


<div>BIURO PROJEKTÓW GOSPODARKI WODNO – ŚCIEKOWEJ „HYDROSAN” Sp. z o.o. 44-100 GLIWICE, UL. H. SIENKIEWICZA 10, TEL. 32 231 00 81</div>		<div></div>
Nr umowy: 900/2024 (PWIK/223/50/2024)		Nr rejestr.: 8357/24
Inwestycja (zagadnienie):	Projekt procesowy (bilans obciążenia oraz obliczenia technologiczne) wraz z modelowaniem hydraulicznym zbiornika retencyjnego na oczyszczalni ścieków w Rybniku-Orzepowicach	
Obiekt:	OCZYSZCZALNIA ŚCIEKÓW W RYBNIKU – ORZEPOWICACH ul. Rudzka 132, 44-200 Rybnik	
Stadium:	TOM IV - MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO	
Branża:	Opracowanie wielobranżowe	
Inwestor:	Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Spółka z o.o. ul. Pod Lasem 62, 44-210 Rybnik	
Zespół autorski:	<div>mgr inż. Dawid Kościański <small>UPRAWNIENIA BUDOWLANE do projektowania i kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności: instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń: wodociągowych i kanalizacyjnych, ciepłych, wentylacyjnych i gazowych upr. nr 409/02; upr. nr SLK/1185/OWOS/06; nr ewid. SLK/IS/7908/02</small></div> <div>dr inż. Marcin Janik</div>	<div>.....</div> <div>.....</div>
Kierownik Zespołu Projektantów: mgr inż. Dawid Kościański		
Data: luty 2025 r.		
<div>Niniejszym oświadczam, że przedmiotowe opracowanie zostało sprawdzone i uznane za sporządzone prawidłowo zgodnie z przepisami oraz umową i jest kompletne z punktu widzenia celu, któremu ma służyć. Gliwice, luty 2025 r.</div>		

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

METRYKA OPRACOWANIA

<u>Inwestycja:</u>	Projekt procesowy (bilans obciążenia oraz obliczenia technologiczne) wraz z modelowaniem hydraulicznym zbiornika retencyjnego na oczyszczalni ścieków w Rybniku-Orzepowicach
<u>Inwestor:</u>	Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Spółka z o.o. ul. Pod Lasem 62, 44-210 Rybnik
<u>Obiekt:</u>	OCZYSZCZALNIA ŚCIEKÓW W RYBNIKU – ORZEPOWICACH ul. Rudzka 132, 44-200 Rybnik
<u>Opracowanie:</u>	TOM IV – MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO
<u>Podstawa opracowania:</u>	Umowa nr PWIK/223/50/2024 z dnia 10.07.2024 r.
<u>Data wersji dokumentu:</u>	07.02.2025

Spis treści

1. Założenia do obliczeń retencji	3
2. Charakterystyczne przepływy przyjęte do obliczeń	3
3. Metodyka obliczeń.....	10
4. Obliczenia retencji na terenie oczyszczalni ścieków	11
5. Obliczenia retencji na kolektorze kanalizacyjnym przed oczyszczalnią ścieków	19
6. Podsumowanie.....	27

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

1. Założenia do obliczeń retencji

Oczyszczalnia ścieków w Rybniku Orzepowicach wymaga działań w kierunku zapewnienia możliwości bezpiecznej pracy pod obecnym obciążeniem, przy zachowaniu rezerwy dla rozwoju sieci kanalizacyjnej.

Analiza układu procesowego wskazuje na konieczność dostosowania elementów ciągu technologicznego do zwiększonych warunków obciążenia. Obliczenia części biologicznej oczyszczalni zakładają 2 warianty docelowej pracy oczyszczalni – z zachowaniem istniejących warunków lub zwiększeniem dopływu o 10%.

Warianty:

- a) Wariant 1 i 2 - Dobudowa osadnika wstępnego (wg posiadanego projektu) oraz bioreaktorów dla przepływu 20000 m³/d (833 m³/h)
- b) Wariant 3 i 4 - Dobudowa osadnika wstępnego (wg posiadanego projektu), bioreaktorów i osadników wtórnych dla przepływu 22000 m³/d (917 m³/h).

Przepływem granicznym jaki przyjmuje się do określenia warunków retencji jest przepływ miarodajny do wymiarowania osadnika wstępnego. Wartość ta wynosi odpowiednio w analizowanych wariantach:

- | | |
|---|------------------------|
| a) Wariant 1 i 2 – przepływ do wymiarowania osadnika wstępnego: | 1330 m ³ /h |
| b) Wariant 3 i 4 – przepływ do wymiarowania osadnika wstępnego: | 1463 m ³ /h |

Celem prowadzenia procesu retencji ścieków jest:

- zatrzymanie w pierwszej kolejności przepływów maksymalnych i zabezpieczenie ciągu technologicznego przed przepływami przekraczającymi przepustowość oczyszczalni.
- przyjęcie przepływów powyżej wartości średnich ze spłaszczeniem fali dopływu i ograniczeniem negatywnego wpływu na ciąg biologiczny.

Retencja na terenie oczyszczalni ścieków dotyczy dopływu, które przyjmuje przepompownia główna – tj. do maksymalnej wydajności ciągu mechanicznego oczyszczania ścieków.

Dodatkowym problemem dla oczyszczalni w Orzepowicach jest napływ ścieków powyżej przepustowości oczyszczalni w okresie trwania opadów. Dopływ ten powoduje obecnie problemy związane z przepiętnieniem sieci kanalizacyjnej w obrębie kolektorów głównych. Zagadnienie to wymaga zastosowania retencji na sieci kanalizacyjnej w celu zapewnienia bezpiecznych warunków eksploatacji sieci i bezpiecznego funkcjonowania oczyszczalni.

2. Charakterystyczne przepływy przyjęte do obliczeń

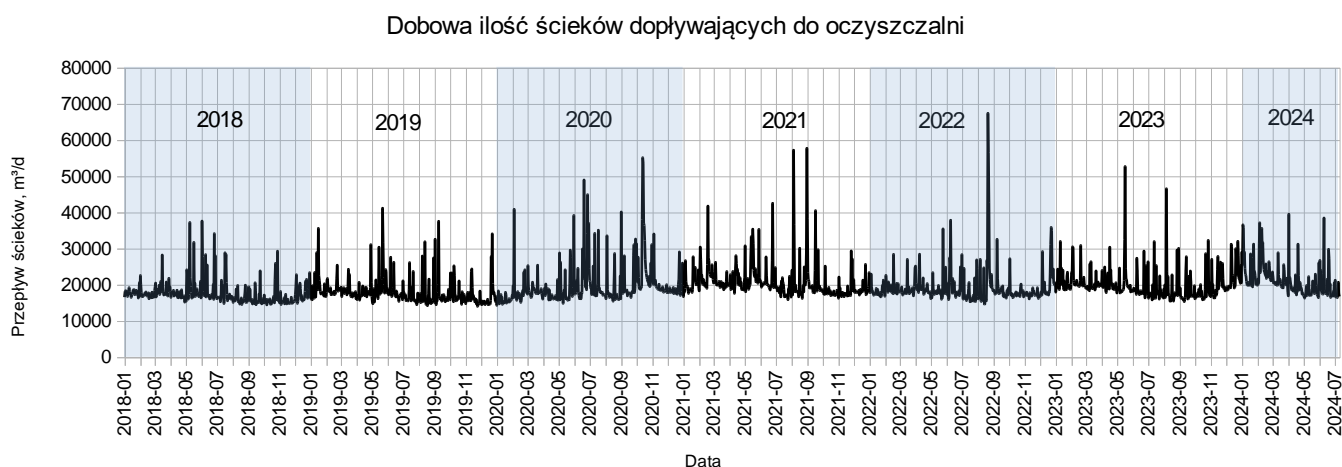
Przepustowość oczyszczalni ścieków zgodnie z obowiązującym pozwoleniem wodnoprawnym z 2021r wynosi:

- | | |
|--|---|
| • Przepływ średni dobowy (Q _{dśr}): | 27 500 m ³ /d ~ 1146 m ³ /h |
| • Przepływ maksymalny sekundowy (Q _{max}): | 0,32 m ³ /s ~ 1152 m ³ /h |
| • Zrzut z przelewu burzowego (Q _{bmax}): | 0,45 m ³ /s ~ 1620 m ³ /h |

Dane na podstawie których określa się aktualne warunki funkcjonowania oczyszczalni obejmują przepływy godzinowe z okresu 01.01.2018 – 15.09.2024.

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Bilans ilości ścieków dopływających do oczyszczalni wykonany w tomie I opracowania charakteryzuje szczegółowo zmienność przepływów dobowych. Wykres poniżej przedstawia zestawienie przepływów godzinowych w całym analizowanym okresie.



Rysunek 1. Dobowa ilość ścieków dopływających do oczyszczalni w Orzepowicach

Analiza przepływów dobowych wskazuje na następujące zależności:

- Średnia ilość ścieków dopływająca do oczyszczalni w latach 2018-2024 wynosiła 19 255 m³/d. Mediana dobowej ilości ścieków dla tego samego okresu to 18 030 m³/d.
- Najczęściej występującym zakresem przepływów są wartości w zakresie od 17640 - 18050 m³/d
- Oceniając przedziały, najczęściej występują przepływy w zakresie 16-18 tys. m³/d i następnie 18-20 tys. m³/d.
- Obliczony roczny wzrost dobowej ilości ścieków wynosi około 480 m³/d.

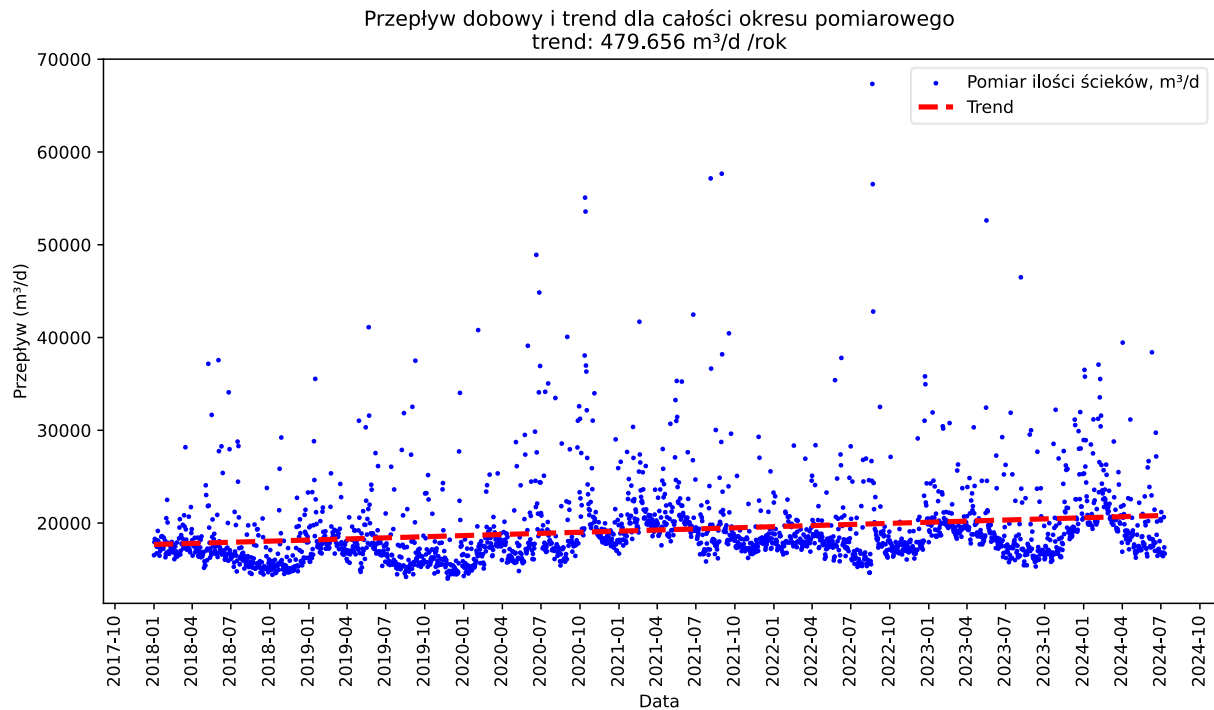
Rozkład częstości występowania przepływów dobowych wskazuje, że w całym analizowanym okresie około 5% przepływów dobowych przekracza wartość średniodobową według pozwolenia wodnoprawnego (27500 m³/d).



Rysunek 2. Wystąpienie przepływów dla całego okresu 2018-2024

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Ogólny trend dla całego analizowanego okresu przedstawiono na wykresie poniżej:



Rysunek 3. Przepływ dobowy i trend ilości ścieków dla całego okresu 2018-2024

Dane godzinowe obejmują okres 01.2018 - 09.2024 i są rozszerzone o okres wystąpienia intensywnych opadów we wrześniu 2024r., który charakteryzował się wyjątkowo długim okresem występowania maksymalnych przepływów.

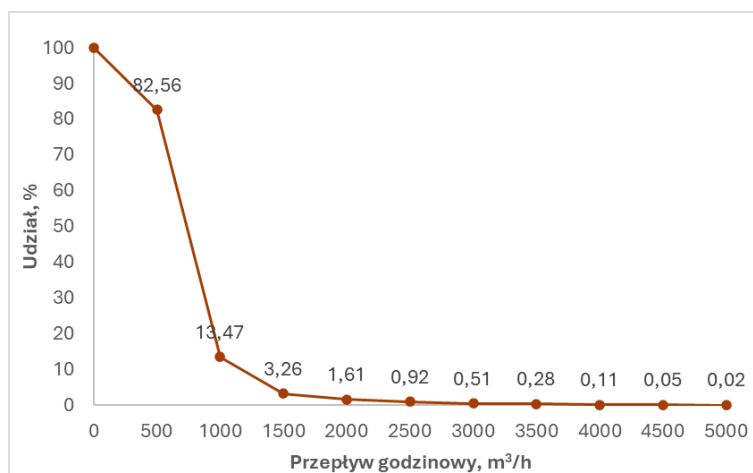
Charakterystyczne wielkości przepływów w ocenianym okresie zestawiono w tabeli poniżej:

Tabela 1. Charakterystyczne przepływy godzinowe z okresu 01.2018-09.2024

Charakterystyczne przepływy, m ³ /h	
Średnia	812
Mediana	813
85-percentyl	984
90-percentyl	1 048
95-percentyl	1 248
97-percentyl	1 554
99-percentyl	2 425
Maksimum	5 220

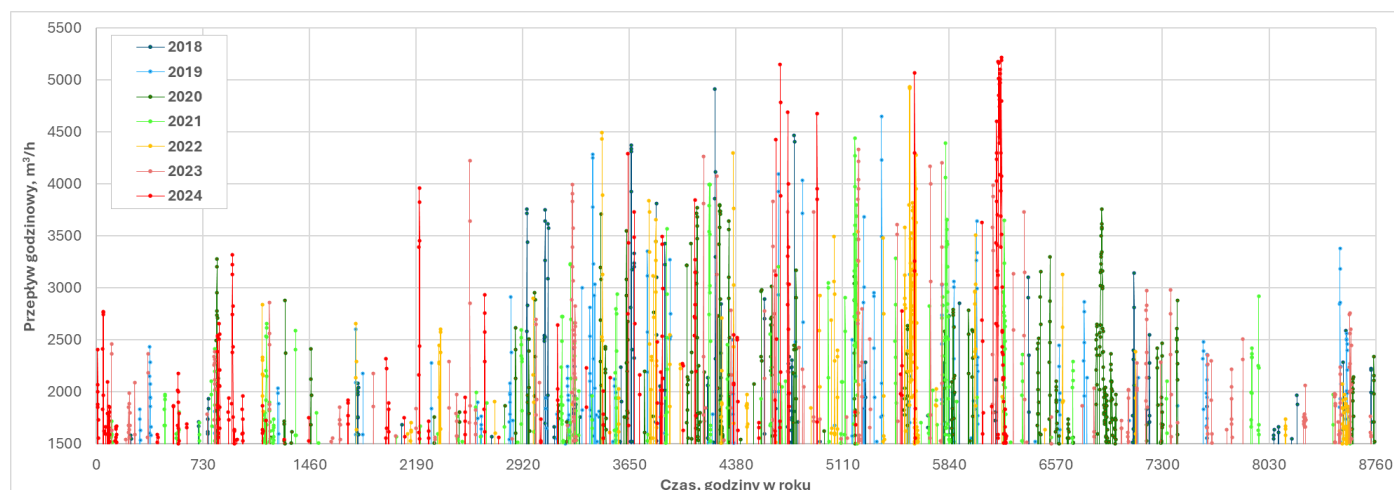
MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Spośród wszystkich przepływów ponad 15% pomiarów przekroczyło założoną wartość przepływu średniego dla warunków docelowych ($22\,000\text{ m}^3/\text{d} = 917\text{ m}^3/\text{h}$). Ponad 3% pomiarów przekracza przepływ określony jako maksymalny do projektowania osadnika wstępnego. Te dwa przedziały obejmują przepływy wymagające zretencjonowania w oczyszczalni ścieków.



Rysunek 4. Procentowy udział przepływów o danej wartości i większej

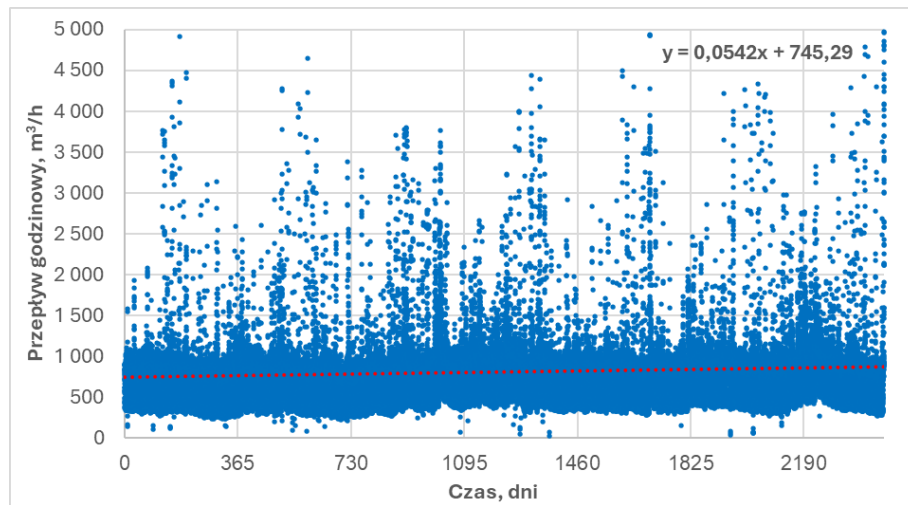
Przepływy znacznie przekraczające przepływ projektowy dla osadników wstępnych występowały często w analizowanym okresie. Poniżej na wykresie przedstawiono wszystkie zdarzenia powyżej wartości $1500\text{ m}^3/\text{h}$ od początku 2018r. do połowy 2024r. Kolorem oznaczono poszczególne lata. Wszystkie przepływy zebrane na jednym wykresie nie wskazują trendów mogących pokazywać potencjalne kierunki zmian. Występowanie maksymalnych przepływów pokrywa się bezpośrednio ze zdarzeniami opadowymi, a także okresami występowania podwyższonego poziomu wód gruntowych (okres zimowo-wiosenny).



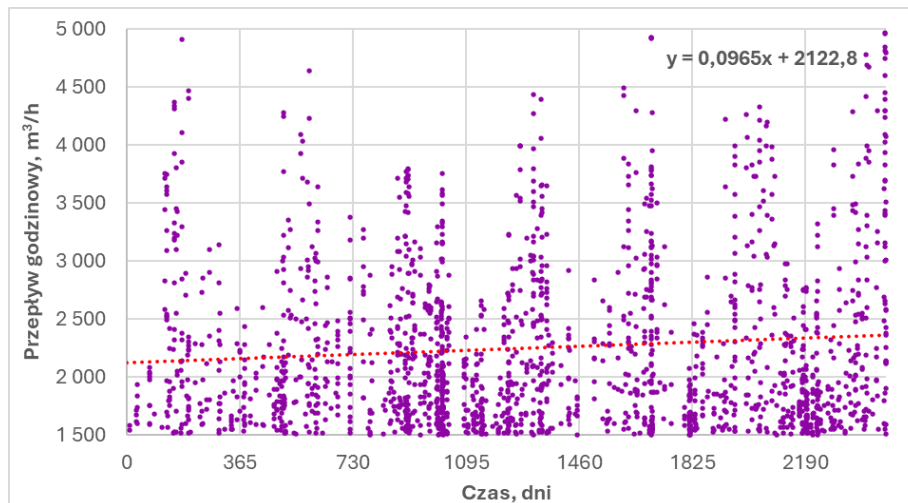
Rysunek 5. Przepływy godzinowe powyżej $1500\text{ m}^3/\text{h}$, przekraczające maksymalny przepływ dla projektowania osadnika wstępnego

Na kolejnych wykresach przedstawiono wartości przepływów godzinowych (I kw. 2018r. – III kw. 2024r.) – wszystkich oraz powyżej wartości: $1500\text{ m}^3/\text{h}$, $2500\text{ m}^3/\text{h}$, $3500\text{ m}^3/\text{h}$. Dla zestawień oceniono liniowy trend zmian przepływów w analizowanym okresie.

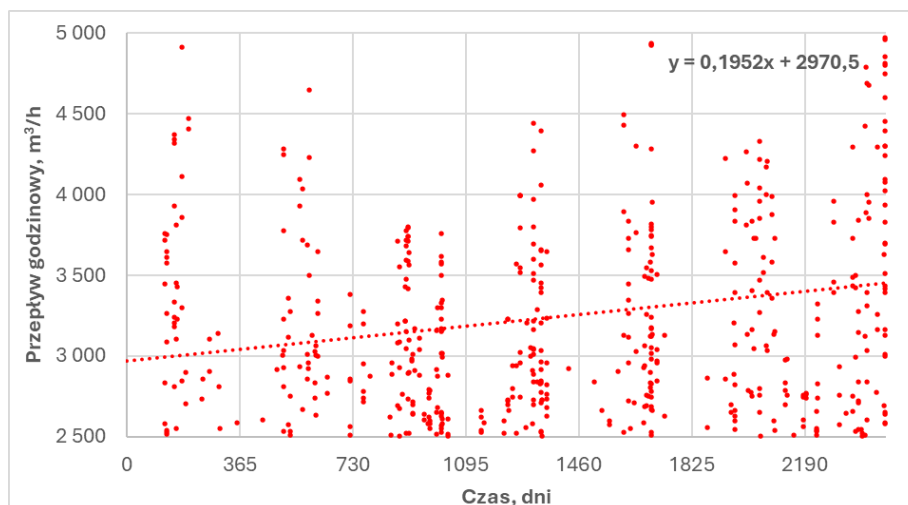
MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO



Rysunek 6. Przepływy godzinowe w okresie 2018-2024 oraz linia trendu

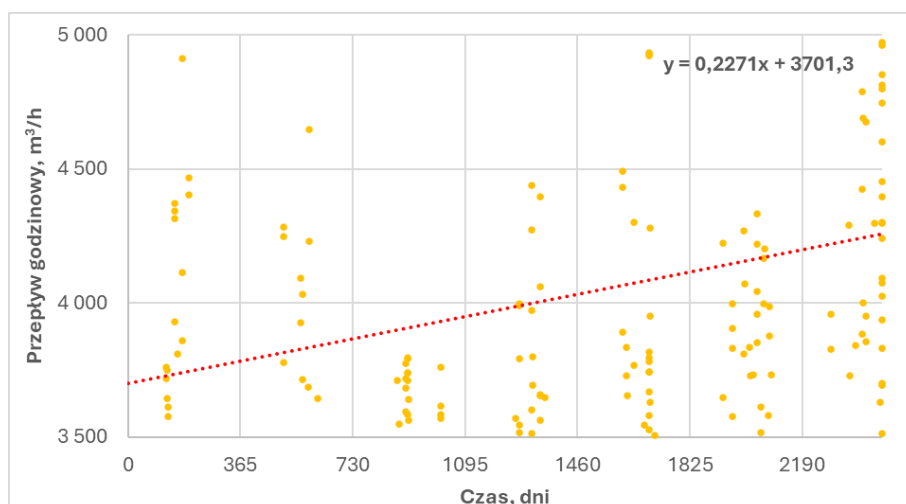


Rysunek 7. Przepływy powyżej 1500 m³/h w okresie 2018-2024 wraz z linią trendu



Rysunek 8. Przepływy powyżej 2500 m³/h w okresie 2018-2024 wraz z linią trendu

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

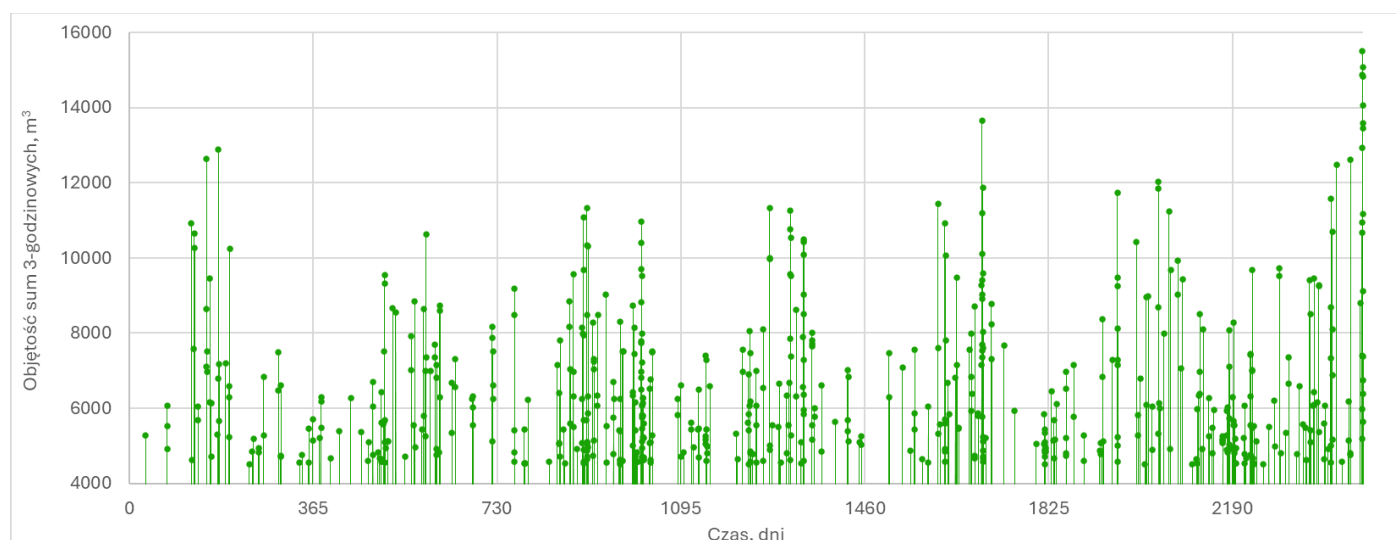


Rysunek 9. Przepływy powyżej 2500 m³/h w okresie 2018-2024 wraz z linią trendu

Ocena przedziałów występowania przepływów godzinowych pokazuje, że dla zbioru wszystkich wartości trudno uchwycić istotne różnice w całym okresie. Natomiast analiza przepływów odciętych powyżej kolejnych progów wartości wskazuje na trend wzrostowy, który dla przepływów powyżej 2500 m³/h w sposób widoczny zwiększa maksymalne obciążenie oczyszczalni i liczbę niebezpiecznych zdarzeń.

Planowanie retencji ścieków wymaga również oceny występowania ciągów z przepływami maksymalnymi. W tym celu zestawiono 3-godzinowe sumy przepływów oraz sumy dobowe.

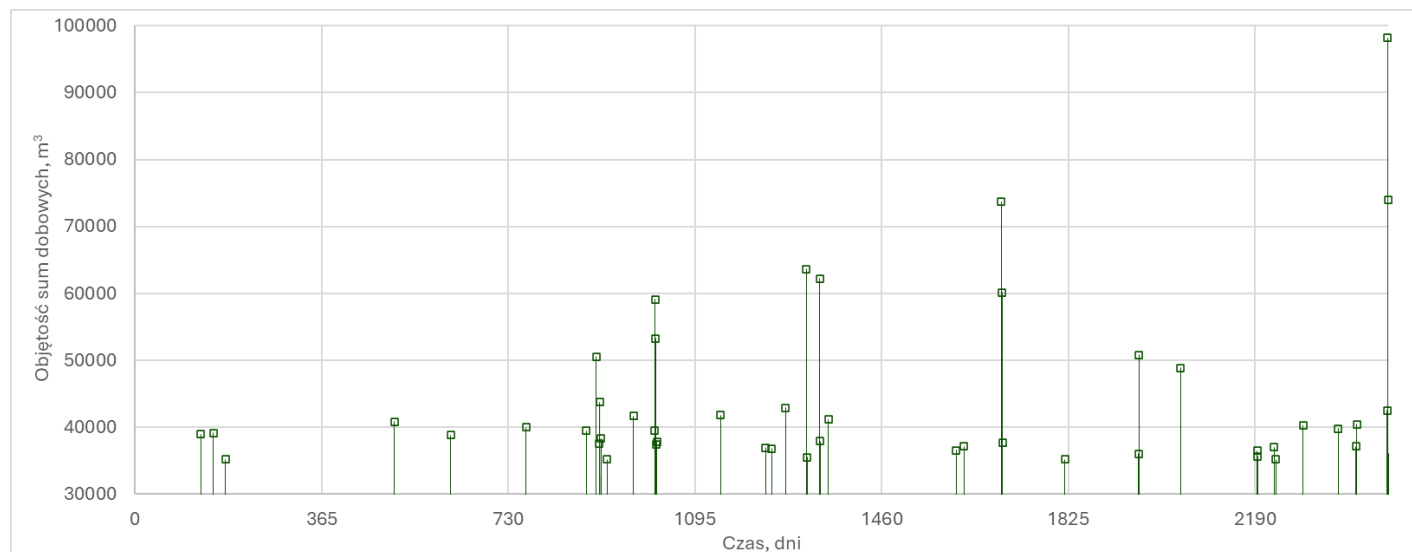
Sumy przepływów godzinowych powyżej 4500 m³ wskazują na występowanie przepływów przekraczających projektowane obciążenie oczyszczalni. Przedstawione na wykresie występowanie sum pokazuje, że ciągi maksymalnych przepływów mogą trwać nawet do kilku dni. Niebezpiecznym zjawiskiem są ciągi sum znacząco powyżej obciążenia oczyszczalni w zakresie 3-5 tys. m³/h., które przekraczają znacząco możliwości technologiczne oczyszczalni.



Rysunek 10. Sumy objętości 3-godzinowe o wartości łącznej powyżej 4500 m³

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Kolejne zestawienie obejmuje dobowe sumy przepływów powyżej 35 tys. m³, określające stałe obciążenie w ciągu doby przekraczające projektowe obciążenie osadników wstępnych. Stwierdza się również przypadki kiedy przez ponad dobę trwa dopływ 2-3 krotnie większy od projektowanego obciążenia.



Rysunek 11. Sumy objętości dobowe o wartości tęczowej powyżej 35000 m³

Skalę problemu przedstawiają statystyki występowania zdarzeń. Sumy 3-godzinowe przekraczające zakładane wielkości godzinowe sięgają 100 razy w roku. Dobowe ciągi przekraczające maksymalne wielkości wystąpiły w analizowanym okresie prawie 50 razy.

ile wystąpień						623		48
85%						8656		53135
95%						10696		70151
max						15506		98206

Tabela 2. Charakterystyczne wielkości dla sum objętości 3-godzinowych i dobowych

Parametr	Jedn.	Sumy objętości 3-godzinowe – powyżej 4500 m ³	Sumy objętości dobowe – powyżej 35000 m ³
Liczba wystąpień	-	623	48
85 percentyl	m ³ /h	8656	53135
95 percentyl	m ³ /h	10696	70151
Maksymalna wartość	m ³ /h	15506	98206

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

3. Metodyka obliczeń

Obliczenia hydrauliczne sieci kanalizacyjnej wykonano w programie SWMM (Storm Water Management Model), który jest narzędziem do symulacji przepływu w systemach odwadniających. Aplikacja umożliwia obliczenia przepływu grawitacyjnego i ciśnieniowego z wykorzystaniem równania Bernoulliego oraz równań ruchu, opisujących przepływ wód w rurach i innych elementach systemu metodą fali dynamicznej. Program stosuje podejście oparte na metodzie objętości kontrolnej, analizując przepływ wody w objętościach kontrolnych: rur, zbiorników i studzienek. Obliczenia uwzględniają bilans masy i energii. SWMM pozwala na symulację przepływu dynamicznego - program analizuje zmiany w czasie oraz wpływ opadów na poziomy wód w systemie. Model uwzględnia zarówno przepływy ustalone, jak i zmienne w czasie.

Modelowanie przepływu dynamicznego:

- Modelowanie systemu - zdefiniowanie geometrii systemu odwadniającego oraz właściwości elementów.
- Parametry hydrauliczne - średnice rur, nachylenia, chropowatość powierzchni spływu.
- Definiowanie przepływów ścieków bytowych - wprowadzenie wielkości dopływu w węzłach sieci i zlewni kanalizacyjnych, określenie wartości współczynników nierównomierności.
- Definiowanie parametrów spływu ze zlewni i opadów - dane dotyczące parametrów zlewni (geometria, spadek, retencja i właściwości infiltracyjne) oraz opadów - opisanych krzywą rozkładu wysokości opadu.

SWMM wykonuje obliczenia hydrauliczne na podstawie wprowadzonych danych. Symulacje mogą obejmować zarówno przepływ w warunkach ustalonych, jak i dynamicznych. Model uwzględnia różne mechanizmy, takie jak przepływ laminarne i turbulentne, a także zjawiska związane z przepełnieniem.

Po zakończeniu symulacji możliwa jest analiza wyników w poszczególnych elementach systemu – takich jak poziomy napętnienia, przepływy i przebiegi czasowe. Dane generowane są w formie tabel, wykresów i raportów.

Aplikacja umożliwia walidację modelu, która polega na porównaniu wyników symulacji z danymi rzeczywistymi, które można zaimportować do programu. Walidacja umożliwia dopasowanie parametrów modelu w sposób zapewniający wyniki modelu, które są wiarygodne i dokładnie oddające warunki pracy sieci.

Obliczenia hydrauliczne wykonane zostały dla końcowych odcinków głównych kolektorów A i C doprowadzających ścieków z terenu miasta do oczyszczalni, a także istniejący układ przelewu burzowego.

W ramach analiz uwzględniono istniejący układ sieci oraz możliwość włączenia do układu zbiorników retencyjnych, dla których wskazano lokalizację:

- Oczyszczalnia ścieków – po wstępnym oczyszczaniu ścieków, przed układem biologicznym, z powiązaniem z istniejącym przelewem burzowym.
- Sieć kanalizacyjna – wskazana dostępna działka przy kolektorze A.

Parametry hydrauliczne przyjęte do obliczeń:

- Średnice, rzędne i długości kanałów:
 - dane GIS PWiK,
 - dane archiwalne inwentaryzacji kanalizacji na terenie oczyszczalni.
- Szorstkość rur - współczynnik Manninga:
 - kanały istniejące: 0,02,
 - kanały nowe: 0,25.

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Dane do obliczeń:

- Obliczenia retencji na oczyszczalni – dane godzinowe przepływów w pompowni głównej.
- Obliczenia retencji w kolektorze kanalizacyjnym – symulowany przepływ maksymalny powodujący całkowite napełnienie w sieci i wylanie przed oczyszczalnią.

4. Obliczenia retencji na terenie oczyszczalni ścieków

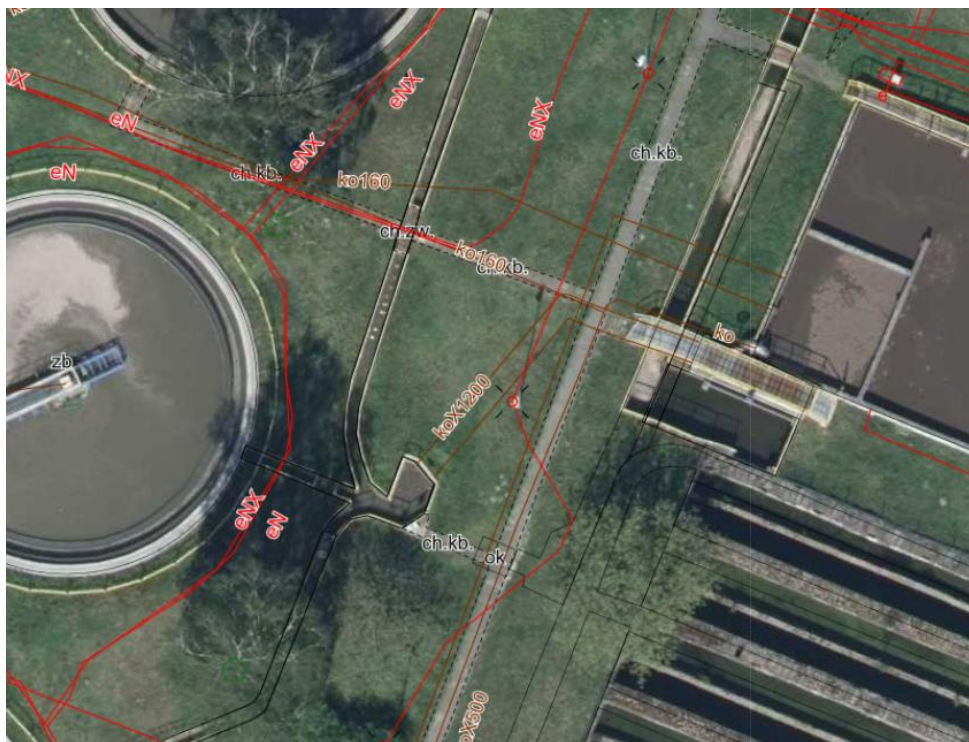
Gromadzenie ścieków na terenie oczyszczalni powinno być prowadzone dla ścieków wstępnie oczyszczonych, co znacząco ogranicza uciążliwości związane ze ściekami surowymi.

Planowana retencja powinna zastąpić istniejący układ przelewu awaryjnego i być włączona w układ procesowy pomiędzy komorą zbiorczą po osadnikach wstępnych a dopływem do części biologicznej. Zbiornik należy wyposażać w przelew odprowadzający nadmiar ścieków w sytuacjach awaryjnych.

W przeprowadzonych obliczeniach nie określa się lokalizacji i geometrii zbiornika. Na potrzeby analizy pracy zbiornika (napełniania i opróżniania) przyjęto, że teoretyczny zbiornik ma powierzchnię 10000m². Ułatwia to odczytywanie i interpretację wyników obliczeń napełnienia oraz objętości.

Zbiornik przyjęto, jako napełniany grawitacyjnie oraz współpracujący z przepływem grawitacyjnym z osadników do części biologicznej. Rzeczywista geometria i głębokość zbiornika retencyjnego wynikać będzie z dostępnej powierzchni terenu, co dodatkowo wymaga zastosowania układu pompowego do jego opróżniania. Z tego powodu nie określa się również układu wysokościowego systemu retencji na terenie oczyszczalni.

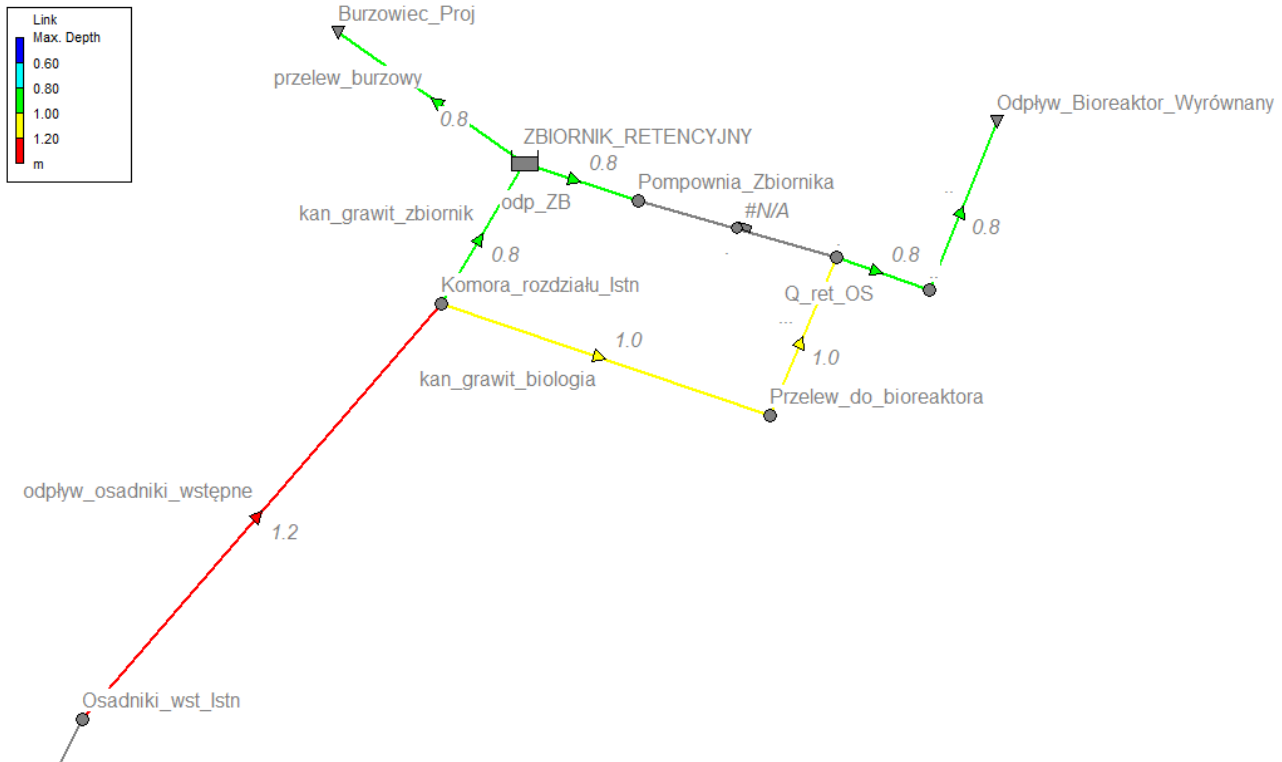
Lokalizację komory zbiorczej ścieków oczyszczonych mechanicznie oraz przelewu awaryjnego przedstawiono na rysunku poniżej:



Rysunek 12. Istniejący przelew burzowy na terenie oczyszczalni przed ciągiem biologicznym oczyszczania ścieków

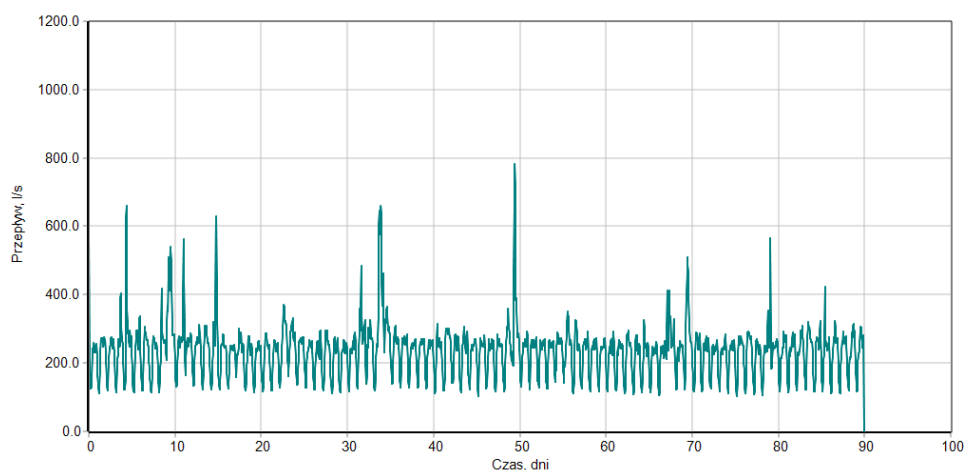
MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Schemat włączenia zbiornika w układ technologiczny - opracowany w modelu hydraulicznym przedstawiono poniżej. Kolorem oraz liczbowo oznaczono wymagane średnice kanałów grawitacyjnych (w metrach).



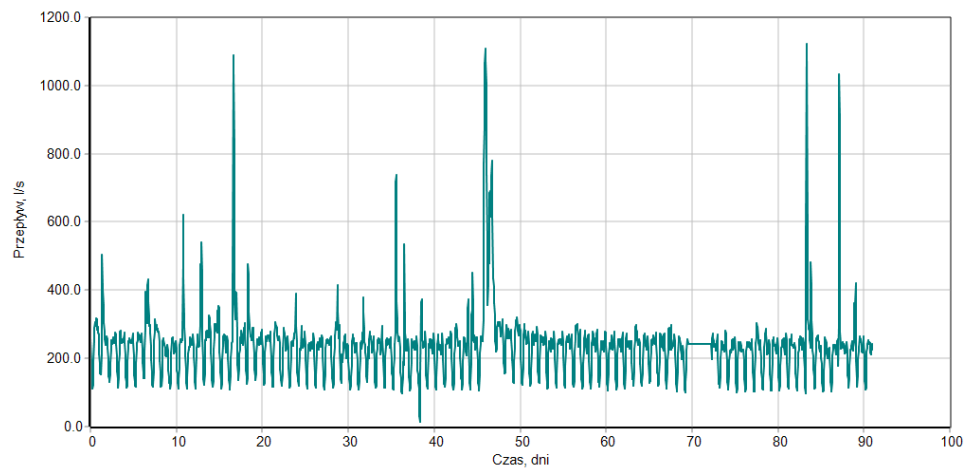
Rysunek 13. Schemat proponowanego rozwiązania retencji na oczyszczalni ścieków

Obliczenia hydrauliczne przeprowadzono dla ciągów danych wejściowych podzielonych wg kwartałów dla lat 2023-2024, dla których stwierdza się znaczący wzrost wielkości przepływów godzinowych. Zestawy danych wejściowych przedstawiono na wykresach poniżej:

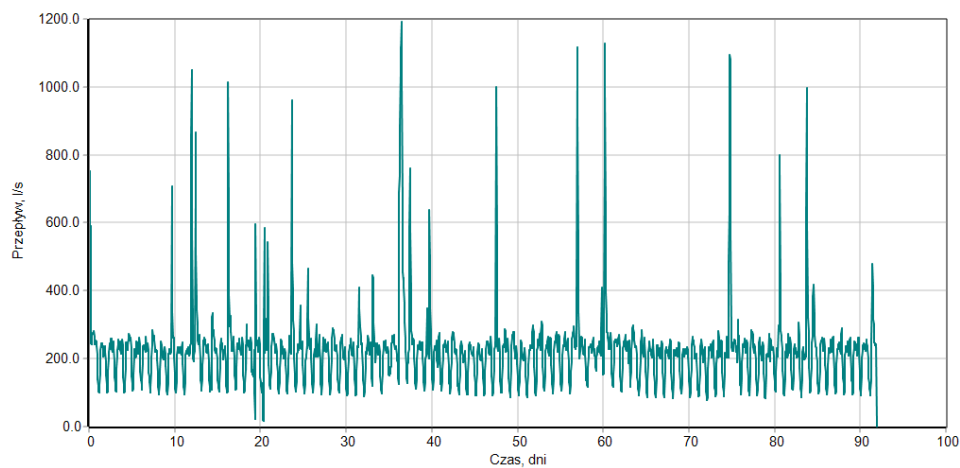


Rysunek 14. Przepływy godzinowe w I kwartale 2023r.

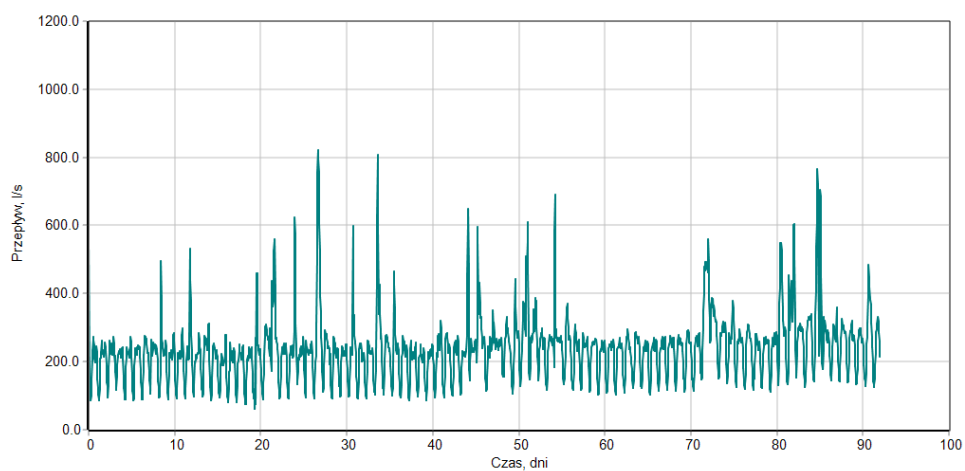
MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO



Rysunek 15. Przepływy godzinowe w II kwartale 2023r.

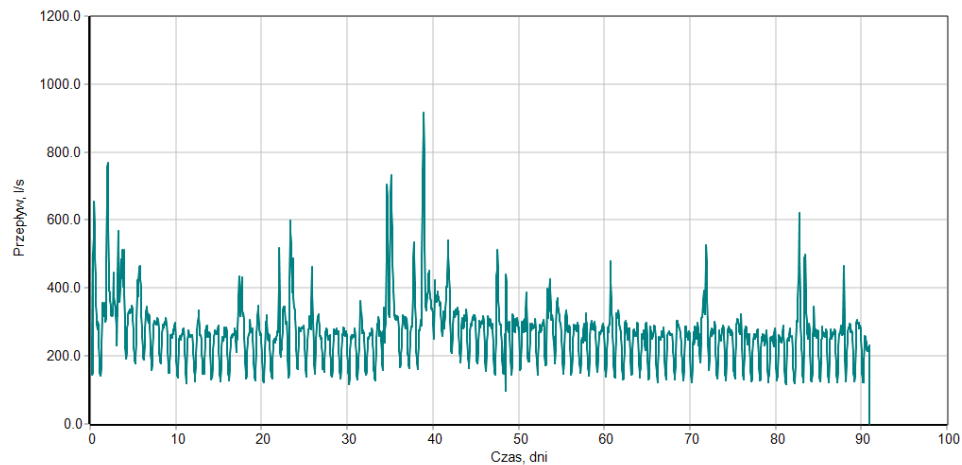


Rysunek 16. Przepływy godzinowe w III kwartale 2023r.

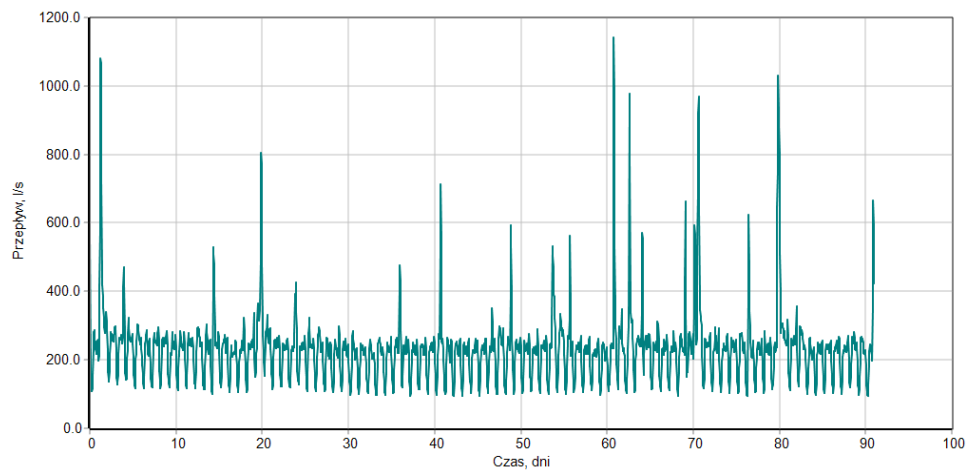


Rysunek 17. Przepływy godzinowe w IV kwartale 2023r.

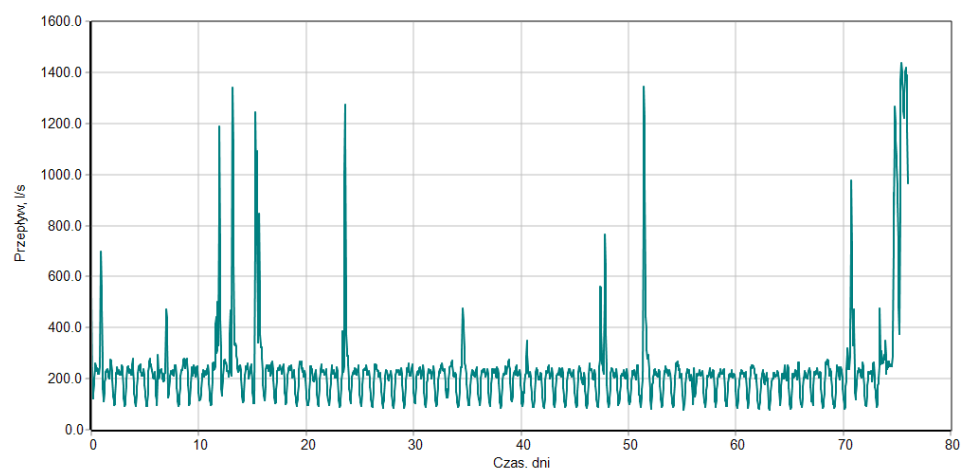
MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO



Rysunek 18. Przepływy godzinowe w I kwartale 2024r.



Rysunek 19. Przepływy godzinowe w II kwartale 2024r.



Rysunek 20. Przepływy godzinowe w III kwartale 2024r.

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Analiza przedstawiona poniżej prezentuje warunki retencji dla najbardziej charakterystycznych okresów – tj. w pierwszym i trzecim kwartale 2024r.

Modelowanie układu retencji – 3. kwartał 2024r.

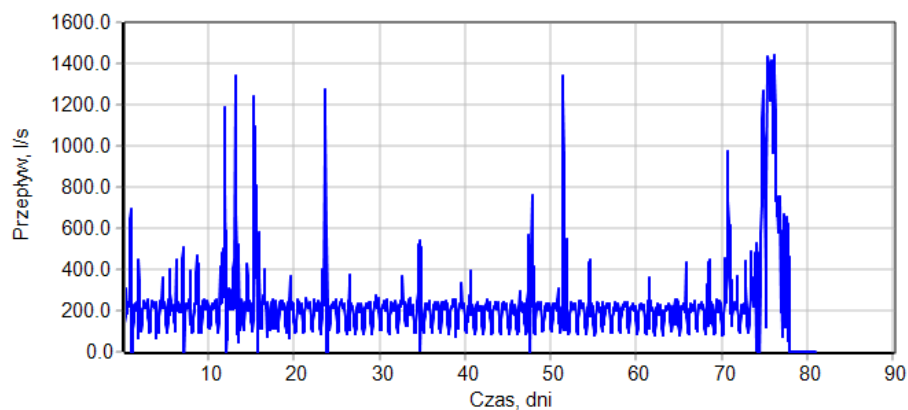
Okres obejmujący 3. kwartał 2024r. charakteryzował się intensywnymi opadami w całym w okresie letnim i zakończony był ekstremalnymi opadami we wrześniu.

Obliczeni wymaganej pojemności retencji określa się dla 2 wariantów:

- Ograniczenie dopływu do wartości maksymalnej dla osadników wstępnych dla częściowej modernizacji,
- Ograniczenie dopływu do wartości średniej dla etapu docelowego (22000 m³/d).

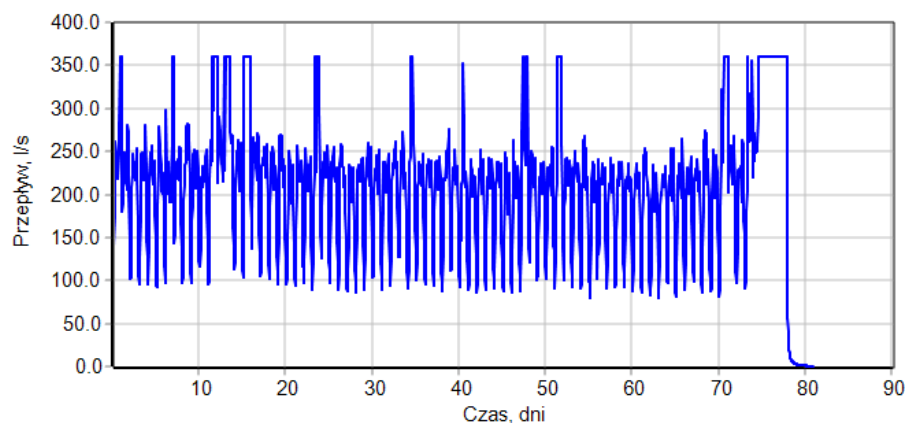
- 1) Ograniczenie dopływu do wartości maksymalnej dla osadników wstępnych dla częściowej modernizacji – wariantu 1 i 2 z obciążeniem maksymalnym przepływem 1330 m³/h

W obliczeniach przyjęto regulację odpływu do biologii na poziomie 1300 m³/h ~ 360 l/s. Odpływ z osadników wstępnych przedstawia poniższy wykres:



Rysunek 21. Dopływ do układu retencji – dane z III kwartału 2024r.

Odpływ do biologii wyrównany do wartości oczekiwanej przedstawia wykres poniżej.

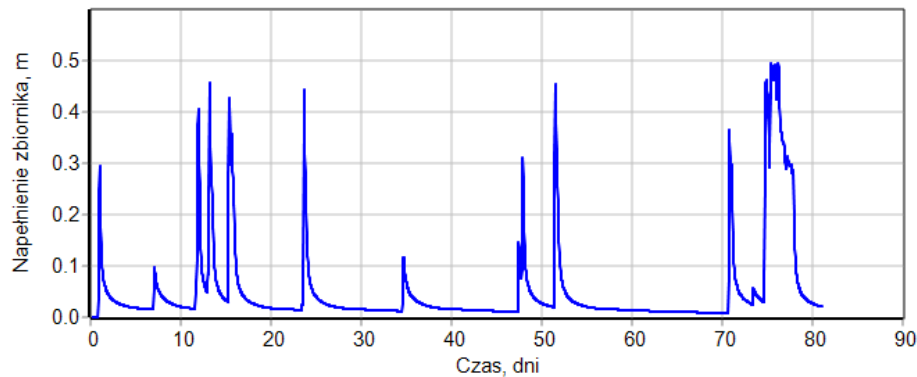


Rysunek 22. Odpływ do biologii – regulacja maksymalnego odpływu do 1300 m³/h (na podstawie danych z III kw. 2024r.)

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Ograniczenie przepływu do wielkości maksymalnej dla osadników wstępnych powoduje odprowadzenie do biologii wszystkich przepływów średnich oraz maksymalnych do ok. 96-percentyla.

Objętość ścieków zatrzymana w zbiorniku retencyjnym interpretuje się na podstawie pracy obejmującej napełnianie i opróżnianie zbiornika.

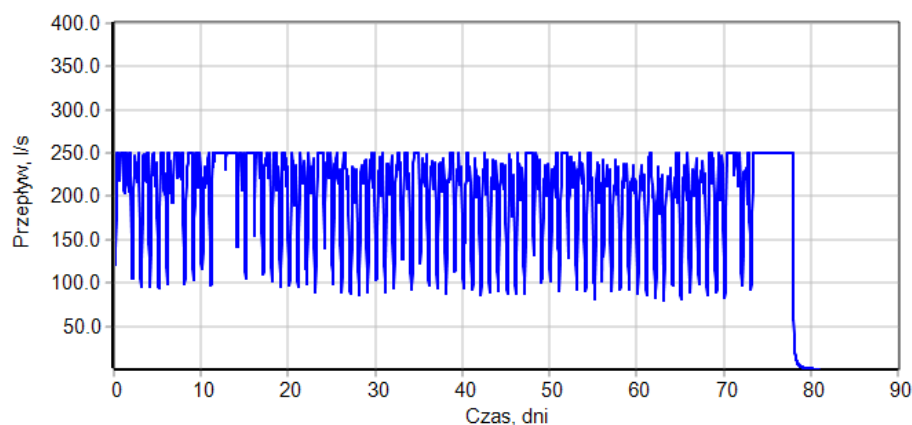


Rysunek 23. Praca zbiornika retencyjnego przy założeniu odpływu do 1300 m³/h i powierzchni obliczeniowej 10000 m² (na podstawie danych z III kw. 2024r.)

Przedstawione wyniki pokazują, że zatrzymanie ścieków bez przełania do odpływu awaryjnego wymaga objętości zbiornika do około 5000 m³. Dla intensywnych, ale krótkotrwałych opadów czas napełniania i opróżniania zbiornika trwa 2-5 dni. Charakterystyczne dla okresu długotrwałych opadów we wrześniu jest wymagany długi okres przetrzymania ścieków, sięgający łącznie ponad 10 dni.

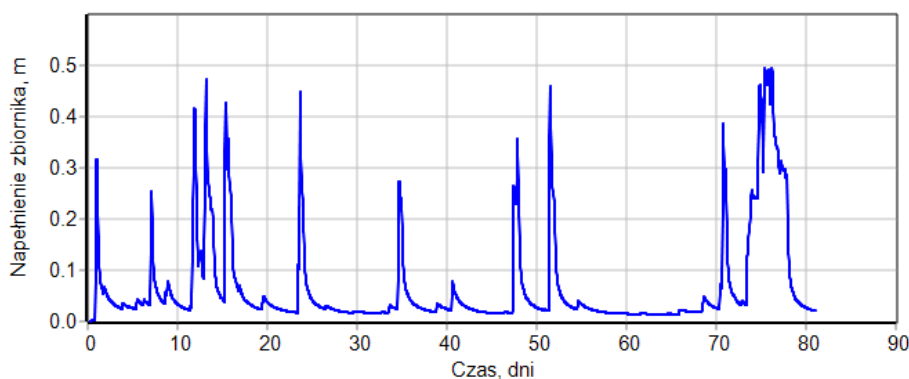
2) Ograniczenie dopływu do wartości średniej dla etapu docelowego – $Q_{h\bar{s}} = 917 \text{ m}^3/\text{h}$.

W obliczeniach przyjęto regulację odpływu do biologii na poziomie 900 m³/h = 250 l/s. Odpływ z osadników wstępnych jest taki sam jak w punkcie powyżej. Odpływ do biologii wyrównany do wartości oczekiwanej przedstawia wykres poniżej. Ograniczenie przepływu do wielkości maksymalnej dla osadników wstępnych powoduje uśrednienie odpływu do części biologicznej z zatrzymaniem przepływów maksymalnych.



Rysunek 24. Odpływ do biologii – regulacja maksymalnego odpływu do 900 m³/h (na podstawie danych z III kw. 2024r.)

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO



Rysunek 25. Praca zbiornika retencyjnego przy założeniu odpływu do $900 \text{ m}^3/\text{h}$ i powierzchni obliczeniowej 10000 m^2 (na podstawie danych z III kw. 2024r.)

Wyniki obliczeń wskazują, że ograniczenie przepływu do oczyszczalni nie zwiększa istotnie objętości zbiornika. Natomiast wydłuża się dalej czas przetrzymania ścieków. Wymagany długi czas zatrzymania ścieków w zbiorniku retencyjnym zabezpiecza hydraulicznie układ procesowy, ma jednak negatywne konsekwencje dla procesów oczyszczania biologicznego.

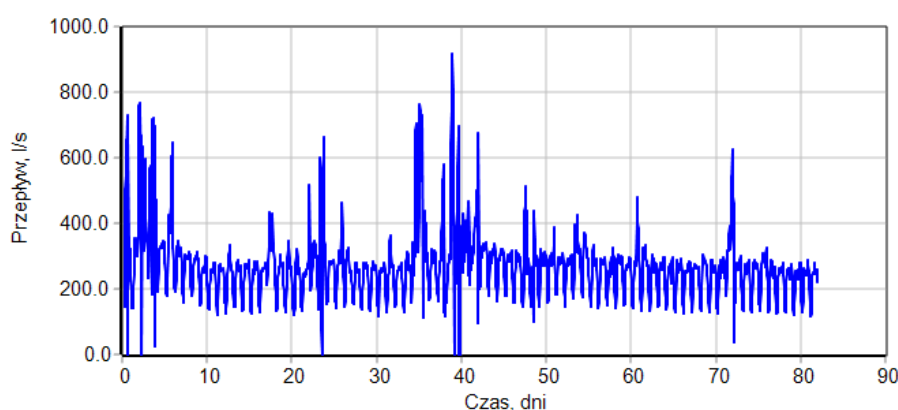
Modelowanie układu retencji – 1. kwartał 2024r.

Okres obejmujący 1. kwartał 2024r. charakteryzował się mniejszym obciążeniem pochodzącym z opadów, z kolei znaczący był podwyższony przepływ średni wynikający z podwyższonego poziomu wód gruntowych, wpływających na zwiększenie udziału wód przypadkowych i infiltracyjnych.

Obliczeni wymaganej pojemności retencji określa się analogicznie dla 2 wariantów:

- Ograniczenie dopływu do wartości maksymalnej dla osadników wstępnych dla częściowej modernizacji,
- Ograniczenie dopływu do wartości średniej dla etapu docelowego ($22000 \text{ m}^3/\text{d}$).

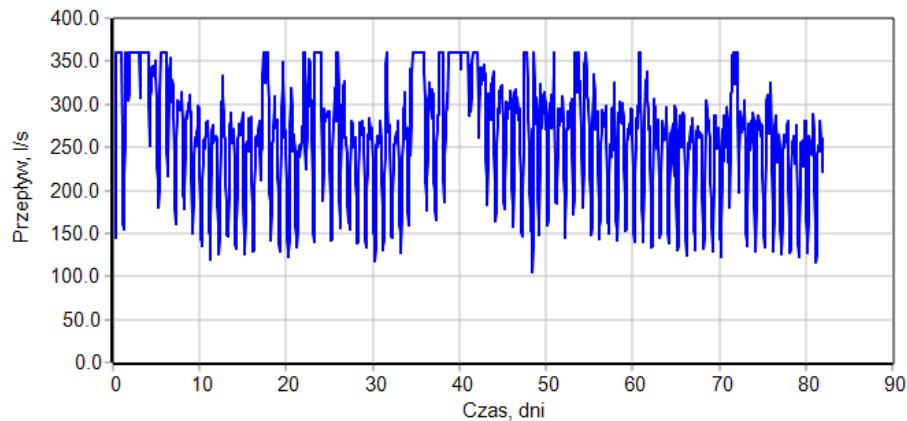
- 1) Ograniczenie dopływu do wartości maksymalnej dla osadników wstępnych dla częściowej modernizacji – wariantu 1 i 2 z obciążeniem maksymalnym przepływem $1330 \text{ m}^3/\text{h}$.



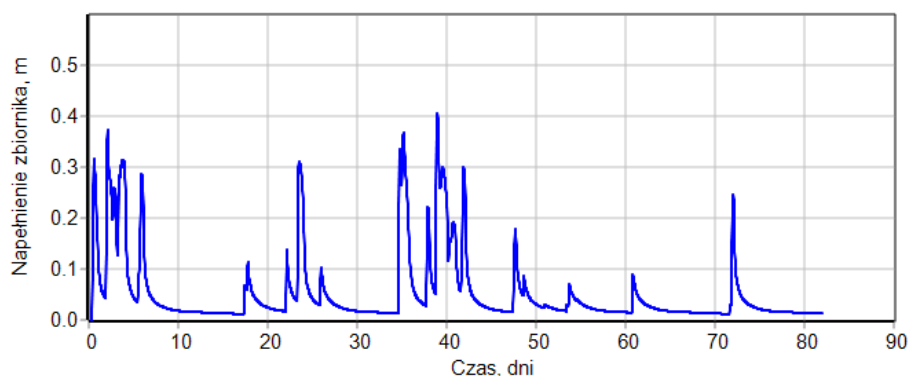
Rysunek 26. Dopływ do układu retencji – dane z I kwartału 2024r.

Odpływ do biologii wyrównany do wartości oczekiwanej przedstawia wykres poniżej:

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO



Rysunek 27. Odpływ do biologii – regulacja odpływu do 1300 m³/h (na podst. danych z I kw. 2024r.)

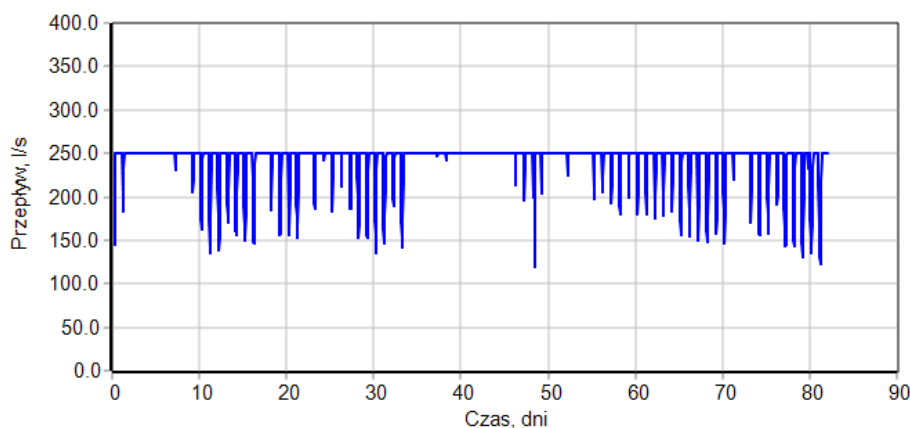


Rysunek 28. Praca zbiornika retencyjnego przy założeniu odpływu do 1300 m³/h i powierzchni obliczeniowej 10000 m² (na podstawie danych z I kw. 2024r.)

Przedstawione wyniki pokazują, że zatrzymanie ścieków bez przelania do odpływu awaryjnego wymaga objętości zbiornika do około 4000 m³.

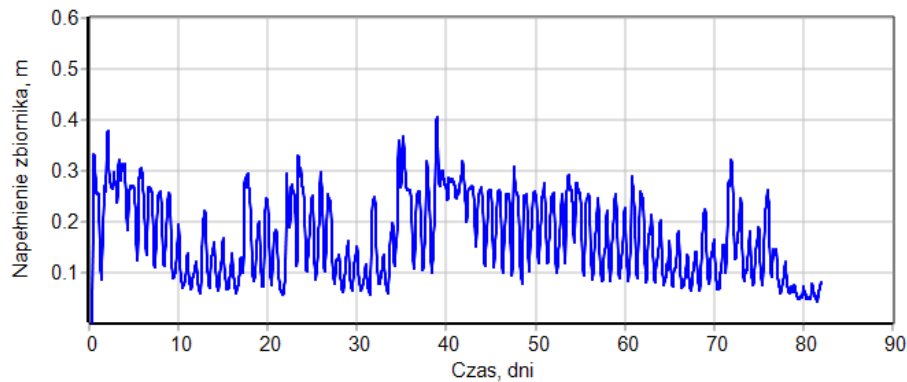
2) Ograniczenie dopływu do wartości średniej dla etapu docelowego – $Q_{h\bar{s}} = 917 \text{ m}^3/\text{h}$.

Odpływ z osadników wstępnych jest taki sam jak w punkcie powyżej. Odpływ do biologii wyrównany do wartości oczekiwanej przedstawia wykres poniżej.



Rysunek 29. Odpływ do biologii – regulacja maksymalnego odpływu do 900 m³/h (na podstawie danych z III kw. 2024r.)

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO



Rysunek 30. Praca zbiornika retencyjnego przy założeniu odpływu do $900 \text{ m}^3/\text{h}$ i powierzchni obliczeniowej 10000 m^2 (na podstawie danych z I kw. 2024r.)

Wyniki obliczeń dla okresów podwyższonego przepływu średniego (zimowe i wiosenne okresy infiltracji wód) wskazują, że ograniczenie przepływu do oczyszczalni wpłynie na konieczność ciągłej pracy systemu retencji, praktycznie bez okresów całkowitego opróżnienia zbiornika.

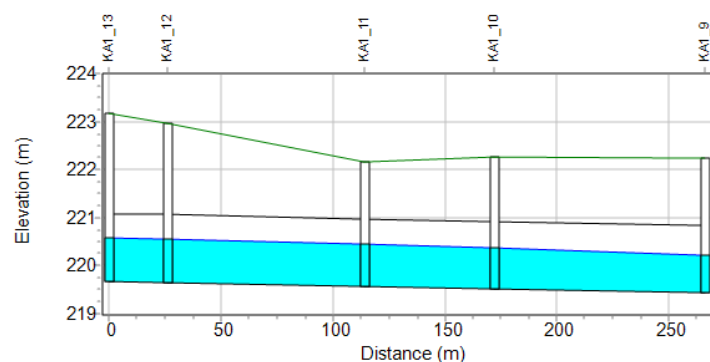
5. Obliczenia retencji na kolektorze kanalizacyjnym przed oczyszczalnią ścieków

Analiza warunków retencji przed oczyszczalnią opiera się na symulacji dopływu kolektorami A i C z terenu miasta. Przepływ ścieków jest opomiarowany dopiero w pompowni ścieków i brak informacji, jak kształtują się dopływy maksymalne w kolektorach. Kanalizacja pracuje jako układ potężony, w którym piętrzenie ścieków oddziałuje na każdy z kolektorów.

Maksymalne przepływy na kolektorach dopływowych dla przepływu maksymalnego według pomiarów z oczyszczalni (Q_{maxOS}) ścieków powoduje według obliczeń hydraulicznych napężnienie w kanałach na poziomie ok. 50-70%. Natomiast informacje użytkownika oczyszczalni wskazują na występowanie problemów podtapianiem sieci na całej długości końcowych odcinków kolektorów. W związku z powyższym wykonano obliczenia symulujące przepływ podtapiający sieć kanalizacyjną.

W pierwszym kroku określono rozdział maksymalnych przepływów $Q_{\text{max OS}}$, tak aby na obu ciągach uzyskać podobne napężnienie w zakresie 60-70%.

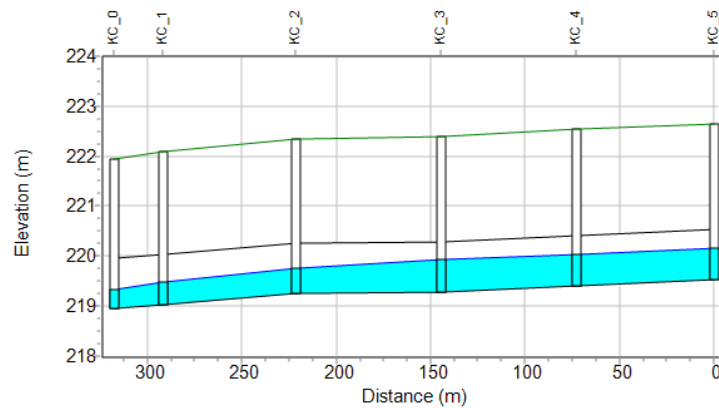
- Kolektor A – przyjęty przepływ maksymalny $3600 \text{ m}^3/\text{h} = 1000 \text{ l/s}$



Rysunek 31. Napężnienie w kolektorze A przy rozdziale maksymalnego przepływu – $Q \sim 3600 \text{ m}^3/\text{h}$

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

- Kolektor C – przyjęty przepływ maksymalny $1620 \text{ m}^3/\text{h} = 450 \text{ l/s}$



Rysunek 32. Napełnienie w kolektorze C przy rozdziale maksymalnego przepływu – $Q \sim 1620 \text{ m}^3/\text{h}$

Obliczenia retencji na kolektorze kanalizacyjnym

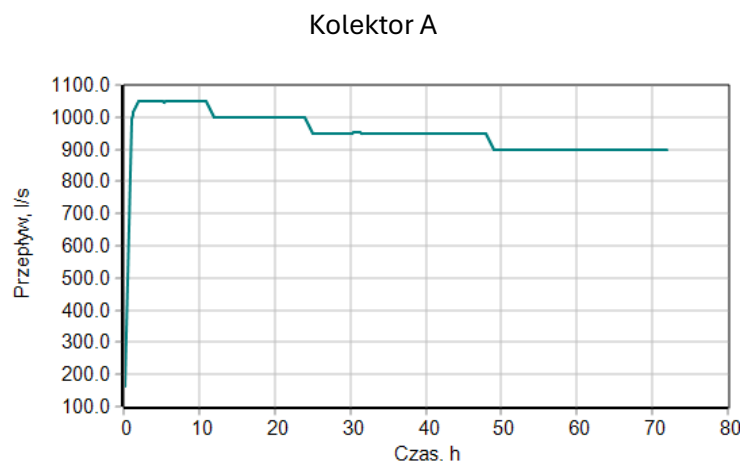
Na potrzeby retencji wskazano obszar pod potencjalną lokalizację zbiornika. Ze względu na dostępność terenu przewidziano możliwość zabudowy niezagospodarowanej działki 2578/185, zlokalizowanej pomiędzy rzeką Nacyną a istniejącym kolektorem A.

Na podstawie analiz przepływów maksymalnych wygenerowano przepływ maksymalny powodujący podtopienie kanalizacji:

- Przepływ maksymalny trwa 1 dobę z przepływem $> 5220 \text{ m}^3/\text{h}$
- Przez kolejnych 10 godzin w dobie przepływ rośnie o 5% do $5480 \text{ m}^3/\text{h}$
- W kolejnych dobach maleje o 5% i 10%, tak aby możliwe było sprawdzenie pracy układu retencji.

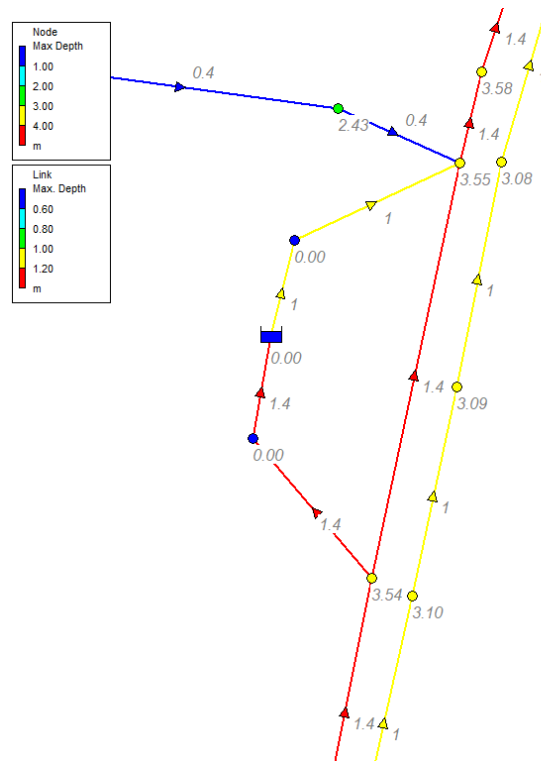
Wykonany model pokazuje, że przy zaledwie 5% przekroczeniu przepływu maksymalnego w oczyszczalni – występuje całkowite zalanie kolektorów przed oczyszczalnią.

Poniżej na wykresie przedstawiono maksymalne napełnienie w kolektorach bez retencji:

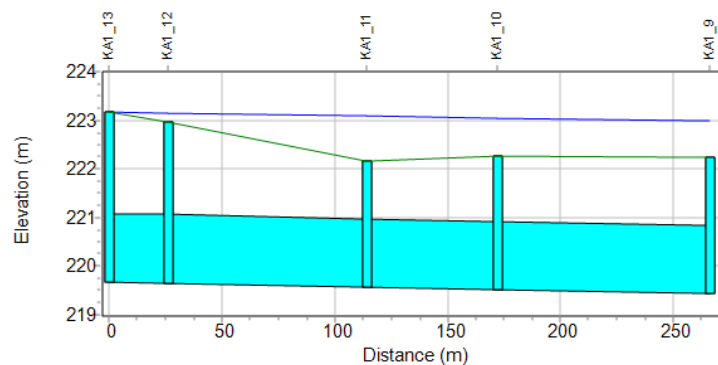


Rysunek 33. Symulacja przepływu w kolektorze A z dopływem zwiększonym $Q_{\text{maxOS}}+5\%$ przez 10h i dalsze obniżanie przepływu w kolejnych dobach o 5% i 10% Q_{maxOS}

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

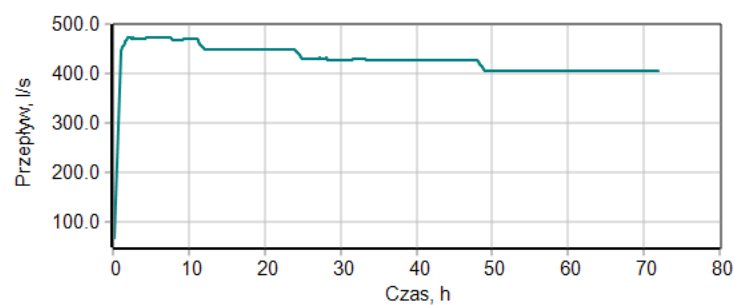


Rysunek 34. Schemat proponowanego zbiornika retencyjnego na kolektorze A – w węzłach określono napętnienie przy odciętym zbiorniku



Rysunek 35. Napętnienie w kolektorze A – przepływ $Q_{maxOŚ} + 5\%$

Kolektor C

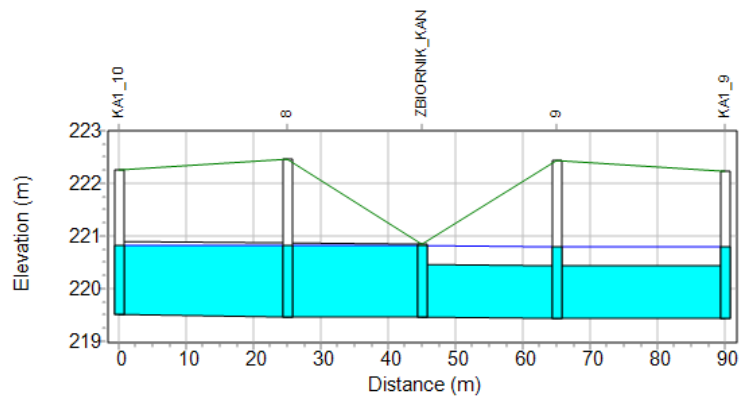


Rysunek 36. Symulacja przepływu w kolektorze C z doptywem zwiększonym $Q_{maxOŚ} + 5\%$ przez 10h i dalsze obniżanie przepływu w kolejnych dobach o 5% i 10% $Q_{maxOŚ}$

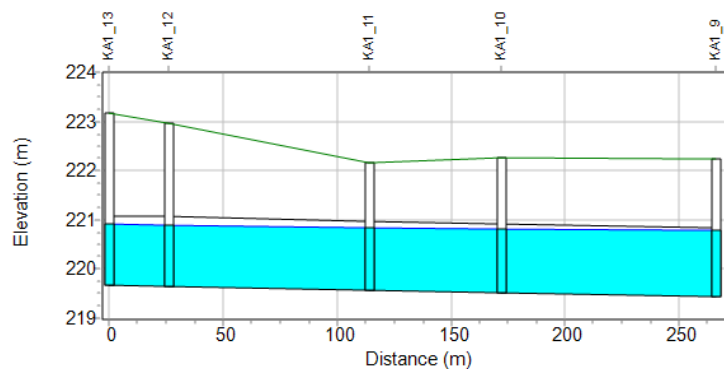
The graph illustrates the variation in water flow rate over a 40-hour period. The y-axis represents the flow rate in liters per second (l/s), ranging from 1000.0 to 1600.0. The x-axis represents time in hours (h), ranging from 0 to 40. The flow rate begins at 1000.0 l/s, increases rapidly to about 1450.0 l/s within the first 2 hours, and then stays constant for approximately 32 hours. After 34 hours, the flow rate drops and exhibits significant fluctuations, oscillating between roughly 1330.0 and 1430.0 l/s until the end of the 40-hour period.

Strona 23

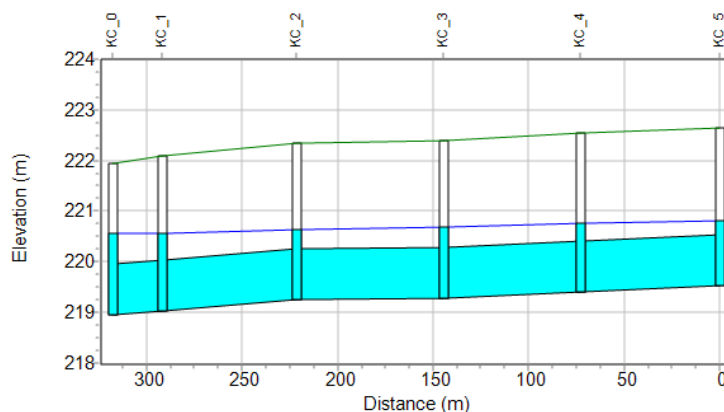
MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO



Rysunek 41. Napętnienie w zbiorniku DN1400 – przepływ $Q_{maxO\dot{S}} + 5\%$



Rysunek 42. Napętnienie w kolektorze A z retencją DN1400 – przepływ $Q_{maxO\dot{S}} + 5\%$



Rysunek 43. Napętnienie w kolektorze C z retencją DN1400 – przepływ $Q_{maxO\dot{S}} + 5\%$

Zastosowanie zbiornika DN1400 o pojemności do 4000 m³, wykorzystującego dostępną powierzchnię działki umożliwia likwidację uciążliwości związanych z podtapianiem kanalizacji przed oczyszczalnią ścieków. Przyjmuje się, że to zadanie powinno być podstawową funkcją retencji na sieci kanalizacyjnej.

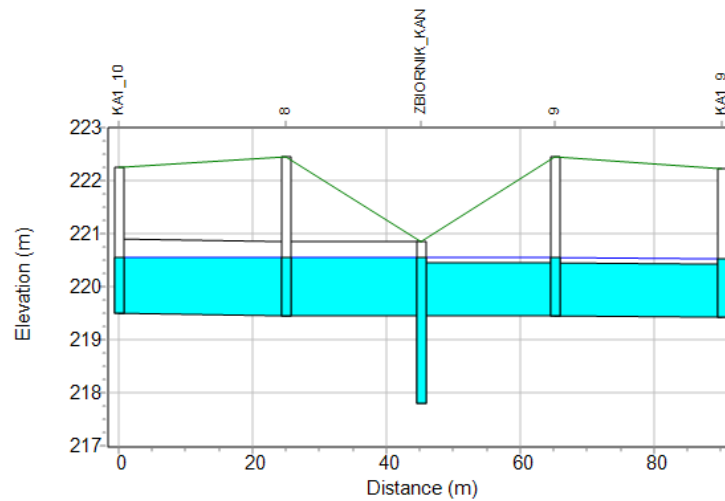
[illegible]

W przypadku zbiornika DN1400 10-godzinny doptyw powyżej przepływu maksymalnego dla oczyszczalni został wydłużony do fali trwającej ok. 28 godziny, przy czym okres trwania przepływów maksymalnych będzie skrócony o 10-20%.

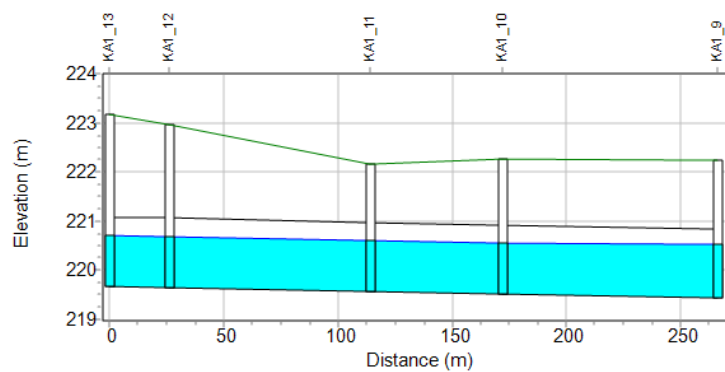


MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

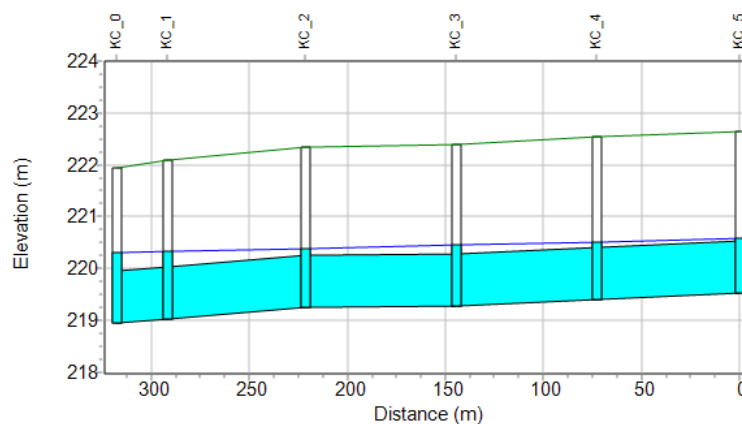
Zbiornik DN3000 wymaga przegłębienia poniżej rzędnej dna kolektora, co oznacza konieczność całkowitego opróżnienia układu z wykorzystaniem dodatkowej pompowni, która przygotuje zbiornik na kolejną falę.



Rysunek 46. Napętnienie w zbiorniku DN3000 – przepływ $Q_{maxOS} + 5\%$



Rysunek 47. Napętnienie w kolektorze A z retencją DN3000 – przepływ $Q_{maxOS} + 5\%$



Rysunek 48. Napętnienie w kolektorze C z retencją DN3000 – przepływ $Q_{maxOS} + 5\%$

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

6. Podsumowanie

Model i obliczenia hydrauliczne

- 1) Poprawa warunków pracy oczyszczalni wymaga jednoczesnej rozbudowy całego układu technologicznego obejmującego budowę: osadnika wstępnego, nowych bioreaktorów i osadników wtórnych. Układ ten nie będzie w stanie spełnić swojej funkcji bez ograniczenia maksymalnych przepływów na doływie do części biologicznej oczyszczalni ścieków.
- 2) Modelowanie retencji wykonano dla aktualnych warunków obciążenia oraz przyjętej docelowej perspektywy rozwoju, która była podstawą obliczeń procesowych. Dla hydraulicznych warunków pracy oczyszczalni wykazano, że podobnie jak dla układu procesowego - oczyszczalnia nie jest w stanie zapewnić bezpiecznych warunków hydraulicznych pracy oczyszczalni.
- 3) Spośród wszystkich przepływów w analizowanym okresie 2018-2024 ponad 15% pomiarów przekroczyło założoną wartość przepływu średniego dla warunków docelowych ($22\,000\text{ m}^3/\text{d} = 917\text{ m}^3/\text{h}$). Ponad 3% pomiarów przekracza przepływ określony jako maksymalny do projektowania osadnika wstępnego.
- 4) Analiza przepływów powyżej $2500\text{ m}^3/\text{h}$ pokazuje bardzo wyraźny trend wzrostowy wielkości przepływów godzinowych i w istotny sposób zwiększa maksymalne obciążenie oczyszczalni oraz liczbę niebezpiecznych zdarzeń. Stwierdza się również przypadki kiedy przez ponad dobę trwa doływ 2-3 krotnie większy od projektowanego obciążenia maksymalnego.
- 5) Niebezpiecznym zjawiskiem są ciągi sum znacząco powyżej obciążenia oczyszczalni w zakresie 3-5 tys. m^3/h , które przekraczają znacząco możliwości technologiczne oczyszczalni, również dla stanu docelowego.
- 6) Wykonany model hydrauliczny odwzorowuje warunki doływu ścieków komunalnych podczas pogody bezdeszczowej oraz doływ wód przypadkowych w czasie opadów. Model uwzględnia nierównomierność dobową i godzinową doływu ścieków. Znaczący dla obliczeń jest fakt, że dane pomiarowe obejmują odczyty z pompowni, a nie rzeczywisty doływ sieci kanalizacyjną, dlatego analizuje się odrębnie retencję na oczyszczalni w oparciu o dane z pompowni oraz warunki pracy sieci na podstawie szacowanych wielkości przepływów.
- 7) Analiza warunków przepływu przed oczyszczalnią opiera się na symulacji doływu kolektorami A i C z terenu miasta. Przepływ ścieków jest dopiero opomiarowany w pompowni ścieków i brak informacji, jak kształtują się doływy maksymalne w kolektorach. Kanalizacja pracuje jako układ połączony, w którym piętrzenie ścieków oddziałuje na każdy z kolektorów.
- 8) Wykonany model pokazuje, że przy zaledwie 5% przekroczeniu przepływu maksymalnego w oczyszczalni – występuje całkowite zalanie kolektorów przed oczyszczalnią.
- 9) Wymagana jest weryfikacja opracowanego modelu na podstawie danych pomiarowych, obejmujących jednocześnie pomiar przepływów w pompowni oraz napełnieni w kolektorach doływowych do oczyszczalni, a także pomiary wysokości opadów. Dodatkowe pomiary powinny być podstawą wykonania koncepcji określającej pojemność zbiorników oraz dalej do opracowania dokumentacji technicznej.
- 10) Na potrzeby weryfikacji obliczeń i walidacji modelu niezbędne jest wykonanie inwentaryzacji geodezyjnej sieci kanalizacyjnej przed oczyszczalnią oraz elementów infrastruktury na terenie oczyszczalni.
- 11) Rekomendowane prace powinny ustalić miarodajne przepływy w sieci w odniesieniu do intensywnych opadów krótkotrwałych i maksymalnych opadów dobowych – odpowiadającymi deszczom miarodajnym o częstości od $c=2$ do $c=10$ lat. Do miarodajnych przepływów w sieci należy odnieść warunki pracy przewłemu burzowego.

MODELOWANIE HYDRAULICZNE ZBIORNIKA RETENCYJNEGO

Retencja ścieków

- 1) Planowana retencja powinna zastąpić istniejący układ przelewu awaryjnego i być włączona w układ procesowy pomiędzy komorą zbiorczą po osadnikach wstępnych a dopływem do części biologicznej. Zbiornik należy wyposażać w przelew odprowadzający nadmiar ścieków w sytuacjach awaryjnych.
- 2) Wyniki obliczeń wskazują, że ograniczenie przepływu do części biologicznej nie zwiększa istotnie objętości zbiornika. Wydłuża się znacząco czas przetrzymania ścieków. Zbyt długi czas zatrzymania ścieków w zbiorniku retencyjnym ma negatywne konsekwencje dla procesów oczyszczania biologicznego.
- 3) Wyniki obliczeń dla okresów podwyższonego przepływu średniego (zimowe i wiosenne okresy infiltracji wód) wskazują, że ograniczenie przepływu do oczyszczalni wpłynie na konieczność ciągłej pracy systemu retencji, praktycznie bez okresów całkowitego opróżnienia zbiornika.
- 4) Rekomendacja w zakresie retencji na oczyszczalni ścieków obejmuje wykonanie:
 - a. w pierwszym etapie dwóch zbiorników o pojemności min. $2 \times 2000 \text{ m}^3$, z funkcjonowaniem systemu przelewu burzowego zgodnie z dopuszczalnymi warunkami zrzutu według obowiązujących przepisów.
 - b. docelowo wykonanie trzeciego zbiornika o pojemności min. 2000 m^3 , który powinien praktycznie całkowicie ograniczyć zrzuty burzowe.
- 5) Zastosowanie zbiorników retencyjnych na sieci kanalizacyjnej umożliwia likwidację uciążliwości związanych z podtapianiem kanalizacji przed oczyszczalnią ścieków. Przyjmuje się, że to zadanie powinno być podstawową funkcją retencji na sieci kanalizacyjnej.
- 6) Rekomendacja w zakresie retencji na sieci kanalizacyjnej obejmuje wykonanie zbiornika o średnicy min. DN1400-DN1500 o pojemności min. 4000 m^3 . Układ powinien pracować grawitacyjnie, przejmujące falę dla przepływów przekraczających wydajność istniejącej pompowni na oczyszczalni ścieków.