

# RAPORT Z REALIZACJI ETAPU PROJEKTU (OSIĄGNIĘCIA KAMIENIA MIŁOWEGO) NR ETAPU 2

## W RAMACH PROGRAMU OPERACYJNEGO INTELIGENTNY ROZWÓJ

A. DANE PROJEKTU				
Numer umowy	POIR.01.01.01-00-0134/17			
Tytuł projektu	Predykcja wydajności sieci kanalizacyjno-burzowej w czasie rzeczywistym jako usługa SaaS oparta na danych pozyskanych metodami uczenia maszynowego.			
Okres realizacji etapu	od	2017-09-01	do	2018-06-30
Okres realizacji projektu: (zgodnie z bieżącymi zapisami Umowy):	od	2017-09-01	do	2018-08-31

B. DANE BENEFICJENTA	
Nazwa Beneficjenta	CARL Data Solutions pL sp z o. o.
Imię i nazwisko osoby sporządzającej raport	Piotr Stępiński
Telefon kontaktowy	505990555
E-mail	piotr@carlsolutions.com

C. INFORMACJE DOTYCZĄCE KAMIENIA MIŁOWEGO		
Etap nr: 2 realizowany w ramach badań przemysłowych / prac rozwojowych. <sup>1</sup> Kamień milowy - nazwa: ..... Poziom TRL <sup>2</sup> osiągnięty po zakończeniu ww. Etapu: .....		
Deklaracja Beneficjenta:	TAK	NIE
1. Czy etap zakończył się osiągnięciem kamienia milowego?		X
2. Czy wszystkie zadania / prace w ramach etapu zostały zrealizowane?		X
3. Czy Beneficjent wprowadził rekomendacje wskazane w ramach oceny poprzedniego raportu? (jeśli dotyczy) <sup>3</sup>		

1

niepotrzebne skreślić

2

źródło:

[http://www.ncbir.pl/gfx/ncbir/pl/defaultopisy/1195/1/1/poziomy\\_gotowosci\\_tehnologicznej.pdf](http://www.ncbir.pl/gfx/ncbir/pl/defaultopisy/1195/1/1/poziomy_gotowosci_tehnologicznej.pdf)

3

zaznaczyć wpisując „X” we właściwe pole

W przypadku zaznaczenia opcji „TAK” należy opisać wdrożenie każdej rekomendacji. W przypadku zaznaczenia opcji „NIE” należy uzasadnić dlaczego nie wdrożono rekomendacji: Nie dotyczy

#### 4. Podmiot odpowiedzialny za realizację etapu / prac (Beneficjent / nazwa Podwykonawcy)

### Beneficjent

Sposób udokumentowania uzyskanych wyników <sup>4</sup> :	R raport opisujący wyniki W - wyniki pomiarów
Dodatkowe sposoby udokumentowania wyników <sup>5</sup>	
Wskazać osiągnięty kamień milowy:	
5. Ewentualne odstępstwa od osiągnięcia zakładanego kamienia milowego (uzasadnić / podać przyczynę odstępstw oraz opisać skutki dla dalszej realizacji projektu/ czy wystąpił ryzyko w etapie, o którym mowa we wniosku o dofinansowanie).	
W warunkach laboratoryjnych nie udało się potwierdzić korelacji między pomierzonymi drganiami a ilością przepływającej w rurze cieczy co stanowiło hipotezę badawczą określoną w kamieniu milowym. Pomimo braku osiągnięcia tego kamienia milowego projekt był kontynuowany w etapie w zakresie pomniejszonym o zadania związane z kolekcjonowaniem pomiarów drgań w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.	

#### D. STOPIEŃ REALIZACJI WYDATKÓW W RAMACH ETAPU

1. Planowane koszty realizacji etapu i poniesione/rzeczywiste koszty realizacji etapu	Koszty realizacji etapu planowane we wniosku o dofinansowanie w zł	Rzeczywiste koszty realizacji etapu
	356265	356265

4

Należy podać symbol i opis sposobu potwierdzenia przeprowadzonych prac i uzyskanych wyników: D - dokumentacja (np. dokumentacja techniczna, opracowanie założeń do prototypu, linii technologicznej, procesu) - symbol, numer, nazwa, data itp.; W - udokumentowane wyniki pomiarów; R - raporty (raporty częściowe opisujące przeprowadzone prace) - symbol, nazwa; data Z - zgłoszenie o certyfikację lub uznanie zgodności z normą - numer zgłoszenia, data zgłoszenia lub uznania zgodności z normą; ZP - zgłoszenie patentowe, patent - numer; data zgłoszenia, C - uzyskane certyfikaty - numer; data P - publikacja, prezentacja, wydanie książkowe; (należy wskazać datę publikacji, autor i źródło), I - inne - jeśli wymienione kategorie nie wypełniają sposobu potwierdzenia rezultatów prac, należy wpisać literę I oraz podać krótki opis. W przypadku pozyskania informacji od opiekuna merytorycznego projektu w IP o konieczności uzupełnienia Raportu o dokumentację potwierdzającą osiągnięte rezultaty należy je przekazać tylko w formie elektronicznej bezpośrednio do opiekuna merytorycznego projektu w IP - w formacie pdf.

5

W przypadku pozyskania informacji od opiekuna merytorycznego projektu w IP o konieczności uzupełnienia Raportu dopuszczalne jest również dodatkowe przekazanie plików z filmami (mov, avi, mp4, mkv, itp.), prezentacjami (np. PowerPoint, Prezi itp.) oraz plikami graficznymi (jpg, tiff, png, itp.). Jeśli zaistnieje potrzeba ww. pliki należy przekazać bezpośrednio do opiekuna merytorycznego projektu.

W przypadku wystąpienia rozbieżności należy uzasadnić:

### E. CELOWOŚĆ DALSZEJ REALIZACJI PROJEKTU

1. Czy zasadna jest kontynuacja realizacji projektu?

TAK

NIE

x

(W przypadku odpowiedzi „NIE” należy uzasadnić konieczność zaniechania realizacji projektu)

2. Ewentualne działania naprawcze jakie należy podjąć w kolejnych etapach projektu, w przypadku gdy zostały zidentyfikowane odstępstwa w pkt. C.5.

*(Syntetycznie opisać/uzasadnić konieczne do wprowadzenia zmiany w projekcie i ich wpływ na osiągnięcie rezultatów projektu - dotyczy tylko przypadku nieosiągnięcia zakładanych efektów/rezultatów etapu)*

### F. DZIAŁANIA INFORMACYJNO-PROMOCYJNE W RAMACH REALIZOWANEGO PROJEKTU<sup>6</sup>

w ramach projektu prowadzone są działania informacyjno - promocyjne zgodnie z zapisami § umowy o dofinansowanie dot. tych działań?

TAK

NIE

x

(W przypadku odpowiedzi „TAK” należy opisać, jakie działania są realizowane w ramach obowiązków informacyjno - promocyjnych projektu. W przypadku odpowiedzi „NIE”, należy opisać dlaczego Beneficjent nie wypełnia tych obowiązków oraz jakie i kiedy zostaną wprowadzone środki zaradcze w tym zakresie.)

informacja na stronie internetowej firmy

informacja w biurze firmy

### G. SZCZEGÓŁOWY OPIS ZREALIZOWANYCH PRAC ORAZ UZYSKANYCH WYNIKÓW W RAMACH ETAPU

*(nie więcej niż 10 stron formatu A4 obejmujących opis zrealizowanych prac oraz osiągniętych rezultatów w okresie sprawozdawczym ze szczególnym uwzględnieniem metodologii oraz*

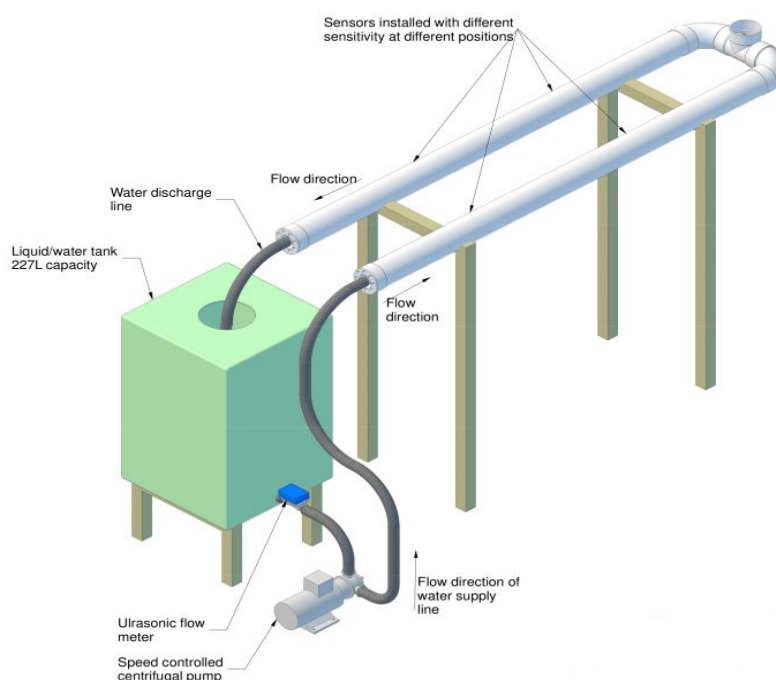
6

Zasady Działania informacyjno - promocyjnych zostały zawarte m.in. w następujących dokumentach „Podręczniku wnioskodawcy i beneficjenta programów polityki spójności 2014-2020 w zakresie informacji i promocji” opublikowanym na stronie internetowej [www.poir.gov.pl](http://www.poir.gov.pl) oraz w Wytycznych w zakresie promocji projektów finansowanych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, zamieszczonych na stronie [www.ncbr.gov.pl](http://www.ncbr.gov.pl)

*uzyskanych wyników przeprowadzonych badań przemysłowych lub prac rozwojowych, wytworzonych prototypów lub linii pilotażowych. W opisie rezultaty mogą być przedstawione w formie rysunków, schematów, wykresów, tabel, zdjęć. Opis powinien zawierać najistotniejsze informacje o uzyskanych wynikach - raport z kamienia milowego podlega ocenie, od której uzależniona jest kontynuacja finansowania projektu przez IP.)*

Prace przewidziane w ramach niniejszego etapu zmierzają do weryfikacji następujących hipotez badawczych:

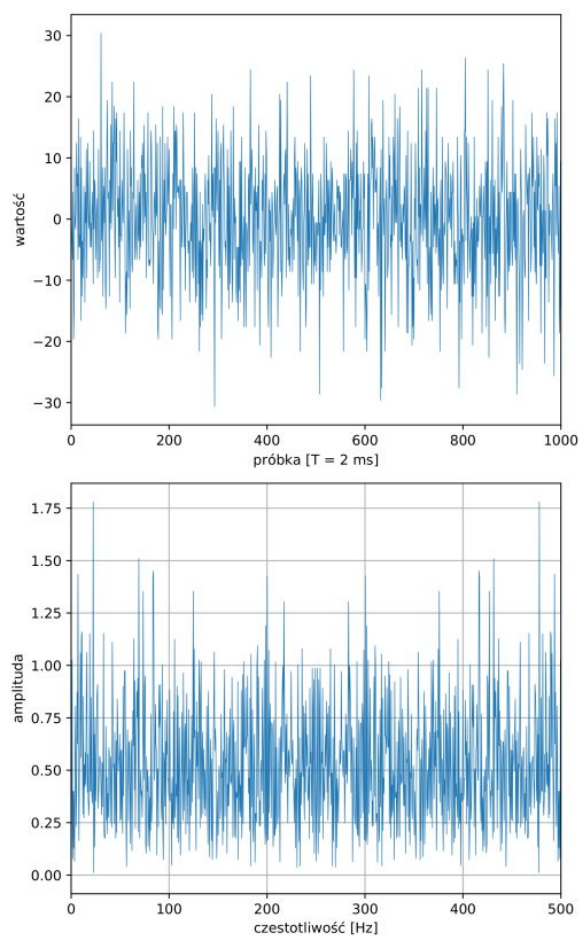
1. Można przewidywać wielkość przepływu w czasie rzeczywistym na podstawie danych z sensora drgań rury z dokładnością 90%.
2. Jakość danych o przepływie uzyskanych na podstawie pomiaru drgań rury przez sensor jest lepsza niż jakość danych uzyskiwanych metodą dotychczasową (bezpośredniego pomiaru przepływu przez sensor).



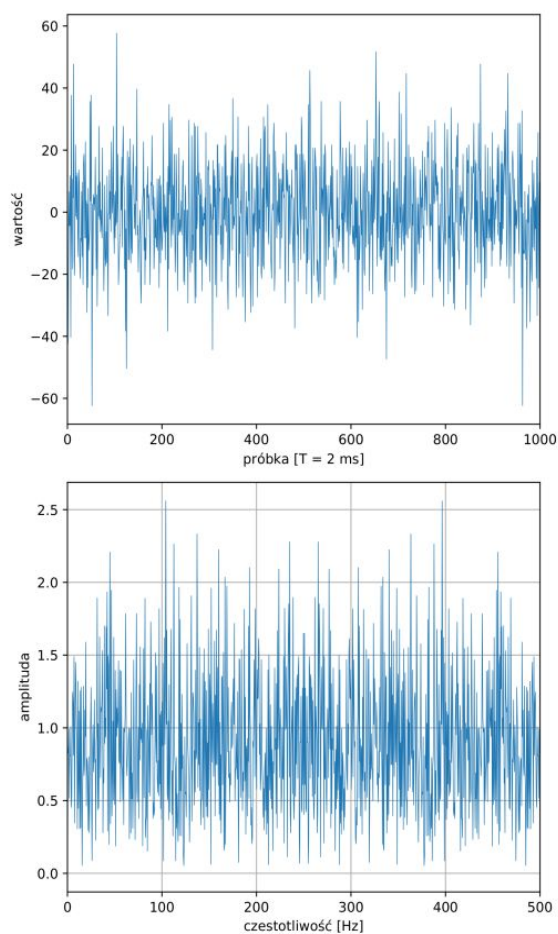
Rys.1. Schemat instalacji laboratoryjnego

Na rozważanej instalacji laboratoryjnej przeprowadzono szereg eksperymentów. Pomierzono wskazania akcelometru (niezależnie w trzech współrzędnych: X, Y oraz Z) dla kolejnych poziomów przepływu poczynając od minimalnej w tej instalacji wartości przepływu 13 litrów na minutę do wartości 41 litrów na minutę. Pomiarów dokonano w równych odstępach czasu co 500 ms.

Pierwszym krokiem umożliwiającym zbudowanie modelu było wyznaczenie widma FFT dla wszystkich zebranych danych. Przykładowe wyniki dla przepływu 13 litrów/minutę, 27 litrów na minutę oraz 41 litrów na minutę, niezależnie dla wszystkich trzech współrzędnych X, Y oraz Z przedstawiono na Rys. 2–10 (wg raportu z dnia 10.05.2018), gdzie górny wykres przedstawia dane zebrane bezpośrednio z akcelometru, w odniesieniu do wartości średniej, dla odpowiedniego przepływu oraz odpowiedniej współrzędnej, natomiast dolny wykres przedstawia widmo częstotliwościowe tych danych. Analiza energii w sygnale, prowadzi do hipotezy badawczej, że energia w sygnale jest zależna od przepływu.

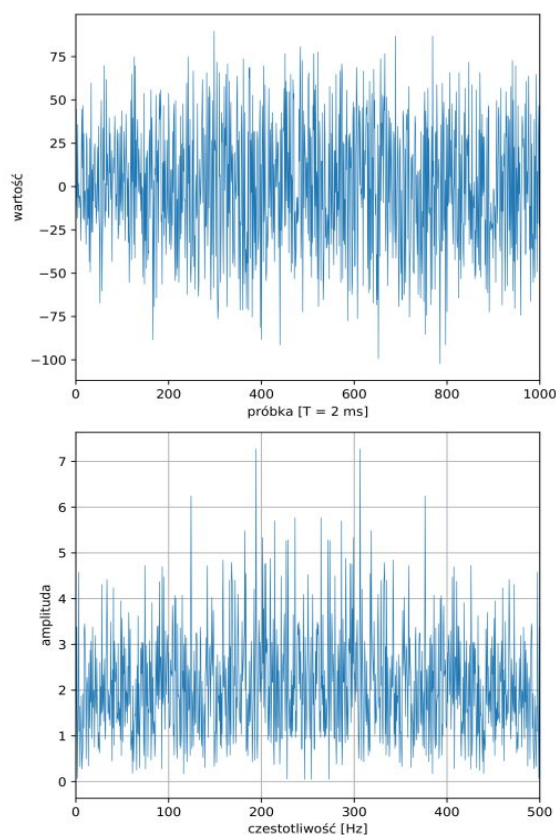


Rysunek 2: Eksperyment 13 1/min — współrzędna X

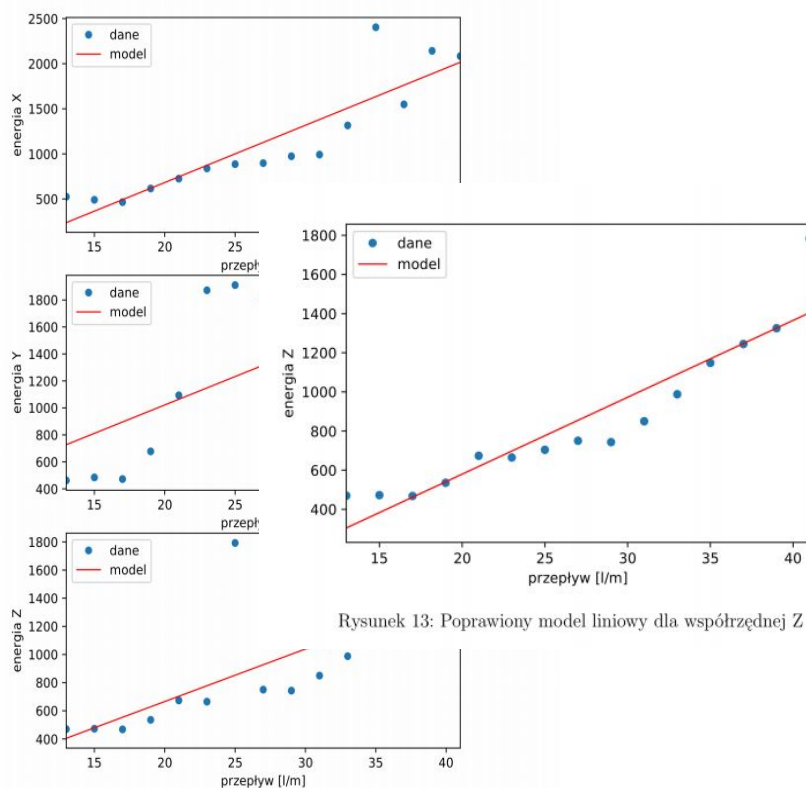


Rysunek 5: Eksperyment 27 l/min — współrzędna X

Dla przykładu, dla współrzędnej X, przy przepływie 13 l/min (Rys. 2) amplituda widma jest średnio na poziomie około 0.5, dla 27 l/min (Rys. 5) osiąga średnią około 1.0, podczas gdy dla przepływu 41 l/min (Rys. 8) wartość średnia jest na poziomie około 2.0. Po dostrzeżeniu tej zależności wykreślono, dla każdej współrzędnej niezależnie, sumaryczną energię sygnału w zależności od przepływu. Dodatkowo, dla każdej z tych zależności dopasowano przybliżony model liniowy. Wyniki przedstawiono w Tabeli 1 i na Rys. 11.



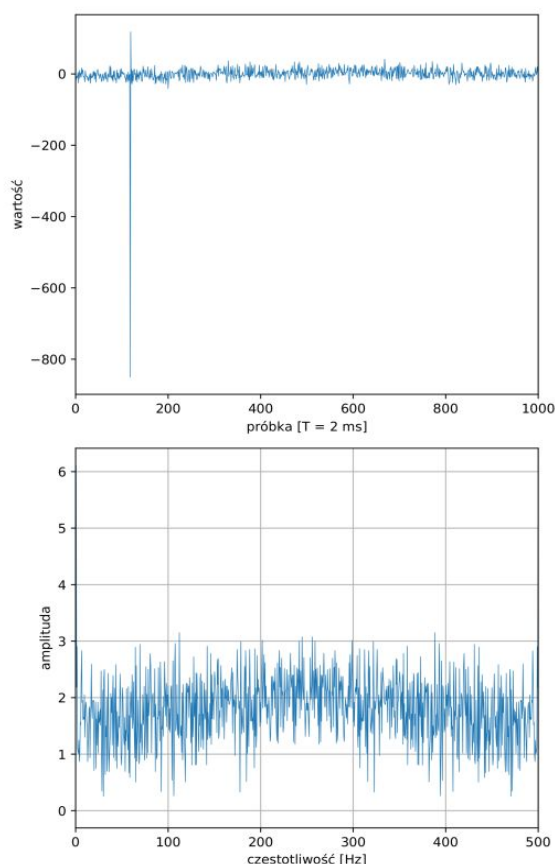
Rysunek 8: Eksperyment 41 l/min — współrzędna X



Rysunek 13: Poprawiony model liniowy dla współrzędnej Z

Rysunek 11: Zależność energii w sygnale od przepływu oraz przybliżone modele liniowe





Rysunek 12: Eksperyment 25 l/min — współrzędna Z

Tabela 1: Parametry przybliżonych modeli liniowych

Zmienna	Model liniowy	Współczynnik determinacji $r^2$
Energia X	$y = 63.5x - 587.56$	0.799
Energia Y	$y = 42.1x + 179.76$	0.497
Energia Z	$y = 37.34x - 80.85$	0.562

Tabela 2: Parametry poprawionego modelu dla współrzędnej Z

Zmienna	Model liniowy	Współczynnik determinacji $r^2$
Energia Z	$y = 39.28x - 205.93$	0.864

Z wyników przedstawionych na Rys. 11 i w Tab. 1 wynika, że model liniowy jest adekwatny zasadzie tylko dla energii we współrzędnej X. Dla Energii Y dane nie mają charakterystyki liniowej, gdyż następuje szybkie narastanie energii w przedziale przepływu 17-23 l/min, a potem wartość energii utrzymuje się w miarę na stałym poziomie. Natomiast dla Energii Z, dane mają charakterystykę liniową, ale dla wartości 25 l/min występuje nietypowo duża wartość – około 1800. Wyniki dla tego przepływu, dla współrzędnej Z przedstawiono na Rys. 12. Na Rys. 12 widać wyraźnie, że w danych z akcelerometru występuje gruby błąd. Po usunięciu tego błędu, wyniki otrzymane dla współrzędnej Z przedstawiono na Rys. 13. Liniowy model dopasowany do danych przedstawiony jest w Tab. 2. Otrzymano zatem najlepszy ze wszystkich modeli.

Znaleziono zależność pomiędzy przepływem a energią w sygnale. Najlepszy model liniowy otrzymano dla współrzędnej Z (współczynnik determinacji  $r^2$  równy 0.864). Model dla współrzędnej X jest również dość dobry (współczynnik determinacji  $r^2$  równy 0.799). Niestety model dla współrzędnej Y jest słaby i powinien zostać odrzucony. Opisana w niniejszym opracowaniu metoda pozwala w łatwy sposób, korzystając z opracowanych modeli, ocenić przepływ na podstawie energii sygnału, odwracając relacje przedstawione poniżej. Zatem dysponując np. pomiarami dla



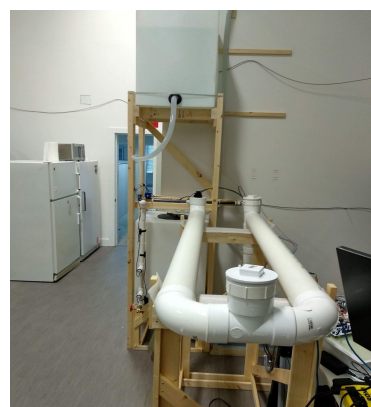
współrzędnej Z, wyznaczamy widmo częstotliwościowe oraz sumaryczną energię tego widma, a następnie korzystamy z relacji (na podstawie równania  $y = 39.28x - 205.93$ )

$$\text{PRZEPŁYW} = (\text{ENERGIA Z} + 205.93) / 39.28$$

Wobec powyższych liniowych zależności oraz analizy laboratoryjnej układu eksperymentu, powstaje wątpliwość, czy zrealizowany pomiar nie obejmuje w dominującym stopniu szkodliwych (ubocznych) sygnałów akustycznych generowanych przez pompę, która być może znajduje się w zbyt bliskim otoczeniu akcelerometru. Jeżeli taka teza jest wiarygodna, to wyznaczone powyżej modele są nieużyteczne na potrzeby wyznaczania szybkości przepływu, zaś instalacja laboratoryjna powinna zostać tak zmodyfikowana, aby wyeliminować oboczny wpływ pompy na dane uzyskiwane z akcelerometru.

Aby wyeliminować powyższe wątpliwości zdecydowano o przeprowadzeniu modyfikacji instalacji laboratoryjnej w celu przeprowadzenia dodatkowych testów (na podstawie raportu TKP z dnia 30.06.2018 r.). Na Rys. 14a i 14b zaprezentowano zmodyfikowaną instalację wykrywania przepływu cieczy, które dodatkowo składa się z drugiego zbiornika na ciecz umieszczonego powyżej rury PCV. Jak widać również z Rys. 14a nachylenie rury wynosi 0 stopni.

Uzyskano zademonstrowane poniżej wyniki, które dotyczą w szczególności wskazań akcelerometru dla kolejnych poziomów szybkości przepływu (poczynając od minimalnej w tej instalacji wartości



(a)

(b)

(c)

Rys. 14. Instalacja laboratoryjna: a) widok ogólny; b) rura transportowa; c) przykładowe wypełnienie rury.

przepływu) dokładnie: 2, 20, 40, 60 i 80 litrów/minutę. Dla pełnego wyjaśnienia problemu, dodatkowo pomierzono wskazania czujnika przy zerowym przepływie.

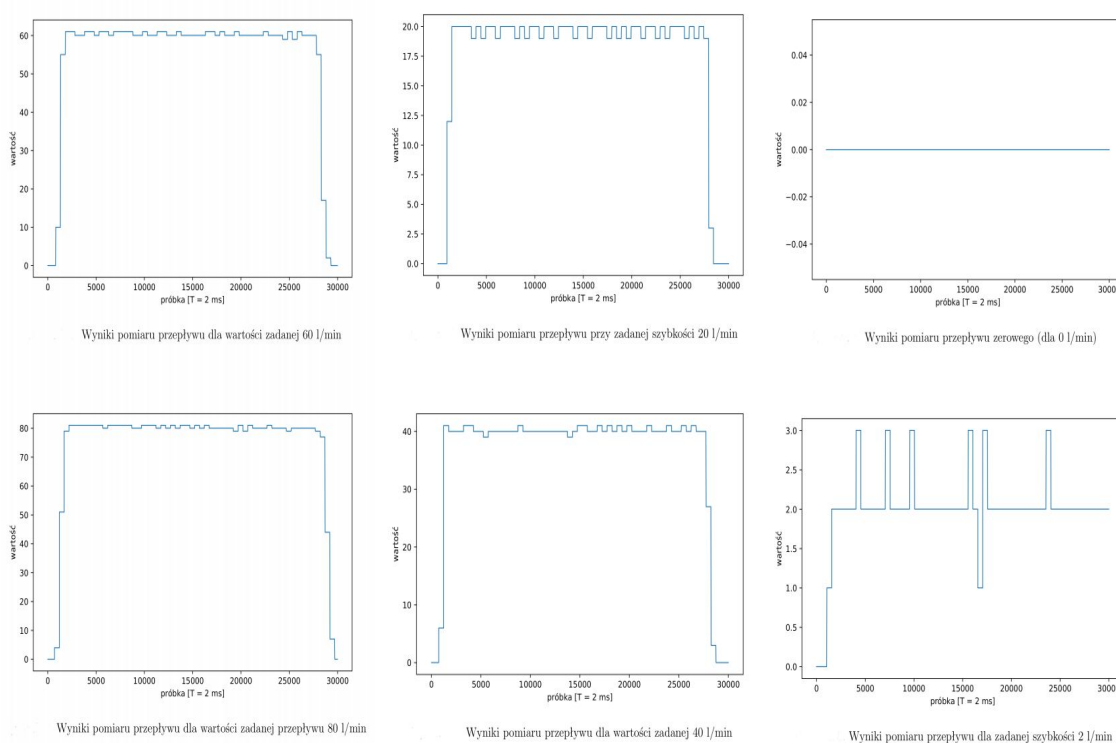
W pierwszej serii pomiarowej, zastosowano zatem zgodnie z ustaleniami, natężenia niezerowego przepływu: 2, 20, 40, 60 oraz 80 litrów na minutę. Stan ustalony osiągnąć było po około 55 s

(fragmentaryczne dane uwzględnione na rysunku sugerują czas ustalania 5 – 6 s). Akcelerometr wykonywał pomiary z częstotliwością 500 Hz (w równych odstępach czasu co 2 ms). W wynikach eksperymentów można zaobserwować stopień wypełnienia rury w zakresie od 0% do 75% ze względu na konstrukcję mechaniczną. Dla przepływu:

- od 0 do 20 l/min wypełnienie rury wynosi do około 25%,
- od 30 do 50 l/min wypełnienie rury jest na poziomie około 50%,
- od 70 do 80 l/min rura wypełnia się do około 75%.

Powyższe oszacowania są to jedynie przybliżone. W celu dokładnej oceny wypełnienia rury transportowej należało by zamontować urządzenie wykrywające poziom w rurze. Wnętrze rury transportowej przy wypełnieniu na poziomie około 50% przedstawiono na Rys. 14b.

Korzystając z ultradźwiękowego czujnika przepływu (wykonującego pomiar z częstotliwością 1 Hz) dokonano pomiaru wartości zadanego (generowanego) przepływu, dla sześciu punktów pracy (szybkości przepływu), tj. 0 l/min, 2 l/min, 20 l/min, 40 l/min, 60 l/min oraz 80 l/min. Wyniki przedstawiono na poniższym Rys. 15

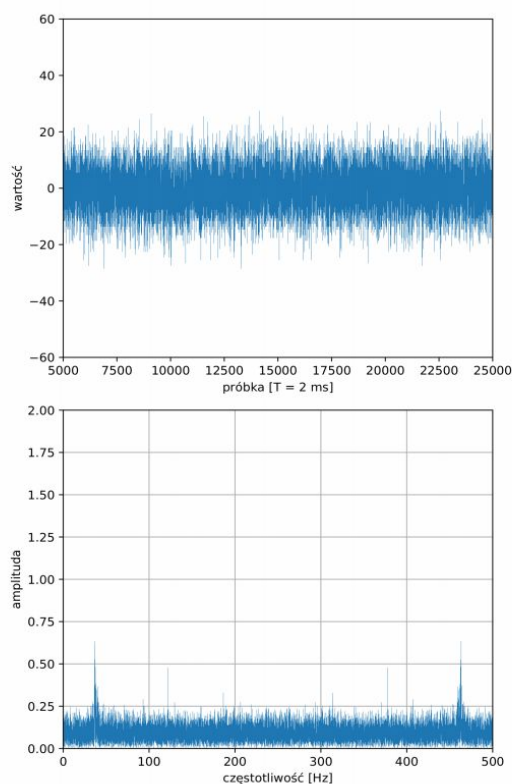


Rys.15. Pomiary przepływów

Ponieważ stabilne przepływy otrzymano dla próbek o numerach (około) od 5000 do 25000, do tego przedziału ograniczono analizę sygnałów z akcelerometru. Sygnały z akcelerometru oraz odpowiadające im widma (FFT), dla wszystkich sześciu zadanych przepływów. Przykładowe pomiary przedstawiają Rys. 17, 18, 21, 24 i 27.

Najważniejszy wniosek z przedstawionych wyników, to że wyznaczenie przepływu na podstawie sygnału z akcelerometru, nawet przy stałym przepływie, jest trudne. Dla przykładu, widma dla współrzędnej Z, dla przepływu 2 l/min oraz 20 l/min różnią się bardzo niewiele, głównie składową dla 200 Hz. Niestety nie udało się wyjaśnić pochodzenia składowych, które występują w sygnałach dla częstotliwości około 50 Hz, 100 Hz oraz 200 Hz. Niepokojące jest to, że pojawiają się one

(składowa



Rysunek 17: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy zerowym przepływie (0 l/min)

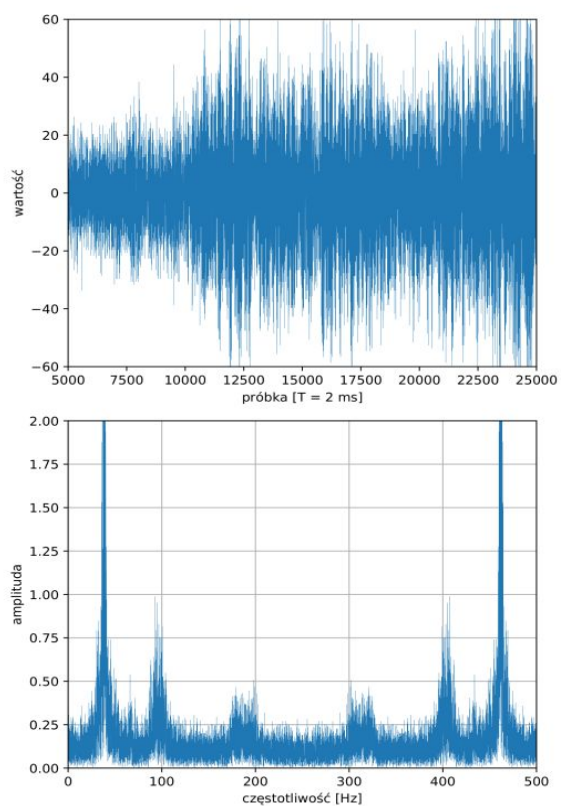
dla około 50 Hz) również dla zerowego przepływu (Rys. 17), co sugeruje, że są one generowane przez zewnętrzne czynniki zakłócające. Zatem dane takie nie mogą stanowić podstawy dla budowy modelu.

Nie można również oprzeć się na hipotezie, że energia widocznych składowych jest zależna od przepływu, co widać, dla przykładu, analizując widmo dla współrzędnej Z, dla przepływów 20, 40, 60 oraz 80 l/min (odpowiednio Rys. 18, 21, 24 oraz 27). Widać, że nie istnieje prosta relacja między przepływem a energią w widmie dla składowych około 50 Hz, 100 Hz oraz 200 Hz.

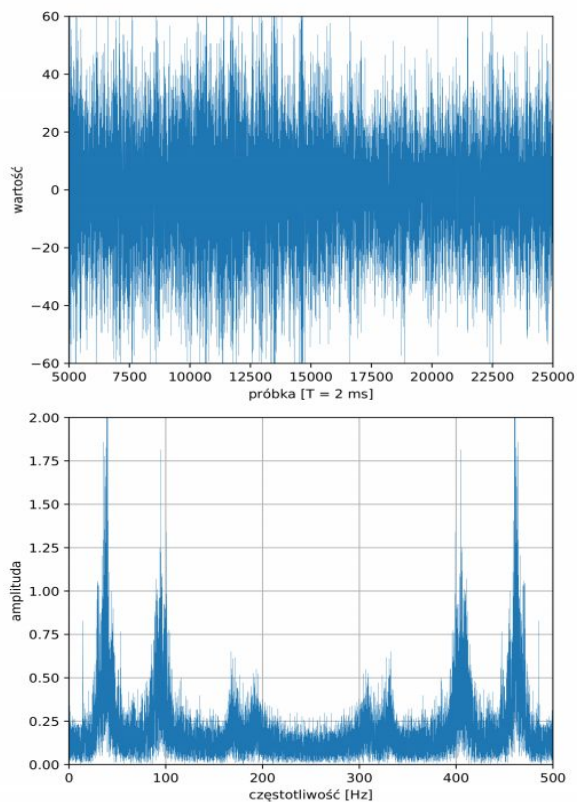
Warto również zwrócić uwagę, że pierwotne dane z instalacji (nie przedstawione w tym raporcie) dotyczyły procesu przejściowego, na podstawie którego budowa modelu byłaby jeszcze trudniejsza. Ostateczna konkluzja po analizie przedstawionych danych jest niestety pesymistyczna; w odróżnieniu od Raportu 10.05.2018, gdzie widoczna była zaskakująco silna korelacja widma z rzeczywistą szybkością przepływu, dane osiągnięte w nowej instalacji laboratoryjnej nie pozwoliły na określenie takiej zależności. W szczególności, przy niepełnym opisie układu eksperymentu, brak jest podstaw do pełnej identyfikacji i oceny zjawisk fizycznych zachodzących w zestawionej instalacji laboratoryjnej. Spośród wielu niepewności wymienić można: nieznaną relację pomiędzy przepływem a wypełnieniem rury transportowej, nieprecyzyjnie określone rozmieszczenie akcelerometrów, nieznanne parametry materiału z jakiego jest wykonana rura, brak informacji o częstotliwościach rezonansowych układu mechanicznego (na jakim zamontowana jest rura), względnie duża moc sygnału przy zerowym przepływie, jak również brak jakiegokolwiek regularności (nawet w analizowanej próbce sygnałów akcelerometrycznych, bez odniesienia do badań statystycznych). Wszystko to, oraz na przykład bezskuteczność identyfikacji źródła pochodzenia składowych o częstotliwościach około 50 Hz, 100 Hz i 200 Hz pojawiających się uzyskanym widmie sygnału z akcelerometrów, nie pozwoliło na znalezienie efektywnej korelacji pomiędzy danymi z akcelerometrów oraz szybkością przepływu cieczy w rurociągu.

Wobec powyższego, po przeprowadzonej analizie – w ostatecznej konkluzji – należy stwierdzić, że stworzenie modelu wyznaczającego szybkość przepływu cieczy w instalacji laboratoryjnej na podstawie sygnałów z akcelerometru zamontowanego na rurze transportowej, nie mogło być

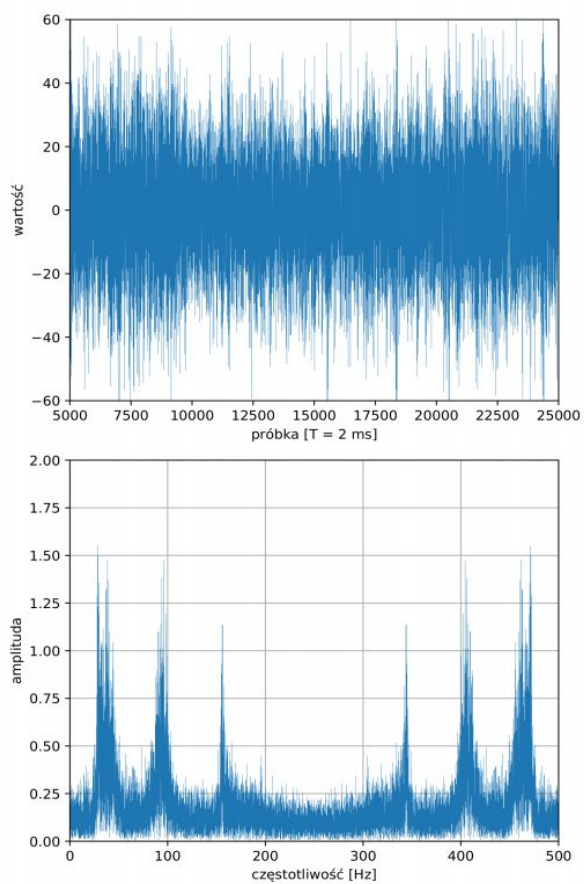
skuteczne.



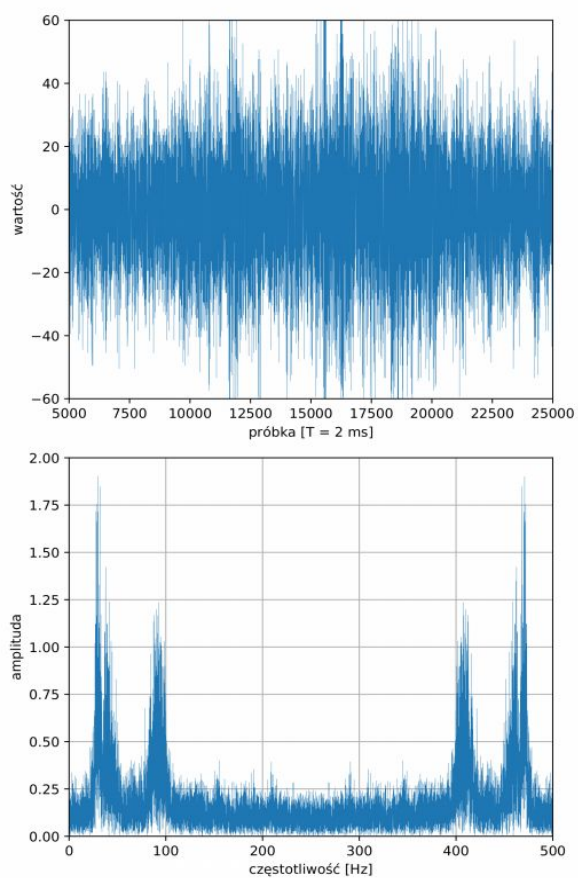
Rysunek 18: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 20 l/min



Rysunek 21: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 40 l/min



Rysunek 24: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 60 l/min



Rysunek 27: Sygnał oraz widmo współrzędnej Z przy przepływie 80 l/min

**Pieczęć firmowa Beneficjenta**

**Podpis i pieczęć osoby upoważnionej  
do reprezentowania Beneficjenta**

**Data:**