

II. EKSPERTYZA HYDROLOGICZNO- HYDROTECHNICZNA



dr hab. Artur Magnuszewski, prof. UW

Zakład Hydrologii WGSR
Uniwersytet Warszawski

doc. dr inż. Piotr Kuźniar

Politechnika Warszawska
Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki

mgr inż. Borys Bednarek

Halcrow Group Sp. z o.o. Oddział w Polsce

1. WSTĘPNA EKSPERTYZA HYDROLOGICZNO-HYDROTECHNICZNA

NA TEMAT OBECNYCH I PRZEWIDYWANYCH WARUNKÓW PRZEPIYU W REJONACH LOKALIZACJI WYSP TRWAŁYCH I ŁAWIC

(doc. dr inż. Piotr Kuźniar)

1.1. CEL I ZAŁOŻENIA DLA UTWORZENIA WYSP TRWAŁYCH I ŁAWIC

W ramach realizacji Projektu Life + przewiduje się wykonanie szeregu konkretnych działań służących aktywnej ochronie ptaków wodnych w szczególności z rządu siewkowych, a kluczowymi gatunkami, do których odnosi się Projekt są rybitwa białoczelna (*Sternula albifrons*) i rybitwa rzeczna (*Sterna hirundo*). Część działań zaplanowanych do realizacji w projekcie wymaga zmiany sposobu zagospodarowania terenu.

Projekt jest realizowany na 50-kilometrowym odcinku Wisły Warszawskiej wraz z terenem międzywala (km 488 - km 538) zawierającym fragment Obszaru Specjalnej Ochrony Ptaków (OSOP) „Dolina Środkowej Wisły” (kod obszaru PLB140004) sieci ekologicznej Natura 2000 oraz pobliskie rezerваты – „Wyspy Zawadowskie”, „Ławice Kiełpińskie” i częściowo „Wyspy Świdorskie”.

Jednym z konkretnych działań przewidzianych w Projekcie jest utworzenie co najmniej jednej dużej, trwałej wyspy oraz dwóch mniejszych ławic piaszczystych zlokalizowanych poza głównym nurtem rzeki. Duża wyspa stała powinna osiągać wysokość zbliżoną do poziomu wód średnich, a ławice piaszczyste, również pozbawione kontaktu lądowego z brzegiem, powinny mieć wysokość zbliżoną do górnej granicy stanów niskich. Duża stała wyspa o powierzchni co najmniej 2 ha powstanie poprzez odizolowanie fragmentu istniejącego lądu przy pomocy specjalnie w tym celu wykonanego koryta bocznego lub odtworzenie odnogi w części pozanurtowej rzeki, z zachowaniem stałego lub okresowego zwolnionego przepływu wód. Ławice piaszczyste powinny zostać tak zaprojektowane, aby mogły samoistnie odtwarzać się w wybranej lokalizacji. Wyspy nie powinny powodować wzrostu zagrożenia powodziowego, w szczególności pogorszenia przepływu wód wezbraniowych oraz pochodu lodów.

Lokalizacja wysp i ławic powinna być dostosowana do istniejących form morfologicznych oraz umożliwiać adaptację zarówno tych form jak i fragmentów istniejących budowli hydrotechnicznych. Realizacja zamierzenia gwarantująca stały efekt ekologiczny może wymagać przebudowy budowli regulacyjnych na przykład poprzez częściowe (na fragmencie) obniżenie korony lub likwidację odcinka korpusu budowli. Ostateczny sposób ukształtowania budowli regulacyjnych będzie zależał od inwentaryzacji i ekspertyzy hydrotechnicznej.

Przygotowane projekty będą podstawą stworzenia siedlisk odpowiednich do gniazdowania rybitw i mew, a także poprawiających warunki żerowania i postoju w trakcie migracji innych ptaków siewkowych, w warunkach zbliżonych do naturalnych – wyspy piaszczyste bez pokrywy roślinnej i wyspy częściowo porośnięte roślinnością, izolowane od napływu przypadkowych osób, miejsca bezpiecznego lęgu i odpoczynku, płytkie fragmenty rzeki odpowiednie dla tarła i rozwoju narybku jako głównego pokarmu rybitw i mew.

1.2. WARUNKI HYDRODYNAMICZNE SPRZYJAJĄCE TWORZENIU WYSP TRWAŁYCH I ŁAWIC

Formowanie koryta rzecznego odbywa się pod wpływem dwóch podstawowych procesów rumowiskowych - erozji i akumulacji. Każdy z nich może być wywoływany przez różne zjawiska lub zespoły zjawisk hydrodynamicznych, nazywanych procesami korytotwórczymi. Zachodzą one pod wpływem jednoczesnego, wzajemnego oddziaływania pomiędzy wodą a dnem i brzegami koryta za pośrednictwem sił tarcia. Interaktywny charakter tego oddziaływania powoduje, że odróżnienie przyczyn przeobrażania się koryta od ich skutków, bez ścisłego wyodrębnienia istoty pojedynczych zjawisk, bywa często bardzo trudne.

Najbardziej sprzyjające tworzeniu się wysp, odsypisk i ławic w korycie głównym są trzy procesy korytotwórcze polegające na:

- formowaniu zmiennego układu linii nurtu, odpowiadającego aktualnej wartości przepływu,
- dostosowaniu uprzywilejowanej strefy przepływu wody do przebiegu wykształconych krawędzi brzegów,
- osadzaniu materiału wlezonego bezpośrednio przed i bezpośrednio za przewężeniami pola przepływu rumowiska.

O kształcie, czyli o układzie sytuacyjnym linii nurtu dla danej wartości przepływu decyduje rozkład naprężeń stycznych na powierzchni zwilżonej koryta. Przy znacznych i wyrównanych napelnieniach przekroju koryta (na przykład w okresie przejścia wielkich wód) rozkład ten jest na ogół równomierny, a dominującymi są siły bezwładności. Powoduje to, że ruch wody przy dużych wartościach przepływu odbywa się prostoliniowo, dopóki nie wystąpi hydrodynamiczna reakcja brzegu usytuowanego nierównolegle do kierunku przepływu lub inne siły oporu, wynikające na przykład z obecności zwartej roślinności w obrębie pola przepływu. W miarę zmniejszania się wartości przepływu rośnie udział sił tarcia w całkowitym bilansie pędu płynącej wody, a ich rozkład wzdłuż obwodu zwilżonego staje się coraz mniej równomierny. Zależy on od rodzaju (średnic i ciężaru) oraz form transportowanego rumowiska, a także od kształtu i szorstkości linii brzegowej. Deformacji ulega zatem także rozkład prędkości w poszczególnych przekrojach poprzecznych rzeki, co w konsekwencji prowadzi do zmiany położenia osi dynamicznej i układu linii nurtu.

Skrajnym przypadkiem są przepływy najniższe, których nurt w początkowej fazie układa się nie tylko pod wpływem sił tarcia i relatywnie małych sił bezwładności. Jego położenie jest uwarunkowane rozmieszczeniem odkładów rumowiska wlezonego uformowanych wcześniej przez przepływy wyższe. Po okresie zwanym „docieraniem się” koryta może dojść do osiągnięcia stanu naturalnej równowagi hydrodynamicznej o ile wcześniej nie nastąpi zmiana przepływu. Zjawisko to jest ściśle związane z tworzeniem się uprzywilejowanej strefy przepływu wody (rynnny brzegowej) wzdłuż wykształconych krawędzi brzegów koryta.

Proces hydrodynamiczny, w którym uprzywilejowana strefa przepływu wody dostosowuje swój przebieg do stromych brzegów koryta, może być traktowany jako bezpośredni skutek zjawiska koncentracji strug podczas opływu przeszkody umieszczonej w polu prędkości.

Towarzyszą mu zwykle procesy erozji bocznej i dennej, których skutki w formie obniżonego dna można obserwować na wielu przykładach. Będą go więc wywoływać zarówno wyspy przewężające pole przekroju poprzecznego, jak też dolne odcinki łuków brzegów wklęsłych, niezależnie od wielkości przepływu. Proces ten występuje bowiem zarówno w okresie przejścia wód wielkich, których znaczna część układa się często wzdłuż wysokich skarp doliny lub wałów przeciwpowodziowych jak i w czasie występowania tzw. wody brzegowej, która tworzy charakterystyczne przegłębienia przekrojów poprzecznych koryta u podnóży stromych skarp tarasów zalewowych.



Fot. 76. Morfologia koryta głównego ukształtowana przy różnych wielkościach przepływu.

Proces ten widoczny jest także przy przepływach niskich, które formują swoje nowe koryto pomiędzy piaszczystymi odsypami, wykorzystując lokalne wyboje poniżej czoła makrofałd pozostawionych przez wody wielkie. Późniejsze wykształcanie się ostrokrawędzistych piaszczystych brzegów koryta niskiej wody potocznie bywa określane jako „cięcie przykosi” (Fot. 76.).

Przypadek ten świadczy, że może występować także zjawisko odwrotne - istniejąca (powstała w sposób naturalny bądź sztuczny) stroma skarpa brzegu powoduje koncentrację strug nawet w przypadkach, gdy nie stanowi ona przeszkody usytuowanej na kierunku przepływu. Łatwo dostrzegalnym efektem tej koncentracji jest tworzenie się przegłębień przy brzegach o stromo wykształconych skarpach. Jest to często jedyna droga umożliwiająca żeglugę na rzece dzikiej w okresie niskich stanów wody.

Charakterystyczną cechą Wisły Środkowej jest liczne występowanie zmian szerokości mierzonej na różnych poziomach – zarówno koryta wody średniej, koryta głównego, jak i międzywala. Także odcinkowa zabudowa regulacyjna (brak ciągłej zabudowy systemowej charakterystycznej dla odcinków zlokalizowanych w byłym zaborze austriackim czy pruskim) powoduje naprzemienne występowanie odcinków o szerokościach naturalnych i odcinków skoncentrowanych. Układ przepływów wezbraniowych kształtują również skupiska zwartej

zabudowy roślinnej występujące na obszarze międzywala. Nie tylko ograniczają one ogólną przepustowość międzywala, ale również kształtują zmienne szerokości koryta wielkich wód.

W strefie poprzedzającej początek odcinka zwężonego z reguły dominują procesy akumulacyjne. Wynika to ze zbyt małej szerokości czynnej dna potrzebnej dla przeprowadzenia rumowiska (Fot. 77.).



Fot. 77. Strefy akumulacji rumowiska wleczonego w rejonie wlotu do przewężenia

Część rumowiska wleczonego zostaje wówczas wyprowadzana na tereny zalewowe - tarasy i powierzchnie dużych wysp. Dalsze procesy związane z ruchem rumowiska na tych obszarach zależą od ogólnej formy (geometrii) koryta wielkich wód oraz stopnia zabudowy roślinnej. Najczęściej dochodzi do nadbudowywania tych terenów, rzadziej do erozji lub do ruchu tranzytowego. Znaczna część rumowiska zostaje jednak złożona w obrębie koryta głównego przed wlotem do odcinka przewężonego. Często zdarza się, że obszar sedimentacji obejmuje swym zasięgiem także początkowy, krótki fragment odcinka uregulowanego. Dochodzi wówczas do powstawania głębokich wybojów i rozmyć u podnóży skarp brzegowych („obrywania brzegów”) i rozwoju erozji bocznej.

Podobne zjawisko można zaobserwować na fragmentach nieuregulowanych, gdzie boczne, wąskie ramiona rzeki „zatykają się” wypiętrzoną rumowiskiem w rejonie wlotu.

Procesy akumulacyjne cechują także strefy koryta leżące na zakończeniu odcinków zwężonych, w szczególności uregulowanych, gdzie dochodzi do dekoncentracji przepływu. Wiąże się z tym dwa typy zjawisk hydraulicznych - zmniejszanie się podłużnych składowych prędkości przepływu wody przy jednoczesnym wzroście składowych pionowych i poprzecznych. Maleją jednocześnie obydwa czynniki decydujące o wartości podłużnej siły poruszającej - ciśnienie oraz spadek hydrauliczny. Intensywność turbulencji wywołuje wzrost ilości transportowanego rumowiska w postaci unoszonej, lecz równocześnie maleje zdolność transportowa grubych frakcji rumowiska wleczonego. Pod względem genezy zjawisko to jest podobne do mechanizmu tworzenia się stożków napływowych (Fot.78.).



Fot. 78. Strefa akumulacji rumowiska wlezonego poniżej przewężenia

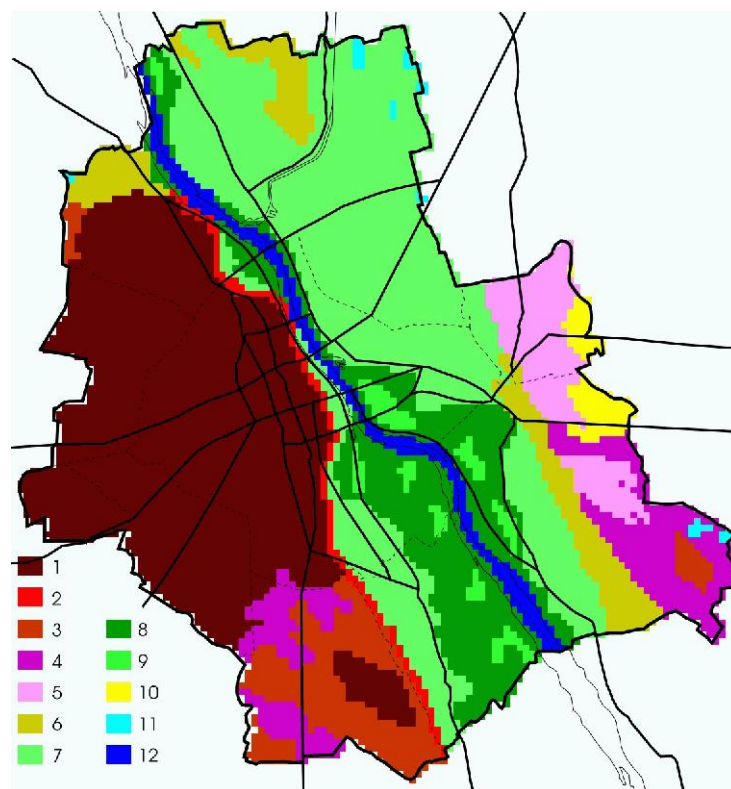
Procesy akumulacji doprowadzają do sortowania materiału dennego w taki sposób, że najbliżej - bezpośrednio poniżej przewężenia (lub nawet w jego końcowej strefie) - osadzone są ziarna najgrubsze, zaś najdrobniejsze odnoszone są najdalej. Podpiętrzenie lustra wody powstające w wyniku sedymentacji wywołuje dalszy spadek prędkości przepływu, sprzyjający dalszemu rozwojowi procesów akumulacji rumowiska wlezonego. W konsekwencji dochodzi do poszerzania i dzielenia się koryta na liczne ramiona boczne z wyspami zbudowanymi na pokładach gruboziarnistych aluwów.

Sortowanie aluwów odbywa się nie tylko wzdłuż kierunku przepływu, ale również w profilu poprzecznym rzeki. Najgrubsze frakcje złożone przez przepływy wielkie pozostają „na zewnątrz” koryta wody średniej czy niskiej, w wyniku czego może ono przybierać skoncentrowaną formę, stanowiącą przedłużenie fragmentu uregulowanego.

Ze zjawiskiem dekoncentracji przepływu wód wielkich w obrębie koryta głównego wiąże się nie tylko niszczenie zabudowy i ogólna dewastacja brzegów i terenów międzywała. Skierowanie części przepływu w stronę wałów przeciwpowodziowych powoduje wzrost zagrożenia erozją podstawy skarpy. Strefy przekrojów poprzecznych przylegające do wałów, ograniczone z jednej strony gładką, trawiastą powierzchnią wału, z drugiej zaś krawędzią zwartej zabudowy roślinnej, są szczególnie korzystne dla rozwoju procesu formowania się „rynny brzegowej”.

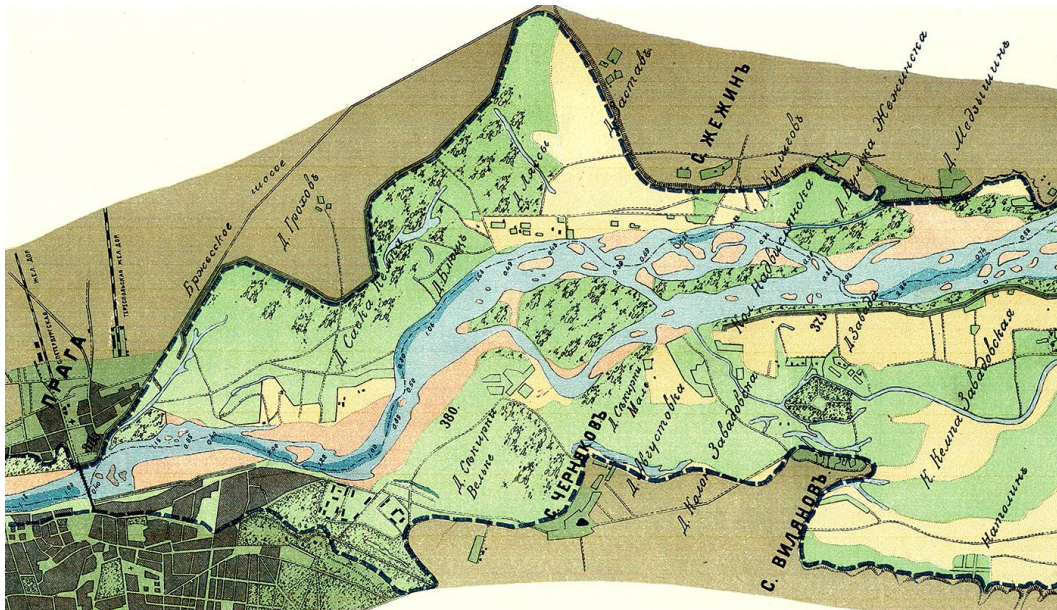
1.3. OGÓLNE WARUNKI HYDRODYNAMICZNE W KORYCIE WISŁY WARSZAWSKIEJ

Warszawski odcinek Wisły jest przykładem silnego zróżnicowania szerokości wszystkich podstawowych typów koryt – wód niskich i średnich, koryta głównego prowadzącego wody brzegowe, jak i międzywala. Bywa on nazywany „gorsetem warszawskim” z racji stopniowego zwężenia się koryta wielkich wód, z których najwęższy znajduje się w km 514 w profilu Mostu Śląsko-Dąbrowskiego i liczy niepełne 500 m szerokości rzeki. Przewężenie to, wynika zarówno z naturalnych czynników geomorfologicznych jak i z zabudowy hydrotechnicznej.

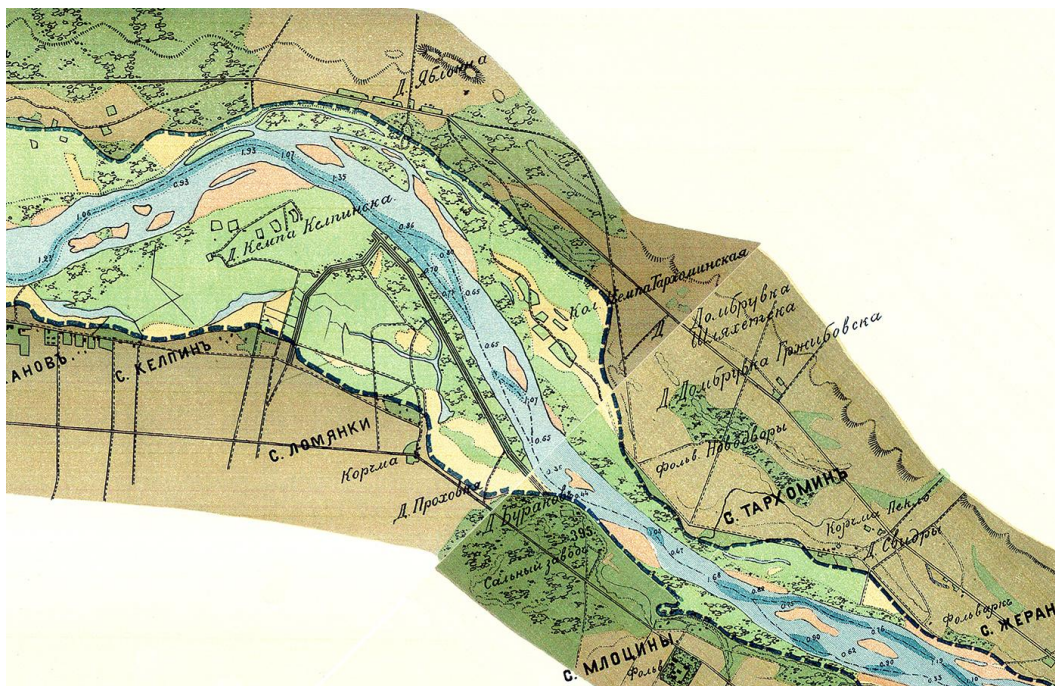


Ryc.5. Schemat rozlokowania podstawowych form morfologicznych na terenach Warszawy. 1 - wysoczyzna Warszawska, 2 – skarpa, 3 - wysoczyzna zdenudowana, 4 - taras erozyjno-denudacyjny, 5 - równina zastoiskowa "Radzywińska", 6 - taras wydmowy, 7 - taras akumulacyjny "Praski", 8 - taras zalewowy, 9 - kępy nadwiślańskie, 10 - pole wydmowe, 11 – torfowiska, 12 - koryto Wisły (autor K. Błażejczyk, Zakład Klimatologii IGiPZ PAN)

Pierwotnie w pradolinie Wisły Warszawskiej znajdowała się druga, prawa część koryta wód wielkich, która pełniła rolę kanału ulgi wyprowadzającego nadmiar wód powodziowych na północ w kierunku Narwi (Ryc.5.). Stopniowe zmniejszanie się liczby powodzi i ich wielkości, wcinanie się koryta głównego w podłoże doliny z jednoczesną nadbudową najniższych położonych terenów w prawobrzeżnej części miasta stanowiły pierwszy etap zwężania czynnego przekroju doliny. Drugim etapem było obwałowywanie – początkowo lewobrzeżnych, a później także prawobrzeżnych terenów zalewowych prowadzone od połowy XIX wieku.



Ryc.6. Fragment rosyjskiej mapy Wisły (1875-77) z oznaczonym przebiegiem dawnego wału przeciwpowodziowego zakończonego przed ujściem Wilanówki i wyspami kształtującymi współczesny łuk siekierkowski



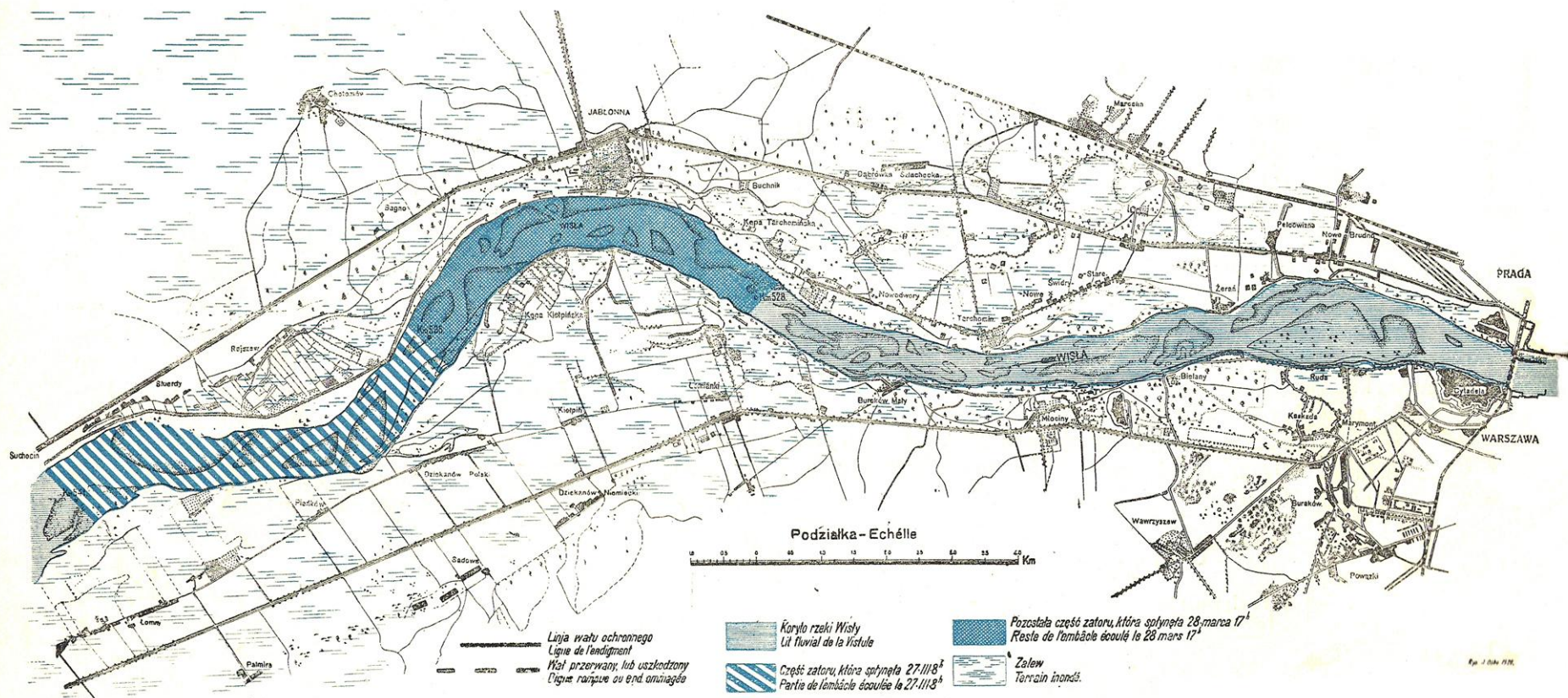
Ryc.7. Fragment rosyjskiej mapy Wisły (1875-77) z oznaczonym przebiegiem dawnego wału przeciwpowodziowego w rejonie Łomianek i odsypami na wypukłym brzegu Керы Кіельпінскіей

Kształt dawnego ukształtowania koryta wielkich wód w obrębie „gorsetu warszawskiego” określają linie zasięgu zalewu pokazane na fragmentach mapy Wisły z 1875-77 r. (Ryc. 6 i 7). Zabudowa przeciwpowodziowa południowej części Warszawy wykonana w połowie XIX w. doprowadziła do powstania dużego zespołu wysp o różnych wielkościach. Ich charakterystyczne położenie pomiędzy zakończeniem wału biegnącego od Góry Kalwarii, a zwężeniem koryta w obrębie miasta jest wynikiem nałożenia się procesów akumulacyjnych (opisanych w rozdziale 1.2.) generowanych przez przepływy powodziowe.

Specyficznym ukształtowany wał przeciwpowodziowy w rejonie Łomianek, o wyraźnych cechach wału kierującego, wydłużył zasięg przewężenia. Osadzanie się znacznych ilości rumowiska na zakończeniu niemal prostoliniowego koryta, biegnącego początkowo wzdłuż lewego wału, a następnie wzdłuż brzegu lewego, zachodziło pod wpływem dwóch różnych procesów. Jednym z nich było oddziaływanie wału przeciwpowodziowego – zwężającego, a następnie gwałtownie rozszerzającego przekrój czynny koryta wielkich wód. Drugim powodem była gwałtowna zmiana kierunku przepływu wielkich wód. Napotykając wysoko wyniesione wydmy w rejonie Rajszewa strumień wody kierował się na zachód, zaś strumień rumowiska, tracąc swoją energię kinetyczną osadzał w tym miejscu większość piasków.

Prawdopodobnie właśnie w wyniku takich procesów doszło do odłożenia w rejonie Jabłonny tak znacznych ilości osadów, których nie był w stanie pokonać wiosenny spływ lodów w 1924 r. (Ryc. 8). Była to powódź roztopowo-opadowa więc bezpośrednią przyczyną utrudnionego odpływu lodów (przewagi ilości dopływającej nad odpływającą) i uformowania się zatoru musiała być bardziej „krętość” koryta i zbyt duża liczba ramion bocznych niż wypływanie dna.

W latach 70-tych XX w. nominalny rozstaw wałów dla Wisły Środkowej ustalono na ok. 950 m. Wymiar ten został prawdopodobnie przejęty z Kazimiersko – Puławskiego Przełomu Wisły, gdzie występuje taka właśnie, naturalnie ukształtowana szerokość doliny. W większości przypadków projektanci pozostawili rzecę jednak więcej miejsca - przeciętna szerokość międzywała na długości Wisły Środkowej wynosi ok. 1200 m.



Na ulicy Czerniakowskiej woda stała na $\frac{1}{2}$ m. wysoko. Zalane były również przedmieścia Siekierki, Potok i Pelcowizna, gdziegdzie aż po strychy domostw.

Ryc.8. Plan zatoru na Wiśle poniżej Warszawy w okresie 27.– 28.03.1924 r. z fragmentem opisu sytuacji w innych częściach miasta

1.4. CHARAKTERYSTYKA I WARUNKI HYDRODYNAMICZNE W REJONACH WYBRANYCH LOKALIZACJI (SYTUACJA NA TLE STANU ZABUDOWY HYDROTECHNICZNEJ)

1.4.1. Rajszew, prawa strona koryta, km 533,5 – km 535,5



Fot. 79. Ogólny widok koryta w rejonie planowanych modyfikacji koryta w km 533 - 535

Podobnie do rejonu Kępy Kiełpińskiej, w rejonie Rajszewa, pomimo dość prostoliniowego przebiegu prawego wału przeciwpowodziowego uformował się łuk wklęsły przechodzący w wypukły zakończony tzw. przejściem zgodnym z układem koryta wód wielkich. Koryto wód wielkich (międzywale) również w tym samym miejscu formuje przejście łuku z rejonu Rajszewa w łuk w rejonie Pieńkowa. Co ważne, ten wzajemny układ pozostaje w ścisłym związku z powyżej opisanymi zjawiskami i cechami morfologicznymi wysp po lewej stronie międzywala w rejonie Kępy Kiełpińskiej.

Rolę ramion bocznych (kanałów ulgi w warunkach wezbraniowych) na obu odcinkach pełnią dawne koryta główne, układające się wzdłuż wału przeciwpowodziowego.

Dawne ostrogi przecinające dno ramienia bocznego, pełniące dzisiaj rolę przetamowań jak i stanowiące wzmocnienie podstawy wysp rajszewskich, dopełniają analogii pomiędzy oboma tymi odcinkami.

Obserwuje się wyraźne zróżnicowanie rzędnych dna pomiędzy korytem głównym a bocznymi ramionami rzeki, powodujące, że pod względem hydraulicznym koryto ma budowę trójdzielną. Warunki takie są szczególnie ważne dla równomiernego spływu

rumowiska w dostosowaniu do aktualnej wartości przepływu, równomiernego spływu lodów bez wyhamowania ruchu kry spowodowanej małymi głębokościami jak i z odpowiednio (do dopływu lodów z góry rzeki) dużą prędkością.



Fot. 80. Dno zapiaszczonego prawego ramienia Wisły w rejonie km 534,5. Wysokość odsypów osiąga poziom korony przerwanych przetamowań (dawnych ostróg sięgających koryta głównego)

1.4.2. Kępa Kiełpińska, lewa strona koryta, km 530,5 – km 533,5

W rejonie km 530 - 533 km na odcinku zaledwie 3-ch kilometrów Wisła (koryto główne wraz z międzywalem) przybiera kształt łuku o kącie zwrotu wynoszącym ok. 90°. Niewiele jest takich miejsc na Wiśle Środkowej gdzie cała rzeka dokonuje tak gwałtownej zmiany kierunku, lecz wszędzie tam gdzie one występują zawsze dochodziło do powstawania gwałtownych przeobrażeń koryta i niebezpiecznych zdarzeń w okresach pochodu lodów – Regów (km 385), Stężycy (km 396) czy Świerże Górne. (km 425).

W XIX w., w okresie charakteryzującym się znaczną liczbą powodzi zarówno letnich jak i zimowych koryto główne układało się wzdłuż brzegów – przy brzegu lewym (zachodnim) powyżej wierzchołka łuku a poniżej wierzchołka łuku - przy brzegu prawym (północnym).



Fot. 81. Ogólny widok koryta w rejonie planowanych modyfikacji koryta w km 531 - 533

W okresie ostatnich niemal 100 lat w tym rejonie w zasadzie nie obserwowano zjawisk powodziowych, a w okresie ostatnich 50 lat były to jedynie sporadyczne wezbrania. W tak „spokojnych” pod względem hydrologicznym warunkach morfologia koryta osiągnęła formę wzorcową. Po stronie wypukłego brzegu międzywała uformował się zespół wysp, w części wysokich, porośniętych roślinnością o zróżnicowanej wysokości i porozcinanych ramionami bocznymi. Pod względem morfologicznym tworzą one typowe dla brzegu wypukłego „odsypisko” o następujących cechach:

- uformowane przez wody wyższe od brzegowej z części rumowiska wleczonego poddanej dużej dynamice przepływu,
- zdeponowane po stronie brzegu wypukłego w wyniku śrubowego ruchu strug wody na łuku,
- tworzące formę koncentrującą pozostałą część koryta głównego.



Fot. 82. Wysokość odkładu na wlocie do bocznego ramienia rzeki (po lewej) i zwarta budowa koryta (po prawej). Na pierwszym planie zniszczona stara ostroga w km 530.

Resztki budowli regulacyjnych w formie długich ostróg pełnią dzisiaj rolę zarówno niskich przetamowań jak i trwałego fundamentu stabilizującego podstawy wysp.

Koryto główne pozbawione jakichkolwiek budowli regulacyjnych (poza nieistotnymi odcinkami opasek brzegowych w rejonie Jabłonnej) przybrało formę zwartą:

- dobrze dostosowaną do zmiennych warunków hydraulicznych, przy czym zwartość koryta dotyczy znacznego zakresu przepływów,
- odpowiednią dla transportu rumowiska wlezonego (brak odsypisk śródkorytowych),
- kształtującą regularne, serpentynujące połączenie odcinka „lomiankowskiego” o kierunku S-N z „rajszewskim” o kierunku E-W.

1.4.3. Gołędzinów, prawa strona koryta, km 515,5 – km 516.5

Odcinek Wisły w rejonie Cytadeli posiada dość szczególną budowę geomorfologiczną. Nie przebiega po pokładach różnoziarnistych aluwów naniesionych, przerabianych i formowanych przez samą rzekę, lecz po utworach polodowcowych, których wychodnie znajdują się między innymi w rejonie Cytadeli. Fakt ten ma istotne znaczenie z wielu punktów widzenia, a szczególnie zaś z punktu widzenia rozwoju procesów korytotwórczych i transportu rumowiska.



Fot. 83. Twardoplastyczne ły trzeciorzędowe stanowiące podbudowę rafy w km 517.

Utwory polodowcowe stanowią grunty tzw. trudnorozmywane, których morfologia nie ulega zmianie pod wpływem zabudowy regulacyjnej. Natomiast prace bagrownicze wykonywane w razie „konieczności” prowadzą do nieodwracalnych zmian w korycie. Zmiany te mają znaczenie nie tylko lokalne, ale także na wielokilometrowym odcinku leżącym powyżej tego miejsca, co wielokrotnie wykazały sytuacje niżówkowe.

W warunkach przepływów wysokich, którym towarzyszy transport znacznych ilości rumowiska wlezonego, rzeka do jego przeprowadzenia musi uruchomić głębsze pokłady aluwii. Przy braku takiej możliwości cały transport odbywa się po powierzchni dna, a utwory nierozmywane przykrywane są grubą warstwą ruchomych piasków. Sytuacji takiej towarzyszy wzrost ogólnych oporów przepływu, wywołujący tendencje do dekoncentracji strumienia, a te z kolei do erozji bocznej i poszerzania się koryta.



Fot. 84. Ogólny widok koryta w rejonie planowanych modyfikacji koryta w km 516

Omawiany fragment rzeki w przeszłości próbowano poddać zabudowie regulacyjnej, z której obecnie pozostała tylko odremontowana ostroga usytuowana bezpośrednio poniżej mostów Gdańskich, w cieniu której uformował się typowy, piaszczysty odsyp (Fot.84.). Jest on połączony z brzegiem za pomocą „resztek” dwóch dawnych ostróg, pełniących obecnie rolę przetamowań. Trzecia i czwarta ostroga wraz z pozostałościami opaski brzegowej również w zasadzie nie istnieją (poza fundamentami).

Brak oczekiwanych, pozytywnych skutków przeprowadzonych robót regulacyjnych jak i szybkie niszczenie budowli powodowały podejmowanie robót bagrowniczych trwających z przerwami od lat międzywojennych do lat 90. XX wieku. Doprowadziły one do uformowania zwartej „rynny” biegnącej u podnóża lewego brzegu rzeki, rozcinającej dwa poprzecznie biegnące kamienne grzbiety rafy.

Fragmenty dna leżące po prawej stronie koryta zachowały swoje pierwotne rzędne, co w okresie niżówkowym 2012 pozwoliło odnaleźć tam rzeźby zatopione jeszcze w XVII w.

1.4.4. Miedzeszyn, prawa strona koryta, km 505 – km 506

Jest to fragment koryta głównego o celowo zwiększonej szerokości trasy regulacyjnej w obrębie przejścia łuku prawego – siekierkowskiego w łuk lewy – goclawski.

Brzeg lewy stabilizuje tama podłużna o typowej konstrukcji materacowo- kamiennej z zarefulowaną i silnie porośniętą częścią zalewową od strony wału siekierkowskiego.

Prawą krawędź trasy regulacyjnej wyznacza znacznie niższa tama podłużna biegnąca pomiędzy resztkami tamy z końca XIX w a skarpią tarasu zalewowego. W połowie lat 80. wzdłuż tej skarpy koncentrowała się większa część przepływu zwyczajnego.

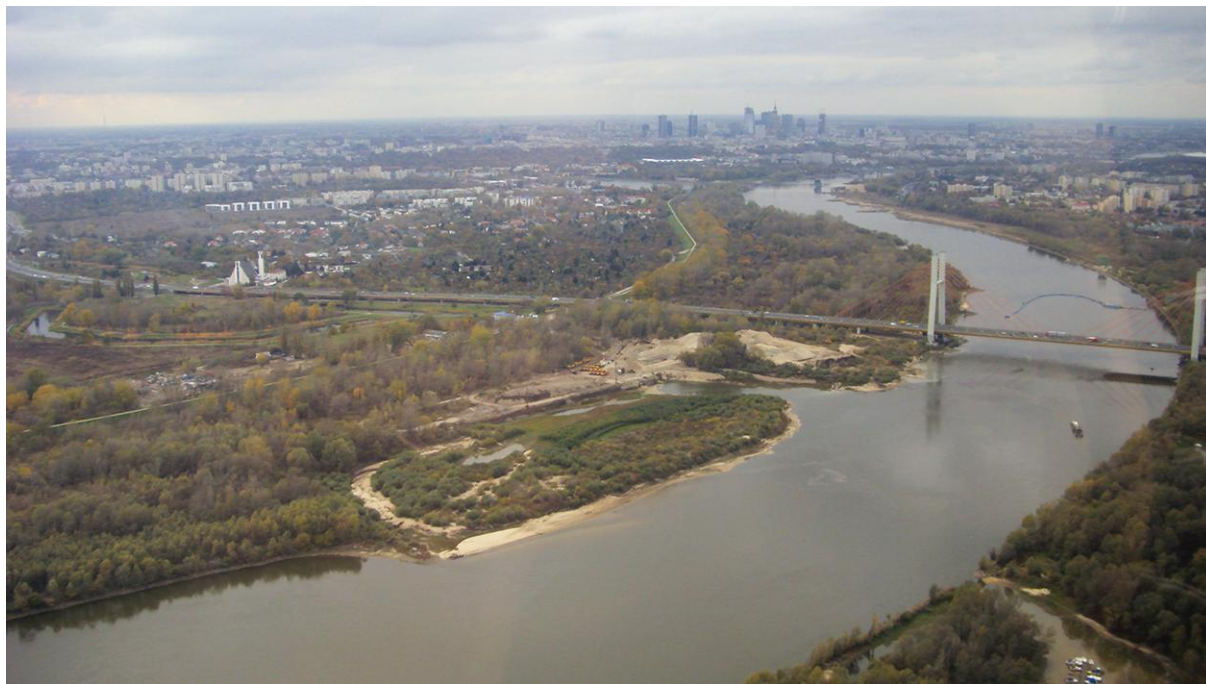
Odwrotne do typowego rozwiązanie regulacyjne pozwoliło uzyskać ”kontrolowane” wypiętrzenie dna (w profilu podłużnym rzeki) potrzebne do poprawy warunków pracy ujęcia wody dla EC Siekierki.

Piaszczyste odsypy na dość rozległym fragmencie koryta utrzymują się tutaj w podobnej formie na stałe – widoczne były one zarówno przed powodzią 2010 r., jak i podczas obecnej niżówki (Fot.85).

Wykonanie prawego ramienia bocznego, biegnącego wzdłuż skarpy tarasu zalewowego stanowić będzie odtworzenie sytuacji z okresu lat 80. ubiegłego wieku, kiedy tą drogą odbywał się przepływ wód zwyczajnych, zaś pozostałą część przekroju korytowego wypełniały piaski, sięgające niemal podstawy wału siekierkowskiego.



Fot. 85. Prawy brzeg Wisły w rejonie proponowanej lokalizacji. Widoczne trzy linie regulacyjne wraz z zasięgiem pola refulacyjnego oraz odsyp, który istniał w tym miejscu także przed powodzią 2010 r.



Fot. 86. Lewy, wypukły brzeg Wisły w rejonie portu WZEK o widocznej tendencji do akumulacji rumowiska i wysoki, porastający wikliną odsyp w strefie akwatorium portowego

1.4.5. Port WZEK (Piaskarnia Siekierki), lewa strona koryta, km 506 – km 507

Port wybudowany na potrzeby d. Warszawskiego Zakładu Eksploatacji Kruszywa powstał na przełomie lat 50. i 60. Było to miejsce służące do przeładunku piasku z barek na nabrzeże przewidziane do użytku tymczasowego. Usytuowano je bowiem z naruszeniem podstawowej zasady budowy portów rzecznych – na brzegu wypukłym, z akwatorium portowym zlokalizowanym w polu międzyostrogowym. Musiało to prowadzić do jego systematycznego zapiaszczania. Z uwagi jednak na specyficzny charakter tego miejsca, usuwanie nanoszonego rumowiska za pomocą sprzętu pogłębiarskiego pracującego w pobliżu, nie stanowiło żadnego problemu.

W latach 80. próbowano przeciwdziałać temu zjawisku rozbierając częściowo ostrogę hakową osłaniającą port od góry rzeki. Nie doprowadziło to jednak do spowolnienia sedymentacji w tym miejscu, dzięki której wysokość zdeponowanego rumowiska dochodziła do kilku metrów ponad lustro wody zwyczajnej. Pewien udział w tym procesie miał również intensywny porost wiklinowo – wierzbowy tego terenu (Fot.86.).

1.4.6. Zawady, lewa strona koryta, km 500 – km 502

Odcinek Wisły położony pomiędzy km 500 a km 502 stanowi strefę wlotową do obustronnie uregulowanego odcinka Wisły Warszawskiej. Powyżej km 500 istnieją jedynie pojedyncze ostrogi i odcinki opasek brzegowych spełniających rolę wyłącznie ochronną, nie należącą do zabudowy regulacyjnej porządkującej układ przepływu w korycie głównym.

Prawostronnym ograniczeniem pola przepływu jest tama równoległa wykonana w technologii szpuntpalowej (prefabrykowane brusy betonowe o długości 7 m połączone wzajemnie ze sobą na wpust, zwieńczone oczepem żelbetowym). Wierzch oczepu pierwotnie zaprojektowany do rzędnej wody średniej rocznej obecnie wznosi się na wysokość ok. 4 m powyżej zwierciadła wody niskiej.



Fot. 87. Dewastacja brzegu prawego w wyniku postępującej erozji dennej i parcia naziomu. Po lewej stronie koryta widoczne odsypy piaszczyste i skraj łągów na terenie proponowanej lokalizacji

Budowla ta obciążona jest dodatkowo parciem naziomu nielegalnie zwiezonego i rozplantowanego na potrzeby pola golfowego usytuowanego na terenach zalewowych pomiędzy brzegiem Wisły a Walem Miedzeszyńskim. Stateczność konstrukcji utrzymywana jest dzięki pracy oczepu, lecz w wyniku procesów erozji dennej poszczególne sekcje przewracają się do środka koryta (Fot.87.).

Lewy brzeg wykonany w postaci tamy równoległej przechodzącej w opaskę brzegową połączony jest z brzegiem przy pomocy dawnych ostróg szpuntpalowych adaptowanych na tamy poprzeczne. Pola między korpusami budowli zarefulowano z użyciem geowłókniny.

(połowa lat 80.). Celem tej budowli było jednoczesne ubezpieczenie wąskiego skrawka lewego brzegu oddzielającego koryto główne od podstawy wału przeciwpowodziowego jak i przedłużenie odcinka systematycznej regulacji w obrębie Warszawy, w kierunku południowym.



Fot. 88. Lewy brzeg Wisły w rejonie proponowanej lokalizacji. Widoczne odsłonięcie geowłkniny oraz ubytki narefulowanego piasku w wyniku oddziaływania wód powodziowych 2010

Nadmiernie przewężenie szerokości trasy regulacyjnej z nominalnych dla Warszawy 200–220 m do 180 m (docelowo nawet do 150 m) miało ułatwić wprowadzenie rumowiska wleczonego w uregulowany odcinek Wisły Warszawskiej. Hydrodynamicznym skutkiem tak ukształtowanej geometrii koryta jest silny rozwój erozji dennej, spotęgowany nielegalną nadbudową prawego brzegu.

Obserwuje się tendencję do niszczenia powierzchni lewego brzegu (Fot.88.), którego powierzchnia nie zdołała pokryć się trwałym porostem roślinnym, jak zakładano. Gwałtowne zwiększenie spadków dna w tym rejonie jest wynikiem różnicy rzędnych pomiędzy akumulacyjnym wypiętrzeniem na wlocie do przewężenia a poziomem dna w rynnicy erozyjnej.

Na takim odcinku, gdzie rzeka szuka dodatkowych dróg przepływu dla wody i rumowiska występują szczególnie korzystne warunki do wykonania sztucznego przekopu odcinającego fragment (sztucznie uformowanego) łądu od brzegu. Przekop ten ma duże szanse utrzymać swoją geometrię i „wspomagać” nadmierne obciążone koryto główne.

Przy właściwie dobranej geometrii obu ramion i odpowiednio wysokich przepływach nastąpi przypuszczalnie przeobrażenie niskich odsypów w wysoką wyspę, stanowiącą złożę piasku zdeponowane na wlocie do odcinka uregulowanego.



Fot. 89. Lewy brzeg Wisły w rejonie proponowanej lokalizacji. Widoczna skokowa zmiana szerokości sąsiadujących odcinków oraz podwodne formy rumowiska wprowadzanego w odcinek uregulowany

1.5. RANKING PROPONOWANYCH LOKALIZACJI

Zestawienie lokalizacji przedstawione w tabeli jest zgodne z obowiązującym kilometrażem Wisły.

Zastosowano 8 kryteriów reprezentujących trzy grupy problemów:

- formalne, związane ze spełnieniem wymogów projektu Life+,
- zjawisk i procesów fluwialnych oraz ich wpływu na zmiany formy koryta, warunki przepływów powodziowych letnich oraz zimowych oraz na efekt końcowy (powodzenie) zamierzenia,
- problemy techniczne.

Do oceny kryteriów zastosowano skalę 3–punktową (1-słabo/negatywnie, 2- średnio, 3-dobrze/pozytywnie) z możliwością użycia wartości 0 w przypadku „katastrofalnie” złej oceny, wymagającej dodatkowego uzasadnienia. Wagi poszczególnych grup kryteriów wyrażają się ilością kryteriów należących do danej grupy – formalne, ornitologiczne i techniczne po 1 kryterium, 2 dla powodzi i 3 dla pozostałych efektów korytotwórczych. Wśród analizowanych lokalizacji najwyżej ocenione zostały lokalizacje przewidziane na odcinku „wlotowym” (km 500 – 507), spośród których preferowana jest pierwsza - Zawady, lewa strona koryta, km 500 – km 502.

KRYTERIUM	LOKALIZACJA					
	Zawady lewa strona km 500–502	Miedzeszyn prawa strona km 505–506	Port WZEK lewa strona km 506–507	Goleździnów prawa strona km 515,5–516.5	Kępa Kiełpińska lewa strona km 530,5–533,5	Rajszew prawa strona km 533,5–535,5
formalna zgodność z warunkami zamówienia	3	3	3	1	1	1
stopień / rozmiary nowej formy korytowej zgodnej z oczekiwaniem Projektu	3	2	1	0*	3	3
zgodność nadanej formy z procesami korytotwórczymi	3	3	1	1	1	1
przewidywana zdolność do zachowania „lokalizacji” jako nowej formy korytowej	3	2	1	0*)	2	2
ogólne zmiany warunków w korycie (ruch rumowiska, praca ujęć i zrzutów, żegluga)	2	2	2	0*)	1	1
przewidywana zmiana warunków przepływu powodzi letnich	2	3	3	2	1	1
przewidywana zmiana warunków spływu lodów i zatorogenność	1	1	3	1	0**)	0**)
rozmiar robót regulacyjnych	2	3	3	0*)	1	1
SUMA	19	19	17	5	10	10

*) realizacja tego wariantu wymaga przeprowadzenia prac bagrowniczych w iłach trzeciorzędowych, co spowoduje nieodwracalne zmiany w środowisku rzeczonym, w tym zmianę profilu dna, hydrauliki przepływów niskich oraz łącznie ze wstrzymywaniem żeglugi już w okresach stanów średnich.

***) dekoncentracja przepływu zaowocuje natychmiastowym wypiętrzeniem się dna w korycie głównym, wywoła tendencje do tworzenia nowych dróg przepływu, skutkujących niszczeniem obecnie istniejących wysp, a w najgorszym scenariuszu – niszczeniem brzegów, których krawędzie niemal stykają się z podstawą wałów

1.6. PROPONOWANE ZMIANY W “MODYFIKACJACH” Z PUNKTU WIDZENIA HYDRAULIKI I HYDRODYNAMIKI RZEKI WRAZ Z OCENĄ JAKOŚCIOWĄ

OCENA JAKOŚCIOWA (DEF.);

- jest przeciwieństwem oceny ilościowej i polega na oszacowaniu własności dowolnego zdarzenia, procesu lub systemu w skalach relatywnych, np. (duży, mały; zawsze, często, czasem, rzadko, nigdy), (bardzo dobrze, dobrze, wystarczająco, niewystarczająco).

- jest powszechnie używana w życiu codziennym, naukach społecznych i w innych dziedzinach przez ekspertów, kiedy ich wiedza wynika z doświadczenia trudnego do liczbowego oszacowania, np. w opiniach uznanych autorytetów.

– DZIAŁANIE A1

1.6.1. Rajszew, prawa strona koryta, km 533,5 – km 535,5

Całkowity brak alternatywy na tym odcinku rzeki. Lokalizacje o zbliżonych celach „modyfikacji” są możliwe do znalezienia poniżej km 540, na odcinku Wisły położonym poza strefą intensywnej sedimentacji, poniżej „gorsetu warszawskiego”.

Wyspa w rejonie Rajszewa została utworzona w wyniku gwałtownej zmiany kierunku przepływu wód powodziowych w połączeniu z utratą siły unoszącej znaczną część rumowiska wlezonego. Największe przyrosty kubatury wysp w tym rejonie (wymiarów w planie oraz ich wysokości) zaobserwowano po powodzi lipcowej 1960 r. Stopniowe rozrastanie się wyspy „Rajszew” połączone z wysokim porostem roślinnym stworzyło sprzyjające warunki do erozji dna w rejonie zdominowanym przez procesy akumulacyjne. Stąd charakterystyczne dla tego odcinka rzeki bardzo wysokie i strome, niemal pionowe brzegi.

Wyspę „Rajszew” oddziela od brzegu koryta boczne ramię rzeki o szerokości ok. 140 m, o charakterystycznym, trójkątnym kształcie przekrojów poprzecznych spowodowanym erozyjnym oddziaływaniem strumienia wód prowadzonych wzdłuż prawego, wklęsłego brzegu ramienia i jednocześnie całej rzeki. Bliskość prawego wału przeciwpowodziowego (przeciętnie 40 m) wymusiła podjęcie działań ochronnych poprzez wykonanie zespołu krótkich ostróg, „główek” i przetamowań pochodzących z różnych okresów.

Wyizolowanie wyspy „Rajszew” dokonało się już w zasadzie w sposób naturalny w wyniku uszkodzeń korpusów budowli przegradzających prawe ramię Wisły. Po wielu budowlach pozostały jedynie fundamenty. Nieliczne, mniej zniszczone budowle ograniczają przepływ wody w tym ramieniu poniżej stanów $H = 120$ cm notowanych na wodowskazie Warszawa

Podjęcie próby udrożnienia tego ramienia nawet w okresie stanów niższych wiąże się z ryzykiem przełożenia nurtu głównego w prawe ramię boczne. Zdarzenie to poprzedzi

dekoncentracja przepływów, której będzie towarzyszyło wypiętrzenie dna i ogólny wzrost zagrożenia zatorowego na tym odcinku rzeki. Aby temu zapobiec należy wykonać budowlę podłużną - kierownicę utrzymującą obecny układ przepływu oraz zabezpieczyć odcinki skarpy brzegu prawego znajdujące się w bezpośredniej bliskości stopy wału przeciwpowodziowego.

Przykładem niekorzystnego zjawiska przełożenia nurtu jest Kępa Ośnicka pod Płockiem. Dawne główne prawie ramię opływające wyspę zostało zamulone i nurt przechodzi teraz lewym drugorzędym ramieniem, za wyspą odbija pod prawy brzeg powodując silną erozję brzegu i dna w rejonie podpory pylonu nowego mostu w Płocku. Przerzucanie nurtu zachodzi na Wiśle głównie w czasie wezbrań zatorowych, w wyniku zablokowania przepływu w głównym kryciu i uaktywnienia ramienia drugorzędowego. W XIX w. Gdy wezbrania zatorowe były częste, przerzucanie nurtu w pobliże wałów przeciwpowodziowych było uznawane za jedną z głównych przyczyn powodzi.

W WYNIKU ANALIZY JAKOŚCIOWEJ ZA ŚLUSZNE MOŻNA PRZYJĄĆ PONIŻSZE ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE DLA LOKALIZACJI RAJSZEW DLA DZIAŁANIA A-1:

- a) wybudowanie kierownicy u wejścia do północnej odnogi rzeki
- b) demontaż krótkich (20-25m) odcinków ostróg, na zakładkę, w celu podtrzymania meandrującej strugi wody w odnodze północnej i utrudnienia dostępu na wyspę przy niskiej wodzie w Wiśle.
- c) w razie konieczności ubezpieczenie brzegu prawego Wisły materacem faszynowym (ew. umocnionym u podstawy narzutem kamiennym). //po uzgodnieniu z RZGW
- d) utworzenie trzech ławic piaszczystych A1-2 A, B, C (ogółem 9,5 ha);
- e) obniżenie niwelety – dotyczy jedynie niewielkiej (0,5 ha) pozostałości wyspy w lokalizacji A1-2C.
- f) zachowanie aktualnego profilu podłużnego i poprzecznego przedmiotowej wyspy A1-1.

1.6.2. Kępa Kielpińska, lewa strona koryta, km 530,5 – km 533,5

Całkowity brak alternatywy na tym odcinku rzeki. Lokalizacje o zbliżonych celach „modyfikacji” są możliwe do znalezienia poniżej km 540, na odcinku Wisły położonym poza strefą intensywnej sedymentacji poniżej „gorsetu warszawskiego”.

1.6.3. Gołędzinów, prawa strona koryta, km 515,5 – km 516,5

Brak alternatywy na odcinku rzeki od km 516 do km 522 z uwagi na trudnorozmywalną budowę dna koryta. W sytuacji ograniczonego zrzutu ścieków z tzw. kolektora burakowskiego do Wisły, związanego z uruchomieniem oczyszczalni „Czajka”, można rozważyć lokalizacje wyspy w oparciu o dawne starorzecza u stopy skarpy Młocińskiej i Burakowskiej (km 523 – 525).

Wyspa w rejonie Gołędzinowa została utworzona w efekcie prawostronnej zabudowy koryta Wisły systemem poprzecznym jako typowe, międzyostrogowe pole akumulacyjne. Jej istnienie warunkuje przede wszystkim ostroga 8/516 o długości ok. 190 m, kształtująca

szerokość trasy regulacyjnej na tym odcinku rzeki oraz trudnorozmywalne podłoże rafy żoliborskiej. Wyspę „Gołędzinów” oddziela od brzegu koryta boczne, wąskie ramie rzeki o szerokości 20 - 40 m i dość znacznych głębokościach. Odprowadza ono tę część wód wysokich, którą koncentruje prawy przyczółek Mostów Gdańskich (cypel jezdni Wybrzeża Helskiego) i dalej wzdłuż skarpy prawego brzegu do stanowiska dolnego rafy żoliborskiej.

Wyizolowanie wyspy w rejonie Gołędzinowa wymaga jedynie obniżenia rzędnych grobli technicznej wybudowanej na potrzeby prac prowadzonych na jej terenie oraz pozostałości dwóch ostróg znajdujących się na poziomie wody określonej notowaniem stanu $H = 150 - 200$ cm.

W WYNIKU ANALIZY JAKOŚCIOWEJ ZA SŁUSZNE MOŻNA PRZYJĄĆ PONIŻSZE ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE DLA LOKALIZACJI GOŁĘDZINÓW DLA DZIAŁANIA A-1:

- a) częściowy demontaż krótkich fragmentów dwóch ostróg ;
- b) obniżenie rzędnej grobli technicznej;
- c) nieznaczna zmiana profilu poprzecznego odnogi – urozmaicenie rzeźby dna poprzez utworzenie przegłębień i wypłaceń;
- d) NIE należy zmieniać profilu wyspy A1-;
- e) utworzenie ławicy piaszczystej od strony nurtu Wisły A1-5 (zał. graf.1);
- f) rozebranie pozostałości wysepek znajdujących się przy dolnym końcu wyspy i wykorzystanie materiału do budowy ławicy.

1.6.4. Miedzeszyn, prawa strona koryta, km 505 – km 506

Zmiana ukształtowania powinna dotyczyć zarówno wlotu jak i wylotu ze sztucznego ramienia bocznego oraz jego szerokości – wlot zlokalizowany znacznie powyżej proponowanej lokalizacji i bardziej stycznie do linii brzegowej zapewni właściwy dopływ do odnogi, zaś wylot nie powinien naruszać ciągłości istniejącego odcinka podłużnej budowli szpuntpalowej.

Wstępny, poprzeczny wymiar odnogi odcinającej można przyjąć na podstawie danych pomiarowych z lat 80. ubiegłego wieku.

Szczegóły zmian zostaną opracowane na podstawie wyników modelowania warunków przepływu wody i rumowiska (**patrz rozdział: II 2 i II 3**)

1.6.5. Port WZEK (Piaskarnia Siekierki), lewa strona koryta, km 506 - km 507

Zmiana ukształtowania powinna dotyczyć wlotu do sztucznego ramienia bocznego. Powinno ono znajdować się znacznie powyżej proponowanej lokalizacji, nawet w miejscu wyjścia dawnej odnogi otaczającej wieś Siekierki i okrążyć fragment sztucznie narefulowanego brzegu. Ujście ramienia zlokalizowane w porcie WZEK powinno być usytuowane pod dużym kątem w stosunku do zasadniczej linii nabrzeża, naprzeciwko „wyjścia” z portu, z niewielkim skróceniem istniejącej ostrogi szpuntpalowej.

Szczegóły zmian zostaną opracowane na podstawie wyników modelowania warunków przepływu wody i rumowiska (**patrz rozdział: II 2 i II 3**)

1.6.6. Zawady, lewa strona koryta, km 500 – km 502

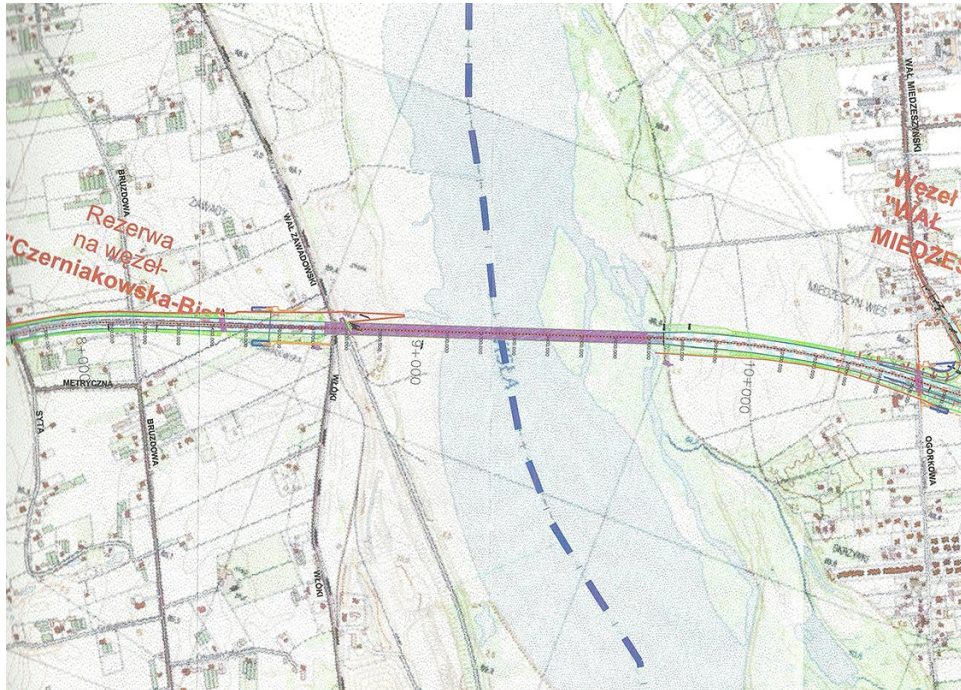
Wlot do odnogi odcinającej powinien być zlokalizowany w rejonie placu składowego piaskarni, ukierunkowany na przyjęcie wód wypływających spod brzegu prawego. Przebieg odnogi należałoby skorelować z przebiegiem krawędzi wyższego tarasu zalewowego, o ile nie spowodowałyby to zagrożenia rozmycia podstawy Wału Zawadowskiego. W takiej sytuacji możliwe byłoby sztuczne „przesunięcie” linii tego brzegu z ukształtowaniem dostosowanym do „serpenty” przepływu przewidywanego w tym ramieniu. Wylot odnogi powinien być zlokalizowany ok. 100 m powyżej proponowanej lokalizacji, pod mniej ostrym kątem w stosunku do istniejącego brzegu. Wstępną szerokość odnogi odcinającej należy przyjąć jako równą 80-100 m w zależności od głębokości, która musi być dostosowana do aktualnej głębokości wyerodowanego koryta regulacyjnego. Wskazane jest przeanalizowanie możliwości jednoczesnego udroźnienia i uaktywnienia hydraulicznego ramienia „Stara Wisła”.

Odstąpienie od realizacji Działania w tej lokalizacji:

Lokalizacja „Zawady” była najciekawszym miejscem dla realizacji celów ornitologicznych metodą hydrotechnicznego przystosowania koryta dla kontrolowanego tworzenia się wysp piaszczystych i ławic. Zamierzenie to obejmowało największy obszar spośród 6 możliwych lokalizacji i dodatkowo umożliwiałoby udroźnienie dawnego koryta „Stara Wisła”.

Z uwagi na projektowaną przeprawę mostową przez Wisłę, znajdującą się w ciągu „Południowej Obwodnicy Warszawy” (POW), nie jest możliwe pogodzenie „interesów” ornitologicznych, hydrotechnicznych i drogowo-mostowych. Tradycyjna, filarowa konstrukcja mostu (forma podwieszana nie wchodzi w rachubę przede wszystkim ze względów ekonomicznych) wymaga uporządkowania układu przepływu wody i rumowiska w pełnym zakresie w rejonie mostu - zarówno powyżej jak i poniżej jego osi. Wymaga to realizacji działań odwrotnych od przewidywanych w Projekcie Life+ - uzupełnienia budowli regulacyjnych i skoncentrowania koryta głównego w rejonie mostu, a nie zabiegów dekoncentrujących przepływy.

Dobrym przykładem potwierdzającym słuszność odstąpienia od realizacji Działania w tej lokalizacji są mosty w Wyszogrodzie i Modlinie. Inwestycje tej rangi muszą być chronione przez budowle regulacyjne w korycie rzeki, które ułatwiają spływ lodu i koncentrują przepływ w celu zapewnienia odpowiednich głębokości żeglugowych.



Ryc.9. Koncepcja trasy POW wraz z mostem przez Wisłę w rejonie Zawady – Miedzeszyn

– DZIAŁANIE A2

1.6.7. Technologiczne związanie ławic z wyspami izolowanymi

Tworzenie się ławic nastąpi w zasadzie wszędzie tam, gdzie zrealizowana zostanie przebudowa koryta zapewniająca dekoncentrację przepływu. Inaczej mówiąc: tam gdzie rzeka nie będzie płynęła zwartym przekrojem. Takie miejsca znajdują się przed i za „gorsetem warszawskim”.

Najkorzystniejszym z punktu widzenia bezpieczeństwa przeciwpowodziowego obszarem tworzenia ławic jest rejon „Miedzeszyn”, i „Rajszew”. Obecnie w tych lokalizacjach, bez podejmowania jakichkolwiek działań technicznych, obserwuje się wyraźne tendencje do odkładania i przerobu rumowiska.

Pozostałe analizowane lokalizacje, tj. Zawady, Piaskarnia Siekierki, Gołędzinów i Łomianki Dolne będą sprzyjały tworzeniu się ławic piaszczystych w takim samym stopniu jak obecnie. Ponieważ są to na ogół ławice formujące się głębiej, ich dostępność dla ptaków będzie silniej uzależniona od stanów wody niż ławic na akumulacyjnych odcinkach koryta

W rejonie km 529 tj. wysp należących do Rezerwatu „Ławice Kiełpińskie” konieczne ze względów bezpieczeństwa przeciwpowodziowego jest obniżenie i wylesienie terenu

1.6.8. Lokalizacja odsłanianych brzegów

Hydraulicznym skutkiem wycinki roślinności jest zmniejszenie szorstkości części przekroju, w wyniku której uzyskuje się większą przepustowość koryta kosztem zwiększonego ryzyka rozwoju zjawisk erozyjnych w strefach poddanych wycinie.

Kolejnym elementem towarzyszącym wycinkom roślinności jest zmiana układu przepływu (strug wody) kierowanych przez zwarte pokrycie roślinnością. W pewnych sytuacjach odbywało się to w sposób korzystny z punktu widzenia stałości koryta i zasad jego utrzymania, zbliżony do oddziaływania budowli regulacyjnych czy wałów kierujących.

Szczegółowe zasady wycinki będą wymagać ponownej oceny na etapie projektu wykonawczego w porozumieniu z Administratorem rzeki, hydrologiem, ornitologiem i dendrologiem.

W WYNIKU ANALIZY JAKOŚCIOWEJ (POD WZGLĘDEM HYDROLOGICZNO-HYDROTECHNICZNYM) ZA ŚLUSZNE MOŻNA PRZYJĄĆ PONIŻSZE ROZWIĄZANIA PROJEKTOWE DLA DZIAŁANIA A-2 W NASTĘPUJĄCYCH LOKALIZACJACH:

- 1) Rajszew.
 - a) karczowanie krzewów: A2-1A – 5,2 ha, A2-1B – 3,0 ha, A2-1C – 0,5 ha; ogółem 8,7 ha.
- 2) Łomianki Dolne.
 - a) karczowanie krzewów na powierzchni 7,5 ha (zał. graf. 2)
- 3) Łomianki Dolne Piaskarnia B.
 - a) usunięcie drzew i krzewów na powierzchni 10,1 ha (A2-4; zał. graf. 2).
 - b) obniżenie rzędnej wyspy do dolnej strefy wód wysokich (co odpowiada 400-450 cm na wodowskazie Warszawa). (Niweleta tej wyspy sięga może nieco ponad rzędną lewego brzegu; na pewno nie sięga korony wałów – widziałem ją kilka dni temu).
 - c) zmiana profilu wyspy w związku z obniżeniem rzędnej.
- 4) Gołędzinów.
 - a) okresowe (co 2 lata) wykaszanie (nie karczowanie) krzewów na wyspie (5,2 ha).
- 5) Piaskarnia Siekierki.
 - a) karczowanie krzewów (4,5 ha, A2-11, zał. graf. 2);
 - b) obniżenie rzędnej półwyspy do 83 m n.p.m.
- 6) Miedzeszyn.
 - a) karczowanie krzewów (3,4 ha; zob. zał. graf. 2);
- 7) Stara Wisła.
 - a) wykarczowanie krzewów (6,5 ha, zał. graf. 2);
- 8) Zawady.
 - a) wykarczowanie drzew i krzewów (lokalizacje A2-13 A, B i C; łącznie 17,8 ha)

– DZIAŁANIE A3

1.6.9. Lokalizacja barki/materacja oraz Pawilonu edukacyjnego

Wpływ cumowania barek lub materaców pływających na hydrologię lub szeroko rozumianą hydrotechnikę jest generalnie niewielki.

Skutki hydrauliczne zacumowanego obiektu pływającego (barki, materaca czy pawilonu edukacyjnego) w strefach pozanurtowych będą znikome, w zależności od wielkości przepływu jednostkowego $q = v \cdot h$ w rejonie tego obiektu.

Szczegółowa ocena hydraulicznych skutków zacumowania takich obiektów (na przykład w warunkach przepływów wielkich) możliwa jest do przeprowadzenia jedynie w odniesieniu do konkretnych propozycji lokalizacyjnych, które zostaną ustalone dopiero po spotkaniu z Administratorem rzeki, tj. RZGW w Warszawie.

Postawienie barki, materaca czy pawilonu edukacyjnego jest możliwe jedynie poza szlakiem żeglownym wyznaczonym przez Administratora rzeki, z reguły zgodnie z przebiegiem linii nurtu.

2. MODEL HYDRAULICZNY

(dr hab. Artur Magnuszewski, prof. UW)

2.1. HISTORYCZNE ZAGOSPODAROWANIE WISŁY W WARSZAWIE I LOKALIZACJA PRZEKOPÓW

Do końca XIX w. warszawski odcinek Wisły pozostawał nie uregulowany w stanie typowym dla rzeki roztokowej (Ryc.9.). Koło Siekierk (brzeg lewy) rzeka rozwidlała się na dwa ramiona; lewe ramię (nazywane odnogą siekierkowską) sięgało w głąb dzisiejszego zawała na odległość ok. 1100 m, prawe ramię przebiegało zaś wzdłuż linii dzisiejszego Wału Miedzeszyńskiego na odcinku km 506-509.

Teren pomiędzy ramionami Wisły był nazywany Wyspą Wilanowską (Prószyński 1972). Do lewego ramienia w miejscu rozwidlenia głównego koryta koło miejscowości Zawady uchodziła rzeka Wilanówka (zwana też Augustówką). Mapa z początku XIX w. (Karta Topograficzna Królestwa Polskiego) wskazuje, że główny przepływ Wisły odbywał się jej prawym ramieniem. Problemy z zasilaniem w wodę budowanej stacji pomp dla wodociągu warszawskiego wynikały z uaktywnienia się odnogi siekierkowskiej, co nastąpiło podczas powodzi w 1884 r. Po powodzi zimowej 1888 r. zator lodowy spowodował zamulenie wejścia do odnogi siekierkowskiej przy km 504,5, i główny przepływ został definitywnie skierowany do objętego pracami regulacyjnymi ramienia prawego (Kwiciński 1893 b). Odcinek zanikającej odnogi koryta Wisły nazwano starorzeczem wilanowskim.



Ryc.10. Lokalizacja przekopów Port WZEK i Miedzeszyn na tle mapy Karta Topograficzna Królestwa Polskiego z lat 30. XIX w.

Pierwszy projekt regulacji Wisły od Zawichostu do Nieszawy, obejmujący odcinek warszawski został opracowany w XIX w. przez inżyniera Józefa Kostenieckiego. Na sporządzonych przez niego mapach trasy regulacyjnej wykonanych na podstawie pomiarów terenowych z lat 1875-1877, zaznaczono po raz pierwszy zasięgi terenu zalewowego w dolinie Wisły. Projekt ten w zakresie głównych założeń był oceniany przez międzynarodową komisję rosyjską, pruską i austriacką (Wisła była rzeką transgraniczną). Rozstaw wałów przeciwpowodziowych Wisły na odcinku od Zawichostu do granicy z Prusami ustalono na 900 m, a ich wysokość na 7,5 m (Kwiciński 1893 a).

Elementem regulacji Wisły są wały przeciwpowodziowe, które budowano etapami, od centrum miasta w stronę przedmieść. Pierwsze obwałowania powstały pod koniec XIX w. na brzegu lewym na odcinku ul. Solec – Bednarska, a na brzegu prawym od mostu Kierbedzia w kierunku Saskiej Kępy. Na prawym brzegu po powodzi w listopadzie 1863 r., wał przedłużono do 0,9 km i nazywano Wałem Miedzeszyńskim. W 1931 r. wał osiągnął długość 12 km sięgając do wsi Miedzeszyn.

Do 1910 r. wydłużono bulwar lewobrzeżny do mostu Poniatowskiego, a następnie zasypano piaskiem wiślanym przestrzeń położoną za bulwarem do wysokości jego korony, dzięki czemu powstało tzw. Wybrzeże Kościuszkowskie. W okresie przed I wojną światową

powstał wał Gocławski, wał Siekierkowski o długości 7,6 km, wał Potocki od Cytadeli do Bielan o długości 4,3 km.

W okresie międzywojennym po powodzi z 1934 r. zbudowano wał Golędzinowski. W latach 1940-1970 trwała stopniowa rozbudowa wału Moczydłowskiego od Wilanowa w stronę Jeziornej. W latach następnych wały były tylko modernizowane, a ich łączna długość wynosi 49 km.

Regulację Wisły od ujścia Wilanówki do Mostu Aleksandryjskiego (obecnie Śląsko-Dąbrowskiego) podjęto w związku z budową ujęcia wody przy ul. Czerniakowskiej dla wodociągu miejskiego. Pierwotnie ujęcie wody z Wisły znajdowało się w odległości 160 m od budynku stacji pomp rzecznych. Po powodzi w czerwcu 1884 r., nurt rzeki przerzucił się pod brzeg prawy odsuwając się od ujęcia wody na odległości prawie 500 m. Pokonanie tej trudności polegać mogło albo na przedłużeniu w stronę nowego nurtu przewodu czerpalnego, albo przez regulację rzeki, tak aby odtworzyć okład nurtu z 1883 r. Wybrano rozwiązanie kompromisowe, polegające na przedłużeniu przewodu czerpalnego i jednoczesnej regulacji koryta, polegającej na skierowaniu nurtu w rejon ujęcia wody. W wyniku regulacji przyjęto rozstaw wałów stopniowo zwężający się w przekroju Mostu Aleksandryjskiego do 480 m. (Kwiciński 1893 a). Roboty regulacyjne rozpoczęto 1 września 1885 r. i trwały one do 1895 r. Jednym z zadań regulacji było odcięcie odnogi siekierkowskiej, zadanie to ułatwiła sedimentacja w tym korycie Wisły po powodzi w 1888 r.

Prace regulacyjne z zastosowaniem budowli faszynowych były w Warszawie prowadzone pod nadzorem Józefa Ćwikieła, który zebrane doświadczenia opublikował w podręczniku wydanym w języku rosyjskim w 1895 r., wznowionym po polsku (Ćwikieł 1925).

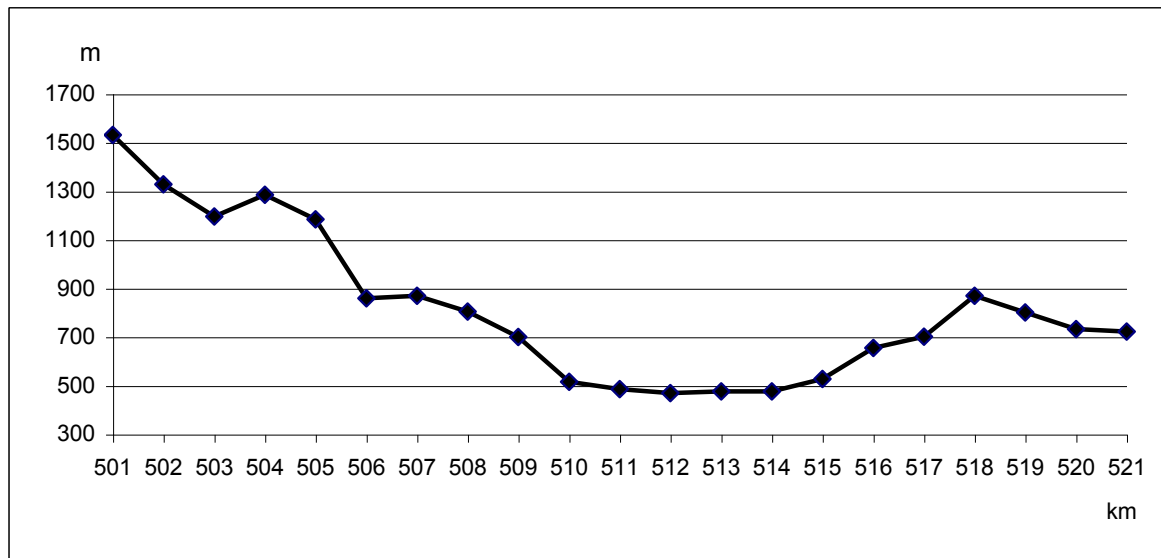
W kolejnych latach 1889-1895 widoczne stało się oddziaływanie regulacji koryta Wisły w Warszawie na parametry hydrauliczne zwężenia w odcinku śródmiejskim. Efekt jest widoczny zwłaszcza w zakresie prędkości średniej w przekroju (v_m), która w wyniku koncentracji nurtu, przy przepływie rzędu $670 \text{ m}^3/\text{s}$, została zwiększona od 0,77 m/s do 1,02 m/s (Szymański 1897).

Współczesny rozstaw wałów przeciwpowodziowych i bulwarów w odcinku km 501-521 przedstawia Ryc. 10. Widoczne jest zwężenie rozstawu wałów od 1500 m w km 501 do zaledwie 470-480 m w km 511-514. Rzędne wałów o zmniejszonym rozstawie powinny według projektów zabezpieczać miasto przed wodą $Q_{0,1\%}$, natomiast poza Warszawą (powyżej i poniżej) wały przeciwpowodziowe mają rozstaw 1000-1700 m i chronią tereny rolnicze przed wodą $Q_{1\%}$ (Biernacki 2000).

Jak podaje Krukowicz (2010) na ochronę przeciwpowodziową doliny Wisły w odcinku od km 456,8 (ujście Pilicy) do km 550,9 (ujście Narwi) składają się wały klasy I o długości 93 km i wały klasy II o długości 72 km. To zróżnicowanie klasy i wysokości rzędnych korony wałów jest czynnikiem, który wpływa na bezpieczeństwo powodziowe Warszawy.

W odcinku km 500-509 zabrano rzece największą powierzchnię łożyska. Dostępna obecnie powierzchnia dla przeprowadzenia wód wielkich stanowi 20-30% potencjalnej

powierzchni zalewowej. Są to tereny Wilanowa, Czerniakowa i Saskiej Kępy, które muszą być także szczególnie chronione w warunkach ograniczenia naturalnej retencji dolinnej.



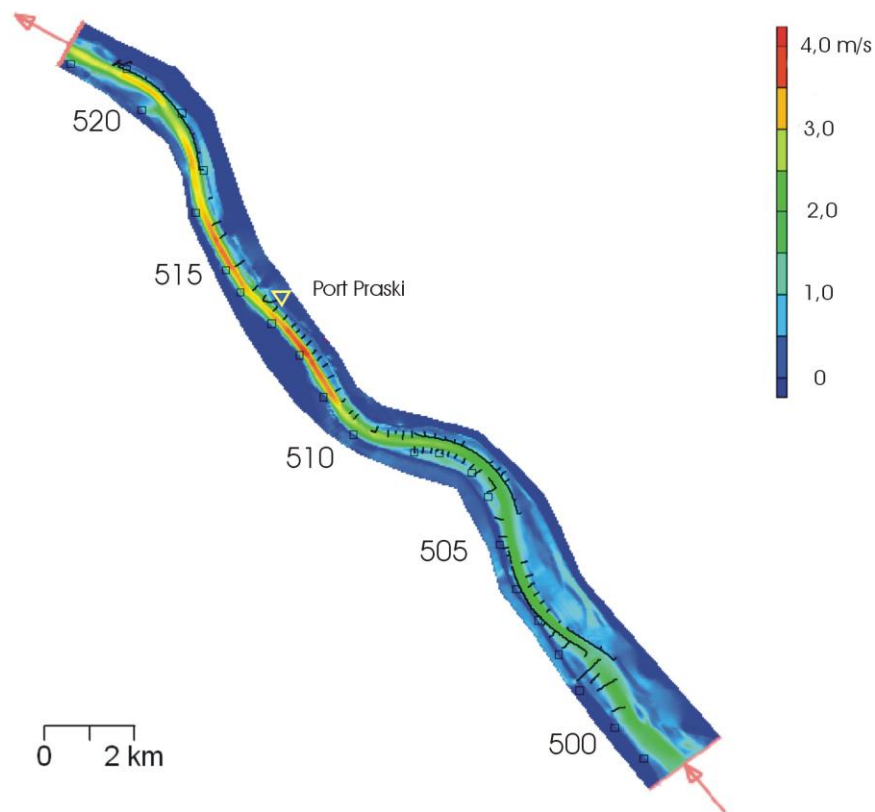
Ryc.11. Rozstaw współczesnych wałów przeciwpowodziowych i bulwarów w Warszawie, wg mapy topograficznej w skali 1:10000, GUGiK, 2002.

Na początku lat 60. Janusz Wierzbicki z Politechniki Warszawskiej opracował projekt zabudowy Wisły. Zakładał on uzyskanie trójdzielnej przekroju rzeki. Szerokość koryta wody średniej rocznej miała wynosić 225 m, wody brzegowej – 400 m, a optymalny rozstaw wałów przeciwpowodziowych – 1000 m (Wierzbicki 2001).

Roboty regulacyjne wznowiono po wojnie w 1962 r. Powstał między innymi system ostróg na prawym brzegu (budowano je w latach 1962-1963 oraz 1968-1976). W latach 1970-1976 przedłużono zabudowę bulwarową na lewym brzegu (prace te związane były z budową Wisłostrady). W okresie tym powstała także na prawym brzegu tama podłużna od km 517,0 do km 520,2 (wlot Kanału Żerańskiego). W latach 70. została wybudowana również tama podłużna na lewym brzegu poniżej Kanału Żerańskiego, jej budowa związana była z budową ujęcia wody dla Huty Luccini (Jacewicz i Kuźniar, 2000). Tak wykonaną zabudowę hydrotechniczną Wisły, od połowy lat 60. zaczęto nazywać „gorsetem warszawskim”.

Zagospodarowanie tarasów zalewowych Wisły i zabezpieczenia przeciwpowodziowe są projektowane na podstawie wykonanej w drugiej połowie lat 90. „Koncepcji programowo-przestrzennej zagospodarowania doliny i regulacji Wisły”. Opracowanie to na zlecenie ówczesnego ODGW wykonał Hydroprojekt, przy współudziale IGPZ PAN. Koncepcja uwzględniła głosy przyrodników, a jej przesłaniem jest utrzymanie dotychczasowych funkcji rzeki przy jednoczesnym zachowaniu cennych zasobów środowiska przyrodniczego, do których należą lasy łęgowe (Kurzelewski 1999).

Analiza historycznego układu koryta Wisły w Warszawie wskazuje, że lokalizacja przekopów Port WZEK i Miedzeszyn została wybrana właściwie, ze względu na położenie w jednorodnym środowisku fluwialnym czyli w facji osadów korytowych. Przekopy nie są położone w bezpośredniej bliskości wałów przeciwpowodziowych, a ich orientacja nie powinna otwierać drogi do filtracji w dawne koryta drugorzędne Wisły. Przekopy są zlokalizowane w odcinku km 505-507, który jest wejściem do największego zwężenia, tzw. gorsetu warszawskiego obejmującego odcinek km 510-515. Badania wykonane za pomocą modelu hydrodynamicznego CCHE2D nad warunkami przejścia wód wielkich Wisły w Warszawie wskazują, że w odcinku gorsetu pojawiają się prędkości przepływu średnie w pionie przekraczające 3 m/s. W odcinku km 505-507 prędkości przy maksymalnych przepływach są rzędu 1-2 m/s.



Ryc.12. Pole prędkości przepływu średniej w pionach przy $Q_{0,1\%} = 8250 \text{ m}^3/\text{s}$ w odcinku km 500-521 Wisły w Warszawie (Magnuszewski i in., 2012).

2.2. OCENA WARUNKÓW PRZEPŁYWU W PLANOWANYCH LOKALIZACJACH

Jako metodę badawczą przyjęto analizę danych przestrzennych w systemie GIS (program ILWIS), połączoną z modelowaniem za pomocą dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego o nazwie CCHE2D. Model CCHE2D opracowano w National Center for Computational Hydroscience and Engineering na Uniwersytecie stanu Mississippi w USA. Model wykorzystuje uśrednione w pionie równania Naviera-Stokesa, których rozwiązanie dostarcza danych o prędkości średniej w pionach i rzędnej poziomu wody. W modelu do rozwiązania równań zastosowano zmodyfikowaną metodę elementów skończonych, wykorzystujących technikę komórek kontrolnych. Szczegółowy opis teoretycznych założeń modelu przedstawili Jia i in. (2002), Altinakar i in. (2005).

Podstawą obliczeń za pomocą modeli hydrodynamicznych jest właściwie opisana geometria koryta i doliny rzecznej. Jako podstawowy układ współrzędnych w opracowaniach kartograficznych i modelach hydraulicznych przyjęto płaski jednostrefowy układ PUWG 1992, rzędne podawane są w m n.p.m Kr 86.

Do określenia rzędnych terenu w węzłach siatki obliczeniowej modelu CCHE2D wykorzystano dane z cyfrowego modelu terenu, do którego powstania posłużyły następujące źródła:

- Sondowanie koryta Wisły wykonane w profilach poprzecznych przez Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki Politechniki Warszawskiej w 2008 r.
- Model terenu dołączony do Mapy numerycznej sytuacyjno-wysokościowej dla celów projektowych w skali 1:10 000 (1999), udostępniony przez RZGW w Warszawie.

Wyniki sondowania w profilach poprzecznych zostały po transformacji z układu współrzędnych 1942 do układu 1992 wyświetlone na tle aktualnej ortofotomapy. Na ich podstawie przez odrębną interpolację i interpretację układu mezoform wykreślono rysunek poziomicowy ukształtowania dna. Dokonano następnie zagęszczenia liczby punktów wzdłuż poziomic i ich przeniesienia do zapisu w tabeli, w postaci układu współrzędnych x , y , z .

Dane wysokościowe z mapy numerycznej i poziomic w korycie rzeczonym połączono w jeden zbiór uzyskując w odcinku km 500-507,14 liczbę 80154 współrzędnych x , y , z .

Do wykonania obliczeń hydrodynamicznych potrzebna jest siatka obliczeniowa, którą utworzono za pomocą programu CCHE-Mesh 3.0. Granice siatki ograniczono do międzywala lub krawędzi tarasów nadzalewowych, przyjmując gęstość 100 linii w profilach podłużnych i 1000 linii w profilach poprzecznych. Uzyskano siatkę nieregularnych czworoboków, o rozdzielczości $i=100$ oraz $j=1000$, w której metodą triangulacji wyliczono na podstawie wczytanego modelu terenu rzędne dna i brzegów Wisły w km 500-507,14.

Kolejny parametr przyjmowany w obliczeniach opisuje opory ruchu, definiowane w postaci współczynnika szorstkości Manninga (n). W tym modelu przyjęto jedną uśrednioną wartość współczynnika $n=0,025$, zarówno dla koryta jak i równiny zlewowej.

Obliczenia wykonano przy założeniu ruchu ustalonego dla wybranych przepływów charakterystycznych. Przepływy charakterystyczne zostały obliczone dla profilu wodowskazowego Port Praski z okresu powojennego - przyjęto je jako górny warunek brzegowy. Dolnym warunkiem brzegowym zaś jest rzędna poziomu wody w km 507,14 odpowiadająca przepływowi charakterystycznym. Zestawienie przyjętych wartości warunków brzegowych zawiera Tabela 7. Przyjęto krok czasowy obliczeń równy 10 s, a całkowity czas symulacji 50000 s.

Wykonano modyfikację ukształtowania rzeźby terenu polegającą na odwzorowaniu geometrii planowanych przekopów z dokładnością na jaką pozwala rozdzielczość siatki obliczeniowej. Lokalizację przekopów na tle ortofotomapy przedstawia Ryc. 12.

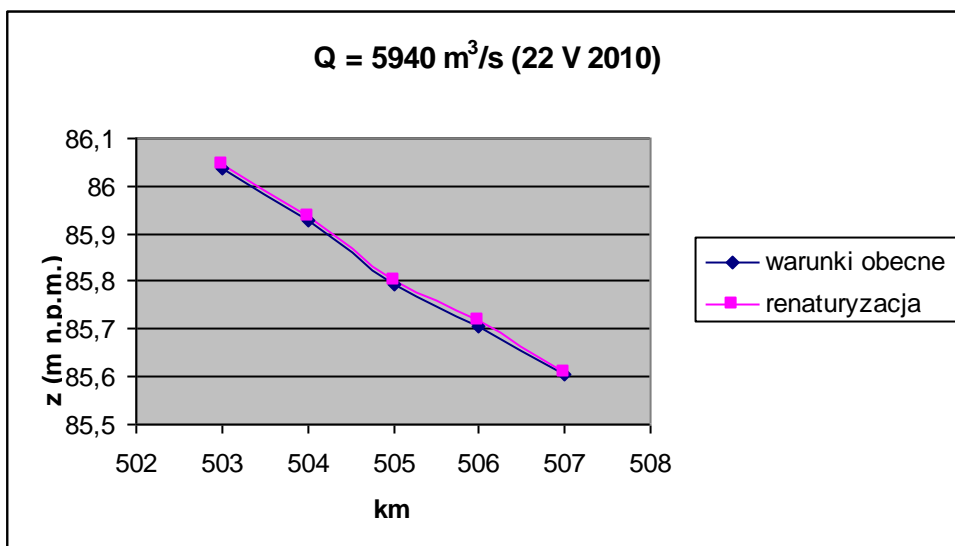


Ryc.13. Lokalizacja przekopów Port WZEK i Miedzeszyn na tle ortofotomapy (Geoportal-1) i istniejących budowli regulacyjnych

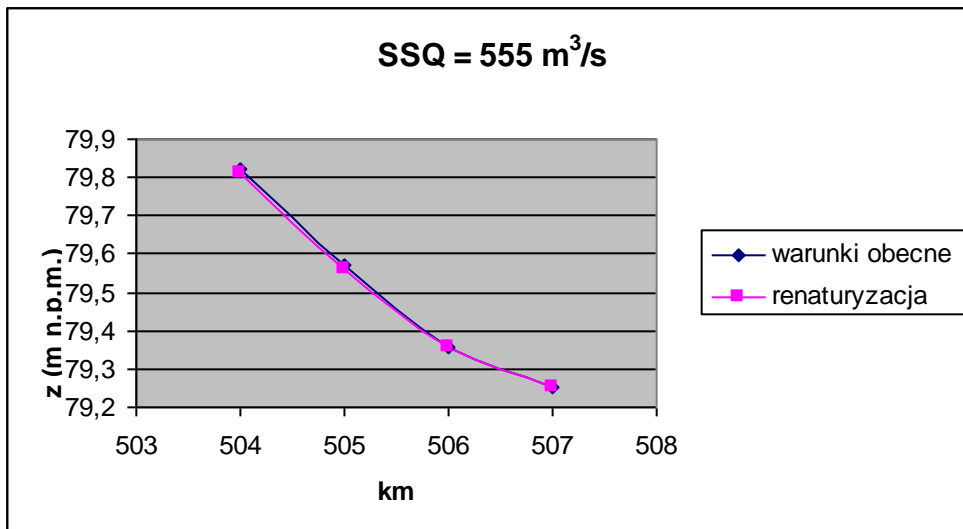
Tabela 7. Warunki brzegowe przyjęte w obliczeniach za pomocą modelu CCHE2D

Przepływ charakterystyczny	Q (m ³ /s)	Rzędna poziomu wody w km 507,14 (m n.p.m.)
SNQ	233	77,59
SSQ	555	79,24
SWQ	2710	82,50
WQ 2010	5940	85,58

Przekształcenie koryta w rejonie lokalizacji Port WZEK i Miedzeszyn ma charakter lokalny, jednak w obliczu szczególnej sytuacji, jaką stwarza gorset warszawski sprawdzono ewentualne oddziaływanie przekopów na układ zwierciadła wody w profilu podłużnym. Wyniki symulacji układu rzędnych dla przepływu maksymalnego z 22 V 2010 r. oraz przy SSQ przedstawia Ryc. 13. i Ryc. 14.



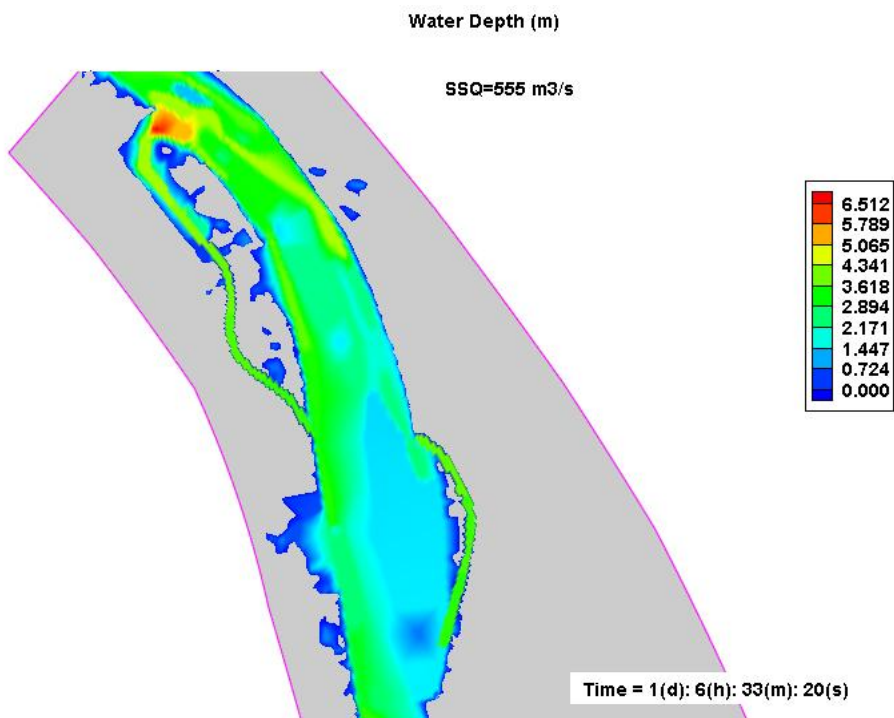
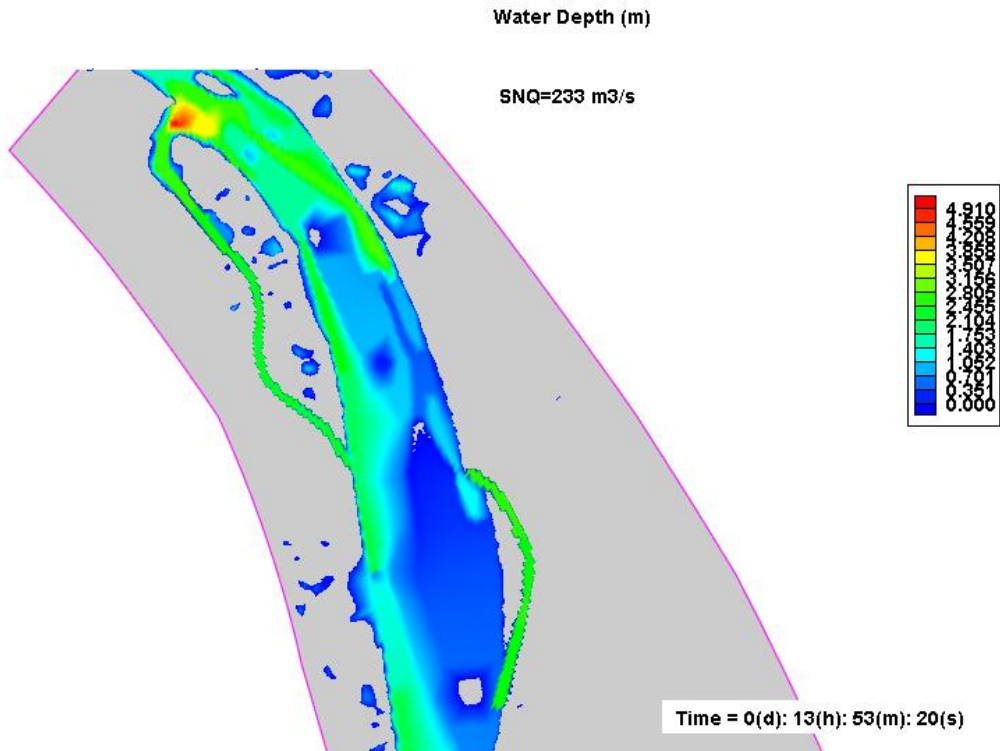
Ryc.14. Porównanie profilu podłużnego poziomu wody w odcinku km 504-507 przy przepływie WQ 2010= 5940 m³/s uzyskane za pomocą modelu CCHE2D



Ryc.15. Porównanie profilu podłużnego poziomu wody w odcinku km 504-507 przy przepływie SSQ = 555 m³/s uzyskane za pomocą modelu CCHE2D

Wyniki obliczeń wskazują, że projektowane przekopy nie zmieniają układu zwierciadła wody w ich otoczeniu. Rzędne wody w profilu podłużnym przy SSQ i Q₂₀₁₀ nie zmieniają się w scenariuszu renaturyzacji w stosunku do stanu aktualnego.

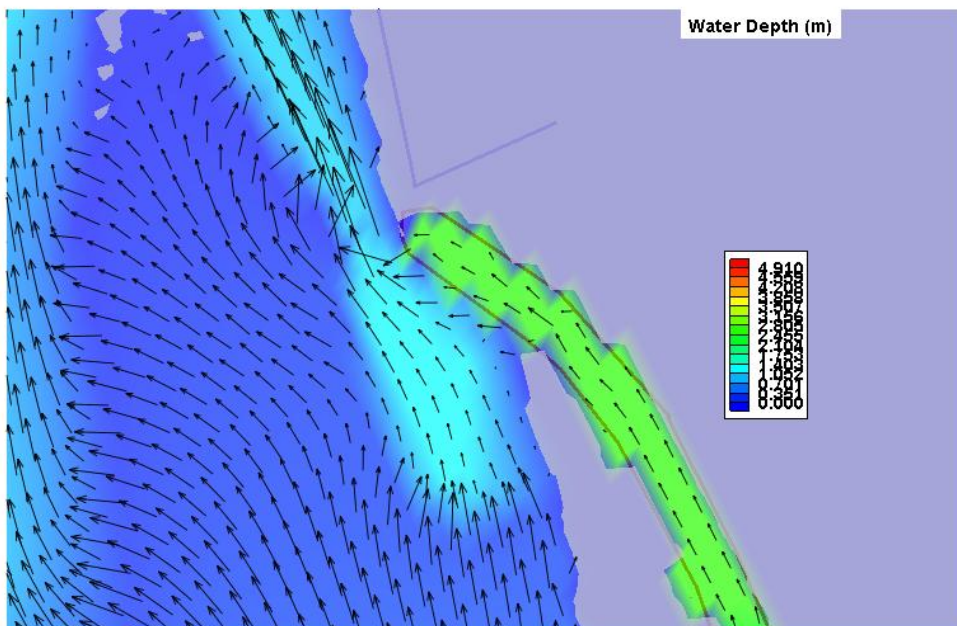
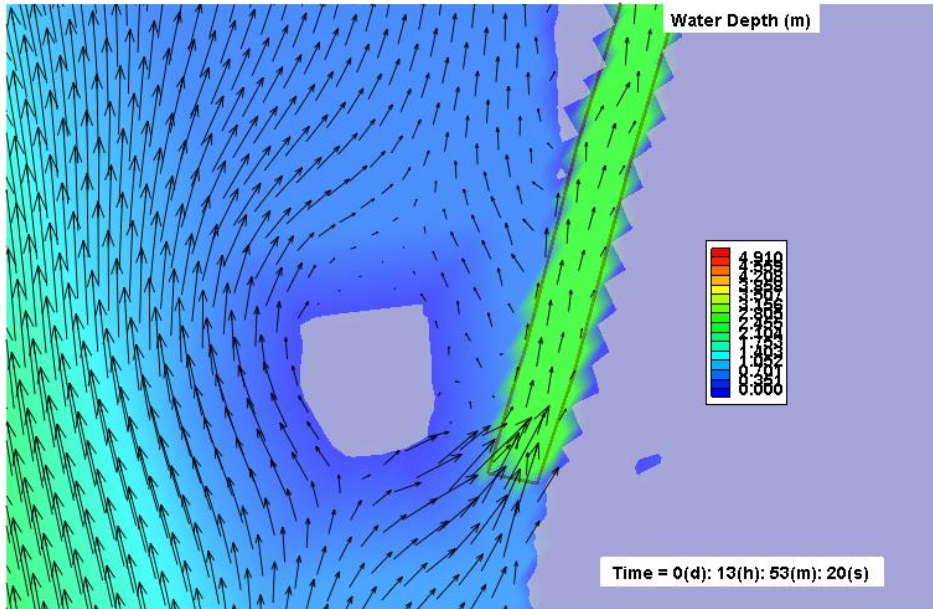
W korytach przekopów zachowany zostaje przepływ wody przy napelnieniu SSQ i SNQ (Ryc. 15). Przekop Miedzeszyn ma ograniczone połączenie w stanowisku górnym z nurtem, który przebiega w km 505 pod brzegiem lewym. Jest to strefa odkładania się rumowiska w postaci odsypu bocznego.



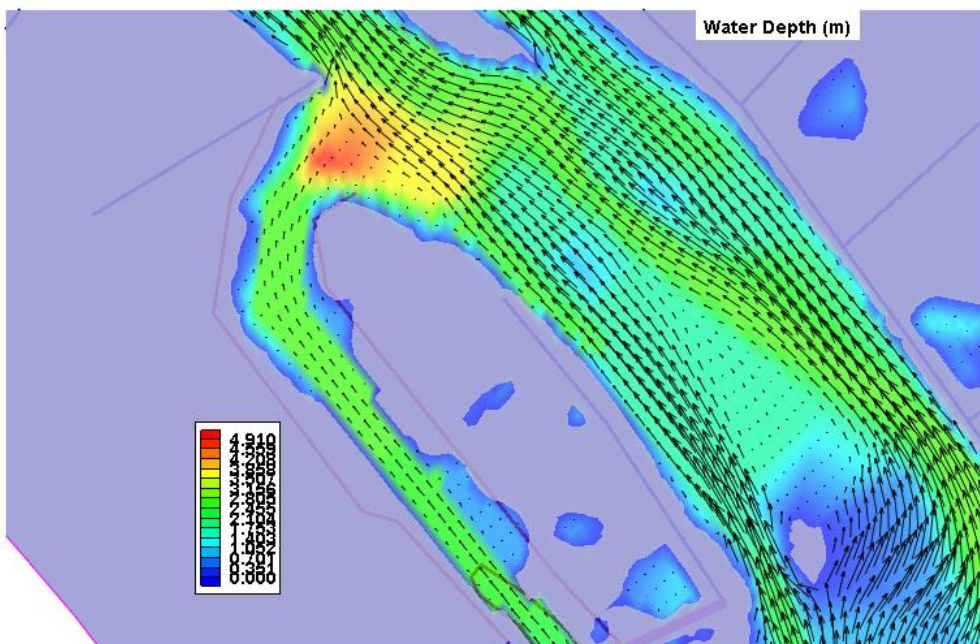
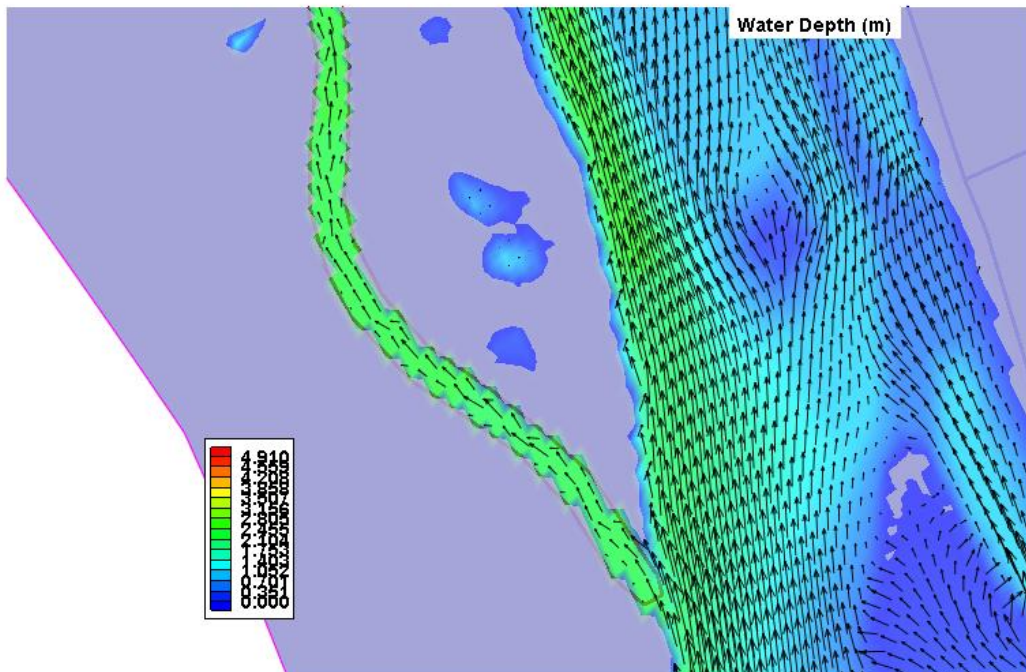
Ryc.16. Głębokości w przekopach Port WZEK i Miedzeszyn przy przepływie SNQ i SSQ

Model CCHE2D umożliwia wizualizację wektorów prędkości średniej w pionie w przyjętych scenariuszach obliczeniowych. Szczególnie istotny jest napływ wody

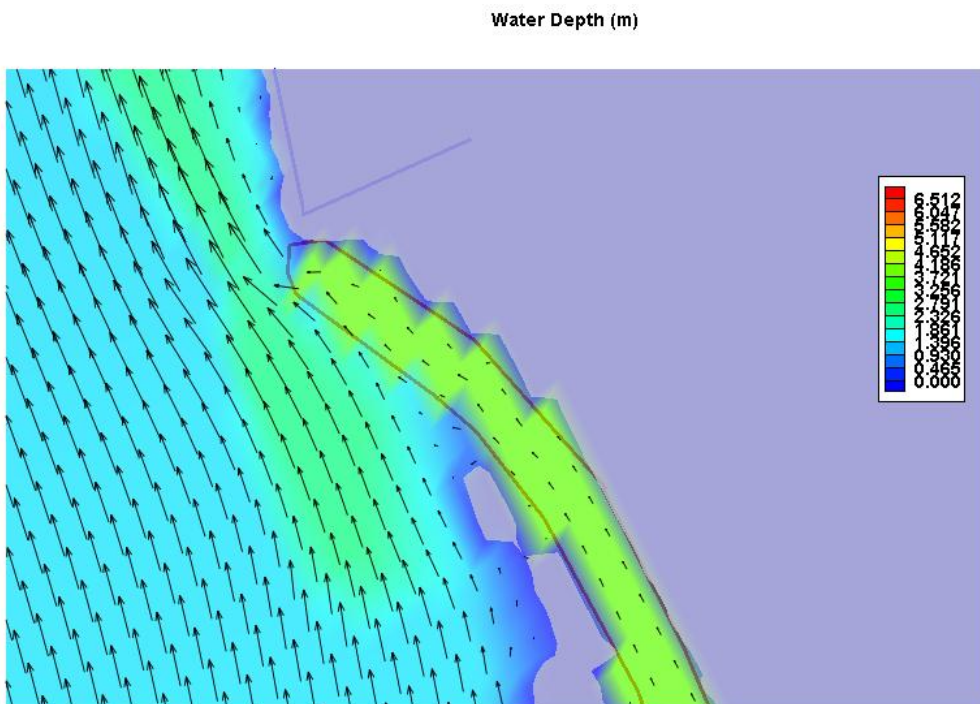
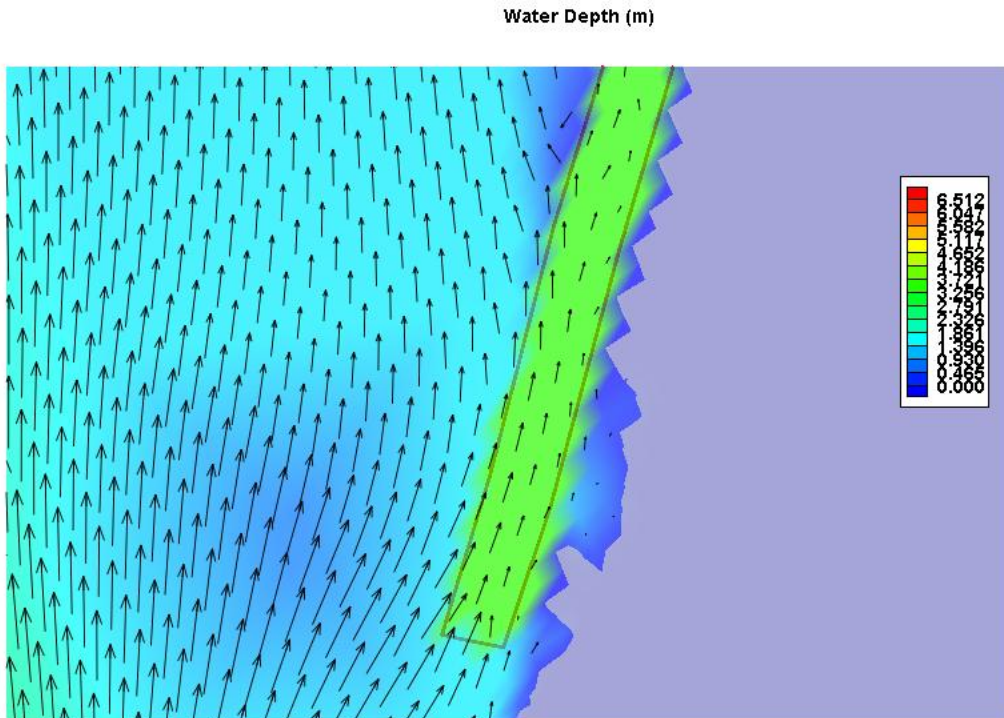
do przekopów w stanowiskach górnych i połączenie strumienia z głównym korytem w stanowiskach dolnych. Na Ryc. 16 i Ryc. 17 pokazano układ wektorów prędkości w warunkach przepływu SNQ przy wlocie i wyjściu z przekopów w obydwu lokalizacjach. Na Ryc. 18 i Ryc. 19 odpowiednio przy SSQ.



Ryc.17. Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Miedzeszyn przy SNQ

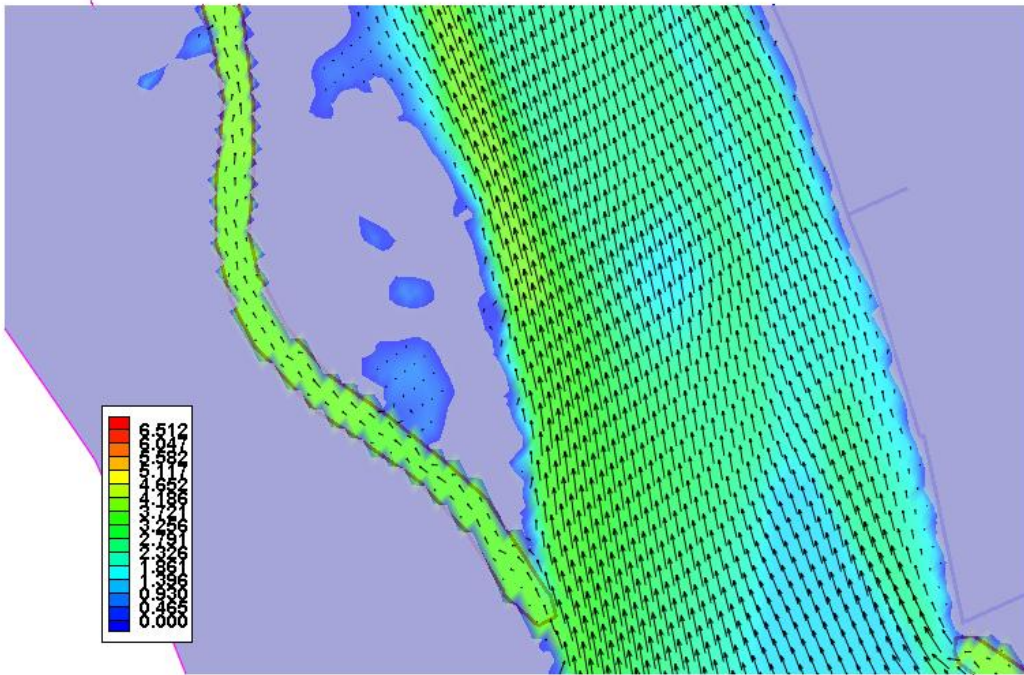


Ryc.18. Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Port WZEK przy SNQ

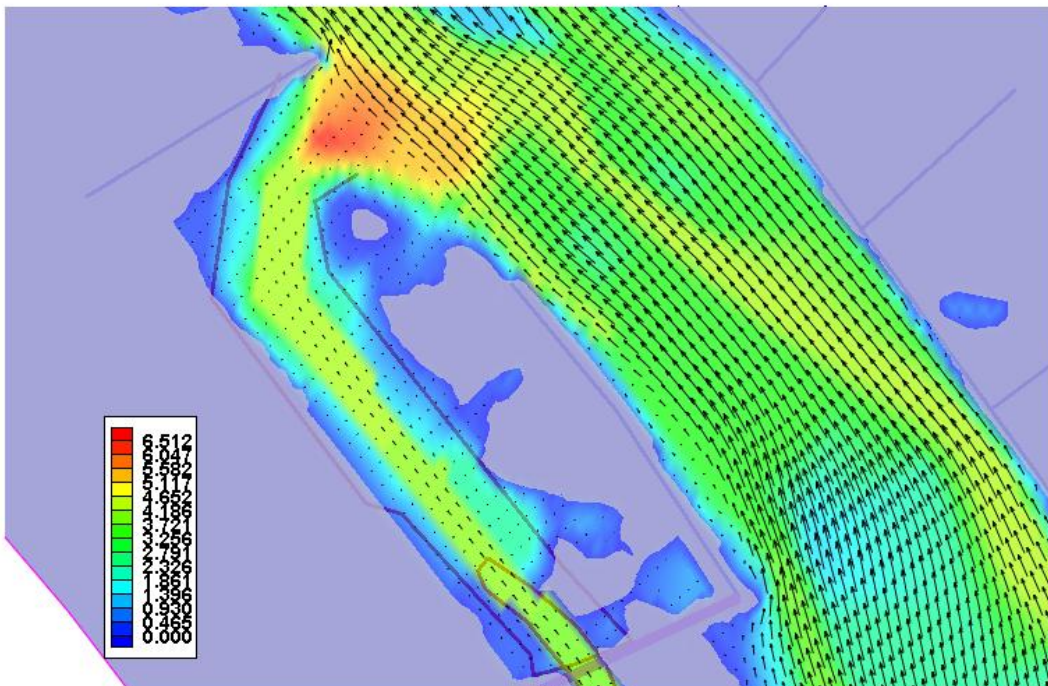


Ryc.19. Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Miedzeszyn przy SSQ

Water Depth (m)

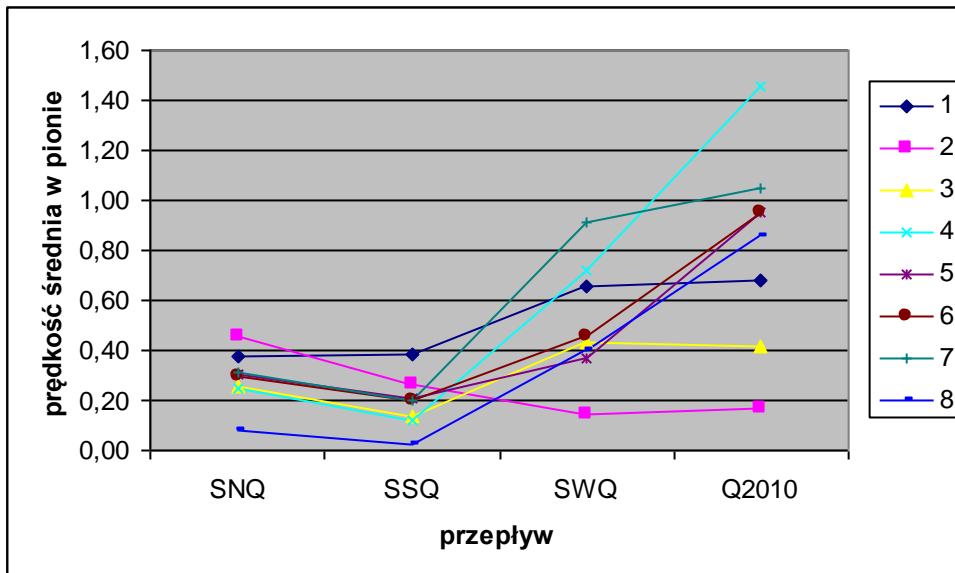


Water Depth (m)



Ryc.20. Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Port WZEK przy SSQ

Ważnym zagadnieniem jest wartość prędkości w osi przekopu przy różnych napełnieniach koryta Wisły. W tym celu wykonano obliczenia przy warunkach brzegowych podanych w Tabeli 7, rejestrując wartości prędkości w punktach monitoringu zaznaczonych na Ryc. 12. Wynik obliczeń przedstawia Ryc.20.



Ryc.21. Rozkład prędkości średnich w pionie w punktach monitoringu przy różnych przepływach charakterystycznych

Wyniki wskazują na wyrównany rozkład prędkości w przekopie Miedzeszyn przy całym zakresie przepływów. Przekop Port WZEK ma większy zakres zmian prędkości, punkt 4 na wlocie do przekopu ma w strefie stanów wysokich prędkości przekraczające 1 m/s.

2.3.MODELOWANIE PROCESU TRANSPORTU RUMOWISKA

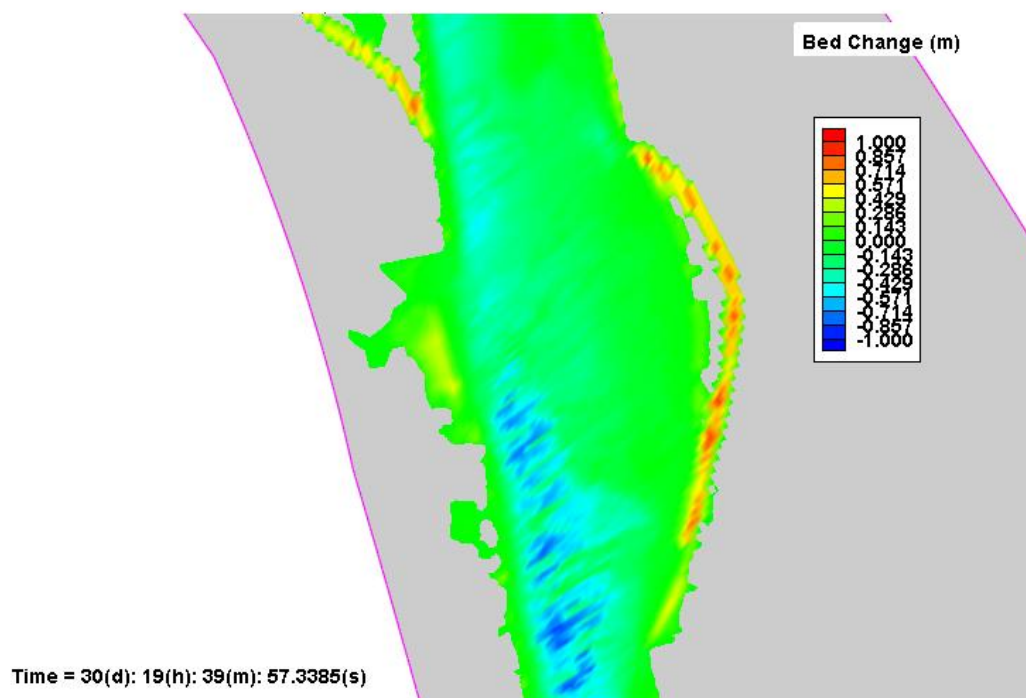
Procesy sedymentacji model CCHE2D opisuje za pomocą równań transportu rumowiska unoszonego i wleczonego. Do dyspozycji jest kilka równań transportu osadów, a mianowicie Ackersa i White, Engelunda i Hansena, Wu i in. W tym opracowaniu przyjęto w obliczeniach model transportu rumowiska unoszonego i wleczonego opracowany przez Wu i in. (2000). W modelu zakłada się brak wyraźnej granicy między rumowiskiem unoszonym i wleczonym, które ulega w procesie transportu ciągłej wymianie w strumieniu turbulentnym wody. Jako dane wejściowe podaje się średnicę miarodajną poszczególnych frakcji i ich procentowy udział w całkowitym transporcie. Na podstawie prac Skibińskiego i in. (1967) i Wiśniewskiego (1972) przyjęto, że w warunkach analizowanych nizinnych odcinków rzek udział rumowiska unoszonego w całkowitym transporcie wynosi 70%, a rumowiska wleczonego 30%.

Dla celów obliczeniowych przyjęto gęstości ziaren rumowiska $\rho=2,65 \text{ t/m}^3$, porowatość $p=0,24-0,31$. Wartości te pochodzą z pomiarów IMGW i literatury (Skibiński, 1976). Symulację

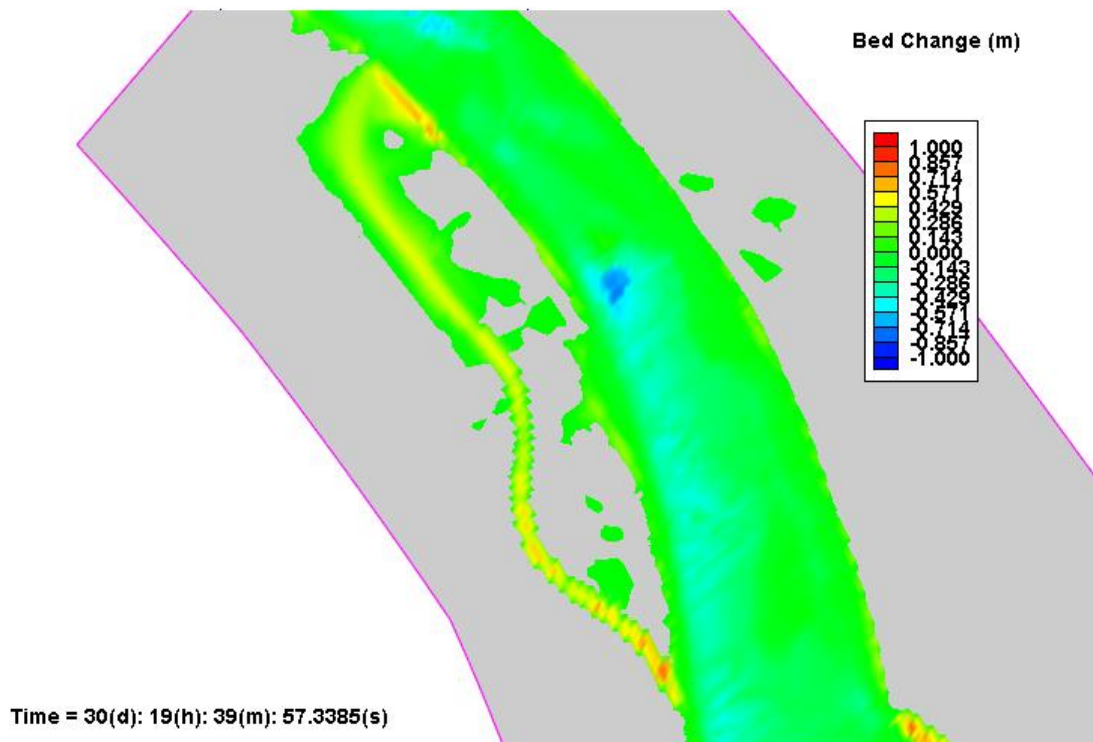
transportu osadów przeprowadzono przy przepływie ustalonym SSQ w czasie 30 dni. Wprowadzono warunek rozmywalnego dna i umiarkowanie silnej erozji, która wynika z geometrii koryta i międzywała w tzw. „gorsecie” warszawskim. Pozostałe parametry unoszenia i wleczenia to:

- średnica d_{50} rumowiska wleczonego – 0,37 mm,
- średnica d_{50} rumowiska unoszonego – 0,02 mm,
- koncentracja zawiesiny - 0,021 kg/m³,
- intensywność wleczenia – 0,10 kg/s m.

Wynik symulacji w postaci mapy deformacji dna w wyniku erozji lub sedymentacji dla dwu analizowanych lokalizacji przedstawia Ryc. 21 i 22. Analiza wyników wskazuje, że zarówno przekop w Porcie WZEK jak i w Miedzeszynie podlegać będzie sedymentacji. W przekopie Port WZEK wypłycający ulegać będzie wejście do przekopu i wyjście z dawnego basenu portowego. W przekopie Miedzeszyn, który położony jest w miejscu rozszerzenia trasy regulacyjnej sedymentacja będzie bardziej rozległa. Oznacza to konieczność zaplanowania prac po ukończeniu inwestycji, polegających na utrzymaniu odpowiedniej głębokości obydwu przekopów.



Ryc.22. Deformacje dna w wyniku sedymentacji i erozji dna w przekopie Miedzeszyn przy SSQ



Ryc.23. Deformacje dna w wyniku sedimentacji i erozji dna w przekroju Port WZEK przy SSQ

2.4. WPŁYW ROŚLINNOŚCI NA PRZEPLYW WODY W KORYCIE RZECZNYM

Cechą charakterystyczną rzek nizinnych jest złożona geometria przekrojów poprzecznych koryta i równin zalewowych, kręty lub roztokowy układ koryta, bogactwo form korytowych różnej skali, a także różnorodność pokrycia terenu równin zalewowych. W korytach rzecznych warunki przepływu wody zależą od oporów ruchu, na które wpływ mają wszystkie wymienione czynniki. Roślinność jest szczególnie istotnym składnikiem oporów ruchu, ponieważ w efekcie jej oddziaływania rosną straty energii strumienia oraz następuje zmiana kierunku i rozkładu prędkości płynącej wody. Wzrost strat energii strumienia wody powoduje zmniejszenie prędkości przepływu i zdolności transportowej rumowiska rzeczno. W warunkach rzeki obwałowanej jest to zjawisko niekorzystne, ponieważ w wyniku sedimentacji podnosi się teren międzywala.

Na opory przepływu wody wpływa rodzaj roślin, sposób ich rozmieszczenia, sztywność, wysokość i gęstość roślin, średnica łodyg i pni. Istotne są także warunki opływu roślin, tzn. czy roślinność jest całkowicie zatopiona, czy częściowo, a także jaka jest faza jej rozwoju w cyklu wegetacyjnym.

Bretschneider i Schulz (1985, za Kubrak J., Koziół A. 2001) wprowadzili podział roślinności w zależności od tego na jakiej znajduje się głębokości w danych warunkach przepływu. I tak roślinność wysoka to taka, która wystaje powyżej wody i w niewielkim stopniu

ulega deformacji pod wpływem parcia dynamicznego wody – np. drzewa. Roślinność średnia to taka, która zostaje zatopiona i znajduje się blisko powierzchni – np. krzewy. Roślinność niska ma małą wysokość w stosunku do głębokości wody. – np. roślinność trawiasta.

Roślinność zanurzona modyfikuje profil prędkości w pionie, który w warunkach swobodnego przepływu opisuje krzywa logarytmiczna. W warstwie roślinności niskiej i średniej prędkości w pionie nie przyrastają wraz z głębokością wody, dopiero powyżej jej stropu prędkość kształtuje się wg logarytmicznego prawa rozkładu.

Rozkład prędkości wody w złożonym przekroju poprzecznym koryta zależy nie tylko od spadku i głębokości, lecz także jest dodatkowo uzależniony od kształtu przekroju poprzecznego. Na równinie zalewowej graniczącej z korytem głównym występuje obszar przyspieszonego przepływu wody, którego oddziaływanie sięga w głąb równiny zalewowej na odległość równą połowie szerokości koryta głównego. Oznacza to, że jest to część przekroju poprzecznego, która silnie warunkuje przepustowość hydrauliczną całego koryta. W dalszej części terenu zalewowego prędkości przepływu wody są znacznie niższe i w efekcie ta część przekroju mniej wpływa na przepustowość całego przekroju poprzecznego.

Ograniczenie drogi przejścia wód wielkich do międzywala narzuca konieczność utrzymywania dobrej przepustowości tego trenu, między innymi przez kontrolowanie rozwoju roślinności. W pracy Kubrak i in. (2012) zaproponowano kryteria usuwania roślinności z terenów zalewowych, wyprowadzone z analizy wykonanej za pomocą modelu hydraulicznego.

Jenym z zaleceń w przypadku przekroju złożonego z wielodzielnym korytem jest ograniczanie zarastanie wysp. Stosunkowo najmniejszy wpływ na rozkład prędkości przepływu wody ma roślinność wysoka - drzewa. Gęsta roślinność średnia, taka jak zarośla i krzewy istotnie ogranicza prędkość przepływu wody, co prowadzi do akumulacji rumowiska i przyspiesza proces podziału przekroju poprzecznego na części.

To oddziaływanie jest widoczne także w przebiegu górnych gałęzi krzywych natężenia przepływu. Na przykład w przypadku profilu Port-Praski na Wiśle porównanie rzędnych wody przy tym samym przepływie w okresie wiosennym (bez rozwiniętej roślinności) i w okresie letnim wskazuje na spiętrzenie sięgające 40 cm. (Ozga-Zieliński i in., 2010).

Proponowane w projekcie prace polegające na odślonieniu powierzchni terenu przez usunięcie średniej i niskiej roślinności na wyspach, należy zaliczyć do posunięć poprawiających przepustowość hydrauliczną międzywala. Należy jednak pamiętać, że roślinność pełni także rolę stabilizacyjną, a więc jej usunięcie może doprowadzić do szybkiej deformacji makro-form kortowych, do jakich zaliczają się wyspy.

2.5. WNIOSKI

- Lokalizacja przekopów Miedzeszyn i Port WZEK jest właściwie dobrana pod względem historii rozwoju koryta Wisły i oddalenia od dawnych koryt rzecznych, przecinających obecne wały przeciwpowodziowe.
- W przekopach można uzyskać przepływ i napełnienie wodą także przez wodzie SNQ.
- Napływ strug wody do przekopów i ich odpływ powrotny nie zaburza pola prędkości w korycie głównym i nie powoduje deformacji spadku podłużnego zwierciadła wody.
- Przepływ w przekopach przy wezbraniach odbywa się przy prędkościach nieprzekraczających 1 m/s.
- Wynik modelowania deformacji dna Wisły i przekopów wykonany dla warunków średniego przepływu wskazuje na proces zamulania przekopów.
- Proponowane w projekcie prace polegające na odsłonięciu powierzchni terenu przez usunięcie średniej i niskiej roślinności na wyspach, należy zaliczyć do posunięć poprawiających przepustowość hydrauliczną międzywala. Należy jednak pamiętać, że roślinność pełni także rolę stabilizacyjną, a więc jej usunięcie może doprowadzić do szybkiej deformacji makro-form kortowych, do jakich zaliczają się wyspy.

2.6. BIBLIOGRAFIA

- Altınakar M.S., Czernuszenko W., Rowiński P., Wang S.Y. (red.), 2005, Computational Modeling for the Development of Sustainable Water Resources Systems in Poland. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. E-5 (387), 239-260.
- Bretschneider H., Schulz A., 1985, Anwendung von Fließformeln bei naturnahem Gewässerausbau. DVWK - Schriften, Heft 72.
- Biernacki Z., 2000, Geomorfologia i wody powierzchniowe. [w:] Wisła w Warszawie. Biuro Zarządu m.st. Warszawy. Wydział Planowania Przestrzennego i Architektury, Warszawa.
- Ćwikiel J.S., 1925, Budowle wodne, stosowane przy regulacji Wisły i jej dopływów. Roboty faszynowe. Warszawa.
- Jacewicz A.R., Kuźniar P., 2000, Zarys historyczny kształtowania się doliny i koryta Wisły na odcinku warszawskim. [w:] Matuszkiewicz J. M., Roo-Zielińska E. (red.), Międzywale Wisły jako swoisty układ przyrodniczy (odcinek Pilica-Narew). Dokumentacja Geograficzna, IGiPZ PAN, Warszawa, 2000.

- Jia Y, Wang, S.S.Y., Xu Y., 2002, Validation and application of a 2D model to channels with complex geometry. *International Journal of Computational Engineering Science* Vol. 3, No. 1, 57-71.
- Krukowicz A., 2010: Stan zagrożenia powodziowego Warszawy i niektóre problemy związane z ochroną przed powodzią. *Gospodarka Wodna* nr. 3, s. 116-118.
- Kubrak J., Koziół A., Kubrak E., Wasilewicz M., Kiczko A., 2012, Analiza wpływu roślinności na warunki przepływu wody w międzywał. Określenie kryteriów ustalania miejsc przeprowadzania wycinek i usuwania nadmiaru roślinności. Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW, maszynopis.
- Kurzelewski J., 1999, Koncepcja programowo-przestrzenna zagospodarowania doliny i regulacji Wisły - założenia i główne kierunki rozwiązań. *Gospodarka Wodna*, 10, 342-343.
- Kwiciński L., 1893 a, Rzeka Wisła. Streszczenie odczytu wygłoszonego przez inż. Kwicińskiego na zjeździe hydrotechników w Petersburgu, w miesiącu styczniu i lutym 1892 r. *Przegląd Techniczny*, T. XXX, 3, 49-52.
- Kwiciński L., 1893 b, Rzeka Wisła. Streszczenie odczytu wygłoszonego przez inż. Kwicińskiego na zjeździe hydrotechników w Petersburgu, w miesiącu styczniu i lutym 1892 r. *Przegląd Techniczny*, T. XXX, 4, 75-78.
- Magnuszewski A, Gutry-Korycka M., Mikulski Z., 2012, Historyczne i współczesne warunki przepływu wód wielkich Wisły w Warszawie cz. I i II. *Gospodarka Wodna* 1, ss. 9-17, 2, ss. 58-63.
- Ozga-Zieliński B., Szkutnicki J., Kadłubowski A., Chudy Ł., 2010, Wisła w Warszawie – wybrane problemy hydrologiczne. *Gospodarka Wodna*, 12, 490-493.
- Prószyński M., 1972, Studium historyczne zmian w dolinie Wisły między Górą Kalwarią a Warszawą, oparte o jednolity układ kartometryczny. *Prace i Studia Instytutu Geograficznego UW*, T. 10, z. 4, 125-160
- Skibiński J., 1976, Próba ilościowej oceny intensywności transportu rumowiska wleczonego w rzekach środkowej Polski. *Zeszyty Naukowe SGGW AR*, Warszawa, nr. 74.
- Skibiński J., Ciepiewski A., Dąbkowski L., Mordziński S., Winiarczyk H, 1967, Badanie rumowiska rzeczno-egzogenicznego w strefie wtórnej cofki projektowanego zbiornika wodnego w okolicy m. Sulejowa na rz. Pilicy. *Katedra Budownictwa Wodnego SGGW*, Warszawa (maszynopis)
- Szymański E., 1897, Roboty regulacyjne na rzece Wiśle pod Warszawą od r. 1885 do 1895, według pracy inż. L. Kwicińskiego. *Przegląd Techniczny*, 11-17.

Wiśniewski B., 1972, Prognozowanie zamulania zbiorników wodnych na przykładzie dużego zbiornika nizinnego. Informator Projektanta. Komunikat Informacyjny Centralnego Biura Studiów i Projektów Budownictwa Wodnego Hydroprojekt. nr. 1.

Wu W., Wang S.S.Y., Jia Y., 2000, Nonuniform sediment transport in alluvial riveres. Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 38, No. 6.

Wierzbicki J., 2001, Stałość pionowego układu koryta Wisły oraz położenia zwierciadła wód małych i wielkich na odcinku miejskim w Warszawie. Gospodarka Wodna, 4, 143-149.

3. OCENA STANU RÓWNOWAGI DYNAMICZNEJ

(doc. dr inż. Piotr Kuźniar)

3.1. RÓWNOWAGA DYNAMICZNA CIEKÓW

Morfologię koryt rzecznych kształtują dwa typy procesów rumowiskowych, tj. erozja brzegowa i wgłębna (dna) oraz akumulacja rumowiska. Maja one charakter ciągły i zachodzą pod wpływem zmian przepływu wody i rumowiska oraz dynamiki tych zmian. Stabilność odcinka ciekłu jest zachowana wówczas gdy nie ulega on ani erozji ani akumulacji. Najprostszym sposobem oceny stabilności są wskaźniki pozwalające oceniać podatność dna koryta na przeobrażenia zachodzące w wyniku procesów rumowiskowych.

Wskaźnikiem określającym tempo wydatkowania energii ciekłu na jednostkowej powierzchni dna przy określonym przepływie jest jednostkowa moc strumienia wyrażona następującym wzorem:

$$P = \frac{\gamma_w \cdot g \cdot Q \cdot I}{B} \quad [W/m^2]$$

gdzie:

P – jednostkowa moc strumienia,

γ_w – gęstość wody w kg/m^3 ,

g – przyspieszenie ziemskie w m/s^2 ,

Q – przepływ wody w m^3/s ,

I – spadek ciekłu w liczbach bezwzględnych,

B – szerokość ciekłu w m przy napełnieniu przepływem Q .

Moc koryta wody średniej (regulacyjnego) warszawskiego odcinka Wisły wynosi:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 550 \cdot 0,00024}{200} = 6,5 \quad [W/m^2]$$

W warunkach wody brzegowej jednostkowa moc strumienia wzrasta blisko 3-krotnie:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 2500 \cdot 0,00024}{350} = 17 \quad [W/m^2]$$

i jest większa od mocy jednostkowej w warunkach powodziowych:

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 6000 \cdot 0,00024}{1000} = 14 \quad [W/m^2]$$

Świadczy to o korytotwórczej roli przepływu brzegowego, większej od wód powodziowych. Wzrost przepływu od momentu zatopienia brzegów cieków powoduje stosunkowo niewielki przyrost jednostkowej mocy strumienia w strefie korytowej, co powoduje mniejszy wpływ na kształtowanie znacznie powiększonej szerokości przekroju koryta.

Z punktu widzenia stabilności dna wskaźnik jednostkowej mocy strumienia P dzieli koryta w następujący sposób:

- rzeki o małej mocy strumienia, gdy $P \leq 35 \text{ W/m}^2$ cechuje duża stabilność koryta,
- rzeki o dużej mocy strumienia, gdy $P > 35 \text{ W/m}^2$ cechuje mała stabilność koryta,

oraz pozwala scharakteryzować trudne do utrzymania stabilności rodzaje cieków podane w tabeli 8.

Tabela 8. Przedziały wartości jednostkowej mocy strumienia przepływu pełnokorytowego charakteryzujące różne rodzaje cieków¹

Jednostkowa moc strumienia przy przepływie pełnokorytowym	Charakter cieków
≤ 10	Ciek piaszczysty o małej mocy strumienia
$10 \div 35$	Ciek żwirowy, niskoenergetyczny, stabilny, z tendencją do formowania koryta o małym zróżnicowaniu morfologii oraz siedlisk organizmów
$35 \div 100$	Ciek żwirowy o dużej energii strumienia, zachowujący równowagę w przypadku ograniczonej dostawy rumowiska i adekwatnym uziarnieniu bystrzy i plos
$100 \div 300$	Ciek żwirowy lub kamienisty o bardzo dużej energii strumienia i korycie stabilnym tylko w przypadku niezaburzonej dostawy rumowiska z brzegów lub dopływów
≥ 300	Ciek kamienisty, przy zewnętrznych ograniczeniach koryta i doliny niestabilny i wykazujący tendencję do transformacji w koryto skalne

Inne, tradycyjnie stosowane wskaźniki stabilności koryt rzecznych to:

✓ wskaźnik Łochtina, w warunkach Wisły Warszawskiej wynoszący:

$$\eta_{\pm} = \frac{d}{I} = \frac{0,04}{0,024} = 1,7$$

¹ Zasady dobrej praktyki w utrzymaniu rzek i potoków górskich

✓ wskaźnik Makkaveeva, w warunkach Wisły Warszawskiej wynoszący:

$$\eta_M = \frac{1000 \cdot d}{B \cdot I} = \frac{1000 \cdot 0,04}{200 \cdot 0,024} = 8,3$$

w których:

d – średnica osadów tworzących dno koryta, (mm),

J – spadek dna koryta, (%),

B – szerokość koryta, (m).

Klasyfikują one odcinek Wisły Warszawskiej do koryt rzecznych niestabilnych / o małej stabilności, zgodnie z tabelą 9.

Tabela 9. Klasyfikacja koryt rzecznych według wartości wskaźników Łochtina i Makkaveeva

Stopień stabilności koryta	Wskaźnik stabilności	
	η_L	η_M
Koryto niestabilne	< 2	< 6
Koryto o małej stabilności	2 – 5	6 – 15
Koryto dość stabilne	5 – 10	15 – 20
Koryto stabilne	10 – 50	20 – 100
Koryto absolutnie stabilne	> 50	> 100

Najlepszym sposobem oceny stabilności koryt rzecznych jest wykonanie bilansu transportu rumowiska. Jest on szczególnie polecany w przypadku sprawdzania skutków projektowanej zmiany koryta (regulacji lub renaturyzacji) albo zabudowy rzeki (wykonania budowli wodnych). Podstawowym warunkiem stabilności koryta jest niezmiennosc natężenia transportu rumowiska na rozpatrywanym odcinku rzeki:

$$\frac{\Delta Q_r}{\Delta x} = 0$$

co oznacza, że ilość rumowiska dopływającego do przekroju początkowego $Q_r(P)$ jest równa ilości rumowiska odpływającego przez przekrój końcowy $Q_r(K)$. Jeżeli $Q_r(P) \neq Q_r(K)$ możliwe są dwa przypadki:

$Q_r(P) > Q_r(K)$ – na odcinku występuje akumulacja rumowiska

$Q_r(P) < Q_r(K)$ – na odcinku występuje erozja koryta

Całkowite natężenie transportu rumowiska Q_r [m^3/s lub kg/s] jest sumą:

$$Q_r = Q_{ru} + Q_{rw}$$

gdzie:

Q_{ru} – natężenie transportu rumowiska unoszonego

Q_{rw} – natężenie transportu rumowiska wlezonego

W ocenie stabilności rzek wyróżnia się zatem:

- równowagę statyczną,
- równowagę dynamiczną.

Równowaga statyczna występuje wówczas gdy występuje ruch rumowiska unoszonego, a nie występuje jego akumulacja (sedymentacja) i nie występuje ruch rumowiska wlezonego. Warunkiem stabilności statycznej jest:

$$\frac{\Delta Q_r}{\Delta x} = \frac{\Delta Q_{ru}}{\Delta x} = 0$$

Równowaga dynamiczna występuje wówczas gdy występuje ruch rumowiska unoszonego, występuje ruch rumowiska wlezonego (najczęściej okresowo), występują zarówno procesy erozji jak i akumulacji rumowiska wlezonego, stąd występują okresowe zmiany cech morfologicznych:

- układu poziomego rzeki (rozwinęcia koryta w planie),
- układu pionowego rzeki (profilu podłużnego),
- przekrojów poprzecznych,

ale podstawowe parametry koryta takie jak szerokość, głębokość średnia, spadek podłużny w dłuższym okresie nie ulegają zmianie.

Warunkiem stabilności dynamicznej jest:

$$\frac{\Delta Q_r}{\Delta x} = \frac{\Delta Q_{ru} + \Delta Q_{rw}}{\Delta x} = 0$$

przy czym Q_r zmienia się zależnie od natężenia przepływu Q .

Do oceny stabilności koryta konieczna jest znajomość rzeczywistej zależności $Q_r = Q_r(Q)$, co w praktyce może być niemożliwe do określenia z następujących powodów:

- ruch rumowiska, zwłaszcza wlezonego, charakteryzuje się dużą zmiennością nawet w warunkach przepływu ustalonego, co wynika z przemieszczania się form dennych o zmiennych kształtach i wymiarach;

- materiał denny charakteryzuje się zróżnicowanym uziarnieniem pod względem wielkości ziaren i udziałem poszczególnych frakcji;
- konieczności wykonania pomiarów wleczenia i zmaczenia w pełnym zakresie zmienności przepływów – od minimalnych do maksymalnych;

W przypadku korzystania ze wzorów empirycznych konieczne jest dopasowanie stosowanych formuł do warunków hydraulicznych rzeki i uziarnienia rumowiska.

Ze względu na trudności w sporządzaniu rzeczywistego bilansu ruchu rumowiska, w ocenie stabilności stosuje się uproszczone metody pośrednie, polegające na porównaniu:

v – prędkości przepływu lub τ – naprężeń stycznych

z odpowiednimi wartościami charakteryzującymi warunki stabilności.

Ocena stabilności według kryterium prędkości v polega na porównaniu prędkości przepływu wody z prędkościami charakteryzującymi warunki początku ruchu oraz intensywności ruchu rumowiska - unoszonego i wlezonego:

- v_{nz} – prędkość niezamulająca, czyli minimalna średnia prędkość przepływu, przy której cząstki rumowiska unoszonego zawieszono w przestrzeni przepływu nie opadają na dno koryta.
- v_{gr} – prędkość graniczna (nazywana również zrywającą lub krytyczną) – przy której pojedyncze ziarna materiału dennego zaczynają się toczyć (przesuwać) po dnie – jest to prędkość początkowa wleczenia;
- V_{dop} – prędkość dopuszczalna (nierozmywająca), przy której występuje umiarkowany ruch rumowiska wlezonego;
- V_{rozm} – prędkość rozmywająca (masowego ruchu rumowiska wlezonego) – prędkość intensywnego wleczenia, powoduje erozję koryta.

Jak wcześniej opisano, równowaga statyczna występuje wtedy gdy występuje ruch rumowiska unoszonego - nie występuje akumulacja (sedymentacja) rumowiska unoszonego, a nie występuje ruch rumowiska wlezonego. Warunkiem stabilności statycznej określonej równaniem bilansowym:

$$\frac{\Delta Q_r}{\Delta x} = \frac{\Delta Q_{ru}}{\Delta x} = 0$$

według kryterium prędkości charakterystycznych dla ruchu rumowiska jest:

$$v_{nz} < v < v_{gr}$$

gdzie v jest prędkością przepływu wody w korycie.

Warunkiem stabilności dynamicznej określonej równaniem bilansowym:

$$\frac{\Delta Q_r}{\Delta x} = \frac{\Delta Q_{ru} + \Delta Q_{rw}}{\Delta x} = 0$$

według kryterium prędkości charakterystycznych dla ruchu rumowiska jest:

$$v_{gr} < v \leq v_{dop}$$

Warunek ten oznacza, że występuje ruch rumowiska unoszonego (przy braku sedymentacji) i występuje umiarkowany, tranzytowy ruch rumowiska wleczonego nie powodujący erozji lub akumulacji koryta.

Ocena stabilności według kryterium naprężeń stycznych polega na porównaniu naprężenia stycznego na dnie z wartościami naprężeń stycznych zapewniających stabilność koryta. Naprężenie styczne τ jest jednostkową siłą oddziaływania strumienia na dno koryta (tzw. siłą poruszającą), równą sile tarcia na jednostkowej powierzchni dna ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$).

W ruchu jednostajnym średnie naprężenie styczne jest równe:

- w przekroju $\tau = \rho_w g R J$
- w pionie $\tau = \rho_w g h J$

gdzie:

ρ_w – gęstość wody (kg/m^3)

g – przyspieszenie ziemskie (m/s^2)

R – promień hydrauliczny (m)

h – głębokość wody (m)

J – spadek hydrauliczny (spadek zw. wody) (-)

Warunek stabilności statycznej dna:

$$\tau < \tau_{gr}$$

gdzie:

τ_{gr} – naprężenie graniczne (krytyczne), po przekroczeniu którego rozpoczyna się ruch ziaren materiału dennego (rumowiska wleczonego), $\tau_{gr} = f(d, T, \rho_w, \rho_r)$ ρ_r – gęstość materiału dennego

Warunek stabilności dynamicznej dna:

$$\tau_{gr} < \tau < \tau_{dop}$$

gdzie:

τ_{dop} – napężenie dopuszczalne, przy którym ruch rumowiska wlezonego jest umiarkowany – nie powstaje erozja koryta $\tau_{dop} = f(d, \text{ilości rumowiska unoszonego})$

Wartość τ_{gr} i τ_{dop} określa się najczęściej według wykresów lub wzorów empirycznych:

- τ_{gr} – na podstawie wykresu Shields'a lub innych autorów,
- τ_{dop} – na podstawie wykresu Lane'a.

3.2. TRANSPORT RUMOWISKA WLEZONEGO NA ODCINKU WISŁY WARSZAWSKIEJ

Określenie ilości transportowanego rumowiska poprzez bezpośrednie badania terenowe jest jednym z najtrudniejszych zagadnień hydrometrii rzecznej. Jest to pomiar długotrwały, wykonywany przez zespoły wieloosobowe przy użyciu specjalistycznego sprzętu, a jego dokładność jest stosunkowo niewielka. Zależy ona od ilości pionów pomiarowych, liczby pomiarów w pionie, czasu trwania pojedynczego pomiaru oraz wielkości wleczenia (tabela 10). Z tych powodów dla oszacowania ilości ruchu rumowiska najczęściej stosowane są wzory empiryczne. Wzory mogą dotyczyć określonego profilu, odcinka rzeki lub regionu. Ponieważ ich opracowanie i tarowanie współczynników opiera się na posiadanym materiale pomiarowym, ich dokładność nie może być wyższa od dokładności tych pomiarów.

Tabela 10. Sprawności łapaczki używanej na rzece Aarze w Szwajcarii w zależności od czasu trwania pojedynczego pomiaru i wielkości wleczenia wg Dębskiego²

Wleczenie [kg/s/m]	Czas pobierania próby		
	30 min	120 min	240 min
1,5	0.36	0.45	0.56
5,7	0.29	0.35	0.44

Czas pojedynczego pomiaru na rzekach polskich na ogół był znacznie krótszy niż podaje tabela 8 i wynosił najczęściej 5 minut.

Przed drugą wojną światową do pomiaru wleczenia używano łapaczki typu Borna o sprawności wynoszącej, wg oceny Dębskiego, około 10%. Po wojnie w PIHM opracowano nową konstrukcję łapaczki o sprawności 41%, dzięki której zaczęto otrzymywać lepsze wyniki.

² K. Dębski – Regulacja rzek. PWN. Warszawa 1978 r.

Pomiar wielkości transportu rumowiska w Wiśle w rejonie Warszawy wykonywano zwykle powyżej ujścia rzeki Wilanówki z uwagi na zwarty przekrój poprzeczny koryta i małą liczbę czynników zakłócających warunki przepływu w korycie (ujmowanie wody, roboty bagrownicze itp.). Profil pomiarowy Nadwilanówka usytuowany był na uregulowanym odcinku Wisły w km 503+500, 750 m powyżej ujścia rzeki Wilanówki, na łuku o promieniu 1900 m. W tym rejonie rozpoczęła się regulacja koryta wykonana w drugiej połowie XIX wieku w związku z budową wodociągów warszawskich oraz mostu Kierbedzia. Szerokość trasy regulacyjnej wynosiła wówczas 300 m. Po przeprowadzonej kolejnej fazie regulacji koryta, szerokość trasy regulacyjnej w profilu Nadwilanówka wynosiła 218 m. Brzeg lewy ustabilizowano tamą podłużną przechodzącą w opaskę brzegową, a prawy zabudowano ostrogami.

W latach 1940 – 1955 najwięcej pomiarów wleczenia w rejonie Warszawy było wykonanych w profilu Nadwilanówka. W roku hydrologicznym 1960/61, w celu uzyskania danych spójnych z wynikami wcześniejszych pomiarów zdecydowano się kontynuować badania ilości ruchu rumowiska w tym samym profilu. Prace prowadził Skibiński z udziałem pracowników ówczesnego PIHM, stosując wprowadzoną od sierpnia 1960 r. do pomiarów rumowiska wleczonego w Polsce - „łapaczkę PIHM”. Wraz z nowym przyrządem zmieniono technikę pomiaru. Zasadnicza zmiana polegała na zmniejszeniu liczby pionów pomiarowych w przekroju poprzecznym koryta do ośmiu, a zwiększeniu liczby pomiarów w pionie – także do ośmiu. Wyjątkowo, tylko w miejscach o słabym natężeniu wleczenia wykonywano cztery pomiary w pionie. Zmiany te wynikały z oszacowań błędu pomiaru. Błąd pojedynczego pomiaru wynosił ok. 70%. Przy pomiarze ośmiokrotnym zmniejszyła się do 30%. Ograniczenie liczby pionów wynikało z doświadczeń krajów sąsiednich. Ograniczenie czasu trwania pomiarów w poszczególnych pionach wynikało także z wymagań funkcjonującej wtedy żeglugi. Z uwagi na ilość pobieranego materiału i kłopoty z jego transportem do laboratorium zrezygnowano z ważenia pobranych próbek. Przyjęto zasadę pomiaru objętości na miejscu poboru przy użyciu cechowanych naczyń. Zaplanowano badania w szerokim zakresie przepływów, co pozwoliłoby ustalić ilość wleczonego materiału w zależności od wielkości przepływu wody.

Rok hydrologiczny 1960/61 należał do jednego z najbardziej suchych. Z tego powodu, oraz ze względu na trudności techniczne wykonane zostały pomiary tylko w granicach od 331 m³/s do 693 m³/s, tj. w granicach przepływu średniorocznego. Na podstawie swoich pomiarów oraz wcześniejszych przeprowadzonych badań, Skibiński³ ustalił wzór na wielkość wleczenia w profilu Nadwilanówka w funkcji przepływu

$$G=0.005Q^{1.286}$$

gdzie:

Q - przepływ wody w m³/s,

G - wielkość wleczenia w dm³/s.

³ J. Skibiński, Wleczenie rumowiska dennego przez Wisłę w rejonie Warszawy. Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej. Z. 53, 1963 r.

Nierównomierny rozkład głębokości i zróżnicowanie prędkości płynącej wody powoduje, że wleczenie rumowiska odbywa się pasem o szerokości mniejszej niż całkowita szerokość dna koryta. Szerokość tego pasa nazywana jest „wstęgą wleczenia”. Badania Skibińskiego z lat 1960-1961 wykazały zmianę szerokości wstęgi od 96 m do 135 m, przy głębokości średniej zmieniającej się o 1 m. Wleczenie pełną szerokością regulacyjną (218 m), według oszacowań Skibińskiego odbywało się przy przepływach większych od 2400 m³/s.

Otrzymywane drogą pomiarów wielkości wleczenia i budowane zależności dotyczą konkretnych warunków hydrodynamicznych w korycie. Najistotniejsze czynniki wg Skibińskiego to głębokość, zróżnicowanie uziarnienia, prędkość dynamiczna oraz spadek zwierciadła wody. Obecnie odcinek koryta rzeki Wisły, na którym znajduje się profil Nadwilanówka, cechuje stałe obniżanie się dna i lustra wody, czego wyraźnym objawem było obniżenie zera wodowskazu Nadwilanówka o 2 m już po 15 latach (1980-1994) od jego założenia wraz z limnigrafem w km 503,5.

Często dla weryfikacji wyników pomiarów terenowych transportu rumowiska przeprowadza się ich porównanie z rezultatami obliczeń wzorami empirycznymi opracowanymi dla innych odcinków tej samej rzeki lub dla rzek o podobnych warunkach przepływu. Największą dokładność mają zwykle wzory opracowane dla jednego konkretnego profilu. Wzory regionalne są mniej dokładne ze względu na uproszczone i uśrednione opisy lokalnych warunków hydrodynamicznych.

Najszerze zestawienie wyników wleczenia obliczonych wzorami empirycznymi przedstawił Skibiński. Przyjęcie wielkości wchodzących do wzorów poprzedzone było szeroką analizą ich zmienności w naturze. W pracach Skibińskiego dotyczyło to nie tylko profilu Nadwilanówka, a także innych profili na Wiśle i niektórych innych rzekach⁴. Pomimo tego rozrzut wyników przekraczał 200%. Podobną dokładność wzorów można zobaczyć w wynikach cytowanych przez Wołoszyna dla Dunaju w profilu Bratysława. Dla Wisły rezultaty zbliżone do wyników pomiaru Skibińskiego i rezultatów obliczeń według podanej wyżej zależności dały wzory Meyer-Petera i Müllera w wersji oryginalnej oraz zmodyfikowanej przez Jasiewicza.

Późniejsze badania i bilanse potwierdziły wielkość wleczenia określoną przez Skibińskiego jako 504 576 m³ w przeciętnym roku (w roku hydrologicznym 1960/61 ilość ta wyniosła 371 520 m³).

Dla przeciętnego roku hydrologicznego Skibiński ustalił, że podział rocznej objętości transportowanego rumowiska wleczonego jest następujący:

- w strefie przepływów wysokich ($Q > 1105 \text{ m}^3/\text{s}$) - 30 % rocznego transportu,
- w strefie przepływów średnich - 62 %,
- w strefie przepływów niskich ($Q < 281 \text{ m}^3/\text{s}$) - 8 %.

⁴ J. Skibiński, Próba ilościowej oceny intensywności transportu rumowiska wleczonego w rzekach Środkowej Polski. Zeszyty Naukowe SGGW AR w Warszawie. Z. 74, Warszawa 1976

Powyższe proporcje wskazują, że transport rumowiska wlezonego jest przede wszystkim kształtowany przez przepływy średnie. Można zatem przyjąć, że w latach suchych, przy braku większych wezbrań, roczny transport rumowiska wynosi 70% ilości w roku przeciętnym tj. około 350 000 m³.

Wartości natężenia wleczenia w roku przeciętnym, podawane wcześniej przez innych badaczy, były dużo niższe. Kornacki⁵ powołując się na Dębskiego podaje wielkość 100 000 m³, Wołoszyn⁶ nie podając źródła pisze o 77 000 m³, a Jarocki⁷ podaje wartość 41 066 ton, co przeliczone daje wartość ok. 22 800 m³. Dębski w swojej analizie opublikowanej w 1939 roku za poprawną uznaje wielkość wleczenia w granicach od 83 800 ton do 202 000 ton, co dawałoby od 45 500 m³ do 112 200 m³. Dębski skłaniał się raczej do niższej wartości a wyliczoną wzorem Schoklitcha wielkość 832 000 ton (czyli 462 200 m³) rocznie ocenił jako nieprawdopodobną⁸.

Rumowisko wleczone w rejonie Warszawy posiada gęstość właściwą określaną najczęściej w przedziale od 2,56 g/cm³ do 2,65 g/cm³, zaś ciężar objętościowy 1,80 t/m³. Średnice mniejsze od 0,25 mm stanowią około 6,4% wagi masy, w tym frakcje mniejsze od 0,01 mm zaledwie 0,24% całości próbki. Średnica d₅₀=0,37 mm, a d_m=0,4 mm. Przeważająca ilość materiału wlezonego ma średnice większe od 0,1 mm.

3.3. CHARAKTERYSTYKA PROJEKTOWANEJ PRZEBUDOWY KORYTA

Spośród 6 wstępnie wytypowanych lokalizacji miejsc przebudowy koryta na cele Projektu Life+ :

- 2 lokalizacje zostały odrzucone - z powodu kolizji z projektowanym przekroczeniem rzeki przez ciąg komunikacyjny Południowej Obwodnicy Warszawy (Zawady) i z powodu dużego znaczenia istniejącej formy koryta dla zachowania stabilności dna i bezpieczeństwa powodziowego, szczególnie zatorogenności (Kępa Kiełpińska),
- 2 lokalizacje przewidziano do wykorzystania bez większej ingerencji w układ koryta i w istniejącą, lecz znajdującą się w złym stanie technicznym, zabudowę hydrotechniczną (Golędzinów oraz Rajszew),
- 2 lokalizacje poddano dalszej szczegółowej ocenie, włącznie z zaprojektowaniem utworzenia na nich warunków do utworzenia ramion bocznych o cechach koryt stabilnych, z zachowaniem bezpiecznych warunków przepływu w korycie głównym (Miedzeszyn oraz Port WZEK).

⁵ Z. Kornacki – Przyczyny obniżania się dna Wisły w Warszawie. Gospodarka Wodna nr 7, 1960 r.

⁶ J. Wołoszyn, Podstawy projektowania regulacji cieków. Skrypt Wyższej Szkoły Rolniczej we Wrocławiu nr 52. Wrocław 1969 r.

⁷ W. Jarocki, Ruch rumowiska w ciekach. Wydawnictwo Morskie. Gdynia 1957 r.

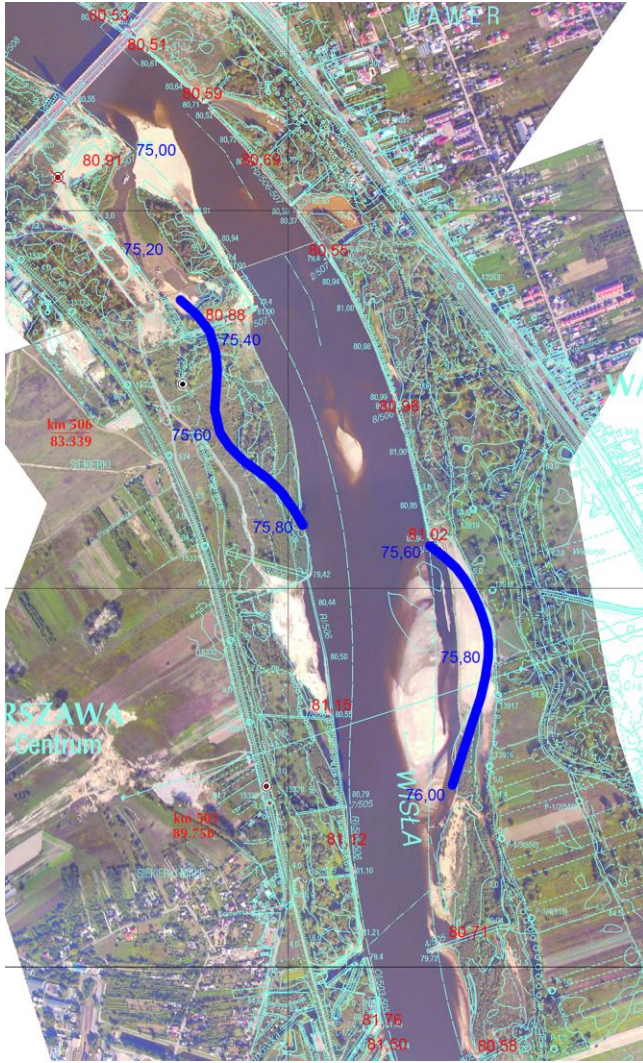
⁸ K. Dębski – O transporcie i osadzeniu aluwii w korycie Wisły. Gospodarka Wodna nr 2, 1939 r.

Przewidywana modyfikacja koryta Wisły w rejonie Miedzeszyna obejmuje częściowe odtworzenie dawnego układu korytowego istniejącego w tym rejonie przed przebudową ujęcia i zrzutu wód z EC Siekierki przeprowadzoną na przełomie lat 80. i 90. W okresie tym odcinek koryta Wisły od km 504,5 - 505,5 pozbawiony był zabudowy regulacyjnej - zarówno po stronie brzegu lewego jak i prawego. Brzeg lewy w formie niskiego tarasu zalewowego porośniętego niską roślinnością (łąki) łagodnie opadał w stronę koryta wypełnionego rozległym piaszczystym odsypem. Główny nurt rzeki układał się wzdłuż brzegu prawego, dzieląc się wzdłuż resztek korpusu XIX-wiecznej tamy podłużnej na część silnie erodującą wysoki brzeg tarasu zalewowego i część śródkorytową.

Zaproponowano utworzenie pojedynczego łuku prawego ramienia rzeki o parametrach biklotoidy o długości ok. 600 m, szerokości wynoszącej 25 m, opartego o wysoką skarpe tarasu zalewowego. Wlot do ramienia znajduje się na wysokości zrzutu wód pochłodniczych z EC Siekierki, zaś wylot - w profilu początkującym prawobrzeżną tamę podłużną RP 506-507.

Przewidywana modyfikacja koryta Wisły w rejonie Portu WZEK polega na utworzeniu drogi dopływu wody do akwatorium portowego w formie lewego ramienia rzeki złożonego z trzech łuków o łącznej długości ok. 700 m i szerokości 25 m wykonanego w obrębie tarasu zalewowego. Konieczne jest rozebranie fragmentu ostrogi OS 1/507 osłaniającej akwatorium portowe od strony napływu wyższych wód oraz nieokreślonej liczby dawnych ostróg (w tym XIX-wiecznych) stabilizujących obszar lewobrzeżnego tarasu zalewowego.

Odcinek ramienia bocznego przebiegający w obrębie akwatorium Portu WZEK o długości ok. 200 m może być pozostawiony samoistnemu procesowi ukształtowania.



Ryc.24. Projektowane boczne ramiona odcinające - lokalizacja „Miedzeszyn” (prawa strona koryta, km 505 - 505,5) i lokalizacja „Port WZEK” (lewa strona koryta, km 505,5 - 507)

3.4. HYDRAULICZNE WARUNKI TRANSPORTU RUMOWISKA

W wyniku poddania nowej geometrii koryta procesom modelowania matematycznego otrzymano w wyniku zestaw danych opisujących warunki hydrauliczne panujące w korycie Wisły na badanym odcinku (tabela 11 i 12).

Tabela 11. Parametry przepływu $Q = SNQ = 233 \text{ m}^3/\text{s}$ w badanych lokalizacjach

punkt	położenie	rzędna dna	zw. wody	głębokość	$V_{\text{śred}}$	naprężenie styczne	spadek dna ‰	spadek zw ‰
prawe ramię koryta „Miedzyszyn”								
1	0	76.0	78.48	2.48	0.37	0.63	0.69	0.64
2	289	75.8	78.30	2.50	0.46	0.94	0.64	0.20
3	601	75.6	78.23	2.63	0.26	0.30		
lewe ramię koryta „Port WZEK”								
4	0	75.8	78.02	2.22	0.25	0.30	0.74	0.52
5	269	75.6	77.88	2.28	0.30	0.43	1.14	0.65
6	445	75.4	77.76	2.36	0.30	0.41	1.13	0.39
7	622	75.2	77.70	2.50	0.31	0.45	0.65	0.004
8	930	75.0	77.69	2.69	0.08	0.03		

Tabela 12. Parametry przepływu $Q = SSQ = 555 \text{ m}^3/\text{s}$ w badanych lokalizacjach

punkt	położenie	rzędna dna	zw. wody	głębokość	$V_{\text{śred}}$	naprężenie styczne	spadek dna ‰	spadek zw ‰
1	0	76.0	79.53	3.53	0.39	0.60	0.69	0.64
2	289	75.8	79.48	3.68	0.26	0.28	0.64	0.20
3	601	75.6	79.46	3.86	0.14	0.07		
4	0	75.8	79.42	3.62	0.12	0.06	0.74	0.52
5	269	75.6	79.36	3.77	0.21	0.17	1.14	0.65
6	445	75.4	79.326	3.92	0.20	0.15	1.13	0.39
7	622	75.2	79.29	4.09	0.20	0.15	0.65	0.004
8	930	75.0	79.29	4.29	0.02	0.004		

Przedstawione w tabeli dane stanowią podstawę do oceny stanu równowagi koryt - głównego oraz bocznego w nowych warunkach hydrodynamicznych

3.5. RÓWNOWAGA DYNAMICZNA KORYTA WISŁY W REJONIE KM 504,5 - 507,0

3.5.1. Ocena równowagi według kryterium prędkości przepływu

Ocena stabilności według kryterium prędkości v polega na porównaniu prędkości przepływu wody z prędkościami charakteryzującymi warunki początku ruchu oraz intensywność ruchu rumowiska - unoszonego i wleczonego:

- v_{nz} – prędkość niezamulająca, czyli minimalna średnia prędkość przepływu, przy której cząstki rumowiska unoszonego zawieszono w przestrzeni przepływu nie opadają na dno koryta.
- v_{gr} – prędkość graniczna (nazywana również zrywającą lub krytyczną) – przy której pojedyncze ziarna materiału dennego zaczynają się toczyć (przesuwać) po dnie – jest to prędkość początkowa wleczenia;
- V_{dop} – prędkość dopuszczalna (nierozmywająca), przy której występuje umiarkowany ruch rumowiska wleczonego;
- V_{rozm} – prędkość rozmywająca (masowego ruchu rumowiska wleczonego) – prędkość intensywnego wleczenia, powoduje erozję koryta.

Równowaga statyczna występuje wtedy gdy występuje ruch rumowiska unoszonego – nie występuje akumulacja (sedymentacja) rumowiska unoszonego i nie występuje ruch rumowiska wleczonego. Warunkiem stabilności statycznej według kryterium prędkości charakterystycznych dla ruchu rumowiska jest następujący:

$$v_{nz} < v < v_{gr}$$

Warunkiem stabilności dynamicznej według kryterium prędkości charakterystycznych dla ruchu rumowiska jest następujący:

$$v_{gr} < v \leq v_{dop}$$

Warunek ten oznacza, że występuje ruch rumowiska unoszonego (przy braku sedymentacji) i występuje umiarkowany, tranzytowy ruch rumowiska wleczonego nie powodujący erozji lub akumulacji koryta.

Prędkości graniczne określono wzorami Szamowa:

$$v_{gr} = 3,7 \cdot d^{1/3} \cdot h^{1/6}$$

$$v_{dop} = 4,4 \cdot d^{1/3} \cdot h^{1/6}$$

$$v_{rozm} = 6,0 \cdot d^{1/3} \cdot h^{1/6}$$

gdzie:

d -przeciętna średnica ziaren rumowiska [m]

h- głębokość [m]

Tabela 13. Wyniki obliczeń stabilności dna sztucznych ramion bocznych w różnych warunkach przepływu przy użyciu kryterium prędkości przepływu

Ramie	Przypadek	głęb.	v - 2D	v - 1D	V _{gr}	V _{dop}	V _{rozm}	Efekt 2D / 1D
		[m]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	
Miedzeszyn	SNQ=233	2.54	0.36	0.84	0.31	0.37	0.50	stabilność/erozja
Port	SNQ=233	2.41	0.25	0.75	0.31	0.37	0.50	możliwa akumulacja/erozja
Miedzeszyn	SSQ=555	3.69	0.26	0.55	0.33	0.39	0.54	możliwa akumulacja/słaba erozja
Port	SSQ=555	3.94	0.15	0.61	0.33	0.40	0.54	możliwa akumulacja/erozja

3.5.2. Ocena równowagi według kryterium naprężeń stycznych

Ocena stabilności według kryterium naprężeń stycznych polega na porównaniu naprężenia stycznego na dnie z wartościami naprężeń stycznych zapewniających stabilność koryta. Warunek stabilności statycznej dna:

$$\tau < \tau_{gr}$$

Warunek stabilności dynamicznej dna:

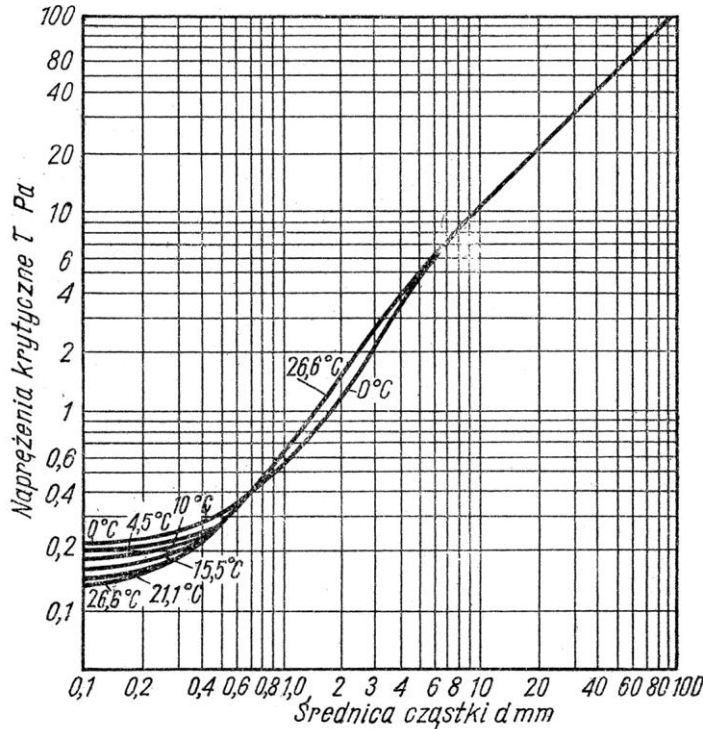
$$\tau_{gr} < \tau < \tau_{dop}$$

Wartość τ_{gr} i τ_{dop} określa się według wykresów lub wzorów empirycznych:

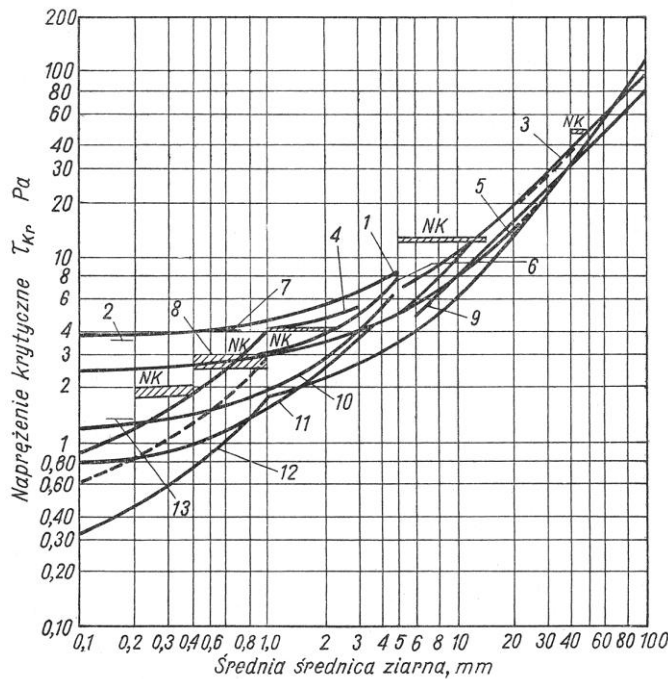
- τ_{gr} – na podstawie wykresu Shields'a,
- τ_{dop} – na podstawie wykresu Lane'a.

Tabela 14. Wyniki obliczeń stabilności dna sztucznych ramion bocznych w różnych warunkach przepływu przy użyciu kryterium naprężeń stycznych

Ramie	Przypadek	τ (wg 2D)	τ (wg 1D)	τ_{gr}	τ_{dop}	efekt 2D / 1D
		[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	
Miedzeszyn	SNQ=233	0.62	1.03	0.25	2.0	stabilność/stabilność
Port	SNQ=233	0.32	0.92	0.25	2.0	stabilność/stabilność
Miedzeszyn	SSQ=555	0.32	0.67	0.25	2.0	stabilność/stabilność
Port	SSQ=555	0.13	0.74	0.25	2.0	możliwa akumulacja/stabilność

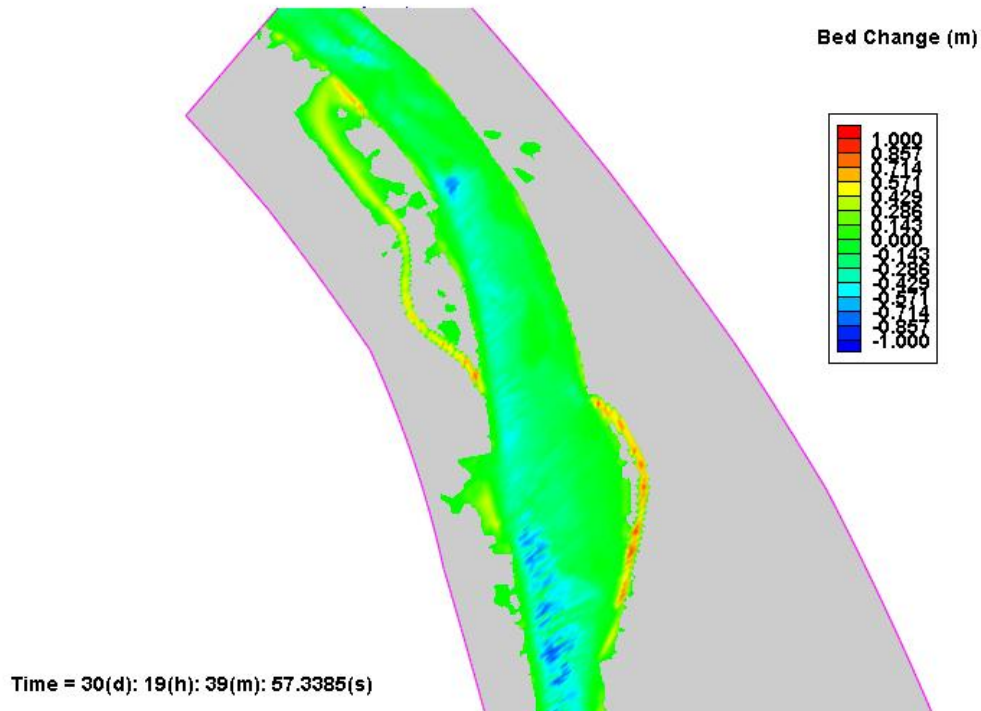


Ryc.25. Zależność naprężeń granicznych dla ziaren kwarcowych τ_{gr} według Shields'a,



Napężenia krytyczne w funkcji średnicy cząstek, według Lane: 1 — dla kanałów z dużą zawartością w wodzie rumowiska drobnego; 2 — według Fortiera i Scobeya — dla kanałów w drobnych piaskach i z wodą zawierającą koloidy; 3 — przybliżona zależność w postaci $\tau_{kr} = d$, przy czym τ_{kr} w kg/m^2 , a d w cm ; 4 — badania w ZSRR, dla kanałów prowadzących wodę zawierającą 2,5% koloidów; 5 — jak 4, lecz przy zawartości koloidów w wodzie 0,1%; 6 — przy niskiej zawartości w wodzie części koloidalnych; 7 — badania Schoklitscha dla kanałów w piaskach; 8 — Nuernberg Kulturamt (NK); 9 — wartości zalecane dla kanałów w gruntach zawierających co najmniej 25% cząstek grubych, luźnych; 10 — dla kanałów z czystą wodą; 11 — wartości według Strauba; 12 — badania ZSRR, kanały z wodą bez unosin; 13 — badania Fortier i Scobey dla kanałów w drobnych piaskach i z wodą bez unosin

Ryc.26. Zależność naprężeń dopuszczalnych τ_{dop} według Lane'a (błędny opis osi pionowej)



Ryc.27. Przykładowe wyniki modelowania układu przepływu wraz z ruchem rumowiska w warunkach SSQ

Wyniki modelowania układu przepływu wraz z ruchem rumowiska w warunkach SSQ (Ryc.26.) potwierdzają „obliczeniowe” zamulanie bocznych ramion koryta, dochodzące do 1 m. Potwierdza to interpretację liczbowych wyników obliczeń 2D przeprowadzoną w oparciu o wzory Szamowa i wykresy Shieldsa oraz Lane’a. Stoją one jednak w sprzeczności z interpretacją wyników modelowania 1D wykazującą przewagę procesów erozyjnych.

3.6. WNIOSKI

Występują znaczne różnice w wartościach parametrów hydraulicznych przepływu otrzymywanych z modelu 2D i 1D. Mogą one być spowodowane z jednej strony niedostatecznym wytarowaniem modelu 2D oraz dużymi błędami aproksymacji przy dość rzadkiej siatce numerycznej, z drugiej strony, w modelu 1D - rozdzieleniem wyników obliczeń przepływu wody od obliczeń procesów rumowiskowych.

Otrzymane wyniki wskazują, że wstępnie oszacowane wymiary ramion bocznych (szerokości i głębokości przekopów) wywołują słabe procesy erozyjne. Jest to sytuacja korzystna, pozwalająca na naturalne, samoistne dopasowanie się parametrów geometrycznych do warunków hydraulicznych. Efekt ten bywa nazywany „docieraniem się” koryta do nowych warunków przepływu. Obliczeniowo nie występuje zagrożenie procesami akumulacyjnymi, które mogłyby doprowadzić do niepowodzenia.

Rozwiązania techniczne powinny być zaprojektowane do wykonania dwuetapowego – w pierwszym etapie powinny być ubezpieczone brzegi wklęsłe projektowanych ramion bocznych, w drugim - elementy stabilizujące położenie brzegów wypukłych.

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

Załącznik graficzny nr 1

Lokalizacja planowanych robót w ramach Działania A.1

Załącznik graficzny nr 2

Lokalizacja planowanych robót w ramach Działania A.2

Załącznik graficzny nr 3

Propozycja lokalizacji ścieżek, parkingów i pawilonów

SPIS TABEL

Tabela 1.	Liczba par lęgowych wybranych gatunków ptaków, istotnych z punktu widzenia realizacji projektu „WisłaWarszawska.pl”, występujących na środkowej Wiśle i na warszawskim odcinku Wisły (Wisła Warszawska).....	20
Tabela 2.	Zestawienie ujednociające nazewnictwo lokalizacji dla Działań A.1 i A.2, które stosowano w ekspertyzach ornitologicznej i hydrologicznej (Kuźniar 2012). Pierwszy człon numeru lokalizacji odpowiada numerowi działania, którego realizację w obrębie tej lokalizacji planuje się lub planowano (ale ostatecznie od niej odstąpiono). Lewa kolumna zawiera nazwy ostateczne, stosowane w finalnej wersji ekspertyzy ornitologicznej.....	34
Tabela 3.	Lista rankingowa 6 lokalizacji potencjalnych wysp trwałych i ławic piaszczystych (w kolejności od najlepiej do najgorzej rokującej), wraz z podaniem optymalnego przeznaczenia każdej z nich w ramach Działania A.1. w projekcie „WisłaWarszawska.pl”.....	36
Tabela 4.	Lista rankingowa 8 lokalizacji potencjalnych miejsc przeznaczonych do odtwarzania odsłoniętych mulistych i piaszczystych brzegów rzeki (w kolejności od najlepiej do najgorzej rokującej), wytypowanych do realizacji Działania A.2. w projekcie „WisłaWarszawska.pl”.....	37
Tabela 5.	Wyniki waloryzacji wariantów lokalizacji, w których planuje się realizację Działania A.1 pn. „Tworzenie trwałych izolowanych wysp i ławic piaszczystych poza nurtem głównym rzeki” w ramach projektu „WisłaWarszawska.pl”. Kolorem szarym zaznaczono lokalizacje, które z uwagi na uzyskaną niską rangę nie zostały wzięte pod uwagę w niniejszej ekspertyzie.	110
Tabela 6.	Wyniki waloryzacji wariantów lokalizacji, w których planuje się realizację Działania A.2 pn. „Odtwarzanie odsłoniętych mulistych i piaszczystych brzegów rzeki” w ramach projektu „WisłaWarszawska.pl”. Kolorem szarym zaznaczono lokalizacje, które z uwagi na uzyskaną niską rangę nie zostały wzięte pod uwagę w niniejszej ekspertyzie.....	111
Tabela 7.	Warunki brzegowe przyjęte w obliczeniach za pomocą modelu CCHE2D....	171
Tabela 8.	Przedziały wartości jednostkowej mocy strumienia przepływu pełnokorytowego charakteryzujące różne rodzaje cieków.....	186
Tabela 9.	Klasyfikacja koryt rzecznych według wartości wskaźników Łochtina i Makkaveeva	187
Tabela 10.	Sprawności łapaczki używanej na rzece Aarze w Szwajcarii w zależności od czasu trwania pojedynczego pomiaru i wielkości wleczenia wg Dębskiego ...	191
Tabela 11.	Parametry przepływu $Q = SNQ = 233 \text{ m}^3/\text{s}$ w badanych lokalizacjach.....	197
Tabela 12.	Parametry przepływu $Q = SSQ = 555 \text{ m}^3/\text{s}$ w badanych lokalizacjach	197
Tabela 13.	Wyniki obliczeń stabilności dna sztucznych ramion bocznych w różnych warunkach przepływu przy użyciu kryterium prędkości przepływu	199
Tabela 14.	Wyniki obliczeń stabilności dna sztucznych ramion bocznych w różnych warunkach przepływu przy użyciu kryterium naprężeń stycznych	199

SPIS FOTOGRAFII

Fot. 1.	Podwarszawska Wisła jesienią (P. Matyjasiak)	8
Fot. 2.	Ławica piaszczysta w nurcie Wisły. Na pierwszym planie czapla siwa <i>Ardea cinerea</i> . Okolice Łomny (P. Matyjasiak)	11
Fot. 3.	Fragment ławicy piaszczystej z kolonią łęgową rybitwy rzecznej <i>Sterna hirundo</i> . Okolice Góry Kalwarii (P. Matyjasiak).....	11
Fot. 4.	Fragment niskiej wyspy piaszczystej, a na nim dwa młode bieliki <i>Haliaeetus albicilla</i> . Przed wyspą dwa łabędzie <i>Cygnus olor</i> . Okolice Dziekanowa Polskiego (P. Matyjasiak).	12
Fot. 5.	Średniej wysokości wyspa z wielogatunkową kolonią mew, rybitw i siewczek pod Starymi Grochalami. W pasie nadwodnym widać nalot wierzby, który z czasem przekształcił się w gęste zarośla wierzbowe (P. Matyjasiak).....	12
Fot. 6.	Fragmenty średniej wysokości wysp unieruchomionych przez zarośla wierzby. Pomiedzy nimi rozległa ławica piaszczysta. Okolice Kępy Kiełpińskiej (P. Matyjasiak)	13
Fot. 7.	Wysoka wyspa pod Kępą Kiełpińską. Na pierwszym planie ławica piaszczysta (P. Matyjasiak).	13
Fot. 8.	Wyspa pokryta młodym łęgiem wierzbowym, aktualnie silnie rozmywana przez rzekę (istniała 15 lat). Okolice Dziekanowa Polskiego (P. Matyjasiak).....	14
Fot. 9.	Wysoki brzeg erozyjny pod Dziekanowem Polskim i Rajszewem (P. Matyjasiak).	14
Fot. 10.	Brzeg akumulacyjny pod Pieńkowem. Na pierwszym planie odsypisko piaszczyste (brzegowe) – siedlisko żerowiskowe migrujących siewkowców. Brzeg utrwalony jest pasem młodego łęgu wierzbowego (P. Matyjasiak).	15
Fot. 11.	Po lewej, wiosenny łęg topolowy. Jest to stary drzewostan, nieco zdegradowany przez użytkowanie (łakarstwo, pozyskiwanie drewna), obecnie regenerujący się. Po prawej, grupa olszy szarych <i>Alnus incana</i> w łęgu topolowym. Okolice Dziekanowa Polskiego (P. Matyjasiak).	15
Fot. 12.	Urwisty brzeg Wisły z kolonią łęgową brzegówki <i>Riparia riparia</i> Okolice Dziekanowa Polskiego (P. Matyjasiak).	21
Fot. 13.	Przelotne rybitwy czarne <i>Chlidonias niger</i> odpoczywają na ławicy piaszczystej. Okolice Zakroczymia (P. Matyjasiak).	21
Fot. 14.	Bobry <i>Castor fiber</i> silnie modyfikują środowisko brzegów i międzywala Wisły. Dolina rzeki jest dla nich ważnym korytarzem migracyjnym (P. Matyjasiak)..	22
Fot. 15.	Odnowienie łęgu topolowego (głównie topola biała <i>Populus alba</i>) na dawnych łąkach w międzywalu Wisły pod Dziekanowem Polskim (P. Matyjasiak).....	22
Fot. 16.	Wyspy zarastające zaroślami wierzbowymi. Dawniej była tutaj duża kolonia łęgowa mew i rybitw. Okolice Rajszewa (P. Matyjasiak).	23
Fot. 17.	Przygotowanie kryjówek dla piskląt amerykańskiej rybitwy białoczelnej <i>Sternula antillarum</i> na dachu budynku, gdzie wkrótce powstanie kolonia łęgowa. Floryda, USA (Suncoast Shorebird Partnership, http://www.suncoastshorebirdpartnership.org).	28
Fot. 18.	Jeziro Dziekanowskie – starorzecze Wisły, ważne miejsce żerowania rybitw i mew z lokalnej populacji (P. Matyjasiak).....	29
Fot. 19.	Kolonia rybitwy rzecznej na barce niskopokładowej, zacumowanej na Dolnej Wiśle koło Bydgoszczy (projekt realizowany przez Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły; za Pająkowskim 2010).....	33

Fot. 20.	Kompleks wysp pod Rajszewem. Na zdjęciu wyspa zachodnia, aktualnie zarastająca zaroślami wiklinowymi (P. Matyjasiak).	39
Fot. 21.	Kompleks wysp pod Rajszewem. Na zdjęciu wyspa wschodnia (P. Matyjasiak).	39
Fot. 22.	Młody łąg na wschodniej wyspie kompleksy wysp pod Rajszewem (P. Matyjasiak).	40
Fot. 23.	Odnoga Wisły odcinająca od brzegu kompleks wysp pod Rajszewem (P. Matyjasiak).	40
Fot. 24.	Jedna z ostróg przeznaczonych do częściowego demontażu w lokalizacji „Rajszew” (P. Matyjasiak)	41
Fot. 25.	Obszar wyspy, który powinien być odkrzaczony w celu odtworzenia siedliska łągowego rybitw. Lokalizacja „Rajszew” (P. Matyjasiak).	41
Fot. 26.	Obszar wyspy, który powinien być odkrzaczony w celu odtworzenia siedliska łągowego rybitw. W tle widać zadrzewienie łągowe na przeciwległym brzegu. Lokalizacja „Rajszew” (P. Matyjasiak).	42
Fot. 27.	Przeznaczona do niwelacji wysepka A2-1C. Lokalizacja „Rajszew” (P. Matyjasiak).	42
Fot. 28.	Po lewej, młody drzewostan łągowy w lokalizacji „Łomianki Dolne”. Po prawej, brzeg odsypiska utrwalony przez zarośla wierzbowe (P. Matyjasiak). ..	51
Fot. 29.	Wnętrze drzewostanu łągowego w lokalizacji „Łomianki Dolne” (P. Matyjasiak).	51
Fot. 30.	Odnoga odcinająca kompleks wysp w lokalizacji „Łomianki Dolne” (P. Matyjasiak).	52
Fot. 31.	Tama poprzeczna na początku kompleksu wysp w lokalizacji „Łomianki Dolne” (P. Matyjasiak).	52
Fot. 32.	Zniszczona tama poprzeczna w lokalizacji „Łomianki Dolne” (P. Matyjasiak). ..	53
Fot. 33.	Zniszczona tama poprzeczna w lokalizacji „Łomianki Dolne” (P. Matyjasiak). ..	53
Fot. 34.	Odsypisko ze zbiorowiskiem roślinności zielnej w lokalizacji „Łomianki Dolne” (P. Matyjasiak).	54
Fot. 35.	Fragment zarośli wierzbowych przeznaczonych do wykarczowania w lokalizacji „Łomianki Dolne” (P. Matyjasiak).	54
Fot. 36.	Widok na lokalizację „Łomianki Dolne Piaskarnia B” (P. Matyjasiak).	60
Fot. 37.	Widok na wyspę w lokalizacji „Golędzinów” (P. Matyjasiak).	66
Fot. 38.	Widok na wyspę w lokalizacji „Golędzinów” (P. Matyjasiak).	66
Fot. 39.	Odnoga odcinająca wyspę w lokalizacji „Golędzinów” (P. Matyjasiak).	67
Fot. 40.	Ostroga przeznaczona do częściowego demontażu. Lokalizacja „Golędzinów” (P. Matyjasiak).	67
Fot. 41.	Odsyp będący miejscem odpoczynku ptaków wodnych. Lokalizacja „Golędzinów” (P. Matyjasiak).	68
Fot. 42.	Odsyp porośnięty zaroślami wierzbowymi w lokalizacji „Piaskarnia Siekierki” (P. Matyjasiak).	74
Fot. 43.	Zatoka w lokalizacji „Piaskarnia Siekierki” (P. Matyjasiak).	74
Fot. 44.	Zarefutowany obszar w lokalizacji „Miedzeszyn” (P. Matyjasiak).	82
Fot. 45.	Zgryzane przez bobry i ścinane przez krę zbiorowisko krzewów wierzbowych w lokalizacji „Miedzeszyn” (P. Matyjasiak).	82
Fot. 46.	Fragment obszaru przeznaczonego do odkrzewiania w lokalizacji „Miedzeszyn” (P. Matyjasiak).	83
Fot. 47.	Skarpa dawnego brzegu rzeki w lokalizacji „Miedzeszyn” (P. Matyjasiak).	83

Fot. 48.	Ławica piaszczysta w lokalizacji „Miedzeszyn”. Wynurza się tylko przy najniższych stanach rzeki, więc rzadko kiedy może służyć za siedlisko lęgowe mewowców (P. Matyjasiak).	84
Fot. 49.	Dawna odnoga, aktualnie wypłycona, w lokalizacji „Stara Wisła”. (P. Matyjasiak).	87
Fot. 50.	Bobry intensywnie wycinają młody łęg i zarośla wierzbowe w lokalizacji „Stara Wisła”. Już od dawna pracują na rzecz projektu „WisłaWarszawska.pl” (P. Matyjasiak).	87
Fot. 51.	Lokalizacja „Zawady” widziana z przeciwnego brzegu. Na pierwszym planie widać odsypisko, które w niektórych latach funkcjonuje jako ławica piaszczysta w nurcie, a w innych jako odsyp brzegowy (P. Matyjasiak).	91
Fot. 52.	Piaszczysty obszar (refulisko) w lokalizacji „Zawady”. (P. Matyjasiak).	91
Fot. 53.	Fragment przeznaczonego do wykarczowania terenu w lokalizacji „Zawady”. (P. Matyjasiak).	92
Fot. 54.	Barka dolnopokładowa zaadaptowana na zastępcze siedlisko lęgowe dla rybitw, zacumowana na Dolnej Wiśle koło Bydgoszczy (projekt realizowany przez Towarzystwo Przyjaciół Dolnej Wisły; za Pająkowskim 2010).	101
Fot. 55.	„Tratwy” dla rybitw rzecznych w Wilhelmshaven, Niemcy. Widać zabezpieczenia siedliska przed dostępem ziemnowodnych ssaków drapieżnych blaszane kołnierze i fartuchy zamocowane na boku „tratwy” i na kablu doprowadzającym energię elektryczną (dzięki uprzejmości Prof. P.H. Beckera).	102
Fot. 56.	„Tratwa” dla rybitw rzecznych na bazie pływającego pomostu. Z tyłu „tratwy” widać pomieszczenie ze sprzętem (dzięki uprzejmości Prof. P.H. Beckera)...	102
Fot. 57.	Rzut oka na powierzchnię czynną typowej tratwy dla rybitw, która w tym momencie jest wodowana. Brakuje jeszcze kryjówek dla piskląt (dzięki uprzejmości Prof. P.H. Beckera).	103
Fot. 58.	Tratwa z pisklętami rybitw. Widać kryjówki dla piskląt (dzięki uprzejmości Amy Burns, RSPB).	103
Fot. 59.	Zadrzewienie lęgowe wiosną. To zbiorowisko posiada cechy łęgu wiązowo-jesionowego, zajmujące obszary w dolinie Wisły, które podczas wezbrań rzeki pozostają zalane przez krótki okres czasu (P. Matyjasiak).	115
Fot. 60.	Zrzut kolektora „Czajki” jest miejscem atrakcyjnym dla ptaków i dla ornitologów-amatorów (P. Matyjasiak).	116
Fot. 61.	Przy kolektorze „Czajki” można nawiązać bliską znajomość z ptakami (P. Matyjasiak).	116
Fot. 62.	Przy kolektorze „Czajki” znajduje się doskonały punkt widokowy na rzekę (P. Matyjasiak).	117
Fot. 63.	Nad Wisłą poniżej tuż Warszawy są miejsca, gdzie zimą gromadzi się dużo ptaków (P. Matyjasiak).	117
Fot. 64.	Ulubionym miejscem zimujących ptaków wodno-błotnych są kolektory ścieków. Na zdjęciu – zgrupowanie mew przy zamkniętym już „Kolektorze Młocińskim” (P. Matyjasiak).	118
Fot. 65.	Warszawska ścieżka spacerowo-rowerowa, ciągnąca się wzdłuż prawego brzegu Wisły (P. Matyjasiak).	118
Fot. 66.	Fragment prawego międzywala Wisły w Warszawie. Widać pas „praskich łęgów” i niedawno wykarczowany teren międzywala (P. Matyjasiak).	119
Fot. 67.	Cenny przyrodniczo płat „praskich łęgów” przy Moście Średnicowym (P. Matyjasiak).	119

Fot. 68.	Na Miedzeszynie szlak biegnie utwardzoną ścieżką spacerowo-rowerową (P. Matyjasiak).	120
Fot. 69.	Widok na cenny przyrodniczo obszar „Wieloryba” ze szlaku przyrodniczego. Miedzeszyn (P. Matyjasiak).	120
Fot. 70.	Cenny przyrodniczo drzewostan łągowy koło Sprzypek na Falenicy. Duża ilość martwej materii organicznej (prawe zdjęcie) jest niezbędnym elementem obiegu materii w tym ekosystemie. (P. Matyjasiak).	121
Fot. 71.	Potężne topole w drzewostanie łągowym koło Sprzypek na Falenicy. Po lewej – topola biała, inaczej białodrzew <i>Populus alba</i> , po prawej – topola czarna, inaczej sokora <i>Populus nigra</i> (P. Matyjasiak).	121
Fot. 72.	Plaża miejska przy Stadionie Narodowym. Poza sezonem wypoczynkowym może stanowić doskonale miejsce do obserwacji zimujących ptaków (P. Matyjasiak).	125
Fot. 73.	Zgrupowanie ptaków wodno-błotnych zimujących w Warszawie. Z ciekawszych gatunków – mewa siodłata <i>Larus marinus</i> i nurogęs <i>Mergus merganser</i> . Widok z Mostu Poniatowskiego. Ptaki na ławicach, takich jak ta, można obserwować również z plaż miejskich (P. Matyjasiak).	126
Fot. 74.	Wrony <i>Corvus corone</i> – bardzo liczne w Warszawie, bardzo efektywne drapieżniki rabujące jaja i pisklęta ptakom gniazdującym na wiślanych wyspach (P. Matyjasiak).	126
Fot. 75.	Odrastający pas zarośli wierzbowych tworzących okrajek chroniący wnętrze zadrzewienia łągowego wchodzącego w skład „praskich łągow”. Dobrze, że nie wykarczowano tych krzewów podczas prac pielęgnacyjnych. Nie powinny być jednak aż tak przycięte. (P. Matyjasiak).	128
Fot. 76.	Morfologia koryta głównego ukształtowana przy różnych wielkościach przepływu.	138
Fot. 77.	Strefy akumulacji rumowiska wleczonego w rejonie wlotu do przewężenia ..	139
Fot. 78.	Strefa akumulacji rumowiska wleczonego poniżej przewężenia	140
Fot. 79.	Ogólny widok koryta w rejonie planowanych modyfikacji koryta w km 533 -535.....	145
Fot. 80.	Dno zapiaszczonego prawego ramienia Wisły w rejonie km 534,5. Wysokość odsypów osiąga poziom korony przerwanych przetamowań (dawnych ostróg sięgających koryta głównego)	146
Fot. 81.	Ogólny widok koryta w rejonie planowanych modyfikacji koryta w km 531 - 533.....	147
Fot. 82.	Wysokość odkładu na wlocie do bocznego ramienia rzeki (po lewej) i zwarta budowa koryta (po prawej). Na pierwszym planie zniszczona stara ostroga w km 530.....	148
Fot. 83.	Twardoplastyczne ily trzeciorzędowe stanowiące podbudowę rafy w km 517.	149
Fot. 84.	Ogólny widok koryta w rejonie planowanych modyfikacji koryta w km 516.	150
Fot. 85.	Prawy brzeg Wisły w rejonie proponowanej lokalizacji. Widoczne trzy linie regulacyjne wraz z zasięgiem pola refulacyjnego oraz odsyp, który istniał w tym miejscu także przed powodzią 2010 r.	151
Fot. 86.	Lewy, wypukły brzeg Wisły w rejonie portu WZEK o widocznej tendencji do akumulacji rumowiska i wysoki, porastający wikliną odsyp w strefie akwatorium portowego.....	152
Fot. 87.	Dewastacja brzegu prawego w wyniku postępującej erozji dennej i parcia naziomu. Po lewej stronie koryta widoczne odsypy piaszczyste i skraj łągów na terenie proponowanej lokalizacji	153

Fot. 88.	Lewy brzeg Wisły w rejonie proponowanej lokalizacji. Widoczne odsłonięcie geowłókniny oraz ubytki narefulowanego piasku w wyniku oddziaływania wód powodziowych 2010	154
Fot. 89.	Lewy brzeg Wisły w rejonie proponowanej lokalizacji. Widoczna skokowa zmiana szerokości sąsiadujących odcinków oraz podwodne formy rumowiska wprowadzanego w odcinek uregulowany	155

SPIS RYCIN

Ryc.1.	Przykład ubezpieczenia brzegu kiszką faszynową (z Duszyńskiego 2007).....	97
Ryc.2.	Przykład ubezpieczenia brzegu karpiną (z Duszyńskiego 2007).....	97
Ryc.3.	Przykład ubezpieczenia brzegu materacami faszynowymi oraz mozaiką betonową z nasadzeniami (z Duszyńskiego 2007).....	98
Ryc.4.	Przykład ubezpieczenia brzegu koszami gabionowymi z nasadzeniami roślinności (z Duszyńskiego 2007).....	98
Ryc.5.	Schemat rozlokowania podstawowych form morfologicznych na terenach Warszawy	141
Ryc.6.	Fragment rosyjskiej mapy Wisły (1875-77) z oznaczonym przebiegiem dawnego wału przeciwpowodziowego zakończonego przed ujściem Wilanówki i wyspami kształtującymi współczesny łuk siekierkowski	142
Ryc.7.	Fragment rosyjskiej mapy Wisły (1875-77) z oznaczonym przebiegiem dawnego wału przeciwpowodziowego w rejonie Łomianek i odsypami na wypukłym brzegu Kępy Kiełpińskiej.....	142
Ryc.8.	Plan zatoru na Wiśle poniżej Warszawy w okresie 27.– 28.03.1924 r. z fragmentem opisu sytuacji w innych częściach miasta	144
Ryc.9.	Koncepcja trasy POW wraz z mostem przez Wisłę w rejonie Zawady – Miedzeszyn.....	161
Ryc.10.	Lokalizacja przekopów Port WZEK i Miedzeszyn na tle mapy Karta Topograficzna Królestwa Polskiego z lat 30. XIX w.	165
Ryc.11.	Rozstaw współczesnych wałów przeciwpowodziowych i bulwarów w Warszawie, wg mapy topograficznej w skali 1:10000, GUGiK, 2002.	167
Ryc.12.	Pole prędkości przepływu średniej w pionach przy $Q_{0,1\%} = 8250 \text{ m}^3/\text{s}$ w odcinku km 500-521 Wisły w Warszawie (Magnuszewski i in., 2012).	168
Ryc.13.	Lokalizacja przekopów Port WZEK i Miedzeszyn na tle ortofotomapy (Geoportal-1) i istniejących budowli regulacyjnych.....	170
Ryc.14.	Porównanie profilu podłużnego poziomu wody w odcinku km 504-507 przy przepływie $WQ_{2010} = 5940 \text{ m}^3/\text{s}$ uzyskane za pomocą modelu CCHE2D	171
Ryc.15.	Porównanie profilu podłużnego poziomu wody w odcinku km 504-507 przy przepływie $SSQ = 555 \text{ m}^3/\text{s}$ uzyskane za pomocą modelu CCHE2D.....	172
Ryc.16.	Głębokości w przekopach Port WZEK i Miedzeszyn przy przepływie SNQ i SSQ	173
Ryc.17.	Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Miedzeszyn przy SNQ	174
Ryc.18.	Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Port WZEK przy SNQ	175
Ryc.19.	Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Miedzeszyn przy SSQ	176
Ryc.20.	Układ wektorów prędkości w stanowisku dolnym i górnym przekopu Port WZEK przy SSQ	177
Ryc.21.	Rozkład prędkości średnich w pionie w punktach monitoringu przy różnych przepływach charakterystycznych.....	178
Ryc.22.	Deformacje dna w wyniku sedymentacji i erozji dna w przekopie Miedzeszyn przy SSQ	179

Ryc.23.	Deformacje dna w wyniku sedimentacji i erozji dna w przekopie Port WZEK przy SSQ.....	180
Ryc.24.	Projektowane boczne ramiona odcinające - lokalizacja „Miedzeszyn” (prawa strona koryta, km 505 - 505,5) i lokalizacja „Port WZEK” (lewa strona koryta, km 505,5 - 507)	196
Ryc.25.	Zależność naprężeń granicznych dla ziaren kwarcowych τ_{gr} według Shields’a,	200
Ryc.26.	Zależność naprężeń dopuszczalnych τ_{dop} według Lane’a (błędny opis osi pionowej).....	200
Ryc.27.	Przykładowe wyniki modelowania układu przepływu wraz z ruchem rumowiska w warunkach SSQ	201