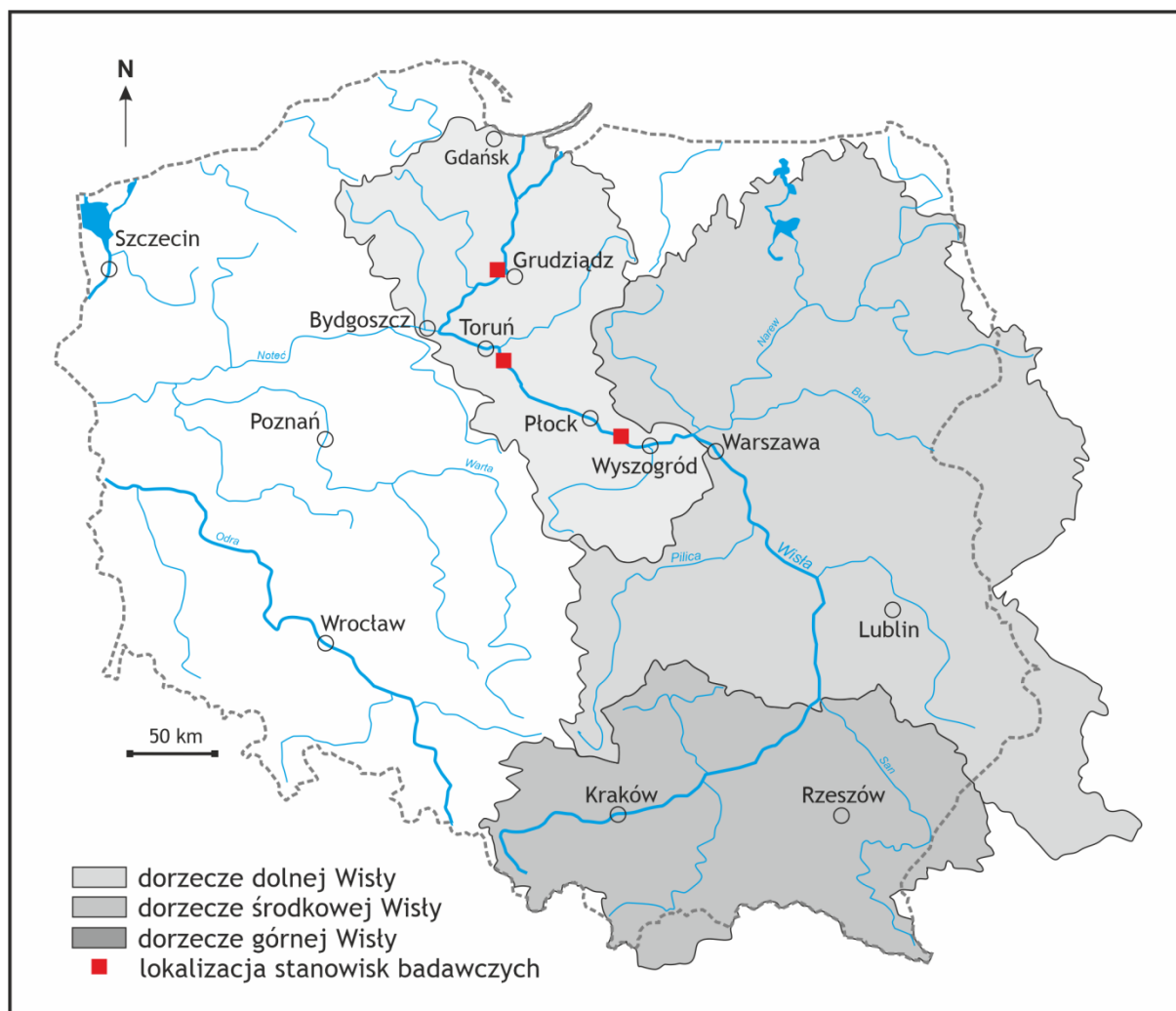
Dorzecze Wisły zajmuje prawie 2/3 powierzchni Polski tj. 194 424 km², co stawia ją na drugim miejscu pod względem zasobów wodnych w zlewni Bałtyku, a na dziewiątym miejscu w Europie (Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski 2008). Średnia wysokość dorzecza

wynosi 270 m n.p.m. (Mikulski 1963). Przeciętny spadek zlewni wynosi około 1,04‰ i wyraźnie zmniejsza się wraz z jej biegiem (Soja i Mrózek 1990) przez co około 75% rzeki ma spadek niższy niż 0,3‰. Długość doliny jest mniejsza od długości rzeki i wynosi 905 km (Starkel 2001). Sama zlewnia ma kształt asymetryczny, z przeważającą liczbą dopływów prawobrzeżnych.

Klimat dorzecza Wisły jest umiarkowany o charakterze przejściowym między klimatem lądowym i morskim. Przez większość roku nad zlewnią dominują masy powietrza polarno-morskiego (65%), powodujące latem opady. Zimą natomiast dominują masy polarno-kontynentalne i arktyczne (35-40%), przynosząc fale mrozów. Dni mroźnych jest średnio od 35, w zachodniej części zlewni, do 65 w części wschodniej (Paszyński i Niedźwiedź 1991). W dorzeczu przeważa zasilanie deszczowo-śnieżne, na nizinach wzrasta udział zasilania gruntowego, a we wschodniej części zlewni główną rolę odgrywa zasilanie śnieżne (Dynowska 1971, 1991). Na skutek zmian klimatycznych, lód na Wiśle pojawia się rzadziej, a jej całkowite zamarzanie obserwowane jest sporadycznie (Gorączko 2015). Przewaga opadów letnich sprawia, że w dorzeczu górnej Wisły najwięcej wezbrań jest latem. W części nizinnej dominują natomiast wezbrania roztopowe (Mikulski 1963). Uwzględniając globalne ocieplenie oraz obserwowane zmiany klimatu Polski i reżimu odpływów rzek (Pociask-Karteczka i in. 2003, Woś 2010, Stachy 2011, Kundzewicz 2013, 2014, Wrześniński 2014, Jokiel 2016) struktura przepływu Wisły w ujęciu sezonowym nie wykazuje wyraźnych tendencji, jest zmienna w czasie i zróżnicowana w zależności od wielkości dorzecza (Jokiel i Tomalski 2018).

W hydrologii polskiej przyjął się podział Wisły na charakterystyczne odcinki, zróżnicowane pod względem natężenia przepływu, nazwane biegiem i) górnym, ii) środkowym oraz iii) dolnym. Granice poszczególnych odcinków wyznacza ujście do Wisły jej największych dopływów tj. Sanu i Narwi (Ryc. 1). Bieg górny mierzony od źródeł, aż do ujścia Sanu liczy 400 km. Najkrótszy, środkowy bieg rozciąga się między ujściem Sanu a ujściem Narwi, jego długość wynosi 256 km. Bieg dolny o długości 391 km rozpoczyna się poniżej ujścia Narwi i sięga aż do ujścia do Bałtyku (Szczegółowy podział... 1954, Mikulski 1963, Cybreski 1982, Andrzejewski 1994, Majewski 2016, Jokiel i Tomalski 2018).

Średni roczny przepływ Wisły rośnie wraz z biegiem rzeki. W Skoczowie – bieg górny (województwo śląskie) wynosi $6,23 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, w Zawichoście – bieg środkowy (województwo świętokrzyskie) osiąga wartość $450 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ w Tczewie – bieg dolny (województwo pomorskie) sięga $1090 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Przepływy maksymalne wzrastają od $648 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ w Skoczowie do $7500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ w Zawichoście i $7849 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ w Tczewie (Starkel 2001).



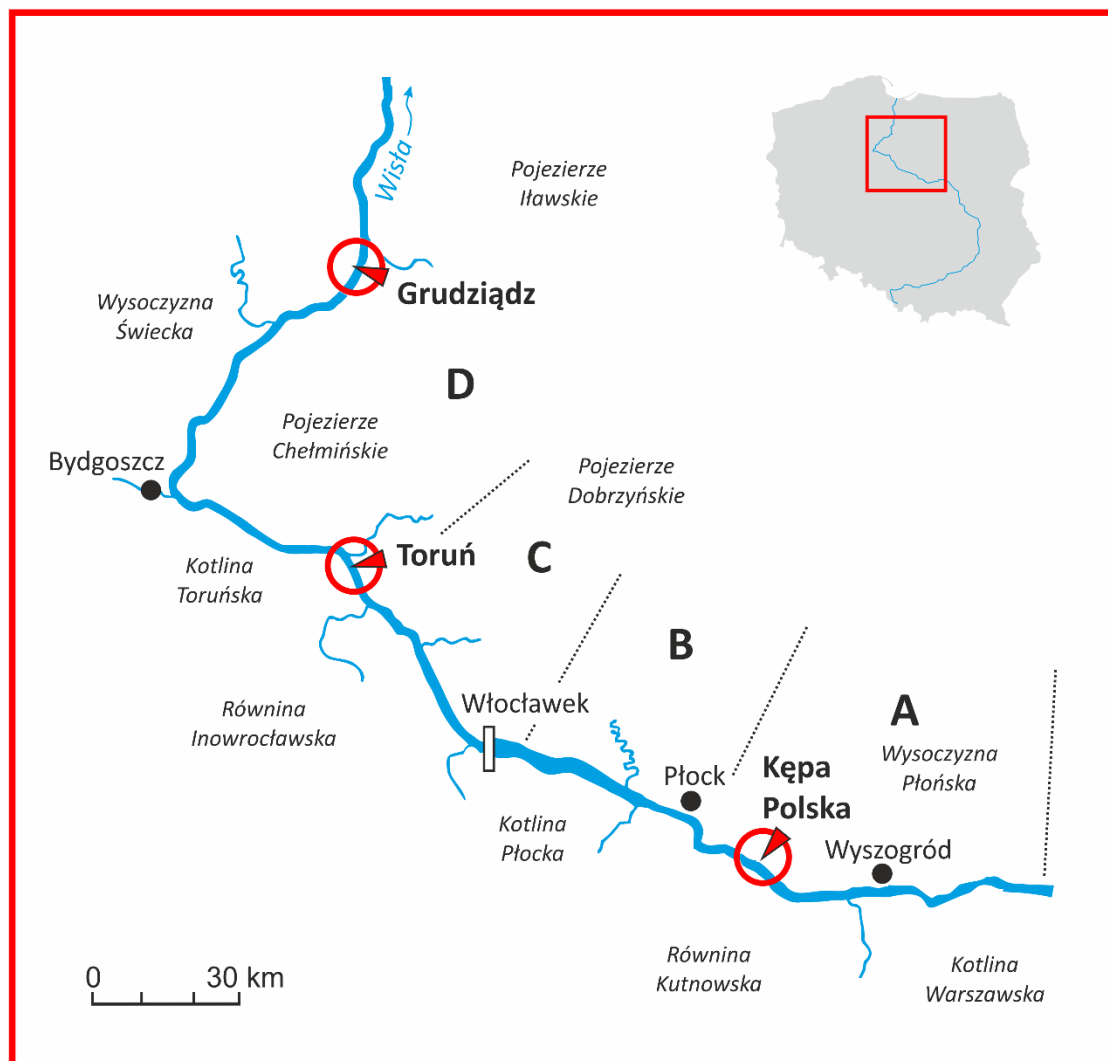
Ryc. 1. Dorzecze Wisły z podziałem na górną, środkową i dolną Wisłę
(źródło: opracowane własne na podstawie Mapy Podziału Hydrograficznego Polski)

W niniejszej pracy prowadzono badania w dolnym biegu Wisły na trzech stanowiskach, dla których lokalizacja została wytypowana w oparciu o charakterystyczne cechy koryta ukształtowanego pod wpływem procesów zachodzących w warunkach oddziaływania budowli hydrotechnicznych (Babiński 1997, Giziński 1994, Banach 1998, Habel 2013, Majewski 2016). Przekształcenia obejmują regulację koryta średniej i wysokiej wody, budowę zapory ze zbiornikiem oraz sztuczne ukształtowanie jej ujściowego odcinka (Ingarden 1921, Piskozub 1982, Banach 1998, Makowski 1998, Gierszewski i in. 2015, Majewski 2016).

Uwzględniając zróżnicowanie stopnia ingerencji w procesy korytowe Babiński (1990) dolny bieg Wisły podzielił na cztery odcinki (Ryc. 2). Określa je jako A) nieregulowany (roztokowy), znajdujący się powyżej zbiornika Włocławek, kolejny to B) zbiornik wodny Włocławek, trzeci C) w stadium regulacji, o charakterze erozyjno- akumulacyjnym od stopnia

wodnego we Włocławku do ujścia Tążyny (km 718) oraz D) uregulowany pod koniec XIX wieku, poniżej ujścia Tążyny.

Przed ingerencją człowieka w procesy fluwialne Wisła była, zdaniem Babińskiego (1990) pod względem morfodynamicznym, „rzeką roztokową, o szerokości koryta 400-1800 m (przeciętnie 600-800 m), z dużą ilością łach centralnych i bocznych oraz kęp”. Obecnie Wisła, nawet na odcinku powyżej cofki zbiornika Włocławek, niefortunnie uznawanym w opinii przyrodników za naturalny, to dziki fragment rzeki, rzadki w Europie.



Ryc. 2. Lokalizacja stanowisk badawczych (czerwone koła z trójkątem) na tle mezoregionów fizyczno-geograficznych z wyróżnieniem odcinków dolnej Wisły według klasyfikacji Babińskiego (1990). Oznaczenia: odcinki biegu dolnego A) nieuregulowany (roztokowy), znajdujący się powyżej zbiornika Włocławek, B) zbiornik wodny Włocławek, C) w stadium regulacji D) uregulowany pod koniec XIX wieku

Charakterystyka dolnej Wisły

Odcinek dolnej Wisły mierzy około 391 km, przy czym na długości 336 km rzeka płynie dobrze ukształtowanym korytem o spadku od 0,11‰ do 0,2‰, a przez pozostałe 55 km, od Tczewa, wody kierowane są głównie uregulowanym korytem na obszarze dawnej delty do Zatoki Gdańskiej. Niewielka część wód Wisły trafia do dawnej odnogi – rzeki Nogat. Dolna Wisła stanowi odcinek o znacznym wskaźniku nieregularności przepływów wynoszącym 38-40, o szerokości koryta od 300 do ponad 1200 m i głębokościach żeglugowych od 0,7 do 1,3 m, notowanych przy średnich przepływach (Piskozub 1982, Głogowska 2000, Habel i in. 2015, 2017). Cechą charakterystyczną doliny dolnej Wisły jest występowanie w jej morfologii znacznych rozszerzeń i zwężeń (Wiśniewski 1976, Drozdowski 1982, Andrzejewski 1994).

Za początek biegu dolnego przyjęto ujście Narwi wraz z Bugiem. Poniżej tego punktu Wisła wpływa do pasa pradolin, gdzie szerokimi łukami płynie przez mezoregion Kotliny Warszawskiej o długości około 100 km i szerokości 25 km (Kondracki 1998). W miejscu ujścia Bzury dolina Wisły zwęża się do 8 km, a następnie rozszerza do 20 km, wpływając na obszar mezoregionu Kotliny Płockiej o długości około 100 km. Znajduje się tu powstały w 1970 roku w wyniku spiętrzenia wód na zaporze wodnej we Włocławku zbiornik o maksymalnej szerokości 1,2 km, długości 58 km, który sięga w górę rzeki aż do Płocka (Wiśniewski 1976, Banach i Glazik 1992, Kondracki 1998, 2009, Gierszewski 2018). W okolicach Nieszawy występuje kolejny odcinek przełomowy, o szerokości zaledwie 7 km, po którym Wisła wkracza w obszar mezoregionu Kotliny Toruńskiej, mającej długość 90 km i szerokość 20 km (Wiśniewski 1976). Pod Bydgoszczą dolna Wisła skręca na północ, dokonując przełomu w wysoczyznach pojezierzy. Dalej dolna Wisła przyjmuje kierunek północno – wschodni, wkraczając na obszar wąskiej, obwałowanej ze względu na niskie brzegi, Doliny Fordońskiej. Cecha charakterystyczną Doliny Fordońskiej jest zmienna szerokość. Pod Fordonem dolina osiąga zaledwie 3 km szerokości – przewężenie fordońskie. Przy Unisławiu poszerza się do szerokości 9 km – tzw. Basen Unisławski, następnie pod Starogardem zwęża do 5-6 km, z kolei ponownie poszerza się do około 7 km przy ujściach bocznych dopływów Wisły: Fryby pod Chełmnem na prawym brzegu – tzw. Basen Chełmiński oraz Wdy (Czarnej Wody) pod Świeciem na lewym brzegu – tzw. Basen Świecki. Przyjmując kierunek północny dolna Wisła wkracza w rejon Kotliny Grudziądzkiej. Występuje tu rozszerzenie doliny, pośrodku którego wznoszą się kępy wysoczyznowe: Strzemięcińska – 78 m i Forteczna – 86 m, na prawym brzegu oraz Kępa Grupy – 77 m,

na lewym brzegu. Przedłużenie Kotliny Grudziądzkiej stanowi Dolina Kwidzyńska. Dno doliny Wisły w tym mezoregionie obniża się od 15 do 7 m n.p.m. Pod wsią Piekło, w miejscu dawnego rozgałęzienia Wisły na Nogat i Leniwkę, rozpoczynają się Żuławy Wiślane – utworzone przez akumulację namulów rzecznych. Żuławy są wyraźnie ograniczone przez ostro zarysowane krawędzie wysoczyzn, silnie kontrastujące z płaską równiną deltową. Główne koryto Wisły kończy się sztucznym przekopem przez wydmy nadmorskie Mierzei Wiślanej, gdzie Wisła uchodzi do Bałtyku (Augustowski 1982, Kondracki 1998, 2009).

2.1. Budowa geologiczna i rzeźba terenu

Osady składane wzdłuż biegu Wisły od Karpat po Bałtyk w różnych okresach geologicznych zawierają w sobie zapis zdarzeń, które miały miejsce w przeszłości w dorzeczu (Starkel 2001). Dorzecze Wisły obejmuje swym zasięgiem trzy główne jednostki tektoniczne Europy (Mojski 1980). Z kolei dolina Wisły na całej swej długości przecina osiem jednostek i stref morfotektonicznych i morfogenetycznych (Starkel 1990).

Dolina dolnej Wisły składa się z kompleksu teras rzecznych i charakteryzuje się kotlinowo-przewężeniowym zarysem (Wiśniewski 1976, Drozdowski 1982). Na całym jej nizinnym odcinku, od ujścia Narwi do Tczewa wyróżnić można sześć znacznych rozszerzeń do 20 km i dwa przewężenia o szerokości do 6 km. Rozszerzenia te nazywa się kotlinami Warszawską, Płocką i Toruńską, Unisławską, Świecką, Grudziądzką, zaś przewężenia nazywane przełomami występują poniżej Wyszogrodu oraz pod Nieszawą. Naprzemianległy charakter kotlin i przewężeń (przełomów) doliny dolnej Wisły uwarunkowany jest głównie działalnością ostatniego lądolodu oraz budową geologiczną. Kotlina Płocka, o szerokości około 20 km, rozciąga się na długości 60 km i przechodzi przełomem doliny o szerokości 7 km w Kotlinę Toruńską o długości 90 km i szerokości ok. 20 km (Wiśniewski 1976). Z badań Falkowskiego (2004) wynika, że decydującą rolę morfotwórczą współczesnego koryta Wisły oraz innych rzek nizinnych w Polsce odgrywa przestrzenne zróżnicowanie miąższości aluwiów oraz rozmieszczenie kulminacji ich podłoża. Z badań Falkowskiego i in. (1987) oraz analiz przekrojów geologicznych Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000 (arkusz Aleksandrów Kujawski, Nowe, Gardeja, Słubice oraz Wyszogród) wynika, że aluwia doliny Wisły mogą stanowić pokrywy o zmiennej miąższości w profilu podłużnym analizowanego obszaru. W rejonie Płocka koryto jest wcięte bezpośrednio w utwory trzeciorzędowe i wypełnione aluwiami do 2,0 m miąższości (Wiśniewski 1976). Z kolei we Włocławku koryto wcięte jest w utwory plioceńskie, a kopalna dolina Wisły

wypełniona jest osadami piaszczysto-żwirowymi o miąższości nawet 20 m. Tomczak (1987) oceniła głębokość aluwiów w Kotlinie Toruńskiej średnio na 10 m, maksymalnie 15 m. Wiśniewski (1976) podaje, że spąg aluwiów w rejonie Ciechocinka sięga 17 m poniżej dna koryta, a według Tomczak (1971) w Toruniu miąższość aluwiów wynosi maksymalnie 19 m. Dla porównania, z badań Babińskiego i in. (2014) oraz Habla (2013) miąższość współczesnych aluwiów w profilu podłużnym Wisły od Włocławka do Torunia wykazuje zróżnicowane wartości od 4,8 do 10,7 m w odcinku przełomowym doliny oraz od 6,0 do 9,8 m w obrębie Kotliny Toruńskiej.

Aluwia doliny reprezentowane są przez różne i o bardzo zmiennej miąższości grunty sypkie jak pyły, piaski, pospółki i żwiry (Wiśniewski 1976). W obrębie aluwiów odcinka Wisły od Włocławka do Torunia można wydzielić dwie serie (kompleksy) osadów: młodszą holoceniową, w skład której wchodzi namuły, mady, piaski drobnoziarniste i pylaste oraz torfy (o miąższości dochodzącej do 10 m) oraz serię starszą zaliczaną do plejstocenu zbudowaną z różnoziarnistych piasków i żwirów, kilkakrotnie grubszą od poprzedniej (Babiński i in. 2014). Ważnym elementem składowym serii aluwiów plejstoceniowych są ropy zastoiskowe o niezbyt dużej miąższości (Wiśniewski 1976). Innym ważnym cechę wynikającą z genezy osadów i historii geologicznej jest wyraźny rytm serii aluwiów starszych (plejstoceniowych): naprzemianległy drobny i gruby, przy czym na stropie warstw nieprzepuszczalnych spoczywa zazwyczaj warstwa o grubszej frakcji (Falkowski i in. 1987). Według Wiśniewskiego (1976) seria holoceniowa tworzy powierzchnię poziomu zalewowego i częściowo nadzalewowego. Seria plejstoceniowa buduje przede wszystkim terasy nadzalewowe i dolne partie terasy zalewowej. Generalnie na rozpatrywanym odcinku Wisła ma charakter drenażowy w stosunku do wód gruntowych znajdujących się pod terasami zalewowymi, nad zalewowymi i górnymi terasami erozyjnymi. Dotyczy to pierwszego najniższego poziomu wodonośnego.

W obrębie doliny dolnej Wisły można wydzielić trzy różniące się geomorfologicznie odcinki, a mianowicie ciągnący się od Warszawy do ujścia Brdy w Fordonie odcinek pradolinny, odcinek przełomowy od Fordonu do Tczewa oraz odcinek ujściowy w delcie Wisły. Odcinek pradolinny oznacza się znaczną szerokością doliny, wyraźną asymetrią w przekroju poprzecznym oraz względnie dobrze rozwiniętym systemem teras. Na znacznej długości – za wyjątkiem odcinka poniżej Włocławka – prawy brzeg jest znacznie wyższy i bardziej stromy od lewego, zaś współczesne koryto Wisły przystaje do tego brzegu przyczyniając się do jego stopniowego niszczenia. Na odcinku pradolinny poniżej Włocławka koryto rzeki bądź przystaje do brzegu lewego, który jest bardziej stromy, bądź też meandruje w środku doliny.

Równinę zalewową dolnej Wisły tworzą mady, namuły i piaski drobnoziarniste, w niektórych miejscach występują torfy (Kordowski 2003). Babiński (1992), ze względu na silną ingerencję człowieka w procesy fluwialne Wisły, dno doliny dzieli na koryto, holoceniską równinę zalewową oraz antropogeniczny poziom zalewowy. Wisła stanowi dla otoczenia czynnik drenujący wody powierzchniowe i podziemne. Cechą charakterystyczną powierzchni holocenińskiej równiny zalewowej są tzw. obniżenia dekantacyjne, znajdujące się u stóp strefy zboczowej terasy nadzalewowej. W obniżeniach tych odprowadzane są wody pochodzące częściowo z drenażu wód gruntowych i częściowo (sezonowo) jako wody wezbraniowe (Babiński 1992). W ostatnim przypadku, już podczas stanów wody mierzonych na wodowskazie w Toruniu o wysokości przekraczającej 530 cm (stany ostrzegawcze), powierzchnia równiny funkcjonuje jako poziom zalewowy Wisły. W przypadku tzw. wody 500-letniej (0,2%) poziom wody sięgał będzie górnej krawędzi zbocza terasy nadzalewowej. Antropogeniczny poziom zalewowy powstał w wyniku prac regulacyjnych koryta Wisły w tzw. odcinku pruskim w XIX w. Poziom ten, po zachodniej stronie wąski i szerszy po wschodniej stronie, nie osiągnął w pełni wysokości równiny zalewowej holocenińskiej (Babiński 1990). Strefy międzyostrogowe na tym odcinku do dnia dzisiejszego nie zostały w pełni wypełnione rumowiskiem rzeczonym. Na powierzchni antropogenicznej równiny zalewowej występują przegłębienia stanowiące zbiorniki poregulacyjne. Akweny te połączone są systemem cieków (koryt krewasowych) i podczas wezbrań mają bezpośredni związek hydrauliczny z wodami Wisły. Na uwagę zasługuje fakt występowania wzdłuż brzegów koryta poregulacyjnego wałów piaszczystych typu *levee*. Wały te, przekraczające swą wysokością pozostałą część antropogenicznej równiny zalewowej (do 1,0 m), podczas wezbrań na Wiśle często stanowią wynurzone pasy „ziemi”, oddzielając prawobrzeżną równinę zalewową od zasadniczego nurtu rzeki (Babiński 1992).

Koryto Wisły, do momentu przeprowadzenia prac regulacyjnych, charakteryzowało typ rzeki roztokowo-anastomozującej (Babiński 1992). Licznym kępom towarzyszyły, wynurzone już podczas średnich przepływów, bezładnie usytuowane łachy (ławice) piaszczyste. Wraz ze stale zmieniającymi swe położenie plosami – utrudniającymi żeglugę i sprzyjającymi powstawaniu zatorów śryżowo-lodowych, były powodem wykonania w końcu XIX wieku prac regulacyjnych (Makowski 1998). W wyniku tych prac, zmierzających do prawie dwukrotnego zwężenia koryta, nastąpiło obniżenie strefy dennej koryta o około 1,3-1,5 m, utworzenie nowego poziomu zalewowego i powstanie nowej sytuacji morfodynamicznej dna (Babiński 1992). Według Babińskiego (1990) łachy śródkorytowe zostały zastąpione naprzemianległym układem łach skośnych i plos

(przegłębień). Dzięki tym przekształceniom zmieniły się zarówno warunki hydrauliczne, hydrologiczne, jak i hydromorfologiczne badanego odcinka koryta, co ma znaczący wpływ na reżim hydrologiczny Wisły (Babiński 1992).

2.2. Warunki hydrogeologiczne

Wisła jest największą rzeką w Polsce, z drugim co do wielkości obszarem dorzecza w zlewni Morza Bałtyckiego. Powierzchnia dorzecza Wisły do Tczewa wynosi 194 376 km² (Strakel 2001). Dorzecze Wisły stanowi 54% powierzchni Polski (GUS 2020). Najważniejszymi dopływami Wisły są Dunajec, Wisłoka, San, Wieprz, Bug z Narwią i Drwęca na prawym brzegu oraz Pilica, Bzura i Brda po lewej stronie. Wisła ma swoje źródła na zboczach Baraniej Góry na wysokości 1107 m n.p.m. i płynie do Bałtyku tworząc deltę na Żuławach Wiślanych. Na Wiśle znajdują się dwa zbiorniki: zbiornik Goczałkowice w górnym biegu Wisły i zbiornik Włocławski w dolnym biegu. W rocznym rozkładzie opadów w dorzeczu Wisły można wyróżnić cztery strefy (Kubiak-Wójcicka 2020). Na podstawie danych za 1951-2015 stwierdzono opady w pasie nizinnym w centralnej części dorzecza Wisły mniej niż 550 mm, nieco wyższe roczne sumy opadów stwierdzono w północnej części dorzecza i w pasie wyżynnym (do 700 mm). W południowej części dorzecza Wisły roczne opady wahały się od 700 do 800 mm, podczas gdy na obszarach górskich opady były najwyższe i przekraczały 800 mm (Kubiak-Wójcicka 2020). Ze względu na obserwowany oscylacyjny przebieg zjawisk hydrologicznych na Wiśle (lata suche, przeciętne i lata wilgotne), uwzględniając ciąg danych hydrologicznych przynajmniej z 20-30 lat, możliwa jest wiarygodna ocena reżimu hydrologicznego dużej rzeki nizinnej (Cyberski 1982). Rzeką Wisła posiada cykliczny przebieg stanów wód (na przemian lata wilgotne i suche), zarówno w formie cykli krótko- i długookresowych (Babiński 1992). Przykładowo Wisła w latach 1970-2014 miała średnie roczne przepływy w Toruniu 1004 m³·s⁻¹. Jednak dla lat wilgotnych (1971, 1974-1975, 1977-1982, 1998-2002, 2010), wynosiły one od 945 do 1342 m³·s⁻¹. W latach suchych (1972, 1984, 1987, 1990-1992, 2003-2004, 2014-2016), wartości te sięgały od 580 do 790 m³·s⁻¹.

Reżim wód dolnej Wisły charakteryzuje obecność wysokich stanów najczęściej w marcu i kwietniu, rzadziej późną wiosną i w lecie. Pierwsze z nich są związane z wczesnowiosennym spływem wód roztopowych. Drugie najczęściej krótkotrwałe, są wynikiem opadów rozlewnych na górnej części dorzecza. W obydwu przypadkach tworzą się fale wezbraniowe o wysokości względnej 3-5 m maksymalnie do 8 m (Babiński 1992, Habel 2013). Niższe stany wody występują przede wszystkim na przełomie jesieni i zimy

(wrzesień – listopad). Stany wody kształtowane są w głównej mierze przepływami, sporadycznie jednak wahania poziomu wody uzależnione są od zatorów śryżowych i śryżowo-lodowych (Babiński 1992). W latach 1971-2015 rzeka w Kępie Polskiej miała średnie roczne przepływy $931,8 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, w Toruniu $972 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, a w Tczewie $1042 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Maksymalny przepływ na dolnej Wiśle wystąpił w marcu 1924. W Płocku wyniósł on wówczas $8620 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, we Włocławku $8305 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Do chwili obecnej przepływy tej wielkości nie zostały ponownie osiągnięte (Habel 2013).

Naturalny reżim przepływów poniżej Włocławka zaburzony jest pracą stopnia wodnego, który od 1970 roku piętrzy i retencjonuje wody Wisły w zbiorniku o pojemności całkowitej 370 mln m^3 (Habel 2013). Zbiornik w minimalnym stopniu łagodzi wielkość wezbrań Wisły poniżej zapory, za to ogranicza bardzo niskie stany wody. Średni czas retencji wody w zbiorniku w latach 1971-2015 wynosił zaledwie 5,0 dób (Gierszewski 2018).

Powodziowość dolnej Wisły zdeterminowana jest głównie wodami ze zlewni Bugu i Narwi, gdzie największe powodzie formują się w okresie zimowo-wiosennym. Powodzie opadowe, letnie nie są duże na Wiśle Dolnej, aczkolwiek ich częstotliwość jest znacznie większa. Należy zauważyć, że kulminacje wezbrań letnich Wisły poniżej ujścia rzeki San obniżają się wraz ze wzrostem zlewni aż do ujścia do morza. Na przykład w czasie powodzi w roku 1997 kulminacja w Zawichoście wynosiła prawie $6800 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, w Warszawie nieco ponad $5000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, w Modlinie $4300 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, a we Włocławku poniżej $4000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. W latach 1970-2015, na dolnej Wiśle, zarejestrowano 53 fale powodziowe. Według Habla (2013) za wartość graniczną fal wezbraniowych uznaje się przepływ powyżej $2300 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, odpowiadający stanom wody brzegowej, podczas którego następuje zalanie równiny zalewowej. Z badań Habla (2013) wynika, że na Wiśle poniżej Włocławka w latach 1970-2013 największą częstotliwość wezbrań zaobserwowano na wiosnę (53,3%), mniejszą latem (24,5%), znacznie mniejszą w zimie (15,6%), a najmniej wezbrań wystąpiło jesienią (6,7%). Fale półrocza zimowego cechowały się większymi objętościami (średnio $2,2 \text{ mld m}^3$, a w sezonie letnim $1,8 \text{ mld m}^3$) oraz dłuższym czasem ich trwania (średnio 7,9 doby, a w sezonie letnim 6,5 doby). Z kolei, fale półrocza letniego posiadały wyższe kulminacje przepływów (jedna trzecia fal z przepływem w szczycie fali powyżej $4\ 000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$). Fale powodziowe (wezbraniowe) w latach 1970-2005 wkraczały na powierzchnię równiny zalewowej średnio na 7,3 dni w roku. W roku 2010 podtopienie trwało z przerwami prawie 50 dni.

Zjawiska lodowe (śryż, pokrywa lodowa) są podobne na całej dolnej Wiśle. Czas ich trwania tu wynosi przeciętnie 60-65 dni (Głazik i Grześ 1999). Najczęściej występującą formą zlodzenia jest pochód śryżu i kry zrzucanej poprzez stopień wodny ze Zbiornika Włocławskiego. Zjawiska lodowe na dolnej Wiśle najwcześniej rozpoczynają się w połowie listopada, a ostatnie obserwuje się pod koniec marca (Grześ 1991). Pokrywa lodowa w Toruniu w latach 1970-2000 pojawiała się średnio raz na 5 lat, na Zbiorniku Włocławskim prawie co roku. Przykładowo przeciętny czas trwania zjawisk lodowych w roku (wodowskaz Toruń) wynosi około 80 dni, w tym pokrywa lodowa utrzymuje się średnio przez około 25 dni. W odcinku ujściowym Wisły (stacja Tczew) czas trwania zjawisk lodowych wynosi średnio 76 dni, natomiast pokrywy lodowej 15 dni (Głodek 1957), a w okresie 1951-2000 wynosił 16 dni (Mroziński 2006).

Na zjawisko formowania się łąch w korycie Wisły wpływ ma ładunek transportowanego rumowiska wlezonego. Według Babińskiego i Habla (2017) wody dolnej Wisły mogą maksymalnie transportować w ciągu roku wilgotnego do 4 mln ton rumowiska w odcinku powyżej Zbiornika Włocławskiego (koryto roztokowo-anastomozujące – w profilu Kępa Polska) i ponad 1,5 mln ton w odcinku uregulowanym w profilu Toruń, minimalnie w roku suchym odpowiednio: prawie 1,0 i 0,5 mln ton. Według obserwacji Babińskiego (2002) rumowisko wleczone średnio rocznie w latach hydrologicznych 1971/1995 wynosiło w odcinku nieuregulowanym (cofka zbiornika) prawie 2,2 mln ton, zaś w odcinku uregulowanym nie przekroczyło 1,0 mln ton. Przyczyną tego zróżnicowania przestrzennego w transporcie rumowiska wlezonego, w rejonie Kępy Polskiej w porównaniu z odcinkiem w Toruniu jest zarówno wpływ prowadzonych w XIX wieku prac regulacyjnych koryta, a wraz z nimi przejścia koryta roztokowo-anastomozującego (dziś powyżej cofki zbiornika), w prostoliniowe – nieznacznie kręte z układem łąch skośnych i ograniczone możliwości pozyskiwania rumowiska poniżej zapory w wyniku erozji wgłębnej (Babiński i Habel 2017). Określając całkowity transport rumowiska klastycznego Wisły powyżej zbiornika i jego akumulację w zbiorniku, można stwierdzić, że w latach 1971-1995 zbiornik przechwytywał prawie 88% niesionego ładunku (Babiński 1992). Porównując powyższe dane z odpowiednimi, dla usytuowanego o 80 km poniżej Torunia odcinka w Świeciu (Babiński 1994), to wraz z 12% wzrostem przepływu (o $122 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) następuje prawie o 32% wzrost transportu rumowiska.

2.3. Zabudowa hydrotechniczna

W wyniku konsekwentnych zabiegów regulacyjnych, w latach 1835-1915 na pruskim odcinku rzeki, dążono do osiągnięcia pełnej stabilności koryta, tj. na odcinku od Silna do ujścia, na odcinku nazywanym Wisłą Pomorską. Według Makowskiego (1998) w ramach robót zrealizowanych w latach 1892-1915 przez Prusaków w odcinku od okolic Torunia do ujścia wykonano między innymi:

- przekop łądu o długości 7,1 km pod Świbnem tworząc nowe ujście Wisły (ukończono w 1895 roku), co w istotny sposób poprawiło warunki odpływu wielkich wód i lodu bezpośrednio do Zatoki Gdańskiej, a jednocześnie skróciło bieg rzeki o około 10 km;
- odcięcie tzw. ramion gdańskiego i elbląskiego śluzami komorowymi (1895 r.);
- korektę rozstawu wałów wraz z wyrównaniem i uporządkowaniem międzywałą;
- budowę 800 ostróg o łącznej długości 2,4 tys. m;
- budowę około 1,0 km falochronu w ujściu Wisły.

W okresie międzywojennym na Wiśle Pomorskiej przedłużono kierownice oraz obwałowano Nizinę Opaleńską (386 ha). Po drugiej wojnie zabezpieczono wałami ujście rzeki Osy (190 ha) oraz Nizinę Świecką (2320 ha) (Makowski 1998). Na odcinku od Włocławka do Tczewa występuje łącznie 2870 ostróg tzw. tam porzecznych (Habel i in. 2017). Zasadniczym celem ich budowy i utrzymania jest zwężenie koryta rzeki, tak aby uzyskać zwiększenie głębokości oraz zabezpieczyć brzeg koryta przed erozją. Severin (za Ingarden 1921) projektując trasę regulacyjną spodziewał się osiągnąć przy stanie niskim głębokość 1,67 m, a przy stanie średnim 2,51 m. W warunkach zmiennych stanów wody, ostrogi pracują w dwóch odmiennych reżimach jako niezatopione i zatopione (Wierzbiński i in. 1993, Robakiewicz 2006). W przypadku niezatopionych, ruch wody odbywa się korytem głównym (w obrębie trasy regulacyjnej), a wymiana wody między korytem głównym a obszarem pomiędzy ostrogami jest mała. Znaczny wzrost prędkości wody obserwowany jest w rejonie głowic ostróg. Rezultatem budowy ostróg jest wyprostowanie, skrócenie i zwężenie koryta (Babiński 1992). Według Babińskiego (1992) efektami prac regulacyjnych przede wszystkim jest: ograniczenie strefy regulacyjnej do 370-400 m, zwężenie koryta z 730 do około 400 m (około 60%), obniżenie dna strefy regulacyjnej o 1,4 m, powstanie nowej równiny zalewowej, przekształcenie rzeki roztokowo-anastomozującej w układ prostoliniowy. Poprawiły się warunki głębokościowe koryta dla celów żeglugowych, bowiem uległa obniżeniu zarówno wysokość powierzchni łąch (o około 0,5 m) jak i plos (do 6-8 m głębokości). Lokalnie, u główek ostróg, przegłębienia dna mogą dochodzić do 10 m. Jednak

jak się okazało, nigdy założenia Prusaków odnośnie uregulowania stosunków wodnych na Wiśle Pomorskiej, nie doprowadziły do osiągnięcia pełnej stabilizacji jej nurtu (Makowski 1998). Wciąż pogarszający się stan koryta doprowadza do wzrostu zagrożenia zatorowego na całym odcinku. Prowadzenie lodolamania, ze względu na zbyt małe głębokości na tzw. przejściach pomiędzy łachami, występowanie odcinków o intensywnej akumulacji rumowiska oraz występujące progi naturalne, jest niezwykle trudne.

Obszary położone nad całą dolną Wisłą, od Ujścia Narwi do Żuław, chronią przed powodzią obwałowania o łącznej długości 643 km. Na lewy brzeg przypada 351 km wałów, chronią one około 3473 ha przed zalaniem. Na prawy brzeg przypada 292 km wałów, które chronią 45057 ha (Koncepcja..., 2016). Pomimo wykonania obwałowań na wodę 1% wały przeciwpowodziowe dolnej Wisły stanowią 27 niezależnych odcinków (Makowski 1998). Wały przeciwpowodziowe, czyli regulacje łóżyska rzeki na wysoką wodę, ograniczają wylewy rzeki na równinę zalewową. Dzięki temu, dokonuje się podział równiny na część chronioną przed wylewami (zagospodarowane zawale) i na pas przykorytowy międzywała o wzmożonej dynamice wód wezbraniowych. Na dolnej Wiśle zaprojektowane były one na fale wezbraniowe o wysokości względnej przeszło 10 m (na tzw. wodę tysiącletnią 0,01%). Ich korony wznoszą się na ok. 7 m ponad powierzchnię równiny zalewowej (Makowski 1998). Z *Konceptji ochrony przed powodzią doliny Dolnej Wisły* (1996) wynika, że pomiędzy Włocławkiem a Silnem (okolice Torunia), występują obwałowania o łącznej długości około 32 km. Powierzchnia chroniona wałami przeciwpowodziowymi na odcinku od Silna do ujścia Wisły wynosi około 1886 km². Z tego: na odcinku Toruń – Nogat około 496 km², a na odcinku Nogat – ujście, obejmującym Żuławy Gdańskie i Wielkie około 1053 km² i 357 km² Żuław Elbląskich. Po odcięciu służą Nogatu w 1915 roku, Żuławy Elbląskie nie są bezpośrednio zagrożone od strony Wisły (Habel i in. 2017).

W 1970 roku oddano stopień wodny na km 674,85 Wisły we Włocławku. W ten sposób, powstał największy w Polsce zbiornik retencyjny, o powierzchni prawie 72 km², długości 55 km, średniej szerokości 1,2 km, średniej głębokości 5,5 m i drugi pod względem pojemności – ok. 370 mln m³ wody (Habel 2013). Zapora czołowa o długości 670 m i szerokości korony 12 m, szerokości podstawy w najgłębszym miejscu 150 m, składa się z dziewięciu jazów o przepustowości 7500 m³·s⁻¹ przy utrzymaniu normalnego poziomu piętrzenia (NPP – 57,3 m n.p.m.). Elektrowni o mocy 160,2 MW, wyposażonej w sześć hydrozespołów typu Kaplana, o średnicy wirnika 8,0 m (Zdulski 2001). W latach 1971-2000 Elektrownia produkowała rocznie od 550 GWh do 1043 GWh energii elektrycznej (Polak i Rosicki 2007). Maksymalny „przełyk” elektrowni wynosi do 2190 m³·s⁻¹ (Zdulski 2001).

Na dolnym stanowisku elektrowni wodnej i jazów w 1998 roku oddano próg stabilizujący zwierciadło wody, którego powstanie związane jest z koniecznością stabilizacji poziomu wody w rzece poniżej zapory (Habel 2013). Śluza żegluga o wymiarach użytkowych komory 115 x 12 m posiada zdolność służowania jednostek pływających o wyporności do 1600 ton i przepustowość do 6 mln rocznie. W filarze działowym między jazem, a elektrownią usytuowano przepławkę dla ryb. Wykonano ją dla potrzeb rozwojowych ryb wędrownych, dwuśrodowiskowych.

Założone funkcje stopnia wodnego we Włocławku to głównie energetyka wodna. Inne wymieniane funkcje zbiornika to zaopatrzenie w wodę przemysłową, pitną i do nawodnień, rekreacja i sporty wodne, gospodarka rybacka i transport wodny (Babiński i Habel 2020). Od chwili przegrodzenia koryta Wisły zapora w 1968 roku zmianie uległ reżim hydrologiczny rzeki na ponad 200 kilometrowym odcinku poniżej (Habel 2013) oraz przeszło 50 km odcinku powyżej (Gierszewski i in. 2020). Praca hydroelektrowni remonty dolnego stanowiska zapory oraz interwencyjnie prowadzone zrzuty wody na potrzeby żegluga ze Zbiornika Włocławskiego powodują codzienne wahania stanów wody aż do samego ujścia Wisły (Habel 2013). Geomorfologiczną konsekwencją wahań przepływów i stanów wód jest wzmożona dynamika transportu rumowiska oraz powstawanie stref erozji i akumulacji w transporcie osadów. Jak podaje Babiński i Habel (2020) w ciągu pierwszych 40 lat funkcjonowania zapory średnie tempo pogłębiania się koryta w bezpośrednim jej sąsiedztwie wyniosło $8,6 \text{ cm} \cdot \text{rok}^{-1}$. Zwężanie się koryta w odcinku pierwszych 20 km poniżej zapory nawet o 40% jest efektem akumulacji rumowiska w polach międzyostrogowych i korytach zakępowych, wraz z jednoczesnym wcinaniem się koryta. Z kolei jak wykazał Hojan i Rurek (2021) zmiany przepływów powodowane pracą stopnia wodnego mają konsekwencje w sedymentacji korytowej nawet na odcinku 100 km poniżej.

3. Metody badań

Podjęte w niniejszej pracy zagadnienie wymagało zastosowania różnorodnych metod badawczych. W celu rozpoznania charakterystycznych cech mikromorfologicznych współczesnych aluwii korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły przeprowadzono badania terenowe w obrębie wyznaczonych stanowisk i punktów badawczych oraz wykonano prace w warunkach laboratoryjnych.

3.1. Prace kameralne

Prace terenowe i laboratoryjne poprzedzone były pracami przygotowawczymi, które obejmowały staż naukowy na Uniwersytecie Queen Mary w Londynie w Centrum Mikromorfologii oraz studia źródeł kartograficznych, analizę dokumentacji archiwalnej, weryfikację oraz aktualizację istniejących opracowań, a także dyskusje nad doborem odpowiednich stanowisk i metod badawczych w gronie specjalistów z zakresu hydrologii, geomorfologii i sedimentologii. Udział w stażu naukowym w Centrum Mikromorfologii na Uniwersytecie Queen Mary w Londynie pozwolił na pozyskanie praktycznych umiejętności w zakresie wykonywania analiz laboratoryjnych i interpretacji ich wyników. Na potrzeby niniejszej pracy zebrano następujące dane kartograficzne:

- mapy topograficzne pozyskane z Archiwum Kartograficznego Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, udostępnione w formie cyfrowych danych rastrowych w układzie 1992, w skali 1:25 000, arkusze: Toruń, Lubicz, Dragacz, Grudziądz Północ, Mała Wieś oraz Słubice, a także mapy topograficzne w skali 1:50 000, arkusze: Aleksandrów Kujawski, Nowe, Grudziądz-Owczarki, Grudziądz-Mniszek, Wyszogród oraz Słubice.
- mapy geologiczne z Centralnej Bazy Danych Geologicznych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego pozyskano zeskanowane szczegółowe mapy geologiczne Polski w skali 1:50 000 wraz objaśnieniami, arkusze: Aleksandrów Kujawski, Nowe, Gardeja, Słubice oraz Wyszogród.
- Przeglądową Mapę Geomorfologiczną Polski w skali 1:500 000, arkusz Gdańsk (Starkel (red.) 1962) uzyskanej z wyżej wymienionego Archiwum Kartograficznego UAM.
- ortofotomapy archiwalne Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej oraz zdjęcia satelitarne (historyczne) zamieszczone w Google Earth Pro.

Materiały kartograficzne analizowane były za pośrednictwem programu QuantumGis 2.8 Wien. Oprogramowanie GIS posłużyło m.in. również do opracowania mapy dokumentacyjnej oraz przeanalizowania zmienności układu koryta Wisły. W programie dokonano również pomiarów podstawowych parametrów geometrycznych koryta (szerokości koryta oraz wymiarów form korytowych).

Scharakteryzowanie warunków hydrologicznych analizowanych trzech przekrojów badawczych stało się pomocne w określeniu dynamiki środowiska prądowego decydującego o warunkach sedymentacji w korycie, w zakresie faz erozji, transportu i depozycji, a w przypadku sekwencji osadowych dało m.in. obraz zmienności sił wpływających na tworzenie i zróżnicowanie osadów (Zieliński 2014, Szmańda 2011, Gierszewski 2018).

Przedmiotem analiz hydrologicznych był okres lat hydrologicznych 2012 i 2013. Codzienne dane o przepływach i stanach wody dla posterunków Warszawa-Nadwilanówka, Warszawa, Wyszogród, Kępa Polska, Włocławek, Toruń, Fordon, Grudziądz oraz Tczew pozyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w Warszawie. Pozyskane dane to: i) stan wody w rzece Wiśle (H – wyrażony w cm), czyli wzniesienie zwierciadła wody w danym profilu rzeki ponad przyjęty umownie poziom odniesienia oraz ii) przepływ wód Wisły (natężenie przepływu – wyrażone w m^3s^{-1}) czyli objętość wody przepływającej przez określony przekrój poprzeczny cieków w jednostce czasu (Bajkiewicz-Grabowska i Mikulski 2008). Dane dotyczące stanów wody pozwoliły na wykreślenie hydrogramów obrazujących zmienność stanów wody w latach 2012 i 2013, natomiast dane dotyczące przepływów umożliwiły skonstruowanie hydrogramu obrazującego natężenie przepływu w czasie. Niniejsze zagadnienie bardziej szczegółowo opisano w rozdziale 4.2.

3.2. Prace terenowe

Badania terenowe polegały głównie na przeprowadzeniu rekonesansu, kartowania geomorfologicznego terenu w okolicach stanowisk badawczych w 2011 roku oraz poborze próbek w latach 2012 i 2013. Każdy wyjazd w teren poprzedzony był obserwacjami stanów wody na wybranych wodowskazach oraz warunków atmosferycznych. Wybierano dni, w których miały wystąpić korzystne warunki hydrologiczno-meteorologiczne, w szczególności niskie stany wód w korycie Wisły. Jak wspomniano powyżej, Wisła charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością warunków przepływu wód, stąd możliwe jest prawie każdego roku prowadzenie prac w korycie przy bardzo niskich stanach wody. Należy podkreślić, że środowisko rzeczne cechuje się dużą zmiennością osadów w zależności od

sytuacji topograficznej w korycie. Z tego powodu sposób poboru prób jest utrudniony, a prac opisujących sposób opróbowania rzek jest niewiele (np. Kostrzewski 1970, Zwoliński 1989).

Przeprowadzenie rekonesansu w terenie oraz kartowania geomorfologicznego przy wykorzystaniu zgromadzonych wcześniej map topograficznych pozwoliło na wyznaczenie trzech stanowisk badawczych. Lokalizację i opis wybranych stanowisk badawczych prezentuje rozdział 4. W każdym z wybranych stanowisk badawczych, wyznaczono po trzy tożsame punkty badawcze. Dwa punkty zlokalizowano w strefie brzegowej, po zachodniej i po wschodniej stronie aktywnego koryta Wisły, z osadami tzw. facji powodziowej oraz jeden punkt obejmujący osady tzw. facji korytowej w obrębie aktywnego koryta, na formach o charakterze łąch (mezoformach piaszczystych korytowych w centralnej części koryta lub odsypach brzegowych/międzyostrogowych) (Fenneman 1906, Mackin 1948, Szancer 1951, Wolman i Leopold 1957, Czałow 1979, Szmańda 2011). Na każdym stanowisku badawczym brzeg zachodni (lewy) był brzegiem erozyjnym, natomiast brzeg wschodni (prawy) akumulacyjnym.

W obrębie punktów badawczych przygotowano odsłonięte profile osadowe, które zostały w terenie wstępnie opisane. Z każdej wyróżnionej makroskopowo warstwy pobrano próbkę osadu do dalszych badań laboratoryjnych granulometrycznych, geochemicznych i mikromorfologicznych. Próbki pobrano zgodnie z podstawowymi zasadami opisanymi przez Rutkowskiego i Mycielską-Dowgiało (1995, 2007).

Pobieranie próbek podzielono na dwa etapy. W roku 2012 pobrano próbki z obszaru koryta, co było podyktowane niskim stanem wody, a co za tym idzie niewielkim jego napełnieniem. Łącznie z trzech stanowisk badawczych z koryta pobrano 36 próbek w dwóch seriach: 18 próbek do badań sedymentologicznych i geochemicznych oraz 18 próbek osadów o nienaruszonej strukturze do badań mikromorfologicznych, do puszek Kubieny, zgodnie z metodą opisywaną przez Kempa (1985) oraz Palmera i in (2008). W procesie impregnacji uzyskano 13 prawidłowo zaimpregnowanych próbek, z których wykonano łącznie 40 szlifów mikromorfologicznych w postaci cienkich płytek o wymiarach 2,5 x 4,5 cm (Tab. 1). W roku 2013 ze strefy brzegowej pobrano łącznie, z trzech stanowisk badawczych, 36 próbek osadów pozakorytowych (facja powodziowa) w dwóch seriach, tj: 18 próbek do badań sedymentologicznych i geochemicznych oraz 18 próbek osadów o nienaruszonej strukturze, z których wykonano 72 szlify mikromorfologiczne (Tab. 2).




Łącznie pobrano 72 próbki, w tym 36 o nienaruszonej strukturze, z których wykonanych zostało 112 szlifów mikromorfologicznych. Metodyka poboru i wykonania próbek o nienaruszonej strukturze opisana została w rozdziale 3.5.

Dla ułatwienia czytelności pracy wprowadzono oznaczenia literowe, barwne oraz graficzne dotyczące stanowisk i punktów badawczych.




Oznaczenia literowe:

- OP – odsyp przybrzeżny/międzyostrogowy
- CC – centralna część (czoło łachy)
- BP – brzeg prawy, akumulacyjny, wschodni
- BL – brzeg lewy, erozyjny, zachodni
- KP – stanowisko Kępa Polska
- T – stanowisko Toruń
- G – stanowisko Grudziądz




• Próbki ze stanowiska Kępa Polska (KP):

- kolor zielony i jego odcienie
- symbol trójkąt
- BP 
- BL 
- CC 

• Próbki ze stanowiska Toruń (T):

- kolor niebieski i jego odcienie
- symbol kwadrat
- BP 
- BL 
- CC 

• Próbki ze stanowiska Grudziądz (G):

- kolor pomarańczowy i jego odcienie
- symbol romb
- BP 
- BL 
- CC 

Tab. 1. Chronologiczne zestawienie próbek osadów korytowych pobranych na rzece Wiśle w 2012

Nr próbki	Data poboru	Stanowisko badawcze	Lokalizacja GPS	Stan wody (wodowskaz)	Wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody	Mikromorfologia (oznaczenie próbek)	Uwagi
1	02.08.2012	Toruń OP BP	52.58.084 N 18.42.281 E	173 cm	10 cm	nieudana impregnacja żywicą	próbka odrzucona
2	02.08.2012	Toruń OP BP	52.58.084 N 18.42.281 E	173 cm	20 cm	nieudana impregnacja żywicą	próbka odrzucona
3	02.08.2012	Toruń OP BP	52.58.084 N 18.42.281 E	173 cm	30 cm	3.1/3.2/3.3	próbka odrzucona - brak próbek sąsiednich
4	07.08.2012	Grudziądz OP BL	53.30.925 N 18.45.000 E	197 cm	30 cm	4.1/4.2/4.3	próbka odrzucona – wpływ ostrogi
5	07.08.2012	Grudziądz OP BL	53.30.925 N 18.45.000 E	197 cm	50 cm	5.1/5.2/5.3	próbka odrzucona – wpływ ostrogi
6	20.08.2012	Kępa Polska OP BP	52.25.642 N 19.58164 E	184 cm	50 cm	6.1/6.2/6.3	próbka odrzucona – wysoki stan wody
7	10.09.2012	Toruń CC	52.58.200 N 18.42.151 E	145 cm	5 cm	7.1/7.2/7.3	brak
8	10.09.2012	Toruń CC	52.58.200 N 18.42.151 E	145 cm	10 cm	8.1/8.2/8.3	brak
9	10.09.2012	Toruń CC	52.58.200 N 18.42.151 E	145 cm	25 cm	9.1/9.2/9.3	brak
10	24.09.2012	Kępa Polska CC	52.24.840 N 19.59.028 E	157 cm	5 cm	10.1/10.2/10.3	brak
11	24.09.2012	Kępa Polska CC	52.24.840 N 19.59.028 E	157 cm	10 cm	11.1/11.2/11.3	brak
12	24.09.2012	Kępa Polska OP BL	52.25.368 N 19.57.722 E	157 cm	20 cm	12.1A/12.1B/12.2/12.3	próbka odrzucona – wpływ dopływu
13	24.09.2012	Kępa Polska OP BL	52.25.368 N 19.57.722 E	157 cm	60 cm	13.1/13.2/13.3	próbka odrzucona – wpływ dopływu
14	24.09.2012	Kępa Polska OP BL	52.25.368 N 19.57.722 E	157 cm	100 cm	nieudana impregnacja żywicą	próbka odrzucona
15	13.10.2012	Grudziądz CC	53.31.406 N 18.45.368 E	203 cm	5 cm	15.1/15.2/15.3	brak
16	13.10.2012	Grudziądz CC	53.31.406 N 18.45.368 E	203 cm	10 cm	16.1/16.2/16.3	brak
17	13.10.2012	Grudziądz CC	53.31.406 N 18.45.368 E	203 cm	15 cm	nieudana impregnacja żywicą	próbka odrzucona
18	13.10.2012	Grudziądz CC	53.31.392 N 18.45.285 E	203 cm	5 cm	nieudana impregnacja żywicą	próbka odrzucona

Oznaczenia: OP – odsyp przybrzeżny/międzyostrogowy, CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy (wschodni), BL – brzeg lewy (zachodni), KP – stanowisko Kępa Polska, T – stanowisko Toruń, G – stanowisko Grudziądz; kolor zielony – próbki pobrane ze stanowiska Kępa Polska, kolor niebieski – próbki ze stanowiska Toruń, kolor pomarańczowy – próbki ze stanowiska Grudziądz.

Tab. 2. Chronologiczne zestawienie próbek osadów pozakorytowych pobranych na brzegach Wisły w 2013

Nr próbki	Data poboru	Stanowisko badawcze	Lokalizacja GPS	Stan wody (wodowskaz)	Wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody	Mikromorfologia (oznaczenie próbek)	Uwagi
19	23.08.2013	Toruń BL	52.58.071 N 18.41.954 E	185 cm	380 cm	19.1A/19.1B/19.2/19.3	brak
20	23.08.2013	Toruń BL	52.58.071 N 18.41.954 E	185 cm	280 cm	20.1A/20.1B/20.2/20.3	brak
21	23.08.2013	Toruń BL	52.58.071 N 18.41.954 E	185 cm	120 cm	21.1/21.2/21.3/21.4	brak
22	23.08.2013	Toruń BL	52.58.071 N 18.41.954 E	185 cm	30 cm	22.1/22.2/22.3	brak
23	23.08.2013	Toruń BP	52.58.075 N 18.42.292 E	185 cm	20 cm	23.1/23.2/23.3	brak
24	23.08.2013	Toruń BP	52.58.075 N 18.42.292 E	185 cm	170 cm	24.1/24.2/24.3	brak
25	24.08.2013	Grudziądz BP	53.31.406 N 18.45.538 E	208 cm	30 cm	25.1/25.2/25.3/25.4	brak
26	24.08.2013	Grudziądz BP	53.31.406 N 18.45.538 E	208 cm	145 cm	26.1/26.2/26.3	brak
27	24.08.2013	Grudziądz BP	53.31.406 N 18.45.538 E	208 cm	85 cm	27.1/27.2/27.3/27.4	brak
28	24.08.2013	Grudziądz BL	53.31.414 N 18.45.183 E	208 cm	240 cm	28.1/28.2/28.3/28.4	brak
29	24.08.2013	Grudziądz BL	53.31.414 N 18.45.183 E	208 cm	95 cm	29.1/29.2/29.3/29.4	brak
30	24.08.2013	Grudziądz BL	53.31.414 N 18.45.183 E	208 cm	40 cm	30.1A/30.1B/30.1C/30.2A/30.2B/30.3A/30.3B/30.3C	brak
31	5.09.2013	Kępa Polska BP	52.24.862 N 19.59.217 E	181 cm	110 cm	31.1/31.2/31.3	brak
32	5.09.2013	Kępa Polska BP	52.24.862 N 19.59.217 E	181 cm	65 cm	32.1/32.2/32.3	brak
33	5.09.2013	Kępa Polska BL	52.24.647 N 19.58.419 E	181 cm	90 cm	33.1/33.2/33.3	brak
34	5.09.2013	Kępa Polska BL	52.24.647 N 19.58.419 E	181 cm	120 cm	34.1A/34.1B/34.2/34.3	brak
35	5.09.2013	Kępa Polska BL	52.24.647 N 19.58.419 E	181 cm	40 cm	35.1/35.2A/35.2B/35.3	brak
36	5.09.2013	Kępa Polska BL	52.24.647 N 19.58.419 E	181 cm	190 cm	36.1/36.1b/36.2/36.2b/36.3/36.3b	brak

Oznaczenia: OP – odsyp przybrzeżny/międzyostrogowy, CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy (wschodni), BL – brzeg lewy (zachodni), KP – stanowisko Kępa Polska, T – stanowisko Toruń, G – stanowisko Grudziądz; kolor zielony – próbki pobrane ze stanowiska Kępa Polska, kolor niebieski – próbki ze stanowiska Toruń, kolor pomarańczowy – próbki ze stanowiska Grudziądz.

3.3. Analizy sedymentologiczne

Osady rzeczne są na ogół mieszaniną ziaren o różnych wymiarach. Dokonanie ich dokładnej charakterystyki oraz określenie relacji pomiędzy podstawowymi wskaźnikami uziarnienia, stanowi źródło informacji o warunkach ich transportu i sedymentacji, w tym energetyce środowiska prądowego i procesach zachodzących w jego otoczeniu (Racinowski i in. 2001). Istotny jest zatem dobór adekwatnych metod laboratoryjnych do analizy osadów fluwialnych. Analizy laboratoryjne wskaźników uziarnienia wykonano w Laboratorium Instytutu Geoekologii i Geoinformacji WNGIG UAM. Zebrany w terenie materiał osadowy został wysuszony, a następnie przesiany na zestawie sit z wytrząsarką mechaniczną RETSCH AS200 zgodnie z procedurą opisaną przez Mycielską-Dowgią (1995, 2007). Do metody sitowej wykorzystano sita o wielkości oczek 8; 5,6; 4; 2,8; 2; 1,4; 1; 0,8; 0,63; 0,5; 0,4; 0,315; 0,250; 0,2; 0,160; 0,125; 0,1 mm. Próbkę zawierającą frakcję mniejszą niż 0,1 mm zostały dodatkowo poddane analizie uziarnienia metodą dyfrakcji optycznej – analizie laserowej, przy wykorzystaniu Laserowego Analizatora Uziarnienia Mastersizer 2000 z modułem Hydro Firmy Malvern. Pomiar laserowy w porównaniu do tradycyjnych metod pozwala uniknąć niedoszacowań frakcji ilastej (Konert i Vandenberghe 1997).

Uzyskane wyniki z obu metod posłużyły do obliczenia podstawowych wskaźników uziarnienia metodą Folka i Warda (1957): mediany (Mz), odchylenia standardowego (δ), skośności (Sk) oraz kurtozy (Kg) oraz dalszej ich analizie na diagramach zależności parametrów statystycznych uziarnienia. Określono dynamikę środowiska metodą Vishera (1969) oraz wykorzystując diagram C/M Passegi przeanalizowano związek między teksturą osadu, a sposobem transportu materiału ziarnowego (Passega 1964). Wskaźniki uziarnienia obliczono w programie Gradistat 5.11 beta (Juśkiewicz 2006, Blott i Pye 2001, 2012). Do interpretacji wyników zastosowano skalę zaproponowaną przez Wentwortha (1922). Obtoczenie opisano wykorzystując wzorzec wizualnej oceny stopnia obtoczenia ziaren według Krumbeina (1941), poddając analizie ziarna kwarcowe frakcji 0,8-1,0 mm.

3.4. Analizy geochemiczne

Zmiany koncentracji zawartości pierwiastków w profilach pionowych aluwiów odzwierciedlają m.in. zmiany zanieczyszczenia rzek oraz zmiany warunków hydraulicznych w momencie depozycji tych osadów (Macklin i Klimek 1992, Swennen i in. 1994). Analizy geochemiczne podzielone zostały na dwie grupy. Grupa pierwsza obejmowała badania o charakterze ogólnym, przeprowadzane w formie testów wykonywanych ręcznie, z użyciem

podstawowej aparatury laboratoryjnej, które wykonane zostały w Laboratorium Instytutu Geoekologii i Geoinformacji WNGIG UAM. Grupa druga obejmowała natomiast badania bardziej złożone – szczegółowe, przeprowadzane przy użyciu zaawansowanych urządzeń laboratoryjnych określających jakościową i ilościową zawartość pierwiastków w danej próbce, które wykonano w Zakładzie Chemii Analitycznej Wydziału Chemii UAM, dzięki uprzejmości i zgodnie z wytycznymi prof. dr hab. Przemysława Niedzielskiego.

Badania proste - ogólne

W pierwszej kolejności wykonano badania **pH** w roztworze H₂O i HCl czyli ilościowe określenie kwasowości oraz zasadowości roztworu glebowego oraz **pomiar przewodnictwa elektrolitycznego** przy wykorzystaniu konduktometru firmy ELMETRON CX-401.

Dokonano również określenia zawartości **materii organicznej** i **węglanu wapnia** metodą strat prażenia. Procentową zawartość materii organicznej (LOI₅₅₀) uzyskano poprzez obliczenie różnicy wagowej suchej próbki w stosunku do próbki wyprażonej w piecu muflowym przez 4 godziny w temperaturze 550°C, natomiast węgiel wapnia (LOI₉₂₅) przez następnie 2 godziny w temperaturze 925°C (Heiri i in. 2001).

Wskaźniki LOI₅₅₀ oraz LOI₉₂₅ obliczono na podstawie następujących wzorów:

$$LOI_{550}[\%] = \frac{100 \cdot (M_c - M_p)}{M_c}$$

gdzie:

M_c – całkowita masa próbki wziętej do analizy i wysuszonej w 105°C [g]

M_p – masa próbki po wyprażeniu w 550°C [g]

$$LOI_{925}[\%] = \frac{100 \cdot (M_c - M_{pp})}{M_c}$$

gdzie:

M_c – całkowita masa próbki wziętej do analizy i wysuszonej w 105°C [g]

M_p – masa próbki po wyprażeniu w 550°C [g]

M_{pp} – masa próbki po wyprażeniu w 925°C [g]

Badania złożone - szczegółowe

Bardziej złożone badania geochemiczne pozwoliły na dokonanie analizy jakościowej i ilościowej zawartości pierwiastków w próbkach. Analizy przeprowadzono samodzielnie w laboratorium Zakładu Chemii Analitycznej Wydziału Chemii UAM zgodnie z wytycznymi prof. dr hab. Przemysława Niedzielskiego. Po wysuszeniu próbki poddane były wstępnemu przygotowaniu. Zastosowano następującą procedurę:

- odważony 1 gram osadu ekstrahowano z 20 ml kwasu chlorowodorowego o stężeniu 2 mol/l w temperaturze 80°C pod chłodnicą zwrotną w czasie 30 minut,
- następnie dodano 20 ml wody demineralizowanej i ogrzewano przez 15 minut,
- po ochłodzeniu roztwór przesączono, na wcześniej przemytych, suchych, sączkach bibułowych.

Przygotowane roztwory posłużyły do:

- **Oznaczania zawartości pierwiastków w roztworze**

Analiza zawartości pierwiastków w roztworze została przeprowadzona przy wykorzystaniu mikrofalowo wzbudzonej plazmy z detekcją emisyjnej spektrometrii atomowej – na urządzeniu MICROWAVE PLASMA-ATOMIC EMISSION SPECTROMETER (MP-AES) SYSTEMS 4100 MP-AES firmy Agilent Technologies. Określono zawartość 20 pierwiastków: Al, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Tl, Zn.

Spektrometr nie wymaga palnych gazów – plazma mikrofalowa zapewnia lepsze granice wykrywalności niż płomieniowa AAS. Podstawowym elementem urządzenia jest jednoczesiowy palniki kwarcowy, a źródłem wzbudzenia jest półprzewodnikowy generator wysokiego napięcia oraz chłodzony powietrzem magnetron pracujący przy częstotliwości 2450 MHz. Moc plazmy utrzymywana jest na stałym poziomie 1 kW. W procesie zapalania plazmy chwilowo stosowany jest przepływ argonu. Po zapaleniu plazmy następuje automatyczne przełączenie na zasilanie azotem.

Wyniki eksportowane były bezpośrednio do oprogramowania MP Expert – Microwave Plasma Instrument Software version 1.0.1.42902 firmy Agilent Technologies.

3.5. Analizy mikromorfologiczne

Za twórcę mikromorfologii powszechnie uważa się W.C. Kubię, który w latach trzydziestych XX wieku, jako jeden z pierwszych, wykorzystał preparaty mikroskopowe (cienkie szlify) do badań nad ustaleniem genezy gleb (Kubięna 1938). Terminologia mikromorfologiczna natomiast wywodzi się z nauk o glebach (Brewer 1976). Pomimo to analizy mikromorfologiczne należą do stosunkowo rzadko stosowanych w sedymentologii skał osadowych ze względu na skomplikowany wieloetapowy, koszt- i pracochłonny, wymagający poświęcenia czasu, proces związany z przygotowaniem preparatów mikroskopowych w postaci szlifów i cienkich płytek poddawanych analizom mikroskopowym.

Na analizy mikromorfologiczne składa się szereg działań poczynając od poboru próbki w terenie w odpowiednim miejscu, w dalszej kolejności wypreparowanie próbki do wykonania szlif (cienkiej płytki), na koniec dokonanie obserwacji pod mikroskopem i ich interpretację (Ryc. 4). Preparatyka mikromorfologiczna przeprowadzona została w Laboratorium Sedymentologicznym Instytutu Geookologii i Geoinformacji przy współpracy z laboratorium Zakładu Mineralogii i Petrologii Instytutu Geologii Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM w Poznaniu.

Pobór próbek (1)

Techniki pobierania próbek są zróżnicowane w zależności od materiałów, dostępnego sprzętu, środowiska próbkowania oraz celów badań. Materiał pobrany został do wykonanych wcześniej metalowych puszek, wykonanych według wzoru „puszek Kubięny” (Kubięna 1938). Puszki składały się z prostokątnej formy o wymiarach 5 x 5 x 10 cm z dwoma identycznymi przykrywkami (Ryc. 4 – etap 1). Miejsce poboru próbki należy wcześniej oczyścić i wyrównać. Następnie wcisnąć formę w miejsce poboru, zamknąć pokrywką stronę zewnętrzną, delikatnie wykroić puszkę z osadem, starając się nie naruszyć struktury wewnątrz formy, wykrojona puszkę zamknąć i szczelnie owinąć folią (Goldberg i Macphail 2003). Dokonując poboru opierano się na wytycznych Kempa (1985) oraz Palmera i in. (2008).

Pobrany materiał dokładnie opisano oznaczając:

- miejsce poboru na mapie według pozycji z GPS
- orientację wobec kierunków świata oraz kierunku płynięcia rzeki
- strop i spąg próbki
- wysokość poboru w odniesieniu do zwierciadła wody w rzece

Opisane próbki przetransportowano do laboratorium.

Suszenie (2)

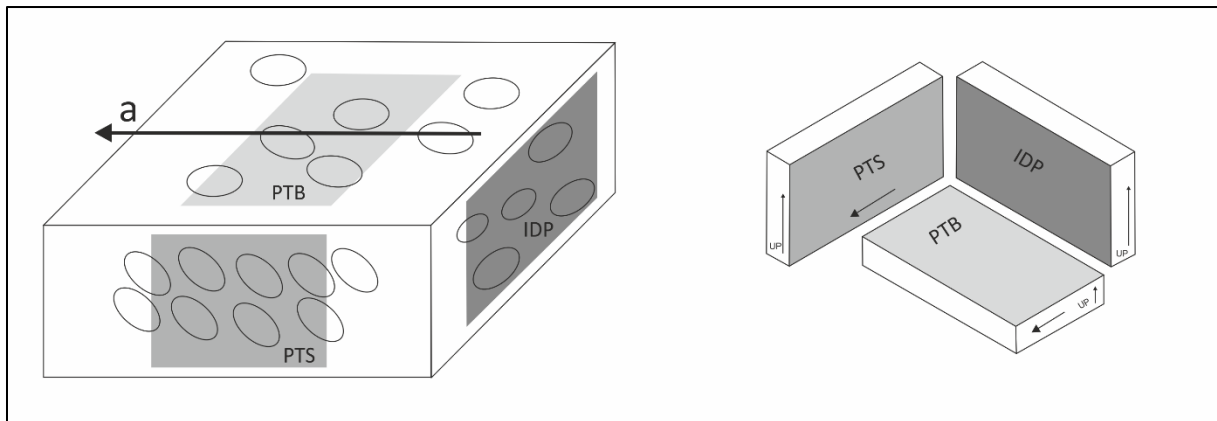
W przypadku analiz mikromorfologicznych największą uwagę należy poświęcić wysuszeniu próbki, które ma na celu całkowite odprowadzenie z niej wody (Ryc. 4 – etap 2). Proces suszenia jest procesem powolnym, trwającym od 2 do 6 miesięcy, zależnym od środowiska poboru i wielkości próbki. Próbkę uważa się za wysuszoną w momencie uzyskania przez nią stabilnej wagi. Pobrane do puszek próbki suszone były w warunkach temperatury pokojowej. Powstałe w skutek suszenia powietrzem pęknięcia są łatwo rozpoznawalne, ponieważ różnią się od *naturalnych* załamań. Dodatkowo pęknięcia takie ułatwiają wprowadzanie żywicy wewnątrz próbki, umożliwiając pełne impregnowanie (Pusch 1999).

Impregnacja (3)

Impregnacja próbki następuje poprzez zalanie jej mieszką żywicy, wypełniającej przestrzenie międzyziarnowe, spajając po zastygnięciu całość do postaci litego kompozytu. W niniejszej pracy do impregnacji wykorzystano zestaw SpeciFix-20 firmy STRURES – zestaw żywicy epoksydowej do inkludowania na zimno, wiążącej bez skurczu w temperaturze pokojowej w czasie około 8 godzin, zalecany do impregnacji próżniowej (Ryc. 4 – etap 3). Składniki żywicy, żywica i utwardzacz, są dokładnie mieszane w odpowiednich proporcjach ustalonych przez producenta, a następnie odstawione na kilka minut w celu usunięcia większości pęcherzyków powietrza powstałych podczas mieszania. Wysuszoną próbkę umieszcza się w komorze próżniowej, która nie powoduje powstawania żadnych spękań w próbce, nawet najbardziej delikatne struktury pozostają zachowane (Cailleau i in. 2009). Zastosowanie próżni ułatwia również wnikanie żywicy w głąb osadu. Zaimpregnowaną próbkę pozostawia się do wyschnięcia na około 48 godzin – czas impregnacji jest zróżnicowany w zależności od zastosowanej żywicy.

Cięcie – docinanie do odpowiednich wymiarów (4)

Po wyschnięciu próbka poddawana jest pierwszemu docinaniu do odpowiednich wymiarów i cięciu do grubości około 5-8 mm, przy zachowaniu ustalonych wcześniej orientacji. Do cięcia posłużyła piła CS30 Compact Trim Saw firmy Logitech z ostrzem diamentowym o średnicy 200 mm (Ryc. 4 – etap 4). Po docięciu próbkę należy wyszlifować, w celu uzyskania gładkiej powierzchni ułatwiającej sklejenie ze szkiełkiem. Każdą próbkę przycięto w trzech płaszczyznach oznaczając kierunek płynięcia rzeki (Ryc. 3) (Potter i Mast 1963, Gradziński i in. 1976).



Ryc. 3. Przestrzenna orientacja szlifów w próbce pobranej z koryta Wisły. Oznaczenia: PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki – *ang. parallel to strike/bedding normal/inside face*, PTB – orientacja równoległa do podłoża – *ang. parallel to bedding/boom face*, IDP orientacja wewnątrz powierzchni podłoża – *ang. in deep plane/ bedding* (opracowanie własne za Gradziński i in. 1976 uzupełnione o Bannister 2004)

Sklejanie (5) i odcinanie (6)

Po wstępnym wyszlifowaniu próbki zostały sklejone ze szkiełkiem o wymiarach 2,5 x 4,5 cm i grubości 1200 μm przy pomocy mieszanki żywicy i utwardzacza, z wykorzystaniem zestawu Epofix firmy STRUERS. W celu ułatwienia sklejania i dalszych precyzyjnych pomiarów preparatu szkiełko zostało wyszlifowane do znormalizowanej grubości oraz zmatowione. Sklejona próbka jest ponownie docinana do grubości 0,5 – 2 mm (Ryc. 4 – etap 5 i 6).

Szlifowanie i polerowanie (7)

Docięta wcześniej próbka jest szlifowana do grubości około 25 – 30 μm za pomocą urządzenia CL50 Compact 50 Lapping/Polishing Maschine firmy Logitech (Ryc. 4 – etap 7). Wyszlifowanie i wypolerowanie próbki jest procesem czasochłonnym wymagającym precyzji i ostrożności by nie uszkodzić preparatu mikromorfologicznego.

Obserwacja pod mikroskopem (8)

Ostatnim etapem jest obserwacja preparatu pod mikroskopem prowadząca do szczegółowego opisu minerałów, struktur sedymentologicznych i cech: litologicznych, pedologicznych lub diagenetycznych (Ryc. 4 – etap 8). Do analiz mikromorfologicznych cienkich płytek wystarczający jest standardowy mikroskop petrograficzny, z powiększeniem w przedziale 20-50x (Kołodziej 1995) oraz mikroskop polaryzacyjny, z powiększeniem maksymalnym 100x (Carr 2004). W niniejszej pracy wykorzystano również wysokorozdzielcze skany komputerowe preparatów oraz petroskop. Z każdej cienkiej płytki wykonano wysokorozdzielcze zdjęcia obszarów uznanych za reprezentatywne.



Ryc. 3. Prezentacja etapów przygotowania próbek pobranych z koryta Wisły do analiz mikromorfologicznych

3.5.1. Przyjęte zasady opisu mikromorfologicznego

Opis makroskopowy szlifów

Proces badawczy polegał na podstawowej, wstępnej analizie szlifów obserwowanych pod mikroskopem petrograficznym tzw. „ogólnym przeglądzie próbki”. W pierwszej kolejności dokonano analizy teksturalnej charakteryzując takie parametry jak:

- dominująca wielkość ziarna,
- obtoczenie ziaren w oparciu o wzorzec Krumbeina (1941),
- upakowanie ziaren.

Należy jednak pamiętać, iż uzyskane dane to dane dwuwymiarowe, każde z ziaren może być mniejsze lub większe, dlatego aby uzyskać pełen obraz orientacji przestrzennej wykonano pomiary na co najmniej dwóch szlifach wyciętych wzdłuż prostopadłych do siebie płaszczyznach, tak jak to zaprezentowano na rycinie 4 (Potter i Mast 1963, Gradziński i in. 1976).

Próbki podzielono ze względu na ich zróżnicowanie teksturalne, związane z miejscem poboru, na dwie grupy: i) próbki z charakterystycznymi cechami dla osadów pozakorytowych oraz ii) próbki z charakterystycznymi cechami dla osadów korytowych.

OSADY POZAKORYTOWE

Szlify próbek pobranych ze strefy brzegowej Wisły poddane zostały szczegółowym analizom mikromorfologicznym przy wykorzystaniu mikroskopu polaryzacyjnego oraz petroskopu. Cechy mikromorfologiczne określono na podstawie wzajemnego ułożenia grup składników masy podstawowej (*ang. groundmass*) badanych osadów. W masie podstawowej wyróżniono:

- materiał grubszy (*ang. coarse material*) - szkielet, który tworzą ziarna o średnicy $> 2\mu\text{m}$,
- materiał drobniejszy (*ang. micromass*) - który tworzą głównie cząstki iłu koloidalnego o średnicy $= < 2\mu\text{m}$,
- wolne przestrzenie (*ang. voids*) - przestrzenie o różnych wielkościach i genezie, niezajęte przez materiał mineralny bądź organiczny,
- materię organiczną (*ang. organic matter*) – w postaci szczątków zwierzęcych i roślinnych.

Analizy uwzględniały także cechy pedogenetyczne (*ang. pedofeatures*) będące specyficznymi jednostkami strukturalnymi odcinającymi się od otaczającego materiału glebowego (masy podstawowej), w efekcie oddziaływania procesów glebotwórczych, dzięki różnicy w koncentracji komponentów (np. frakcji granulometrycznej, materii organicznej, ziaren kwarcu

itp.) lub różnicy w strukturze wewnętrznej poprzez łączenie podstawowych części osadu w większe agregaty, bądź fragmenty masywne (Kacprzak i Żyła 2006).

Oddzielną grupę badań stanowią analizy mikrokoncentracji opisane przez Bullock i in. (1985) w postaci:

- nacieków pylasto-ilastych (*np*), uwidaczniających się w szlifach w postaci otoczki wewnątrz kanalików oraz na zewnętrznych ściankach agregatów, złożone z wymieszanego materiału frakcji pyłu średniego i iłu koloidalnego,
- noduli żelazistych (*g*), zbudowanych z koncentracji związków żelaza, które cechuje owalny kształt, ostra granica zewnętrzna oraz rudy bądź pomarańczowy pleochroizm,
- koncentracji manganowo-żelazistych (*mn/fe*), form powstałych w wyniku połączenia związków manganu i żelaza, które charakteryzuje czarna lub czarno-pomarańczowa barwa oraz brak pleochroizmu,
- dyfuzyjnych wytrąceń żelaza (*d*), w których całość lub tylko zewnętrzna część cechuje się stopniowym przejściem w materiał otaczający, występujących w kolorze rudym bądź pomarańczowym,
- wytrąceń żelazisto-ilastych (*w*), występujących zazwyczaj w postaci cienkich lamin o barwie szaro-pomarańczowej bądź szaro-rudej,
- nacieków manganowych (*mn*), które inkrustują ścianki wolnych przestrzeni, bądź osadzają się na ziarnach kwarcowych.

W opisie zawarto wszystkie wychwycone pod mikroskopem cechy świadczące o zmianach zachodzących w środowisku poboru próbki.

Uzupełnieniem badań mikroskopowych są wyniki analiz właściwości fizykochemicznych osadów, analizy sedimentologiczne i analizy danych hydrologicznych.

OSADY KORYTOWE

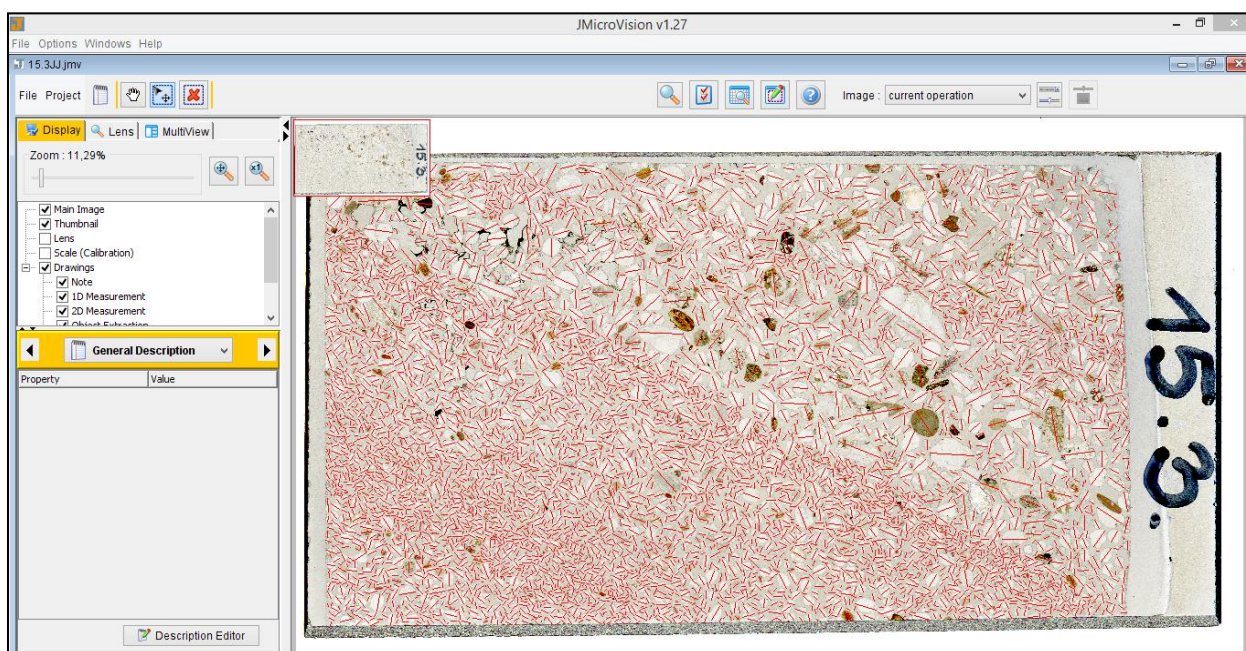
Prócz wyżej wymienionych analiz szlify próbek pobranych z osadów korytowych ze względu na odmienną budowę zeskanowano na skanerze o dużej rozdzielczości oraz poddano analizom komputerowym, w których skupiono się na analizie ziaren w szlifie. Szczegółowy opis dokonanych analiz zawarto w rozdziale 3.5.2.

3.5.2. Cyfrowa analiza obrazów mikromorfologicznych

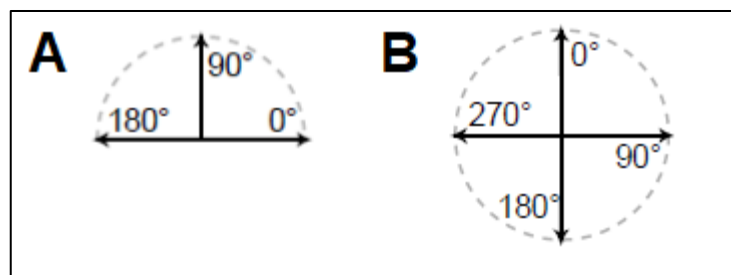
Metoda cyfrowej analizy obrazu jest powszechnie wykorzystywana do diagnostyki medycznej i interpretacji obrazów biomedycznych, dla analizy których stosowano metody ilościowe (Zieliński i Strzelecki 2001). W niniejszym rozdziale przedstawiono niektóre z możliwości, które można wykorzystać do analiz mikromorfologicznych w celu ich zoptymalizowania a tym samym ułatwienia pracy nad poszczególnymi próbkami. Wszystkie typy analiz komputerowych przeprowadzono na skalibrowanych plikach graficznych.

Cyfrowa analiza przeprowadzona została przy wykorzystaniu dwóch programów komputerowych typu open source: JMicroVision oraz ImageJ z dodatkiem FIJI.

Program JMicroVision (Roduit N., 2007, *JMicroVision: Image analysis toolbox for measuring and quantifying components of high-definition images. Version 1.3.1.* <https://jmicrovision.github.io>) składa się z zestawu narzędzi do analizy obrazu i pomiaru ilościowego składników obrazów o wysokiej rozdzielczości. W pracy program został wykorzystany do analizy obiektowej, pozwalającej określić wielkość (długość osi ziaren), kształt ziaren oraz ich orientację i azymut (Ryc. 5). Pomiary ziaren dokonane zostały manualnie. Poprzez orientację program rozumie kąt pomiędzy osią poziomą a wykreśloną manualnie linią, która stanowi najdłuższą oś ziarna, mierzony przeciwnie do ruchu wskazówek zegara w granicach od 0° do 180° (Ryc. 6A). Azymut natomiast traktowany jest jako pozioma odległość kątowna od punktu północnego (u góry). Pomiar wykonywany jest zgodnie z ruchem wskazówek zegara do 360° poprzez umieszczenie środka koła w pierwszym punkcie linii (Ryc. 6B).



Ryc. 4. Widok pojedynczych obiektów oznaczonych na szlifie (cienkiej płytce) jednej z próbek osadów korytowych na pulpicie programu do cyfrowej analizy obrazu JMicroVision



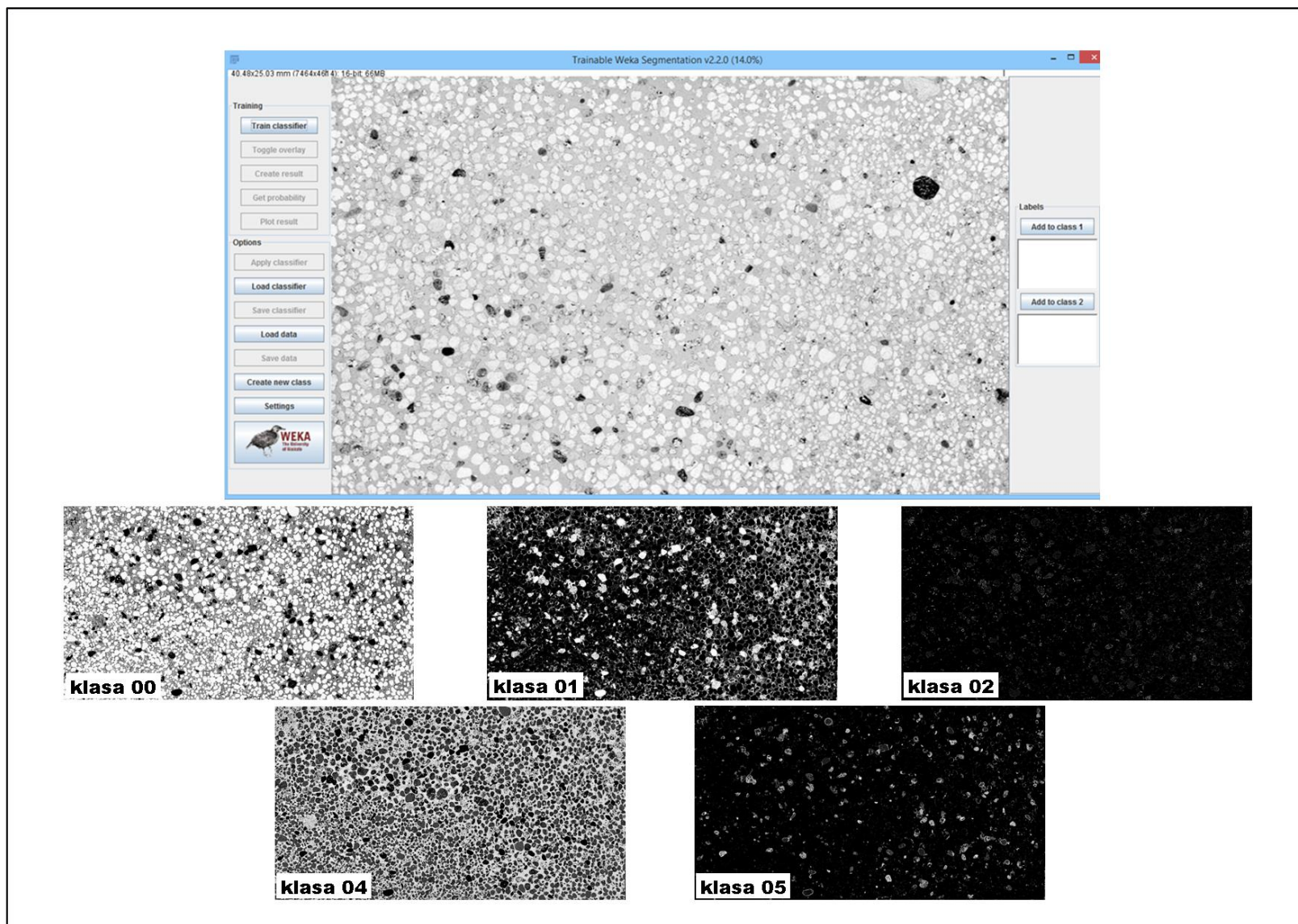
Ryc. 5. Wartości orientacji (A) i azymutu w programie JMicroVision (B)

- Program ImageJ/FIJI opracowany przez *National Institutes of Health and the Laboratory for Optical and Computational Instrumentation (LOCI, University of Wisconsin-Madison)* służy do analiz wielowymiarowych obrazów, został stworzony głównie dla nauk medycznych znalazł jednak swoje zastosowanie również w naukach geograficznych. Program pozwala na wykorzystanie metody ilościowej, a nie tylko jakościowej do opisu szlifów mikromorfologicznych. W programie dokonano segmentacji obrazów cyfrowych zgodnie ze schematem opracowanym wspólnie z dr. Simonem Carrem podczas stażu naukowego odbytego w 2015 roku w Centrum Mikromorfologii, na Uniwersytecie Queen Mary w Londynie (*Centre of Micromorphology, Queen Mary University of London*). Schemat z oryginalną pisownią terminów stanowi załącznik nr 2.

Zgodnie ze schematem zeskanowane obrazy szlifów mikromorfologicznych, po wcześniejszym znormalizowaniu, poddano procesowi segmentacji przy użyciu wtyczki *Trainable Weka Segmentation* (Arganda-Carreras et al. 2017) i wyznaczono pięć klas (Ryc. 7):

- klasa 00 – *Quartz* – kwarc
- klasa 01 – *Non-Quartz/Skeleton* – pozostałe ziarna nie kwarcowe
- klasa 02 – *Contaminants* – zanieczyszczenia
- klasa 03 – *Sediment Matrix* – plazma – ziarna o średnicy $\leq 2\mu\text{m}$
- klasa 04 – *Voids/Groundmass* – wolne przestrzenie

Każdej próbce po klasyfikacji zostało przyporządkowanych pięć plików wynikowych z segmentacji, które następnie poddano opcji progowania (z *ang. threshold*) przez porównanie wizualne z oryginalnym skanem. Uzyskane w ten sposób obrazy przekonwertowano do postaci obrazów 8-bitowych, a następnie poddano procesowi przekształcenia binarnego (z *ang. make binary*) i zapisano w formacie TIFF. Wyznaczenie klas pozwoliło określić, której z nich jest najwięcej w analizowanych szlifach. Łącznie ze szlifów wykonanych z osadów śródkorytowych uzyskano 30 plików wynikowych, w których analizowane informacje są przedstawione jako białe piksele, a pozostałe jako czarne.



Ryc. 6. Przykład przeprowadzonej segmentacji obrazu cyfrowego jednego ze szlifów osadów korytowych wraz z klasami wynikowymi uzyskanymi w programie ImageJ/FIJI/Trainable Weka Segmentation

4. Charakterystyka stanowisk badawczych

Głównym kryterium wyboru stanowisk badawczych była reprezentatywność poszczególnych odcinków rzeki ze względu na charakter układu koryta oraz procesy w nim zachodzące, będące zarówno skutkiem oddziaływań naturalnych, jak i antropogenicznych. Ponieważ proponowana metoda badawcza - analiza mikromorfologiczna osadów fluwialnych, nie była wcześniej stosowana w przypadku aluwiów Wisły, przeprowadzono na wstępie szerokie konsultacje specjalistyczne w środowisku geomorfologów i sedymentologów. Dokonana została m.in. ocena charakterystycznych odcinków koryta odpowiadających powtarzalnym zdarzeniom w jego ewolucji, jak i typowemu wykształceniu, co zostało wsparte szerokimi studiami literaturowymi w zakresie regionalnym oraz procesowym m.in.: Galon 1934, Mrózek 1958, Tomczak 1971, Koc 1972, Wiśniewski 1976, 1978, Babiński 1982, 1990, 1992, 1997, 2002, Falkowski i in. 1987, Niewiarowski 1987, Makowski 1998, Starkel 2001, Giriat 2003, Szmańda 2010, Habel 2013, Majewski 2016.

4.1. Lokalizacja stanowisk

Po zebraniu informacji geomorfologicznych i rozpoznaniu środowiska przyrodniczego do badań szczegółowych wybrano trzy charakterystyczne pod względem typologicznym fragmenty łóżyska powodziowego dolnej Wisły. Kierując się od południa, w dół rzeki są to stanowiska: i) Kępa Polska, odcinek nieuregulowany tamami poprzecznymi (ostrogami), powyżej Zbiornika Włocławskiego, pomiędzy 603 a 604 km biegu rzeki, koryto o szerokości około 1 km z licznymi kępami, ii) Toruń, odcinek w pełni uregulowany z zabudową ostrogową, dodatkowo będący pod wpływem intensywnego oddziaływania na wahania poziomu wody hydroelektrownią na zaporze wodnej we Włocławku, pomiędzy 724 a 725 km biegu rzeki, z korytem o szerokości około 350 m oraz iii) Grudziądz, odcinek w pełni uregulowany, pod ograniczonym wpływem na wahania poziomu wody zapory wodnej we Włocławku, pomiędzy 838 a 839 km biegu rzeki, koryto o szerokości około 400 m.

W każdym stanowisku wyznaczono po trzy punkty badawcze: i) brzeg prawy, akumulacyjny ii) centralna część koryta – łacha bądź odsyp brzegowy oraz iii) brzeg lewy, erozyjny.

Nazwy odcinków przyjęto umownie zgodnie z najbliższym stanowiskiem pomiarowym IMGW-PIB w Warszawie.

a) Kępa Polska

Stanowisko badawcze Kępa Polska zlokalizowane jest na odcinku nieuregulowanym zabudową ostrogową, pomiędzy 603 a 604 km biegu Wisły (Ryc. 8). Koryto o szerokości około 1 km jest w tym miejscu urozmaicone i bardzo zróżnicowane pod względem występujących form korytowych. Brzegi mają charakter naturalny. Na wybranym odcinku występuje zabudowa w postaci wałów przeciwpowodziowych ograniczających wylew wód Wisły podczas wysokich przepływów. Charakterystyczne jest występowanie w obrębie aktywnego koryta licznych form korytowych w postaci stałych wysp – kęp (ustabilizowanych przez drzewa i krzewy) oraz odsypów piaszczystych (łach), zmieniających swoje wymiary i położenie w zależności od wcześniej zaistniałych warunków hydrologicznych (Żelazo 1997, Kot i Żelazo 2006). Na wschodnim (prawym), akumulacyjnym brzegu rzeki, na krawędzi doliny Wisły, znajduje się wieś Zakrzewo Kościelne, na zachodnim (lewym), erodowanym brzegu wieś Kępa Karolińska (Ryc. 8). W pobliżu występuje większa mezofорма korytowa – Kępa Środkowa. Pod względem fizycznogeograficznym stanowisko Kępa Polska położone jest w obrębie mezoregionu Kotlina Warszawska, administracyjnie należy do województwa mazowieckiego.

Lokalizacja i współrzędne punktów badawczych wskazanych na rycinie 8:

i) brzeg lewy, erozyjny	(BL)	52.24.647 N	19.58.419 E
ii) koryto	(CC)	52.24.840 N	19.59.097 E
iii) brzeg prawy, akumulacyjny	(BP)	52.24.862 N	19.59.217 E



Ryc. 7. Lokalizacja punktów poboru próbek osadów na tle profilu badawczego – stanowisko Kępa Polska.
Oznaczenia: BL – brzeg lewy, erozyjny, CC – centralna część koryta, BP – brzeg prawy, akumulacyjny

b) Toruń

Stanowisko badawcze Toruń zlokalizowane jest na odcinku uregulowanym, będącym pod wpływem działalności zapory wodnej we Włocławku, pomiędzy 724 a 725 km biegu Wisły (Ryc. 9). Regulacja koryta została dokonana w XIX wieku przez Prusaków, którzy wybudowali wały przeciwpowodziowe i ostrogi. Koryto posiada szerokość około 350 m, jest prostolinijne z naprzemianległym układem łąch skośnych i płos (Babiński i Grześ 1985, Starkel 2001). Występujące w pobliżu ostrogi są zniszczone, co wpływa na erozję brzegów Wisły na tym odcinku. Oba brzegi są dość wysokie, osiągają wysokości około 5-6 m przy niskich stanach wody. Na wschodnim (prawym) brzegu znajduje się położona przy drodze wojewódzkiej nr 654 wieś Grabowiec, na zachodnim (lewym) wieś Brzoza położona przy drodze krajowej nr 91 (Ryc. 9). W odległości około 500 m (na północ) w dół rzeki zlokalizowany jest most autostradowy im. Armii Krajowej (Autostrada Bursztynowa A1). Pod względem fizycznogeograficznym stanowisko położone jest w obrębie mezoregionu Kotlina Toruńska, administracyjnie należy do województwa kujawsko-pomorskiego.

Lokalizacja i współrzędne geograficzne punktów badawczych wskazanych na Rycinie 9:

- | | | | |
|--------------------------------|------|-------------|-------------|
| i) brzeg lewy, erozyjny | (BL) | 52.58.071 N | 18.41.954 E |
| ii) koryto | (CC) | 52.58.200 N | 18.42.151 E |
| iii) brzeg prawy, akumulacyjny | (BP) | 52.58.075 N | 18.42.292 E |



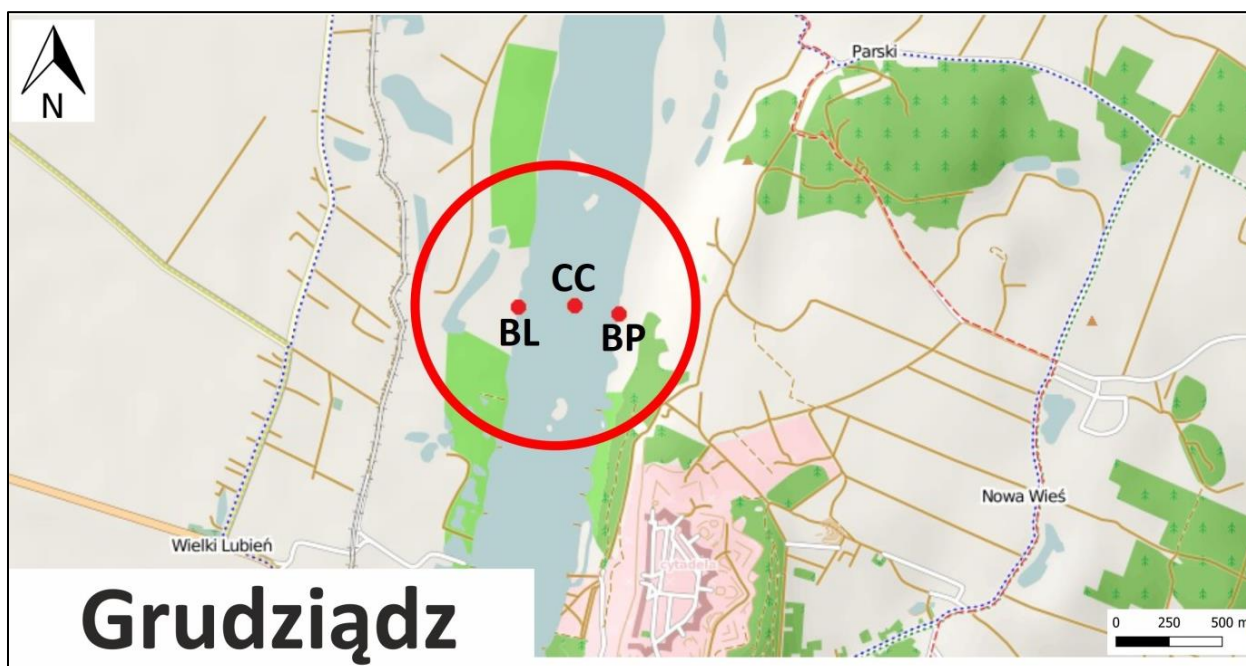
Ryc. 8. Lokalizacja punktów poboru próbek osadów na tle profilu badawczego – stanowisko Toruń. Oznaczenia: BL – brzeg lewy, erozyjny, CC – centralna część koryta, BP – brzeg prawy, akumulacyjny

c) Grudziądz

Stanowisko badawcze Grudziądz znajduje się poza bezpośrednim oddziaływaniem zapory wodnej we Włocławku, tj. pomiędzy 838 a 839 km biegu rzeki (Ryc. 10). Koryto jest prostolinijne, uregulowane, o szerokości około 400 m, z łachami naprzemianległymi, skośnymi oraz centralnymi. Na wschodnim (prawym) brzegu znajduje się położona na wzgórzach morenowych Kępy Fortecznej miejscowość Nowa Wieś, na zachodnim (lewym) brzegu, za pasem starorzeczy o szerokości około 500 m odgradzonych wałem przeciwpowodziowym, wieś Wielki Lubień (Ryc. 10). W odległości około 650 m (na południe) w górę rzeki, na wschodnim (prawym) brzegu znajduje się Twierdza Grudziądz. Pod względem fizycznogeograficznym stanowisko położone jest w obrębie mezoregionu Kotliny Grudziądzkiej, administracyjnie należy do województwa kujawsko-pomorskiego.

Lokalizacja i współrzędne geograficzne punktów badawczych zaznaczonych na Rycinie 10:

i) brzeg lewy, erozyjny	(BL)	53.31.414 N	18.45.183 E
ii) koryto	(CC)	53.31.406 N	18.45.368 E
iii) brzeg prawy, akumulacyjny	(BP)	53.31.406 N	18.45.538 E



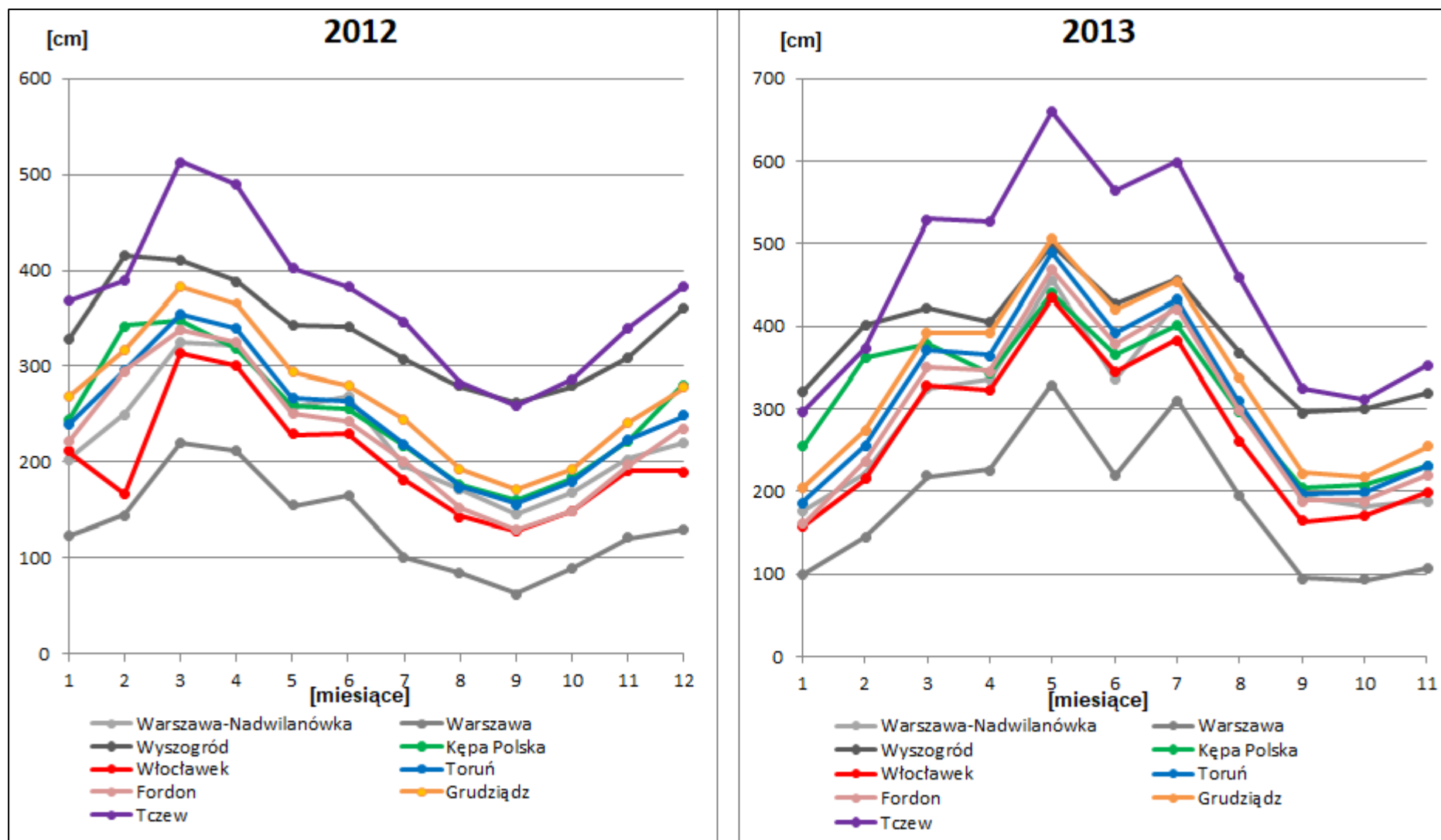
Ryc. 9. Lokalizacja punktów poboru próbek osadów na tle profilu badawczego – stanowisko Grudziądz. Oznaczenia: BL – brzeg lewy, erozyjny, CC – centralna część koryta, BP – brzeg prawy, akumulacyjny

4.2. Warunki hydrologiczne

W ujęciu hydrologicznym badania prowadzone były w obrębie dolnej Wisły. Zgodnie z Podziałem Hydrograficznym Polski (1983) powierzchnia dorzecza Wisły w profilu wodowskazowym Kępa Polska wynosi 168 956 km², w profilu wodowskazowym Toruń 180 390 km², zaś w profilu wodowskazowym Grudziądz 190 291 km².

Stany wody dolnej Wisły są uzależnione od przepływu, jak i zatorów śryżowych czy śryżowo-lodowych (Glazik 1978, Cyberski 1984, Babiński i Grześ 1995). Wysokie stany wody występujące w marcu lub kwietniu powoduje wczesnowiosenny spływ wód roztopowych, natomiast wyższe stany występujące w lipcu lub sierpniu to skutek krótkotrwałych opadów rozlewnych w górnej i środkowej części dorzecza. Najniższe stany wody (poniżej 200 cm) na dolnej Wiśle występują we wrześniu, październiku i listopadzie, przepływ wody w tym czasie wynosi około 300 m³·s⁻¹ (Cyberski 1982). Wybudowanie stopnia wodnego we Włocławku doprowadziło do zmniejszenia spadku zwierciadła wody i wahań zwierciadła wody w obrębie zbiornika oraz do zmian reżimu hydrologicznego poniżej zapory (Babiński 1982, 1992, Habel 2010).

Analizując średnie miesięczne stany wód Wisły dla 9 wodowskazów rozlokowanych wzdłuż badanego odcinka rzeki można zauważyć, iż w roku 2012 najwyższe ich wartości spowodowane spływem wód roztopowych, wystąpiły typowo, bo w marcu, a najniższe w miesiącu wrześniu (Ryc. 11). Z kolei rok 2013 był bardziej zróżnicowany pod względem opadów, co zaznaczyło się w postaci trzech wyraźnych wzrostów średnich miesięcznych stanów wody (w marcu, w maju i lipcu). Z analizy danych za lata 2012 i 2013 wynika, że największe amplitudy średnich miesięcznych stanów wód wystąpiły na posterunku wodowskazowym w Tczewie, a najniższe odnotowano natomiast na wodowskazie w Warszawie Port (Ryc. 11). Z analizy codziennych wartości stanów wody wynika, że najniższy stan wody o wartości 57 cm odnotowano 11-go września 2012 roku na wodowskazie Warszawa Port, a najwyższy stan wody, wynoszący 579 cm, odnotowano 6-go marca 2012 roku na wodowskazie Tczew. W roku 2013 najniższy stan wody wynoszący 80 cm odnotowano 31-go sierpnia na wodowskazie Warszawa Port, a najwyższy stan natomiast 20-go kwietnia na wodowskazie Tczew, wyniósł on 834 cm. Z analizy codziennych wartości przepływów wynika, że maksymalne natężenie przepływu zanotowano 9-go marca 2012 roku na wodowskazie Tczew i wyniosło 1810 m³·s⁻¹. Minimalny przepływ wyniósł 178 m³·s⁻¹ i został zanotowany 18-go września 2012 roku na wodowskazie Warszawa – Nadwilanówka. W roku 2013 maksymalny przepływ wystąpił 24-go kwietnia na wodowskazie Grudziądz osiągając wartość 3820 m³·s⁻¹. Minimalny przepływ odnotowano 10-go września na wodowskazie Warszawa- Nadwilanówka i wyniósł on 244 m³·s⁻¹.

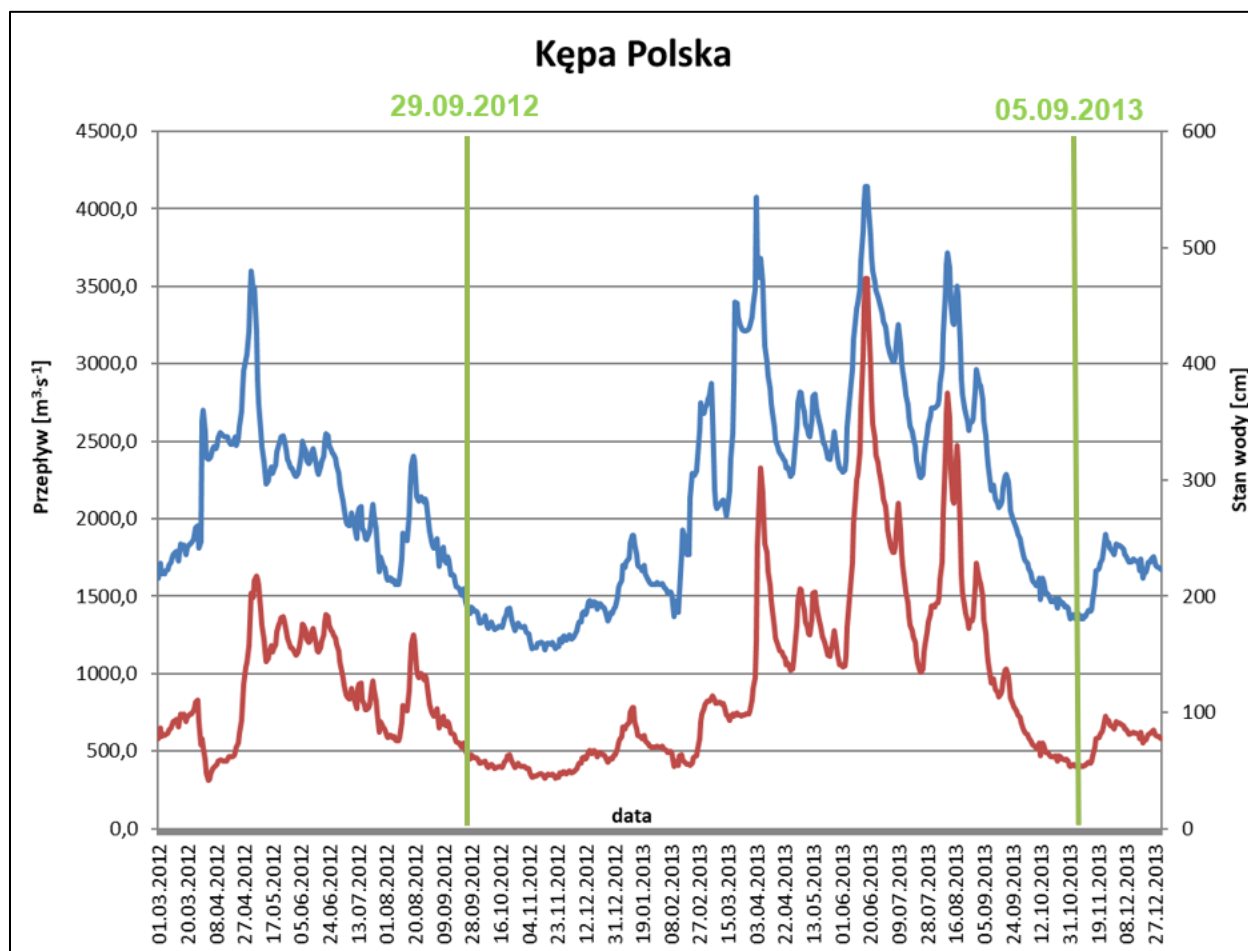


Ryc. 10. Przebieg średnich miesięcznych stanów wody dolnej Wisły. Opracowanie na podstawie danych IMGW-PIB w Warszawie

Analiza szczegółowa warunków hydrologicznych dla omawianych w pracy trzech stanowisk badawczych przedstawia się następująco:

a) Stanowisko Kępa Polska

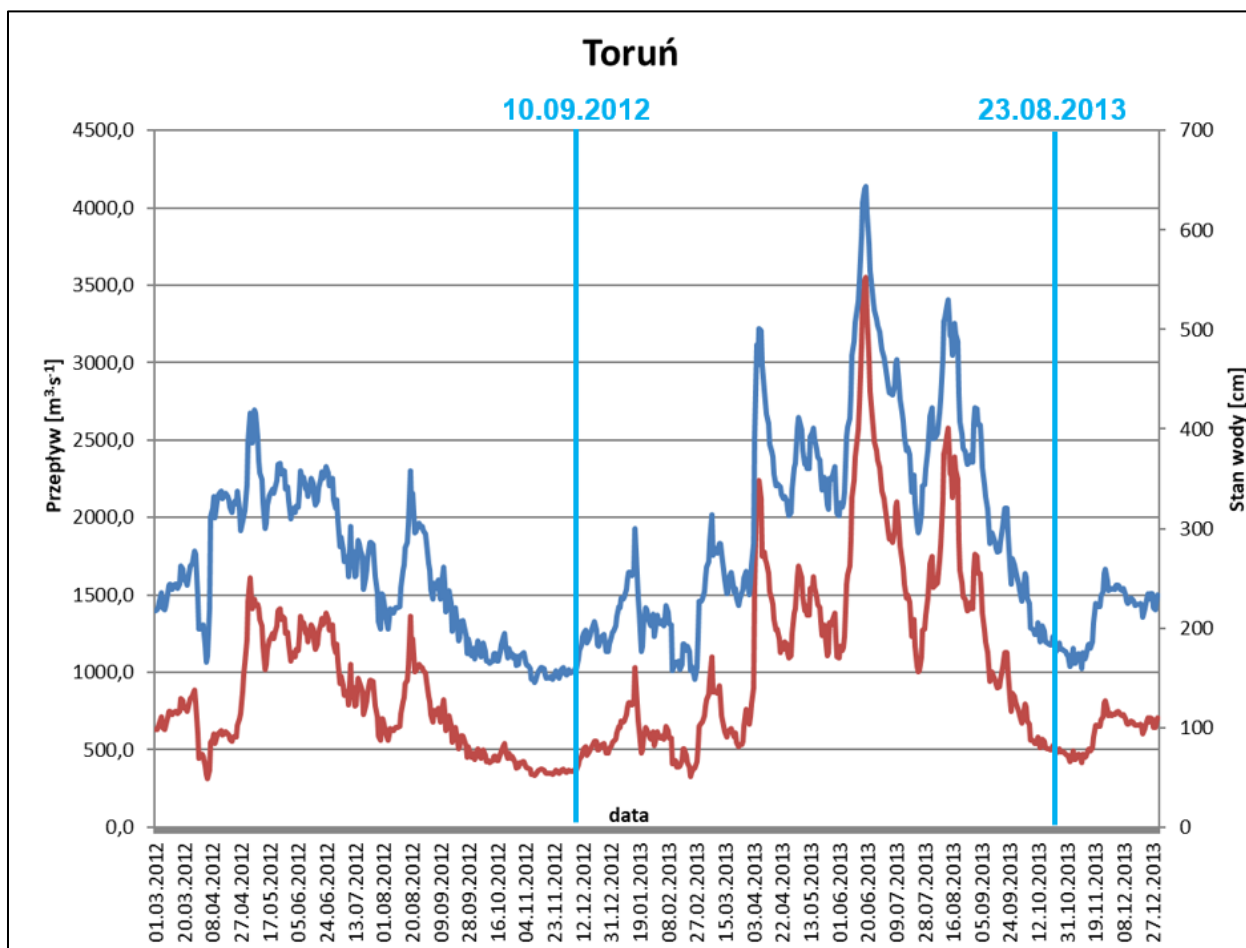
W analizowanym okresie dobowe wahania stanów wody na stanowisku Kępa Polska mieściły się w przedziale od 154 do 553 cm, a przepływ w granicach od 327 do 3550 m³·s⁻¹ (Ryc. 12). Maksymalny przepływ w roku 2012 wystąpił 7-go marca i wyniósł 1610 m³·s⁻¹, w roku 2013 największą wartość wynoszącą 3550 m³·s⁻¹ osiągnął 17-go kwietnia. Najniższy przepływ w roku 2012 wynoszący 308 m³·s⁻¹ odnotowano 3-go lutego, w roku 2013 natomiast najniższa wartość wystąpiła 8-go września i wynosiła 398 m³·s⁻¹. Poboru próbek osadów w roku 2012 dokonano 29-go września, przy stanie wody wynoszącym zaledwie 157 cm na wodowskaziu Kępa Polska. W 2013 próbki z brzegów pobrano 5-go września przy stanie wody Wisły 181 cm (Tab. 3).



Ryc. 11. Hydrogram przebiegu stanów wód Wisły na wodowskaziu Kępa Polska w roku hydrologicznym 2012 i 2013. Opracowano na podstawie danych IMGW – PIB w Warszawie. Pionowe linie oznaczają terminy pobierania próbek.

b) Stanowisko Toruń

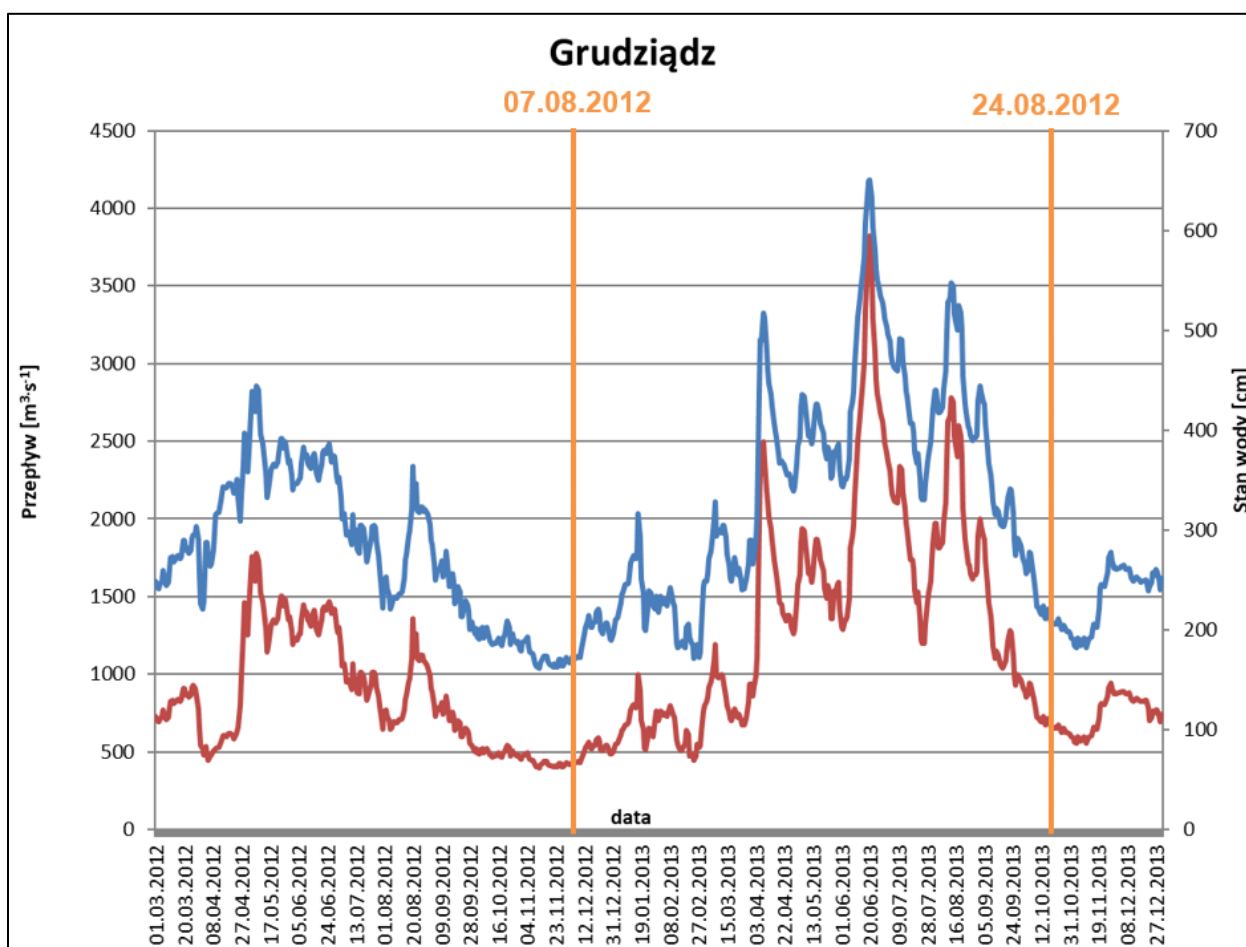
W analizowanym okresie dzienne wahania stanów wody na stanowisku Toruń mieściły się w przedziale od 166 do 644 cm, a przepływy wód w granicach 312 – 3550 m³·s⁻¹ (Ryc. 13). W roku hydrologicznym 2012 maksymalny przepływ wystąpił 5-go marca i wyniósł 1480 m³·s⁻¹, największą wartość w roku 2013 wynoszącą 3550 m³·s⁻¹ osiągnął 19-go kwietnia. W roku 2012 najniższy przepływ wynoszący 312 m³·s⁻¹ odnotowano 5-go lutego, w roku 2013 natomiast najniższa wartość wystąpiła 10-go września i wynosiła 417 m³·s⁻¹. Poboru próbek w roku 2012 dokonano dwukrotnie przy stanie wody wynoszącym 173 cm (2-go sierpnia) oraz 145 cm (10-go września). Do badań wykorzystano próbki pobrane we wrześniu. Pobór próbek w roku 2013 dokonano 23-go sierpnia, przy stanie wody wynoszącym 185 cm (Tab. 3).



Ryc. 12. Hydrogram przebiegu stanów wód Wisły na wodowskazie Toruń w roku hydrologicznym 2012 i 2013. Opracowano na podstawie danych IMGW – PIB w Warszawie. Pionowe linie oznaczają terminy pobierania próbek.

c) Stanowisko Grudziądz

W analizowanym okresie dzienne wahania stanów wody na stanowisku Grudziądz mieściły się w przedziale od 166 do 644 cm, a przepływy wód w granicach 400-3820 m³·s⁻¹ (Ryc. 14). Maksymalny przepływ w roku 2012 odnotowano 8-go marca o wartości 1780 m³·s⁻¹, w roku 2013 wartość największa przepływu wystąpiła 24-go kwietnia i wynosiła 3820 m³·s⁻¹. Najniższy przepływ w roku 2012 wyniósł 400 m³·s⁻¹ odnotowano 12-go września, natomiast w roku 2013 najniższa wartość wystąpiła 11-go września i wynosiła 557 m³·s⁻¹. Poboru próbek w roku 2012 dokonano dwukrotnie 7-go sierpnia przy stanie wody wynoszącym 197 cm oraz 13-go października przy stanie wody wynoszącym 203 cm. Do badań wykorzystano jedynie próbki pobrane w październiku. W roku 2013 poboru próbek dokonano 24-go sierpnia, przy stanie wody na wodowskazie Grudziądz 208 cm (Tab. 3).



Ryc. 13. Hydrogram przebiegu stanów wód Wisły na wodowskazie Grudziądz w roku hydrologicznym 2012 i 2013. Opracowano na podstawie danych IMGW – PIB w Warszawie. Pionowe linie oznaczają terminy pobierania próbek.

Tab. 3. Stan wody oraz przepływ wód dla profili stanowisk badawczych w momencie poboru próbek

Stanowisko	Rok hydrologiczny	Stan wody [cm]*	Przepływ [m ³ s ⁻¹]	Rok kalendarzowy
Kępa Polska	2012-11-24	157 (154)	335	2012-09-24
Kępa Polska	2013-11-05	181 (181)	399	2013-09-05
Toruń	2012-10-02	173 (145)	454	2012-08-02
Toruń	2012-11-10	145 (145)	331	2012-09-10
Toruń	2013-10-23	185 (159)	509	2013-08-23
Grudziądz	2012-10-07	197 (162)	507	2012-08-07
Grudziądz	2012-12-13	203 (162)	527	2012-10-13
Grudziądz	2013-10-24	208 (182)	661	2013-08-24

* W nawiasie podano najniższy stan wody w roku kalendarzowym

Analizując stany wody oraz przepływy dobowe dla profilu rzeki w stanowiskach badawczych stwierdzono niewielkie zróżnicowanie pod względem terminów występowania i czasów trwania wezbrań i ekstremalnie niskich przepływów. Wpływ zabudowy regulacyjnej koryta warunkuje z kolei zróżnicowanie przepływu wody w korycie Wisły, które omówiono w rozdziale 2.2.

4.3. Tekstura osadów

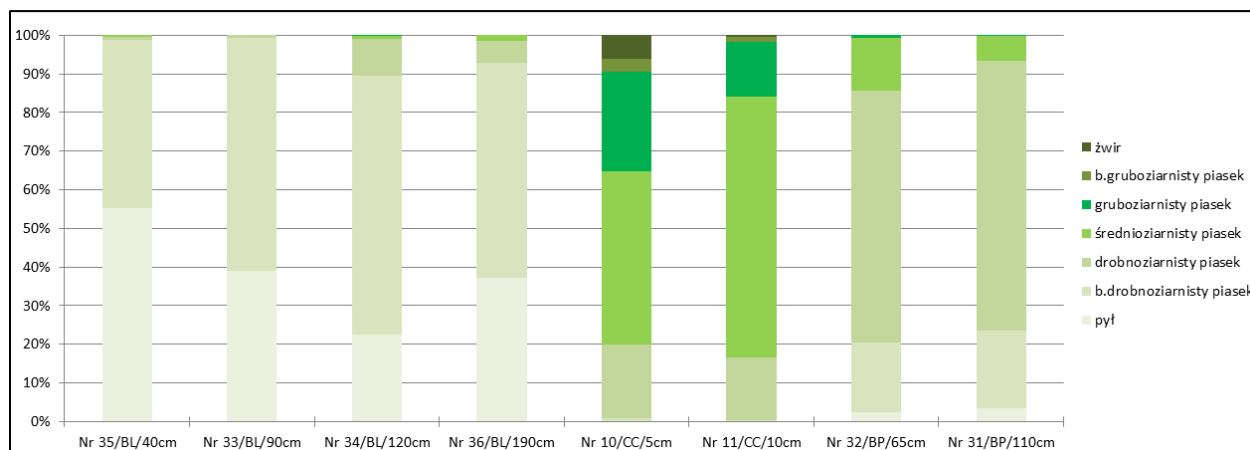
Cechy teksturalne osadu, rozumiane jako uziarnienie osadu, obróbka ziaren, zmatowienie, skład mineralogiczny i petrograficzny, dostarczają cennych informacji o warunkach środowisk, w których były deponowane (Mycielska-Dowgiałło 1995). W przypadku osadów rzecznych cechy teksturalne stanowią istotną informację o dynamice przepływu wody i transportu materiału.

a) Stanowisko Kępa Polska

Uziarnienie

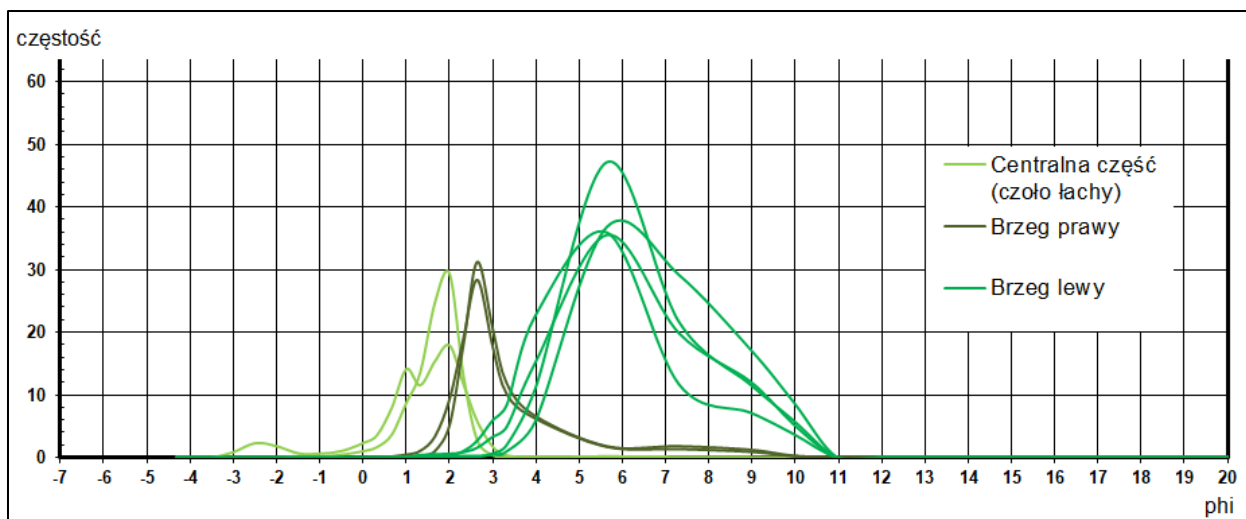
Osady pobrane ze stanowiska Kępa Polska pod względem uziarnienia charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem. W pobranych próbkach występują frakcje od żwirowej po pyłową. Frakcja żwirowa pojawia się tylko w próbkach pobranych ze strefy korytowej, z form śródkorytowych (Ryc. 15). W badanych próbkach największy odsetek stanowi frakcja piasku średnioziarnistego, mieszcząca się w przedziale 0,25-0,315 mm. Próbkę pobrane ze strefy pozakorytowej (brzegów) różnią się znacznie między sobą pod względem uziarnienia. Działalność erozyjna rzeki – erozja boczna spowodowała, iż lewy brzeg (stromy) jest podcinany przez nurt przemieszczający się od jednego brzegu do drugiego. Woda w korycie przy brzegu lewym płynie szybciej, podczas gdy na prawym brzegu (płaskim) odbywa się proces akumulacji aluwii, woda w tym miejscu płynie najwolniej. Brzeg lewy charakteryzuje się wysoką

zawartością pyłów, największy odsetek stanowi frakcja piasku bardzo drobnoziarnistego mieszcząca się w przedziale 0,05-0,09 mm. Natomiast próbki pobrane z brzegu prawego wyróżniają się wysoką zawartością piasków drobnoziarnistych, przeważa frakcja piasków drobnoziarnistych z przedziału 0,16-0,2 mm



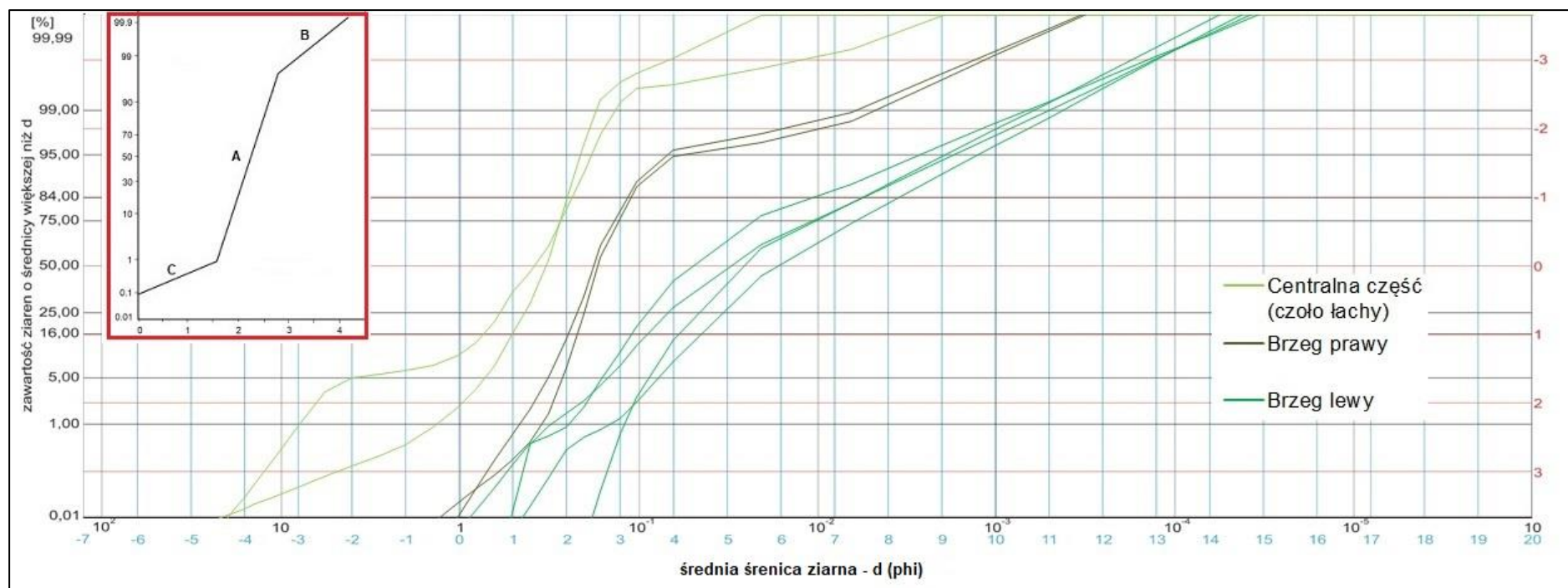
Ryc. 14. Procentowa zawartość poszczególnych frakcji w próbkach osadów Wisły – stanowisko Kępa Polska. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

Na wykreślonych krzywych częstości uziarnienia dla stanowiska Kępa Polska uwidaczniają się trzy mody odpowiadające wyznaczonym punktom badawczym. Osady śródkorytowe, pobrane z centralnej części, zbudowane są z ziaren grubszych – wartości phi dla tych osadów są najniższe (Ryc. 16). Osady pozakorytowe, pobrane z brzegów, charakteryzują się przewagą ziaren drobniejszych, wartości phi są większe. Pod względem wysortowania największym wysortowaniem charakteryzują się próbki pobrane z brzegu lewego posiadające znacznie większe wartości częstości od próbek pobranych w pozostałych punktach badawczych. W próbkach pobranych z brzegów widać dominację mody we frakcji drobniejszej, z wyraźną przewagą osadów drobniejszych w punkcie badawczym zlokalizowanym na brzegu lewym (Ryc. 16).



Ryc. 15. Krzywe częstości rozkładu uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Kępa Polska

Wykreślone krzywe kumulacyjne uziarnienia ukazują odcinki o mniej lub bardziej stromym przebiegu. Analizę krzywych wykonano wykorzystując metodę Vishera (1969), który wydzielił trzy odcinki odpowiadające trzem populacjom punktów: A – transport przez saltację, B – transport w zawiesinie, C – transport poprzez toczenie i wleczenie (Ryc. 17). Osady pozakorytowe, pobrane z brzegów, charakteryzują się dobrze wykształconą populacją B, populacja C jest słabo wykształcona, co świadczy o dużej energetyce środowiska. Populacja A wyraźniej wykształciła się w próbkach pobranych z brzegu prawego. W osadach śródkorytowych, pobranych z centralnej części, uwidacznia się populacja C – reprezentująca materiał transportowany w wyniku trakcji (Ryc. 17).



Ryc. 16. Krzywe kumulacyjne uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Kępa Polska. W czerwonej ramce przedstawiono wykres wyznaczony przez Visherę (1969), oznaczenia: A – transport przez saltację, B – transport w zawieszynie, C – transport poprzez toczenie i wleczenie

Wskaźniki uziarnienia wg wzorów Folka i Warda (1957)

Wartości średniej średnicy ziarna (Mz) mieszczą się w przedziale od 1,318 do 6,186 phi (Tab. 4). Dla próbek pobranych z brzegu lewego wartości Mz są najwyższe (od 4,721 do 6,186 phi), nieco niższe wartości Mz posiadają próbki pobrane z brzegu prawego (od 2,560 do 2,652 phi), najniższe wartości wskaźnika Mz posiadają próbki pobrane z form śródkorytowych (od 1,318 do 1,541 phi).

Stopień wysortowania osadów – odchylenie standardowe (δ) dla próbek pobranych z form śródkorytowych odpowiada umiarkowanej i słabej klasie wysortowania mieszczącej się w przedziale od 0,527 do 1,092 phi. Próbki ze strefy pozakorytowej charakteryzują się słabym (brzeg lewy) (od 1,675 do 1,934 phi) i umiarkowanym (brzeg prawy) wysortowaniem (od 0,590 do 0,618 phi).

Skośność rozkładu uziarnienia (Sk) dla próbek pobranych z form śródkorytowych przyjmuje wartości ujemne – rozkład jest ujemnie skośny (od -0,322 do -0,230). Próbki pobrane ze strefy pozakorytowej charakteryzują się bardzo dodatnią i dodatnią skośnością (od 0,127 do 0,368), świadcząca o wzbogacaniu materiału we frakcję drobniejszą i zmniejszenie udziału frakcji grubszych.

Kurtoza (Kg) – spłaszczenie rozkładu uziarnienia najwyższe wartości przyjmuje dla próbek pobranych z brzegu prawego (1,377 – próbka nr 31, 1,257 – próbka nr 32) oraz z form śródkorytowych (1,595 – próbka nr 10, 1,087 – próbka nr 11). W próbkach tych przeważa rozkład leptokurtyczny. Niskie wartości (rozkład mezokurtyczny) posiadają próbki pobrane z brzegu lewego (Tab. 4).

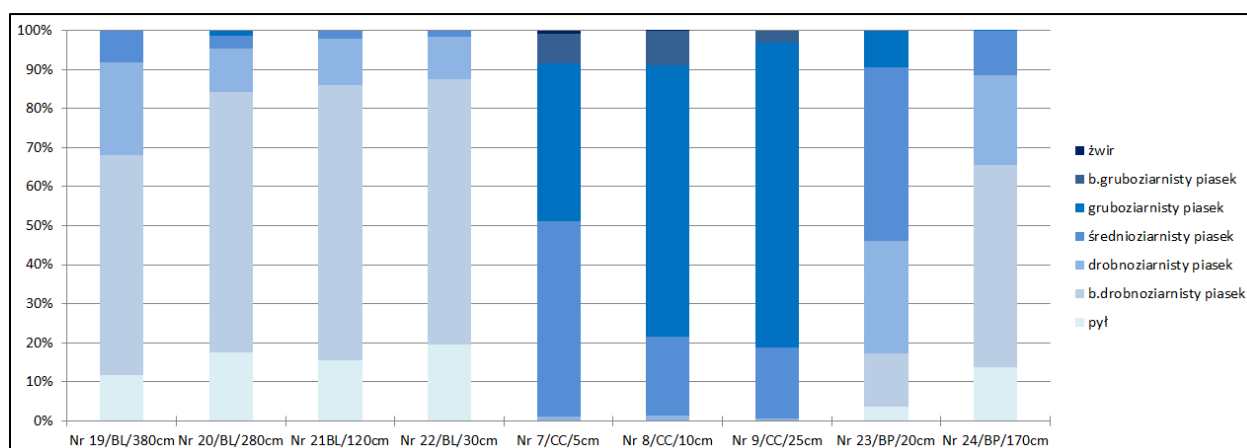
Tab. 4. Wskaźniki uziarnienia próbek osadów Wisły wg wzorów Folka i Warda (1957) na stanowisku Kępa Polska

PUNKT BADAWCZY	Brzeg lewy				Centralna część		Brzeg prawy	
	33	34	35	36	10	11	31	32
ŚREDNIA ŚREDNICA (Mz)	5,616	4,721	6,186	5,345	1,318	1,541	2,652	2,560
WYSORTOWNIE (δ)	1,675	1,751	1,725	1,934	1,092	0,527	0,590	0,618
SKOŚNOŚĆ (Sk)	0,319	0,368	0,127	0,241	-0,322	-0,230	0,282	0,186
KURTOZA (Kg)	0,937	1,213	0,757	0,908	1,595	1,087	1,377	1,257

b) Stanowisko Toruń

Uziarnienie

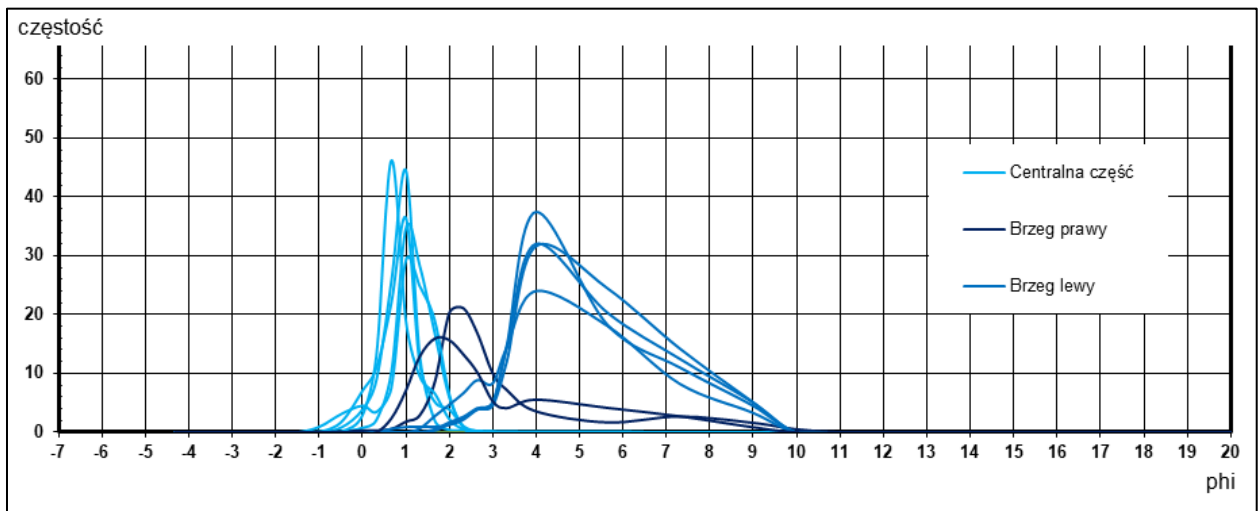
Osady pobrane ze stanowiska Toruń pod względem uziarnienia charakteryzują się nieco mniejszym zróżnicowaniem niż poprzednie stanowisko. W pobranych próbkach występują frakcje od żwirowej po pyłową. Frakcja żwirowa pojawia się w małych ilościach od 0,05 do 0,9%, tylko w próbkach pobranych z form śródkorytowych (Ryc. 18). Największy odsetek w grupie próbek pobranych ze strefy korytowej stanowi frakcja piasku gruboziarnistego, mieszcząca się w przedziale 0,5-0,63 mm. próbki pobrane ze strefy pozakorytowej (brzegów) różnią się znacznie między sobą pod względem uziarnienia. Brzeg lewy (stromy) podcinany jest przez nurt przemieszczający się od jednego brzegu do drugiego. Brzeg lewy charakteryzuje się wysoką zawartością pyłów, największy odsetek stanowi frakcja piasku bardzo drobnoziarnistego mieszcząca się w przedziale 0,09-0,1 mm. Natomiast próbki pobrane z brzegu prawego wyróżniają się wysoką zawartością piasków drobnoziarnistych, przeważa frakcja piasków drobnoziarnistych z przedziału 0,2-0,25 mm.



Ryc. 17. Procentowa zawartość poszczególnych frakcji próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Toruń. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

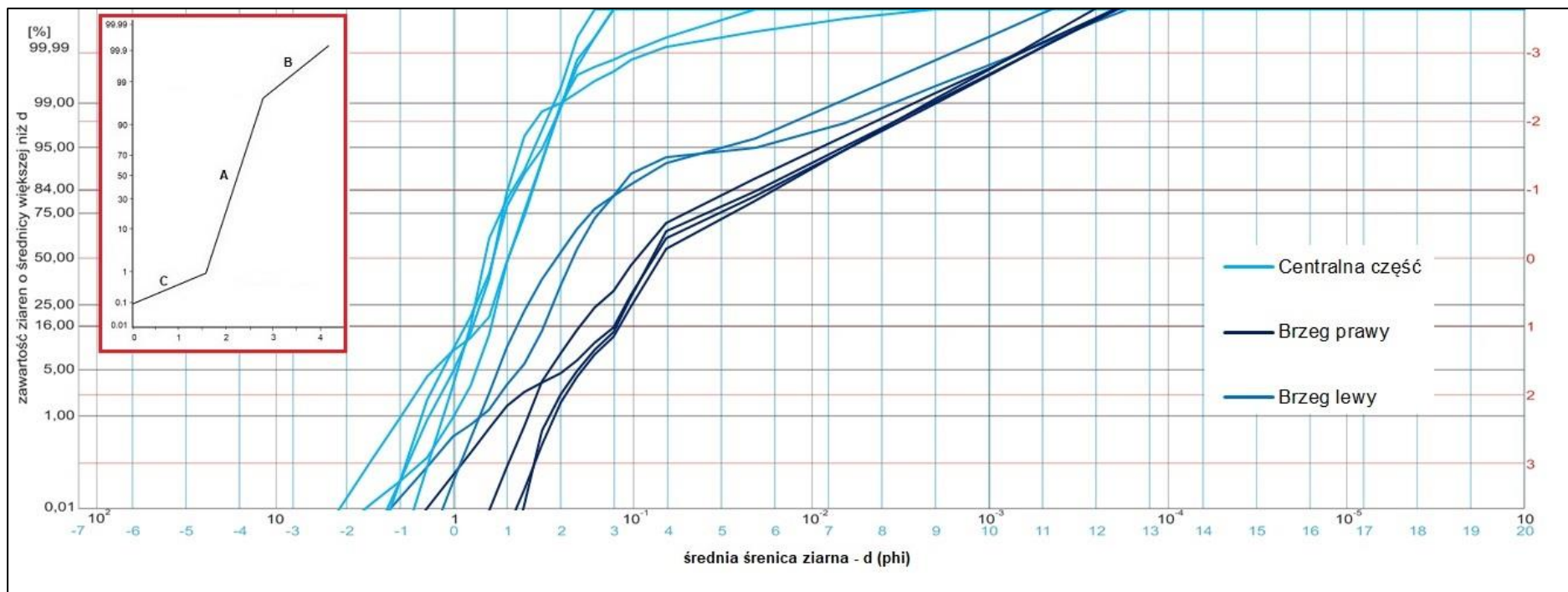
Na wykreślonych krzywych częstości uziarnienia dla stanowiska Toruń uwidaczniają się trzy mody odpowiadające wyznaczonym punktom badawczym. Osady śródkorytowe, pobrane z centralnej części, składają się z ziaren grubszych, charakteryzują się również najlepszym stopniem wysortowania (Ryc. 19). Osady pozakorytowe, pobrane z brzegów, charakteryzują się przewagą ziaren drobniejszych. Pod względem wysortowania najsłabsze wysortowanie posiadają próbki pobrane z brzegu prawego wykazujące znacznie niższe wartości częstości od próbek pobranych w pozostałych punktach badawczych. W próbkach pobranych z osadów

pozakortowych widać dominację mody we frakcji drobniejszej, z wyraźną przewagą osadów drobniejszych w punkcie badawczym zlokalizowanym na brzegu lewym (Ryc. 19).



Ryc. 18. Krzywe częstości rozkładu uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły - stanowisko Toruń.

Analizując wykreślone krzywe w oparciu o metodę Vishera (1969), zauważyć można bardzo stromą krzywą dla osadów pobranych z centralnej części, uwidacznia się jedynie populacja B – charakteryzująca transport w zawieszynie. W przypadku osadów pobranych z brzegów, charakteryzują się one dobrze wykształconą populacją B, populacja C jest słabo widoczna, bądź przechodzi bezpośrednio w populację A (Ryc. 20).



Ryc. 19. Krzywe kumulacyjne uziarnienia (krzywe Vishera) próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Toruń. W czerwonej ramce przedstawiono wykres wyznaczony przez Vishera (1969), oznaczenia: A – transport przez saltację, B – transport w zawieszynie, C – transport poprzez toczenie i wleczenie

Wskaźniki uziarnienia wg wzorów Folka i Warda (1957)

Wartości średniej średnicy ziarna (Mz) mieszczą się w przedziale od 0,662 do 4,335 phi (Tab. 5). Dla próbek pobranych z brzegu lewego wartości Mz są najwyższe (od 3,678 do 4,335 phi), nieco niższe wartości Mz posiadają próbki pobrane z brzegu prawego (od 2,062 do 3,693 phi), najniższe wartości wskaźnika Mz posiadają próbki pobrane z form śródkorytowych (od 0,662 do 1,011 phi).

Stopień wysortowania osadów – odchylenie standardowe (δ) dla próbek pobranych z form śródkorytowych odpowiada dobrej i umiarkowanej klasie wysortowania (od 0,421 do 0,580 phi). Próbki ze strefy pozakorytowej charakteryzują się słabym (brzeg lewy od 1,386 do 1,518 phi) oraz umiarkowanym i słabym (brzeg prawy od 1,136 do 1,648 phi) wysortowaniem.

Skośność rozkładu uziarnienia (Sk) dla próbek pobranych z form śródkorytowych przyjmuje wartości najniższe, w większości przypadków ujemne. Próbki pobrane ze strefy pozakorytowej charakteryzują się bardzo dodatnią i dodatnią skośnością (od 0,287 do 0,466).

Kurtoza (Kg) – spłaszczenie rozkładu uziarnienia przyjmuje wartości od 1,056 do 1,477. Próbki z form śródkorytowych i z brzegu lewego w większości przypadków przyjmują rozkład leptokurtyczny. Natomiast próbki pobrane z brzegu prawego posiadają rozkład leptokurtyczny i bardzo leptokurtyczny (Tab. 5).

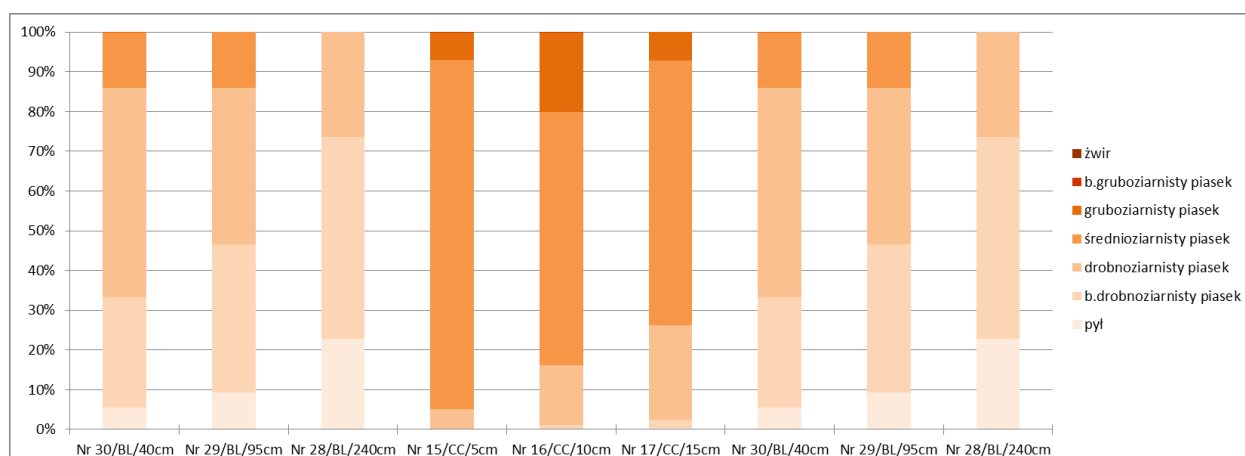
Tab. 5. Wskaźniki uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły wg wzorów Folka i Warda (1957) na stanowisku Toruń

PUNKT BADAWCZY	Brzeg lewy				Centralna część			Brzeg prawy	
	19	20	21	22	7	8	9	23	24
ŚREDNIA ŚREDNICA (Mz)	3,678	4,204	4,118	4,335	1,011	0,703	0,702	2,062	3,693
WYSORTOWNIE (δ)	1,506	1,518	1,386	1,495	0,580	0,532	0,355	1,136	1,648
SKOŚNOŚĆ (Sk)	0,317	0,430	0,466	0,448	-0,149	-0,078	-0,183	0,351	0,287
KURTOZA (Kg)	1,246	1,183	1,299	1,056	1,439	1,403	1,133	1,477	1,095

c) Stanowisko Grudziądz

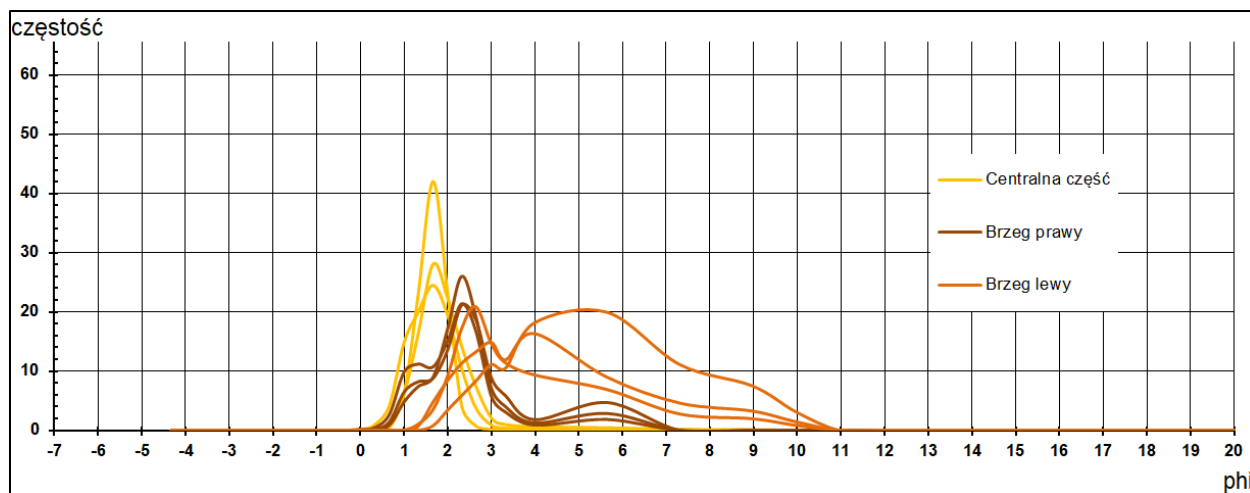
Uziarnienie

Osady pobrane ze stanowiska Grudziądz pod względem uziarnienia charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem pomiędzy frakcjami piasku i pyłu. W żadnej z pobranych próbek nie odnotowano frakcji żwirowej (Ryc. 21). Osady strefy korytowej, w kompozycji form śródkorytowych, w większości składają się z piasku średnioziarnistego mieszczącego się w przedziale 0,315-0,4 mm. Próbkę pobraną ze strefy pozakorytowej (brzegów) różnią się znacznie między sobą pod względem uziarnienia. Również na tym stanowisku lewy brzeg (stromy) jest podcinany przez nurt przemieszczający się od jednego brzegu do drugiego. Brzeg lewy charakteryzuje się wysoką zawartością pyłów, największy odsetek stanowi frakcja piasku bardzo drobnoziarnistego mieszcząca się w przedziale 0,09-0,1 mm. Natomiast próbki pobrane z brzegu prawego wyróżniają się wysoką zawartością piasków drobnoziarnistych, przeważa w nich frakcja piasków drobnoziarnistych z przedziału 0,2-0,25 mm (Ryc. 21).



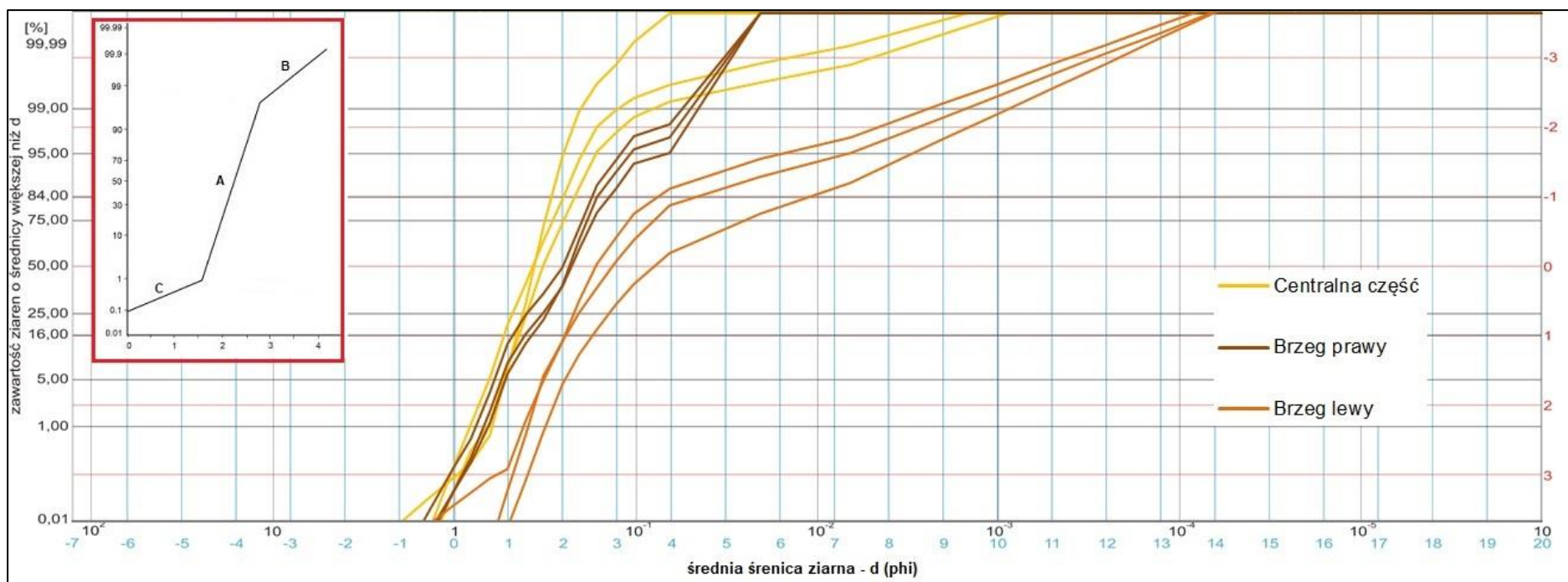
Ryc. 20. Procentowa zawartość poszczególnych frakcji w próbkach osadów rzeki Wisły - stanowisko Grudziądz. Oznaczenia: CC - centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

Na wykreślonych krzywych częstości uziarnienia dla stanowiska Grudziądz uwidaczniają się trzy mody odpowiadające wyznaczonym punktom badawczym. Osady śródkorytowe, pobrane z centralnej części, zbudowane są z ziaren grubszych – wartości phi dla tych osadów są najniższe. Osady pozakorytowe, pobrane z brzegów, charakteryzują się przewagą ziaren drobniejszych, wartości phi są większe. Pod względem wysortowania największym wysortowaniem charakteryzują się próbki pobrane z środkowej części, posiadające znacznie większe wartości częstości od próbek pobranych z brzegów (Ryc. 22).



Ryc. 21. Krzywe częstości rozkładu uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Grudziądz

Analizując krzywe kumulacyjne wykorzystując metodę Vishera (1969), osady pozakorytowe, pobrane z brzegów, charakteryzują się dobrze wykształconą populacją B (populacja zawieszinowa), populacja C przechodzi bezpośrednio w populację A, ukazując odcinek o stromym przebiegu. Krzywa dla osadów pobranych z brzegu prawego również ma stromy przebieg dla populacji A i C, widoczne jest załamanie rozdzielające populacje A i B. Populacja B najwyraźniej wykształciła się w próbkach pobranych z brzegu lewego (Ryc. 23).



Ryc. 22. Krzywe kumulacyjne uziarnienia (krzywe Visher) – stanowisko Grudziądz. W czerwonej ramce przedstawiono wykres wyznaczony przez Visher (1969), oznaczenia: A – transport przez saltację, B – transport w zawieszynie, C – transport poprzez toczenie i wleczenie

Wskaźniki uziarnienia wg wzorów Folka i Warda (1957)

Wartości średniej średnicy ziarna (Mz) mieszczą się w przedziale od 1,459 do 4,248 phi (Tab. 6). Dla próbek pobranych z brzegu lewego wartości Mz są najwyższe (od 2,795 do 4,248 phi), nieco niższe wartości Mz posiadają próbki pobrane z brzegu prawego (od 1,879 do 2,110 phi), najniższe wartości wskaźnika Mz posiadają próbki pobrane z form śródkorytowych (od 1,0459 do 1,684 phi).

Stopień wysortowania osadów – odchylenie standardowe (δ) dla próbek pobranych z form śródkorytowych odpowiada umiarkowanej i bardzo dobrej klasie wysortowania (od 0,348 do 0,538 phi). Próbki ze strefy pozakorytovej charakteryzują się słabym (brzeg lewy od 1,080 do 1,978 phi) oraz umiarkowanym (brzeg prawy od 0,652 do 0,848 phi) wysortowaniem.

Skośność rozkładu uziarnienia (Sk) dla próbek pobranych z form śródkorytowych przyjmuje rozkład symetryczny bądź prawoskośny (od -0,034 do 0,112). Próbki pobrane ze strefy pozakorytovej dla brzegu prawego charakteryzują się symetrycznością rozkładu, skośność przyjmuje ujemne, niskie wartości (od -0,156 do 0,005). Próbki pobrane z brzegu lewego charakteryzują się wysokimi wartościami i przyjmuje rozkład bardzo dodatnio skośny.

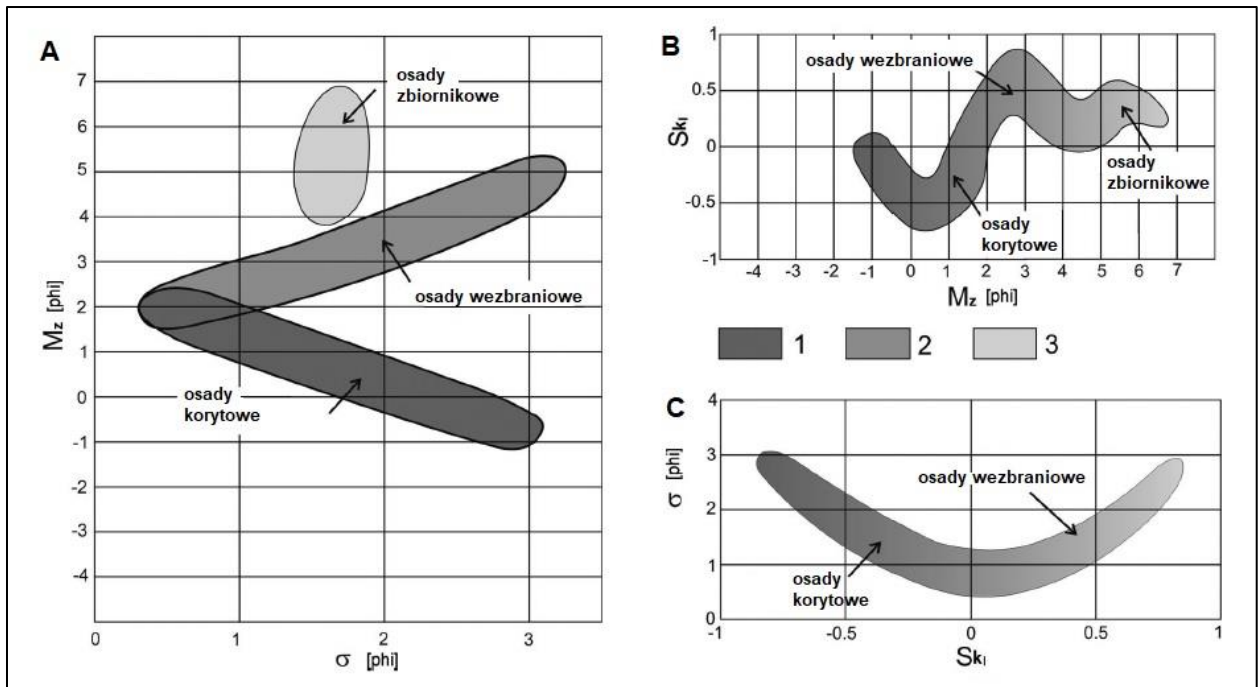
Kurtoza (Kg) – spłaszczenie rozkładu uziarnienia przyjmuje wartości od 0,928 do 1,723. Mezokurtyczny rozkład przyjmują próbki z form śródkorytowych, rozkład leptokurtyczny posiadają próbki z brzegu prawego, natomiast próbki z brzegu lewego przyjmują rozkład bardzo leptokurtyczny (Tab. 6).

Tab. 6. Wskaźniki uziarnienia wg wzorów Folka i Warda (1957) próbek osadów z rzeki Wisły nastanowisku Grudziądz

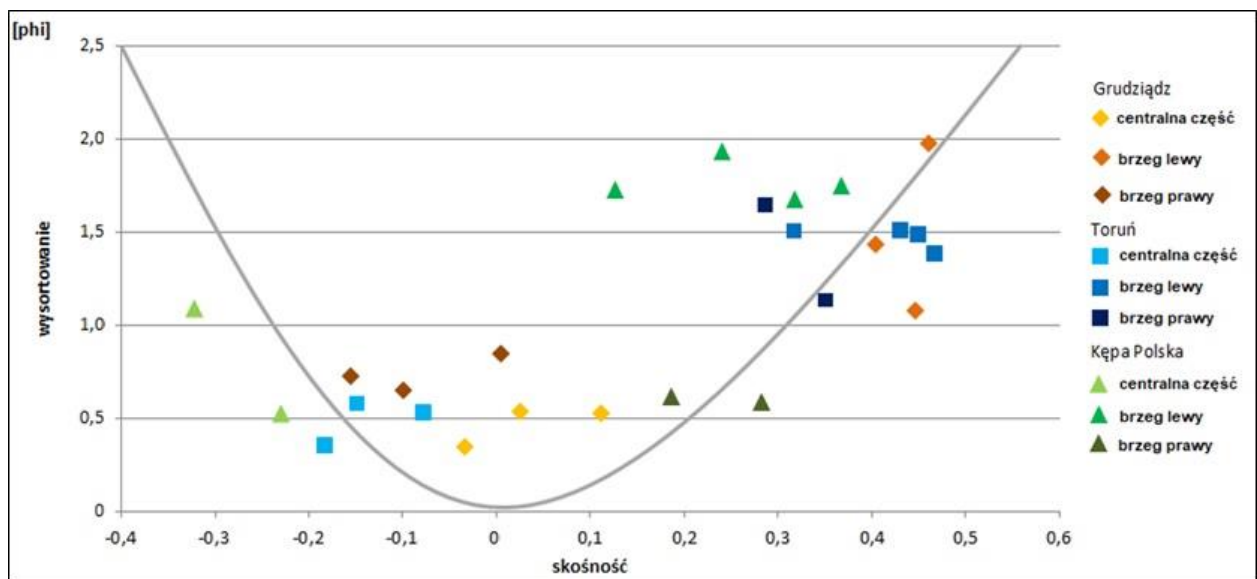
PUNKT BADAWCZY	Brzeg lewy			Centralna część			Brzeg prawy		
	28	29	30	4	5	15	25	26	27
ŚREDNIA ŚREDNICA (Mz)	4,248	3,131	2,795	1,459	1,684	1,486	2,063	2,110	1,879
WYSORTOWNIE (δ)	1,978	1,435	1,080	0,538	0,528	0,348	0,652	0,848	0,727
SKOŚNOŚĆ (Sk)	0,461	0,404	0,446	0,025	0,112	-0,034	-0,099	0,005	-0,156
KURTOZA (Kg)	1,058	1,630	1,723	0,929	1,042	0,999	1,245	1,355	0,928

4.3.1. Relacje między wskaźnikami uziarnienia

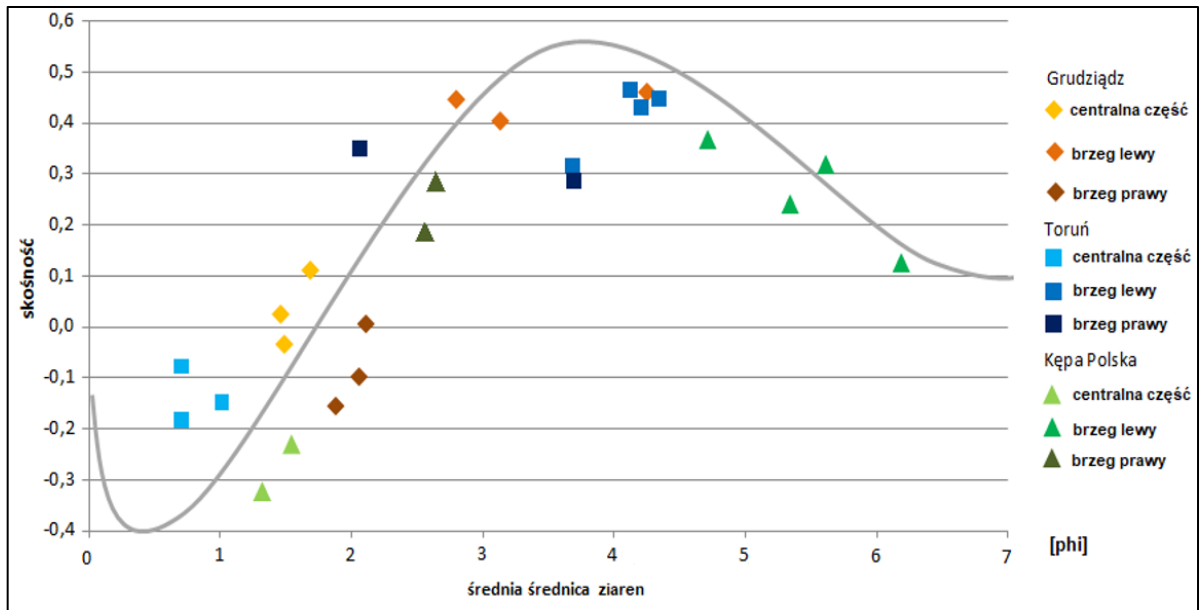
Istotnych wniosków o depozycji aluwiiów dostarczają wykresy zależności wskaźników uziarnienia (Ryc. 24). Na ich podstawie można m.in. wyróżnić poszczególne środowiska sedymentacji (Friedman 1961, 1967, Royse 1968, Mycielska-Dowgiałło 1978, Ludwikowska-Kędzia 2000). Zestawienie skośności z odchyleniem standardowym (wysortowaniem) tworzy łącznie układ paraboli, na której po stronie lewej grupują się osady korytowe, a po prawej osady pozakorytowe. Przy lewym ramieniu paraboli znalazły się również osady pobrane z prawego brzegu na stanowisku Grudziądz, są to osady o ujemnej skośności i słabym wysortowaniu (Ryc. 24C, Ryc. 25). Zestawienie średniej średnicy ziaren ze skośnością prezentuje układ zbudowany z kilku fal (Ludwikowska-Kędzia 2000) (Ryc. 24B). Najniższa fala w obrębie ujemnych wartości skośności reprezentuje osady korytowe (tzw. facja korytowa), druga fala w obrębie dodatnich wartości skośności i wyższych wartości średniej średnicy ziarna obejmuje osady wezbraniowe (tzw. facji powodziowej). Ujemnymi wartościami skośności charakteryzują się także osady pobrane z brzegu prawego na stanowisku Grudziądz, w odróżnieniu od osadów korytowych posiadają wyższe wartości średniej średnicy ziarna – osad jest drobniejszy (Ryc. 26). W przypadku zestawienia wskaźnika odchylenia standardowego (wysortowania) ze wskaźnikiem średniej średnicy ziaren również można wydzielić osady facji korytowej i wezbraniowej (Ludwikowska-Kędzia 2000) (Ryc. 24A). Osady korytowe skupiają się między 0 a 2 phi w przypadku średniej średnicy ziarna oraz między 0 a 1 phi przy wysortowaniu. Osady wezbraniowe natomiast mają bardziej szeroki zakres, w przypadku średniej średnicy skupiają się między 2 a 5 phi, a w przypadku wysortowania między 1 a 2 phi. Osady pobrane z brzegu lewego na stanowisku Kępa Polska przyjmują cechy osadów zbiornikowych (Ryc. 27).



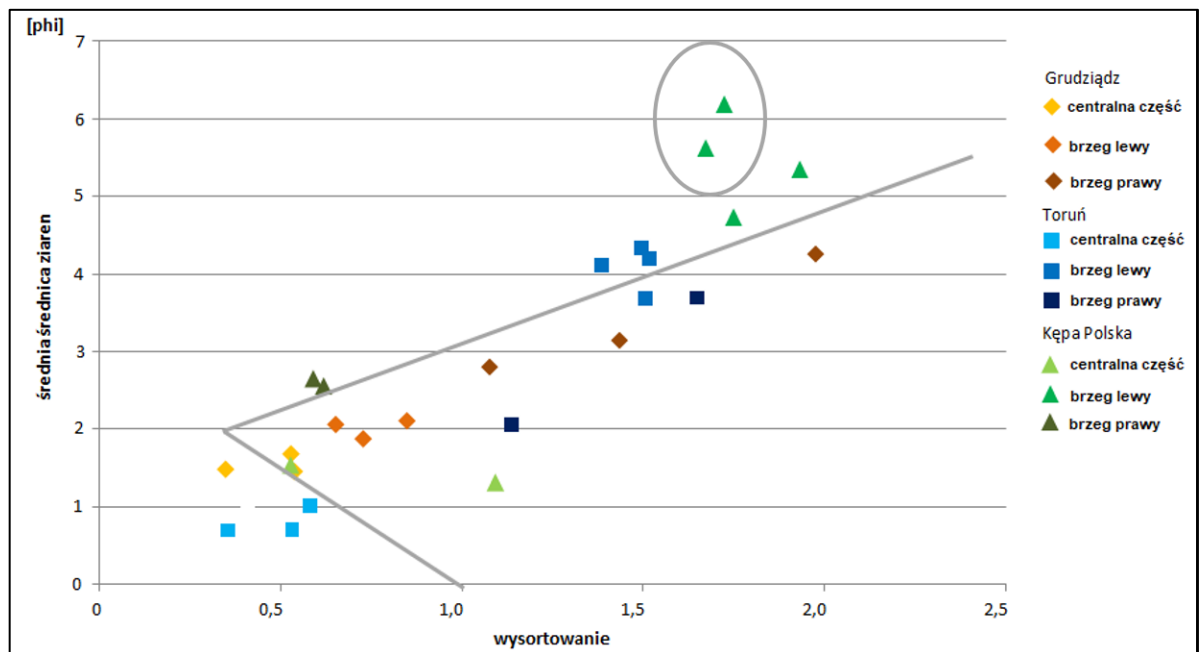
Ryc. 23. Wykresy zależności podstawowych wskaźników uziarnienia wg Folka i Warda (1957): 1 - osadów facji korytovej, 2 - osadów facji wezbraniowej, 3 - osadów facji zbiornikowej; A - wysortowania (δ) i średniej średnicy ziarna (M_z), B - średniej średnicy ziarna (M_z) i skośności (Sk_1), C - skośności (Sk_1) i wysortowania (δ) Środowiska dyspozycyjne wyznaczone za Ludwikowską-Kędzia (2000)



Ryc. 24. Wykres zależności wskaźników uziarnienia wysortowania do skośności wg Folka i Warda (1957) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły



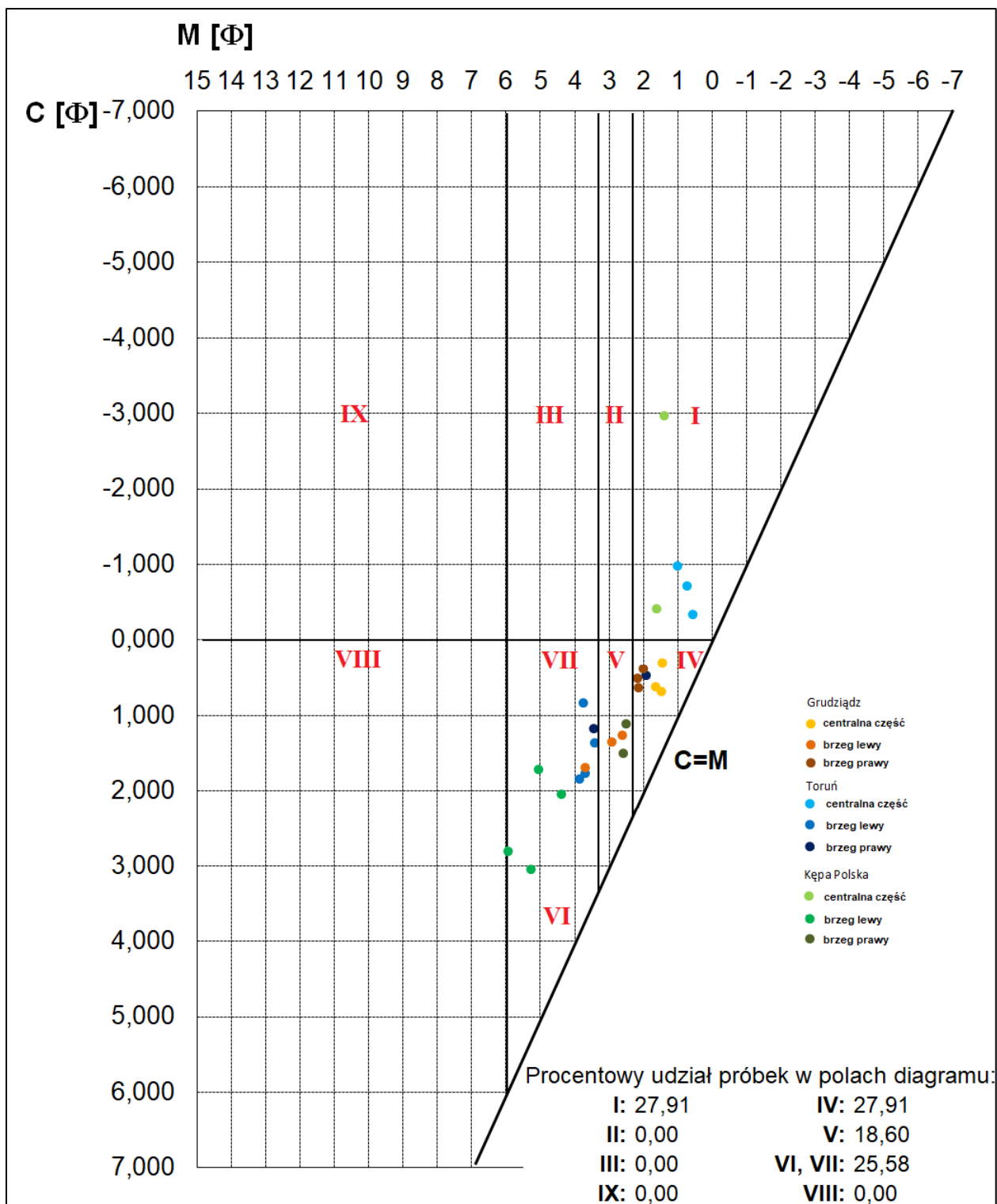
Ryc. 25. Wykres zależności wskaźników uziarnienia skośności do średniej średnicy ziaren wg Folka i Warda (1957) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły



Ryc. 26. Wykres zależności wskaźników uziarnienia średniej średnicy ziaren do wysortowania wg Folka i Warda (1957) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły

Najczęściej stosowanym diagramem do wnioskowania o dynamice środowiska rzeczno-jeziernego jest diagram C-M Passegi (1957, 1964). Z rozkładu uziarnienia porównuje się dwie wartości: medianę M (średniej średnicy ziarna) i pierwszy percentyl C, który wskazuje kompetencje środowiska transportowego. Diagram C-M podzielony jest na dziewięć pól charakteryzujących materiał powstały w różnych warunkach dynamicznych (Passega i Byramjee 1969) (Ryc. 28). Próbki osadów pobranych z dolnej Wisły koncentrują się przede wszystkim w polu I (27,91%)

wskazującym na przewagę trakcji w transporcie osadów oraz w polu IV (27,91%), które wykazuje na zawiesinę gradacyjną w warunkach dużej turbulencji. Próbki odpowiadające osadom pobranym z centralnych części koryta kumulują się w polu I, wyjątek stanowią osady pobrane ze stanowiska Grudziądz, które kumulują się w polu IV. W polu IV występują także osady pobrane ze stanowiska Grudziądz - brzeg prawy oraz brzeg prawy stanowiska Toruń. Na drugim miejscu osady koncentrują się w polu VII odpowiadającemu zawiesinie jednorodnej (25,58%). W polu tym znalazły się głównie osady pobrane z lewych brzegów stanowisk Toruń i Kępa Polska. Najmniejsza ilość osadów koncentruje się w polu V (18,60%), które odpowiada zawiesinie gradacyjnej transportowanej w warunkach umiarkowanej turbulencji. Znalazły się tu osady pobrane ze stanowiska Kępa Polska – brzeg prawy oraz stanowiska Grudziądz – brzeg lewy. W przypadku analizowanych osadów żadna z próbek nie znalazła się w polu II, III, VIII oraz IX.



Ryc. 27. Diagram C-M wg Passegi (1957, 1964) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły

4.4. Geochemia osadów

Pierwiastki śladowe (metale ciężkie) znajdujące się w wodach rzecznych są bardzo szybko akumulowane w osadach korytowych i pozakorytowych. W zatrzymywaniu metali ciężkich w osadach główną rolę odgrywają tlenki i wodorotlenki Fe-Mn, substancje organiczne i minerały ilaste (Karlsson i in 1988, Johnson 1986, Filipek i in. 1993, Helios-Rybicka 1986, Warren i Zimmerman 1994, Salomons 1995). Procesy fluwialne oraz regulacja koryta rzeki, w tym przegrodzenie zaporą we Włocławku, różnicują wielkość, tempo, natężenie i przestrzenne zróżnicowanie akumulacji aluwii, a tym samym zawartość pierwiastków w osadach (Cieszewski 1998, Ladd i in. 1998, Łajczak 2003, Kessel 2003).

Badana zmienność cech geochemicznych ujmowana jest w aspekcie przestrzennym, zarówno względem punktów jak i stanowisk badawczych. Przedstawione poniżej wyniki są indykatywne. Pomimo niewielkiej ilości próbek uzyskane wyniki pozwalają na dokonanie wstępnej charakterystyki poziomu stężeń pierwiastków w osadach korytowych i pozakorytowych wybranych stanowisk badawczych.

a) Stanowisko Kępa Polska

Wyniki analiz ogólnych:

(pH, przewodnictwo, zawartość materii organicznej, zawartość węglanu wapnia)

Wyniki pomiarów **pH** w badanych próbkach na stanowisku Kępa Polska wahają się od 7,23 do 8,65 przy pomiarach w H₂O, natomiast ich zakres przy pomiarach w KCl mieści się w przedziale od 6,57 do 7,82. Najniższe pH (7,23 – H₂O, 6,57 – KCl) odnotowano w próbce pobranej z brzegu lewego z wysokości 190 cm ponad zwierciadłem wody (Tab. 7, Ryc. 29).

Wielkość **przewodnictwa elektrolitycznego** zmienia się od 147,9 do 454 $\mu\text{s m}^{-1}$. Najniższe wartości odnotowano w próbkach pobranych z punktów badawczych zlokalizowanych na brzegu prawym (Tab. 7, Ryc. 29).

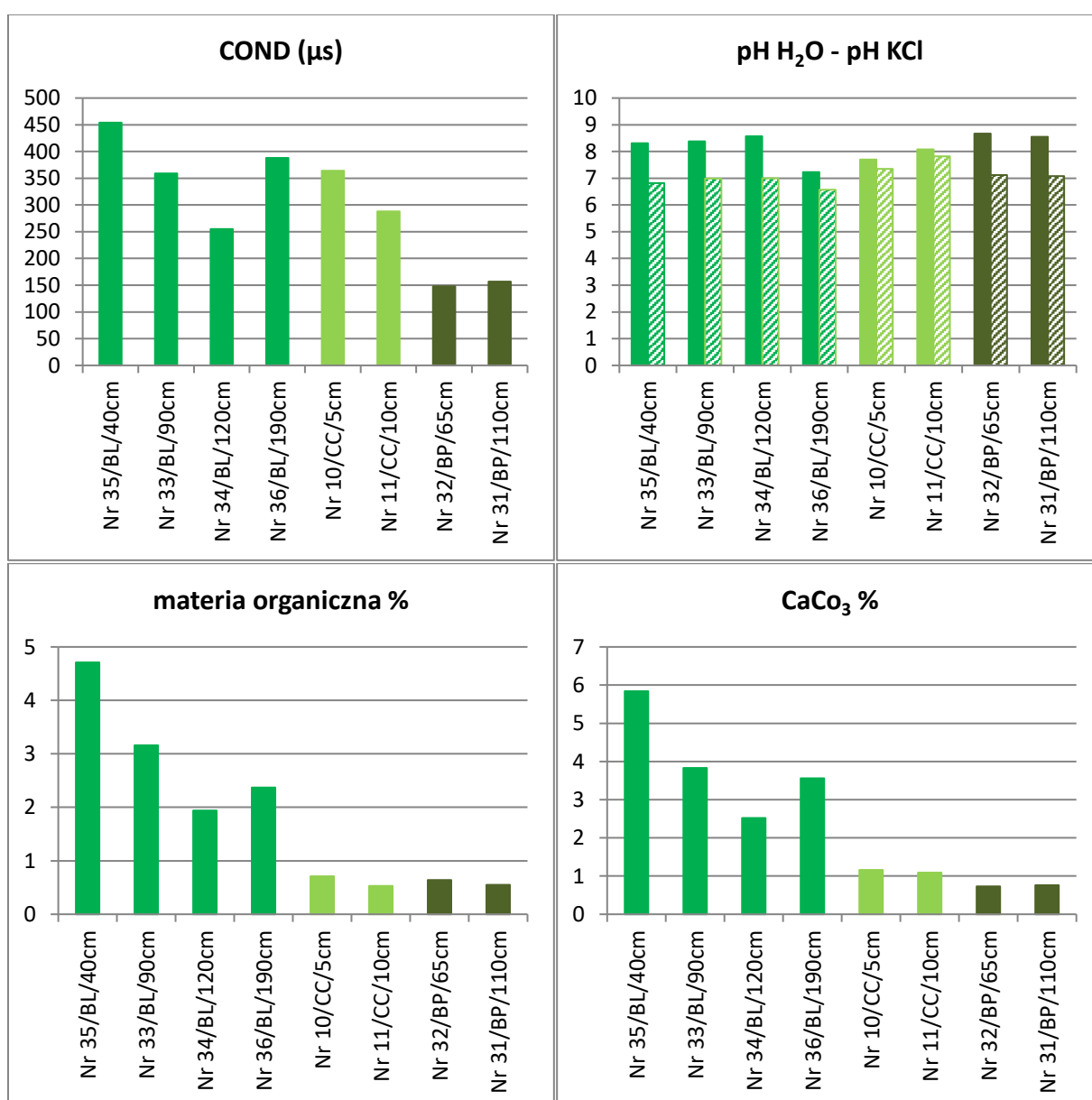
Zawartość **materii organicznej** w próbkach mieści się w zakresie od 0,53 do 4,71%. Najniższa procentowa zawartość występuje w próbkach pobranych z brzegu prawego, najwyższa natomiast w próbkach pobranych z brzegu lewego (Tab. 7, Ryc. 29).

Zawartość **węglanu wapnia** wykazuje duże zróżnicowanie względem punktów poboru, mieści się w zakresie od 0,73 do 5,84%. W próbkach pobranych z brzegu lewego procentowa zawartość węglanu jest znacznie wyższa niż w próbkach pobranych z brzegu prawego oraz centralnej części koryta (Tab. 7, Ryc. 29).

Tab. 7. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska

Nr próbki	COND (μs)	pH H ₂ O	pH KCl	Materia organiczna	CaCO ₃
Nr 35/BL/40 cm	454,0	8,31	6,82	4,71	5,84
Nr 33/BL/90 cm	359,0	8,38	6,99	3,16	3,83
Nr 34/BL/120 cm	255,0	8,57	7,00	1,94	2,52
Nr 36/BL/190 cm	388,0	7,23	6,57	2,37	3,56
Nr 10/CC/5 cm	364,0	7,70	7,35	0,71	1,16
Nr 11/CC/10 cm	288,0	8,08	7,82	0,53	1,09
Nr 32/BP/65 cm	147,9	8,67	7,12	0,64	0,73
Nr 31/BP/110 cm	156,7	8,55	7,08	0,55	0,76

Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.



Ryc. 28. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

Analizy szczegółowe

Metoda MP-AES (roztwór)

W pobranym materiale dokonano oznaczeń zawartość 20 pierwiastków: glin - Al, bor - B, bar - Ba, wapń - Ca, kadm - Cd, chrom - Cr, miedź - Cu, żelazo - Fe, gal - Ga, ind - In, potas - K, lit - Li, magnez - Mg, mangan - Mn, sód - Na, nikiel - Ni, ołów - Pb, stront - Sr, tal - Tl, cynk - Zn.

Zawartość pierwiastków tj. bor (B), gal (Ga) oraz ind (In) wynosiła poniżej 0,10 mg/kg dla każdej pobranej próbki. Zawartość niklu (Ni) w wartości większej niż 0,10 mg/kg odnotowano wyłącznie w próbkach pobranych w centralnej części koryta, natomiast zawartość talu (Tl) w wartości powyżej 0,10 mg/kg odnotowano wyłącznie w próbkach pobranych na brzegu lewym (Tab. 8).

Zawartość **glinu (Al)** w próbkach zmienia się w szerokim zakresie od 69 do 708 mg/kg. W próbce nr 33 zlokalizowanej na brzegu lewym, pobranej z wysokości 90 cm ponad zwierciadłem wody, zawartość glinu wynosi aż 708 mg/kg, przy czym zawartości glinu w pozostałych próbkach pobranych na tym brzegu nie przekraczała wartości 100 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

W większości próbek zawartość **baru (Ba)** kształtuje się w granicach 10-20 mg/kg. Wyjątek stanowi próbka nr 33 zlokalizowana na brzegu lewym, w której to zawartość baru wynosi 50 mg/kg – jest to najwyższa występująca wartość. Najniższą wartość odnotowano w próbce nr 11 pobranej w centralnej części koryta, na wysokości 10 cm ponad zwierciadłem wody (Tab. 8, Ryc. 30).

Wapń (Ca) w pobranych próbkach wykazuje znaczne zróżnicowanie, jego zawartość mieści się w przedziale od 256 do 6849 mg/kg. Najwyższą zawartość wapnia odnotowano w próbce nr 33 (6849 mg/kg), w pozostałych próbkach zlokalizowanych na brzegu lewym zawartość wapnia nie przekracza 350 mg/kg. W próbkach pobranych z centralnej części koryta wyższą wartość odnotowano w próbce zlokalizowanej bliżej zwierciadła wody. Podobna sytuacja widoczna jest w próbkach pobranych z brzegu prawego (Tab. 8, Ryc. 30).

Zawartość **kadmu (Cd)** w pobranych próbkach zmienia się w zakresie od 0,88 do 1,8 mg/kg. Różnica między zawartością kadmu w poszczególnych próbkach jest minimalna. Najniższą zawartość kadmu odnotowano w próbce nr 10 pobranej z centralnej części koryta (Tab. 8, Ryc. 30).

Stężenia **chromu (Cr)** odnotowane w badanych próbkach wahały się w zakresie od 0,40 do 4,4 mg/kg. Największą wartość odnotowano w próbce nr 33 (4,4 mg/kg), w pozostałych próbkach pobranych z brzegu lewego stężenie chromu nie przekraczało 0,7 mg/kg. Znaczne

wahania wystąpiły w centralnej części koryta, gdzie różnica na przestrzeni 5 cm w stężeniu chromu wynosi 2,1 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

Wartość **miedzi (Cu)** w pobranych próbkach wynosi od 1,3 do 3,3 mg/kg. Stosunkowo duże stężenie miedzi, w porównaniu do próbek pobranych z brzegów, odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta. Wyjątek stanowi próbka nr 33, w której zawartość miedzi wynosiła 3,3 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

Zawartość **żelaza (Fe)** w każdej z pobranych próbek ma wysokie stężenia przekraczające wartość 500 mg/kg. Znacznie większe wartości żelaza, w porównaniu do pozostałych punktów badawczych, odnotowano w próbkach pobranych z brzegu prawego – zawartość żelaza powyżej 2400 mg/kg. Największe stężenie żelaza zawiera jednak próbka nr 33 pobrana z brzegu lewego - 4908 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

Stężenia **potasu (K)** w pobranych próbkach wahają się w przedziale od 18 do 176 mg/kg. W większości próbek zawartość potasu nie przekracza 80 mg/kg. Największą zawartość zanotowano w próbce nr 33 (Tab. 8., Ryc. 30).

Lit (Li) w analizowanych próbkach posiada małe stężenie, mieszczące się w przedziale od 0,80 do 5,3 mg/kg. Najwyższe stężenie odnotowano w próbce nr 10 pobranej z centralnej części koryta (5,3 mg/kg). Zawartość litu w osadach brzegowych nie przekraczała 3,5 mg/kg, przy czym w próbkach pobranych z brzegu prawego jego zawartość była minimalnie większa (Tab. 8, Ryc. 30).

Wartość **magnezu (Mg)** w badanych próbkach mieści się w przedziale od 129 do 849 mg/kg. Stosunkowo duże stężenie magnezu odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta, w porównaniu do próbek pobranych z brzegów. Wyjątek stanowi próbka nr 33, w której zawartość magnezu wynosiła 849 mg/kg, w pozostałych próbkach pobranych z brzegu lewego zawartość magnezu nie przekraczała 200 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

Stężenia **manganu (Mn)** w analizowanych próbkach wahają się w zakresie od 19 do 977 mg/kg. Niskie wartości manganu zawierają próbki pobrane z brzegu lewego (poniżej 50 mg/kg), wyjątek stanowi próbka nr 33. Natomiast stężenia manganu w próbkach pobranych z brzegu prawego przekraczają 200 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

Zawartość **sodu (Na)** w pobranych próbkach mieści się w przedziale od 26 do 320 mg/kg. W większości próbek zawartość sodu nie przekraczała 60 mg/kg. Wyjątek stanowi próbka nr 33 pobrana z brzegu lewego (320 mg/kg) oraz próbka nr 32 pobrana z brzegu prawego (145 mg/kg) (Tab. 8, Ryc. 30).

Stężenie **ołowiu (Pb)** w pobranych próbkach kształtuje się w granicach od 5,2 do 8,5 mg/kg. Największą zawartość odnotowano w próbce nr 10 pobranej z centralnej części

koryta. Zawartość ołowiu w próbkach pobranych z centralnej części koryta jest większa od jego zawartości w próbkach pobranych z brzegów. Wyjątek stanowi próbka nr 35 pobrana z brzegu lewego, w której zawartość ołowiu wynosi 7,2 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

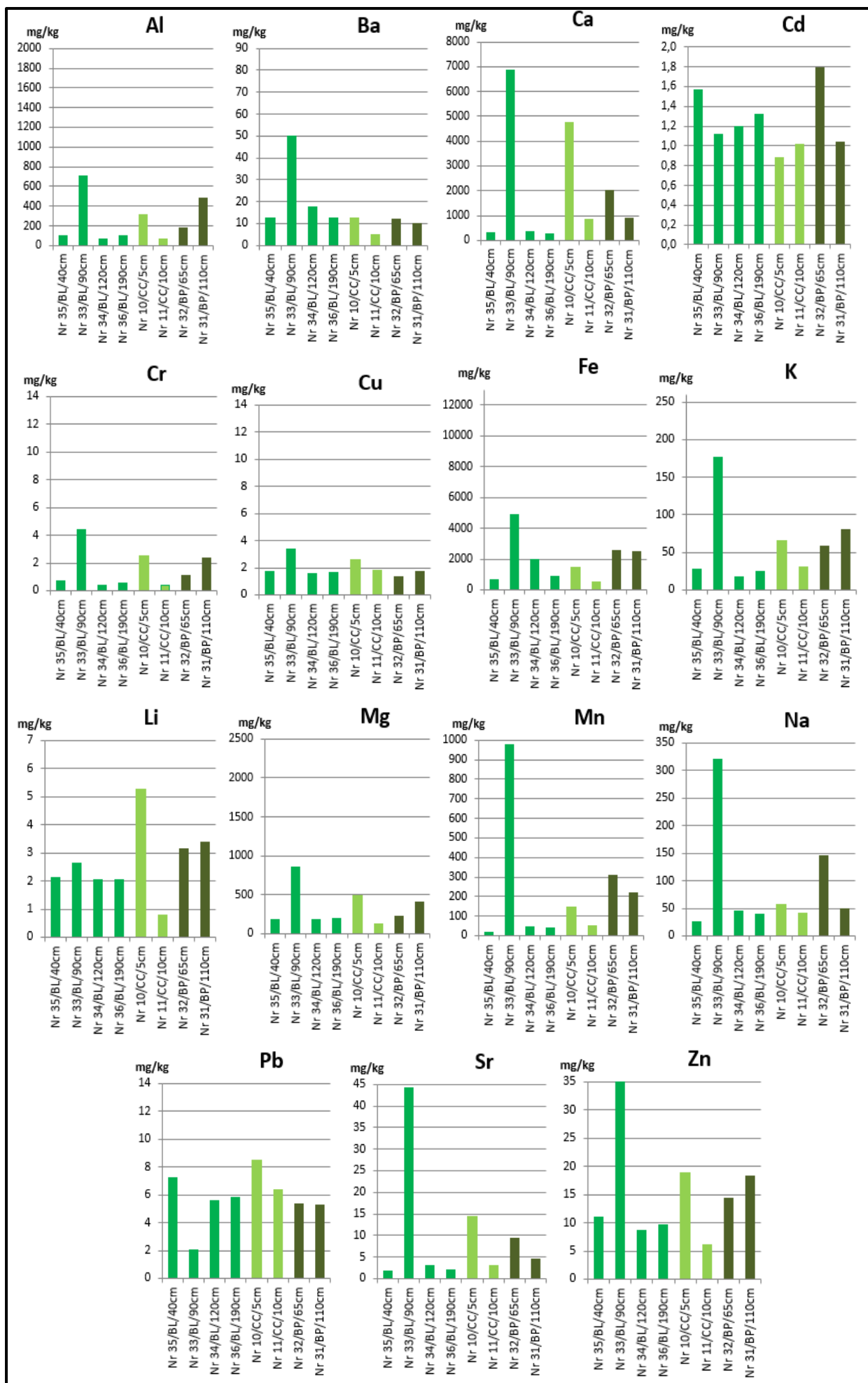
Stront (Sr) w pobranych próbkach wykazywał znaczne zróżnicowanie, jego zawartość mieściła się w przedziale od 1,9 do 44 mg/kg. W próbkach pobranych z brzegu lewego zawartość strontu nie przekracza 3,5 mg/kg, wyjątek stanowi próbka nr 33 (44 mg/kg). Większe zawartość strontu zawierają próbki pobrane z brzegu prawego, wynoszące powyżej 4,5 mg/kg. Średnia zawartość strontu w próbkach pobranych z centralnej części koryta jest większa od jego zawartości w próbkach pobranych z brzegów (Tab. 8, Ryc. 30).

Cynk (Zn) w analizowanych próbkach mieści się w przedziale od 6,0 do 35 mg/kg. Średnia zawartość cynku w próbkach pobranych z brzegów jest znacznie niższa niż jego zawartość w próbkach pobranych z centralnej części koryta. Większe stężenia występują w próbkach pobranych z brzegu prawego. Zawartość cynku w próbkach pobranych z brzegu lewego nie przekracza 11 mg/kg, wyjątek stanowi próbka nr 33, w której stwierdzono zawartość cynku wynoszącą 35 mg/kg (Tab. 8, Ryc. 30).

Tab. 8. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska (wartości w mg/kg)

Nr próbki	Al	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Ga	In	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Tl	Zn
Nr 35/BL/40 cm	100	<0,10	12	295	1,6	0,70	1,7	622	<0,10	<0,10	27	2,1	175	19	26	<0,10	7,2	1,9	0,74	11
Nr 33/BL/90 cm	708	<0,10	50	6849	1,1	4,4	3,3	4908	<0,10	<0,10	176	2,6	849	977	320	<0,10	2,0	44	<0,10	35
Nr 34/BL/120 cm	69	<0,10	18	350	1,2	0,40	1,6	1978	<0,10	<0,10	18	2,1	182	47	44	<0,10	5,6	3,1	0,58	8,7
Nr 36/BL/190 cm	95	<0,10	13	256	1,3	0,56	1,6	871	<0,10	<0,10	25	2,0	199	40	39	<0,10	5,9	2,1	0,63	9,7
Nr 10/CC/5 cm	312	<0,10	12	4744	0,88	2,5	2,6	1455	<0,10	<0,10	66	5,3	486	147	58	0,71	8,5	14	<0,10	19
Nr 11/CC/10 cm	69	<0,10	5,0	829	1,0	0,40	1,8	500	<0,10	<0,10	30	0,80	129	48	41	0,06	6,4	2,9	<0,10	6,0
Nr 32/BP/65 cm	179	<0,10	12	2009	1,8	1,1	1,3	2521	<0,10	<0,10	58	3,1	226	310	145	<0,10	5,4	9,3	<0,10	14
Nr 31/BP/110 cm	480	<0,10	10	881	1,0	2,4	1,8	2460	<0,10	<0,10	80	3,4	400	220	50	<0,10	5,2	4,6	<0,10	18

Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, akumulacyjny, BL – brzeg lewy, erozyjny. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.



Ryc. 29. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łąchy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

b) Stanowisko Toruń

Wyniki analiz ogólnych

(pH, przewodnictwo, zawartość materii organicznej, zawartość węgla wapnia)

Wyniki pomiarów **pH** na stanowisku Toruń wahają się w zakresie od 7,35 do 8,41 przy pomiarach w H₂O, natomiast ich zakres przy pomiarach w KCl mieści się w przedziale od 6,67 do 7,30 (Tab. 9, Ryc. 31).

Wielkość **przewodnictwa elektrolitycznego** wykazuje duże zróżnicowanie, zmienia się od 196,5 do 871,0 $\mu\text{s m}^{-1}$ (Tab. 9, Ryc. 31).

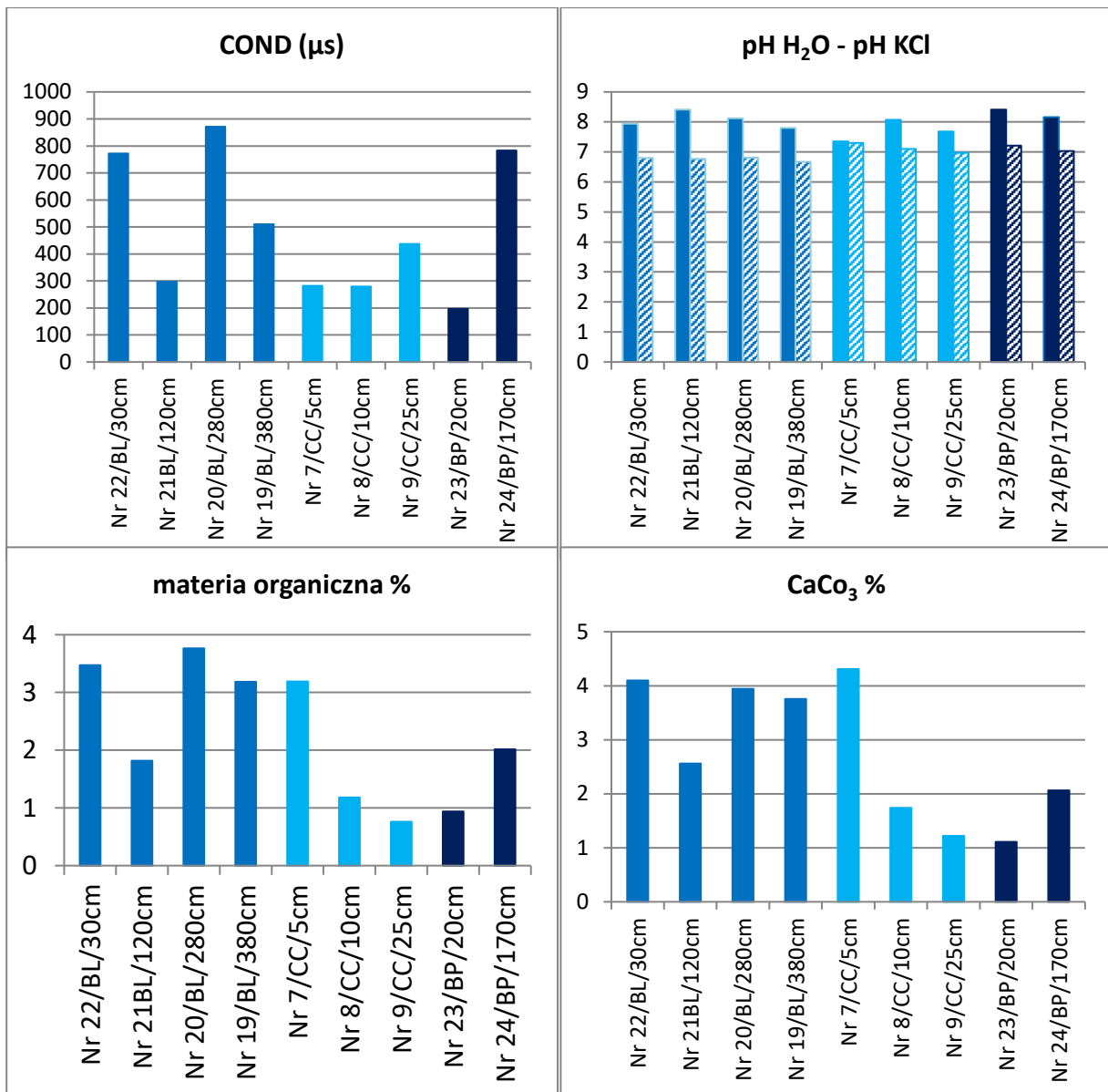
Zawartość **materii organicznej** w pobranych próbkach wynosi od 0,76 do 3,76%. Znacznie niższe zawartości materii organicznej stwierdzono w próbkach pobranych z brzegu prawego (Tab. 9, Ryc. 31).

Pozostały po wyprażeniu **węglan wapnia** osiąga wartości od 1,11 do 4,31%. Podobnie jak w przypadku zawartości materii organicznej, znacznie niższe jego zawartości stwierdzono w próbkach pobranych z brzegu prawego (Tab. 9, Ryc. 31).

Tab. 9. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń

Nr próbki	COND (μs)	pH H ₂ O	pH KCl	Materia organiczna [%]	CaCO ₃
Nr 22/BL/30 cm	772,0	7,94	6,80	3,47	4,10
Nr 21BL/120 cm	297,0	8,41	6,77	1,82	2,56
Nr 20/BL/280 cm	871,0	8,12	6,81	3,76	3,94
Nr 19/BL/380 cm	510,0	7,80	6,67	3,18	3,76
Nr 7/CC/5 cm	282,0	7,35	7,30	3,19	4,31
Nr 8/CC/10 cm	279,4	8,07	7,10	1,18	1,74
Nr 9/CC/25 cm	437,0	7,68	6,97	0,76	1,22
Nr 23/BP/20 cm	196,5	8,41	7,21	0,94	1,11
Nr 24/BP/170 cm	783,0	8,16	7,03	2,01	2,06

Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.



Ryc. 30. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

Analizy szczegółowe

Metoda MP-AES (roztwór)

Dokonano oznaczeń zawartość 20 pierwiastków: glin - Al, bor - B, bar - Ba, wapń - Ca, kadm - Cd, chrom - Cr, miedź - Cu, żelazo - Fe, gal - Ga, ind - In, potas - K, lit - Li, magnez - Mg, mangan - Mn, sód - Na, nikiel - Ni, ołów - Pb, stront - Sr, tal - Tl, cynk - Zn (Tab. 10, Ryc. 32).

Zawartość pierwiastków tj. bor (B), gal (Ga), ind (In) oraz tal (Tl) wynosiła poniżej 0,10 mg/kg dla każdej pobranej próbki. Ze względu na występowanie zawartości niklu (Ni) w wartości mniejszej niż 0,10 mg/kg w pobranych próbkach odstąpiono od jego analizy (Tab. 10).

Zawartość **glinu (Al)** w próbkach zmienia się w szerokim zakresie od 92 do 1657 mg/kg. W próbce nr 24 zlokalizowanej na brzegu prawym, pobranej z wysokości 170 cm ponad zwierciadłem wody, zawartość glinu wynosi aż 1657 mg/kg. Najniższa zawartość glinu występuje w próbkach pobranych z centralnej części koryta (Tab. 10, Ryc. 32).

W większości próbek zawartość **Baru (Ba)** kształtuje się na poziomie od 4,9 do 55 mg/kg. Najniższą wartość baru odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta – wartości nie przekraczają 6 mg/kg (Tab. 10, Ryc. 32).

Wapń (Ca) w pobranych próbkach wykazuje znaczne zróżnicowanie, jego zawartość mieści się w przedziale od 353 do 6297 mg/kg. W próbkach pobranych z centralnej części koryta wartości wapnia są najniższe (Tab. 10, Ryc. 32).

Zawartość **kadm (Cd)** w pobranych próbkach zmienia się w zakresie od 0,63 do 1,7 mg/kg. Różnica między zawartością kadmu w poszczególnych próbkach jest minimalna. Najniższe zawartość kadmu odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta – wartości nie przekraczają 1 mg/kg (Tab. 10, Ryc. 32).

Stężenia **chromu (Cr)** odnotowane w badanych próbkach wahają się w zakresie od 0,62 do 11 mg/kg. Największą wartość odnotowano w próbce nr 24 (11 mg/kg). W centralnej części koryta stężenia chromu osiągają najniższe wartości nie przekraczające 1 mg/kg (Tab. 10, Ryc. 32).

Wartość **miedzi (Cu)** w pobranych próbkach wynosi od 1,4 do 9,4 mg/kg. Stosunkowo duże stężenie miedzi odnotowano w próbkach pobranych z najwyższych punktów obu brzegów (Tab. 10, Ryc. 32).

Zawartość **żelaza (Fe)** w każdej z pobranych próbek ma wysokie stężenia, które mieszczą się w przedziale od 665 do 5520 mg/kg. Znacznie mniejsze wartości żelaza

odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta, gdzie wartości nie przekraczają 1050 mg/kg (Tab. 10, Ryc. 32).

Stężenia **potasu (K)** w pobranych próbkach wahają się w przedziale od 30 do 179 mg/kg. Najmniejsze zawartości zanotowano w próbce pobranej z centralnej części koryta (Tab. 10, Ryc. 32).

Lit (Li) w analizowanych próbkach posiada małe stężenie, mieszczące się w przedziale od 0,40 do 4,9 mg/kg. Zawartość litu w osadach brzegowych jest wyższa od jego zawartości w osadach pobranych z centralnej części koryta. Wyjątek stanowi próbka nr 20 pobrana z brzegu lewego, w której zawartość litu wynosi 0,76 mg/kg (Tab. 10, Ryc. 32).

Wartość **magnezu (Mg)** w badanych próbkach mieści się w przedziale od 126 do 1978 mg/kg. Niskie stężenie magnezu odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta, w porównaniu do próbek pobranych z brzegów. Najwyższa zawartość magnezu, 1978 mg/kg, występuje w próbce nr 24 pobranej z brzegu prawego (Tab. 10, Ryc. 32).

Stężenia **manganu (Mn)** w analizowanych próbkach wahają się w zakresie od 40 do 478 mg/kg. Niskie wartości manganu zawierają próbki pobrane z centralnej części koryta. Stężenie manganu w większości próbek nie przekracza 100 mg/kg. Wyjątek stanowią próbki pobrane w najwyższych punktach na brzegach tj. próbka nr 19 pobrana z brzegu lewego na wysokości 380 cm ponad zwierciadłem wody – zawartość manganu wynosi 214 mg/kg oraz próbka nr 24 pobrana z brzegu prawego na wysokości 170 cm ponad zwierciadłem wody – zawartość manganu wynosi 478 mg/kg (Tab. 10, Ryc. 32).

Zawartość **sodu (Na)** w pobranych próbkach mieści się w przedziale od 28 do 145 mg/kg. Najniższe zawartości sodu odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta (Tab. 10, Ryc. 32).

Stężenie **ołowiu (Pb)** w pobranych próbkach kształtuje się w granicach od 4,8 do 11,7 mg/kg. Zawartość ołowiu w próbkach pobranych z centralnej części koryta kształtuje się na podobnym poziomie co w próbkach pobranych z brzegów. Najniższą zawartość ołowiu zanotowano w próbce pobranej z brzegu lewego (Tab. 10, Ryc. 32).

Stront (Sr) w pobranych próbkach wykazywał znaczne zróżnicowanie, jego zawartość mieściła się w przedziale od 2,3 do 27 mg/kg. Największe zawartość strontu zawierają próbki pobrane w najwyższych punktach na brzegach. Średnia zawartość strontu w próbkach pobranych z centralnej części koryta jest mniejsza od jego zawartości w próbkach pobranych z brzegów (Tab. 10, Ryc. 32).

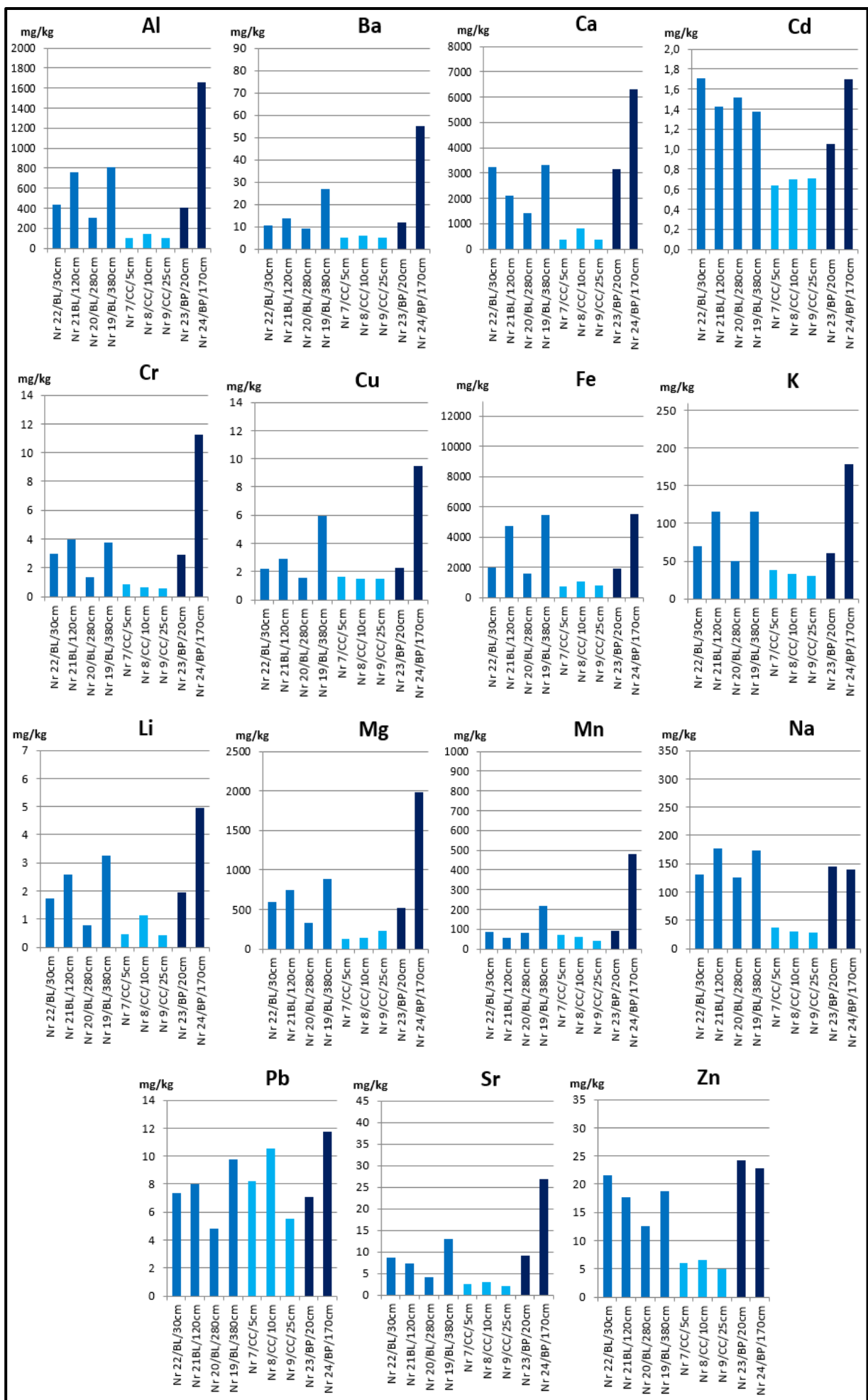
Cynk (Zn) w analizowanych próbkach mieści się w przedziale od 4,9 do 24 mg/kg. Średnia zawartość cynku w próbkach pobranych z brzegów jest znacznie wyższa niż jego

zawartość w próbkach pobranych z centralnej części koryta. Większe stężenia występują w próbkach pobranych z brzegu prawego (Tab. 10, Ryc. 32).

Tab. 10. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń (wartości w mg/kg).

Nr próbki	Al	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Ga	In	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Tl	Zn
Nr 22/BL/30 cm	426	<0,10	10	3214	1,7	3,0	2,1	1923	<0,10	<0,10	70	1,7	589	86	130	0,03	7,3	8,6	<0,10	22
Nr 21BL/120 cm	756	<0,10	13	2083	1,4	3,9	2,9	4671	<0,10	<0,10	115	2,6	737	54	177	0,13	7,9	7,1	<0,10	18
Nr 20/BL/280 cm	295	<0,10	9,1	1401	1,5	1,3	1,5	1574	<0,10	<0,10	50	0,76	318	79	125	<0,10	4,8	4,0	<0,10	12
Nr 19/BL/380 cm	808	<0,10	26	3300	1,4	3,7	5,9	5410	<0,10	<0,10	115	3,2	874	214	172	0,86	9,7	13	<0,10	19
Nr 7/CC/5 cm	92	<0,10	4,9	365	0,63	0,82	1,6	665	<0,10	<0,10	37	0,44	126	68	37	0,19	8,2	2,3	<0,10	6,0
Nr 8/CC/10 cm	134	<0,10	5,7	806	0,69	0,62	1,4	1047	<0,10	<0,10	33	1,1	139	56	30	<0,10	10,5	2,9	<0,10	6,4
Nr 9/CC/25 cm	97	<0,10	4,8	353	0,70	0,53	1,4	767	<0,10	<0,10	30	0,40	217	40	28	<0,10	5,5	2,0	<0,10	4,9
Nr 23/BP/20 cm	397	<0,10	11	3152	1,1	2,9	2,2	1859	<0,10	<0,10	60	1,9	514	91	145	<0,10	7,1	9,1	<0,10	24
Nr 24/BP/170 cm	1657	<0,10	55	6297	1,7	11	9,4	5520	<0,10	<0,10	179	4,9	1978	478	138	2,2	11,7	27	<0,10	23

Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.



Ryc. 31. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łąchy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

c) Stanowisko Grudziądz

Wyniki analiz ogólnych

(pH, przewodnictwo, zawartość materii organicznej, zawartość węgla wapnia)

Wyniki pomiarów **pH** na stanowisku Grudziądz wahają się w zakresie od 7,26 do 8,83 przy pomiarach w H₂O, natomiast ich zakres przy pomiarach w KCl mieści się w przedziale od 6,75 do 7,25. Próbkę pobrane z centralnej części koryta posiadają znacznie mniejsze wartości pH w H₂O od próbek pobranych z brzegów (Tab. 11, Ryc. 33).

Wielkość **przewodnictwa elektrolitycznego** wykazuje duże zróżnicowanie, zmienia się od 89,4 do 379,0 $\mu\text{s m}^{-1}$ (Tab. 11, Ryc. 33).

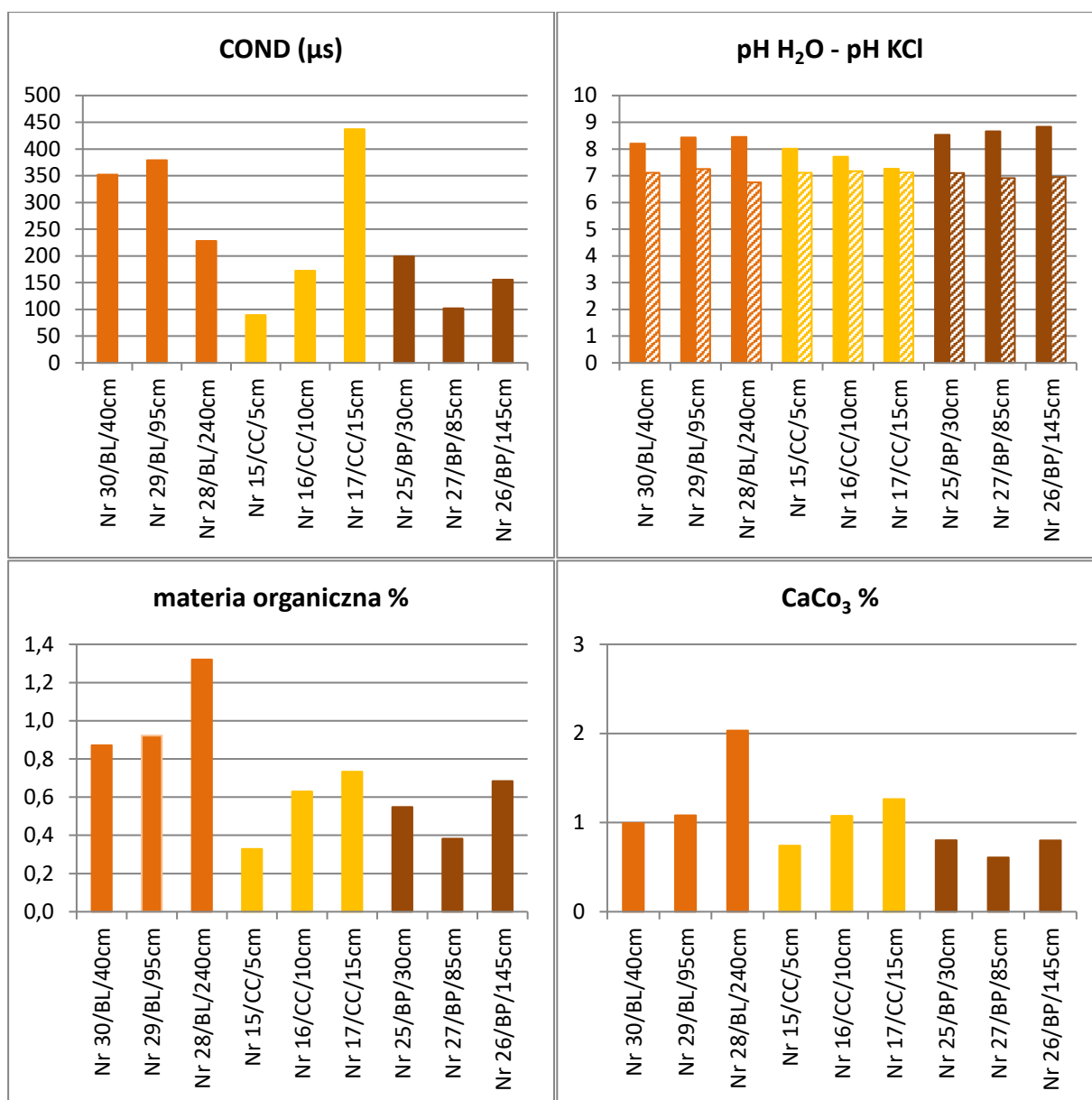
Zawartość **materii organicznej** w pobranych próbkach wynosi od 0,33 do 1,32%. Wyższe wartości materii organicznej stwierdzono w próbkach pobranych z brzegu lewego (Tab. 11, Ryc. 33).

Pozostały po wyprażeniu **węglan wapnia** osiąga wartości od 0,61 do 2,03%. Podobnie jak w przypadku zawartości materii organicznej, wyższe wartości wykazuje w próbkach pobranych z brzegu prawego (Tab. 11, Ryc. 33).

Tab. 11. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz.

Nr próbki	COND (μs)	pH H ₂ O	pH KCl	Materia organiczna [%]	CaCO ₃
Nr 30/BL/40 cm	352,0	8,20	7,11	0,87	0,99
Nr 29/BL/95 cm	379,0	8,43	7,25	0,92	1,08
Nr 28/BL/240 cm	228,0	8,45	6,75	1,32	2,03
Nr 15/CC/5 cm	89,4	8,01	7,11	0,33	0,74
Nr 16/CC/10 cm	172,3	7,71	7,17	0,63	1,08
Nr 17/CC/15 cm	437	7,26	7,12	0,73	1,26
Nr 25/BP/30 cm	199,1	8,53	7,10	0,55	0,80
Nr 27/BP/85 cm	102,0	8,66	6,91	0,38	0,61
Nr 26/BP/145 cm	155,6	8,83	6,95	0,68	0,80

Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.



Ryc. 32. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

Analizy szczegółowe

Metoda MP-AES (roztwór)

Dokonano oznaczeń zawartość 20 pierwiastków: glin - Al, bor - B, bar - Ba, wapń - Ca, kadm - Cd, chrom - Cr, miedź - Cu, żelazo - Fe, gal - Ga, ind - In, potas - K, lit - Li, magnez - Mg, mangan - Mn, sód - Na, nikiel - Ni, ołów - Pb, stront - Sr, tal - Tl, cynk - Zn (Tab. 12, Ryc. 34).

Zawartość pierwiastków tj. bor (B), gal (Ga), ind (In) oraz tal (Tl) wynosiła poniżej 0,10 mg/kg dla każdej pobranej próbki. Zawartość niklu (Ni) w wartości mniejszej niż 0,10 mg/kg odnotowano wyłącznie w próbkach pobranych z lewego brzegu (Tab. 12).

Zawartość **glinu (Al)** w próbkach zmienia się w szerokim zakresie od 64 do 1979 mg/kg. Zdecydowanie większe wartości glinu zawierają próbki pobrane z brzegu prawego. Niskie wartości posiadają próbki pobrane z brzegu lewego, wyjątek stanowi próbka pobrana z wysokości 240 cm ponad zwierciadłem wody (Tab. 12, Ryc. 34).

W większości próbek zawartość **baru (Ba)** kształtuje się w granicach od 4,5 do 87 mg/kg. Wysoką zawartość baru posiadają próbki pobrane z brzegu prawego. Najniższą wartość odnotowano w próbce nr 29 pobranej z brzegu lewego, na wysokości 95 cm ponad zwierciadło wody (Tab. 12, Ryc. 34).

Wapń (Ca) w pobranych próbkach wykazuje znaczne zróżnicowanie, jego zawartość mieści się w przedziale od 755 do 7401 mg/kg. Największą zawartość wapnia odnotowano w próbce nr 26, pobranej z brzegu prawego z wysokości 145 cm ponad zwierciadłem wody. W próbkach pobranych z centralnej części koryta najniższą wartość odnotowano w próbce zlokalizowanej bliżej zwierciadła wody. W próbkach pobranych z brzegu lewego największą wartość posiada próbka pobrana z punktu zlokalizowanego na wysokości 240 cm ponad zwierciadłem wody (Tab. 12, Ryc. 34).

Zawartość **kadm (Cd)** w pobranych próbkach zmienia się w zakresie od 0,56 do 1,9 mg/kg. Najniższą zawartość kadmu odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta, wyjątek stanowi próbka nr 15 pobrana z wysokości 5 cm ponad zwierciadło wody, w której to zawartość kadmu wynosi 1,7 mg/kg (Tab. 12, Ryc. 34).

Stężenia **chromu (Cr)** odnotowane w badanych próbkach wahały się w zakresie od 0,40 do 13 mg/kg. Największą wartość odnotowano w próbce pobranej z brzegu prawego. Stężenie chromu w próbkach pobranych w centralnej części koryta nie przekraczało 2,0 mg/kg. Znaczne wahania wystąpiły w próbkach pobranych na brzegu lewym (Tab. 12, Ryc. 34).

Wartość **miedzi (Cu)** w pobranych próbkach wynosi od 0,4 do 14 mg/kg. Wartość miedzi w próbkach pobranych w centralnej części koryta nie przekracza 3,0 mg/kg. Znaczne wahania zawartości miedzi wystąpiły w próbkach pobranych na brzegu lewym (Tab. 12, Ryc. 34).

Zawartość **żelaza (Fe)** w każdej z pobranych próbek ma wysokie stężenia, które mieszczą się w przedziale od 909 do 12082 mg/kg. Znacznie mniejsze wartości żelaza odnotowano w próbkach pobranych z centralnej części koryta oraz z brzegu lewego. Wyjątek

stanowi próbka na 28 pobrana z brzegu lewego z wysokości 240 cm ponad zwierciadłem wody (Tab. 12, Ryc. 34).

Stężenia **potasu (K)** w pobranych próbkach wahają się w przedziale od 14 do 255 mg/kg. W większości próbek zawartość potasu nie przekracza 80 mg/kg. Wysokie stężenia posiadają próbki pobrane z brzegu prawego. W próbkach pobranych w centralnej części koryta stężenia potasu mieszczą się w przedziale 50-89 mg/kg. Znaczne wahania stężeń występują w próbkach pobranych z brzegu lewego (Tab. 12, Ryc. 34).

Lit (Li) w analizowanych próbkach posiada małe stężenia, mieszczące się w przedziale od 0,79 do 6,6 mg/kg (Tab. 12, Ryc. 34).

Wartość **magnezu (Mg)** w badanych próbkach mieści się w przedziale od 197 do 2336 mg/kg. Największe wartości magnezu odnotowano w próbkach pobranych z brzegu prawego. Znaczne wahania występują w próbkach pobranych z brzegu lewego (Tab. 12, Ryc. 34).

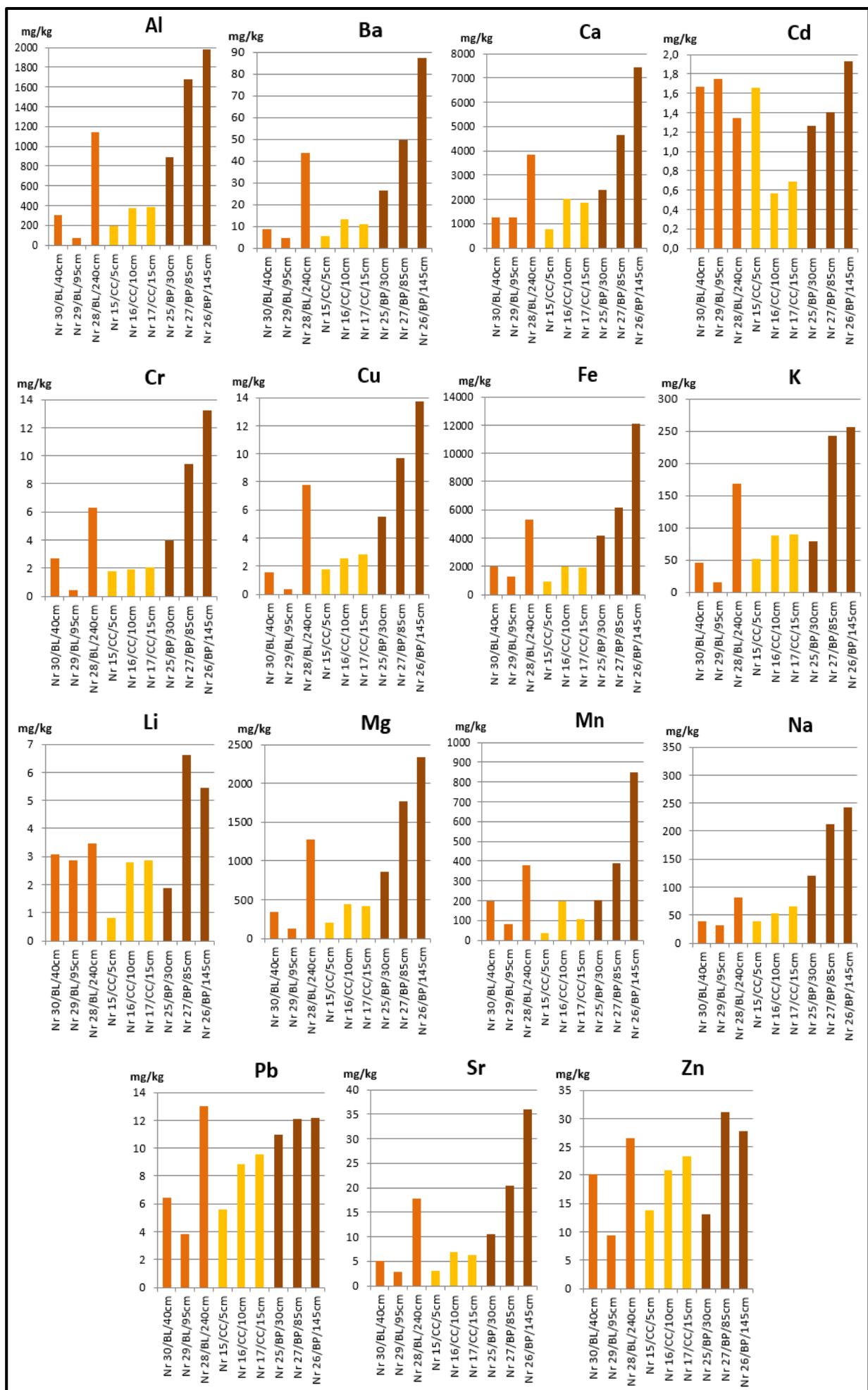
Stężenia **manganu (Mn)** w analizowanych próbkach wahają się w zakresie od 31 do 848 mg/kg. Niskie wartości manganu zawierają próbki pobrane z centralnej części koryta – najniższa wartość w próbce zlokalizowanej najbliżej zwierciadła wody. Znaczne wahania występują w próbkach pobranych z brzegu lewego (Tab. 12, Ryc. 34).

Zawartość **sodu (Na)** w pobranych próbkach mieści się w przedziale od 30 do 241 mg/kg. Najniższe zawartości sodu występują w próbkach pobranych z brzegu lewego, największe natomiast w próbkach pobranych z brzegu prawego (Tab. 12, Ryc. 34).

Stężenie **ołowiu (Pb)** w pobranych próbkach kształtuje się w granicach od 5,5 do 12,1 mg/kg. Największe zawartości ołowiu odnotowano w próbkach pobranych z brzegu prawego. Średnia zawartość ołowiu w próbkach pobranych z centralnej części koryta jest większa od jego zawartości w próbkach pobranych z brzegu lewego (Tab. 12, Ryc. 34).

Stront (Sr) w pobranych próbkach wykazywał znaczne zróżnicowanie, jego zawartość mieści się w przedziale od 2,9 do 36 mg/kg. W próbkach pobranych z brzegu lewego zawartość strontu wykazuje znaczne wahania. Największe zawartość strontu zawierają próbki pobrane z brzegu prawego (Tab. 12, Ryc. 34).

Cynk (Zn) w analizowanych próbkach mieści się w przedziale od 9,2 do 31 mg/kg. Największe stężenia występują w próbkach pobranych z brzegu prawego. Zawartość cynku w próbkach pobranych z brzegu lewego wykazuje znaczne wahania (Tab. 12, Ryc. 34).



Ryc. 33 Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz. Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

Tab. 12. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz (wartości w mg/kg).

Nr próbki	Al	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Ga	In	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sr	Tl	Zn
Nr 30/BL/40cm	301	<0,10	8,3	1222	1,7	2,7	1,6	1960	<0,10	<0,10	45	3,1	341	195	38	<0,10	6,4	5,0	<0,10	20
Nr 29/BL/95cm	64	<0,10	4,5	1233	1,7	0,4	0,4	1227	<0,10	<0,10	14	2,8	124	80	30	<0,10	3,8	2,8	<0,10	9,2
Nr 28/BL/240cm	1141	<0,10	43	3835	1,3	6,3	7,8	5277	<0,10	<0,10	167	3,4	1264	378	80	<0,10	13,0	18	<0,10	26
Nr 15/CC/5cm	183	<0,10	5,2	755	1,7	1,8	1,8	909	<0,10	<0,10	50	0,79	197	31	39	0,49	5,5	2,9	<0,10	14
Nr 16/CC/10cm	370	<0,10	13	1995	0,56	1,9	2,5	1944	<0,10	<0,10	87	2,8	431	194	53	0,28	8,8	6,7	<0,10	21
Nr 17/CC/15cm	379	<0,10	11	1840	0,68	2,0	2,8	1854	<0,10	<0,10	89	2,9	406	102	64	0,42	9,5	6,2	<0,10	23
Nr 25/BP/30cm	886	<0,10	26	2360	1,3	3,9	5,5	4155	<0,10	<0,10	78	1,9	854	197	119	0,29	10,9	10	<0,10	13
Nr 27/BP/85cm	1676	<0,10	49	4642	1,4	9,4	9,6	6098	<0,10	<0,10	242	6,6	1768	386	211	0,36	12,0	20	<0,10	31
Nr 26/BP/145cm	1979	<0,10	87	7401	1,9	13	14	12082	<0,10	<0,10	255	5,4	2336	848	241	6,0	12,1	36	<0,10	28

Oznaczenia: CC – centralna część (czoło łachy), BP – brzeg prawy, BL – brzeg lewy. Wartości w centymetrach przedstawiają wysokość poboru próby ponad zwierciadło wody.

4.4.1. Przestrzenne zróżnicowanie właściwości geochemicznych osadów

Oznaczone parametry charakteryzują się zróżnicowaniem wartości zarówno w profilach pionowych, jak i w poziomie, zarówno między punktami jaki i stanowiskami badawczymi. Zróżnicowanie spowodowane jest wielofazowym procesem akumulacji, za który odpowiedzialne są zarówno zmiany hydrologiczne jaki i antropogeniczne.

Pod względem analizy zawartości pierwiastków w punktach badawczych większe nagromadzenie występuje na brzegach akumulacyjnych (prawych) niż erodowanych (lewych) w każdym z analizowanych stanowisk badawczych. Uwidacznia się to w szczególności dla stanowisk Toruń i Grudziądz. W centralnej części koryta pierwiastki akumulowane są w mniejszych ilościach, przy czym większe zawartości występują na stanowisku Kępa Polska (odcinek nieuregulowany), w porównaniu do pozostałych stanowisk badawczych. Podobna zależność występuje w przypadku analizy przewodnictwa elektrolitycznego, pH oraz materii organicznej.

Analizując przestrzenne zróżnicowanie pierwiastków pomiędzy stanowiskami badawczymi największe ich nagromadzenie występuje na stanowisku badawczym Grudziądz, następnie na stanowisku Toruń, a najmniejsza koncentracja odnotowana została na stanowisku Kępa Polska (G>T>KP). Zależność taka występuje dla pierwiastków: glin - Al, wapń - Ca, chrom - Cr, miedź - Cu, żelazo - Fe, potas - K, magnez - Mg, mangan - Mn, ołów - Pb, stront - Sr, cynk - Zn.

Minimalne różnice pomiędzy stanowiskami badawczymi Kępa Polska a Toruń występują w przypadku pierwiastka jakim jest bar – Ba, przy czym nadal największe wartości odnotowuje się na stanowisku badawczym Grudziądz.

Zawartość kadmu – Cd na poszczególnych stanowiskach badawczych kształtuje się na podobnym poziomie i wynosi poniżej 2 mg/kg. Przy czym znacznie mniejsze wartości odnotowuje się w punktach badawczych zlokalizowanych w centralnej części koryta (CC) na każdym stanowisku badawczym.

Lit – Li najniższe zawartości osiąga na stanowisku badawczym Toruń, w punktach badawczych zlokalizowanych w centralnej części (CC). Większe zawartości litu występują na stanowisku badawczym Grudziądz w stosunku do stanowiska badawczego Kępa Polska (G>KP).

W przypadku pierwiastka jakim jest sód – Na, na stanowisku badawczym Toruń wyraźnie większe wartości występują w punktach badawczych zlokalizowanych na brzegach (BL, BP) niż w centralnej części (CC). Większe zawartości sodu występują na stanowisku badawczym Grudziądz w stosunku do stanowiska badawczego Kępa Polska (G>KP).

Największą wartość przewodnictwa elektrolitycznego (COND) odnotowano na stanowisku badawczym Toruń, następnie na stanowisku badawczym Kępa Polska, najniższa na stanowisku badawczym Grudziądz (T>KP>G).

Najniższe pH odnotowano w stanowisku badawczym Toruń, następnie na stanowisku badawczym Kępa Polska oraz Grudziądz (T>KP>G).

W przypadku zawartości materii organicznej i węglanów wapnia najwięcej odnotowano na stanowisku badawczym Toruń, następnie na stanowisku Kępa Polska, na którym wyraźnie zaznacza się nagromadzenie w punkcie badawczym zlokalizowanym na brzegu lewym (BL). Najniższe zawartości materii organicznej i węglanów wapnia odnotowano na stanowisku badawczym Grudziądz (T>KP>G).

5. Mikromorfologiczna charakterystyka osadów

Przeprowadzone obserwacje mikroskopowe cienkich płytek, pochodzących z wytypowanych stanowisk i punktów badawczych na obszarze dolnej Wisły, udokumentować miały występowanie charakterystycznych cech mikromorfologicznych określonych na podstawie wzajemnego ułożenia składników w masie podstawowej badanych osadów. Nienaruszona struktura osadu, utrwalona w procesie impregnacji, pozwoliła także wyodrębnić cechy pedogenetyczne utworu oraz mikrokoncentracje stanowiące oddzielną grupę analiz. Podobne analizy mikroskopowe na preparatach pochodzących z gleb przeprowadzili Bullock i in. 1985, Konecka-Betley 1996, Kemp 1998, Kacprzak i Żyła 2006 oraz Budek 2010.

Interpretację charakterystycznych cech mikromorfologicznych próbek ujęto przedstawiając ogólną charakterystykę odczytaną z obserwacji pod mikroskopem szlifów wykonanych dla każdej próbki w trzech płaszczyznach (Ryc. 3). Po przeprowadzonej serii obserwacji porównawczych okazało się, że najwierniej odwzorowują procesy sedymentacyjne i chemiczne zachodzące na analizowanym obszarze szlify wykonane w orientacji równoległej do brzegu, zgodnej z kierunkiem płynięcia rzeki (PTS – ang. *parallel to strike, bedding normal, inside face*). W celu lepszego zobrazowania różnic pomiędzy strukturami sedymentacyjnymi widocznymi na szlifach PTS, wrysowano granice wyróżnionych warstw oraz oznaczono je cyframi rzymskimi w kolorze żółtym oraz wskazano na każdym szlifie pola wykonania zdjęć mikroskopowych. Zdjęcia mikroskopowe wykonano w świetle przechodzącym (obraz A) oraz w świetle spolaryzowanym (obraz B). Wymiary uzyskanych obrazów mikroskopowych przedstawiono w różnych powiększeniach ze względu na istotność oznaczanych szczegółów – np. wytrącenia minerałów. Wymiary zawarto w tabeli 13.

Tab. 13. Wymiary zdjęć mikroskopowych zastosowane dla analizowanych próbek osadów dolnej Wisły.

Powiększenie	Pole poziome (mm)	Pole pionowe (mm)
6,3x	13,1	10,2
7x	11,8	9,4
8x	10,2	8,2
10x	8,3	6,6
12x	6,6	5,3
16x	5,2	4,2
20x	4,2	3,2
25x	3,4	2,6
32x	2,6	2,1

5.1. Opis makroskopowy i mikroskopowy szlifów

Stanowisko Kępa Polska

Do analiz mikromorfologicznych na stanowisku badawczym Kępa Polska pobrano łącznie osiem próbek o nienaruszonej strukturze z trzech charakterystycznych miejsc w przekroju koryta Wisły (Ryc. 8). Na brzegu lewym z czterech różnych poziomów, tj.: 40, 90, 120 i 190 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 35). W centralnej części koryta z dwóch poziomów 5 i 10 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 44) oraz z dwóch poziomów (65 i 110 cm ponad zwierciadłem wody) zlokalizowanych na brzegu prawym (Ryc. 49).

BRZEG LEWY

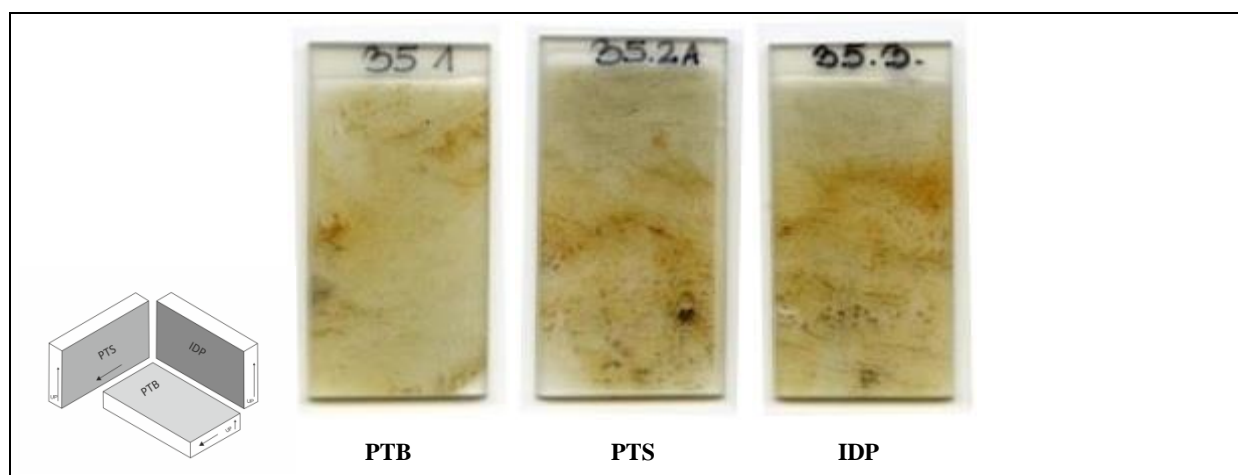
Poboru prób dokonano 5-go września 2013 roku, przy stanie wody osiągającym wysokość 181 cm (wodowskaz Kępa Polska) oraz przepływie wynoszącym $331 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Brzeg lewy był erodowany, stromy, strop porośnięty kępami traw. Jego wysokość od zwierciadła wody osiąga około 3 m, a koryto rzeki w tym miejscu posiadało znaczną głębokość (Ryc. 35).



Ryc. 34. Lokalizacja miejsc poboru próbek z lewego brzegu Wisły, stanowisko Kępa Polska, km 603-604 biegu rzeki

PRÓBKA NR 35 – 40 cm

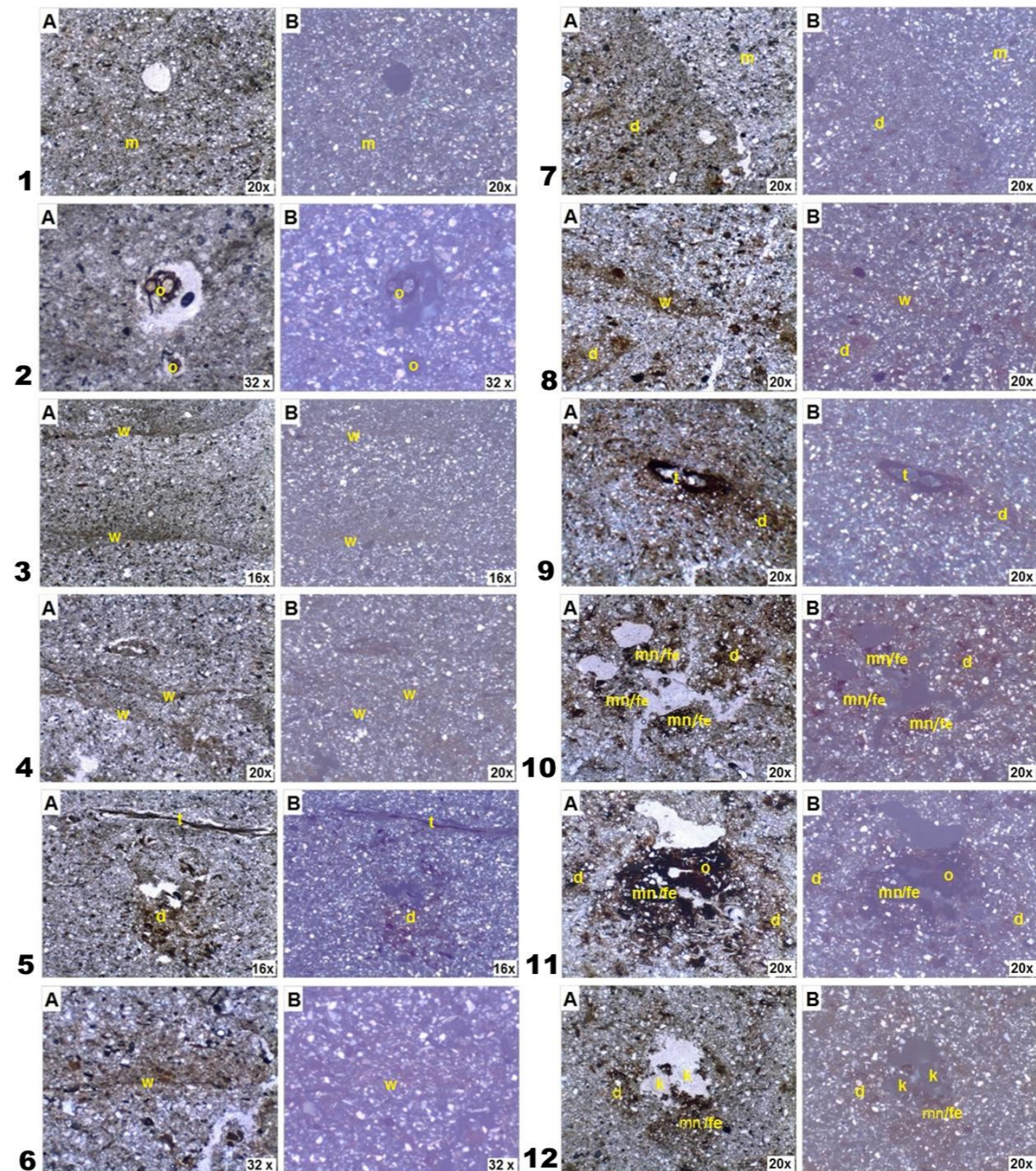
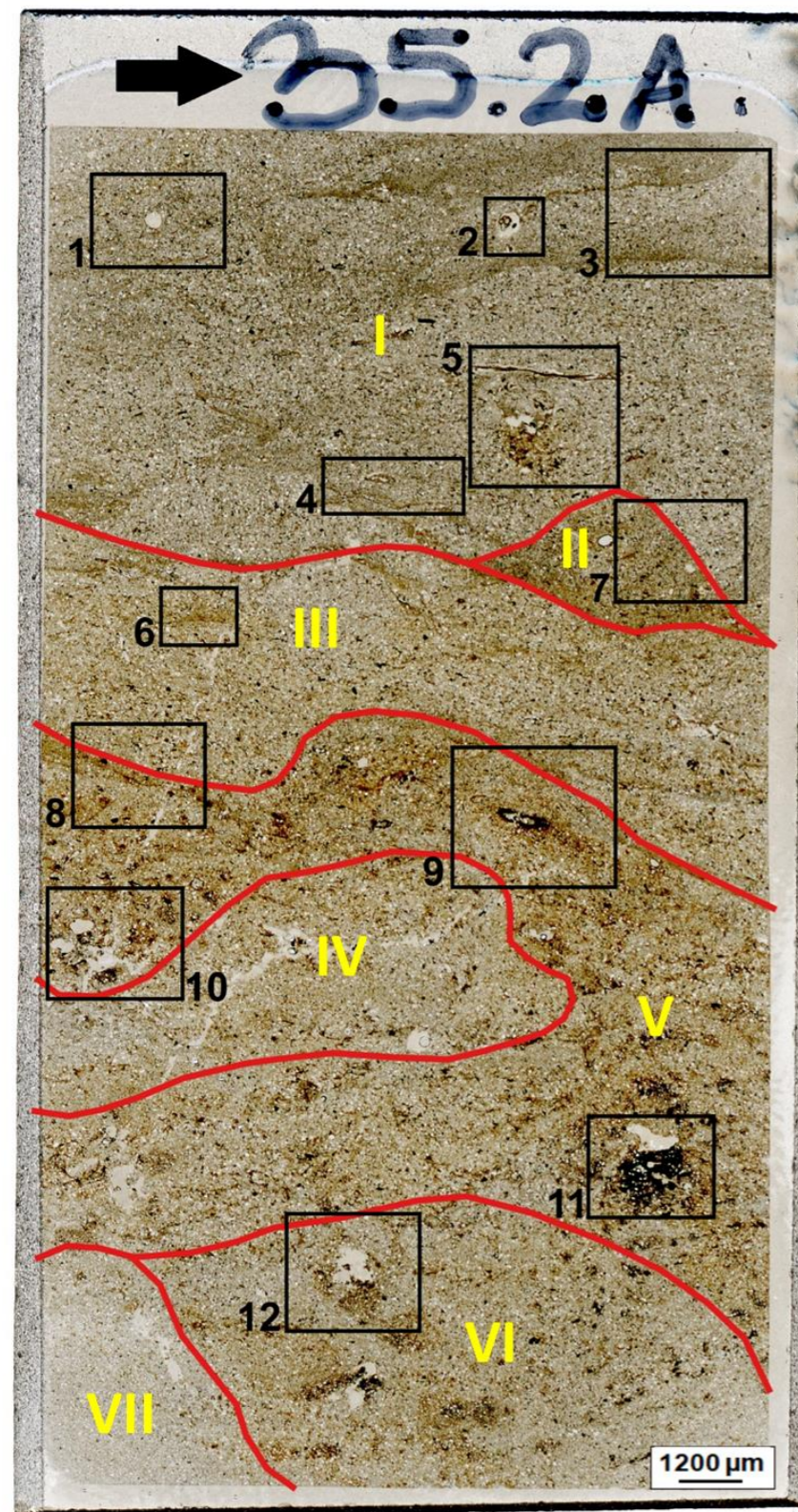
W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 35 pobranej z brzegu lewego, na wysokości 40 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 35) występuje piasek bardzo drobnoziarnisty oraz pył. Ziarna minerałów widoczne w szlifie nie są dobrze obtoczone, mieszczą się w klasie głównie 5 oraz niższych wg wzorca Krumbeina (1941). Ogólne wysortowanie osadu jest słabe, a upakowanie zwarte. W szlifach widoczne są cienkie laminy, które mikroskopowo różnią się między sobą stosunkiem grubego i drobnego materiału mineralnego oraz intensywnością wytrącania tlenków żelaza (Ryc. 36). Wytrącenia żelaziste oprócz form kulistych mają również kształty podłużne. Pojawiają się również nieciągłe, soczewkowatego kształtu warstewki średnio uporządkowanej frakcji ilastej. Dodatkowo występują szczątki organiczne tj. rośliny, muszle (Ryc. 36).



Ryc. 35. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 35 (40 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

Na szlifie 35.2A zorientowanym równoległe do kierunku biegu rzeki (PTS) na podstawie różnic w wielkości i zabarwieniu osadu udało się wydzielić siedem charakterystycznych warstw osadów/struktur sedymentacyjnych oraz wykonano 12 wysokorozdzielczych zdjęć pod mikroskopem (Ryc. 37). W stropie szlif (warszawa I) występuje osad drobny, o barwie szarej, z fragmentami materii organicznej oraz szczątków tkanek roślinnych (Ryc. 37, Fot.1 i 2). W warstwie tej obecne są wytrącenia żelazisto-ilaste w postaci cienkich, wydłużonych lamin (Ryc. 37, Fot.3 i 4). Pod większym fragmentem tkanki roślinnej (ciemniejszy wydłużony obiekt) nastąpiło dyfuzyjne wytrącenie żelaza (Ryc. 37, Fot.5). Warstwa II przyjmuje kształt soczewki rozdzielającej o zabarwieniu rdzawo-brązowym. Charakterystyczna granica pomiędzy dyfuzyjnym wytrąceniem żelaza (warstwa II) a masą

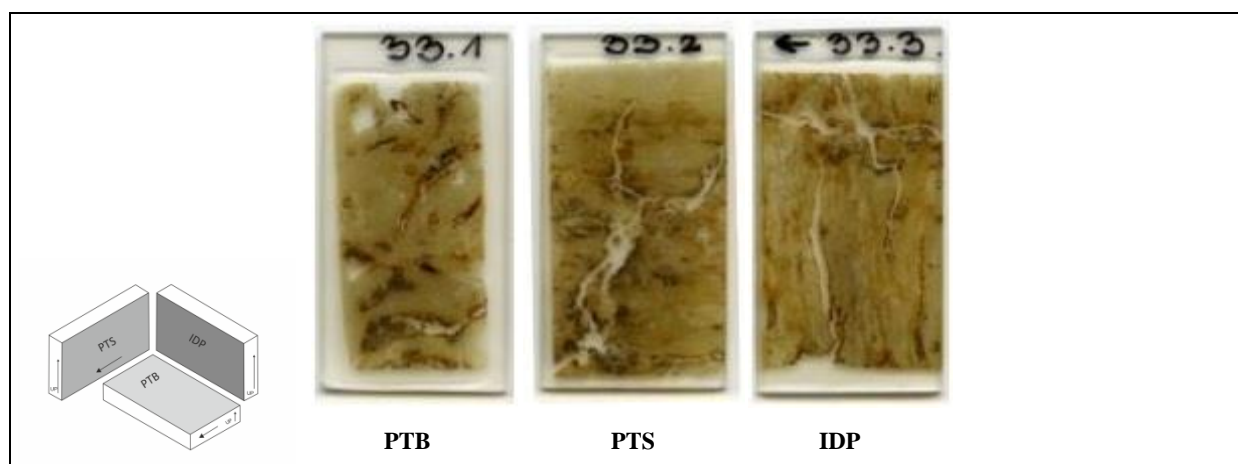
podstawą (warstwa I) widoczna jest na zdjęciu mikroskopowym nr 7 (Ryc. 37, Fot.7). W następnej wydzielonej warstwie (warstwa III) zaobserwowano szereg mniejszych lamin w postaci wytrąceń żelazisto-ilastych (Ryc. 37, Fot.6). W centralnej części szlif (warstwa V) pojawia się znacznie większa ilość dyfuzyjnych wytrąceń żelaza w sąsiedztwie wytrąceń żelazisto-ilastych (Ryc. 37, Fot.8) bądź większych fragmentów szczątków tkanek roślinnych (Ryc. 37, Fot.9). W pobliżu większych wolnych przestrzeni pojawiają się dodatkowo koncentracje manganowo-żelaziste (Ryc. 37, Fot.10 i 12) niekiedy również na kontakcie z materią organiczną (Ryc. 37, Fot.11). W wolnych przestrzeniach sporadycznie pojawiają się uwięzione ziarna kwarcu (Ryc. 37, Fot.12.). W warstwie IV wklonowującej się w warstwę V widoczne są spękania oraz wolne przestrzenie, gdzie osad jest znacznie jaśniejszy. W warstwie VI pojawiają się wolne przestrzenie owalnego kształtu oraz wytrącenia żelaza w mniejszej ilości niż w warstwie V. Warstwa VII natomiast to osad „czysty” pozbawiony całkowicie wytrąceń żelaza, stanowiący drobne ziarna kwarcowe.



Ryc. 36. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 35.2A. wykonanym z próbki nr 35 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-12: m - masa podstawowa, o - fragment organiczny, w - wytrącenia żelaziste, t - tkanka roślinna, d - dyfuzyjne wytrącenia żelaza, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste, k - ziarno kwarcu. Fot.1. Masa podstawowa (m) z fragmentami drobnej materii organicznej; Fot.2. Dobrze zachowany fragment organiczny (o) w otoczeniu masy podstawowej; Fot.3. Wytrącenia żelazisto-ilaste (w) w postaci cienkich lamin; Fot.4. Wytrącenia żelazisto-ilaste (w) w postaci cienkich lamin wraz z tkanką roślinną; Fot.5. Tkanka roślinna (t) oraz dyfuzyjne wytrącenie żelaza (d); Fot.6. Wytrącenia żelazisto-ilaste (w) w postaci cienkich lamin; Fot.7. Granica pomiędzy dyfuzyjnym wytrąceniem żelaza (d) a masą podstawową (m); Fot.8. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) oraz wytrącenia żelazisto-ilaste (w); Fot.9. Tkanka roślinna (t) w otoczeniu dyfuzyjnych wytrąceń żelaza (d); Fot.10. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) wraz z koncentracjami manganowo-żelazistymi (mn/fe); Fot.11. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) wraz z koncentracjami manganowo-żelazistymi (mn/fe) oraz materią organiczną (o); Fot.12. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) oraz koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe), w wolnej przestrzeni uwięzione większe ziarna kwarcu (k).

PRÓBKA NR 33 – 90 cm

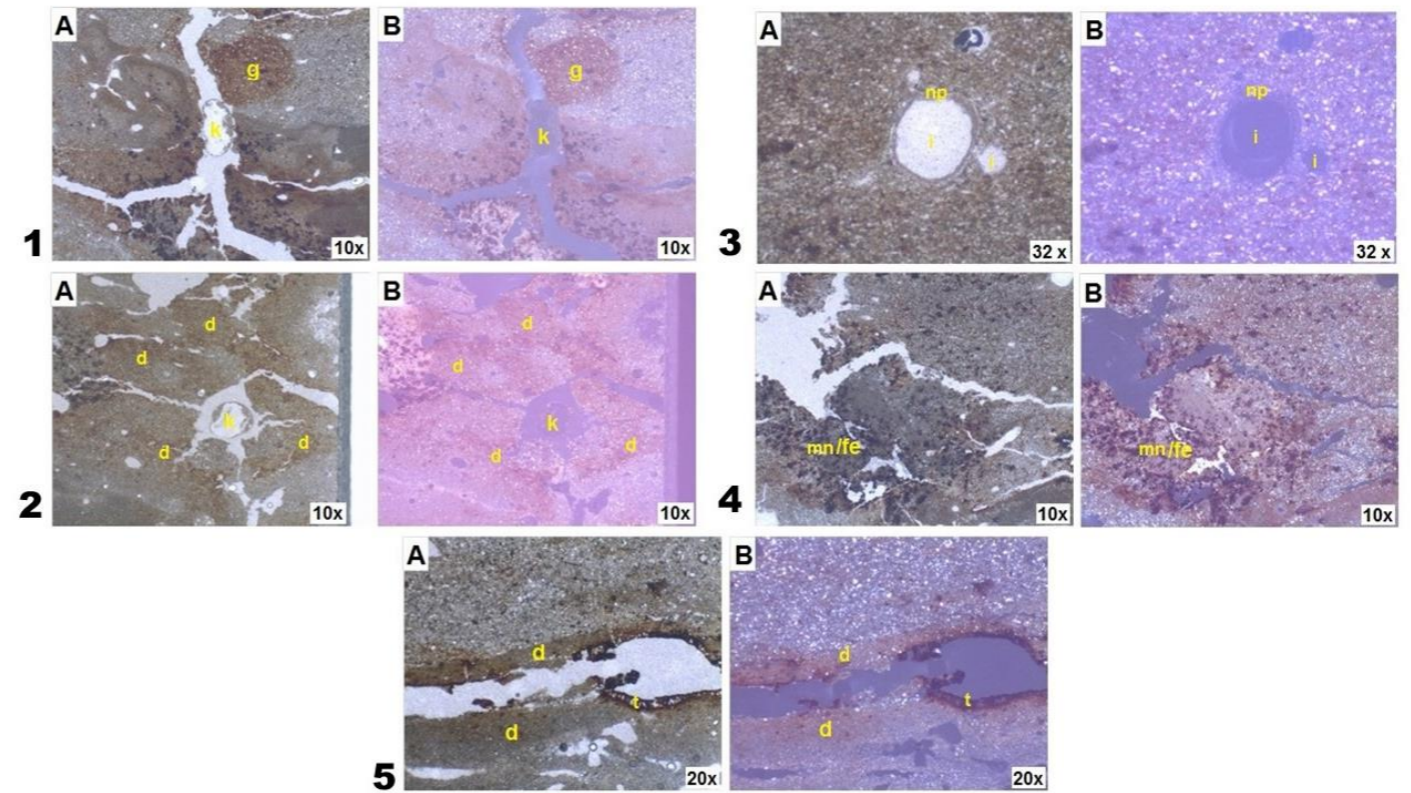
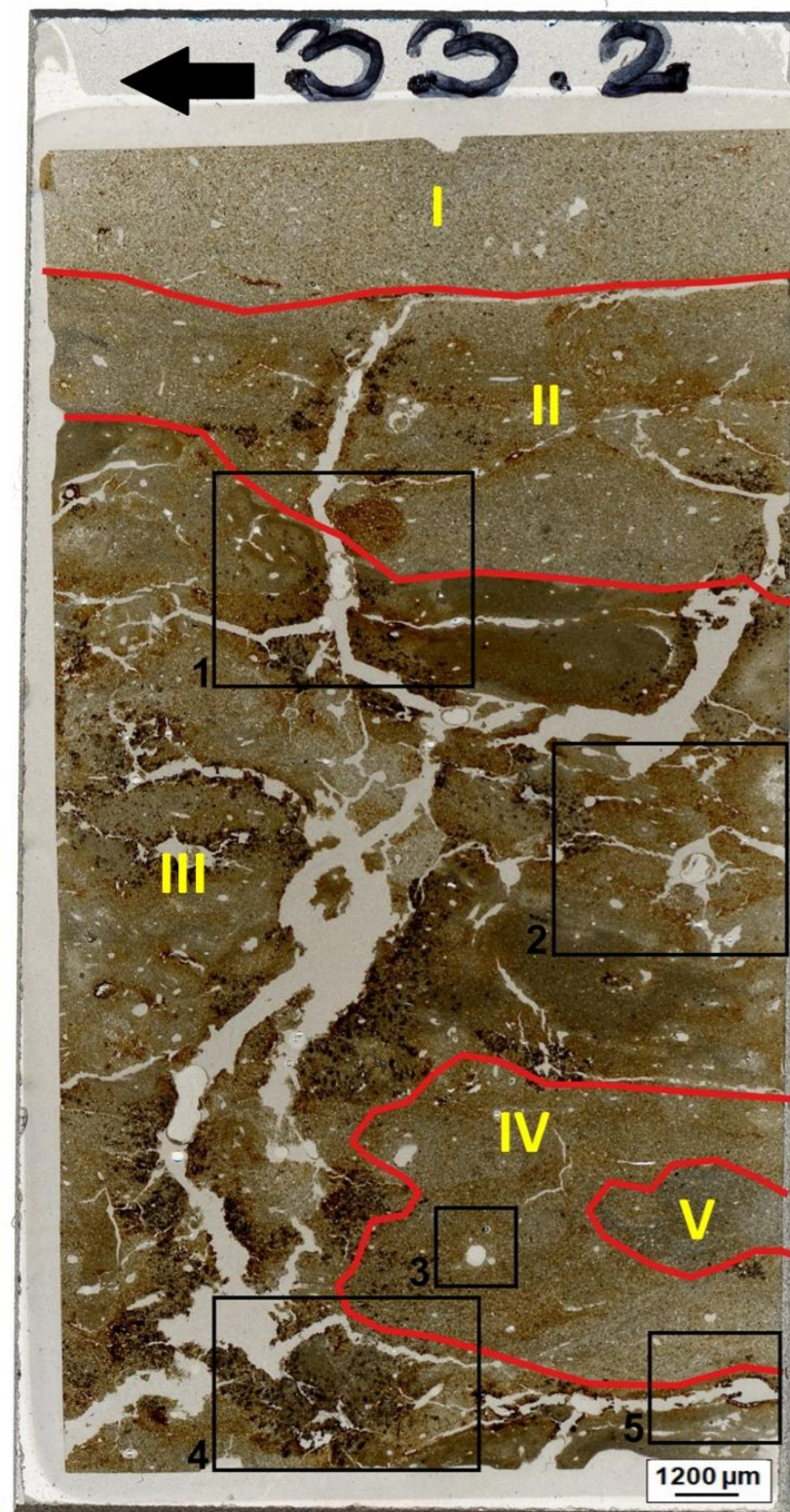
W wykonanych szlifach mikromorfologicznych z próbki nr 33 pobranej na wysokości 90 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 35), występuje osad zbity, kanalikowo-masywny. W miejscu poboru próbki występowały mułki piaszczyste i ilaste. Obtoczenie ziaren jest trudne do ustalenia ze względu na ich małe wymiary. Ogólne wysortowanie osadu jest słabe, a upakowanie zwarte. Ze względu na oksydacyjno-redukcyjne właściwości środowiska w omawianych próbkach powszechne są mikroformy żelaziste, cechujące się rudym bądź pomarańczowym zabarwieniem rzadziej spotykane są czarne lub czarno-pomarańczowe mikroformy żelazisto-manganowe. Widoczne są kanaliki związane głównie z aktywnością roślin, które wypełnia drobna frakcja ilasta. Sporadycznie występują większe ziarna kwarcu (Ryc. 38).



Ryc. 37. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 33 (90 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

W stopie szlif 33.2 (orientacja PTS) występuje niezanieczyszczony drobny mułek ilasty – warstwa I. Poniżej, w warstwie II, pojawiają się szczeliny, którym towarzyszą dyfuzyjne wytrącenia żelaza (Ryc. 39). Dostrzec można także nodule żelaziste z ostrymi granicami zewnętrznymi (Ryc. 38, Fot.1.). W środkowej części szlif (warstwa III) występują wolne przestrzenie oraz szczeliny, wewnątrz których znajdują się epizodycznie większe ziarna kwarcu o średnicy około 600 μm (Ryc. 39, Fot.1 i 2), ich otoczenie stanowią dyfuzyjne wytrącenia żelaza. Wzdłuż szczelin występuje rozłożona materia organiczna oraz wytrącenia manganowo-żelaziste o czarnym zabarwieniu (Ryc. 39, Fot.5). W spągowej części szlif widoczna jest szczelina z pozostałością tkanki roślinnej, otoczenie szczeliny stanowią wytrącenia żelaziste. W prawej części szlif, warstwie IV pozbawionej szczelin, wewnątrz wolnych przestrzeni o owalnym kształcie, których wypełnienie stanowi ił koloidalny,

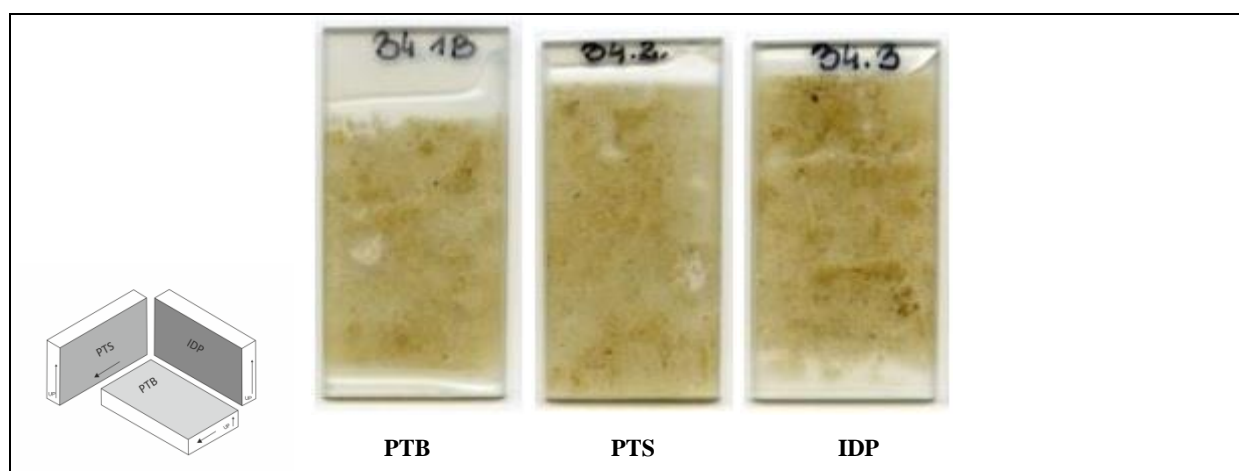
pojawiają się nacieki pylasto-ilaste (Ryc. 39, Fot.3). W warstwę IV wklinowuje się warstwa V o ciemnym zabarwieniu zbudowana z dobrze upakowanego osadu o frakcji ilastej.



Ryc. 38. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 33.2. wykonanym z próbki nr 33 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym) oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-5: g - nodule żelaziste, k - kwarc w wolnej przestrzeni, d - dyfuzyjne wytrącenia żelaza, np - nacieki pylasto-ilaste, i - il koloidalny, t - tkanka roślinna. Fot.1. Ziarno kwarcu (k) wewnątrz kanalika oraz nodula żelazista z ostrą granicą zewnętrzną (g); Fot.2. Ziarno kwarcu (k) wewnątrz kanalika, widoczne dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d); Fot.3. Naciek pylasto-ilasty (np) wokół wolnej przestrzeni wypełnionej ilem koloidalnym (i); Fot.4. Koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe) pod kanalikiem; Fot.5. Kanalik z pozostałością tkanki roślinnej (t), brzozy stanowią dyfuzyjne wytrącenia żelaza z wyraźnymi granicami zewnętrznymi.

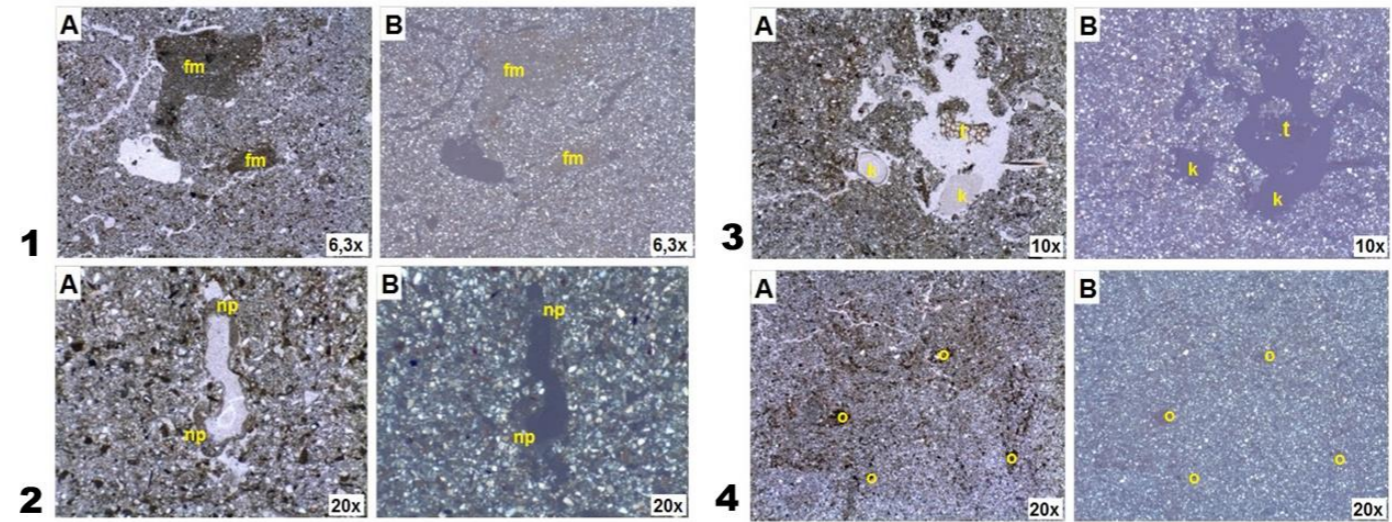
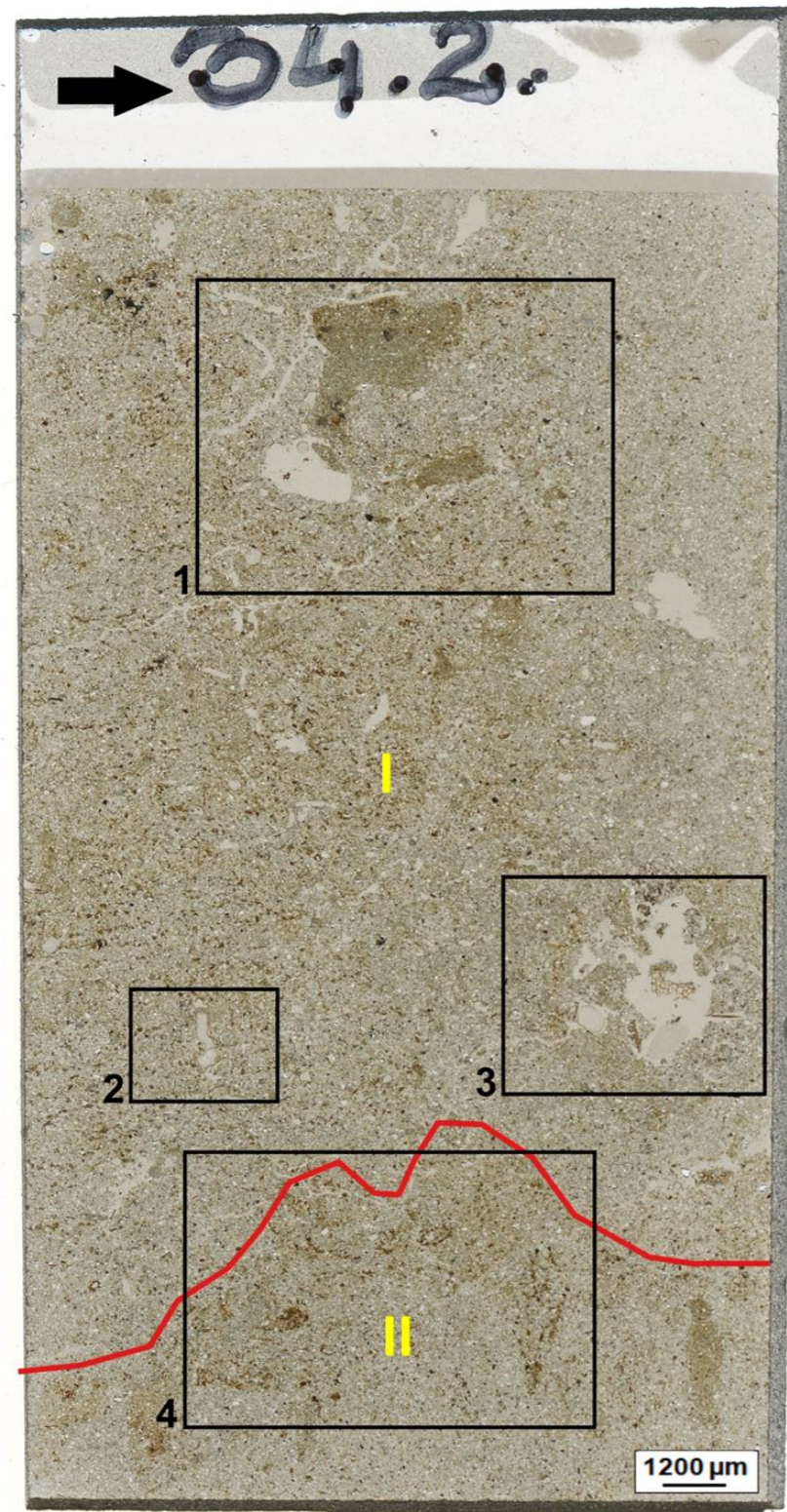
PRÓBKA NR 34 – 120 cm

Kolejna próbka do analizy mikromorfologicznej została pobrana z brzegu lewego, na wysokości 120 cm ponad zwierciadłem wody (próbka 34, Ryc. 35). Osad w szlifach jest bardzo drobny oraz słabo wysortowany. Przewagę stanowi piasek bardzo drobnoziarnisty. Miejscami występują fragmenty masywne zbudowane z frakcji drobniejszych. Nieliczne wolne przestrzenie wypełnione są drobną materią lub fragmentami roślin w różnym stopniu rozkładu. W szlifach występują słabo zaznaczone efekty oddziaływania procesów oksydacyjno-redukcyjnych (Ryc. 40).



Ryc. 39. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 34 (120 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

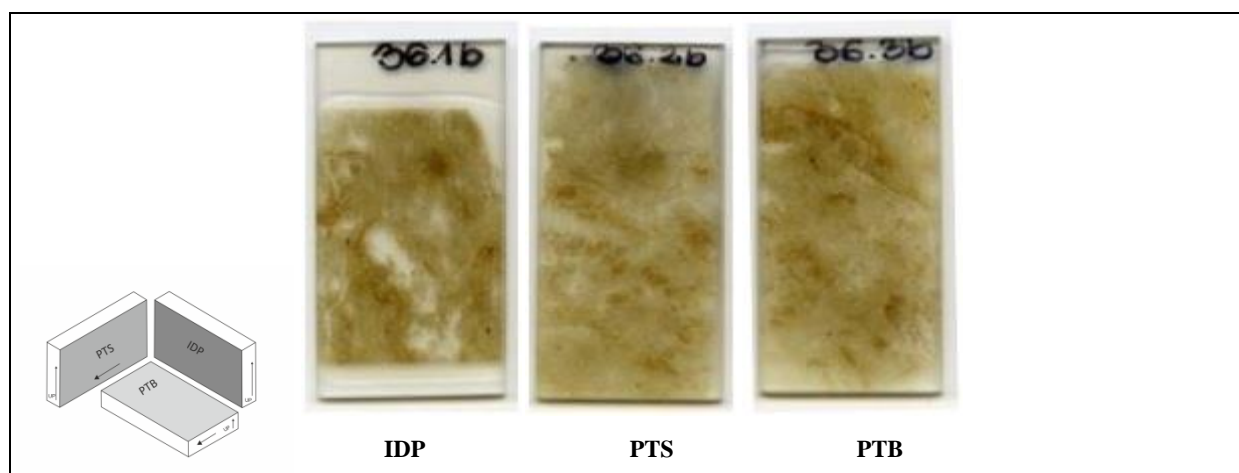
W szlifie 34.2 (orientacja PTS) wyróżniono tylko jedną granicę między warstwami w części spągowej (Ryc. 41). W stropie szlifu, w masie podstawowej widoczne są kanaliki, wolne przestrzenie oraz fragmenty masywne zbudowane z frakcji ilastej stanowiące warstwę I (Ryc. 41, Fot.1). W środkowej części szlifu wokół wolnych przestrzeni występują nacieki pylasto-ilaste (Ryc. 41, Fot.2). Przy prawej krawędzi szlifu, w większej wolnej przestrzeni wypełnionej iłem koloidalnym, znajduje się tkanka roślinna oraz większe ziarna kwarcu o średnicy poniżej 600 μm (Ryc. 41, Fot.3). Spągowa część szlifu, warstwa II, to nacieki z wytrąceń żelaza wraz z fragmentami materii organicznej (Ryc. 41, Fot.4).



Ryc. 40. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 34.2. wykonanym z próbki nr 34 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska. Fotografije mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym) oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-4: fm - fragment masywny, np - naciek pylasto-ilasty, t - tkanka roślinna, k - ziarno kwarcu, o - materia organiczna. Fot.1. Fragment masywny (fm) w masie podstawowej; Fot.2. Naciek pylasto-ilasty (np) wokół wolnej przestrzeni; Fot.3. Tkanka roślinna (t) oraz większe ziarna kwarcu (k) w wolnej przestrzeni; Fot.4. Fragmenty materii organicznej (o) w otoczeniu wytrąceń żelaza.

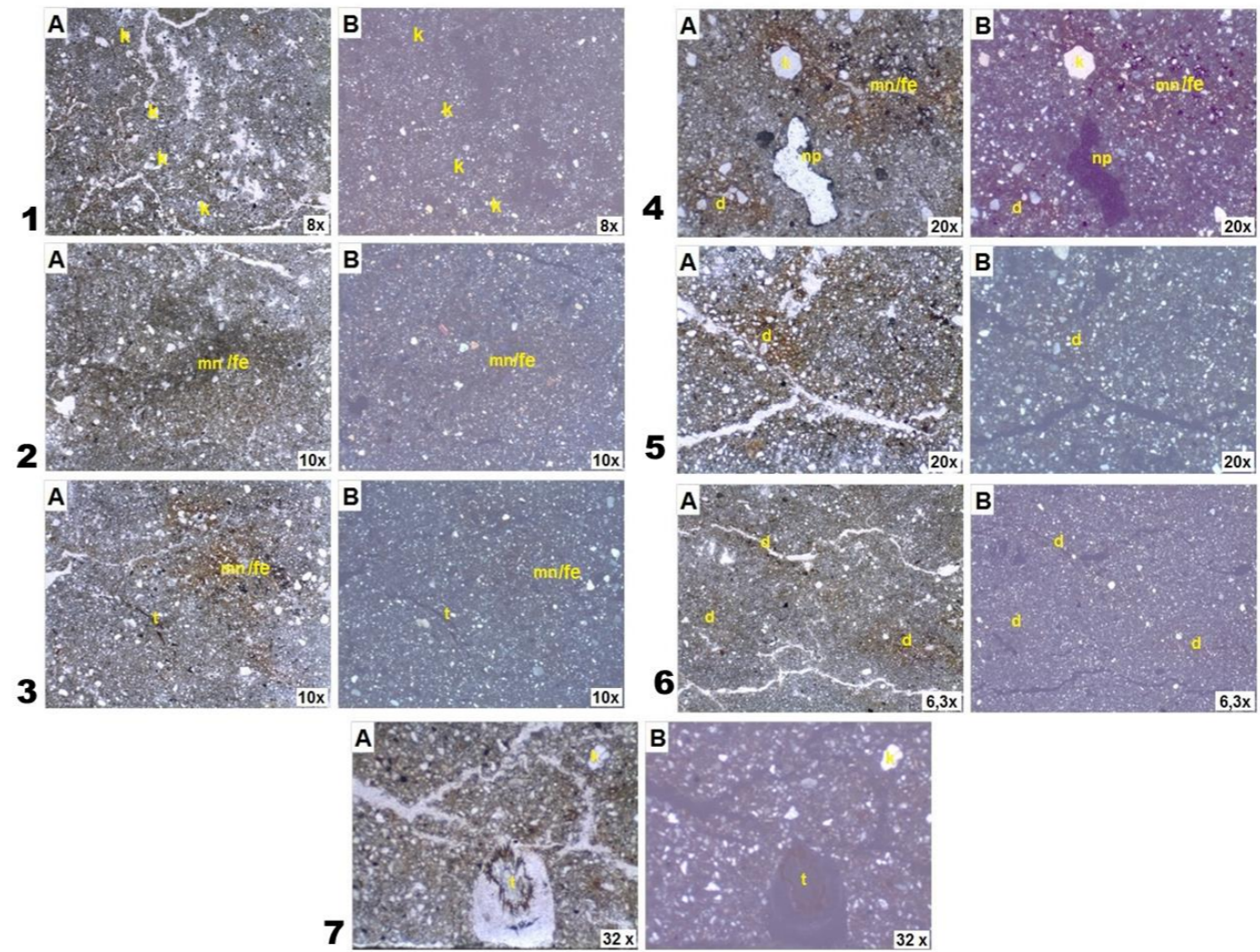
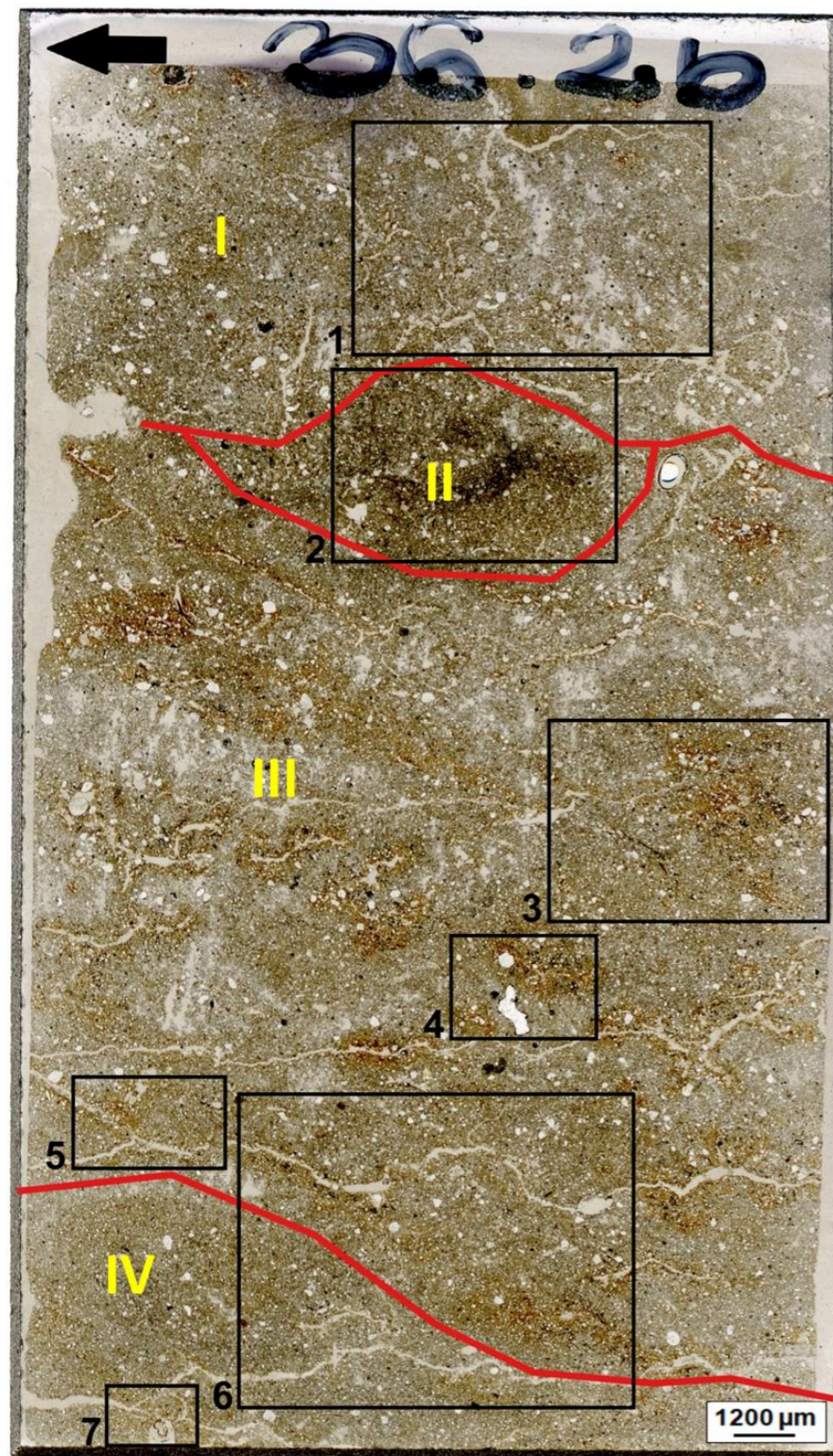
PRÓBKA NR 36b – 190 cm

Ostatnia próbka do analizy mikromorfologicznej z brzegu lewego została pobrana na wysokości 190 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 35). Zarejestrowany osad jest drobny i słabo wysortowany. W szlifach widoczne są skupiska żelaza w postaci rdzawych zgrupowań, zarówno w postaci noduli jak i wytrąceń żelazistych, świadczące o zachodzących procesach oksydacyjno-redukcyjnych. W szlifach sporadycznie występują większe, dobrze obtoczone ziarna kwarcu, o znacznie większej wielkości niż masa podstawowa. Spękania widoczne w szlifach powstały w skutek wysychania osadu, uwarunkowanego lokalizacją próbki na znacznej wysokości, wahania stanów wody przez długi okres nie sięgały miejsca poboru próby, a jednocześnie rzadko infiltrują na taką głębokość wody pochodzące z powierzchni (Ryc. 42).



Ryc. 41. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 36 (190 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

W szlifie 36.2b (orientacja PTS) wyróżniono trzy granice warstw. Strop szlifu, warstwa I, jest barwy szarej, występują spękania, wolne przestrzenie oraz większe ziarna kwarcu o średnicy około 250 μm (Ryc. 43, Fot.1). Poniżej, w warstwie II przyjmującej kształt soczewkowaty, znajduje się znacznych rozmiarów koncentracja manganowo-żelazista z widocznymi w świetle spolaryzowanym ziarnami oliwinów (Ryc. 43, Fot.2). Środkowa część, warstwa III, to przewaga koncentracji manganowo-żelazistych wraz z pozostałościami tkanek roślinnych (Ryc. 43, Fot.3). Wokół wolnych przestrzeni pojawiają się otoczki manganowe (Ryc. 43, Fot.4), a w pobliżu spękań – dyfuzyjne wytrącenia żelaza (Ryc. 43, Fot.5 i 6). Spągowa część szlifu, warstwa IV, jest bardziej jednorodna, wytrącenia żelaza są znikome, w wolnych przestrzeniach pojawiają się fragmenty szczątków tkanek roślinnych (Ryc. 43, Fot.7).



Ryc. 42. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 36.2b wykonanym z próbki nr 36 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym) oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-7: k - ziarno kwarcu, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste, d - dyfuzyjne wytrącenia żelaza, np - naciek pylasto-ilasty, t - tkanka roślinna. Fot.1. Spękania w masie podstawowej, widoczne większe ziarna kwarcu (k); Fot.2. Koncentracja manganowo-żelazista (mn/fe) widoczne ziarna oliwinów; Fot.3. Koncentracja manganowo-żelazista (mn/fe) oraz pozostałość tkanki roślinnej (t); Fot.4. Naciek pylasto-ilasty (np) wokół wolnej przestrzeni, koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe), dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) oraz większe ziarno kwarcu (k); Fot.5. Dyfuzyjne wytrącenie żelaza (d) w pobliżu spękań osadu; Fot.6. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) w pobliżu spękań osadu; Fot.7. Pozostałość tkanki roślinnej (t) w wolnej przestrzeni, widoczne spękania oraz większe ziarno kwarcu (k).

ŚRODEK KORYTA

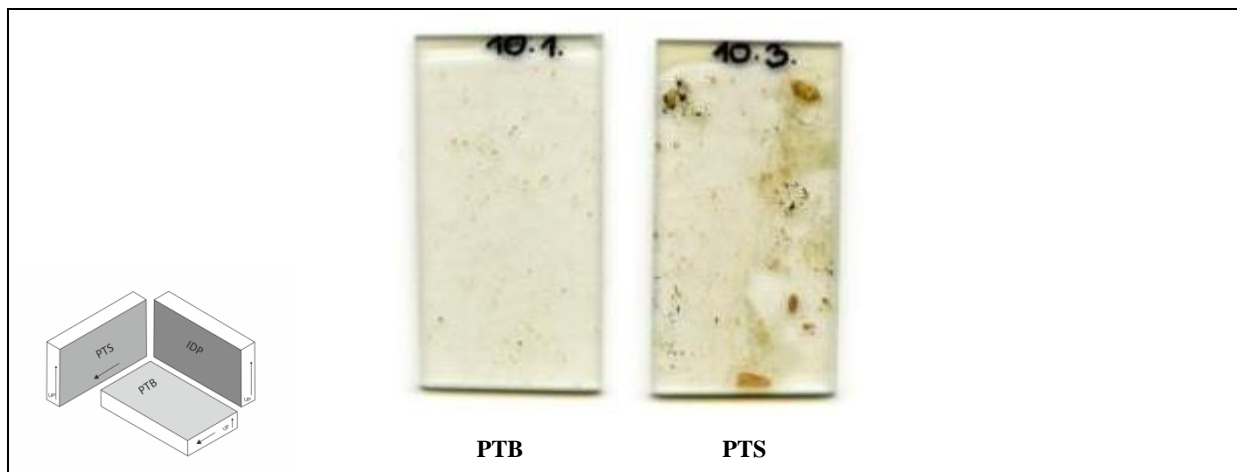
Próbki na środku koryta Wisły, z czoła łachy pobrano 24-go września 2012 roku, przy stanie wody sięgającym 151 cm (wodowskaz Kępa Polska) oraz przepływie wynoszącym $335 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Koryto w tym miejscu jest szerokie, wstępują w nim liczne kępy w postaci stałych wysp ustabilizowanych przez drzewa i krzewy. Wysokość formy, z której pobierano próbki, to około 20 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 44).



Ryc. 43. Lokalizacja miejsc poboru próbek ze środkowej części koryta Wisły, stanowisko Kępa Polska, 603-604 km biegu rzeki

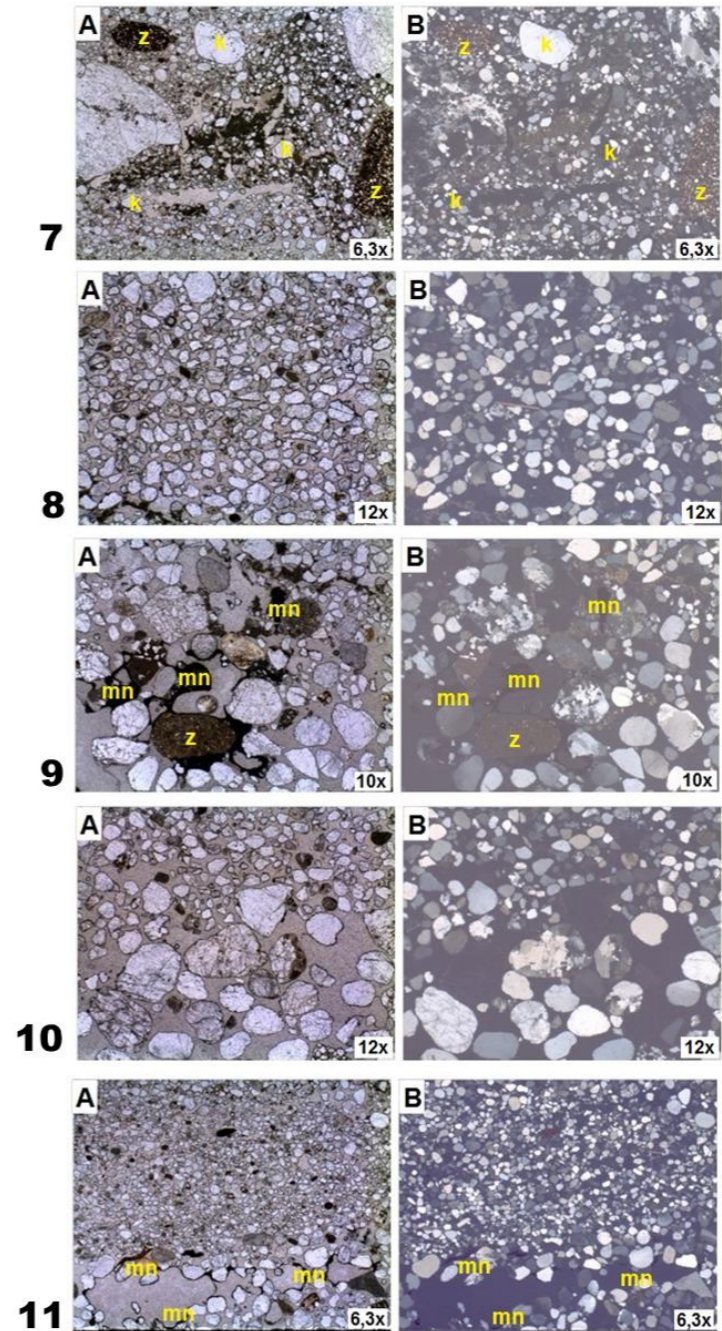
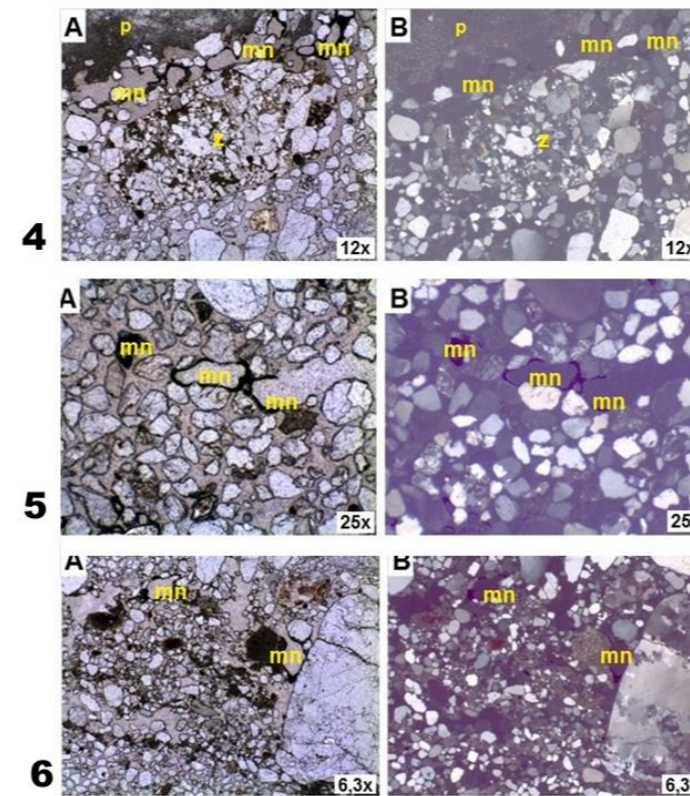
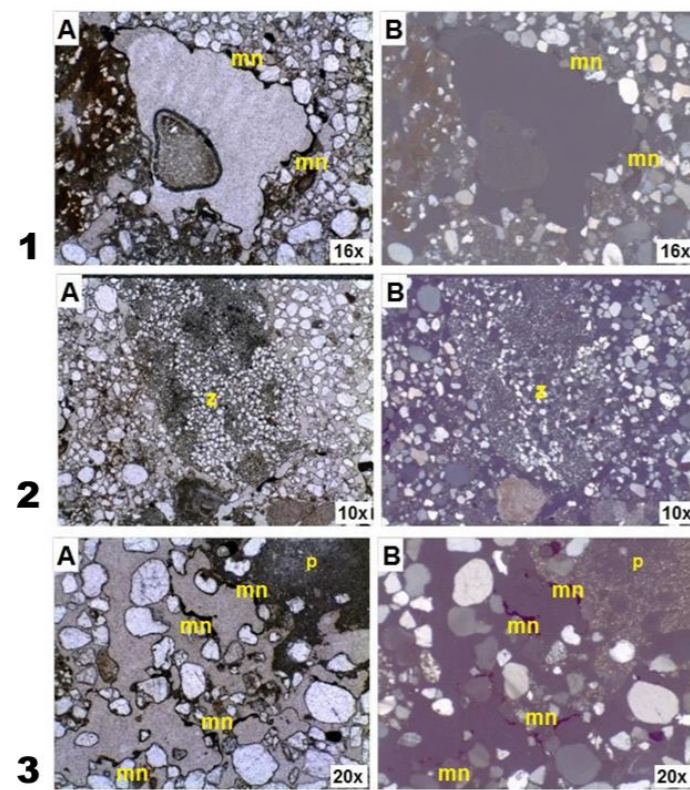
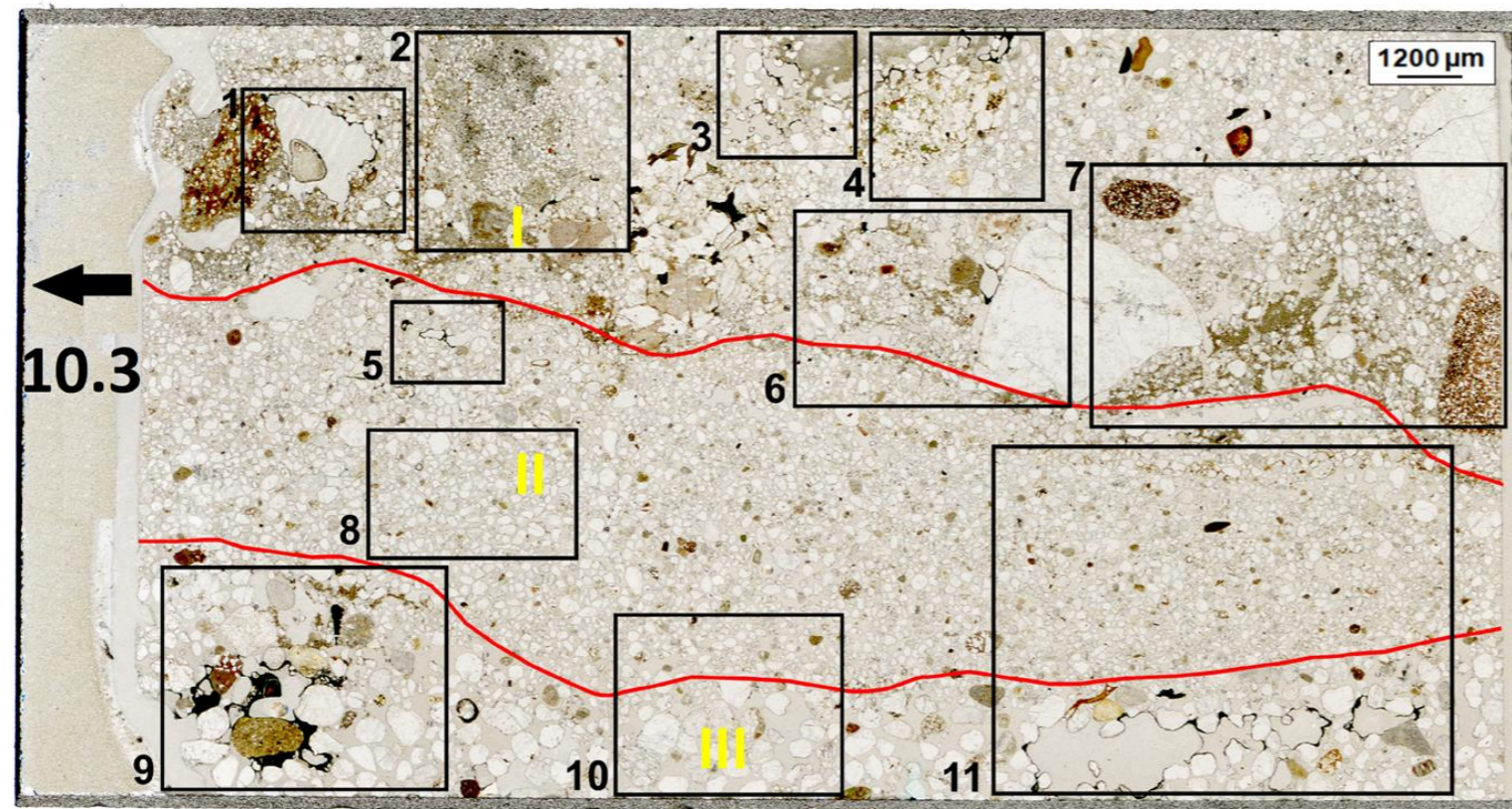
PRÓBKA NR 10 – 5 cm

Próbkę nr 10 pobrano w miejscu, w którym widoczne było osadzanie się materiału o różnym uziarnieniu i zabarwieniu, powyżej występował osad bardziej jednorodny, bez znacznych różnic w barwie (Ryc. 44). W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z tej próbki dominuje piasek średnioziarnisty. Ziarna minerałów są dobrze obtoczone, z wyraźną przewagą ziaren kwarcu. Wyszortowanie osadu jest umiarkowanie dobre. Widoczne są różnice w szlifach w zależności od ich orientacji w próbce (Ryc. 45).



Ryc. 44. Przedstawienie w dwóch płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 10 (5 cm) osadów korytowych dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki.

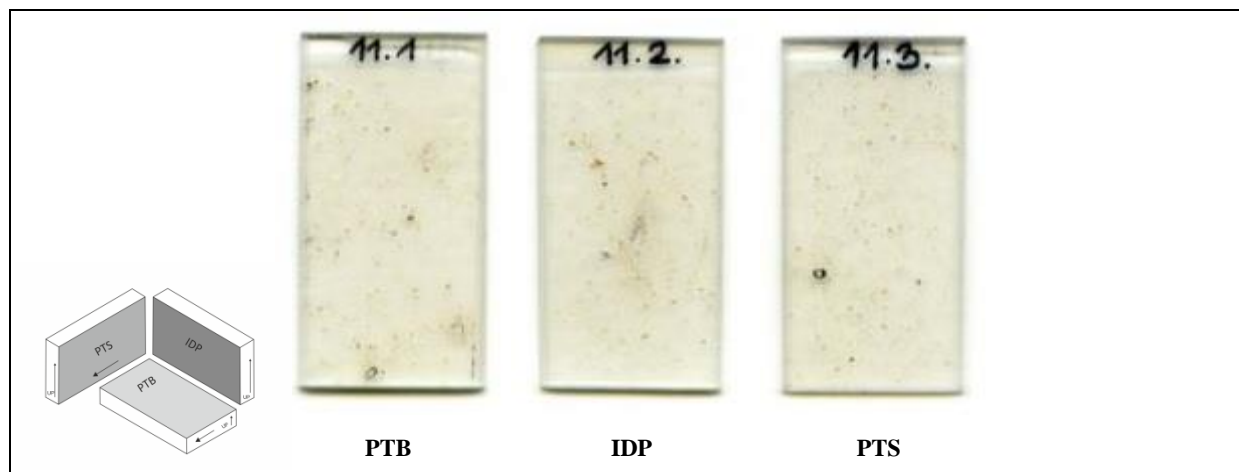
W szlifie 10.3. wykonanym równoległe do kierunku płynięcia rzeki (PTS) wyróżniono trzy granice warstw, natomiast osad w szlifie wykonanym równoległe do powierzchni warstwowania (PTB ang. *parallel to bedding*) jest jednorodny (Ryc. 45). W stropie szlifu 10.3. (warstwa I) występuje materiał niejednorodny w postaci ziaren kwarcu oraz materiał o charakterystyce zlepieńców zbudowany z mniejszych ziaren fragmentów mineralnych o wymiarach sięgających do 10 mm, wymieszanych z ziarnami drobniejszymi oraz frakcją pylastą (Ryc. 46, Fot.2, 4 i 6). Krawędzie wolnych przestrzeni wypełniają otoczki manganowe (Ryc. 46, Fot.1 i 3). Pomiedzy zlepieńcami i większymi ziarnami kwarcu występuje materiał drobny (Ryc. 46, Fot.7). W środkowej części szlifu, warstwa II, występują głównie ziarna kwarcu. Nacieki manganowe pojawiają się sporadycznie, a ich wielkości są znacznie mniejsze (Ryc. 46, Fot.5). Między ziarnami kwarcu w śladowych ilościach zauważyć można materię organiczną (Ryc. 46, Fot.8). Granicę pomiędzy warstwami wyróżniono na podstawie wielkości ziaren kwarcu (Ryc. 46, Fot.10 i 11). W spągowej części, warstwa III, występują ziarna kwarcu oraz sporadycznie zlepieńce znacznie mniejszej wielkości niż w stropie szlifu (Ryc. 46, Fot.9). Pojawiają się również większe nacieki manganowo wokół wolnych przestrzeni (Ryc. 46, Fot.11).



Ryc. 45. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 10.3, wykonanym z próbki nr 10 pobranej z koryta dolnej Wisły, stanowisko Kępa Polska. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-11: mn – nacieki manganowe, z - zlepienie, p – frakcja pylastej, k - ziarno kwarcu. Fot.1. Naciek manganowy (mn) wokół wolnej przestrzeni; Fot.2. Zlepienie (z) w otoczeniu ziaren kwarcu oraz frakcji pylastej; Fot.3. (10.3) Nacieki manganowe (mn) wokół ziaren kwarcu wraz z nagromadzeniem frakcji pylastej (p); Fot.4. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy zlepieniem (z) a frakcją pylastą (p); Fot.5. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu; Fot.6. Nacieki manganowe (mn) w pobliżu materiału drobniejszego; Fot.7. Materiał drobny pomiędzy zlepieńcami (z) i większymi ziarnami kwarcu (k); Fot.8. Zmienność wielkości ziaren kwarcu; Fot.9. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy zlepieńcami (z) i ziarnami kwarcu; Fot.10. Zmienność wielkości ziaren kwarcu - granica pomiędzy warstwami; Fot.11. Granica pomiędzy warstwami w części spągowej widoczne nacieki manganowe (mn).

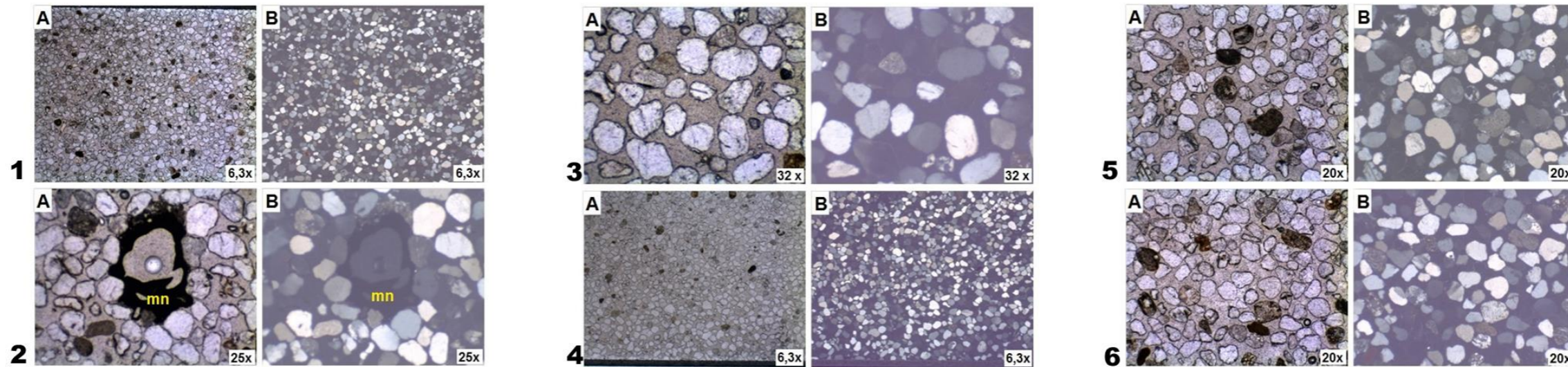
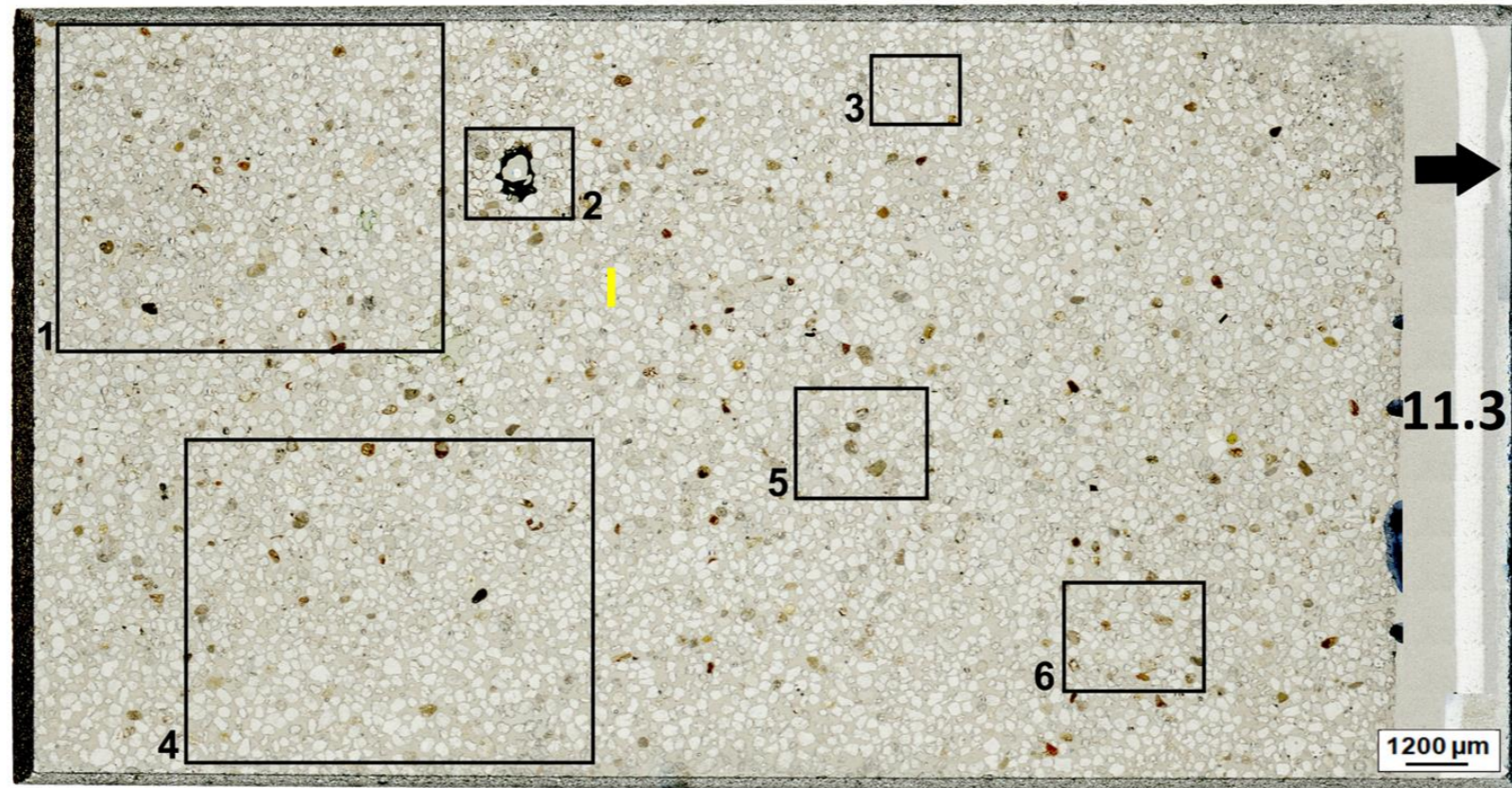
PRÓBKA NR 11 – 10 cm

W szlifach mikromorfologicznych pobranych na wysokości 10 cm ponad zwierciadłem wody, przeważa piasek średnioziarnisty. Ziarna minerałów są dobrze obtoczone, dominuje kwarc. Wysortowanie osadu jest umiarkowanie dobre. W szlifach można wyróżnić zgrupowania ziaren większych bądź mniejszych, jednak wyraźnych granic pomiędzy jakimikolwiek warstwami nie udało się wskazać. Może to świadczyć o tym, że próbka została pobrana z serii osadów powstałej podczas warunków o jednakowym natężeniu przepływu wody (Ryc. 47).



Ryc. 46. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 11 (10 cm) osadów korytowych dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

W szlifie 11.3 (orientacja PTS) dominują ziarna kwarcu, ich wielkość jest zróżnicowana, przy czym większe ziarna są bardziej obtoczone (Ryc. 48, Fot.3). Widoczne są domieszki innych minerałów (Ryc. 48, Fot.1, 4-6). Sporadycznie natrafić można na nacieki manganowe wokół wolnych przestrzeni (Ryc. 48, Fot.2). Szlif jest jednorodny, trudno wydzielić w nim jakąkolwiek warstwę.



Ryc. 47. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 11.3. wykonanym z próbki nr 11 pobranej z koryta dolnej Wisły, stanowisko Kępa Polska. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-6: mn - naciek manganowy. Fot.1. Zmienność wielkości ziaren kwarcu - części szlif; Fot.2. Naciek manganowy (mn) wokół wolnej przestrzeni; Fot.3. Luźno upakowane ziarna kwarcu; Fot.4. Zmienność wielkości ziaren kwarcu - granica pomiędzy warstwami, część spągowa szlif; Fot.5. Zmienność wielkości ziaren kwarcu - środkowa część szlif; Fot.6. Zmienność wielkości ziaren kwarcu.

BRZEG PRAWY

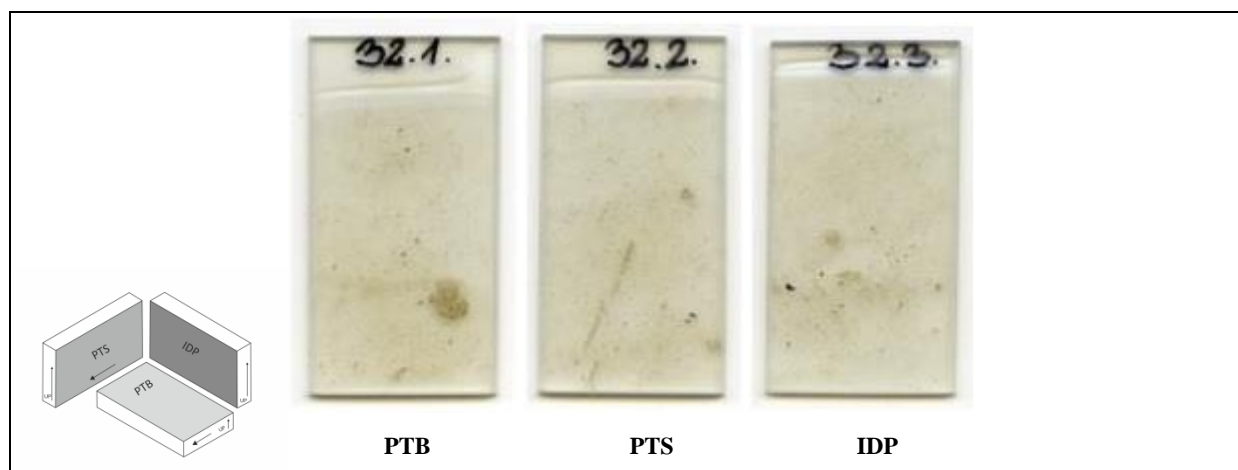
Poboru próbek dokonano 5-go września 2013 roku, przy stanie wody osiągającym wysokość 181 cm (wodowskaz Kępa Polska) oraz przepływie wynoszącym $331 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Brzeg prawy jest brzegiem akumulacyjnym, porośniętym kępami traw oraz drzewami. Jego wysokość osiąga około 2 m, a koryto rzeki w tym miejscu jest płytkie (Ryc. 49).



Ryc. 48. Lokalizacja miejsca poboru próbki nr 31 i 32, prawy brzeg Wisły, stanowisko Kępa Polska, 603-604 km biegu rzeki

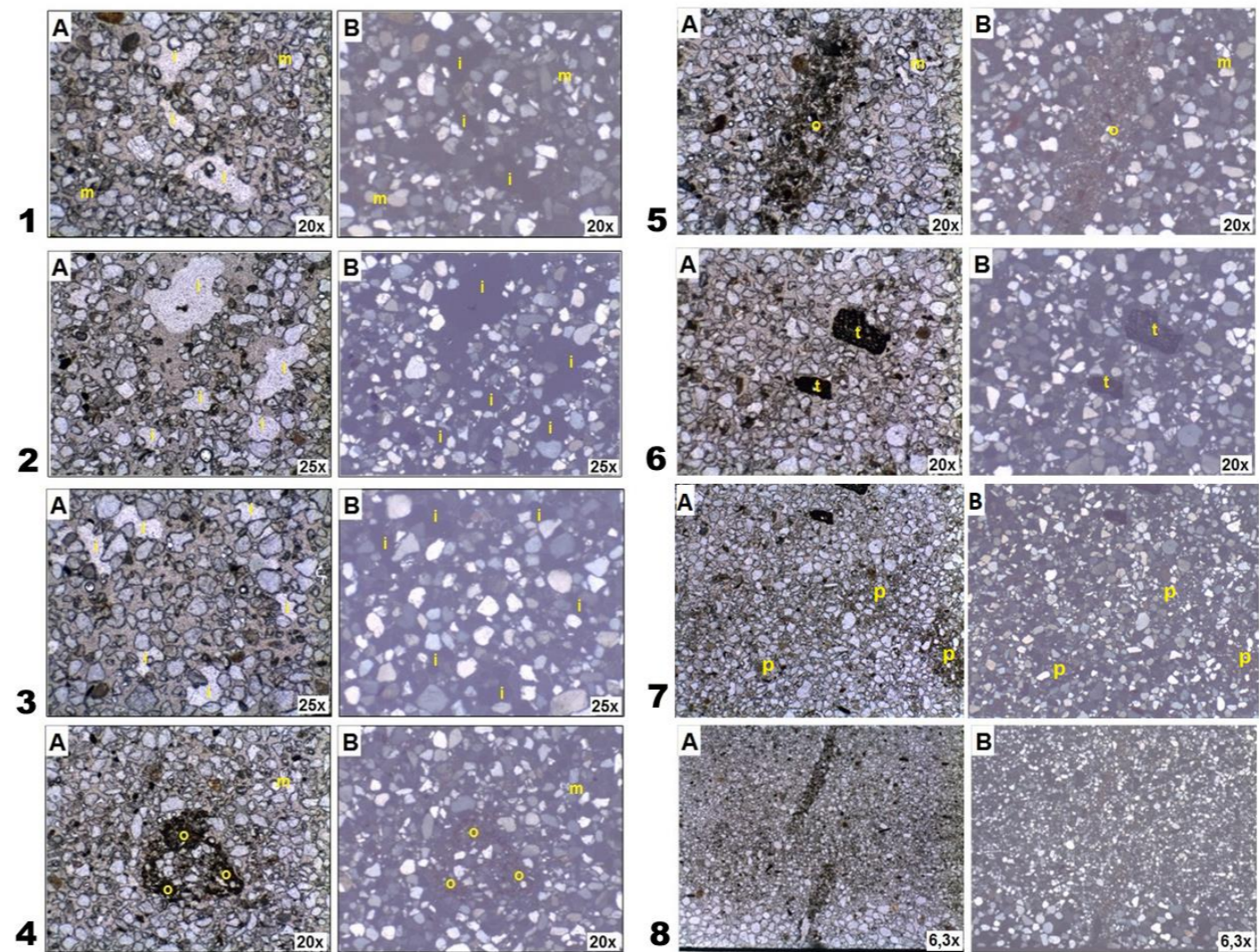
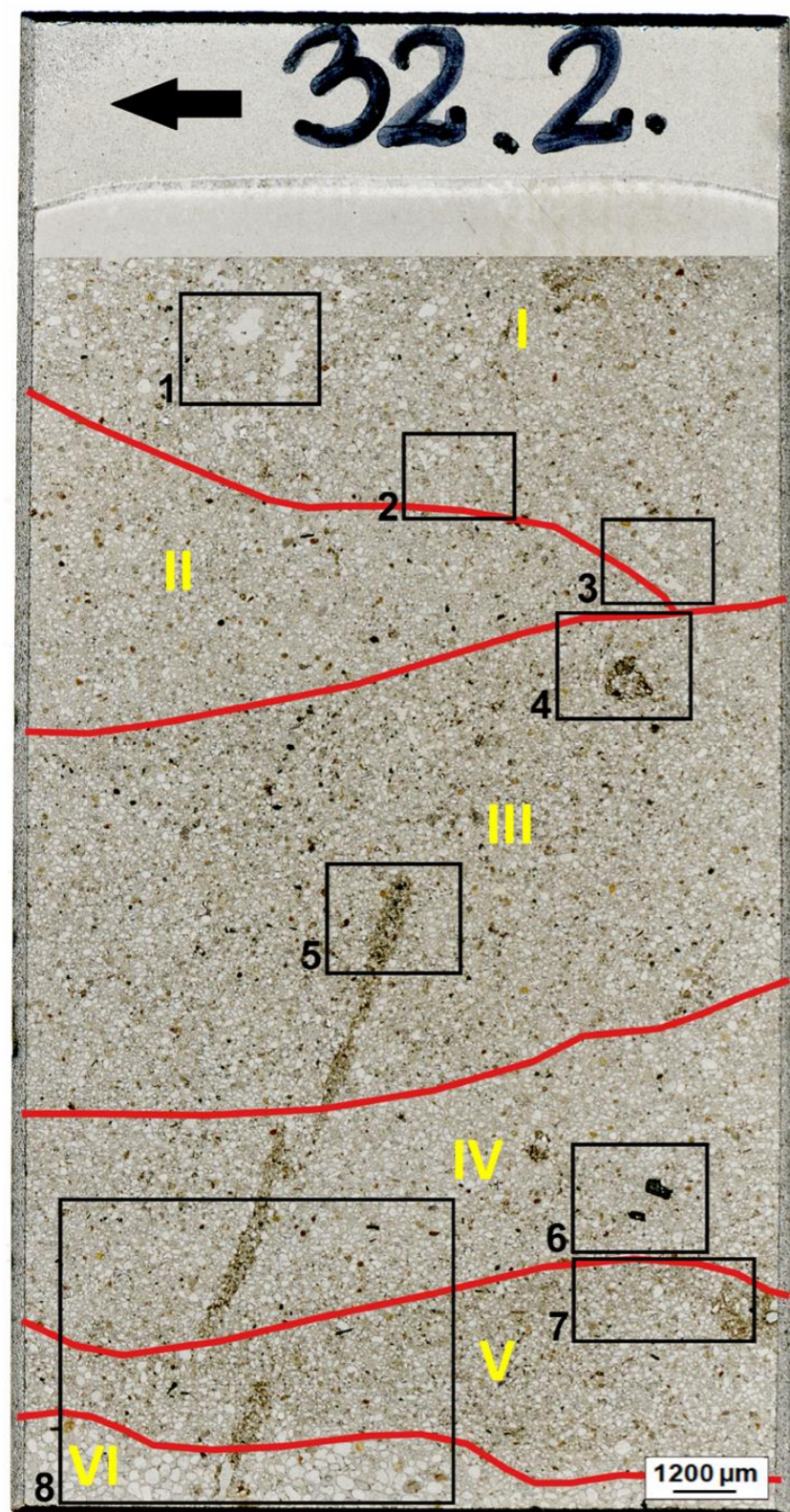
PRÓBKA NR 32 – 65 cm

W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 32 pobranej z brzegu prawego, na wysokości 65 cm ponad zwierciadłem wody występuje piasek drobnoziarnisty. W obtoczeniu przeważa klasa 5 wg skali Krumbeina (1941), czyli ziarna bardzo dobrze obtoczone. Ogólne wysortowanie osadu jest umiarkowane, a upakowanie dość luźne. W szlifach widoczna jest materia organiczna, w postaci m.in. małych fragmentów drewna, węgielków oraz śladów materii organicznej (Ryc. 50).



Ryc. 49. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 32 (65 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

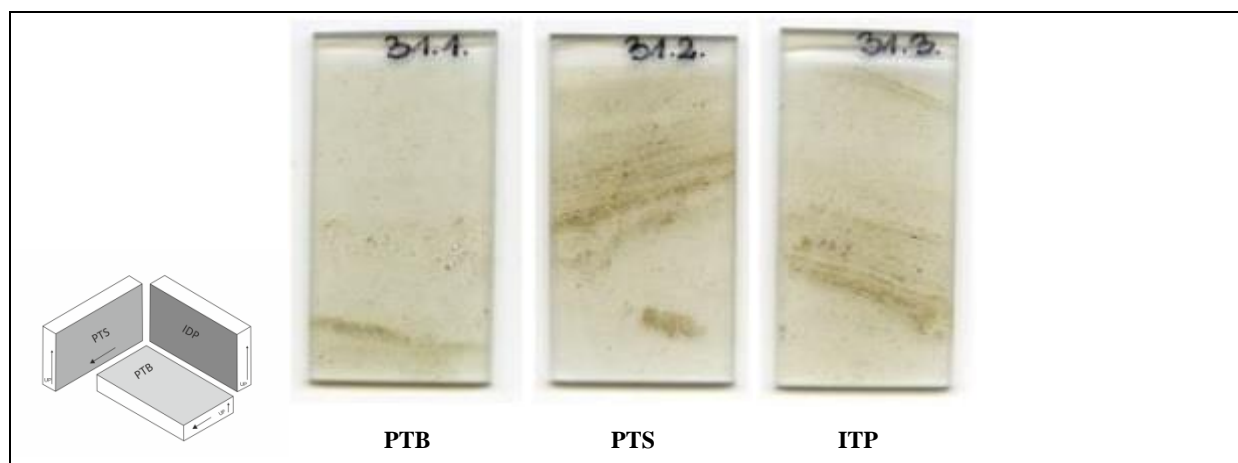
W szlifie 32.2 (orientacja PTS) wyróżniono sześć granic warstw na podstawie charakterystycznych zmian zachodzących w strukturze osadu tj. ilości wolnych przestrzeni, wielkości ziaren i udziału materii organicznej (Ryc. 51). W obrębie warstwy I znajdującej się w stropie, przeważa kwarc oraz zwiększona liczba wolnych przestrzeni wypełnionych iłem koloidalnym (Ryc. 51, Fot.1-3). W środkowej części pomiędzy ziarnami kwarcu występują fragmenty materii organicznej (warstwa II i warstwa IV) oraz tkanek roślinnych występujących w większej ilości w warstwie III o wielkości ok. 500 μm (Ryc. 51, Fot.4-6). Poniżej znajduje się warstwa V, w której ziarna kwarcu wymieszane są z frakcją pylastą (Ryc. 51, Fot.7). Spągowa część szlif, warstwa VI, to większe ziarna kwarcu, bez domieszek w postaci innych minerałów (Ryc. 51, Fot.8).



Ryc. 50. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 32.2. wykonanym z próbki nr 32 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-8: m - masa podstawowa, i - il koloidalny, o - materia organiczna, t - tkanka roślinna, p - frakcja pylasta. Fot.1. Wolne przestrzenie w masie podstawowej (m) wypełnione ilem koloidalnym (i); Fot.2. Wolne przestrzenie wypełnione ilem koloidalnym (i); Fot.3. Wolne przestrzenie wypełnione ilem koloidalnym (i); Fot.4. Resztki materii organicznej (o) w masie podstawowej (m); Fot.5. Resztki materii organicznej (o) z domieszką frakcji pylastej w masie podstawowej (m); Fot.6. Fragment dobrze zachowanej tkanki roślinnej (t); Fot.7. Frakcja pylasta (p) wymieszana z ziarnami kwarcu; Fot.8. Granica pomiędzy warstwami – w spągu widoczne ziarna kwarcu bez domieszek innych minerałów.

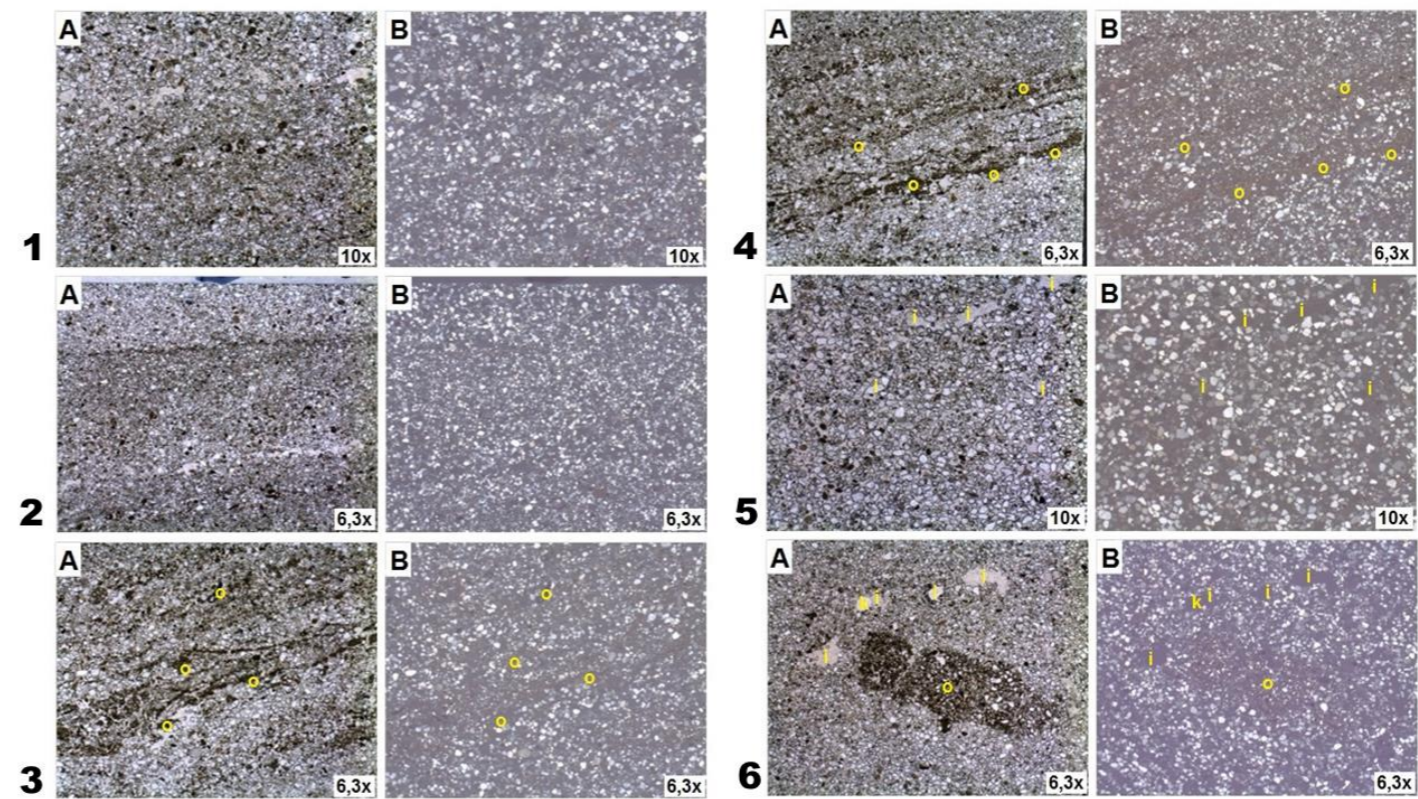
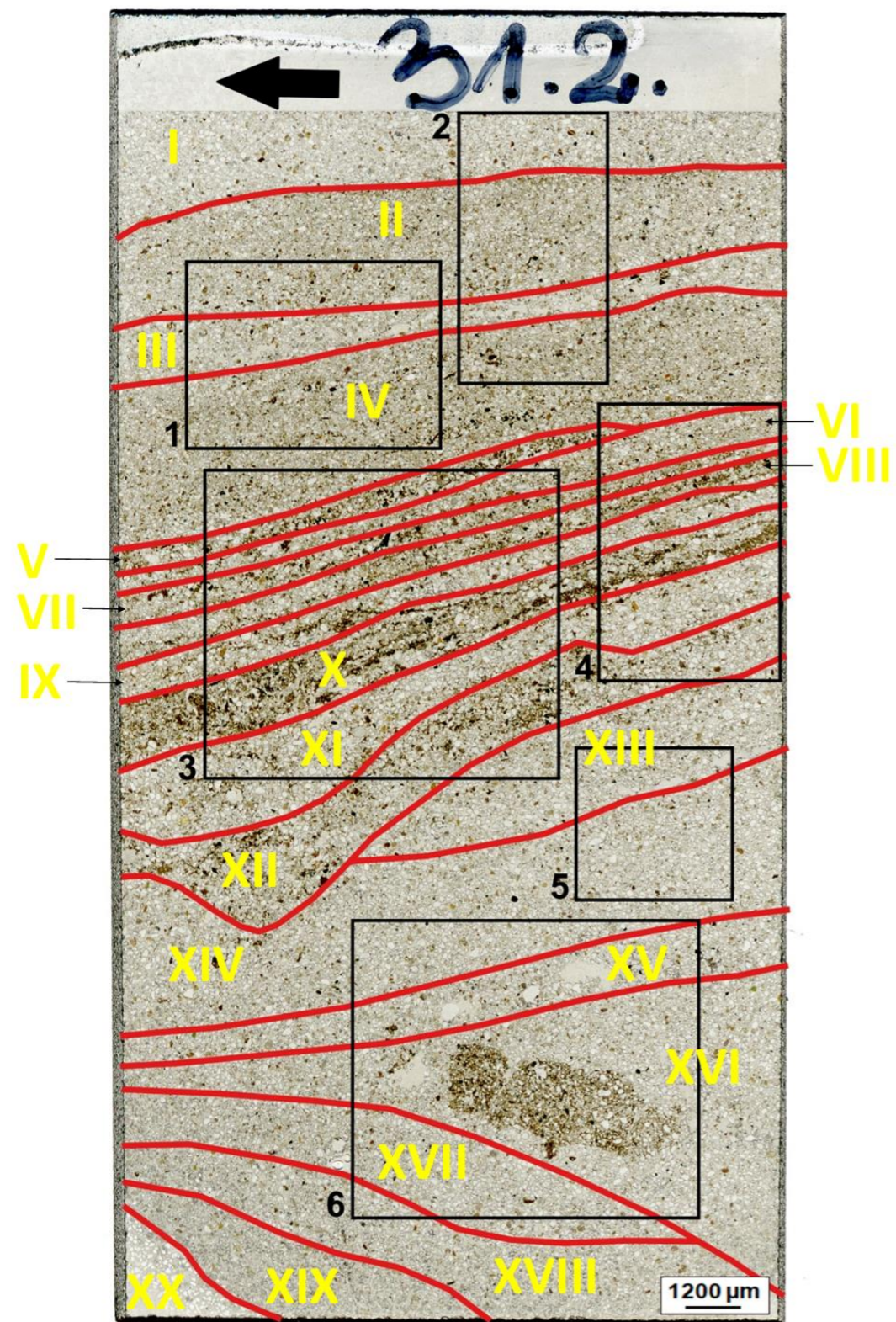
PRÓBKA NR 31 – 110 cm

Kolejne szlify wykonane zostały z próbki nr 31 pobranej z brzegu prawego, na wysokości 110 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 49). Występuje w nich piasek drobnoziarnisty, umiarkowanie wysortowany, którego upakowanie jest dość luźne. Zarówno makro- jak i mikroskopowo widoczne są ślady warstwowania zawierające materię organiczną, nagromadzoną z osadzania zawiesiny. W wolnych przestrzeniach gromadzi się ół koloidalny (Ryc. 52).



Ryc. 51. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 31 (110 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Kępa Polska. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

Pod mikroskopem w szlifie 31.2 (orientacja PTS), wyróżniono aż 20 różniących się między sobą warstw (Ryc. 53). W stropowej części szlifu widoczne są warstwy od I do IV, w których występuje materiał drobny, wolne przestrzenie oraz cienkie laminy powstałe z materiału zawiesinowego (Ryc. 53, Fot.1 i 2). W środkowej części szlifu, w warstwach od V do XII, zauważyć można szereg drobnych lamin powstałych z materiału zawiesinowego, w których przeważa frakcja ilasta wraz z materią organiczną, laminy rozdzielone są dodatkowo ziarnami kwarcowymi wymieszanymi z pyłem (Ryc. 53, Fot.3 i 4). W warstwach od XII do XVII, znajdujących się w spągowej części szlifu, pojawiają się wolne przestrzenie wypełnione ółem koloidalnym. Niekiedy w wolnych przestrzeniach znajdują się większe, dobrze obtoczone ziarna kwarcu. Całość stanowią ziarna kwarcu wymieszane z frakcją pylastą i drobnymi cząstkami organicznymi (Ryc. 53, Fot.5 i 6). Warstwy XVIII i XIX to materiał drobnoziarnisty, przy czym w warstwie XVIII występują domieszki materii organicznej, która w warstwie XIX nie jest widoczna. Warstwę XX stanowią większe ziarna kwarcowe, bez domieszek frakcji drobniejszych.



Ryc. 52. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 31.2. wykonanym z próbki nr 31 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-6: o - materia organiczna, i - il koloidalny, k - ziarno kwarcu. Fot.1. Warstwowania w stropowej części szlifu; Fot.2. Warstwowania w stropowej części szlifu – widoczne wolne przestrzenie oraz cienkie laminy z materiału zawiesinowego; Fot.3. Naprzemianległe laminy z materią organiczną (o); Fot.4. Naprzemianległe laminy z materią organiczną (o); Fot.5. Wolne przestrzenie wypełnione ilem koloidalnym (i) w spągowej części szlifu pozbawionej laminacji; Fot.6. Spągowa część szlifu – widoczne wolne przestrzenie wypełnione ilem koloidalnym (i) oraz większa koncentracja materii organicznej (o), kwarc (k) w wolnej przestrzeni.

Stanowisko Toruń

Do analiz mikromorfologicznych na stanowisku badawczym Toruń pobrano łącznie 9 próbek o nienaruszonej strukturze (Ryc. 9). Na brzegu lewym z czterech poziomów (Ryc. 54.), tj.: 30, 120, 280 i 380 cm ponad zwierciadłem wody. W centralnej części koryta z trzech poziomów, tj.: 5, 15 i 25 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 63.) oraz z dwóch poziomów na brzegu prawym zlokalizowanych na wysokości 20 i 170 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 70).

BRZEG LEWY

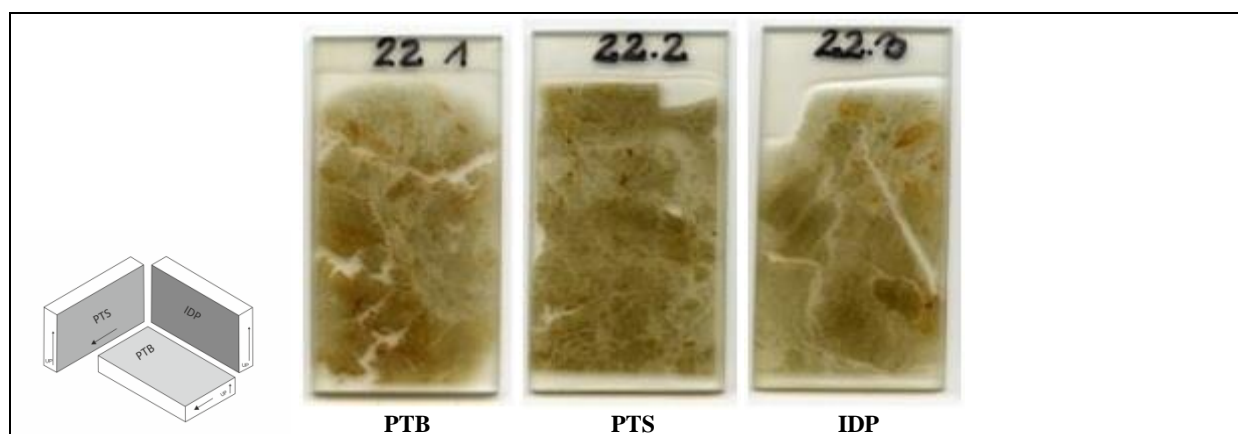
Próby pobrano 23-go sierpnia 2013 roku, przy stanie wody osiągającym wartość 185 cm (wodowskaz Toruń) oraz przepływie wynoszącym $509 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Brzeg w tym miejscu był erodowany, porośnięty kępami traw, sięgając do wysokości około 5 m. Koryto przy brzegu było głębokie, a brzeg podcinany.



Ryc. 53. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 19 - 22, lewy brzeg Wisły, stanowisko Toruń. 724-725 km biegu rzeki

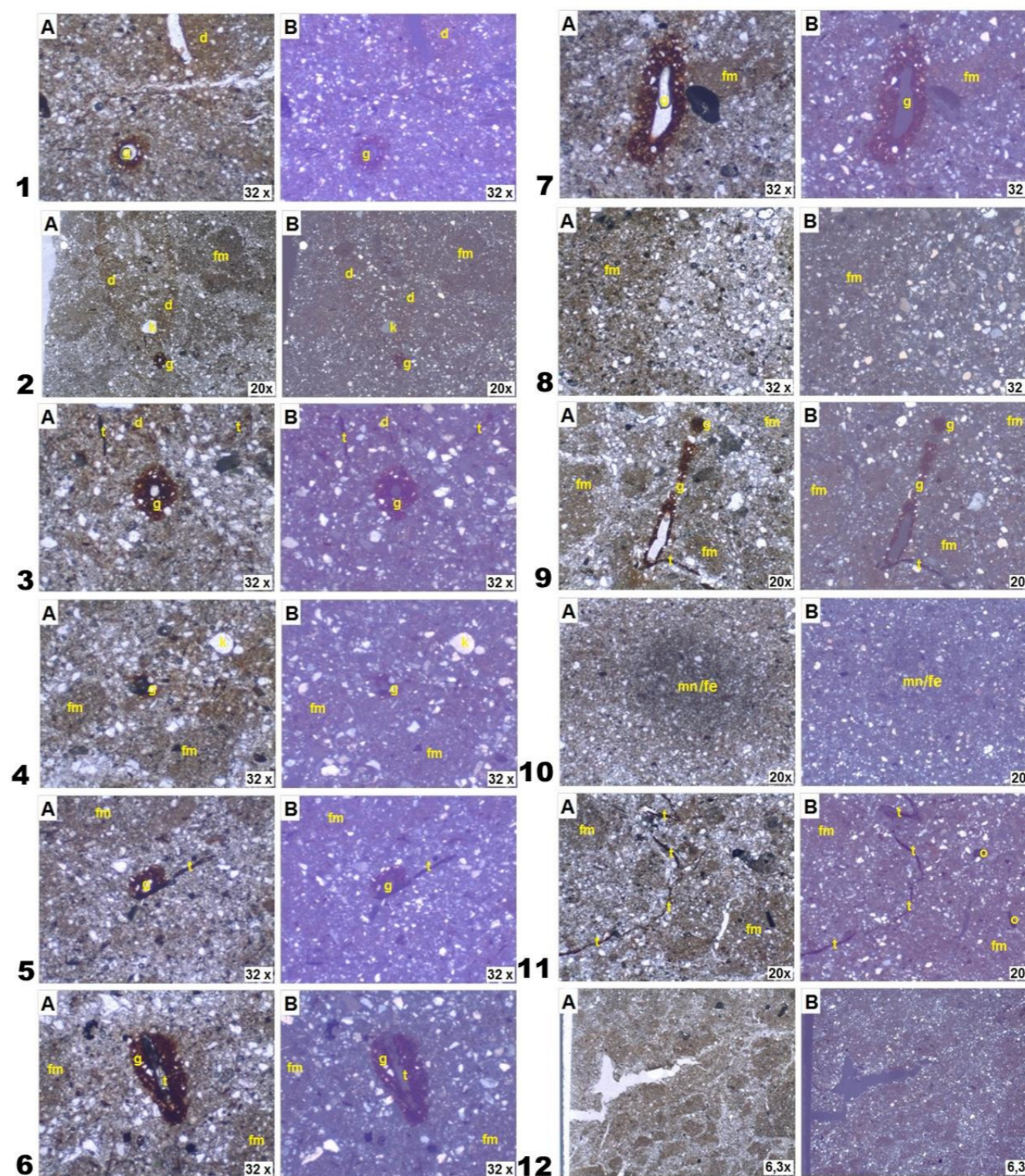
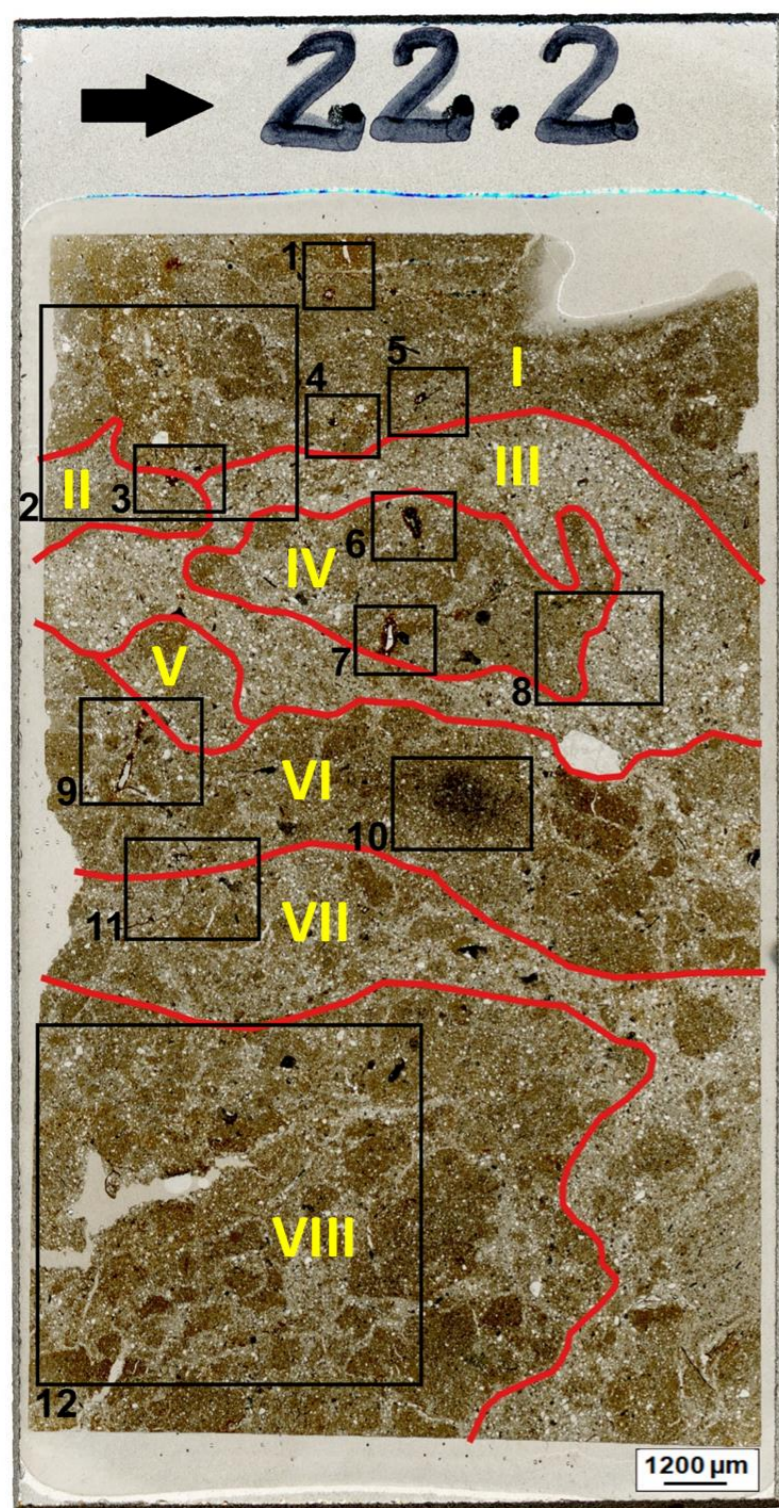
PRÓBKA NR 22 – 30 cm

W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 22 pobranej z brzegu lewego, na wysokości 30 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 54) występuje duże wymieszanie osadu objawiające się fluktuacjami struktury. W materiale osadowym nie można wydzielić typowych granic. Pojawiają się nagromadzenia materiału drobnego, dobrze upakowanego, zbitego, w których wytworzyły się koncentracje żelaza oraz skupiska materiału luźniejszego z przewagą ziaren kwarcu. W całej próbce widoczne są fragmenty materii organicznej oraz spękania (Ryc. 55).



Ryc. 54. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 22 (30 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

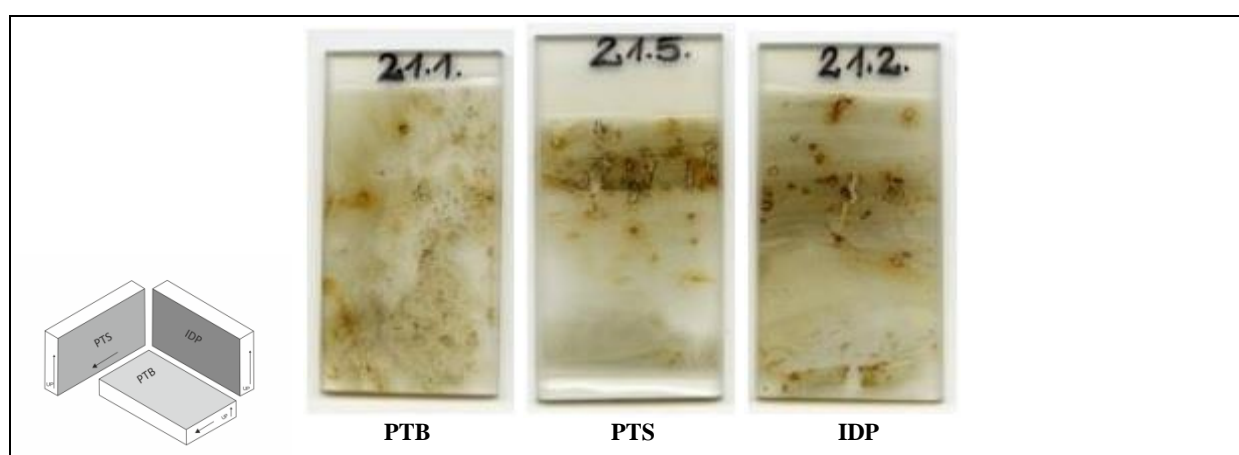
W szlifie 22.2 (orientacja PTS) występują fluktuacje związane najprawdopodobniej z nagłymi wahaniami stanów wody, osiadaniem czy deformacją gruntu spowodowaną naporem mas lodu w zimie. W analizowanym obrazie wyróżniono osiem warstw (Ryc. 56). W całym szlifie występuje materiał zbity, masywny, który stanowią warstwy I, VI i VIII. Pomędzy nimi występuje materiał luźniejszy, obecny w warstwach III i VII (Ryc. 56, Fot.8 i 12). Warstwy II, IB oraz V są warstwami soczewkowatymi stanowiącymi pewnego rodzaju granicę przejściową pomiędzy warstwami. Widoczne są spękania a także dyfuzyjne wytrącenia żelaza oraz nodule żelaziste z ostrymi granicami zewnętrznymi, występujące wokół większych ziaren kwarcu (Ryc. 56, Fot.1-4, 7). W szlifie zauważyć można pozostałość po tkankach roślinnych występujące wewnątrz bądź w pobliżu noduli żelazistych z ostrymi granicami zewnętrznymi (Ryc. 56, Fot.5 i 6, 9). Ponadto w szlifie występują rozproszone małe fragmenty materii organicznej. Tkanka roślinna pojawia się także pomiędzy fragmentami masywnymi (Ryc. 56, Fot.11). W centralnej części szlif, w warstwie VI, występuje osad o ciemniejszym zabarwieniu. Można przypuszczać, iż są to koncentracje manganowo - żelaziste (Ryc. 56, Fot.10)



Ryc. 55. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 22.2. wykonanym z próbki nr 22 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-12: d - dyfuzyjne wytrącenia żelaza, fm - fragment masywny, k - ziarno kwarcu, t - tkanka roślinna, g - nodule żelaziste, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste, o - materia organiczna. Fot.1. Nodula żelazista z ostrą granicą zewnętrzną (g) oraz dyfuzyjne wytrącenie żelaza (d); Fot.2. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) z większym ziarnem kwarcu (k) oraz nodulą żelazistą z ostrą granicą zewnętrzną (g), widoczne fragmenty masywne (fm); Fot.3. Nodula żelazista z ostrą granicą zewnętrzną w otoczeniu dyfuzyjnych wytrąceń żelaza (d) i tkanek roślinnych (t); Fot.4. Nodula żelazista z ostrą granicą zewnętrzną (g) w otoczeniu fragmentów masywnych (fm); Fot.5. Nodula żelazista z ostrą granicą zewnętrzną (g) przy tkance roślinnej (t); Fot.6. Tkanka roślinna (t) we wnętrzu noduli żelazistej z ostrą granicą zewnętrzną (g); Fot.7. Nodula żelazista z ostrą granicą zewnętrzną (g) w otoczeniu fragmentów masywnych (fm); Fot.8. Granica pomiędzy fragmentem masywnym (fm) a materiałem luźniejszym; Fot.9. Nodula żelazista z ostrą granicą zewnętrzną (g) w otoczeniu fragmentów masywnych (fm) oraz tkanki roślinnej (t); Fot.10. Koncentracja manganowo-żelazista (mn/fe); Fot.11. Tkanka roślinna (t) pomiędzy fragmentami masywnymi (fm); Fot.12. Fragmenty masywne (fm) pomiędzy materiałem luźniejszym.

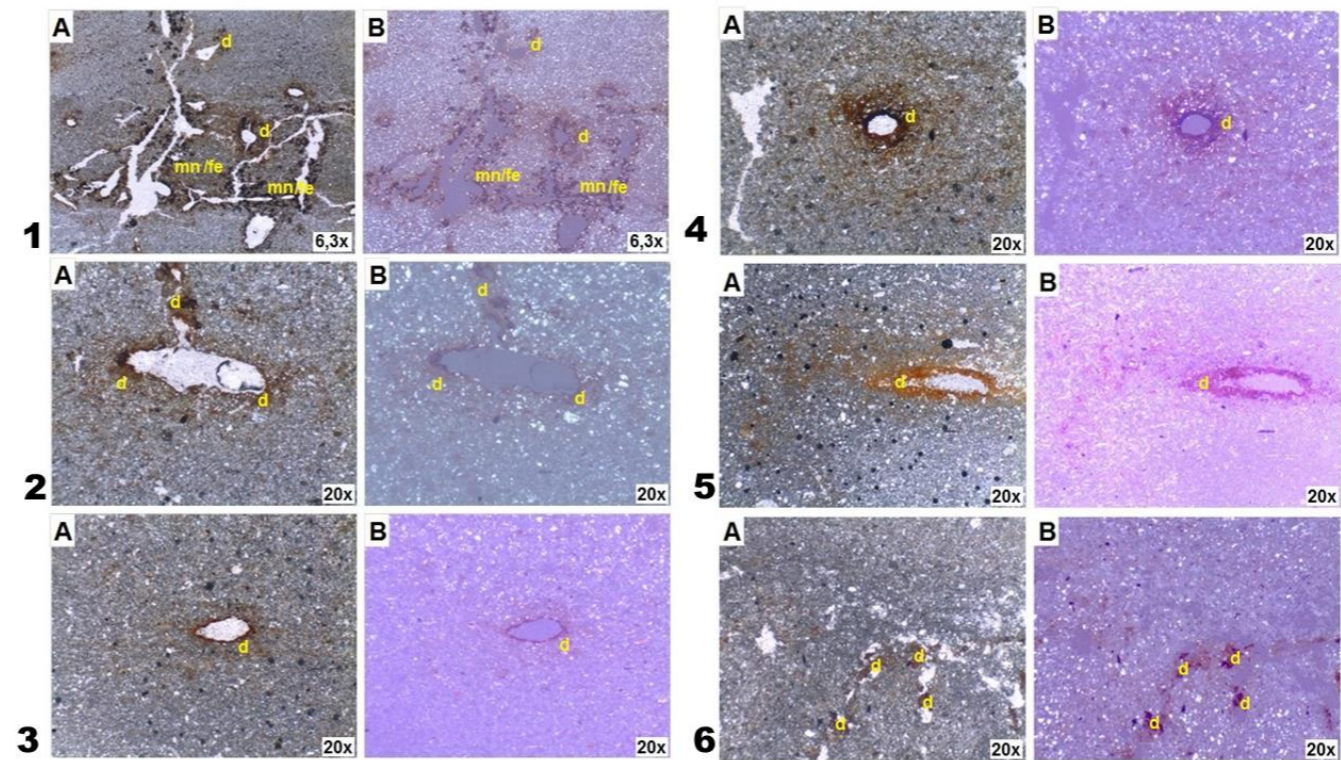
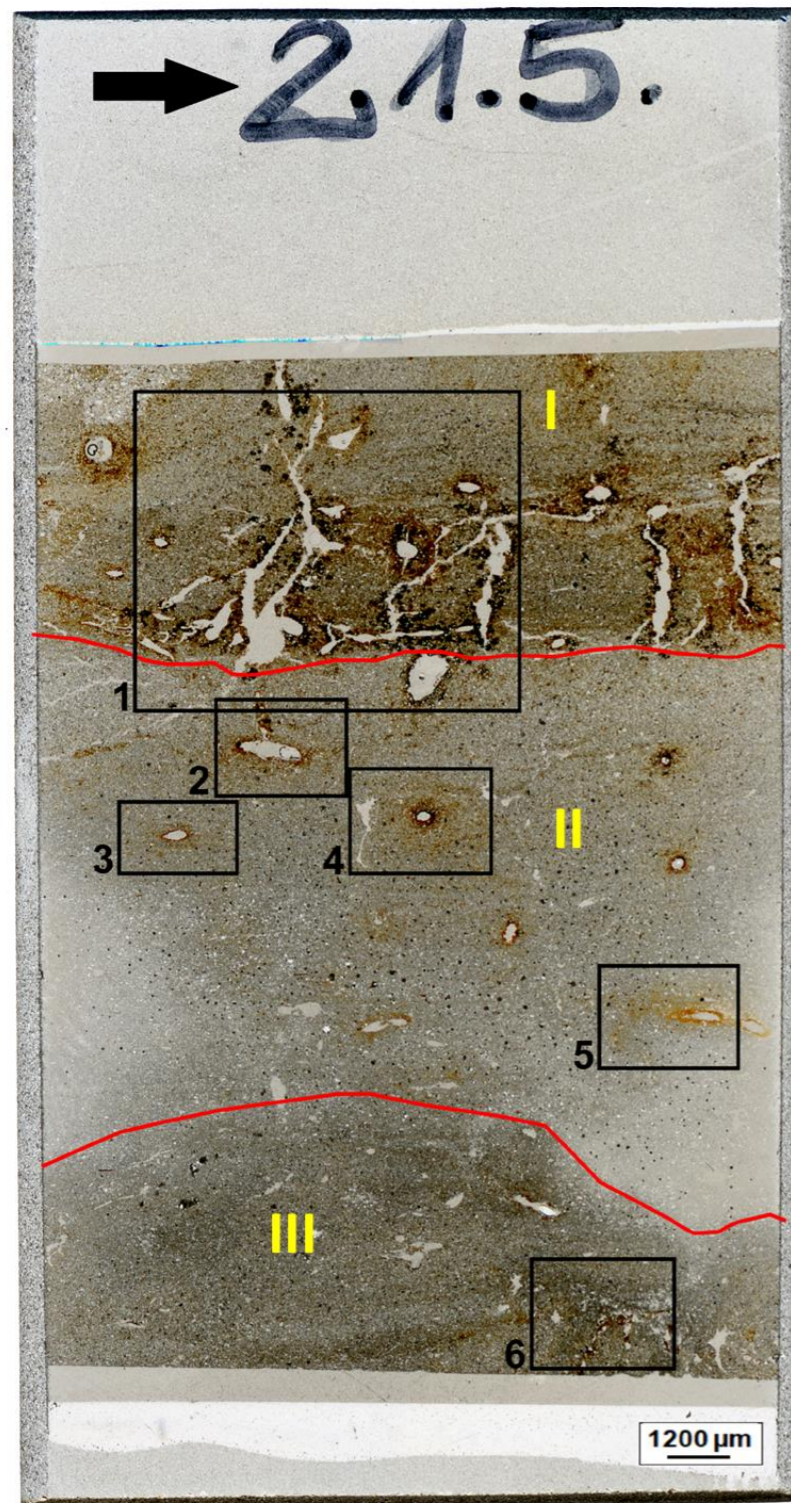
PRÓBKA NR 21 – 120 cm

W szlifach wykonanych z próbki nr 21 pobranej na wysokości 120 cm ponad zwierciadłem wody dominuje piasek bardzo drobnoziarnisty i pył (Ryc. 54). Osad jest zbity, masywny, obtoczenie jest trudne do ustalenia przez wzgląd na małe rozmiary ziaren. Wysortowanie jest słabe, a upakowanie zwarte. Widoczne są spękania, którym towarzyszą wytrącenia w postaci tlenków żelaza o zabarwieniu rudym bądź pomarańczowym oraz koncentracje manganowo-żelaziste i manganowe o zabarwieniu czarnym lub czarno-pomarańczowym. Masa podstawowa jest barwy szarej oraz ciemno-szarej, pojawiają się fragmenty szczątków organicznych, w tym roślinne. Obecność szczątków roślinnych uwarunkowała powstanie kanalików, które wypełnia drobna frakcja ilasta (Ryc. 57).



Ryc. 56. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 21 (120 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża

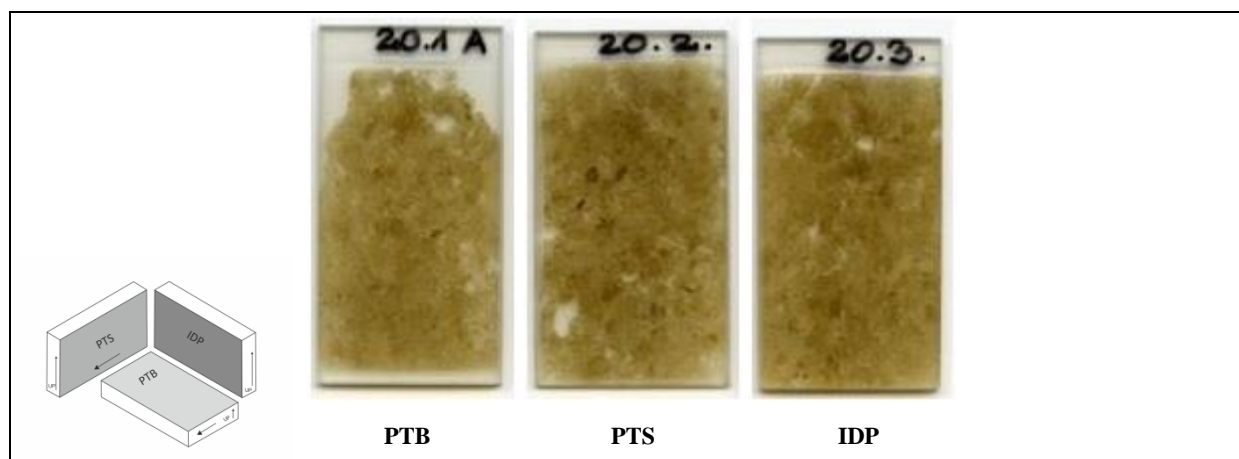
W stopie szlifu 21.5 (PTS) wydzielono trzy warstwy. W warstwie I występują kanaliki związane z aktywnością roślin, w sąsiedztwie których znajdują się koncentracje manganowo-żelaziste oraz dyfuzyjne wytrącenia żelaza (Ryc. 58, Fot.1). W środkowej części szlifu, w warstwie II, wyróżnia się osad o zabarwieniu szarawym z dyfuzyjnymi wytrąceniami żelaza występującymi wokół wolnych przestrzeni (Ryc. 58, Fot.2-5). W spągowej części szlifu (warstwa III) występuje osad o zabarwieniu ciemno szarym. Wytrącenia żelaziste występują w pobliżu wolnych przestrzeni o nieregularnym kształcie (Ryc. 58, Fot.6), a koncentracje manganowe pojawiają się w znikomym stopniu.



Ryc. 57. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 21.5. wykonanym z próbki nr 21 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-6: d - dyfuzyjne wytrącenia żelaza, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste. Fot.1. Koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe) oraz dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) w sąsiedztwie kanalików; Fot.2. Dyfuzyjne wtrącenia żelaza (d) wokół wolnej przestrzeni Fot.3. Dyfuzyjne wtrącenia żelaza (d) wokół wolnej przestrzeni widoczne wytrącenia manganowe w postaci osadu o czarnym zabarwieniu; Fot.4. Dyfuzyjne wtrącenia żelaza (d) wokół wolnej przestrzeni; Fot.5. Dyfuzyjne wtrącenia żelaza (d) wokół wolnej przestrzeni, widoczne wytrącenia manganowe w postaci osadu o czarnym zabarwieniu; Fot.6. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) wokół wolnych przestrzeni o nieregularnym kształcie.

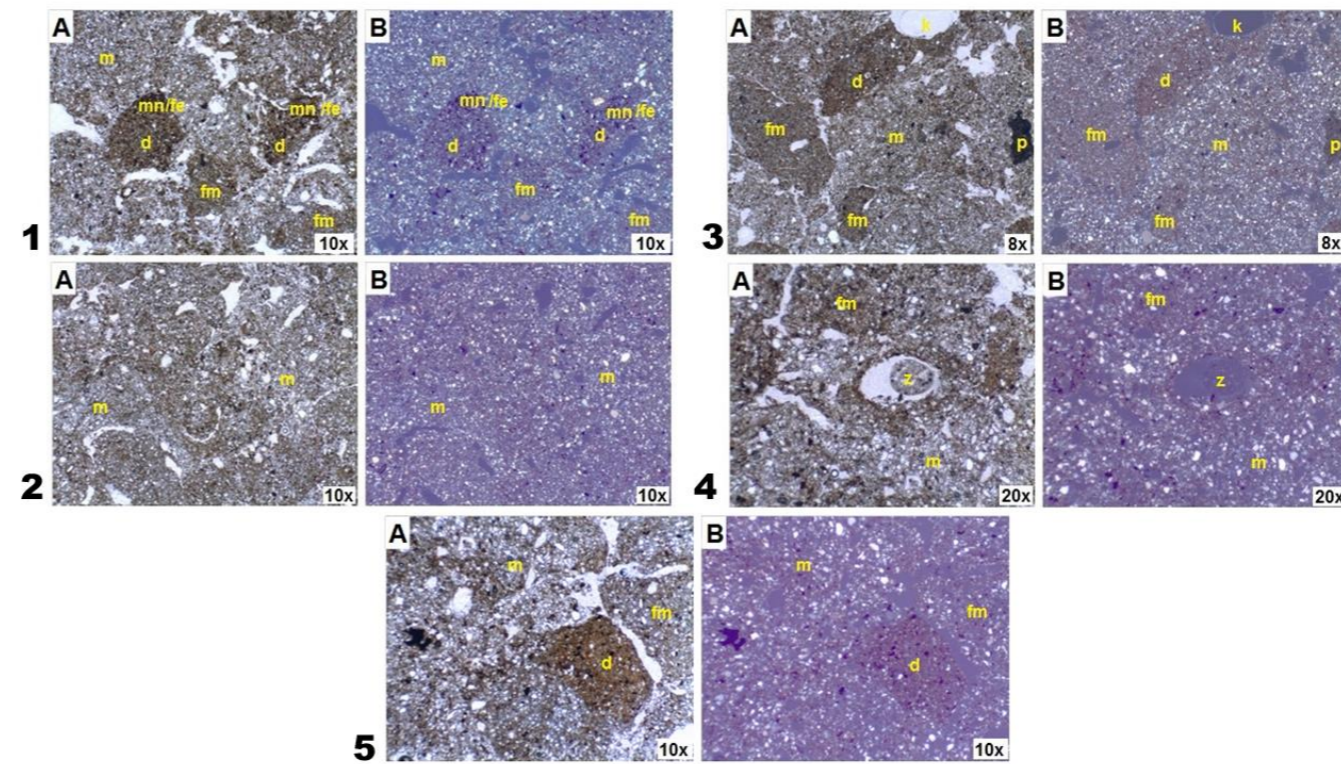
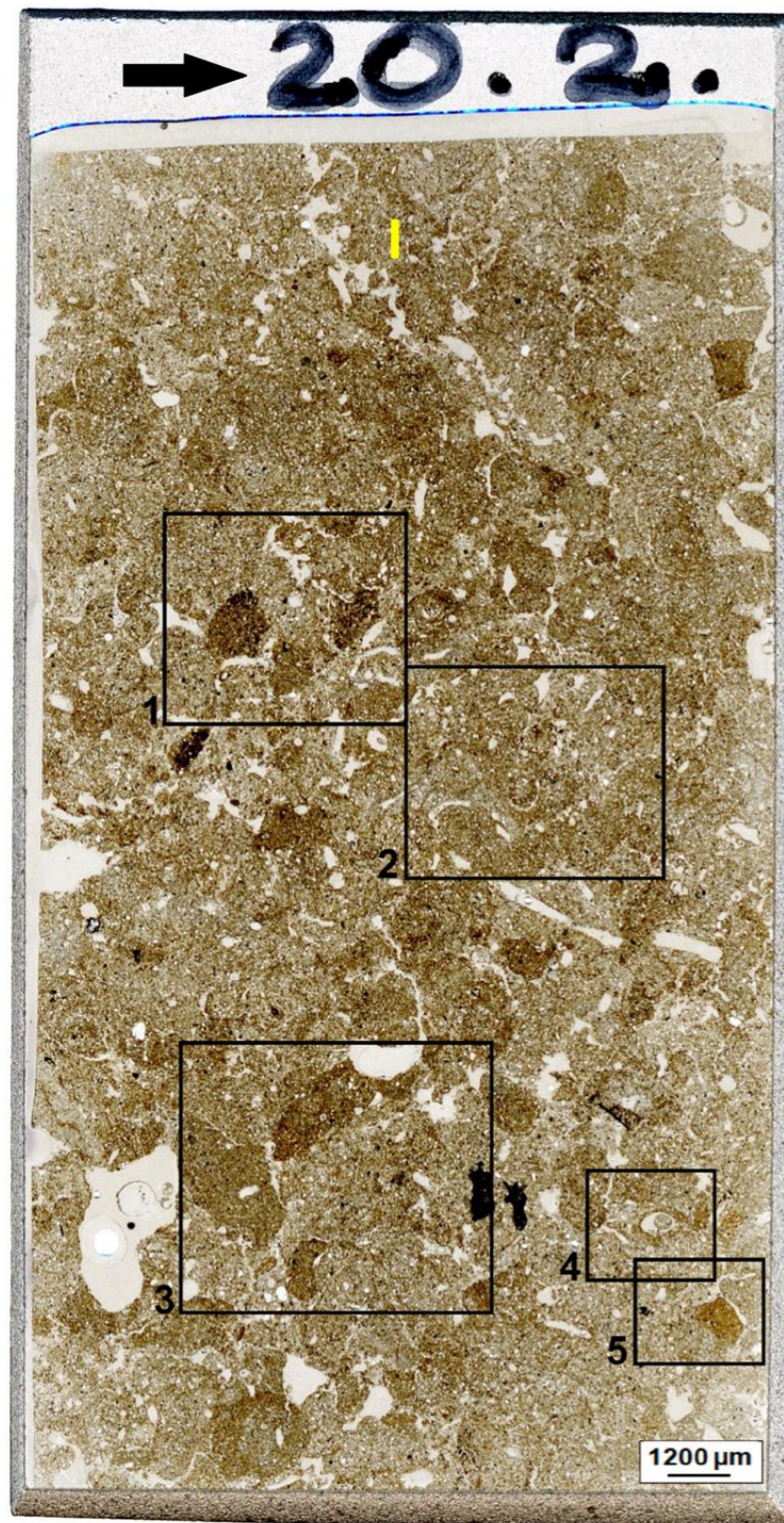
PRÓBKA NR 20 – 280 cm

W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 20, uwidaczniają się nodule żelaziste powstałe wokół większych, dobrze obtoczonych ziaren minerałów znajdujących się w ich wnętrzu. Występują duże fluktuacje w masie podstawowej, w ramach których wyróżnić można fragmenty masywne oraz materiał luźny. Dobrze widoczne są procesy oksydo-redukcyjne, które zaznaczają się w postaci licznych skupisk materiału o zabarwieniu brunatno-rdzawym i istotnej wielkości. Materia organiczna występuje sporadycznie (Ryc. 59).



Ryc. 58. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 20 (280 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

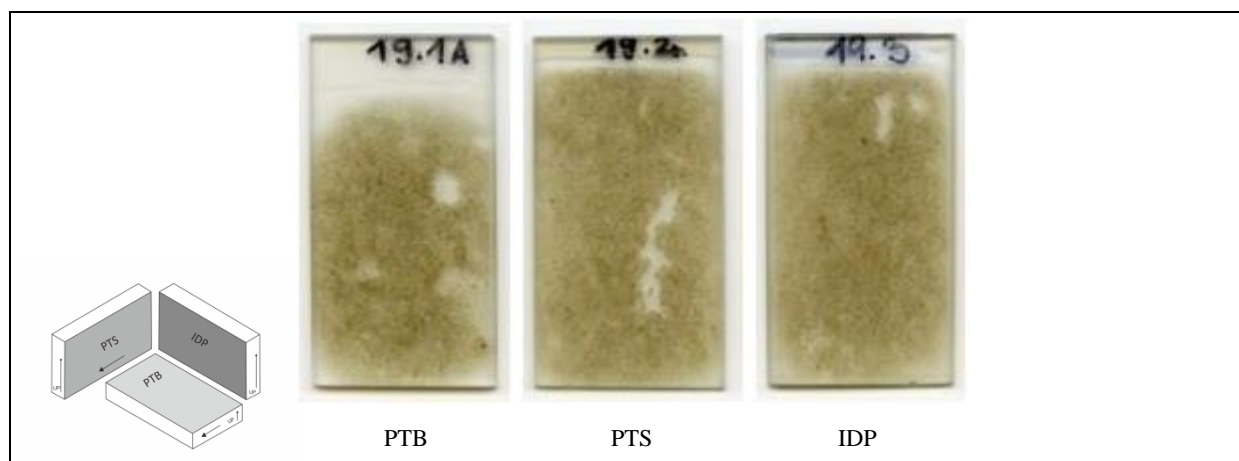
Szlif 20.2 (orientacja PTS) jest niejednorodny, w obrębie tworzącego go materiału nie można wydzielić typowych granic, a całość analizowanego obszaru potraktowano jako jedną warstwę (Ryc. 60). Pomiędzy materiałem luźniejszym występują fragmenty masywne oraz dyfuzyjne wytrącenia żelaza, sporadycznie w towarzystwie wytrąceń manganowych (Ryc. 60, Fot.1-3.). Wewnątrz wolnych przestrzeni owalnego kształtu znaleźć można dobrze obtoczone ziarna kwarcu (Ryc. 60, Fot.3 i 4). Dyfuzyjne wytrącenia żelaza często można zaobserwować wzdłuż spękań osadu (Ryc. 60, Fot.5).



Ryc. 59. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 20.2. wykonanym z próbki nr 20 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-5: m - masa podstawowa, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste, d - dyfuzyjne wytrącenia żelaza, fm - fragment masywny, p - frakcja pylasta, k - ziarno kwarcu, z - zlepniec. Fot.1. Fragmenty masywne (fm) oraz dyfuzyjne wytrącenia żelaziste (d) i koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe) w masie podstawowej (m); Fot.2. Niejednorodna masa podstawowa (m); Fot.3. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) oraz fragmenty masywne (fm) w masie podstawowej (m), w wolnej przestrzeni widoczne dobrze obtoczone ziarno kwarcu (k); Fot.4. Dobrze obtoczone ziarno (z) wewnątrz wolnej przestrzeni; Fot.5. Dyfuzyjne wytrącenie żelaza (d) wzdłuż spękania.

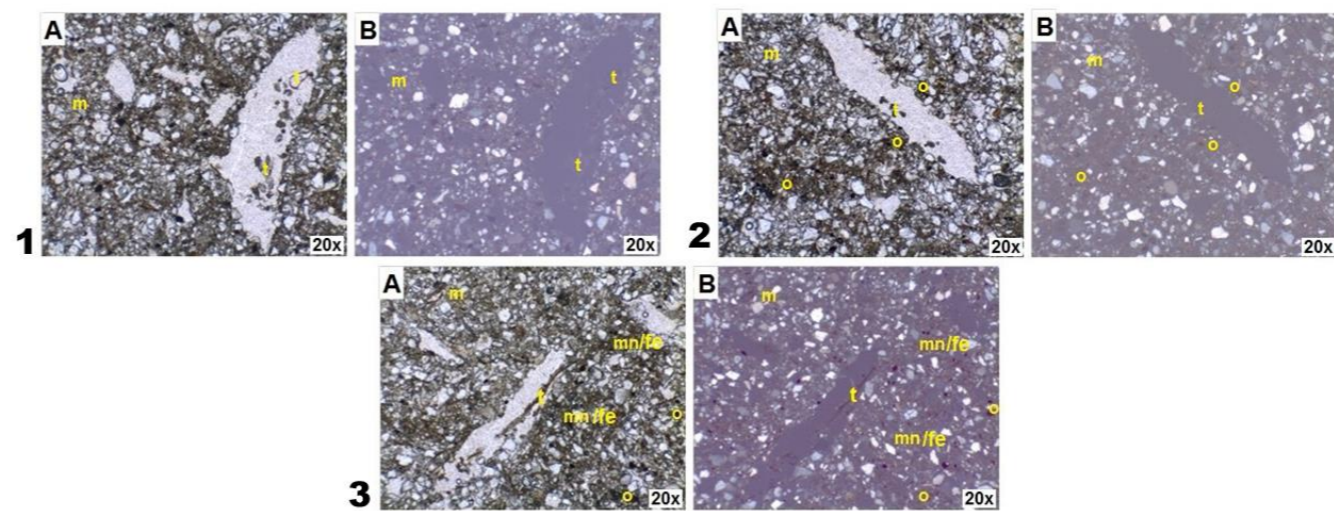
PRÓBKA NR 19 – 380 cm

W szlifach uzyskanych z próbki nr 19 widoczne są fragmenty w niewielkim stopniu rozłożonej materii organicznej, która może pochodzić zarówno z transportu w czasie wezbrania przy wyższych stanach wody jak i z poziomu próchnicznej gleby. Masa podstawowa w szlifach ma zabarwienie szarawe, sporadycznie brunatne. Materiał jest drobny, słabo wysortowany z dużą zawartością materii organicznej (Ryc. 61).



Ryc. 60. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 19 (380 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

W szlifie 19.2 (orientacja PTS) nie wyróżniono granic warstw w osadzie, czyli całość materiału zachowanego na szlifie została potraktowana jako jedna jednostka (Ryc. 62). Cechą charakterystyczną szlifów są wolne przestrzenie o różnej wielkości, w których znajdują się pozostałości tkanek roślinnych oraz materii organicznej (Ryc. 62, Fot.1). W masie podstawowej prócz materiału drobnego widoczne są większe ziarna kwarcu (Ryc. 62, Fot.2). Gdziekolwiek uwidaczniają się koncentracje manganowo-żelaziste oraz wytrącenia manganowe w postaci osadu o czarnym zabarwieniu (Ryc. 62, Fot.3).



Ryc. 61. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 19.2. wykonanym z próbki nr 19 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-3: m - masa podstawowa, t - tkanka roślinna, o - materia organiczna, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste. Fot.1. Tkanka roślinna (t) w wolnej przestrzeni w sąsiedztwie niejednorodnej masy podstawowej (m); Fot.2. Tkanka roślinna (t) i materia organiczna w masie podstawowej (m) występują większe ziarna kwarcu; Fot.3. Tkanka roślinna (t) w wolnej przestrzeni, w masie podstawowej (m) występują koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe), materia organiczna (o) oraz wytrącenia manganowe w postaci osadu o czarnym zabarwieniu.

ŚRODEK KORYTA

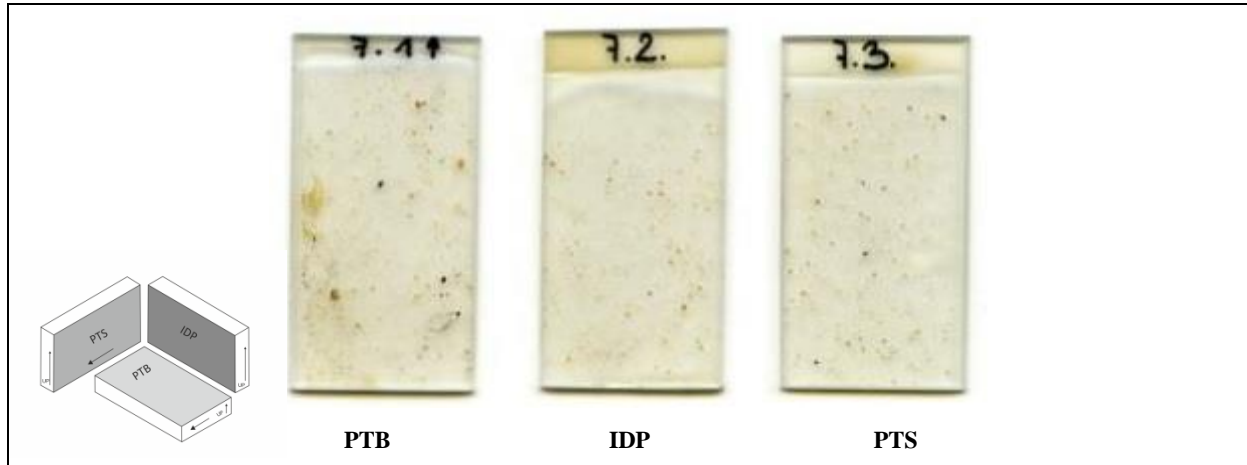
Próbki pobrano 10-go września 2012 roku, przy stanie wody osiągającym wartość 145 cm (wodowskaz Toruń) oraz przepływie $331 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Koryto w tym miejscu jest uregulowane do stałej szerokości około 350 m. Forma, z której pobrano próbki, jest typem łachy skośnej, naprzemianległej. Układ analizowanej formy ma przebieg podłużny w stosunku do biegu rzeki, wynurzona powierzchnia stanowiła wówczas ponad 3 ha, szerokość maksymalna wynosiła 170 m, natomiast długość maksymalna 395 m. Na powierzchni łachy widoczne były ripplemarki różnej wielkości. W warstwie przypowierzchniowej występował głównie materiał przewiany ze względu na niski stan wody. Próbki pobrano z charakterystycznych granic osadzania materiału wyznaczonych przez wahania przepływów wody w korycie (Ryc. 63).



Ryc. 62. Lokalizacja miejsc poboru próbek nr 7-9, centralna część koryta Wisły 724-725 km biegu Wisły – stanowisko Toruń.

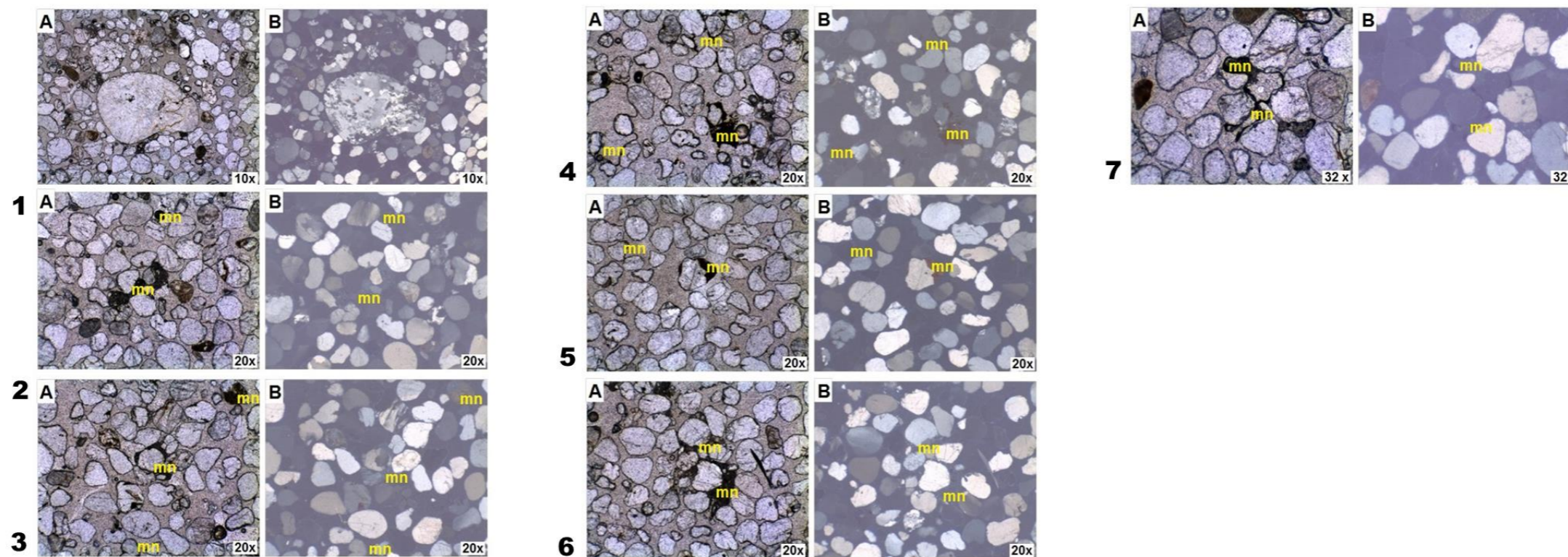
PRÓBKA NR 7 – 5 cm

Próbkę nr 7 pobrano na wysokości 5 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 63). W szlifach mikromorfologicznych dominuje gruboziarnisty piasek, ze sporadycznie widocznymi większymi ziarnami. Wyszortowanie materiału jest umiarkowanie dobre. Ziarna minerałów są dobrze obtoczone, w osadzie dominuje kwarc (Ryc. 64).



Ryc. 63. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 7 (5 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta Wisły w Toruniu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

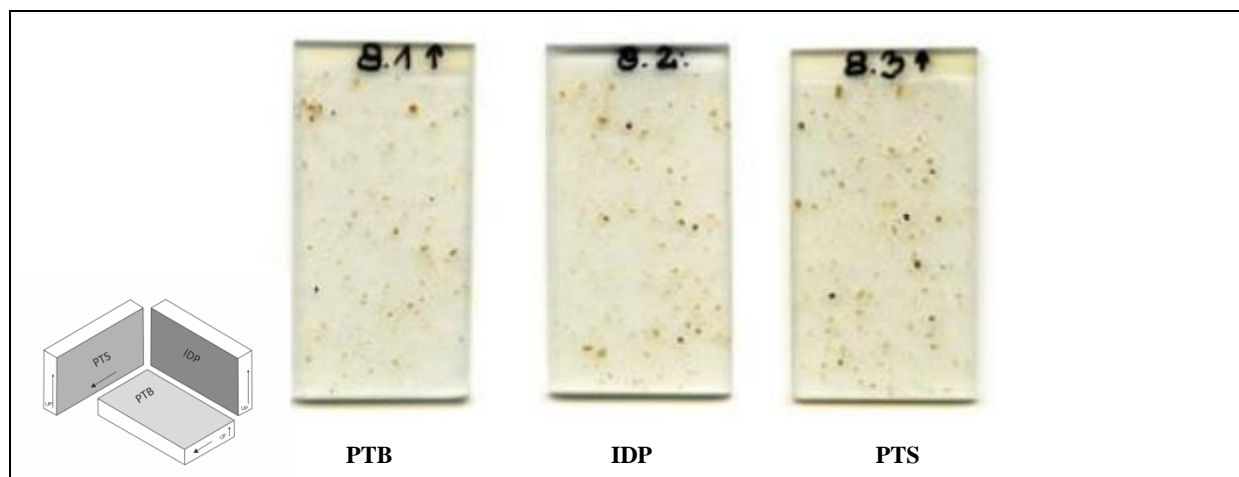
W szlifie 7.3. wykonanym w orientacji PTS dominują ziarna kwarcu. Szlif jest homogeniczny i obejmuje jedną warstwę osadu (Ryc. 65). Miejscami występują ziarna kwarcowe większych rozmiarów, a największe ziarno osiąga wymiary 3,913 mm (Ryc. 65, Fot.1). Cechą charakterystyczną osadu jest występowanie nacieków manganowych pomiędzy ziarnami kwarcu (Ryc. 65, Fot.2-4, 6 i 7). Niekiedy nacieki manganowe nachodzą na powierzchnie ziaren kwarcu (Ryc. 65, Fot.5).



Ryc. 64. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 7.3. wykonanym z próbki nr 7 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-7: mn - nacieki manganowe. Fot.1. Większe ziarna w masie podstawowej; Fot.2. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu; Fot.3. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu; Fot.4. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu; Fot.5. Naciek manganowy (mn) na ziarnie kwarcu; Fot.6. Naciek manganowy (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu; Fot.7. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu.

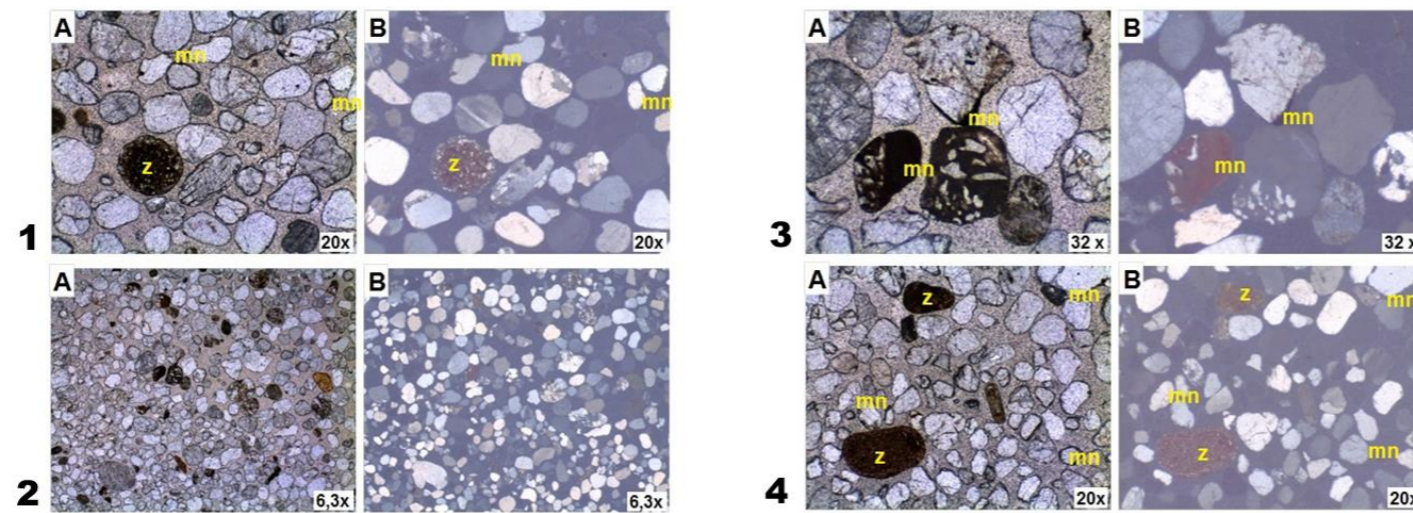
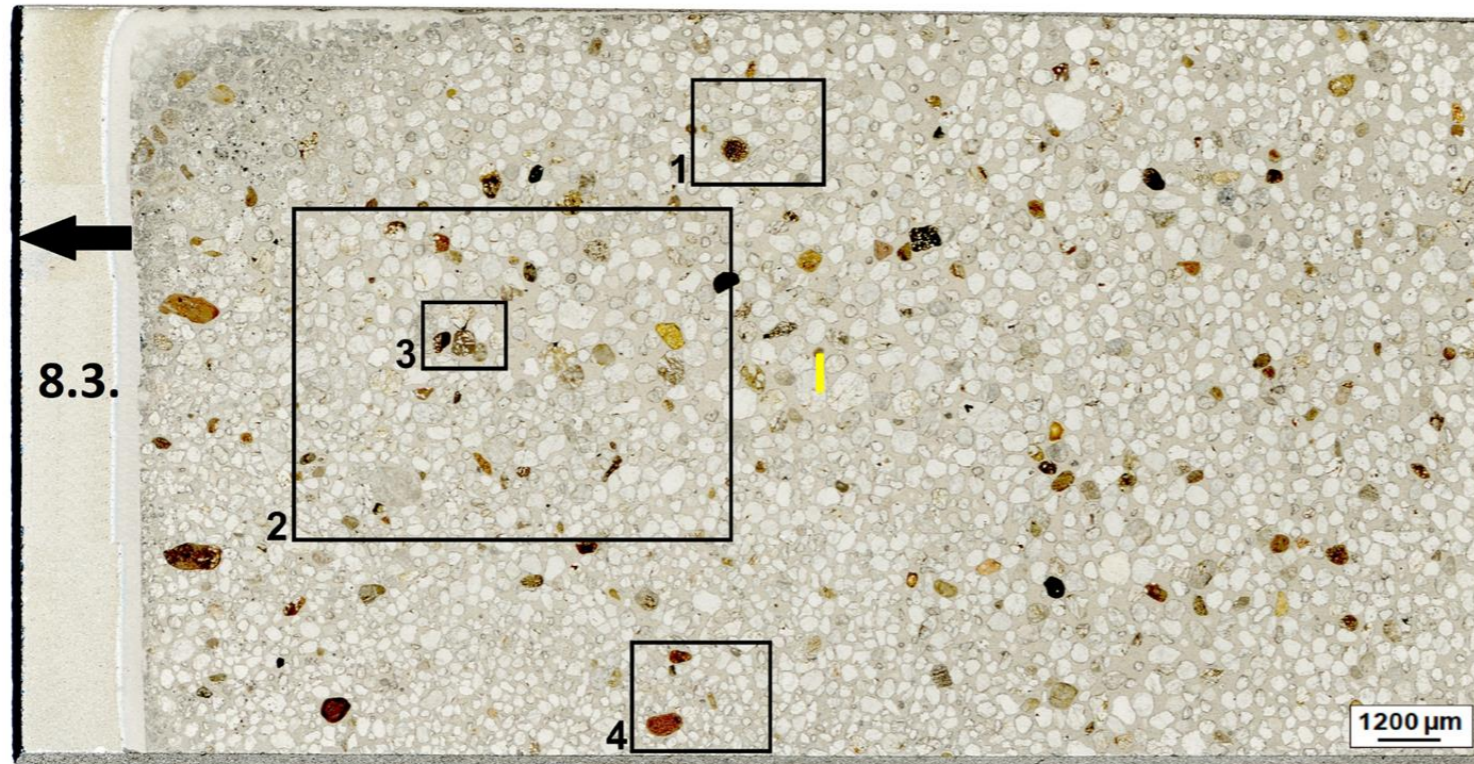
PRÓBKA NR 8 – 15 cm

Próbkę nr 8 pobrano na wysokości 15 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 63). W szlifach dominuje piasek gruboziarnisty i bardzo gruboziarnisty. Wyszortowanie materiału jest umiarkowane dobre. Ziarna większych minerałów są dobrze obtoczone, w osadzie dominuje kwarc. Materia organiczna praktycznie nie występuje (Ryc. 66).



Ryc. 65. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 8 (15 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta Wisły w Toruniu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

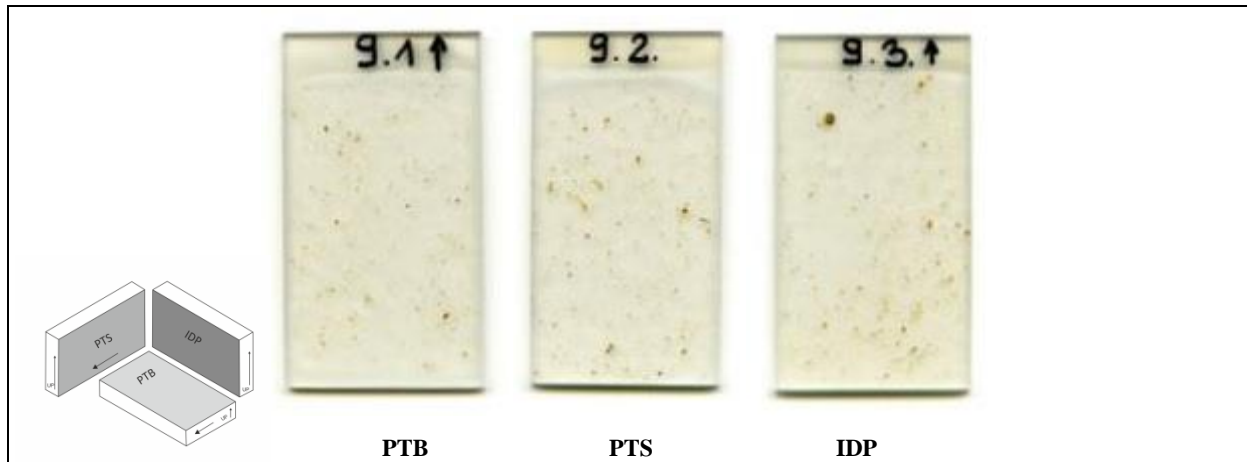
Szlif 8.3. (orientacja PTS) zawiera w przewadze ziarna kwarcowe, pod względem wielkości ziaren osad jest zróżnicowany, upakowanie ma luźny charakter (Ryc. 67, Fot.2). Zauważyć tu można zwiększoną liczbę ziaren mniejszych w części spągowej. Cechą charakterystyczną, podobnie jak w przypadku szlifu 7.3., są nacieki manganowe wokół ziaren kwarcu (Ryc. 67, Fot.1 i 4). Miejscami nacieki manganowe porywają całe ziarna (Ryc. 67, Fot.3).



Ryc. 66. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 8.3. wykonanym z próbki nr 8 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-4: mn – nacieki manganowe, z – zlepienie. Fot.1. Zlepienie (z) oraz ziarna kwarcu z naciekami manganowymi (mn); Fot.2. Zmienność wielkości ziaren kwarcu; Fot.3. Naciek manganowy (mn) na ziarnach; Fot.4. Zlepienie (z) oraz ziarna kwarcu z naciekami manganowymi (mn).

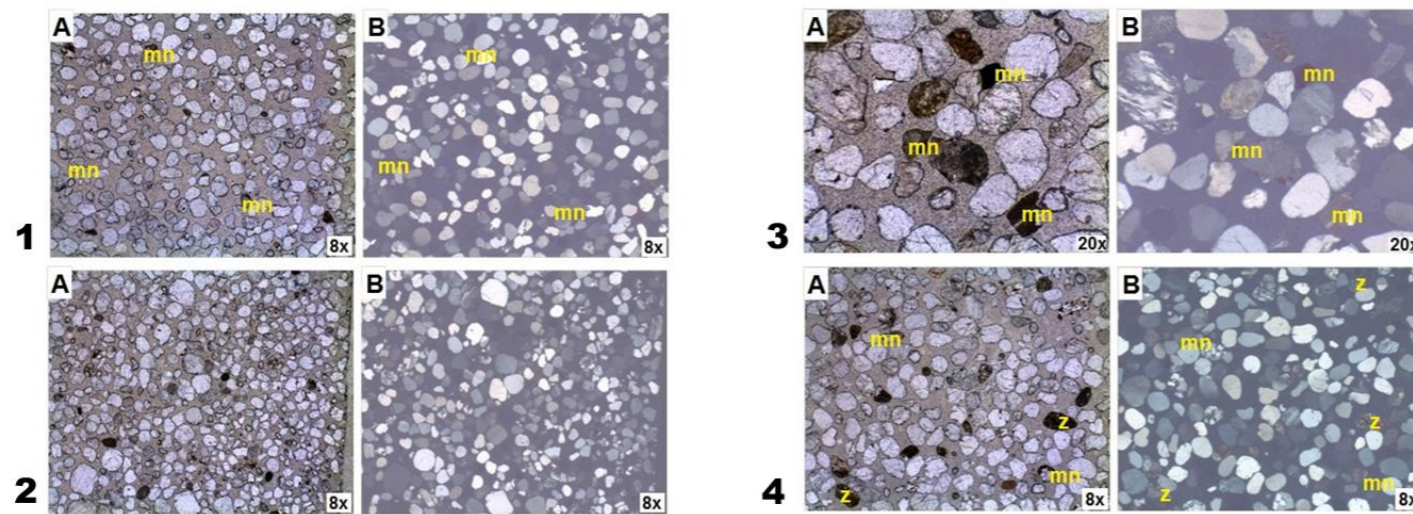
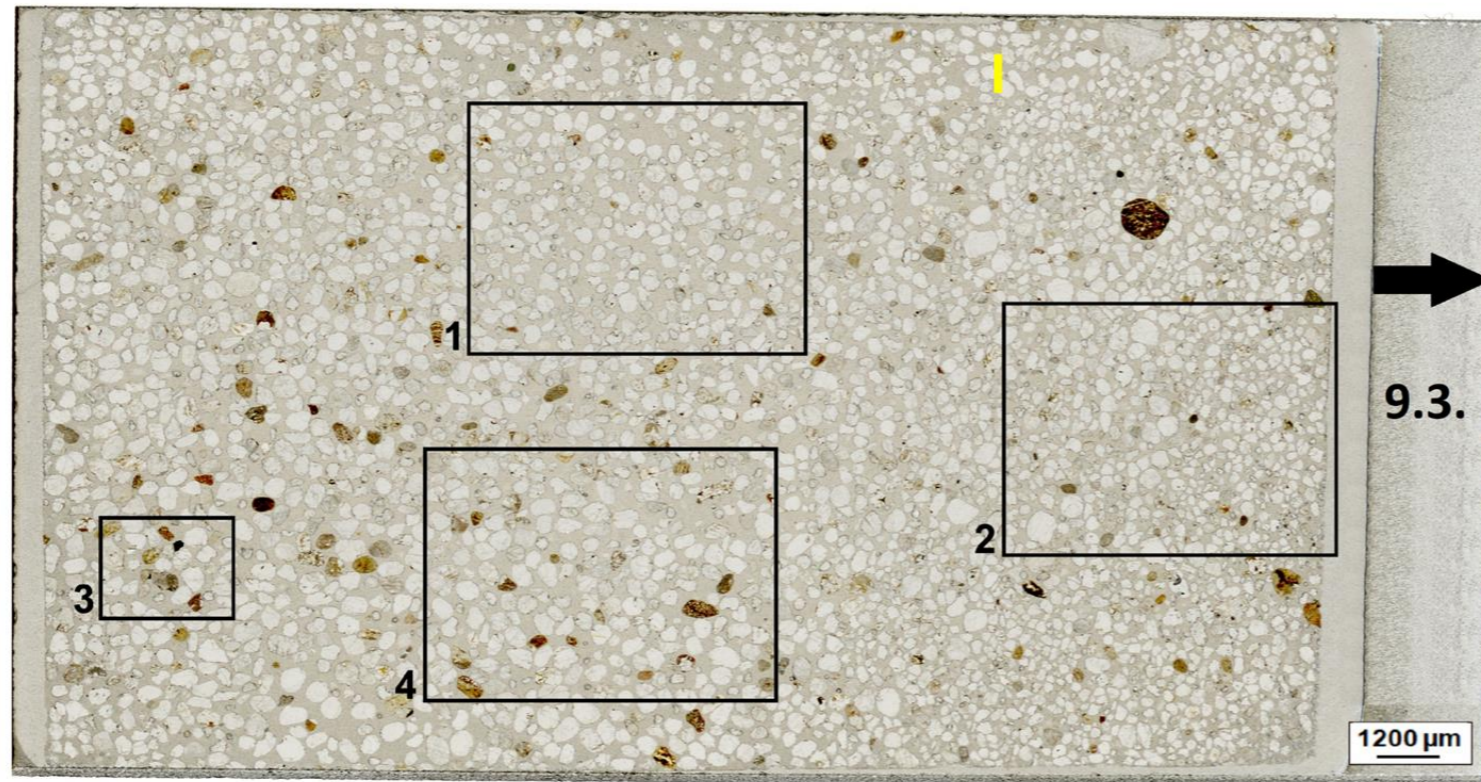
PRÓBKA NR 9 – 25 cm

Próbka nr 9 pobrana została na wysokości 25 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 63). W szlifach dominuje dobrze wysortowany piasek gruboziarnisty, pozbawiony domieszek w postaci materii organicznej. Większe ziarna kwarcu są bardzo dobrze obtoczone. Granice w osadzie są trudne do ustalenia, chociaż zauważyć można miejscami przewagę ziaren drobniejszych (Ryc. 68).



Ryc. 67. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 9 (25 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta Wisły w Toruniu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

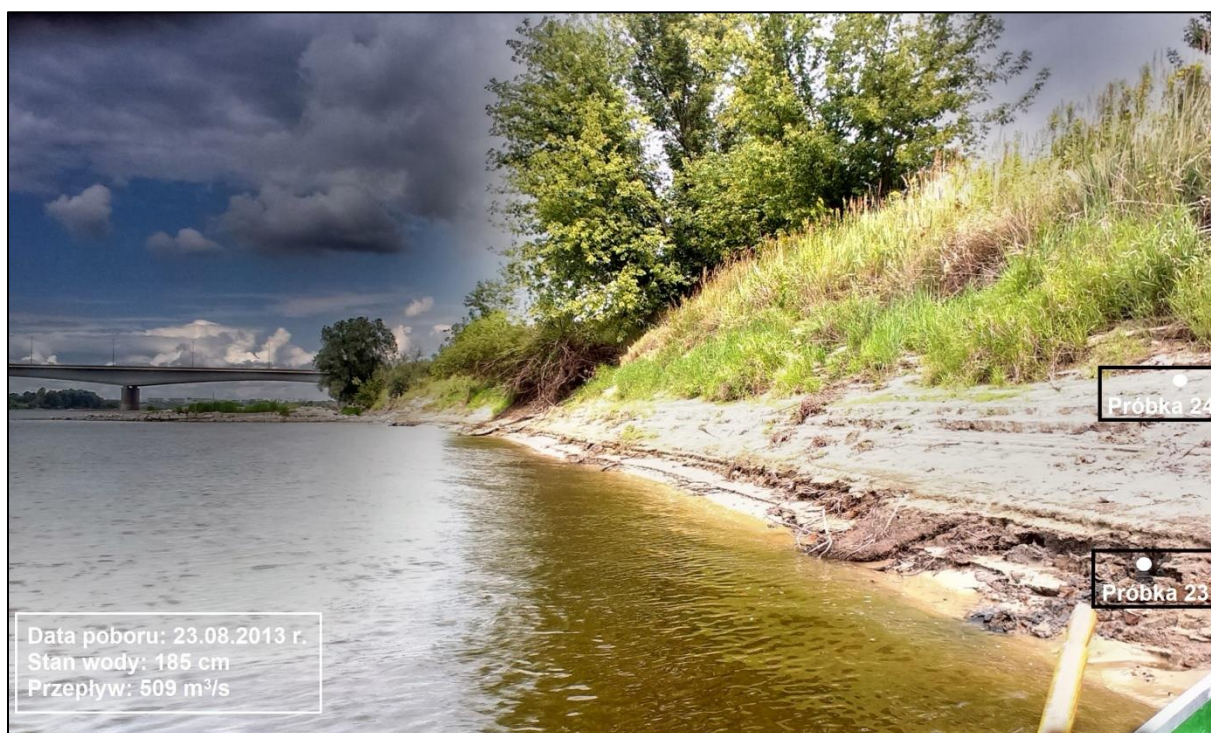
Szlif 9.3 (orientacja PTS) zwiera w przewodzie ziarna kwarcowe, a w osadzie pojawiają się również ziarna o charakterze zlepieńców. Nie wyróżniono natomiast warstw, na które osad byłby rozdzielony (Ryc. 69). Osad jest zróżnicowany ze względu na występowanie ziaren mniejszych w lewej części szlifu (Ryc. 69, Fot.2). Cechą charakterystyczną, podobnie jak w przypadku szlifu 7.3. oraz szlifu 8.3., są nacieki manganowe wokół ziaren kwarcu (Ryc. 69, Fot.1 i 4), które miejscami porywają całe ziarna (Ryc. 69, Fot.3).



Ryc. 68. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 9.3. wykonanym z próbki nr 9 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1 - 4: mn – nacieki manganowe, z – zlepienie. Fot.1. Nacieki manganowe (mn) wokół drobnych ziaren kwarcu; Fot.2. Zmienność wielkości ziaren kwarcu; Fot.3. Nacieki manganowe (mn) na ziarnach; Fot.4. Zlepienie (z) i nacieki manganowe (mn) na ziarnach.

BRZEG PRAWY

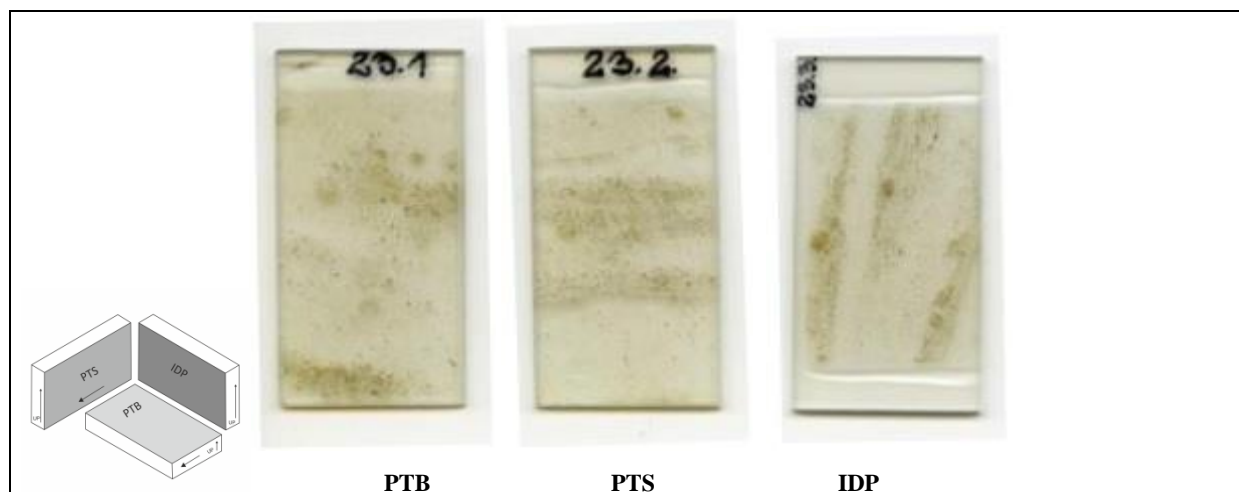
Poboru próbek dokonano 23-go września 2013 roku, przy stanie wody wynoszącym 185 cm (wodowskaz Toruń) oraz przepływie wynoszącym $509 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Brzeg prawy od wysokości dwóch metrów ponad zwierciadłem wody porośnięty jest roślinnością. Podczas poboru próbek koryto w tym miejscu było płytkie ze względu na sąsiedztwo formy śródkorytowej w postaci łachy naprzemianległej (Ryc. 70).



Ryc. 69. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 23 i 24, prawy brzeg Wisły 724-725 km biegu rzeki – stanowisko Toruń

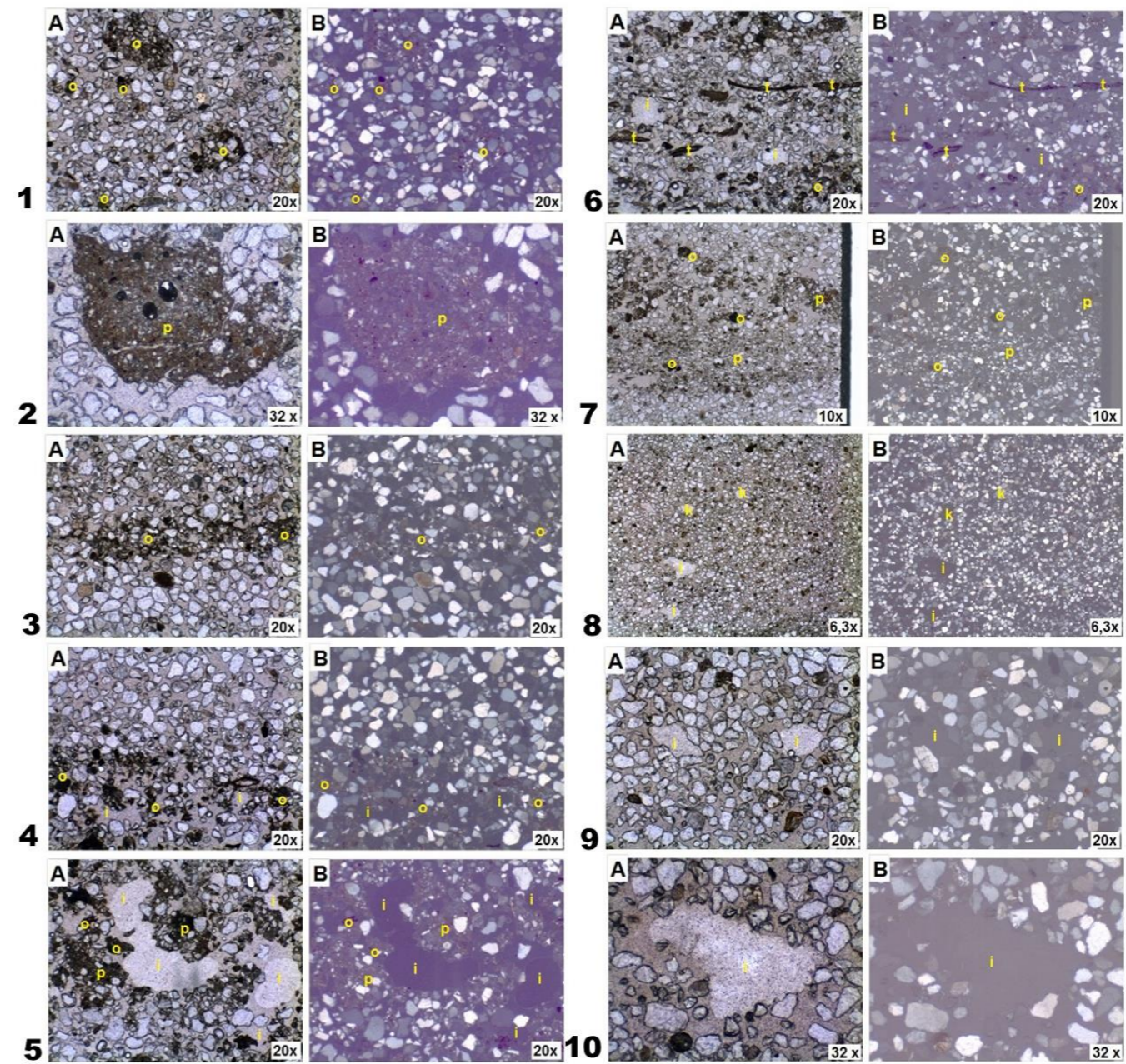
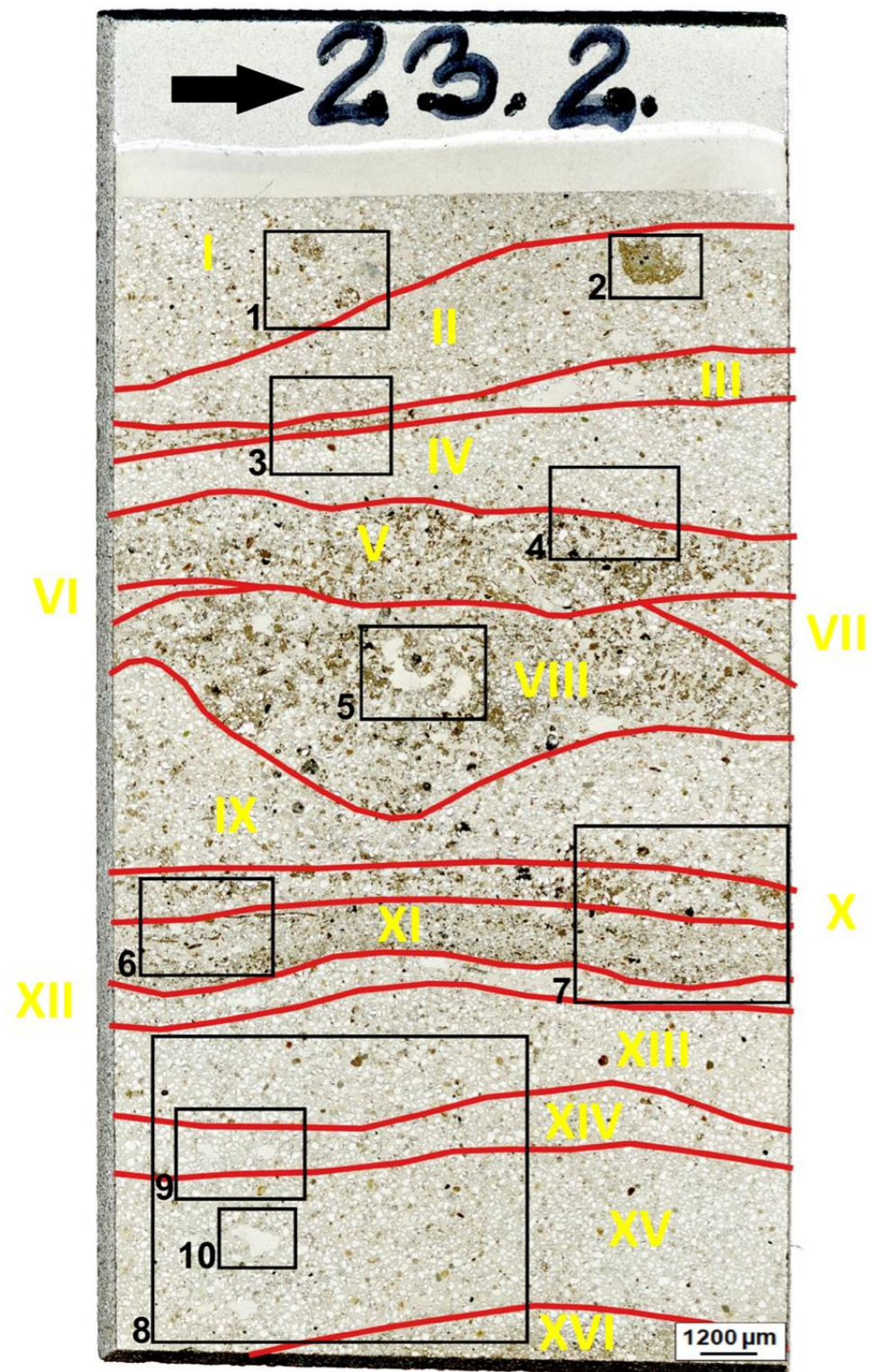
PRÓBKA NR 23 – 20 cm

Kolejne szlify wykonane zostały z próbki nr 23 pobranej z brzegu prawego, na wysokości 20 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 70). Występuje w nich piasek drobnoziarnisty, słabo wysortowany, którego upakowanie jest dość luźne. Zarówno makro- jak i mikroskopowo widoczne są warstwowania (lineacje) zawierające pozostałości materii organicznej, nagromadzonej prawdopodobnie wraz z osadzaniem zawiesiny. W wolnych przestrzeniach zgromadził się il koloidalny (Ryc. 71).



Ryc. 70. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 23 (20 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Toruń. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

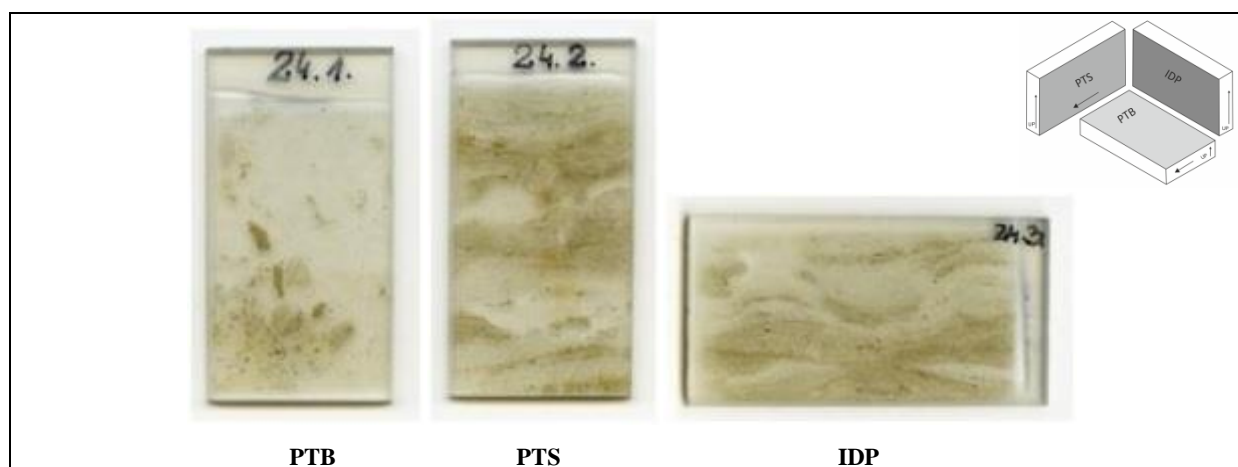
W szlifie 23.2 (orientacja PTS) wyróżniono aż 16 warstw (Ryc. 72). W stropowej części szlifu (warstwa I) występuje materiał drobny oraz materia organiczna (Ryc. 72, Fot.1) Nagromadzenia frakcji pylastej w postaci większych skupisk występują w warstwie II (Ryc. 72, Fot.2). Poniżej zauważyć można warstwę III w postaci laminy składającej się z materii organicznej (Ryc. 72, Fot.3). Poniżej, w warstwie IV, występują ziarna kwarcowe bez domieszek w postaci frakcji pylastych czy materii organicznej (Ryc. 72, Fot.4). W środkowej części szlifu, w warstwach V i VIII, materiał jest niejednorodny, zauważyć w nich można wolne przestrzenie wypełnione łem koloidalnym oraz wymieszany materiał organiczny z frakcją pylastą oraz większymi ziarnami kwarcowymi (Ryc. 72, Fot.5). Po zewnętrznych stronach warstw V i VIII występują wklonowujące się warstwy VI i VII pozbawione materii organicznej. Warstwa IX również jest warstwą, którą w większości stanowią ziarna kwarcowe. Poniżej zauważyć można szereg drobnych lamin powstałych z materiału zawieszinowego (warstwy X i XI), gdzie przeważa ół wraz z materią organiczną i rozróżnialnymi tkankami roślinnymi (Ryc. 72, Fot.6 i 7). W spągowej części szlifu, w warstwach XII, XIII, XIV, XV i XVI, pojawiają się wolne przestrzenie wypełnione łem koloidalnym. W warstwach części spągowej nie występują żadne prawidłowości, występują zarówno ziarna grubsze jak i drobniejsze. Całość stanowią ziarna kwarcu wymieszane z frakcją pylastą i drobnymi cząstkami organicznymi (Ryc. 72, Fot.8-10).



Ryc. 71. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 23.2. wykonanym z próbki nr 23 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-10: o - materia organiczna, p - frakcja pylastej, i - il koloidalny, t - tkanka roślinna, k - ziarno kwarcu. Fot.1. Materia organiczna (o) oraz materiał drobniejszy w stropowej części szlifu; Fot.2. Nagromadzenie frakcji pylastej (p); Fot.3. Naprzemianległe laminy z materią organiczną (o); Fot.4. Granica pomiędzy warstwą składającą się z ziaren kwarcowych a warstwą zawierającą materię organiczną (o) oraz il koloidalny (i); Fot.5. Wolne przestrzenie wypełnione ilem koloidalnym (i), widoczne nagromadzenia frakcji pylastej (p) oraz materii organicznej (o); Fot.6. Fragmenty tkanek roślinnych (t) oraz wolne przestrzenie wypełnione ilem koloidalnym (i); Fot.7. Materia organiczna (o) oraz nagromadzenia frakcji pylastej (p); Fot.8. Koncentracje ilu koloidalnego (i) oraz większe ziarna kwarcu (k); Fot.9. Koncentracje ilu koloidalnego (i) w wolnych przestrzeniach; Fot.10. Większa koncentracja ilu koloidalnego (i) w wolnej przestrzeni.

PRÓBKA NR 24 – 170 cm

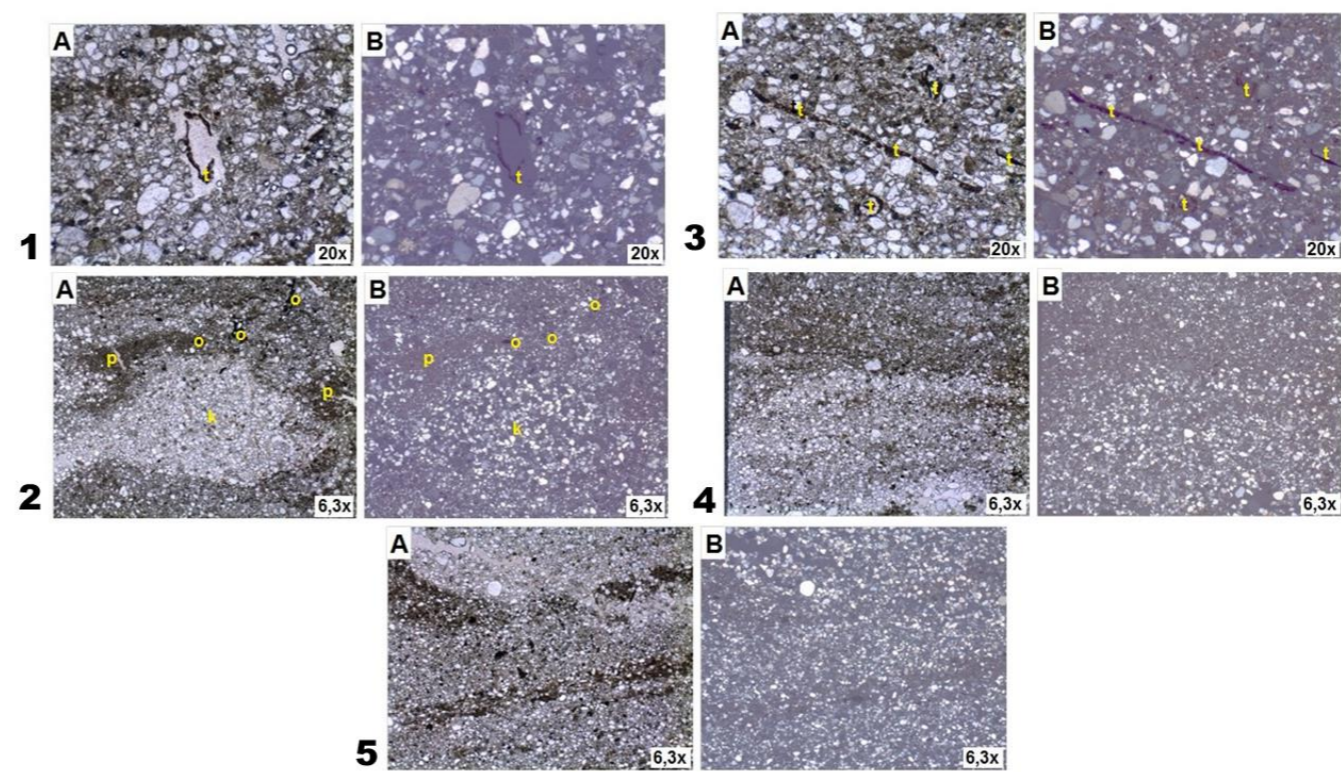
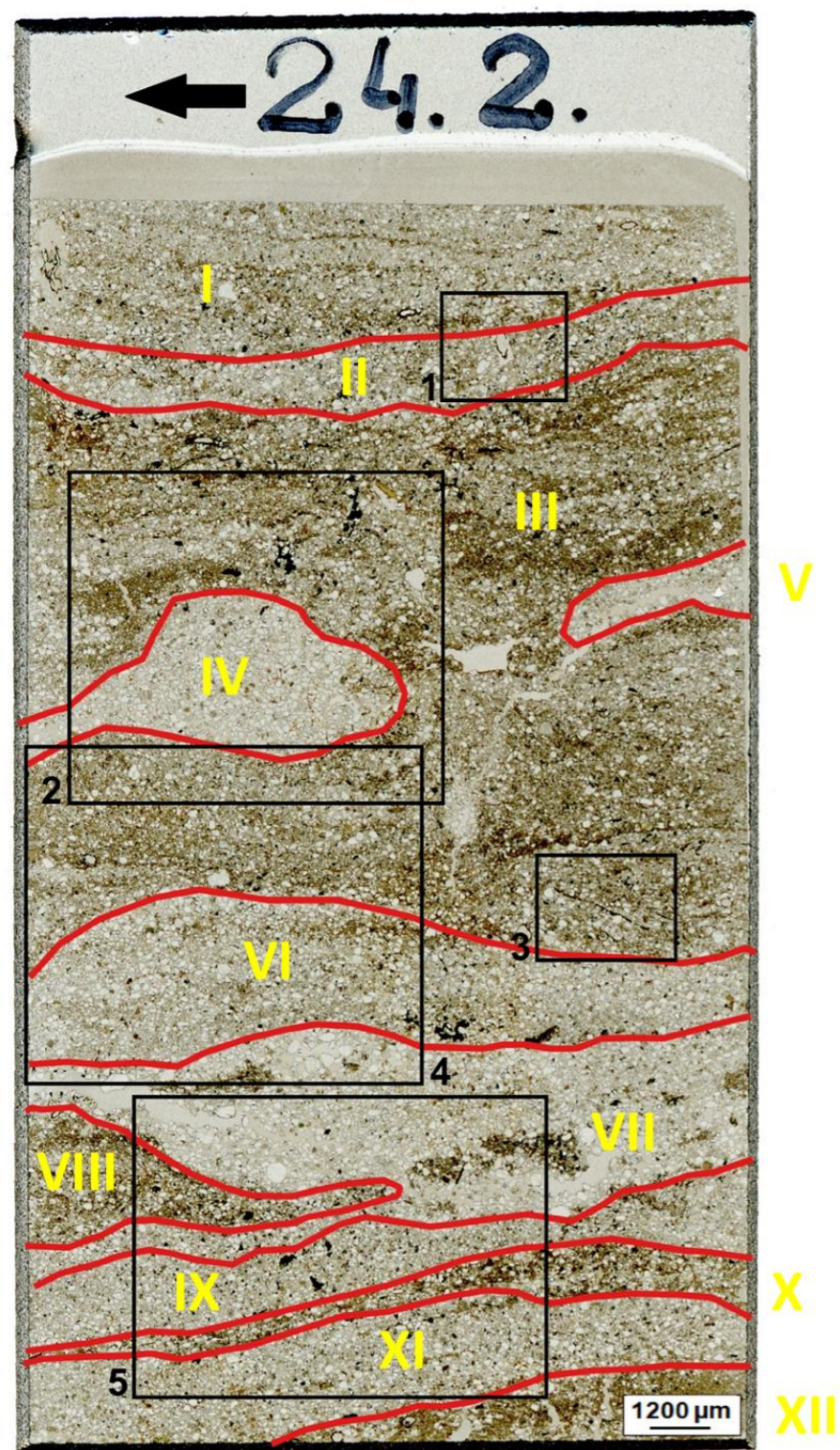
W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 24 pobranej z brzegu prawego, na wysokości 170 cm ponad zwierciadłem wody występuje głównie piasek bardzo drobnoziarnisty oraz pył. Sporadycznie występujące większe ziarna kwarców są dobrze obtoczone. Ogólne wysortowanie osadu jest słabe. W szlifach widoczne są cienkie laminy, które mikroskopowo różnią się między sobą wielkością materiału mineralnego oraz zawartością materii organicznej. Dodatkowo w szlifach uwidaczniają się obszary przyjmujące kształt soczewek, w których występują ziarna kwarcowe bez domieszek innych minerałów (Ryc. 73).



Ryc. 72. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 24 (170 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Toruń. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

W szlifie wykonanym równoległe do kierunku biegu rzeki (orientacja PTS) na podstawie różnic w wielkości i zabarwieniu osadu oznaczono dwanaście charakterystycznych warstw w osadzie (Ryc. 74). W stropie szlifu, w warstwie I, występuje osad drobniejszy o barwie szarawej, w którym zaznaczają się cienkie laminy z materiału zawieszinowego. W warstwie II występują większe ziarna kwarcowe, a wewnątrz wolnych przestrzeni znajdują się fragmenty tkanek roślinnych (Ryc. 74, Fot.1). Poniżej w otoczeniu materiału drobniejszego i materii organicznej, które występują w warstwie III, znajduje się większe skupisko ziaren kwarcowych bez domieszek innych minerałów, przyjmujące kształt soczewkowaty – warstwa IV (Ryc. 74, Fot.2). Podobną strukturę jak warstwa IV posiada warstwa V, która wklina się z prawej strony analizowanego szlifu. W środkowej części szlifu (warstwa III) znajdują się także tkanki roślinne w otoczeniu większych ziaren kwarcu (Ryc. 74, Fot.3). W warstwie VI wyraźnie zaznacza się granica pomiędzy materiałem drobniejszym, a materiałem

zawiesinowym zawartym w warstwie III (Ryc. 74, Fot.4). Warstwa VII zbudowana jest z ziaren kwarcowych o zróżnicowanej wielkości. Materiał organiczny nagromadzony jest tutaj w skupiskach. Występują spękania spowodowane nagłym wysuszeniem materiału. Warstwę VIII stanowi natomiast w przewadze materia organiczna, a ziarna kwarcowe występują w mniejszej ilości. W spągowej części szlifów zaobserwowano szereg mniejszych, naprzemianległych warstw (warstwy IX, X, XI i XII) zbudowanych z materii organicznej i frakcji ilastej (Ryc. 74, Fot.5).



Ryc. 73. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 24.2. wykonanym z próbki nr 24 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-5: t - tkanka roślinna, p - frakcja pylasta, o - materia organiczna. Fot.1. Tkanka roślinna (t) wewnątrz wolnej przestrzeni, widoczne różnice w materiale; Fot.2. Skupisko ziaren kwarcowych (k) w otoczeniu frakcji pylastej (p) i materii organicznej (o); Fot.3. Fragmenty tkanek roślinnych (t) w środkowej części szlif; Fot.4. Granica między warstwami - widoczna zmienność wielkości materiału; Fot.5. Granica między warstwami - widoczne laminy z materiału zawieszinowego.

Stanowisko Grudziądz

Do analiz mikromorfologicznych na stanowisku badawczym Grudziądz pobrano siedem próbek o nienaruszonej strukturze. Na brzegu lewym pobrano osad z trzech poziomów, tj.: 40, 90 i 240 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 75). W centralnej części koryta próbki pobrano z jednego poziomu 5 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 82). Na brzegu prawym pobrano próbki z trzech poziomów, tj.: 30, 85 i 145 cm ponad zwierciadłem wody (Ryc. 85).

BRZEG LEWY

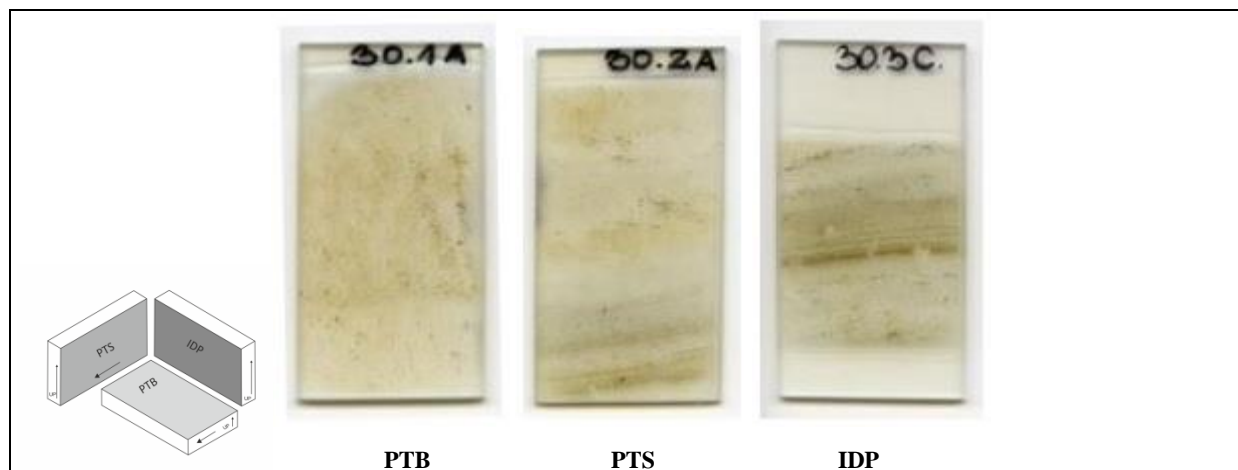
Próby pobrano 24-go sierpnia 2013 roku, przy stanie wody osiągającym wartość 208 cm (wodowskaz Grudziądz) oraz przepływie wynoszącym $661 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Brzeg w tym miejscu osiąga wysokość ponad 5 m i jest porośnięty głęboko ukorzonioną roślinnością. Koryto w tym miejscu jest głębokie, a brzeg silnie podcinany (Ryc. 75).



Ryc. 74. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 28 - 30, lewy brzeg Wisły 838-839 km biegu rzeki – stanowisko Grudziądz.

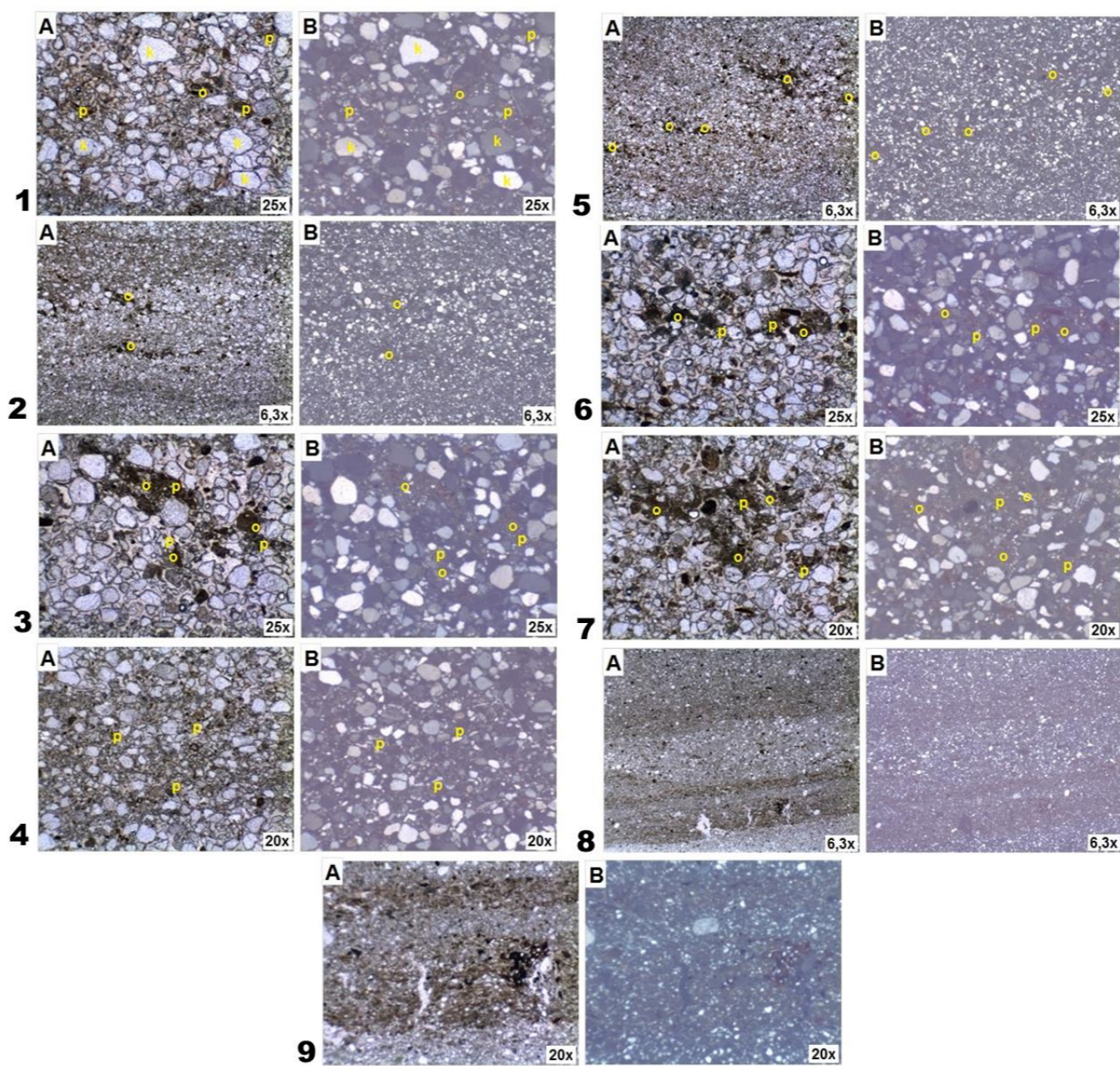
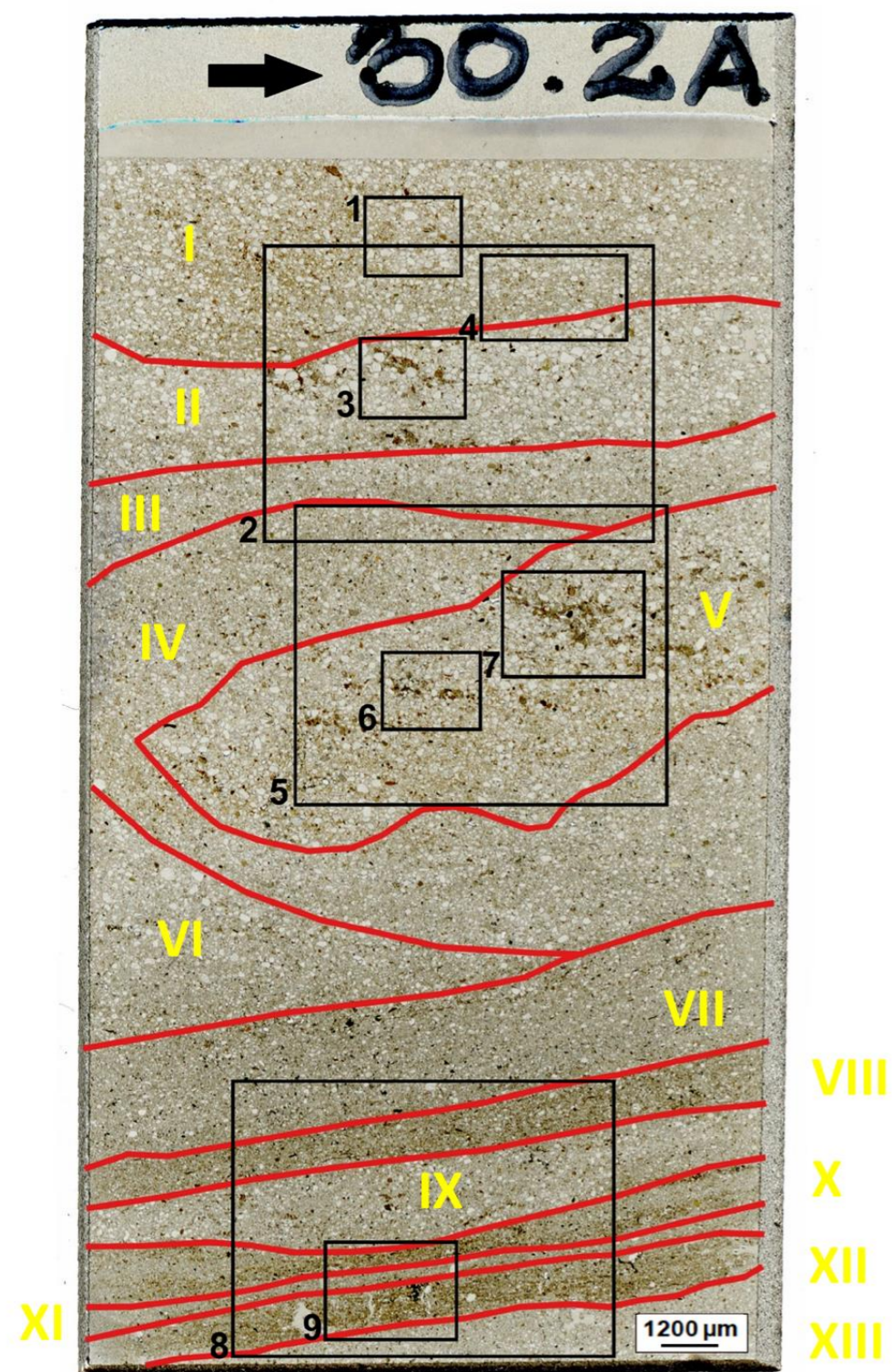
PRÓBKA NR 30 – 40 cm

W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 30 pobranej z brzegu lewego na wysokości 40 cm ponad zwierciadłem wody występuje drobnoziarnisty piasek z domieszką frakcji drobniejszych. W szlifach 30.2 (orientacja PTS) oraz 30.3 (orientacja IDP) widoczne są cienkie laminy, które mikroskopowo różnią się między sobą wielkością materiału mineralnego (Ryc. 76). Zauważyć można także większe nagromadzenia materii organicznej wraz z frakcją pylastą, które świadczyć mogą o szybkich zmianach w przepływie.



Ryc. 75. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 30 (40 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy w Grudziądzu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

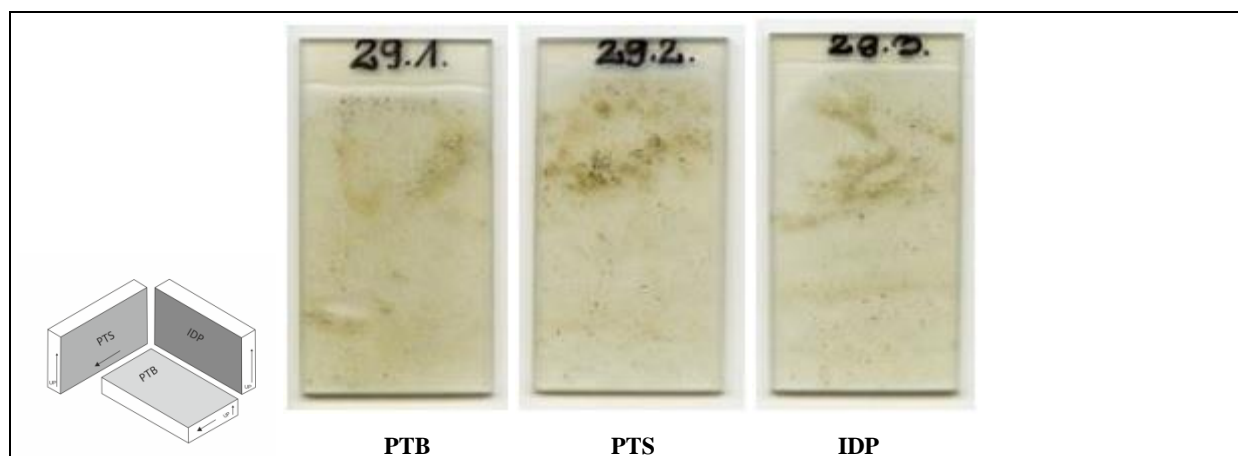
W stropowej części szlif 30.2 (orientacja PTS), którą stanowi warstwa I, z występującym w niej zróżnicowanym materiałem widoczne są większe ziarna kwarcu o wielkości około 300 μm , wymieszane z materią organiczną i frakcją pylastą (Ryc. 77, Fot.1). Poniżej występuje warstwa II, zbudowana z materiału grubszego wraz z większymi skupiskami materii organicznej (Ryc. 77, Fot.2 i 3). Następnie pojawia się warstwa III, w której pomiędzy ziarnami kwarcu pojawia się frakcja pylasta (Ryc. 77, Fot.4). W środkowej części szlif, w warstwie V pojawiają się ponownie większe skupiska materii organicznej z małym domieszkami frakcji pylastej (Ryc. 77, Fot.5-7). Otoczenie warstwy V stanowi warstwa IV, w której występuje frakcja pylasta, a materia organiczna jest rozmyta. Warstwa VI jest charakterystyczna ze względu na gradację materiału w kierunku spągowej części szlif. Poniżej warstwy VI występują laminy powstałe z materiału zawieszinowego, które różnicują jego zawartość (warstwy VII, VIII, IX, X, XI, XII i XIII). Warstwa X charakteryzuje się najmniejszą zawartością materii organicznej. W warstwie XII pojawiają się spękania, które przypuszczalnie związane są z zamrażaniem i odmarzaniem zawartego w niej materiału (Ryc. 77, Fot.8 i 9).



Ryc. 76. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 30.2A wykonanym z próbki nr 30 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-9: p - frakcja pylasta, o - materia organiczna, k - ziarno kwarcu. Fot.1. Zmienność wielkości ziaren w osadzie w stropowej części szlifu – widoczne większe ziarna kwarcu (k), materia organiczna (o) oraz frakcja pylasta (p); Fot.2. Granice pomiędzy warstwami – widoczny grubszy materiał z materia organiczna (o); Fot.3. Nagromadzenie materii organicznej (o) z frakcją pylastą (p) pomiędzy większymi ziarnami kwarcu; Fot.4. Frakcja pylasta (p) pomiędzy ziarnami kwarcowymi; Fot.5. Domieszka w postaci drobnej materii organicznej (o) w środkowej części szlifu; Fot.6. Materia organiczna (o) wraz z frakcją pylastą (p) pomiędzy ziarnami kwarcowymi; Fot.7. Materia organiczna (o) wraz z frakcją pylastą (p) pomiędzy ziarnami kwarcowymi; Fot.8. Laminy w spągowej części szlifu; Fot.9. Spękania w laminach występujących w spągowej części szlifu.

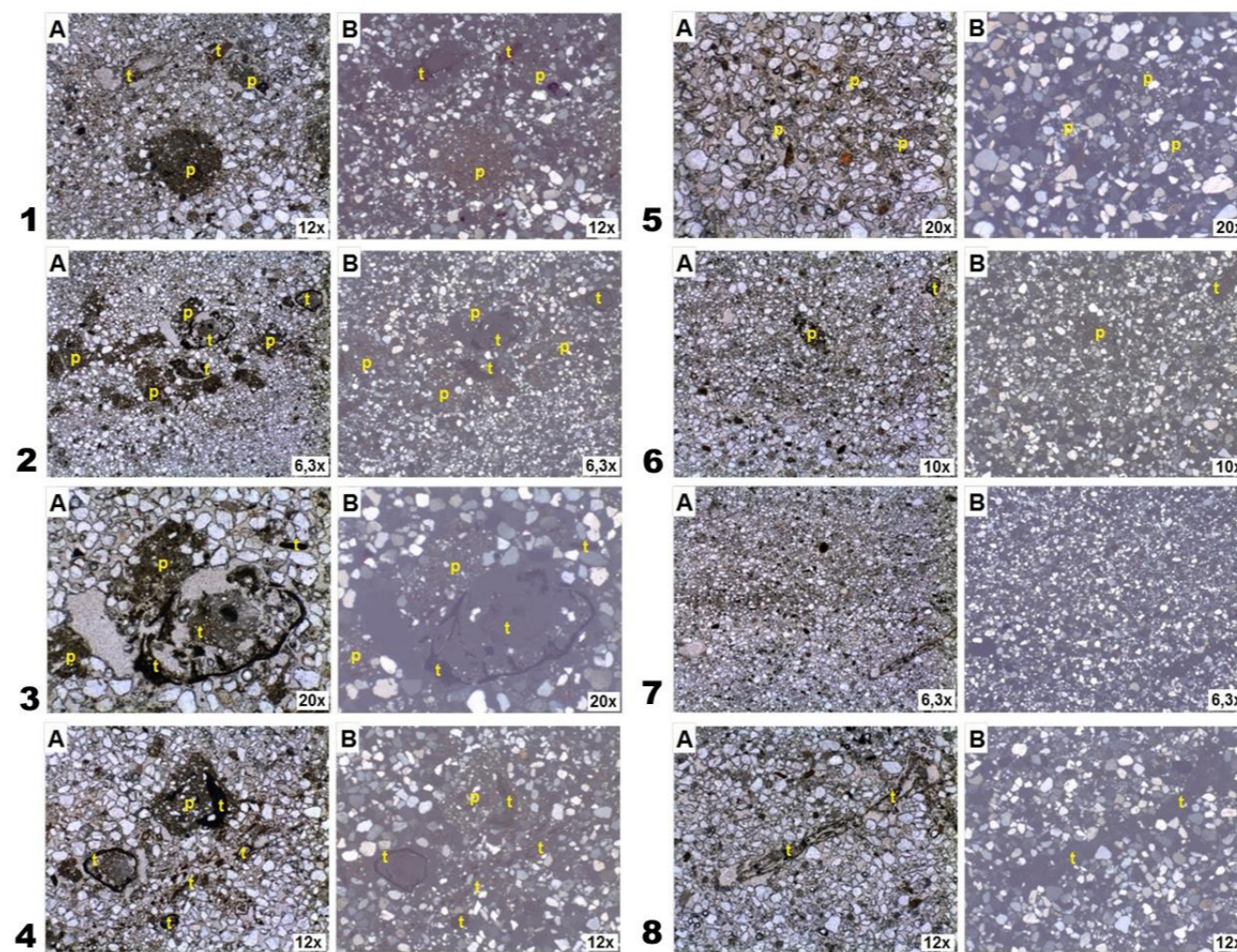
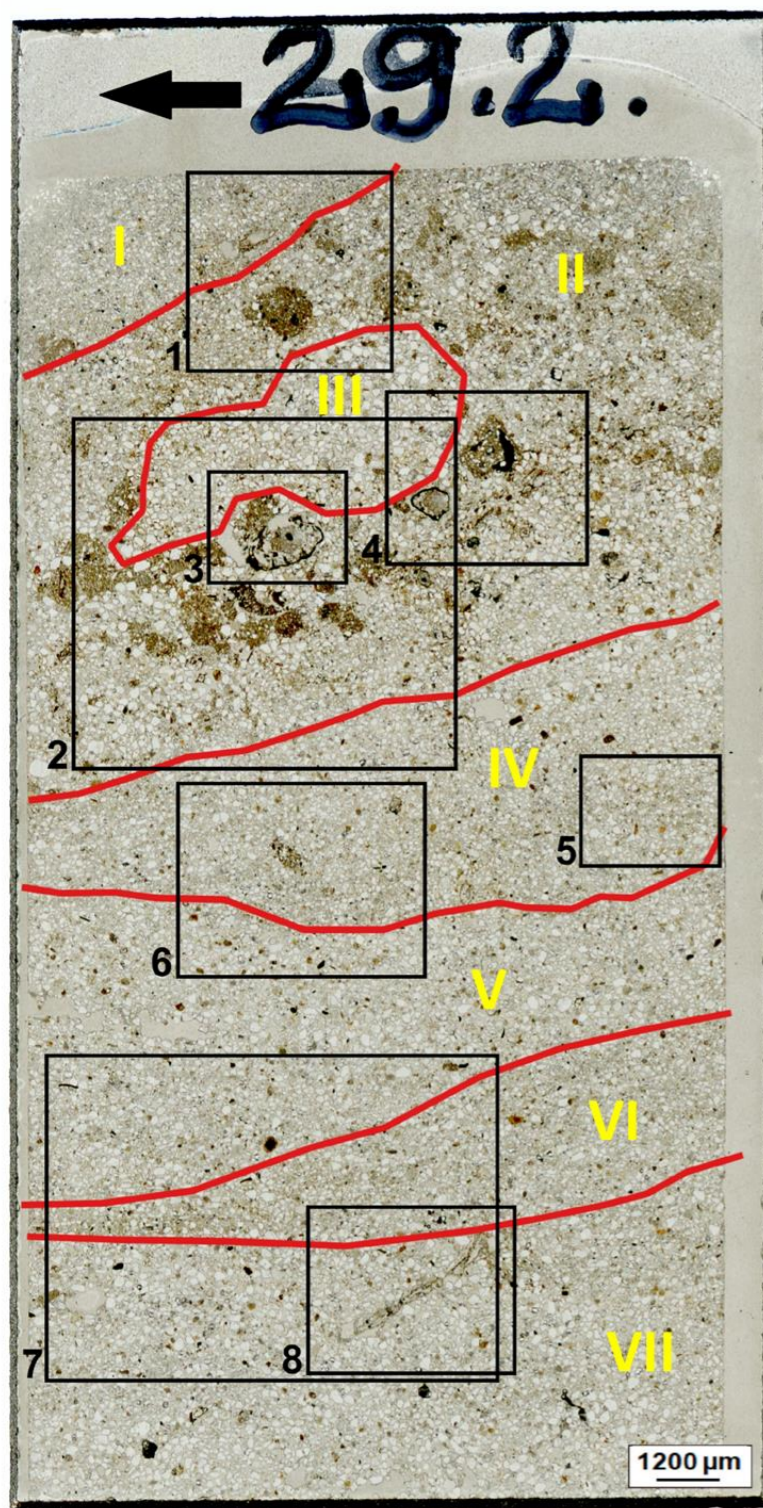
PRÓBKA NR 29 – 95 cm

W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 29 pobranej z brzegu lewego, na wysokości 95 cm ponad zwierciadłem wody można zauważyć charakterystyczną zmienność. Można w nich wydzielić pewne obszary świadczące o zróżnicowaniu środowiska dostawy materiału. Pojawiają się koncentracje materiału drobnego, frakcji pylastej wraz z materią organiczną, pomiędzy większymi ziarnami kwarcu (Ryc. 78).



Ryc. 77. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 29 (95 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy w Grudziądzu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

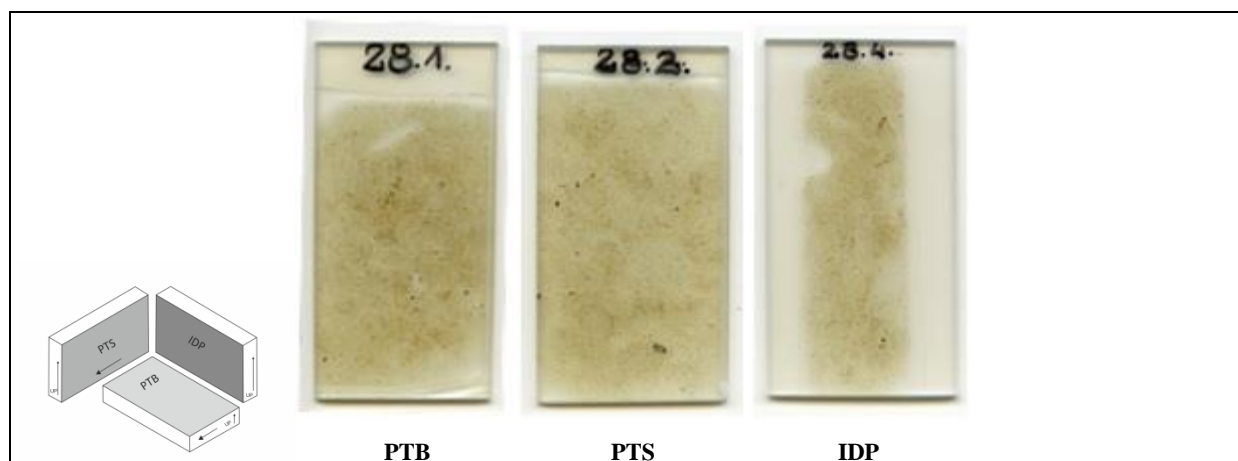
W szlifie 29.2 (orientacja PTS) wyznaczono siedem warstw, utworzonych najprawdopodobniej przez wahania stanów wody (Ryc. 79). W stropowej części szlifu (warstwa I) wyróżniamy materiał drobny, natomiast w warstwie II pojawiają się skupiska materiału drobnego głównie frakcji pylastej oraz większych fragmentów tkanek roślinnych (Ryc. 79, Fot.1-4). Wewnątrz warstwy II wyróżniono warstwę III, która stanowi skupisko ziaren kwarcowych pozbawionych materii organicznej. W środkowej części szlifu (warstwa IV) frakcja pylasta nie pojawia się w skupiskach, wymieszana natomiast jest z większymi ziarnami kwarcu (Ryc. 79, Fot.5 i 6). Poniżej znajduje się warstwa V, w której domieszka frakcji pylastej jest znikoma, występują w niej natomiast wolne przestrzenie i większe ziarna kwarcu. W części spągowej, pod warstwą VI z domieszką frakcji pylastej (Ryc. 79, Fot.7), znajduje się warstwa VII, w której dominują ziarna kwarcu z drobnymi resztkami materii organicznej w postaci czarnych punkcików, w części tej znajduje się również większy fragment tkanki roślinnej (Ryc. 79, Fot.8).



Ryc. 78. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 29.2. wykonanym z próbki nr 29 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-8: t - tkanka roślinna, p - frakcja pylasta. Fot.1. Skupisko frakcji pylastej (p) oraz fragmenty tkanek roślinnych (t); Fot.2. Frakcja pylasta (p) wraz z fragmentami tkanek roślinnych (t); Fot.3. Frakcja pylasta (p) w sąsiedztwie tkanki roślinnej (t); Fot.4. Większe fragmenty tkanek roślinnych (t) w sąsiedztwie frakcji pylastej (p); Fot.5. Frakcja pylasta (p) pomiędzy ziarnami kwarcowymi; Fot.6. Mniejsze skupisko frakcji pylastej (p) w środkowej części szlif; Fot.7. Granice pomiędzy warstwami – widoczna warstwa z domieszką frakcji pylastej; Fot.8. Większy fragment tkanki roślinnej (t).

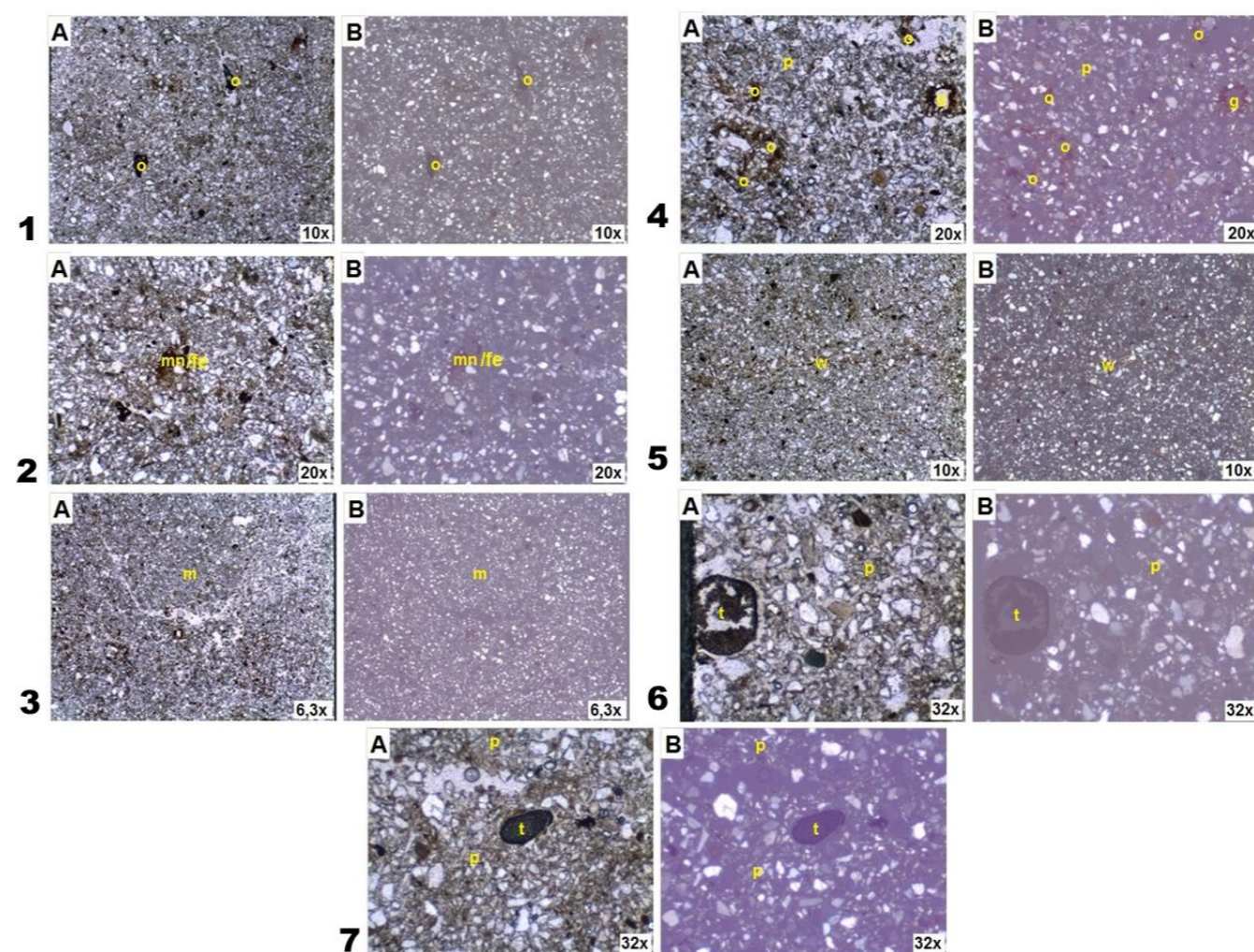
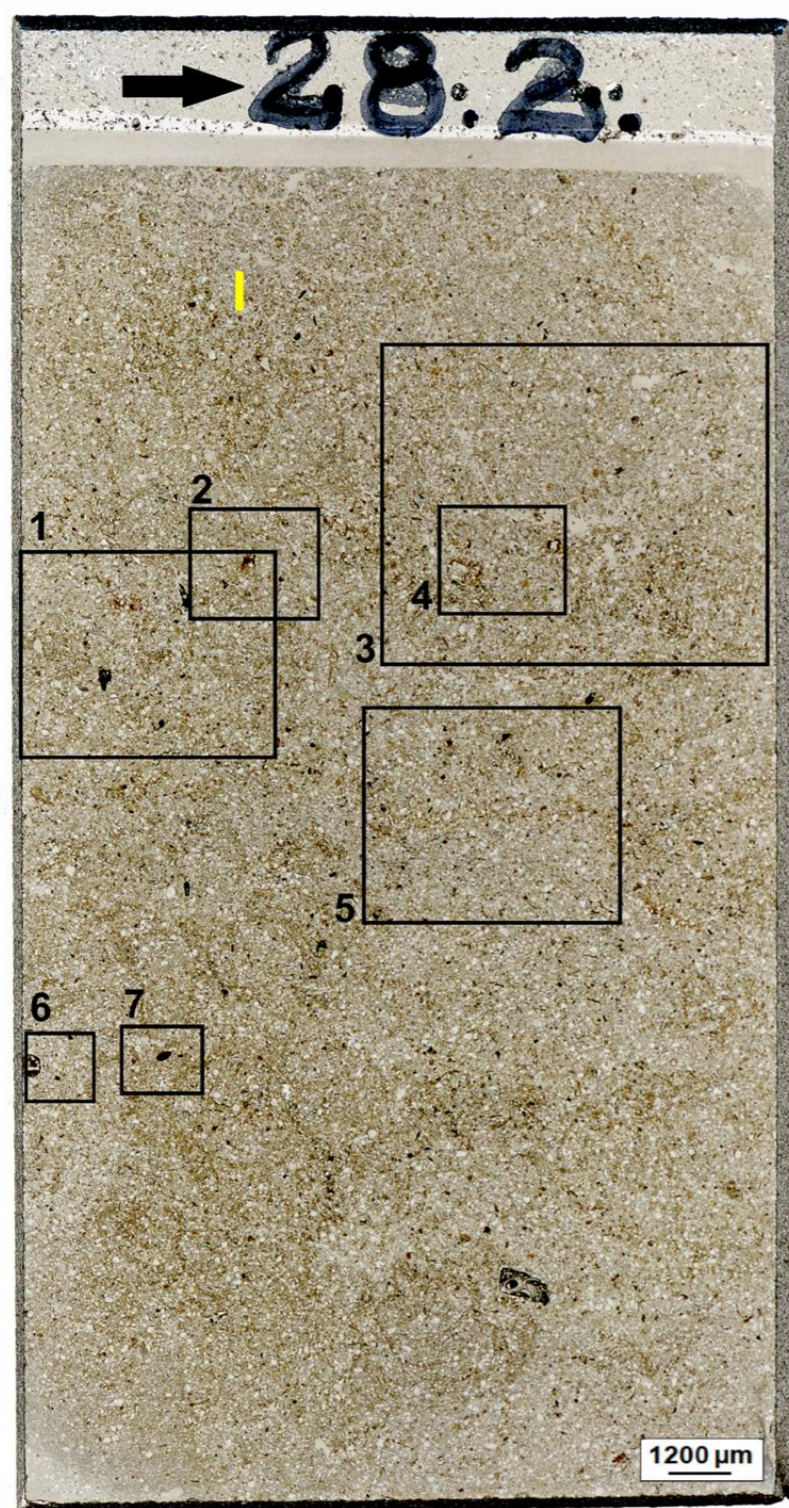
PRÓBKA NR 28 – 240 cm

W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 28 pobranej z brzegu lewego, na wysokości 240 cm ponad zwierciadłem wody występuje piasek bardzo drobnoziarnisty. Ogólne wysortowanie osadu jest słabe, a upakowanie dość zwarte. W szlifach widoczna jest materia organiczna, w postaci m.in. małych fragmentów drewna, węgla drzewnego oraz tkanek roślinnych. W materiale znikome są ślady wahań poziomu wody (Ryc. 80).



Ryc. 79. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 28 (240 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy w Grudziądzu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

Powierzchnia szlifu 28.2 (orientacja PTS) jest zróżnicowana, z widocznymi obszarami o zabarwieniu brązowym, świadczącymi o większym nagromadzeniu frakcji drobniejszych (Ryc. 81). Warstwy są trudne do wydzielenia. Pojawiają się obszary, w których w masie podstawowej występują większe fragmenty materii organicznej (Ryc. 80, Fot.1.) wraz z koncentracjami manganowo-żelazistymi (Ryc. 81, Fot.2). W masie podstawowej zauważyć można spękania, pod którymi uwidaczniają się nodule żelaziste oraz fragmenty materii organicznej (Ryc. 81, Fot.3 i 4). W środkowej części szlifu dostrzec można wytrącenia żelazisto-ilaste w postaci cienkich lamin (Ryc. 81. Fot.5). Pozostałą część szlifu stanowi materiał pylasty, z domieszkami większych ziaren, głównie kwarcu, a także materii organicznej i większych tkanek roślinnych (Ryc. 81., Fot.6 i 7).



Ryc. 80. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 28.2. wykonanym z próbki nr 28 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-7: o - materia organiczna, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste, m - masa podstawowa, p - frakcja pylasta, w - wytrącenia żelazisto-ilaste, t - tkanka roślinna. Fot.1. Większe fragmenty materii organicznej (o) w masie podstawowej; Fot.2. Koncentracja manganowo-żelazista (mn/fe); Fot.3. Spękania w masie podstawowej (m); Fot.4. Frakcja pylasta (p) z nodulem żelazistą (g) i fragmentami materii organicznej (o); Fot.5. Wytrącenia żelazisto-ilaste (w) w postaci cienkiej laminy; Fot.6. Większy fragment tkanki roślinnej (t); Fot.7. Tkanka roślinna (t) w otoczeniu frakcji pylastej (p).

ŚRODEK KORYTA

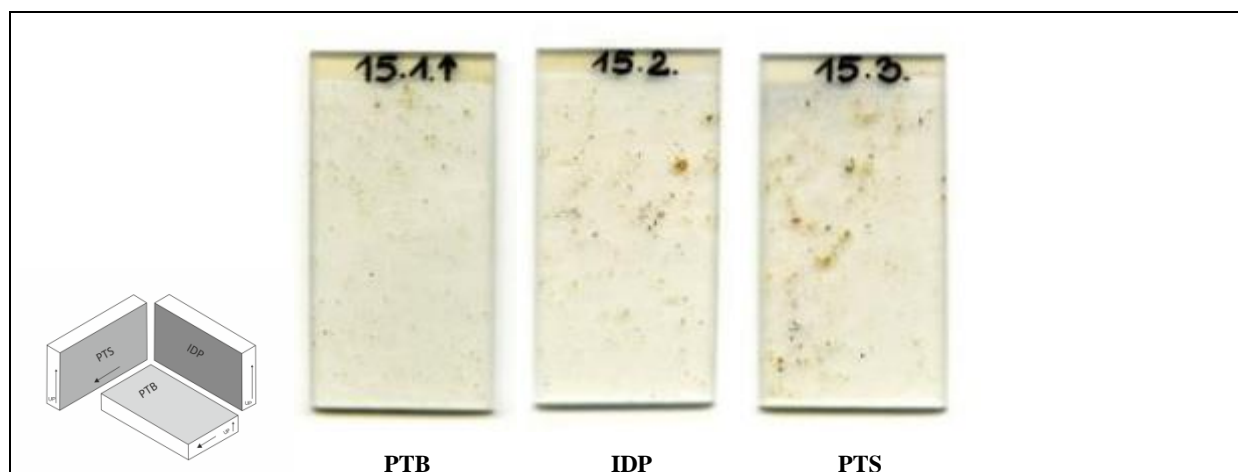
Próbkę pobrano 13-go października 2012 roku, przy stanie wody osiągającym wartość 203 cm (wodowskaz Grudziądz) oraz przepływie $507 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Koryto w tym miejscu jest uregulowane, prostolinijne o szerokości około 400 m. Forma, z której pobrano próby, to łacha centralna znajdująca się na samym środku koryta, której powierzchnia była pokryta riplemarkami (Ryc. 82).



Ryc. 81. Lokalizacja miejsca poboru próbki nr 15, centralna część koryta Wisły 838-839 km biegu rzeki – stanowisko Grudziądz.

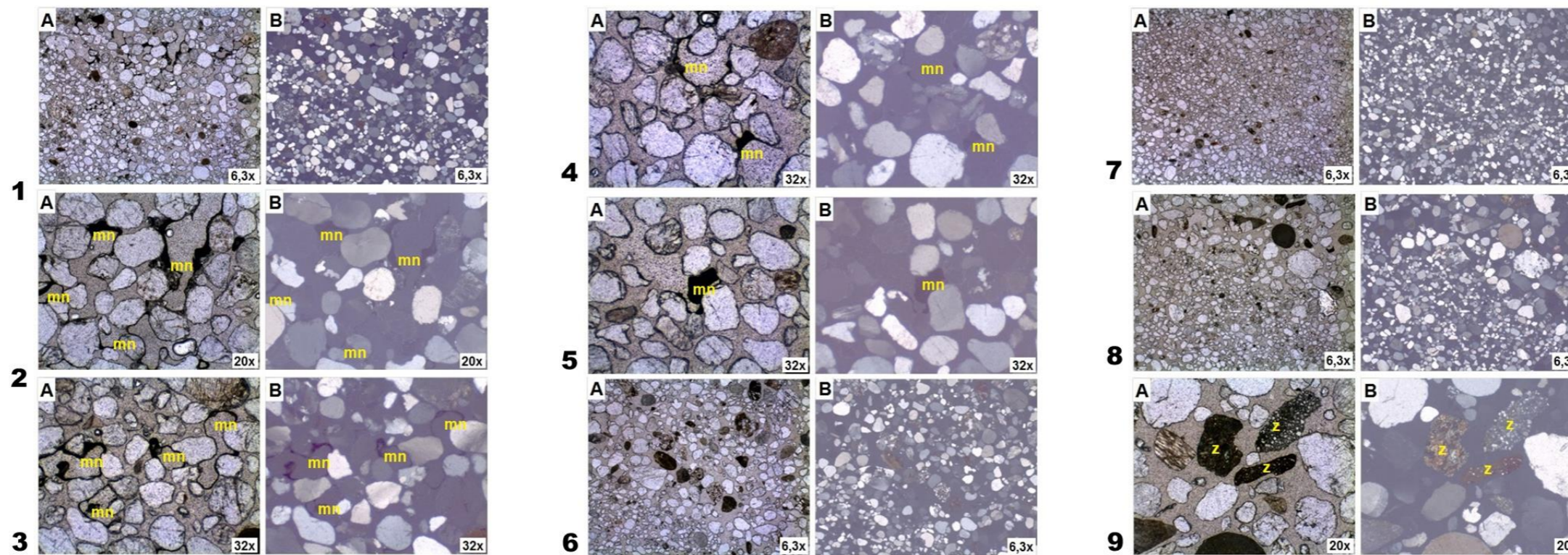
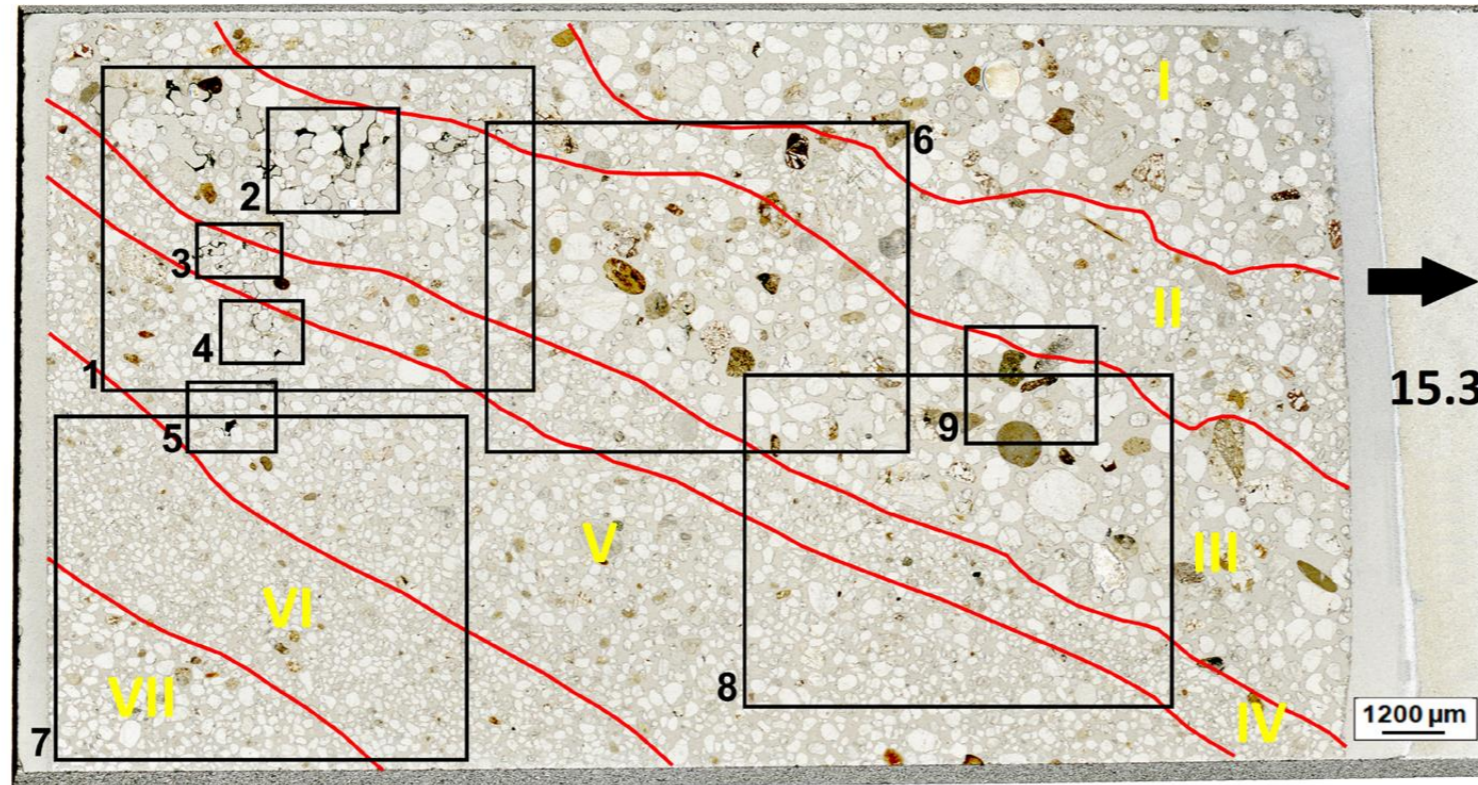
PRÓBKA NR 15 – 5 cm

Próbkę nr 15 pobrano z czoła łachy śródkorytowej. W wykonanych szlifach mikromorfologicznych dominuje piasek średnioziarnisty. Ziarna minerałów są dobrze obtoczone, z wyraźną przewagą ziaren kwarcu. Wyszortowanie osadu jest bardzo dobre. Pośród większych ziaren kwarcowych można zauważyć również większe ziarna innych minerałów (Ryc. 83).



Ryc. 82. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 15 (5 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta w Grudziądzu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

W szlifie 15.3 (orientacja PTS) na podstawie różnic w wielkości ziaren wyróżniono siedem warstw (Ryc. 84). Uwidacznia się przekątne warstwowanie osadu charakterystyczne dla osadów facji korytowej. W szlifie występuje materiał w postaci ziaren kwarcu, zlepieńców i innych minerałów o wymiarach sięgających do 4,0 mm (Ryc. 84, Fot.1 i 6). Warstwa I charakteryzuje się dobrze obtoczonymi ziarnami kwarcu, w warstwie II występuje domieszka ziaren drobniejszych. Natomiast w warstwie III znajdują się ziarna największe. Przy ziarnach uwidaczniają się nacieki manganowe o charakterystycznym czarnym zabarwieniu (Ryc. 84, Fot.2-5). Warstwa V to przemieszany piasek średnio i drobnoziarnisty. W warstwie V występuje materiał grubszy, a w warstwie VI występuje materiał drobniejszy. W warstwie VII ponownie nieco grubszy, a minerały są dobrze obtoczone (Ryc. 84, Fot.7-9).



Ryc. 83. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 15.3 wykonanym z próbki nr 15 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-9: mn - nacieki manganowe, z - zlepniec. Fot.1. Wymieszanie materiału drobnego z materiałem grubszym - widoczne przekątne warstwowania; Fot.2. Nacieki manganowe (mn) przy ziarnach kwarcu; Fot.3. Nacieki manganowe (mn) wokół ziaren kwarcu; Fot.4. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu; Fot.5. Nacieki manganowe (mn) pomiędzy ziarnami kwarcu; Fot.6. Przekątne warstwowanie – widoczne inne minerały pośród ziaren kwarcu; Fot.7. Spągowa część szlifu, widoczne warstwowanie przekątne oraz zmienność wielkości ziaren; Fot.8. Warstwowanie przekątne – widoczne większe ziarna kwarcu; Fot.9. Zlepniecie (z) pośród większych ziaren kwarcowych.

BRZEG PRAWY

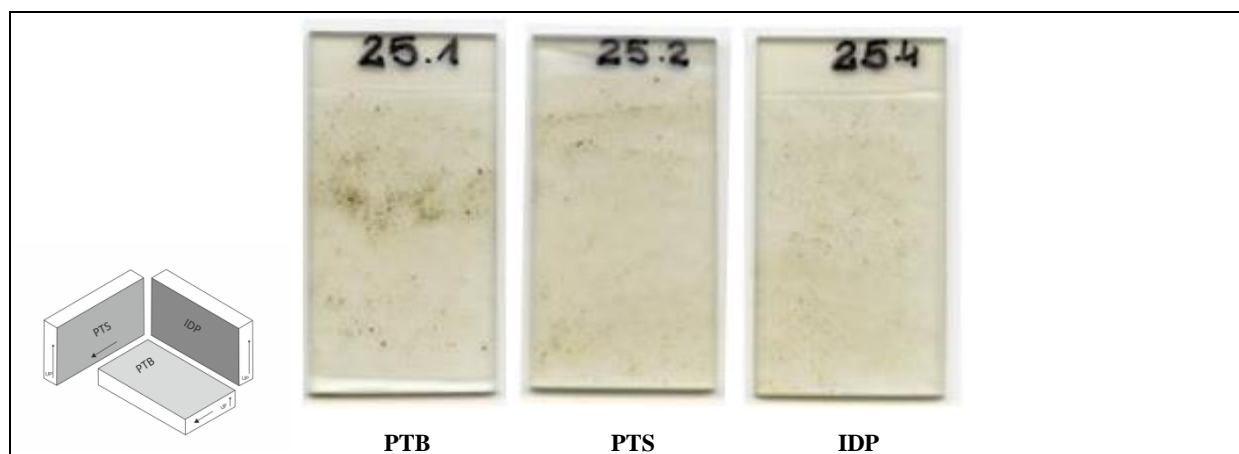
Poboru próbek dokonano 24-go sierpnia 2013 roku, przy stanie wody wynoszącym 208 cm (wodowskaz Grudziądz) oraz przepływie wynoszącym $661 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Brzeg prawy w tym miejscu jest brzegiem akumulacyjnym, porośniętym kępami traw, wyżej krzewami. Jego wysokość osiąga wartość około 2 m, a koryto w tym miejscu jest płytkie (Ryc. 85).



Ryc. 84. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 25 - 27, prawy brzeg Wisły 838-839 km biegu rzeki – stanowisko Grudziądz

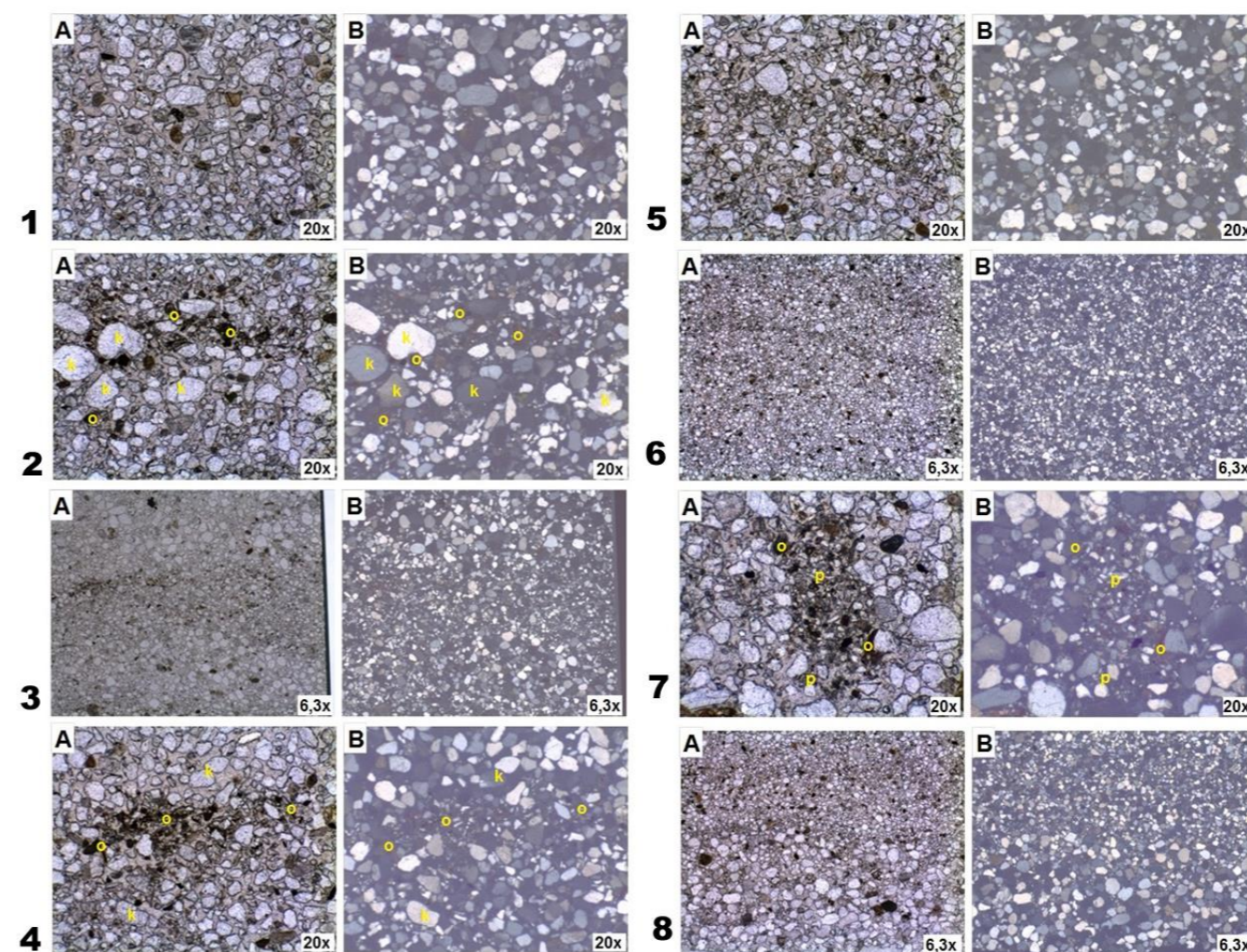
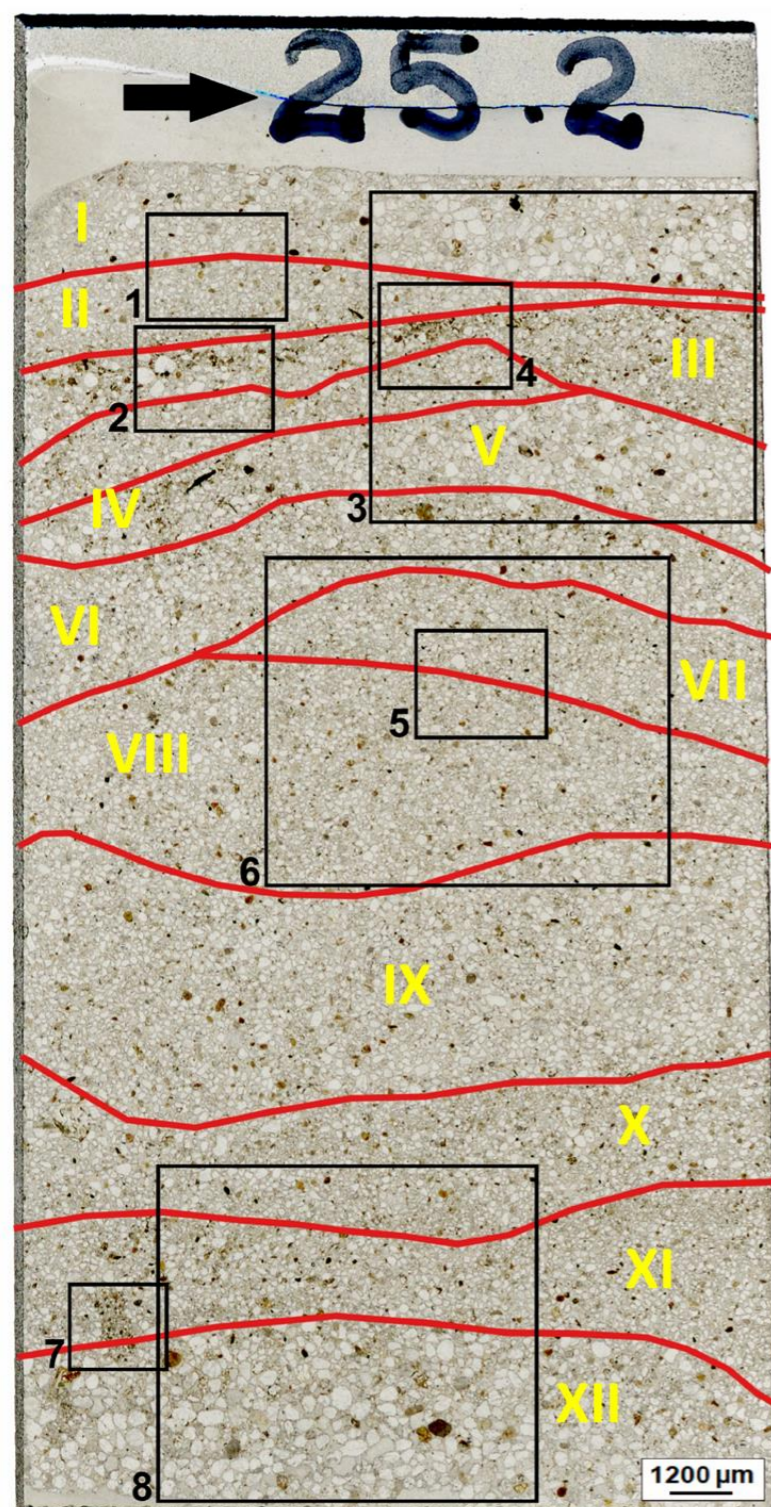
PRÓBKA NR 25 – 30 cm

W szlifach wykonanych z próbki nr 25 pobranej z brzegu prawego na wysokości 30 cm ponad zwierciadłem wody występuje w przewodzie piasek drobnoziarnisty. Materiał jest umiarkowanie dobrze wysortowany, większe ziarna są dobrze obtoczone, osiągają 5 stopień według skali Krumbeina (1941). Widoczne są nagromadzenia frakcji pylastej oraz materii organicznej (Ryc. 86).



Ryc. 85. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 25 (30 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy w Grudziądzu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

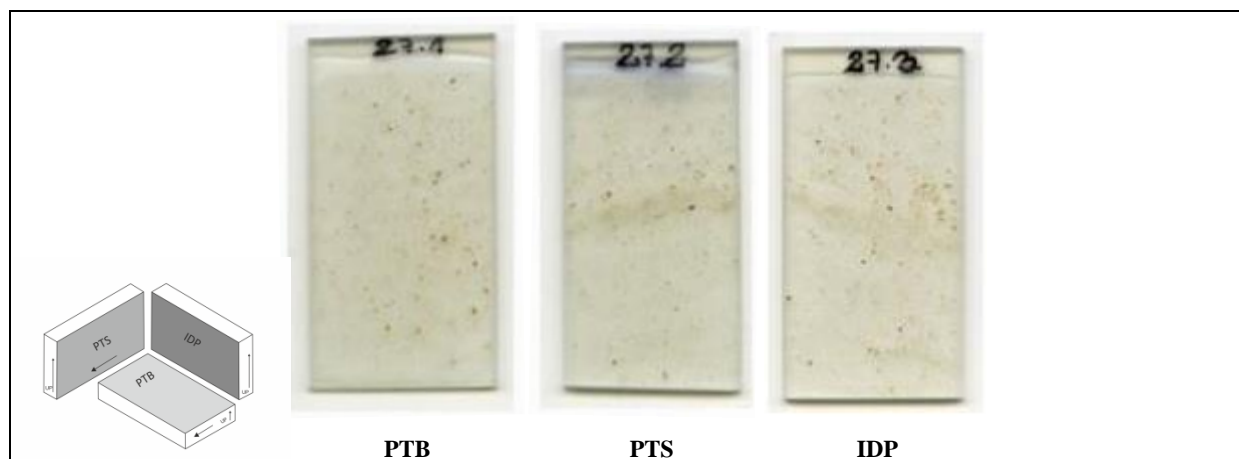
W szlifie 25.2 (orientacja PTS) mikroskopowo wyznaczono dwanaście warstw, zróżnicowanych głównie pod względem wielkości ziaren (Ryc. 87). W stropowej części szlifu, materiał jest nieuporządkowany i występuje zarówno materiał grubszy tak jak w warstwie I, i ziarna drobne jak w warstwie II (Ryc. 87, Fot.1). Poniżej widoczna jest warstwa III z dostawą materiału drobnego, wraz z materią organiczną najprawdopodobniej z opadania zawiesiny (Ryc. 87, Fot.2-4). W warstwie IV występują drobne ziarna kwarcu wraz z domieszką materii organicznej. Natomiast w warstwie V ziarna są większe. W warstwie VI materiał jest wymieszany. Granicę pomiędzy warstwami VII, VIII i IX stanowią dobrze obtoczone ziarna kwarcowe, gdzie zauważyć także można szereg drobnych lamin powstałych z materiału zawiesinowego (Ryc. 87, Fot.5 i 6). W warstwie X i XI pojawia się frakcja pylasta i skupiska materii organicznej. W warstwie XII znajdującej się w spągowej części szlifu pojawia się grubszy materiał, a ziarna są dobrze obtoczone. Sporadycznie można natrafić tu na skupisko frakcji pylastej wymieszanej z materią organiczną (Ryc. 87, Fot.7 i 8).



Ryc. 86. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 25.2. wykonany z próbki nr 25 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-8: o - materia organiczna, k - ziarno kwarcu, p - frakcja pylasta. Fot.1. Ziarna mineralne w stropowej części szlif; Fot.2. Materiał organiczny (o) pomiędzy większymi ziarnami kwarcu (k); Fot.3. Drobniejszy materiał zawieszinowy; Fot.4. Materia organiczna (o) pomiędzy ziarnami kwarcu (k); Fot.5. Zróżnicowanie w materiale w środkowej części szlif; Fot.6. Cienkie laminy z materiału zawieszinowego; Fot.7. Frakcja pylasta (p) wymieszana z materia organiczną (o); Fot.8. Zmienność wielkości ziaren mineralnych – spągowa część szlif.

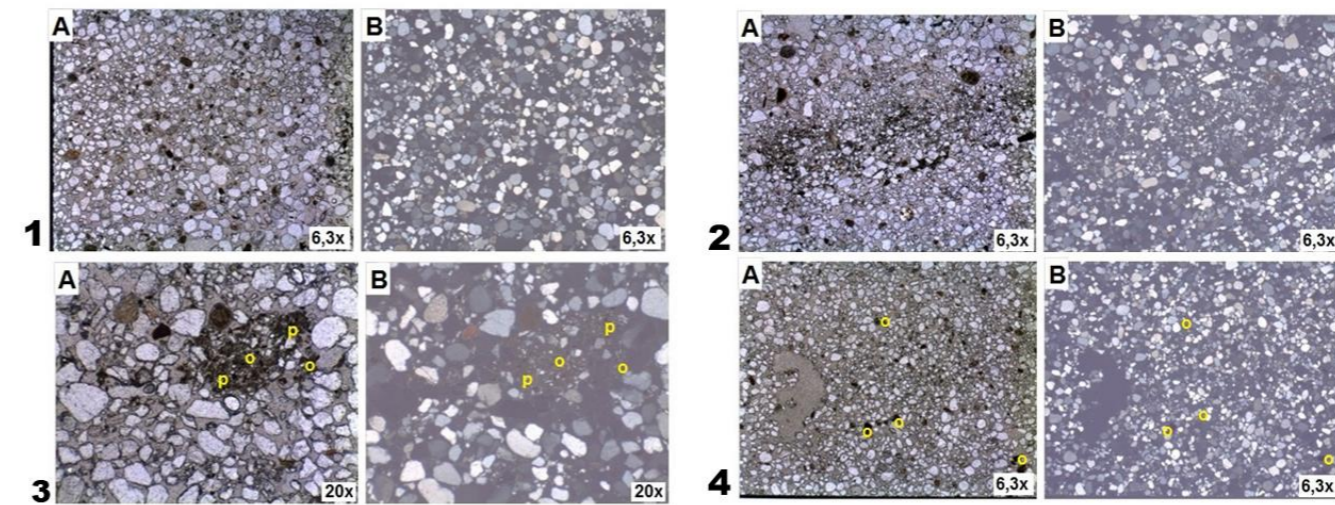
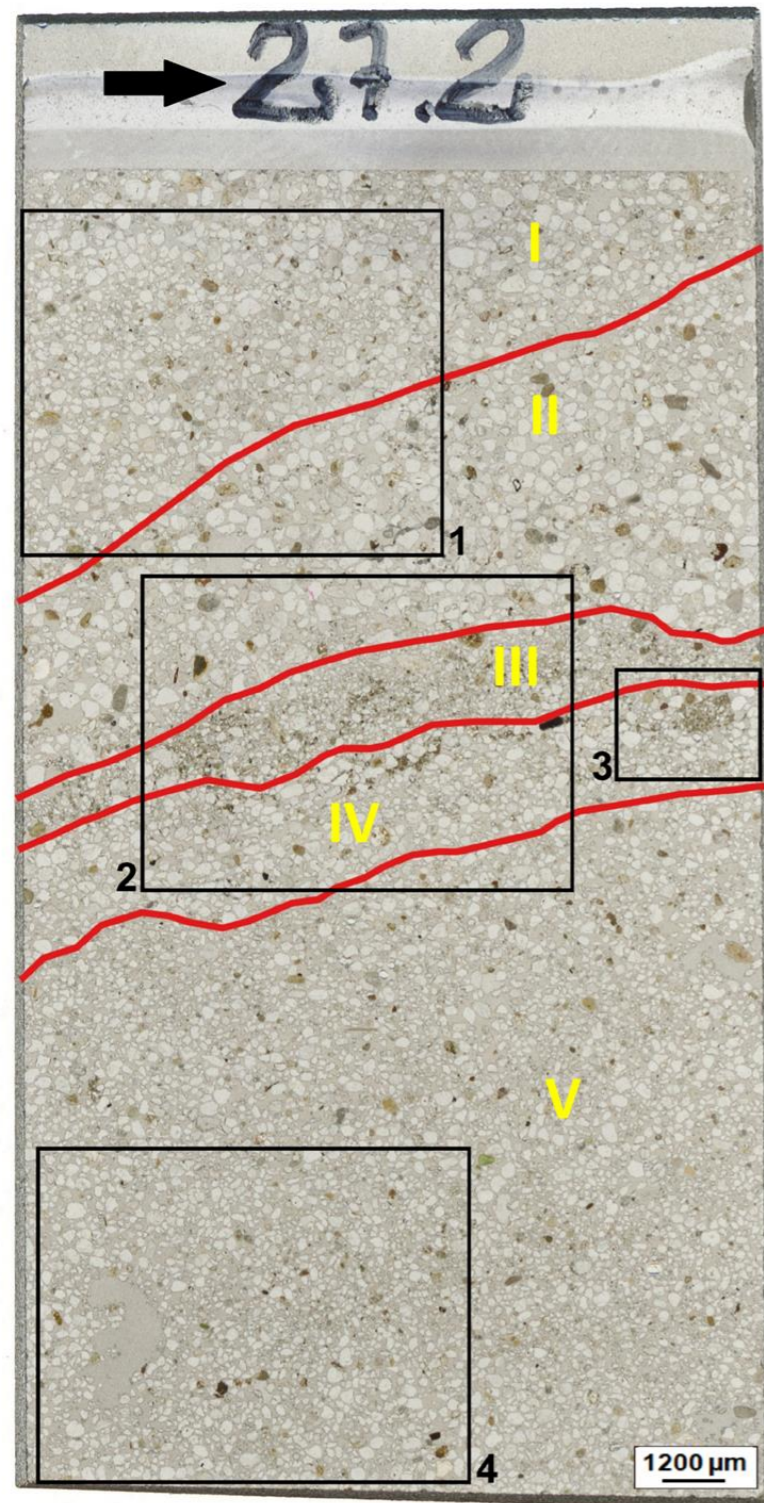
PRÓBKA NR 27 – 95 cm

W szlifach wykonanych z próbki nr 27 pobranej z brzegu prawego na wysokości 95 cm ponad zwierciadłem wody przeważa piasek średnioziarnisty o umiarkowanym wysortowaniu. Większe ziarna są dobrze obtoczone – 6 w skali Krumbeina (1941). Widoczne są warstewki wypełniane osadem drobniejszym – najprawdopodobniej z zawiesiny (Ryc. 85).



Ryc. 87. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 27 (85 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy w Grudziądzu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

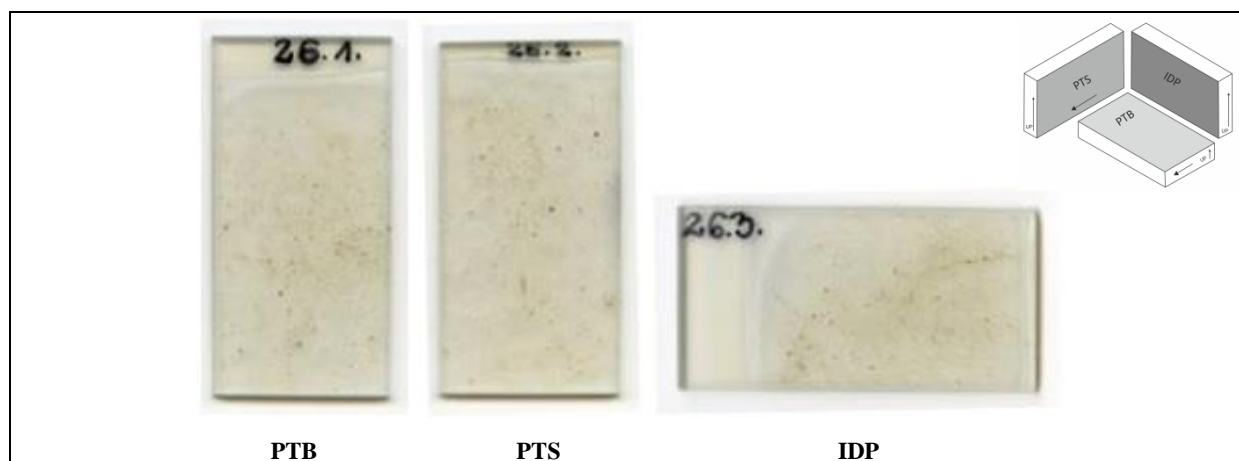
W szlifie 27.2 (orientacja PTS) wyróżniono pięć warstw świadczących o różnych warunkach depozycji materiału. W części stropowej, w warstwie I, występują ziarna różnej wielkości mniej lub bardziej obtoczone (Ryc. 89, Fot.1). Poniżej, w warstwie II, znajdują się ziarna większe, dobrze obtoczone. W środkowej części szlifu (warstwa III) zauważyć można materiał drobniejszy, w którym znajdują się fragmenty materii organicznej wymieszane z frakcją pylastą, która w warstwie IV stanowi większe skupiska (Ryc. 89, Fot.2 i 3). W spągowej części, w warstwie V, materiał jest niejednorodny występują ziarna większe oraz materiał drobniejszy z równie niewielkimi fragmentami materii organicznej (Ryc. 89, Fot.4).



Ryc. 88. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 27.2. wykonanym z próbki nr 27 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-4: o - materia organiczna, p - frakcja pylasta. Fot.1. Zróżnicowanie wielkości ziaren – część stropowa szlifu; Fot.2. Materiał zawieszinowy, widoczne granice pomiędzy warstwami; Fot.3. Frakcja pylasta (p) wymieszana z materią organiczną (o); Fot.4. Wolna przestrzeń oraz materiał drobniejszy z drobkami materii organicznej (o) – część spągowa szlifu.

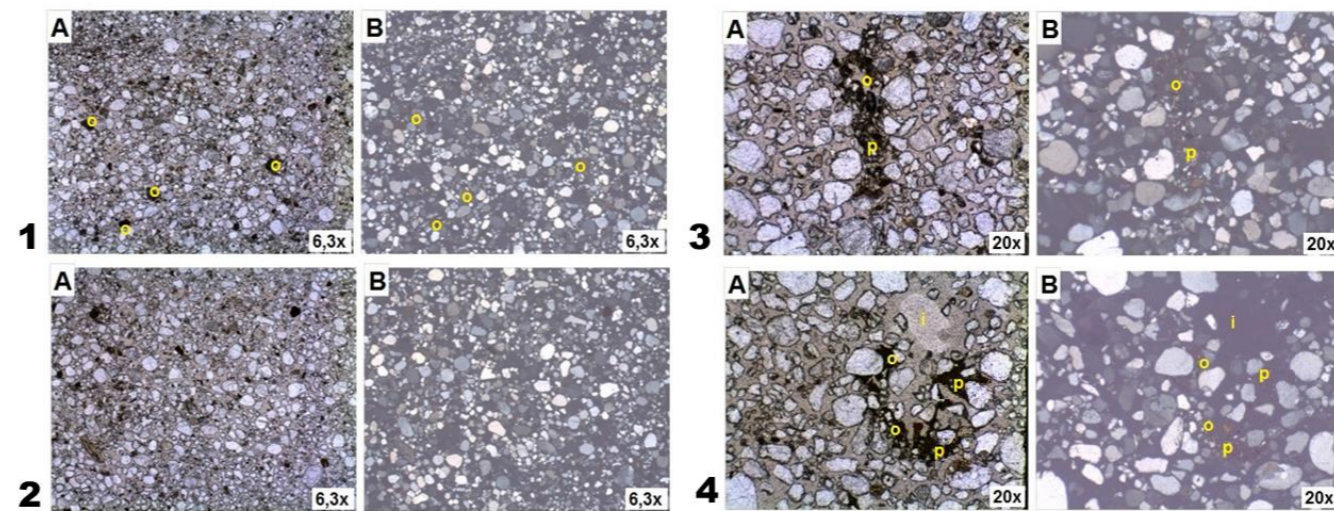
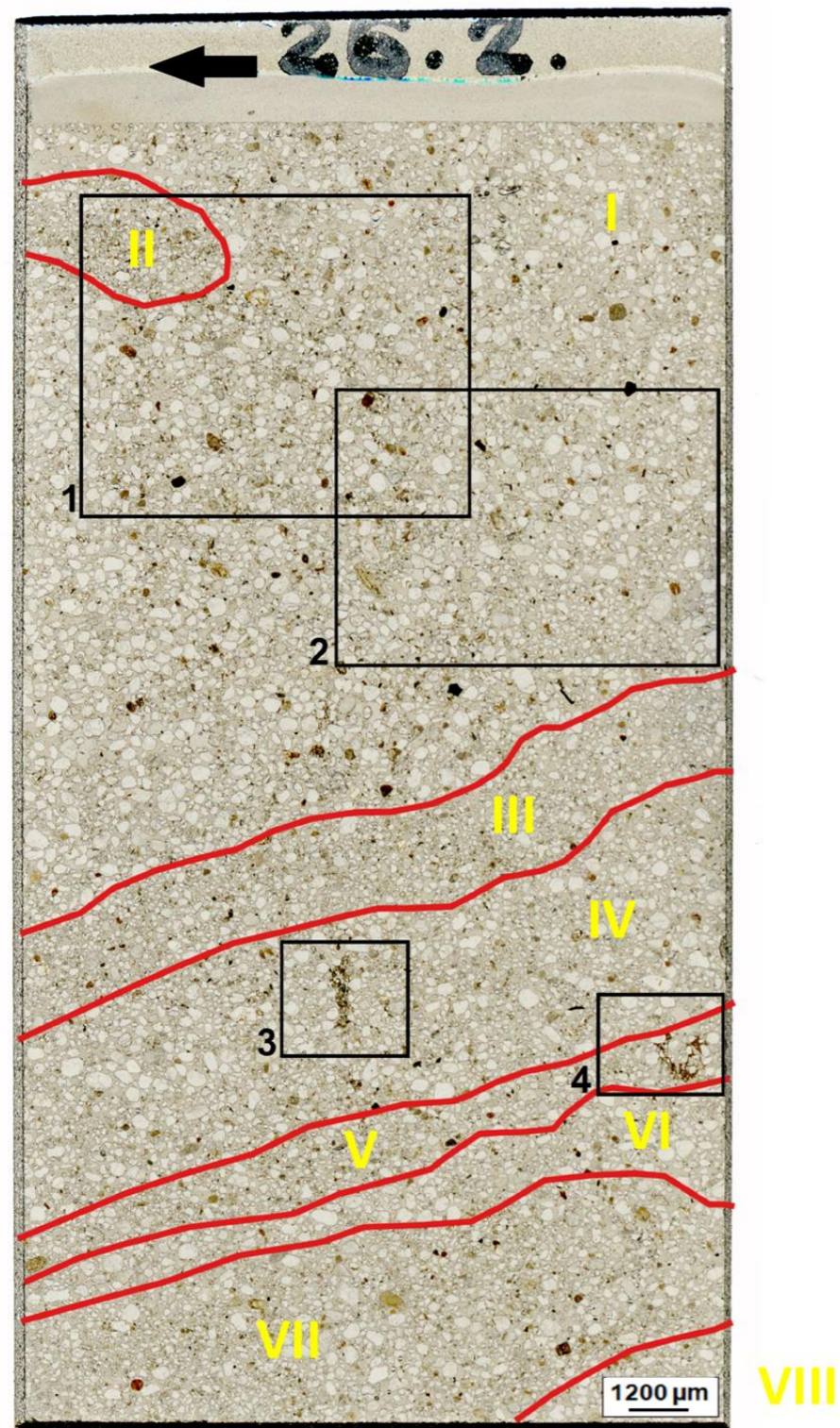
PRÓBKA NR 26 – 145 cm

W szlifach mikromorfologicznych wykonanych z próbki nr 26 pobranej z brzegu prawego, na wysokości 145 cm ponad zwierciadłem wody występuje piasek drobnoziarnisty z domieszkami frakcji pylastej i materii organicznej. Wysortowanie materiału jest umiarkowane. Większe ziarna kwarcowe są dobrze obtoczone, osiągając stopień 6 w skali Krumbeina (1941). (Ryc. 90).



Ryc. 89. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 26 (145 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy w Grudziądzu. Typy orientacji: PTB – orientacja równoległa do podłoża, PTS – orientacja równoległa do brzegu, zgodna z kierunkiem płynięcia rzeki, IDP – orientacja wewnątrz powierzchni podłoża.

W szlifie 26.2 wykonanym w orientacji PTS wyróżniono osiem warstw różniących się pomiędzy sobą wielkością w nagromadzonym osadzie (Ryc. 91). W części stropowej, w warstwie I osad jest zróżnicowany. Występują tu zarówno dobrze obtoczone większe ziarna kwarcowe, jaki i materiał drobniejszy wraz z fragmentami materii organicznej (Ryc. 91, Fot.1 i 2). Widoczny jest fragment stanowiący warstwę II, w którym nastąpiła zwiększona dostawa materiału drobniejszego. Poniżej w środkowej części szlifów wyróżniono warstwę III składającą się z materiału drobniejszego. Następnie w warstwie IV pojawiają się ponownie większe, dobrze obtoczone ziarna kwarcowe. Pomiedzy większymi ziarnami kwarcu zauważyć można nagromadzenia w postaci frakcji pylastej wymieszanej z materiałem organicznym (Ryc. 91, Fot.3). Niekiedy w wolnych przestrzeniach, występujących w warstwie V, zauważyć można nagromadzenia w postaci łu koloidalnego (Ryc. 91, Fot.4). Warstwę VI stanowią większe ziarna kwarcowe, natomiast w spągowej części szlifów, w warstwie VII, ponownie materiał staje się zróżnicowany. Warstwa VIII to ziarna kwarcowa pozbawiane materii organicznej.



Ryc. 90. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 26.2. wykonanym z próbki nr 26 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz. Fotografie mikroskopowe A - wykonane w świetle przechodzącym oraz B - w świetle spolaryzowanym. Oznaczenia na zdjęciach mikroskopowych 1-4: o - materia organiczna, p - frakcja pylasta, i - il koloidalny. Fot.1. Zróżnicowanie wielkości ziaren w części stropowej szlifu, widoczne drobinki materii organicznej (o); Fot.2. Zróżnicowanie wielkości ziaren w części stropowej; Fot.3. Frakcja pylasta (p) wymieszana z materią organiczną (o); Fot.4. Koncentracja łu koloidalnego (i) oraz pozostałości po materii organicznej (o) przy zbitej frakcji pylastej (p).

5.2. Interpretacja cech mikromorfologicznych badanych osadów

Udokumentowane cechy mikromorfologiczne analizowanych osadów dolnej Wisły wykazują szeroki zakres zmienności występowania. Część cech występuje pojedynczo i uznaje je można za unikatowe. Inne wstępują w większej liczbie i są powtarzalne w badanych szlifach. Przeprowadzane analizy mikromorfologiczne wykazały, iż wyróżnione cechy mikromorfologiczne są charakterystyczne dla konkretnych stanowisk i punktów badawczych (Tab. 14). Pod względem wielkości uziarnienia zarówno makroskopowo jak i mikroskopowo widoczne są różnice pomiędzy próbkami pobranymi z brzegów a próbkami pobranymi z centralnej części koryta. W szlifach wykonanych z osadów pozakorytowych wyróżnić można liczne warstwy świadczące o zróżnicowaniu materiału, w którym dominuje piasek drobnoziarnisty i średnioziarnisty, upakowanie jest w przewadze zwarte. Szlify wykonane dla osadów korytowych posiadają materiał jednorodny (brak charakterystycznych warstw), dobre wysortowanie, a materiałem dominującym jest piasek gruboziarnisty. Materia organiczna (o), w tym tkanki roślinne (t), występują praktycznie we wszystkich szlifach wykonanych w punktach badawczych zlokalizowanych na brzegach. Nie została natomiast odnotowywana ich obecność w żadnym szlifie wykonanym z próbek pobranych z centralnej części. Nacieki pylasto-ilaste (np), które świadczyć mogą o wysychaniu osadu, pojawiają się wyłącznie w szlifach wykonanych z brzegu lewego na stanowisku Kępa Polska. Mikrokoncentracje związane z warunkami oksydoacyjno – redukcyjnymi to nodule żelaziste (g), koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe) oraz dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d). Nodule żelaziste (g) występują sporadycznie na każdym stanowisku badawczym. Koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe) powszechnie obecne są w szlifach wykonanych z brzegu lewego na stanowisku Toruń, okresowo pojawiają się w szlifach wykonanych z brzegu lewego na stanowisku Kępa Polska, natomiast na stanowisku Grudziądz koncentracje tego typu nie zostały odnotowane. Dyfuzyjne wytrącenia żelaza (d) występują powszechnie w szlifach wykonanych z brzegu lewego na stanowiskach Kępa Polska i Toruń, przy czym w szlifie 19.2 (Ryc. 62) wykonanym z próbki pobranej z wysokości 380 cm nad zwierciadłem wody wytrąceń nie odnotowano. Wytrącenia żelazisto-ilaste (w) występują pojedynczo w szlifach wykonanych na stanowisku Kępa Polska - szlif 35.2A (Ryc. 36) i Grudziądz - szlif 28.2 (Ryc. 81). Nacieki manganowe (mn) są cechami charakterystycznymi wyłącznie dla próbek pobranych z części centralnych każdego stanowiska badawczego. Większe ziarna kwarcowe w wolnych przestrzeniach znajdują się wyłącznie w szlifach wykonanych z próbek z osadami pozakorytowymi, pobranymi zarówno z brzegu lewego i brzegu prawego na stanowisku Kępa

Polska. Spękania uwidaczniają się na każdym stanowisku, przy czym najwięcej ich odnotowano w szlifach wykonanych z próbek pobranych z brzegu lewego na stanowisku Kępa Polska. Il koloidalny pojawia się na każdym stanowisku badawczym, przy czym znacznie częściej jest to brzeg prawy (akumulacyjny) niż lewy (erodowany). Fragmenty masywne (fm) najczęściej odnotowano w szlifach wykonanych z próbek pobranych z brzegu lewego na stanowisku Toruń. Okazjonalnie fragment masywny pojawił się na stanowisku Kępa Polska w szlifie 34.2 (Ryc. 41). Zlepience pojawiają się wyłącznie w szlifach wykonanych z próbek pobranych z centralnych części każdego stanowiska badawczego. Frakcja pylasta (p) uwidacznia się w szlifach wykonanych z próbek pobranych głównie z brzegów prawych. Na stanowisku Grudziądz uwidacznia się także w szlifach wykonanych z brzegu lewego, a na stanowisku Kępa Polska w centralnej części koryta w szlifie 10.3 (Ryc. 46). Szlify wykonane z próbek pobranych z centralnych części wyznaczonych stanowisk badawczych składają się w przewadze z materiału luźnego, który stanowią dobrze obtoczone ziarna kwarcowe. Zauważalna jest tendencja do występowania większej ilości cech charakterystycznych w szlifach wykonanych z próbek pobieranych z brzegu lewego, erodowanego, każdego stanowiska badawczego (Tab. 14). W szlifach wykonanych z próbek pobranych z brzegu akumulacyjnego (brzegu lewego) wszystkich stanowisk wyróżniono znacznie większą ilość warstw w porównaniu do szlifów wykonanych z próbek pobranych z brzegu prawego.

Zestawiając cechy mikromorfologiczne z wynikami pozostałych badań przedstawionych w pracy zauważyć można pewne zależności:

- w szlifach mikromorfologicznych widoczne są zmiany poziomu wody w korycie, których nie można zaobserwować analizując wyłącznie wodowskazy,
- wyniki analiz strukturalno-teksturalnych mają potwierdzenie w szlifach mikromorfologicznych, należy jednak zaznaczyć, iż w szlifach można dokonać bardziej precyzyjnej analizy i pomiaru ziaren, przede wszystkim ocenie podlegają ziarna z jednego nienaruszonego fragmentu,
- w przypadku analiz geochemicznych wysokie wartości pierwiastków, głównie Fe i Mn, w osadzie mogą świadczyć, iż w szlifach występować będą mikrokoncentracje z nimi związane.

Tab. 14. Zbiorcze zestawienie cech mikromorfologicznych osadów korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły. Oznaczenia: BL – brzeg lewy, CC – centralna część koryta, BP – brzeg prawy.

Stanowisko badawcze		Kępa Polska								Toruń								Grudziądz							
Punkt badawczy		(BL)				(CC)		(BP)		(BL)				(CC)			(BP)		(BL)			(CC)	(BP)		
Wysokość nad zwierciadłem wody [cm]		40	90	120	190	5	10	65	110	30	120	280	380	5	15	25	20	170	40	95	240	5	30	95	145
Nr szlifu		35.2A	33.2	34.2	36.2b	10.3	11.3	32.2	31.2	22.2	21.5	20.2	19.2	7.3	8.3	9.3	23.2	24.2	30.2A	29.2	28.2	15.3	25.2	27.2	26.2
Cechy mikromorfologiczne	Materia organiczna (o)	x		x				x	x				x				x	x	x		x	x	x		
	Tkanka roślinna (t)	x	x	x	x			x		x			x				x	x							
	Nacieki pylasto ilaste (np)		x	x	x																				
	Nodule żelaziste (g)		x							x										x					
	Koncentracje manganowo-żelaziste (mn/fe)	x			x					x	x	x	x												
	Dyfuzyjne wytracenia żelaza (d)	x	x	x	x					x	x	x													
	Wytrącenia żelazisto-ilaste (w)	x																		x					
	Nacieki manganowe (mn)					x	x							x	x	x					x				
	Kwarc w wolnej przestrzeni (k)	x	x	x	x				x																
	Spękania	x	x	x	x						x		x						x					x	
	II koloidalny		x					x	x								x					x		x	
	Fragment masywny			x						x		x													
	Zlepienieć					x									x	x					x				
	Fracja pylasta					x		x									x	x	x				x	x	
Materiał luźny					x	x							x	x	x					x					

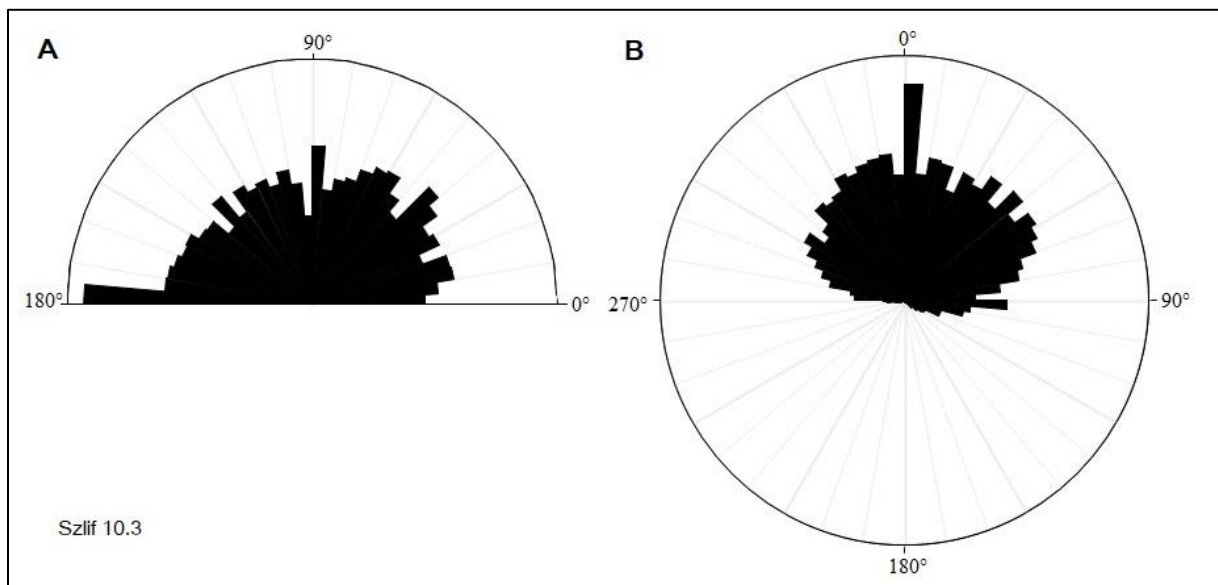
Kursywa oznacza wyróżnione mikrokoncentracje

5.2. Cyfrowa analiza obrazu

Cyfrowa analiza przeprowadzona została dla szlifów wykonanych z próbek pobranych z punktów badawczych zlokalizowanych w centralnej części koryta. Z porównania oceny makroskopowej szlifów dla próbek osadów pobranych z centralnej części koryta, a szlifów dla próbek z brzegów zarysowuje się odmienna ich budowa. W szlifach osadów z centralnej części koryta uwidaczniają się dobrze wysortowane ziarna kwarcowe. Wyraźnie widoczne są też wolne przestrzenie oraz pozostałe minerały, co wynika z faktu, że są to luźne osady. Wykorzystując program JMicroVision uzyskano informacje na temat ilości, wielkości oraz orientacji i azymutu ziaren w pojedynczym szlifie. Łącznie w sześciu analizowanych szlifach zliczono 37487 ziaren. Różne kierunków orientacji i azymutu wykonano przy pomocy programu Stereonet 8 by Rick Allmendinger, 2013.

PRÓBKA NR 10, SZLIF 10.3. – STANOWISKO KĘPA POLSKA

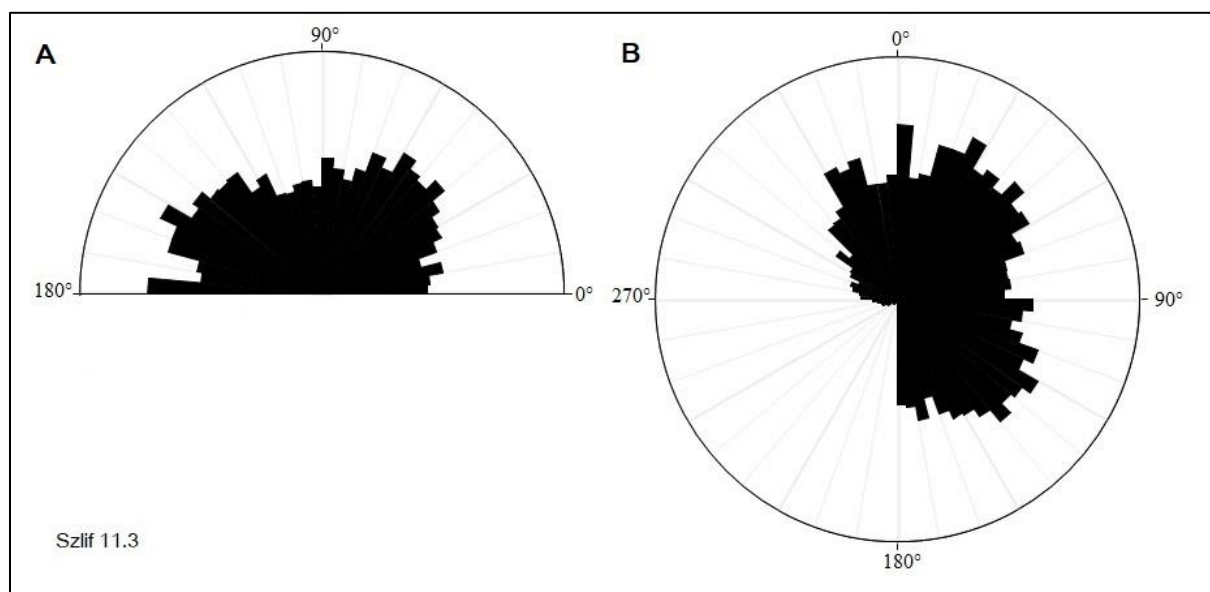
W szlifie dokonano pomiaru największej ilości ziaren, bo aż 10164, z których największe ziarno miało 7,184 mm a najmniejsze ziarno zaledwie 0,011 mm. Przeważa orientacja ziaren w przedziale $0-90^\circ$ – 5178 ziaren, w przedziale $90-180^\circ$ znalazło się 4986 ziaren (Ryc. 92A). Biorąc pod uwagę azymut najwięcej ziaren (4930) znalazło się w przedziale od $90-180^\circ$, następnie w przedziale od $0-90^\circ$ – 4353 ziarna, mniejsze ilości ziaren znalazły się w natomiast w przedziale $180-270^\circ$ – 727 ziaren oraz w przedziale $270-360^\circ$ zaledwie 154 ziarna (Ryc. 92B).



Ryc. 91. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 10.3

PRÓBKA NR 11, SZLIF 11.3. – STANOWISKO KĘPA POLSKA

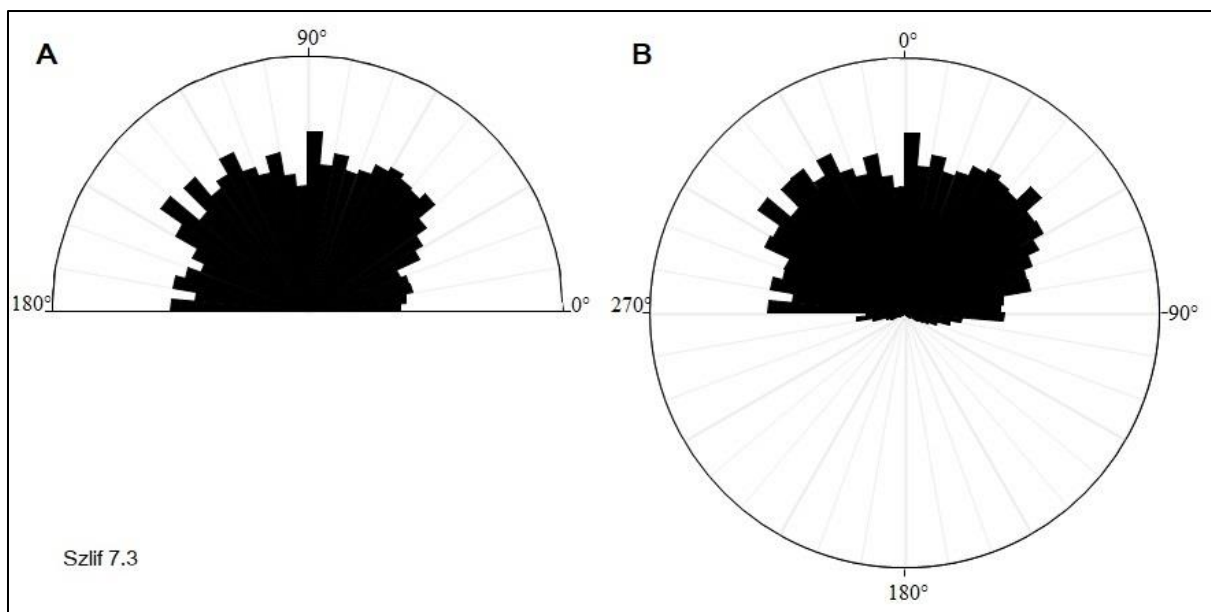
W szlifie dokonano pomiaru 7608 ziaren, z których największe ziarno miało 0,850 mm a najmniejsze ziarno 0,040 mm. Przeważa orientacja ziaren w przedziale 0-90° – 3911 ziaren, w przedziale 90-180° znalazło się 3697 ziaren (Ryc. 93A). Biorąc pod uwagę azymut najwięcej ziaren znalazło się w przedziale od 90-180° – 3493 ziarna, następnie w przedziale od 0-90° – 2489 ziaren, mniejsze ilości ziaren znalazły się w natomiast w przedziale 180-270° – 1390 ziaren oraz w przedziale 270-360° zaledwie 236 ziaren (Ryc. 93B).



Ryc. 92. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 11.3

PRÓBKA NR 7, SZLIF 7.3 - STANOWISKO TORUŃ

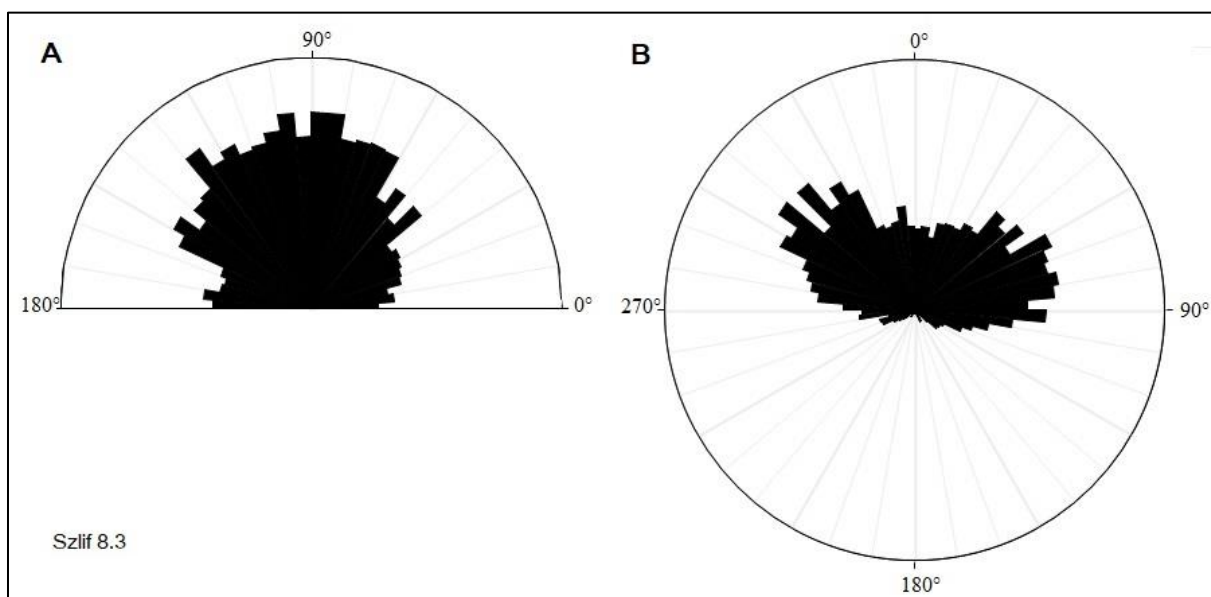
W szlifie dokonano pomiaru 5085 ziaren, z których największe ziarno miało 3,913 mm a najmniejsze 0,010 mm. Przeważa orientacja ziaren w przedziale 0-90° – 2636 ziaren, w przedziale 90-180° znalazło się natomiast 2449 ziaren (Ryc. 94A). Biorąc pod uwagę azymut najwięcej ziaren znalazło się w przedziale od 0-90° – 2312 ziaren, w przedziale 90-180° – 2291 ziaren, znacznie mniejsze ilości ziaren znalazły się w przedziale 180-270° – 292 ziarna oraz 270-360° – zaledwie 190 ziaren (Ryc. 94B).



Ryc. 93. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 7.3

PRÓBKA NR 8, SZLIF 8.3. - STANOWISKO TORUŃ

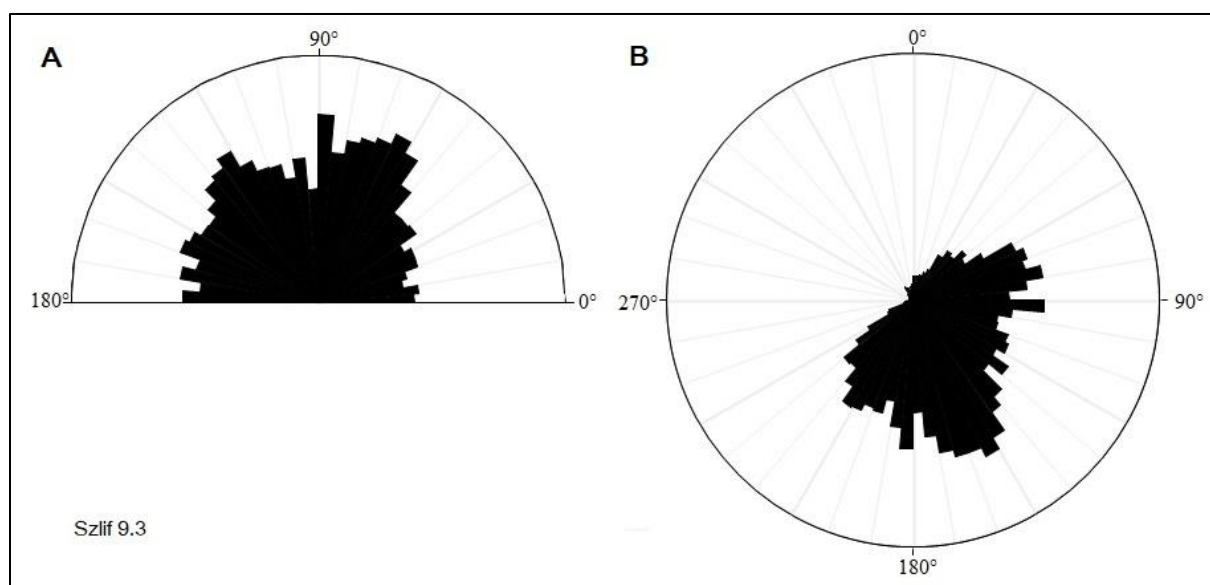
Dokonano pomiaru 3860 ziaren, z których największe ziarno miało 1,912 mm a najmniejsze 0,086 mm. Przeważa orientacja ziaren w przedziale 0-90° – 2079 ziaren, w przedziale 90-180° znalazło się natomiast 1781 ziaren (Ryc. 95A). Uwzględniając azymut najwięcej ziaren znalazło się w przedziale od 0-90° – 1632 ziarna, w przedziale 90-180° – 1568 ziaren, znacznie mniejsze ilości ziaren znalazły się w przedziale 180-270° – 429 ziaren a w przedziale 270-360° liczba ziaren wynosiła 231 (Ryc. 95B).



Ryc. 94. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 8.3

PRÓBKA NR 9, SZLIF 9.3. - STANOWISKO TORUŃ

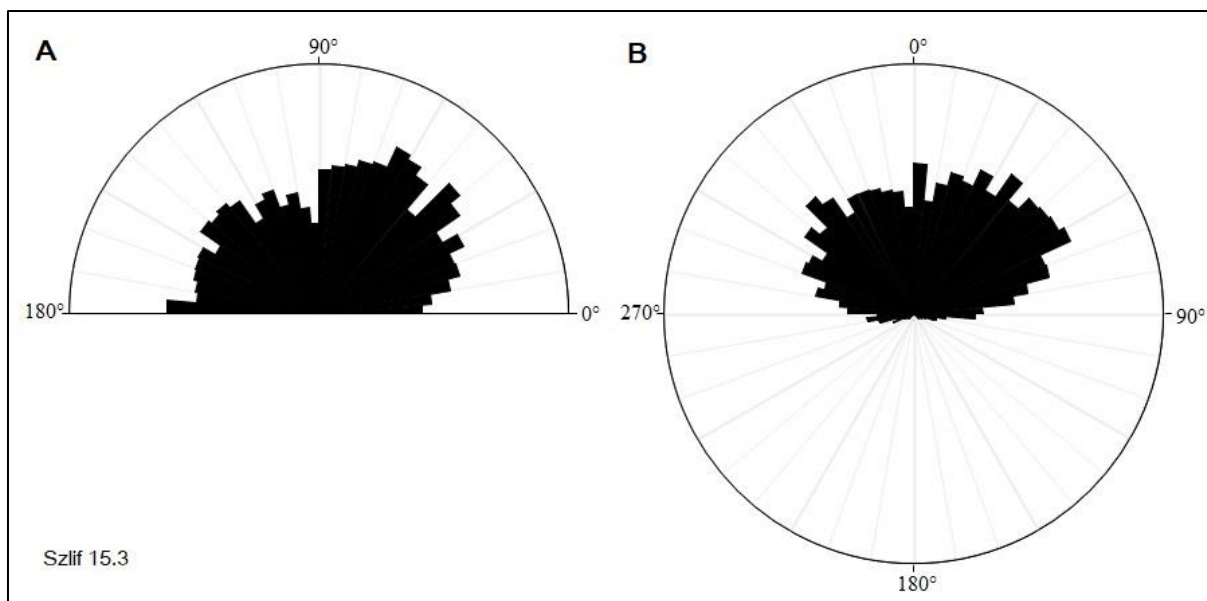
W szlifie dokonano pomiaru 4049 ziaren, z których największe ziarno miało 2,242 mm a najmniejsze 0,040 mm. Przeważa orientacja ziaren w przedziale 0-90° – 2136 ziaren, w przedziale 90-180° znalazło się 1913 ziaren (Ryc. 96A). Biorąc pod uwagę azymut najwięcej ziaren znalazło się w przedziale od 90-180° – 1856 ziaren, następnie w przedziale 180-270° – 1052 ziarna oraz w przedziale od 0-90° – 1039 ziaren, najmniejsze ilości ziaren znalazły się w natomiast w przedziale 270-360° zaledwie 102 ziarna (Ryc. 96B).



Ryc. 95. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 9.3

PRÓBKA NR 15 SZLIF 15.3. - STANOWISKO GRUDZIĄDZ

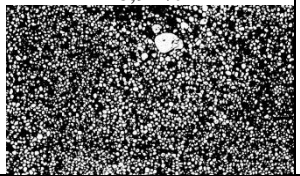
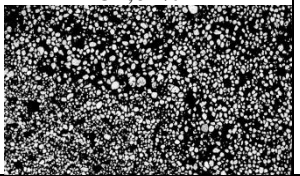
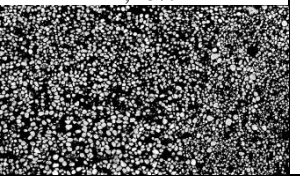
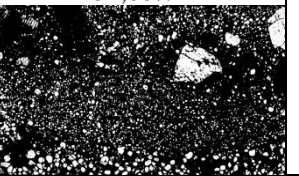
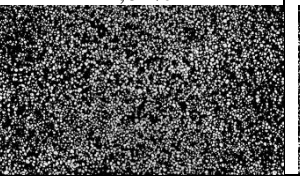
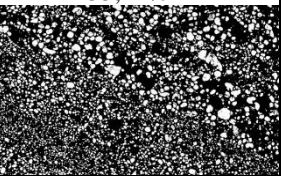

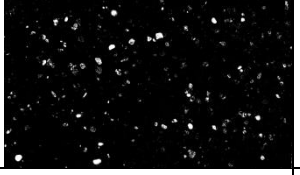

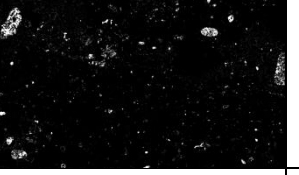

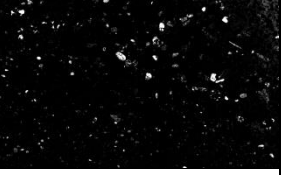






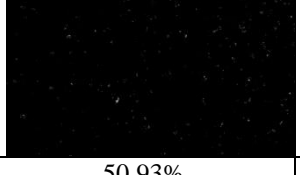
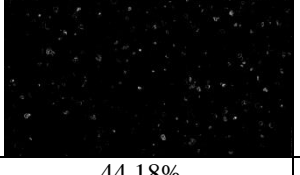
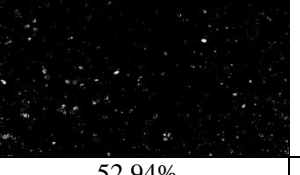
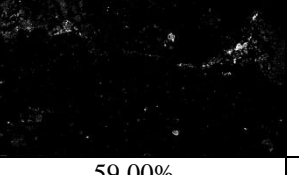
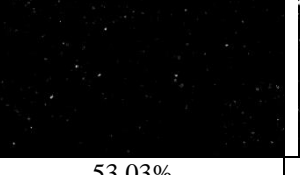
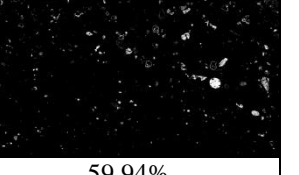
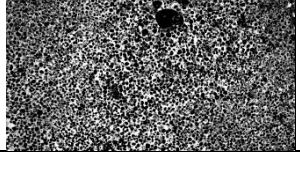
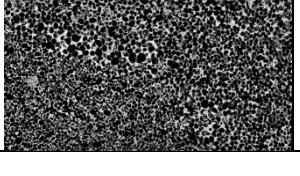

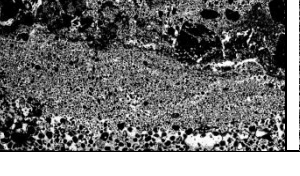

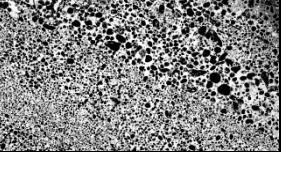
Dokonano pomiaru 6721 ziaren, z których największe ziarno miało 4,054 mm a najmniejsze zmierzone ziarno 0,040 mm. Przeważa orientacja ziaren w przedziale 90-180° znalazło się 3611 ziaren, w przedziale 0-90° natomiast 3110 ziaren (Ryc. 97A). Biorąc pod uwagę azymut najwięcej ziaren znalazło się w przedziale od 90-180° – 3374 ziaren, następnie w przedziale od 0-90° – 2863 ziarna znaczne mniejsze ilości ziaren znalazły się w przedziale 270-360° – 271 ziaren oraz 180-270° – 214 ziaren (Ryc. 97B).

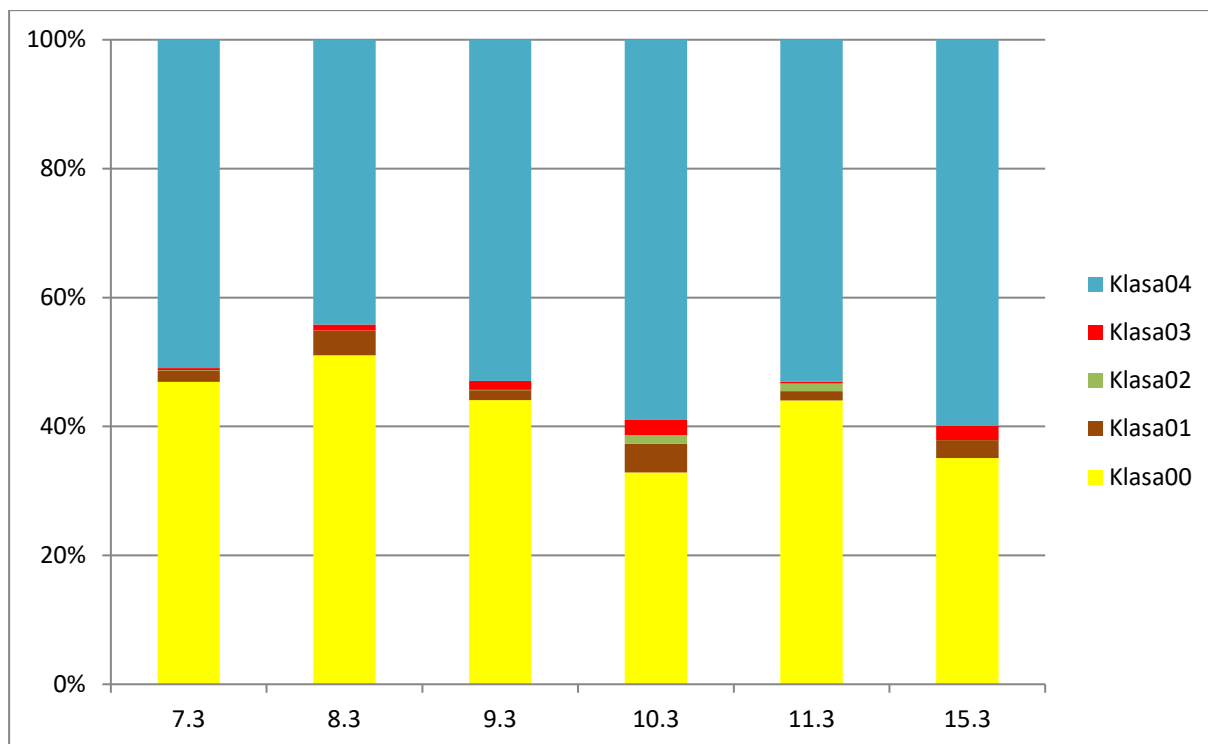


Ryc. 96. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 15.3

Program ImageJ/FIJI posłużył do wyznaczenia pięciu klas, pozwalając tym samym na określenie, która z klas jest najliczniejsza w analizowanych szlifach osadów korytowych. Analizując dane zebrane w Tabeli 15 i przedstawione na Rycinie 98 zauważyć można, iż w szlifach dominuje klasa 04 - Voids/Groundmass – wolne przestrzenie oraz klasa 00 – Quartz/kwarc (ziarna kwarcowe). Klasa 04 – wolne przestrzenie, zajmuje ponad 50% powierzchni wykonanych szlifów, wyjątek stanowi szlif 8.3, w którym klasa 04 zajęła 44,18%. Największą ilość wolnych przestrzeni (klasa 04) posiada szlif 15.3 – stanowisko Grudziądz. Ziarna kwarcowe (klasa 00) najliczniej występują w szlifach 7.3 (46,92%), 8.3 (51,04%) oraz 9.3 (44,10%) wykonanych dla stanowiska Toruń. Najmniej ziaren kwarcowych program sklasyfikował w szlifie 10.3 (32,88%) wykonanych dla stanowiska Kępa Polska. Szlify wykonane ze stanowiska Kępa Polska posiadają stosunkowo duży udział tzw. zanieczyszczeń, czyli klasy 02 – Contaminants/zanieczyszczenia, 1,35% dla szlifu 10.3 oraz 1,15% dla szlifu 11.3. Najmniejsza liczba zanieczyszczeń, bo zaledwie 0,02% występuje w szlifie 7.3 – stanowisko Toruń. Pozostałe ziarna kwarcowe (klasa 01) stanowi 4,47% w szlifie 7.3 – stanowisko Toruń. Pozostałe ziarna kwarcowe (klasa 01) stanowi 3,77% w szlifie 8.3 – stanowisko Toruń oraz 2,74% w szlifie 15.3 – stanowisko Grudziądz. W pozostałych szlifach odsetek klasy 01 stanowi mniej niż 2%. Największy odsetek ziaren o średnicy $<2\mu\text{m}$ (klasa 03) występuje w szlifie 10.3 (2,30%) – stanowisko Kępa Polska oraz w szlifie 15.3 (2,16%) – stanowisko Kępa Polska. W szlifie 9.3 – stanowisko Toruń odsetek klasy 04 wynosi 1,40%, a dla pozostałych szlifów odsetek nie przekracza 1%.

Tab. 15. Wynik przeprowadzonej segmentacji obrazów cyfrowych dla szlifów wykonanych na próbkach osadów pobranych z centralnej części koryta **dolnej** Wisły na stanowiskach w Kępie Polskiej (szlify 10.3 i 11.3), Toruń (szlify 7.3, 8.3 i 9.3) oraz Grudziądz (szlif 15.3). Za pomocą oprogramowania ImageJ/FIJI oceniono procentowy udział w poszczególnych klasach.

KLASA	szlif 7.3	szlif 8.3	szlif 9.3	szlif 10.3	szlif 11.3	szlif 15.3
klasa00 Quartz – kwarc	46,92% 	51,04% 	44,10% 	32,88% 	44,04% 	35,12% 
klasa01 NonQuartz/Skeleton pozostałe ziarna nie kwarcowe	1,81% 	3,77% 	1,51% 	4,47% 	1,46% 	2,74% 
klasa02 Contaminants zanieczyszczenia	0,02% 	0,05% 	0,05% 	1,35% 	1,15% 	0,04% 
klasa03 Sediment Matrix plazma – ziarna o średnicy <2µm	0,32% 	0,96% 	1,40% 	2,30% 	0,32% 	2,16% 
klasa04 Voids/Groundmass – wolne przestrzenie	50,93% 	44,18% 	52,94% 	59,00% 	53,03% 	59,94% 



Ryc. 97. Procentowy udział wyznaczonych klas w analizowanych szlifach wykonanych z próbek pobranych z centralnej części koryta dolnej Wisły na stanowiskach w Kępie Polskiej (szlify 10.3 i 11.3), Toruń (szlify 7.3, 8.3 i 9.3) oraz Grudziądz (szlif 15.3). Klasa00 – kwarc; klasa01 – pozostałe ziarna; klasa02 – zanieczyszczenia; klasa03 – plazma; klasa04 – wolne przestrzenie.

6. Badania mikromorfologiczne jako źródło informacji o współczesnych procesach fluwialnych

Zasadniczym celem prezentowanych badań była próba poszukiwania specyficznych cech strukturalno-teksturalnych oraz wyróżników środowiskowych (geochemicznych i mineralogicznych) aluwiów korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystyki mikromorfologicznej brzegów akumulacyjnych i erozyjnych. Przeprowadzone badania terenowe oraz wyniki analiz laboratoryjnych wskazywały, że specyfika ta może wiązać się ze szczególnymi warunkami tworzenia się tego typu osadów. Już w latach 60-tych XX wieku udowodniono istnienie powtarzalnych pionowych sekwencji osadowych, charakterystycznych dla aluwiów rzek (Allen 1965, 1970). Cykliczne sekwencje mogą być różnej miąższości, a ich powstanie odpowiada różnej skali czasu a także różnemu tempu depozycji. W przypadku analizowanych osadów cykliczne sekwencje znalazły swoje potwierdzenie w wynikach badań cienkich szlifów.

Ze względu na fakt, iż cechy mikromorfologiczne zostały scharakteryzowane m.in. w glinach lodowcowych (m.in. van der Meer 1987, 1993, Menzies 2000, Carr 2004, Menzies i in. 2006, van der Meer i Menzis 2011), osadach lessowych (m.in. Kozarski i Nowaczyk 1991, Konecka-Betley 1996, Kemp 1999, Mroczek 2008, 2018) czy osadach jeziornych (Palmer i in. 2008) postawiono hipotezę, w której stwierdzono, że współczesne aluwia korytowe i pozakorytowe również zawierają charakterystyczne, oryginalne cechy mikromorfologiczne.

W przypadku analiz mikromorfologicznych brakuje wcześniejszych badań dotyczących osadów fluwialnych, pozwalających na weryfikację otrzymanych wyników. W związku z powyższym analizy mikromorfologiczne zostały uzupełnione wynikami badań hydrologicznych, sedimentologicznych oraz geochemicznych, które mają na celu wskazanie cech środowiskowych w jakich tworzone są mikrostruktury oraz uwypuklić ewentualne prawidłowości odnośnie ich występowania.

Analizy zebranych danych hydrologicznych potwierdziły, że stany wody dolnej Wisły są kształtowane w głównej mierze jej przepływami (Grześ 1985, Babiński 1992), a najniższe stany wody występują na przełomie jesieni i zimy, rzadziej latem (Babiński 1982). Rozpatrywanie danych hydrologicznych, w formie średnich rocznych stanów wody, pozwoliło ustalić orientacyjne daty występowania najniższych stanów wody, które były odpowiednie dla poboru próbek do dalszych badań. Najniższe stany wody na analizowanych stanowiskach badawczych wystąpiły pomiędzy sierpniem a wrześniem zarówno w roku

badawczym 2012 jak i 2013. Najniższy średni przepływ w okresach badawczych występował na stanowisku Kępa Polska ($376 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), na stanowisku Toruń stwierdzono przepływ wynoszący $431 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast na stanowisku w Grudziądzu wartość przepływu wynosiła $565 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Pobór próbek osadów o nienaruszonej strukturze został skorelowany czasowo z okresami najniższych stanów wody Wisły w rejonie poszczególnych stanowisk badawczych.

Przeprowadzone badania sedimentologiczne aluwiów dolnej Wisły potwierdziły wyniki badań uziarnienia opublikowane między innymi przez Skibińskiego (1963), Brańskiego (1972), Zwolińskiego (1985), Florka (1991), Babińskiego (1992), Kalickiego (1996, 2000), Giriat (2003), Kordowskiego (2003), Florka i Kaczmarzyka (2007), Kaczmarzyka i in. (2008) oraz Szmańdę (2002, 2004, 2009), którzy stwierdzili, iż frakcją dominującą w tego typu osadach jest frakcja piasku. Analiza udziału procentowego dla wszystkich badanych w niniejszej pracy próbek pozakorytowych wykazała, że największa procentowa częstość wstępuje w zakresie frakcji piasku drobnoziarnistego. W przypadku próbek osadów korytowych dominuje frakcja materiału grubszego – piasku średnioziarnistego. Cechą charakterystyczną osadów pozakorytowych jest natomiast przewaga frakcji drobniejszych, przy czym dominują one na brzegu lewym (erozyjnym) w stosunku do brzegu prawego (akumulowanego).

Analizy wykresów zależności wskaźników uziarnienia według Folka i Warda (1957) potwierdziły występowanie układów wyznaczonych przez Ludwikowską-Kędziałę (2000) tj. układu paraboli, w przypadku zestawienia skośności z odchyleniem standardowym (Ryc. 25) oraz układu zbudowanego z kilku fal w przypadku zestawienia średniej średnicy ziaren ze skośnością (Ryc. 26). W pierwszym przypadku po lewej stronie paraboli zgromadzone zostały odsady korytowe, charakteryzujące się w znacznej mierze ujemnoskośnym rozkładem uziarnienia. Prawa strona paraboli charakteryzuje się dodatnioskośnym rozkładem uziarnienia, który odpowiada osadom pozakorytowym. W przypadku drugim najniższą falę obejmują osady korytowe, drugą falę stanowią osady pozakorytowe, które charakteryzują się dodatnimi wartościami wskaźnika *Sk*.

W przypadku rozmieszczenia próbek na diagramie zależności średniej średnicy ziarna i wysortowania (odchylenia standardowego) środowisko korytowe posiada niższe wartości zarówno średniej średnicy ziarna jak i wysortowania. Wyraźna jest tu tendencja poprawiającego się wysortowania wraz z drobniejszą frakcją (większa średnia średnica ziarna w jednostkach phi). Aluwia pozakorytowe cechuje gorsze wysortowanie oraz drobnienie osadów, brzegi nadbudowywane są podczas wezbrań materiałem transportowanym

w zawiesinie (Ryc. 27). Potwierdza to ustalenia Szmańdy (2011), iż analiza osadów korytowych i pozakorytowych tylko na podstawie rozmieszczenia próbek na diagramie zależności średniej średnicy i wysortowania jest problematyczna.

Analiza rozmieszczenia próbek na diagramie C-M Passegi (1957, 1964) przeprowadzona m.in. w pracach Mycielskiej-Dowgiało (1995), Ludwikowskiej-Kędzi (2000), Szmańdy (2002), Girit (2003), Bala (2018), służy do określenia dynamiki transportu i sedymentacji osadów porównywalnych facji. Wykreślony w pracy diagram zależności C-M (Ryc. 28) grupuje próbki w czterech polach. Największy procentowy udział próbek znalazł się w polu I obejmującym osady przemieszczane w wyniku trakcji oraz w polu IV koncentrującym m.in. materiał zbudowany z frakcjonalnej zawiesiny przydennej tworzący się niedaleko miejsca rozmywania. Próbki odpowiadające osadom korytowym, pobranym z centralnych części koryta, kumulują się głównie w polu I. Wyjątek stanowią osady pobrane ze stanowiska w Grudziądzu, które kumulują się w polu IV. Porównując uzyskane wyniki z ustaleniami wyżej wymienionych autorów należy uznać, iż w omawianym przypadku, ze względu na małą ilość próbek, diagram zależności C-M Passegi jest tylko ogólnym obrazem warunków panujących podczas depozycji osadów w korycie rzecznym i na jego brzegach.

Koncentracja i rozkład metali ciężkich w aluwiach charakteryzuje się zmiennością w profilach pionowych jak również między stanowiskami i punktami badawczymi. Zmienność ta jest spowodowana zmiennością procesów erozji i akumulacji, którą potwierdził m.in. Macklin 1996, Cieszewski 1998, Szwarczewski (1999), Szmańda (2002) czy Girit (2003). Przeprowadzone analizy wykazały, że osady korytowe charakteryzują się znacznie niższą koncentracją metali ciężkich w porównaniu do ich zawartości w osadach pozakorytowych. Uzyskany wynik jest zgodny z wynikiem, który w swojej pracy zaprezentowała Girit (2003) analizując wyłącznie zawartość cynku (Zn), miedzi (Cu), żelaza (Fe), manganu (Mn), ołowiu (Pb) i kadmu (Cd). Zmiany w koncentracji wynikają ze zmienności uziarnienia osadów, w absorbowaniu metali ciężkich. Najważniejsze znaczenie zatem ma zawartość frakcji drobnych, ilastych bądź pylastych. Im większy udział frakcji drobniejszej, tym większe jest stężenie tych pierwiastków w osadzie. Przeprowadzone w pracy badania wykazały także zmienność w zawartości analizowanych pierwiastków w poszczególnych punktach badawczych. Większą zawartość metali ciężkich odnotowano w próbkach pobranych z brzegów akumulowanych (brzeg prawy) niż w próbkach pobranych z brzegów erodowanych (brzeg lewy).

Na zróżnicowanie metali ciężkich w osadach ma również wpływ położenie poniżej większych ośrodków miejskich, w których następuje dostawa zanieczyszczeń do rzeki (Helios-Rybicka 1986, Cieszewski 1998, Ladd i in. 1998, Łajczak 2003, Kessel 2003). W analizowanym przypadku znacznie większe stężenia metali ciężkich występują na stanowisku Grudziądz, położonym blisko miasta, w porównaniu do stanowiska Toruń, które jest położone powyżej Torunia czy stanowiskiem Kępa Polska zlokalizowanym z daleka od większych ośrodków miejskich.

Szczegółowa analiza mikroskopowa szlifów pozwoliła na identyfikację cech charakterystycznych w osadzie oraz na ustalenie procesów odpowiedzialnych za ich powstawanie. Udokumentowano 15 charakterystycznych cech mikromorfologicznych, w tym sześć mikrokoncentracji. Wyróżniono cechy pedogenetyczne, w postaci specyficznych jednostek strukturalnych odcinających się od masy podstawowej, odzwierciedlające m.in. akumulację materii organicznej, akumulację frakcji iłu, migracje manganu, zmiany oksydacyjno-redukcyjne, fluktuację oraz wiązania osadu w większe agregaty. Cechy litologiczne, które podobnie jak w przypadku analiz osadów jeziornych w pracy Palmera i in. (2008), odzwierciedlają sedymentację osadów jak i przekształcenia synsedymetacyjne, widoczne w postaci charakterystycznych warstwowań w szlifach. Cechy diagenetyczne występujące głównie w osadach korytowych, które uwidaczniają się w szlifach przede wszystkim w formie wytrąceń manganowych oraz redepozycji materiału mineralnego w postaci fragmentów masywnych czy obecności ziaren zlepieńców.

Zauważalna jest tendencja do występowania większej ilości cech charakterystycznych w szlifach wykonanych z próbek pobieranych z brzegu lewego, który w każdym z analizowanych stanowisk badawczych jest brzegiem erodowanym (Ryc. 99). Dla stanowiska Kępa Polska na brzegu lewym wyróżniono aż osiem cech charakterystycznych, przy czym udział czterech z nich wynosił powyżej 70%. Dla stanowiska Toruń wyróżniono pięć cech charakterystycznych, a dla stanowiska Grudziądz cztery cechy. Na brzegu akumulacyjnym, którym w każdym z analizowanych stanowisk badawczych jest brzeg lewy, cech charakterystycznych wyróżniono znacznie mniej i tak odpowiednio dla stanowiska Kępa Polska były to trzy cechy, dla stanowiska Toruń dwie cechy, a dla stanowiska Grudziądz tylko jedna cecha charakterystyczna.

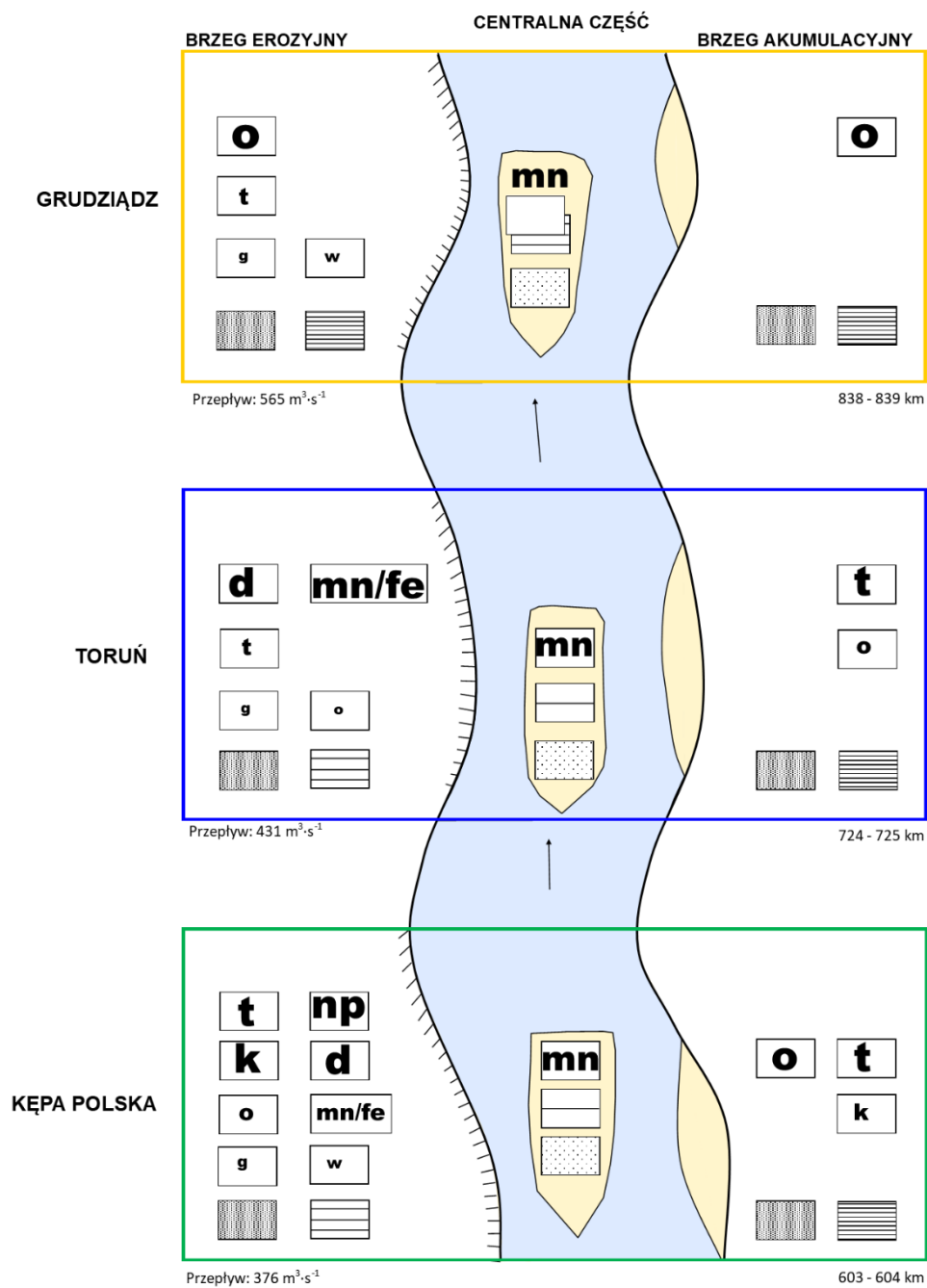
Analizując cechy mikromorfologiczne zwrócono szczególną uwagę na fakt, iż dostarczają odmiennych informacji niż wyniki uzyskane z badań geochemicznych. Wyniki geochemiczne wskazują na większą koncentrację pierwiastków na brzegach akumulacyjnych

w stosunku do brzegów erodowanych. W przypadku cech mikromorfologicznych większa ich koncentracja występuje na brzegu erodowanym niż na akumulacyjnym.

W szlifach wykonanych z próbek pobranych z brzegu akumulacyjnego, dla każdego stanowiska badawczego wyróżniono znacznie większą ilość warstw (powyżej 20) w porównaniu do szlifów wykonanych z próbek pobranych z brzegu lewego (6 do 20 warstw) (Ryc. 99). Natomiast szlify wykonane z osadów korytowych posiadały średnio od 1 do 5 warstw. Ilość wyróżnionych warstw maleje wraz ze wzrostem wysokości poboru próbki nad zwierciadłem wody. Przy niższych stanach wody zachodzą częstsze oscylacje jej poziomu, wyrażające się odkładaniem kolejnych warstw.

W szlifach wykonanych z osadów korytowych materiał jest luźny, występuje duża zawartość wolnych przestrzeni, natomiast w wykonanych szlifach z osadów pokrywających brzegi materiał jest dobrze upakowany, miejscami zbity, pozbawiony wolnych przestrzeni (Ryc. 99).

Przeprowadzone powyżej badania mikromorfologiczne informują o tym, że wyróżnione cechy mikromorfologiczne są w sposób typowy charakterystyczne i zależne od lokalizacji stanowiska badawczego oraz położenia względem punktu badawczego zlokalizowanego na danym odcinku rzeki.



OBJAŚNIENIA:		Liczba wyróżnionych warstw w szlifach:		Procentowy udział cech mikromorfologicznych wyróżnionych w szlifach:	
Rodzaj upakowania materiału:					
	Materiał luźny, duża zawartość wolnych przestrzeni		1 - 5 warstw		< 25%
	Materiał dobrze upakowany, miejscami zbity, brak wolnych przestrzeni		6 - 20		25 - 70%
		>20 layers pattern"/>	> 20 warstw		> 70%
Oznaczenia cech mikromorfologicznych: o - materia organiczna, t - tkanka roślinna, np - nacieki pylasto-ilaste, g - nodule żelaziste, mn/fe - koncentracje manganowo-żelaziste, d - dyfuzyjne wytrącenia żelaza, w - wytrącenia żelazisto-ilaste, mn - nacieki manganowe, k - kwarc w wolnej przestrzeni, BL - brzeg lewy, CC - centralna część koryta, BP - brzeg prawy					

Ryc. 99. Ilustracja zbiorczego zestawienia cech mikromorfologicznych osadów korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły na podstawie tabeli 14.

W niniejszej pracy podjęto również próbę cyfrowej analizy obrazu mikroskopowego, która jest powszechnie wykorzystywana do diagnostyki medycznej i interpretacji obrazów biomedycznych (Zieliński i Strzelecki 2002). Cyfrowa analiza obrazów mikromorfologicznych w postaci skanów cienkich szlifów wykorzystana została w badaniach Mrocza (2008) w odniesieniu do gleb obszarów lessowych, które dotyczyły wyliczenia wskaźników charakteryzujących porowatość i mikroszkieletowość, przy zastosowaniu opcji progowania. Analizy komputerowe wykonane w programie ImageJ/FIJI pozwoliły uzyskać informacje dotyczące zawartości poszczególnych, wcześniej wyznaczonych, klas w szlifach. Z przeprowadzonych analiz wynika, iż w szlifach dominuje klasa04 – Voids/Groundmass – (wolne przestrzenie) oraz klasa00 – Quartz/kwarc (ziarna kwarcowe). W mniejszym stopniu reprezentowane są klasy: 01 – *Non-Quartz/Skeleton* – pozostałe ziarna nie kwarcowe, 02 – *Contaminants* – zanieczyszczenia oraz 03 – *Sediment Matrix* – plazma – ziarna o średnicy $\leq 2\mu\text{m}$. Pozwala to wskazać na zróżnicowanie dominującego typu materiału budującego osad oraz charakter jego upakowania, dostarczając obiektywnej miary ilościowej w porównywaniu wyników uzyskanych w oparciu o badania różnych obszarów czy środowisk depozycyjnych. Uzyskane wyniki wskazują, że badane osady odzwierciedlają środowisko świeżej depozycji, podczas której odkładany jest materiał kwarcowy, stanowiący główną masę transportowanego osadu. Materiał ten pochodzi głównie z erozji skał występujących na obszarze zlewni.

Dostrzeżono następujące ograniczenia związane z wykorzystywaniem zaproponowanej metody mikromorfologicznej do badań aluwii:

- mikromorfologia jako mikroskopowa metoda analizy osadów w nienaruszonej strukturze, przygotowanych w postaci tak zwanych cienkich płytek (szlifów) wymaga określonych strategii opróbowania profili podczas badań terenowych (Bullock i in. 1985, Kemp 1985, Stoops 2003, Palmer i in. 2008);
- opróbowanie profili wymaga precyzji ze względu na strukturę aluwii, które występują w postaci luźnej, niekiedy uwodnionej;
- wykonywanie preparatów mikromorfologicznych wymaga dokładności, aby nie spowodować powstania nienaturalnych cech w osadzie. Istotne jest odpowiednie pozbycie się wody z próbki;
- metoda badawcza jest również czasochłonna i pracochłonna.

Zaproponowana procedura badawcza mająca na celu mikromorfologiczną analizę osadów czerpie z zasobów różnych gałęzi nauki m.in. geochemii, hydrologii, sedymentologii, pedologii oraz geomorfologii, a także odzwierciedla ogólnie zachodzące współcześnie zjawiska związane z antropopresją. Zastosowana metoda badawcza pozwoliła wyróżnić charakterystyczne cechy mikromorfologiczne dla wybranych odcinków badawczych. Metoda mikromorfologiczna stanowi zatem niezastąpione źródło szerokiego zbioru informacji o ewolucji środowiska rzecznoego, a wspierające ją badania należy prowadzić w ujęciu kompleksowym obejmującym jak najszerszy zakres analiz geochemicznych, hydrologicznych i sedymentologicznych stanowiących doskonałe jej uzupełnienie.

Przeprowadzone badania mogą stanowić podstawę do opracowania katalogu charakterystycznych cech mikromorfologicznych osadów fluwialnych. Uzyskane wyniki zyskują znaczenie jako przedmiot badań porównawczych w zakresie analiz odcinków różnych rzek. Potencjalnie pozwoliłoby to odpowiedzieć na następujące pytania:

- czy dla każdej rzeki możliwe jest wyznaczenie takich samych charakterystycznych cech mikromorfologicznych? Jakże w tym zakresie występują ograniczenia regionalne lub dotyczące skali obiektów poddawanych badaniom?
- czy można sprecyzować zależność zależności pomiędzy występującymi charakterystycznymi cechami mikromorfologicznymi współczesnych osadów aluwialnych?

Pytania te na chwilę obecną pozostają bez odpowiedzi. Jednakże ukazana w niniejszej pracy metodyka pozwala dokonać charakterystyki cech mikromorfologicznych, zatem kwestią czasu pozostaje, kiedy przeprowadzone zostaną badania porównawcze.

Cyfrowa analiza mikromorfologiczna może natomiast stać się skutecznym narzędziem do badań ilościowych ziaren kwarcowych zawartych w osadach deponowanych przez współcześnie płynące rzeki i stanowić punkt wyjścia dla badania ich przeszłych analogów.

7. Podsumowanie

W celu przedstawienia charakterystycznych cech mikromorfologicznych zapisanych w sedymencie osadów korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły przeprowadzono analizy mikromorfologiczne na wybranych stanowiskach i punktach badawczych. Przedmiotem szczegółowych badań mikroskopowych były 24 szlify wykonane zgodnie z kierunkiem płynięcia rzeki (PTS), które najwierniej odwzorowywały procesy zachodzące na analizowanym obszarze dolnej Wisły.

Określenie charakterystycznych cech mikromorfologicznych było możliwe dzięki wykonaniu szeregu badań uzupełniających tj. analizy hydrologiczne, geochemiczne i sedimentologiczne. Każda przeprowadzona analiza pozwoliła na poznanie szczegółowej charakterystyki analizowanych stanowisk badawczych.

Ciągły monitoring danych hydrologicznych prowadzony przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie umożliwił ustalenie orientacyjnych dat, w których odnotowywane były niskie stany wody na wybranych wodowskazach. Uzyskane dane dla analizowanych okresów badawczych wykazały iż rok 2012 był rokiem suchym, wystąpiły niższe stany wody w porównaniu do roku 2013, który był bardziej zróżnicowany pod względem opadów. Zróżnicowanie hydrologiczne uwidacznia się także na poszczególnych stanowiskach badawczych.

Przeprowadzone analizy sedimentologiczne ukazały zróżnicowanie w uziarnieniu nie tylko na stanowiskach badawczych, ale także w poszczególnych punktach badawczych. Na przedstawionych w pracy wykresach zaznaczają się wyraźne różnice pomiędzy uziarnieniem osadów pobranych na stanowiskach badawczych zlokalizowanych na brzegu lewym a osadami pobranymi na stanowiskach zlokalizowanych na brzegu prawym. Osady pozakorytowe charakteryzują się przewagą ziaren drobniejszych. Osady korytowe (centralna część koryta) zbudowane są natomiast z ziaren grubszych. Analizy diagramów zależności pomiędzy wskaźnikami sedimentologicznymi potwierdziły poszczególne środowiska sedimentacji osadów.

Dzięki przeprowadzonym analizom geochemicznym dokonano charakterystyki poziomu stężeń pierwiastków w osadach korytowych i pozakorytowych wybranych stanowisk badawczych. Odnotowane zróżnicowanie w profilach pionowych jak i pomiędzy punktami i stanowiskami badawczymi spowodowane jest zróżnicowanymi warunkami hydrologicznymi oraz odmienną antropopresją, w nawiązaniu zagospodarowania brzegów rzeki. Największe

stężenia pierwiastków występują na stanowisku badawczym Grudziądz (12 z 20 analizowanych pierwiastków), a najmniejsze na stanowisku badawczym Kępa Polska. W przypadku analiz ogólnych najwyższe wartości dotyczące zawartości materii organicznej i węgla wapnia odnotowano na stanowisku badawczym Toruń, następnie na stanowisku Kępa Polska, najmniejsze na stanowisku Grudziądz. Większa zawartość analizowanych pierwiastków uwidacznia się w brzegach akumulowanych.

Analizy mikroskopowe cienkich płytek pozwoliły na wydzielenie ogółem 15 cech mikromorfologicznych w tym sześciu charakterystycznych mikrokoncentracji, które wyróżniono w masie podstawowej. Udokumentowane cechy mikromorfologiczne umożliwiły identyfikację miejsc powstawania oraz procesów odpowiedzialnych za ich wykształcenie. Największą grupę stanowią cechy pedogenetyczne odzwierciedlające m.in. akumulację materii organicznej, akumulację frakcji iłu, migracje manganu, zmiany oksydacyjno-redukcyjne, fluktuację oraz wiązania osadu w większe agregaty. Cechy litologiczne odzwierciedlają sedymentację osadów jak i przekształcenia synsedymetacyjne widoczne w postaci charakterystycznych warstwowań w szlifach. Cechy diagenetyczne natomiast formowane są wtórnie, widoczne są w szlifach w formie wytrąceń manganowych oraz redepozycji materiału mineralnego w postaci fragmentów masywnych czy ziaren zlepieńców.

Przeprowadzone w pracy badania mikromorfologiczne wykazały także, iż wyróżnione zespoły cech mikromorfologicznych mają charakter indywidualny i są zależne od lokalizacji stanowiska badawczego oraz położenia względem punktu badawczego (brzeg lewy, centralna część koryta, brzeg prawy).

Zastosowanie metody analizy mikromorfologicznej do identyfikacji cech charakterystycznych występujących w osadach aluwialnych dolnej Wisły zaowocowało oryginalnymi wynikami szlifów mikromorfologicznych. Badania wykazały, że zapis sedymentologiczny uwieczniony w cienkich płytkach jest wartościowym oraz trwałym materiałem do analiz zmian środowiska rzeczno-fluwialnego. Jednocześnie należy stwierdzić, że cyfrowa analiza mikromorfologiczna okazała się skutecznym narzędziem do badań ilościowych ziaren kwarcowych zawartych w osadach korytowych.

Wyniki badań potwierdziły tym samym przyjętą hipotezę badawczą, iż aluwia korytowe i pozakorytowe zawierają zróżnicowany zestaw charakterystycznych cech mikromorfologicznych charakterystycznych dla współczesnego środowiska fluwialnego, które to właściwości nie były wcześniej badane na szerzą skale.

Autorka pragnie jednak podkreślić, iż w celu zwiększenia wartości zebranego materiału konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań w celu uszczegółowienia występowania charakterystycznych cech mikromorfologicznych osadów fluwialnych. Uzyskane wyniki stanowią, zatem punkt wyjścia do dalszych badań nad mikromorfologią osadów fluwialnych.

Literatura:

- Allen J.R.L., 1965, Fining-upwards cycles in alluvial successions. Liverpool Manchester Geol. J., 4
- Allen J.R.L., 1970, Physical processes of sedimentation. G. Allen & Unwin University Books, London
- Allen J.R.L., 1970, Studies in fluvial sedimentation; a comparison of fining-upward cyclothems with special reference to coarse member composition and interpretation. J. Sedim. Petrol., 40
- Allen J.R.L., 1977, Fizyczne procesy sedimentacji. PWN, Warszawa
- Andrzejewski L., 1985, Niektóre zagadnienia kształtowania się systemu fluwialnego w późnym glacie i holocenie na podstawie wybranych dolnych odcinków dopływów dolnej Wisły, Przegląd Geograficzny, T.LVII, z.4
- Andrzejewski L., 1994, Ewolucja systemu fluwialnego doliny dolnej Wisły w późnym wistulianie i holocenie na podstawie wybranych dolin jej dopływów, Rozprawy UMK, Toruń
- Arakel A.V., 1980, Genesis and diagenesis of Holocene evaporitic sediments in Hutt and Leeman Lagoons, western Australia, Journal of Sedimentary Petrology 50
- Ashley G.M., 1973, Impregnation of fine-grained sediment with a polyester resin: a modification of Altemüller's method, Journal of Sedimentary Petrology 43
- Atkins C.B., 2004, Photographic Atlas of Striations from Selected Glacial and Non-glacial Environments, Antarctic Data Series No. 28. Antarctic Research Centre, Victoria University of Wellington
- Augustowski B., 1982, Dolina dolnej Wisły, Ossolineum, Wrocław
- Babiński Z., 1982, Procesy korytowe Wisły poniżej zapory wodnej we Włocławku, Dokumentacja Geograficzna, z.1-2
- Babiński Z., 1990, Charakterystyka równiny zalewowej dolnej Wisły, Przegląd Geograficzny, t. LXII, z.1-2.
- Babiński Z., 1992, Współczesne procesy korytowe dolnej Wisły, Prace Geograficzne nr 157
- Babiński Z., 1994, Transport rumowiska unoszonego i wleczonego dolnej Wisły w okresie eksploatacji stopnia wodnego Włocławek, Przegląd Geologiczny, T. LXVI, z.3-4.
- Babiński Z., 1997, Procesy erozyjno-akumulacyjne poniżej stopnia wodnego Włocławek, ich konsekwencje i wpływ na morfodynamikę planowanego Zbiornika Nieszawa, IGiPZ PAN, Toruń
- Babiński Z., 2002, Wpływ zapór na procesy korytowe rzek aluwialnych, Akademia Bydgoska im. Kazimierza Wielkiego
- Babiński Z., Grześ M., 1995, Monografia hydrologiczna zbiornika Stopnia Wodnego Włocławek, Zeszyty IGiPZ PAN, 30
- Babiński Z., Szumińska D., 2006, Human impact on the hydrological regimen and fluvial processes of the River Wda, [w:] R.S. Chalov, M. Kamykowska, K. Krzemień (red.), Channel processes in the rivers of mountains, foothills and plains, Prace Geogr. 116, UJ Kraków

- Babiński Z., Habel M., Chalov S. R., 2014, Prediction of the Vistula Channel development between Włocławek and Toruń: evaluation with regard to the new geological survey, *Quaestiones Geographicae* 01/2014; 33(3):5-15
- Babiński Z., Habel M., 2017, Impact of a single dam on sediment transport continuity in large lowland rivers, ed. S. Wieprecht, S. Haun, K. Weber, M. Noack, K. Terheiden, [w:] *River Sedimentation*, Taylor&Francis Group, London, UK
- Babiński Z., Habel M., 2020, 50 lat badań erozji koryta Wisły poniżej Zbiornika Włocławskiego wraz z prognozą na najbliższe lata, *Gospodarka Wodna*, 10, s. 15-20
- Bagnold R.A., 1956, The flow of cohesionless grains in fluids, *phil. Trans. R. Soc. London, Ser. A*, 249
- Bagnold R.A., 1966, An approach to the sediment transport problem from general physics. U.S. Geol. Survey Prof. Paper: 422-1
- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 2008, *Hydrologia ogólna*, PWN, Warszawa
- Bala E., 2018, *Dynamika holocenijskich procesów fluwialnych w świetle badań sedymentologicznych na przykładzie Liwca*, rozprawa doktorska UW
- Banach M., 1998, *Dynamika brzegów dolnej Wisły*, Dokumentacja Geograficzna, nr 9, IGiPZ PAN, Warszawa
- Banach M., Glazik R., 1992, *Zbiornik Włocławski - niektóre problemy z geografii fizycznej*, Ossol. Wyd. PAN, Wrocław
- Bannister R.A., 2004, *Normalized Fry Strain Analysis of the Binnewater Sandstone, Central Hudson Valley*, Thesis for the Degree of Bachelor of Science In Geology, New York
- Bartczak A., 2007, Wahania stanów wody (przepływów) rzeki Zgłowiączki wywołane pracą małej elektrowni wodnej (MEW) w Nowym Młynie, *Przyroda, Nauka, Technologie*, t.1, z.2
- Bartnik W., 1992, *Hydraulika potoków i rzek górskich z dnem ruchomym. Początek ruchu rumowiska*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ser. Rozpr. Hab
- Bertran P., 1993, Deformation-induced microstructures in soils affected by mass movements, *Earth Surface Processes Landforms* 18
- Bertran P., Fontugne M., Jaubert J., 2003, Permafrost aggradation followed by brutal degradation during the Upper Pleniglacial in Mongolia: the probable response to the H2 Heinrich Event at 21 kyr BP. *Permafrost Periglacial Processes* 14
- Bertran P., Texier J.P., 1999, Sedimentation processes and facies on a semi-vegetated talus, Loustean, Southwestern France, *Earth Surface Processes Landforms* 24
- Bishop J.L., Schiffman P., Southard R., 2002, Geochemical and mineralogical analysis of palagonitic tuffs and altered rinds of pillow basalts in Iceland and applications to Mars, In: Smellie J.L., Chapman M.G. (Eds.), *Volcano-ice interaction on Earth and Mars: Geological Society Special Publication*, 202
- Blazejewski G.A., Stolt M.H., Gold A.J., Groffman P.M., 2005, Macro- and micromorphology of subsurface carbon in riparian zone soils. *Soil Science Society America J.* 69
- Blench T., 1977, *Regime behaviour of river and canals*. Butterworth Scientific, London

- Blott S.J. and Pye, K. (2001, 2012) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26, 1237-1248
- Boës X., Fagel N., 2005, Impregnation method for detecting annual laminations in sediment cores: an overview, *Sedimentary Geology* 179
- Brański J., 1972, Bilans transportu rumowiska unoszonego wzdłuż biegu Wisły, *Gospodarka Wodna* 3
- Brański J., Kondzielski A., 1986, Uziarnienie rumowiska unoszonego wzdłuż biegu Wisły. *Gospodarka Wodna*, 6
- Brewer R., 1976, *Fabric and Mineral Analysis of Soils*, Krieger, Huntington
- Brice J.C., 1975, Air photo interpretation in the form and behavior of alluvial River, Final Report for US Army Research Office
- Bridge J.S., 2003, *Rivers and floodplain. Form, Processes and Sedimentary Record*. Blackwell Publishing Company, Oxford, UK
- Budek A., 2010, Zastosowanie analizy mikromorfologicznej w badaniach gleb i osadów czwartorzędowych, *Landform Analysis*, vol.12
- Bullock P., Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., Tursina T., Babel U., 1985, *Handbook for soil thin section description*, Waine Research Publications, Wolverhampton, UK
- Cailleau G., Verrecchia E.P., Braissant O., Emmanuel L., 2009, The biogenic origin of needle fibre calcite. *Sedimentology* 56
- Camuti K.P., McGuire P., 1999, Preparation of polished thin sections from poorly consolidated regolith and sediment materials, *Sedimentary Geology* 128
- Carr S.J., 2001, Micromorphological criteria for discriminating subglacial and glacial marine sediments: evidence from a contemporary tidewater glacier, Spitsbergen. *Quaternary International* 86, 71–79
- Carr S.J., 2004, Micro-scale features and structures. In: D.J.A. Evans, D.I. Benn (eds), *A practical guide to the study of glacial sediments*. Arnold. London
- Catt J.A., Robinson P.C., 1961, The preparation of thin sections of clay, *Geological Magazine* 98
- Chima P., Baiyegunhi C., Liu K, Gwavava O., 2018, Petrography, modal composition and tectonic provenance of some selected sandstones from the Molteno, Elliot and Clarens Formations, Karoo Supergroup, in the Eastern Cape Province, South Africa. *Open Geosciences*, 10(1)
- Cieszewski D., 1998, Wpływ morfologii koryta rzeki na akumulację metali ciężkich w osadach dennych. *Prz. Geol.*, 46
- Ciupa T., 1990, Dynamika transportu i uziarnienie rumowiska wleczonego Białej Nidy. *Dokum. Geogr. IGiPZ PAN*, 1
- Ciupa T., 1991, Współczesny transport fluwialny w zlewni Białej Nidy. *Wyd. Wyż. Szk. Ped. im. Jana Kochanowskiego*, Kielce
- Ciupa T., 2009, Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwialny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Sinicy. *Wyd. Uniw. Hum.-Przyr. Jana Kochanowskiego*, Kielce

- Courty M.A., Goldberg P., Macphail R., 1989, *Soils and Micromorphology in Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge
- Coutard J.P., Mùcher H.J., 1985, Deformation of laminated silt loam due to repeated freezing and thawing cycles. *Earth Surface Processes Landforms* 10
- Cyberski J., 1982, Charakterystyka hydrologiczna dolnej Wisły [w:] *Dolina Dolnej Wisły*, red. B. Augustowski, Ossolineum, Wrocław, 103-153
- Cyberski J., 1984, Zjawiska akumulacyjno-erozyjne w rzekach objętych oddziaływaniem budowli piętrzących, *Czasopismo Geograficzne*, t.LV, z.3
- Czałow R.S., 1979, *Geograficzeskije issledowanija rusłowych procesów*, Izd. Moskowskowo Uniwersiteta, Moskwa
- Dalrymple J.B., Jim C.Y., 1984, Experimental study of soil microfabrics induced by isotopic stresses of wetting and drying, *Geoderma* 34
- Davies D.K., Ethridge F.G., 1970, Recognition of depositional environments through thin-section analysis of detrial sediments. *AAPG Bulletin*, 54(5)
- de Vleeschouwer F., Vliët-Lanoé B., van Fagel N., Richter T., Boës X., 2007, Development and application of high-resolution petrography on resin-impregnated Holocene peat columns to detect and analyse tephra, cryptotephra, and other materials, *Quaternary International* 178
- Dijkmans J.W.A., Mùcher H.J., 1989, Niveo-aeolian sedimentation of loess and sand: an experimental and micromorphological approach, *Earth Surface Processes Landforms* 14
- Drozdowski E., 1982, The evolution of the lower Vistula river valley between the Chełmno Basin and the Grudziądz Basin. [w:] L. Starkel (red.), *Evolution of the Vistula river valley during the last 15 000 years*. *Geographical Studies, Special Issue*
- Dynowska I., 1971, Typy reżimów rzecznych w Polsce, *Zesz. Nauk. UJ nr 28*, Kraków
- Dynowska I., 1984, Zmiana reżimu odpływu w wyniku oddziaływania zbiorników retencyjnych, *Czasopismo Geograficzne*, LV, 3
- Dynowska I., 1991, *Obieg wody* [w:] *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, red. L. Starkel, PWN, Warszawa
- Elliott G., Worsley P., 1999, The sedimentology, stratigraphy and ¹⁴C dating of a turfbanked solifluction lobe: evidence for Holocene slope instability at Okstindan, northern Norway, *J. Quaternary Science* 14
- Emblenton C, Thornes J. (red.), 1982, *Geomorfologia dynamiczna*. PWN, Warszawa
- Enache M.D., Cumming B.F., 2006, The morphological and optical properties of volcanic glass: a tool to assess density-induced vertical migration of tephra in sediment cores, *Journal of Paleolimnology* 35
- Eng, K., Wolock, D.M., Carlisle, D.M., 2013, River flow changes related to land and water management practices across the conterminous United States, *Sci. Total Environ*
- Evenari M., Yaalon D.H., Gutterman Y., 1974, Note on soils with vesicular structures in deserts, *Zeitschrift Geomorphologie N.F.* 18
- Falkowski E., 1967, Ewolucja holocenijskiej Wisły na odcinku Zawichost-Solec i inżyniersko-geologiczna prognoza dalszego jej rozwoju, *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, Warszawa

- Falkowski E., 1971, Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski, Biuletyn Geologiczny t.12
- Falkowski E., 1978, Typy morfogenetyczne odcinków rzek nizinnych Polski oraz schematy rozwinięć koryta rzecznoego w aspekcie potrzeb hydrotechnicznych, Metody dokumentacji geologiczno -inżynierskiej obszarów dolin rzecznych, Geoprojekt Wrocław
- Falkowski E., 1990, Morphogenetic classification of river valleys developing in formerly glaciated areas for needs of mathematical and practical modeling in hydro technical projects. Geogr. Polon., 58
- Falkowski T., 2004, Związek morfologii koryta i charakteru współczesnych osadów rzecznych z ukształtowaniem powierzchni i litologią podłoża aluwiiów Wisły Środkowej [w:] A. Kostrzewski (red.), Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych, Seria Geografia nr 68, t. IV, Wyd. Naukowe UAM
- Falkowski E., Krauzlis K., Granacki W., Falkowski T., Hoffman E., Falkowski J., Bieganowski R., 1987, Geologiczna morfogeneza koryta Wisły na dolnym stanowisku stopnia wodnego Włocławek – etap II, Hydroprojekt Warszawa
- Fenneman N.M., 1906, Floodplains produced without floods, Am. Geogr. Soc. Bull., 38
- Filipek L.H., Chao T.T., Carpenter R.H., 1981, Factors affecting the partitioning of Cu, Zn and Pb in boulder coatings and stream sediments in the vicinity of a polymetallic sulfide deposit, Chem. Geol., 33
- FitzPatrick, E.A., 2005, Soil microscopy & Micromorphology, Version 2, Interactive Soil Science, Aberdeen
- Florek W., 1991, Postglacjalny rozwój dolin rzek środkowej części północnego skłonu Pomorza. WSP, Słupsk
- Florek W., Florek E., Mycielska-Dowgiało E., 1987, Morphogenesis of the Vistula Valley between Kępa Polska and Płock in the Late Glacial and Holocene, [w:] Evolution of the Vistula River Valley during the last 15 000 years, part II, Geographical Studies, Special Issue 4, IGI PAN, 189-205
- Florek W., Kaczmarzyk J., 2007, Współczesne formy i osady wezbraniowe Wieprzy na odcinku Staniewce-Kowalewice. [W:] R. Sołtysik (red.), Systemy dolinne i ich funkcjonowanie. Prace Instytutu Geografii AŚ w Kielcach, 16: 205-213
- Folk R.L., Ward W.C., 1957, Brazos River bar, a study in the significance of grain size parameters. J. Sedim. Pert., 27
- Francus P., Karabanov E., 2000, A computer-assisted thin-section study of Lake Baikal sediments: a tool for understanding sedimentary processes and deciphering their climatic signal, International Journal of Earth Science 89
- Friedman G.M., 1961, Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics, J.Sed.Petrol., 31
- Friedman G.M., 1967, Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands, J.Sed.Petrol., 37
- Galon R., 1934, Dolina dolnej Wisły, jej kształt i rozwój na tle budowy dolnego Powiśla, Badania Geograficzne nad Polską Płn.-Zach., Poznań, 12-13

- Gerdes G., Krumbein W.E., Reineck, H.E., 1985, The depositional record of sandy, varicolored tidal flats (Mellum Island, southern North Sea), *Journal of Sedimentary Petrology* 55
- Gierszewski P., 2018, Hydromorfologiczne uwarunkowania funkcjonowania geosystemu Zbiornika Włocławskiego, *Prace Geograficzne*, 268, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa
- Gierszewski P., Szymańska J.B., Luc M., 2015, Zmiany układu koryt Wisły spowodowane funkcjonowaniem stopnia wodnego „Włocławek” na podstawie analizy zdjęć lotniczych, *Przegląd Geograficzny*, 87
- Gierszewski, P.; Habel, M.; Szymańska, J.; Luc, M., 2020, Evaluating effects of dam operation on flow regimes and riverbed adaptation to those changes. *Sci. Total Environ*
- Giriak D., 2003, Wpływ stopnia wodnego we Włocławku na wybrane cechy teksturalne osadów korytowych, UW (maszynopis pracy doktorskiej)
- Giziński A., 1994, Problemy ekologiczne Dolnej Wisły: Problemy przyszłego zagospodarowania i wykorzystania dolnej Wisły, Konferencja naukowo-techniczna, Bydgoszcz
- Glazik R., 1978, Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Włocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie, *Dok. Geogr.*, 2/3
- Glazik R., Grześ M., 1999, Stopień wodny „Włocławek” – wybrane zagadnienia badawcze i eksploatacyjne, [w:] Konferencja naukowo-techniczna pt. „Eksploatacja i oddziaływanie dużych zbiorników nizinnych na przykładzie zbiornika wodnego Jeziorsko”, Uniejów, 20-21 maja 1999, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Wodnych Melioracji, ODGW i Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska Akademii Rolniczej w Poznaniu
- Głodek J., Kęsik A., Kolago C., Mojski J. E., Starkel L., 1957, Z biegiem Wisły. Przewodnik geologiczno-krajoznawczy, WG Warszawa
- Głogowska, B., 2000, Hydrobiology of the lower Vistula River between Wyszogród and Toruń. An assessment of the influence of the Włocławek Dam on the structure and functions of the River ecosystem. Part II: A geographical and hydrological profile of the study area, *AUNC, Limnol.* 21
- Głowski R., Parzonka K., 2007, Eksploatacja i oddziaływanie Zbiornika Brzeg Dolny na rzece Odrze, *Przyroda, Nauka, Technologie*, t.1, z.2
- Goldberg P., Macphail R.I., 2003, Short contribution: strategies and techniques in collecting micromorphology samples, *Geoarchaeology* 18(5)
- Gorączko M., 2015, Wieloletni przebieg zlodzenia dolnej Wisły na wybranych odcinkach dróg wodnych E70 i E40 *Logistyka, Logistyka - nauka*, 2015, nr 3
- Goudie A.S., Pye K. (Eds.), 1983, *Chemical sediments and geomorphology: Precipitates and Residua in the Near-surface Environment*, Academic Press, London
- Gölz E., 1990, Suspended sediment and bed load problems of the Upper Rhine, *Catena*, 17
- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R., 1976, *Sedymentologia* Wyd. Geol., Warszawa
- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R., 1986, *Zarys sedymentologii*. Wyd. Geol., Warszawa

- Gradziński M., Górny A., Pazdur A., Pazdur M.F., 2003, Origin of black coloured laminae in speleothems from the Kraków-Wieluń Uplands, Poland, *Boreas* 32
- Graf W.L., 1971, *Hydraulics of Sediment Transport*. McGraw-Hill Book Co., New York
- Groves C.G., Howard A.D., 1994, Early development of karst systems: I. Preferential flow path enlargement under laminar flow. *Water Resources Research*, 30,10
- Grześ M., 1985, Zproblem zatorów i powodzi zatorowych na dolnej Wiśle, *Przeł. Geogr.* 57, 4
- Grześ M., 1991, Zatory i powódzie zatorowe na dolnej Wiśle, *Mechanizmy i warunki*, IGiPZ PAN, Warszawa
- Gutry-Korycka M., 2006, Geneza i ewolucja den dolin i sieci rzecznej [w:] *Geografi fizyczna Polski*, red. A. Rychling, K. Ostaszewska, PWN, Warszawa
- Habel M., 2010, Zasięg oddziaływania stopnia wodnego we Włocławku na wahania stanów wód dolnej Wisły, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, vol. 68
- Habel M., 2013, Dynamics of the Vistula River channel deformations downstream of the Włocławek Reservoir, *Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz*
- Habel M., Babiński Z., 2015, Interwencyjne zasilanie wodami Międzynarodowej Drogi Wodnej E40 ze Zbiornika Włocławskiego na potrzeby transportu wodnego, *Logistyka*, nr 3
- Habel M., Szatten D., Nadolny G., 2017, Warunki hydrologiczno-nawigacyjne polskiego odcinka Międzynarodowej Drogi Wodnej E70, *Gdańsk*
- Harrell J., 1984, A visual comparator for degree of sorting in thin and plane sections, *Journal of Sedimentary Petrology* 54
- Harris C., 1985, Geomorphological applications of soil micromorphology with particular reference to periglacial sediments and processes. In: Richards K.S., Arnett R.R., Ellis S. (Eds.), *Geomorphology and Soils*. George Allen and Unwin, London
- Hart J., Rose J., 2001, Approaches to the study of glacier bed deformation. *Quatern. Internat.*, 86
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G., 2001, Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results, *J. Paleolimnol.*, 25
- Helios-Rybicka E., 1986, Rola minerałów ilastych w wiązaniu metali ciężkich przez osady rzeczne górnej Wisły, *Zeszyty Naukowe AGH, Geologia* 32, Kraków
- Hiemstra J.F., 2007, Micromorphology of glacial sediments, In: Elias S. (Ed.), *Encyclopaedia of Quaternary Science*, Elsevier, Amsterdam
- Hiemstra, J.F., Rijdsdijk, K.F., 2003, Observing artificially induced strain: implications for subglacial deformation. *J. Quaternary Science* 18
- Hjulström F., 1935, Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. *Bull. Geol. Inst.*, 25.
- Hojan M., Rurek M., 2021, Effect of Emergency Water Discharges from the Dam in Włocławek on the Sedimentary Structures of Channel Bars in the Lower Flow Regime of the River Vistula, *Water* 13, no. 3: 328

- Howard A.D., 1980, Thresholds in river regime, [In:] D.R. Coates, J.D. Vitek (red.), The Concept of Geomorphic Thresholds. Allen and Unwin, Boston, Ch. L, 1
- Howard A.D., Groves C.G., 1995, Early development of karst systems: II. Turbulent flow. Water Resources Research, 31,1
- Huijzer A.S., 1993, Cryogenic microfabrics and macrostructures: interrelations, processes and paleoenvironmental significance. PhD Thesis, Free University, Amsterdam
- Ingarden R., 1921, Rzeki i kanały żeglowne w b. trzech zaborach i znaczenie ich gospodarce dla Polski, Ministerstwo Robót Publicznych, Warszawa
- James W.C., 1985, Early diagenesis, Atherton Formation (Quaternary): a guide for understanding early cement distribution and grain modifications in nonmarine deposits, Journal of Sedimentary Petrology 55
- Jarocki W., 1957, Ruch rumowiska w cieczech. Badanie oraz obliczanie ilości materiału wlezonego i unoszonego. Wyd. Morskie, Gdynia
- Jeong G.Y., Cheong Ch.S., 2005, Recurrent events on a Quaternary fault recorded in the mineralogy and micromorphology of a weathering profile, Yangsan Fault System, Korea, Quaternary Research 64
- Jirsa M.A., 1984, Interflow sedimentary rocks in the Keweenawasn North Shore Volcanic Group, Northeastern Minnesota, University of Minnesota Report of Investigations, 30
- Johnson C.A., 1986, The regulation of trace element concentrations in river and estuarine waters contaminated with acid mine drainage: The adsorption of Cu and Zn on amorphous Fe oxyhydroxides, Geochim, Cosmochim, Acta 50
- Johnson, D.P., 1982, Sedimentary facies of an arid zone delta, western Australia, Journal of Sedimentary Petrology 52
- Johnson M.R., 1994, Thin section grain size analysis revisited, Sedimentology 41
- Jokiel P., Tomalski P., 2016, Zmiany i zmienność sezonowej struktury odpływu rzecznoego w świetle terminu połowy odpływu, Gospodarka Wodna, 805 (1), 12-18
- Jokiel P., Tomalski P., 2018, Zróżnicowanie i zmienność wieloletnia sezonowość przepływu w wybranych przekrojach wodowskazowych Wisły, Prace Geograficzne, IGiGP UJ z.155
- Josephs R.L., Bettis III E.A., 2003, Short contribution: a practical alternative to Kubiena boxes for the collection of samples for micromorphological analysis, Geoarchaeology 18
- Juśkiewicz W., 2006, Gradostat 5.11 beta, oprogramowanie komputerowe. Pakiet Analiz Statystycznych i Graficznej Prezentacji Rozkładu Uziarnienia Nieskonsolidowanych Osadów Mechanicznego Rozdziału na Sitach oraz Automatycznego Pomiaru Analizatorem Laserowym
- Kacprzak A., Żyła M., 2006, Mikromorfologia pararędzin brunatnych wytworzonych z pokryw stokowych w Pieninach, Pieniny – Przyroda i Człowiek, 9
- Kaczmarzyk J., 1997, Charakterystyka środowiska sedymentacyjnego Wieprzy w świetle uziarnienia osadów korytowych holocenijskich paleomeandrów, Geologia i Geomorfologia 3, Słupsk 1997
- Kaczmarzyk J., Florek W., Olszak I., 2008, Górnoholocenijskie i współczesne formy i osady pozakorytowe w dolinie środkowej Wieprzy. Landform Analysis, 7

- Kale M.G., Pundalik A.S., Kumar D., 2020, Fluvial facies and petrography of Late Pleistocene Baneta sediments, Central Narmada Basin, Madhya Pradesh, India. *Journal of Earth System Sciences*, 129, 61
- Kalicki T., 1996, Overbank deposits as indicators of the changes in discharges and supply of sediments in the upper Vistula valley - the role of climate and human impact. [W:] L. Starkel, T. Kalicki (red.), *Evolution of the Vistula river valley during the last 15 000 years*. Geogr. Stud. Spec. Iss., 9
- Kalicki T., 2000, Grain size of the overbank deposits as carriers of paleogeographical information. *Quaternary International*, 72
- Kaniecki A., 1976, Dynamika rzeki w świetle osadów trzech wybranych odcinków Prosny, *Prace Kom. Geogr.-Geol.* 17, Poznań
- Karlsson S., Allard B., Hakansson K., 1988, Characterization of suspended solids in a stream receiving acid mine effluents, Bersbo, Sweden, *Appl. Geochem*, 3
- Kemp R.A., 1985, Soil micromorphology and the Quaternary, *Quaternary Research Association Technical Guide*, 2, Cambridge
- Kemp R.A., 1998, Role of micromorphology in peleoopedological research. *Quaternary International*, 51/52
- Kemp R.A., 1999, Micromorphology of loess-paleosol sequences: a record of paleoenvironmental change, *Catena* 35
- Kessel R.H., 2003, Human modifications to the sediment regime of the Lower Mississippi River flood plain, *Geomorphology*, 56
- Kilfeather A.A., Blackford J.J., van der Meer J.J.M., 2007, Micromorphological analysis of coastal sediments from Willapa Bay, Washington, USA: a technique for analysing inferred tsunami deposits. *Pure Applied Geophysics* 164
- Klimaszewski M., 1978, *Geomorfologia*, PWN Warszawa
- Koc L., 1972, Zmiany koryta Wisły w XIX i XX wieku między Płockiem a Toruniem, *Przegląd Geograficzny* 44, 4
- Kołodziej G., 1995, Petroskop – nowe możliwości prezentacji wizualnej. *Przegląd Geologiczny* 43
- Komar P.D., Carling P.A., 1991, Grain sorting in gravel-bed streams and the choice of particle sizes for flow-competence evaluations. *Sedimentology*, 38
- Koncepcja ochrony przed wodami powodziowymi dolnego odcinka Wisły od Włocławka do jej ujścia do Zatoki Gdańskiej, 2016, Arcadis/RZGW Gdańsk (maszynopis)
- Kondolf G., 1997, Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels, *Environmental Management* 21(4)
- Kondracki J., 1998, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa
- Kondracki J., 2009, *Geografia regionalna Polski*, Wyd. PWN, Warszawa
- Konecka-Betley K., 1996, Zastosowanie metody mikromorfologicznej do badań gleb kopalnych. *Metody badań paleopedologicznych i wykorzystanie gleb kopalnych w paleogeografii*, Łódź, materiały konferencyjne

- Konert M., Vandenberghe, J.E.F., 1997, Comparison of Laser Grain Size Analysis with Pipette and Sieve Analysis: A Solution for the Underestimation of the Clay Fraction. *Sedimentology*, 44
- Koniščev V.N., Faustova M.A., Rogov V.V., 1973, Cryogenic processes as reflected in ground microstructure, *Biuletyn Peryglacjalny* 22
- Kooistra M.J., 1978, Soil development in recent marine sediments of the intertidal zone in the Oosterschelde – The Netherlands. A soil micromorphological approach, *Soil Survey Papers* 14, Wageningen, The Netherlands: Netherlands Soil Survey Institute
- Kooistra M.J., 1981, The interpretation and classification of features produced by pelecypods (mollusca) in marine intertidal deposits in the Netherlands, *Geoderma*, Volume 26, Issues 1–2
- Kordowski J., 2001, Litologiczne i genetyczne zróżnicowanie osadów pozakorytowych równiny zalewowej Wisły między Górkami i Chełmem. *Przegląd Geograficzny* 73(3)
- Kordowski J., 2003, Struktury wewnętrzne i uziarnienie osadów pozakorytowych doliny dolnej Wisły w Kotlinie Toruńskiej i Basenie Unisławskim. *Przegl. Geogr.*, 75, 4
- Kosicki M., Krężel J., 1977, Wpływ zasilania ze zbiorników retencyjnych na głębokości w Odrze Środkowej, *Gosp. Wod.*, nr 9
- Kostrzewski A., 1970, Uziarnienie i obróbka współczesnych aluwii Bobru jako wyraz dynamiki rzecznej środowiska sedymentacyjnego, *Poznań TPN, Wydz. Mat.-Przyr.*, 8, 4, Poznań
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1994, Dynamika transportu fluwialnego górnej Parsęty jako odbicie funkcjonowania systemu zlewni, *Stow. Geomorfologów Polskich*, Poznań
- Kot H., Żelazo J., 2006, Raport o oddziaływaniu na środowisko przyrodnicze projektowanego ubezpieczenia prawego brzegu Wisły w miejscowości Rakowo w zakresie wpływu na chronione siedliska przyrodnicze oraz gatunki roślin i zwierząt w granicach obszaru Natura 2000, *Maszynopis RZGW*, Warszawa
- Kozarski S., Nowaczyk B., 1991, *Z. Geomorph. N.F Suppl.-Bd.*, 90
- Krumbein W.C., 1941, Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Petrology*
- Krzemień K. (red.), 2012, *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*, IGiGP UJ, Kraków
- Kubiak-Wójcicka, K. 2020, Variability of Air Temperature, Precipitation and Outflows in the Vistula Basin (Poland), *Resources* 9, 103
- Kubiëna W.L., 1938, *Micropedology*, Collegiate Press, Ames, Iowa
- Kundzewicz Z.W., 2013, *Cieplejszy świat. Rzecz o zmianach klimatu*, PWN, Warszawa
- Kundzewicz Z.W., 2014, *Konsekwencje zmian klimatu dla zasobów wodnych*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 20, t. 1, 7-16
- Kurowski L., Jędrzejczak E., 2007, Warunki przepływu, formy dna i cechy osadów koryta rzecznej na przykładzie Strzegomki w Kątach. *Sedimentologica*, 1,1

- Lacelle D., 2007, Environmental setting, (micro)morphologies and stable C-O isotope composition of cold climate carbonate precipitates - a review and evaluation of their potential as paleoclimatic proxies, *Quaternary Science Reviews* 26
- Lachniet M.S., Larson G.J., Lawson D.E., Evenson E.B., Alley R.B., 2001, Microstructures of sediment flow deposits and subglacial sediments, *Boreas* 30
- Ladd S.C., Marcus W.A., Cherry S., 1998, Differences in trace metal concentrations among fluvial morphologic units and implications for sampling, *Environmental Geology* 36
- Larsen N.K., Piotrowski J.A., Kronborg C., 2004, A multiproxy study of basal till: a timetransgressive accretion and deformation hypothesis, *J. Quaternary Science* 19
- Ledésert B., Buret C., Chanier F., Ferrière J., Recourt P., 2003, Tubular structures of northern Wairarapa (New Zealand) as possible examples of ancient fluid expulsion in an accretionary prism: evidence from field and petrographical observations, In: Van Rensberger P., Hillis R.R., Maltman A.J., Morley C.K. (Eds.), *Subsurface sediment mobilization*, Geological Society Special Publication, 21
- Lee J.R., Phillips E., 2008, Progressive soft sediment deformation within a subglacial shear zone - a hybrid mosaic-pervasive deformation model for Middle Pleistocene 1350–1362 glaciotectionised sediments from eastern England, *Quaternary Science Reviews* 27
- Leeder M., 2011, *Sedimentology and Sedimentary Basins*. John Wiley & Sons
- Leopold L.B., 1953, Downstream Change of Velocity in Rivers. *Am. J. Sci.*, 251
- Leopold L.B., 1994, Flood Hydrology and the Flood-plain. [In:] G.F. White, M.F. Myers (red.), *Coping with the Flood: The Next Phase*. Water Resources Update, Spring Issue: 11-15
- Leopold L.B., Wolman M.G., Miller J.P., 1964, *Fluvial Processes in Geomorphology*. W.H. Freeman and Co., San Francisco
- Leopold L.B., Wolman M.G., 1957, River channel patterns: braided, meandering and straight, *US Geological Survey Professional Paper*, t. 282B
- Liu X.-D., Sun L.G., Cheng Z.Q., Zhao S.P., Liu K.X., Wu X.H., Xie Z.Q., Yin X.B., Luo H.H., Ding X.F., Fu D. B., Wang Y. H., 2008, Paleoenvironmental implication of the guano phosphatic cementation on Dongdao Island in the South China Sea, *Marine Geology* 247
- Lücke, A., Brauer, A., 2004, Biogeochemical and micro-facial fingerprints of ecosystem response to rapid Late Glacial climatic changes in varved sediments of Meerfelder Maar (Germany). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 211
- Ludwikowska-Kędzia M., 2000, Ewolucja środkowego odcinka doliny rzeki Belnianki w późnym glacie i holocenie, *Wydawnictwo Akademickie Dialog*, Warszawa
- Lundqvist G., 1940, Bergslagens minerogena jordarter. *Sveriges Geologiske Undersökning Ser, Arsbok* 34
- Łajczak A., 2003, Contemporary transport of suspended material and its deposition in the Vistula River, Poland, *Hydrobiologia*, 494
- Łaszkiwicz A., 1957, Wykonywanie preparatów mikroskopowych ze skał i kruszców, *Biblioteka Zawodowa Geologa, Metody pracy*, 40, *Wydawnictwa Geologiczne*, Warszawa

- MacKenzie W.S., Adams A.E., Brodie K.H., 2017, *Rocks and Minerals in Thin Section*, Routledge
- Mackin J.H., 1948, Concept of the graded river, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 48
- Macklin M.G., 1996, Fluxes and storage of sediment-associated heavy metals in floodplain systems: Assessment and river basin management issues at a time of rapid environmental change [W:] Anderson, M.G., Walling, D.E. and Bates, P.D. (eds), *Floodplain Processes*, pp. 441–460. John Wiley & Sons, Chichester
- Macklin M.G., Klimek K., 1992, Dispersal, storage and transformation of metal-contaminated alluvium in the upper Vistula basin, southwest Poland. *Appl. Geogr.*, 12
- Macklin M.G., Benito G., Gregory K.J., Johnstone E., Lewin J., Michczyńska D.J., Soja R., Starkel L., Thorndycraft V.R., 2006, Past hydrological events reflected in the Holocene fluvial record of Europe, tom. 66, z.1–2
- Majewski W., 2016, *Monografia Dolnej Wisły*, IMGW PIB, Warszawa
- Makowski J., 1998, *Dolna Wisła i jej obwałowania. Historyczne kształtowanie, obecny stan i zachowanie w czasie znacznych wezbrań*, Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk
- Malarz R., 2004, Geomorfologiczne skutki działania zapór wodnych w okresach powodziowych w dolinie Soły, *Folia Geographica*, vol. XXXV-XXXVI
- Maltman A. (Ed.), 1994. *The Geological Deformation of Sediments*. Chapman & Hall, London
- Matalucci R.V., Shelton J.W., Abdel-Hady M., 1969, Grain orientation in Vicksburg loess, *Journal of Sedimentary Petrology* 39
- Menzies J., 2000, Micromorphological analyses of microfabrics and microstructures indicative of deformation processes in glacial sediments., In: Maltman A.J., Hubbard B., Hambrey M.J. (Eds.), *Deformation of glacial materials*. Geological
- Menzies J., Brand U., 2007, The internal sediment architecture of a drumlin, Port Byron, New York State, U.S.A. *Quaternary Science Reviews* 26
- Menzies J., Taylor J.M., 2003, Seismically induced soft-sediment microstructures (seismites) from Meileour, western Strathmore, Scotland. *Boreas* 32
- Menzies J., van der Meer J.J.M., Rose J., 2006, Till - a glacial „tectomict”, a microscopic examination of a till's internal architecture, *Geomorphology* 75
- Menzies J., van der Meer J.J.M., Domack E., Wellner S.W, 2010, Micromorphology: as a tool in the detection, analyses and interpretation of (glacial) sediments and man-made materials. *Proceedings of the Geologists' Association* 121: 281-292
- Mestdagh H., Haesaerts P., Dodonov A., Hus J., 1999, Pedosedimentary and climatic reconstruction of the Last Interglacial and Early Glacial loess–paleosol sequence in South Tadjikistan, *Catena* 35
- Michno A., 2004, *Transformacja doliny dolnej Nidzicy w holocenie*, IGiGP UJ, Kraków
- Mikulski Z., 1963, *Zarys hydrografii Polski*, PWN, Warszawa
- Mizogouchi, K., Hirose, T., Shimamoto, T., Fukuyama, E., 2008. Internal structure and permeability of the Nojima fault, southwest Japan. *Journal of Structural Geology* 30
- Młynarczyk Z., 1985, Rola wielkości i kształtu ziarna w transporcie fluwialnym, *PTPN, Prace Komisji Geogr.-Geol.*, 21

- Młynarczyk Z., 1989, A new method of measurement of sand particle entrainment velocity in the river channel bed. *Quaestiones Geographicae*, 2: 121-128.
- Młynarczyk Z., 1991, Nowa metoda pomiaru prędkości progowych transportu rumowiska w korycie rzeczonym, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, 2, Ser. Georg., 50
- Młynarczyk Z., 1996, Transport materiału klastycznego w korycie rzeki meandrującej i krętej (na przykładzie środkowej Prozny), UAM, *Acta Quater.*, 1
- Młynarczyk Z., Słowik M., 2007, Zmiany natężenia transportu materiału zawieszzonego w dolnym odcinku Obry. *Bad. Fizjogr. Pol. Zach.*, Ser. A - Geogr. Fiz., 58
- Mojski J.E., 1980, Budowa geologiczna i tendencje rozwoju doliny Wisły, *Przegląd Geologiczny*, t.28, nr 6
- Mojski J.E., Starkel L., 1990, The physical setting, geological structure and morphology [w:] *Evolution of the Vistula river valley during the last 15000 years, part III*, red. L. Starkel, *Geographical Studies, Special Issue 5, IGiPZPAN*
- Mol J., Vandenberghe J., Kasse K., Stel H., 1993, Periglacial microjointing and faulting in Weichselian fluvio-aeolian deposits. *J. Quaternary Science* 8
- Mroczek P., 2008, Interpretacja paleogeograficzna cech mikromorfologicznych neoplejstoceńskich sekwencji lessowo-glebowych. Wydawnictwo UMCS, Lublin
- Mroczek P., 2018, Późnovistuliańsko-holocena ewolucja lessowych gleb płowych wyżyn południowopolskich w świetle badań mikromorfologicznych (Late VistulianHolocene Evolution of Loess Luvisols from the South Polish Uplands Recorded in Micromorphology). Wydawnictwo UMCS, Lublin, 109
- Mroziński Ł., 2006, Wieloletnia zmienność zlodzenia Dolnej Wisły, *Gazeta Obserwatora IMGW*, 2/2006
- Mrózek W., 1958, *Wydmy Kotliny Toruńsko-Bydgoskiej*, [w:] *Wydmy śródlądowe Polski*, red. R.Galon, Polskie Towarzystwo Geograficzne, Warszawa, 2
- Mücher H.J., 1973, Micromorphology of slope deposits: the necessity of a classification. In: Rutherford G.K. (Ed.), *Soil Microscopy*, Limestone Press, Kingston, Ontario
- Mücher H.J., de Ploey J., 1977, Experimental and micromorphological investigation of erosion and redeposition of loess by water, *Earth Surface Processes Landforms* 2
- Mücher H.J., de Ploey J., 1984, Formation of afterflow silt loam deposits and structural modification due to drying under warm conditions: an experimental and micromorphological approach, *Earth Surface Processes Landforms* 9
- Mücher H.J., de Ploey J., Savat J., 1981, Response of loess materials to simulated translocation by water: micromorphological observations, *Earth Surface Processes Landforms* 6
- Mücher H.J., van Steijn H., Kwaad F.J.P.M., 2010, Colluvial and mass wasting deposits, In: Stoops G., Marcelino V., Mees F. (Eds.), *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, Elsevier, Amsterdam
- Mycielska-Dowgiałło E., 1995, Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. [w:] E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.), *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*. Uniw. Warszawski, Warszawa

- Mycielska-Dowgiałło E., 2007, Metody badań cech teksturalnych osadów klastycznych i wartość interpretacyjna wyników. [w:] E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.), Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku. Wyd. Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa
- Nawara K., 1964, Transport i sedymentacja współczesnych piasków Dunajca i jego niektórych dopływów, *Acta Geol. Pol.*, 15
- Neudorf C.M., 2008, Relationships between the Macroscale Sedimentology and Micromorphology of Glacigenic diamictos in South - central British Columbia. Simon Fraser University, Canada
- Nichols G., 2009, *Sedimentology and Stratigraphy*, Blackwell, London
- Niewiarowski W., 1987, Evolution of the Lower Vistula valley in the Unisław Basin and at the river gap to the north of Bydgoszcz-Fordon, [w:] L. Starkel (red.) Evolution of the Vistula River valley during the last 15000 years, Part II, *Geogr. Studies, Spec. Iss.*, 4
- Nilsson, C., Berggren, K., 2000, Alterations of Riparian Ecosystems Caused by River Regulation: Dam operations have caused global-scale ecological changes in riparian ecosystems. How to protect river environments and human needs of rivers remains one of the most important questions of our time. *BioScience* 50
- Noffke N., Gerdes G., Klenke T., Krumbein W.E., 1997, A microscopic sedimentary succession of graded sand and microbial mats in modern siliciclastic tidal flats, *Sedimentary Geology* 110
- O'Brien N.R., Slatt R.M., 1990, *Argillaceous Rock Atlas*, Springer-Verlag, New York
- Palmer, A.P., 2005, The Micromorphological Description, Interpretation and Palaeoenvironmental Significance of Lacustrine Clastic Laminated Sediments (Unpublished PhD thesis), University of London
- Palmer A.P., Lee J.A., Kemp R.A., Carr S.J., 2008, Revised laboratory procedures for the preparation of thin sections from unconsolidated material. Unpublished internal report. Royal Holloway, University of London
- Parzonka W., Kosierb R., 2010, Assessment of riverbed erosion process of middle Odra River on Malczyce-Ścinawa section, *Studia Geotechnica et Mechanica*, vol. XXXII, no.1
- Passega R., 1957, Texture as characteristic of clastic deposition, *Bull. American Association of Petroleum Geologists*, 41
- Passega R., 1964, Grain-size representation by CM patterns as a geological tool. *J. Sedim. Petrol.*, 34
- Passega R., Byramjee R., 1969, Grain-size image of clastic deposits, *Sedimentology*, 13
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991, *Klimat*, [w:] *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, red. L. Starkel, PWN, Warszawa
- Paulsen D.E., Li H.C., Ku T.L., 2003, Climate variability in central China over the last 1270 years revealed by high-resolution stalagmite records, *Quaternary Science Reviews* 22, 691–701
- Pegg M.A., Pierce C.L., Roy A., Hydrological alteration along the Missouri River Basin: A time series approach. *Aquat. Sci.* 2003, 65
- Petts, G.E. 1980, Long-term consequences of upstream impoundment, *Environmental Conservation* 7(4)

- Phillips E.R., Auton C.A., 2000, Micromorphological evidence for polyphase deformation of glaciolacustrine sediments from Strathspey, Scotland, In: Maltman A.J., Hubbard B., Hambrey M.J. (Eds.), Deformation of glacial materials, Geological Society London, Special Publication, 176
- Pirrung M., Büchel G., Lorenz V., Treutler H.C., 2008, Post-eruptive development of the Ukinrek East Maar since its eruption in 1977 A.D. in the periglacial area of south-west Alaska, *Sedimentology* 55
- Piskozub A., 1982, Wisła. Monografia rzeki, Wydawnictwo komunikacji i łączności, Warszawa
- Pizzuto J.E., 1985, Bank sediment type and suspended-sediment transport in sand-bed streams, *J. Sedim. Petrol.*, 55U
- Plit J., 2008, Zarządzanie krajobrazem dolin rzecznych [w:] Prace komisji Krajobrazu Kulturowego nr 10, Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec
- Pociask-Karteczka J., Limanówka D., Nieckarz Z., 2003, Wpływ oscylacji północnoatlantyckiej na przepływy rzek karpaccich, *Folia Geographica, Ser. Geogr.-Phys.*, 33-34
- Podział hydrograficzny Polski, 1983, IMGW, Warszawa
- Poff N.L., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter B.D., Sparks R.E., Stromberg J.C., 1997, The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience* 47(11)
- Polak K., Rosicka A., 2007, Zagrożenie stateczności stopnia wodnego we Włocławku, XII Międzynarodowa Konferencja Technicznej Kontroli Zapór – Stare Jabłonki, 19-22 czerwca 2007
- Potter P.E., and Mast R.F., 1963, Sedimentary structures, sand shape fabrics, and permeability - I: *Jour. Geology*, v. 71, no.3
- Prothero D.R., Schwab F., 2013, *Sedimentary Geology*. Freeman & Co., New York
- Przedwojski B., Wicher J., 1999, Erozja koryta Warty poniżej zapory czołowej Zbiornika Jeziorsko, [w:] Konferencja naukowo-techniczna pt. „Eksploracja i oddziaływanie dużych zbiorników nizinnych na przykładzie zbiornika wodnego Jeziorsko”, Uniejów, 20-21 maja 1999, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Wodnych Melioracji, ODGW i Wydział Melioracji i Inżynierii Środowiska Akademii Rolniczej w Poznaniu
- Punzet J., 1972, Badania ruchu fal wypuszczanych ze zbiornika wodnego w Myczkowcach, *Gosp. Wod.*, nr 8
- Pusch R., 1999, Experience from preparation and investigation of clay microstructure. *Engineering Geology* 54
- Racinowski R., Szczypek T., Wach J., 2001, Prezentacja i interpretacja wyników badań uziarnienia osadów czwartorzędowych, Skrypt Uniw. Śląskiego, Katowice
- Rein, B., Jäger, K., Kocot, Y., Grimm, K., Sirocko, F., 2007, Holocene and Eemian varve types of Eifel maar sediments. In: Sirocko, F., Litt, T., Claussen, M. (Eds.), *The Climate of Past Interglacials Developments in Quaternary Science Vol. 7*. Elsevier, Amsterdam
- Richards K., 1982, *Rivers: Form and Processes in Alluvial Channels*, Methuen, London, New York

- Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., Braun D.P., 1996, A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conserv. Biol.* 10
- Robakiewicz M., 2006, Rola ostróg w regulacji rzek. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, nr 4/2, KTIW PAN, Kraków
- Rosgen, D.L., 1994, A Classification of Natural Rivers. *Catena*, 22(3)
- Rosgen D.L., 1996, *Applied River Morphology*, Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado
- Rotnicki K., Młynarczyk Z., 1989, Późnovistuliańskie i holocenijskie formy i osady korytowe środkowej Prozny i ich paleohydrologiczna interpretacja, *Seria Geografia UAM*, t.43
- Royse C.F., 1968, recognition of fluvial environments by particle-size characteristics, *J.Sed.Pertol*, 38
- Rutkowski J., Mycielska-Dowgiałło E. (red), 2007, *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*, Wydz. Geogr. i Studiów Region. UW, Warszawa
- Rychling A., Ostaszewska K., 2006, *Geografia fizyczna Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa
- Salomons W., 1995, Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention, *Journal of Geochemical Exploration*, v. 52
- Schumm S.A., 1971, *Fluvial geomorphology in river mechanics*, [w:] H.W. Shen (red.) *Water Resources Publication*, Fort Collins Colorado
- Schumm S.A., 1977, *The fluvial system*, Wiley, New York
- Skibiński J., 1963, Włeczenie rumowiska dennego przez Wisłę w rejonie Warszawy. *Wiad. Służby Hydrolog.-Meteorolog.*, 53
- Słowik M., Dezső J., Marciniak A., Tóth G., Kovács J., 2018, Evolution of river planforms downstream of dams: Effect of dam construction or earlier human-induced changes, *Earth Surf. Process. Landf.* 43
- Smolska E., 1996, Funkcjonowanie systemu korytowego w obszarze młodoglacjalnym na przykładzie górnej Szeszupy (Pojezierze Suwalskie), *Wydz. Geogr. i Stud. Reg. UW*, Warszawa
- Smolska E., 2009, Cechy uziarnienia aluwii rzek roztokowych a zapis litofacjalny. *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, 5. Ser. Geografia, 88
- Soja R., Mrózek T., 1990, Historical characteristic of the Vistula River [w:] *Evolution of the Vistula river valley during the last 15000 years*, red. L. Starkel, *Geographical Studies*, Issue no. 5, Ossolineum, Wrocław
- Sorby H.C., 1858, On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 14 (1-2)
- Stachy J., 1986, *Atlas hydrologiczny Polski*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, t.II, z.1
- Stachy J., 2011, Występowanie lat mokrych i posusznych w Polsce (1951–2008), *Gospodarka Wodna*, 8
- Starkel L. (red), 1980, *Przeglądowa mapa geomorfologiczna Polski w skali 1:500 000*, wydaw. Instytutu Geografii Przestrzennego Zagospodarowania PAN

- Starkel L., 1990, (red.), Evolution of the Vistula river valley during the last 15000 years. Part I, 1982, Part II, 1987, Part III, 1990, Part IV, 1991, Part V, 1995, Geogr. Stud., Special Issue no. 1, 4, 5, 6, 8
- Starkel L., 2001, Historia doliny Wisły od ostatniego zlodowacenia do dziś, Monografie IGiPZ PAN, 2, Warszawa
- Stephens M., Rose J., Gilbertson D., Canti M.G., 2005, Micromorphology of cave sediments in the humid tropics: Niah Cave, Sarawak, Asian Perspectives 44
- Stoops G., 2003, Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections, Soil Science Society of America, Madison
- Stroeven A., Stroeven P., van der Meer J.J.M., 2005, Microfabric analysis by manual and automated stereological procedures: a methodological approach applied to Antarctic tillite, Sedimentology 52
- Suen J.P., 2011, Determining the ecological flow regime for existing reservoir operation. Water Resour. Manag. 25
- Swennen R., Van Keer I., De Vos W., 1994, Heavy metal contamination in overbank sediments of the Geul river (East Belgium): its relation to former Pb – Zn mining activities. Environ. Geol. 24
- Szancer E.W., 1951, Alluwij riek umiერიენიოგო პოჯასა ი ჯეგო ზნაჩენიე დლა პოზნანიჯა ზაკონიერიენიოგო სტოჯენიჯა ი ფორმიროვანიჯა ალუვიალნიხ სვიტ, Trudy GIN AN SSSR, 135, Moskwa
- Szatten D., Habel M., Pellegrini L., Maerker M., 2018, Assessment of Siltation Processes of the Koronowski Reservoir in the Northern Polish Lowland Based on Bathymetry and Empirical Formulas. Water 10
- Szczegółowy podział dorzecza Wisły, oprac. pod red. Nauk. Kazimierza Dębskiego, 1954, Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego, Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa, z.28
- Szmańda J.B., 2002, Litofacjalny zapis powodzi w wybranych fragmentach równin zalewowych Wisły, Drwęcy i Tążyny. Maszynopis pracy doktorskiej. Archiwum Instytutu Geografii UMK w Toruniu
- Szmańda J.B., 2004, Znaczenie materiału źródłowego i transportu ziaren w akumulacji powodziowej -studium przypadku - aluwia pozakorytowe Wisły, Drwęcy i Tążyny. Prace Geogr. IGiPZ PAN
- Szmańda J.B., 2009, Koncepcja modelu uwarunkowań depozycji aluwiów pozakorytowych. [w:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), V Seminarium „Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych”. Rozwój dolin rzecznych w warunkach zmian klimatu i zróżnicowanej antropopresji, 26-28.10. 2009. Kołobrzeg
- Szmańda J.B., 2010, Litodynamiczna interpretacja środowiska fluwialnego na podstawie wskaźników uziarnienia, Landform Analysis, vol.12
- Szmańda J.B., 2011, Zapis warunków depozycji w uziarnieniu aluwiów pozakorytowych, Landform Analysis, 18
- Szmańda J.B., Gierszewski P.J., Habel M., Luc M., Witkowski K., Bortnyk S., Obodovskiy O., 2021, Response of the Dnieper river fluvial system to the river erosion caused by the operation of the Kaniv hydro-electric power plant (Ukraine)

- Szumański A., 1986, Postglacialna ewolucja i mechanizm transformacji dna doliny dolnego Sanu, *Kwartalnik AGH, Geologia* 12, z.1
- Szwarczewski P., 1999, Zawartość metali ciężkich w osadach aluwialnych jako wskaźnik ewolucji dolin rzecznych, maszynopis pracy doktorskiej, WGiSR UW, Warszawa
- Teisseyre A.K., 1984, Procesy fluwialne i rozwój koryta górnego Bobru na odcinku badawczym w Błazkowej (1967-1982), *Geol. Sudet.*, 19,1
- Teisseyre A.K., 1991, Klasyfikacja rzek w świetle analizy systemu fluwialnego i geometrii hydraulicznej, *Prace Geologiczno-Mineralogiczne*, 22, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław
- Thomason J.F., Iverson N.R., 2006, Microfabric and microshear evolution in deformed till, *Quaternary Science Reviews* 25
- Tomczak A., 1971, Kępa bazarowa na Wiśle w Toruniu w świetle badań geomorfologicznych oraz archiwalnych materiałów kartograficznych, *Studia Societatis Scientiarum Torunensis, Toruń, Sec.C, vol.VII, no.6*
- Tomczak A., 1982, The evolution of the Vistula river valley between Toruń and Solec Kujawski during the Late Glacial and Holocene, [w:] L. Starkel (red.), *Evolution of the Vistula river valley during the last 15 000 years. Pt. I. Geographical Studies, Special Issue 1*
- Tomczak A., 1987, Evolution of the Vistula Valley in the Toruń Basin in the late glacial and holocene, [w:] L. Starkel (red.) *Evolution of the Vistula River valley during the last 15000 years, Part II, Geogr. Studies, Spec. Iss.*, 4
- van der Meer J.J.M., 1982, The Fribourg area, Switzerland, A study in Quaternary geology and soil development, PhD Thesis, University of Amsterdam
- van der Meer J.J.M., 1987, Micromorphology of glacial sediments as a tool in distinguishing genetic varieties of till, *Geological Survey Finland Special Paper* 3
- van der Meer J.J.M., 1993, Microscopic evidence of subglacial deformation, *Quaternary Science Reviews* 12
- van der Meer J.J.M., 1996, Micromorphology. In: Menzies J. (Ed.), *Glacial environments, vol. 2. Butterworth & Heinemann, Oxford*
- van der Meer J.J.M., Mensis J., 2011, The micromorphology of unconsolidated sediments. *Sedimentary Geology* 238
- van der Meer J.J.M., Menzies J., Rose, J., 2003, Till, the deformable glacier bed. *Quaternary Science Reviews* 22
- van der Meer, J.J.M., van Berghem J.W., van Dreumel P.F., 1994, Microscopische waarnemingen aan vervuilde waterbodems van de zuidrand van het noordelijke deltabekken. *Grondboor Hamer* 48
- van der Meer J.J.M., Múcher H.J., Höfle H.Ch., 1992, Micromorphological observations on till samples from the Shackleton Range and North Victoria Land, Antarctica. *Polarforschung* 62
- van der Meer J.J.M., van Berghem J.W., van Dreumel P.F., 1996, Microscopische waarnemingen aan doorlatendheid en chemische stabiliteit van vervuilde waterbodems, *H2O* 29

- van der Meer J.J.M., Warren W.P., 1997, Sedimentology of late glacial clays in lacustrine basins, Central Ireland, *Quaternary Science Reviews* 16
- van der Meer J.J.M., Cees L., Micromorphology of some North Sea till samples, a pilot study, *Journal of Quaternary Science*, 1990
- van Vliet-Lanoë B., 2010, Frost action. In: Stoops G., Marcelino V., Mees F. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, Amsterdam
- van Vliet-Lanoë B., Coutard J.P., Pissart A., 1984, Structures caused by repeated freezing and thawing in various loamy sediments: a comparison of active, fossil and experimental data. *Earth Surface Processes Landforms* 9
- Vandenberghe J., 1995, Timescales, climate and river development, *Quaternary Science Reviews*, tom 14, z.6
- Vandenberghe J., 2002, The relation between climate and river processes, landforms and deposits during the Quaternary, *Quaternary International*, tom 91, z.1
- Visher G.S., 1969, Grain-size distributions and depositional processes. *J. Sedim. Petrol.*, 39
- Volk V.H., Geyger E., 1970, "Schaumböden" als Ursache der Vegetationslosigkeit in ariden Gebieten, *Zeitschrift Geomorphologie N.F.* 14
- Vörösmarty C.J., Sharma K.P., Fekete B.M., Copeland A.H., Holden J., Marble J., Lough J.A., 1994, The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world. *Ambio* 26
- Vrolijk P., Sheppard S.M.F., 1991, Syntectonic carbonate veins from the Barbados accretionary prism (ODP Leg 110): record of paleohydrology, *Sedimentology* 38
- Wachecka-Kotkowska L., 2004, Ewolucja doliny Łuciąży – uwarunkowania klimatyczne a lokalne, *Acta Geographica Lodziensia*, nr 86, Łódzkie Towarzystwo Naukowe
- Walling D.E., 1978, Reliability considerations in the evaluation and analysis of river loads, *Z. F. Geo-morph. Suppl.*, 29
- Walling D.E., Fang D., 2003, Recent trends in the suspended sediment loads of the world's rivers. *Journal of Global and planetary change*, 39
- Warren L.A., Zimmerman A.P., 1994, The importance of surface area in metal sorption by oxides and organic matter in a heterogeneous natural sediment, *Applied Geochemistry* 9
- Wentworth K., 1922, A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, *Journal of Geology*, Vol.30, no. 5
- Wierzbicki J. z zespołem, 1993, Uszczegółowienie koncepcyjnego rozwiązania trasy regulacyjnej koryta SSQ na granicznym odcinku rzeki Odry km 542,4 – 704,1. Politechnika Warszawska, (maszynopis)
- Wilkinson T.J., Bunting B.F., 1975, Overland transport of sediment by rill water in a periglacial environment in the Canadian high Arctic. *Geografiska Annaler* 57A
- Williams G.P., Wolman M.G., 1984, Downstream effects of dams on alluvial rivers, *United States geological survey professional paper* 1286, Washington
- Wiśniewski E., 1976, Rozwój geomorfologiczny doliny pomiędzy Kotliną Płocką a Kotliną Toruńską, *Prace Geograficzne*, nr 119, IGiPZ PAN, Warszawa

- Wiśniewski E., 1987, The evolution of the Vistula river valley between Warsaw and Płock Basins during the last 15 000 years, [w:] L. Starkel (red.) Evolution of the Vistula River valley during the last 15000 years, Part II, Geogr. Studies, Spec. Iss., 4
- Wolman M.G., Leopold L.B., 1957, River flood plains: some observations on their formatio, Geol. Surv. Prof. Paper, 282-C
- Woś A., 2010, Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań
- Wrzesiński D., 2013, Entropia odpływu rzek w Polsce, Studia i Prace z Geografii i Geologii, 33, Wyd. Naukowe Bogucki, Poznań
- Yalin M.S., 1977, Mechanics of sediment transport. Pergamon Press, Oxford
- Zaniewski K., van der Meer J.J.M., 2005, Quantification of birefringence through image analyses, Catena 63
- Zdulski W., 2001, Środowiskowe efekty działania elektrowni wodnej we Włocławku. Kaskada, nr 1-2, Włocławek
- Zhang Q., Gu X., Singh V.P., Xu C.Y., Kong D., Xiao M., Chen X., 2015, Homogenization of precipitation and flow regimes across China: Changing properties, causes and implications. J. Hydrol. 530
- Zieliński T., 2014, Sedymentologia. Osady rzek i jezior, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań
- Zieliński W.K., Strzelecki M., 2002, Komputerowa analiza obrazu biomedycznego. Wstęp do morfometrii i patologii ilościowej. PWN, Warszawa-Łódź
- Ziemska H., 1928, Próba spostrzeżeń i badań nad erozją wód Wisłoka, Czas. Geogr., 6:
- Zwoliński Z., 1980, A reconstruction of the morpho-dynamics of a creek channel on the basis of the graining of alluvia, Copper Creek Basin, Australia, Quaestiones Geographicae, 5,6
- Zwoliński Z., 1985, Sedymentologia osadów przyrostu pionowego na terasie zalewowej Parsęty. Bad. Fizjogr. nad Pol. Zach., Ser. A, Geografia Fiz., 35
- Zwoliński Z., 1989, Geomorficzne dostosowywanie się koryta Parsęty do aktualnego reżimu rzecznege, Polska Akademia Nauk, Dokum. Geogr., 3-4
- Zwoliński Z., 1993, Dynamics of bed load transport in the Parsęta River channel, Poland, [w:] M. Maržo, C. Puigdefabregas (red.), Alluvial Sedimentation Spec. Publ. Int. Ass. Sedim., 17
- Żarska B., 2009, Specyfika i kierunki ochrony krajobrazu Doliny Środkowej Wisły na odcinku Puławy - Maciejowice [w:] Architektura krajobrazu, Studia i prezentacje, Kształtowanie i ochrona krajobrazu dolin rzecznych nr 3
- Żelazo J., 1997, Ocena oddziaływania na środowisko regulacji rzeki Wisły w km 598-601, Maszynopis RZGW, Warszawa

Spis tabel

Tab. 1. Chronologiczne zestawienie próbek osadów korytowych pobranych na rzece Wiśle w 2012.....	30
Tab. 2. Chronologiczne zestawienie próbek osadów pozakorytowych pobranych na brzegach Wisły w 2013	31
Tab. 3. Stan wody oraz przepływ wód dla profili stanowisk badawczych w momencie poboru próbek.....	53
Tab. 4. Wskaźniki uziarnienia próbek osadów Wisły wg wzorów Folka i Warda – stanowisko Kępa Polska.....	57
Tab. 5. Wskaźniki uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły wg wzorów Folka i Warda – stanowisko Toruń	61
Tab. 6. Wskaźniki uziarnienia wg wzorów Folka i Warda próbek osadów z rzeki Wisły	65
Tab. 7. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska.....	72
Tab. 8. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska.....	75
Tab. 9. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń.....	77
Tab. 10. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń	81
Tab. 11. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz	83
Tab. 12. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz	88
Tab. 13. Wymiary zdjęć mikroskopowych zastosowane dla analizowanych próbek osadów dolnej Wisły.	90
Tab. 14. Zbiorcze zestawienie cech mikromorfologicznych osadów korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły.....	153
Tab. 15. Wynik przeprowadzonej segmentacji obrazów cyfrowych dla szlifów wykonanych na próbkach osadów osadów pobranych z centralnej części koryta dolnej Wisły na stanowiskach w Kępie Polskiej (szlify 10.3 i 11.3), Toruń (szlify 7.3, 8.3 i 9.3) oraz Grudziądz (szlif 15.3). Za pomocą oprogramowania ImageJ/FIJI oceniono procentowy udział w poszczególnych klasach.	159

Spis rycin

Ryc. 1. Dorzecze Wisły z podziałem na górną, środkową i dolną Wisłę.....	14
Ryc. 2. Lokalizacja stanowisk badawczych (czerwone koła z trójkątem) na tle mezoregionów fizyczno-geograficznych z wyróżnieniem odcinków dolnej Wisły według klasyfikacji Babińskiego (1990)	15
Ryc. 3. Przestrzenna orientacja szlifów w próbce pobranej z koryta Wisły	38
Ryc. 4. Prezentacja etapów przygotowania próbek pobranych z koryta Wisły do analiz mikromorfologicznych	37
Ryc. 5. Widok pojedynczych obiektów oznaczonych na szlifie (cienkiej płytce) jednej z próbek osadów korytowych na pulpicie programu do cyfrowej analizy obrazu JMicroVision	41
Ryc. 6. Wartości orientacji (A) i azymutu w programie JMicroVision (B).....	42
Ryc. 7. Przykład przeprowadzonej segmentacji obrazu cyfrowego jednego ze szlifów osadów korytowych wraz z klasami wynikowymi uzyskanymi w programie ImageJ/FIJI/Trainable Weka Segmentation.....	43
Ryc. 8. Lokalizacja punktów poboru próbek osadów na tle profilu badawczego – stanowisko Kępa Polska.....	45
Ryc. 9. Lokalizacja punktów poboru próbek osadów na tle profilu badawczego – stanowisko Toruń.....	46
Ryc. 10. Lokalizacja punktów poboru próbek osadów na tle profilu badawczego – stanowisko Grudziądz	47
Ryc. 11. Przebieg średnich miesięcznych stanów wody dolnej Wisły.	49
Ryc. 12. Hydrogram przebiegu stanów wód Wisły na wodowskazu Kępa Polska w roku hydrologicznym 2012 i 2013.....	50
Ryc. 13. Hydrogram przebiegu stanów wód Wisły na wodowskazu Toruń w roku hydrologicznym 2012 i 2013.....	51
Ryc. 14. Hydrogram przebiegu stanów wód Wisły na wodowskazu Grudziądz w roku hydrologicznym 2012 i 2013.....	52
Ryc. 15. Procentowa zawartość poszczególnych frakcji w próbkach osadów Wisły – stanowisko Kępa Polska.....	54
Ryc. 16. Krzywe częstości rozkładu uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Kępa Polska.....	55
Ryc. 17. Krzywe kumulacyjne uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Kępa Polska. W czerwonej ramce przedstawiono wykres wyznaczony przez Vishera (1969).....	56
Ryc. 18. Procentowa zawartość poszczególnych frakcji próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Toruń.	58
Ryc. 19. Krzywe częstości rozkładu uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Toruń.	59
Ryc. 20. Krzywe kumulacyjne uziarnienia (krzywe Vishera) próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Toruń.	60

Ryc. 21. Procentowa zawartość poszczególnych frakcji w próbkach osadów rzeki Wisły - stanowisko Grudziądz.	62
Ryc. 22. Krzywe częstości rozkładu uziarnienia próbek osadów rzeki Wisły – stanowisko Grudziądz	63
Ryc. 23. Krzywe kumulacyjne uziarnienia (krzywe Visherera) – stanowisko Grudziądz. W czerwonej ramce przedstawiono wykres wyznaczony przez Visherera (1969)	64
Ryc. 24. Wykresy zależności podstawowych wskaźników uziarnienia wg Folka i Warda (1957): 1 - osadów facji korytowej, 2 - osadów facji wezbraniowej, 3 - osadów facji zbiornikowej; A - wysortowania (δ) i średniej średnicy ziarna (M_z), B - średniej średnicy ziarna (M_z) i skośności (Sk), C - skośności (Sk) i wysortowania (δ) Środowiska dyspozycyjne wyznaczone za Ludwikowską-Kędzia (2000).....	67
Ryc. 25. Wykres zależności wskaźników uziarnienia wysortowania do skośności wg Folka i Warda (1957) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły	67
Ryc. 26. Wykres zależności wskaźników uziarnienia skośności do średniej średnicy ziaren wg Folka i Warda (1957) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły	68
Ryc. 27. Wykres zależności wskaźników uziarnienia średniej średnicy ziaren do wysortowania wg Folka i Warda (1957) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły.....	68
Ryc. 28. Diagram C-M wg Passegi (1957, 1964) dla próbek osadów pobranych z dolnej Wisły	70
Ryc. 29. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska.	72
Ryc. 30. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Kępa Polska.....	76
Ryc. 31. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń.	78
Ryc. 32. Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Toruń.	82
Ryc. 33. Wyniki analiz ogólnych wybranych wskaźników fizyko-chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz.	84
Ryc. 34 Wyniki analiz szczegółowych wybranych pierwiastków chemicznych oznaczonych w pobranych próbkach osadów z rzeki Wisły dla stanowiska Grudziądz.	87
Ryc. 35. Lokalizacja miejsc poboru próbek z lewego brzegu Wisły – stanowisko Kępa Polska	91
Ryc. 36. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 35 (40 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska.....	92
Ryc. 37. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 35.2A. wykonanym z próbki nr 35 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska.....	94
Ryc. 38. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 33 (90 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska.....	95

Ryc. 39. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 33.2. wykonanym z próbki nr 33 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska.....	97
Ryc. 40. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 34 (120 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska.....	98
Ryc. 41. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 34.2. wykonanym z próbki nr 34 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska.....	99
Ryc. 42. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 36 (190 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska.....	100
Ryc. 43. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 36.2b wykonanym z próbki nr 36 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska.....	101
Ryc. 44. Lokalizacja miejsc poboru próbek ze środkowej części koryta Wisły – stanowisko Kępa Polska.....	102
Ryc. 45. Przedstawienie w dwóch płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 10 (5 cm) osadów korytowych dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska.	103
Ryc. 46. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 10.3. wykonanym z próbki nr 10 pobranej z koryta dolnej Wisły, stanowisko Kępa Polska.....	104
Ryc. 47. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 11 (10 cm) osadów korytowych dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Kępa Polska.	105
Ryc. 48. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 11.3. wykonanym z próbki nr 11 pobranej z koryta dolnej Wisły, stanowisko Kępa Polska.....	106
Ryc. 49. Lokalizacja miejsca poboru próbki nr 31 i 32, prawy brzeg Wisły w km 603-604 biegu rzeki – stanowisko Kępa Polska.....	107
Ryc. 50. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 32 (65 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Kępa Polska.	108
Ryc. 51. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 32.2. wykonanym z próbki nr 32 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska.....	109
Ryc. 52. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 31 (110 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Kępa Polska.	110
Ryc. 53. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 31.2. wykonanym z próbki nr 31 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Kępa Polska.....	111
Ryc. 54. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 19 - 22, lewy brzeg Wisły w km 724-725 biegu rzeki – stanowisko Toruń.....	112
Ryc. 55. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 22 (30 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń.....	113

Ryc. 56. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 22.2. wykonanym z próbki nr 22 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	114
Ryc. 57. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 21 (120 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń.	115
Ryc. 58. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 21.5. wykonanym z próbki nr 21 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	116
Ryc. 59. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 20 (280 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń.	117
Ryc. 60. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 20.2. wykonanym z próbki nr 20 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	118
Ryc. 61. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 19 (380 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy Toruń.	119
Ryc. 62. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 19.2. wykonanym z próbki nr 19 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	120
Ryc. 63. Lokalizacja miejsc poboru próbek nr 7-9, centralna część koryta Wisły w km 724-725 biegu Wisły – stanowisko Toruń.	121
Ryc. 64. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 7 (5 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta Wisły w Toruniu.	122
Ryc. 65. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 7.3. wykonanym z próbki nr 7 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	123
Ryc. 66. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 8 (15 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta Wisły w Toruniu.	124
Ryc. 67. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 8.3. wykonanym z próbki nr 8 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	125
Ryc. 68. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 9 (25 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta Wisły w Toruniu.	126
Ryc. 69. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 9.3. wykonanym z próbki nr 9 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	127
Ryc. 70. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 23 i 24, prawy brzeg Wisły w km 724-725 biegu rzeki – stanowisko Toruń.	128
Ryc. 71. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 23 (20 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Toruń.	129
Ryc. 72. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 23.2. wykonanym z próbki nr 23 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.	130

Ryc. 73. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 24 (170 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy Toruń.....	131
Ryc. 74. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 24.2. wykonanym z próbki nr 24 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Toruń.....	133
Ryc. 75. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 28 - 30, lewy brzeg Wisły w km 838-839 biegu rzeki – stanowisko Grudziądz.....	134
Ryc. 76. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 30 (40 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy w Grudziądz.....	135
Ryc. 77. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 30.2A wykonanym z próbki nr 30 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz.....	136
Ryc. 78. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 29 (95 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy w Grudziądz.....	137
Ryc. 79. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 29.2. wykonanym z próbki nr 29 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz.....	138
Ryc. 80. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 28 (240 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg lewy w Grudziądz.....	139
Ryc. 81. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 28.2. wykonanym z próbki nr 28 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz.....	140
Ryc. 82. Lokalizacja miejsca poboru próbki nr 15, centralna część koryta Wisły w km 838-839 biegu rzeki – stanowisko Grudziądz.....	141
Ryc. 83. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 15 (5 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku w centralnej części koryta w Grudziądz.....	142
Ryc. 84. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 15.3 wykonanym z próbki nr 15 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz.....	143
Ryc. 85. Lokalizacja miejsca poboru próbek nr 25 - 27, prawy brzeg Wisły w km 838-839 biegu rzeki – stanowisko Grudziądz.....	144
Ryc. 86. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 25 (30 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy w Grudziądz.....	145
Ryc. 87. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 25.2. wykonanym z próbki nr 25 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz.....	146
Ryc. 88. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 27 (85 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy w Grudziądz.....	147
Ryc. 89. Granice warstw sedimentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 27.2. wykonanym z próbki nr 27 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz.....	148
Ryc. 90. Przedstawienie w trzech płaszczyznach szlifów wykonanych z próbki nr 26 (145 cm) osadów dolnej Wisły na stanowisku brzeg prawy w Grudziądz.....	149

Ryc. 91. Granice warstw sedymentacyjnych oraz zasięg pól wysokorozdzielczych fotografii mikroskopowych w szlifie 26.2. wykonanym z próbki nr 26 pobranej na dolnej Wiśle, stanowisko Grudziądz.	150
Ryc. 92. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 10.3	154
Ryc. 93. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 11.3	155
Ryc. 94. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 7.3	156
Ryc. 95. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 8.3	156
Ryc. 96. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 9.3	157
Ryc. 97. Orientacja (A) i azymut (B) ziaren w szlifie nr 15.3	158
Ryc. 98. Procentowy udział wyznaczonych klas w analizowanych szlifach wykonanych z próbek pobranych z centralnej części koryta dolnej Wisły na stanowiskach w Kępie Polskiej (szlify 10.3 i 11.3), Toruń (szlify 7.3, 8.3 i 9.3) oraz Grudziądz (szlif 15.3).....	160
Ryc. 99. Ilustracja zbiorczego zestawienia cech mikromorfologicznych osadów korytowych i pozakorytowych dolnej Wisły na podstawie tabeli 14.....	167

Stage I: Segmentation

