

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki



Zastosowanie modelowania fizycznego i numerycznego do określenia bezpieczeństwa odcinka drogi wodnej E41 w Kownie

Autorzy: Tomasz Dysarz⁽¹⁾, Tomasz Kałuża⁽¹⁾, Karolis Mickevičius⁽²⁾, Jonas Veigneris⁽²⁾,
Paweł Zawadzki⁽¹⁾, Sebastian Kujawiak⁽¹⁾, Stanisław Zaborowski⁽¹⁾,
Joanna Wicher-Dysarz⁽¹⁾, Natalia Walczak⁽¹⁾, Jakub Nieć⁽¹⁾,
Raimundas Baublys⁽³⁾



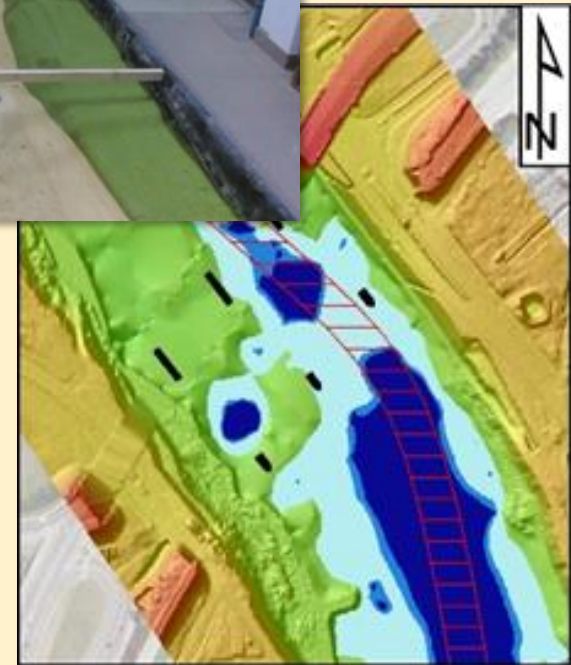
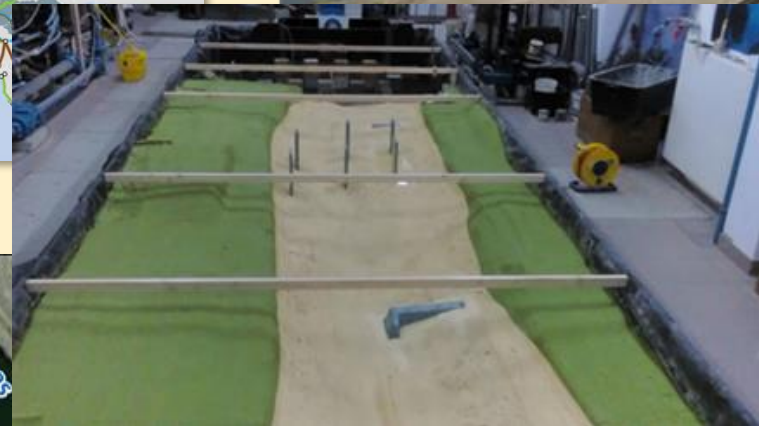
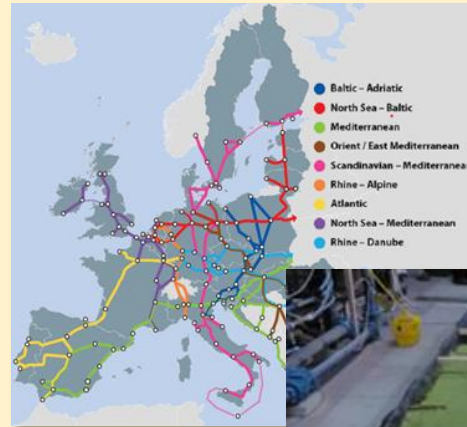
Institucje: (1) Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska
(2) UAB „Inžinerinis projektavimas“, Wilno, Litwa
(3) Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Kowno, Litwa



Poznań, 2023

Plan prezentacji

- **Wprowadzenie**
- **Obszar badań**
- **Dostępne dane**
- **Etapy badań**
 - Modelowanie przepływu w rzece:
ArcGIS + HEC-RAS 1D
 - Modelowanie przepływu pod mostem:
ArcGIS + *laboratorium* + HEC-RAS 2D
 - Testowanie modeli 2D:
HEC-RAS 2D vs. Iber 2D
- **Podsumowanie**



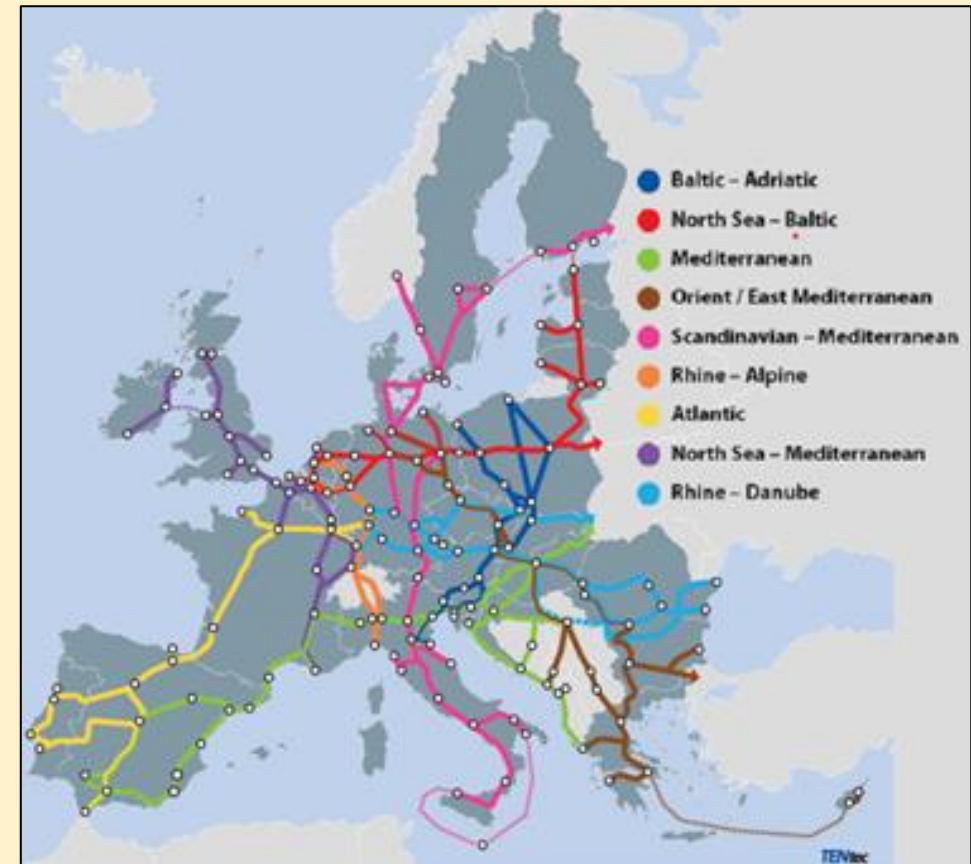
Wprowadzenie

- **EU TEN-T program 2012**
(Trans-European Transport Network)
- **Droga wodna E-41 na Litwie**
Kowno - Kłajpeda
- **UAB „Inžinerinis projektavimas“**
Karolis Mickevičius
- **Etap no. 1: Kowno – Vilkija**



- **EU TEN-T program 2012**
(Trans-European Transport Network)

- **Droga wodna E-41 na Litwie**
Kowno - Kłajpeda
- **UAB „Inžinerinis projektavimas“**
Karolis Mickevičius
- **Etap no. 1: Kowno – Vilkija**



- **EU TEN-T program 2012**
(*Trans-European Transport Network*)

- **Droga wodna E-41 na Litwie**
Kowno - Kłajpeda

- **UAB „Inžinerinis projektavimas“**
Karolis Mickevičius

- **Etap no. 1: Kowno – Vilkija**

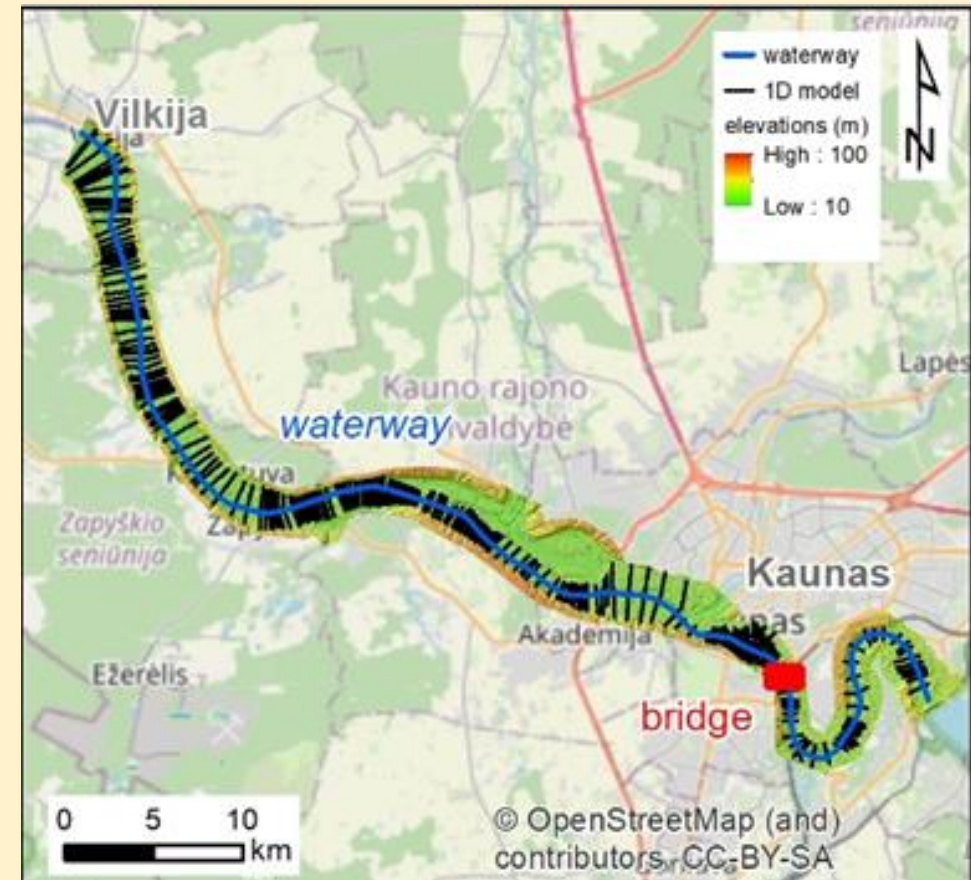


Wprowadzenie

- **EU TEN-T program 2012**
(Trans-European Transport Network)
- **Droga wodna E-41 na Litwie**
Kowno - Kłajpeda
- **UAB „Inžinerinis projektavimas“**
Karolis Mickevičius
- **Etap no. 1: Kowno – Vilkija**

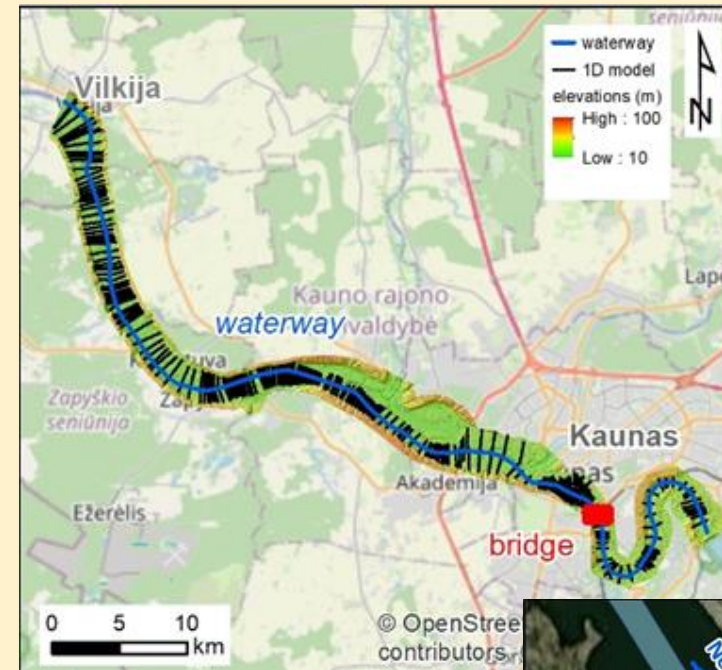


- **EU TEN-T program 2012**
(Trans-European Transport Network)
 - **Droga wodna E-41 na Litwie**
Kowno - Kłajpeda
 - **UAB „Inžinerinis projektavimas“**
Karolis Mickevičius
- **Etap no. 1: Kowno – Vilkija**



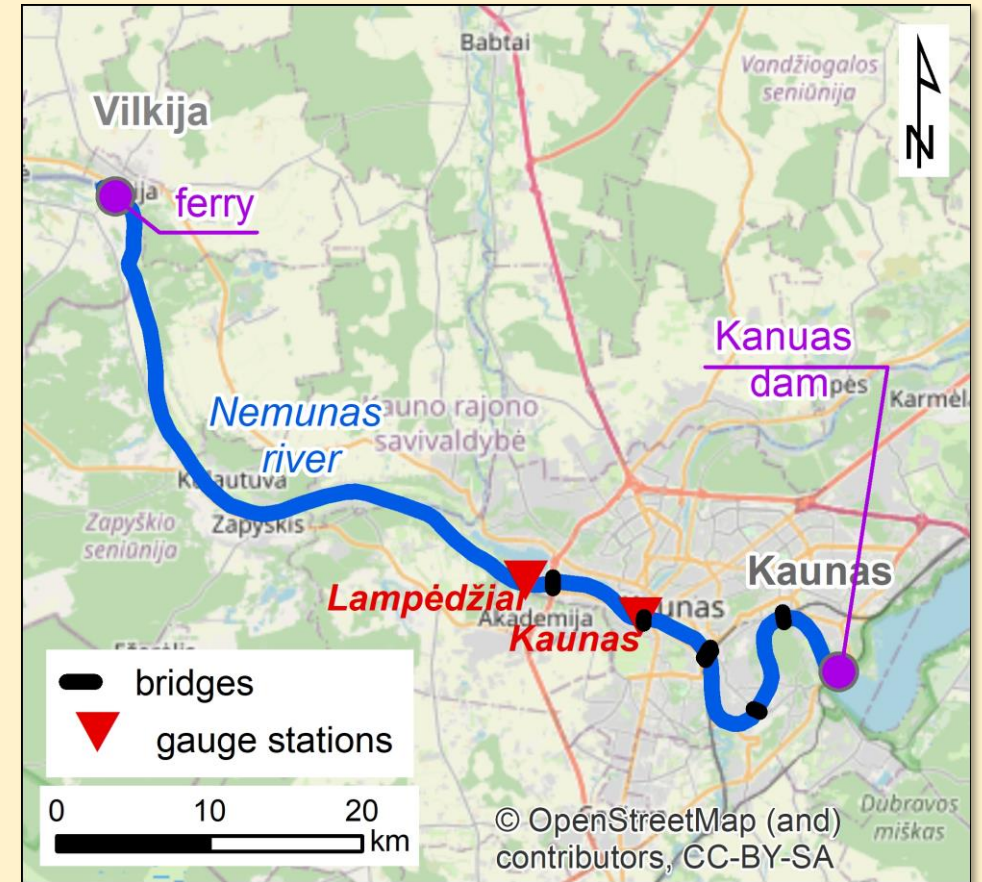
Obiekt badań

- **Odcinek Kaunas - Vilkija**
 - długość: 45 km
 - obiekty: zapora w Kownie
 - węzeł wodny: Kowno
 - 6 mostów
 - 2 wodowskazy
- **Most M. K. Čiurlionisa**
 - ukończony 2002
 - kolejowo-drogowy
 - wymiary: 475 m x 29.4 m
 - po 3 filary + przyczółki



Obiekt badań

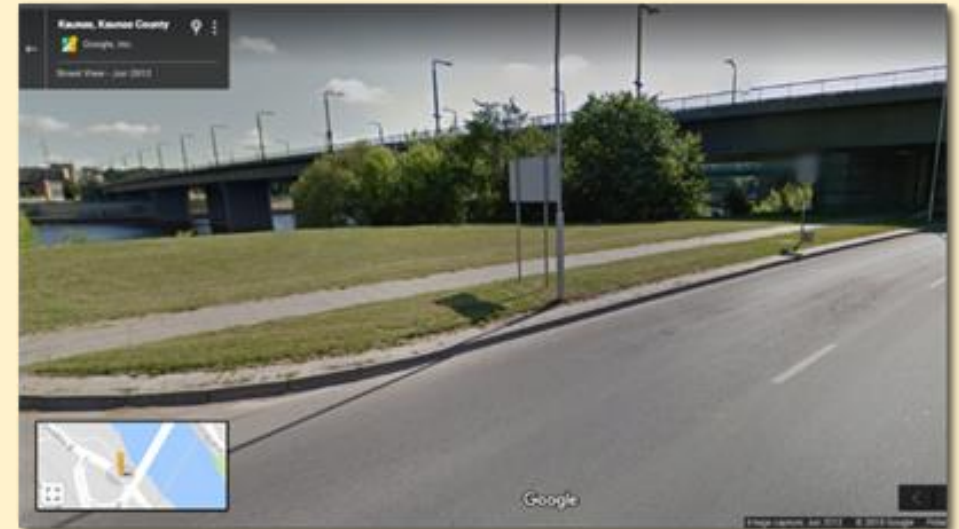
- **Odcinek Kaunas - Vilkija**
 - długość: 45 km
 - obiekty: zapora w Kownie
 - węzeł wodny: Kowno
 - 6 mostów
 - 2 wodowskazy
- **Most M. K. Čiurlionisa**
 - ukończony 2002
 - kolejowo-drogowy
 - wymiary: 475 m x 29.4 m
 - po 3 filary + przyczółki



Obiekt badań

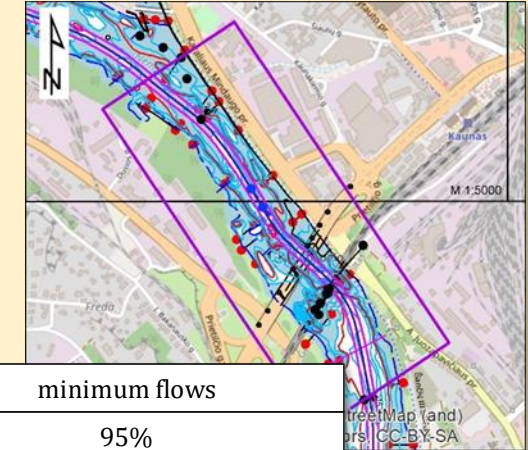
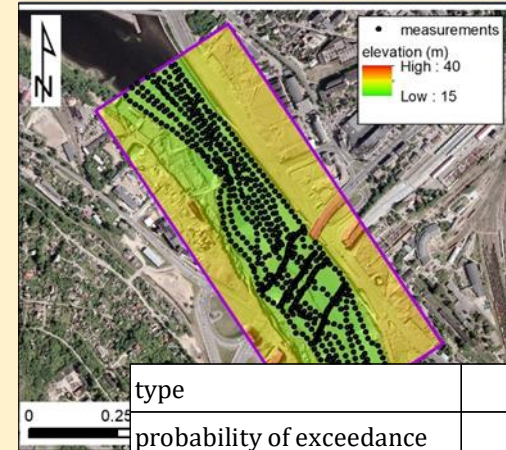
- **Odcinek Kaunas - Vilkija**
 - długość: 45 km
 - obiekty: zapora w Kownie
 - węzeł wodny: Kowno
 - 6 mostów
 - 2 wodowskazy

- **Most M. K. Čiurlionisa**
 - ukończony 2002
 - kolejowo-drogowy
 - wymiary: 475 m x 29.4 m
 - po 3 filary + przyczółki

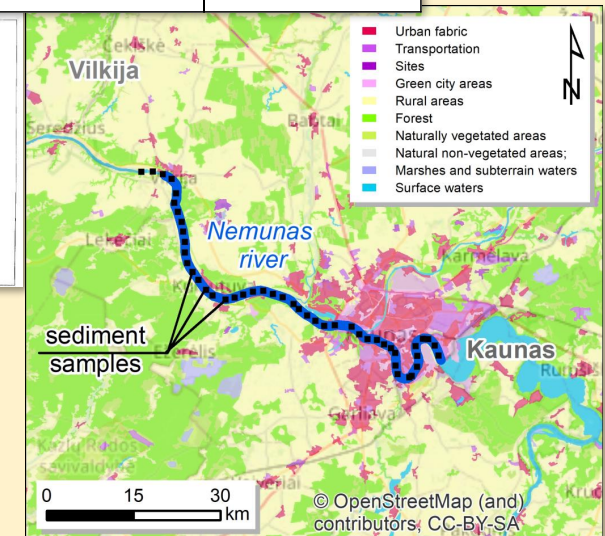
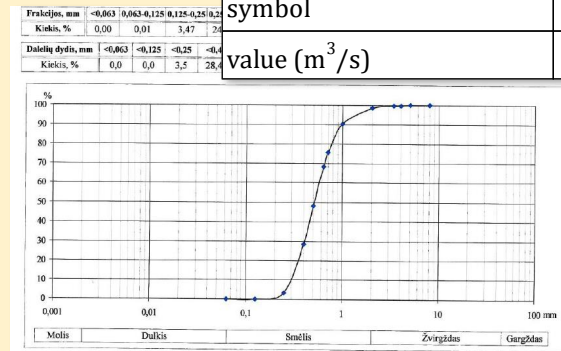


Dostępne dane

- Numeryczny Model Terenu (NMT)
- Pomiar batymetrii
- Projekt mostu w formacie CAD-a
- Dane hydrologiczne
- Informacje o pokryciu dna
- Pokrycie terenu – CLC 2018

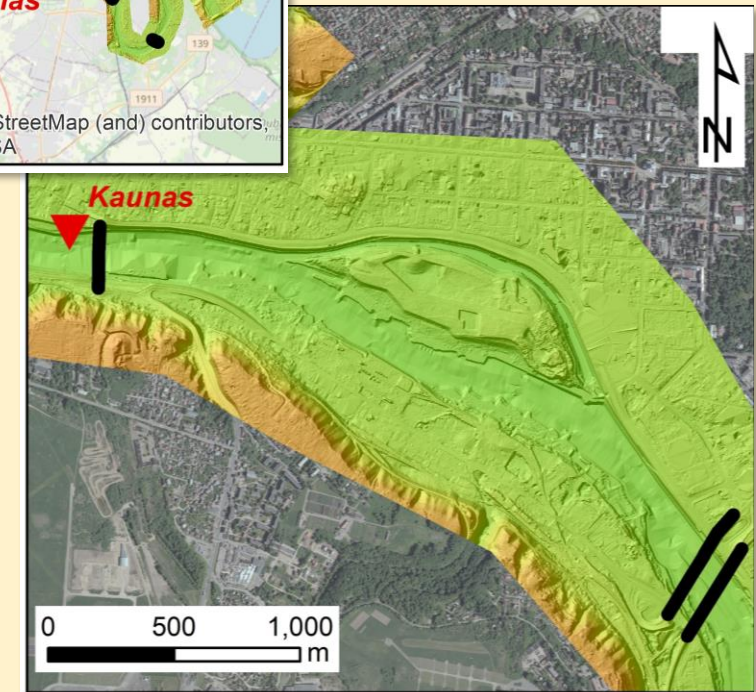
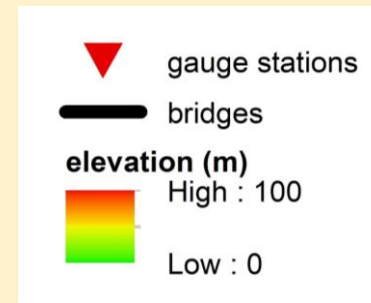
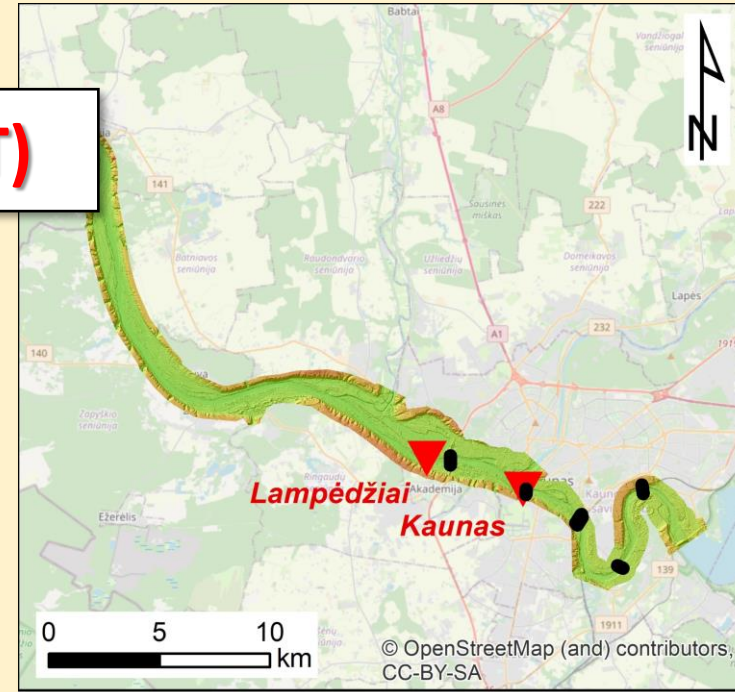


type	minimum flows	
probability of exceedance	95%	
specific conditions	without ice	with ice
symbol	$Q_{95\%}$	$Q_{95\%,ice}$
value (m^3/s)	71.6	91.5



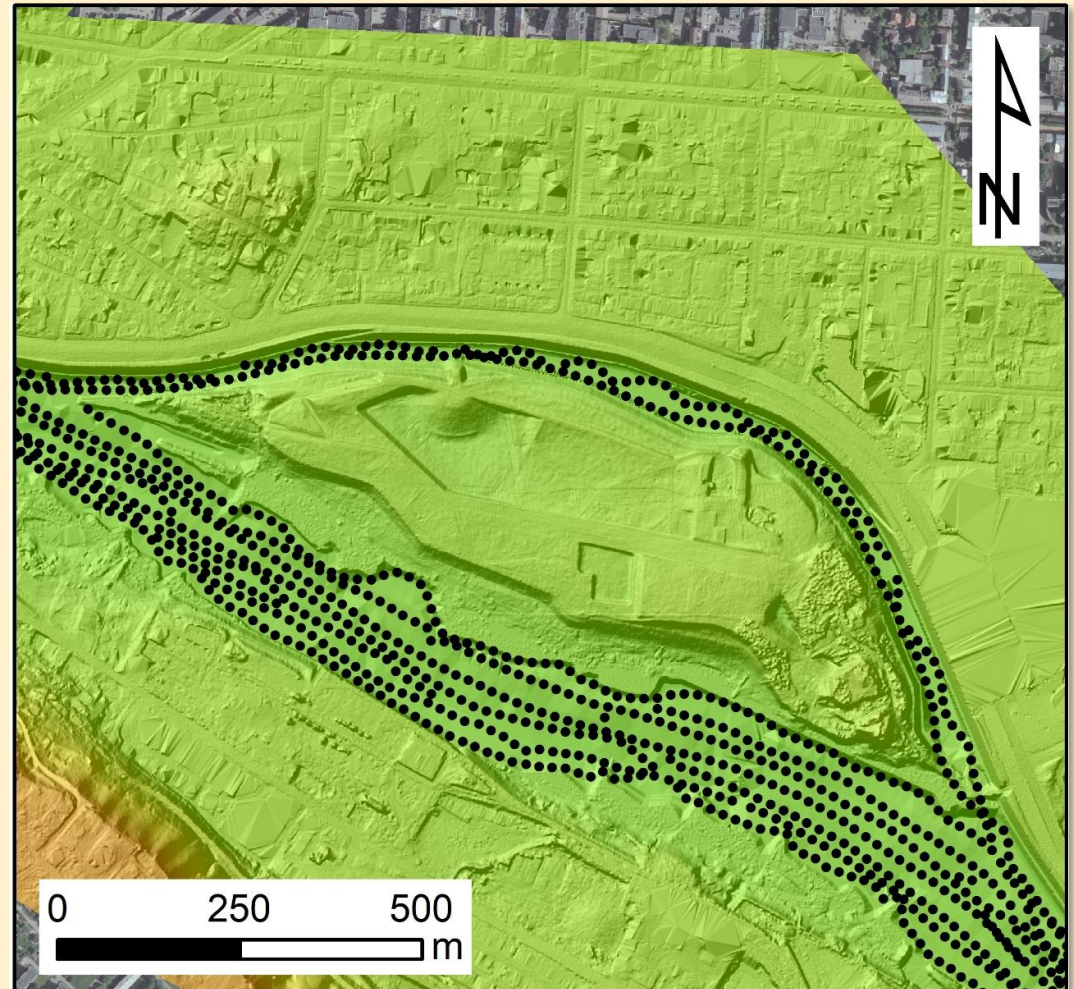
Dostępne dane

- **Numeryczny Model Terenu (NMT)**
- **Pomiary batymetrii**
- **Projekt mostu w formacie CAD-a**
- **Dane hydrologiczne**
- **Informacje o pokryciu dna**
- **Pokrycie terenu – CLC 2018**



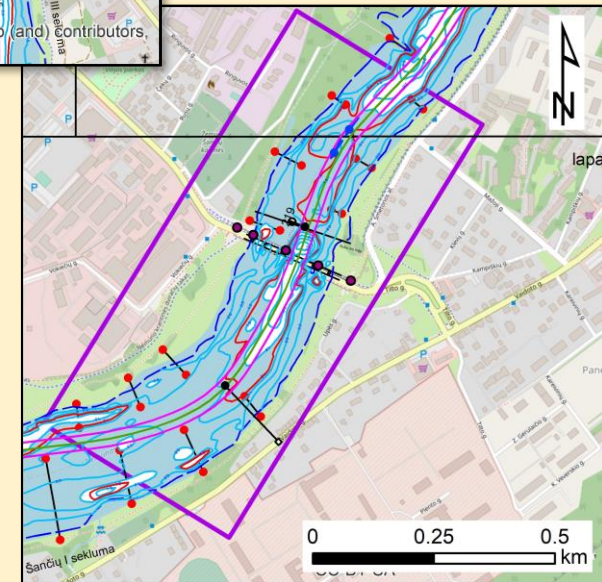
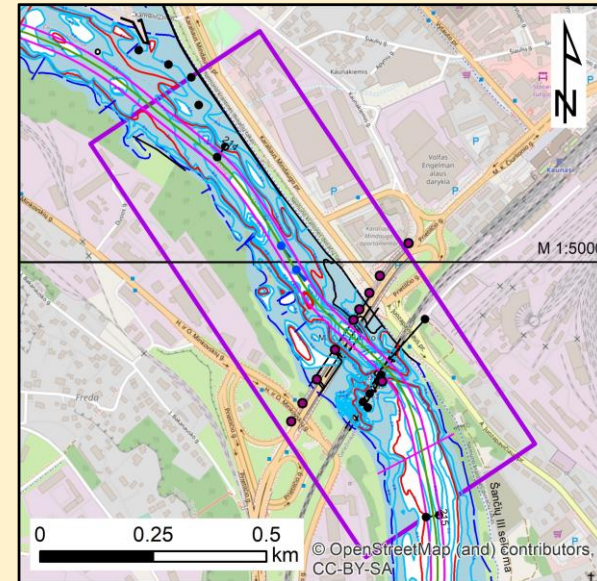
Dostępne dane

- Numeryczny Model Terenu (NMT)
- **Pomiary batymetrii**
- Projekt mostu w formacie CAD-a
- Dane hydrologiczne
- Informacje o pokryciu dna
- Pokrycie terenu – CLC 2018



Dostępne dane

- Numeryczny Model Terenu (NMT)
- Pomiarы batymetrii
- **Projekt mostu w formacie CAD-a**
- Dane hydrologiczne
- Informacje o pokryciu dna
- Pokrycie terenu – CLC 2018

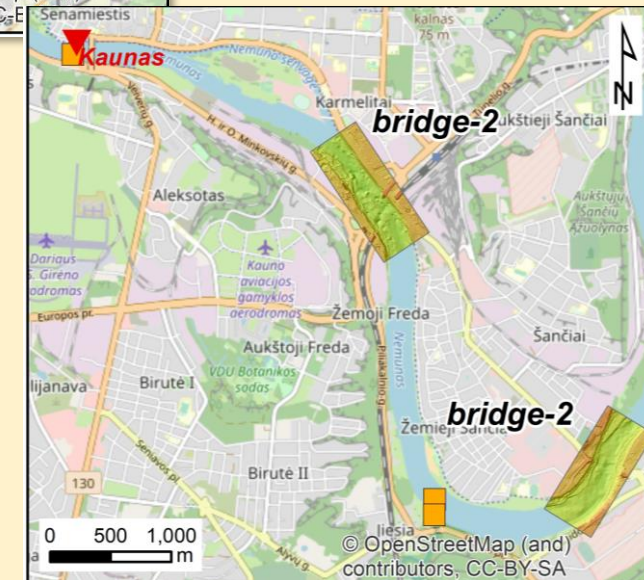
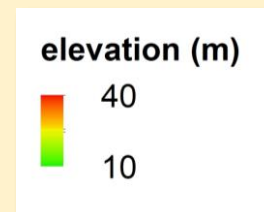
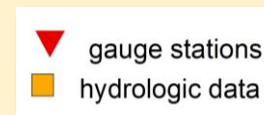
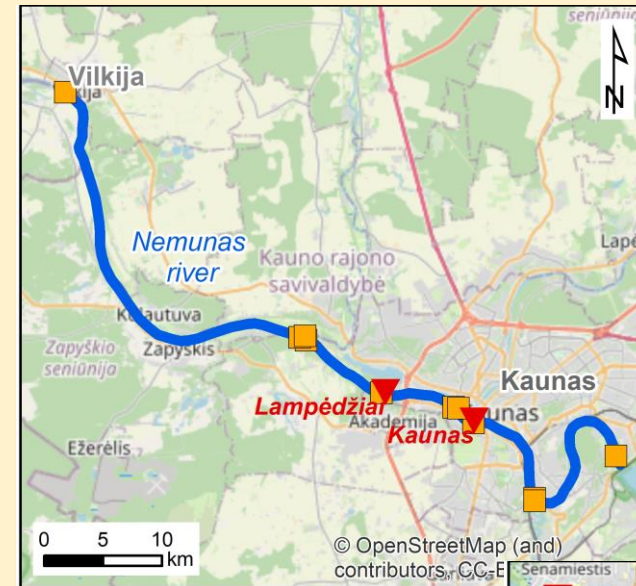


Dostępne dane

- Numeryczny Model Terenu (NMT)
- Pomiar batymetrii
- Projekt mostu w formacie CAD-a

- **Dane hydrologiczne**

- Informacje o pokryciu dna
- Pokrycie terenu – CLC 2018



Dostępne dane

- **Numeryczny Model Terenu (NMT)**
- **Pomiary batymetrii**
- **Projekt mostu w formacie CAD-a**

- **Dane hydrologiczne**

- **Informacje o pokryciu dna**
- **Pokrycie terenu – CLC 2018**

maximum flows

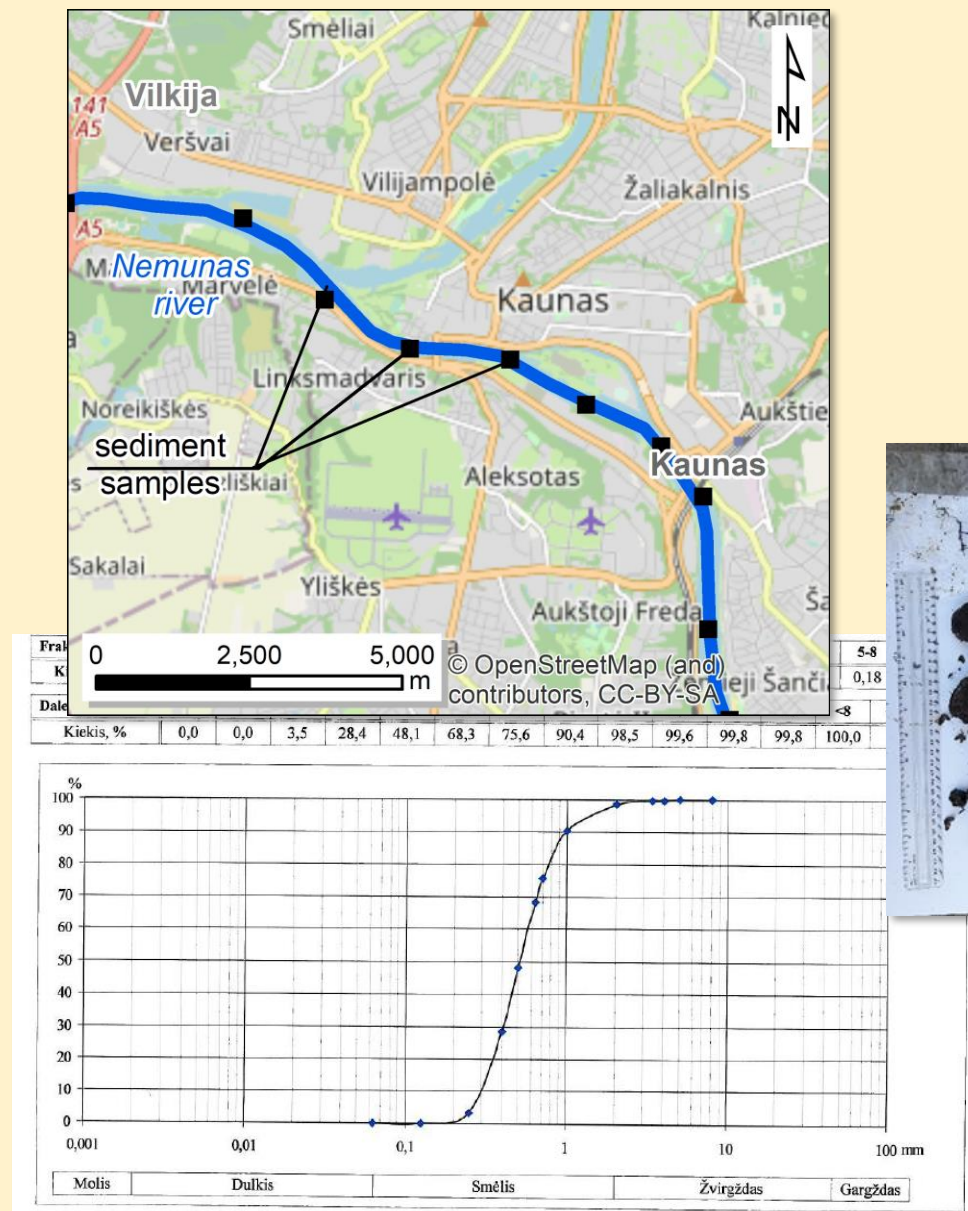
location	Q5%	Q1%	Q0.1%
Kaunas Dam	2052	2971	4126
below Jesia	2143	3079	4269
Kauno VMS	2143	3079	4269
below Neris	2924	5283	7181
Lampedzai	2930	5290	7190
Raudondvaris	2930	5291	7191
below Nevezis	3454	6193	8376
Vilkija	3194	5797	7765

minimum flows

location	Q95%	Q95%,ice
Kaunas Dam	71.4	86.7
below Jesia	71.6	91.5
Kauno VMS	71.6	91.5
below Neris	133	185
Lampedzai	133	185
Raudondvaris	133	185
below Nevezis	134	195
Vilkija	145	202

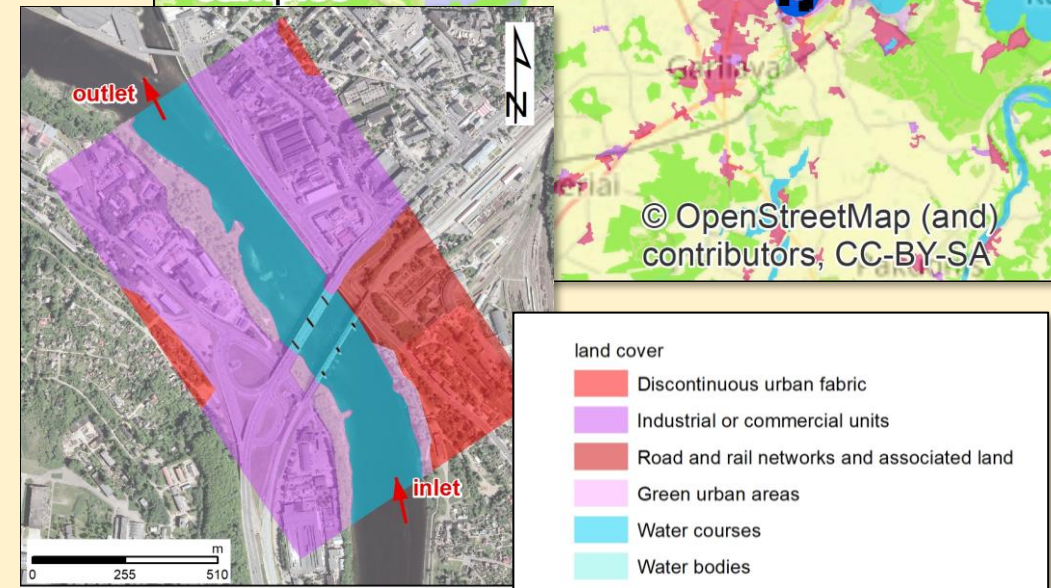
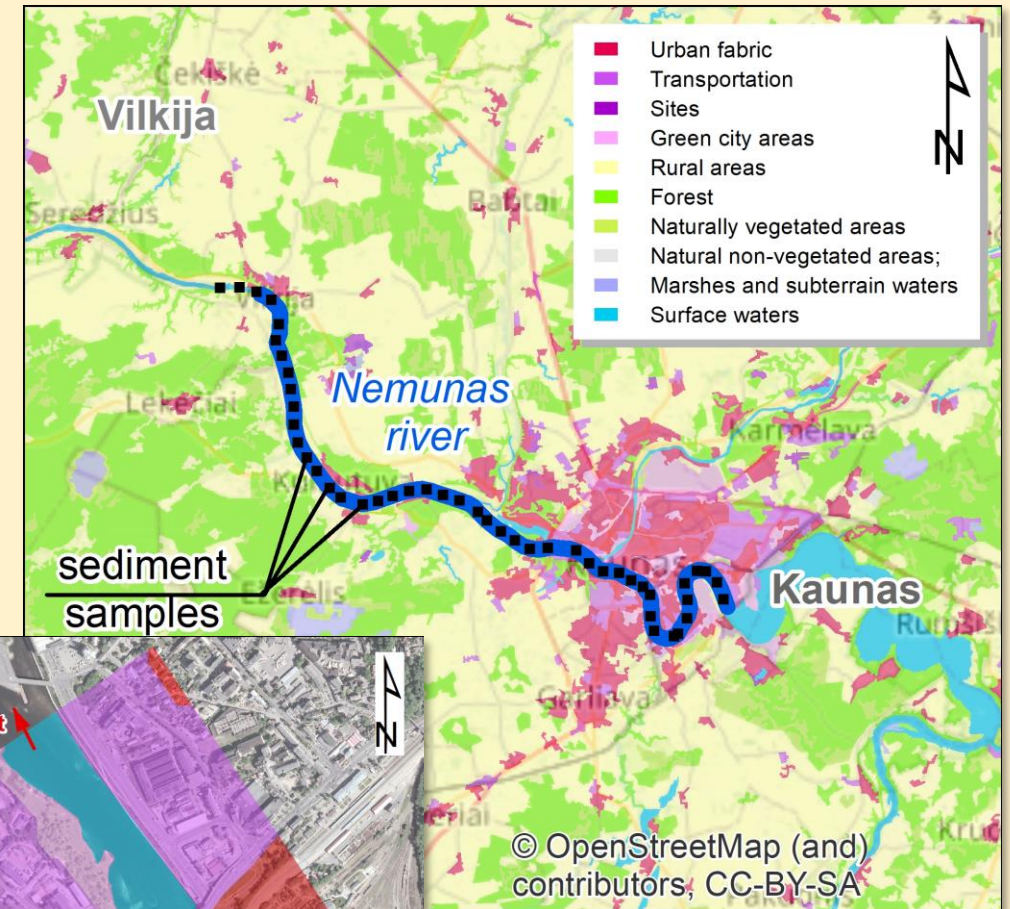
Dostępne dane

- Numeryczny Model Terenu (NMT)
- Pomiar batymetrii
- Projekt mostu w formacie CAD-a
- Dane hydrologiczne
- **Informacje o pokryciu dna**
- Pokrycie terenu – CLC 2018



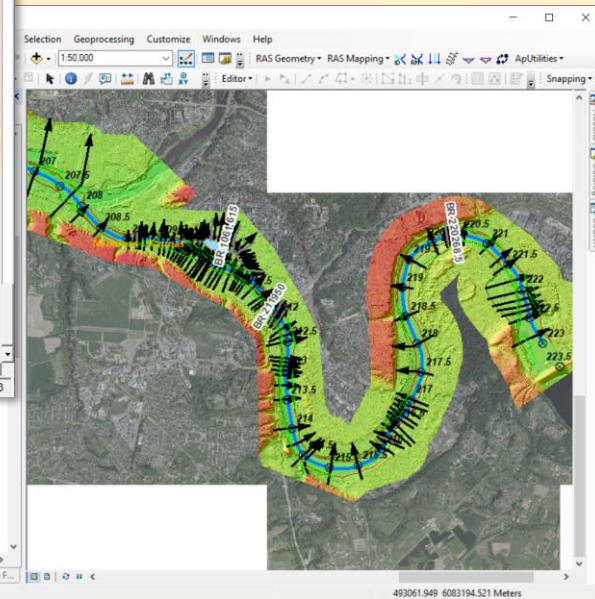
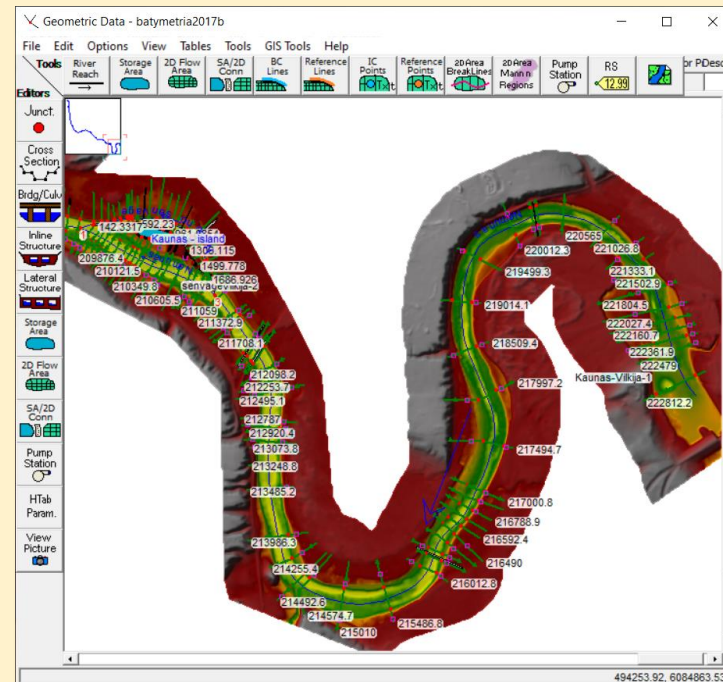
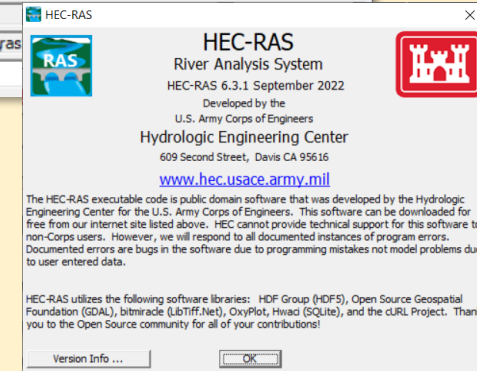
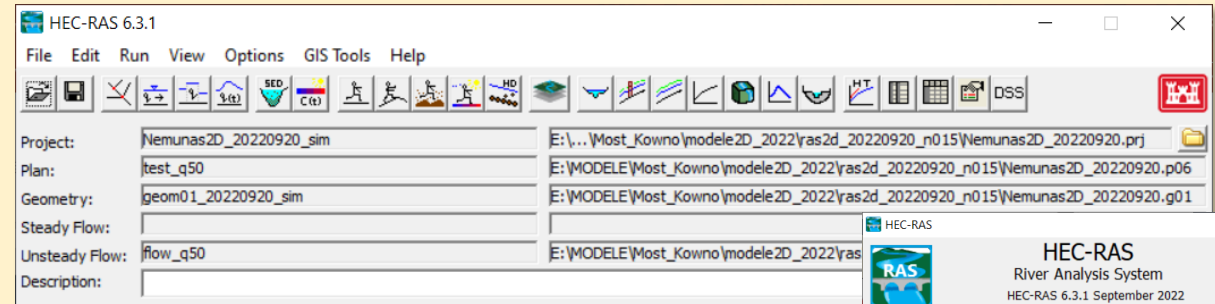
Dostępne dane

- Numeryczny Model Terenu (NMT)
- Pomiar batymetrii
- Projekt mostu w formacie CAD-a
- Dane hydrologiczne
- Informacje o pokryciu dna
- **Pokrycie terenu – CLC 2018**



Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Hydrodynamika: HEC-RAS 1D**
- **Przygotowanie geometrii: ArcGIS + HEC-GeoRAS**
- **Obszar modelowany:**
 - 4 odcinki = ok. 50 km
 - 274 przekrojów poprzecznych
 - 1 obszar zalewowy
 - 6 mostów
- **Dane hydrologiczne:**
doptyw / odptyw
dane do kalibracji modelu



Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- Hydrodynamika: HEC-RAS 1D**

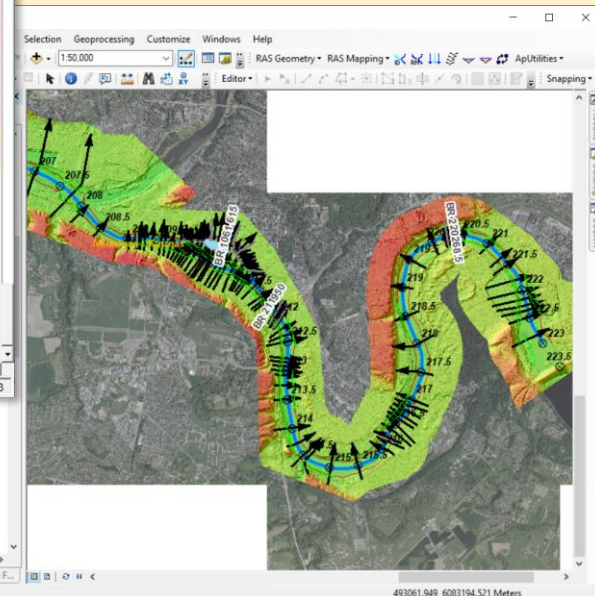
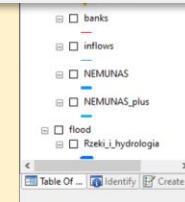
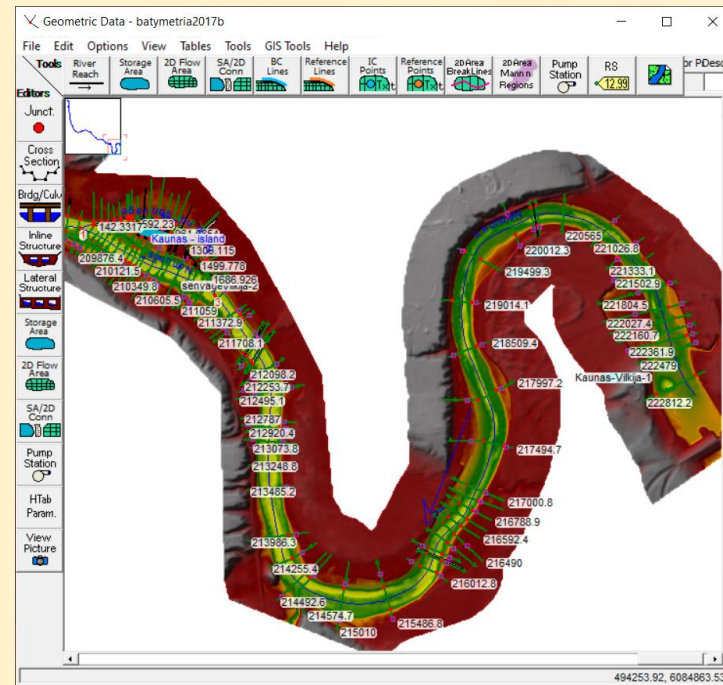
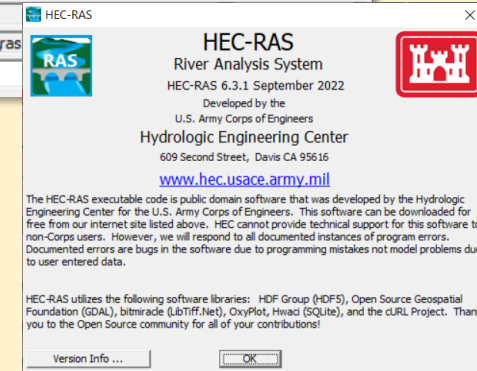
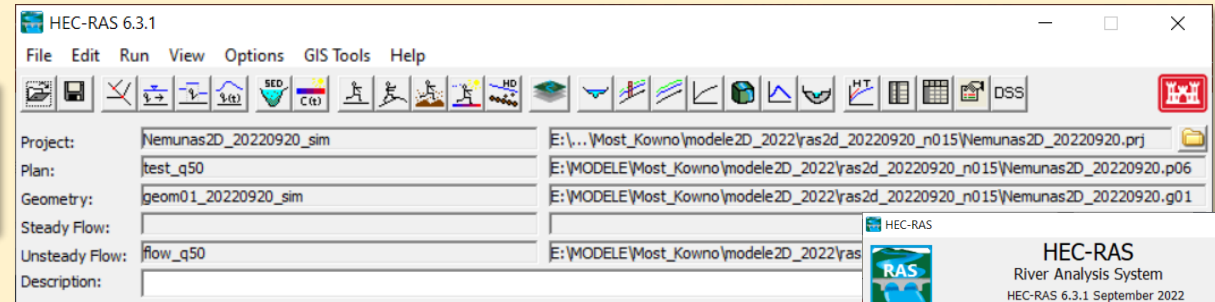
- Przygotowanie geometrii:**
ArcGIS + HEC-GeoRAS

- Obszar modelowany:**

- 4 odcinki = ok. 50 km
- 274 przekrojów poprzecznych
- 1 obszar zalewowy
- 6 mostów

- Dane hydrologiczne:**

*doptyw / odptyw
dane do kalibracji modelu*



Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Hydrodynamika: HEC-RAS 1D**

- **Przygotowanie geometrii:
ArcGIS + HEC-GeoRAS**

- **Obszar modelowany:**

- 4 odcinki = ok. 50 km
- 274 przekrojów poprzecznych
- 1 obszar zalewowy
- 6 mostów

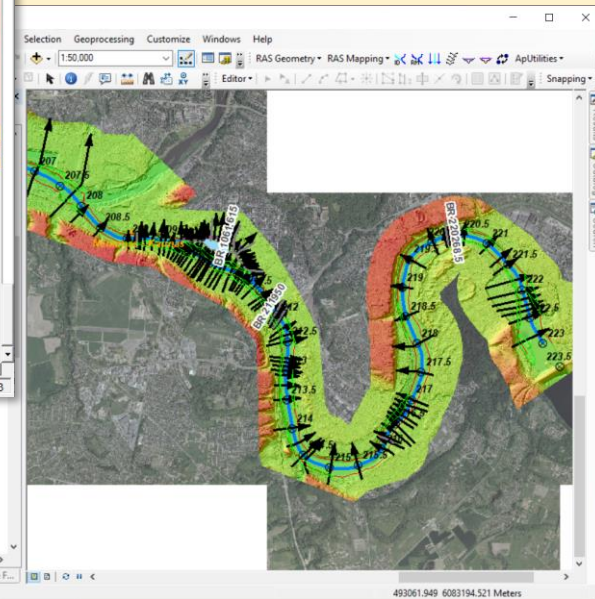
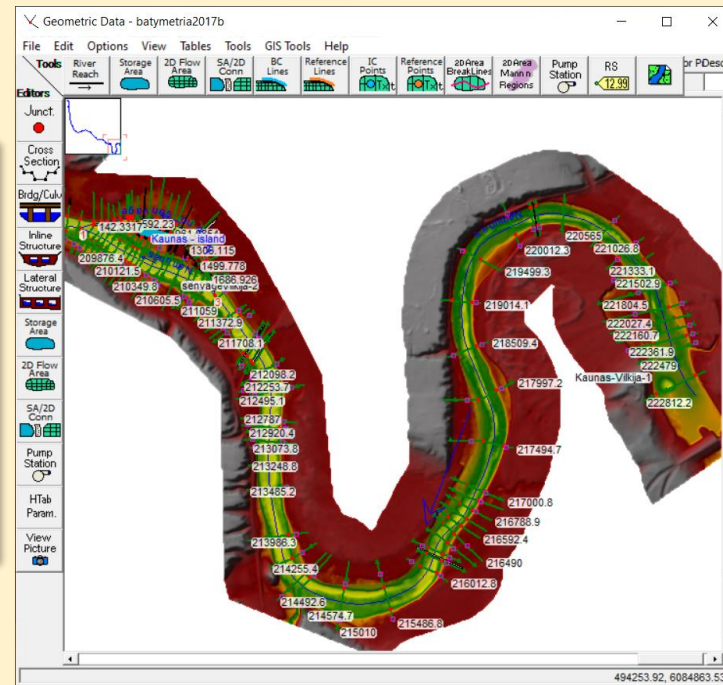
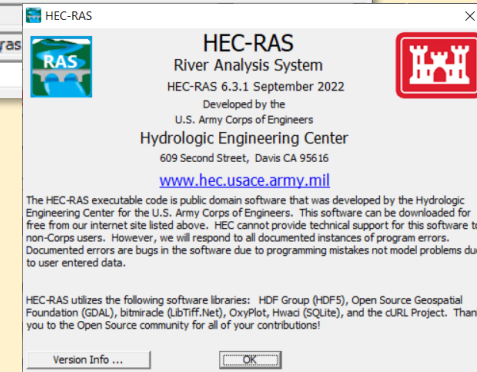
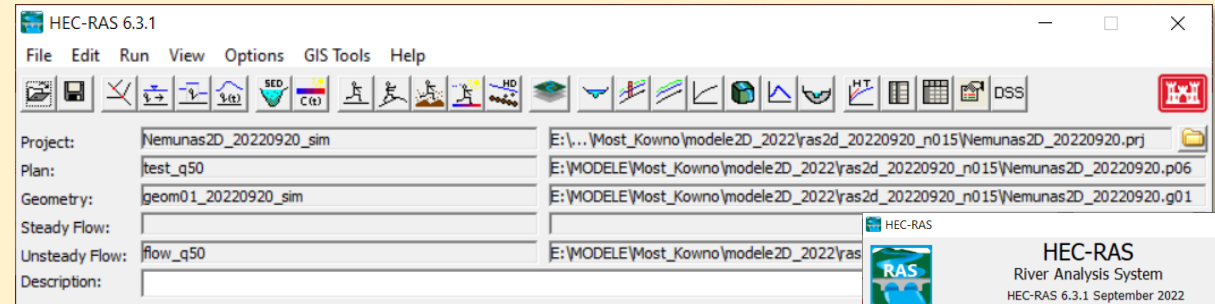
- **Dane hydrologiczne:**

*doptyw / odptyw
dane do kalibracji modelu*

The image displays the HEC-RAS 6.3.1 software interface. The main window shows project settings for 'Nemunas2D_20220920_sim', including the plan name 'test_q50' and unsteady flow type 'flow_q50'. A secondary window provides information about HEC-RAS, identifying it as the River Analysis System developed by the U.S. Army Corps of Engineers. Below these, two ArcGIS maps are shown. The first map, titled 'Geometric Data - batymetria2017b', displays a detailed 3D river channel model with numerous cross-section points labeled with elevation values (e.g., 21012.15, 210849.6, 211059.4). The second map shows a topographic view of the same river reach, with a legend indicating features like banks, inflows, and the NEMUNAS river channel.

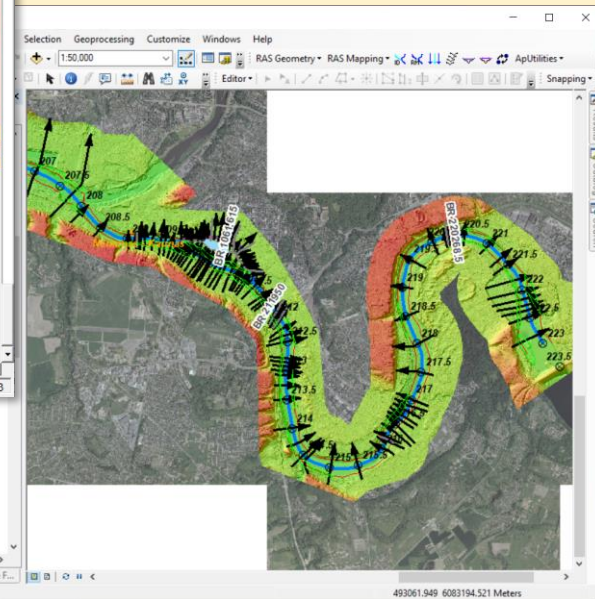
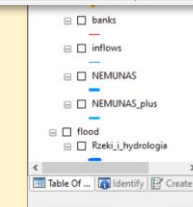
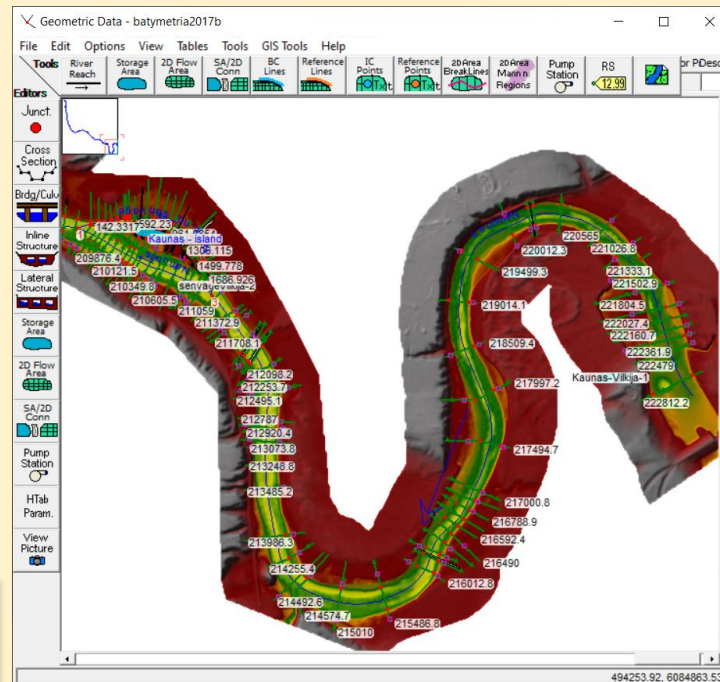
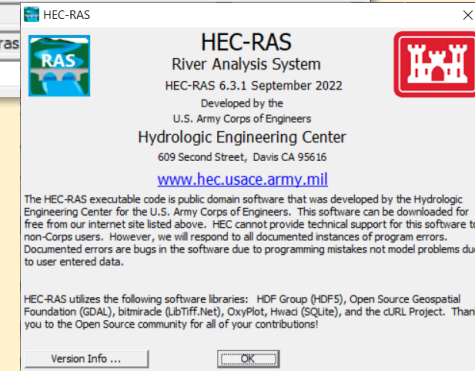
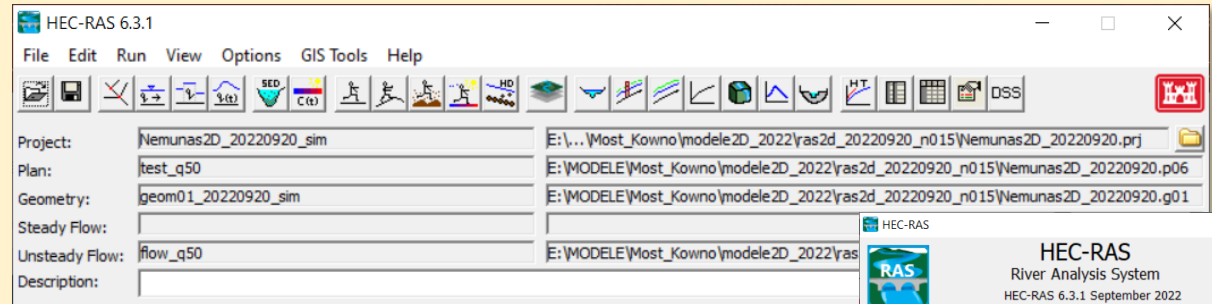
Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Hydrodynamika: HEC-RAS 1D**
- **Przygotowanie geometrii: ArcGIS + HEC-GeoRAS**
- **Obszar modelowany:**
 - 4 odcinki = ok. 50 km
 - 274 przekrojów poprzecznych
 - 1 obszar zalewowy
 - 6 mostów
- **Dane hydrologiczne:**
doływ / odływ
dane do kalibracji modelu



Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Hydrodynamika: HEC-RAS 1D**
- **Przygotowanie geometrii: ArcGIS + HEC-GeoRAS**
- **Obszar modelowany:**
 - 4 odcinki = ok. 50 km
 - 274 przekrojów poprzecznych
 - 1 obszar zalewowy
 - 6 mostów
- **Dane hydrologiczne:**
doływ / odpływ
dane do kalibracji modelu



Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Kalibracja modelu:**

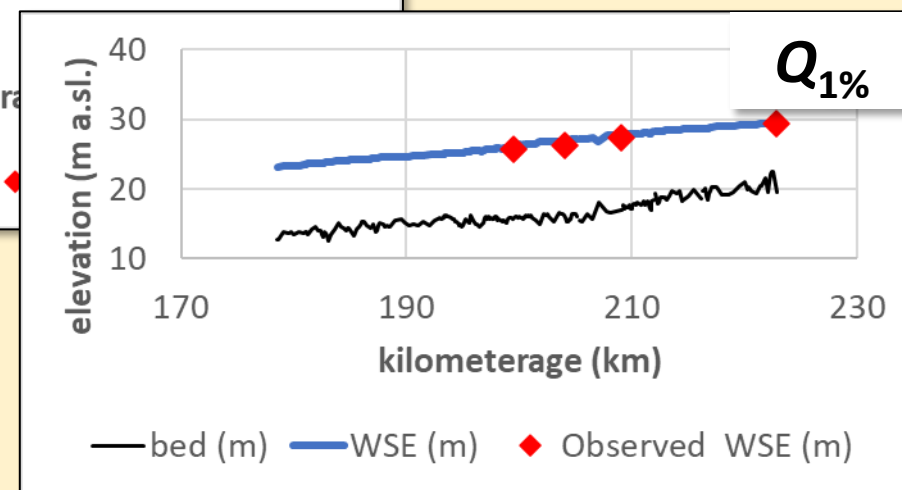
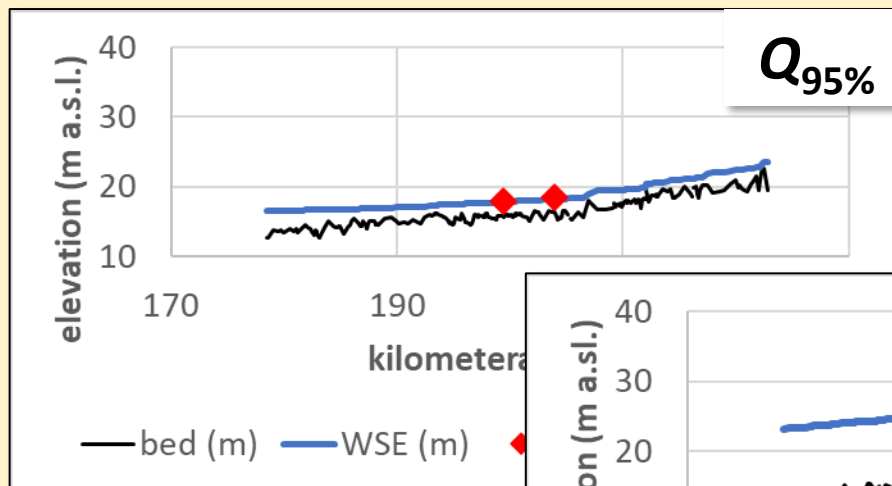
- 2-4 punktów do porównań
- metoda prób-i-błędów
- współczynniki szorstkości

- **Symulacje:**

- przepływy powodziowe
- przepływy niżówkowe

- **Wyniki:**

- mapy zalewów powodziowych
- zmiany zagrożenia powodziowego
- mapy głębokości dla przepływów niskich
- klasyfikacja warunków żeglugowych



channel	LOB	Channel	ROB
senvage	0.085	0.050	0.085
Kaunas-Vilkija-1	0.035	0.020	0.035
Kaunas-Vilkija-2	0.060	0.022	0.060
Kaunas-Vilkija-3	0.033	0.020	0.033

Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Kalibracja modelu:**

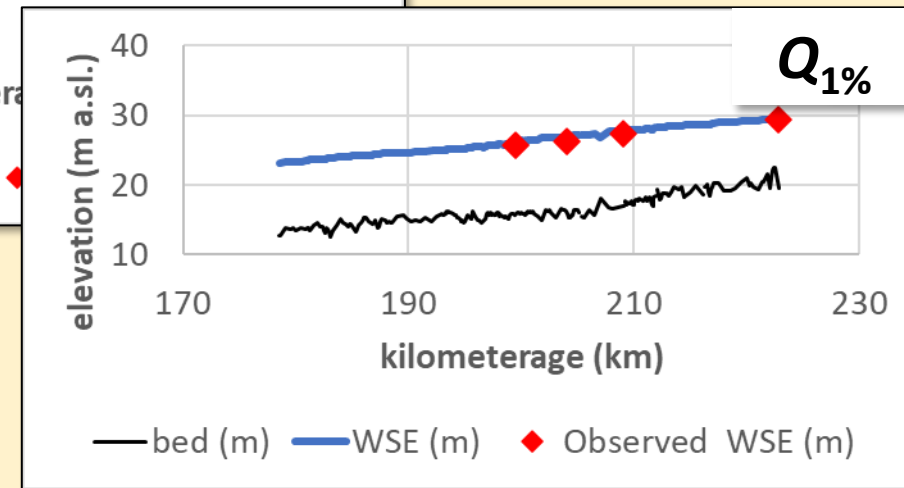
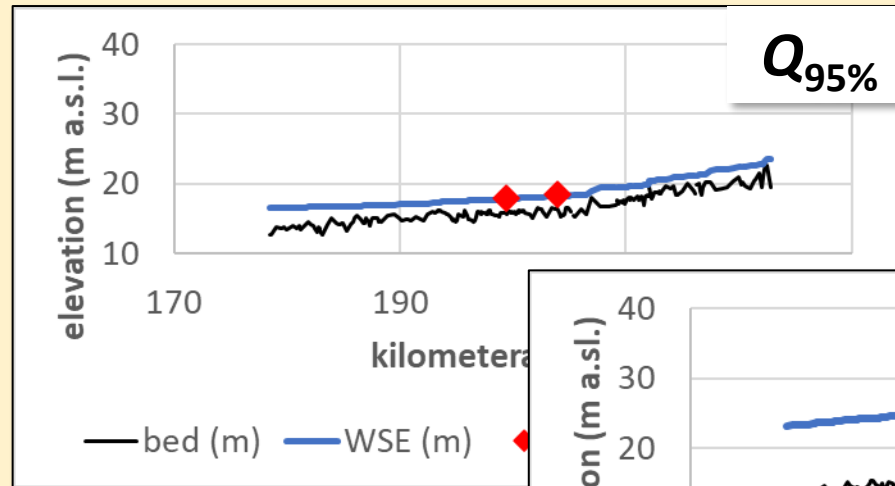
- 2-4 punktów do porównań
- metoda prób-i-błędów
- współczynniki szorstkości

- **Symulacje:**

- przepływy powodziowe
- przepływy niżówkowe

- **Wyniki:**

- mapy zalewów powodziowych
- zmiany zagrożenia powodziowego
- mapy głębokości dla przepływów niskich
- klasyfikacja warunków żeglugowych

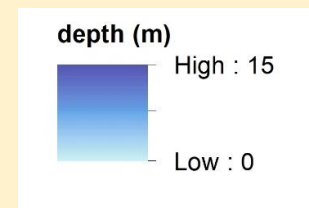
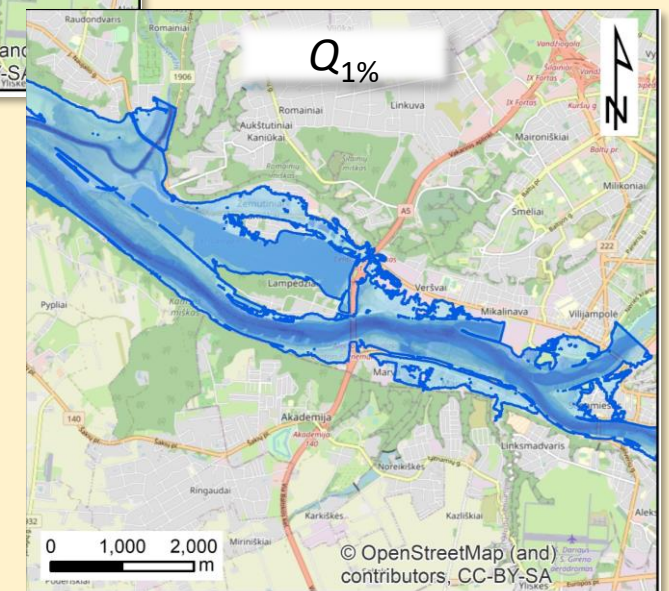
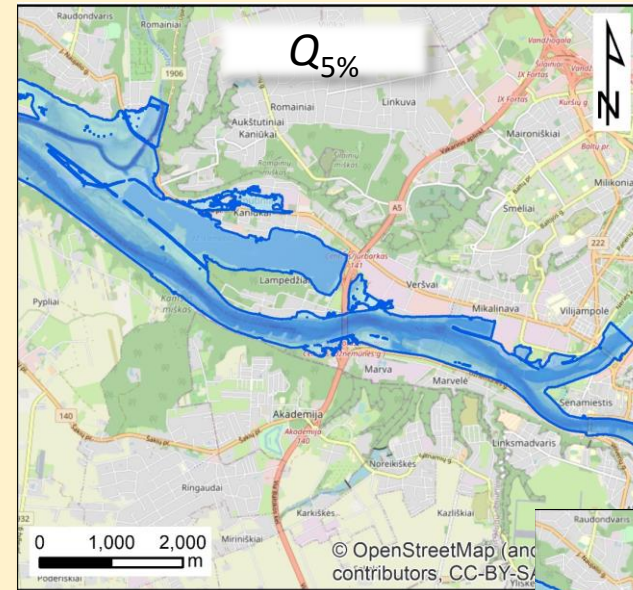


channel	LOB	Channel	ROB
senvage	0.085	0.050	0.085
Kaunas-Vilkija-1	0.035	0.020	0.035
Kaunas-Vilkija-2	0.060	0.022	0.060
Kaunas-Vilkija-3	0.033	0.020	0.033

Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Kalibracja modelu:**
 - 2-4 punktów do porównań
 - metoda prób-i-błędów
 - współczynniki szorstkości
- **Symulacje:**
 - przepływy powodziowe
 - przepływy niżówkowe

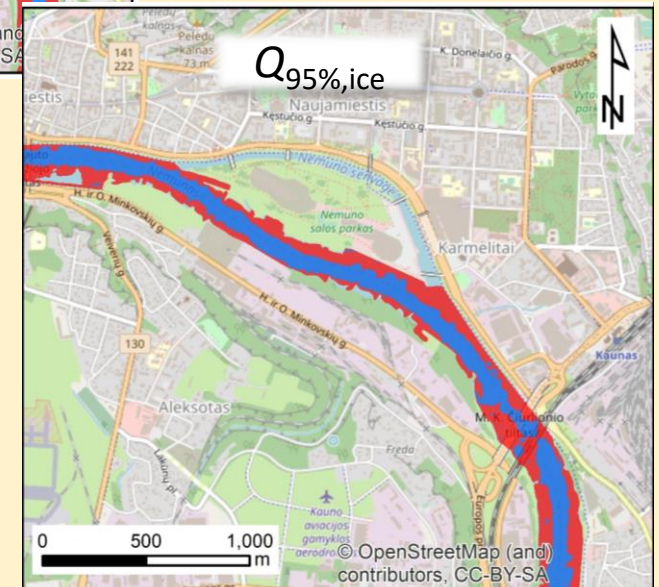
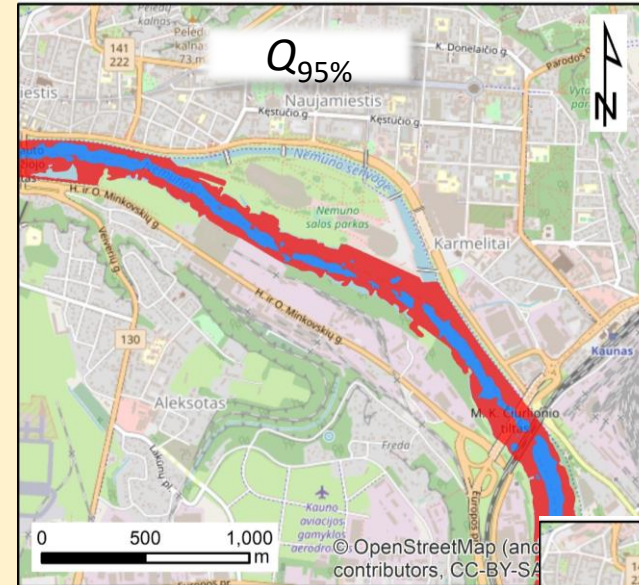
- **Wyniki:**
 - mapy zalewów powodziowych
 - zmiany zagrożenia powodziowego
 - mapy głębokości dla przepływów niskich
 - klasyfikacja warunków żeglugowych



Etapy badań: Modelowanie przepływu w rzece

- **Kalibracja modelu:**
 - 2-4 punktów do porównań
 - metoda prób-i-błędów
 - współczynniki szorstkości
- **Symulacje:**
 - przepływy powodziowe
 - przepływy niżówkowe

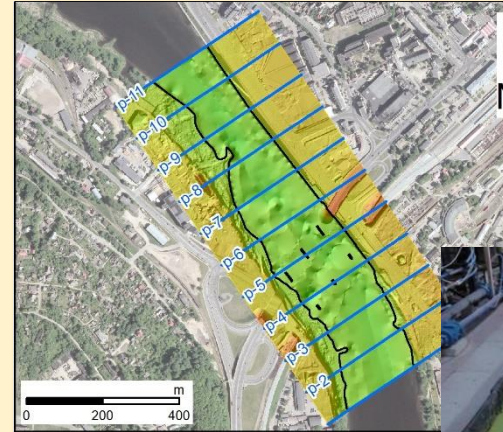
- **Wyniki:**
 - mapy zalewów powodziowych
 - zmiany zagrożenia powodziowego
 - mapy głębokości dla przepływów niskich
 - klasyfikacja warunków żeglugowych



Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

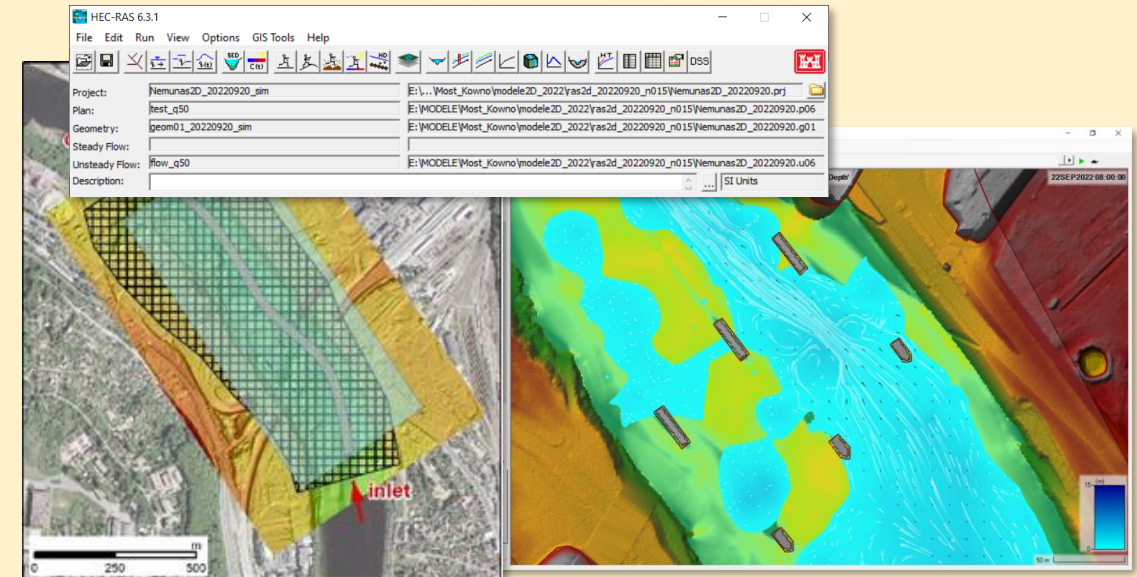
- **Model fizyczny**

- *most w Kownie*
- *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
- *skalowanie: analiza wymiarowa*
- *laboratorium: 5 m x 3 m*
- *eksperymenty + przeliczenie*



- **Model numeryczny**

- *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
- *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
- *walidacja modelu*
- *symulacje + geoprzetwarzanie*



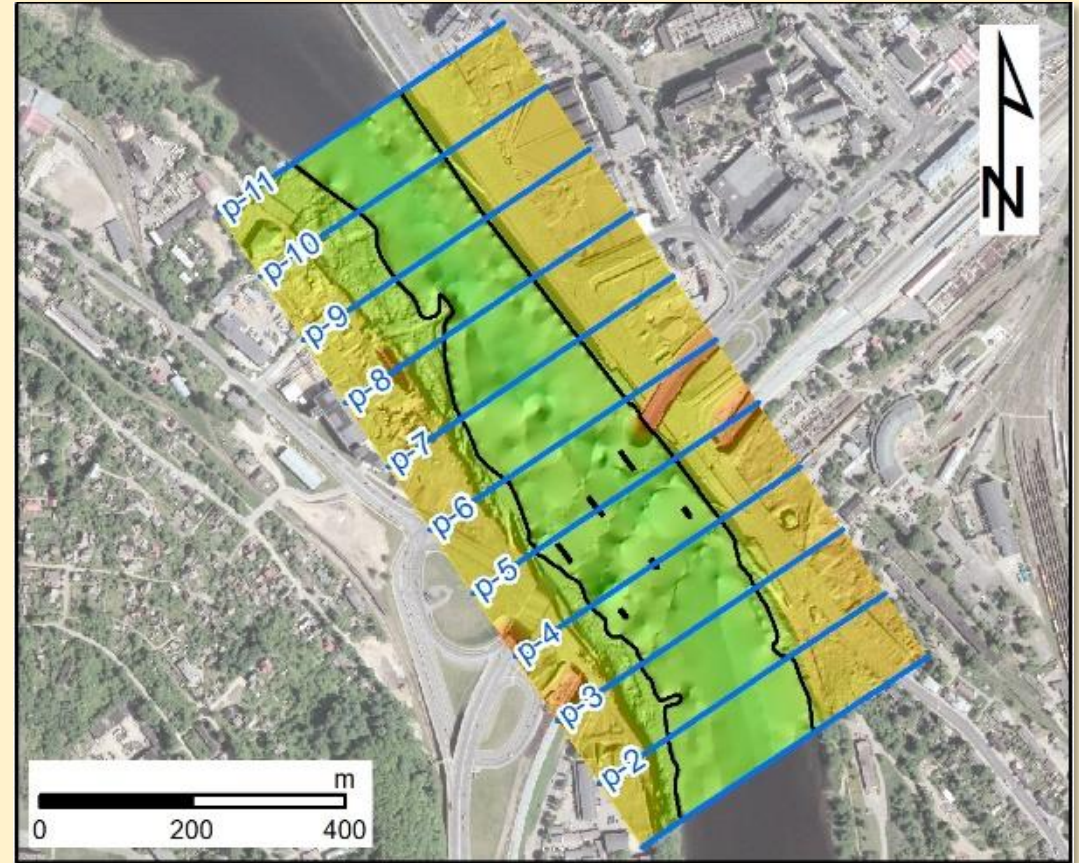
Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**

- *most w Kownie*
- *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
- *skalowanie: analiza wymiarowa*
- *laboratorium: 5 m x 3 m*
- *eksperymenty + przeliczenie*

- **Model numeryczny**

- *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
- *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
- *walidacja modelu*
- *symulacje + geoprzetwarzanie*

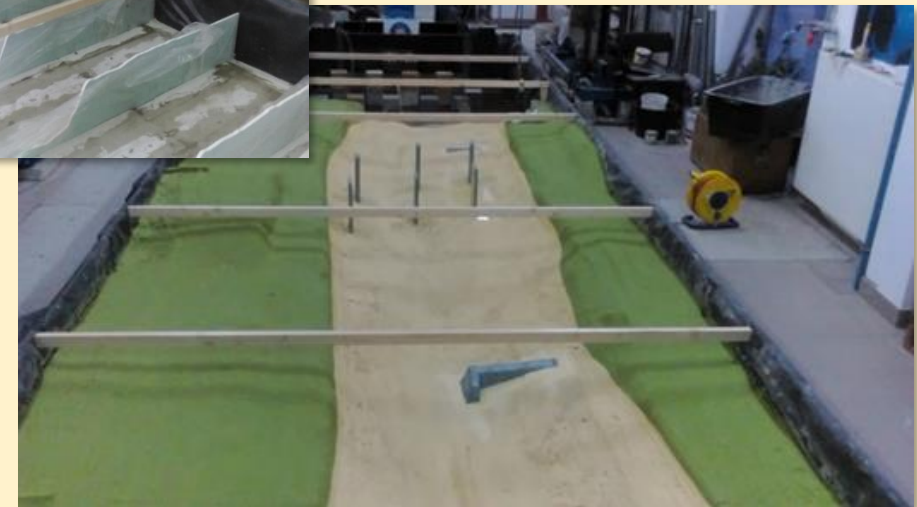


Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**
 - *most w Kownie*
 - *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
 - *skalowanie: analiza wymiarowa*
 - *laboratorium: 5 m x 3 m*
 - *eksperymenty + przeliczenie*

- **Model numeryczny**
 - *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
 - *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
 - *walidacja modelu*
 - *symulacje + geoprzetwarzanie*

type of scale	symbol		relationship with other factors	value [-]
	basic	scaling factor		
length	L	λ_l	-	200
width	B	λ_b	-	200
height	h	λ_h	-	50
velocity	u	λ_u	$(\lambda_h)^{1/2}$	7.071
discharge	Q	λ_Q	$(\lambda_h)^{3/2} \lambda_b$	70711
time	t	λ_t	$\lambda_l (\lambda_h)^{1/2}$	28.3
velocity of settling	w	λ_w	$(\lambda_h)^{3/2} (\lambda_l)^{-1}$	1.77
pressure	p	λ_p	λ_h	50
roughness size	k	λ_k	$(\lambda_h)^4 (\lambda_b)^{-3}$	0.781
		λ_n	$(\lambda_h)^{2/3} (\lambda_l)^{-1/2}$	0.9597

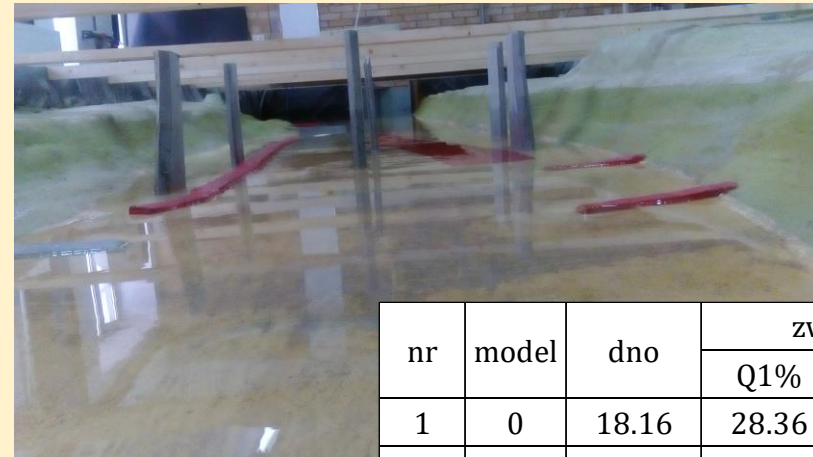


Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**
 - *most w Kownie*
 - *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
 - *skalowanie: analiza wymiarowa*
 - *laboratorium: 5 m x 3 m*
 - *eksperymenty + przeliczenie*

- **Model numeryczny**
 - *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
 - *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
 - *walidacja modelu*
 - *symulacje + geoprzetwarzanie*

type	symbol	unit	$Q_{95\%}$	$Q_{5\%}$	$Q_{1\%}$
nature	Q_N	m^3/s	71.6	2143	3079
model	Q_M	dm^3/s	1.013	30.306	43.543

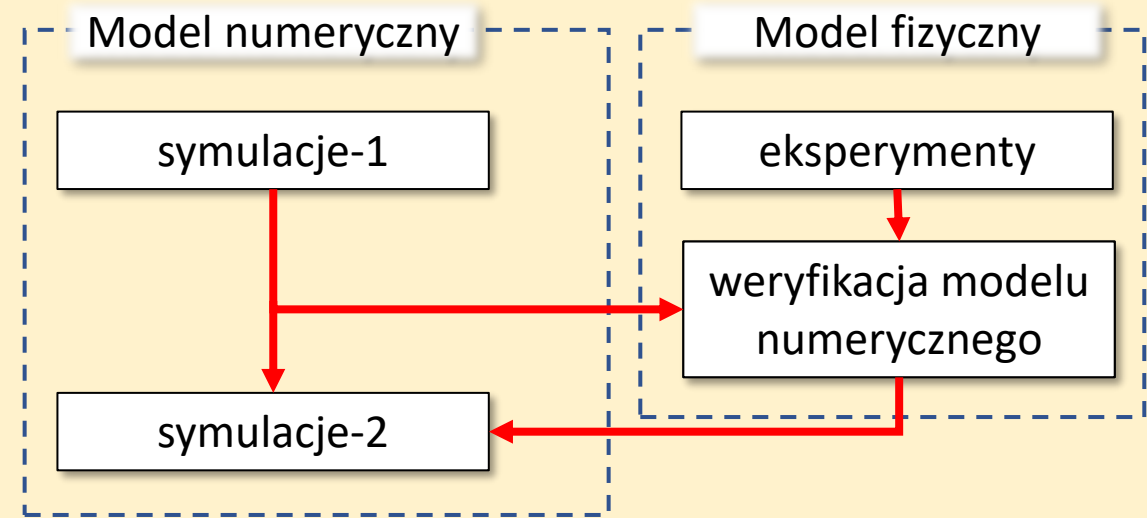


nr	model	dno	zwieczadło wody		
			Q1%	Q5%	Q95%
1	0	18.16	28.36	26.91	20.51
2	50	17.96	28.27	26.84	20.51
3	100	18.12	28.28	26.84	20.46
4	150	19.44	28.31	26.87	20.23
5	200	18.36	28.29	26.85	19.93
6	250	18.12	28.24	26.81	19.85
7	300	17.16	28.15	26.74	19.84
8	350	17.82	28.01	26.63	19.82
9	400	17.25	27.97	26.60	19.82
10	450	17.58	28.00	26.62	19.79
11	500	18.15	28.03	26.63	19.77

Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**
 - *most w Kownie*
 - *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
 - *skalowanie: analiza wymiarowa*
 - *laboratorium: 5 m x 3 m*
 - *eksperymenty + przeliczenie*

- **Model numeryczny**
 - *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
 - *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
 - *walidacja modelu*
 - *symulacje + geoprzetwarzanie*



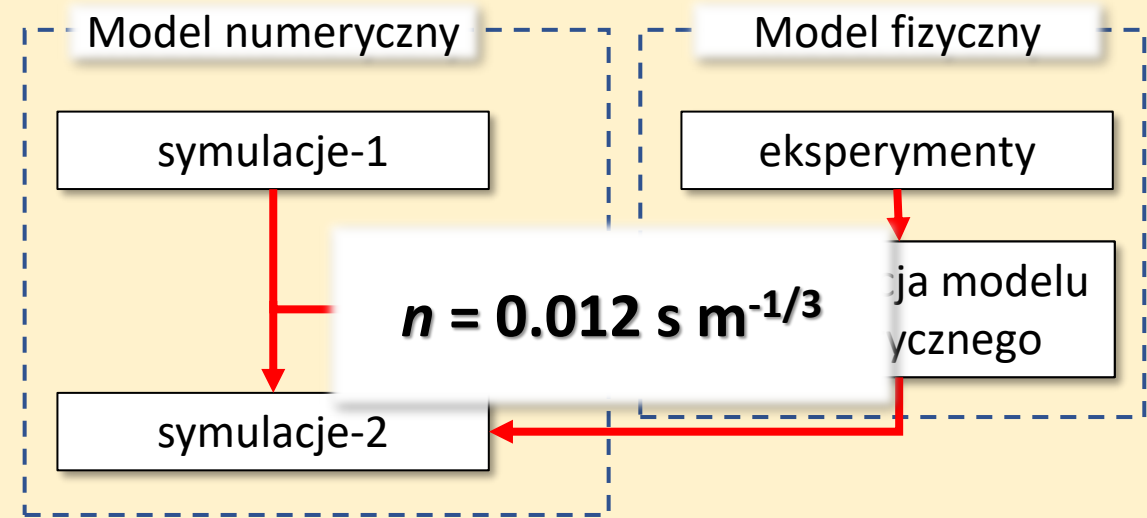
Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**

- *most w Kownie*
- *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
- *skalowanie: analiza wymiarowa*
- *laboratorium: 5 m x 3 m*
- *eksperymenty + przeliczenie*

- **Model numeryczny**

- *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
- *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
- *walidacja modelu*
- *symulacje + geoprzetwarzanie*



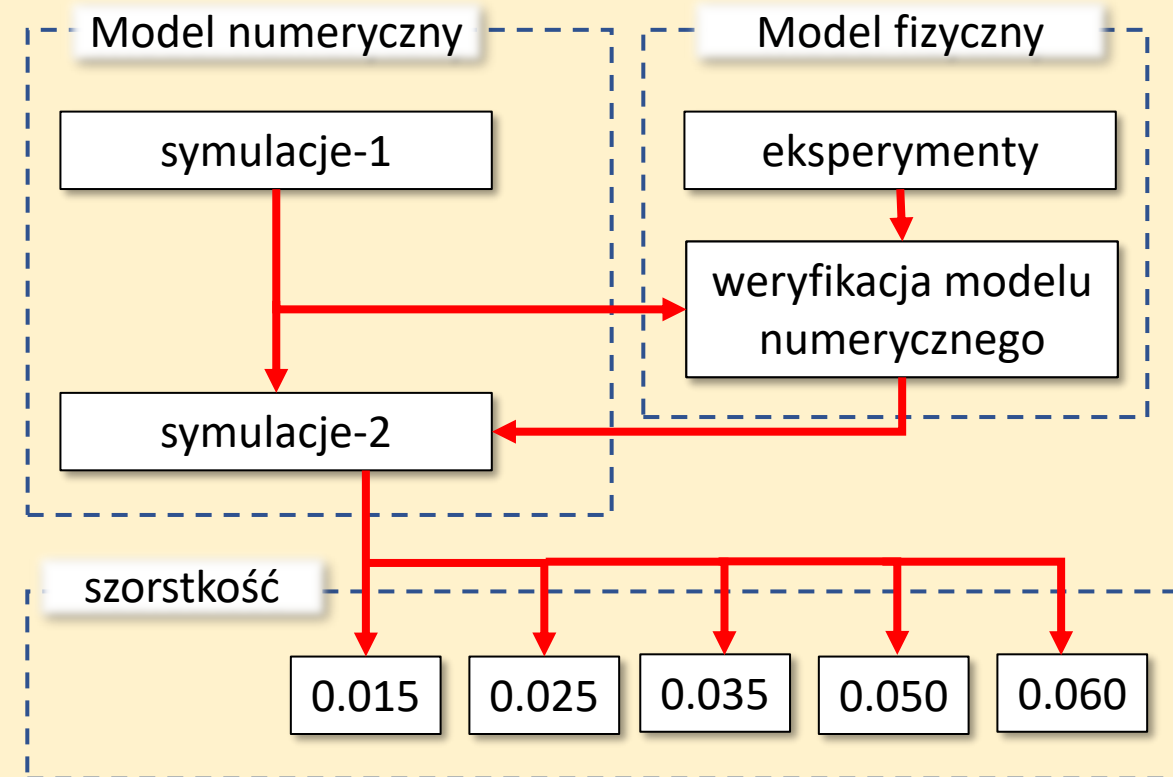
Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**

- *most w Kownie*
- *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
- *skalowanie: analiza wymiarowa*
- *laboratorium: 5 m x 3 m*
- *eksperymenty + przeliczenie*

- **Model numeryczny**

- *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
- *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
- *walidacja modelu*
- *symulacje + geoprzetwarzanie*



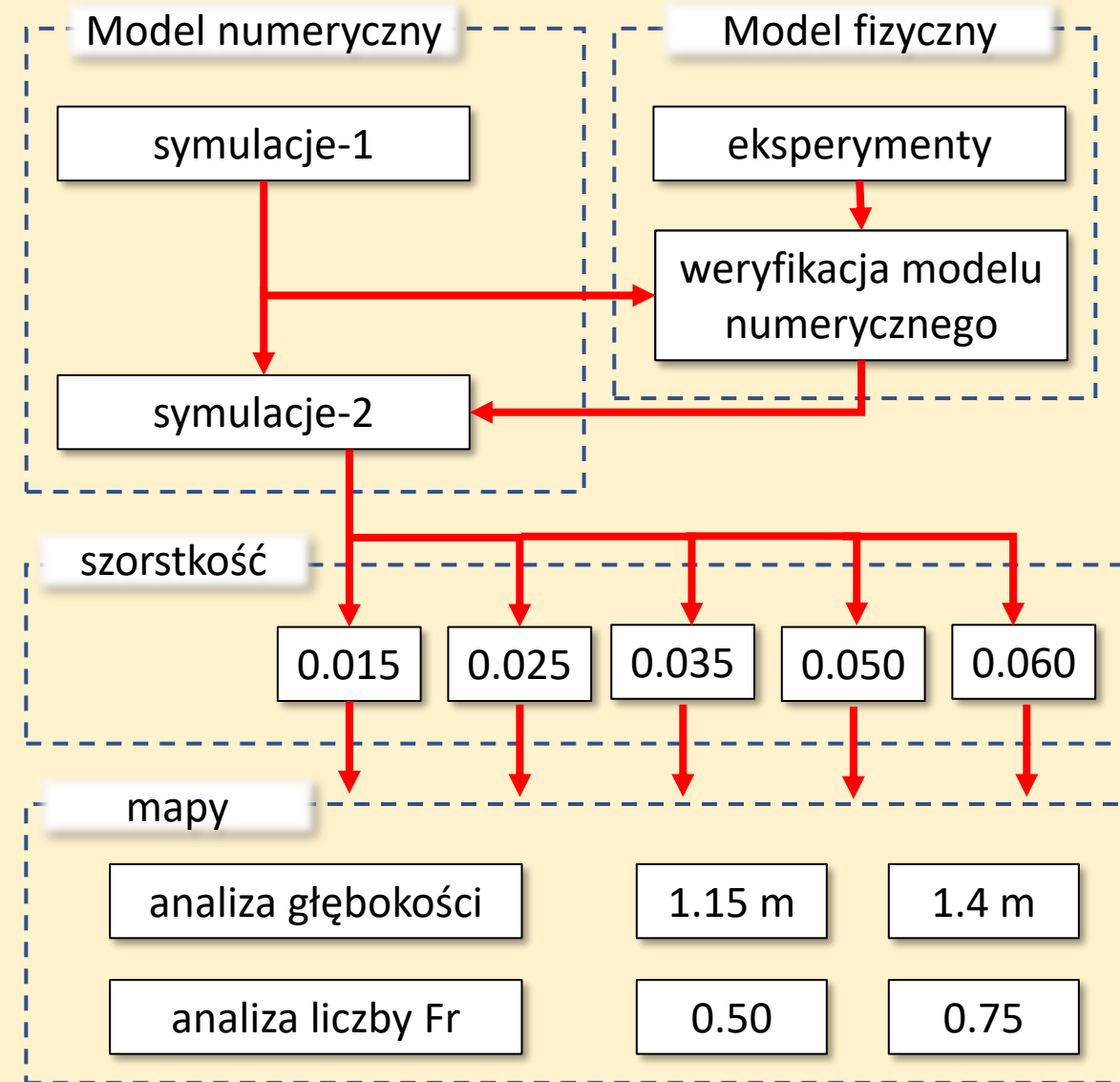
Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**

- *most w Kownie*
- *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
- *skalowanie: analiza wymiarowa*
- *laboratorium: 5 m x 3 m*
- *eksperymenty + przeliczenie*

- **Model numeryczny**

- *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
- *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
- *walidacja modelu*
- *symulacje + geoprzetwarzanie*

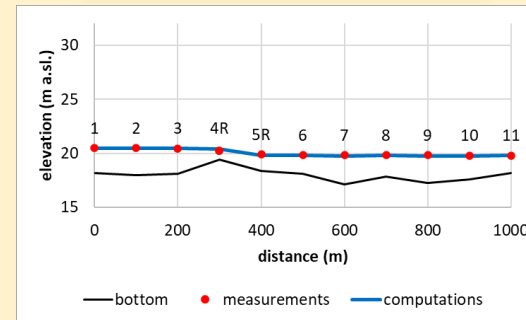


Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

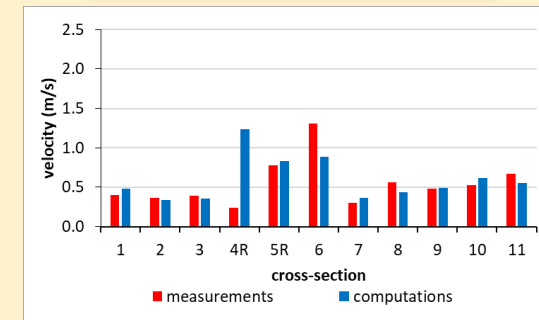
- **Model fizyczny**
 - most w Kownie
 - przygotowanie geometrii: ArcGIS
 - skalowanie: analiza wymiarowa
 - laboratorium: 5 m x 3 m
 - eksperymenty + przeliczenie

- **Model numeryczny**
 - hydrodynamika: HEC-RAS 2D
 - przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS
 - walidacja modelu
 - symulacje + geoprzetwarzanie

zwierciadło wody



prędkość



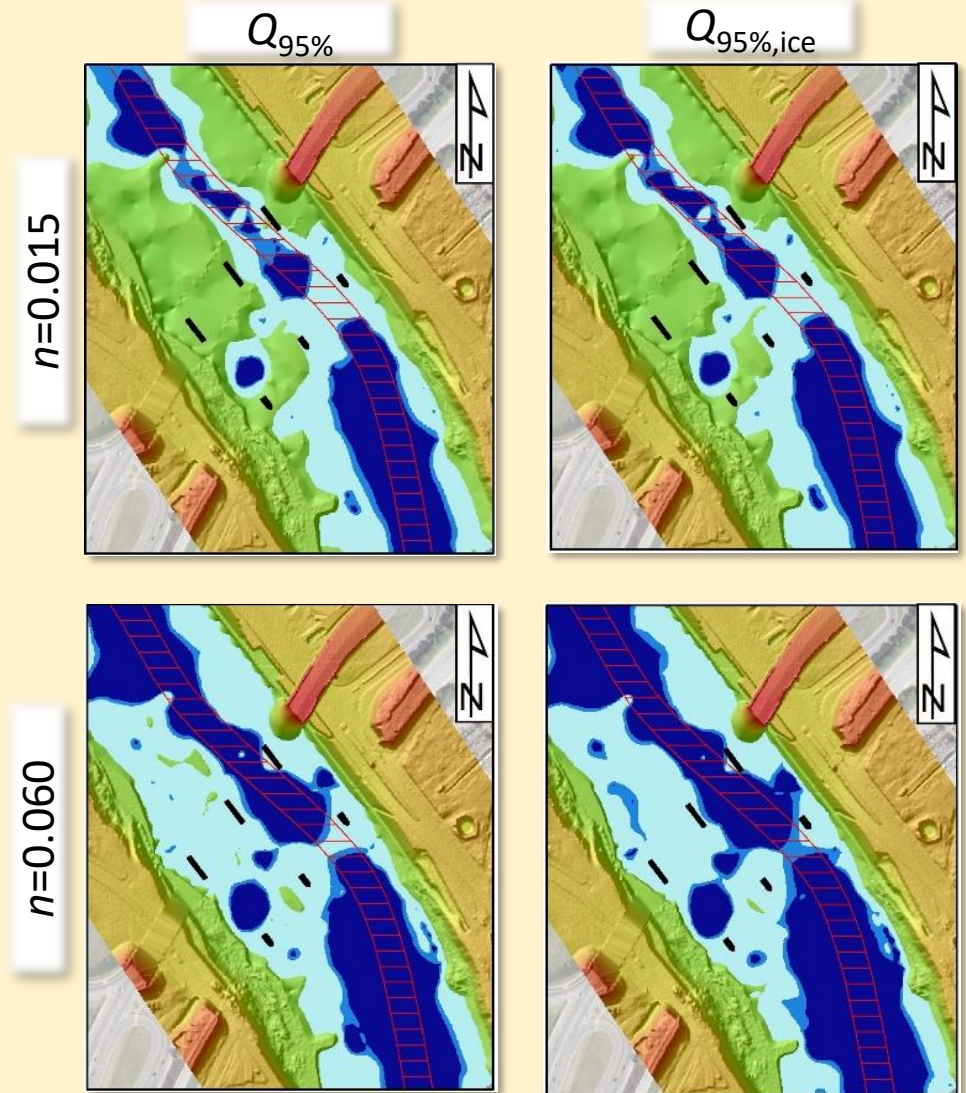
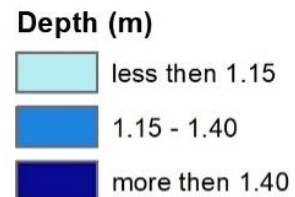
$$RMSE_{\varphi} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\varphi_i^{(s)} - \varphi_i^{(m)}}{\Phi_i^{(m)}} \right]^2} \times 100\%$$

type of experiment	RMSE (%)	
	water surface elevation	mean velocity
Q95%	3.33	16.92
Q5%	1.22	21.34
Q1%	1.04	20.34

Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**
 - most w Kownie
 - przygotowanie geometrii: ArcGIS
 - skalowanie: analiza wymiarowa
 - laboratorium: 5 m x 3 m
 - eksperymenty + przeliczenie

- **Model numeryczny**
 - hydrodynamika: HEC-RAS 2D
 - przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS
 - walidacja modelu
 - symulacje + geoprzetwarzani

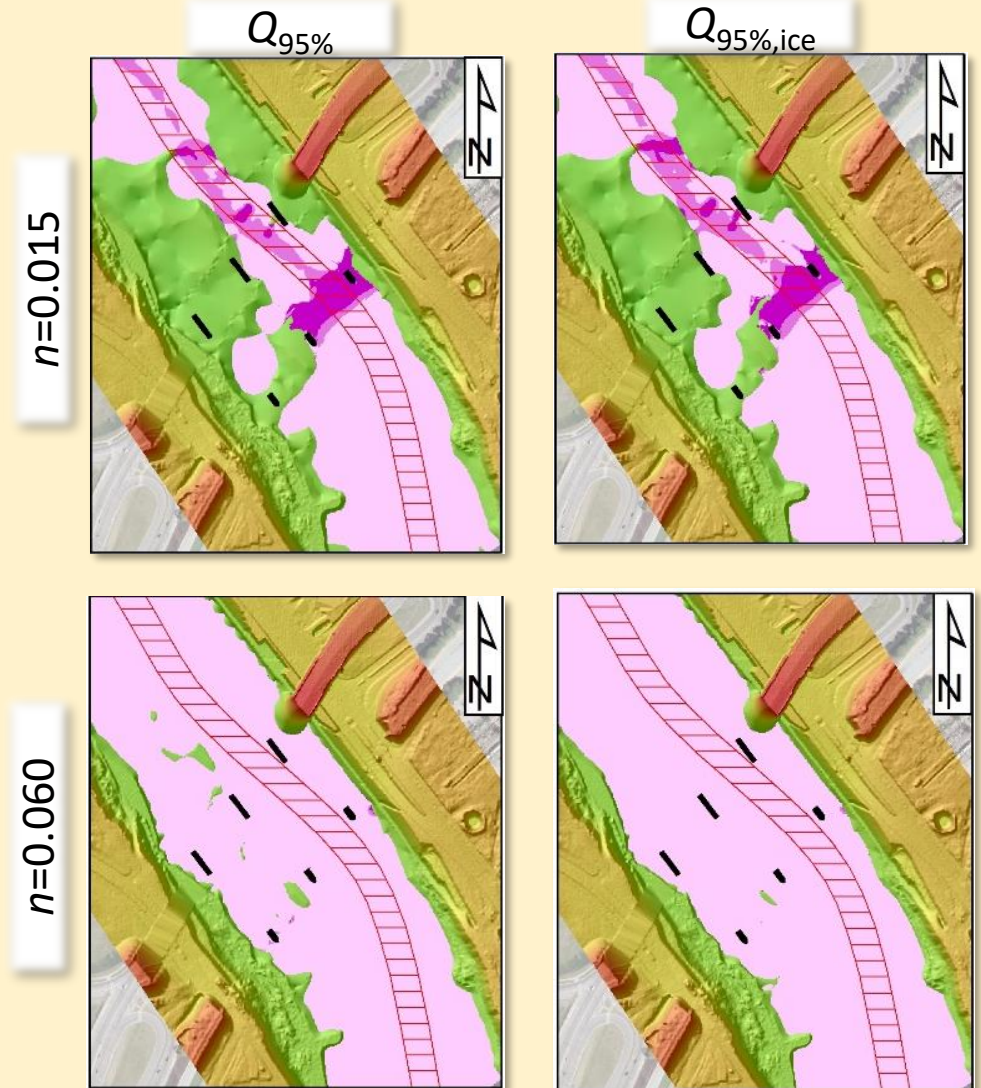


Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**
 - most w Kownie
 - przygotowanie geometrii: ArcGIS
 - skalowanie: analiza wymiarowa
 - laboratorium: 5 m x 3 m
 - eksperymenty + przeliczenie

- **Model numeryczny**
 - hydrodynamika: HEC-RAS 2D
 - przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS
 - validacja modelu
 - symulacje + geoprzetwarzani

Froude # (-)



Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

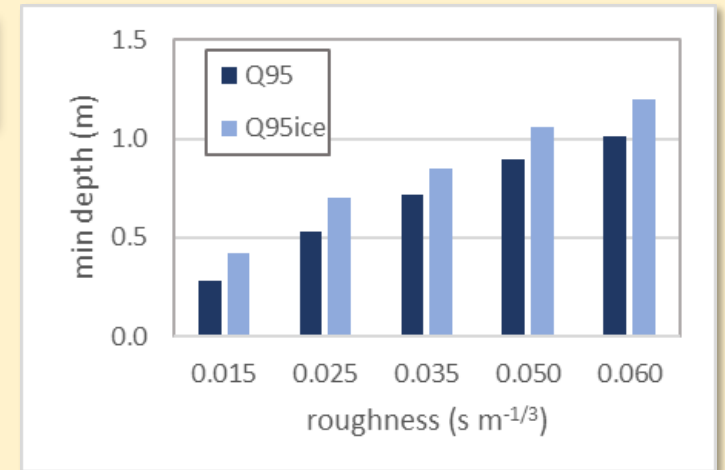
- **Model fizyczny**

- *most w Kownie*
- *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
- *skalowanie: analiza wymiarowa*
- *laboratorium: 5 m x 3 m*
- *eksperymenty + przeliczenie*

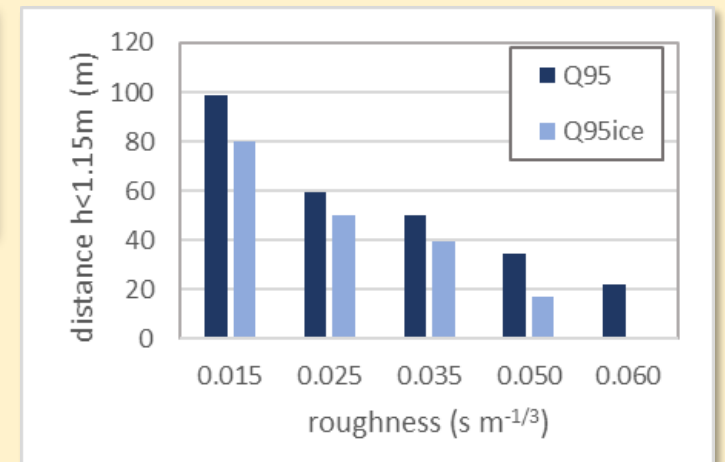
- **Model numeryczny**

- *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
- *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
- *walidacja modelu*
- *symulacje + geoprzetwarzanie*

*głębokość
minimalna*



*długość
odcinka
z głębokością
 $h < 1.15\ m$*



Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

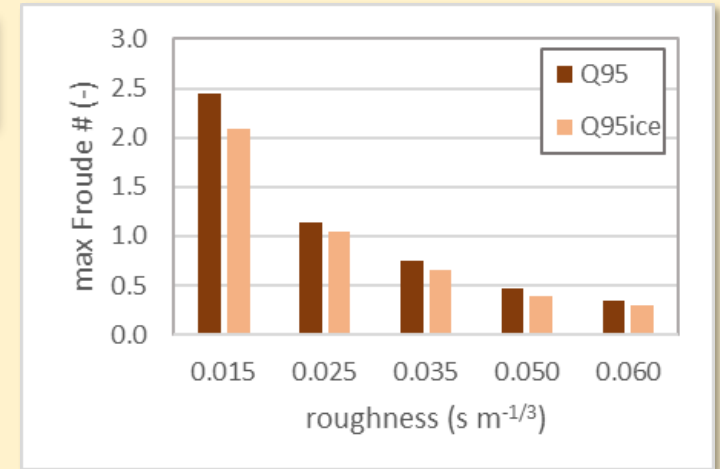
- **Model fizyczny**

- *most w Kownie*
- *przygotowanie geometrii: ArcGIS*
- *skalowanie: analiza wymiarowa*
- *laboratorium: 5 m x 3 m*
- *eksperymenty + przeliczenie*

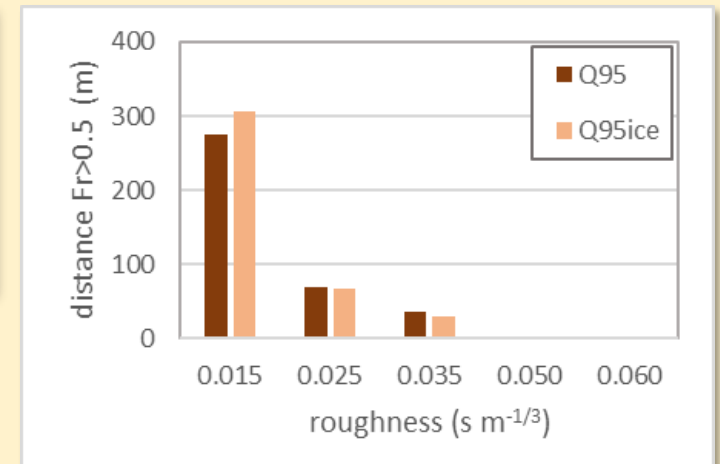
- **Model numeryczny**

- *hydrodynamika: HEC-RAS 2D*
- *przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS*
- *walidacja modelu*
- *symulacje + geoprzetwarzanie*

maksymalna
liczba Frouda





długość
odcinka
z liczbą
Frouda
Fr > 0.5



Etapy badań: Modelowanie przepływu pod mostami

- **Model fizyczny**
 - most w Kownie
 - przygotowanie geometrii: ArcGIS
 - skalowanie: analiza wymiarowa
 - laboratorium: 5 m x 3 m
 - eksperymenty + przeliczenie
- **Model numeryczny**
 - hydrodynamika: HEC-RAS 2D
 - przygotowanie: ArcGIS+GeoRAS
 - walidacja modelu
 - symulacje + geoprzetwarzanie



Article

Application of physical and numerical modeling for determination of waterway safety under the bridge in Kaunas city, Lithuania

Tomasz Dysarz ^{1,*}, Tomasz Kaluza ¹, Karolis Mickevičius ², Jonas Veigneris ², Paweł Zawadzki ¹, Sebastian Kujawiak ¹, Stanisław Zaborowski ¹, Joanna Wicher-Dysarz ¹, Natalia Walczak ¹, Jakub Nieć ¹, Raimundas Baublys ²

¹ Poznan University of Life Sciences, Faculty of Environmental Engineering and Mechanical Engineering, Department of Hydraulic and Sanitary Engineering, Poznan, Poland; tomasz.dysarz@up.poznan.pl; tomasz.kaluza@up.poznan.pl; pawel.zawadzki@up.poznan.pl; sebastian.kujawiak@up.poznan.pl; stanislaw.zaborowski@up.poznan.pl; joanna.wicher@up.poznan.pl; natalia.walczak@up.poznan.pl; jakub.niec@up.poznan.pl

² UAB „Inžinerinis projektavimas”, Vilnius, Lithuania; kalosagathos@gmail.com; info@projektavimas.net

³ Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Faculty of Engineering, Department of Water Engineering, Kaunas, Lithuania; raimundas.baublys@vdu.lt

* Correspondence: tomasz.dysarz@up.poznan.pl


Abstract: The main problem presented in this paper is the safety inlet navigation of the waterway below the bridge in the city of Kaunas in Lithuania. The analyzed reach is located in the Nemunas river downstream of the Kaunas dam. It is a part of the waterway E-41 leading to the Klaipėda harbor on the southern coast of the Baltic Sea. The work was initiated by the Lithuanian company UAB „Inžinerinis projektavimas” with funds from the EU TEN-T project. The main requirement imposed along this reach is to keep sufficient depth even in the range of the lowest flows. The depth is sufficient if it is not lower than 1.15 m for minimum flows such as $Q_{0\%}$ and $Q_{5\%}$ with ice. The hydraulic conditions for maximum flow $Q_{95\%}$, $Q_{90\%}$, and $Q_{75\%}$ are also taken into account for control because the threat of hydraulic jump generation was also noticed. The research is based on georeferenced data from public and non-public sources. The hydrologic data were received from the Lithuanian Hydrometeorological Service. The physical model was created in the Water Laboratory of the Department of Hydraulic and Sanitary Engineering at Poznan University of Life Sciences, Poland. The preprocessing of spatial data in ArcGIS 10.8.2 and the rules of hydraulic similarity were implemented in the process of physical model preparation. Three experiments were conducted in the laboratory with scaled values of $Q_{0\%}$, $Q_{5\%}$, and $Q_{10\%}$. The measurements of the water surface and evaluations of the average velocity were used to validate the 2D numerical model prepared in HEC-RAS 6.3.1. The basic layers of the HEC-RAS model were preprocessed in ArcGIS. The numerical model was implemented to test different values of unknown roughness of the channel bottom. The simulations were conducted for the real values of $Q_{0\%}$ and $Q_{5\%}$ with ice and $Q_{95\%}$. The results of the simulations were depth and Froude number maps. These maps were classified into zones of no risk, middle risk, and high risk. The application of ArcGIS in the post-processing phase lets to identify the locations of the hazards. The magnitude of risk was expressed in terms of minimum depth achieved, maximum Froude number, as well as the length of the reaches with high risk related to these two factors. The threat of hydraulic jump formation below the bridge was also noticed. Conducted results confirmed that the combination of hydrodynamic simulations and geoprocessing in the stage of pre- and post-processing could be a powerful tool in hydraulic engineering analyses. Additionally, it is worth noticing that numerical modeling enables a wider analysis of potential conditions than could be possible with a physical model only.

Keywords: inland waterway hydraulics, river flow modeling, TEN-T program, physical modeling, geoprocessing.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor: Firstname Lastname

Received: date
Revised: date
Accepted: date
Published: date



Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Water 2023, 15, x. <https://doi.org/10.3390/wxxxx> www.mdpi.com/journal/water

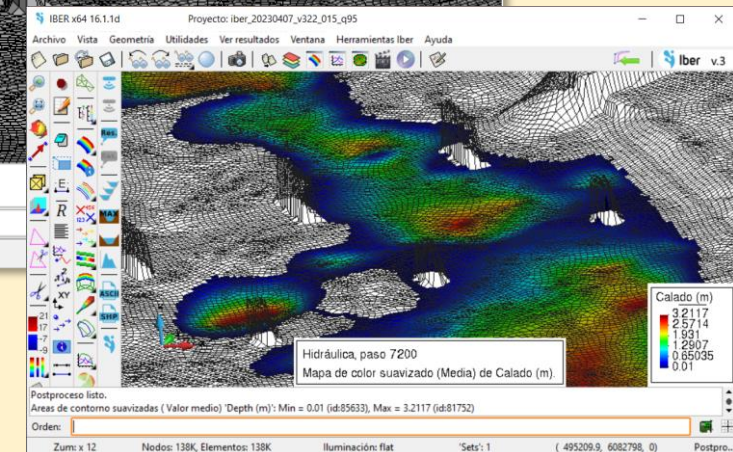
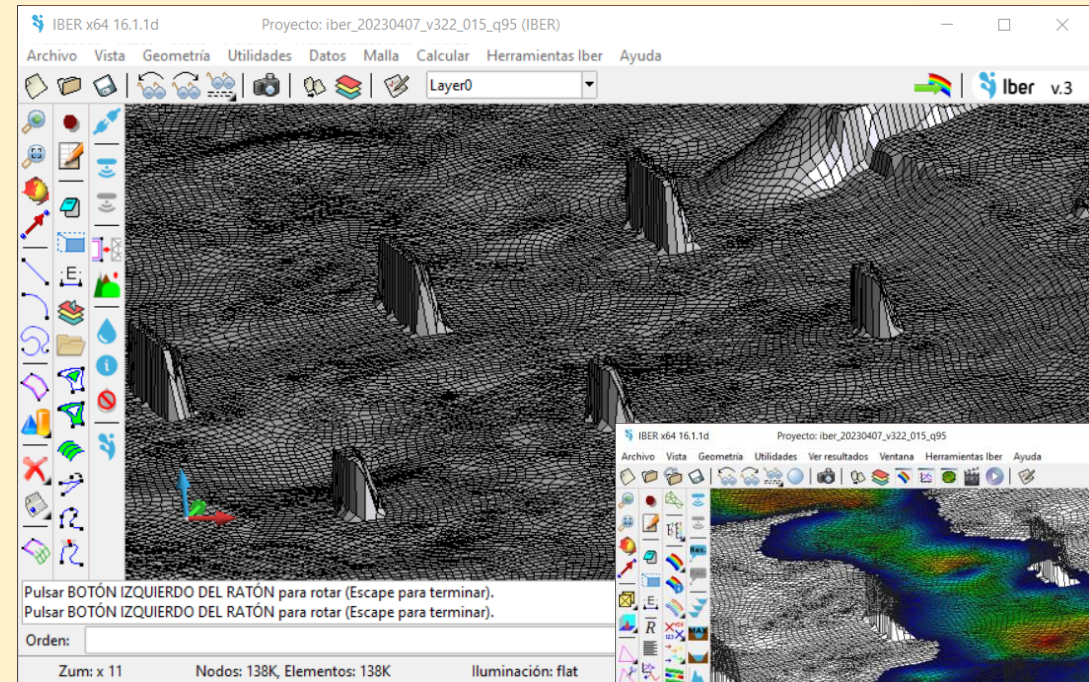
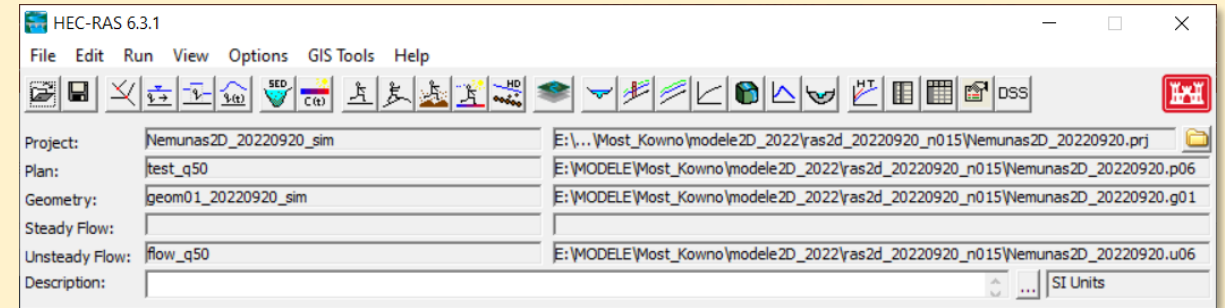
Etapy badań: Testowanie modeli 2D

- **HEC-RAS 2D**

- *Hydrologic Engineering Center*
- *fala dyfuzyjna i dynamiczna*
- *mieszana siatka numeryczna*
- *tablicowanie parametrów*

- **Iber**

- *Flumen UPC (Barcelona)*
- *przeptyw płytkowodne*
- *połączenie z GIS*
- *procesy 2D, kanalizacja, ...*



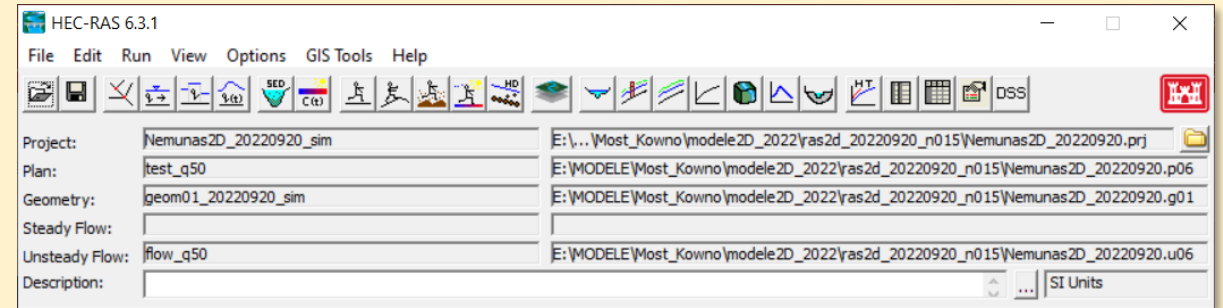
Etapy badań: Testowanie modeli 2D

- **HEC-RAS 2D**

- Hydrologic Engineering Center
- fala dyfuzyjna i dynamiczna
- mieszana siatka numeryczna
- tablicowanie parametrów

- **Iber**

- Flumen UPC (Barcelona)
- przepływ płytkowodne
- połączenie z GIS
- procesy 2D, kanalizacja, ...



$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{\partial H}{\partial y} \right) + q$$

$$\beta = \frac{R^{2/3} h}{n |\nabla H|^{1/2}}$$

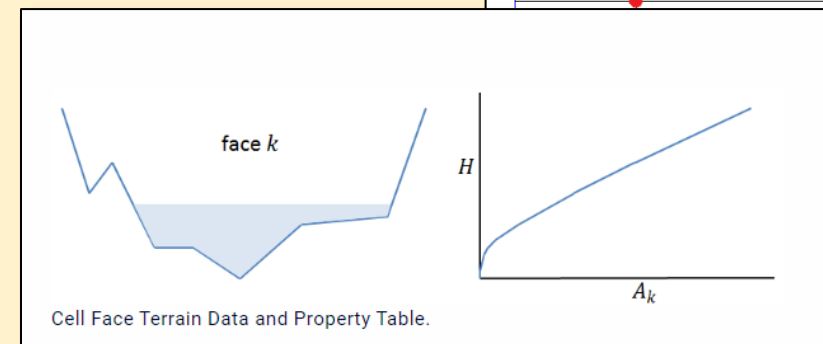
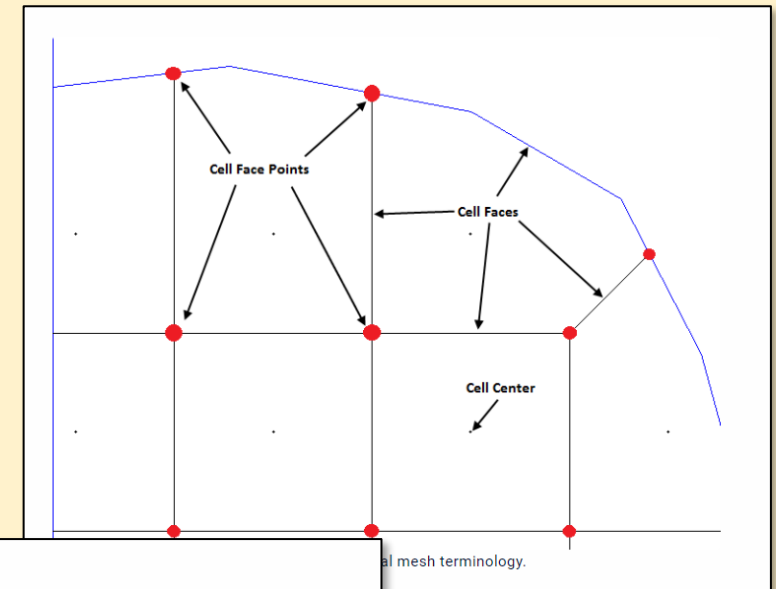
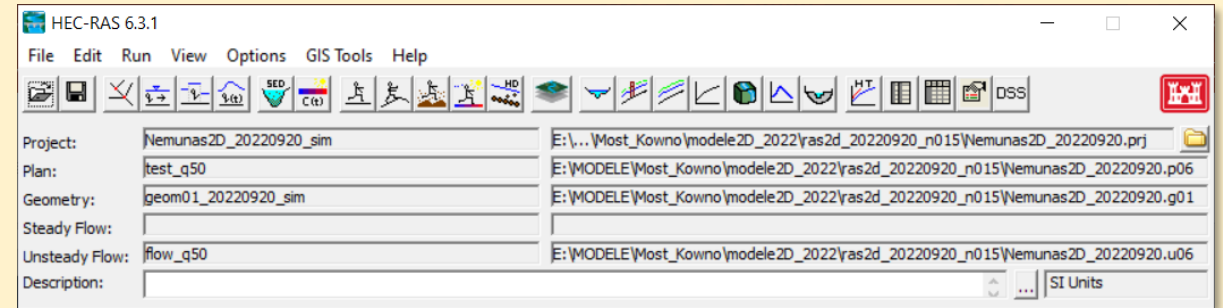
Etapy badań: Testowanie modeli 2D

- **HEC-RAS 2D**

- Hydrologic Engineering Center
- fala dyfuzyjna i dynamiczna
- mieszana siatka numeryczna
- tablicowanie parametrów

- **Iber**

- Flumen UPC (Barcelona)
- przepływy płytkowodne
- połączenie z GIS
- procesy 2D, kanalizacja, ...



Etapy badań: Testowanie modeli 2D

- **HEC-RAS 2D**

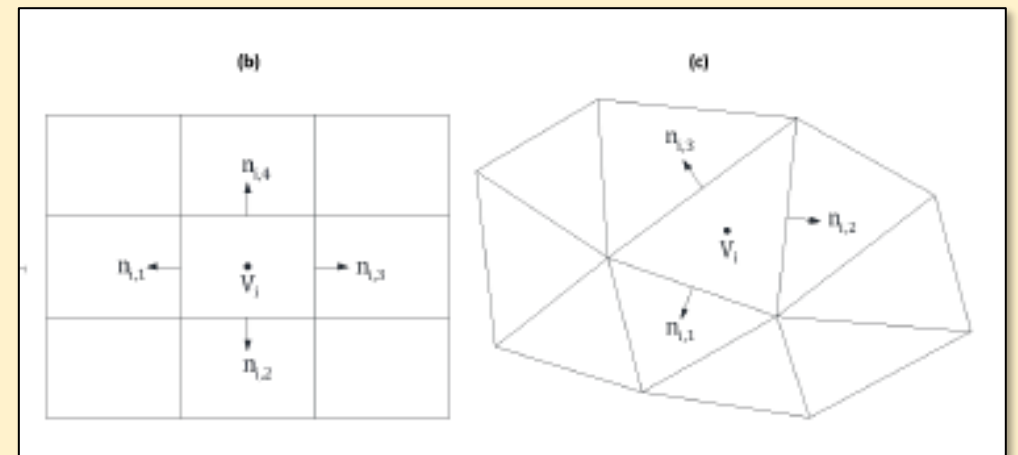
- Hydrologic Engineering Center
- fala dyfuzyjna i dynamiczna
- mieszana siatka numeryczna
- tablicowanie parametrów



- **Iber**

- Flumen UPC (Barcelona)
- przepływ płytkowodny
- połączenie z GIS
- procesy 2D, kanalizacja, ...

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_s$$
$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x$$
$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial p}{\partial y} - 2 \Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y$$



Etapy badań: Testowanie modeli 2D

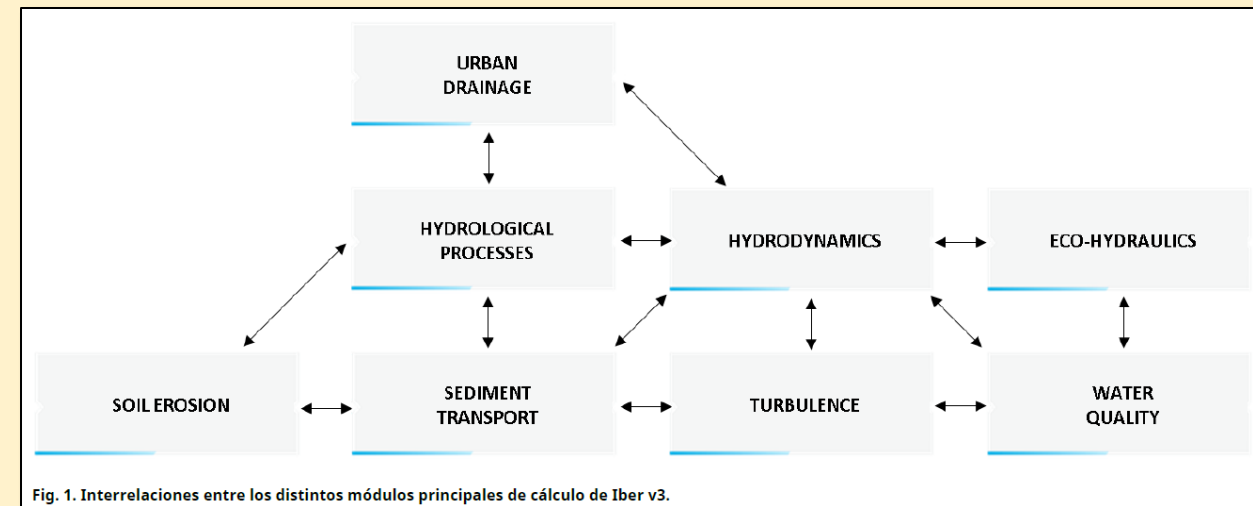
- **HEC-RAS 2D**

- Hydrologic Engineering Center
- fala dyfuzyjna i dynamiczna
- mieszana siatka numeryczna
- tablicowanie parametrów



- **Iber**

- Flumen UPC (Barcelona)
- przepływ płytkowodne
- połączenie z GIS
- procesy 2D, kanalizacja, ...



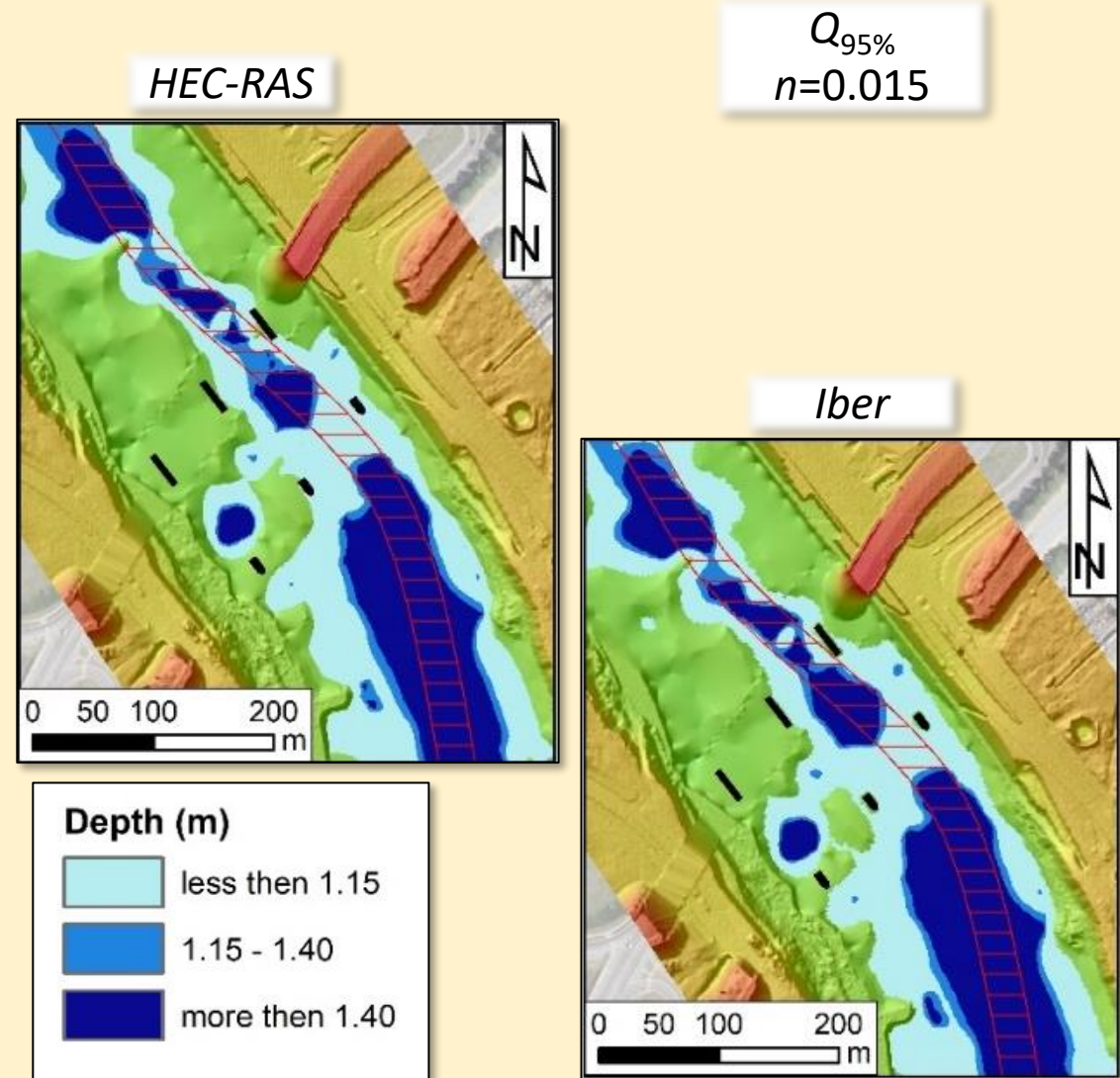
Etapy badań: Testowanie modeli 2D

- **HEC-RAS 2D**

- Hydrologic Engineering Center
- fala dyfuzyjna i dynamiczna
- mieszana siatka numeryczna
- tablicowanie parametrów

- **Iber**

- Flumen UPC (Barcelona)
- przepływ płytkowodny
- połączenie z GIS
- procesy 2D, kanalizacja, ...



Etapy badań: Testowanie modeli 2D

- **HEC-RAS 2D**
 - Hydrologic Engineering Center
 - fala dyfuzyjna i dynamiczna
 - mieszana siatka numeryczna
 - tablicowanie parametrów
- **Iber**
 - Flumen UPC (Barcelona)
 - przepływ płytkowodny
 - połączenie z GIS
 - procesy 2D, kanalizacja, ...

XL International School of Hydraulics, 23-26 May 2023, Kały Rybackie, Poland

Comparison of HEC-RAS and Iber simulations for the assessment of waterway safety under the bridge in the Kaunas city

Tomasz DYSARZ¹, Joanna WICHER-DYSARZ¹
¹Poznań University of Life Sciences, Department of Hydraulic and Sanitary Engineering, POLAND
email: tomasz.dysarz@up.poznan.pl

ABSTRACT


The main problem presented in this paper is the safety inlet navigation of the waterway below the bridge in the city of Kaunas in Lithuania. The analyzed reach is located in the Nemunas river downstream of the Kaunas dam. It is a part of the waterway E-41 leading to the Klaipėda harbor on the southern coast of the Baltic Sea. The work was initiated by the Lithuanian company "UAB "Inžinerinis projektavimas" with funds from the EU-TEN-T project. The main requirement imposed along this reach is to keep sufficient depth even if the hydraulic conditions are in the range of the lowest flows. Specifically, the depth is considered to be sufficient in the investigated reach if it is not lower than 1.15m for minimum flows such as $Q_{95\%}$ and $Q_{99\%}$ with ice. However, the required depth is greater and equals 1.40m below the city. Hence these two depths are taken into account to assess the risk to inland navigation. The hydraulic conditions for maximum flow $Q_{10\%}$, $Q_{5\%}$ and $Q_{1\%}$ are also taken into account for control because the threat of hydraulic jump generation was noticed. The values of tested discharges are presented in Table 1.

Table 1. Provided hydrologic information (source: Lithuanian Hydrometeorological Service).

type ⁽¹⁾	minimum flows ⁽²⁾		maximum flows ⁽³⁾		
	95% ⁽⁴⁾	99% ⁽⁴⁾	50% ⁽⁴⁾	5% ⁽⁴⁾	1% ⁽⁴⁾
specific conditions ⁽⁵⁾	without ice ⁽⁶⁾	with ice ⁽⁶⁾	at		
symbol ⁽⁷⁾	$Q_{95\%}$ ⁽⁸⁾	$Q_{99\%}$ ⁽⁸⁾	$Q_{50\%}$ ⁽⁸⁾	$Q_{5\%}$ ⁽⁸⁾	$Q_{1\%}$ ⁽⁸⁾
value (m ³ /s) ⁽⁹⁾	71.6 ⁽⁹⁾	91.5 ⁽⁹⁾	1212 ⁽⁹⁾	2143 ⁽⁹⁾	3079 ⁽⁹⁾

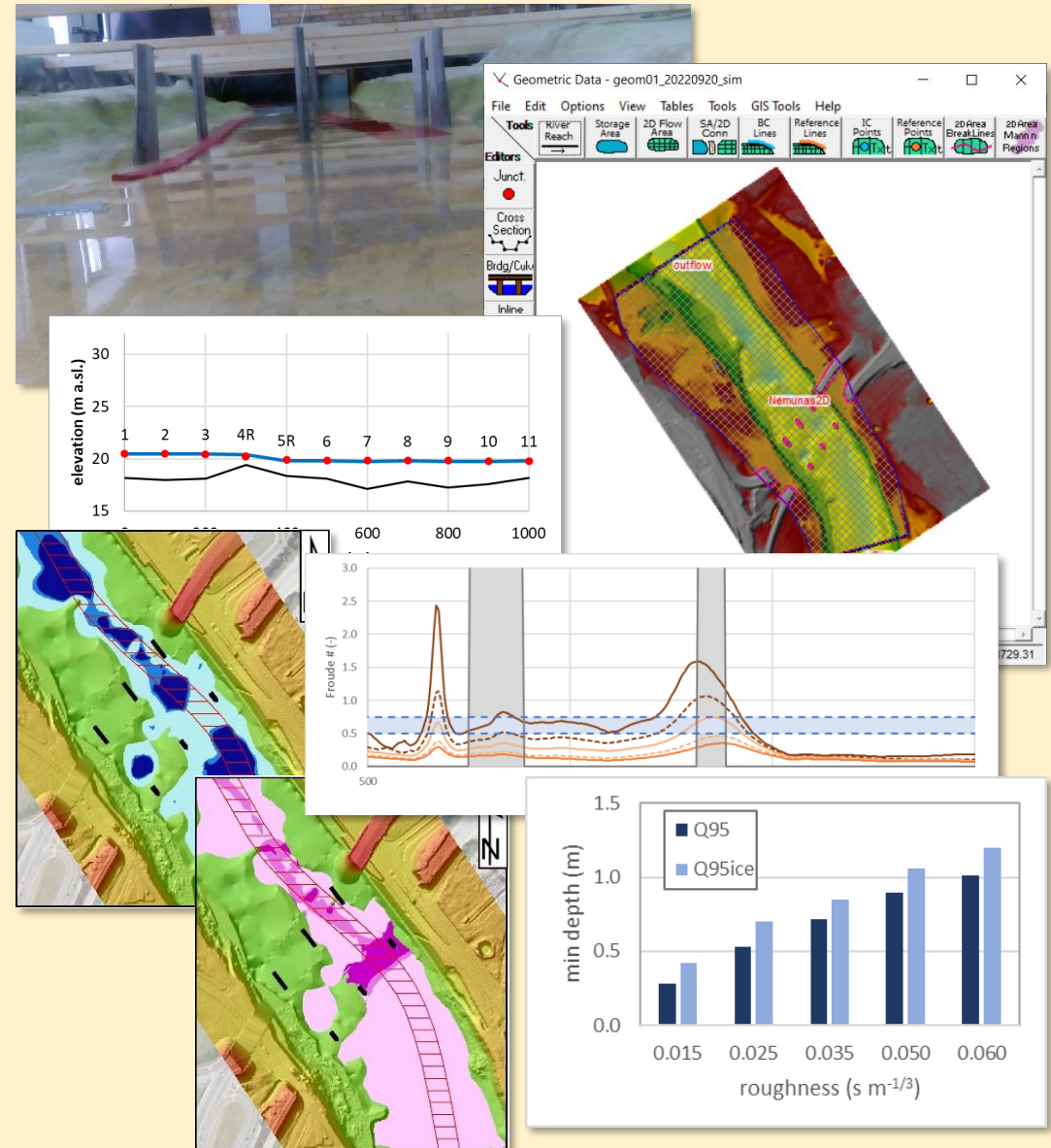
The research is based on geo-referenced data from public and non-public sources. These include the digital terrain model of the standards required by the EU Flood Directive, orthophoto, land cover layers as well as the design of the modeled bridge in the CAD format. The hydrologic data were received from the Lithuanian Hydrometeorological Service. Additionally, the current bathymetry of the investigated reach was measured and reconstructed by spatial interpolation. The tools available in the ArcGIS software were applied to prepare the basic data for numerical simulation.

Two different pieces of software were used. The first is developed by Hydrologic Engineering Center (HEC) quite developed 2D flow model called HEC-RAS. The second applied model, called GEM2, is developed by the GEMA and Flumen Institute (Flumen Institute) in Spain. The numerical approximation of the applied method is a finite element method with quadratic elements. The model results are processed with care and experience. The methods of spatial data processing of this data. While



Podsumowanie

- *Kombinacja symulacji hydrodynamicznych 1D oraz geoprzetwarzania umożliwiła kompleksową ocenę bezpieczeństwa żeglugi na odcinku drogi wodnej E-41 na Litwie.*
- *Bardziej szczegółowe analizy warunków przepływu i bezpieczeństwa żeglugi pod mostem wykonano poprzez łączenie modelowania fizycznego oraz symulacji komputerowych 2D.*
- *Zastosowane modele, HEC-RAS oraz Iber, umożliwiają wiarygodne i efektywne rozwiązanie przedstawionego problemu.*



Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

Politechnika Poznańska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki



Zastosowanie modelowania fizycznego i numerycznego do określenia bezpieczeństwa odcinka drogi wodnej E41 w Kownie

Autorzy: Tomasz Dysarz⁽¹⁾, Tomasz Kałuża⁽¹⁾, Karolis Mickevičius⁽²⁾, Jonas Veigneris⁽²⁾,
Paweł Zawadzki⁽¹⁾, Sebastian Kujawiak⁽¹⁾, Stanisław Zaborowski⁽¹⁾,
Joanna Wicher-Dysarz⁽¹⁾, Natalia Walczak⁽¹⁾, Jakub Nieć⁽¹⁾,
Raimundas Baublys⁽³⁾



Institucje: (1) Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Polska
(2) UAB „Inžinerinis projektavimas“, Wilno, Litwa
(3) Vytautas Magnus University Agriculture Academy, Kowno, Litwa



Poznań, 2023