

# ***SEMINARIUM / 24***

by ***SECO/WARWICK***

***SECO/WARWICK*** INVENTION MEETS RELIABILITY

# ***SECO/WARWICK***

**VORTEX® 2.0**

Nowoczesna i wysokowydajna  
obróbka cieplna aluminium

Tomasz Kaczmarczyk  
Menadżer Sprzedaży  
Zakład Aluminium i CAB

# URZĄDZENIA DO OBRÓBKI CIEPLNEJ STOPÓW ALUMINIUM

/ ZAPOTRZEBOWANIE NA OBRÓBKĘ CIEPLNĄ W PROCESIE WYTWÓRCZYM WYROBÓW ALUMINIOWYCH

PIECE DO PRZESYCANIA I STARZENIA – VERTIQUENCH® DROP BOTTOM



PIECE DO WYŻARZANIA TYPU „JET HEATING” - VORTEX®



PIECE DO WYŻARZANIA TYPU „MASS FLOW”



PIECE TOPIELNE I ODSTOJOWE

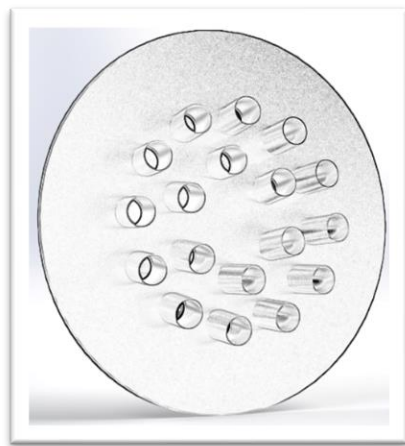
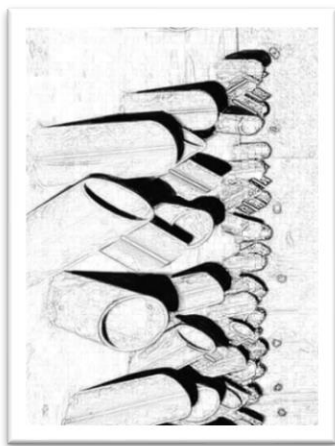
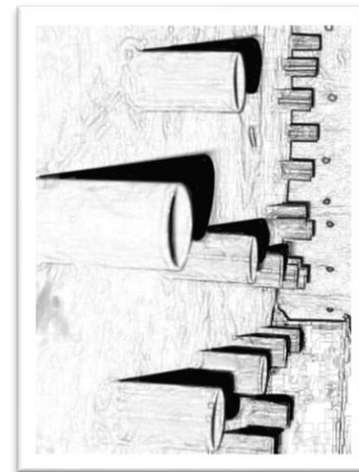
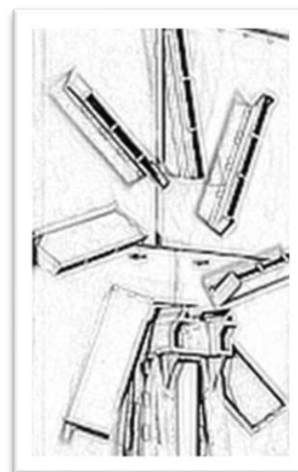
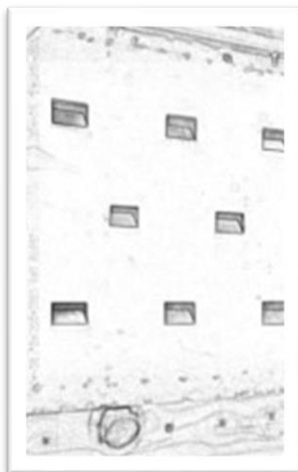
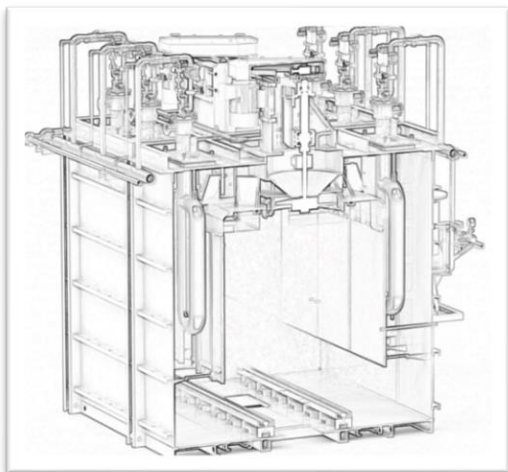


## Znaczenie aluminium w gospodarce światowej

Aluminium odgrywa kluczową rolę w gospodarce światowej, będąc jednym z najczęściej wykorzystywanych metali. W 2022 roku globalne zużycie aluminium wyniosło około 64,2 milionów ton metrycznych, a prognozy wskazują na dalszy wzrost zapotrzebowania. **Główne sektory, które napędzają popyt na aluminium, to** przemysł motoryzacyjny i transportowy (29%), budownictwo (22%), opakowania (16%), inżynieria elektryczna i elektronika (11%), maszyny i urządzenia (8%) oraz dobra konsumpcyjne (4%). Obróbka cieplna aluminium i jego stopów jest nieodzownym etapem w procesie produkcji wyrobów aluminiowych. Jednym z najważniejszych procesów obróbki cieplnej jest wyżarzanie międzyoperacyjne lub końcowe kręgów blach.

# SYSTEMY DYSTRYBUCJI GORĄCEGO GAZU – WYŻARZANIE KRĘGÓW ALUMINIOWYCH

PRZEGLĄD STANU TECHNIKI



Systemy dystrybucji gorącego powietrza dzielą się na tzw. systemy „mass flow” (pierwsze na górze) i systemy „jet heating” (pozostałe).

Zalety systemów „mass flow” to prosta konstrukcja i dobra równomierność temperatury. Systemy „jet heating” są bardziej efektywne niż systemy „mass flow”, ale bardzo często istnieje ryzyko przegrzania kręgu cienkiej blachy lub folii aluminiowej podczas procesu wyżarzania z powodu wysokiego współczynnika przejmowania ciepła. SECO/WARWICK ma 2 rozwiązania typu „jet heating”: Vortex<sup>®</sup> 1.0 (na dole po lewej) i drugą generację tego systemu – Vortex<sup>®</sup> 2.0 (na dole po prawej).

# HISTORIA PIECÓW DO WYŻARZANIA KRĘGÓW BLACH ALUMINIOWYCH W SECO/WARWICK

## REFERENCJE

ANNEALING FURNACES	
DATE	QUANTITY
1950	8
1960	43
1970	52
1980	52
1990	41
2000-2021	53
2022-2024	7
	<b>256</b>

SECO/WARWICK produkuje piece do wyżarzania zwojów aluminiowych od 1950 roku.

Od 1950 do 1990 roku SECO/WARWICK USA dostarczało głównie piece typu „mass flow”, a od 2000 roku SECO/WARWICK POLSKA. dostarcza głównie piece typu „jet heating”.

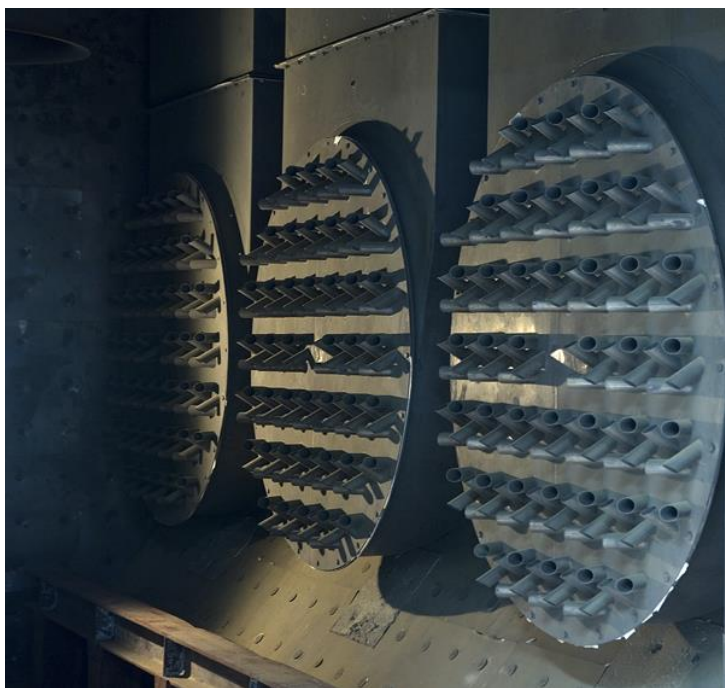
**W sumie Grupa dostarczyła 256 aplikacji na całym świecie.**



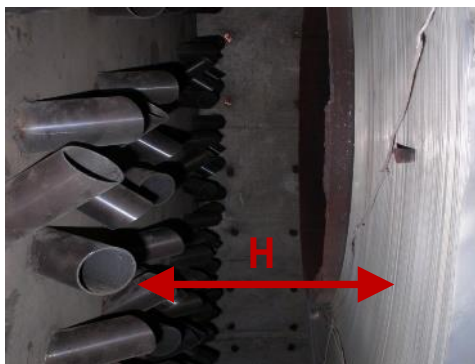
# VORTEX<sup>®</sup> 1.0

## KONSTRUKCJA I ZASADA DZIAŁANIA

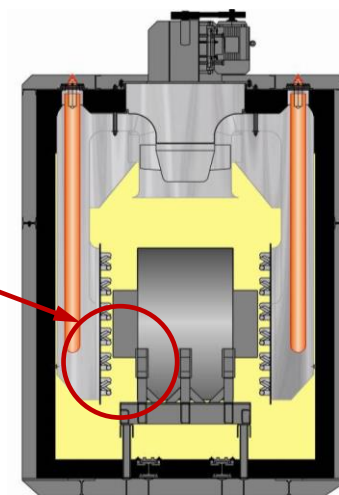
- W 2004 r zakupiono patent autorstwa prof. Carla Kramera z Uniwersytetu RWTH w Aachen na system nadmuchu gorącego powietrza na powierzchnie nagrzewanego wsadu. System ten nazwano Vortex<sup>®</sup> z uwagi na swoje właściwości w postaci generowania lokalnych wirów konwekcyjnych.
- Zwiększenie wydajności o 30% w porównaniu z systemami typu „mass flow”.
- Wysoka równomierność temperatury i powtarzalność procesów.



Vortex<sup>®</sup> 1.0 składa się z gniazd dyszowych regularnie rozmieszczonych na płycie. Każde gniazdo składa się z 4 dysz, a każda z nich jest nachylona pod innym kątem do powierzchni płyty. Prawidłowa konfiguracja dysz zapewnia tworzenie lokalnych wirów. Vortex<sup>®</sup> 1.0 charakteryzuje się wysoką powtarzalnością procesu i stosunkowo dobrą jednorodnością temperatury w porównaniu z innymi systemami grzania strumieniowego typu „jet heating”

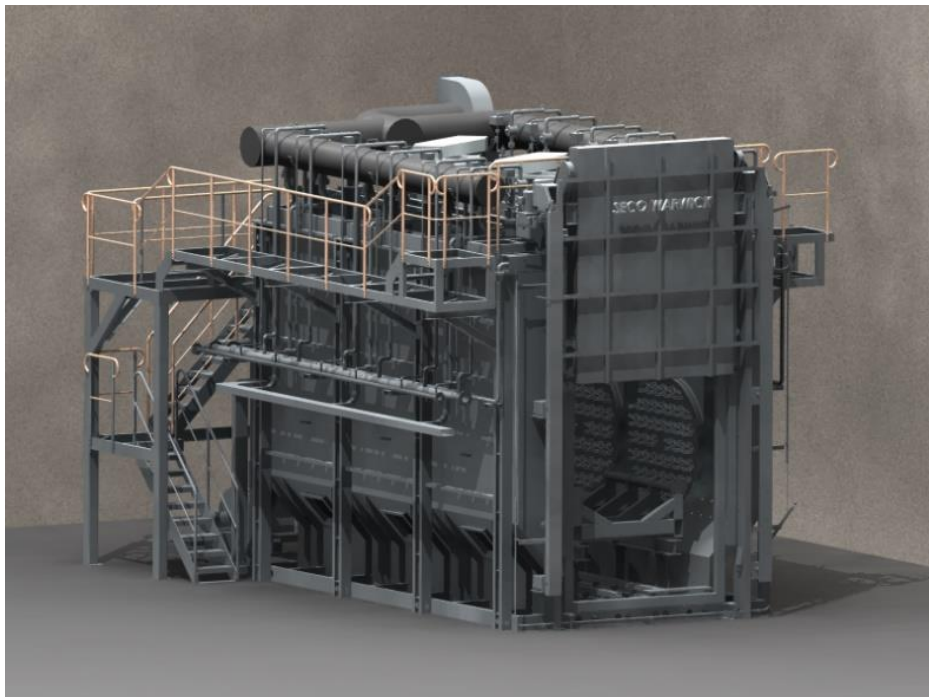


**Wydajny na mniejszych odległościach**



# VORTEX<sup>®</sup> 1.0

REFERENCJE



26 REFERENCJI



# „MASS FLOW” CZY VORTEX® 1.0... A MOŻE JAKIEŚ INNE ROZWIĄZANIE?

SKĄD POTRZEBA STWORZENIA NOWEGO ROZWIĄZANIA?

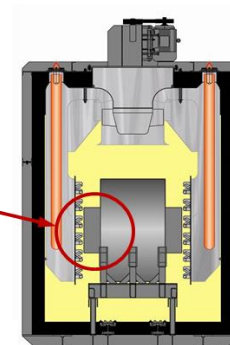
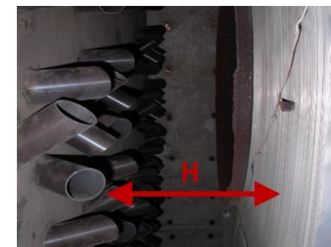
Ze względu na dużą prędkość gazu na dyszach, w piecach typu „jet heating” obrabiane są folie i arkusze o grubości  $> 0,15$  mm, natomiast w piecach typu „mass flow” obrabiane są folie o grubości od 0,07 do 0,15 mm.

Piec wyposażony w system dysz Vortex® 1.0 osiąga parametry nominalne do odległości ok. 200 mm od dyszy do czoła kręgu.

Typowe szerokości kręgów aluminiowych wynoszą: 1000 ÷ 1600 mm (300 mm różnicy w odległości od dyszy do czoła kręgu po każdej stronie).

Typowe szerokości dzisiejszych zwojów aluminium: 1000 ÷ 2100 mm (550 mm różnicy w odległości od dyszy do czoła kręgu po każdej stronie).

Z tego powodu potrzebowaliśmy systemu, który charakteryzowałby się bardzo wysoką skutecznością i równomiernością grzania niezależnie od szerokości obrabianych kręgów.



Wydajny na mniejszych odległościach  
Optymalna odległość do 200 mm





# VORTEX® 2.0

## WDROŻENIE KONCEPTU

Współczesny przemysł wymaga wysokiej jakości i powtarzalności, a jednocześnie wysokiej wydajności i niskich kosztów procesu. Wydajność Vortex 1.0 gwałtownie spada wraz ze wzrostem odległości między dyszami a powierzchnią czołową kręgu, dlatego potrzebne było opracowanie systemu, który utrzymuje wysoki współczynnik przyjmowania ciepła na dużych odległościach, który zapewnia wysoką wydajność nawet dla wąskich kręgów. **Celem projektu było uzyskanie wysokiej wydajności z doskonałą jednorodnością temperatury dla szerokiej gamy wymiarowej kręgów.**

Etapy prac badawczo-rozwojowych nad nową koncepcją Vortex® 2.0:

- ✓ Analiza CFD dla wielu koncepcji – prototypowanie komputerowe.
- ✓ Rozpoczęcie prac nad wynalazkiem.
- ✓ Analiza porównawcza VORTEX® 1.0, VORTEX® 2.0 i innych dostępnych na rynku rozwiązań.
- ✓ Pomiar laboratoryjny pełnoskalowych systemów.
- ✓ Testy przemysłowe na rzeczywistym piecu.
- ✓ Testy odbiorowe / wdrożenie przemysłowe systemu Vortex®

VORTEX® 1.0



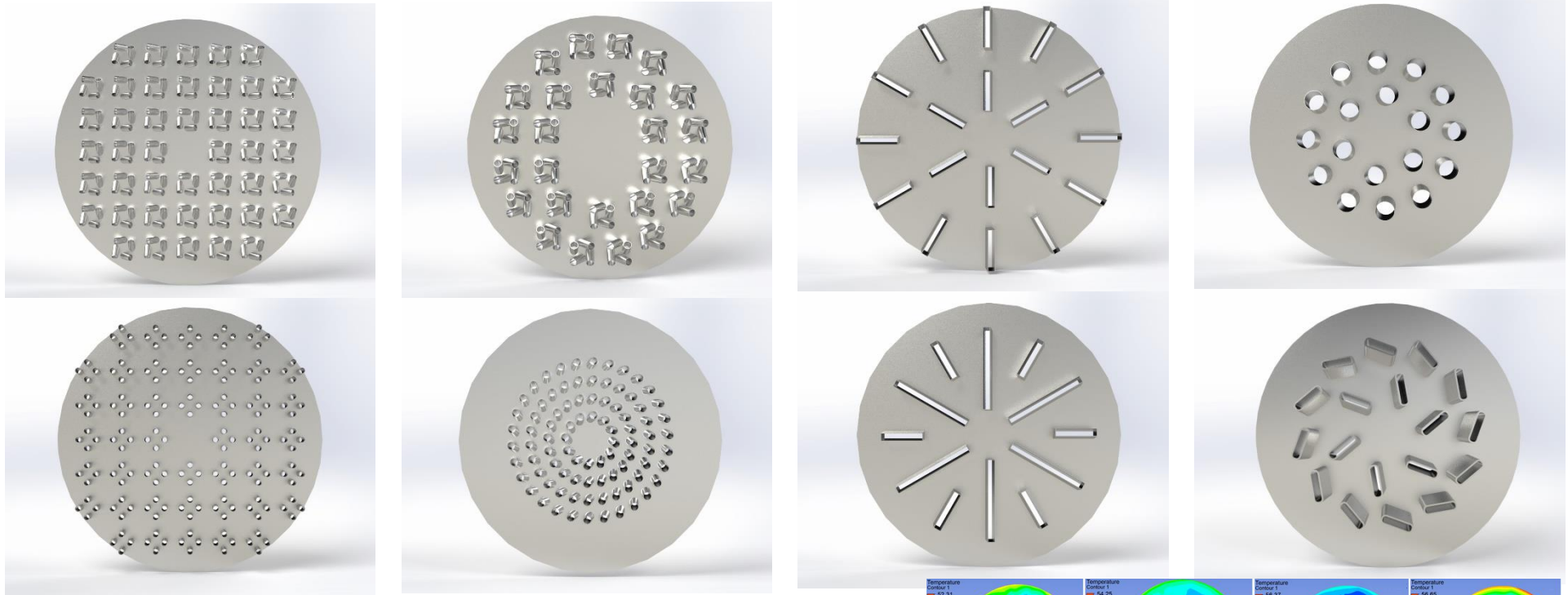
VORTEX® 2.0



# VORTEX<sup>®</sup> 2.0

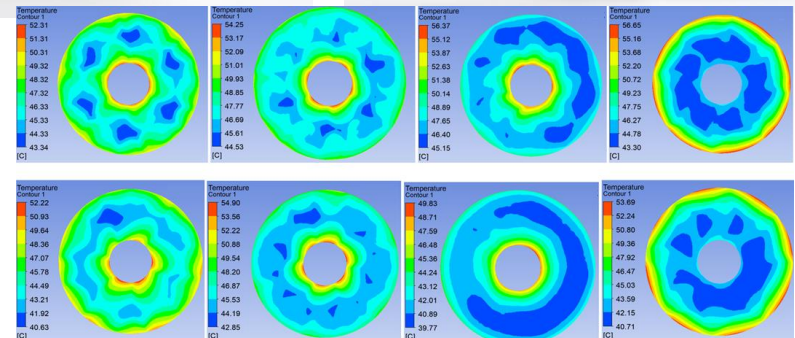
## ANALIZA NUMERYCZNA RÓŻNYCH SYSTEMÓW NADMUCHU GORĄCEGO POWIETRZA

- ✓ Analizy CFD przeprowadzone dla różnych wirtualnych modeli systemu nadmuchu.
- ✓ Wynikiem takich symulacji jest zupełnie nowa koncepcja systemu nadmuchu VORTEX<sup>®</sup> 2.0.



Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych do dalszych badań wybrano najlepsze rozwiązanie charakteryzujące się wysokim współczynnikiem przejmowania ciepła i bardzo dobrą równomiernością temperatury.

**SECO/WARWICK** INVENTION MEETS RELIABILITY



# VORTEX<sup>®</sup> 2.0

PATENT NA WYNALEZEK – PL435468A1

A1 (21) 436568 (22) 2020 12 31

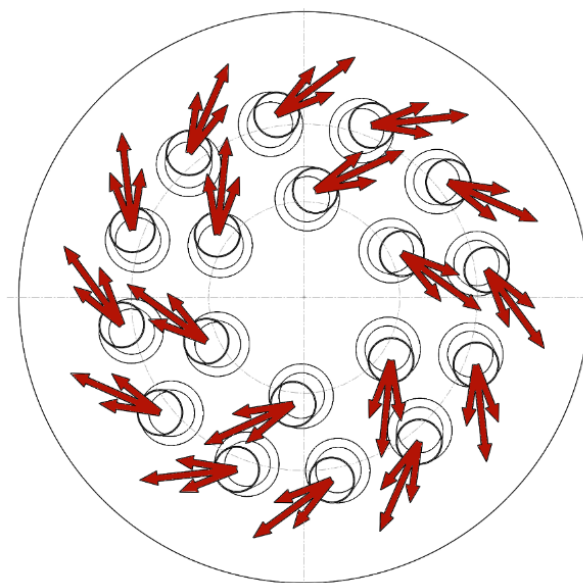
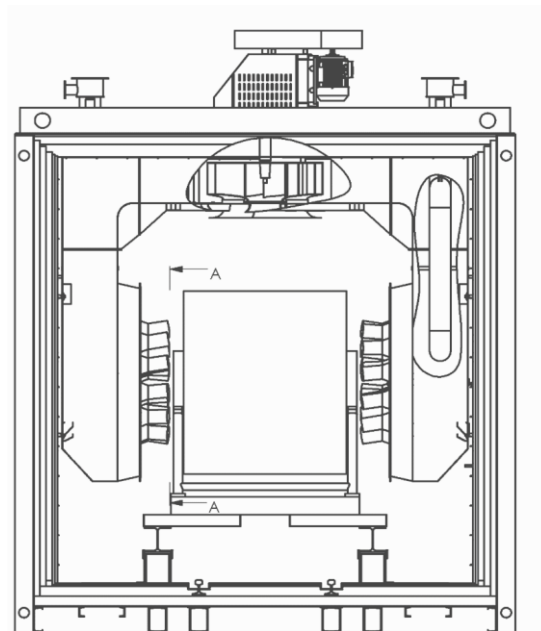
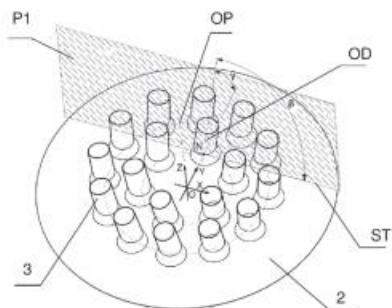
(51) F27D 7/04 (2006.01)  
C21D 1/767 (2006.01)  
C21D 1/613 (2006.01)  
F27D 9/00 (2006.01)

(71) SECO/WARWICK SPÓŁKA AKCYJNA, Świebodzin  
(72) PIECHOWICZ ŁUKASZ; CIEPLICKI ROBERT;  
SIEMIATOWSKI DAMIAN; SZYC MARCIN;  
SKARBIŃSKI PIOTR; GÓRKA JERZY; KARKOSZ WOJCIECH

(54) Modułowe urządzenie do nadmuchu gazu  
na powierzchnię obrabianego cieplnie wsadu

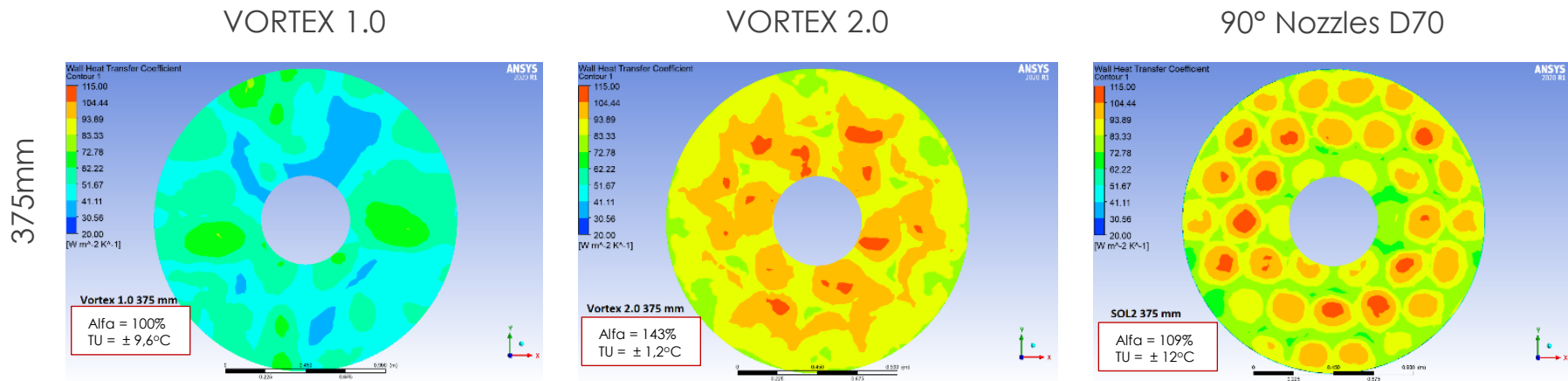
(57) Przedmiotem wynalazku jest modułowe urządzenie do nadmuchu gazów na powierzchnię obrabianych cieplnie wsadów stanowiące element systemu nadmuchu pieców komorowych wsadowych, w których ruch gazów podczas nagrzewania i chłodzenia konwekcyjnego generuje się za pomocą środków mechanicznych, a nadmuch na powierzchnię wsadu prowadzony jest przez dysze zamocowane na powierzchni płyty i odchylone w dwóch kierunkach w stosunku do osi płyty. Dysze (3) ułożone są na powierzchni płyty nośnej (2) równomiernie względem jej osi symetrii (OP) płyty nośnej (2) i tworzą co najmniej dwa regularne szyki. Dysze (3) są odchylone obwodowo od osi symetrii (OP) płyty nośnej (2) o kąt odchylenia obwodowego dysz ( $\beta$ ) oraz odśrodkowo o kąt odśrodkowy ( $\gamma$ ).

(11 zastrzeżeń)



# PORÓWNANIE SYSTEMU VORTEX<sup>®</sup> 2.0 Z RÓŻNYMI ZNANYMI ROZWIĄZANIAM

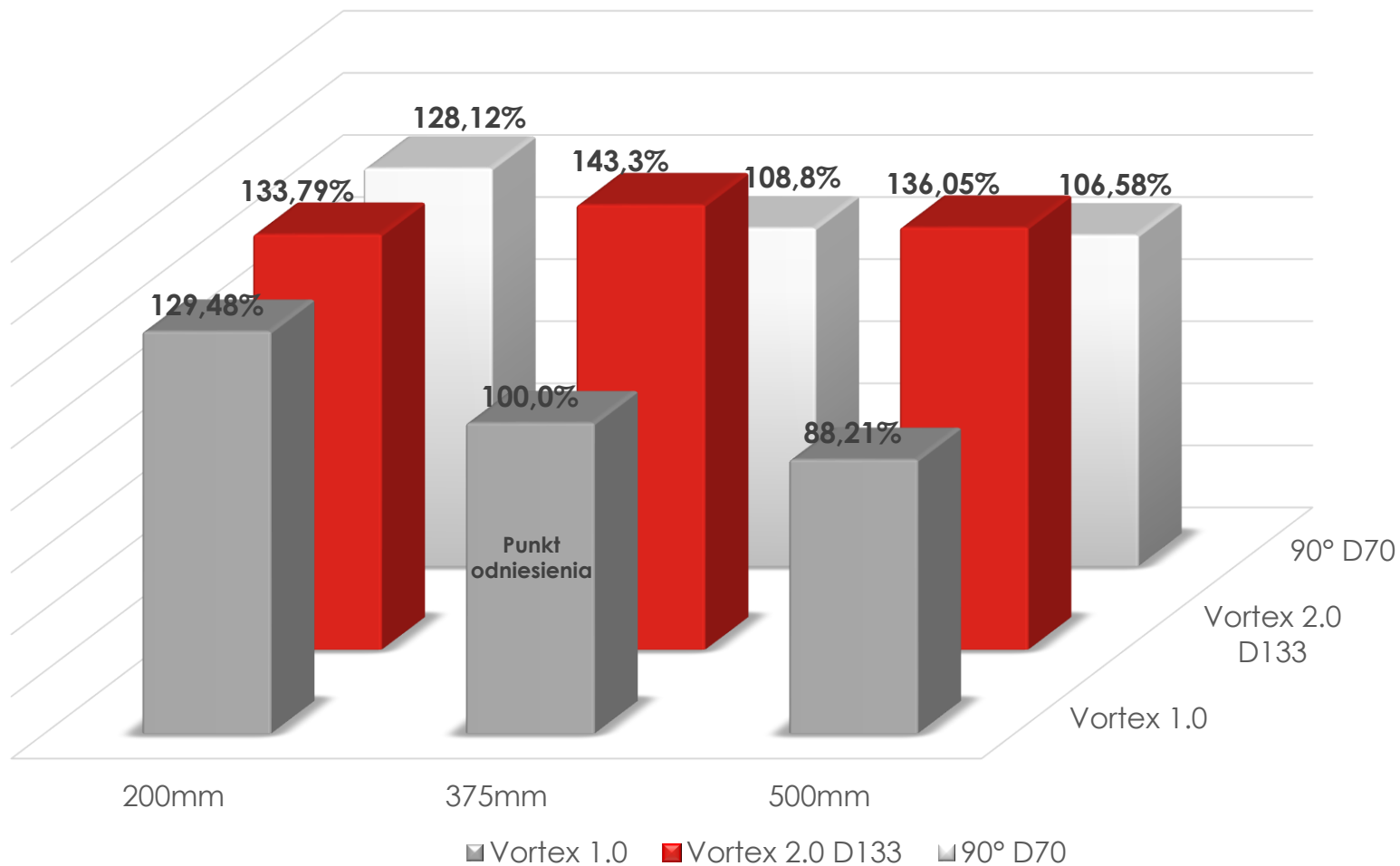
PRZYKŁADOWE WYNIKI OBLICZEŃ CFD



Analiza jakościowa rozkładu współczynnika przejmowania ciepła na powierzchni kręgu została przeprowadzona dla różnych systemów nadmuchu (Vortex<sup>®</sup> 1.0, Vortex<sup>®</sup> 2.0, dysze bez nachylenia – 90°) i różnej odległości pomiędzy dyszami a powierzchnią kręgu. Powyższe rysunki pokazują przykład wyników obliczeń dla odległości 375 mm. Zarówno współczynnik przejmowania ciepła, jak i równomierność temperatury na powierzchni są najkorzystniejsze dla systemu Vortex<sup>®</sup> 2.0.

# PORÓWNANIE SYSTEMU VORTEX<sup>®</sup> 2.0 INNYMI ROZWIĄZANIAM

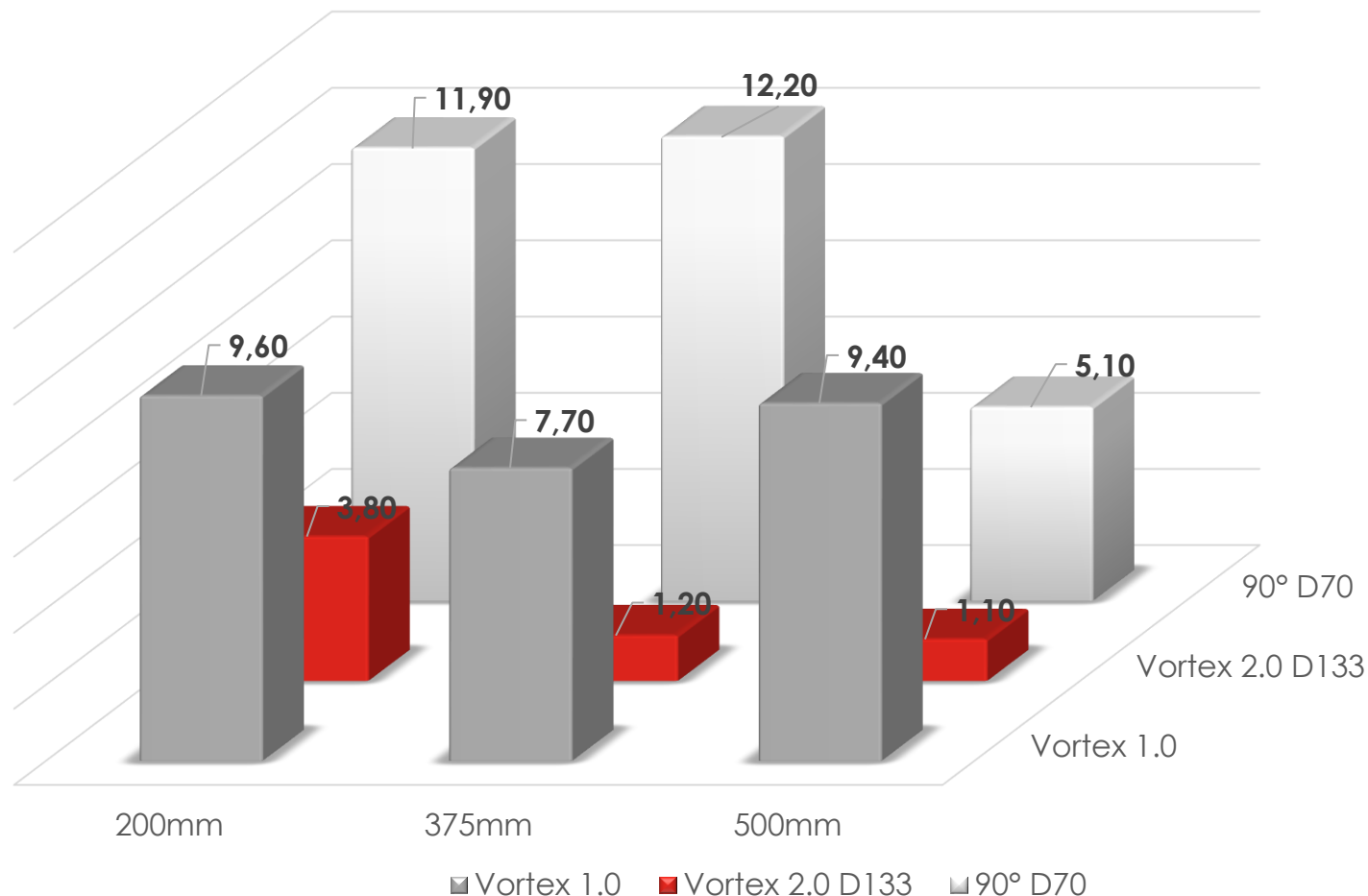
WYNIKI SYMULACJI WSPÓŁCZYNNIKA PRZEJMOWANIA CIEPŁA (ALFA) NA POWIERZCHNI KRĘGU  
**Alfa – procentowe wartości względne**



# PORÓWNANIE SYSTEMU VORTEX<sup>®</sup> 2.0 Z INNYMI ROZWIĄZANIAMİ

WYNIKI SYMULACJI RÓWNOMIERNOŚCI TEMPERATURY NA POWIERZCHNI KRĘGU

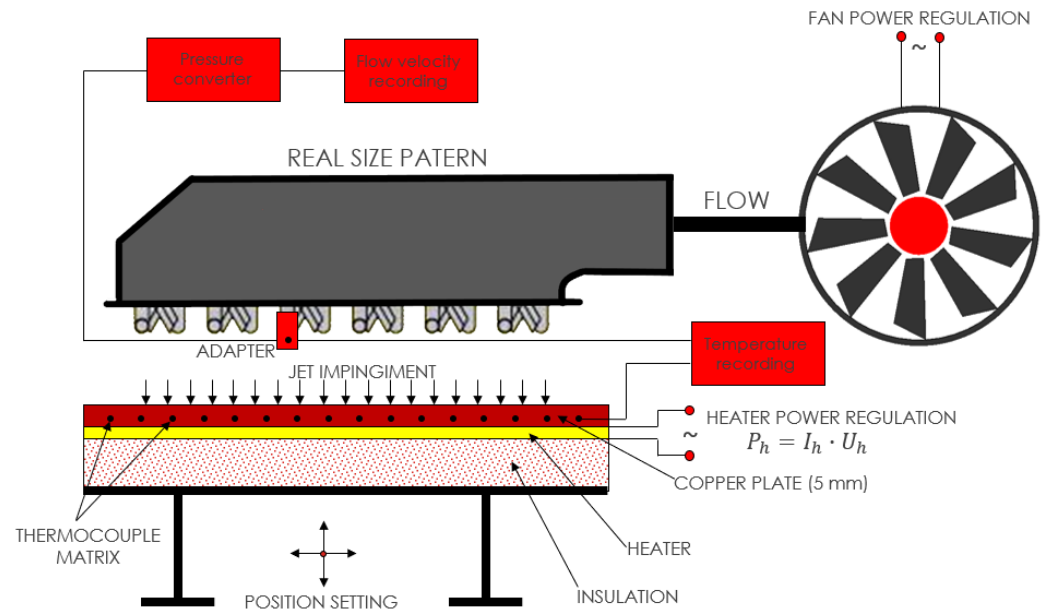
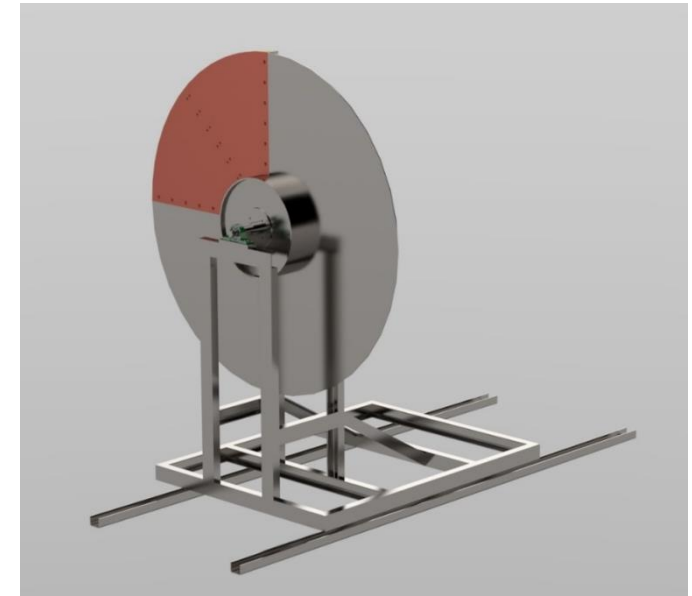
## Równomierność temperatury [ $\pm$ -°C]



# BADANIA LABORATORYJNE

## STANOWISKO POMIAROWE

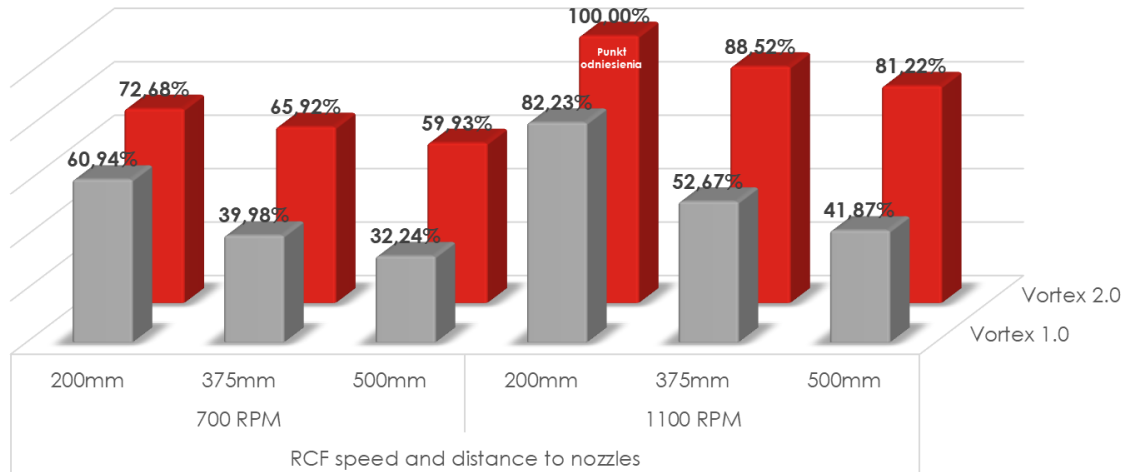
- Vortex<sup>®</sup> 1.0 vs Vortex<sup>®</sup> 2.0 – pomiary efektywności nadmuchu
- Vortex<sup>®</sup> 1.0 vs Vortex<sup>®</sup> 2.0 – pomiary jednorodności temperatury



# VORTEX<sup>®</sup> 1.0 VS VORTEX 2.0

BADANIA LABORATORYJNE

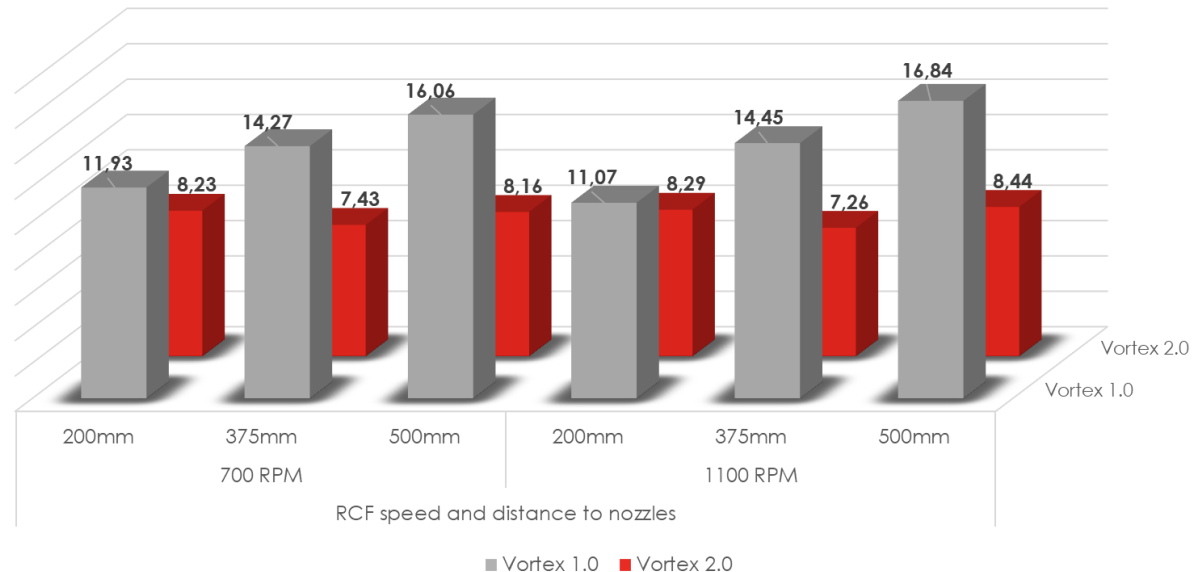
Alfa – procentowe wartości względne



← Porównanie procentowych wartości względnego współczynnika przejmowania ciepła (Alfa) dla różnych odległości

Równomierność temperatury [+/-°C]

→ Porównanie równomierności temperatury dla różnych odległości





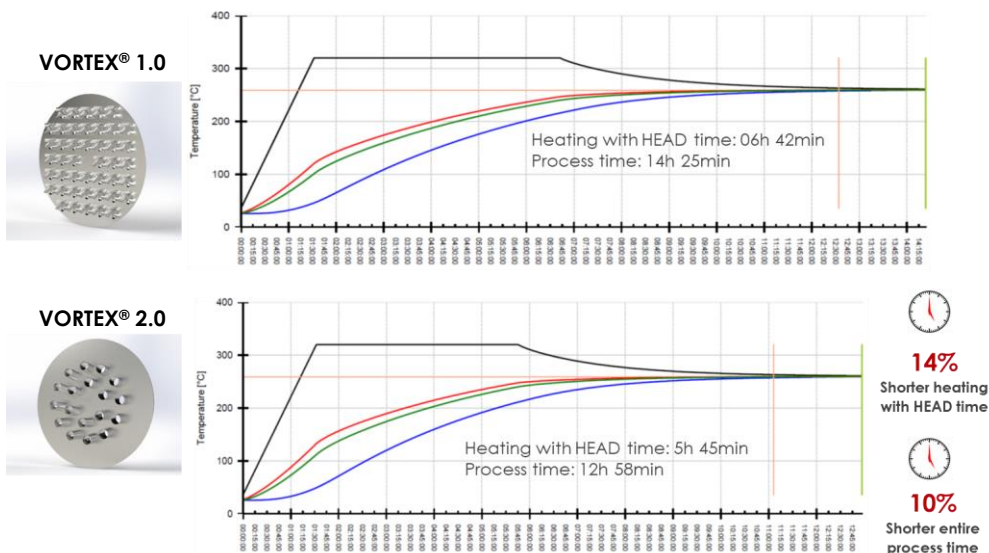
# VORTEX<sup>®</sup> 2.0 – PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY WDROŻENIOWO-ODBIOROWE

PROGNOZA CZASU NAGRZEWANIA DLA RZECZYWISTYCH PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH

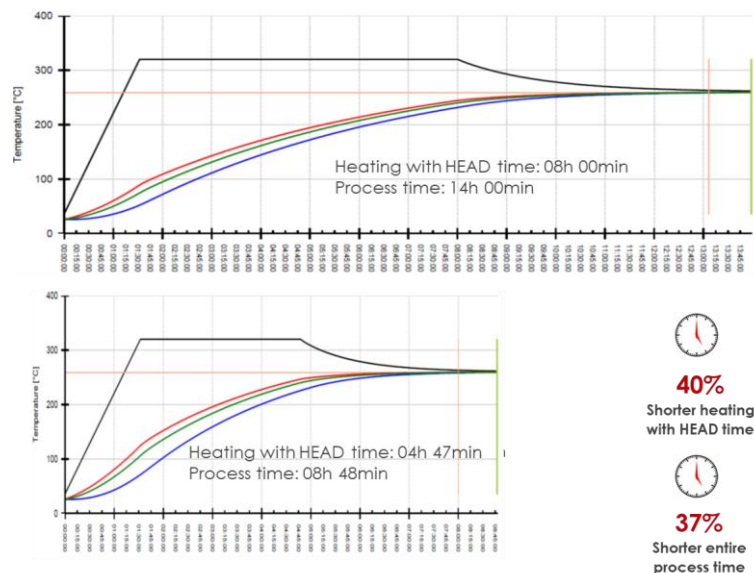
Dzięki analizom CFD, badaniom laboratoryjnym i symulacjom wykonywanym przy użyciu programu SeCoil<sup>®</sup> można było zagwarantować poniższe:

- / **10%** skrócenie czasu nagrzewania kręgu dla małej odległości pomiędzy wsadem od dyszami – **ok. 200 mm.**
- / **30%** skrócenie czasu nagrzewania kręgu dla dużej odległości pomiędzy wsadem od dyszami – **ok. 500 mm.**
- / Oczekiwana znacząca redukcja czasu chłodzenia dzięki w połączeniu z bypass cooler.

Porównanie czasów nagrzewania dla H = 200 mm, W = 1800 mm  
Wykonane przy użyciu SeCoil<sup>®</sup>



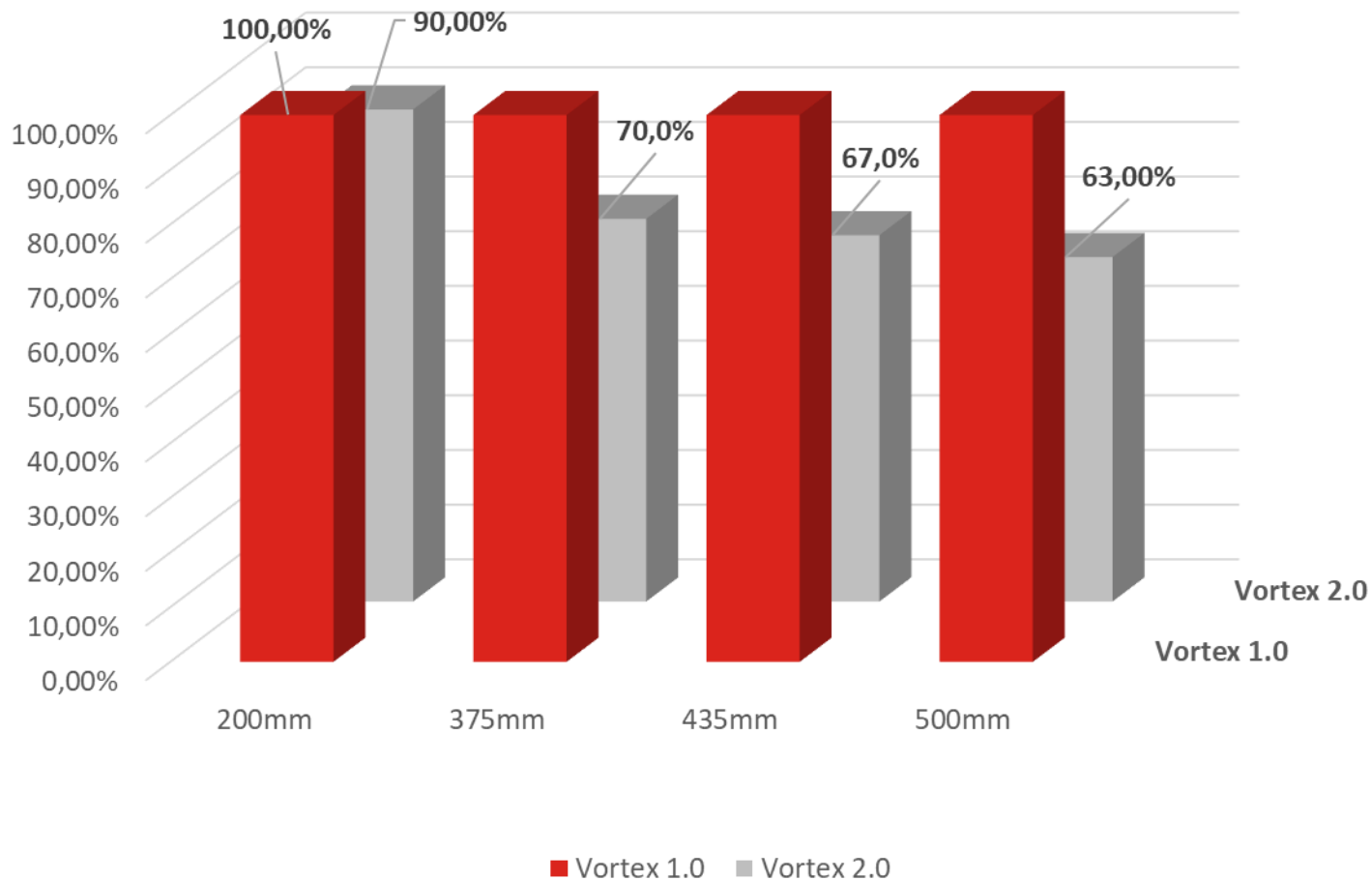
Porównanie czasów nagrzewania dla H = 500 mm, W = 1200  
Wykonane przy użyciu SeCoil<sup>®</sup>



# PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY – CZ2

PROGNOZA CZASU NAGRZEWANIA DLA RZECZYWISTYCH PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH

SeCoil® – symulacje czasu nagrzewania dla VORTEX® 1.0 i VORTEX® 2.0



# PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY - CZ3

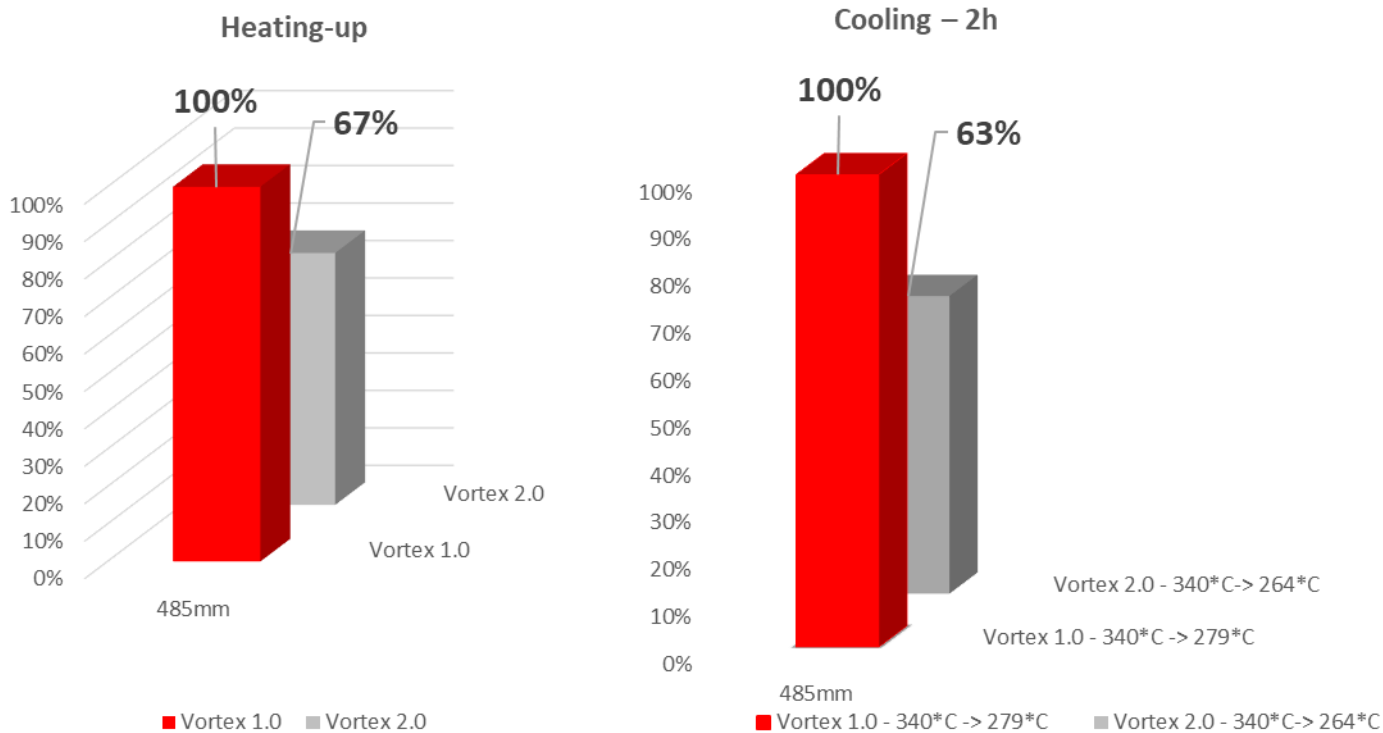
PRÓBY TECHNOLOGICZNE – PORÓWNANIE VORTEX 2.0 Z VORTEX 1.0



# PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY – CZ 4

## PRÓBY TECHNOLOGICZNE– TEST NR 1

Skrócenie czasu nagrzewania i chłodzenia – testy na piecu przemysłowym

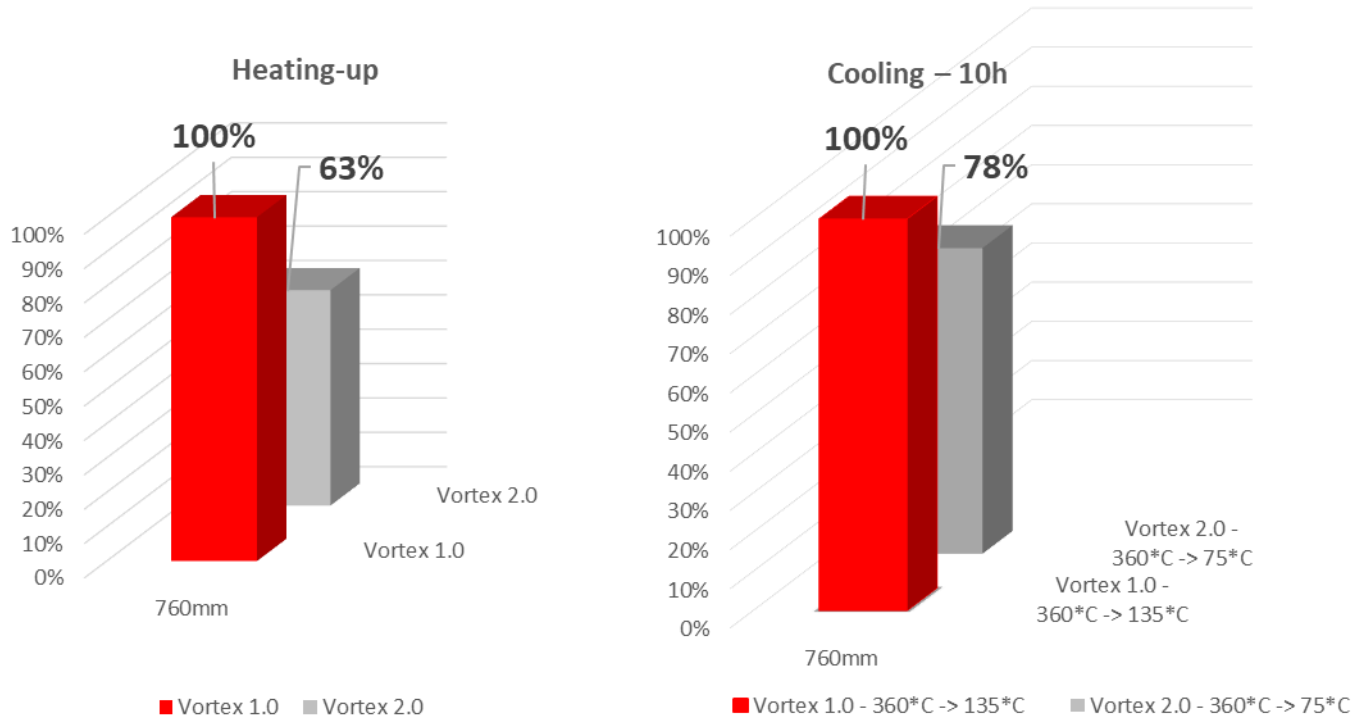


Distance to the nozzle [mm]	Alloy	Thickness [mm]	D [mm]	Width [mm]	Mass [t]	SP [°C]	Head [°C]	Cooling [h]
485	1050	2,7	2100	1570	14	340	60	2

# PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY - CZ 5

## PRÓBY TECHNOLOGICZNE – TEST NR 2

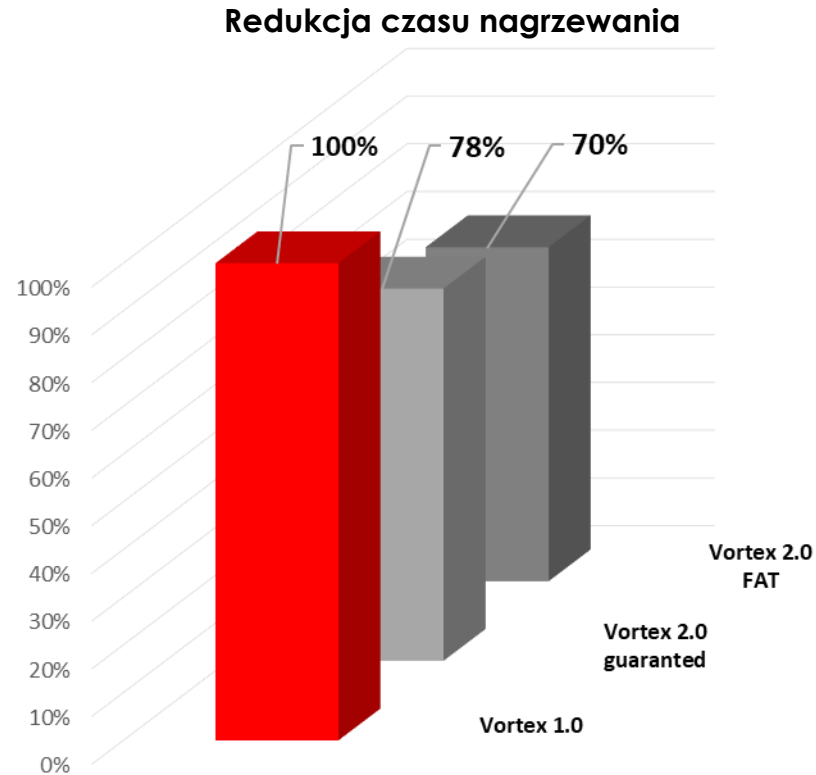
### Skrócenie czasu nagrzewania i chłodzenia – testy na piecu przemysłowym



Distance to the nozzle [mm]	Alloy	Thickness [mm]	D [mm]	Width [mm]	Mass [t]	SP [°C]	Head [°C]	Cooling [h]
760	1050	0,4	2100	1020	9	360	50	10

# PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY – CZ 6

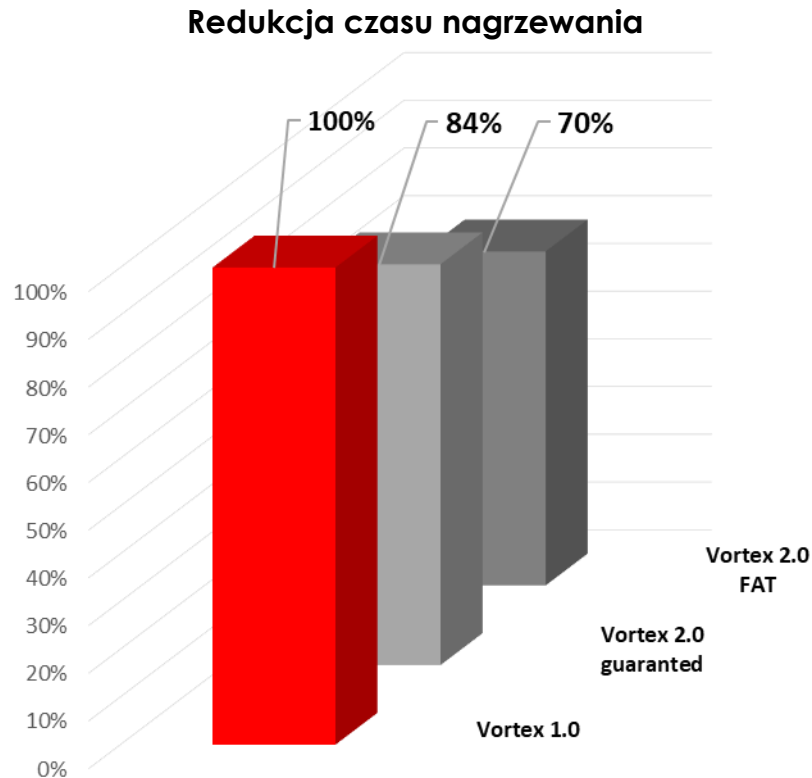
PRÓBY ODBIOROWE DLA TURECKIEGO KLIENTA – PRÓBA NR 1



Distance to the nozzle [mm]	Alloy	Thickness [mm]	D [mm]	Width [mm]	Mass [t]	SP [°C]	Head [°C]
425	5005		1730	1550	27	280	50

# PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY - CZ 7

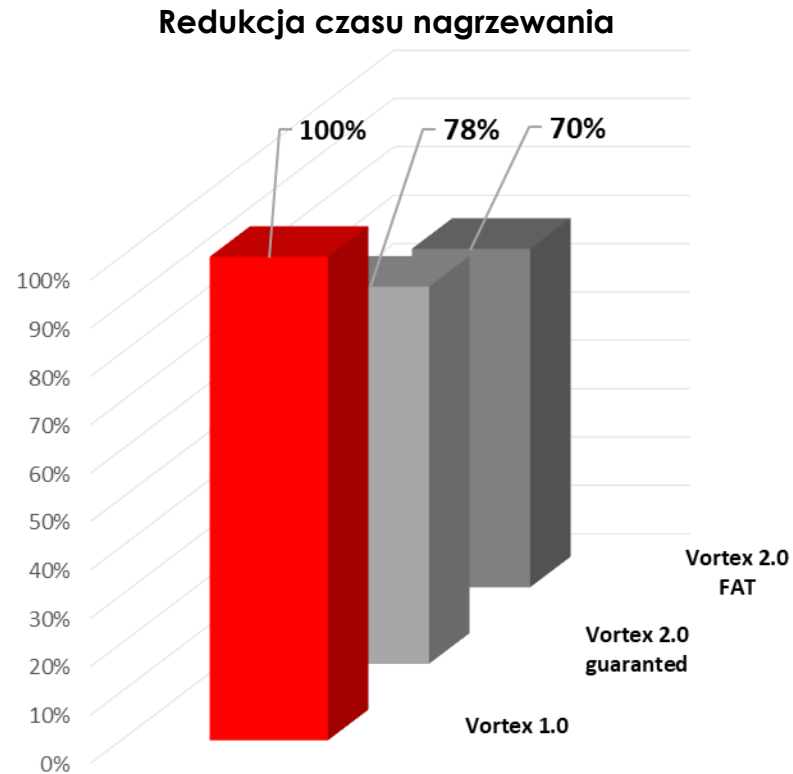
PRÓBY ODBIOROWE DLA TURECKIEGO KLIENTA – PRÓBA NR 2



Distance to the nozzle [mm]	Alloy	Thickness [mm]	D [mm]	Width [mm]	Mass [t]	SP [°C]	Head [°C]
537,5	1050	2,65	1730	1325	23	410	80

# PRÓBY TECHNOLOGICZNE I TESTY - CZ 8

PRÓBY ODBIOROWE DLA TURECKIEGO KLIENTA – PRÓBA NR 3



Distance to the nozzle [mm]	Alloy	Thickness [mm]	D [mm]	Width [mm]	Mass [t]	SP [°C]	Head [°C]
537,5	3003Bz		1730	1325	23	550	90



### Program komputerowy do symulacji procesów nagrzewania cewek – wersja desktopowa:

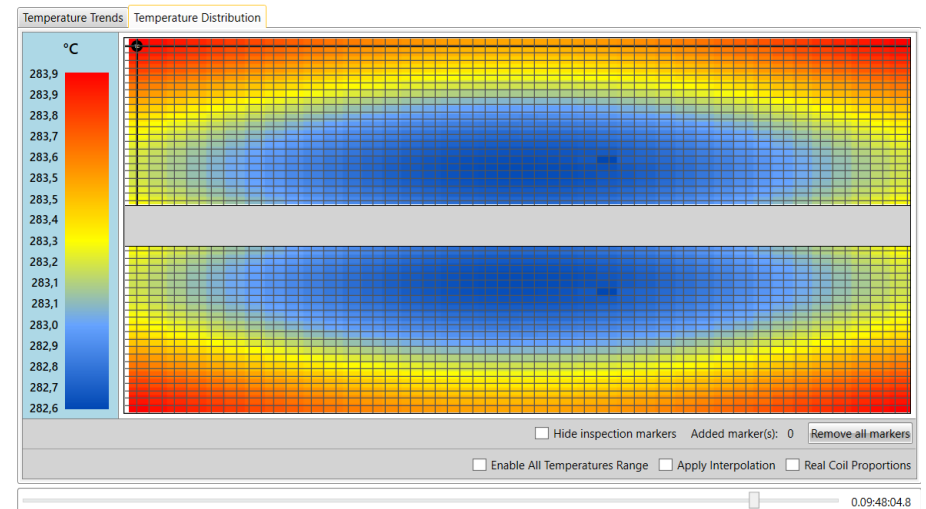
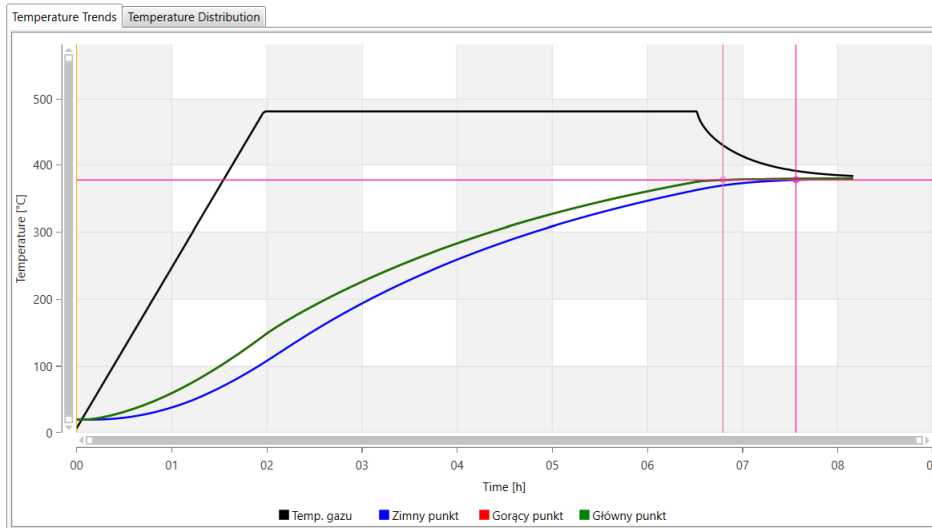
/Obliczanie krzywych nagrzewania kręgu na podstawie parametrów wejściowych.

/Obliczenie pola temperatury w przekroju poprzecznym kręgu podczas procesu nagrzewania.

/Optymalizacja procesu dla aktualnie obrabianych kręgów.

/Opracowywanie receptur nagrzewania dla nowych wymagań i nowego asortymentu wsadów.

/Badania i rozwój.



Settings

Inputs

Material: Al 99,99

Gas temperature function: Custom

Coil external diameter: 1750 mm

Coil internal diameter: 610 mm

Coil width: 1750 mm

Strip thickness: 2 mm

Initial coil temperature: 20 °C

Leading Thermocouple

Target temperature: 380 °C

G-Soak 1 (+/-): 2.5 °C

Thermocouple: Main point

Axial: 0 mm

Radial: 0 mm

Calculation Conditions

End criterion: Simulation time

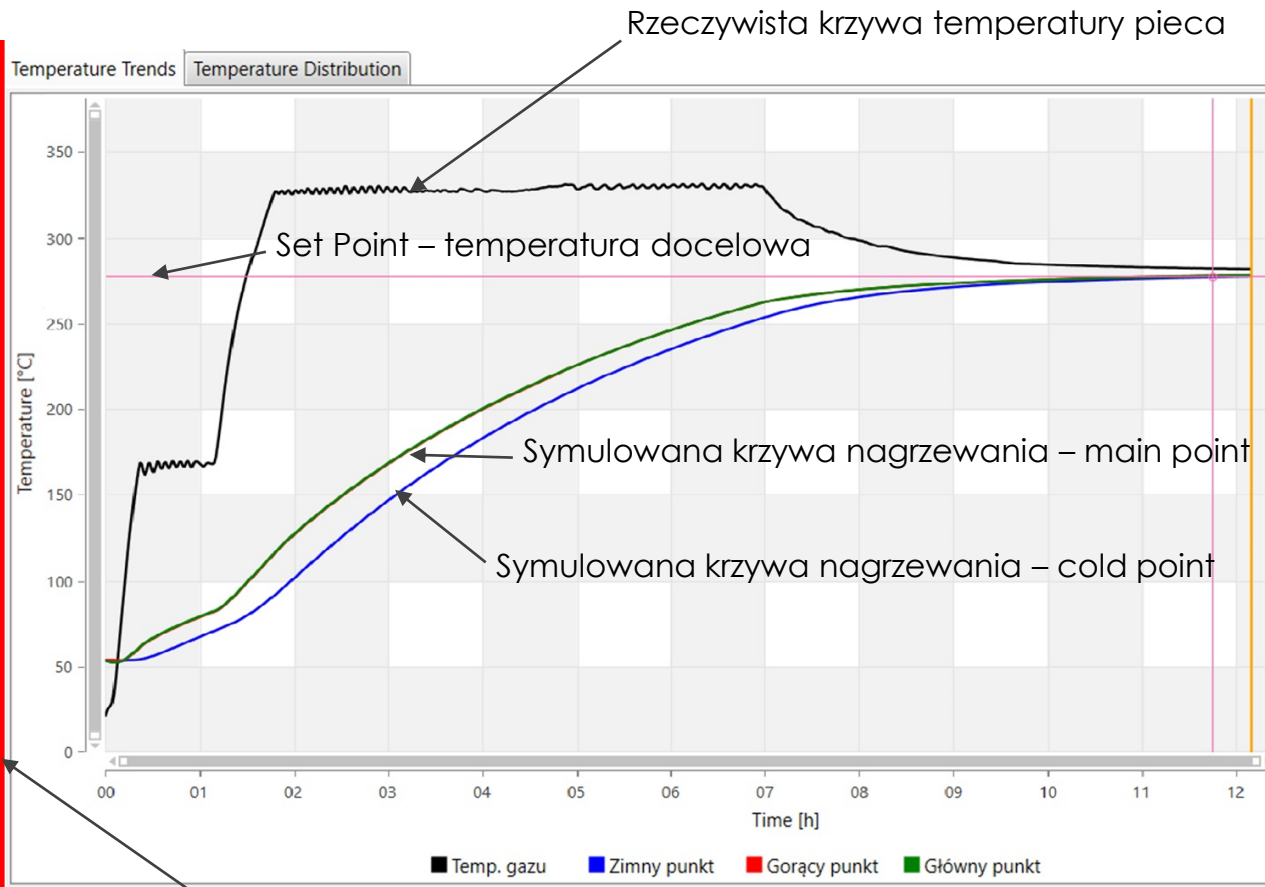
Simulation time [h:mm]: 1 : 0

Soaking time [h:mm]: 1 : 0

ColdPoint G-Soak(+/-): 2.5 °C

Simulation

Start Stop



Parametry wejściowe

Settings

Inputs

Material: Al 99,99

Gas temperature function: Custom

Coil external diameter: 1750 mm

Coil internal diameter: 610 mm

Coil width: 1750 mm

Strip thickness: 2 mm

Initial coil temperature: 20 °C

Leading Thermocouple

Target temperature: 380 °C

G-Soak 1 (+/-): 2.5 °C

Thermocouple: Main point

Axial: 0 mm

Radial: 0 mm

Calculation Conditions

End criterion: Simulation time

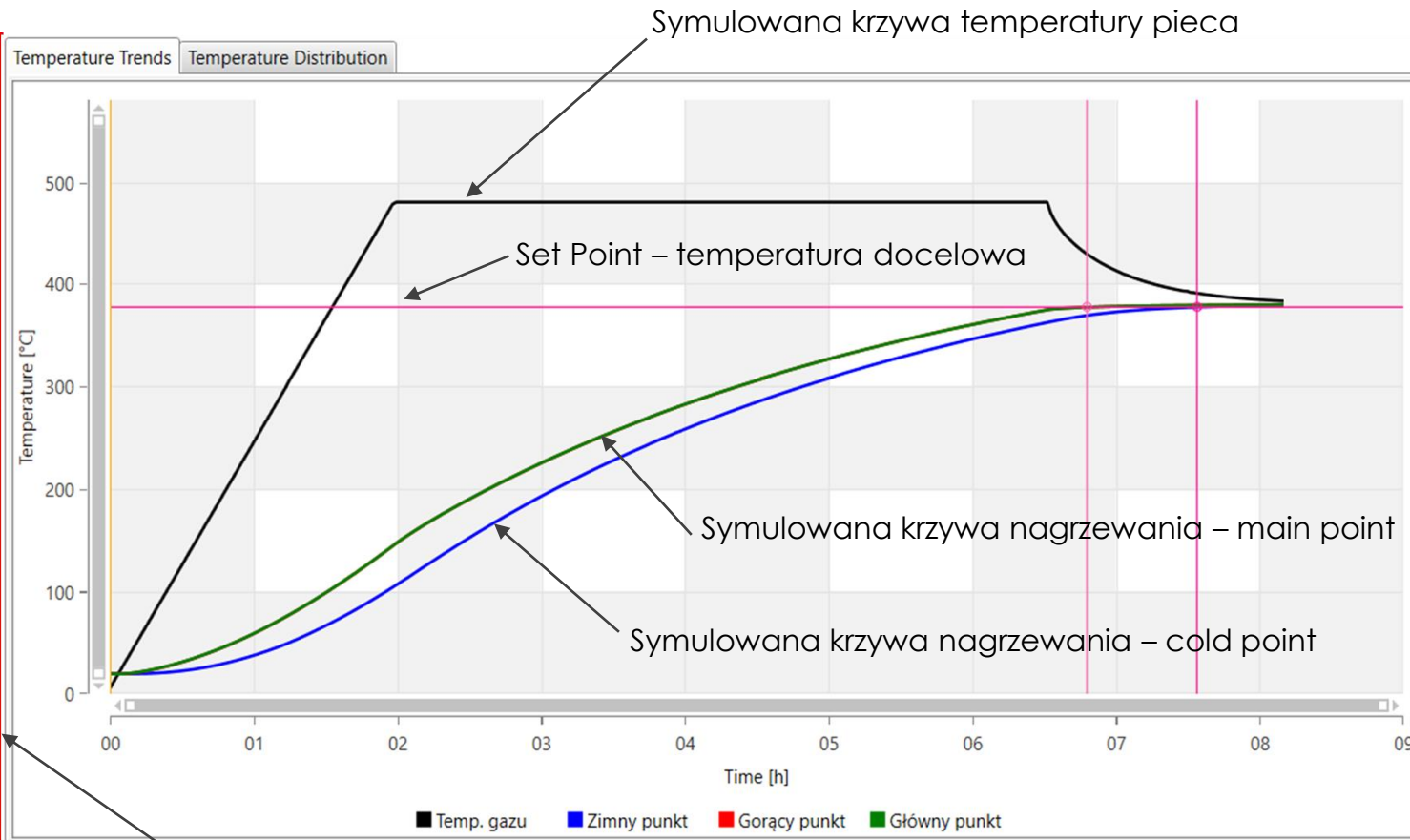
Simulation time [hh:mm]: 1 : 0

Soaking time [hh:mm]: 1 : 0

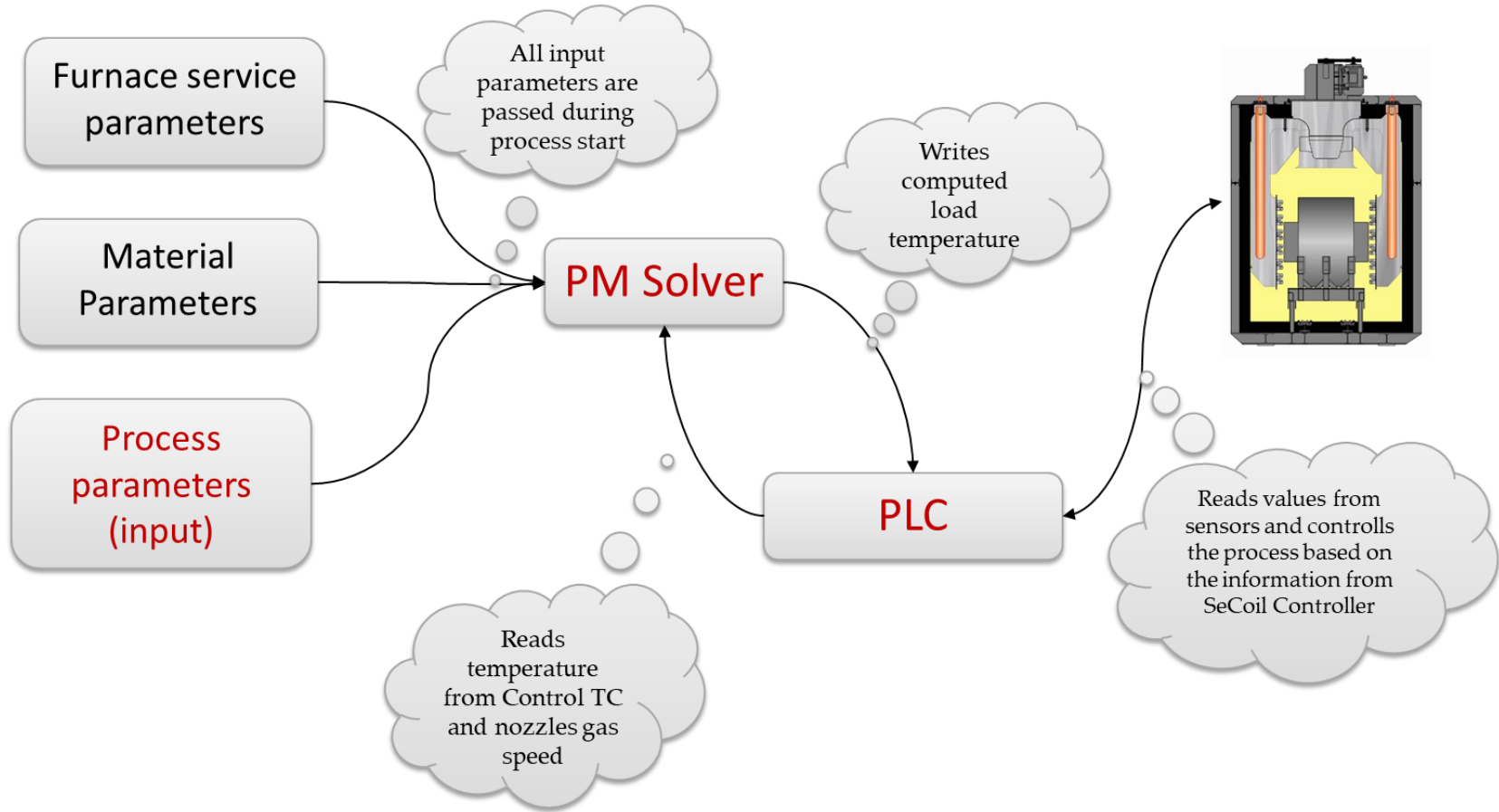
ColdPoint G-Soak(+/-): 2.5 °C

Simulation

Start Stop



Parametry wejściowe



# SECOIL®

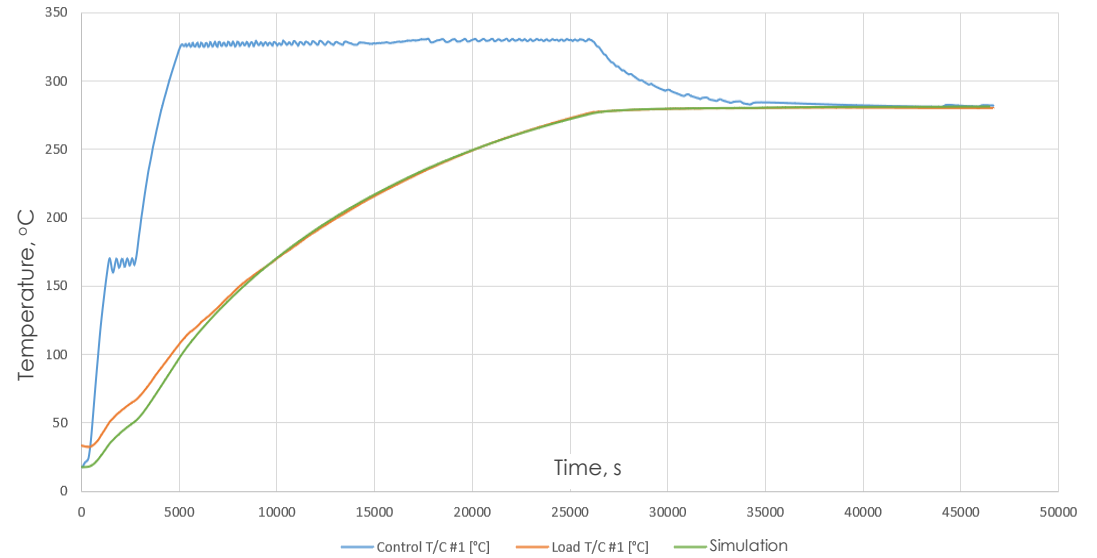
## PRZYKŁADOWE WYNIKI SYMULACJI ONLINE

Lp	Process name	Target temperature	HEAD	Type of alloy	Coil width	Coil external diameter	Strip thickness
21	04.03.2024_LTF20	280	50	3423	1580	1740	2
32	23.02.2024_LTF20	280	50	5005	1550	1740	2
23	04.03.2024_LTF22	550	90	8079	1250	1735	3,5

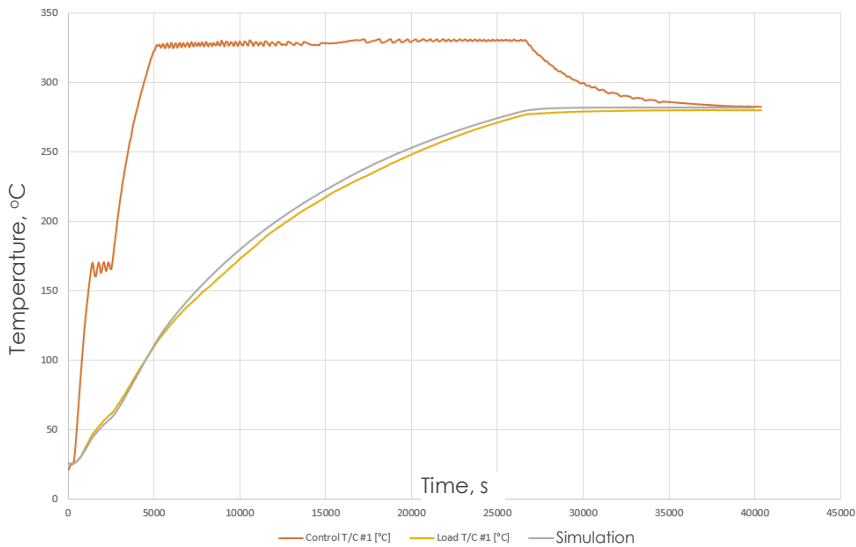


Punkt pomiaru temperatury we wsadzie oraz symulacji

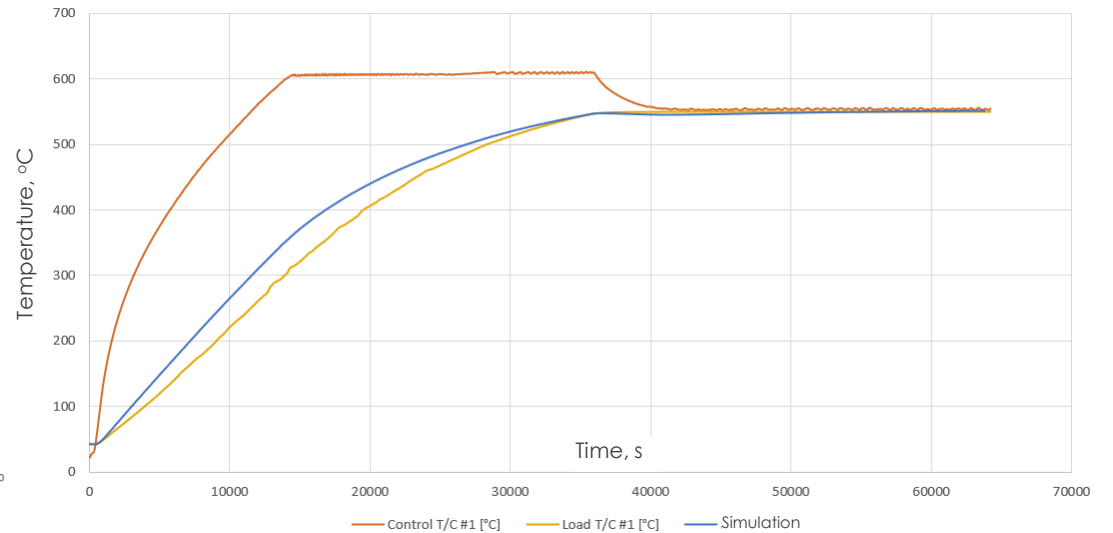
Proces 32



Proces 21

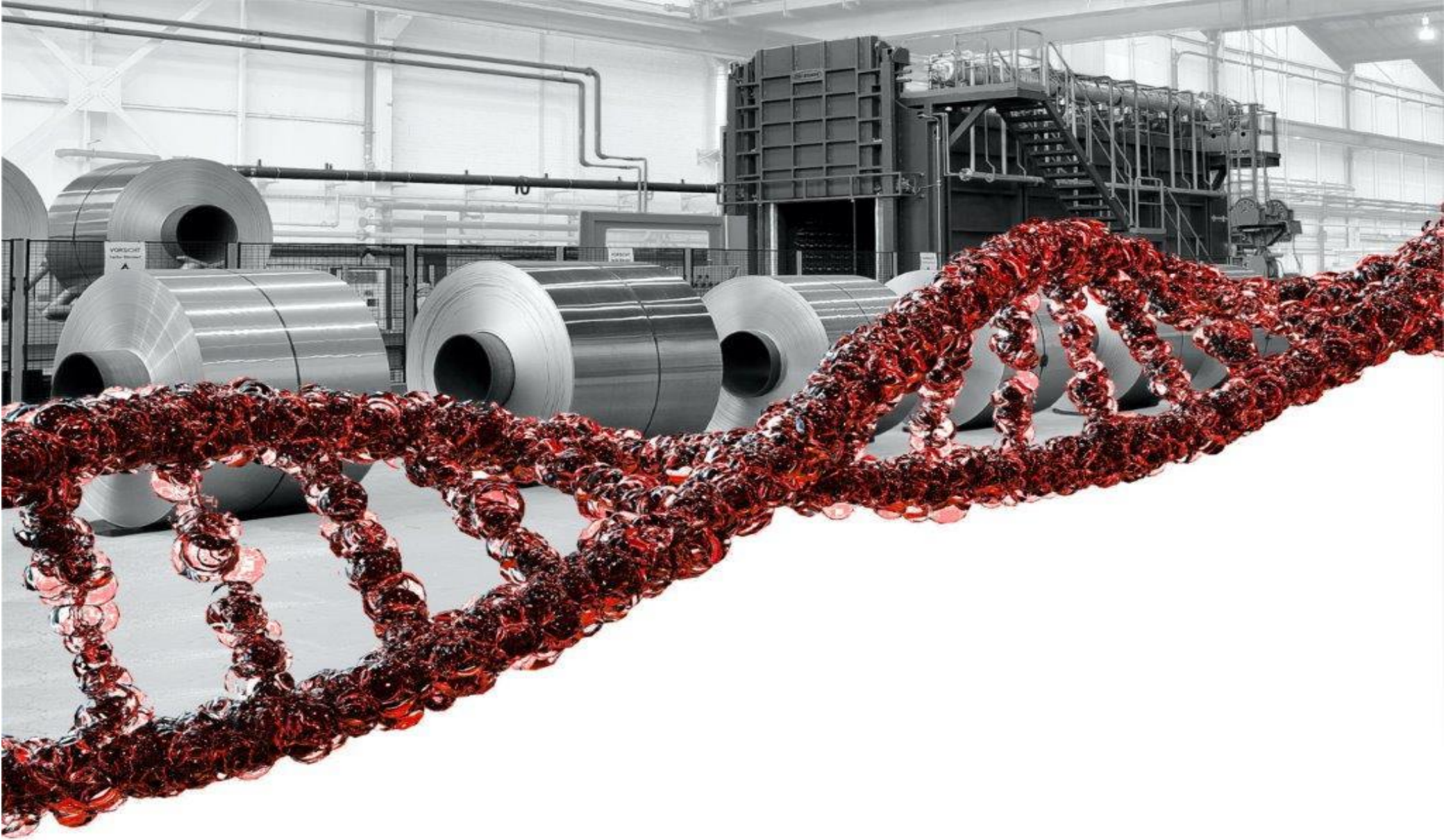


Proces 23



# WNIOSKI I PODSUMOWANIE

- / **Wyniki badań** komputerowych (CFD) oraz badań laboratoryjnych Vortex<sup>®</sup> 2.0 **przeszły pozytywną weryfikację** podczas prób technologicznych w warunkach przemysłowych.
- / Przewidywania oparte na podstawie wyników badań oraz symulacji przeprowadzonych w programie SeCoil<sup>®</sup> znalazły swoje potwierdzenie w próbach technologicznych i odbiorowych. **Uzyskano bardzo dużą zgodność przewidywań z rzeczywistymi pomiarami czasów nagrzewania.** Zarówno na podstawie symulacji, jak i badań przemysłowych można stwierdzić, że poprzez zastosowanie systemu Vortex<sup>®</sup> 2.0 **można zredukować czas nagrzewania o 30 do 37%** dla dużych odległości dysz od czołowej powierzchni kręgu.
- / Cele prób odbiorowych dla jednego z kluczowych klientów zostały z sukcesem zrealizowane. Spełnione zostały gwarancje dotyczące skrócenia czasu procesu.
- / **Zastosowanie systemu Vortex 2.0<sup>®</sup>** w połączeniu z system bypass cooler **pozwała na znaczną redukcję czasów chłodzenia.**
- / Na opracowane rozwiązanie otrzymano **patent PL436568A1** – Modułowe urządzenie do nadmuchu gazu na powierzchnię obrabianego cieplnie wsadu.
- / SECO/WARWICK oferuje modernizację istniejących pieców poprzez wymianę układu dysz oraz modyfikację układu sterowania, łącznie z testami i doborem nowych receptur.
- / Aby jeszcze bardziej skrócić czas trwania procesów, nowo dostarczone piece zostaną wyposażone w zoptymalizowany system recyrkulacji powietrza dla nowego systemu dysz.
- / Badania wykazały również, że **przy użyciu systemu Vortex<sup>®</sup> 2.0 można nagrzewać wsady równomiernie bez ryzyka ich miejscowego przegrzania.**
- / Przy użyciu programu SeCoil<sup>®</sup> można dokonywać predykcji i optymalizacji czasów nagrzewania kręgów dla określonych parametrów wsadu i procesu.



**SECO/WARWICK** INVENTION MEETS RELIABILITY