

Politechnika Warszawska

Inżynieria Procesów Przemysłowych

Projekt nr 1

Wykonali:
Bartłomiej Guś,
Łukasz Janisiów,
gr. IPAUT-161

Warszawa 2020/2021

Spis treści

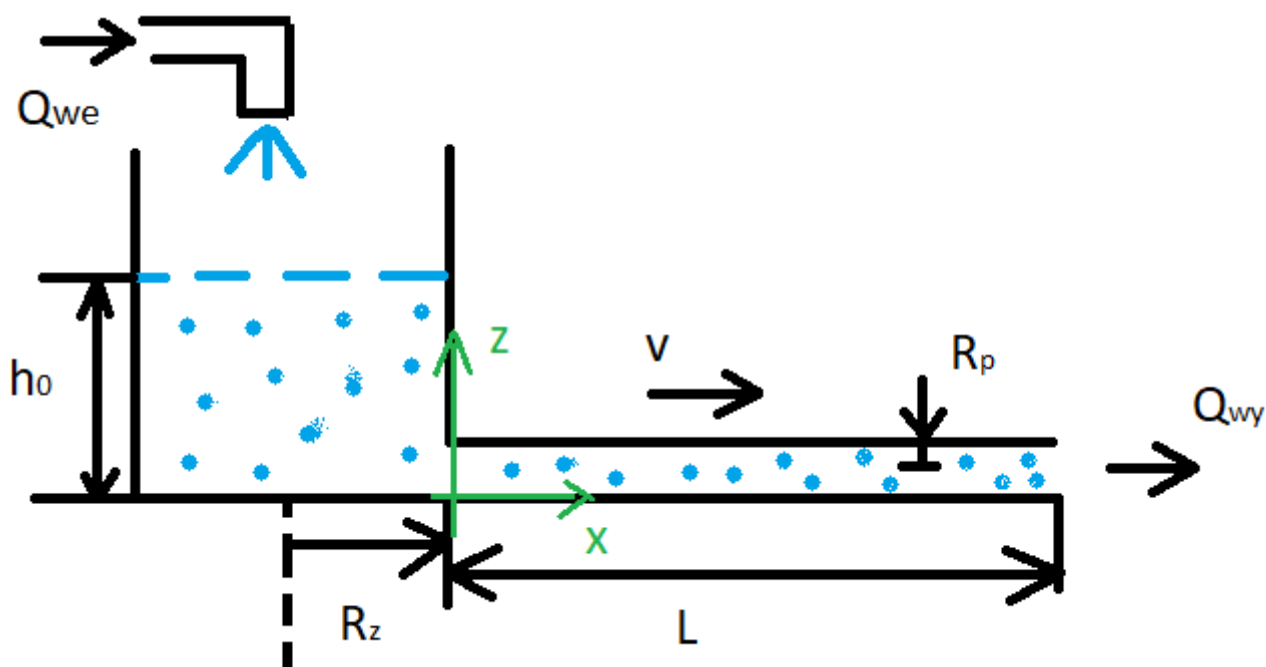
1. Wstęp	3
2. Model rzeczywisty układu	3
3. Podstawy fizyczne	4
4. Model w programie SIMULINK	4
5. Wykresy i wnioski.....	5
5.1. Zmiana skokowa wartości natężenia przepływu wejściowego – Q_{we}	5
5.1.1. Dane identyczne jak w rozdziale <i>Model rzeczywisty układu</i>	5
5.1.2. Zmiana wartości natężenia przepływu do zbiornika (Q_{we}).....	6
5.1.3. Zmiana wartości promienia zbiornika (R_z)	7
5.1.4. Zmiana wartości długości rurociągu (L)	8
5.2. Zmiana sinusoidalna wartości natężenia przepływu wejściowego – Q_{we}	9
5.2.1. Dane identyczne jak w rozdziale <i>Model rzeczywisty układu</i>	9
5.2.2. Zmiana wartości promienia zbiornika (R_z)	9
5.2.3. Zmiana wartości długości rurociągu (L)	10
5.2.4. Zmiana wartości promienia rurociągu (R_p)	11
6. Wnioski końcowe	12
7. Zrzuty ekranu programu	13
8. Kod źródłowy programu.....	14

1. Wstęp

Celem niniejszego projektu jest badanie Inertancji układu przedstawionego w rozdziale *Model rzeczywisty układu*. Podczas badania tego zjawiska posłużyliśmy się oprogramowaniem firmy MATLAB, które w łatwy sposób pozwoliło nam na zaimplementowanie dwóch różnych charakterów natężenia przepływu wpływającego do zbiornika (wymuszenie skokowe, wymuszenie sinusoidalne – imitujące pompę wporową dwukanałową) podczas analizy układu. Również w prosty sposób mogliśmy zmieniać wartości parametrów układu (m.in. długość rurociągu, promień rurociągu, wysokość początkowa słupa cieczy w zbiorniku) i przekonać się jak zmiany te wpływają na natężenie wypływu oraz wysokość słupa cieczy, jak i długość czasu ustalania.

Założenie: Rurociąg wypełniony jest już cieczą i początkowa wysokość słupa cieczy w zbiorniku jest co najmniej równa średnicy rurociągu.

2. Model rzeczywisty układu



Rysunek 1 - Schemat układu

Przyjęto jako dane początkowe:

$Q_{we} = 0,1$ – natężenie przepływu wpływającego do zbiornika w $\frac{m^3}{s}$

$h_0 = 0,2$ – początkowa wysokość słupa cieczy zbiorniku w m

$R_z = 1$ – promień zbiornika w m

$R_p = 0,05$ – promień rurociągu w m

$L = 1$ – długość rurociągu w m

$\rho = 1000$ – gęstość cieczy w $\frac{kg}{m^3}$

$k_f = 0,5$ – współczynnik oporu w $\frac{kg}{m^2}$

3.Podstawy fizyczne

Bilans sił:

$$\rho \cdot g \cdot h \cdot A = k_f \cdot L \cdot v^2 + \frac{d}{dt} (A \cdot L \cdot \rho \cdot \frac{dv}{dt})$$

$$Q = v \cdot A$$

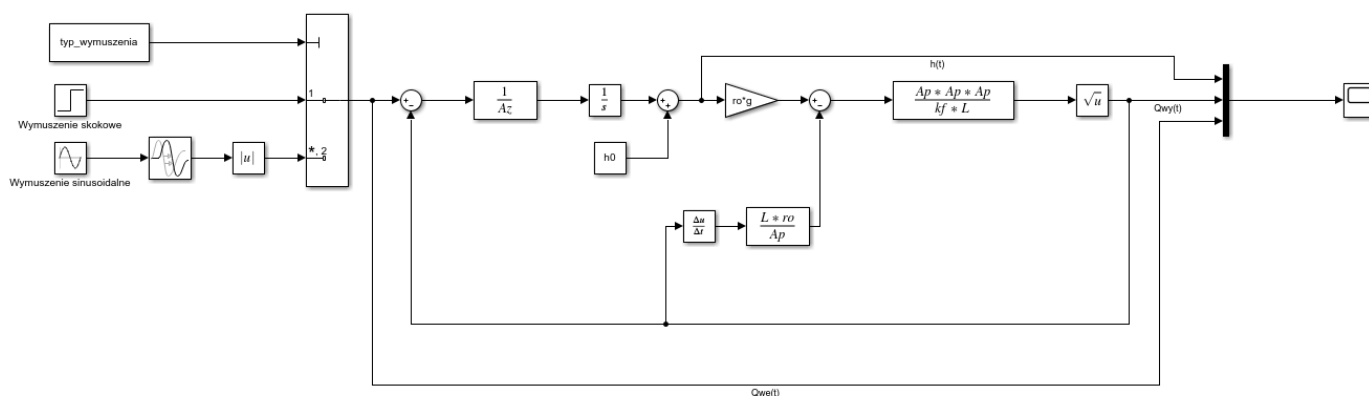
$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dQ}{dt}$$

$$v^2 = \left(\frac{Q}{A}\right)^2$$

Bilans ciśnień:

$$\rho \cdot g \cdot h = \frac{k_f \cdot L}{A^3} \cdot Q^2 + \frac{L \cdot \rho}{A} \cdot \frac{dQ}{dt}$$

4.Model w programie SIMULINK



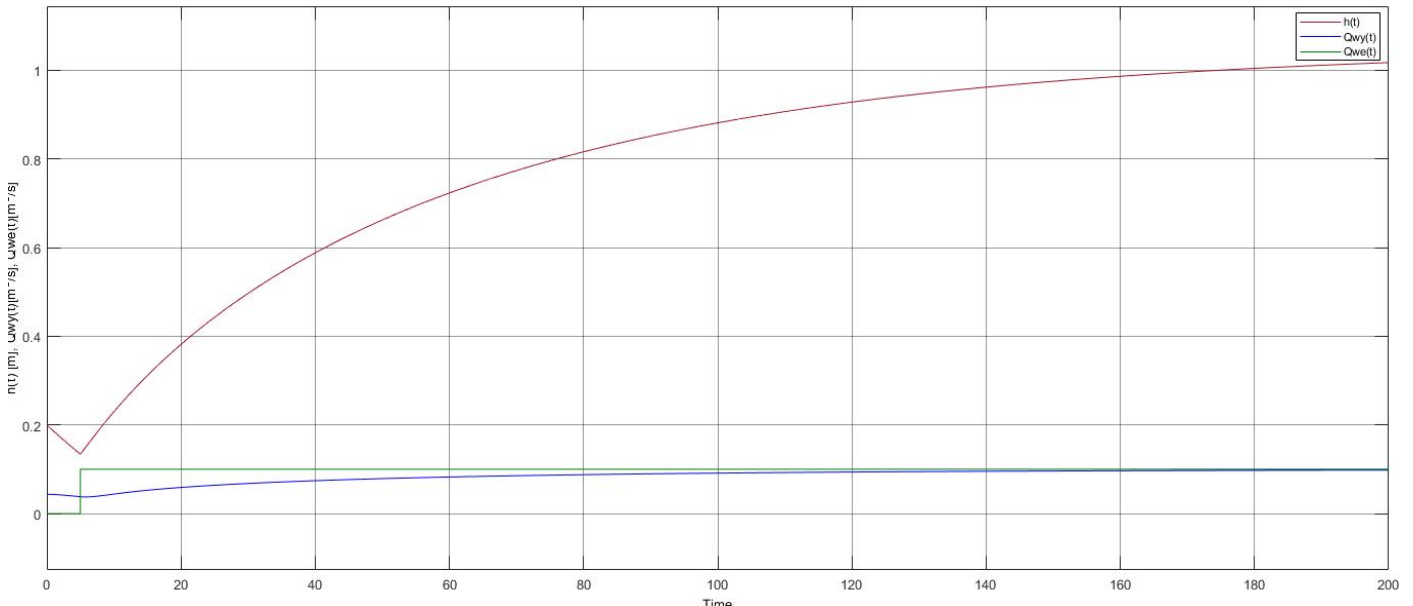
Rysunek 2 - Schemat blokowy

5. Wykresy i wnioski

5.1. Zmiana skokowa wartości natężenia przepływu wejściowego –

Q_{we}

5.1.1. Dane identyczne jak w rozdziale *Model rzeczywisty układu*



Rysunek 3 - Wykres dla danych początkowych

W początkowej fazie symulacji (do 5 sekundy) jest brak przepływu wody do zbiornika co objawia się spadkiem wysokości słupa cieczy w zbiorniku i tym samym dochodzi do spadku wartości natężenia wypływu. Następnie skokowo rośnie wartość przepływu wody do zbiornika, co powoduje wzrost słupa cieczy w zbiorniku i tym samym wzrost natężenia wypływu. Sytuacja stabilizuje się (brak zmiany wysokości słupa cieczy i natężenia wypływu), gdy ciśnienie wywierane przez słup cieczy jest wystarczające aby natężenie wypływu cieczy było równe natężeniu wpływu cieczy do zbiornika ($Q_{wy}=Q_{we}$).

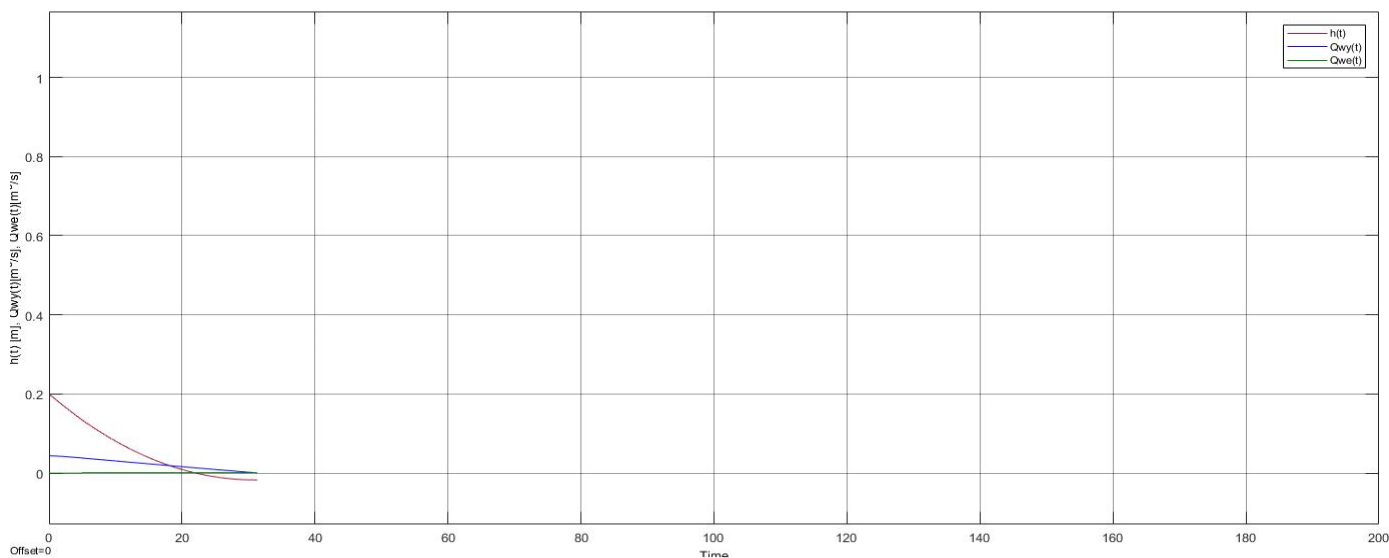
Czyli korzystając ze wzoru z *Podstaw fizycznych*:

$$h = \frac{k_f \cdot L}{A^3} \cdot \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot Q^2 = \frac{0,5 \cdot 1}{0,00785^3} \cdot \frac{1}{1000 \cdot 9,81} \cdot 0,1^2 = 1,034 \text{ m}$$

co jest zgodne z tym co otrzymaliśmy na wykresie.

5.1.2. Zmiana wartości natężenia przepływu do zbiornika (Q_{we})

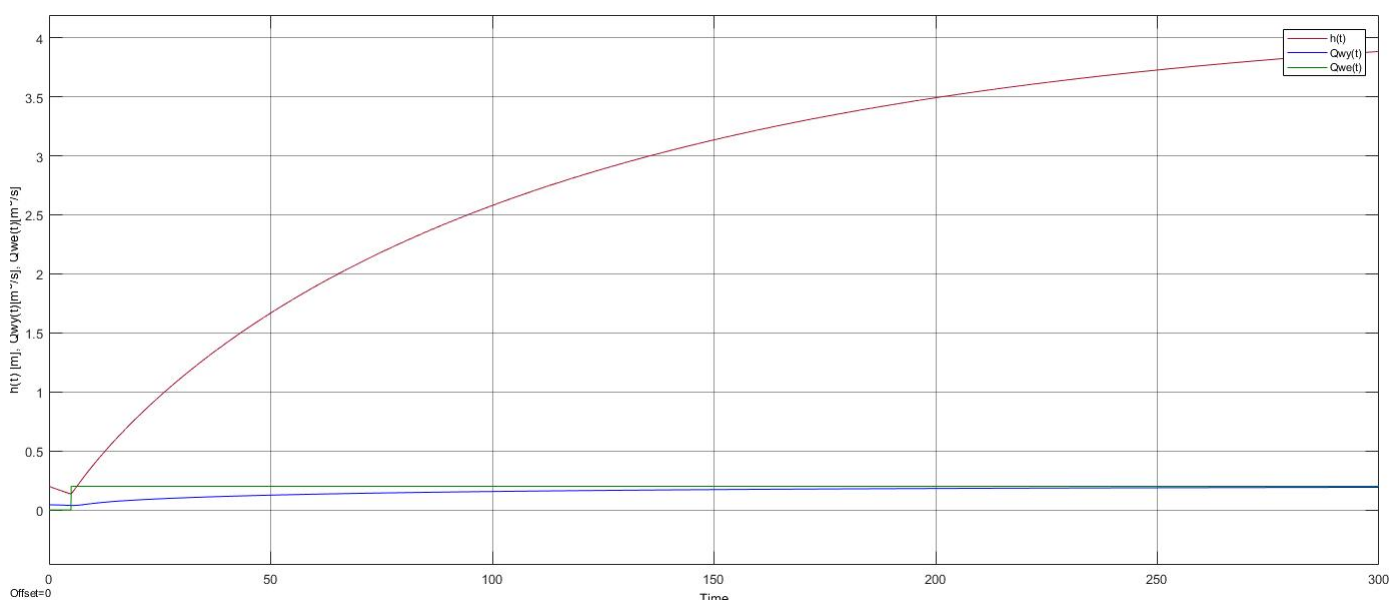
- Zmniejszenie wartości Q_{we}



Rysunek 4 - Obniżenie wartości Q_{we}

W przypadku zbyt małej wartości Q_{we} możemy zaobserwować całkowity wypływ wody ze zbiornika i oczywiście wartość natężenie wypływu dąży do wartości natężenia wpływu ciecży do zbiornika (do 0).

- Zwiększenie wartości Q_{we}

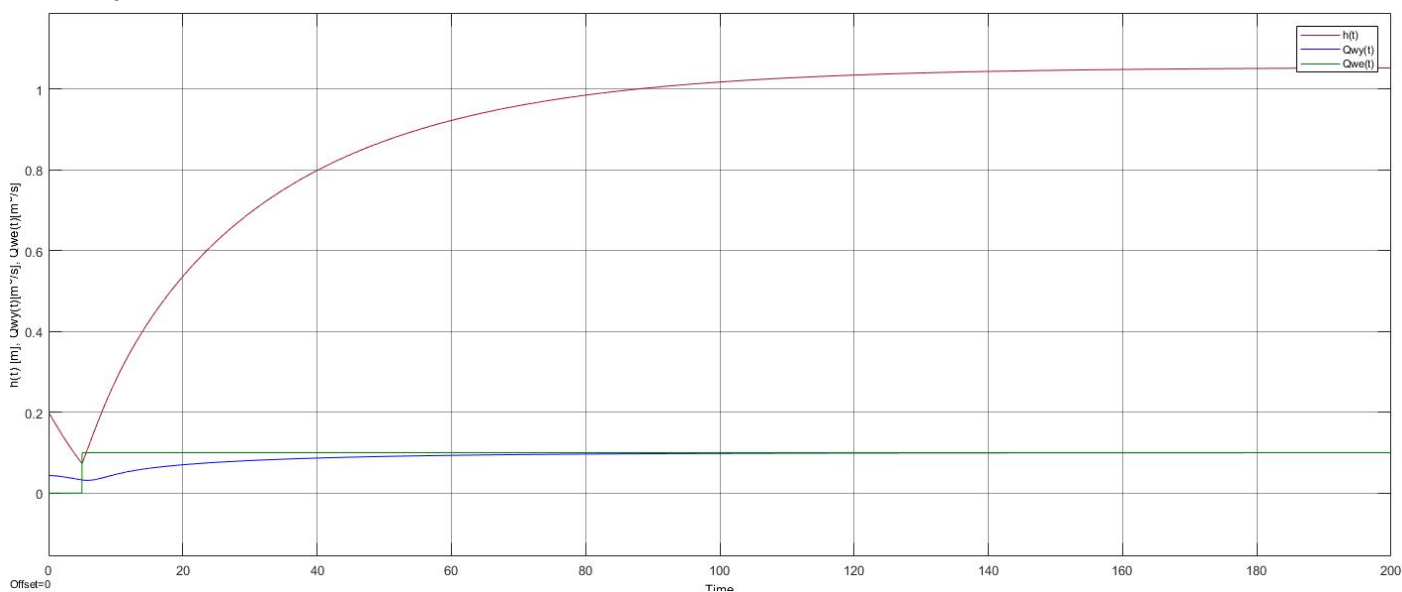


Rysunek 5 - Wzrost wartości Q_{we}

Przy zwiększeniu wartości Q_{we} możemy zaobserwować wzrost wysokości cieczy w stanie stabilnym. Jest to spowodowane tym, że Q_{wy} musi osiągnąć większą wartość a co za tym idzie słup cieczy musi być wyższy. Dodatkowo czas stabilizacji się wydłużył (z 200 do 300s).

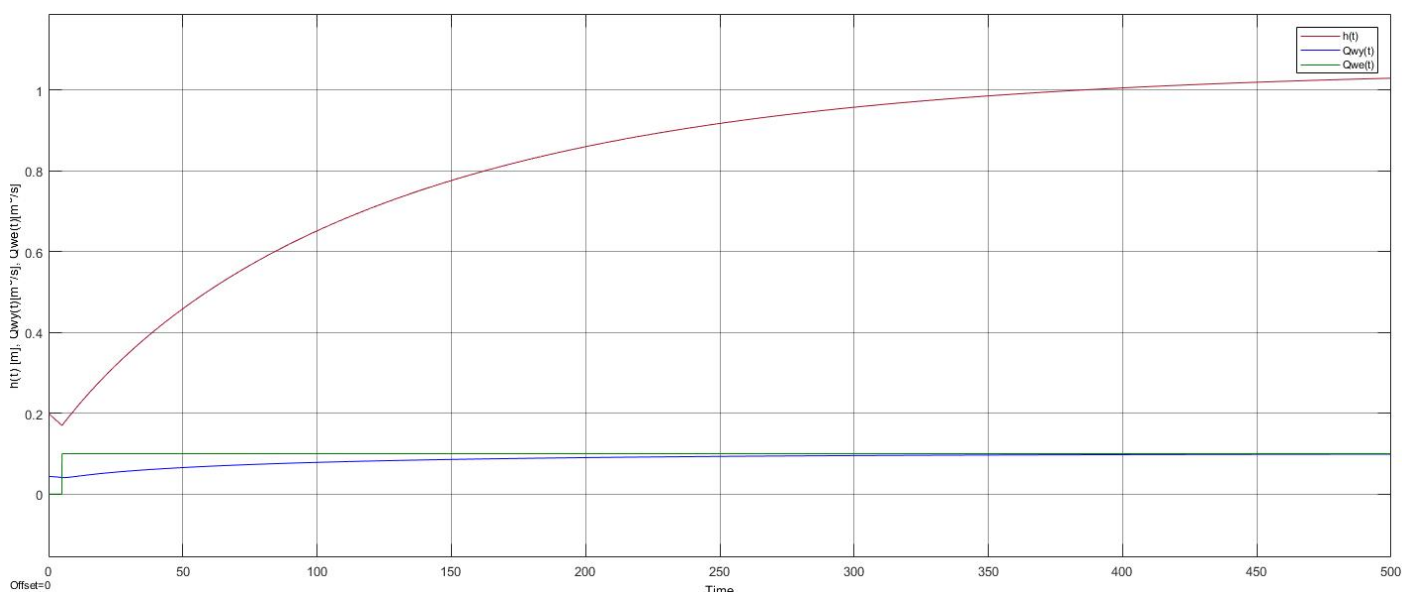
5.1.3. Zmiana wartości promienia zbiornika (R_z)

- Zmniejszenie wartości R_z



Rysunek 6 - Zmniejszenie wartości R_z

- Zwiększenie wartości R_z

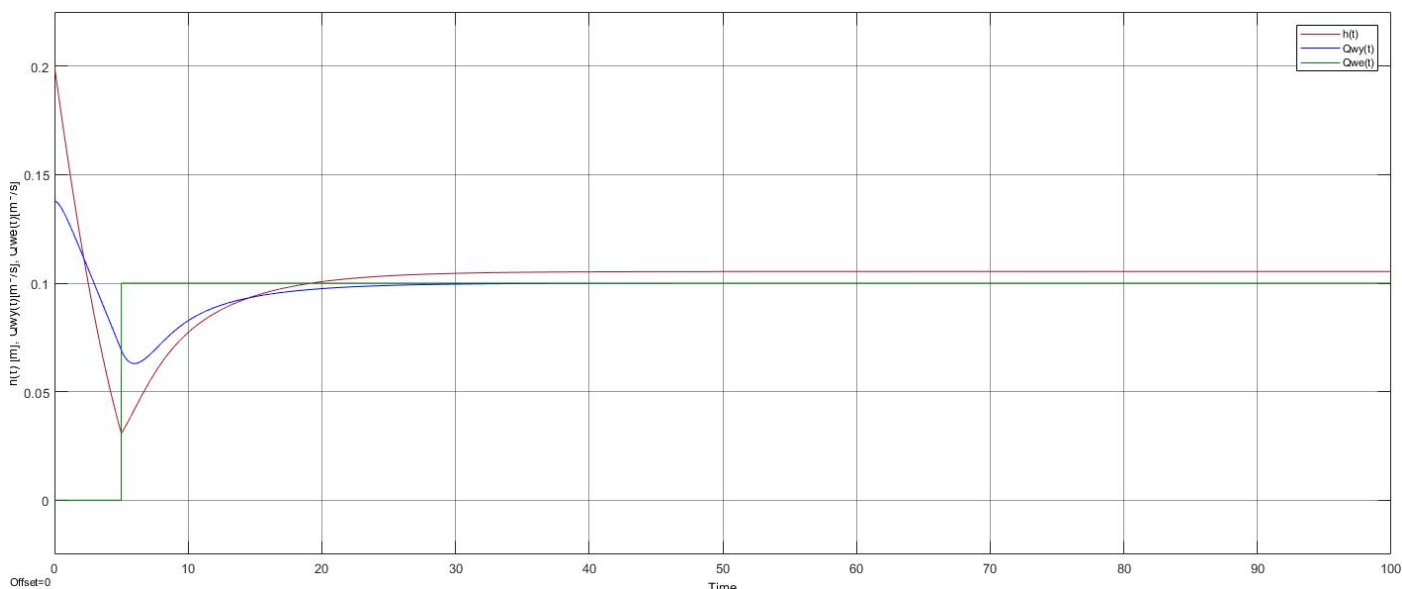


Rysunek 7 - Zwiększenie wartości R_z

Porównując oba te wykresy do wykresu 1 możemy zauważyć, że zmiana wartości promienia zbiornika R_z tym samym zmiana wartości pola powierzchni zbiornika wpływa jedynie na czas ustalania. Wysokość słupa cieczy jak i wartość końcowa natężenia wypływu dążyła do tej samej wartości co w podpunkcie 5.1.1. . Zmniejszenie wartości pola powierzchni zbiornika zmniejsza czas ustalania, a zwiększenie wartości pola wydłuża ten czas.

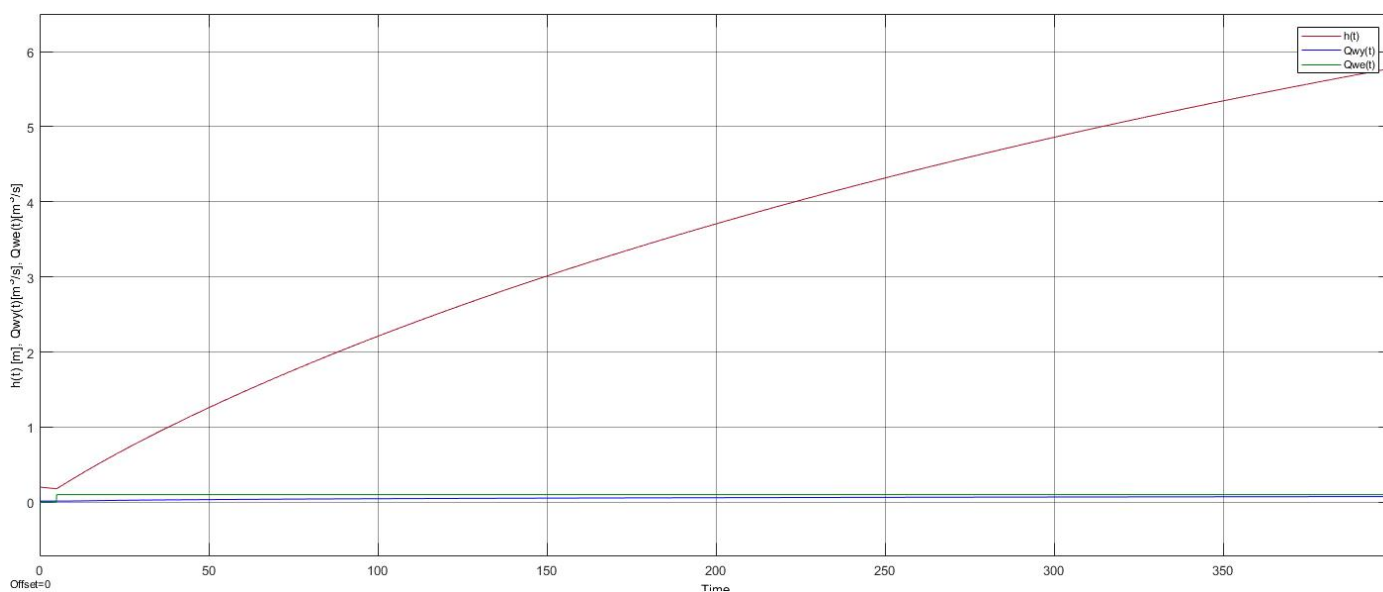
5.1.4. Zmiana wartości długości rurociągu (L)

- Zmniejszenie wartości L



Rysunek 8 - Zmniejszenie wartości L

- Zwiększenie wartości L



Rysunek 9 - Zwiększenie wartości L

Zgodnie ze wzorem z Podstaw fizycznych:

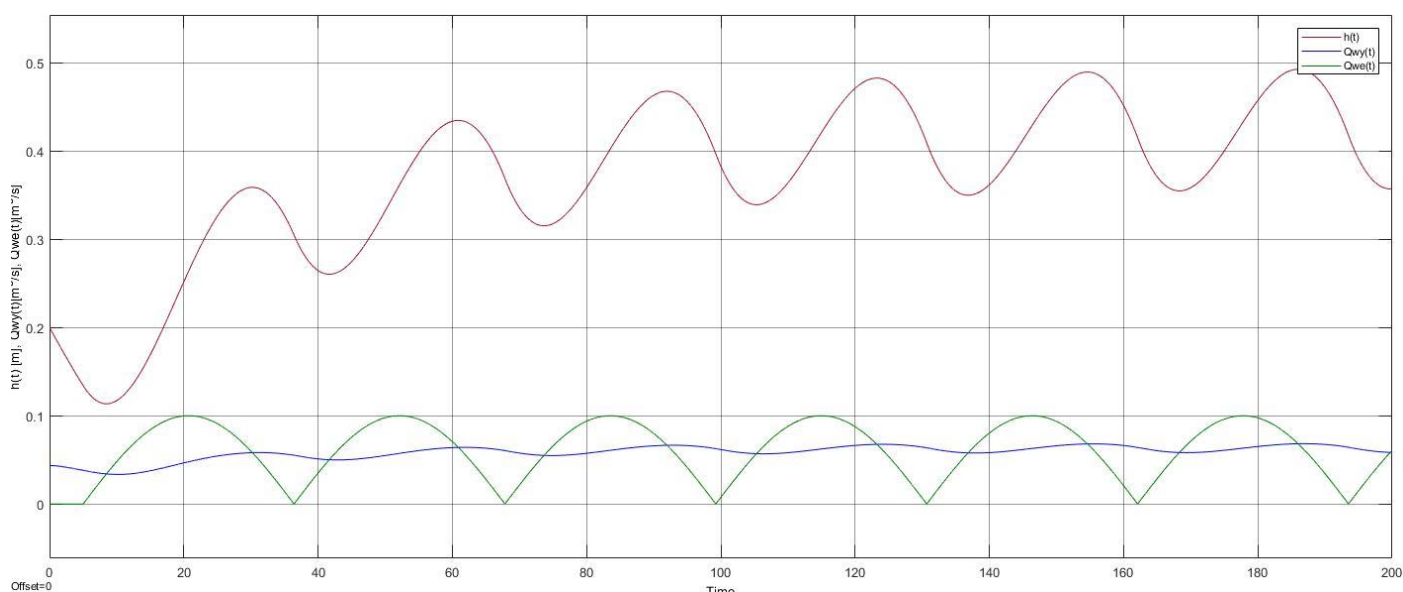
$$h = \frac{k_f \cdot L}{A^3} \cdot \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot Q^2$$

Zmiana wartości długości rurociągu wpływa wprost proporcjonalnie na opór i tym samym wpływa na wysokość słupa cieczy w zbiorniku w stanie ustalonym, co powoduje zmianę czasu ustalania. Im dłuższy rurociąg tym wyższa wysokość słupa cieczy i dłuższy czas ustalania.

5.2. Zmiana sinusoidalna wartości natężenia przepływu wejściowego

– Q_{we}

5.2.1. Dane identyczne jak w rozdziale *Model rzeczywisty układu*

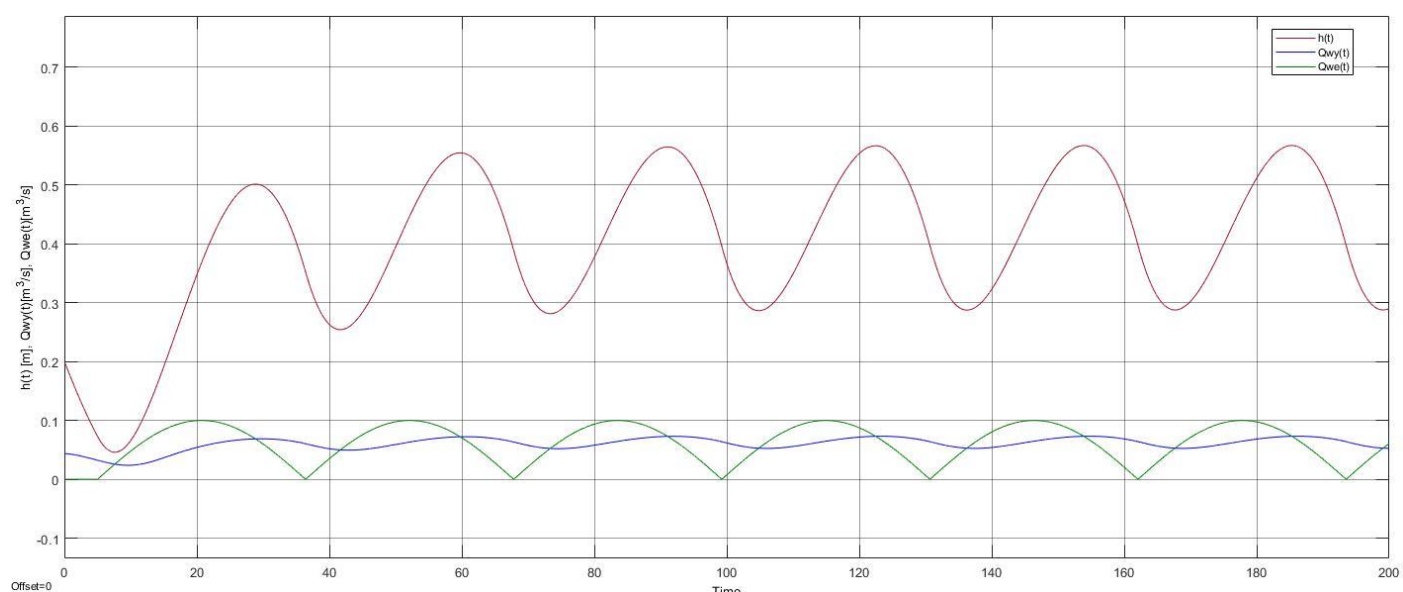


Rysunek 10 - Zmiana sinusoidalna wartości Q_{we}

Zmiana charakteru natężenia wpływu do zbiornika (na sinusoidalny) wpływa znacząco na charakterystykę układu. Ze względu na zmienne Q_{we} , które jest znaczące w stosunku do pola zbiornika otrzymujemy duże fluktuacje wysokości słupa cieczy w zbiorniku, które są opóźnione względem zmian Q_{we} . Również możemy zauważyć, że ze względu na zmianę wysokości słupa cieczy w zbiorniku zmienia się z opóźnieniem natężenie wypływu też o charakterze sinusoidalnym. Dodatkowo możemy zauważyć, że zmiany sinusoidalne Q_{we} wpływają z opóźnieniem na zmiany Q_{wy} .

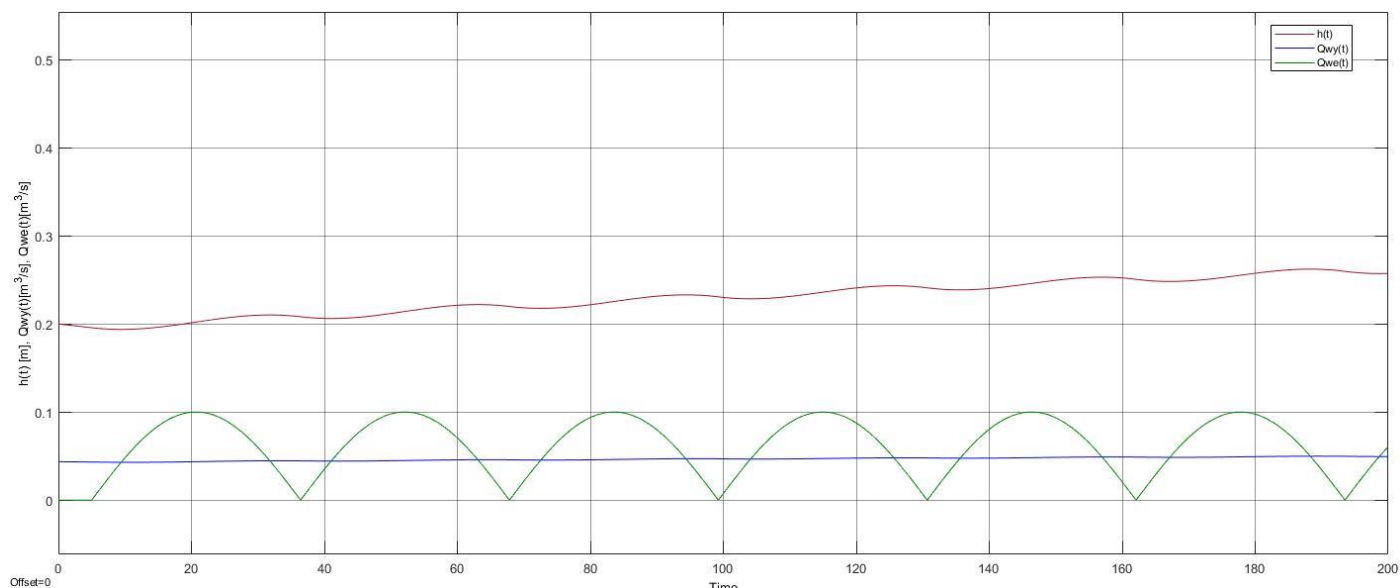
5.2.2. Zmiana wartości promienia zbiornika (R_z)

- Zmniejszenie wartości R_z



Rysunek 11 - Zmniejszenie wartości R_z

- Zwiększenie wartości R_z

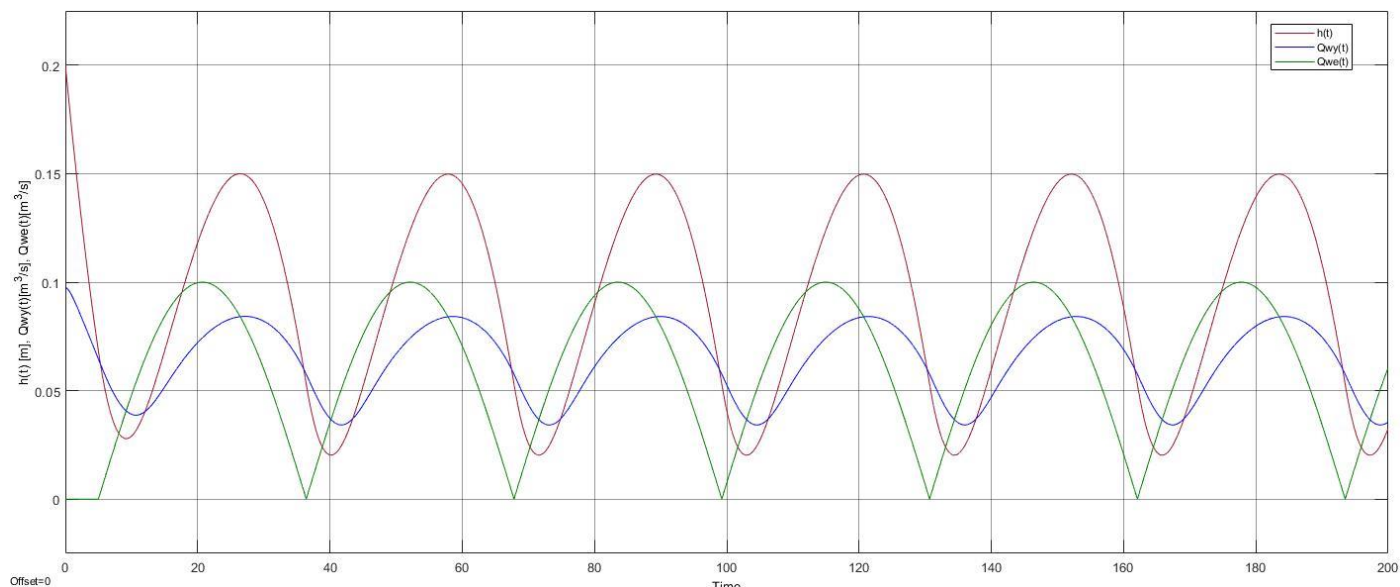


Rysunek 12 - Zwiększenie wartości R_z

Zmiana wartości promienia zbiornika wpływa na charakter przebiegu wysokości słupa cieczy (a więc również na charakter natężenia wypływu). Zmniejszenie wartości R_z spowodowało większe fluktuacje wysokości słupa cieczy, ponieważ pole zbiornika było mniejsze, natomiast w przypadku zwiększenia wartości R_z wysokość cieczy w zbiorniku była stabilna (a tym samym wypływ).

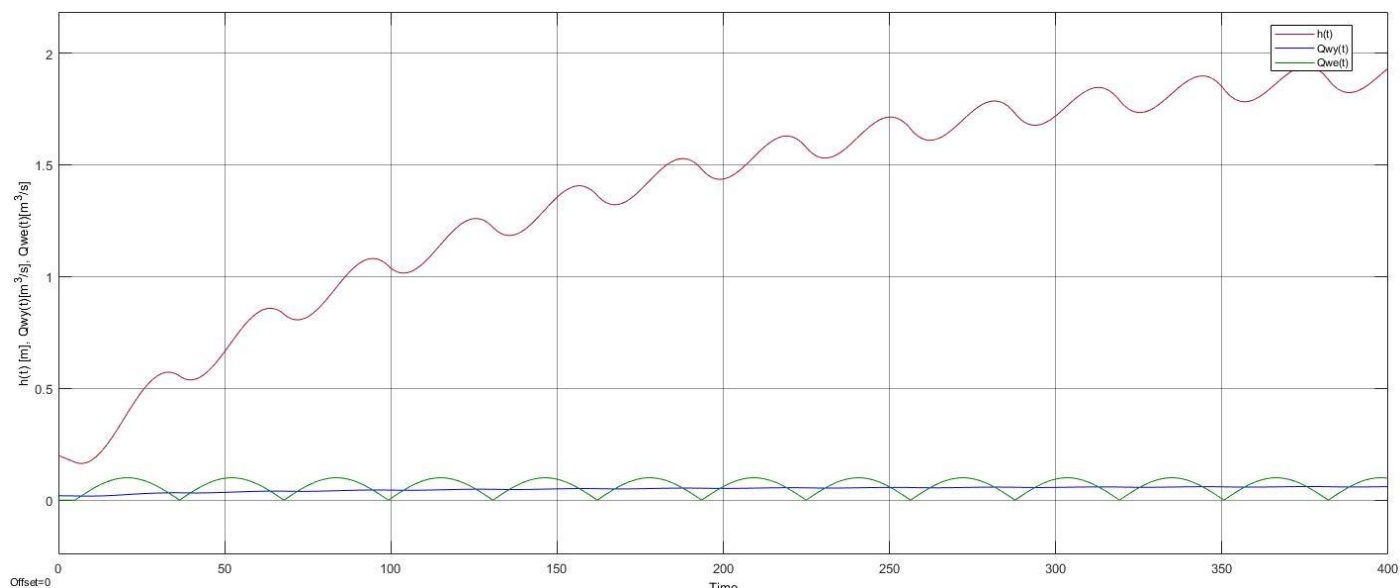
5.2.3. Zmiana wartości długości rurociągu (L)

- Zmniejszenie wartości L



Rysunek 13 - Zmniejszenie wartości L

- Zwiększenie wartości L



Rysunek 14 - Zwiększenie wartości L

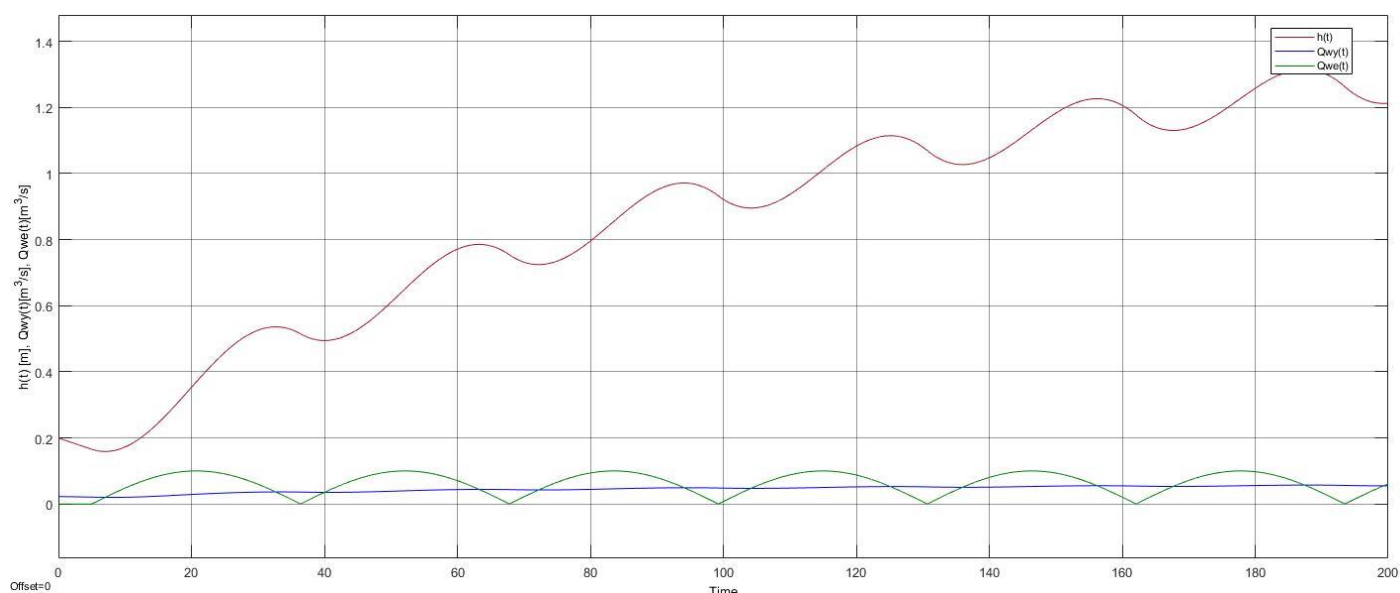
Zgodnie ze wzorem z *Podstaw fizycznych*:

$$h = \frac{k_f \cdot L}{A^3} \cdot \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot Q^2$$

Zmiana wartości długości rurociągu wpływa wprost proporcjonalnie na opór i tym samym wpływa na wysokość słupa cieczy w zbiorniku w stanie względnej stabilizacji, co powoduje zmianę czasu „ustalania”. Im dłuższy rurociąg tym wyższa wysokość słupa cieczy i dłuższy czas ustalania. Na rysunku 14 możemy zauważyć, że wartość Q_{wy} dąży do wartości amplitudy Q_{we} podzielonej przez $\sqrt{2}$.

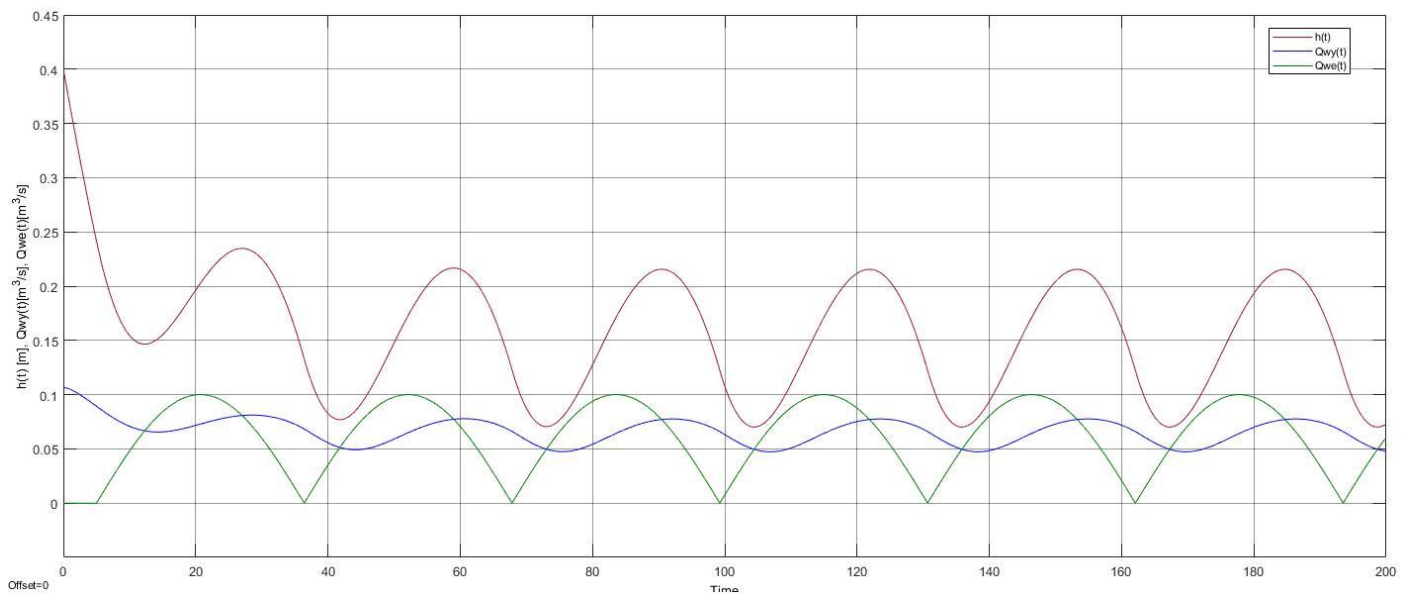
5.2.4. Zmiana wartości promienia rurociągu (R_p)

- Zmniejszenie wartości R_p



Rysunek 15 - Zmniejszenie wartości R_p

- Zwiększenie wartości R_p



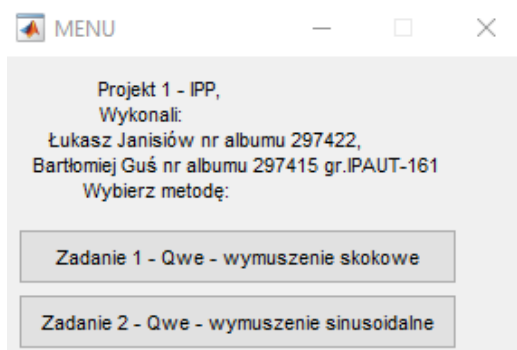
Rysunek 16 - Zwiększenie wartości R_p

Zmniejszenie promienia rurociągu zmniejsza pole powierzchni przekroju rurociągu, co powoduje zwiększenie wysokości słupa cieczy w zbiorniku, które jest spowodowane zwiększonymi siłami oporu w rurociągu. Zwiększenie promienia rurociągu powoduje odwrotne skutki co możemy zaobserwować porównując Rys. 15 i 16. Również na Rys. 16 możemy zauważyć, że zbyt duża początkowa wysokość słupa cieczy skutkuje większym wypływem niż wpływem, co powoduje spadek wysokości słupa cieczy do poziomu takiego, aby $Q_{wy} = Q_{we}$.

6. Wnioski końcowe

- Możemy zauważyć, że w każdym przypadku wartość natężenia wypływu dążyło do wartości natężenia wpływu do zbiornika, ponieważ w stanie ustalonym to co wypływa równa się temu co wpływa.
- Zbiornik w układzie można porównać do kondensatora w układzie elektrycznym, na samym początku następuje jego ładowanie (napełnianie zbiornika) i w przypadku jeśli nie występuje wpływ do zbiornika następuje spadek wysokości słupa cieczy (co jest analogiczne do rozładowywania kondensatora). W zbiorniku, ciecz przestaje się podnosić, gdy ciśnienie hydrostatyczne pomnożone przez pole powierzchni rurociągu słupa cieczy równoważy siłę oporu rurociągu.
- W przypadku gdy początkowa wysokość cieczy jest zbyt duża powoduje to, że początkowa wartość Q_{wy} jest większa od wartości Q_{we} co skutkuje spadkiem wysokości słupa cieczy w zbiorniku (a więc też spadkiem wartości Q_{wy}).

7. Zrzuty ekranu programu



Rysunek 17 - Menu początkowe

Podaj wartość promienia zbiornika w [m]

Podaj wartość promienia rury w [m]

Podaj wartość wysokości początkowej cieczy w zbiorniku w [m]

Podaj wartość długości rury w [m]

Podaj wartość gęstości cieczy w [kg/m³]

Podaj wartość współczynnika oporu w [kg/m²]

OK Cancel

Rysunek 18 - Menu wymuszenia skokowego

Podaj wartość promienia zbiornika w [m]

Podaj wartość promienia rury w [m]

Podaj wartość wysokości początkowej cieczy w zbiorniku w [m]

Podaj wartość długości rury w [m]

Podaj wartość gęstości cieczy w [kg/m³]

Podaj wartość współczynnika oporu w [kg/m²]

Podaj wartość natężenia przepływu cieczy wejściowe w [m³/s]

Podaj wartość częstotliwości zmian przepływu cieczy wejściowe w [Hz]

OK Cancel

Rysunek 19 - Menu wymuszenia sinusoidalnego

8. Kod źródłowy programu

```
clc;
clear;

tytul = [' Projekt 1 - IPP,
        ' Wykonali:
        ' Łukasz Janisiów nr albumu 297422,
        ' Bartłomiej Guś nr albumu 297415 gr.IPAUT-161
        ' Wybierz metodę:
        '];

odpowiedz=[1,2];
wybor=menu(tytul,'Zadanie 1 - Qwe - wymuszenie skokowe','Zadanie 2 - Qwe - wymuszenie
sinusoidalne');

switch odpowiedz(wybor)
    case 1
        typ_wymuszenia = 1;
        Podaj_Rz = ('Podaj wartość promienia zbiornika w [m]');
        Podaj_Rp = ('Podaj wartość promienia rury w [m]');
        Podaj_h0 = ('Podaj wartość wysokości początkowej cieczy w zbiorniku w [m]');
        Podaj_L = ('Podaj wartość długości rury w [m]');
        Podaj_ro = ('Podaj wartość gęstości cieczy w [kg/m3]');
        Podaj_kf = ('Podaj wartość współczynnika oporu w [kg/m2]');

        Rp = 0;
        h0 = -1;
        f = 0;
        g = 9.81;
        Qwe = 0.1;

        while (2*Rp>h0)

            answer=inputdlg({'Podaj_Rz,Podaj_Rp,Podaj_h0,Podaj_L,Podaj_ro,Podaj_kf'});

            if isempty(str2num(answer{1,1}))
                Rz = 1;
            else Rz = str2num(answer{1,1});
            end

            if isempty(str2num(answer{2,1}))
                Rp = 0.05;
            else Rp = str2num(answer{2,1});
            end

            if isempty(str2num(answer{3,1}))
                h0 = 0.2;
            else h0 = str2num(answer{3,1});
            end

            if isempty(str2num(answer{4,1}))
                L = 1;
            else L = str2num(answer{4,1});
            end

            if isempty(str2num(answer{5,1}))
                ro = 1000;
            else ro = str2num(answer{5,1});
            end
        end
    end
end
```

```

    if isempty(str2num(answer{6,1}))
        kf = 0.5;
    else kf = str2num(answer{6,1});
    end

```

```
end
```

```

Az = 3.14*Rz*Rz;
Ap = 3.14*Rp*Rp;

```

```
case 2
```

```

    typ_wymuszenia = 2;
    Podaj_Rz = ('Podaj wartość promienia zbiornika w [m]');
    Podaj_Rp = ('Podaj wartość promienia rury w [m]');
    Podaj_h0 = ('Podaj wartość wysokości początkowej cieczy w zbiorniku w [m]');
    Podaj_L = ('Podaj wartość długości rury w [m]');
    Podaj_ro = ('Podaj wartość gęstości cieczy w [kg/m3]');
    Podaj_kf = ('Podaj wartość współczynnika oporu w [kg/m2]');
    Podaj_Qwe = ('Podaj wartość natężenia przepływu cieczy wejściowe w [m3/s]');
    Podaj_f = ('Podaj wartość częstotliwości zmian przepływu cieczy wejściowe w
[Hz]');

```

```

Rp = 0;
h0 = -1;
g = 9.81;

```

```
while (2*Rp>h0)
```

```

answer=inputdlg({Podaj_Rz,Podaj_Rp,Podaj_h0,Podaj_L,Podaj_ro,Podaj_kf,Podaj_Qwe,Podaj_f
});

```

```

    if isempty(str2num(answer{1,1}))
        Rz = 1;
    else Rz = str2num(answer{1,1});
    end

```

```

    if isempty(str2num(answer{2,1}))
        Rp = 0.1;
    else Rp = str2num(answer{2,1});
    end

```

```

    if isempty(str2num(answer{3,1}))
        h0 = 0.3;
    else h0 = str2num(answer{3,1});
    end

```

```

    if isempty(str2num(answer{4,1}))
        L = 10;
    else L = str2num(answer{4,1});
    end

```

```

    if isempty(str2num(answer{5,1}))
        ro = 1000;
    else ro = str2num(answer{5,1});
    end

```

```

    if isempty(str2num(answer{6,1}))
        kf = 0.5;
    else kf = str2num(answer{6,1});
    end

```

```
    if isempty(str2num(answer{7,1}))
        Qwe = 0.5;
    else Qwe = str2num(answer{7,1});
    end

    if isempty(str2num(answer{8,1}))
        f = 1;
    else f = str2num(answer{8,1});
    end
end

Az = 3.14*Rz*Rz;
Ap = 3.14*Rp*Rp;

end
```