



# *„Woda 4,0” jako narzędzie służące do zwiększenia efektywności ekonomicznej, jak i ochrony Bałtyku*

## Robert Kijak i Artur Dmowski



1010 0010 1001  
0011 1110 0110  
0110 0111 0001  
1010 0011 1101  
0011 1110 0110  
0110 0111 0001  
1010 0011 1101  
0010 1001 0001

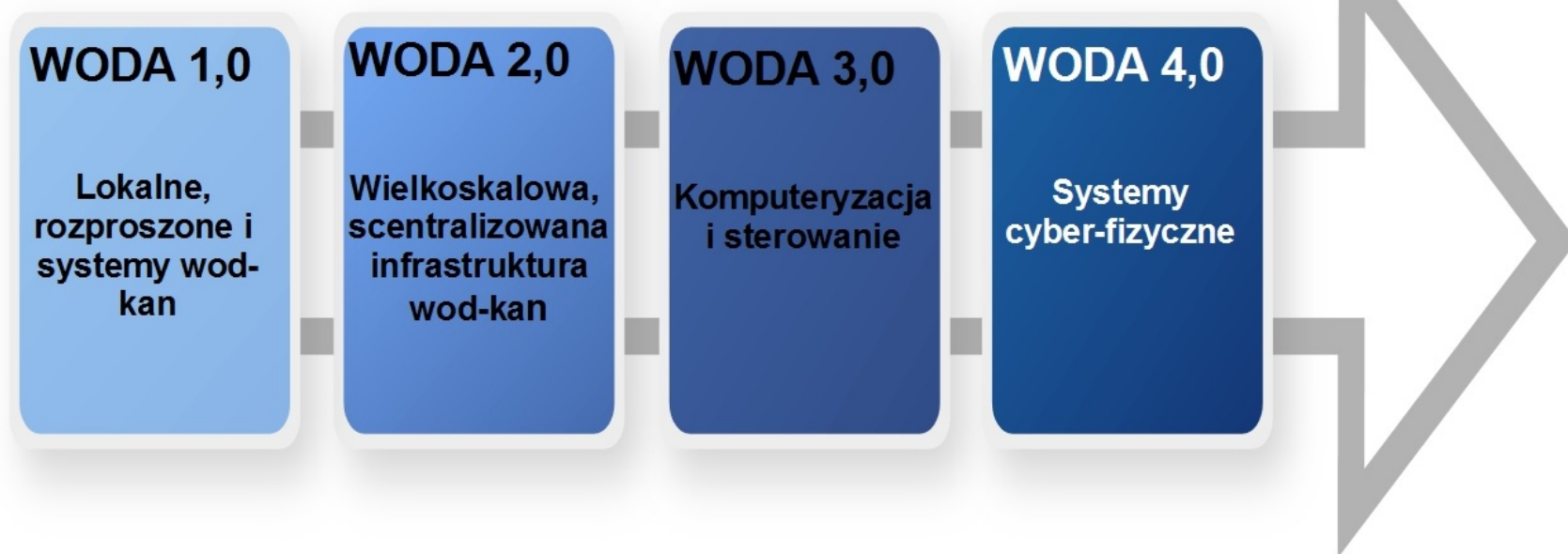
# Wstęp



- **Wizja „Przemysłu 4,0” powstała na targach Hanover Messe na początku poprzedniej dekady.**
- **„Cyfrowe bliźniaki” (*digital twins*), bezprzewodowe sondy, przemysłowy internet rzeczy, *big data*, przetwarzanie danych w chmurze i analityka predykcyjna coraz częściej z wykorzystaniem zautomatyzowanego „uczenia maszynowego” (*machine learning*).**
- **Niski stopień absorpcji technologii Przemysłu 4,0 w Polsce. Dotyczy to także oczyszczalni (lub podczyszczalni) ścieków przemysłowych.**
- **W przypadku odprowadzania i oczyszczania ścieków bytowych / komunalnych w Polsce stopień wykorzystania technologii ery Czwartej Rewolucji Przemysłowej jest często wyższy niż w samym przemyśle.**
- **O ile oczyszczalnie komunalne w Polsce były zbudowane lub rozbudowane / zmodernizowane przez ostatnie 10-15 lat to wiele oczyszczalni ścieków przemysłowych, jak i same obiekty przemysłowe które je wytwarzają są często w przededniu modernizacji.**

# Idea pojęcia Woda 4,0

## *Etapy rozwoju infrastruktury wod-kan*



Źródło: Opracowane na podstawie Alabi et al. 2019

Warszawa, 29 września 2020 r.

# Idea pojęcia Woda 4,0 (cd.)

**Przemysł  
4.0**

**Woda  
4.0**

Procesy  
inżynieryjne  
i  
biznesowe

**Zarządzanie aktywami 4.0**

**Górnictwo  
4.0**

**Transport  
4.0**

**Eksploatacja 4.0**

**Niezawodność 4.0**

**Logistyka  
4.0**

**Inne  
4.0**

**Jakość 4.0**

**Inne 4.0**

Źródło: Opracowanie własne autorów

# Korzyści i bariery



- Zastosowanie technologii Wody 4,0 może wydłużyć życie, jak i poprawić wydajność oczyszczalni ścieków, a zatem także jakość ścieków oczyszczonych.
- Podobnie jak w przypadku samych obiektów przemysłowych obsługiwanych przez oczyszczalnie jest możliwe stopniowe wdrażanie technologii ery Czwartej Rewolucji Przemysłowej (np. Greenfield 2020) co zwiększa efektywność ekonomiczną.
- Pomimo, że istnieje cała gama technologii, metod i narzędzi w tej prezentacji zasadniczo skupiono się na *digital twins*, zarządzaniu *big data* i analityce predykcyjnej na podstawie ciągłego i bezprzewodowego monitoringu urządzeń (aktywów) układu kanalizacyjnego.
- Analityka predykcyjna może być wykorzystywana głównie dla celów:
  - sterowania układem kanalizacyjnym, lub
  - obsługi predykcyjnej aktywów (utrzymania ruchu).



## Korzyści i bariery (cd.)

- Korzyści modernizacji do standardu Przemysłu 4,0:
  - (1) Racjonalność gospodarowania środkami i wykorzystania środków odtworzeniowych (CapEx)
  - (2) Efektywność ekonomiczna (niższy OpEx, jak i TotEx )
  - (3) Możliwość planowania obsługi / konserwacji i zwiększenie bezpieczeństwa (BHP)
  - (4) Korzyści środowiskowe.
- Jedną z barier jest ogólnie dość niski poziom inwestycji ukierunkowanych na wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, a także ogólnie niski poziom zainteresowania współczesnymi metodami zarządzania aktywami materialnymi i inżynierią niezawodności.
- Upowszechnienie stosowania metodyki ToTex zgodnie z ISO/TS 55010:2019 w szacunkach kosztów i korzyści (np. dla celów *business case*) wpłynęłoby zapewne na zmianę tej niekorzystnej sytuacji.

# Studia przypadków



- **Dotyczą:**
  - (1) Optymalizacji efektywności / wydajności oczyszczalni komunalnych i powiązanych z nimi sieci kanalizacyjnych,**
  - (2) Identyfikacji źródeł ścieków przemysłowych odprowadzanych niezgodnie z przepisami do kanalizacji,**
  - (3) Obsługi predykcyjnej (utrzymania ruchu) dla kluczowych aktywów układu kanalizacyjnego (np. systemów pompowych).**
- **Część studiów przypadku odnosi się do komunalnych układów kanalizacyjnych, ale te same technologie, metody i narzędzia informatyczne mogłyby zostać zastosowane do dużych oczyszczalni przemysłowych i ich sieci kanalizacyjnych.**

## Studia przypadków (cd.)

- Podział pod względem technologicznym:
  - ***Digital twins***, sondy połączone systemem SCADA, „analityka hybrydowa” dla celów optymalizacji procesów sterowania (*Endress+Hauser*)
  - ***Digital twins***, sondy połączone systemem SCADA, analityka predykcyjna dla celów optymalizacji procesów sterowania (*RHDHV*)
  - **Sondy *online*** (internet rzeczy), „analityka hybrydowa” w chmurze dla celów obsługi predykcyjnej (utrzymania ruchu) (*Dynamox*)
  - **Sondy *online*** (internet rzeczy), analityka predykcyjna w chmurze dla celów identyfikacji źródła zrzutów ścieków przemysłowych do sieci kanalizacyjnej (*Kando*).



# Studia przypadków (cd.)

## *Endress + Hauser*



- **Celem systemu Liquiline Control CDC81 jest osiągnięcie zadanych wartości azotu oraz fosforu przy jak najniższym: (1) zużyciu energii elektrycznej, jak i (2) dozowaniu odczynników chemicznych (E+H 2020).**
- **Celem systemu jest też zautomatyzowanie procesu w celu szybkiej reakcji na: (1) błędne wskazania wartości mierzonych, i (2) awarie urządzeń, np. dmuchaw (zdalna diagnostyka) (ibid).**
- **System dobiera nastawy urządzeń wykorzystując algorytmy predykcyjne wypracowane na modelu matematycznym (np. E+H i E+H 2020).**
- **Dzięki ciągłym pomiarom i sprawdzaniu jakości sygnału, Liquiline Control ma zapewnić stabilną pracę oczyszczalni i odpowiednie parametry ścieków oczyszczonych (E+H 2020).**

# Studia przypadków (cd.)

## Endress + Hauser



- Wykorzystując sieci obiektowe lub technologie bezprzewodowe, Liquiline Control przesyła dane pomiarowe do centralnej dyspozytorni lub też na mobilny komunikator umożliwiając zdalny dostęp (ibid).



**Zrzuty ekranu: Tryb automatyczny sterowania nitryfikacją i denitryfikacją**

# Studia przypadków (cd.)

## *Endress + Hauser*



### OŚ Stadtlohn (Niemcy):

- Przepustowość ~21.000 RLM , 15% ścieki przemysłowe, dwa cyklicznie pracujące reaktory działają w sposób sekwencyjny (np. E+H 2018 lub E+H 2018 b).
- Liquiline Control CDC81 steruje procesami usuwania azotu, jak i strącania fosfatów (ibid).
- Azot – wymagania operatora: (1) zautomatyzowanie procesu i (2) zapewnienie zgodności z standardami emisyjnymi dla azotu ogólnego, tj. poniżej 8 lub 12 mg/l (w zależności od pory roku) (E+H 2018).
- W każdym reaktorze została zainstalowana sonda tlenu i jonowo-selektywna sonda amonu i azotanów (ibid).
- System steruje napowietrzaniem w każdym reaktorze oddzielnie w zależności od ładunku (ibid). Na podstawie pomierzonej wartości, podawana jest tylko dokładna ilość powietrza, która jest wymagana do usunięcia jonu amonowego (ibid).
- System ustawia dynamicznie czas trwania faz nitryfikacji i denitryfikacji co może zwiększyć efektywność usuwania azotu ogólnego (tj. stałe stężenie azotu ogólnego na wylocie z oczyszczalni) (ibid).

# Studia przypadków (cd.)

## *Endress + Hauser*



- Dla fosforu, Liquiline Control zapewnia (E+H 2018 b):
  - (1) odpowiednie dozowanie odczynników strącających do osadnika wtórnego w zależności od aktualnego stężenia fosfatów ściekach
  - (2) takie same stężenie fosfatów na wylocie tylko 0,5 - 0,6 mg/l (prawnie wymagany standard emisyjny to 1,0 mg/l) oraz optymalizację dozowania odczynnika strącającego (ibid).
- Wymagania operatora: pomiary fosfatów w trzech punktach pobierania próbek, które są analizowane co 10 minut przez całkowicie zautomatyzowany analizator (ibid).
- System bierze pod uwagę pomierzoną wartość na wlocie do reaktora biologicznego w celu adaptacji do napływającego ładunku poprzez balansowanie okresów maksymalnego i niskiego ładunku (ibid).
- W oparciu o wartość pomierzoną na wylocie z reaktora, Liquiline Control dostosowuje odpowiednią dawkę odczynnika strącającego co zwiększa efektywność strącania (ibid).
- Na wylocie z oczyszczalni następuje ostateczne sprawdzenie zgodności ze standardami emisyjnymi (ibid).

# Studia przypadków (cd.)

## RHDHV



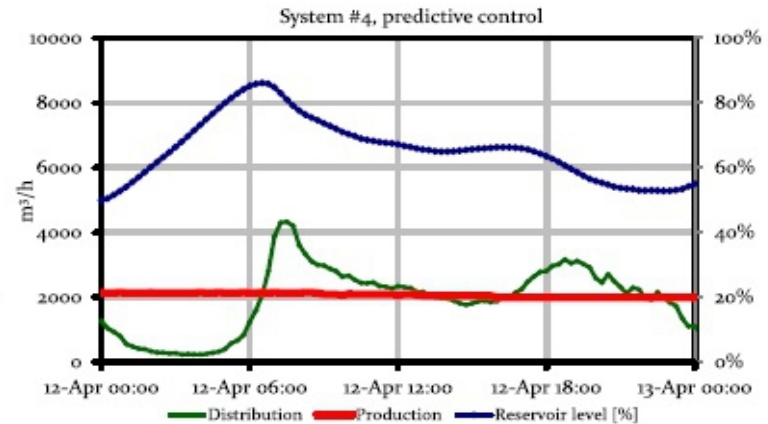
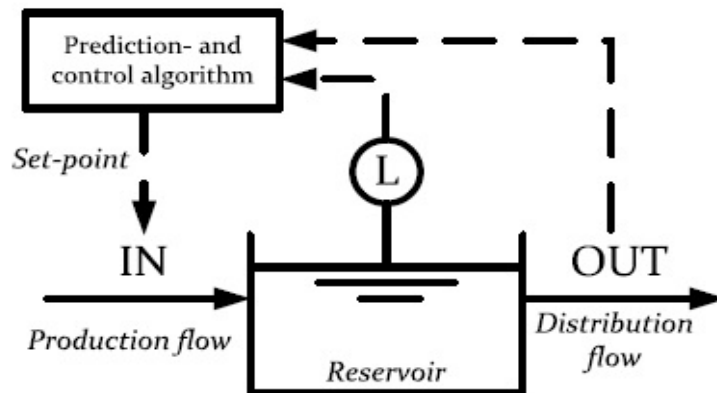
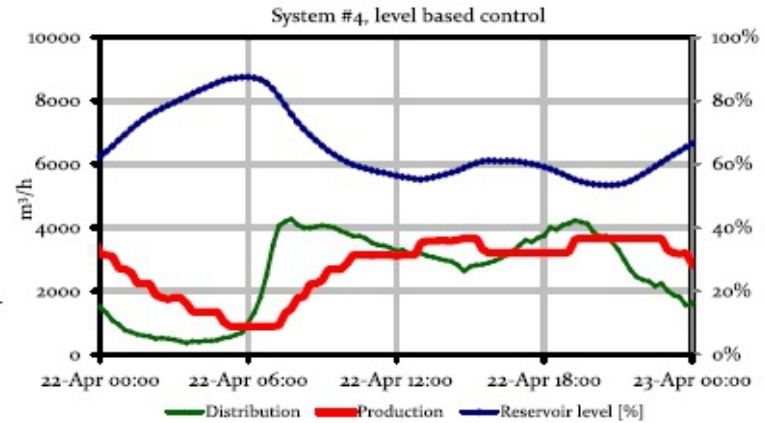
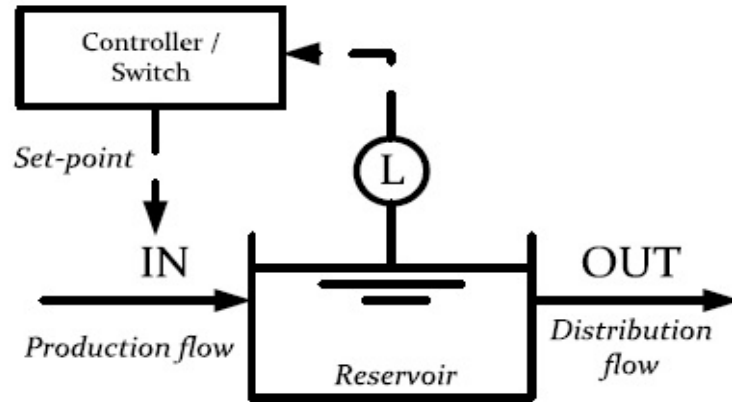
- „Wirtualny operator” Aquasuite jest oparty na automatycznym uczeniu maszynowym, który wykonuje predykcję w oparciu o dane historyczne i informacje zewnętrzne, a następnie automatyzuje czynności powtarzalne w czasie rzeczywistym (RHDHV 2020).
- Wirtualny operator poprawia efektywność („uspokaja” i „wyrównuje” procesy zachodzące w sieci i zakładzie oczyszczalni) (ibid).
- Wirtualny operator monitoruje, analizuje, wizualizuje (kokpit) i steruje przepustowością.
- W oparciu o dane z sond, informacje nt. prognoz pogody i innych danych / informacji, zapewnia predykcję z dokładnością do 97% (ibid).
- Wirtualny operator składa się z dwóch komponentów: (1) „analityka”, (2) „autopilota”(ibid).
- Wirtualny analityk przekazuje informacje ze SCADA, sterowników PLC, baz danych dla procesów i sond połączonych poprzez internet rzeczy i porównujące z danymi historycznymi (ibid).
- Autopilot jest narzędziem samouczącym się i predykcyjnym (ibid).

# Studia przypadków (cd.)

## RHDHV



- Algorytm predykcyjny



# Studia przypadków (cd.)

## RHDHV



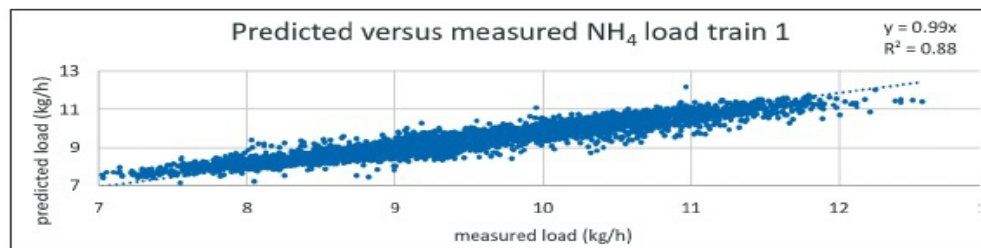
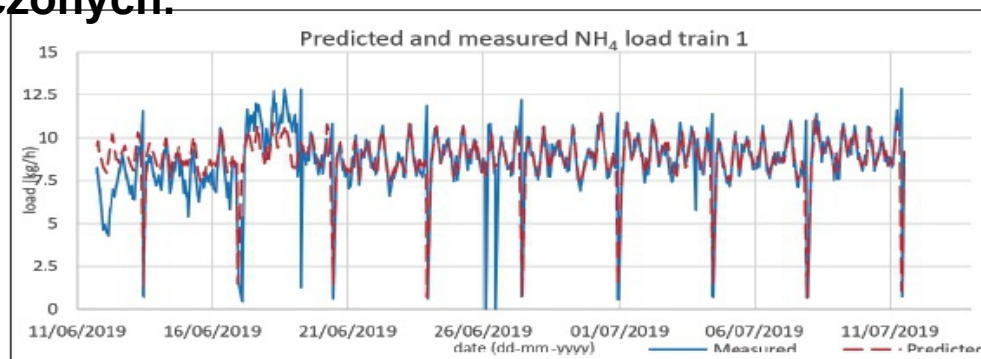
### Public Utilities Board – PUB (Singapur) (RHDHV 2020)

- Projekt pilotażowy w celu walidacji zużycia energii, odczynników chemicznych i poprawy jakości ścieków oczyszczonych, a także zmniejszenia liczby osób zaangażowanych w obsługę.
- PURE był połączony z systemem SCADA, tak aby mógł zebrać dane i rozpocząć sterowanie kluczowymi procesami, a następnie przesyłać dane do chmury Aquasuite. Z danymi zebranymi w chmurze (w czasie zbliżonym do czasu rzeczywistego), PURE może śledzić efektywność procesów poprzez *digital twin*.
- Operator miał dostęp przez chmurę do zaawansowanej analityki. Otrzymywał też wczesne ostrzeżenia o wybranych zdarzeniach.
- Jednocześnie narzędzie (PURE), już poza chmurą, optymalizowało w czasie rzeczywistym efektywność pracy.

# Studia przypadków (cd.)

## RHDHV

- Aquasuite (PURE) potrafił przewidzieć i przygotować się na kilka dni wcześniej do napływu ładunku azotu amonowego.
- Zapewniono wymaganą efektywność pracy kiedy proces nie był nadzorowany.
- Wykazano spadek wydatku powietrza o 15% co wiązało się ze spadkiem zużycia energii. Praca oczyszczalni była bardziej stabilna. Polepszyła się też jakość ścieków oczyszczonych.



Źródło: RHDHV 2020 c



# Studia przypadków (cd.)

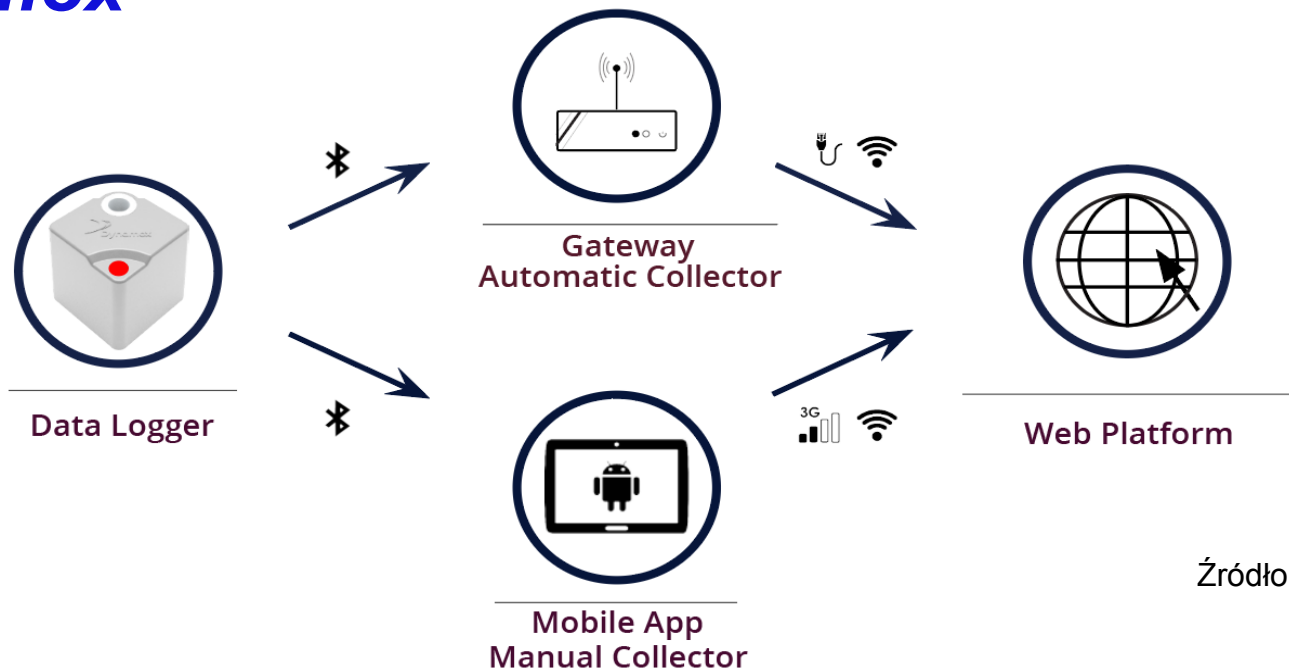
## *Dynamox*



- **Poniższe studiu przypadku dotyczą zastosowania narzędzia DynaPredict do pomp odśrodkowych w gospodarce wod-kan i zmniejszenia ich awaryjności, która może skutkować awaryjnym zrzutem ścieków nieoczyszczonych do wód.**
- **Charakterystyką pomp odśrodkowych są elementy wirnika wyposażone w kierownice łopatkowe (wirnik), które wywierają na ciecz siły w wyniku wytwarzanego przyśpieszenia (Passos 2020).**
- **Narzędzie DynaPredict umożliwia prowadzenia analiz na podstawie pomiaru drgań i temperatury dla maszyn wirnikowych. Narzędzie oparte jest na bezprzewodowej technologii i składa się z następujących głównych elementów (ibid):**

# Studia przypadków (cd.)

## Dynamox



Źródło: [www.dynamox.net](http://www.dynamox.net)

- Główną cechą platformy internetowej jest kokpit menadżerski, który klasyfikuje zebrane dane na podstawie uprzednio skonfigurowanych alertów / monitów (ibid).
- W przypadku wystąpienia alertu, status zmienia się z koloru **zielonego** (brak alertu) **na żółty** (alert A1) lub **czerwony** (alert A2) (ibid).

Warszawa, 29 września 2020 r.

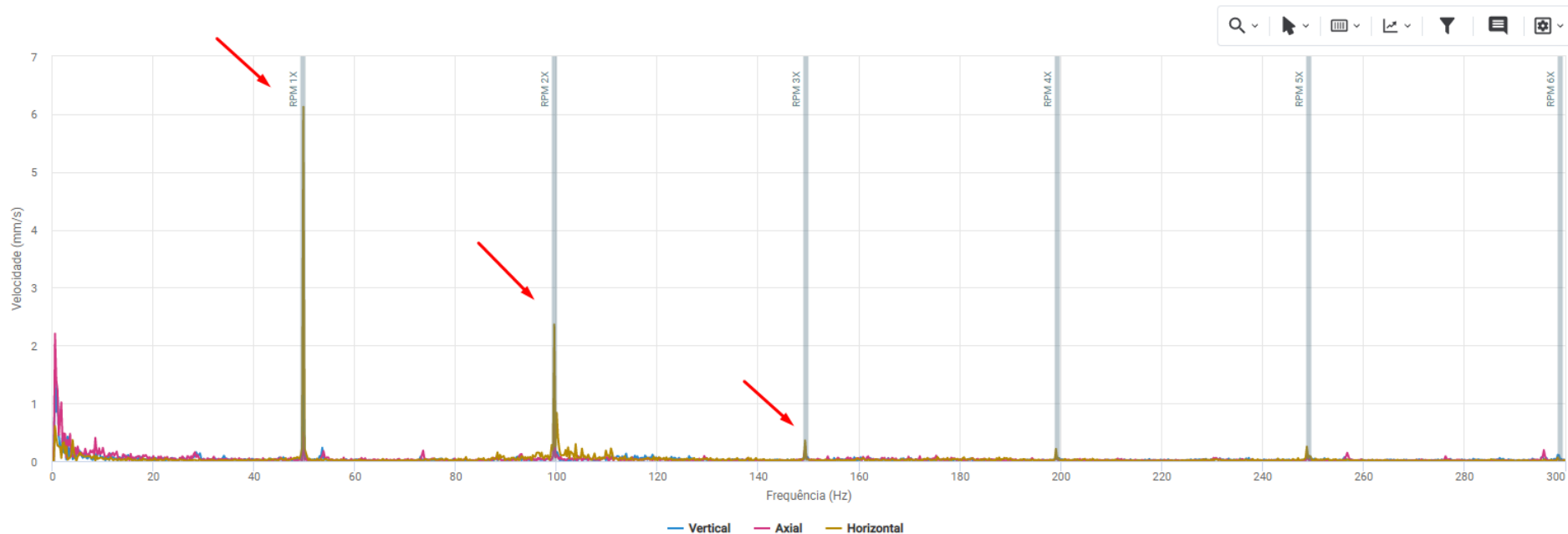
# Studia przypadków (cd.)

## Dynamox

### Studium przypadku nr 1 (Passos 2020)

- Wykryta została wysoka prędkość drgań (mm/s) dla częstotliwości 1X (obr/min) w kierunkach poziomym i osiowym. Osiewanie laserowe wykryło niewspółosiowość poziomą 6 mm i osiową 2,5 mm.
- Analiza widmowa wskazująca na piki sygnału, które są spójne ze wskaźnikami uszkodzeń dla 1X obr/min, 2X obr/min, 3X obr/min, itd. (1

Espectro obr/min = 1/60 Hz)

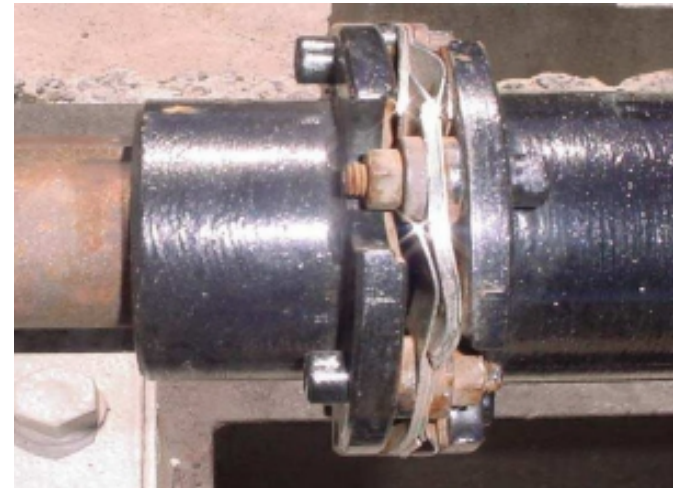
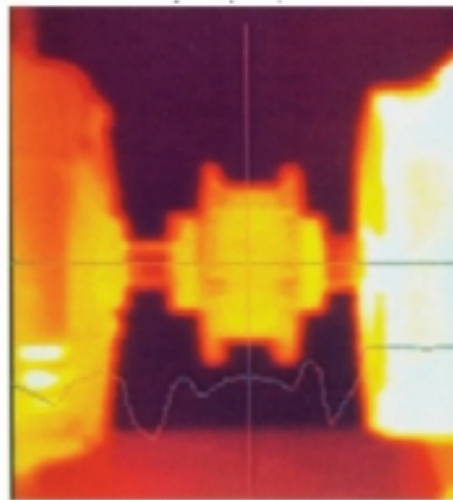
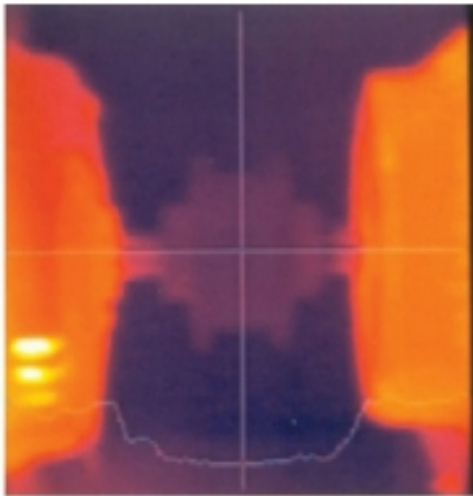


Warszawa, 29 września 2020 r.

# Studia przypadków (cd.)

## *Dynamox*

- W warunkach niewspółosiowości wirnika następuje wzrost temperatury, poziomu dźwięku i drgań dyssypujących część energii (patrz poniżej), która powinna zostać zamieniona na pracę. Prowadzi to do zmniejszenia efektywności urządzenia.



# Studia przypadków (cd.)

## Kando



- **Clear Upstream wykorzystuje *big data* wraz z algorytmami uczenia maszynowego i umożliwia operatorowi sieci kan. na monitorowanie w czasie rzeczywistym warunków w niej panujących (Steward 2020).**
- **Pomiary ścieków odbywają się powyżej oczyszczalni i koncentrują się na konkretnej lokalizacji tak aby móc śledzić substancje zawarte w ściekach i doprowadzić do ich źródła (ibid).**
- **Clear Upstream identyfikuje zdarzenie związane ze zrzutem ścieków, ich potencjalne źródło i powiadamia operatora na interaktywnym kokpicie o tych zdarzeniach, które mogą mieć wpływ na oczyszczalnię po czym rozpoczyna automatyczny pobór próbek (Steutel-Marón 2019, Steutel-Marón 2019 b, Steward 2020, Kando 2020 b).**
- **Pozwala to operatorowi odpowiednio zareagować zanim zanieczyszczenia dotrą do oczyszczalni (Steutel-Marón 2019 b).**

# Studia przypadków (cd.)

## *Kando*



### Przedsiębiorstwo wod-kan EYDAP (Grecja)

- **Celem była ochrona oczyszczalni ścieków przed zrzutami do sieci kanalizacyjnej ścieków przemysłowych niezgodnych z przepisami (Steutel-Maron 2019), jak i zmniejszenie OpEx (Kandu 2020 c).**
- **System początkowo uwzględniał: cztery sondy i cztery urządzenia do poboru próbek, przy czym jedna para z nich w pobliżu zrzutu ścieków z zakładu przemysłowego, który podejrzewano o nielegalne zrzuty (ibid).**
- **Podczas zrzutu ścieków, urządzenia do poboru próbek uruchamiały się autonomicznie po czym próbki były przesyłane do laboratorium (ibid).**
- **Wyniki badań potwierdziły wysoki poziom zanieczyszczeń, ale algorytm Clear Upstream wskazał na inny zakład niż ten, który początkowo podejrzewano (ibid). Urządzenia zostały zatem przemieszczone w celu trafniejszej identyfikacji źródła (ibid).**

# Studia przypadków (cd.)

## *Kando*



- Po przemieszczeniu urządzeń, zakład przemysłowy został zidentyfikowany i dalej monitorowany, a próbki były pobierane automatycznie podczas kolejnych zrzutów (ibid). Wyniki badań laboratoryjnych potwierdziły wskazania algorytmu Clear Upstream.
- Po weryfikacji, EYDAP mógł podjąć stosowne działania w stosunku do zakładu przemysłowego i ograniczyć przyszłe incydenty.
- W ramach projektu osiągnięto następujące rezultaty:
  - Zostały zidentyfikowane nieznane wcześniej nielegalne zrzuty (Kandu 2020 c).
  - Zidentyfikowane zakłady przemysłowe zaprzestały zrzutów ścieków zanieczyszczonych co zmniejszyło napływający ładunek do oczyszczalni (ibid).
  - Docelowo zmniejszono zrzutów niezgodne z przepisami o 50% (Steutel-Maron 2019).
  - W rezultacie zapłacono 1,3 million USD kar (Kandu 2020 c).

# Podsumowanie



- **Proces absorpcji technologii związanych z Wodą 4,0 w gospodarce wod-kan (zarówno komunalnej, jak i przemysłowej) w Polsce postępuje z różnych przyczyn dość powoli, a miałyby on szereg korzyści.**
- **Korzyści wykazane na podstawie szeregu studiów przypadku to:**
  - (1) racjonalność gospodarowania środkami i wykorzystania środków odtworzeniowych (CapEx)**
  - (2) efektywność ekonomiczna (niższy OpEx, jak i TotEx)**
  - (3) możliwość planowania obsługi / konserwacji i zwiększenie bezpieczeństwa (BHP)**
  - (4) korzyści środowiskowe (tj. zapewnienie jakości ścieków oczyszczonych) w tym ochrona Bałtyku przed zanieczyszczeniem.**



## Podsumowanie (cd.)



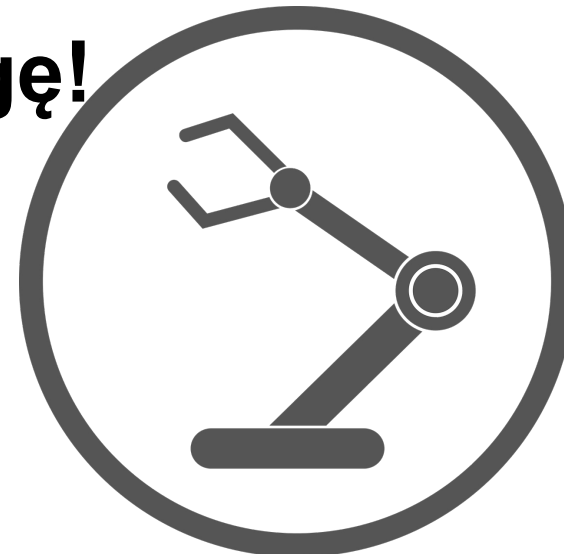
- **Jedna z barier związanych z dotychczasowym niskim poziomem zastosowania nowych technologii Wody 4.0 w kraju jest ogólnie dość niski poziom inwestycji ukierunkowanych na wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, a także ogólnie niski poziom zainteresowania współczesnymi metodami zarządzania aktywami materialnymi i inżynierią niezawodności.**
- **Odpowiednio przeprowadzone analizy finansowe uwzględniające ToTex i OpEx, mogłyby zmienić tą niekorzystną sytuację.**
- **Kończąc warto też zwrócić uwagę, że Polska jest krajem, któremu grozi deficyt wody, który będzie się pogłębiał wraz ze zmianami klimatu, natomiast Woda 4,0 może także zmniejszyć ślad węglowy i wodny, a z pewnością poprawić naszą odporność na zmiany klimatu.**



*„Woda 4,0” jako narzędzie służące do  
zwiększenia efektywności ekonomicznej, jak  
i ochrony Bałtyku*



**Dziękujemy za uwagę!**



Robert Kijak i Artur Dmowski

[kijakr@gmail.com](mailto:kijakr@gmail.com)

kom. 729 542 446

Źródło: Jan / <https://pixabay.com/>



Warszawa, 29 września 2020 r..

