

Inżynieria Procesów Przemysłowych

Projekt 2. Temperatura przyjemności

Paweł Kwiatkowski

Szymon Gołaś

1. Opis układu

Projekt obejmuje stworzenie modelu temperaturowego cieczy w cylindrycznym naczyniu w zależności od wybranych parametrów, model pozwala stworzyć np. symulację procesu studzenia kawy, jak również określenie wpływu poszczególnych parametrów procesu na tempo oddawania ciepła oraz zmian temperatur

Model matematyczny został wykonany przy użyciu oprogramowania MATLAB.

Założenia:

- wymiana ciepła poprzez przenikanie oraz radiację
- przenikanie zachodzi na powierzchni bocznej cylindra woda->ścianki, ścianki->powietrze
- wymiana ciepła w radiacji zachodzi w obu kierunkach
- radiacja zachodzi na powierzchni bocznej, ścianki-woda, ścianki-powietrze,
- oraz na powierzchni górnej woda-powietrze
- temperatura wody w całej objętości oraz ścianek w całej objętości jest w danym momencie czasu jednakowa
- temperatura powietrza jest stała
- właściwości kawy oraz mleka przyjęto za właściwości wody

Wzory:

ciepło przenikania dla wody i powietrza
temperatura wody i ścianek

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{Q_w}{V\rho C_p}$$

$$Q_w = \alpha A(T - T_s)$$

$$\frac{dT_s}{dt} = \frac{Q_w - Q_p}{V_s \rho_s C_{p_s}}$$

$$Q_p = -\alpha_p A(T_p - T_s)$$

promieniowanie ciepła:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = C \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

Wzory na temperaturę zostały przekształcone do postaci iteracyjnej za pomocą metody Eulera jawnej:

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y), \quad \text{gdzie } y(x_0) = y_0 \quad y_{k+1} = y_k + h \cdot f(x_k, y_k)$$

2. Przyjęte parametry

Głównym celem użycia modelu jest ustalenie optymalnych warunków do uzyskania „temperatury przyjemności” kawy tzn. temperatury ok. 60°C, w której osoba pijąca kawę doświadczy najlepszych doznań smakowych. W Analiza wpływu parametrów

Za parametry wstępne układu przyjęto:

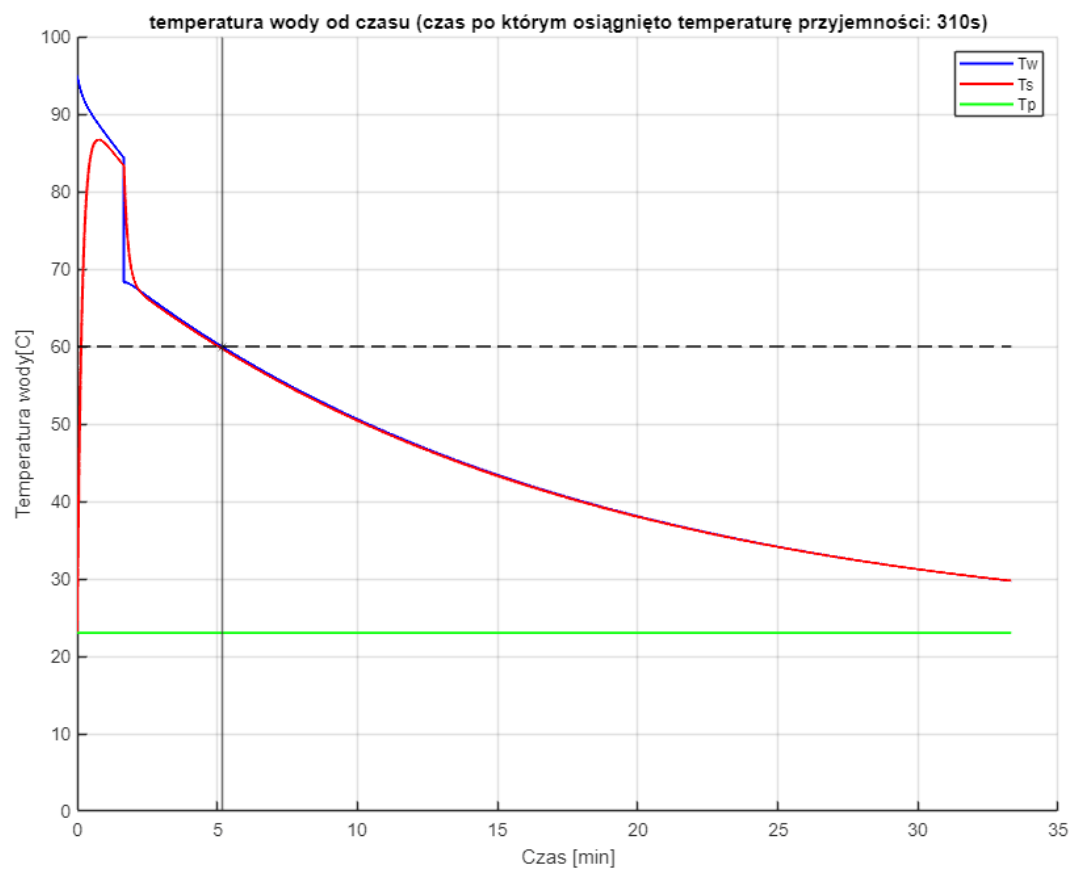
```
wyp=0.8; %wypełnienie kubka kawą
mom=100; %moment dolania mleka [s]
Cp_w=4190; %ciepło właściwe wody [J/(kgK)]
Cp_s=900; %ciepło właściwe ścianek [J/(kgK)]
r=0.06; % promień kubka [m]
h=0.1; %wysokość kubka [m]
d=0.003; % szerokość ścianek [m]
C_s = 5.667*0.92; %stała promieniowania porcelana (C0*stopień czarności) [W/(m^2*K^4)]
C_w = 5.667*0.98; %stała promieniowania woda [W/(m^2*K^4)]
C_p = 5.667*0.93;%stała promieniowania tynki [W/(m^2*K^4)]
rho_w=997; % gęstość wody[kg/m^3]
rho_s=2300; % gęstość ścianek po[kg/m^3]
alfa_woda_ks=400; % Współczynnik wnikańia ciepła woda,Konwekcja swobodna [W/(mK)] (250 ... 600)
alfa_woda_kw=1000; % Współczynnik wnikańia ciepła woda,Konwekcja wymuszona [W/(mK)] (500 ... 10 000)
alfa_powietrze_ks=15; % Współczynnik wnikańia ciepła woda,Konwekcja swobodna [W/(mK)] (3 ... 20)
alfa_powietrze_kw=120; % Współczynnik wnikańia ciepła woda,Konwekcja wymuszona [W/(mK)] (10 ... 150)
```

Temperatura początkowa wody = 95°C

Temperatura początkowa ścianek = 23°C

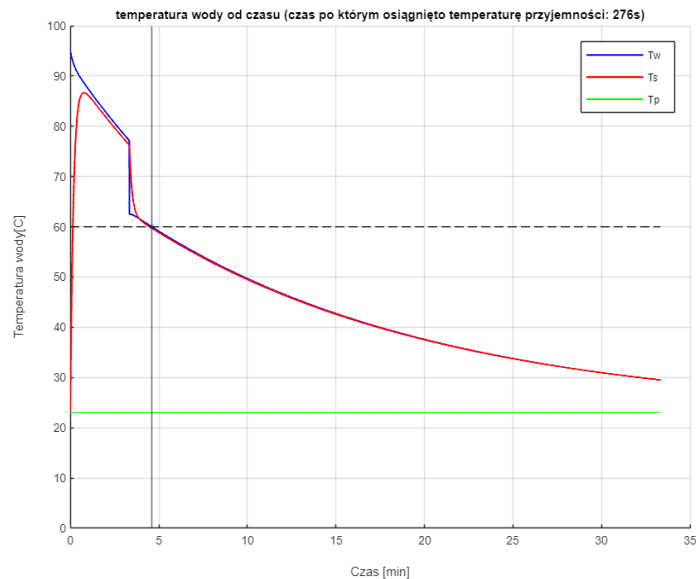
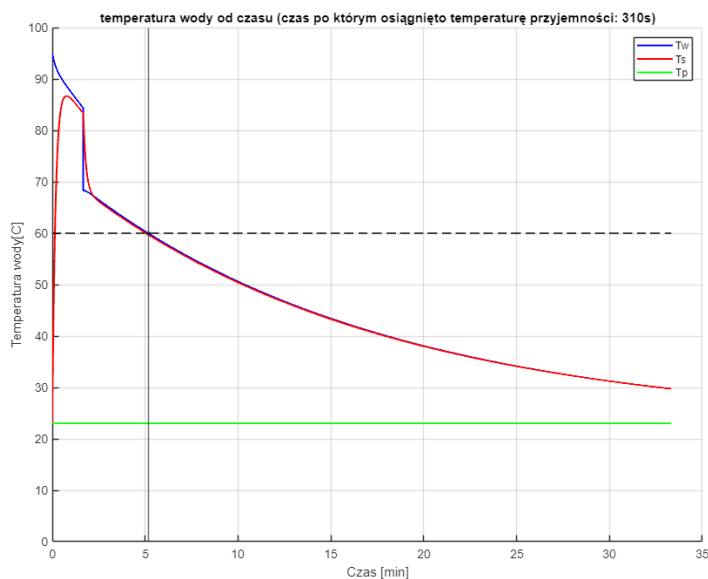
Temperatura początkowa otoczenia = 23°C

Przy tych parametrach przebieg zmiany temperatury przedstawiał się następująco:

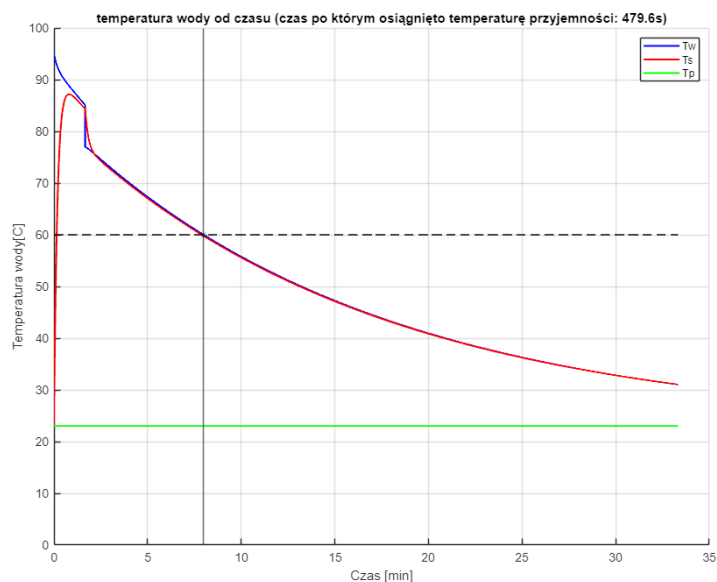
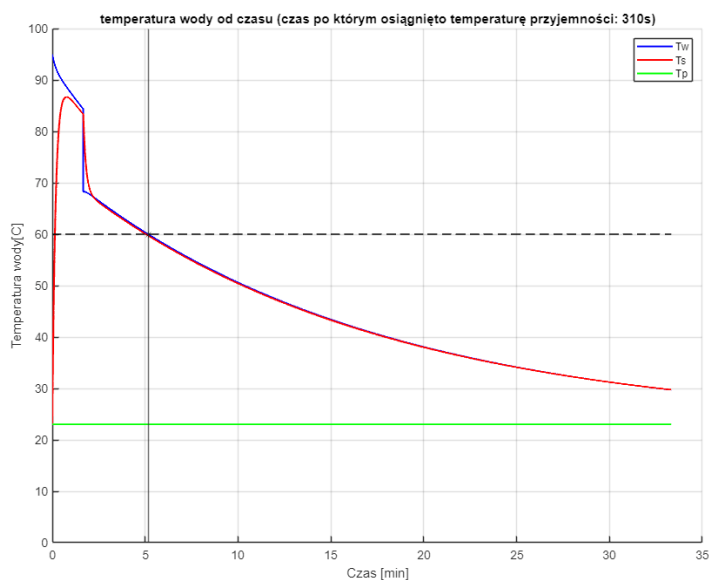


3. Wpływ poszczególnych parametrów na przebieg zmiany temperatury.

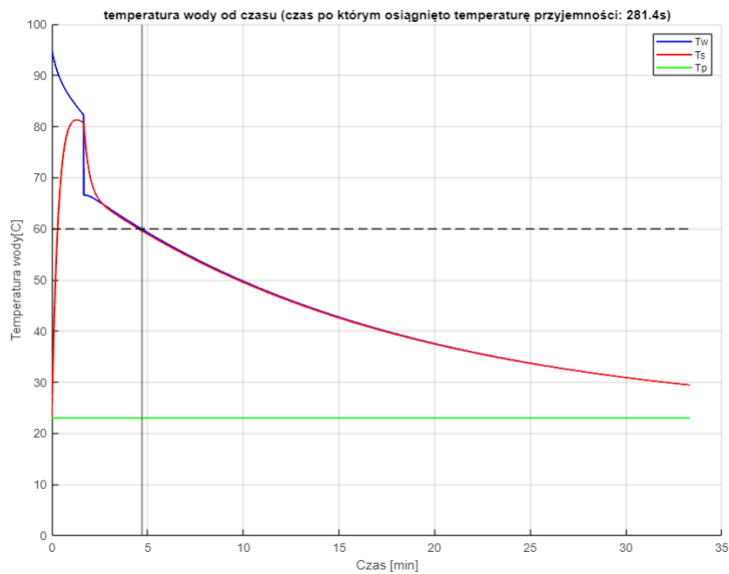
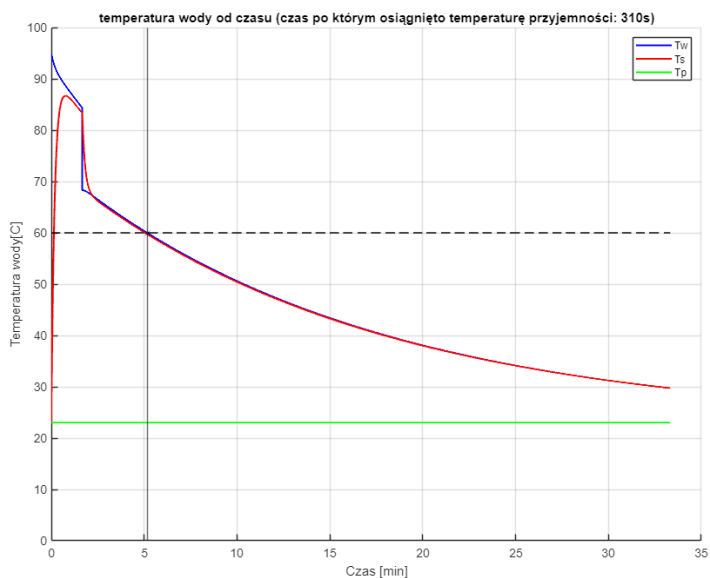
W lewej kolumnie znajdują się przebiegi przed zmodyfikowaniem, po prawej stronie po modyfikacji



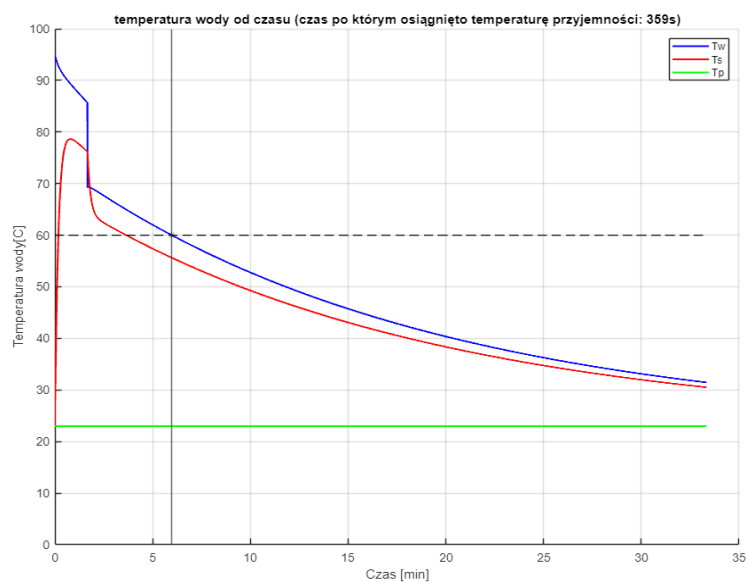
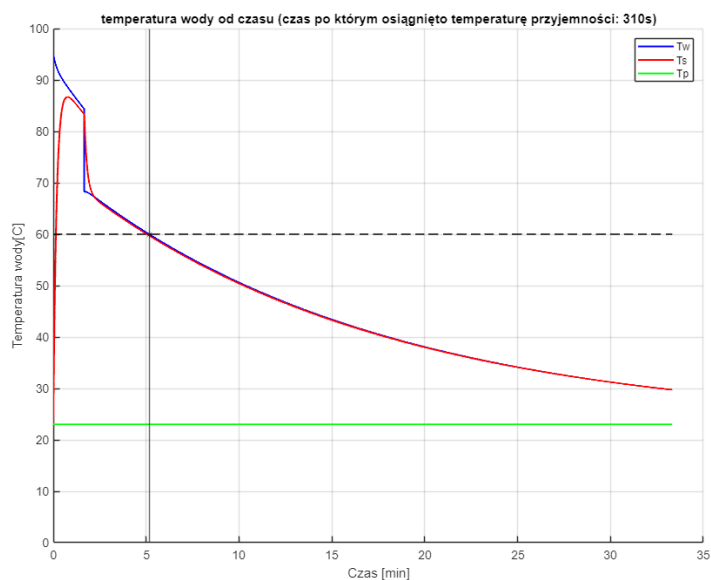
Dolanie mleka po 200s



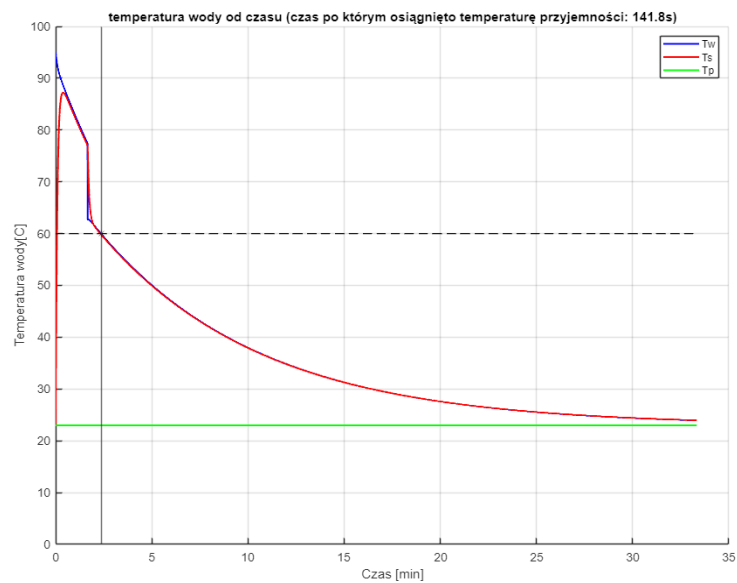
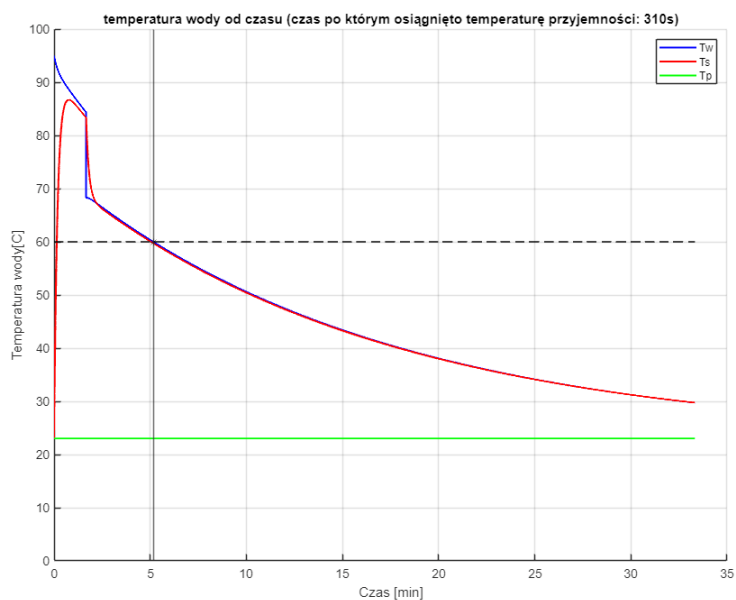
Wypełnienie kubka kawą w 90%



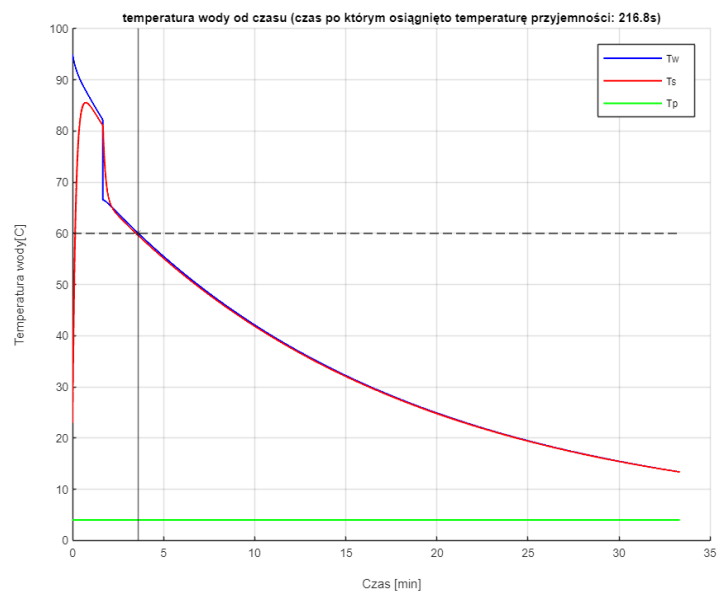
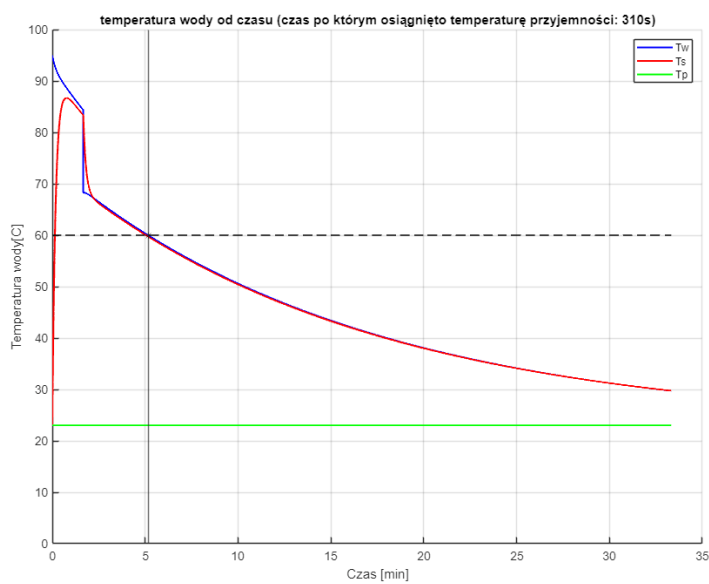
Szerokość ścianek 0,006m



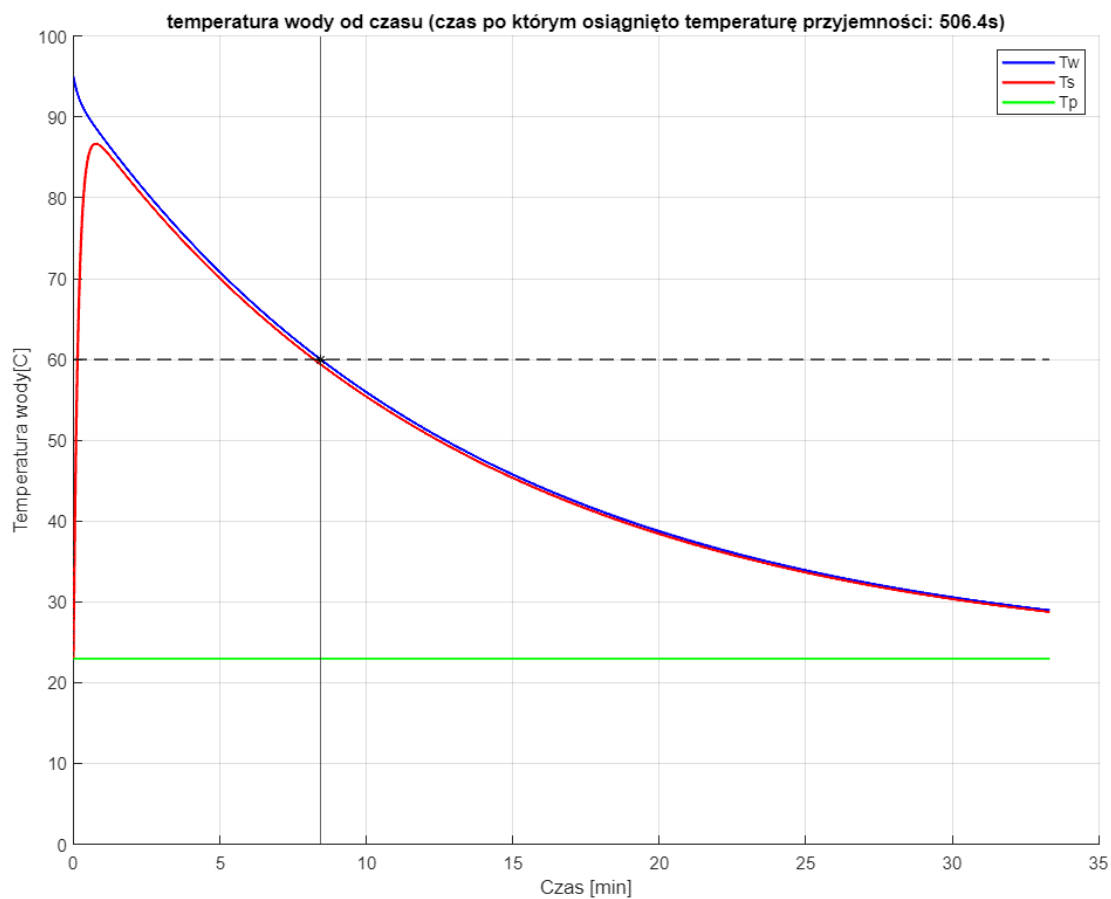
Wysokość kubka 0,2m



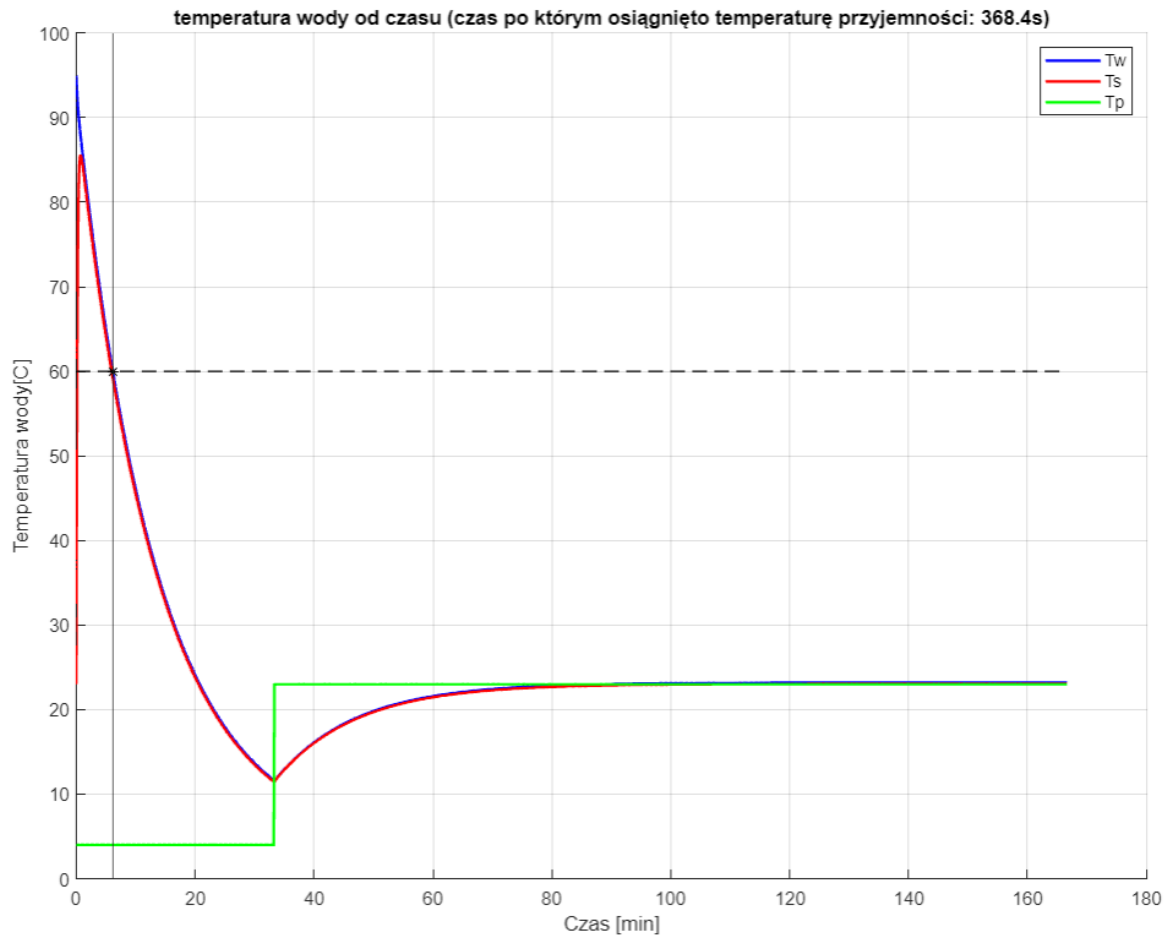
Symulacja mieszania (podwojenie wartości współczynników wnikania dla kawy)



Kawa schładzana w chłodziarni (temperatura otoczenia 4°C)

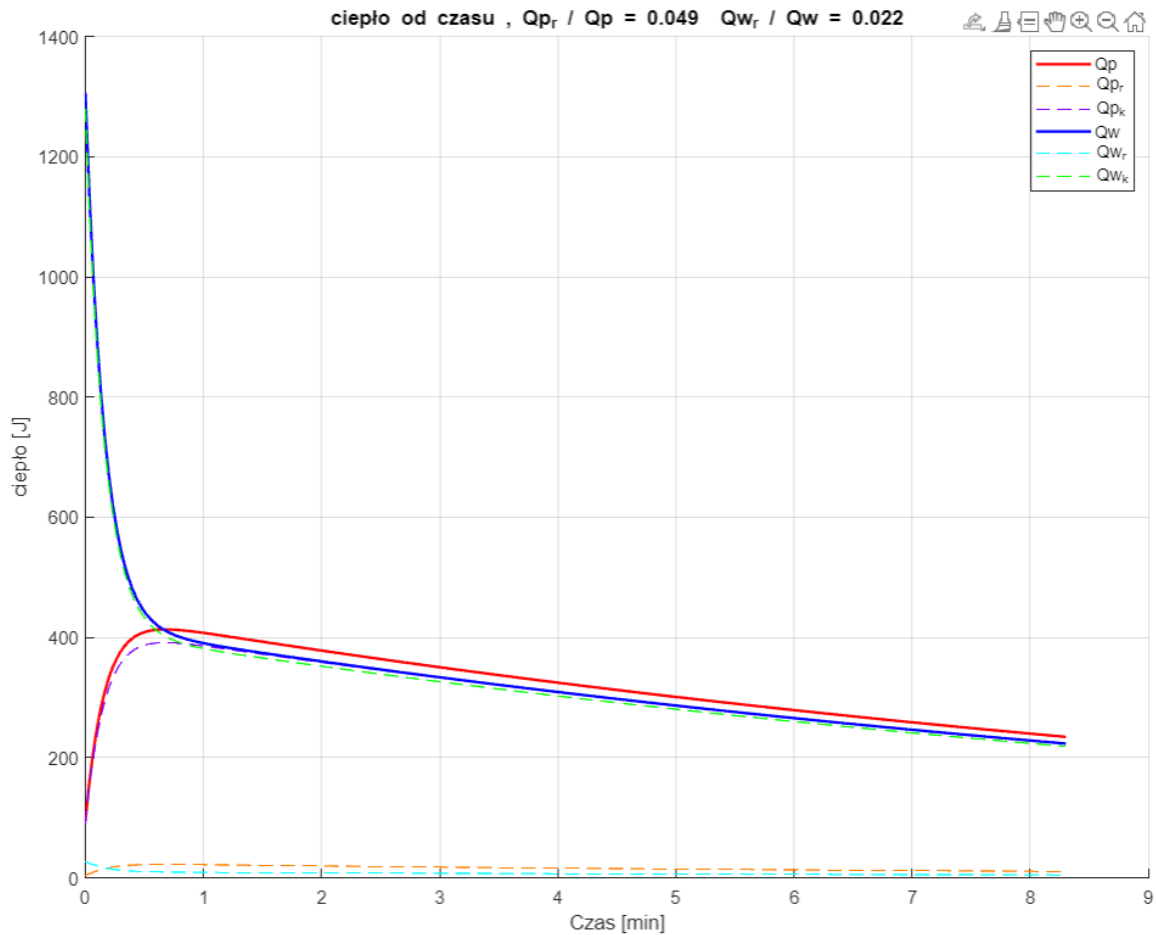


przebieg zmian temperatury bez dolewania mleka

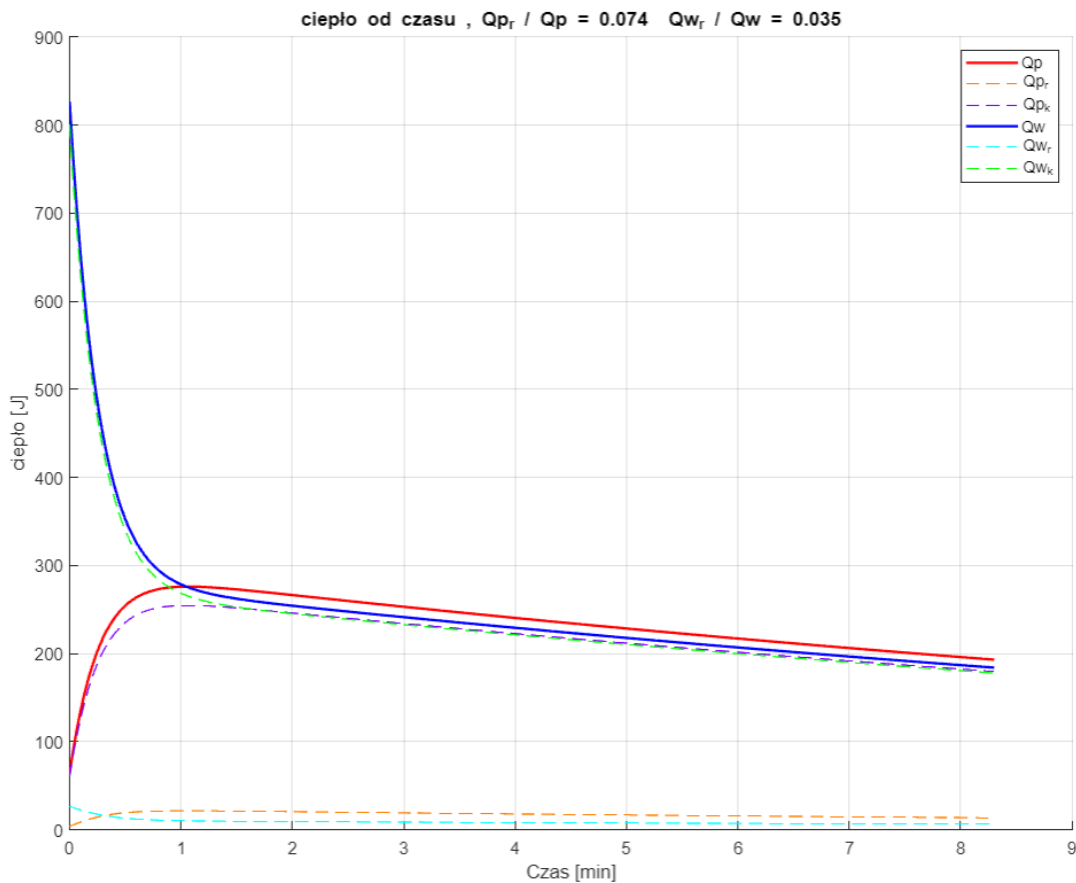


Przykładowa symulacja zmiany temperatury otoczenia – np. włożenie kubka do lodówki (zmiana T powietrza z 4C na 23C)

Charakterystyka ciepła oddanego przez wodę oraz ciepła pobranego przez powietrze, stosunek ciepła radiacji do całkowitego ciepła zawarty w tytule wykresu



przy początkowych parametrach, bez dolewania mleka



zmniejszenie współczynników przenikania: dla wody = 250, dla powietrza = 80

4. Wnioski

- Temperatura ścianek w początkowej fazie przebiegu roście i jest mniejsza niż temperatura wody, po dolaniu mleka skokowo zmienia się temperatura wody a temperatura ścianek zmniejsza się i przez pewien moment jest większa niż temperatura wody;
- Późniejsze dolanie mleka do kawy powoduje szybsze osiągnięcie temperatury przyjemności, bo powoduje to skokową zmianę temperatury, co ma większy wpływ w momencie gdy proces oddawania ciepła przez kawę z czasem zaczyna zwalniać;
- Zwiększenie wypełnienia kubka kawą wydłuża proces oddawania ciepła, ponieważ więcej ciepła musi zostać oddane do otoczenia;
- Przeciwnie do powyższego, zwiększenie szerokości ścianek powoduje przyspieszenie procesu zmniejszenia temperatury (mniejsza objętość kawy, model nie uwzględnia procesu przenikania ciepła wewnątrz ścianki kubka);
- Zwiększenie wysokości kubka opóźnia otrzymanie temperatury przyjemności (zwiększenie objętości kawy);
- Mieszania kawy przyspiesza zmianę temperatury (ułatwione oddawanie ciepła w wyniku bardziej jednolitego rozkładu temperatury kawy);
- Studzenie kawy w chłodziarni przyspiesza proces oddawania ciepła (większa różnica temperatur przekłada się na większy transfer ciepła);
- Zmniejszenie współczynników przenikania dla wody oraz powietrza powoduje zmniejszenie udziału ciepła przenikania do całkowitego ciepła oraz zwiększenie udziału promieniowania radiacji w cieple całkowitym;
- W przyjętych parametrach radiacja ma niewielki wpływ na bilans cieplny, około 5-7% dla bilansu z powietrzem oraz 2-3% dla bilansu z wodą
- W zależności od przyjętych parametrów występują różnice pomiędzy temperaturą ścianek a temperaturą wody,
- Model spełnił założony cel , wyniki wydają się, że są zbliżone do rzeczywistego zachowania układu , jednakże wyniki symulacji nie zostały potwierdzone eksperymentalnie