

Metalurgia: CCS Optima

Krótki opis usługi

Ciągłe odlewanie stali (COS) jest jednym z etapów wytwarzania stali. Produktem odlewania jest wlewk stalowy, który stanowi materiał wsadowy do produkcji gotowych wyrobów na drodze przeróbki plastycznej. W porównaniu z innymi znanymi procesami metalurgicznymi ciągle odlewanie stali jest procesem nowoczesnym technologicznie. Wprowadzenie ciągłego odlewania stali umożliwiło wzrost uzysku stali do 98% oraz eliminację energochłonnych pieców wlewniczych i zgniatacza. Z tych powodów koszty produkcji wlewków ciągłych są znacznie niższe niż koszt produkcji wlewków odlewanych do wlewnic. W chwili obecnej odlewa się w sposób ciągły bardzo szeroki asortyment gatunków stali, a wymagania odnośnie jakości odlewanych wlewków są coraz to bardziej zaostrzane. Z tego względu należy dążyć do odlewania stali o możliwie wysokim stopniu czystości i prowadzić proces odlewania w sposób, który wyklucza powstawanie wad materiałowych. Jedną z częstych przyczyn powodujących powstawanie szeregu różnych wad jest niewłaściwy odbiór ciepła w krystalizatorze i strefie wtórnego chłodzenia. Wymienione parametry można optymalizować na drodze symulacji ciągłego odlewania stali.

Pakiet oprogramowania *ProCAST* jest rozwiązaniem, które umożliwia przeprowadzanie obliczeń procesów odlewania za pomocą metody elementów skończonych. System ten umożliwia symulację procesów w warunkach stacjonarnych i niestacjonarnych. Wynikami symulacji w oprogramowaniu *ProCAST* jest rozkład temperatury, ciśnienia i prędkości. Na podstawie rozkładu temperatury oraz własności materiałowych *ProCAST* określa długość metalurgiczną pasma i grubość naskórka.

Opracowana usługa *CSS Optima* umożliwia symulację i optymalizację procesu ciągłego odlewania stali. Usługa wykorzystuje wysokowydajny sprzęt oraz moduł oprogramowania *ProCAST*. Dzięki temu połączeniu uzyskujemy narzędzie do wiernego odwzorowania zachowania się materiału w trakcie ciągłego odlewania stali. Usługa przeznaczona jest dla osób zajmujących się zawodowo lub dydaktycznie procesem ciągłego odlewania stali, które są zainteresowane optymalizacją procesu poprzez modyfikację parametrów materiałowych lub poprzez zmianę parametrów chłodzenia pasma.

Celem usługi jest umożliwienie użytkownikowi przygotowania i przeprowadzenia symulacji ciągłego odlewania stali. Użytkownik będzie miał możliwość wczytania modelu geometrycznego procesu COS, określenia parametrów materiałowych, nałożenia warunków początkowych i brzegowych na krystalizator oraz pasmo. Kolejnym krokiem jest załadowanie plików wejściowych na serwer i uruchomienie obliczeń. Ostatnim etapem jest wizualizacja wyników symulacji COS za pomocą oprogramowania *ParaView*.

Aktywowanie usługi

W celu uruchomienia usługi przez użytkownika należy posiadać aktywny grant obliczeniowy. Aby użytkownik mógł otrzymać taki grant, konieczne jest uprzednie założenie przez niego konta w [Portalu PL-Grid](#).

Kolejnym krokiem jest aplikowanie o usługę CCSOptima.

Po aktywacji usługi CSSOptima, możemy skorzystać z niej na stronie: <https://gs2.plgrid.pl/collage/template?doi=10.0000/1424897324303>

Pierwsze kroki

Przygotowanie modelu procesu ciągłego odlewania stali

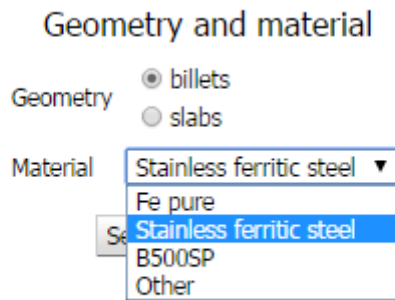
Pierwszym etapem przygotowania symulacji jest określenie parametrów procesu COS. W tym celu użytkownik uruchamia pierwszy skrypt usługi (Rys. 1).

```
Source: Ruby 1.9.1 | Output
$source => #!ruby('css_model_input.rb')/source ,
'json' => '{"webguiDocType": "request", "label": "Geometry and material", "data": {
  [name: "geometry", label: "Geometry", pref: "radio", value: "dlugie", options: {
    [label: "billets", value: "dlugie"], \
    [label: "slabs", value: "plaskie"]}], \
  [name: "material", label: "Material", pref: "select", value: "ferric", options: {
    [label: "Fe pure", value: "Fe"], \
    [label: "Stainless ferritic steel", value: "ferric"], \
  ]
}'

Snippet 1 (your copy) Preprocessor. Preparation of input files for the solver module. Preparation p.dat, d.dat and user functions.
```

Rys. 1. Skrypt pobierający od użytkownika dane wejściowe do symulacji COS.

Po uruchomieniu skryptu użytkownik powinien wybrać geometrię maszyny COS (wlewk płaskie lub długie), odlewany gatunek stali oraz grant obliczeniowy kosztem którego będzie obliczana symulacja (Rys. 2).



Rys. 2. Wybór geometrii maszyny COS oraz odlewane go materiału.

Kolejnym krokiem jest wprowadzeni poprzez akceptację lub zmodyfikowanie danych dotyczących całego procesu ciągłego odlewania stali (Rys. 3).

Parametry materiałowe:

- temperatura likwidus i solidus,
- ciepło ukryte,
- przewodność cieplna w funkcji temperatury,
- gęstość w funkcji temperatury,
- ciepło właściwe w funkcji temperatury,
- lepkość w funkcji temperatury,
- ułamek fazy ciekłej w funkcji temperatury.

Warunki początkowe procesu COS:

- temperatura początkowa krystalizatora,
- temperatura początkowa odlewanej stali.

Parametry procesu:

- prędkość odlewania stali,
- ilość iteracji, która określa jak długo mają być prowadzone obliczenia (Użytkownik musi wybrać taką liczbę iteracji, po której w symulacji zostanie osiągnięty stan ustalony).

Warunków chłodzenia pasma:

- współczynniki wymiany ciepła w pierwotnej strefie chłodzenia,
- współczynniki wymiany ciepła we wtórnej strefie chłodzenia,
- współczynniki wymiany ciepła między krystalizatorem a otoczeniem.

Material parameters - ferric

| | |
|-------------------------|---|
| Liquidus temperature, C | <input type="text" value="1497.0"/> |
| Solidus temperature, C | <input type="text" value="1328.0"/> |
| Latent heat, kJ/kg | <input type="text" value="304.0"/> |
| Conductivity, W/mK | <input type="text" value="0.00 22.00"/> <input type="text" value="100.00 22.40"/> |
| Density, kg/m3 | <input type="text" value="413.00 7594.00"/> <input type="text" value="1383.00 7243.00"/> |
| Specific heat, kJ/kg | <input type="text" value="20.000.48"/> <input type="text" value="100.00 0.49"/> |
| Viscosity, cP | <input type="text" value="1231.00 5.49"/> <input type="text" value="1235.00 5.46"/> |
| Solid fraction | <input type="text" value="1383.00 1.00"/> <input type="text" value="1387.00 0.95"/> |

Initial parameters

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Initial temperature of the mould, C | <input type="text" value="30"/> |
| Initial temperature of the steel, C | <input type="text" value="1500"/> |

Process parameters

| | |
|----------------------|-----------------------------------|
| Casting speed, m/min | <input type="text" value="1"/> |
| Number of iterations | <input type="text" value="1000"/> |

The heat transfer coefficients in the secondary cooling zone

| | |
|--|-----------------------------------|
| 1. area in the secondary cooling zone, W/m2K | <input type="text" value="2400"/> |
| 2. area in the secondary cooling zone, W/m2K | <input type="text" value="770"/> |
| 3. area in the secondary cooling zone, W/m2K | <input type="text" value="700"/> |
| 4. area in the secondary cooling zone, W/m2K | <input type="text" value="300"/> |
| 5. area in the secondary cooling zone, W/m2K | <input type="text" value="200"/> |
| 6. area in the secondary cooling zone, W/m2K | <input type="text" value="100"/> |

The coefficients of heat exchange in the mould

| | |
|--|---|
| The coefficients of heat exchange between steel and mould, W/m2K | <input type="text" value="20 100"/> <input type="text" value="100 101"/> |
| The coefficients of heat exchange between mould and air, W/m2K | <input type="text" value="2400"/> |

Rys. 3. Określenie parametrów symulacji procesu COS

Na podstawie wprowadzonych przez użytkownika danych kolejny skrypt preprocesora tworzy pliki wejściowe dla modułu obliczeniowego ProCasta (Rys. 4).

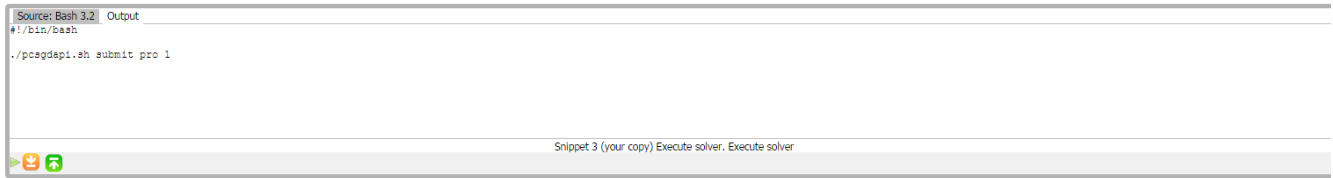
```
Source: Perl 5.8.8 | Output
#!/usr/local/bin/perl
open (INPUT, 'input.txt');
open (WZORZEEP, 'wzorzeep.dat');
open (WZORZEPSOLID, 'wzorsec_vksolidtransport.c');
open (WZORZECOSOLID, 'wzorsec_vysolidtransport.c');
open (DDAT, 'dprod.dat');
open (PDAT, 'dprop.dat');
open (SOLIDX, 'pro_vksolidtransport.c');
open (SOLIDI, 'pro_vysolidtransport.c');
```

Snippet 2 (your copy) Solver preprocessor. Create file for solver on base of user input data

Rys. 4. Skrypt tworzący pliki wejściowe do modułu obliczeniowego

Uruchomienie modułu obliczeniowego

Po stworzeniu plików wejściowych do modułu obliczeniowego opisujących kompleksowo proces COS użytkownik powinien uruchomić skrypt uruchamiający obliczenia symulacji COS (Rys. 5).



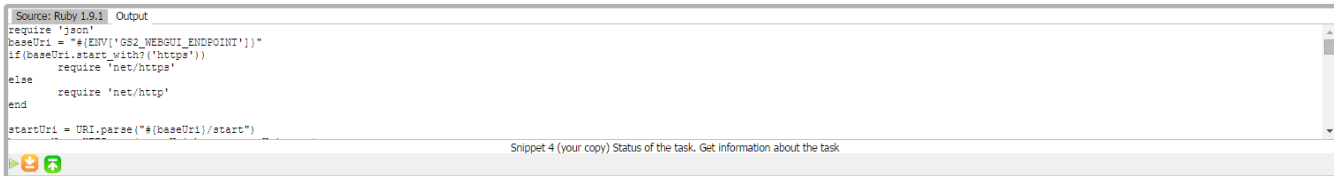
```
Source: Bash 3.2 Output
#!/bin/bash
./pcagdapi.sh submit pro 1
```

Snippet 3 (your copy) Execute solver. Execute solver

Rys. 5. Skrypt uruchamiający moduł obliczeniowy

Sprawdzanie stanu obliczeń

W trakcie lub po zakończeniu obliczeń użytkownik może sprawdzić stan usługi poprzez uruchomienie ostatniego skryptu (Rys. 6).



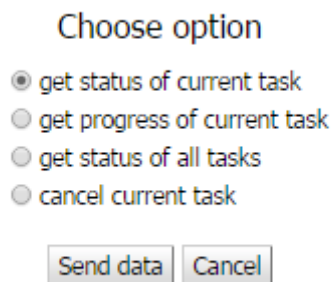
```
Source: Ruby 1.9.1 Output
require 'json'
baseUri = "#{ENV['GS2_WEBGUI_ENDPOINT']}"
if(baseUri.start_with?('https'))
  require 'net/https'
else
  require 'net/http'
end
startUri = URI.parse("#{baseUri}/start")
```

Snippet 4 (your copy) Status of the task. Get information about the task

Rys. 6. Skrypt wyświetlający stan usługi

Użytkownik za pomocą tego skryptu (Rys. 7) może:

- określić status bieżących obliczeń,
- określić stopień wykonania obliczeń,
- określić status wszystkich obliczeń,
- anulować bieżące obliczenia.



Choose option

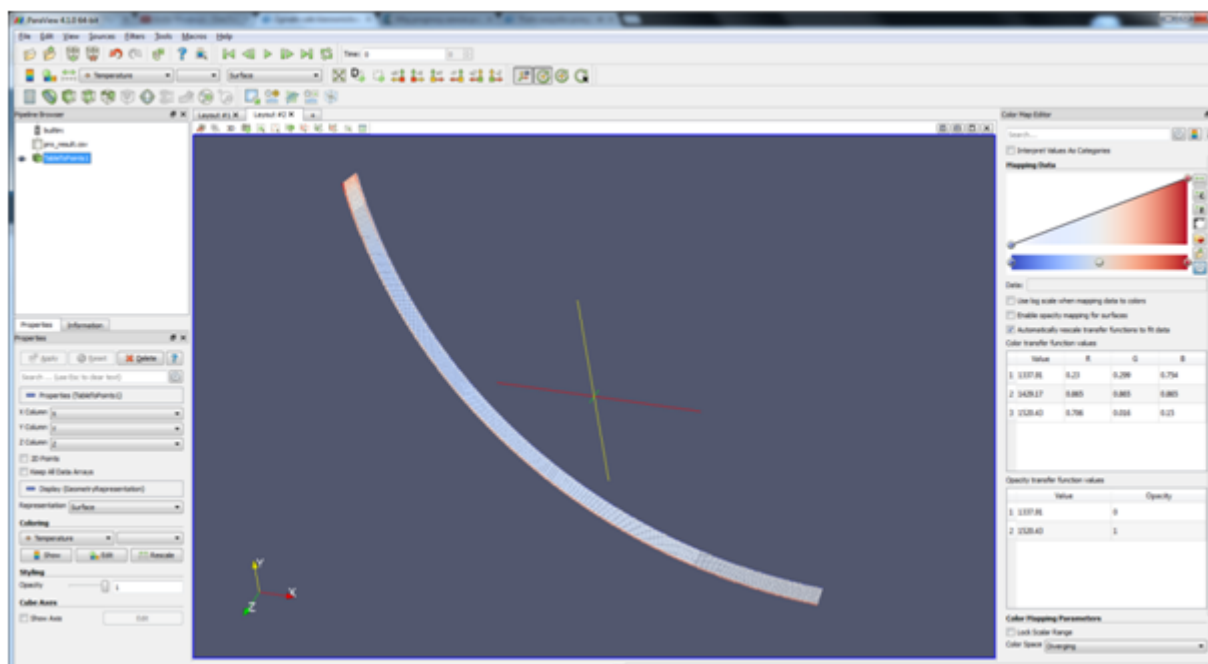
- get status of current task
- get progress of current task
- get status of all tasks
- cancel current task

Send data Cancel

Rys. 7. Wyświetlanie stanu obliczeń lub anulowanie obliczeń

Wizualizacja wyników obliczeń

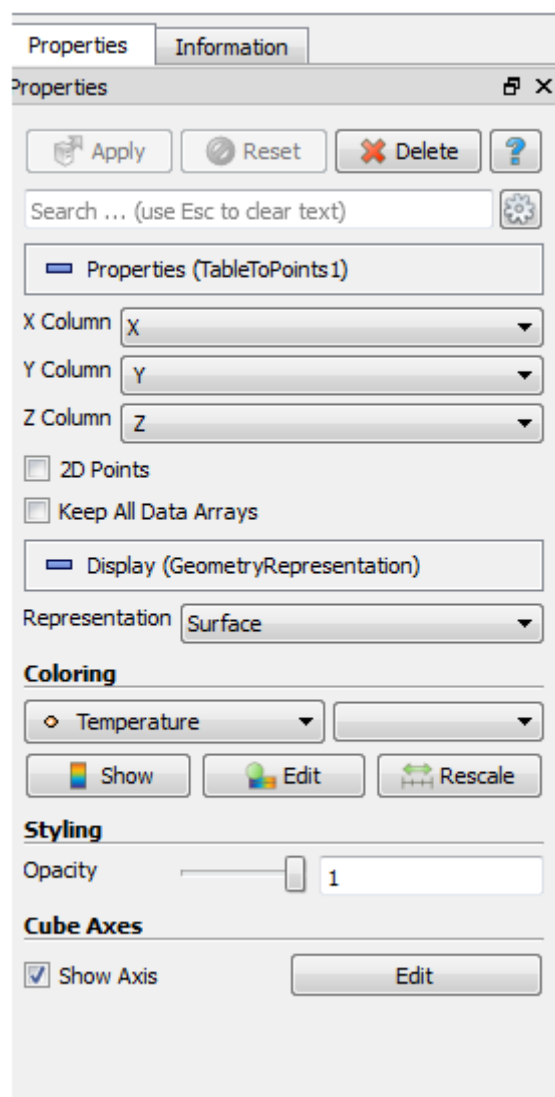
Po zakończeniu obliczeń solver ProCasta wykonuje opracowany przez Autorów skrypt który zapisuje wyniki obliczeń do pliku – result.csv. Wyniki te mogą zostać odczytane przez [oprogramowanie Paraview](#), które służy do wizualizacji wyników (Rys. 8) i jest rozprowadzane na zasadzie open-source.



Rys. 8. Wizualizacja wyników symulacji usługi CCS optima

W celu odczytania wyników w oprogramowaniu *ParaView* zmieniamy rozszerzenie pliku wynikowego *dat* na *csv* a następnie:

1. otwieramy plik z rozszerzeniem *csv* w *Paraview* (*File->Open*)
2. zatwierdzamy dane poprzez przycisk *Apply*
3. wybieramy filtr *Table To Points* (*Filters->Alphabetical->Table To Points*)
4. we właściwościach filtra uzgadniamy kolumny ze współrzędnymi *X*, *Y* i *Z* i zatwierdzamy przyciskiem *Apply*
5. dodajemy nowe okno (*layout*) lub dzielimy istniejące okno na dwa (*Split Vertical*)
6. w nowym oknie dodajemy nowy widok 3D (*3D View*)
7. należy aktywować filtr *TableToPoint* w panelu *Pipeline Browser*
8. jako wizualizowaną wielkość wybieramy temperaturę (*Temperature*) albo ułamek fazy stałej (*SolidFraction*)



Rys. 9. Ustawienie wczytywania pliku wynikowego usługi

Gdzie szukać dalszych informacji?

- [Oprogramowanie ParaView](#)
- [Helpdesk CCS Optima](#)
- [Usługa CCS Optima](#)