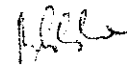
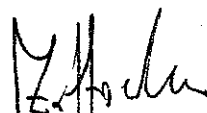


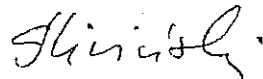


Ekspertyza techniczna
„Określenie przyczyn nieprawidłowości w działaniu wrót
śluzy na SW we Włocławku wraz z określeniem metod
naprawczych”

ZAMAWIAJĄCY: Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie
 Zarząd Zlewni we Włocławku

WYKONAWCA: GPŚ Gabriela Puchalska
 05-800 Pruszków, ul. B. Prusa 62 lok. 56
 NIP: 8131257910
 REGON: 381274759
 TEL.: 608171655
 e-mail: gpuchalska@poczta.onet.pl

Autorzy	Data	Podpis
mgr inż. Gabriela Puchalska uprawnienia budowlane hydrotechniczne MAZ/0688/WBH/17	grudzień 2018	
dr hab. inż. Krzysztof Żółtowski, prof. nadzw. PG uprawnienia budowlane w zakresie mostów 5506/Gd/93, uprawnienia budowlane do projektowania w zakresie mostów POM/0135/POOK/11, Rzecznik projektowanie w zakresie mostów RZE/X/0009/12 nr ewid. POM/BM/5710/01	grudzień 2018	
mgr inż. Przemysław Kalitowski	grudzień 2018	
mgr inż. Mikołaj Binczyk	grudzień 2018	
mgr inż. Piotr Śliwiński uprawnienia budowlane hydrotechniczne 5810/Gd/94 uprawnienia budowlane hydrotechniczne do projektowania POM/0223/PBH/17	grudzień 2018	

Pruszków, grudzień 2018 r.

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP

- 1.1. Postawa i cel opracowania
- 1.2. Lokalizacja przedmiotu ekspertyzy technicznej
- 1.3. Wykorzystane materiały

2. OPIS BUDOWLI

- 2.1. Stopień wodny Włocławek
- 2.2. Śluza Włocławek – parametry i opis
- 2.3. Opis nieprawidłowości w działaniu śluzy

3. OBSERWACJE DZIAŁANIA WRÓT W TRAKCIE WIZJI LOKALNYCH

4. WYKONANE POMIARY I ANALIZY

- 4.1. Analiza statyczna
- 4.2. Monitoring geodezyjny
- 4.3. Skaniny laserowe
- 4.4. Porównanie przemieszczeń wrót prawych
- 4.5. Pomiar przyspieszeń
- 4.6. Rejestracja wideo

5. WNIOSKI

- 5.1. Przyczyna powstawania drgań
- 5.2. Wytyczne realizacyjne
- 5.3. Szacunkowe koszty niezbędnych prac naprawczych

6. PODSUMOWANIE

ZAŁĄCZNIK

Płyta CD z animacją skaningu laserowego

1. WSTĘP

1.1. Postawa i cel opracowania

Niniejszą ekspertyzę techniczną mającą na celu określenie przyczyn nieprawidłowości w działaniu wrót śluzy na stopniu wodnym we Włocławku wraz z określeniem metod naprawczych wykonano na zlecenie Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie Zarząd Zlewni we Włocławku – umowa nr ZPH.283.2.2.2018 wraz z aneksem nr 1 z dnia 23.10.2018 r.

Celem opracowania jest wykonanie niezbędnych pomiarów i analiz pozwalających na określenie przyczyn nieprawidłowości w działaniu wrót śluzy na SW we Włocławku objawiających się wibracjami i wstrząsami wrót podczas napełniania i opróżniania komory oraz zaplanowanie zakresu i metod naprawczych eliminujących nieprawidłowości i określenie szacunkowych kosztów zalecanych robót naprawczych.

1.2. Lokalizacja przedmiotu ekspertyzy technicznej

Śluza Włocławek jest budowlą wchodzącą w skład zespołu budowli hydrotechnicznych SW Włocławek zlokalizowanego w kilometrze 674+750 rzeki Wisły, w mieście Włocławek, woj. kujawsko-pomorskie.

1.3. Wykorzystane materiały

- [1] „Opis przedmiotu zamówienia”. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Zarząd Zlewni we Włocławku.
- [2] Projekt techniczno-roboczy Stopień Wodny we Włocławku. Śluza. Wrota wsporne, zasuwy we wnękach i okucia. Wykonawca: Hydroprojekt. Kierownik pracowni: mgr inż. Jan Matraszek.
- [3] PN-64/B-03203 Konstrukcje stalowe. Zamknięcia hydrotechniczne. Projektowanie i wykonanie
- [3] Budowle hydrotechniczne stopnia Włocławek. Zapora, jaz i śluza - okresowa ocena stanu technicznego, IMGW – PIB, OTKZ, Warszawa, grudzień 2012 r.
- [4] USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne
- [5] 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.

[6] Normy i zalecenia techniczne.

[7] Strona internetowa Zamawiającego: <https://warszawa.rzgw.gov.pl>

2. OPIS BUDOWLI

2.1. Stopień wodny Włocławek

Stopień Włocławek wybudowano w latach 1962-1970. Stopień został zlokalizowany w kilometrze 674+750 rzeki Wisły. Oprócz SW Włocławek ówczesna koncepcja kaskady przewidywała budowę stopni w Wyszogrodzie i Płocku powyżej oraz w Ciechocinku, Solcu Kujawskim, Chełmnie, Opaleniu i Tczewie poniżej. Kolejnym stopniem kaskady miał być stopień Ciechocinek, podpierający cofką dolne stanowisko stopnia Włocławek. Po zakończeniu w 1970 roku budowy Włocławka, wobec trudności w finansowaniu dalszych inwestycji, zaniechano realizacji kolejnych stopni. Konsekwencją była erozja koryta rzeki poniżej Włocławka i znaczne obniżenie poziomu dolnej wody, które spowodowało zwiększenie gradientów hydraulicznych w podłożu budowli i nasilenie procesów filtracyjnych. Ponadto z tej przyczyny utrudniona została praca śluzy. Konieczne było podjęcie dodatkowych zabiegów związanych z poprawą bezpieczeństwa stopnia. Od wielu lat mówi się o budowie stopnia w Siarzewie, który przywróci warunki eksploatacyjne zgodne z założeniami projektowymi budowli stopnia Włocławek.

2.2. Śluza Włocławek – parametry i opis

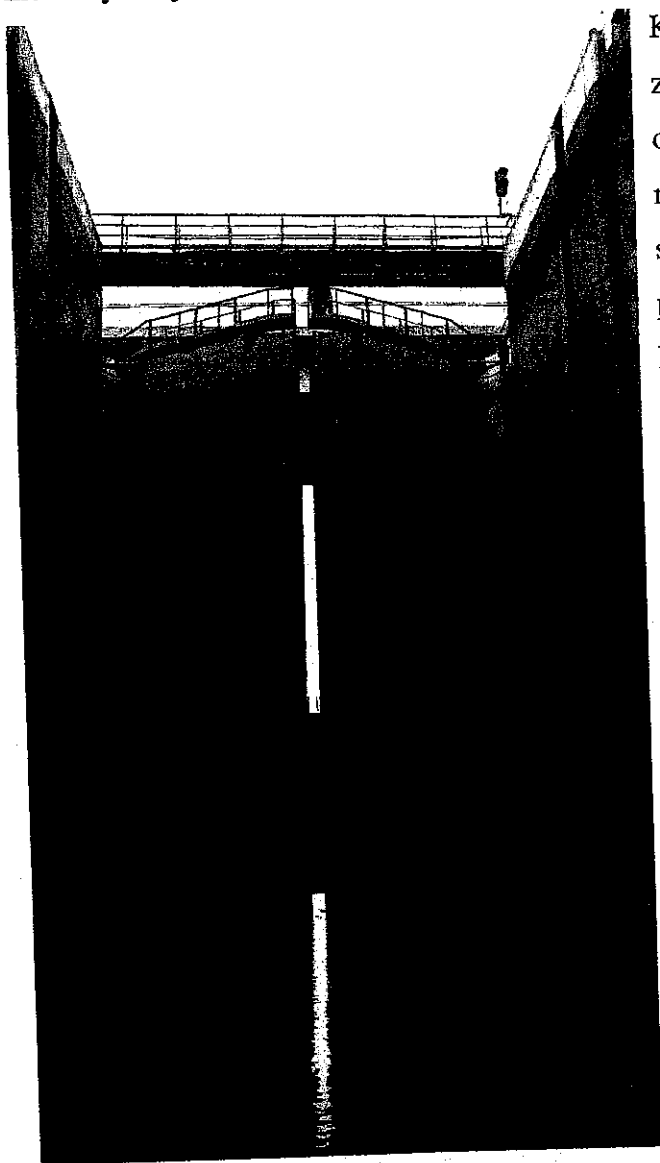
2.2.1. Funkcje budowli

Obiekt śluzy celom żeglugowym umożliwiając jednostkom pływającym pokonywanie różnicy poziomów wody pomiędzy dolnym i górnym stanowiskiem stopnia na maksymalny spad projektowany 12,80 m, spad aktualny 14,40 m.

2.2.2. Konstrukcja budowli

Śluza żeglugowa z awanportami zlokalizowana na brzegu lewym ma komorę o wymiarach 115,0 x 12,0 m z minimalną głębokością na progu dolnym 3,50 m (obecnie 1,1m). Śluza ma konstrukcję komorową z głową górną i głową dolną. Górne zamknięcie śluzy stanowi segment opuszczany o napędzie hydraulicznym, współpracujący przy napełnianiu śluzy z komorą do rozpraszania energii wody. W głowie dolnej zainstalowano wrota wsporne

z napędem hydraulicznym. Głowa górna i głowa dolna wykonane zostały w formie monolitycznej konstrukcji żelbetowej.



*Rys.2.1. Widok ogólny wrót dolnych śluzy
Włocławek*

Komora wykonana jest w sześciu zdylatowanych sekcjach dokowych o długości 16 m każda. Jako zamknięcia remontowe przewidziano w obu głowach stalowe belki szandorowe zakładane za pomocą samojezdnego dźwigu.

Napełnianie i opróżnianie komory śluzy odbywa się poprzez kanały obiegowe. Wloty umieszczone są w głowach po obu stronach śluzy. Z kanałów obiegowych woda płynie do podłużnych galerii komory z otworami rozmieszczonymi na całej długości w dolnej części ścian. Zamknięcia kanałów obiegowych stanowią stalowe zasuwki płaskie. Sterowanie mechanizmami zamknięć śluzy i kanałów obiegowych odbywa się za pomocą przycisków umieszczonych w pomieszczeniach mechanizmów lub centralnie z pulpitu wieży sterowniczej,

stojącej po prawej stronie dolnej głowy. Dno dolnego awanportu, na odcinku o nabrzeżach w formie murów

oporowych, jest umocnione płytami betonowymi.

W podłożu budowli zalegają ropy i gliny płoceńskie. Budowlę zabezpieczono przed filtracją ekranem glinowym łączącym betonowy blok elektrowni z górną głową śluzy i poprowadzonym dalej w kierunku poprzecznym do Wisły, do połączenia z warstwą gruntów spoistych. Poniżej ekranu wzdłuż ścian komory poprowadzono drenaż rurowy odprowadzający wodę do dolnego awanportu.

Na śluzie, od czasu jej wybudowania, nie przeprowadzano prac wpływających na zmiany konstrukcyjne lub zmieniających cechy użytkowe. W 2005 roku przeprowadzono remont obiektu polegający na naprawie powierzchniowych uszkodzeń betonów, uszczelnieniu dylatacji, wykonaniu nawierzchni koron głów i ścian komory, nowych krawężników, oraz powłok ochronnych na betonach.

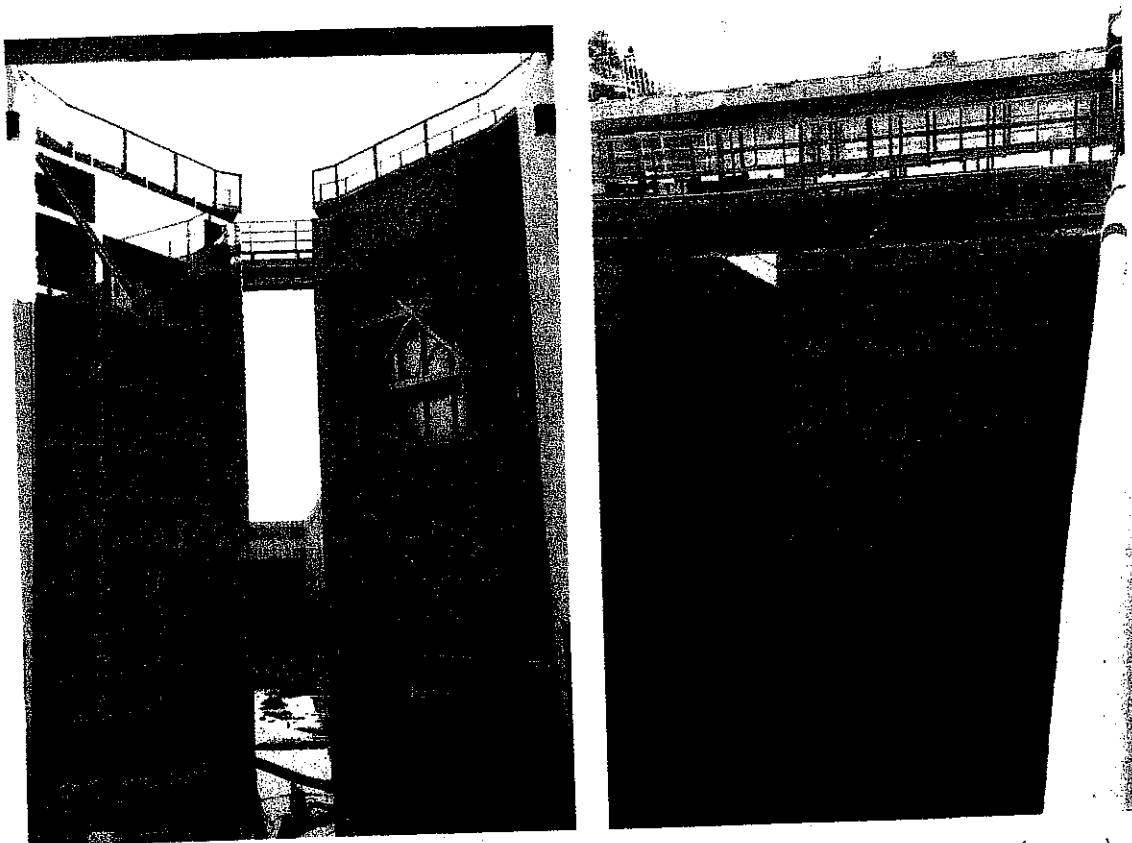
W latach 2009 - 2015, w ramach programu „Poprawa stanu technicznego i bezpieczeństwa powodziowego Stopnia Wodnego Włocławek” (Projekt POIS.03.01.00-00-012/11, Obiekt 4: Remont śluzy i awanportów), zrealizowano:

- nasyp ziemny zamykający odcinek zapory bocznej Stopień – Wistka,
- remont betonowej konstrukcji murów oporowych, wyposażenia mechanicznego i elektrycznego,
- remont płyt ubezpieczenia skarp dolnego awanportu,
- wymianę dźwigu w wieży sterowni,
- renowację i modernizację części mechanicznej: urządzeń oraz konstrukcji stalowych na śluzie, w tym wykonanie nowych instalacji odładowania wrót i segmentu,
- remont nawierzchni wokół komory śluzy z wymianą odwodnienia powierzchniowego terenu przy komorze śluzy,
- przebudowę oświetlenia zewnętrznego,
- przebudowę kablowych sieci elektrycznych, telekomunikacyjnych, światłowodowych oraz punktów poboru energii elektrycznej w awanportach.

Według informacji uzyskanych od Zamawiającego, w ramach renowacji wrót, wymieniono uszczelnienia główne i boczne wrót wspornych na głowie dolnej.

2.2.3. Wrota wsporne dolnego stanowiska śluzy

Przedmiotem opracowania są wrota wsporne będące zamknięciem głowy dolnej śluzy we Włocławku. Wrota wsporne stanowią dwa ruchome skrzydła.



Rys.2.2. Widok na wrota od strony dolnej wody (lewo) i od strony komory (prawo)

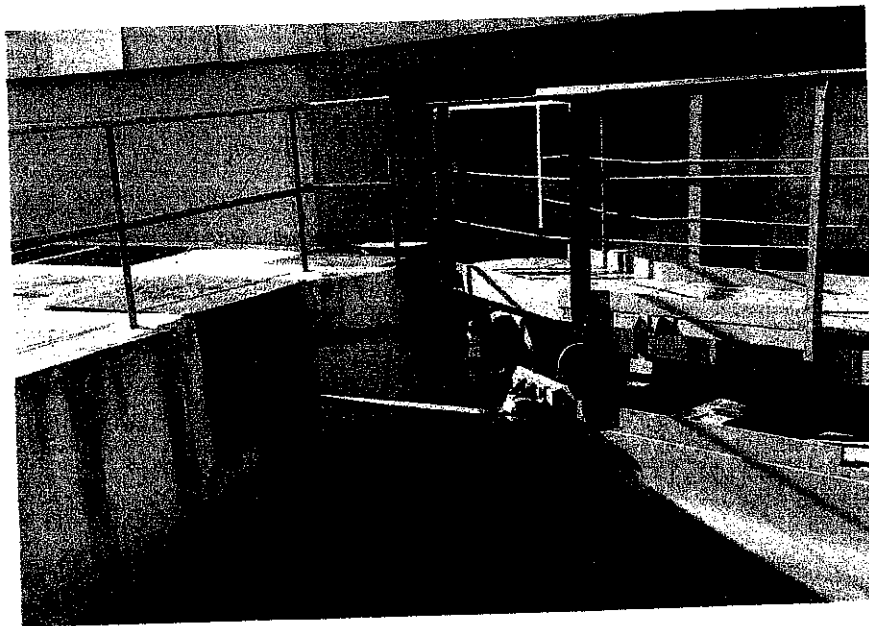
Każde ze skrzydeł wrót składa się z następujących elementów:

- zebra – główne dźwigary przenoszące obciążenia,
- blachy opierające, ruszt piętrzący i elementy stężające,
- uszczelnienia gumowe,
- łożyska zwornikowe,
- pomost górny.

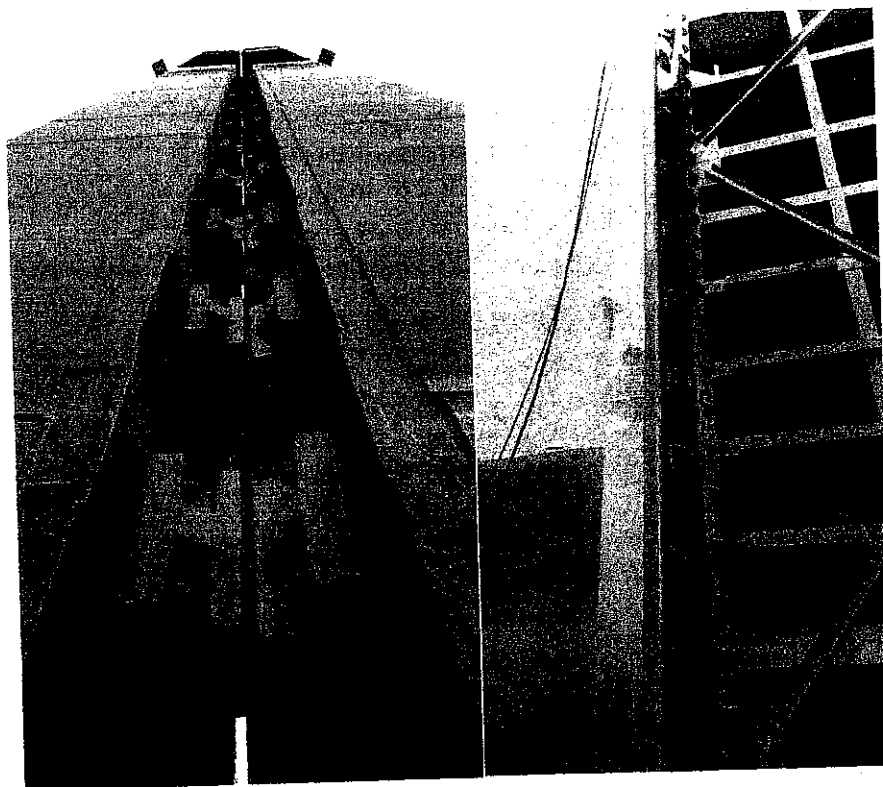
Według projektu pracę śluzy przewidziano dla NPP. Wrota wsporne zaprojektowano na różnicę poziomów wody: $H = 12,80$ m.

Napęd wrót stanowią siłowniki hydrauliczne.

Elementy główne i nośne konstrukcji wrót wspornych zaprojektowano ze stali St3M, a elementy drugorzędne ze stali St3S.



Rys. 2.3. Siłownik stanowiący napęd skrzydła wrót śluzy



Rys.2.4. Widok na łożyska zwornikowe (lewo) i słup obrotowy stanowiący jednocześnie oparcie poziome dla wrót (prawo)

2.3. Opis nieprawidłowości w działaniu śluzy

Przed przystąpieniem do opracowania niniejszej ekspertyzy wysłuchano relacji obsługi śluzy opisującej zachowanie się wrót wspornych w trakcie zamykania. Ponadto Zamawiający udostępnił autorom film wykonany przez obsługę śluzy. Nieprawidłowości w działaniu polegają na nieprecyzyjnym domknięciu skrzydeł i wynikającym z tego zjawisku wstrząsu wrót przy dociśnięciu wrót parciem wody. Tak zwane tapnięcie nie występuje przy każdym zamykaniu wrót, zjawisko ma charakter przypadkowy.

3. OBSERWACJE DZIAŁANIA WRÓT W TRAKCIE WIZJI LOKALNYCH

Dzień 1 (22.09.2018) – Wizja lokalna I

W stanie całkowitego opróżnienia komory śluzy (Zamawiający założył szandorowe zamknięcia remontowe od WG i WD i odpompował komorę) nieuzbrojonym okiem dokonano przeglądu konstrukcji. Wykonano dokumentację zdjęciową. Stwierdzono nieliniowe ułożenie łożysk zwornikowych oraz nieliniowość przebiegu uszczelnienia gumowego bocznego. Dokonano kilkakrotnego zamykania i otwierania wrót śluzy przy pomocy siłowników hydraulicznych.

Dzień 2 (31.10.2018) – Wizja lokalna II

Nadal w stanie całkowitego opróżnienia komory śluzy dokonano przeglądu konstrukcji. Wybrano miejsca na konstrukcji do umieszczenia punktów pomiarowych przemieszczeń i przyspieszeń. Ustalono stanowiska dla instrumentów geodezyjnych i pozostałego sprzętu pomiarowego. Otwierano i zamykano wrota bez obciążenia wodą zwracając uwagę na symetrię pracy wrót oraz ich geometrię i ułożenie względem siebie w momencie zamknięcia. Przeprowadzono konsultacje z obsługą śluzy odnośnie możliwości zatrzymania napełniania/oprózniania śluzy w fazach pośrednich. Obsługa zwróciła uwagę na czynniki sprzyjające występowaniu tapnięcia: wysoka temperatura, silny wiatr od strony wschodniej (górnej wody) i nierówne usytuowanie łożysk zwornikowych po zamknięciu wrót.

Dzień 3 – (02.11.2018) Badania wrót bez obciążenia

Trzeciego dnia (nadal przy opróżnionej komorze) wykonano badania przyspieszeń wrót w trakcie ich zamykania i otwierania. Wykonano skaniny geodezyjne konstrukcji wrót bez obciążenia wodą. Pomiar przeprowadzono przy zamkniętych i otwartych wrotach zarówno od strony górnej jak i dolnej wody.

Dzień 4 – (06.11.2018) Badania wrót w warunkach eksploatacyjnych

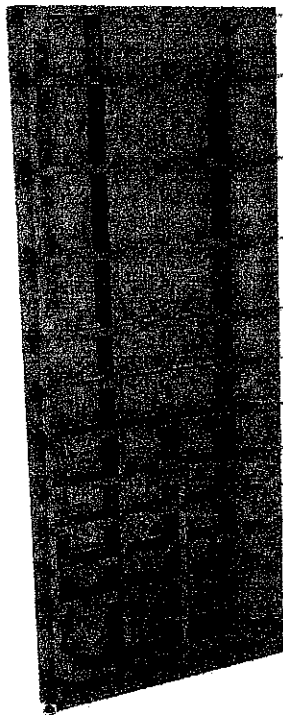
Tego dnia śluza była napełniona (wcześniej zdemontowane zostały przez Zamawiającego zamknięcia remontowe od strony górnej i dolnej wody). Śluzę jednokrotnie opróżniono i napełniono. Opróżniano w 4 fazach, natomiast napełniano w 3 fazach. Po każdej fazie, przy danym poziomie napełnienia, wykonywano: pomiar poziomu wody w śluzie, pomiar geodezyjny i skaning laserowy. Pomiar przyspieszeń prowadzono w sposób ciągły w trakcie opróżniania i napełniania.

Następnie przy opróżnionej śluzie zamykano i otwierano wrota próbując wymusić maksymalny mimośród ustawienia łożysk zwornikowych. Po jego uzyskaniu natychmiast rozpoczęto napełnianie śluzy w jednym kroku. W trakcie napełniania i opróżniania rejestrowano przyspieszenia konstrukcji. Pomimo starań nie udało się ustawić łożysk zwornikowych tak, aby doprowadzić do mimośrodowego zamknięcia się śluzy i tapnięcia.

4. Wykonane pomiary i analizy

4.1. Analiza statyczna

Dla celów analizy statycznej stworzono przestrzenny model numeryczny w środowisku MES SOFiSTiK. Do budowy wykorzystano dwuwymiarowe elementy powłokowe oraz elementy belkowe (profile walcowane). Warunki brzegowe oraz elementy konstrukcyjne wrót odwzorowano zgodnie z dokumentacją [2]. Wizualizację modelu zaprezentowano na rysunku 4.1.1.



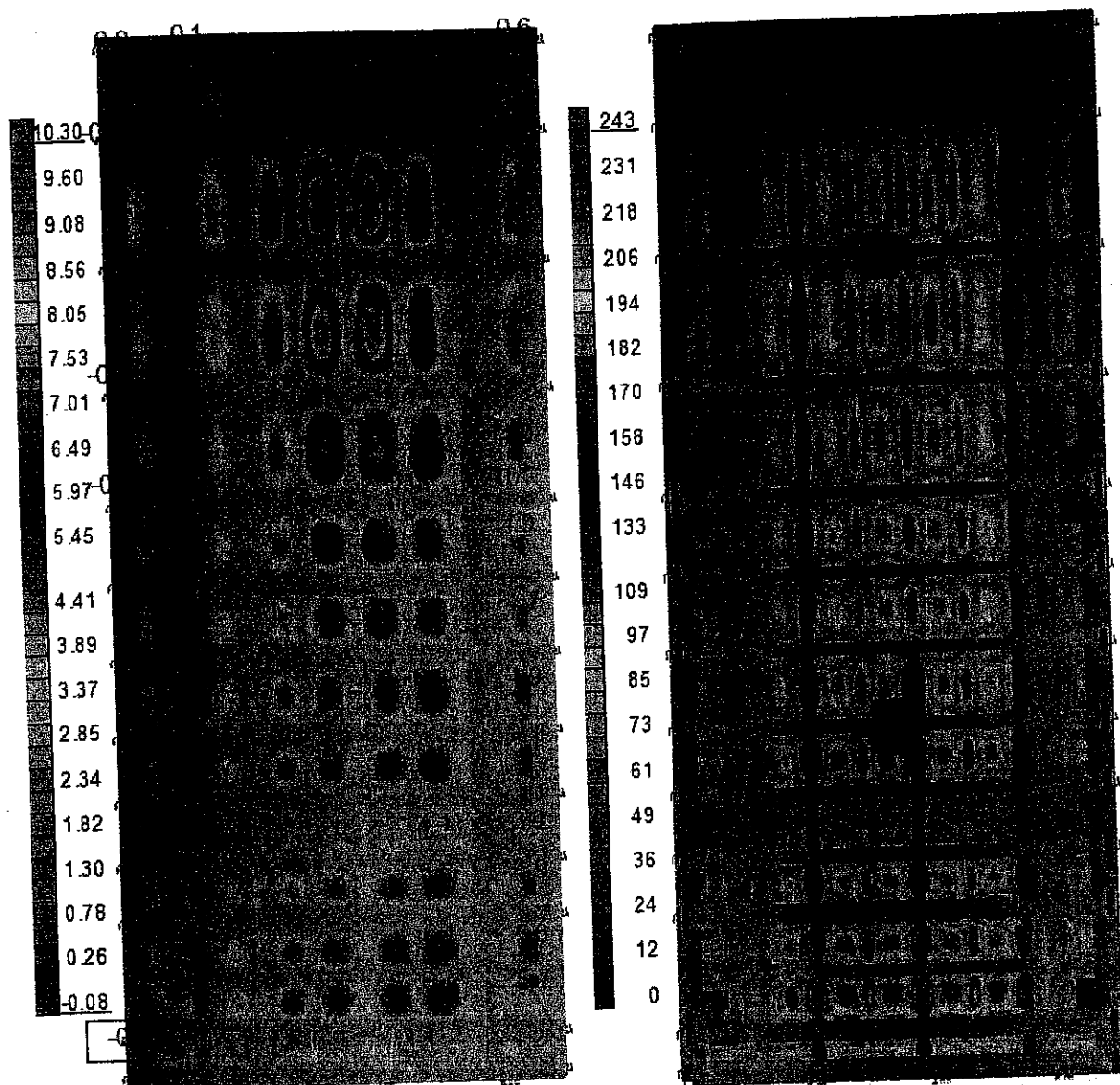
Rys. 4.1.1. Wizualizacja modelu numerycznego prawego skrzydła wrót

Obciążenia

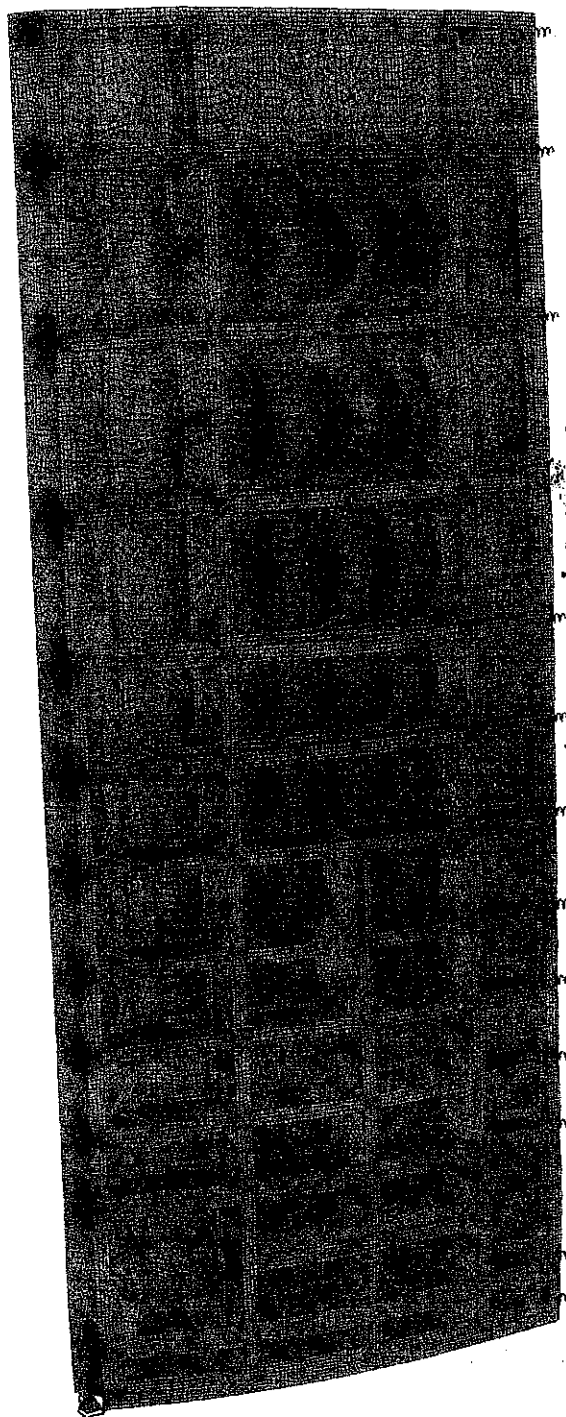
Model numeryczny obciążono ciężarem własnym oraz następującymi przypadkami parcia statycznego wody:

- A – maksymalny możliwy poziom wody górnej (57,30 m n.p.m.) i zerowy poziom wody dolnej (41,80 m n.p.m),
- B.1 – poziom wody górnej 1/3 i poziom wody dolnej +1m,
- B.2 – przyrost poziomu wody górnej od 1/3 do 2/3 i poziom wody dolnej +1m,
- B.3 – przyrost poziomu wody górnej od 2/3 do 3/3 i poziom wody dolnej +1m,

Na rysunku 4.1.2. i 4.1.3. zaprezentowano wyniki obliczeń dla przypadku A obciążeń.

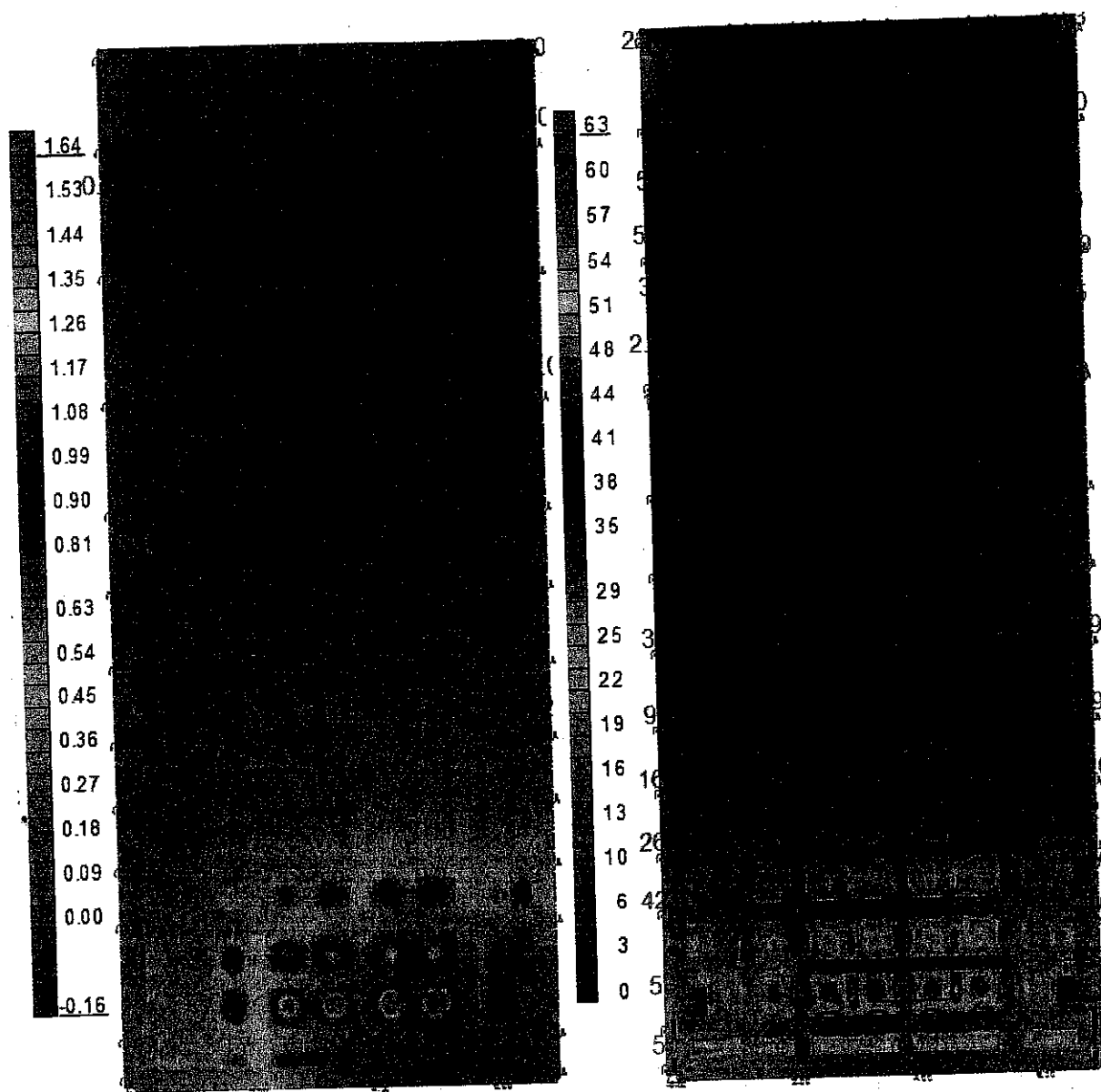


Rys. 4.1.2. Wyniki obliczeń dla przypadku obciążeń A. Przemieszczenia [mm] w kierunku parcia wody (lewo) oraz maksymalne naprężenia zredukowane [MPa] (prawo)

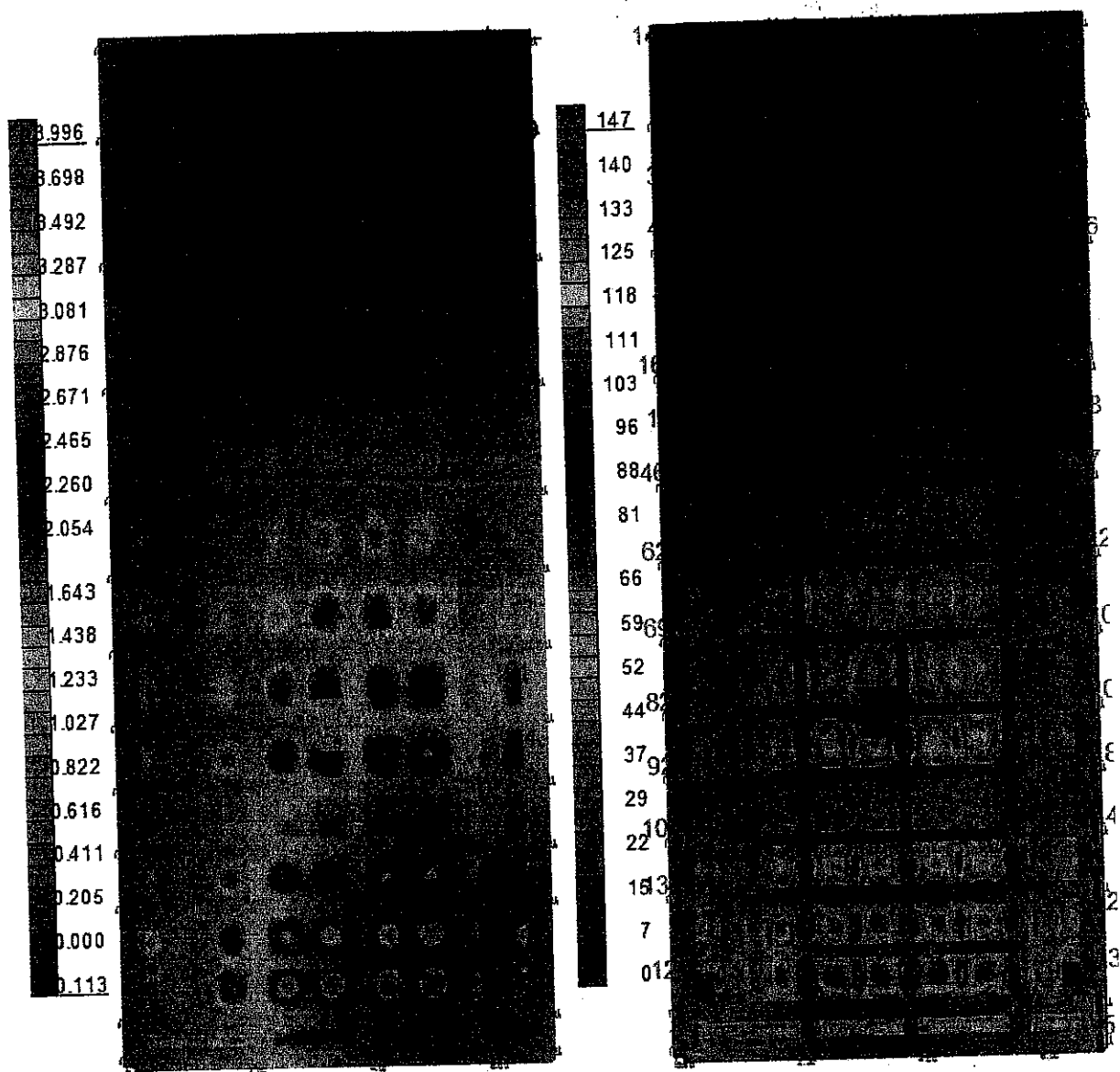


Rys. 4.1.3. Wizualizacja zdeformowanego modelu numerycznego wrót prawych od obciążenia A (skala deformacji x300)

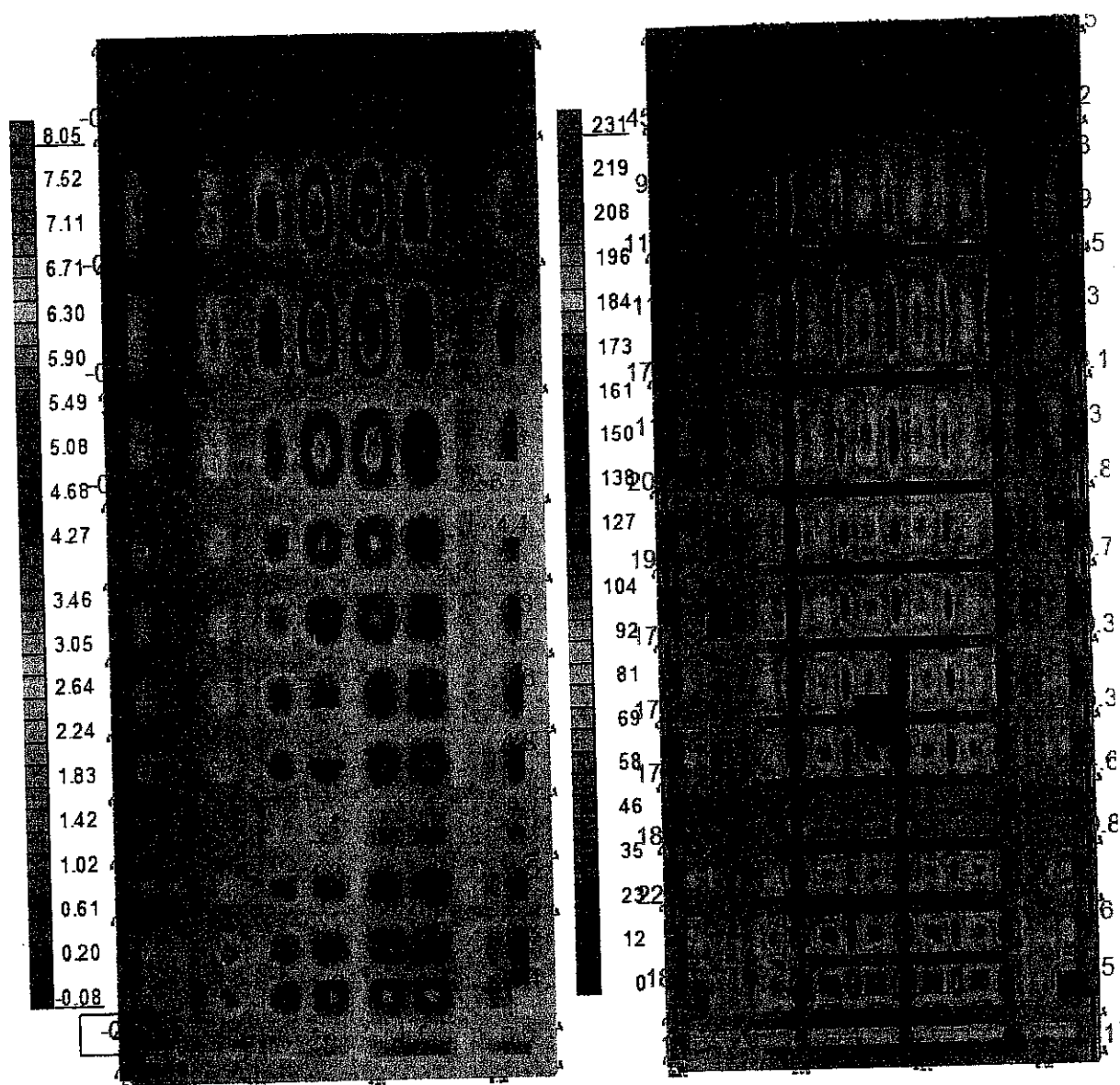
Przypadki od obciążeń od B.1 do B.2 symulowały proces napełniania śluzy zgodny z wykonywanym in situ podczas pomiarów geodezyjnych i skaningu laserowego. Na rysunkach od 4.1.4. do 4.1.6. zaprezentowano wyniki dla poszczególnych etapów napełnienia śluzy.



Rys. 4.1.4. Wyniki obliczeń dla przypadku obciążeń B.1. Przemieszczenia [mm] w kierunku parcia wody (lewo) oraz maksymalne naprężenia zredukowane [MPa] (prawo)



Rys.4.1.5. Wyniki obliczeń dla przypadku obciążeń B.2. Przemieszczenia [mm] w kierunku parcia wody (lewo) oraz maksymalne naprężenia zredukowane [MPa] (pravo)



Rys. 4.1.6. Wyniki obliczeń dla przypadku obciążeń B.1. Przemieszczenia [mm] w kierunku parcia wody (lewo) oraz maksymalne naprężenia zredukowane [MPa] (pravo)

Podsumowanie obliczeń statyczno-wytrzymałościowych

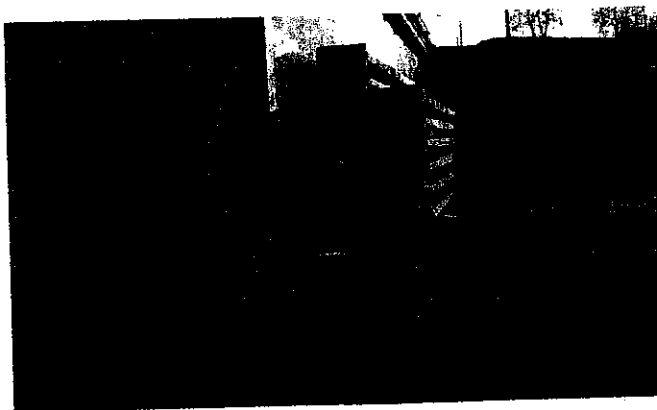
Wszystkich analiz dokonywano wykorzystując wartość charakterystyczne obciążeń.

Na rysunkach 4.1.2. i 4.1.4. - 4.1.6. przedstawiono wytyżenia według hipotezy wytrzymałościowej H-M-H. Maksymalny poziom naprężeń w elementach stanowiących ruszt wynosi ok 140 MPa. Wytyżenie blachy opierającej jest większe i dochodzi do 231 MPa. Wartości te występują w miejscach połączenia elementów powłokowych z belkowymi oraz w miejscach prostopadłego przecinania się powłok. W miejscach tych występuje punktowe (żyłtkowe) przekazywanie sił wewnętrznych, dlatego też wartości naprężeń są sztucznie

zawyżone. W pozostałych obszarach poziom wyężenia blach opierających jest niższy niż 200MPa.

4.2. Monitoring geodezyjny

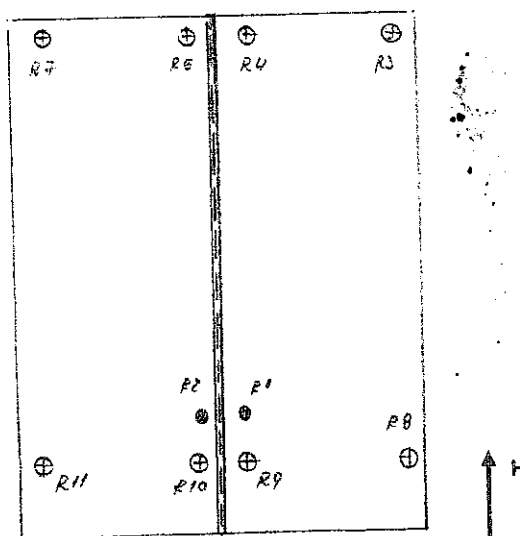
W trakcie opróżniania i napełniania śluzy w dniu 06.11.2018 r. prowadzono monitoring geodezyjny. Pomiarów dokonywano z wykorzystaniem tachimetru Leica TS30 o rozdzielczości pomiaru 0.1 mm.



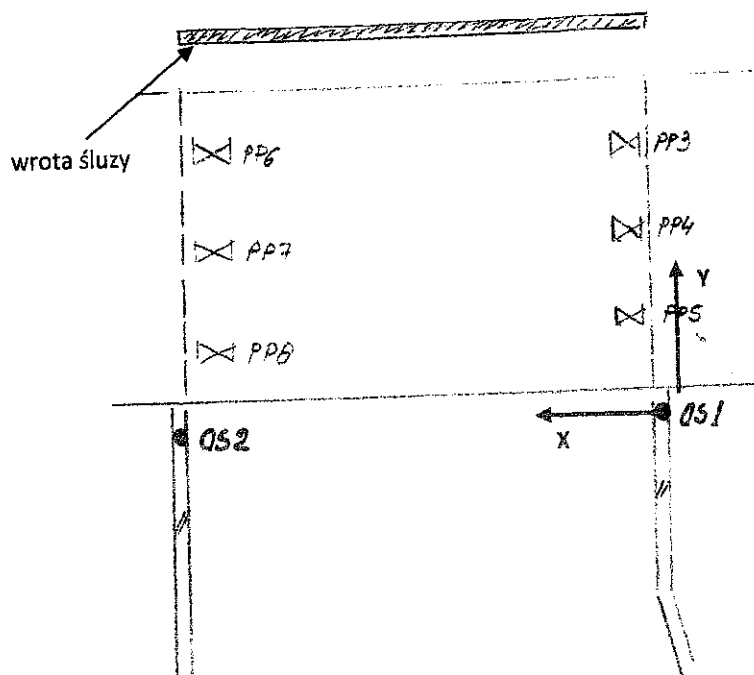
Rys. 4.2.1. Geodeta wykonujący pomiar wraz z instrumentem pomiarowym

Szkic rozmieszczenia punktów pomiarowych oraz punktów dostosowania pokazano na rysunku 4.2.2. Współrzędne punktów dostosowania zaprezentowano w tabeli poniżej i na rys.

4.2.3.



Rys. 4.2.2. Szkic rozmieszczenia punktów pomiaru przemieszczeń na wrotach (R) – widok od strony dolnej wody



Rys.4.2.3. Szkic lokalizacji punktów dostosowania (PP i OS) – widok z góry

NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
OS1	0,0000	0,0000	16,2839
OS2	13,6392	0,0000	16,1682
PP3	0,7763	6,2960	11,2045
PP4	0,7763	6,9296	11,2045
PP5	0,8499	1,2735	9,7372
PP6	12,7388	8,3352	9,7069
PP7	12,7770	5,7626	9,8059
PP8	12,7898	2,8447	9,8470

Podczas opróżniania pomiaru dokonywano w następujących punktach: R1, R2, R3, R4, R5, R7. Odczyty wykonywano 4 razy (pełna i pusta śluza oraz 2 pomiary pośrednie).

Podczas napełniania pomiaru dokonywano w następujących punktach: R1, R2, R3, R4, R5, R7 + R8,R9,R10,R11. Odczyty wykonywano 3 razy (1/4 napełnienia i pełna śluza oraz 1 pomiar pośredni). Pierwszy pomiar wykonano po zalaniu wodą do poziomu zamykającego wrota.

Poniżej przedstawiono współrzędne punktów odczytane podczas pomiarów.

OPRÓŻNIANIE ŚLUZY

POMIAR 1 – PEŁNA ŚLUZA – O3/3			
NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
R1	5,9434	18,4367	9,0595
R2	6,7145	18,6846	9,0480
R3	1,0347	16,4170	21,9594
R4	6,3011	18,6183	21,9482
R5	7,0322	18,5456	21,9503
R7	11,1158	16,9676	21,9467

POMIAR 2 – 2/3 NAPEŁNIENIA – O2/3			
NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
R1	5,9430	18,4385	9,0589
R2	6,7141	18,6871	9,0473
R3	1,0359	16,4172	21,9595
R4	6,3011	18,6213	21,9480
R5	7,0332	18,5489	21,9507
R7	11,1161	16,9685	21,9470

POMIAR 3 – 1/3 NAPEŁNIENIA – O1/3			
NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
R1	5,9425	18,4398	9,0604
R2	6,7159	18,6880	9,0484
R3	1,0361	16,4173	21,9596
R4	6,3012	18,6218	21,9484
R5	7,0335	18,5499	21,9508
R7	11,1162	16,9687	21,9473

POMIAR 4 – OPRÓŻNIONA ŚLUZA – O0/3			
NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
R1	5,9428	18,4419	9,0606
R2	6,7151	18,6902	9,0479
R3	1,0360	16,4172	21,9597
R4	6,3009	18,6223	21,9484
R5	7,0334	18,5506	21,9506
R7	11,1161	16,9687	21,9471

NAPEŁNIANIE ŚLUZY

POMIAR 1 – 1/4 NAPEŁNIENIA – N1/3			
NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
R1	5,9475	18,4356	9,0605
R2	6,7182	18,6969	9,0474
R3	1,0367	16,4151	21,9598
R4	6,3063	18,6090	21,9479
R5	7,0356	18,5568	21,9515
R7	11,1165	16,9707	21,9473
R8	1,3673	16,5399	8,0816
R9	6,3374	18,5945	7,7750
R10	6,9442	18,6058	7,7456
R11	11,7340	16,7364	8,0670

POMIAR 2 – 2/3 NAPEŁNIENIA - N2/3			
NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
R1	5,9469	18,4317	9,0607
R2	6,7168	18,692	9,0476
R3	1,0346	16,4151	21,9591
R4	6,3030	18,6093	21,9479
R5	7,0344	18,5567	21,9507
R7	11,1153	16,9690	21,9460
R8	1,3658	16,5377	8,0810

R9	6,3367	18,5908	7,7753
R10	6,9426	18,6019	7,7458
R11	11,7332	16,7352	8,0670

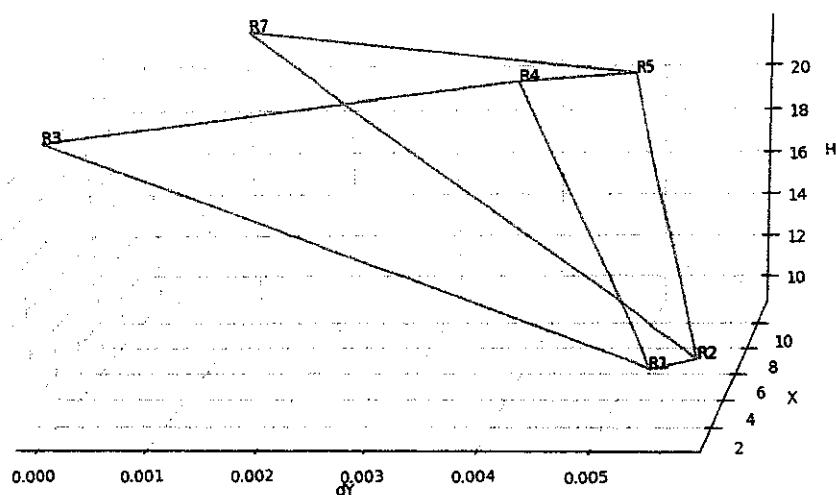
POMIAR 3 – PEŁNA ŚLUZA – N3/3			
NR.	X [m]	Y [m]	H [m]
R1	5,946	18,4314	9,0611
R2	6,7157	18,6925	9,0479
R3	1,0338	16,4144	21,9595
R4	6,3040	18,6066	21,9478
R5	7,0335	18,5536	21,9511
R7	11,1151	16,9704	21,9473
R8	1,3655	16,5371	8,0810
R9	6,3360	18,5905	7,7756
R10	6,9417	18,6016	7,7460
R11	11,7328	16,7356	8,0672

Przemieszczenia punktów pomiarowych na kierunku X, Y, H obliczono jako różnicę współrzędnej końcowej i początkowej osobno dla procesu napełniania i opróżniania. Poniżej przedstawiono rezultaty przemieszczeń. Dodatkowo przemieszczenia na kierunku Y przedstawiono na wykresach (rysunek 4.2.4. i 4.2.5.).

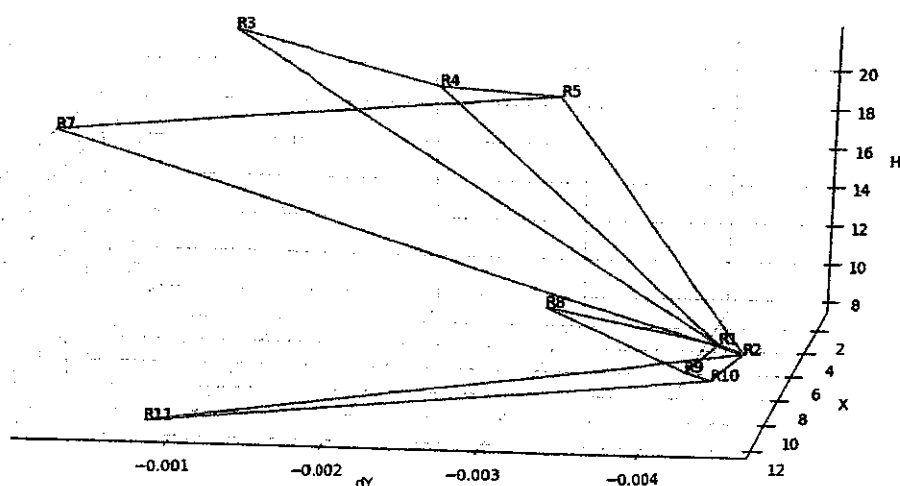
PRZEMIESZCZENIA – od N1/3 do N3/3			
NR.	dX [m]	dY [m]	dH [m]
R1	-0,0015	-0,0042	0,0006
R2	-0,0025	-0,0044	0,0005
R3	-0,0029	-0,0007	-0,0003
R4	-0,0023	-0,0024	-1E-04
R5	-0,0021	-0,0032	-0,0004
R7	-0,0014	-0,0003	0
R8	-0,0018	-0,0028	-0,0006
R9	-0,0014	-0,004	0,0006

R10	-0,0025	-0,0042	0,0004
R11	-0,0012	-0,0008	0,0002

PRZEMIESZCZENIA – od O3/3 do O0/3			
NR.	dX [m]	dY [m]	dH [m]
R1	-0,0006	0,0052	0,0011
R2	0,0006	0,0056	-1E-04
R3	0,0013	0,0002	0,0003
R4	-0,0002	0,004	0,0002
R5	0,0012	0,005	0,0003
R7	0,0003	0,0011	0,0004



*Rys. 4.2.4. Przesunięcia punktów pomiarowych na kierunku Y podczas opróżniania:
POMIAR 4 – POMIAR 1 [m]*



Rys. 4.2.5. Przeszczenia punktów pomiarowych na kierunku Y podczas napełniania:

POMIAR 3 – POMIAR 1 [m]

4.3. Skaniny laserowy

W celu kompleksowej inwentaryzacji i oceny deformacji całych wrót przeprowadzono skaniny laserowy. Pomiary wykonano w dwóch etapach. Pierwszy wykonano w dniu 02.11.2018r. Obejmował on pomiary zamkniętych i otwartych wrót przy osuszonej śluzy. Drugi przeprowadzono w dniu 06.11.2018 r. w trakcie opróżniania i napełniania śluzy. Skaniny objęto całą śluzę. Animacja 3D śluzy znajduje się na załączonej płycie CD. Poniżej szczegółowo opisano i zaprezentowano wyniki pomiarów z dnia 06.11.2018 r. – w trakcie napełniania śluzy.

Przebieg pomiarów:

Wykonano inwentaryzację stanu istniejącego wrót stosując technologię skanowania laserowego za pomocą urządzenia firmy Faro: Focus 3D X130. Wyniki inwentaryzacji pozwalają na ocenę przemieszczeń i przechyleń elementów wrót podczas napełniania śluzy. Przed pomiarem zastabilizowano 6 znaków płaskich, aby móc za ich pomocą wpasować się w odpowiedni układ współrzędnych oraz 6 kul orientujących, które pozwoliły wykonać rejestrację chmur z odpowiednią analizą dokładnościową. Z powodu rozmiaru wrót (12,5 m x 16 m) oraz utrudnionego do nich dostępu należało wykonać 2 pomiary (z lewej i prawej strony), aby zeskanować całe wrota.

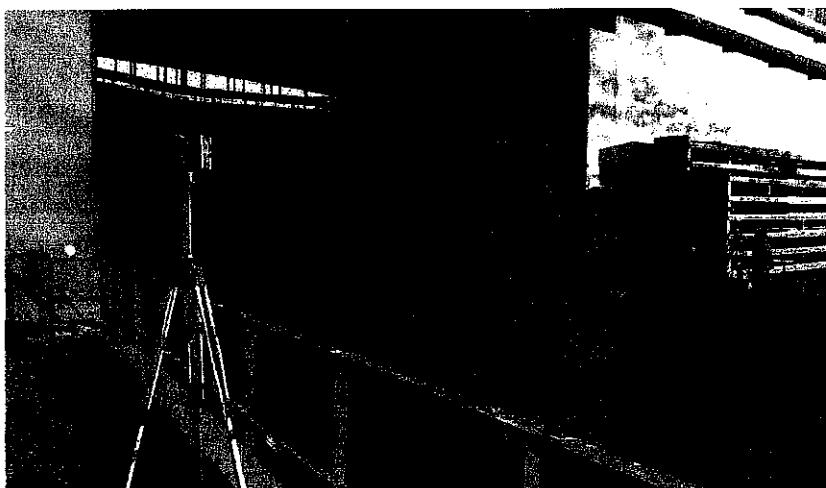
Pomiary można podzielić na 3 etapy:

a) etap I – (2 pomiary każdy po 12 minut, jeden z lewej, drugi z prawej strony) pomiar wrót przy napełnieniu śluzy do 1/3 wysokości piętrzenia,

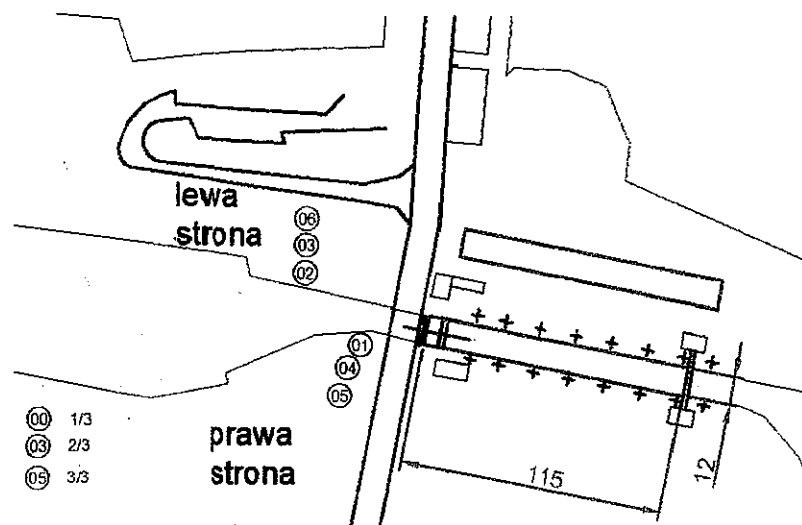
- b) etap II – (2 pomiary każdy po 12 minut, jeden z lewej, drugi z prawej strony) pomiar wrót przy napełnieniu śluzy do 2/3 wysokości piętrzenia,
- c) etap III – (2 pomiary każdy po 12 minut, jeden z lewej, drugi z prawej strony) pomiar wrót przy napełnieniu śluzy do 3/3 wysokości piętrzenia.

Opracowanie wyników:

- a) liczba wszystkich stanowisk: 6,
- b) liczba znaków orientujących płaskich: 6 (nazwy od 03 - 08),
- c) liczba kul orientujących: 6,
- d) łączenie chmur punktów na podstawie kul orientujących oraz znaków płaskich,
- e) opracowanie wszystkich stanowisk skanera w jednym projekcie (podczas jednego procesu rejestracji), maksymalny błąd dopuszczalny połączenia jednego stanowiska pomiarowego 1,5 mm,

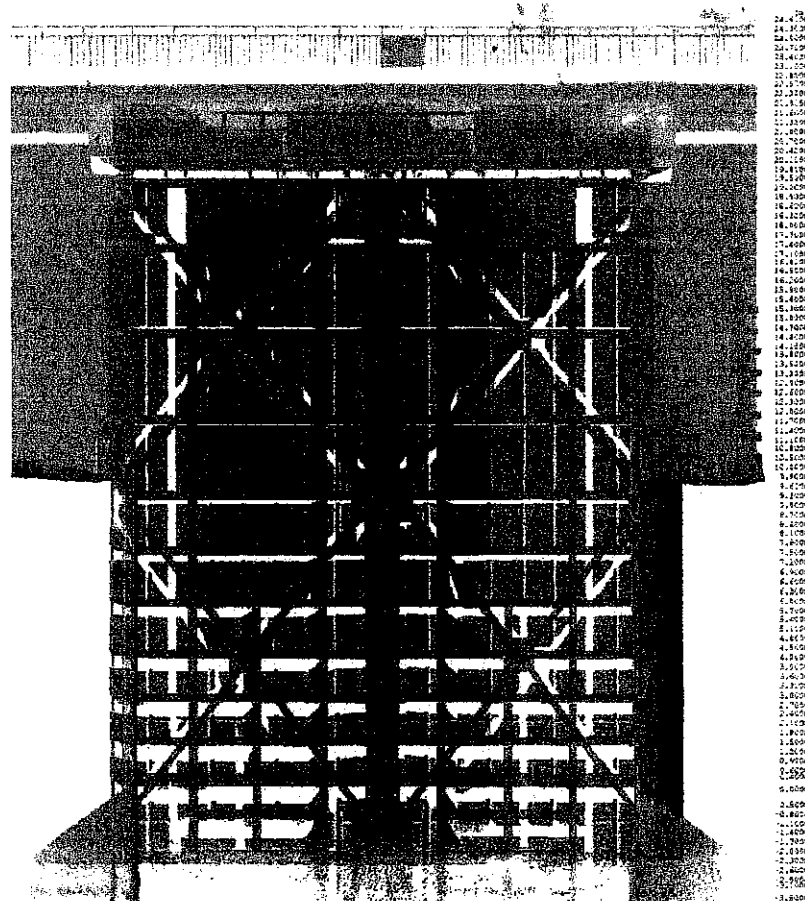


Rys. 4.3.6. Skaner geodezyjny w trakcie pracy po stronie dolnej wody

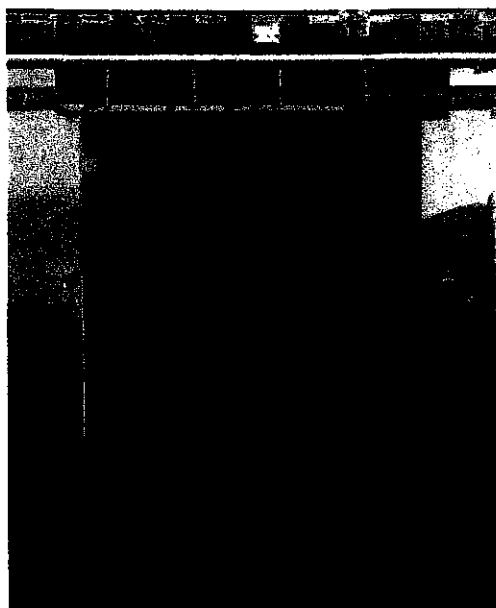


Rys. 4.3.7. Schemat śluzy z zaznaczonymi stanowiskami skanowania od 1 do 6

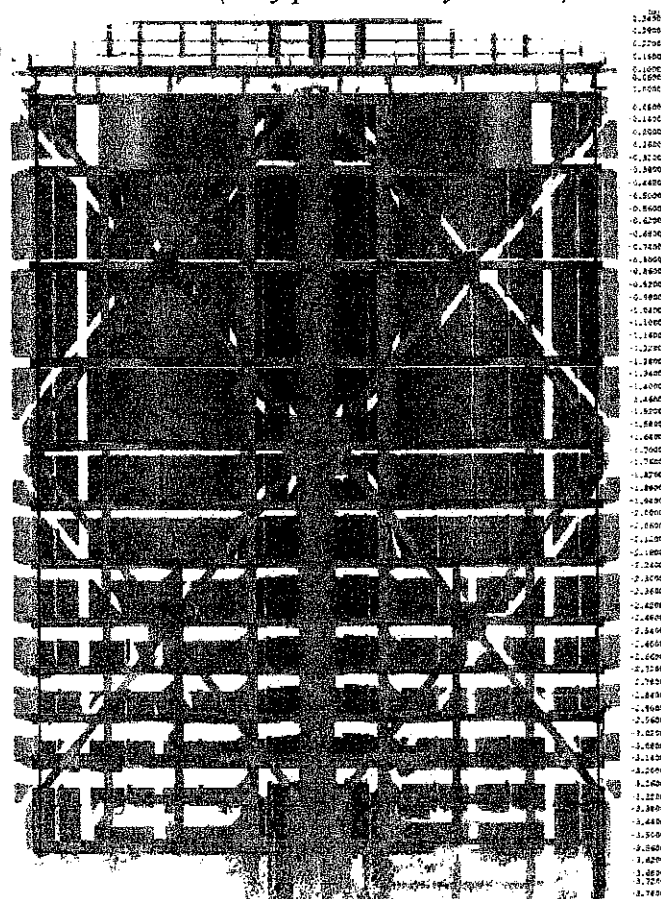
Wyniki skanowania laserowego:



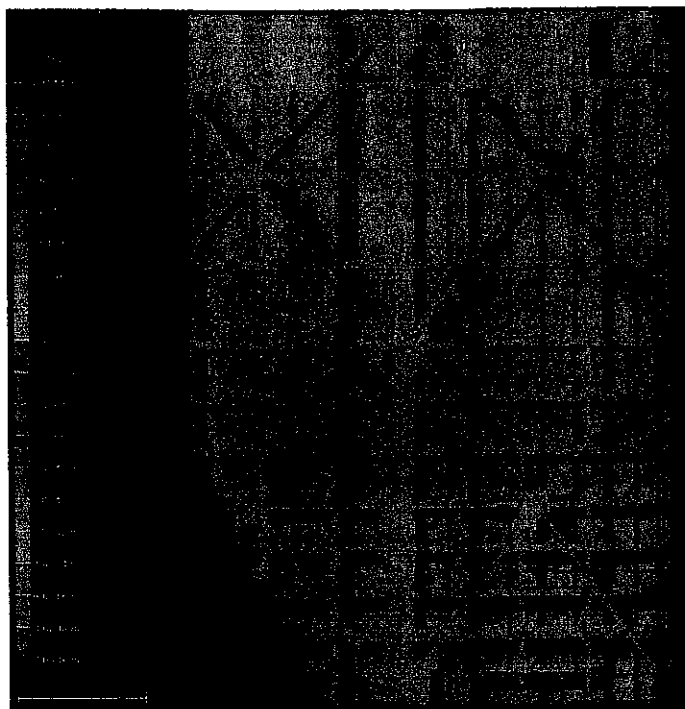
Rys. 4.3.8 Wynik skanowania – inwentaryzacja drzwi i otoczenia (stały poziom wody w śluzie)



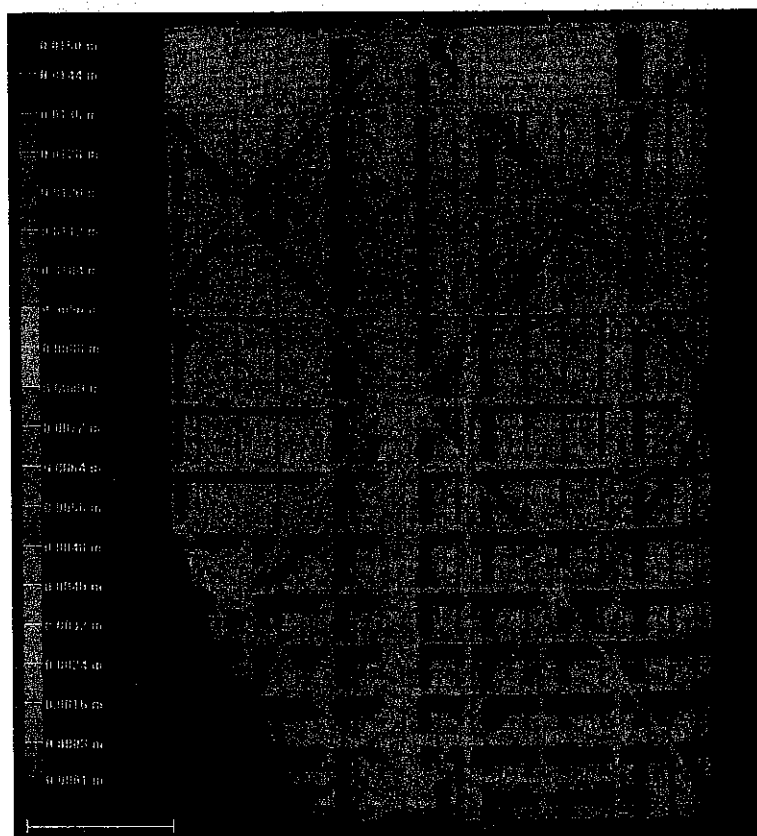
Rys. 4.3.9. Wynik skanowania z nałożonymi kolorami chmury punktów – inwentaryzacja wrót i otoczenia (stały poziom wody w śluzie)



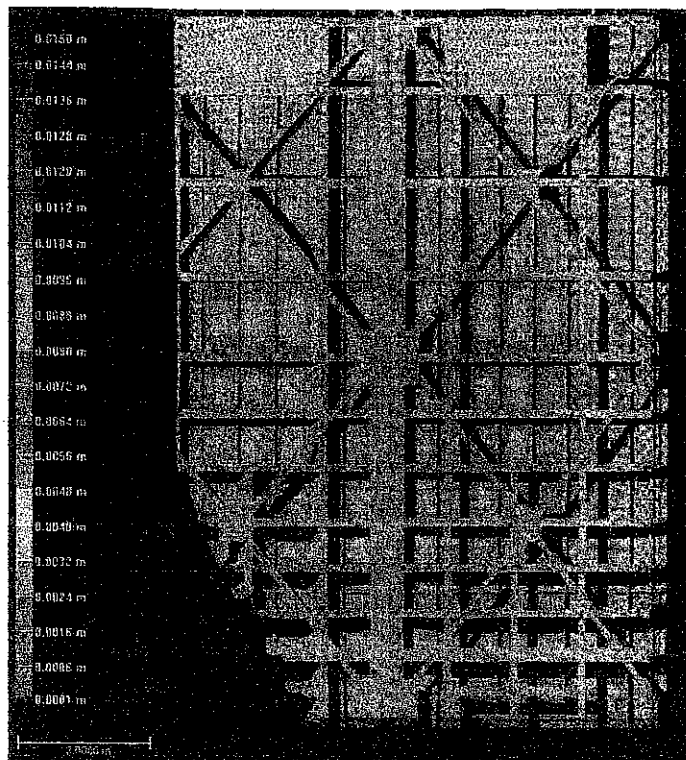
Rys. 4.3.10. Wynik skanowania – inwentaryzacja samych drzwi (stały poziom wody w śluzie)



Rys. 4.3.11. Wynik skanowania - deformacje wrót przy napełnianiu śluzy od 1/3 do 2/3



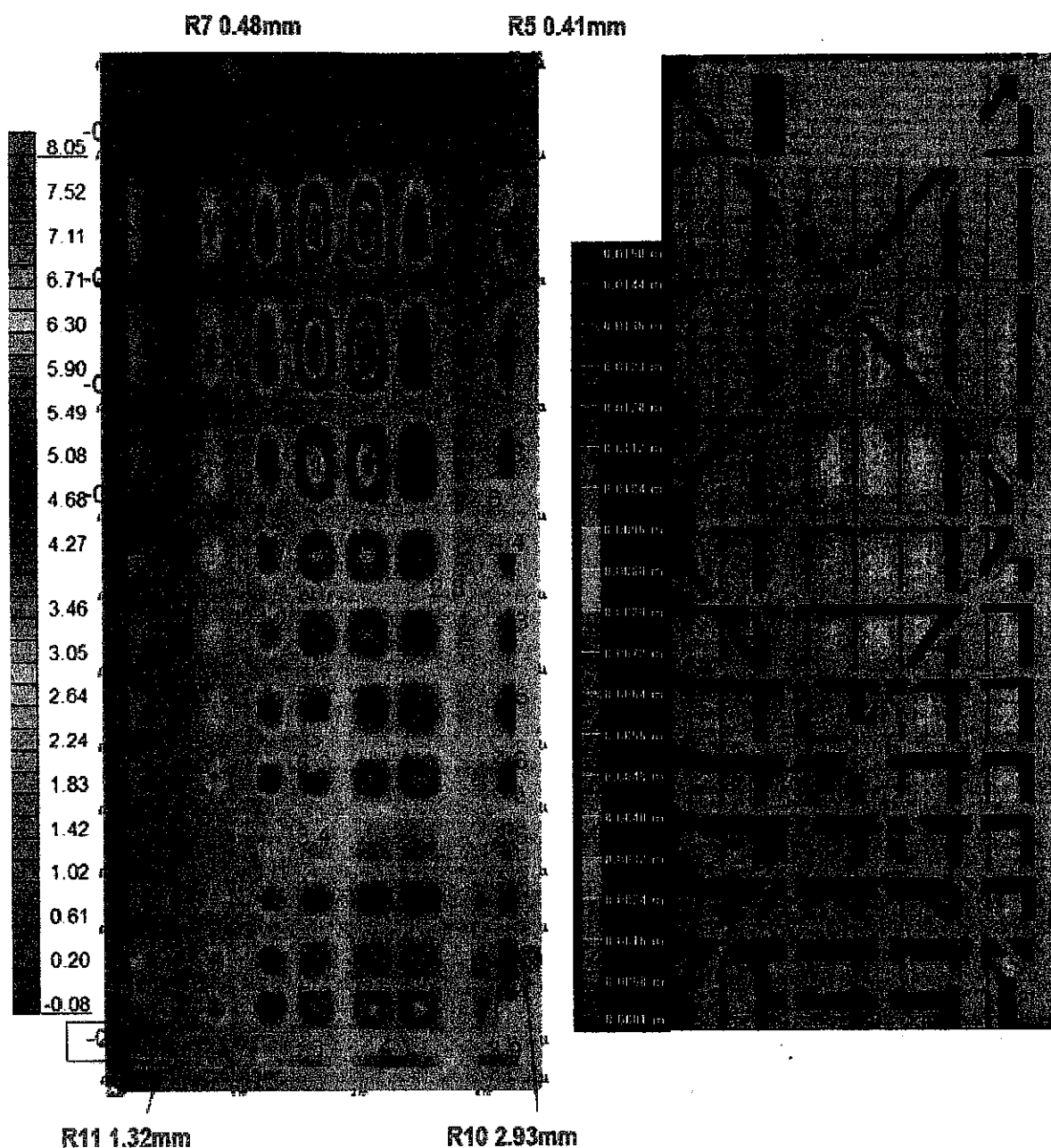
Rys. 4.3.12. Wynik skanowania - deformacje wrót przy napełnianiu śluzy od 2/3 do 3/3



Rys. 4.3.13. Wynik skanowania - deformacje wrót przy napełnianiu śluzy od 1/3 do 3/3

4.4. Porównanie przemieszczeń wrót prawych

Przemieszczenia na kierunku Y (przemieszczenia poziome w kierunku podłużnym śluzy) uzyskane z pomiarów geodezyjnych oraz skaningu laserowego porównano z wynikami obliczeń numerycznych. Jako najbardziej reprezentatywny dla wyników przemieszczeń wybrano schemat przyrostu wody górnej od poziomu 1/3 do poziomu 3/3. Wyniki w postaci graficznej zaprezentowano na rysunku 4.4.7.



Rys. 4.4.7. Porównanie przemieszczeń na kierunku Y (model numeryczny, skaniny laserowe i pomiary geodezyjne) przyrost wody górnej od poziomu 1/3 do 3/3

4.5. Pomiar przyspieszeń

Na konstrukcji stalowej wrót oraz na betonowej konstrukcji głowy dolnej śluzy mierzono przyspieszenia. Badania przyspieszeń wrót prowadzono przy użyciu 16-sto kanałowego mostka pomiarowego APEK AV32AKProjekt, współpracującego z komputerem typu laptop z zainstalowanym oprogramowaniem rejestrująco - sterującym. Pomiarów dokonywano zestawem czujników akcelerometrycznych dwu- i jednoosiowych. Na betonowej konstrukcji

głowy śluzy (po stronie wieży) zainstalowano piezoelektryczne czujniki akcelerometryczne podłączone do mostka pomiarowego Vibdaq+4 ECElectronics współpracującego z komputerem typu laptop z zainstalowanym oprogramowaniem rejestrująco – sterującym.



Rys. 4.5.15. Pojazd do obsługi aparatury pomiarowej



Rys. 4.5.16. Aparatura pomiarowa do pomiaru przyspieszeń

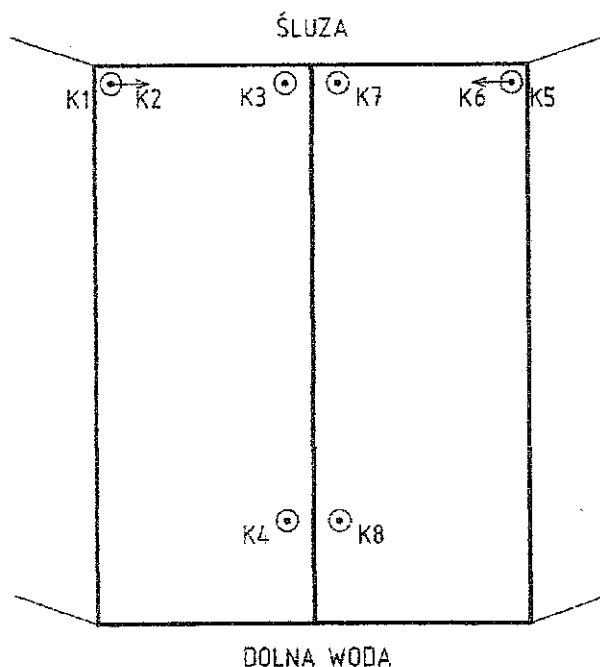


Rys. 4.5.17. Piezoelektryczne czujniki przyspieszeń do pomiaru drgań konstrukcji betonowej głowy dolnej śluzy



Rys. 4.5.4. Czujniki przyspieszeń do pomiaru drgań konstrukcji stalowej wrót śluzy

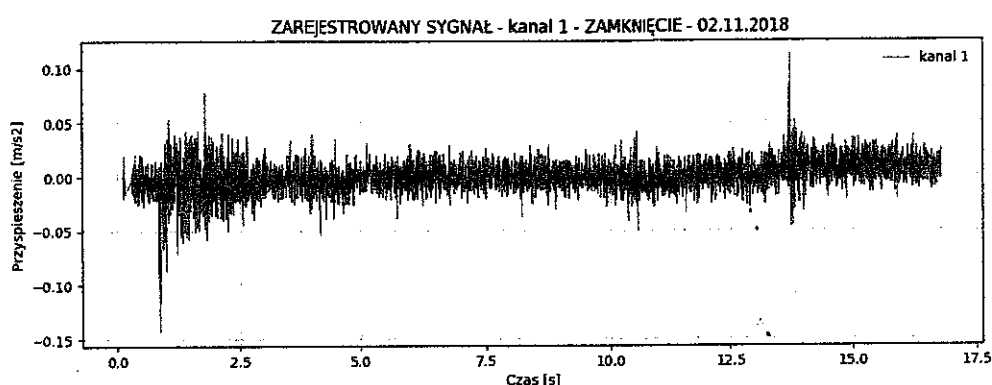
Na wrotach umieszczono dwa rodzaje czujników. Pierwszy rodzaj to czujniki wzmocnione o mniejszym zakresie pomiarowym i mniejszym szumie. Zastosowano je w punktach K1 i K2 oraz K5 i K6. Drugi rodzaj to czujniki o większym zakresie pomiarowym, ale również obarczone większym szumem. Użyte zostały w punktach K3, K4, K7 i K8. Rozmieszczenie czujników pomiarowych na konstrukcji stalowej wrót przedstawiono na schemacie (rysunek 4.5.5.).



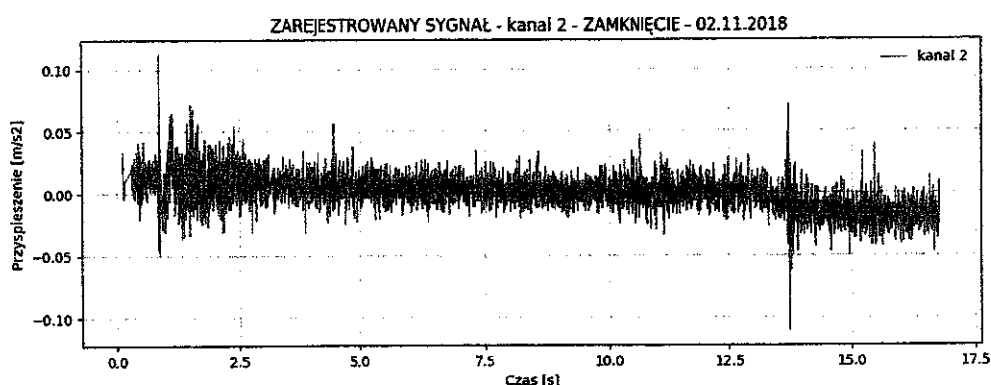
Rys. 4.5.5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na wrotach wraz z kierunkami mierzonych przyspieszeń

Pomiary prowadzono w dniu 02.11.2018. przy otwieraniu i zamykaniu wrót pustej śluzy oraz w dniu 06.11.2018 w sposób ciągły w trakcie faz napełniania i opróżniania śluzy. Poniżej pokazano reprezentatywne wyniki pomiarów przyspieszeń wrót pracujących przy osuszonej śluzie oraz w trakcie napełniania śluzy. Przedstawiono również wykresy drgań betonowej konstrukcji głowy dolnej śluzy w pobliżu wrót.

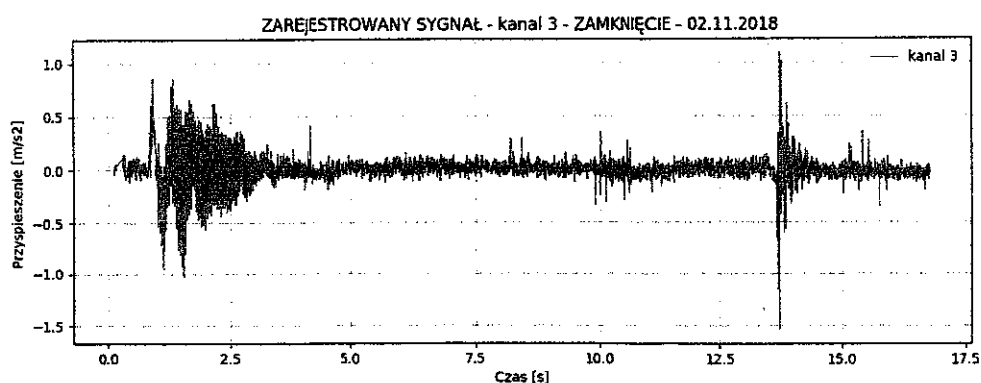
Zamykanie śluzy – 02.11.2018



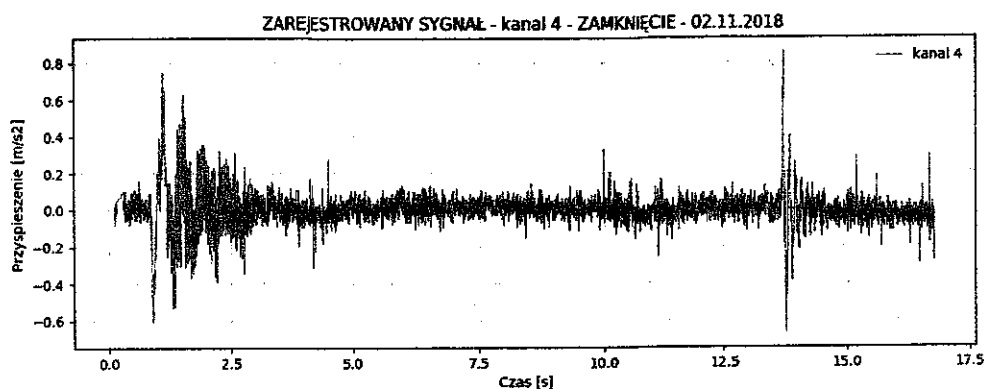
Rys. 4.5.20. Pomiar przyspieszeń w punkcie K1 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018



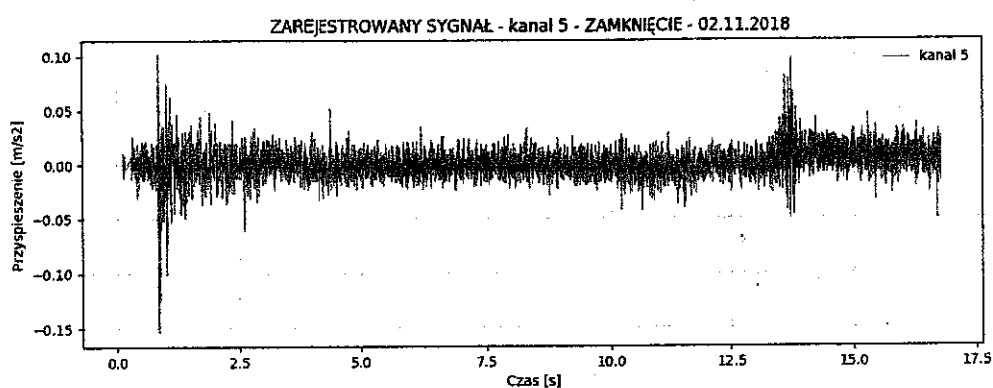
Rys. 4.5.21. Pomiar przyspieszeń w punkcie K2 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018



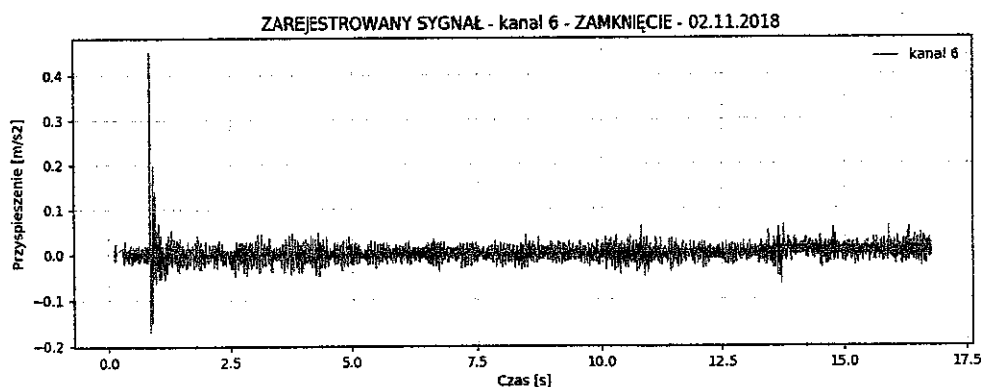
Rys. 4.5.22. Pomiar przyspieszeń w punkcie K3 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018



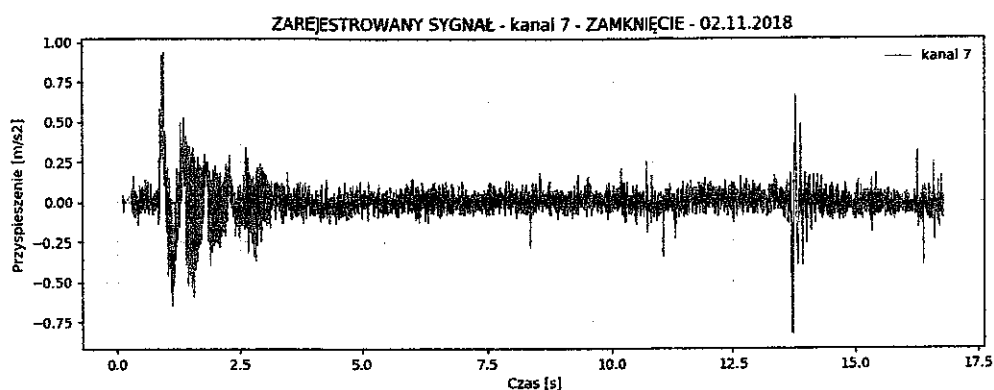
Rys.4.5.23. Pomiar przyspieszeń w punkcie K4 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018



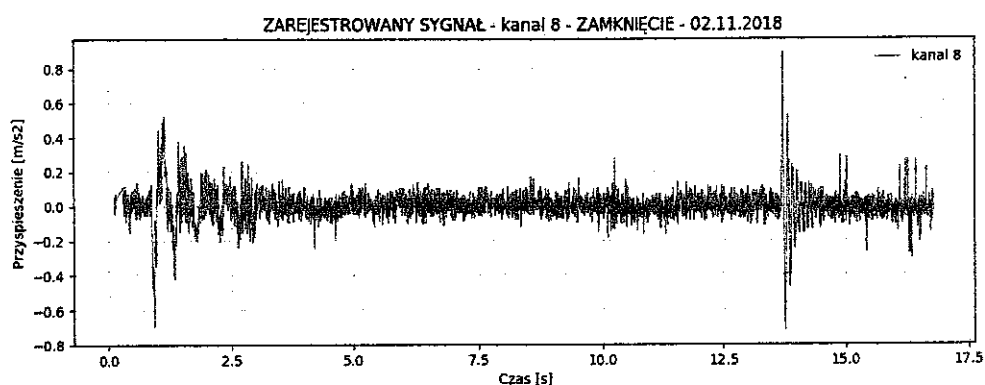
Rys.4.5.24. Pomiar przyspieszeń w punkcie K5 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018



Rys.4.5.25. Pomiar przyspieszeń w punkcie K6 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018

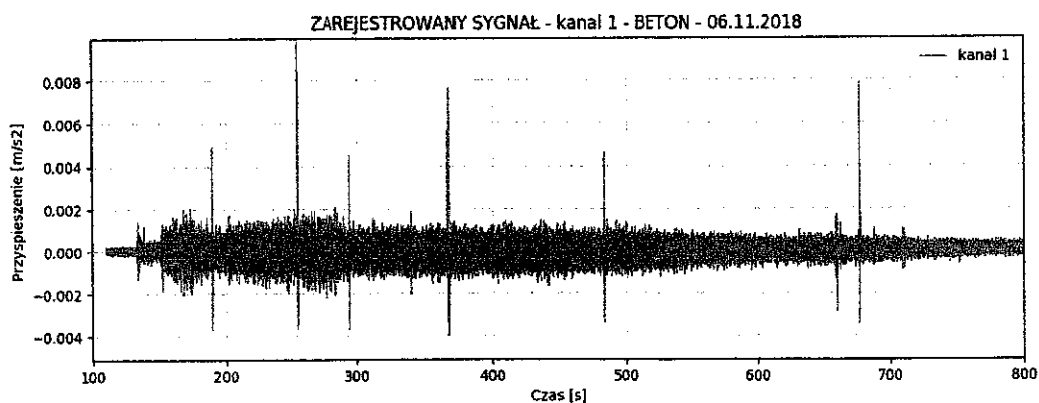


Rys.4.5.26. Pomiar przyspieszeń w punkcie K7 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018

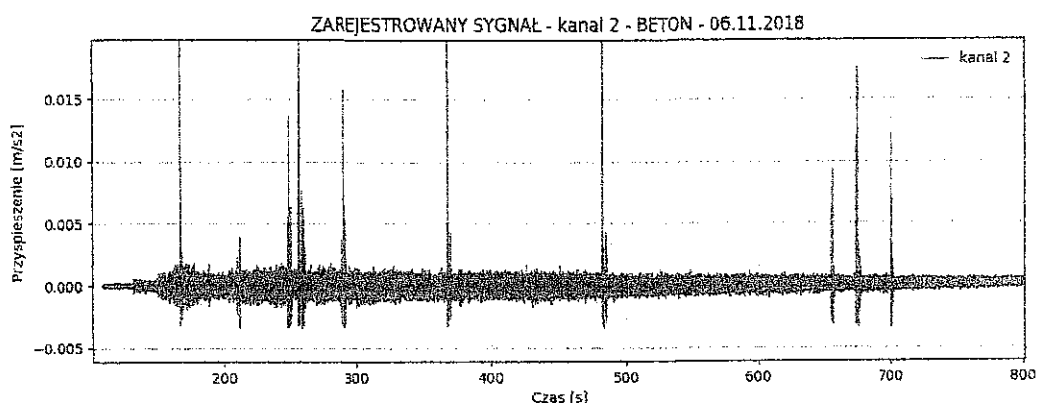


Rys. 4.5.27. Pomiar przyspieszeń w punkcie K8 – zamykanie pustej śluzy – 02.11.2018

Napełnianie śluzy – konstrukcja betonowa – 02.11.2018

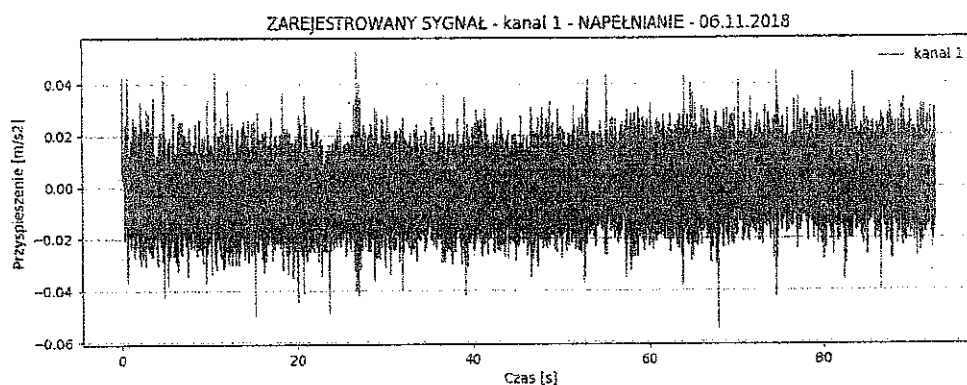


Rys.4.5.28. Pomiar przyspieszeń w kierunku równoległym do śluzy – napełnianie śluzy – 06.11.2018

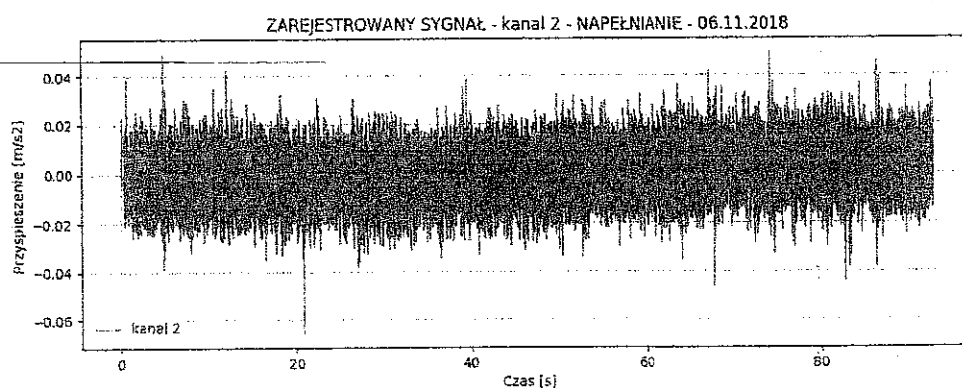


Rys. 4.5.29. Pomiar przyspieszeń w kierunku prostopadłym do śluzy – napełnianie śluzy – 06.11.2018

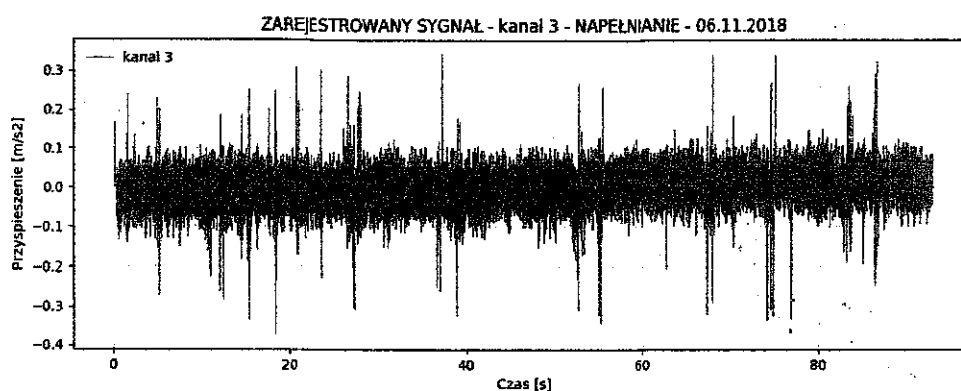
Napełnianie śluzy – konstrukcja stalowa wrót – 02.11.2018



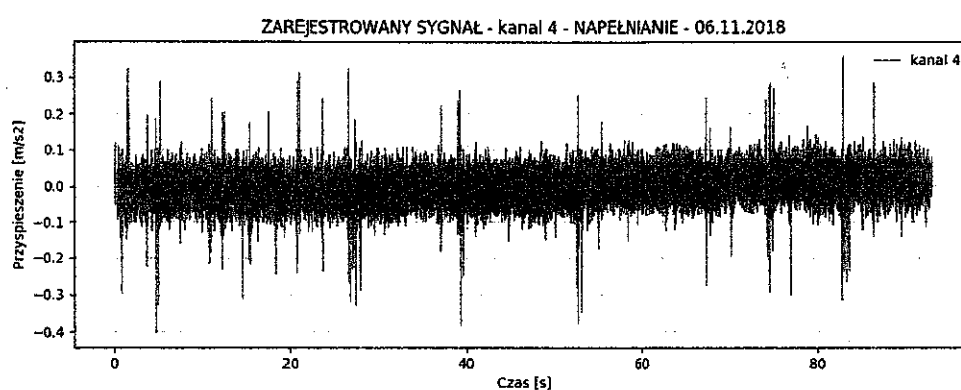
Rys. 4.5.30. Pomiar przyspieszeń w punkcie K1 – napełnianie śluzy – 02.11.2018



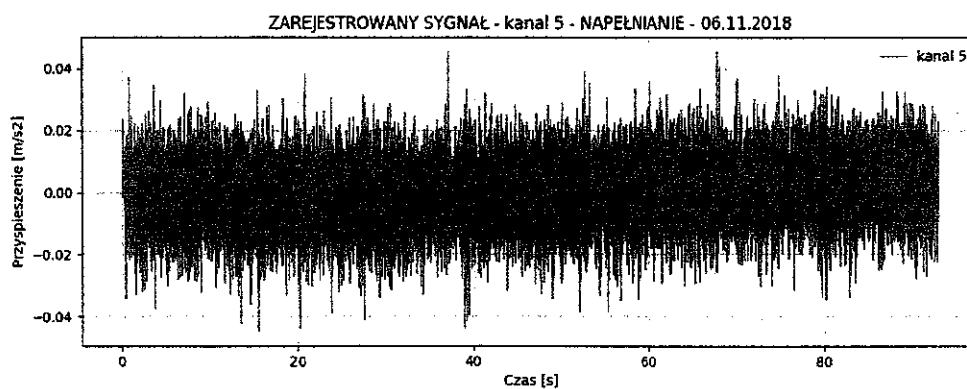
Rys. 4.5.31. Pomiar przyspieszeń w punkcie K2 – napełnianie śluzy – 02.11.2018



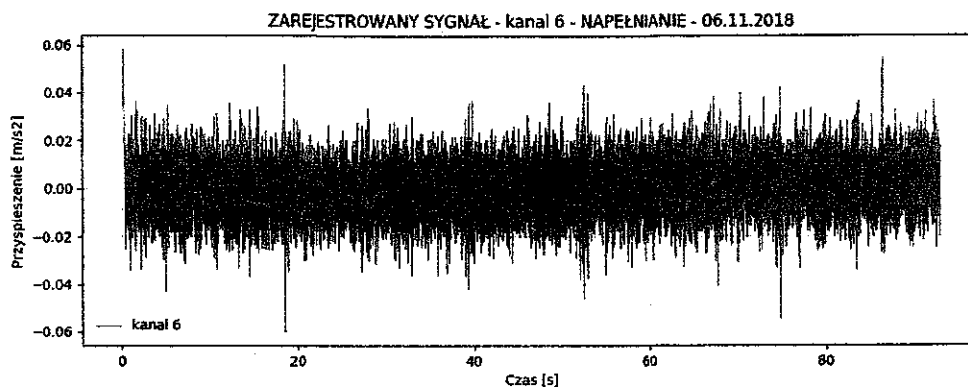
Rys. 4.5.32. Pomiar przyspieszeń w punkcie K3 – napełnianie śluzy – 02.11.2018



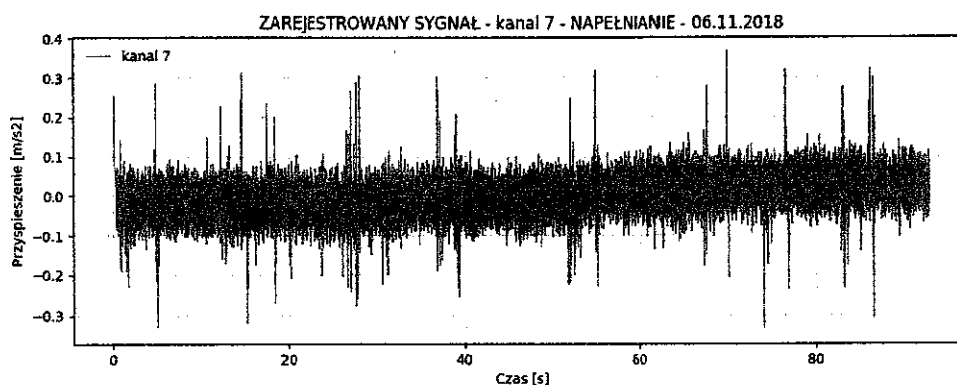
Rys. 4.5.33. Pomiar przyspieszeń w punkcie K4 – napełnianie śluzy – 02.11.2018



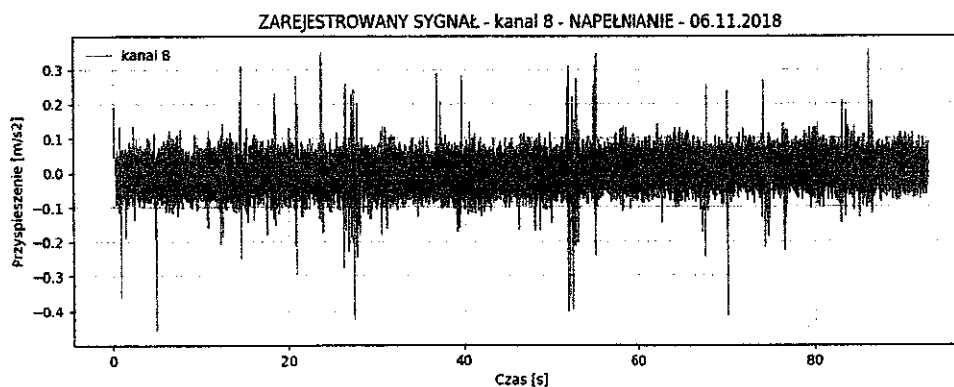
Rys. 4.5.34. Pomiar przyspieszeń w punkcie K5 – napełnianie śluzy – 02.11.2018



Rys. 4.5.35. Pomiar przyspieszeń w punkcie K6 – napełnianie śluzy – 02.11.2018



Rys. 4.5.36. Pomiar przyspieszeń w punkcie K7 – napełnianie śluzy – 02.11.2018



Rys. 4.5.37. Pomiar przyspieszeń w punkcie K8 – napełnianie śluzy – 02.11.2018

4.6. Rejestracja wideo

W trakcie badań w dniu 06.11.2018 podczas opróżniania i napełniania śluzy prowadzono rejestrację wideo. Użyto kamery rejestrującej obraz w rozdzielczości 4K z częstotliwością 30 kl/s. Na nagraniu widoczne są wrota od strony śluzy. Z uwagi na brak wystąpienia problemowego tapnięcia nie zarejestrowano widocznych zmian w pracy konstrukcji.

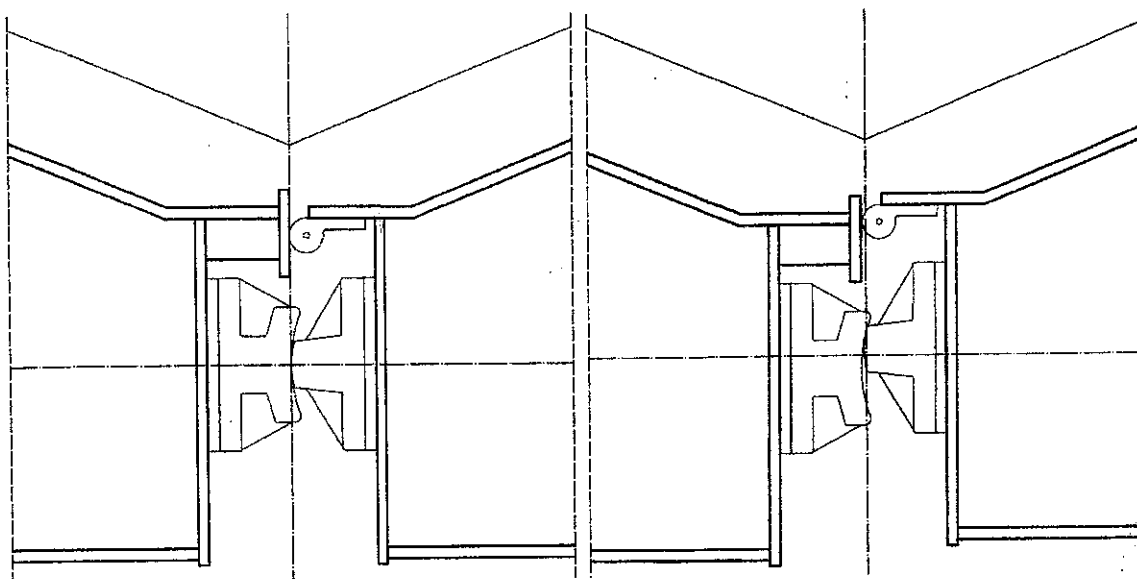


Rys.4.6.38. Kamera wysokiej rozdzielczości rejestrująca pracę wrót w trakcie opróżniania i napełniania

5. Wnioski

5.1. Przyczyna powstawania drgań

Po przeprowadzonej wizji lokalnej oraz po analizie pomiarów geodezyjnych, pomiarów drgań oraz skaningu laserowego oraz po odtworzeniu filmów dostarczonych przez obsługę śluzy stwierdza się, iż bezpośrednią przyczyną występowania tąpnięć wrót powodujących duże drgania konstrukcji wrót i śluzy jest niewspółosiowe położenie łożysk zwornikowych podczas napełniania/oprózniania śluzy. Na rysunku 5.1.1. zaprezentowano prawidłowe położenie łożyska oraz nieprawidłowe. W przypadku, gdy położenie łożysk nie jest prawidłowe i parcie wody na wrota ulega zmianie, dochodzi do wyczerpania siły tarcia pomiędzy łożyskami i następuje poślizg pomiędzy łożyskami, który kończy się w momencie ustawienia łożysk w pozycji prawidłowej. Zerwanie tarcia powoduje „uwolnienie” dużej siły poziomej, która generuje drgania.



Rys. 5.39.1. Przekrój poziomy przez łożyska zwornikowe. Położenie prawidłowe (lewo), położenie nieprawidłowe (prawo)

5.2. Wytyczne realizacyjne

W celu wyeliminowania negatywnego zjawiska nadmiernych drgań należy:

Wariant I – zaprojektować i wykonać - demontaż istniejących łożysk zwornikowych, montaż nowych łożysk zwornikowych ułożonych precyzyjnie osiowo oraz przekonstruowanych na powierzchniach dociskowych w celu zmniejszenia sił tarcia pomiędzy elementami. Powierzchnia dociskowa łożysk na skrzydle prawym jest wypukła, na lewym zaś wklęsła.

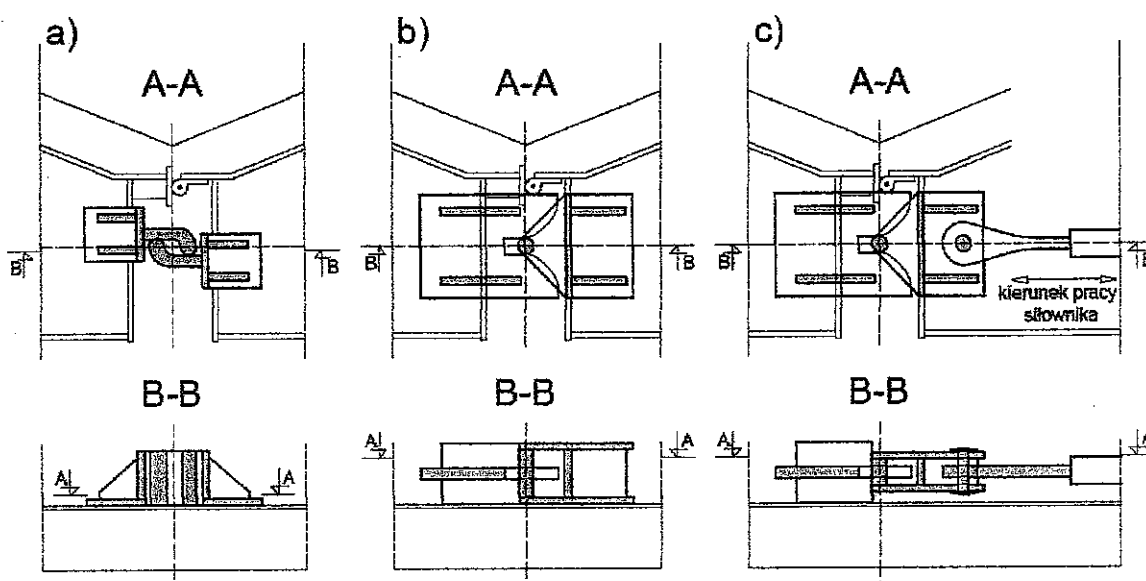
Wariant II – zaprojektować i wykonać - dodatkowe krzywki naprowadzające wrota, krzywki celownicze - stopery ustawiające wrota w punkcie zerowym w pozycji zamkniętej. Dodatkowe elementy muszą zostać zaprojektowane i wykonane tak, aby po zamknięciu wrót łożyska zwornikowe znajdowały się w pozycji współosiowej oraz podczas zamykania i otwierania wrót nie dochodziło do kolizji elementów dodatkowych.

5.3. Szacunkowe koszty niezbędnych prac naprawczych

Dla powyżej zaproponowanych wariantów oszacowano przybliżone koszty realizacji. W obu wariantach należy przewidzieć koszty:

- wykonania projektu wykonawczego,
- odwodnienia komory śluzy poprzez montaż zamknięć remontowych i odpompowanie komory,
- demontaż zamknięć remontowych,
- prace geodezyjne (precyzyjne).

- Propozycja trzecia jest modyfikacją drugiej (rys. 5.2.1 c)). Element celowniczy jest ruchomy. Zapewnienie centrycznego ustawienia łożysk następuje po zamknięciu wrót. Element celowniczy jest wprowadzany w gniazdo za pomocą siłownika hydraulicznego. Zastosowanie siłownika eliminuje ograniczenia propozycji drugiej. Propozycja ta jest jednak droższa z uwagi na zastosowanie samego siłownika i konieczność dodania nowego podzespołu do systemu automatycznego zamykania i otwierania wrót.



Rys. 5.2.1. Propozycje urządzenia ustawiającego łożyska zwornikowe w pozycji prawidłowej

Projekt wykonawczy urządzenia stawiającego łożyska w pozycji prawidłowej powinien uwzględniać również dodatkowe żeberka usztywniające konstrukcję wrót w miejscu usytuowania urządzenia.

5.3. Szacunkowe koszty niezbędnych prac naprawczych

Dla powyżej zaproponowanych wariantów oszacowano przybliżone koszty realizacji. W obu wariantach należy przewidzieć koszty:

- wykonania projektu wykonawczego,
- odwodnienia komory śluzy poprzez montaż zamknięć remontowych i odpompowanie komory,
- demontaż zamknięć remontowych,
- prace geodezyjne (precyzyjne).

Wariant I:

wymiana 26 łożysk staliwo typu L35HGS – łączna masa 1797,9 kg,

w tym: 13 szt. z powierzchnią dociskową wklęsłą 998,4 kg,

13 szt. z powierzchnią dociskową wypukłą 799,5 kg,

Montaż śrub, nakrętek i podkładek ze stali np. S235JR – razem 489 kg,

Należy przewidzieć zastosowanie podkładek regulacyjnych ze stali np. S235JR.

Wariant II:

Wykonanie i montaż dodatkowych urządzeń na skrzydłach wrót:

6. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych pomiarów i analiz numerycznych można wyciągnąć następujące wnioski:

- Podczas napełniania i opróżniania śluzy wrota wsporcze pracują w zakresie sprężystym – analiza numeryczna nie wykazała przekroczenia naprężeń.
- Pomierzone przemieszczenia poziome w kierunku równoległym do osi podłużnej śluzy uzyskane z modelu numerycznego, pomiarów geodezyjnych oraz skaningu laserowego są podobne. Różnice w przemieszczeniach uzyskanych z modelu numerycznego w stosunku do pomierzonych wynikają z dodatkowych przemieszczeń powstających wskutek docisku uszczelek i ich deformacji w początkowym etapie napełniania śluzy. Efekt ten jest jak najbardziej pożądany, dzięki deformacjom uszczelek i ich przylgnięciu do elementów betonowych głowy dolnej wrota ulegają uszczelnieniu. Model numeryczny nie uwzględniał tego zjawiska.
- Pomiary przyspieszeń konstrukcji stalowej wrót nie wykazują nagłych i gwałtownych wzrostów poziomów drgań podczas zamykania i otwierania wrót, jak również podczas napełniania i opróżniania śluzy. Podczas pomiarów nie zarejestrowano charakterystycznego tąpnięcia wrót pomimo kilkukrotnego napełniania i opróżniania śluzy. Z analizy wykonanych pomiarów drgań można przypuszczać, iż łożyska

obrotowe oraz siłowniki służące do zamykania i otwierania wrót pracują prawidłowo, nie są zatarte ani uszkodzone.

- Tąpnięcia wrót i drgania są spowodowane nieprawidłowym położeniem łożysk zwornikowych. Tąpnięcie powstaje w momencie zerwania sił tarcie i „uwolnienia” dużej siły poziomej. Czynniki dodatkowo sprzyjające to odpowiedni wiatr i temperatura. Jak w przypadku, każdego nietypowego zjawiska bądź awarii tąpnięcie powstaje na skutek jednoczesnego zbiegu kilku czynników w tym samym czasie. Dlatego też tąpnięcie nie występuje podczas każdego śluzowania a jedynie w ściśle określonych warunkach.
- Przedstawiona propozycja kierowania łożysk zwornikowych w prawidłową pozycję winna wyeliminować tąpnięcia wrót i nadmierne drgania.

Oświadczenie

Ekspertyza „Określenie przyczyn nieprawidłowości w działaniu wrót śluzy na SW we Włocławku wraz z określeniem metod naprawczych” wykonana jest zgodnie z Umową i obowiązującymi przepisami prawa, normami, zasadami wiedzy technicznej oraz kompletne z punktu widzenia celu, któremu u ma służyć.

Stwierdzam, że *M. Kucharski* *Kalitański* *Borczyk*