

WYKORZYSTANIE BIM W PROJEKTOWANIU OBIEKTÓW HYDROTECHNICZNYCH I MELIORACYJNYCH

Janusz Michał Filipczyk^{1,2}  0009-0005-3613-2499,

Karol Krystian Plesiński¹  0000-0003-2157-2502, Kacper Cedro²

¹ Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

² PBW Inżynieria Sp. z o.o., ul. Strzegomska 142a, 54-429 Wrocław

ABSTRAKT

Cel pracy

W artykule przedstawiono rezultaty i doświadczenia związane z wykorzystaniem technologii BIM w projektach melioracyjnych i hydrotechnicznych. Autorzy opierają się na swoim szerokim doświadczeniu zdobywanym podczas realizacji różnorodnych projektów w tej dziedzinie. Celem artykułu jest ukazanie potencjału i możliwości, jakie nowoczesna technologia BIM niesie ze sobą w procesie projektowania obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych.

Materiały i metody

W ramach artykułu skupiono się na obszarach, takich jak hydrotechnika, melioracje, wały, rowy, a także na wykorzystaniu konkretnych narzędzi i programów, takich jak HEC-RAS, Autocad Civil 3D, MacroStacion Inroads, OpenRoads Designer oraz Allplan. Technologia BIM, w połączeniu z modelowaniem CFD (obliczeniową dynamiką płynów), która aktualnie stanowi kluczowy element analiz i projektowania obiektów inżynierskich.

Wyniki i wnioski

W artykule pokazano korzyści wynikające z wykorzystania technologii BIM, takie jak lepsza współpraca i wymiana danych między różnymi branżami zaangażowanymi w projekt, efektywniejsze analizy hydrauliczne, tworzenie precyzyjnych i spójnych modeli, a także możliwość wizualizacji projektów dla lepszego zrozumienia i komunikacji z interesariuszami.

Słowa kluczowe: hydrotechnika, melioracje, HEC, technologia BIM, modelowanie numeryczne CFD

WPROWADZENIE

Proces projektowania budowli hydrotechnicznych oraz melioracyjnych jest skomplikowany i wymaga uwzględnienia wielu elementów, które mają wpływ na wymiary projektowanego obiektu (Zhang i in., 2020). Jednym z tych czynników jest ustalenie przepływów miarodajnych i kontrolnych. Na podstawie

obliczonych przepływów konieczne jest przeprowadzenie analizy hydraulicznej w celu określenia zakresu pracy projektowanej budowli hydrotechnicznej lub melioracyjnej. Kolejnym elementem wpływającym na kształt projektowanego obiektu są warunki grunto-wo-wodne. Przy projektowaniu wałów przeciwpowodziowych, jazów lub zapor, konieczne jest wykonanie obliczeń hydraulicznych i geotechnicznych. Ta sama

 e-mail: karol.plesinski@urk.edu.pl

sytuacja dotyczy projektów melioracyjnych, takich jak regulacja rzek oraz renowacja lub przebudowa rowów. Aby je odpowiednio wymiarować, konieczne jest przeprowadzenie podstawowych obliczeń hydrologicznych, hydraulicznych i geotechnicznych. Projekty hydrotechniczne i melioracyjne powstają w wyniku współpracy przedstawicieli różnych branż, co jest niezbędne do zapewnienia prawidłowego funkcjonowania obiektu (Rokochinskiy, 2023; Zhou i in., 2023). W trakcie procesu projektowego często dochodzi do kolizji, na przykład gazociągu z trasą projektowanych regulacji lub trasą wału. Wszystkie potencjalne problemy można stopniowo eliminować, korzystając z technologii BIM (ang. Building Information Modeling) (Kasznia i in., 2020). W artykule przedstawiono metodykę nowoczesnego projektowania obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych przy wykorzystaniu technologii BIM, opierając się na wieloletnim doświadczeniu autorów. Technologia BIM umożliwia kompleksową wizualizację i modelowanie (Ezhov i in., 2020). Tworzenie trójwymiarowych modeli obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych pozwala na dokładną wizualizację i lepsze zrozumienie projektu.

Należy zauważyć, że oprócz przykładów zastosowań technologii BIM w budownictwie wodnym wskazanych w poniższym artykule, na polskim rynku istnieją także inne przykłady użycia tej technologii w biurach projektowych. Przykładowo Biuro Projektów Hydrobim opracowało zabezpieczenia przeciwpowodziowe dla projektu: „Rozbudowa wału opaskowego zabezpieczającego przed wodami powodziowymi Hutę Szkła i osiedle mieszkaniowe w miejscowości Sandomierz, wraz z rozbudową wału przeciwpowodziowego rzeki Wisły od ul. Lwowskiej do połączenia z wałem Koćmierzów” (Hydrobim, 2021). Warto także wspomnieć o projekcie modernizacji i rozbudowy wałów przeciwpowodziowych w Tarnowie (Hydrobim, 2023a). Ponadto Biuro Hydrobim jest autorem projektu „Digital Twin in the Port of Gdynia”, co stanowi pierwszą w Polsce próbę stworzenia cyfrowego odwzorowania obiektu wodnego (Hydrobim, 2023b).

Artykuł został przygotowany na podstawie rzeczywistych projektów, w których uczestniczył jeden z autorów tego artykułu. Autor jest także współtwórcą stylów i plików referencyjnych, na podstawie których powstały modele BIM. Należy zwrócić uwagę, że po-

zyskanie danych z innych biur projektowych jest trudne, ponieważ pliki wzorcowe i style są objęte prawem autorskim oraz tajemnicą handlową.

Warto podkreślić, że Polska w zakresie stosowania technologii BIM nie odbiega znacząco od globalnych tendencji. Można nawet stwierdzić, że proces cyfryzacji polskiego budownictwa jest porównywalny z poziomem osiągniętym w Niemczech czy we Francji. W 2023 roku wprowadzono polską normę językową PN-EN ISO 19650-1:2019-02 „Organizacja i digitalizacja informacji o budynkach i budowlach, w tym modelowanie informacji o obiekcie budowlanym (BIM) – Zarządzanie informacjami za pomocą modelowania informacji o obiekcie budowlanym – Część 1: Koncepcje i zasady”. W 2022 roku polski rząd utworzył grupę roboczą do spraw wdrożenia technologii BIM w budownictwie.

TWORZENIE GEOMETRII PRZESTRZENNEJ

Na podstawie bezpośrednich pomiarów geodezyjnych, skanowania laserowego lub pomiarów batymetrycznych tworzy się geometryczne odwzorowanie terenu przy użyciu technologii TIN (Triangular Irregular Network) (AutoCAD, 2006), która jest skutecznie wykorzystywana w procesie projektowania. Precyzyjny pomiar przestrzenny stanowi podstawę do przeprowadzania odpowiedniej wizualizacji terenu, analiz hydraulicznych i analiz geotechnicznych. Ten pomiar jest kluczowy i można go uznać za najważniejszy element całego procesu inwestycyjnego. Niedokładności lub błędy przy tworzeniu numerycznego modelu terenu mogą wpływać na podejmowane decyzje w trakcie procesu projektowania, dlatego należy zachować szczególną staranność podczas obróbki danych uzyskanych z pomiarów geodezyjnych.

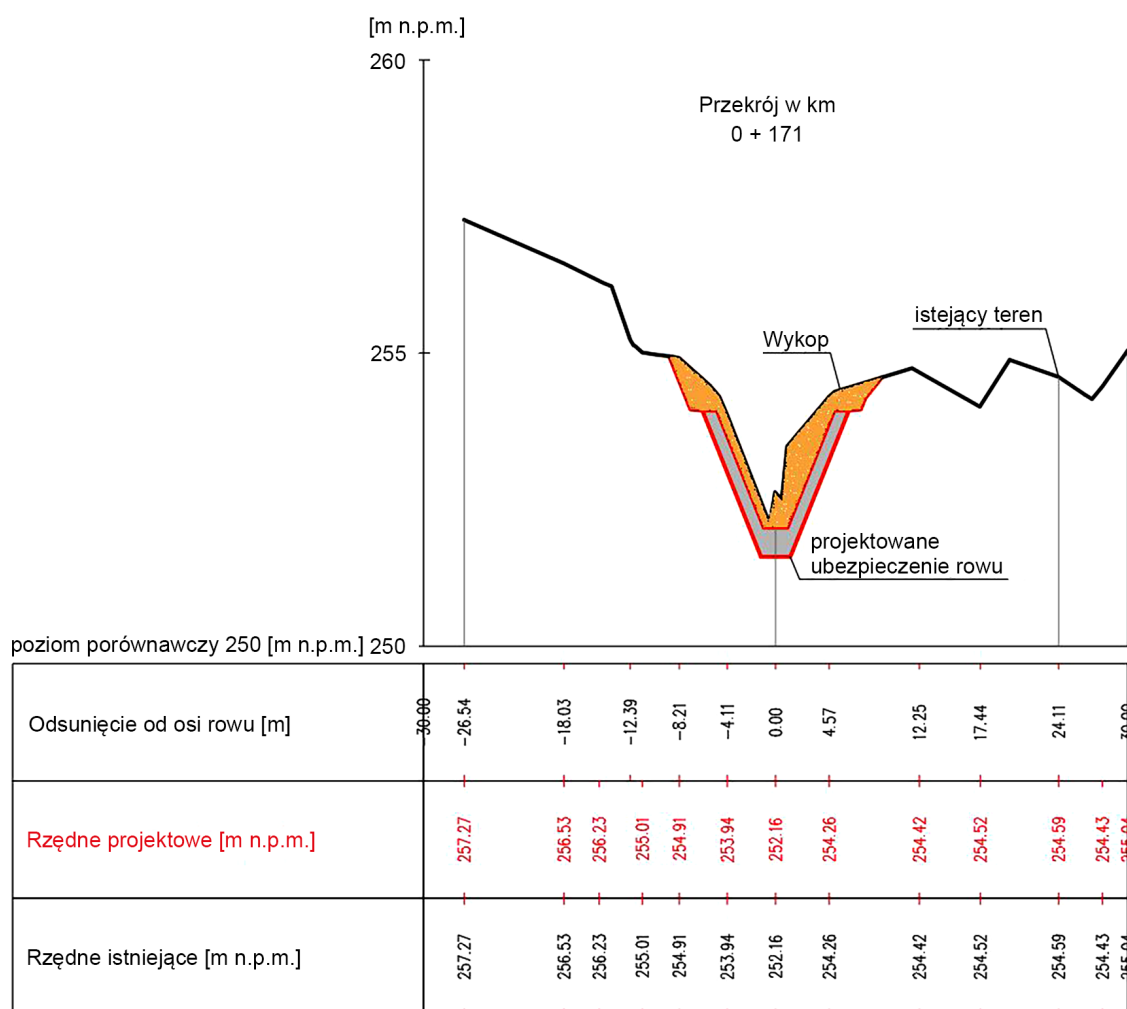
Przy użyciu odpowiednich narzędzi w programach, takich jak AutoCAD Civil 3D, MicroStation InRoads lub OpenRoads Designer, istnieje możliwość modyfikowania zaimplementowanej powierzchni. Jedną z podstawowych komend, które występują praktycznie we wszystkich programach typu BIM, jest wprowadzanie modyfikacji powierzchni TIN za pomocą linii nieciągłości.

Linie nieciągłości są narzędziem pozwalającym na precyzyjne kształtowanie powierzchni terenu w celu uzyskania pożądanej geometrii. Pozwalają na definio-

wanie łuków, wypukłości, zagłębień, czy też różnego rodzaju krawędzi i form terenowych. Dzięki nim można modelować detale topograficzne, takie jak wzniesienia, obniżenia, brzegi rzek, krawędzie wałów, drogi, ścieżki itp., co ma szczególne znaczenie przy projektowaniu obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych, ponieważ poprawne odwzorowanie terenu może mieć istotny wpływ na funkcjonalność i bezpieczeństwo budowli. Dzięki możliwości manipulacji powierzchnią TIN za pomocą linii nieciągłości projektanci mogą precyzyjnie modelować i analizować ukształtowanie terenu, uwzględniając zmienne warunki topograficz-

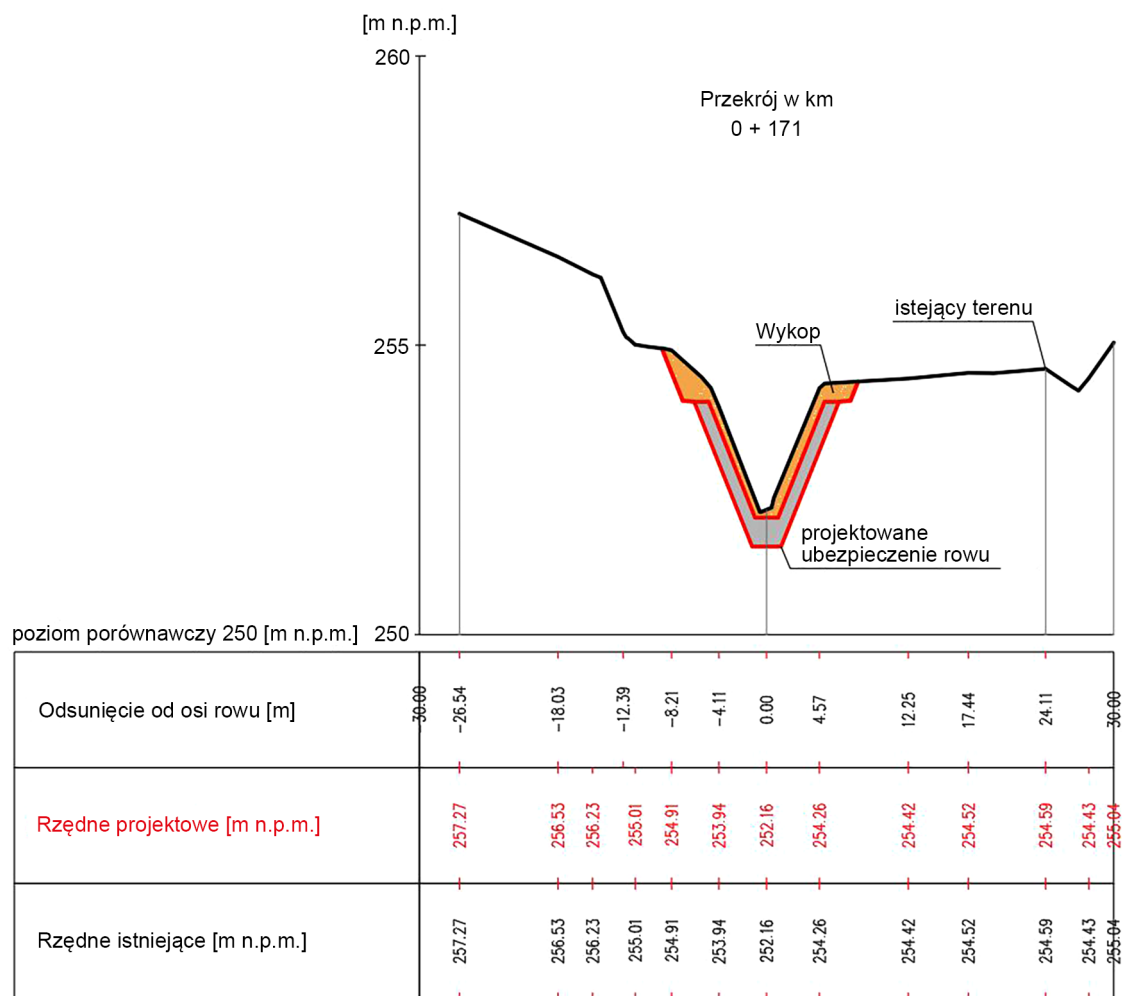
ne. To z kolei przyczynia się do lepszego zrozumienia i optymalizacji projektu obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych, poprawy funkcjonalności oraz skuteczniejszego zarządzania wodą i terenem (Zieliński i Jagodziński, 2009).

Poniżej przedstawiono przykład koryta rzeki (ryc. 1, 2), którego powierzchnia jest zdefiniowana wyłącznie na podstawie pomiarów geodezyjnych oraz modyfikację tej samej powierzchni przy użyciu linii nieciągłości. Podobny przykład został również przedstawiony dla wału przeciwpowodziowego (ryc. 3, 4).



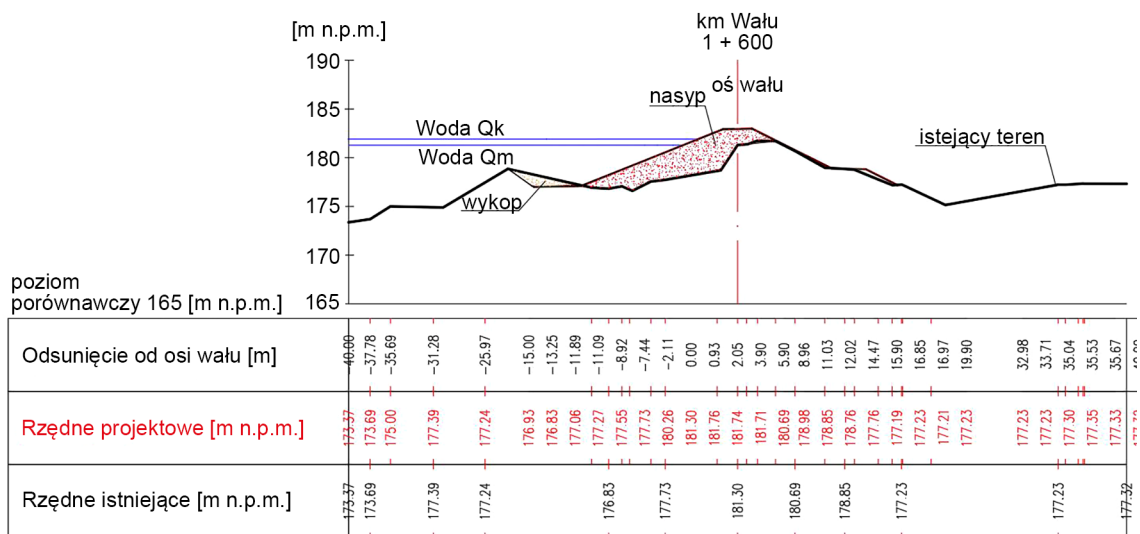
Ryc. 1. Powierzchnia TIN koryta rowu melioracyjnego bez linii nieciągłości (Sweco, 2015a)

Fig. 1. The TIN surface of the drainage channel without breaklines (Sweco, 2015a)



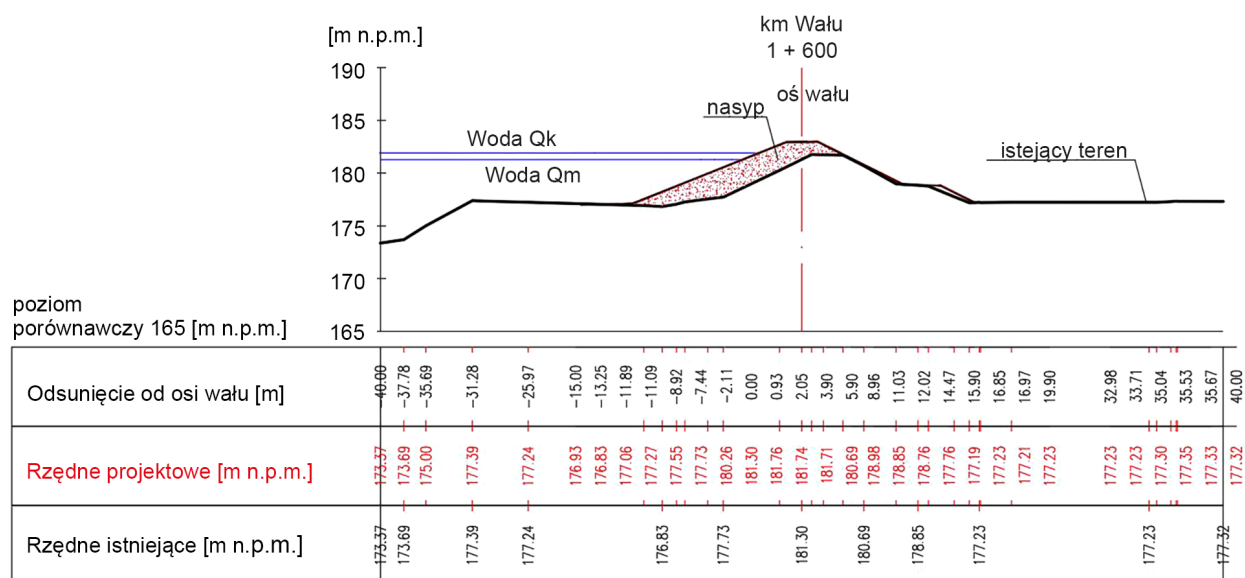
Ryc. 2. Powierzchnia TIN koryta rowu melioracyjnego z linią nieciągłości (Sweco, 2015a)

Fig. 2. The TIN surface of the drainage channel with breaklines (Sweco, 2015a)



Ryc. 3. Powierzchnia TIN wału przeciwpowodziowego bez linii nieciągłości (Sweco, 2015b)

Fig. 3. TIN surface of the levee without breaklines (Sweco, 2015b)



Ryc. 4. Powierzchnia TIN wału przeciwpowodziowego z linią nieciągłości (Sweco, 2015b)

Fig. 4. TIN surface of the levee with breaklines (Sweco, 2015b)

Na ilustracjach (ryc. 1–4) widać, że wprowadzenie linii nieciągłości ma istotny wpływ na proces projektowy. W przypadku cieku powierzchnia TIN bez linii nieciągłości nie odzwierciedla rzeczywistego ukształtowania terenu, co wpływa na analizy niezbędne w całym procesie (Jędrych i in., 2020). Podobna sytuacja ma miejsce przy projektowaniu wałów przeciwpowodziowych. Efekt może być mniej widoczny, ale ma istotne znaczenie dla procesu wymiarowania konstrukcji.

Tworzenie projektów obiektów wodnych w BIM

Projekty hydrotechniczne są procesem iteracyjnym, ponieważ wymiary i kształty konstrukcji mają wpływ na obliczenia hydrauliczne, a jednocześnie wymiary konstrukcji zależą od bezpiecznego jej uniesienia ponad poziom wód powodziowych z określonym prawdopodobieństwem wystąpienia. Przy projektowaniu wałów przeciwpowodziowych pierwszym krokiem jest określenie wysokości korony wału na podstawie analiz stanu istniejącego, na przykład bez wałów lub dla wałów przeciwpowodziowych przed modernizacją. Następnie poprawiamy model hydrauliczny, uwzględ-

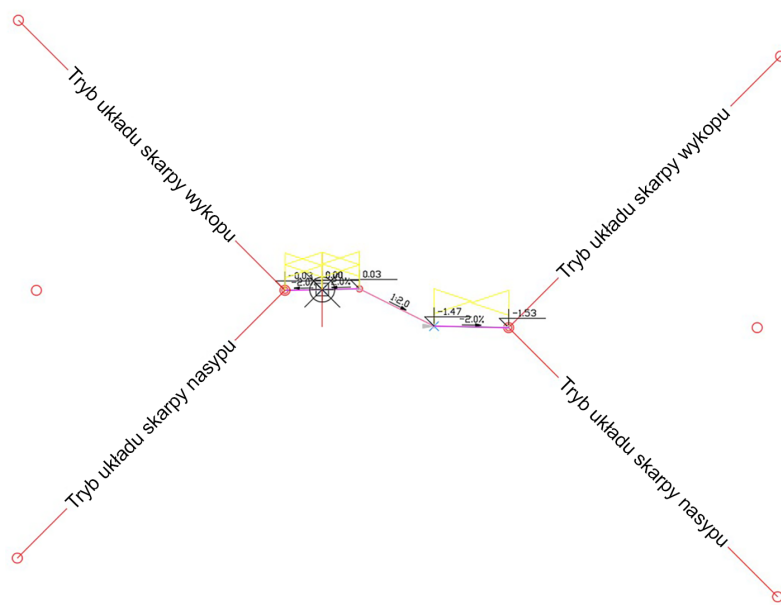
niając podwyższony i poszerzony wał lub nową konstrukcję, która ogranicza przepływ wód powodziowych. W wyniku aktualizacji otrzymujemy zazwyczaj odmienne poziomy wód, które następnie uwzględniamy w projekcie. Ten proces projektowania i modelowania jest powtarzany do momentu, gdy osiągniemy zbieżność wyników obliczeniowych, czyli gdy rzędna korony wału bezpiecznie przewyższa rzędną wody miarodajnej i kontrolnej zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Wykorzystanie technologii BIM umożliwia przyspieszenie całego procesu dzięki automatyzacji niektórych czynności, na przykład przebudowy korytarzy lub przekrojów uzyskanych w wyniku modelowania hydraulicznego (Kaszniak i in., 2020). Oprogramowanie takie jak AutoCAD Civil 3D i OpenRoads Designer (ryc. 5) oferują tego rodzaju możliwości. Dynamiczne modelowanie korytarzy i przekrojów obliczeniowych znacznie przyspiesza prace w procesie projektowym (Jędrych i in., 2020). W obu tych programach stosuje się podobną filozofię pracy. Najpierw tworzy się linie trasowania poziomego, a następnie na ich podstawie generuje się profil terenu, na którym przedstawia się projektowane niwelety wału lub cieku (Zieliński i Jagodziński, 2009).



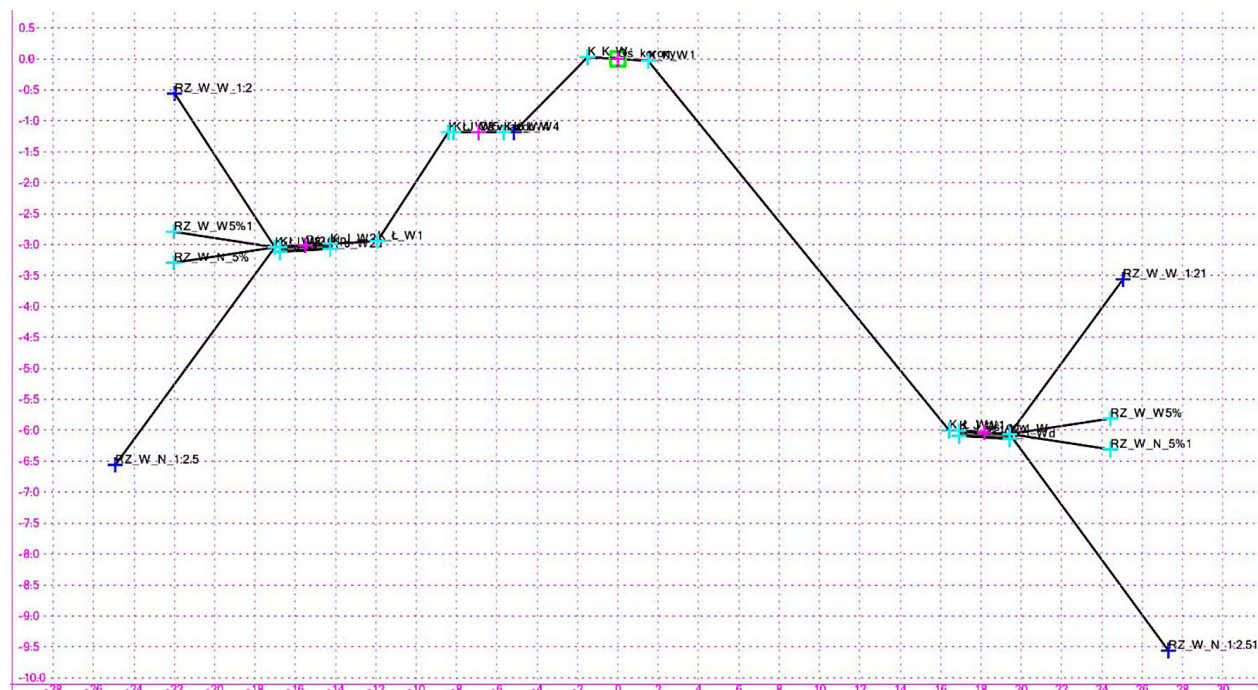
Kolejnym etapem w procesie tworzenia modelu BIM obiektu liniowego jest utworzenie przekroju typowego. Przekrój typowy, znany również jako przekrój standardowy, powinien odzwierciedlać przyjęte stan-

dardowe wymiary przekroju wału przeciwpowodziowego (ryc. 6, 7) lub przekroju regulacyjnego (ryc. 8, 9) oraz być odpowiednio dostosowany do istniejącej powierzchni terenu.



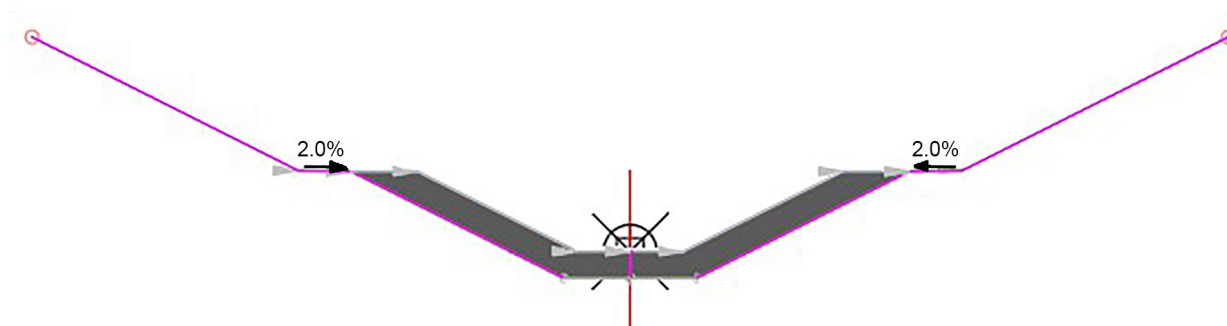
Ryc. 6. Zespół wału przeciwpowodziowego lub zapory ziemnej w aplikacji Autocad Civil 3D (Sweco, 2013, 2015a)

Fig. 6. Levee or earth dam assembly in Autocad Civil 3D (Sweco, 2013, 2015a)



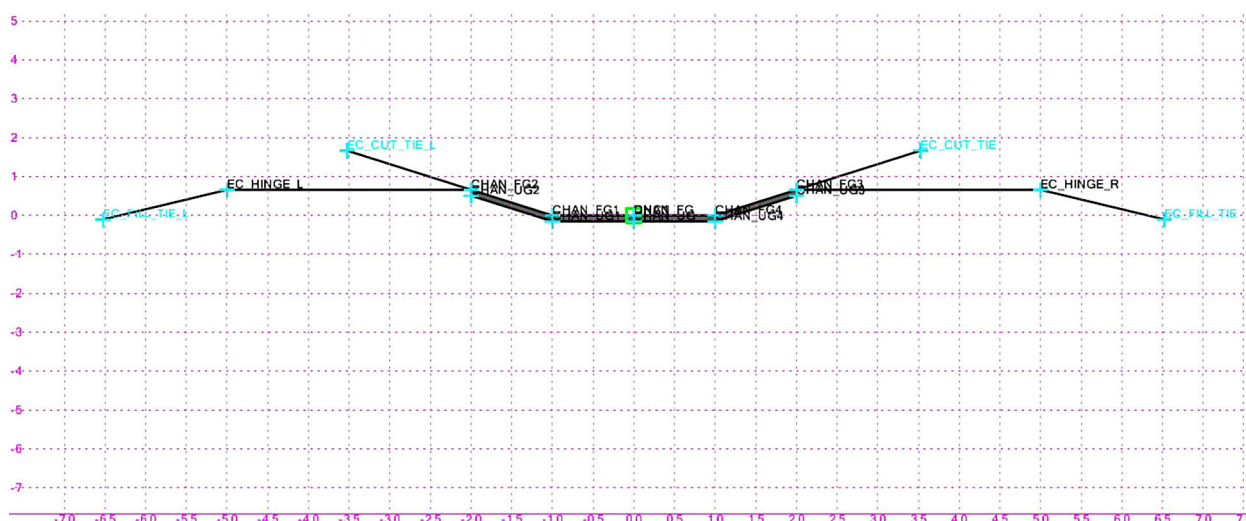
Ryc. 7. Zespół wału przeciwpowodziowego w aplikacji OpenRoads Designer / Inroads (Sweco, 2015b)

Fig. 7. Levee or earth dam assembly in OpenRoads Designer / Inroads (Sweco, 2015b)



Ryc. 8. Zespół koryta melioracyjnego w aplikacji Autocad Civil 3D (Sweco, 2015a)

Fig. 8. The drainage channel in the Autocad Civil 3D application (Sweco, 2015a)

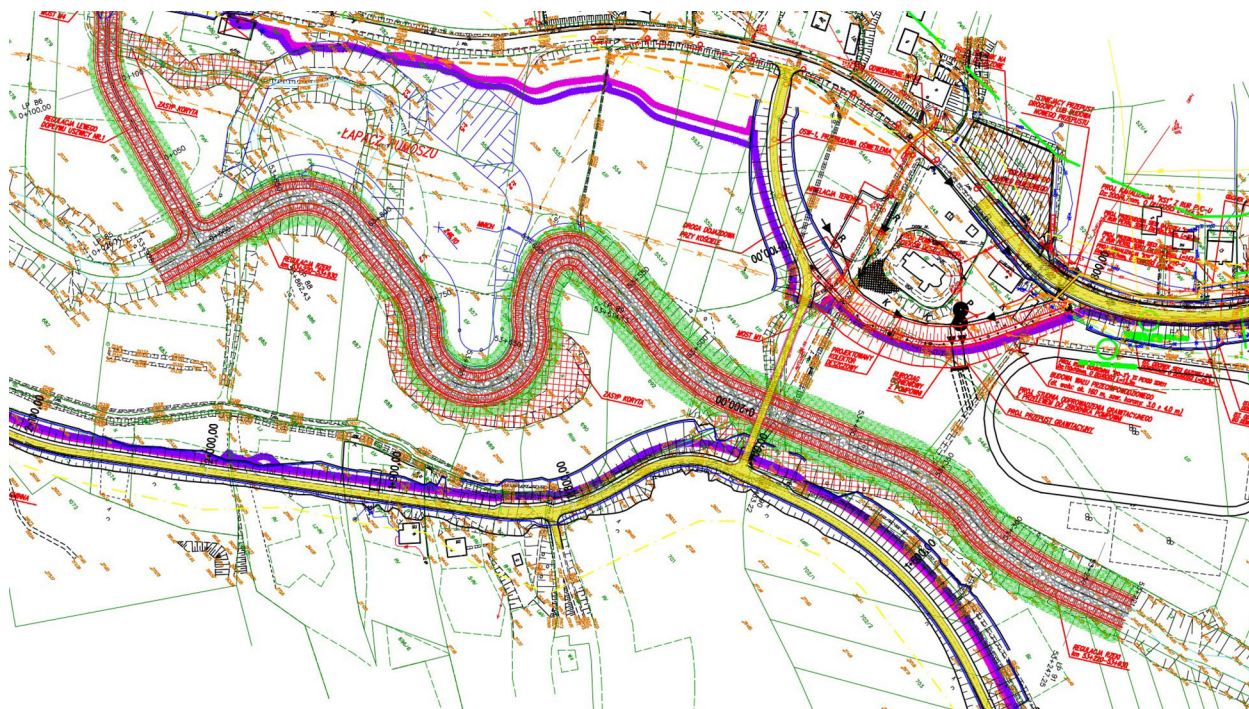


Ryc. 9. Zespół cieku w aplikacji OpenRoads Designer / Inroads (Sweco, 2015b)

Fig. 9. The drainage channel in the OpenRoads Designer / Inroads application (Sweco, 2015a)

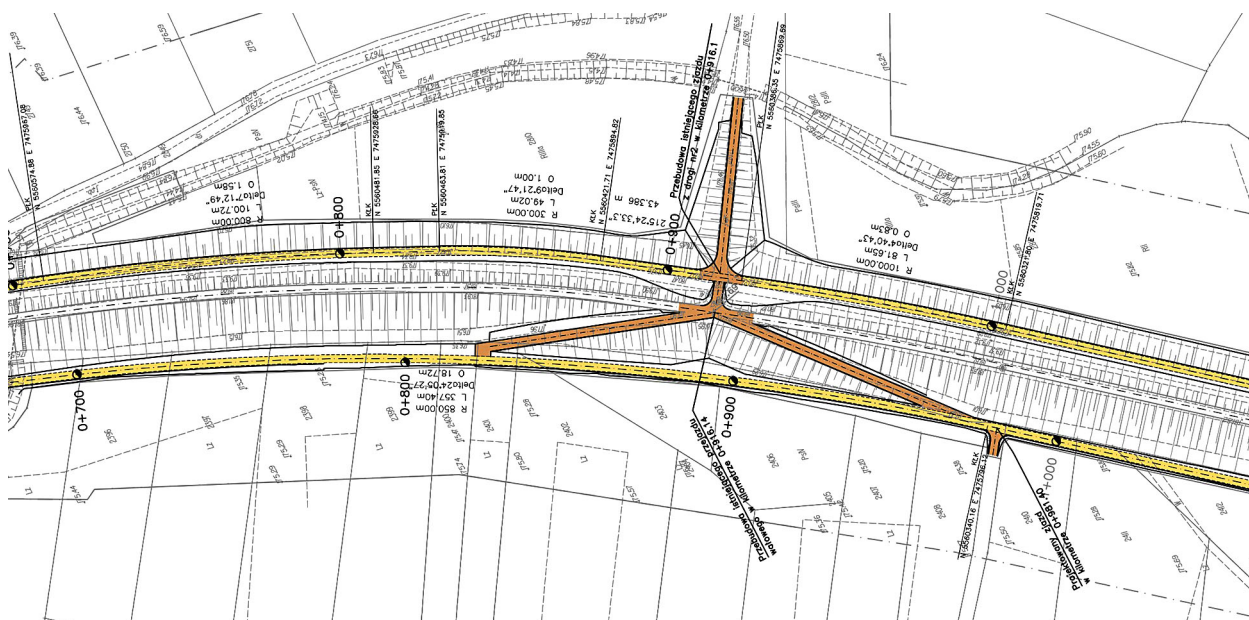
Model jest tworzony z wykorzystaniem danych w postaci istniejącej powierzchni terenu opartej na pomiarach geodezyjnych, projektowanej niwelecie, która określa wyniesienie lub obniżenie modelu oraz

przekroju typowego w postaci zespołu (ryc. 10, 11). Na podstawie tych trzech elementów powstaje bryła wynikowa „Nasz model BIM”.



Ryc. 10. Korytarz cieku Autocad Civil 3D (Sweco, 2015a)

Fig. 10. The watercourse corridor in Autocad Civil 3D application (Sweco, 2015a)



Ryc. 11. Korytarz wału przeciwpowodziowego z aplikacji OpenRoads Designer / Inroads (Sweco, 2015b)

Fig. 11. Flood embankment corridor in OpenRoads Designer / Inroads application (Sweco, 2015b)

HYDROLOGIA

Pierwszymi czynnikami wpływającymi na wymiary budowli hydrotechnicznych i melioracyjnych są przepływy miarodajne i kontrolne. Prawdopodobieństwo tych przepływów jest dobierane na podstawie odpowiednich rozporządzeń lub wytycznych. Dla budowli hydrotechnicznych stosuje się Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. 2007 nr 86, poz. 579). W celu określenia przepływu miarodajnego do obliczeń światła mostów korzystamy z wytycznych (PKP PLK S.A., 2005; Rymsza i in., 2021).

W takich sytuacjach technologia BIM umożliwia wyznaczenie zlewni dla obszaru obliczeń, czyli zlewni przekroju obliczeniowego, znajdującego się w miejscu projektowanego obiektu. Do tego celu można skorzystać z narzędzi, takich jak AutoCAD Civil 3D, MicroStation InRoads lub OpenRoads Designer. Te programy posiadają funkcje automatycznego generowania obszaru zlewni na podstawie pomiarów geodezyjnych i skanów laserowych (lidar), które stanowią podstawę do tworzenia trójwymiarowych powierzchni terenu. Oprogramowanie BIM umożliwia modyfikację istniejącej powierzchni terenu na powierzchnię reprezentującą projektowany stan inwestycji. Do tego celu służy m.in. funkcja tworzenia korytarzy, które definiują obiekty liniowe. Praca odbywa się w sposób dynamiczny, co oznacza, że każda zmiana wprowadzona przez użytkownika powoduje automatyczną aktualizację całego projektu.

Kolejnym istotnym elementem w obliczeniach hydrologicznych jest uwzględnienie rodzaju pokrycia terenu. Oprogramowanie BIM umożliwia podłączenie do projektu danych w postaci warstw WMS (Web Map Service) lub WMTS (Web Map Tile Service), zawierających informacje z baz danych, takich jak BDOT 10K lub Corine Land Cover. Otrzymane dane mogą być wykorzystane do przeprowadzenia obliczeń hydrologicznych przy użyciu wzorów empirycznych lub mogą zostać przetworzone i zaimplementowane do programów, które wykorzystują metody transformacji opadu w odpływ (Wałęga i Młyński, 2021). Przykładem takiego oprogramowania jest HEC-HMS (ryc. 12). Programy typu BIM mogą po-

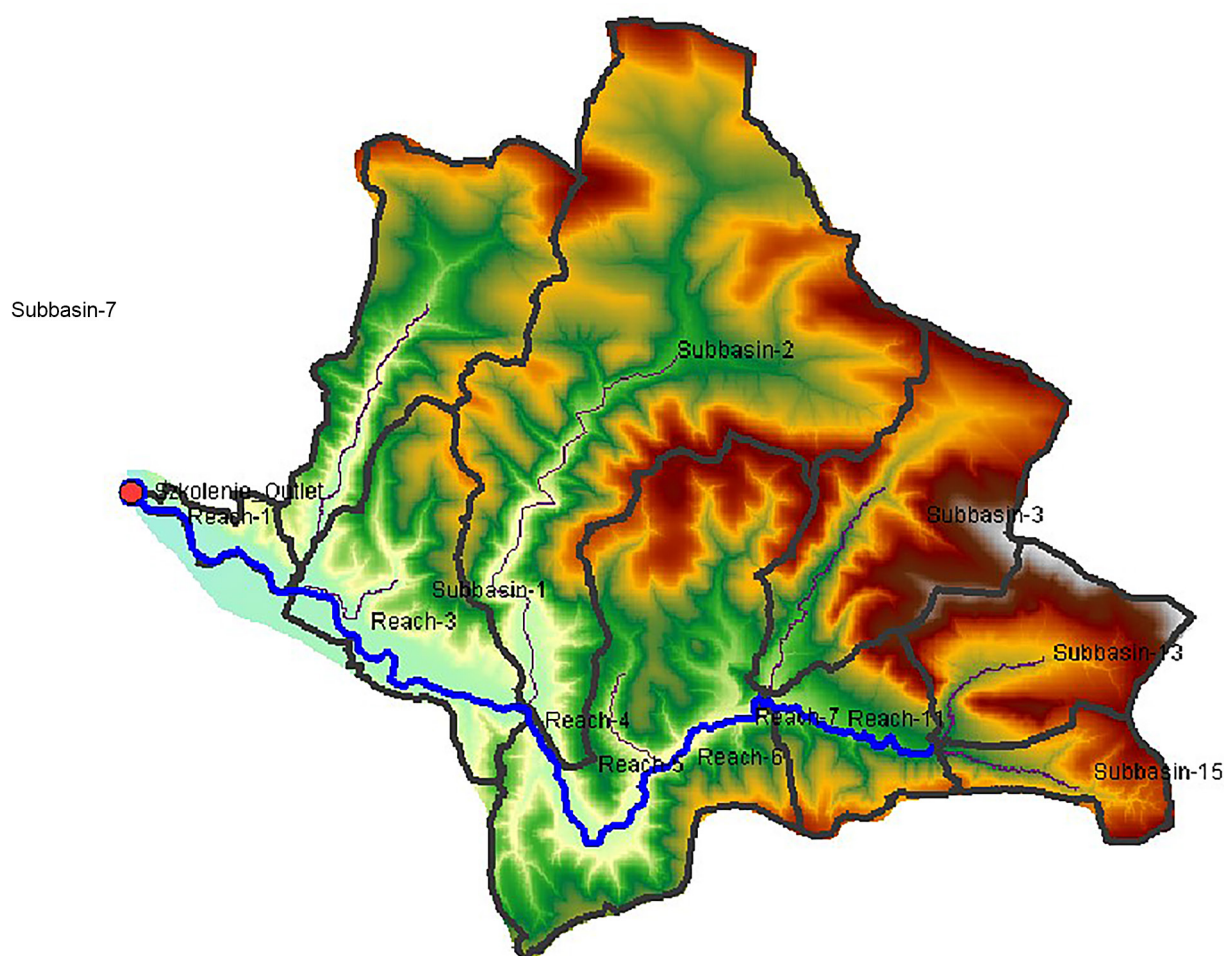
służyć do wyznaczenia współczynników odpływu, które są niezbędne do dalszych obliczeń hydrologicznych.

MODELE 1D I 2D – OBLICZENIA HYDRULICZNE W BIM

Projekt utworzony w technologii BIM oferuje możliwość wymiany danych z innymi programami przeznaczonymi do obliczeń hydraulicznych, takimi jak HEC-RAS i MIKE11 (Książek i in. 2010; Dysarz, 2017, 2018; Filipczyk, 2021, Plesiński i in., 2022). Dzięki temu można skorzystać ze specjalistycznych narzędzi i funkcji tych programów do przeprowadzenia szczegółowych analiz hydraulicznych.

Programy typu BIM, takie jak AutoCAD Civil 3D i OpenRoads Designer (Jędrych i in., 2020) posiadają funkcje eksportu danych, które umożliwiają przekazywanie informacji pomiędzy różnymi programami. Na przykład AutoCAD Civil 3D (AutoCAD 2006) oferuje moduł „Autodesk River and Flood Analysis Module”, który umożliwia transfer danych do programu HEC-RAS. Można eksportować przekroje terenu, pokrycia i inne parametry do HEC-RASa, a następnie importować wyniki z HEC-RASa, takie jak strefy zalewowe czy rzędne wód, z powrotem do Autodesk Civil 3D.

Oprócz darmowych modułów istnieją również komercyjne oprogramowania, takie jak AQUATERRA firmy CGSLABS, które oferują zaawansowane narzędzia do transferu danych pomiędzy programami BIM a MIKE11. Również oprogramowanie firmy Bentley (Jędrych i in., 2020), takie jak OpenRoads Designer, posiada funkcje umożliwiające transfer danych do programu HEC-RAS. Można eksportować geometrię, przekroje i inne informacje z projektu BIM do HEC-RAS-a, a następnie importować wyniki z powrotem do programu Bentley w celu dalszej analizy i wizualizacji. Dodatkowo Bentley Institute Press opracował podręcznik pt. *Floodplain Modeling Using HEC-RAS* (Systems i in., 2007), który zawiera szczegółowe informacje na temat modelowania obszarów zalewowych przy użyciu programu HEC-RAS. Dzięki takiemu materiałowi można zdobyć wiedzę i umiejętności potrzebne do skutecznego wykorzystania HEC-RAS-a w kontekście modelowania powodziowego (Plesiński i in., 2017; Bekhira i in., 2019; Bharath i in., 2021; Karamma i in., 2022).

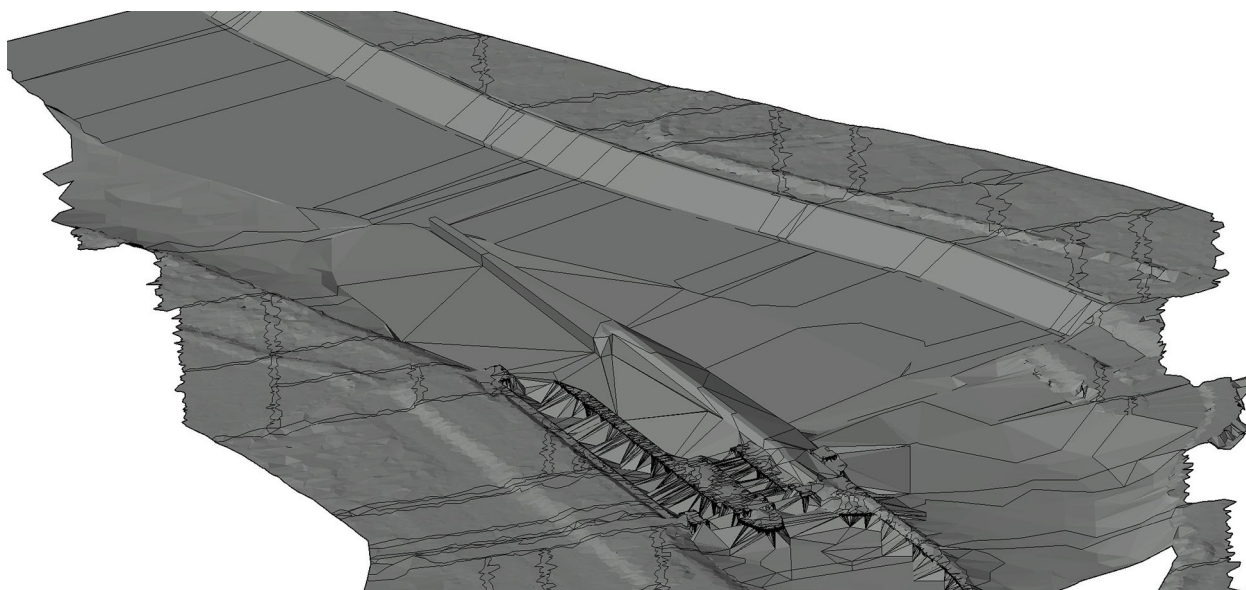


Ryc. 12. Zlewnia Łubinki – widok z aplikacji HEC-HMS (PBW Inżynieria, 2022)

Fig. 12. Łubinka catchment – view from the HEC-HMS application (PBW Inżynieria, 2022)

W rezultacie wykorzystanie technologii BIM w połączeniu z programami specjalistycznymi do analiz hydraulicznych umożliwia kompleksowe podejście do projektowania obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych, integrując różne aspekty projektu i zapewniając dokładniejsze i bardziej efektywne rozwiązania. Dla bardziej złożonych modeli hydraulicznych, które są tworzone jako modele dwuwymiarowe, istotne jest utworzenie modelu powierzchni, który obejmuje obszar opływania danego elementu. W tym celu wykorzystuje się zaawansowane możliwości programów BIM, takie jak edycja powierzchni TIN (Triangular Irregular Network) (ryc. 13).

Początkowo na podstawie pomiarów geodezyjnych tworzona jest powierzchnia terenu, która następnie poddawana jest obróbce w kontekście projektowanego obiektu przez implementację jej do modelu BIM. Powstała powierzchnia jest przetwarzana i dostosowywana do wymagań projektu. Dzięki technologii BIM możliwe jest precyzyjne modelowanie powierzchni terenu, uwzględniające wszystkie istotne detale i zmiany, które są niezbędne do poprawnego odwzorowania opływu wody i przepływu w danym elemencie hydrotechnicznym (ryc. 14). To pozwala na dokładniejsze i bardziej realistyczne analizy oraz optymalizację projektu.



Ryc. 13. Powierzchnia TIN utworzona w programie Autocad Civil 3D (PBW Inżynieria, 2018)

Fig. 13. TIN surface created on the basis of the Autocad Civil 3D software (PBW Inżynieria, 2018)

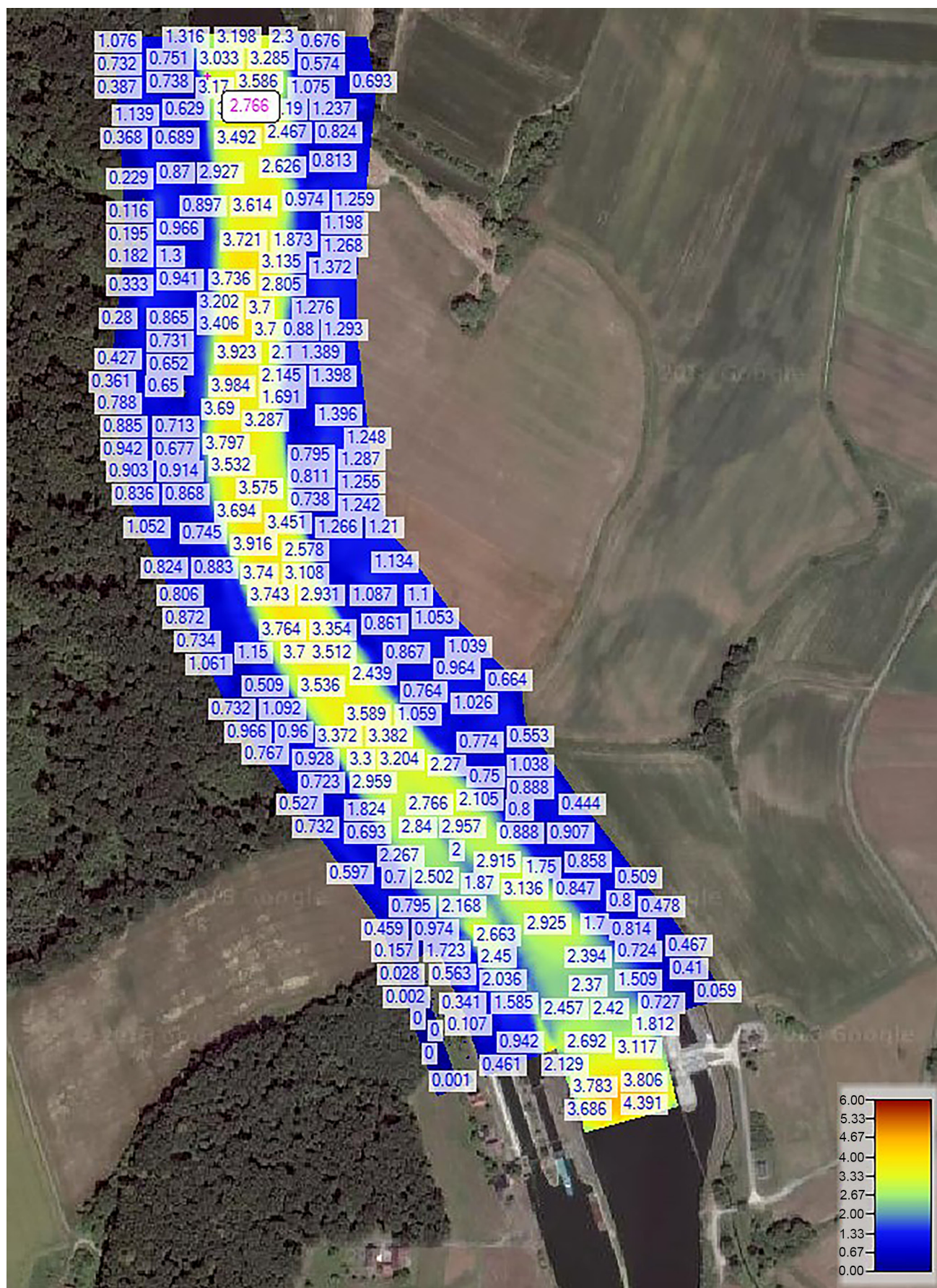
Powstała w ten sposób powierzchnia wynikowa, reprezentująca ukształtowanie terenu, zostaje eksportowana do programu hydraulicznego, takiego jak HEC-RAS, w celu stworzenia szczegółowego modelu hydraulicznego dwuwymiarowego. Ten model uwzględnia przepływ wody oraz opływ i oddziaływanie na elementy hydrotechniczne. W programie hydraulicznym przeprowadza się symulacje i obliczenia dotyczące przepływu wody, stref zalewowych, prędkości przepływu, zmian poziomów wód oraz innych parametrów hydrotechnicznych. Wyniki tych obliczeń są istotne dla dokładnego zrozumienia i oceny zachowania się wód w projekcie, identyfikowania potencjalnych zagrożeń powodziowych oraz optymalizacji rozwiązań hydrotechnicznych. Po przeprowadzeniu analiz hydraulicznych, otrzymane wyniki mogą być wyeksportowane w postaci powierzchni DTM (Digital Terrain Model) lub innego formatu danych, które mogą zostać zaimplementowane do programu typu BIM. Dzięki temu można wykorzystać te wyniki jako podstawę do dalszych analiz projektowych i integracji z innymi elementami modelu BIM.

W programach BIM istnieje możliwość odczytu profili linii definiujących rzędne zwierciadła dla

wybranych wód. Dzięki temu można szczegółowo analizować zachowanie się wód na różnych przekrojach i profilach terenu. Ponadto istnieją funkcje ustalania wiązań parametrycznych, które pozwalają na dynamiczną modyfikację projektu na podstawie wyników obliczeń hydraulicznych. Ta funkcjonalność umożliwia dostosowanie projektu do zmieniających się warunków hydrotechnicznych i poprawę jego efektywności oraz bezpieczeństwa.

Warto jednak zaznaczyć, że zagadnienia związane z integracją danych hydraulicznych z modelem BIM są złożone i wymagają odpowiedniej wiedzy i doświadczenia. Należy przeprowadzać analizy wnikliwie i sprawdzać poprawność wyników, aby zapewnić wiarygodność i dokładność całego procesu projektowego.

Podsumowując, wykorzystanie technologii BIM w połączeniu z programami hydraulicznymi umożliwia bardziej kompleksowe podejście do projektowania obiektów hydrotechnicznych. Pozwala to na lepsze zrozumienie zachowania się wód, identyfikację potencjalnych problemów oraz optymalizację rozwiązań projektowych, co przekłada się na efektywność i bezpieczeństwo realizowanych inwestycji hydrotechnicznych.



Ryc. 14. Wyniki modelowania napętnienia w programie HEC-RAS 2D dla przepływu Q_m (1%) (PBW Inżynieria, 2018; Filipczyk i in., 2022b)

Fig. 14. Modeling results water depth values presented in the HEC-RAS 2D for the flow Q_m (1%) (PBW Inżynieria, 2018; Filipczyk i in., 2022b)

TWORZENIE MODELI 3D DO OBLICZEŃ CFD

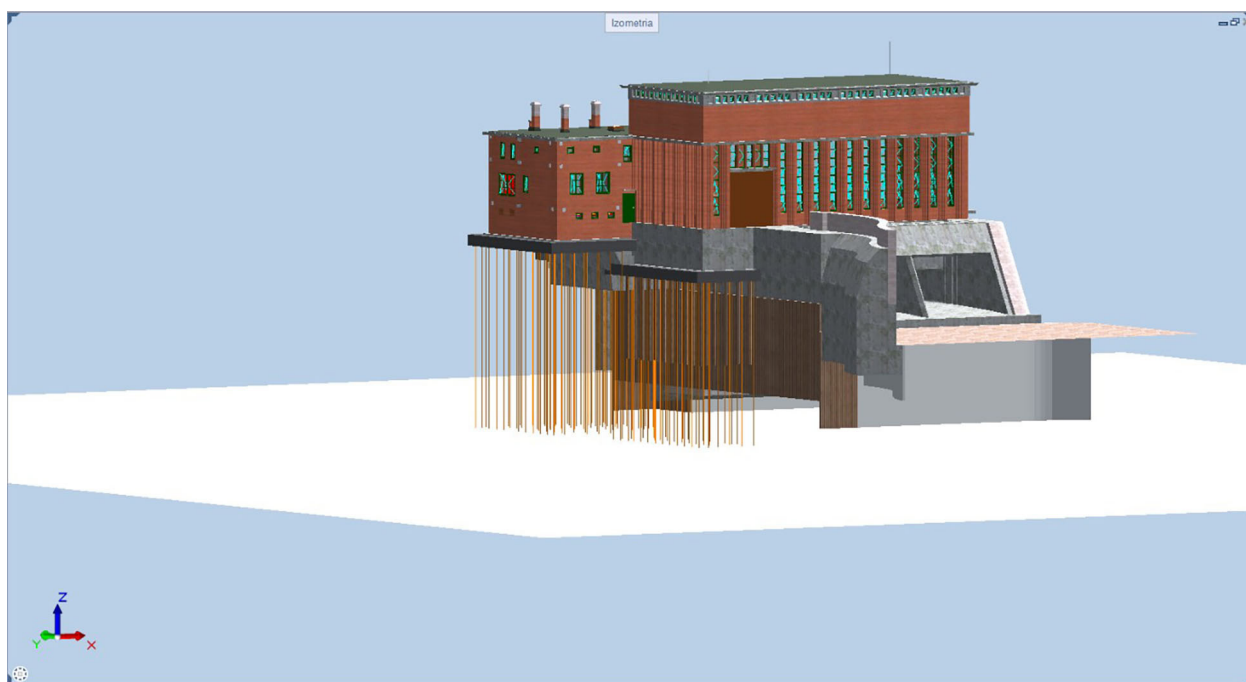
Tworzenie przestrzennych modeli budynków i obiektów hydrotechnicznych stanowi jedną z najbardziej zaawansowanych funkcji programów typu BIM (ryc. 15). W przypadku budowli hydrotechnicznych o charakterze punktowym, takich jak jazy, budowle przelewowo-upustowe w zaporach, śluzy żeglowne i elektrownie wodne, istnieje jedna główna składowa, która wpływa na złożoność układu funkcjonalnego tych budowli.

Obiekty hydrotechniczne są multidyscyplinarne i zaangażowane w ich tworzenie są różne branże. Pierwszą z branż odpowiedzialnych za ukształtowanie bryły jest branża architektoniczno-hydrotechniczna, której zadaniem jest dostosowanie zagospodarowania przestrzennego do ukształtowania terenu, takiego jak rzeki lub kanały, w taki sposób, aby zapewnić odpowiednią funkcjonalność budowli. Należy do tego m.in. zapewnienie odpowiedniego dopływu i odpływu wody, projektowanie budynków, magazynów, hal maszynowych, budynków socjalnych, sterówek oraz kształtowanie przestrzeni wokół

budowli przez przekształcenie koryta rzeki i przyległego terenu doliny.

Kolejnymi branżami zaangażowanymi w tworzenie obiektów hydrotechnicznych są branża konstrukcyjno-hydrotechniczna, odpowiedzialna za budowę murów oporowych, bloków upustowych, bloków przelewowo-upustowych, kanałów wlotowych w elektrowniach wodnych; branża mechaniczna, zajmująca się zamknięciami hydrotechnicznymi, turbinami, siłownikami, silnikami napędowymi itp.; branża elektryczna, odpowiedzialna za dostarczanie energii do mechanizmów zamknięć hydrotechnicznych oraz odprowadzanie energii z turbin (w tym trasy kabli, oświetlenie, transformatory); branża mechatroniczna, która obejmuje automatyczne systemy monitorujące stan budowli, oraz branża sanitarna, odpowiedzialna za zapewnienie dostępu do wody i odprowadzanie nieczystości w obiektach hydrotechnicznych.

Wszystkie wymienione branże składają się na kompleksowy układ funkcjonalny budowli hydrotechnicznej, stąd też istotne jest prawidłowe przekazywanie informacji między nimi w celu uniknięcia kolizji i konfliktów na etapie realizacji projektu. Modele BIM



Ryc. 15. Model BIM stworzony w programie Allplan BIM – model elektrowni (Filipczyk i in., 2022a)

Fig. 15. BIM model created in the Allplan BIM program – power plant model (Filipczyk et al., 2022a)

integrują wszystkie niezbędne dane dotyczące zastosowanych materiałów, urządzeń i instalacji, umożliwiając pełną współpracę i wymianę informacji pomiędzy branżami.

WYKORZYSTANIE MODELI 3D DO OBLICZEŃ CFD

Dzięki wykorzystaniu technologii BIM możliwe jest stworzenie trójwymiarowego modelu hydraulicznego CFD (ang. Computational Fluid Dynamics). Znajduje on zastosowanie w projektach elektrowni wodnych, umożliwiając analizę przepływu wody przez kanały dolotowe, turbiny wodne, spirale oraz rury ssące (Filipczyk i Radecki-Pawlik, 2021). Mimo że dostępnych jest wiele programów obliczeniowych służących do analizy trójwymiarowego przepływu cieczy, w tym miejscu skoncentrujemy się jedynie na najpopularniejszych.

Programy CFD można podzielić na bezpłatne i komercyjne. Jednym z najbardziej znanych darmowych programów jest OpenFOAM, stworzony w latach 80. ubiegłego wieku przez Henry'ego Weller'a na Imperial College London. Program działa na licencji open-source, co pozwala na jego użycie zarówno w celach komercyjnych, jak i niekomercyjnych. Z założenia przyjmuje się, że użytkownik tego programu ma podstawową wiedzę z zakresu programowania. Dlatego też jego interfejs może wydawać się skomplikowany. W odpowiedzi na to powstało wiele nakładek i aplikacji opartych na silniku obliczeniowym OpenFOAM, mających ułatwić pracę z modelem.

Drugą kategorią programów CFD są aplikacje płatne, takie jak Flow 3D stworzony przez Flow Science, Inc., oparty na badaniach naukowców z Los Alamos National Laboratory. Jeden z założycieli, Dr C.W. Tony Hirt, opatentował w 1980 roku jeden z najbardziej precyzyjnych algorytmów do aproksymacji powierzchni wody – TruVOFTM.

Innym płatnym programem jest Xflow CFD od Dassault Systèmes, powstały w 2011 roku. Wyróżnia się on wykorzystaniem równań Boltzmanna, zakładających pewną losowość ruchu cząstek cieczy, co pozwala na uproszczenie modelu matematycznego.

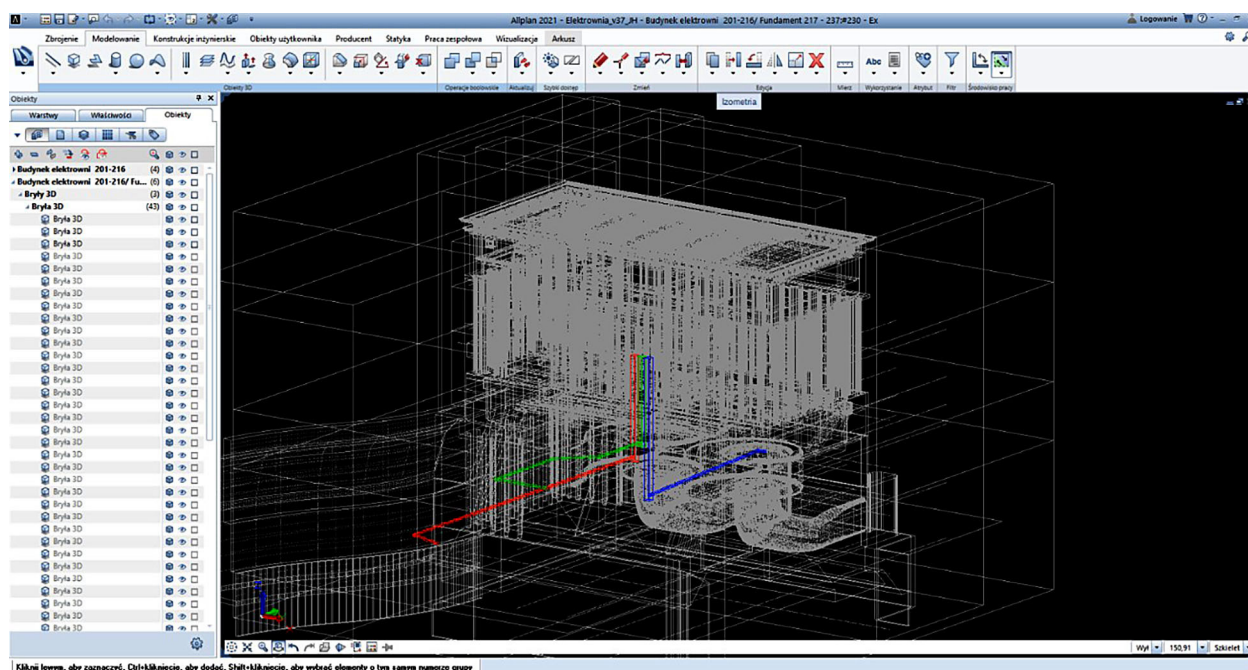
Na koniec warto wspomnieć o programach Ansys Fluent i Ansys CFX. Są one bardzo popularne w środowisku naukowym. Fluent, podobnie jak Flow 3D, umożliwia obliczenia swobodnej powierzchni wody, tzw. VOF. Obie aplikacje, jak wiele innych progra-

mów CFD, umożliwiają obliczanie kluczowych parametrów fizycznych, takich jak przepływ, trójwymiarowa prędkość czy ciśnienie wywierane na elementy konstrukcyjne przez przepływ cieczy. Do stworzenia modelu CFD konieczne jest dokładne odwzorowanie trójwymiarowej geometrii obiektu. W tym celu można skorzystać z programów umożliwiających tworzenie geometrii 3D, takich jak Allplan BIM. Przykładem projektu, w którym zastosowano model CFD, jest remont elektrowni wodnej, modernizacja turbozespołów, spiral, rur ssących i kanałów dolotowych – przy pomocy programów BIM możliwe jest zasymulowanie skomplikowanych kształtów spirali, co zostało pokazane na widoku (ryc. 16) (Filipczyk i in., 2022b). Modele CFD umożliwiają odwzorowanie swobodnego zwierciadła powierzchni wody, linii prądu strugi oraz naprężeń generowanych przez przepływ płynu. Uzyskane wyniki pozwalają na identyfikację ryzyka wystąpienia niekorzystnych zjawisk, takich jak kawitacja lub erozja dna koryta.

Dzięki wykorzystaniu modeli CFD w ramach technologii BIM projektanci i inżynierowie mają możliwość bardziej precyzyjnej analizy i optymalizacji projektów obiektów hydrotechnicznych. Pozwala to na lepsze zrozumienie zachowania się przepływów wody, identyfikację potencjalnych problemów i wpływów, a także podejmowanie odpowiednich działań w celu poprawy efektywności i bezpieczeństwa realizowanych inwestycji hydrotechnicznych.

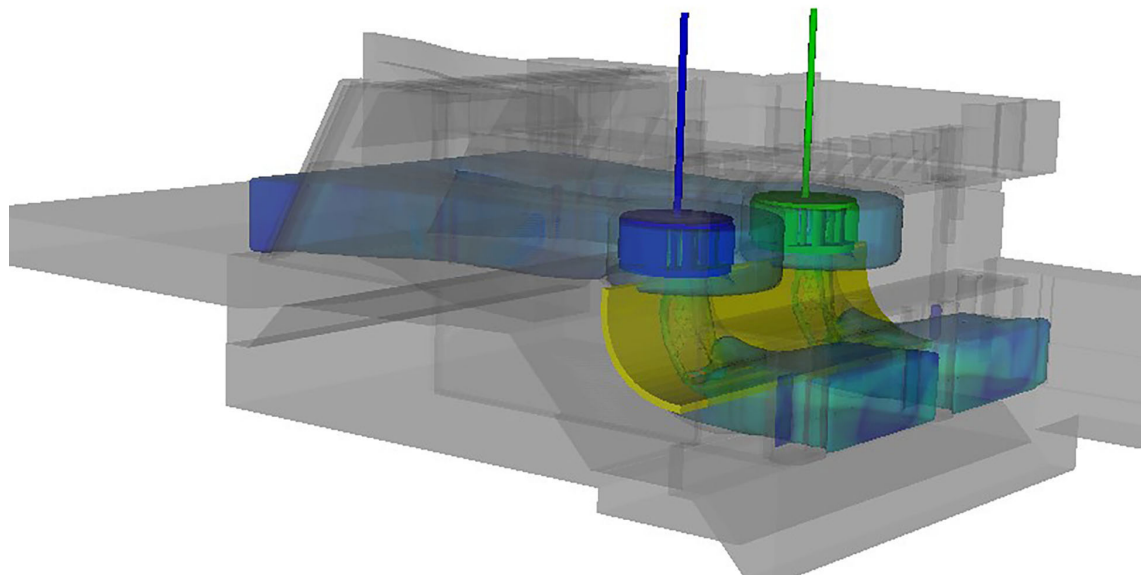
Budowa modelu hydraulicznego CFD została przeprowadzona na podstawie modelu BIM elektrowni wodnej, który uwzględniał kluczowe elementy konstrukcyjne mające wpływ na przepływ wody. Do tych elementów należą kanały doprowadzające, spirale, turbiny oraz rury ssące i wyloty. Dzięki zamodelowaniu tej złożonej geometrii możliwe jest uwzględnienie skomplikowanego charakteru przepływu oraz analiza wpływu zjawiska odskoku hydraulicznego na prędkość przepływającej wody oraz podpiętrzenia wody na dolnym stanowisku turbiny (ryc. 17).

W celu uwzględnienia turbulencji i niestacjonarnego charakteru przepływu, zastosowano model turbulentny RANS (Reynoldsa-Averaged Navier-Stokes) (Filipczyk i Radecki-Pawlik, 2021). Model ten pozwala na analizę przepływu z uwzględnieniem fluktuacji prędkości (ryc. 18) i naprężeń. Dzięki temu możliwe jest dokładniejsze zrozumienie zachowania się wody



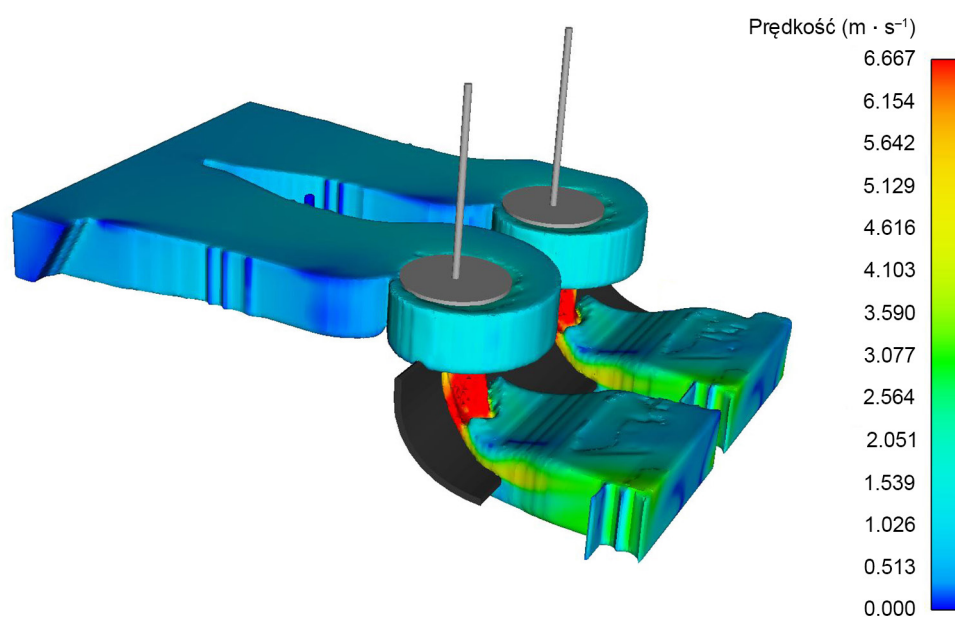
Ryc. 16. Widok na spirale wraz z rurą ssącą modernizowanej elektrowni – model wykonany w programie Allplan BIM (Filipczyk i in., 2022a)

Fig. 16. Cross-section into spirals with a suction pipe of the modernized power plant – model made in the Allplan BIM program (Filipczyk et al., 2022a)



Ryc. 17. Model 3D kanałów doprowadzających, spirali, turbin oraz rur ssących na podstawie wykonanego modelu w technologii BIM (Filipczyk i in., 2022a)

Fig. 17. View of the CFD model of supply channels, spirals, turbines and suction pipes based on the model made in BIM technology (Filipczyk et al., 2022a)



Ryc. 18. Rozkład prędkości wody w przewodach turbin w model CFD (Filipczyk i in., 2022a)

Fig. 18. An exemplary view of the velocity distribution of water flowing through the power plant turbines – CFD numerical model (Filipczyk et al., 2022a)

w różnych częściach elektrowni wodnej i identyfikacja obszarów występowania turbulencji oraz innych niekorzystnych zjawisk, takich jak zakłócenia przepływu czy powstawanie wirów.

Wykorzystanie modelu CFD w ramach technologii BIM pozwala na dokładniejszą analizę i optymalizację projektów elektrowni wodnych (Filipczyk i in., 2022a). Dzięki uwzględnieniu skomplikowanej geometrii obiektów oraz zjawisk turbulentnych inżynierowie są w stanie przewidzieć i zrozumieć różne scenariusze przepływu wody oraz ich wpływ na wydajność i efektywność elektrowni. Pozwala to na podejmowanie odpowiednich działań projektowych i technologicznych w celu poprawy efektywności, bezpieczeństwa i zrównoważonego wykorzystania zasobów wodnych w elektrowniach wodnych.

TWORZENIE WIZUALIZACJI PROJEKTÓW

Możliwość tworzenia wizualizacji jest jednym z kluczowych aspektów programów typu BIM. Wizualizacje odgrywają istotną rolę w procesie inwestycyjnym, umożliwiając przekazanie projektu szerokiemu gronu

osób, niezależnie od ich wykształcenia technicznego. Dzięki wizualizacjom przekaz staje się prostszy i bardziej czytelny, co pozwala na lepsze zrozumienie projektu.

Przykładem wizualizacji, która została sporządzona w ramach projektu zabezpieczenia przeciwpowodziowego doliny rzeki Łubinki, jest ten przedstawiony na ryc. 19.

Wizualizacja prezentuje w sposób graficzny zaprojektowane zabezpieczenia przeciwpowodziowe dla doliny rzeki Łubinki. Dzięki temu obrazowi można łatwo zobaczyć, jak zostały umiejscowione elementy, takie jak wały przeciwpowodziowe, groble czy zapory, a także określić, w jaki sposób wpływają one na teren i przepływ wody. Dodatkowo wizualizacja może uwzględniać różne czynniki, takie jak ukształtowanie terenu, istniejące budynki czy roślinność, co umożliwia lepsze zrozumienie oddziaływania projektu na otoczenie.

Wizualizacje w ramach technologii BIM umożliwiają tworzenie realistycznych i dynamicznych obrazów projektów. Dzięki odpowiednim narzędziom i oprogramowaniu można uwzględnić różne aspekty, takie jak światło, tekstury, roślinność czy animacje, które pozwa-



Ryc. 19. Wizualizacja zabezpieczenia doliny potoku Łubinki (PBW Inżynieria, 2022)

Fig. 19. Visualization of the Łubinka stream valley for the flood protection project (PBW Inżynieria, 2022)

lają jeszcze bardziej uszczegółowić proces wizualizacji. Wizualizacje mogą być przedstawiane w różnych formatach, na przykład jako statyczne obrazy, animacje, filmy czy interaktywne prezentacje, co daje możliwość dostosowania przekazu do potrzeb odbiorców.

Wizualizacje stanowią nie tylko narzędzie prezentacji projektu, ale również narzędzie analizy i oceny. Dzięki wizualizacji można lepiej zrozumieć potencjalne zagrożenia, wyzwania i korzyści wynikające z projektu. Dzięki temu decydenci, inwestorzy, społeczność lokalna oraz zespoły projektowe mogą wspólnie dyskutować, analizować i podejmować decyzje oparte na konkretnych wizualnych reprezentacjach projektu.

Wizualizacje w technologii BIM mają zatem kluczowe znaczenie dla sukcesu projektów hydrotechnicznych i melioracyjnych. Pozwalają na lepsze zrozumienie projektu przez wszystkie zainteresowane strony, umożliwiając podejmowanie świadomych

decyzji i przyczyniają się do skutecznej komunikacji projektowej. Dzięki wizualizacjom można uniknąć nieporozumień, wykryć potencjalne problemy i optymalizować projekt, co przekłada się na efekty

Dzięki wizualizacjom decydenci, inwestorzy oraz społeczność lokalna mogą łatwiej oglądać i oceniać proponowane rozwiązania. Wizualne przedstawienie projektu pozwala na lepsze zrozumienie jego korzyści i potencjalnych zagrożeń. W rezultacie wizualizacje wspierają proces podejmowania decyzji i komunikacji, przyczyniając się do sukcesu projektu hydrotechnicznego lub melioracyjnego.

PODSUMOWANIE

Zastosowanie technologii BIM w projektowaniu obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych otwiera szerokie możliwości w zakresie tworzenia analiz hy-

drologicznych, modeli hydraulicznych jedno- i dwuwymiarowych, a nawet zaawansowanych modeli CFD. Dzięki temu projektanci mogą dokładnie analizować zachowanie wody, przepływ, oddziaływanie na konstrukcje oraz inne istotne aspekty związane z obiektami hydrotechnicznymi.

Modele BIM pozwalają na precyzyjne odwzorowanie geometrii budowli hydrotechnicznych. Utworzone na ich podstawie modele hydrauliczne 2D lub 3D charakteryzują się znacznie mniejszym błędem w odwzorowaniu rzeczywistej geometrii, co jest kluczowe dla dokładnych obliczeń hydraulicznych determinujących kształt budowli wodnych. Prawidłowe odwzorowanie geometrii wpływa znacząco na dokładność obliczeń hydraulicznych. Równania hydrauliczne, takie jak równanie ciągłości strugi, Manninga czy Naviera-Stokesa, są ściśle powiązane z geometrią opływanej struktury.

W wyniku procesu projektowego, przy wykorzystaniu technologii BIM możliwe jest tworzenie przestrzennych wizualizacji opartych na zaproponowanych rozwiązaniach projektowych. Wizualizacje te umożliwiają lepsze zrozumienie projektu, zarówno przez ekspertów branżowych, jak i osoby nieposiadające wykształcenia technicznego. Przekaz wizualny jest czytelny, atrakcyjny i łatwo dostępny, co znacząco ułatwia komunikację projektową.

Jedną z istotnych korzyści wynikających z zastosowania technologii BIM jest możliwość wymiany danych między różnymi aplikacjami hydrologiczno-hydraulicznymi. Dzięki temu projektanci mogą efektywnie przekazywać informacje i wyniki analiz pomiędzy różnymi narzędziami, co przyspiesza proces tworzenia projektów hydrotechnicznych i melioracyjnych. Wymiana danych pomiędzy aplikacjami umożliwia płynną integrację różnych aspektów projektu, co pozwala na lepsze zrozumienie zależności i wpływu poszczególnych elementów na całość.

Ponadto technologia BIM umożliwia również efektywną wymianę informacji pomiędzy różnymi branżami zaangażowanymi w projekt, takimi jak: branża architektoniczna, konstrukcyjna, mechaniczna, elektryczna czy mechatroniczna. Poprawna komunikacja i współpraca pomiędzy branżami jest niezwykle istotna w złożonych projektach hydrotechnicznych i melioracyjnych, aby uniknąć kolizji i zapewnić spójność projektu na etapie wykonawstwa.

Z powyższego wynika, że wykorzystanie technologii BIM w procesie projektowania obiektów hydrotechnicznych i melioracyjnych przynosi liczne korzyści. Pozwala na dokładne analizowanie i modelowanie zachowania wody, tworzenie realistycznych wizualizacji, wymianę danych między aplikacjami oraz efektywną komunikację między branżami. Jest to współczesne podejście, które przyspiesza proces projektowania i pozwala na osiągnięcie wysokiej jakości projektów hydrotechnicznych.

Technologia BIM szybko znalazła zastosowanie w budownictwie hydrotechnicznym poza granicami Polski. Wynika to z charakterystyki tego rodzaju budownictwa, które jest masowe i wiąże się z przemieszczaniem dużych ilości materiałów, takich jak ziemia czy beton, na dużą skalę i często na znaczne odległości. Taka skala prac generuje duże zapotrzebowanie na sprzęt i materiały. Technologia BIM umożliwia optymalizację wykorzystania materiałów oraz sprzętu. Dzięki optymalizacji projektu inwestor może zaoszczędzić, a wykonawca zoptymalizować proces prowadzenia budowy.

BIBLIOGRAFIA

- AutoCAD (2006). Podręcznik użytkownika Autocad Civil 3D 2006. Sankt Augustin: Wyd. Autodesk.
- Bharath, A., Shivapur, A.V., Hiremath, C.G., Maddamsetty, R. (2021). Dam break analysis using HEC-RAS and HEC-GeoRAS: A case study of Hidkal dam, Karnataka state, India. *Environmental Challenges*, 5, 100401.
- Bekhira, A., Habi, M., Morsli, B. (2019). Management of hazard of flooding in arid region urban agglomeration using HEC-RAS and GIS software: The case of the Bechar's city. *Journal of Water and Land Development*, 42(VII–IX), 21–32.
- Dysarz, T. (2017). Basics of river flow modelling. In: A. Radecki-Pawlik, S. Pagliara, J. Hradecki, E. Hendrickson E. (Eds.), *Open Channel Hydraulics, River Hydraulic Structures and Fluvial Geomorphology For Engineers, Geomorphologists and Physical Geographers*. Boca Raton: CRC Press.
- Dysarz, T. (2018). Application of Python scripting techniques for control and automation of HEC-RAS simulations. *Water*, 10(10), 1382.
- Ezhov, Y.E., Garibin, P.A., Ol'khovik, E.O. (2020). Integration of BIM technology in polytechnic education for hydraulic engineers. In: D.B. Solov'ev (Ed.), *Proceedings*

- of the International Scientific Conference “Far East Con” (ISCFEC 2020), Series: Advances in Economics, Business and Management Research, 128, 1792–1796.
- Filipczyk, J. (2021). Obliczenia hydrauliczne jednowymiarowe w programie HEC RAS. W: E. Gorczyca, A. Radecki-Pawlik, K. Krzemień (red.), *Procesy fluwialne a utrzymanie rzek i potoków górskich*. Kraków: Wydawnictwo UJ, 193–211.
- Filipczyk, J., Czajkowski, J., Hajda, J., Kędzia, D., Dorada, P., Radecki-Pawlik, A., Brusik, M., Rówińska, J., Kosiek, K. (2022a). Innowacyjność wykorzystania technologii BIM w hydrotechnice. *Materiały Budowlane*, 10, 43–48.
- Filipczyk, J., Mokwa, M., Kędzia, D., Krasodonski, J., Dorada, P., Radecki-Pawlik, A. (2022b). Badania numeryczne języka rozdzielczego. *Gospodarka Wodna*, 6, 5–11.
- Filipczyk, J., Radecki-Pawlik, A. (2021). Możliwość wykorzystania modelowania numerycznego z udziałem modeli CFD w utrzymaniu koryt rzecznych oraz projektowaniu budowli hydrotechnicznych. W: E. Gorczyca, A. Radecki-Pawlik, K. Krzemień (red.), *Procesy fluwialne a utrzymanie rzek i potoków górskich*. Kraków: Wydawnictwo UJ, 257–278.
- Hydrobim (2021). Rozbudowa wału opaskowego zabezpieczającego przed wodami powodziowymi Hutę Szklą i osiedle mieszkaniowe w miejscowości Sandomierz, wraz z rozbudową wału przeciwpowodziowego rzeki Wisły od ul. Lwowskiej do połączenia z wałem Koćmierzów. Kraków: Hydrobim.
- Hydrobim (2023a). 3D2/2 Rozbudowa lewego i prawego wału rzeki Biała w gm. Tarnów w m. Tarnów. Kraków: Hydrobim.
- Hydrobim (2023b). Digital Twin in the Port of Gdynia. Kraków: Hydrobim.
- Jędrzych, K., Latała, M., Poślada, J., Zieliński, T (2020). *OpenRoads Designer. Projektowanie dróg w BIM*. Warszawa: Wyd. Mutlicosnult.
- Karamma, R., Badaruddin, S, Mustamin, R., Saing, Z. (2022). Flood modelling due to dam failure using HEC-RAS 2D with GIS overlay: Case study of Karalloe Dam in South Sulawesi Province Indonesia. *Civil Engineering and Architecture*, 10(7), 2833–2846.
- Kasznia, D., Magiera, J., Wierzowiecki, P. (2020). *BIM w praktyce*. Warszawa: PWN.
- Książek, L., Wyrębek, M., Strutyński, M., Strużyński, A., Florek, J., Bartnik, W. (2010). Zastosowanie modeli jednowymiarowych (HEC-RAS, MIKE 11) do wyznaczania stref zagrożenia powodziowego na rzece Lubczy w zlewni Wisłoka. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 8(1), 29–37.
- PBW Inżynieria (2018). Wstępny projekt regulacji koryta rzeki Odry poniżej stopnia wodnego Januszkowice. Wrocław: PBW Inżynieria Sp. z o.o.
- PBW Inżynieria (2022). Zabezpieczenie przeciwpowodziowe doliny potoku Łubinka od mostu w ciągu ulicy Nowochełuckiej do ujścia potoku Łęgówka w Nowym Sączu – Etap I. Opracowanie koncepcji wraz z przygotowaniem dokumentacji geodezyjnej i geologicznej. Wrocław: PBW Inżynieria Sp. z o.o.
- PKP PLK S.A. (2005). Warunki techniczne dla kolejowych obiektów inżynierskich Id – 2 (D2). Warszawa: PKP PLK S.A.
- Plesiński, K., Radecki-Pawlik, A., Michalik, P. (2017). Prognozowanie zmian korytotwórczych w uregulowanym korycie rzeki Czarny Dunajec z wykorzystaniem modelu jednowymiarowego. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26(3), 346–360.
- Plesiński, K., Radecki-Pawlik, A, Rivera-Trejo, F. (2022). Using 1D and 2D computer models when predicting hydrodynamic and morphological parameters of a boulder block ramp: Poniczanka stream, Carpathians. *Journal of Water and Land Development, Special Issue*, 34–48.
- Rokochinskiy, A. (2023). The improvement of the design technology of reclamation projects for the optimization of the drained lands water regulation based on BIM technologies. In: A. Rokochinskiy, L. Kuzmich, P. Volk (Eds.), *Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone*. IGI Global, 147–158.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. Warszawa: Ministerstwo Środowiska, 5320–5340 (Dz.U. 2007 nr 86 poz. 579).
- Rymsza, J., Kodura, A., Kubrak, J., Kubrak, M., Kuźniar, P., Utrysko, B. (2021). Wzorce i standardy rekomendowane przez ministra właściwego ds. transportu WR-M-12. Wytyczne obliczania świateł drogowych mostów i przepustów hydraulicznych. Wersja 01, Obowiązuje od 02.03.2021. Warszawa: Ministerstwo Infrastruktury, Departament Dróg Publicznych.
- Sweco (2013). Modernizacja zbiornika wodnego Nysa w zakresie bezpieczeństwa przeciwpowodziowego – etap I. Przedsięwzięcie II: Modernizacja budowli i urządzeń zbiornikowych wraz z budową innych obiektów niezbędnych dla zbiornika. Kraków: Sweco Hydroprojekt.
- Sweco (2015a). Zabezpieczenie powodziowe w dolinie rzeki Uszwicy – Zbiornik Gosprzydowa – opracowanie dokumentacji projektowo-kosztorysowej. Kraków: Sweco Hydroprojekt.

- Sweco (2015b). Zabezpieczenie powodziowe w dolinie rzeki Uszwicy – przebudowa obwałowań rzeki Uszwicy i potoku Borowa Struga gmina Szczurowa, Borzęcin. Kraków: Sweco Hydroprojekt.
- Systems, B., Dyhouse, G., Hatchett, J., Benn, J. (2007). *Floodplain modeling using HEC-RAS*. Exton: Bentley Institute Press.
- Wałęga, A., Młyński, D. (2021). Odpływ bezpośredni jako czynnik wpływający na procesy fluwialne w rzekach. W: E. Gorczyca, A. Radecki-Pawlik, K. Krzemień (red.), *Procesy fluwialne a utrzymanie rzek i potoków górskich*. Kraków: Wydawnictwo UJ, 57–74.
- Zhang, S., Hou, D., Wang, C., Pan, F., Yan, L. (2020). Integrating and managing BIM in 3D web-based GIS for hydraulic and hydropower engineering projects. *Automation in Construction*, 112, 103114.
- Zhou, Y., Bao, T., Shu, X., Li, Y., Li, Y. (2023). BIM and ontology-based knowledge management for dam safety monitoring. *Automation in Construction*, 145, 104649.
- Zieliński, T., Jagodziński, K. (2009). *InRoads XM Edition 8.9*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

UTILIZING BIM TECHNOLOGY IN THE DESIGN PROCESS OF HYDROTECHNICAL AND LAND RECLAMATION FACILITIES

ABSTRACT

Aim of the study

The paper presents the results and experiences related to the use of BIM technology in hydraulic and land reclamation projects. The authors rely on their extensive experience gained from various projects in the field. The article aims to demonstrate modern BIM technology's potential and possibilities in designing hydraulic and land reclamation structures.

Material and methods

The research focuses on areas such as hydrotechnics, land reclamation, embankments, ditches, as well as the use of specific tools and software such as HEC-RAS, Autocad Civil 3D, MacroStacion Inroads, OpenRoads Designer, and Allplan. Combined with CFD (Computational Fluid Dynamics) modelling, BIM technology is crucial in analyzing and designing engineering structures.

Results and conclusions

The article discusses the benefits of using BIM technology, such as improved collaboration and data exchange between different disciplines involved in the project, more efficient hydraulic analysis, precise and consistent models, and the ability to visualize projects for better understanding and communication with stakeholders.

Keywords: hydrotechnics, land reclamation, HEC, BIM technology, CFD numerical modelling