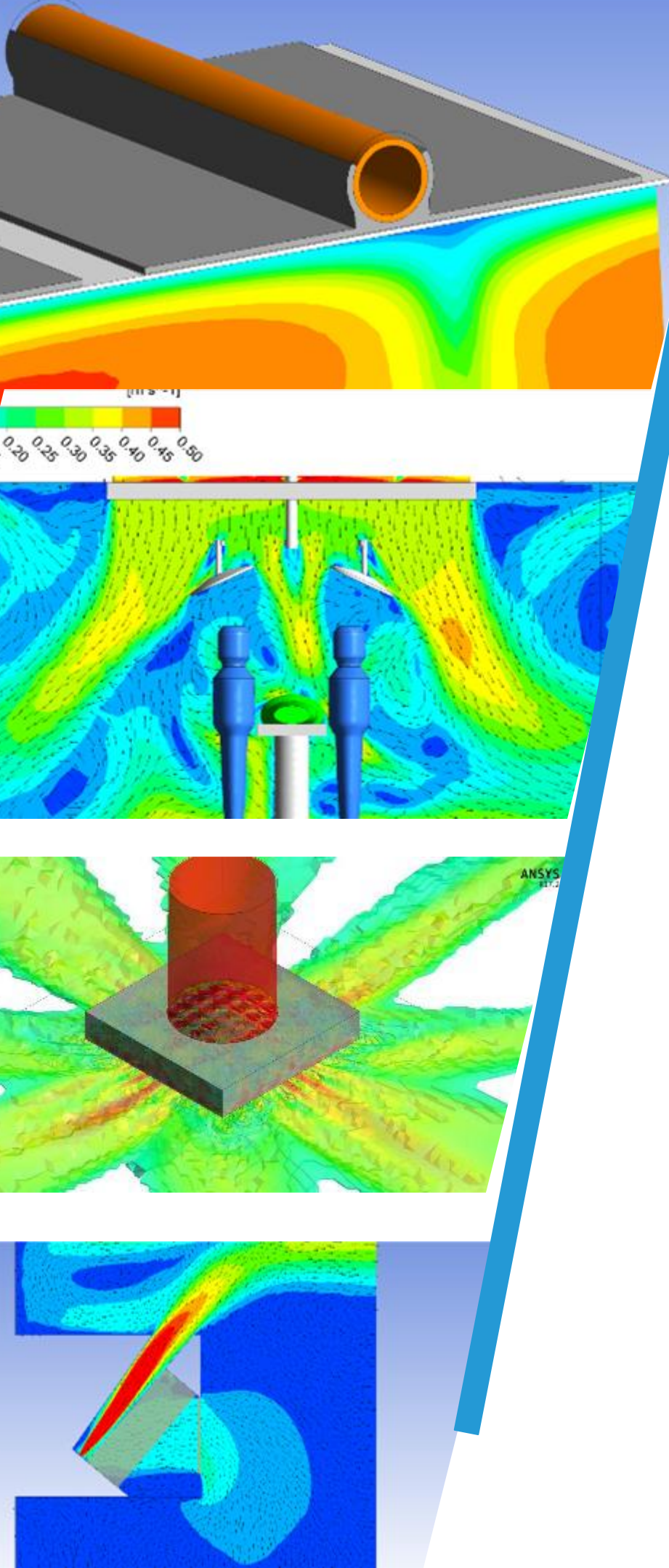


Modelowanie CFD w predykcji komfortu cieplnego i czystości mikrobiologicznej w sali operacyjnej w czasie zabiegu

Studium przypadku: Wielkopolskie Centrum Zdrowia Dziecka (Poznań),
New Karolinska (Sztokholm, Szwecja), UZ Ghent (Belgia)

Ismo Grönvall / Paweł Borowiecki **Halton**
Pekka Kanerva / Zuzanna Krynicka





Computational Fluid Dynamics (CFD) Obliczeniowa dynamika płynów

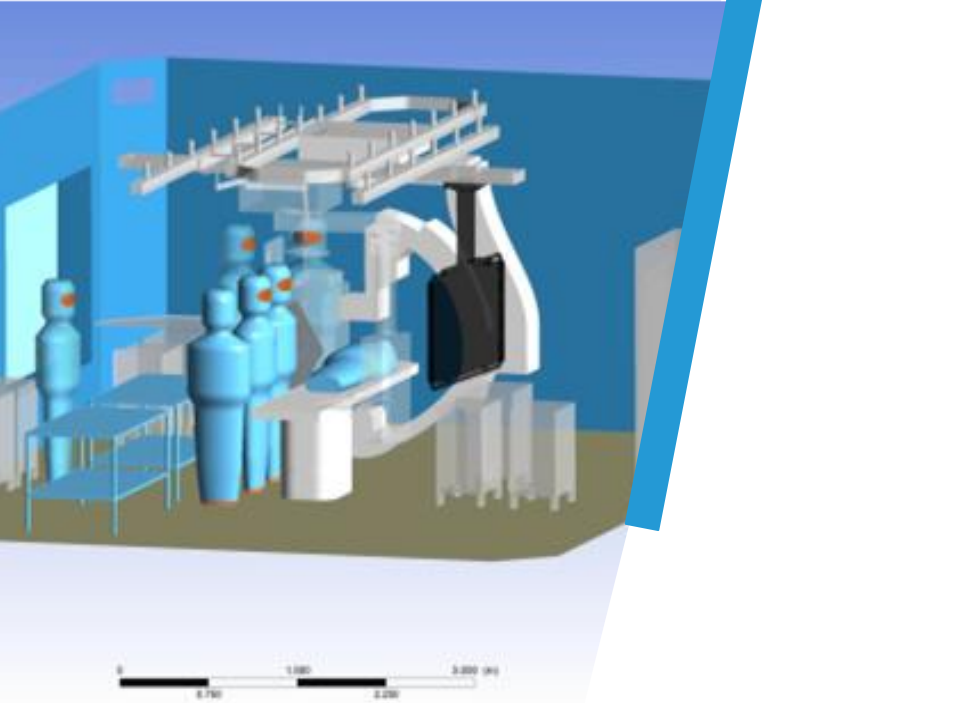
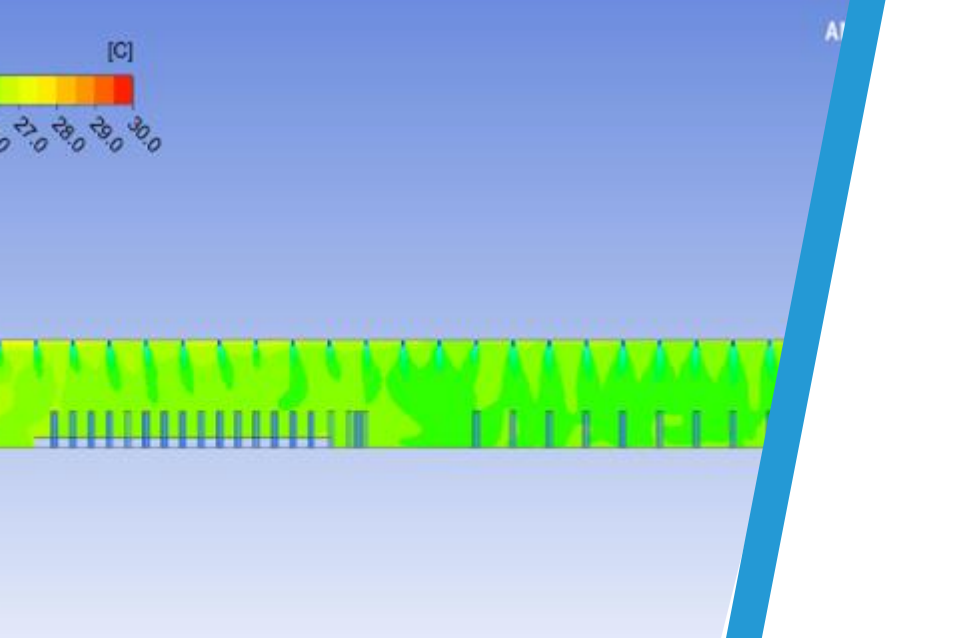
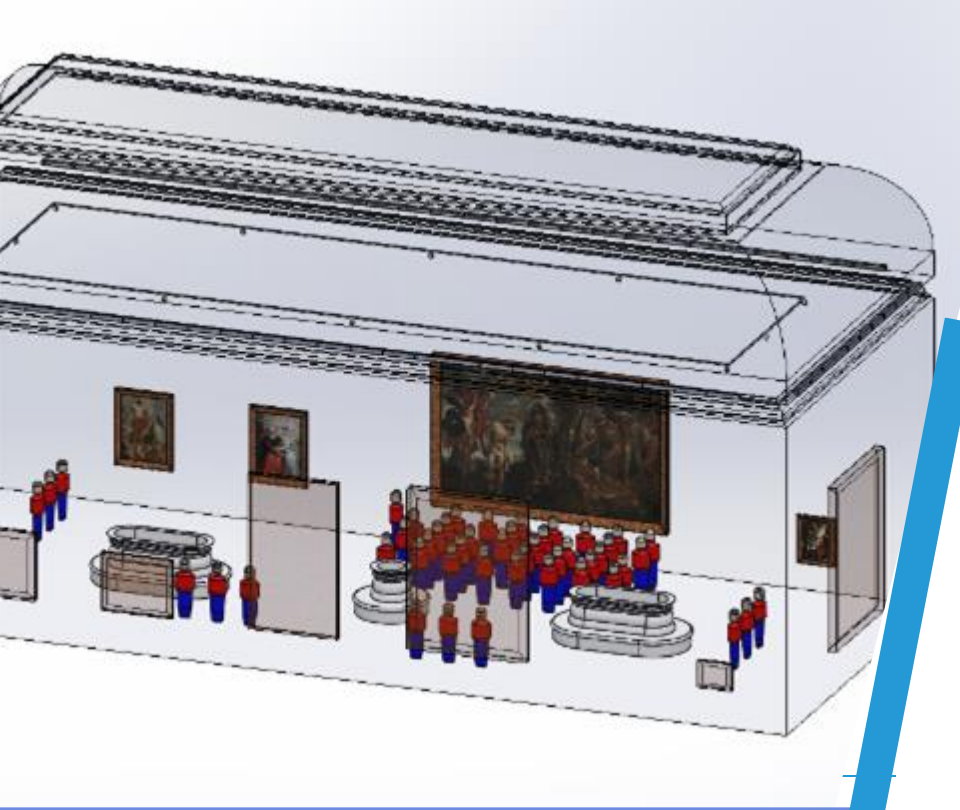
Używana do modelowania przepływów i transferu ciepła w płynach (gazy, ciecze, itp)

Najczęściej w przypadku wentylacji i klimatyzacji:

- Prędkości i temperatury powietrza w całym pomieszczeniu
- Przepływy, zasięgi strugi nawiewników, widmo wyciągu
- Indukcja (belki chłodzące, nawiewniki)
- Transfer termiczny (panele radiacyjne, wymienniki, przegrody)

Zobrazowanie sytuacji statycznej jest najczęstszym zastosowaniem, możliwa jest również analiza dynamiczna

Modelujemy wiek powietrza, czynniki komfortu, wilgotność, rozptył cząsteczek pyłowych, rozptył zanieczyszczeń mikrobiologicznych



CFD w Halton

CFD jest używane od ponad 25 lat, zarówno jako analizy na zlecenie klientów, jak i dla własnych prac badawczo – rozwojowych

Przydatne i pomocne narzędzie podczas projektowania, pozwala zweryfikować założenia projektu

Dziesiątki analiz CFD dla różnych typów przestrzeni / budynków:

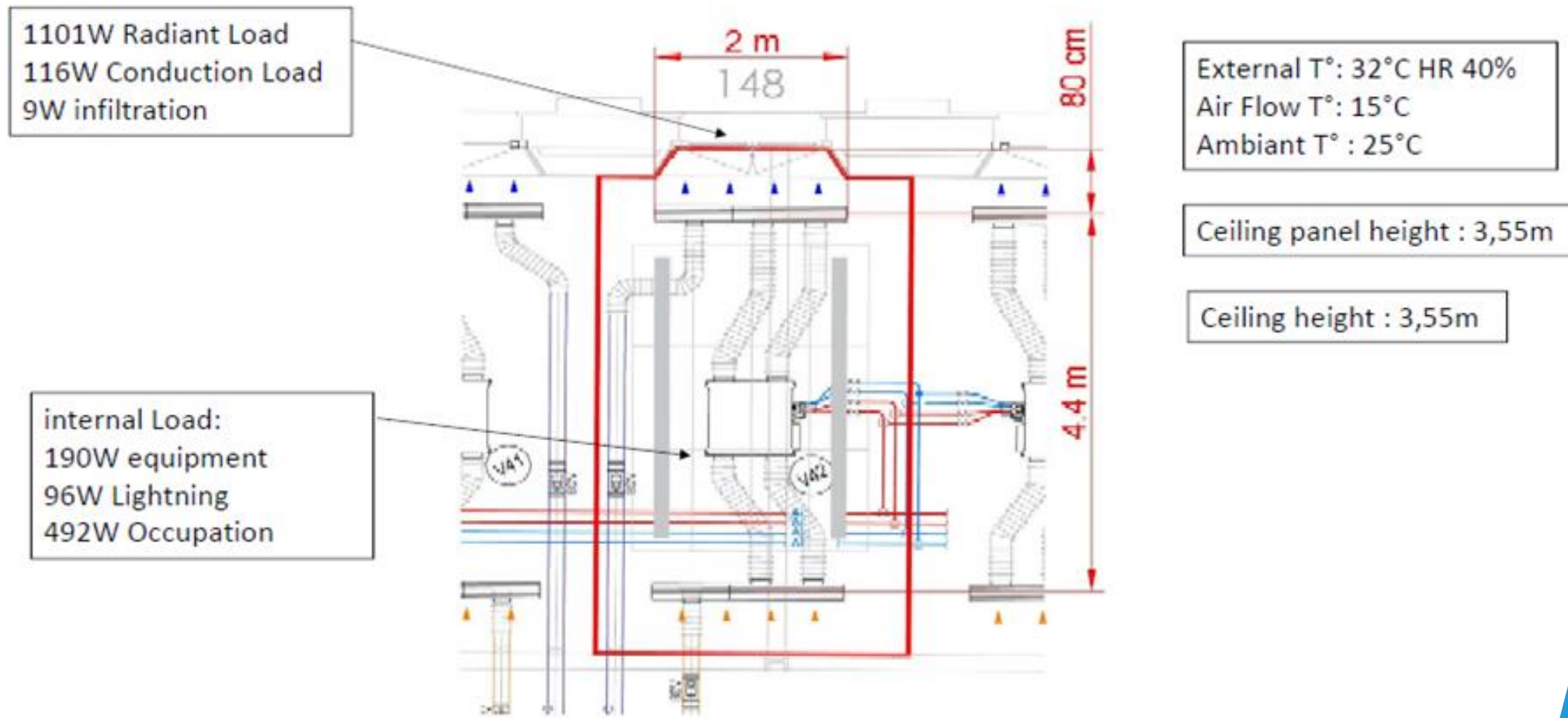
- Terminale na lotniskach
- Sale operacyjne
- Biura
- Muzea
- Obiekty przemysłowe

Program ANSYS jest najczęściej używanym narzędziem

Czego potrzebujemy aby
przygotować analizę CFD?



CFD Summer SG (office type)



- Rysunki pomieszczenia
- Lokalizację i geometrię najważniejszych obiektów wewnątrz
- Zyski ciepła
- Dane na temat ilości powietrza nawiewanego i wyciąganego, temperatury

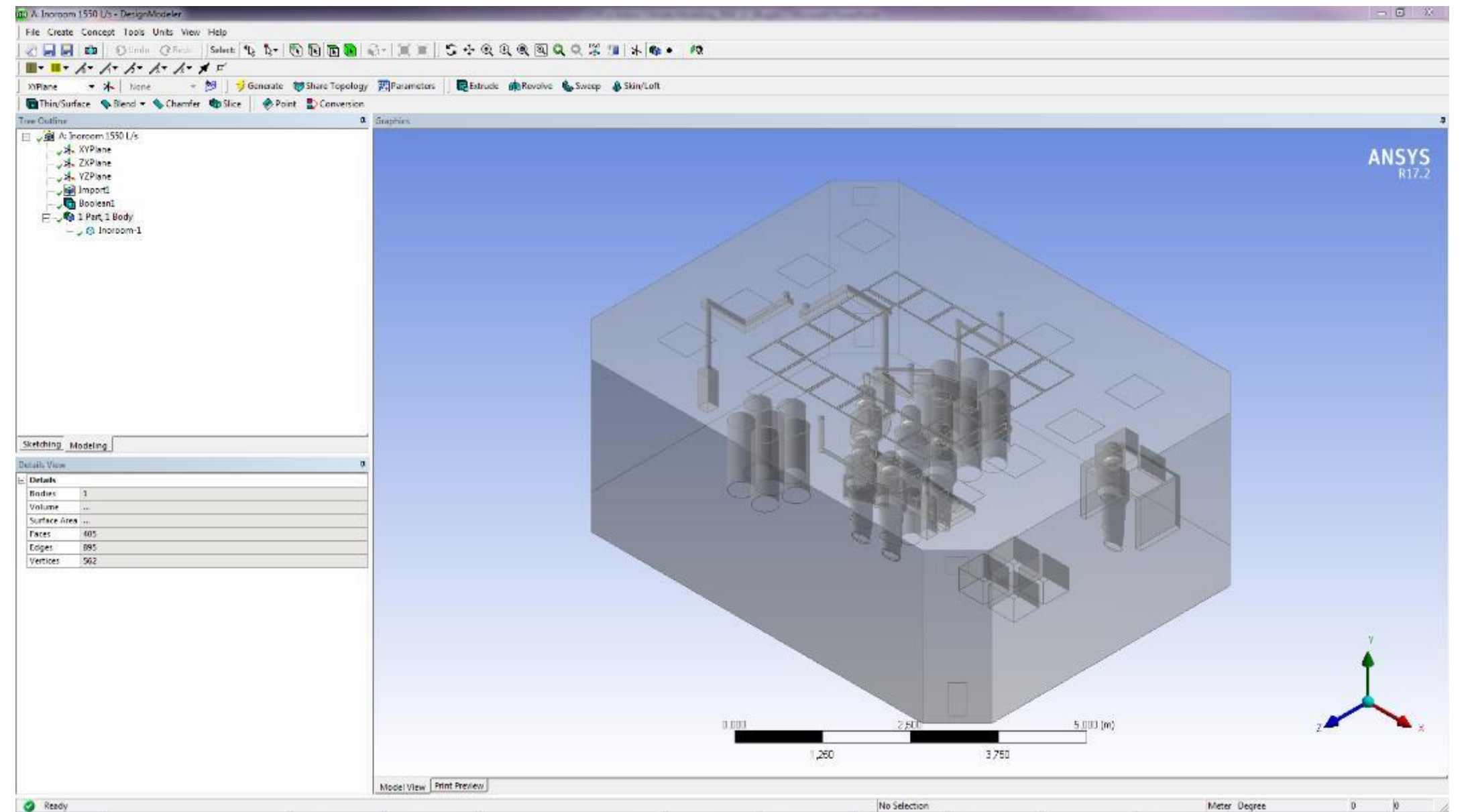
CFD w praktyce

Typowe kroki w przygotowaniu analizy



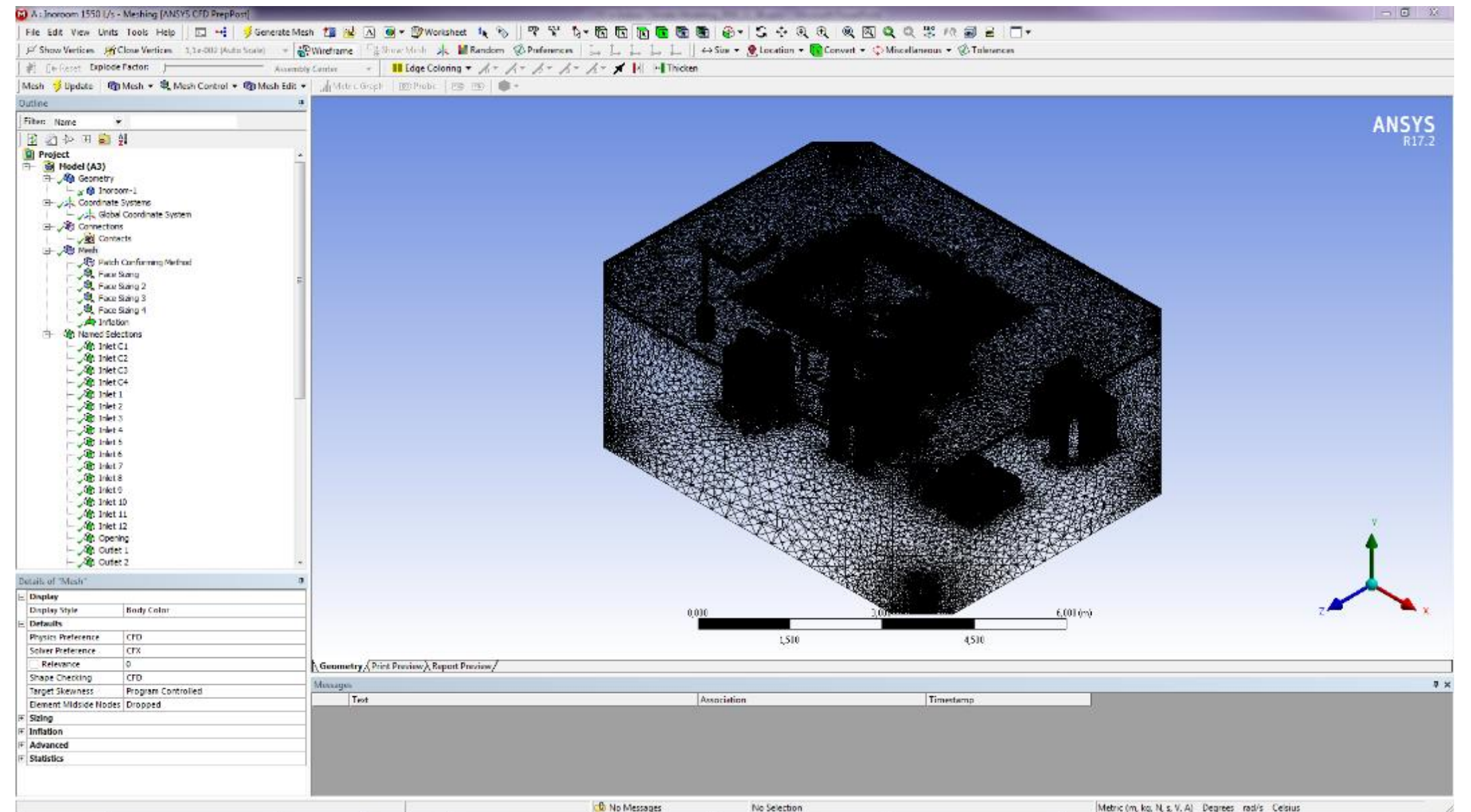
Typowe kroki w przygotowaniu analizy

- Rysunek pomieszczenia (3D)



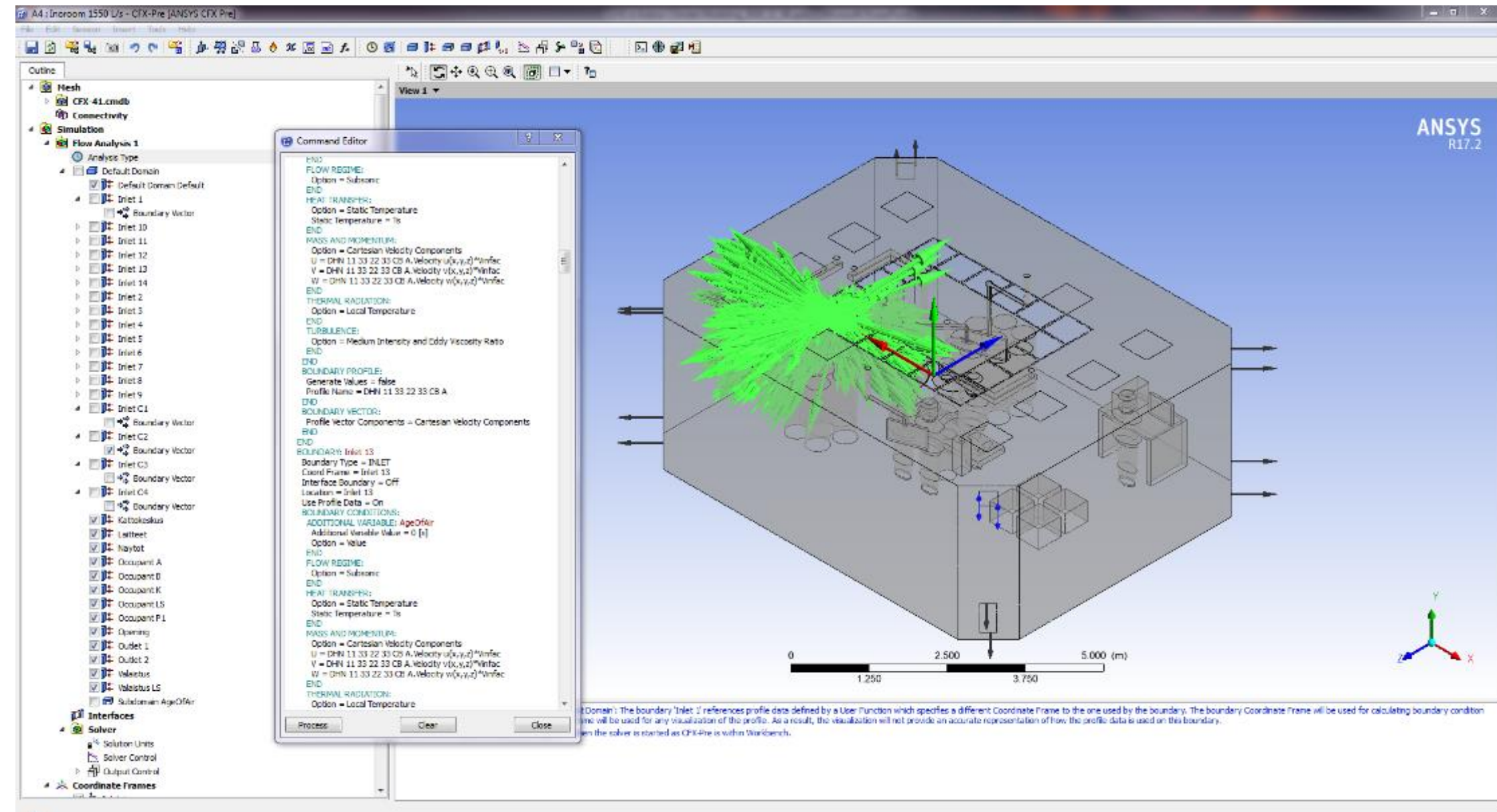
Typowe kroki w przygotowaniu analizy

- Rysunek pomieszczenia (3D)
- Stworzenie / wybór siatki obliczeniowej



Typowe kroki w przygotowaniu analizy

- Rysunek pomieszczenia (3D)
- Stworzenie / wybór siatki obliczeniowej
- Zdefiniowanie parametrów początkowych i warunków modelowania



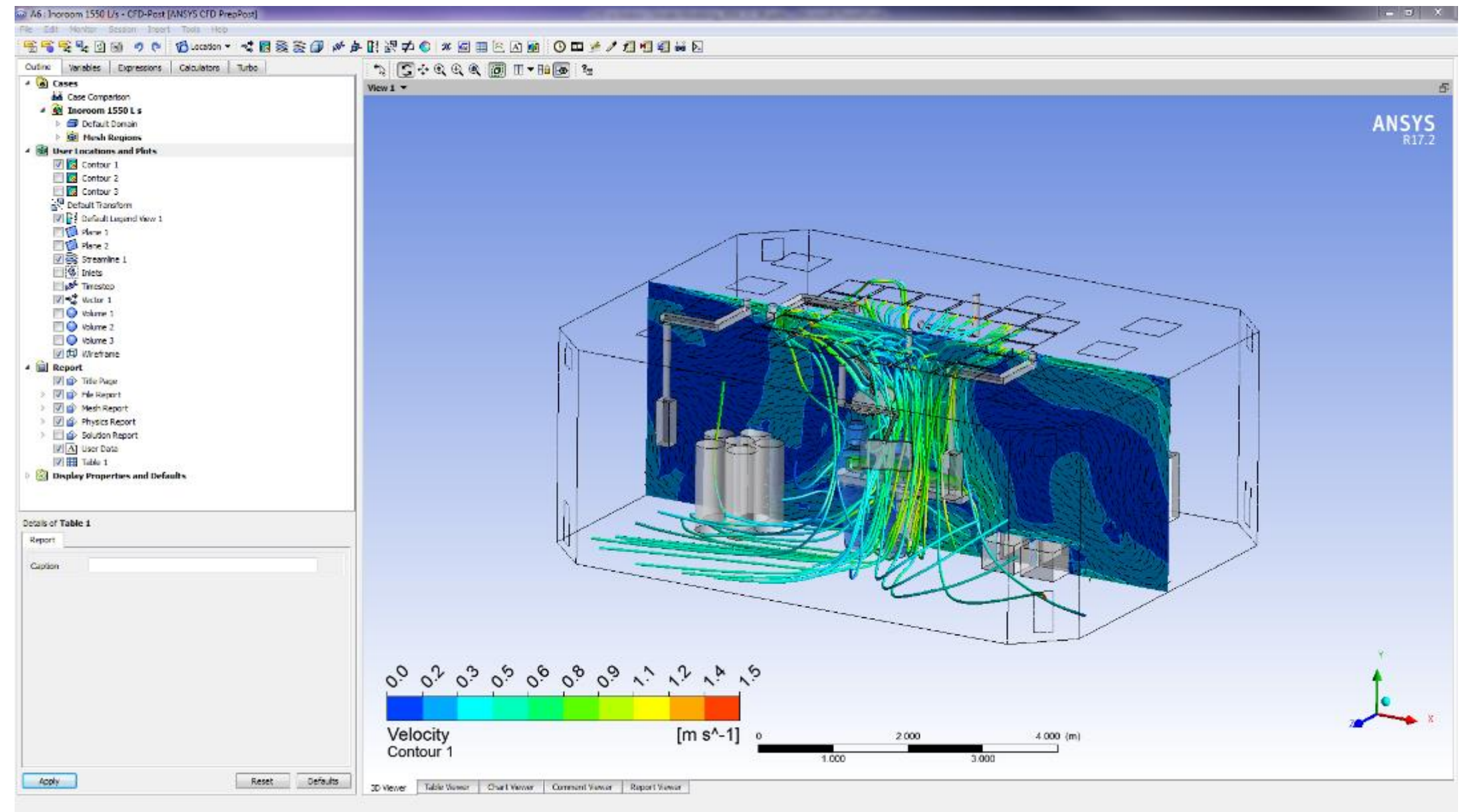
Typowe kroki w przygotowaniu analizy

- Rysunek pomieszczenia (3D)
- Stworzenie / wybór siatki obliczeniowej
- Zdefiniowanie parametrów początkowych i warunków modelowania
- **Obliczenia**



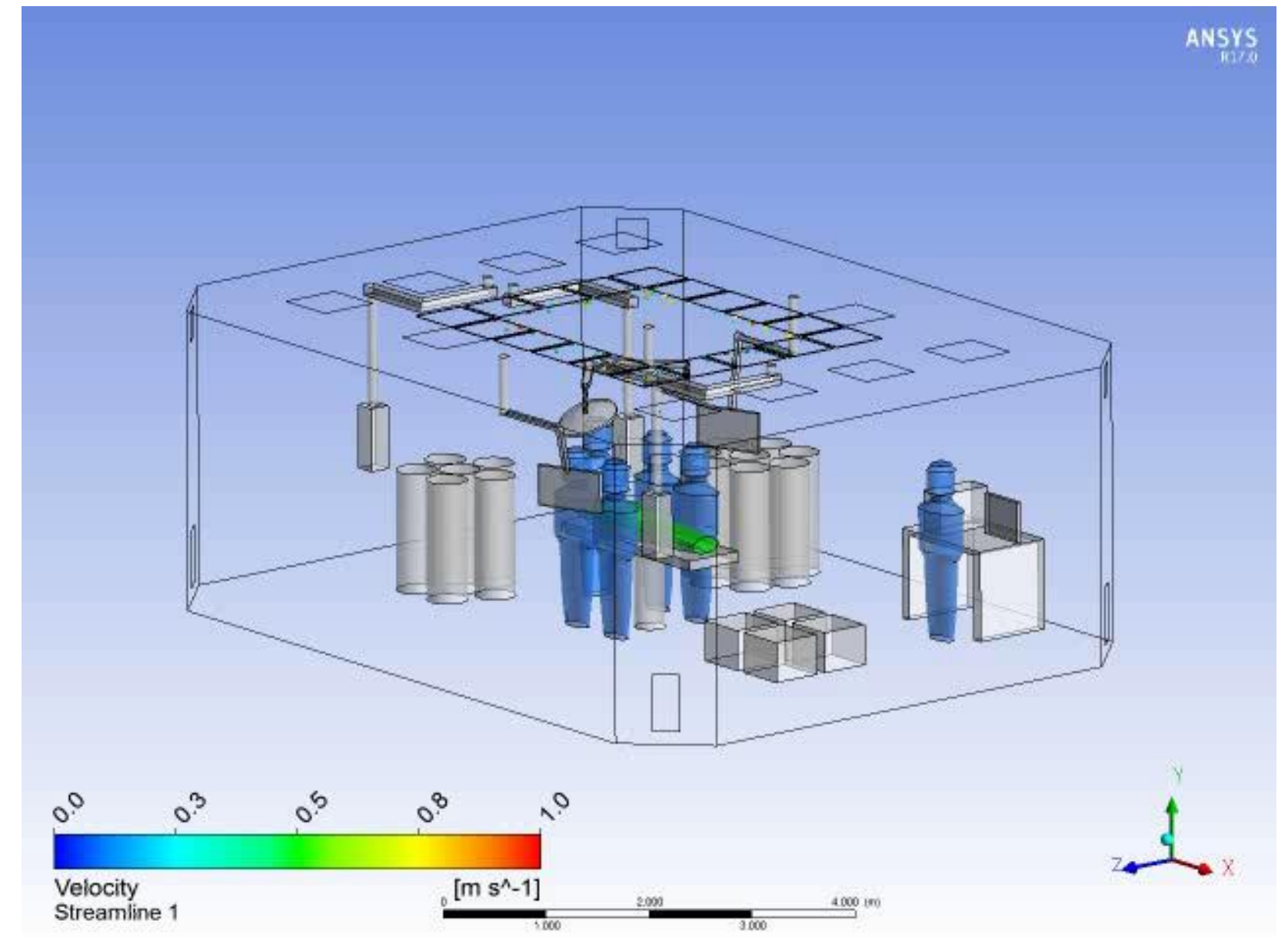
Typowe kroki w przygotowaniu analizy

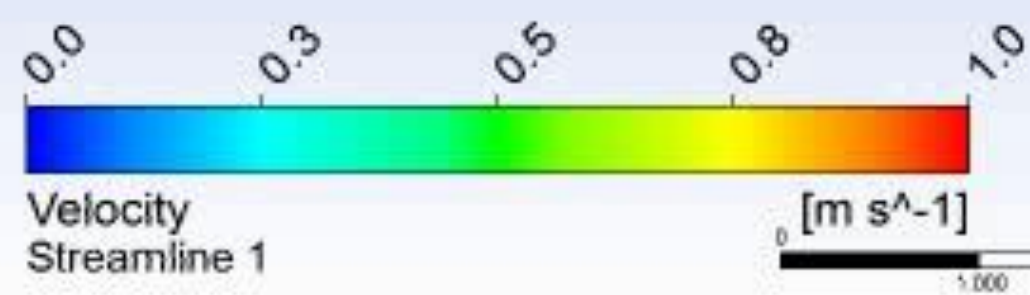
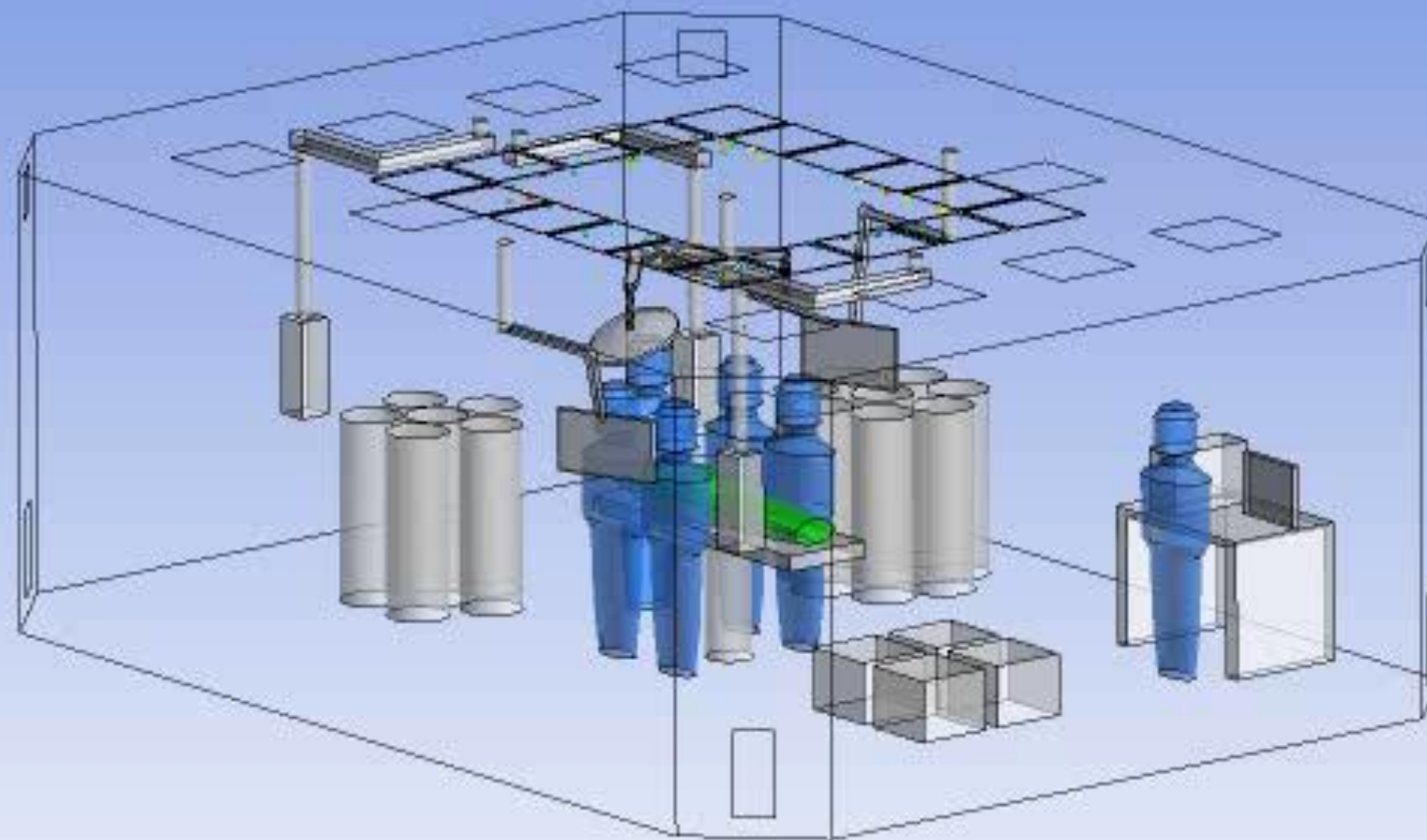
- Rysunek pomieszczenia (3D)
- Stworzenie / wybór siatki obliczeniowej
- Zdefiniowanie parametrów początkowych i warunków modelowania
- Obliczenia
- **Analiza wyników**



Typowe kroki w przygotowaniu analizy

- Rysunek pomieszczenia (3D)
- Stworzenie / wybór siatki obliczeniowej
- Zdefiniowanie parametrów początkowych i warunków modelowania
- Obliczenia
- Analiza wyników
- **Prezentacja / przekazanie wyników**





Obliczenia i rzeczywistość

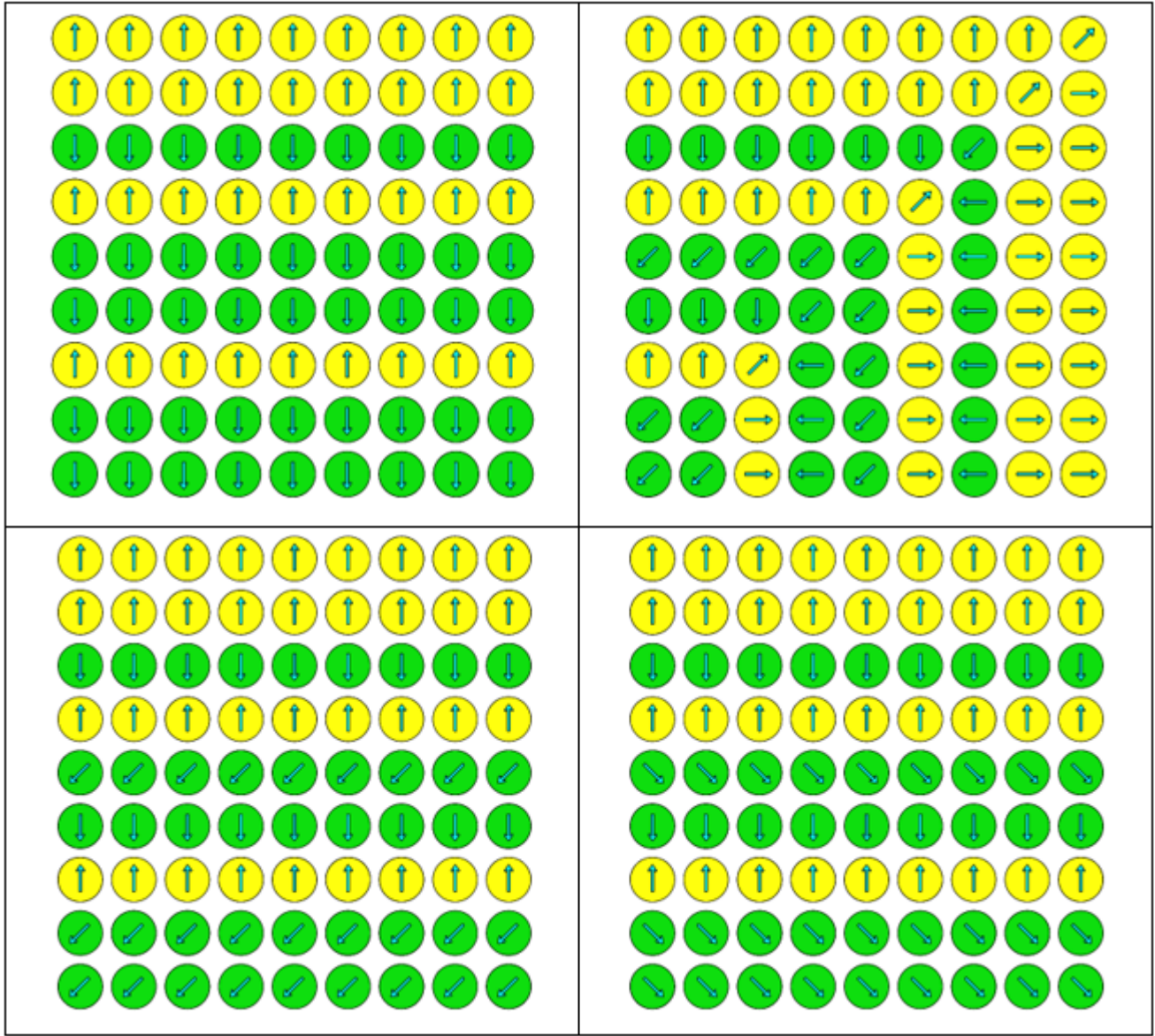
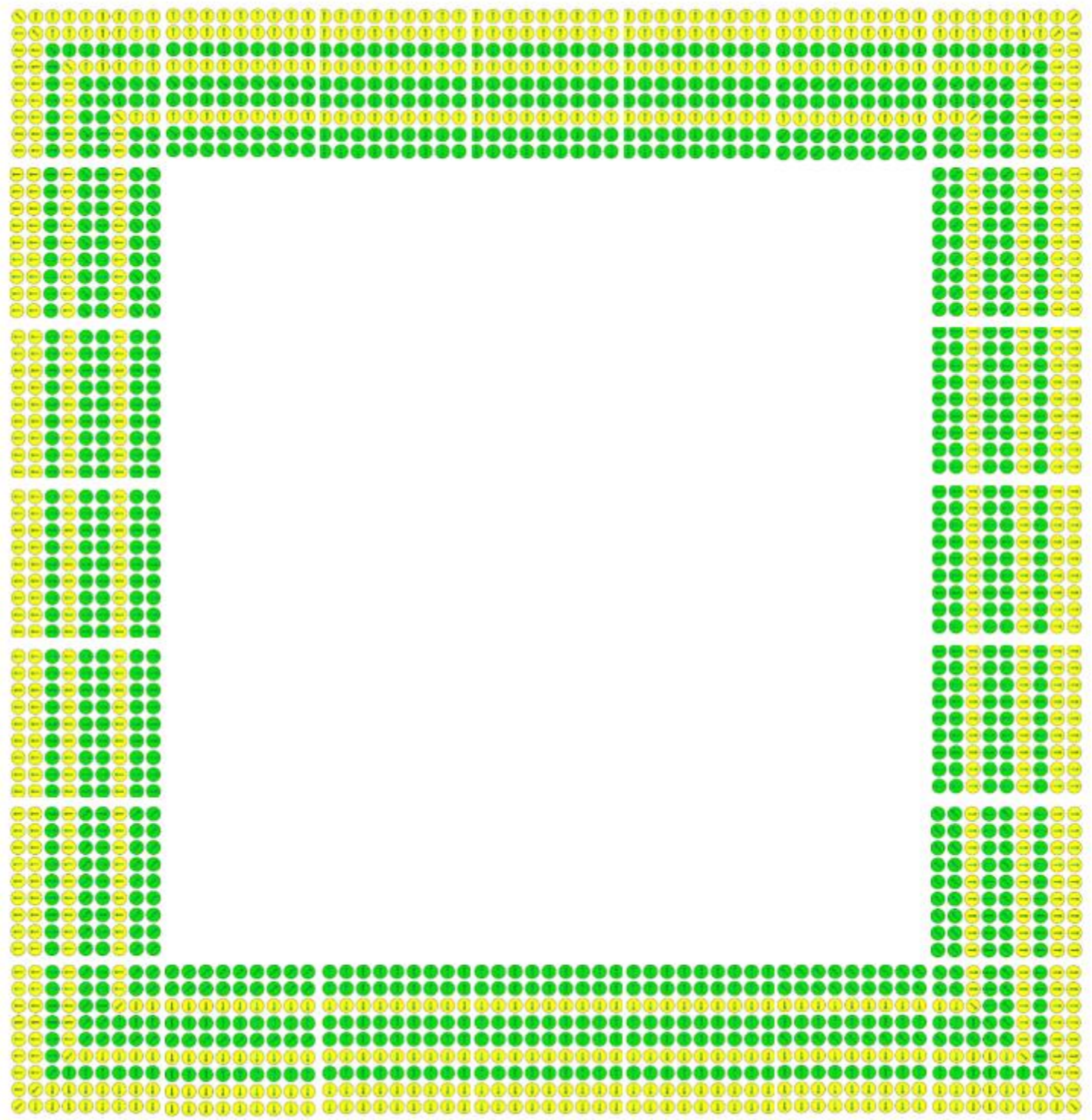
Możliwość weryfikacji obliczeń przy pomocy:

- badań modelowych w skali 1:1 w warunkach laboratoryjnych
- pomiarów w salach operacyjnych przekazanych do użytkowania



Typowe założenia symulacji

Oprogramowanie	Ansys CFX 2020 R1
Simulation	Steady-state
Turbulence	Shear Stress Transport
Buoyancy	Full Buoyancy Model
Radiation	Discrete Transfer Model
Fluid	Air Ideal Gas
Mesh size	OPS Hybrid: 7 200 000 nodes / 34 000 000 elements OPS 2: 4 800 000 nodes / 22 000 000 elements OPS 3: 4 800 000 nodes / 22 000 000 elements OPS 4: 5 000 000 nodes / 23 000 000 elements OPS 5: 4 800 000 nodes / 22 000 000 elements



Initial Values	OPS Hybrid	OPS 2	OPS 3	OPS 4	OPS 5
Target Room Temperature	20,5 °C	18,3 °C	18,3 °C	18,3 °C	18,3 °C
Supply Air Temperature	16,0 °C	16,0 °C	16,0 °C	16,0 °C	16,0 °C
Total Supply Air Flow Rate	8000 m³/h	6500 m³/h	6500 m³/h	6500 m³/h	6500 m³/h
Exhaust Air Flow Rate	6600 m³/h	5600 m³/h	5600 m³/h	5600 m³/h	5400 m³/h
Surplus Air Flow Rate (exits through doors)	1400 m³/h	900 m³/h	900 m³/h	900 m³/h	1100 m³/h
Total Internal Heat Load	12000 W	5000 W	5000 W	5000 W	5000 W
Number of Medical Staff	12	10	10	10	10
Predicted Recovery Time	440 s	421 s	383 s	385 s	320 s
CFD Simulation Results	OPS Hybrid	OPS 2	OPS 3	OPS 4	OPS 5
Average Temperature in CFD	20,1 °C	18,0 °C	18,0 °C	18,0 °C	18,0 °C
Average Recovery Time in the Room	445 s	410 s	354 s	339 s	290 s
Average Recovery Time at Exhausts	426 s	386 s	345 s	384 s	279 s
Maximum Value of Recovery Time	1350 s	1003 s	803 s	715 s	616 s
Average CFU Level in Whole Room	10,6 CFU/m3	10,0 CFU/m3	10,7 CFU/m3	9,3 CFU/m3	8,8 CFU/m3
Average CFU Level over Operating Table (2 m x 0,6m x 0,3 m volume around patient)	4,6 CFU/m3	2,0 CFU/m3	1,3 CFU/m3	0,76 CFU/m3	3,0 CFU/m3
Average CFU Level over Instrument Table 1 (1,2 m x 0,8 m x 0,3 m volume)	8,5 CFU/m3	8,3 CFU/m3	8,6 CFU/m3	9,3 CFU/m3	3,8 CFU/m3
Average CFU Level over Instrument Table 2 (1,2 m x 0,8 m x 0,3 m volume)	4,4 CFU/m3	2,8 CFU/m3	5,6 CFU/m3	3,3 CFU/m3	1,8 CFU/m3
Average CFU Level in Central Cube (3 m x 3 m x 1 m volume)	7,1 CFU/m3	6,4 CFU/m3	8,1 CFU/m3	8,7 CFU/m3	4,5 CFU/m3

Dlaczego symulować CFD

Studium przypadków



Dlaczego symulować CFD

- Nya Karolinska (Szwecja) – czy system spełni wymogi użytkownika?
- UZ Gent (Belgia) – jaki system wybrać?
- Wielkopolskie Centrum Zdrowia Dziecka (Polska) – analiza parametrów prędkości i temperatury na etapie wyboru system
- Nij Smellighe (Holandia)– jak umieścić urządzenia wokół nowego typu angiografu?
- Kantospital Graubinded (Szwajcaria) – szczegółowa analiza profilu prędkości i czystości mikrobiologicznej

Karolinska – czy rozwiązanie działła

- Nya Karolinska Solna
- Jeden z największych szpitali klinicznych w Europie

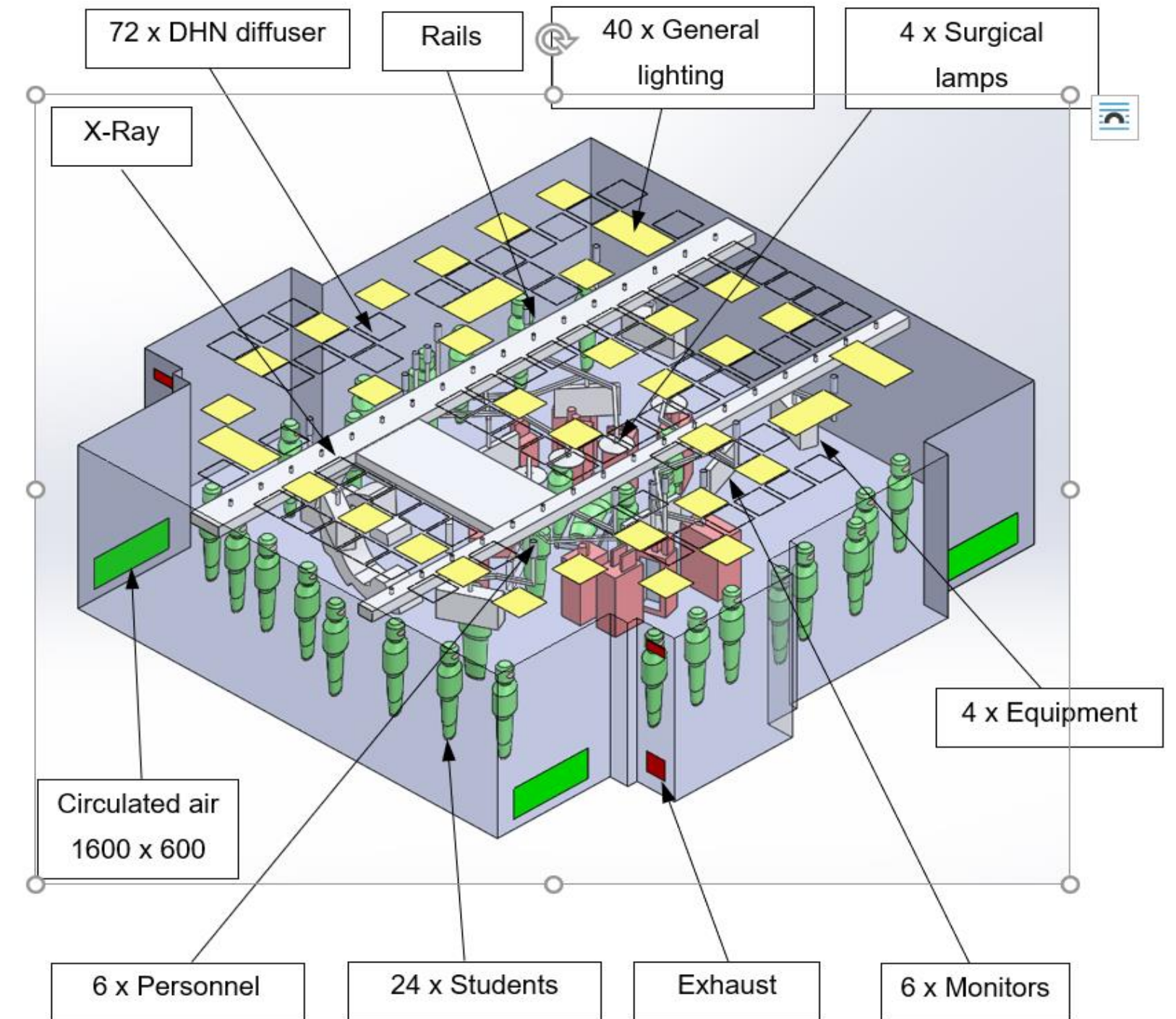
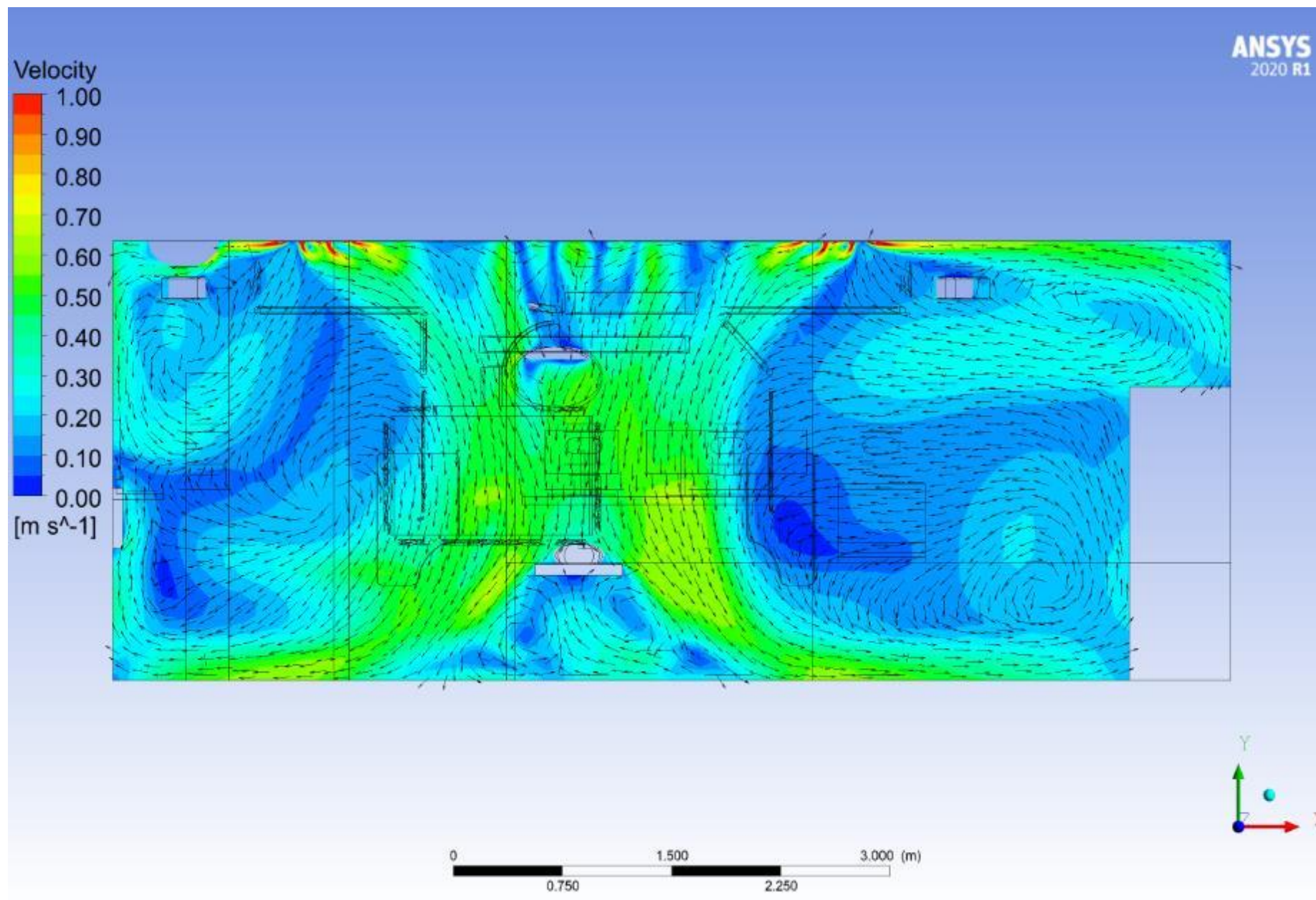


Karolinska – czy rozwiązanie działa

- Nya Karolinska Solna
- Jeden z największych szpitali klinicznych w Europie
- 35 sal operacyjnych
- 7 sal hybrydowych OR's
- Analiza przeprowadzona w 2015 roku, dla kilku rodzajów pomieszczeń, w tym Sali hybrydowej (129m²) oraz standardowej (60m²)

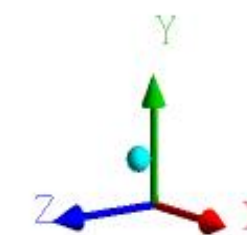
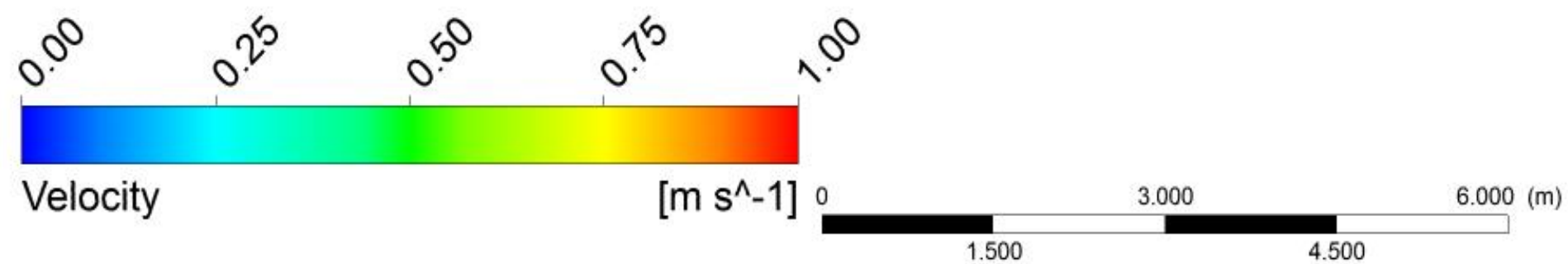
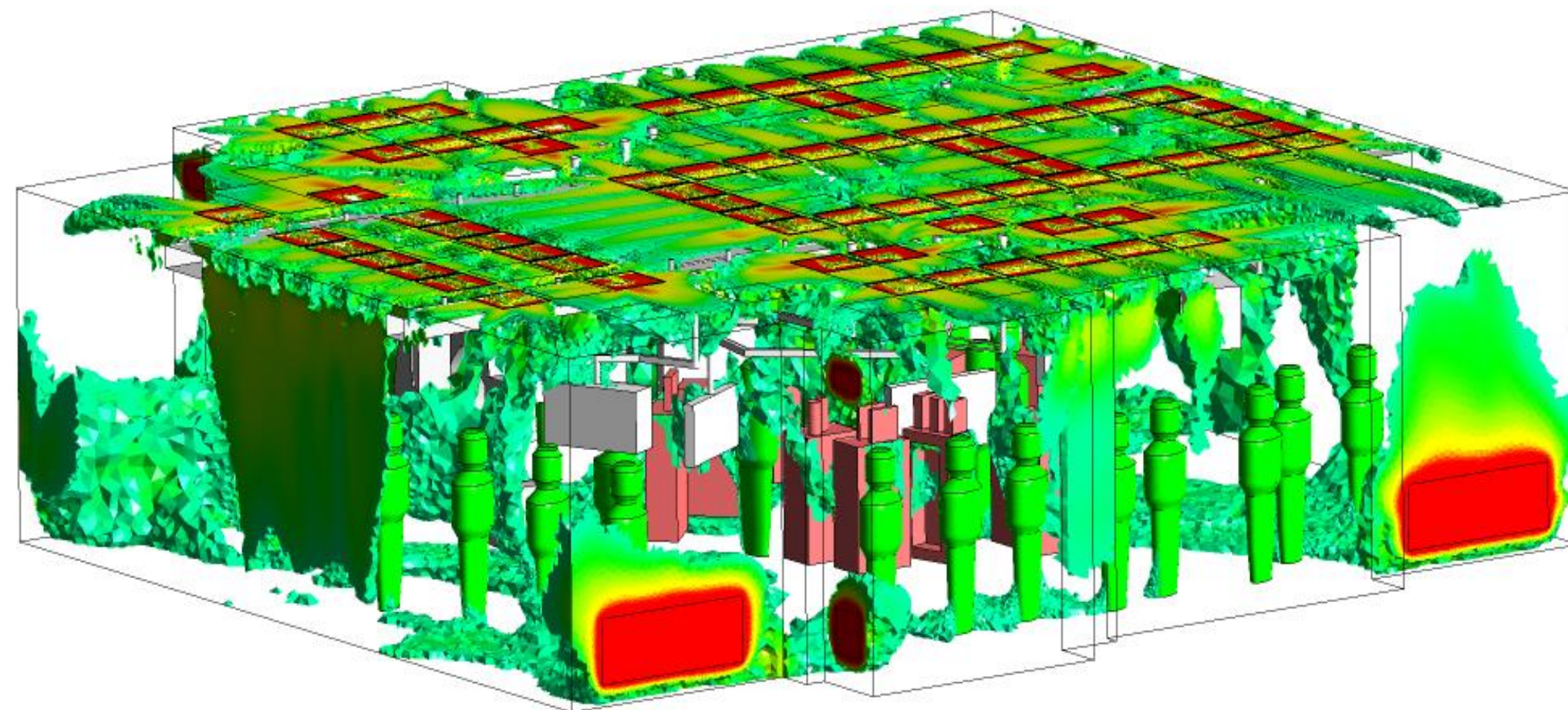


Karolinska – czy rozwiązanie działa

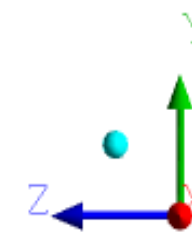
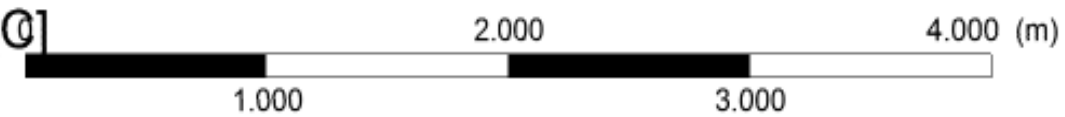
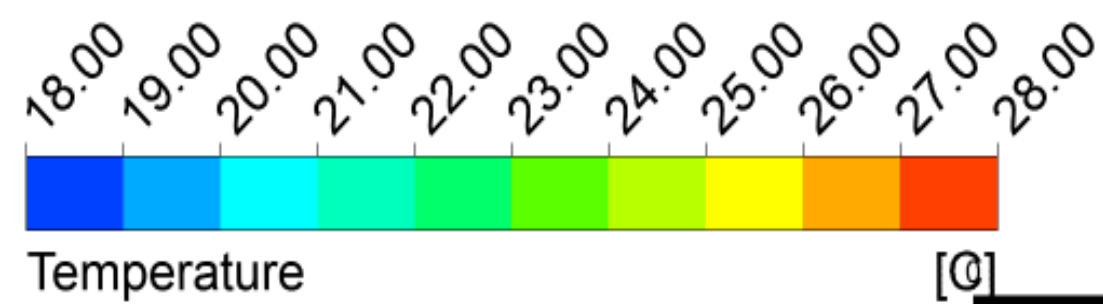
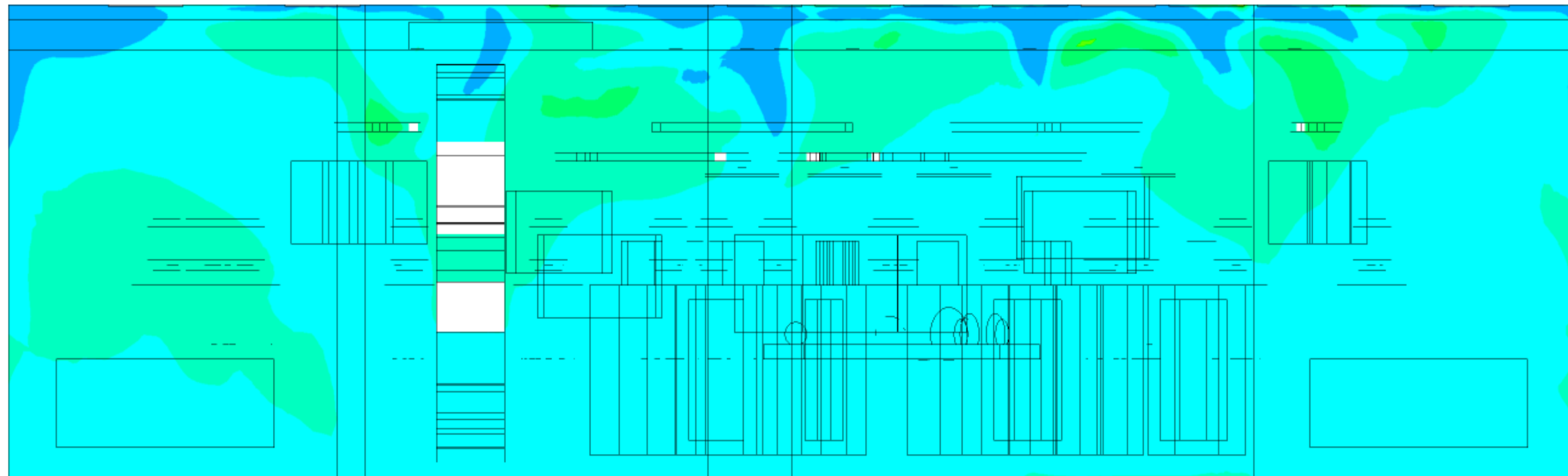


Karolinska – czy rozwiązanie działa

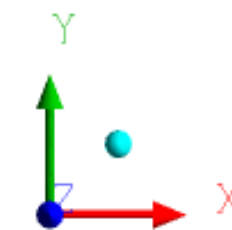
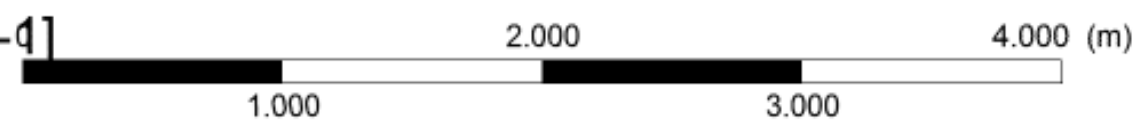
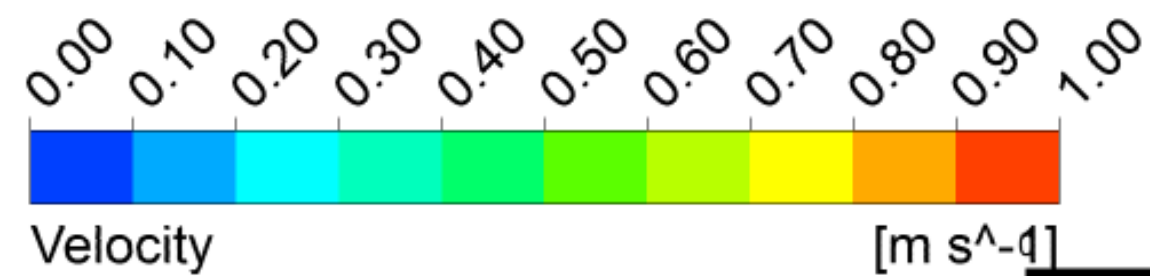
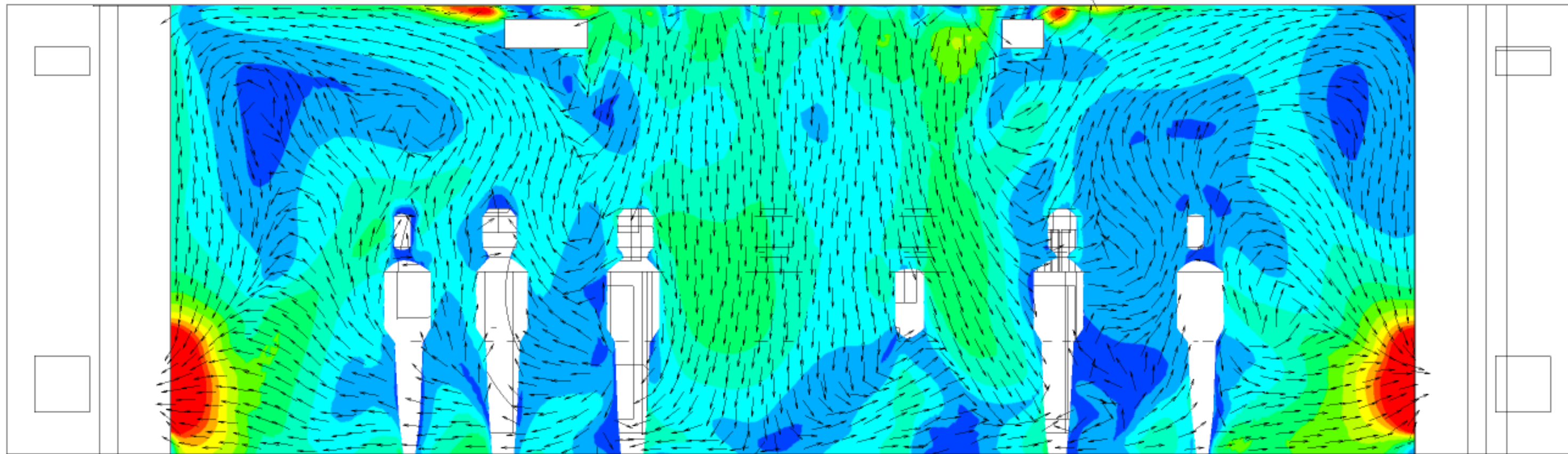
ANSYS
R15.0



Karolinska – czy rozwiązanie działła



Karolinska – czy rozwiązanie działa



Karolinska – resultaty walidacji



Mätning "in operation"

- En operation under 45 minuter.
- 10 personer i OP-rummet under operation.
- Utrustning i drift.
- Normalt arbete med 2 st. genomräcknings-skåps öppningar.
- Inga dörröppningar.



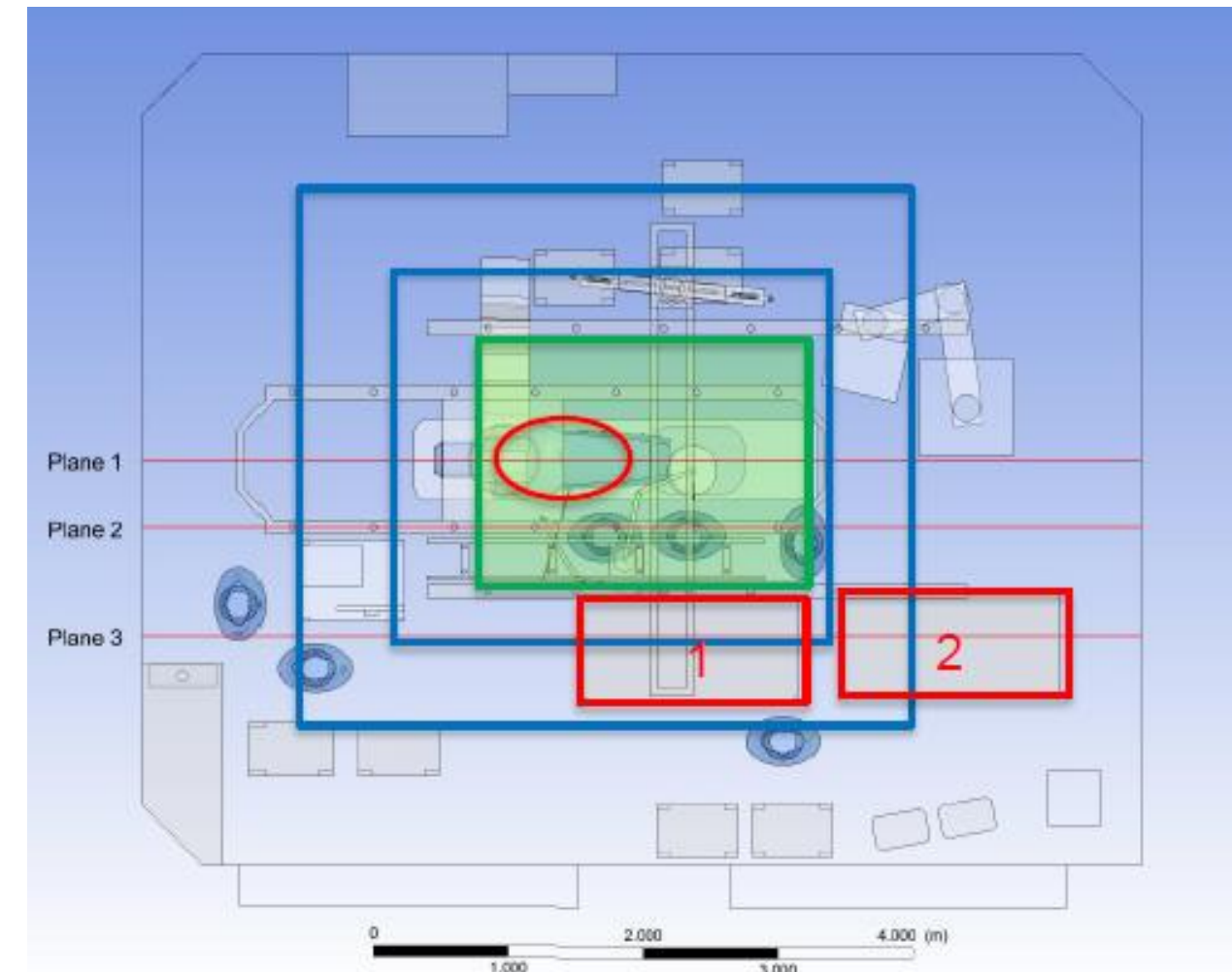
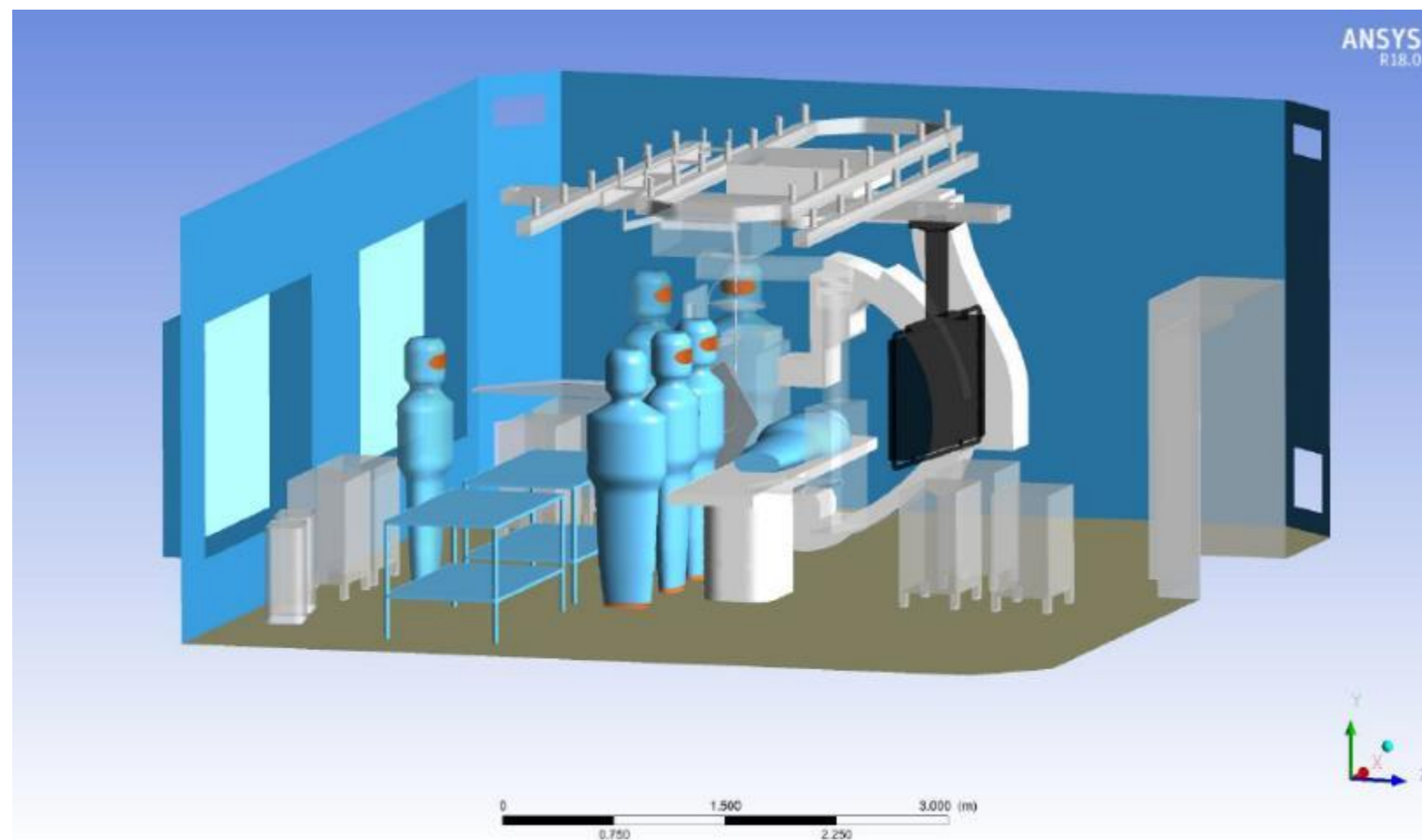
Karolinska – rezultaty walidacji

WTT Rums nr	Rumsnamn	4.2.3. Luftkalitet / re	Verksamhet	Leakage test	Flow pattern visualisation	Recovery time	CFU measurements, as buil	CFU measurements, in ope
U150054230	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x		
U150054300	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x	x	x
U150054400	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x	x	
U150062400	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x		
U150062530	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x		
U150064330	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x		
U150064400	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x		
U150064500	Operationssal, 60 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x		
U160055300	Operationssal, snittsal	<50cfu/m3	Förlossningsvård	x	x	x		
U150054120	Operationssal, 90 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x	x	x
U150065240	Operationssal, 90 m2, mittkäma	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x	x	
U150062220	Angiografi, biplane, 50 cfu	<50cfu/m3	Bild & funktion	x	x	x		
U150064130	Angiografi, monoplan, 5cfu	<5cfu/m3	Bild & funktion	x	x	x	x	
U150064220	Angiografi, monoplan, 5cfu	<5cfu/m3	Bild & funktion	x	x	x		
U150062140	Angiografi, biplane, 5cfu	<5cfu/m3	Bild & funktion	x	x	x	x	
U150035410	Packrum	<100cfu/m3	Sterilteknisk enhet	x				
U150063220	Operationssal, 120 m2	<5cfu/m3	Op anesthesi preop postop & trauma	x	x	x	x	x

UZ Gent – porównanie systemów



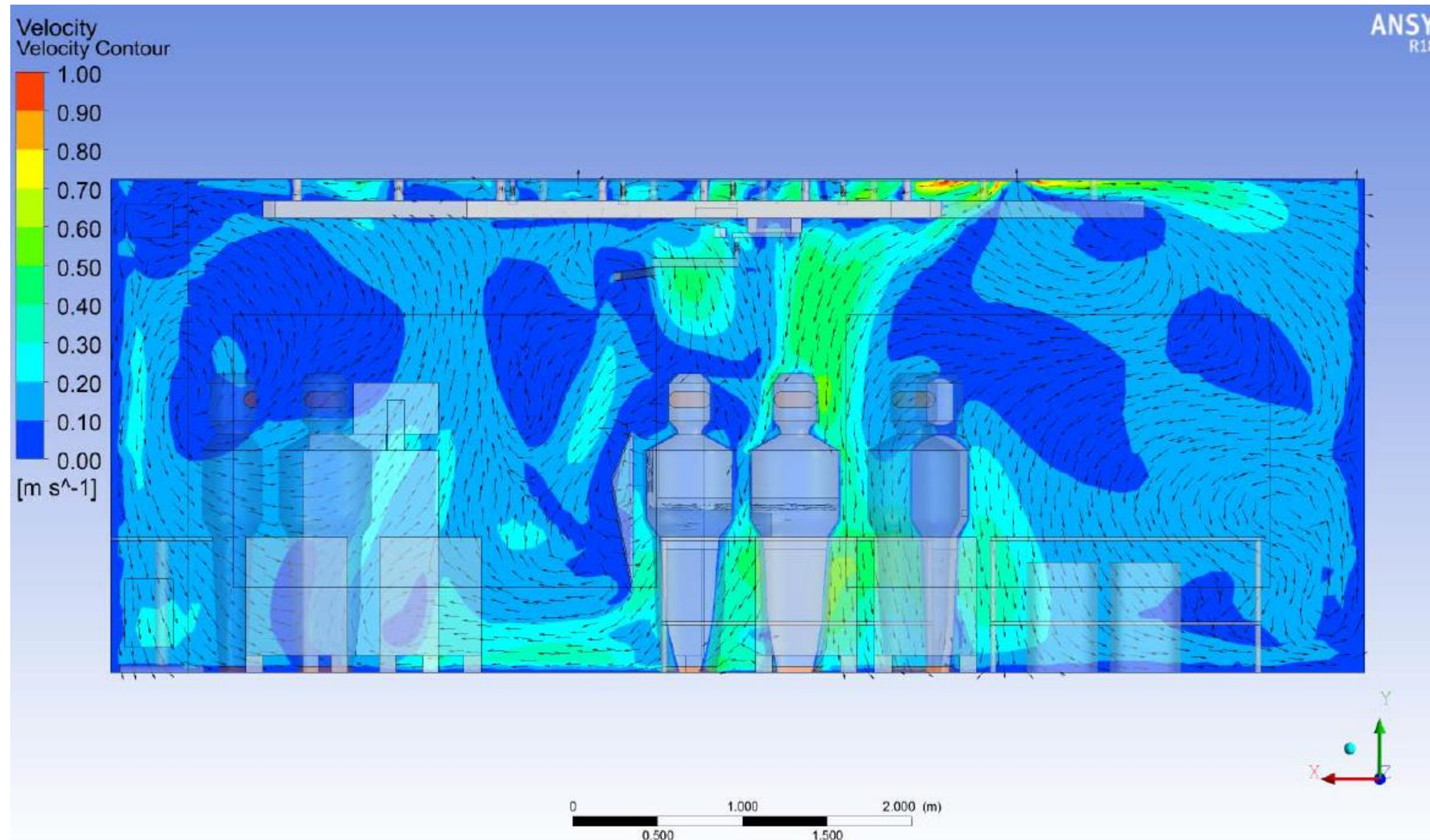
UZ Gent – porównanie systemów



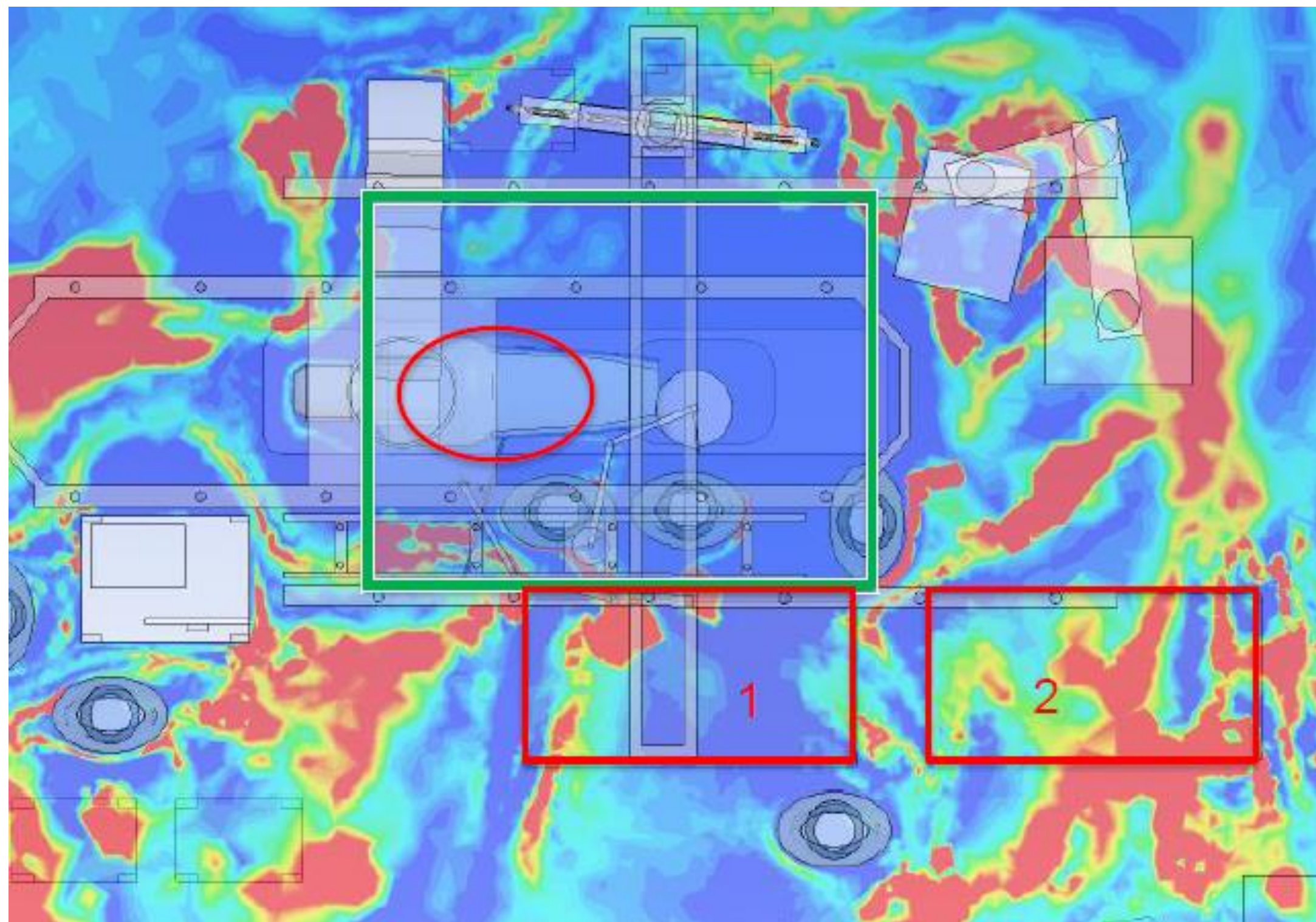
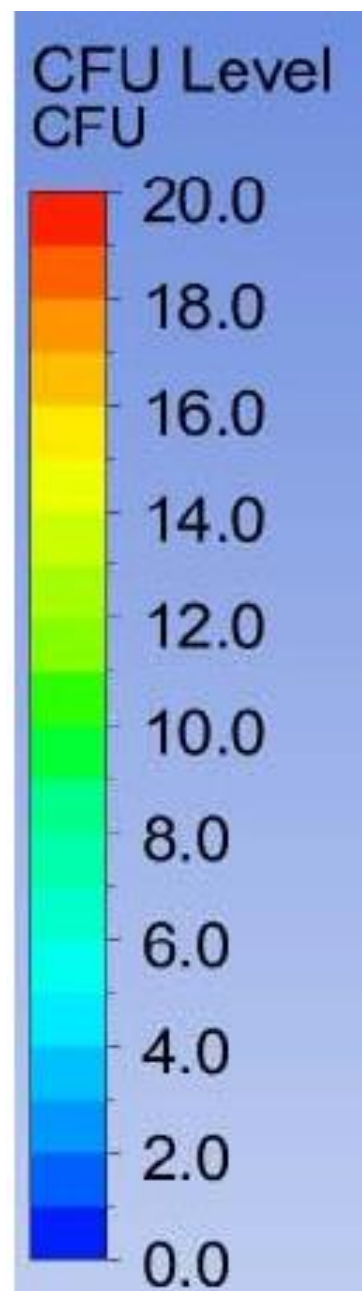
Profil prędkości – strop laminarny



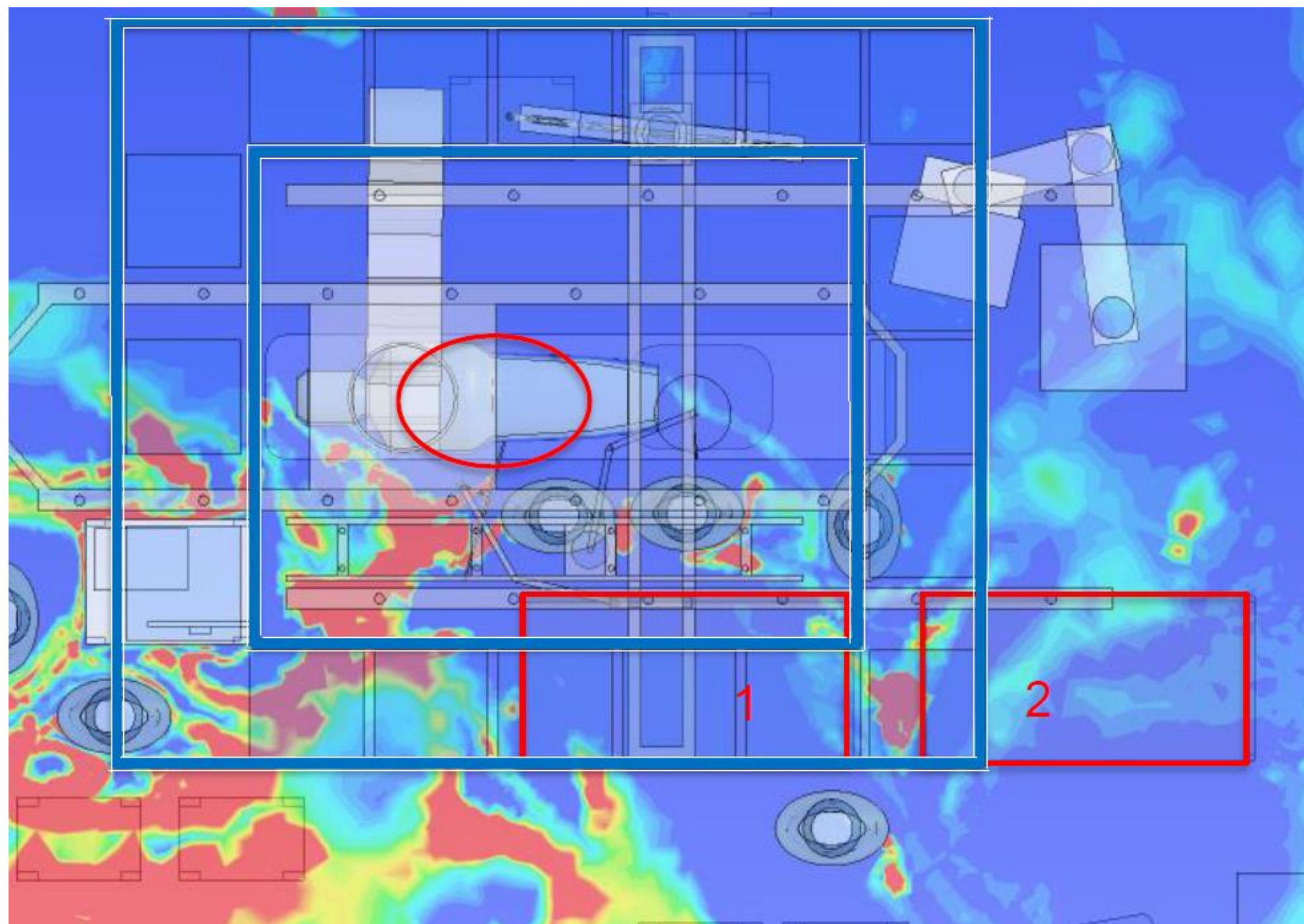
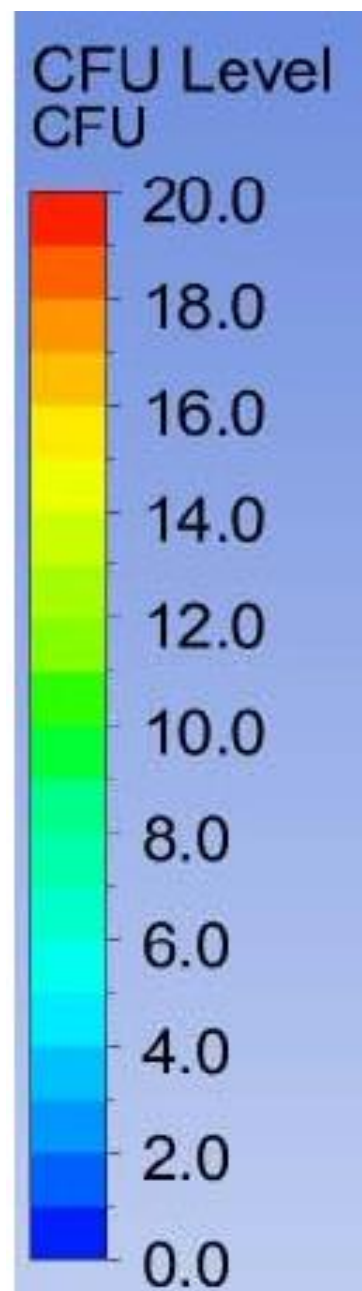
Profil prędkości – nawiew turbulentny



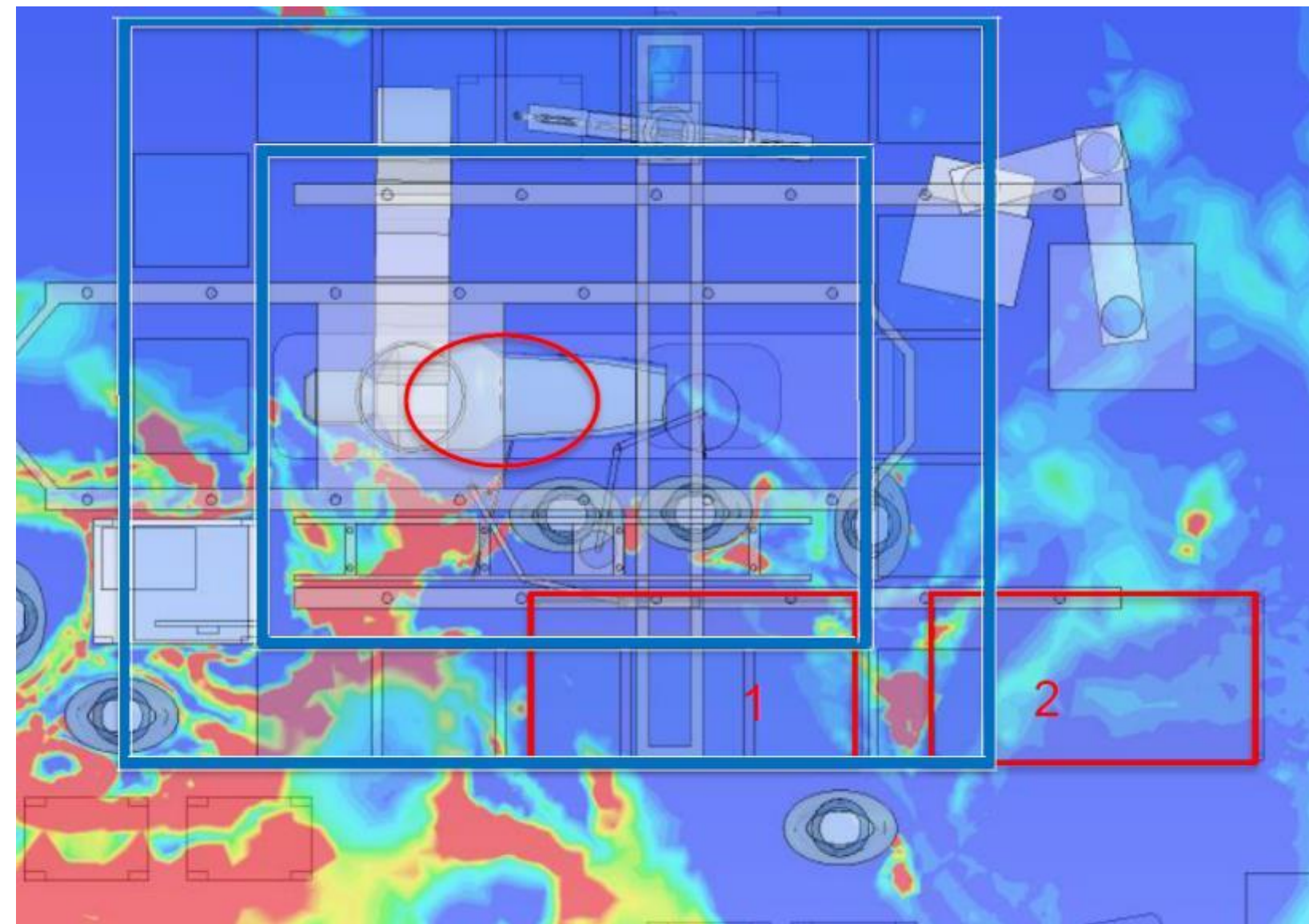
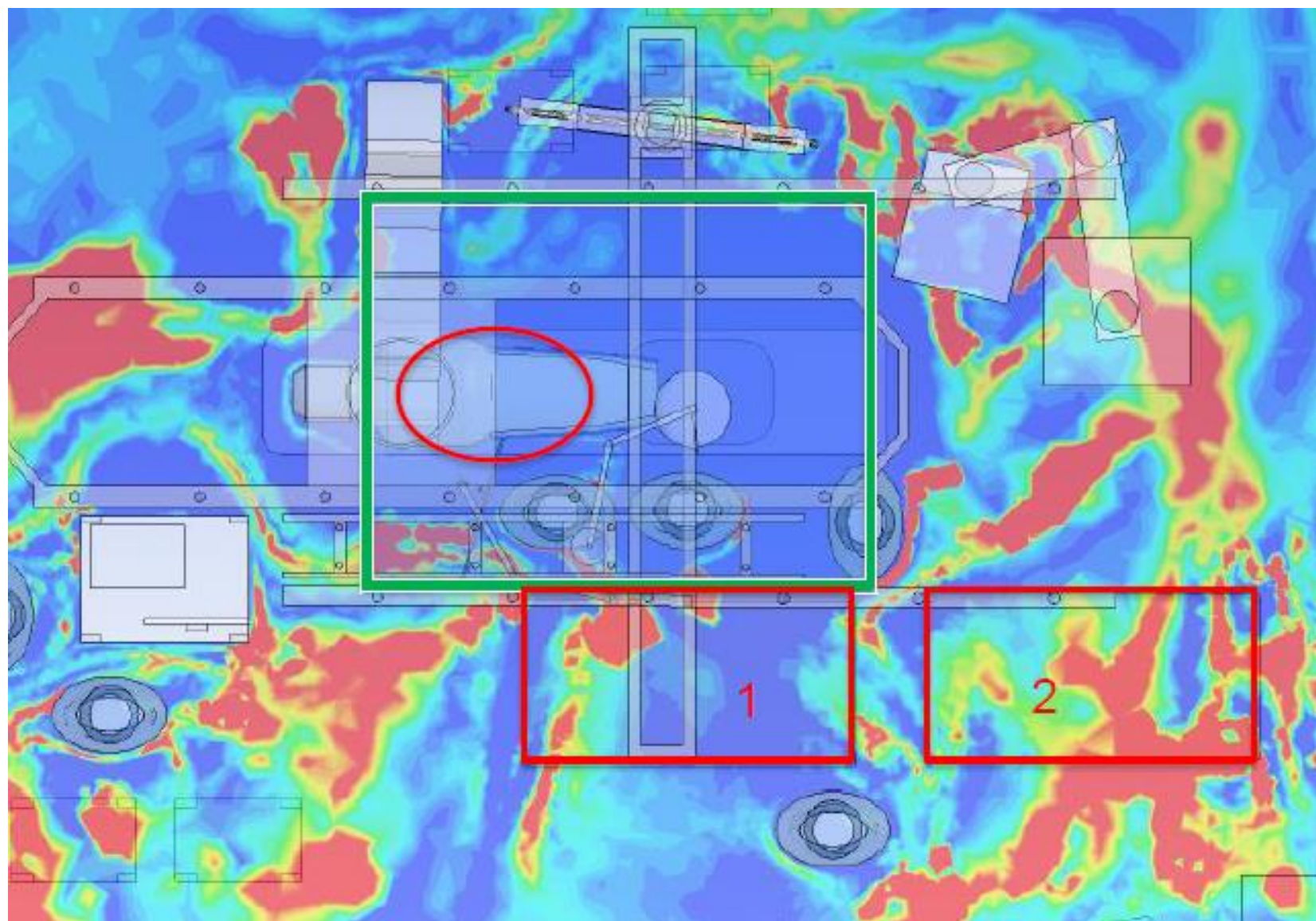
Jednostki tworzące kolonie



Jednostki tworzące kolonie



Ewaluacja zanieczyszczeń w strefach krytycznych i decyzja projektowa



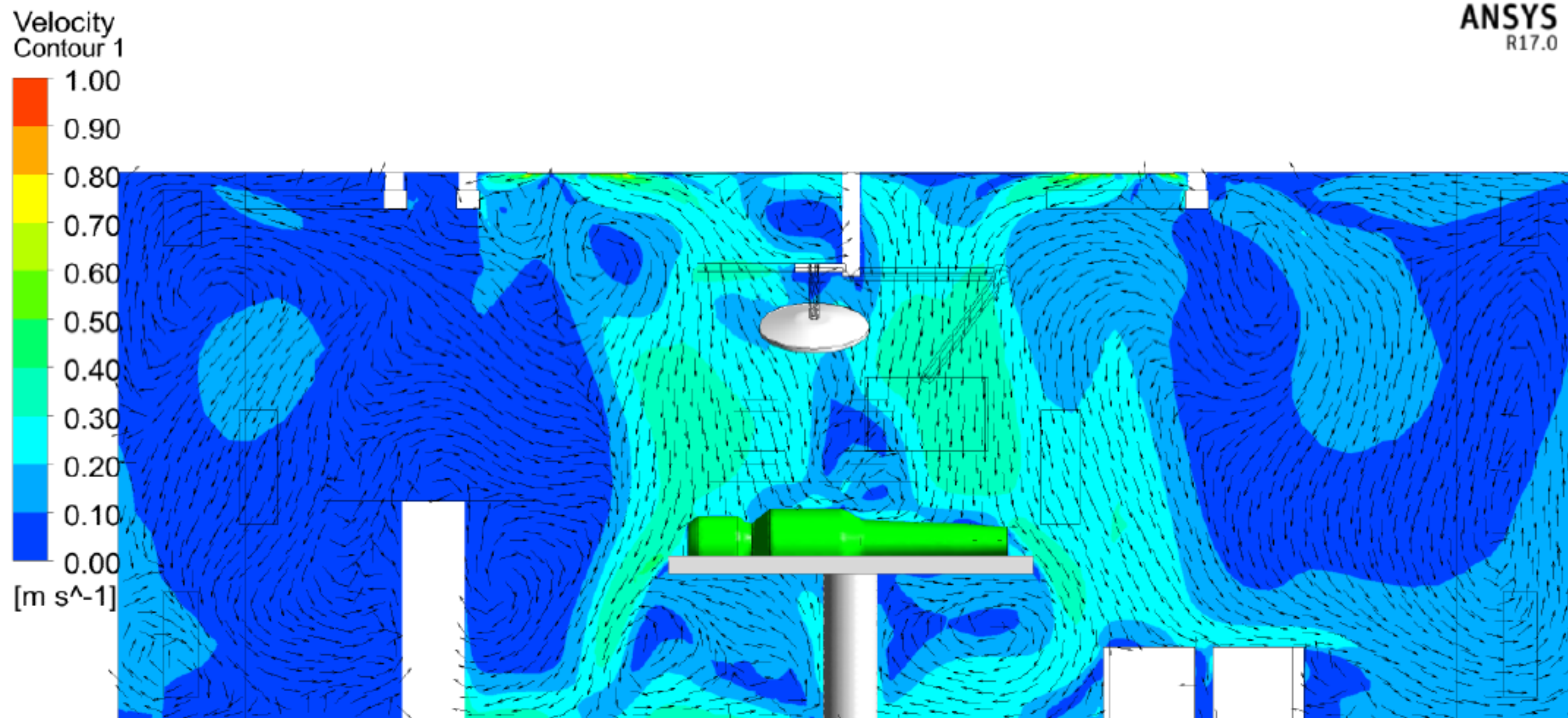
Wielkopolskie Centrum Zdrowia Dziecka

Analiza parametrów prędkości i temperatury
na etapie wyboru system



Wielkopolskie Centrum Zdrowia Dziecka

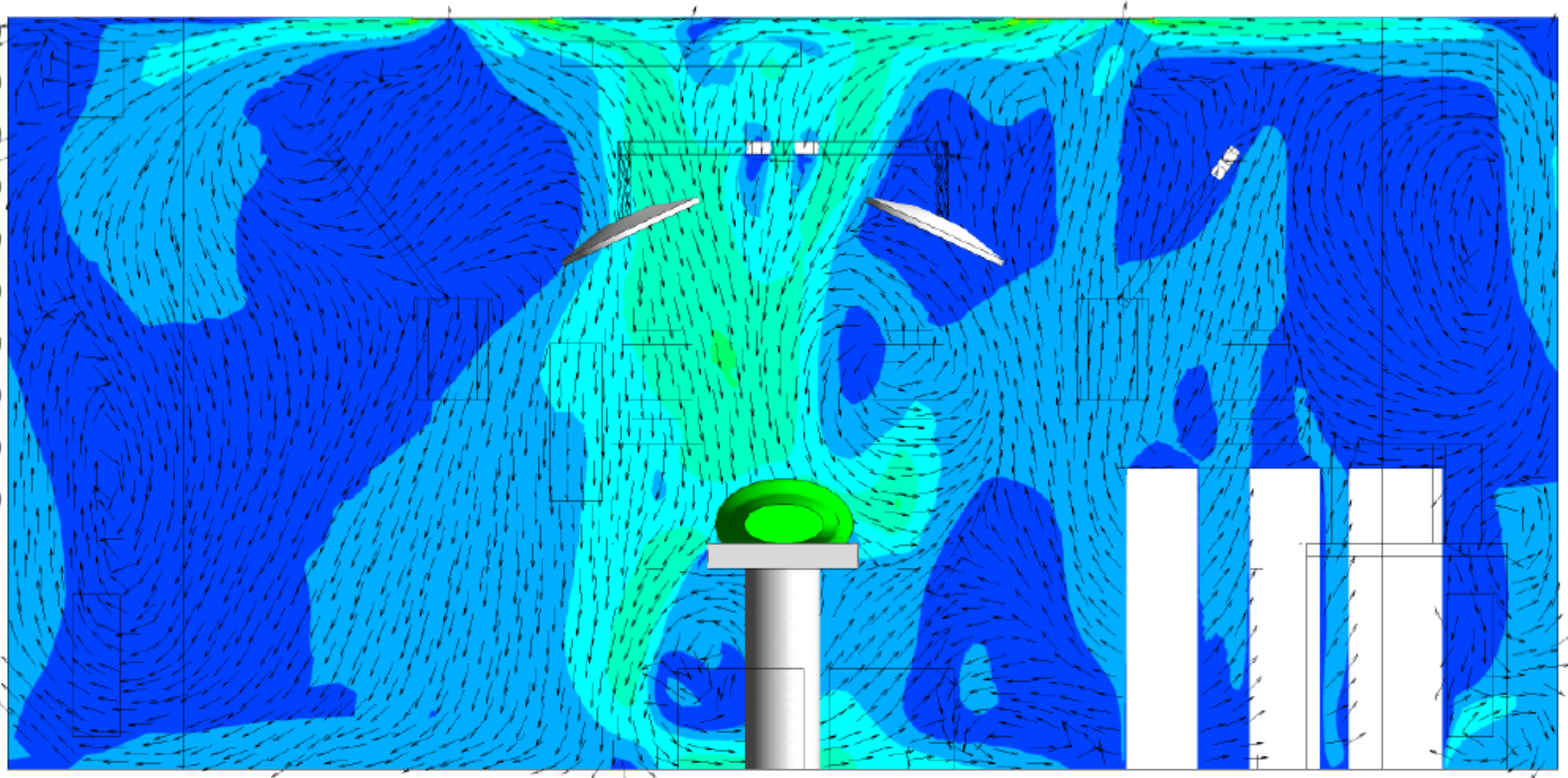
ANSYS
R17.0



Wielkopolskie Centrum Zdrowia Dziecka

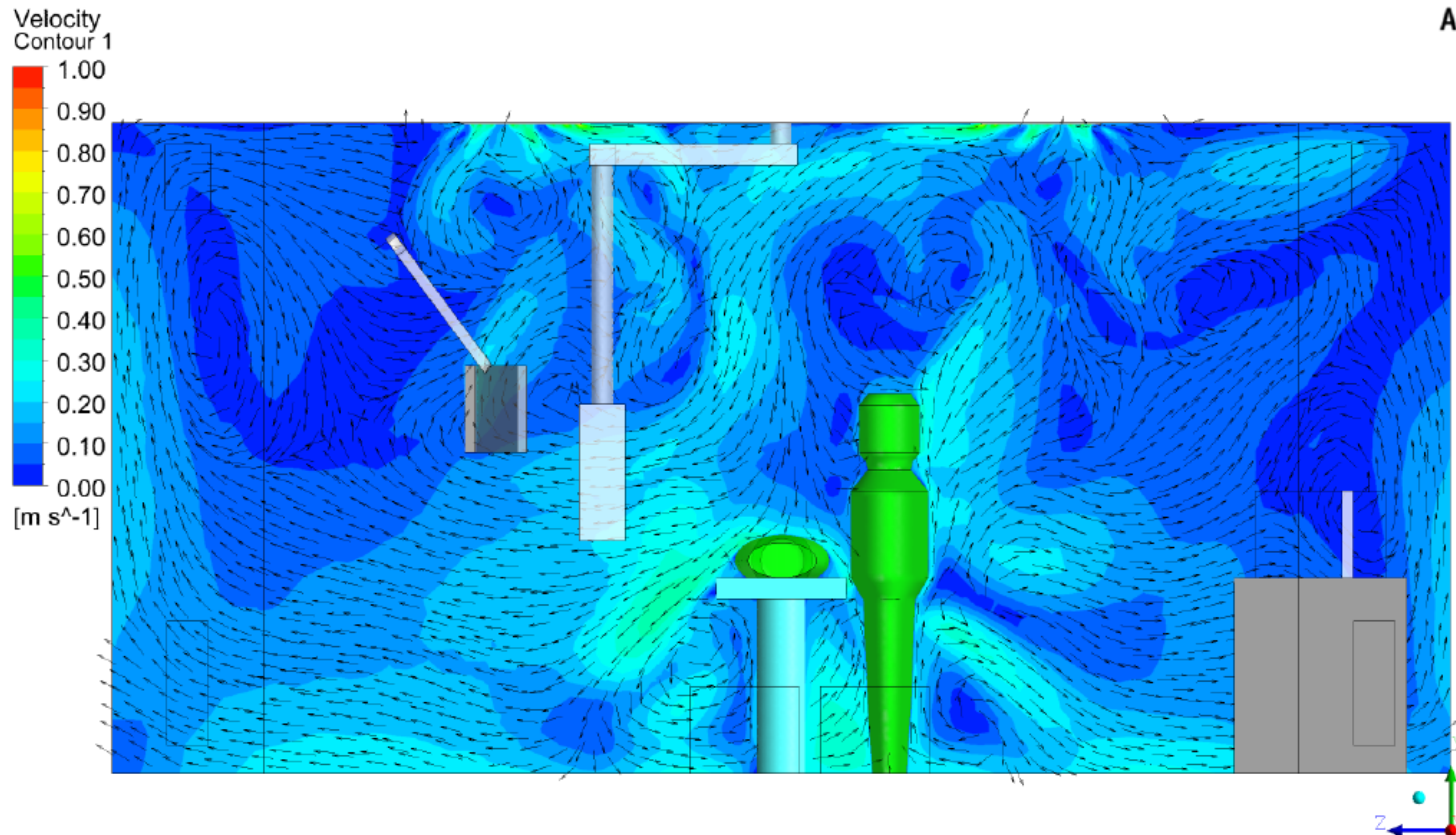
ANSYS
R17.0

Velocity
Contour 1
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
[m s⁻¹]



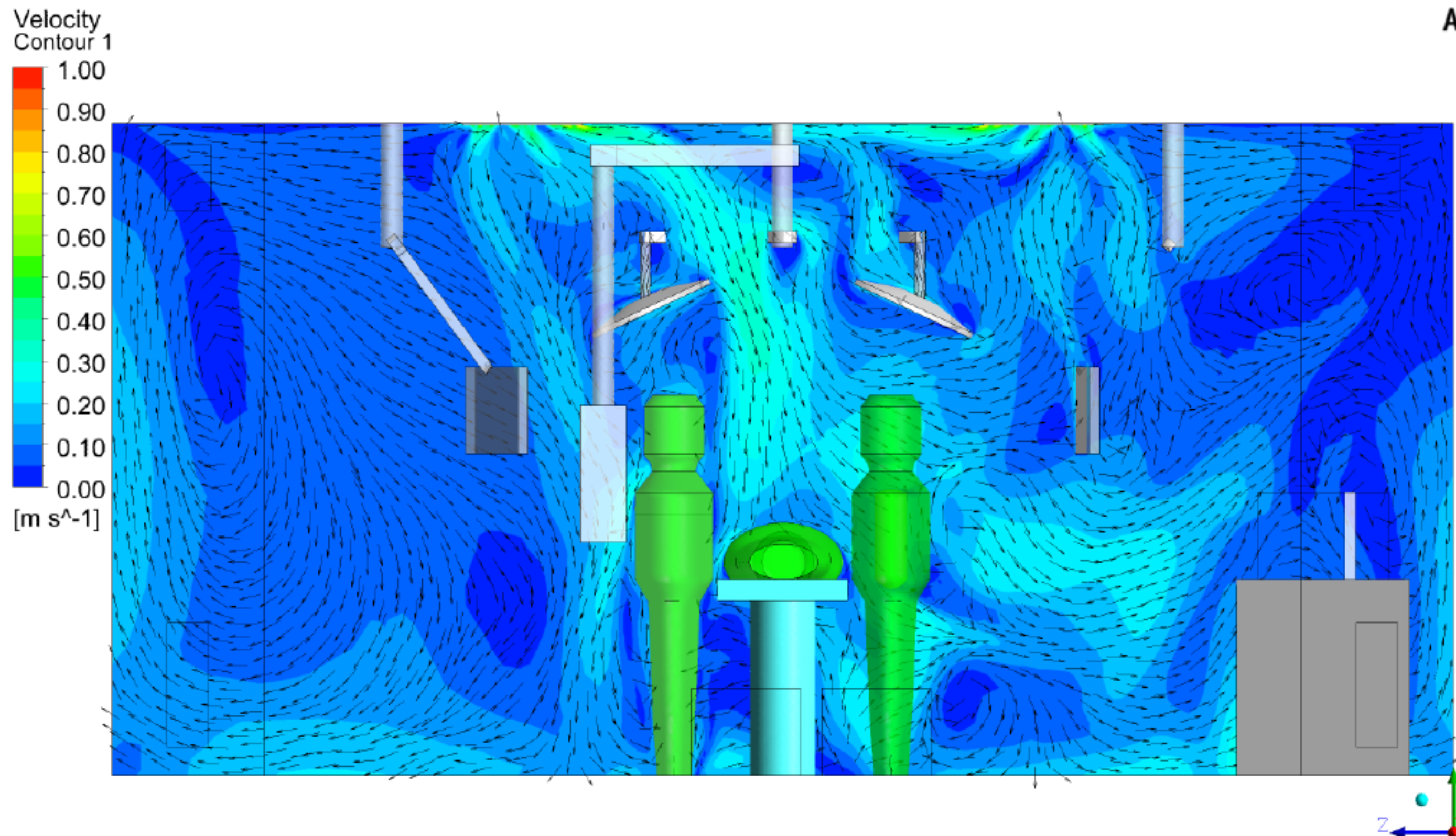
Wielkopolskie Centrum Zdrowia Dziecka

ANSYS
R18.2



Wielkopolskie Centrum Zdrowia Dziecka

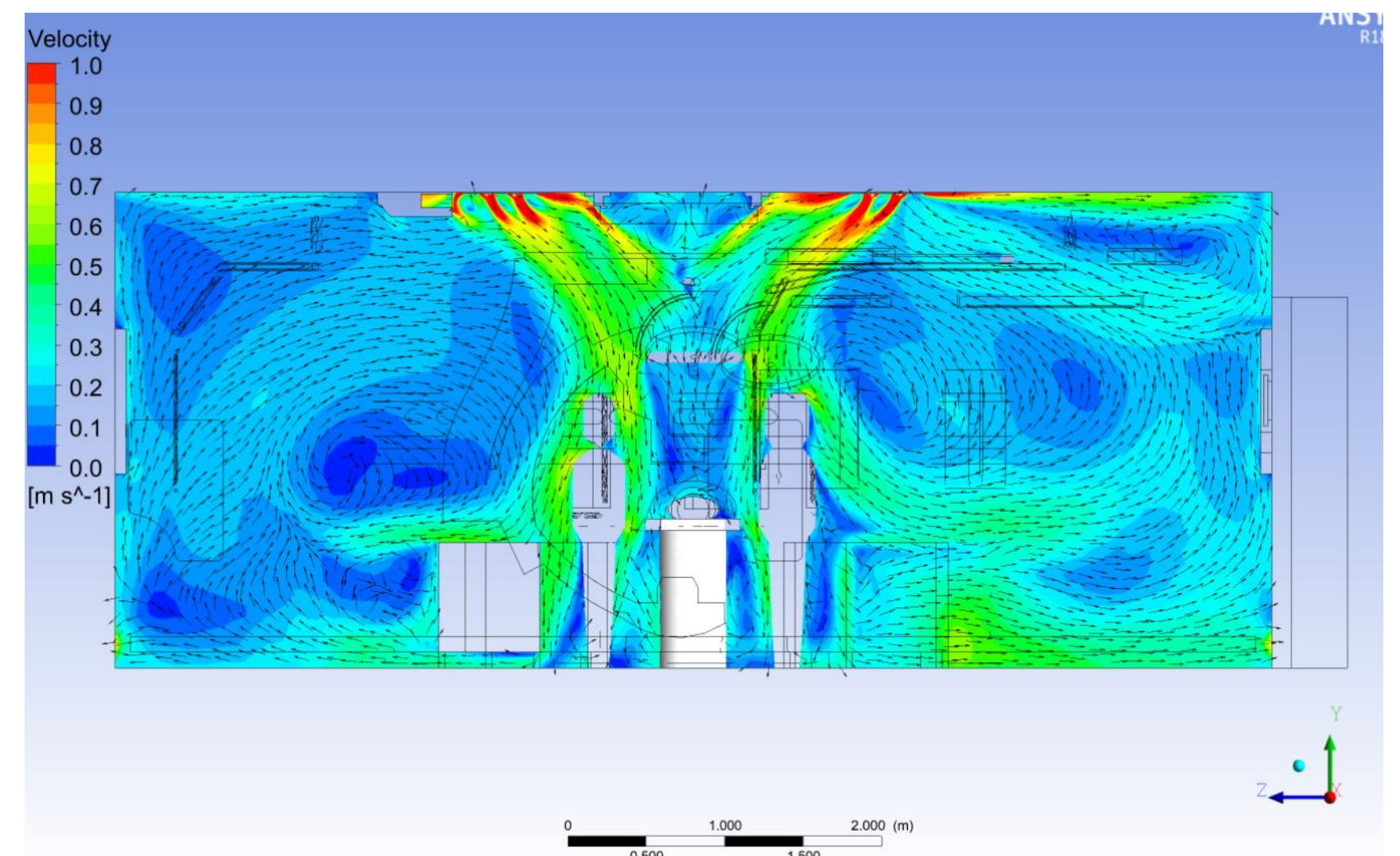
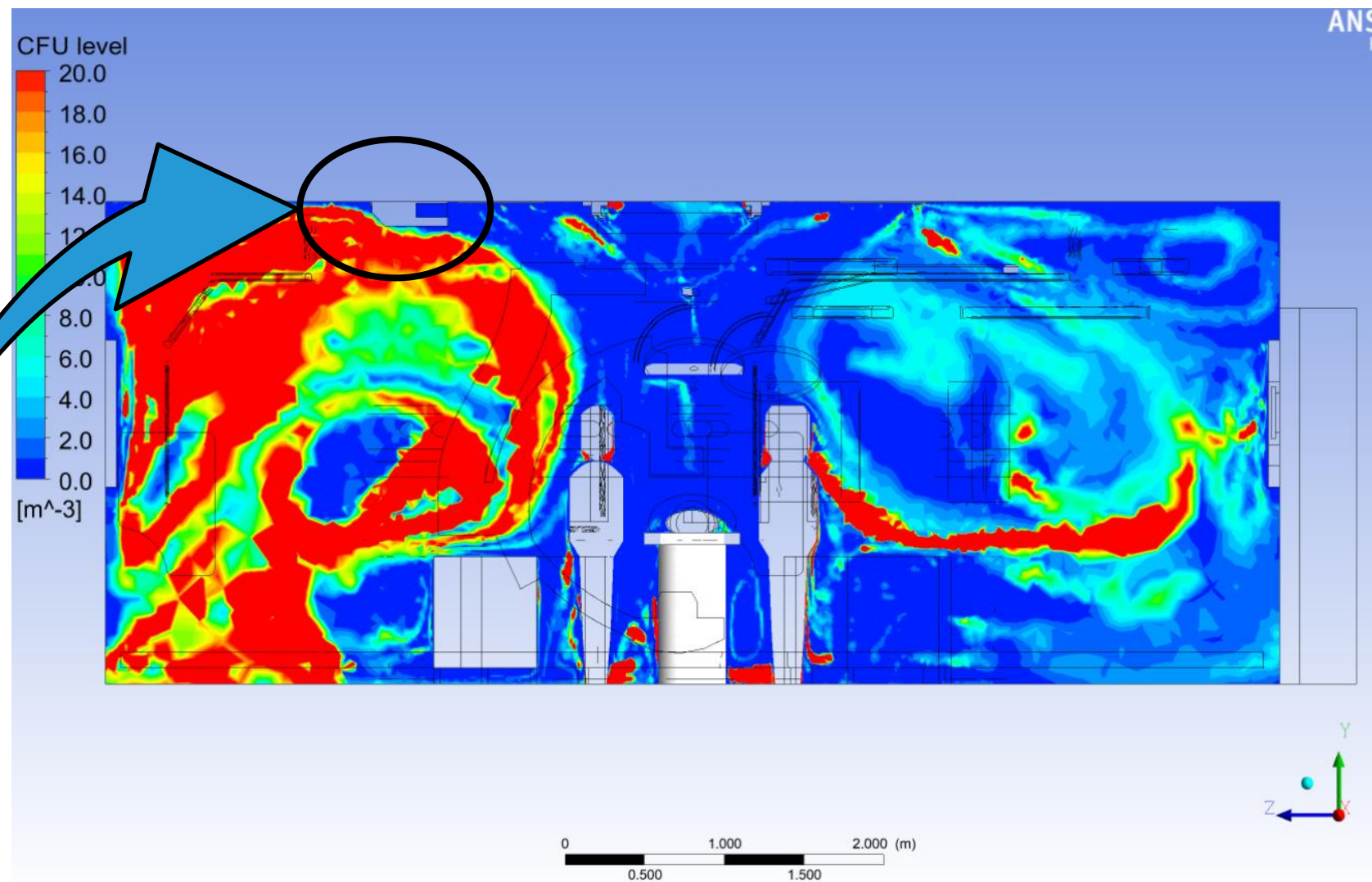
ANSYS
R18.2



Nij Smellinghe –
– jak poprawić wybrane rozwiązanie

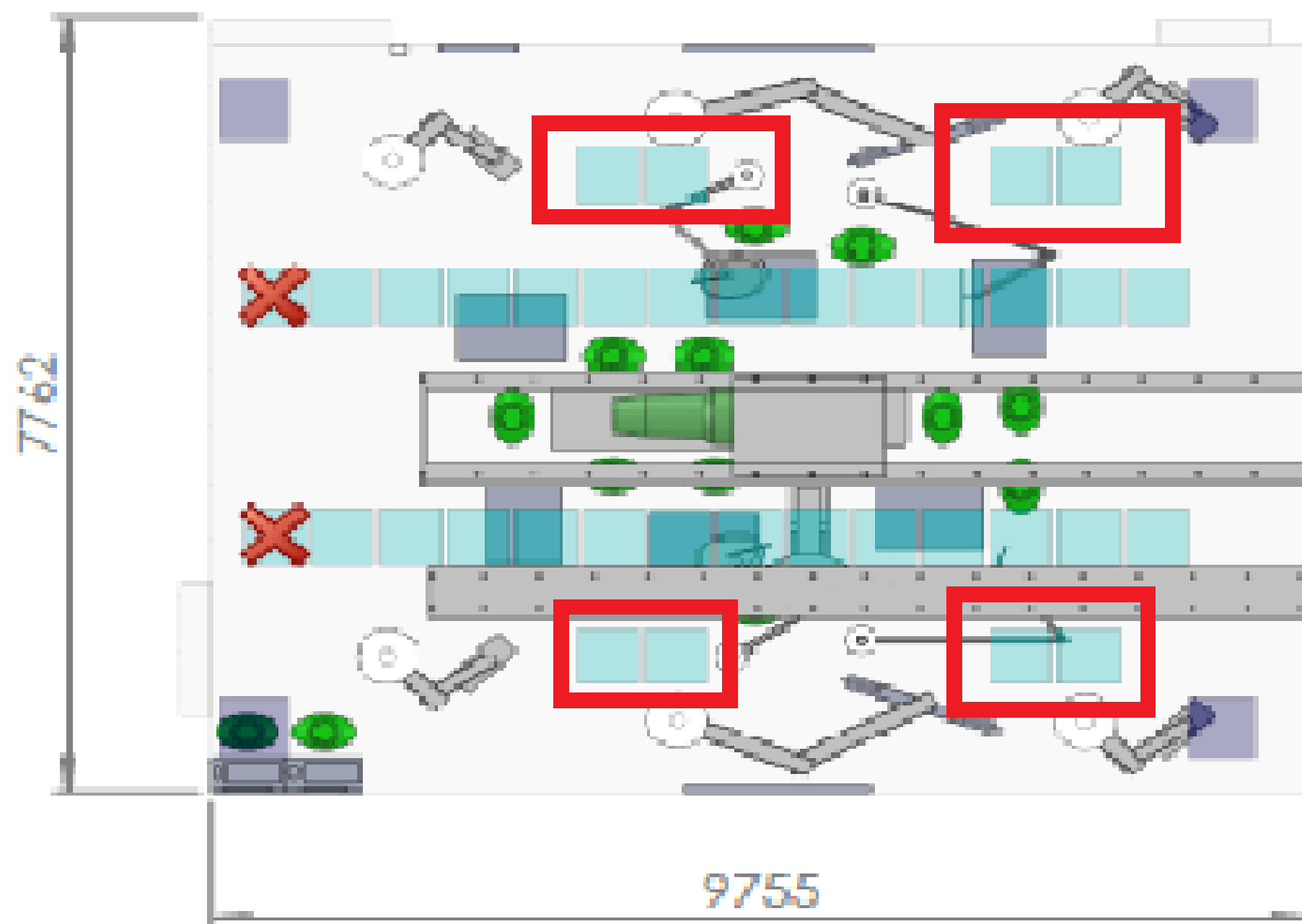


Nij Smellinghe – jak poprawić wybrane rozwiązanie

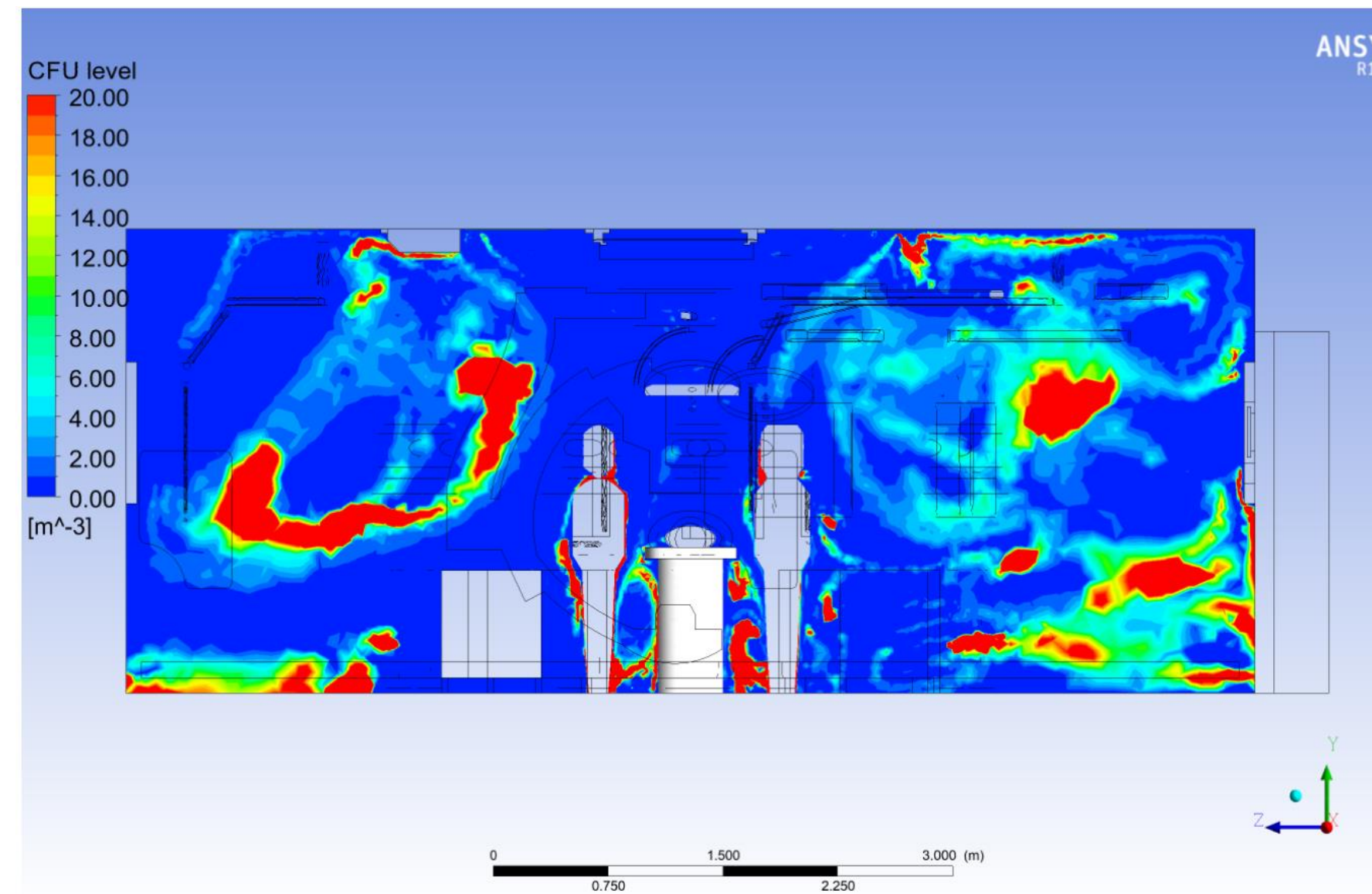
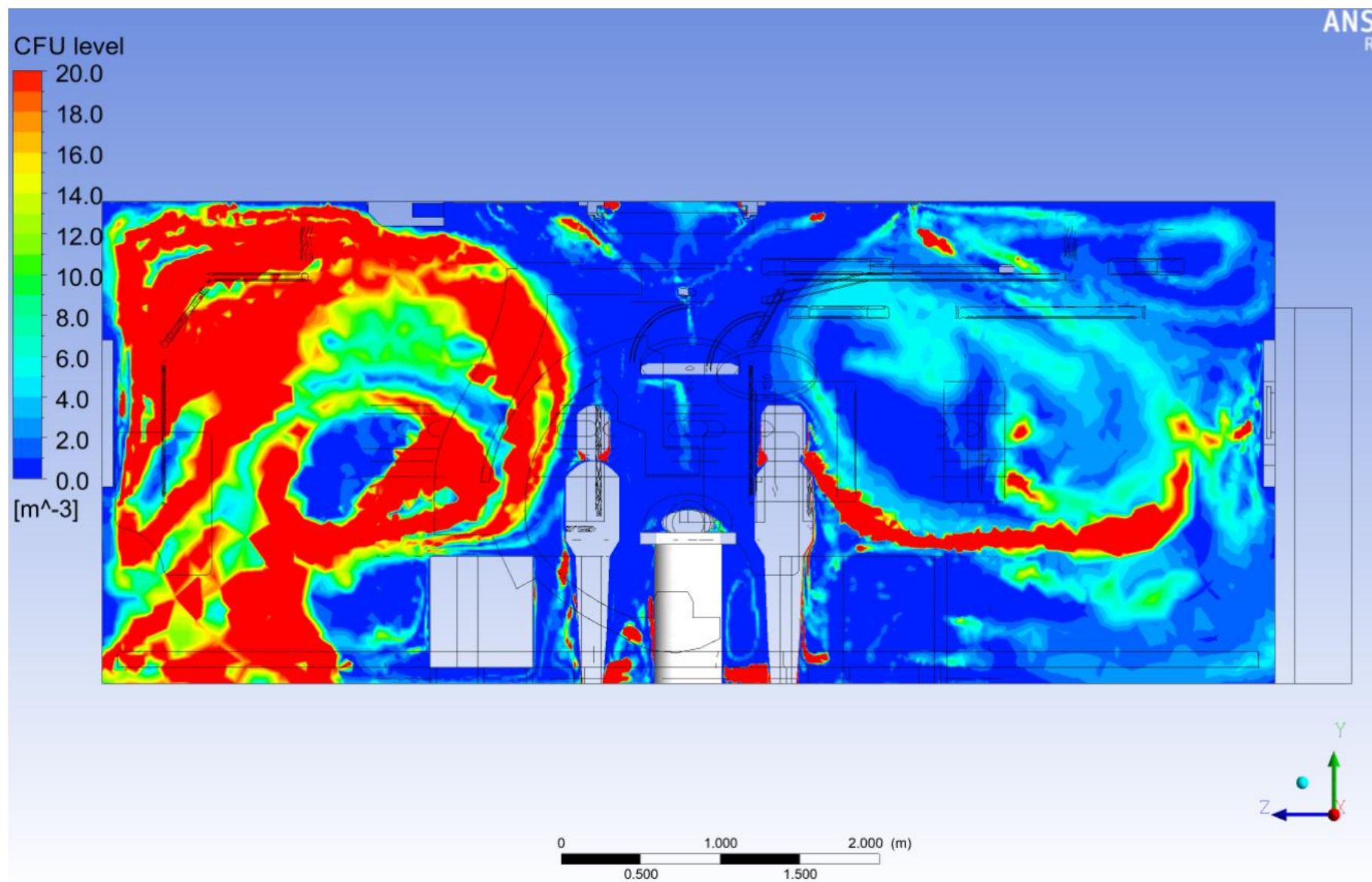


- I think these two pictures best clarify the problem with this kind of rails. The air velocity profile at the operating are looks OK, also the CFU levels above the operating table (0,53 CFU/m³) and overall CFU level in the whole room (7,4 CFU/m³) are about as good as before.
- But the CFU picture clearly shows that the dilution does not work well in the left side of the room.
- So I think we need to install the diffusers, or at least some of them, outside the cable duct. And think of something to make this more symmetric.

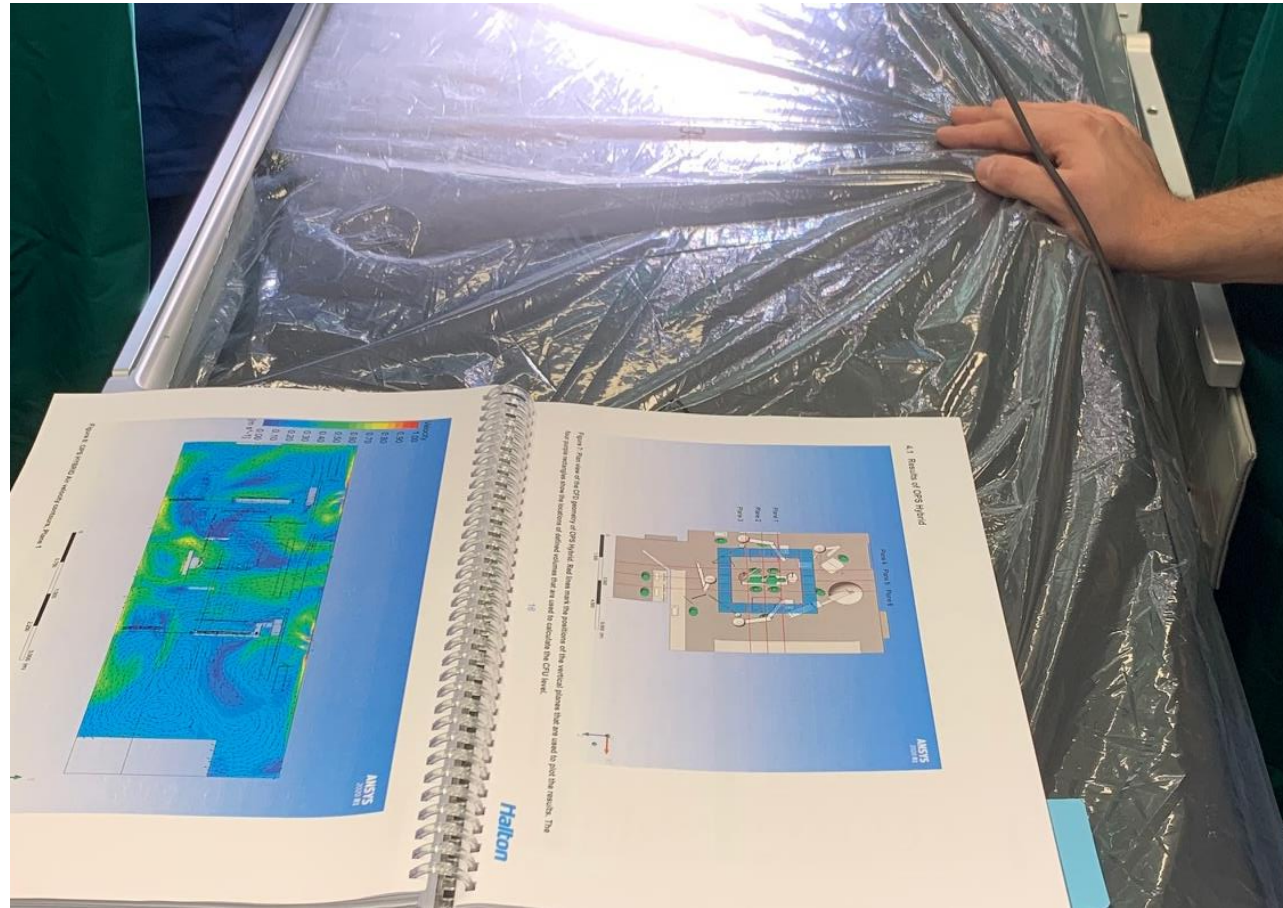
Zmiana lokalizacji nawiewników i ilości powietrza na poszczególnych urządzeniach



Zmiana lokalizacji nawiewników i ilości powietrza na poszczególnych urządzeniach



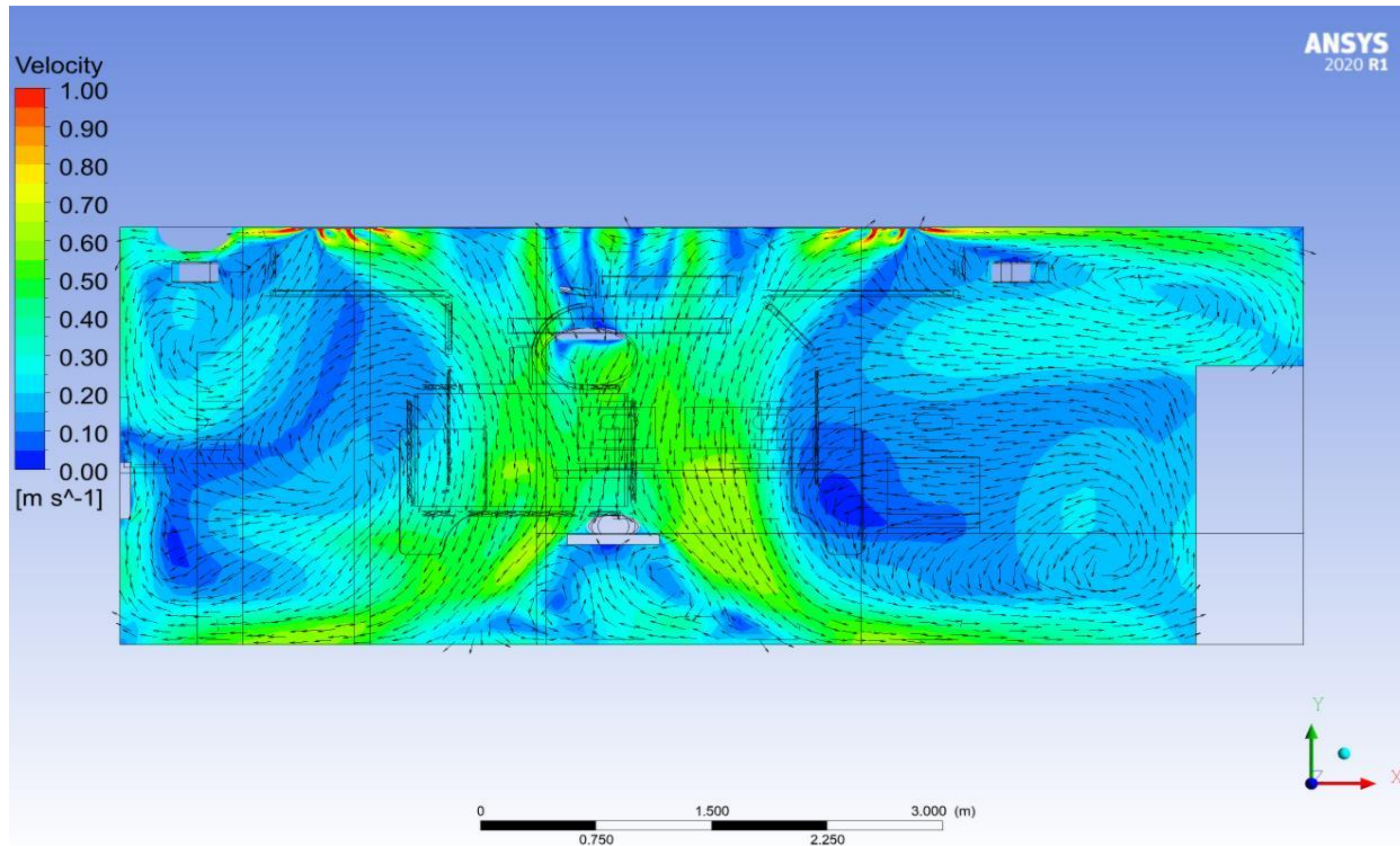
Kantospital Graubinded – weryfikacja JTK



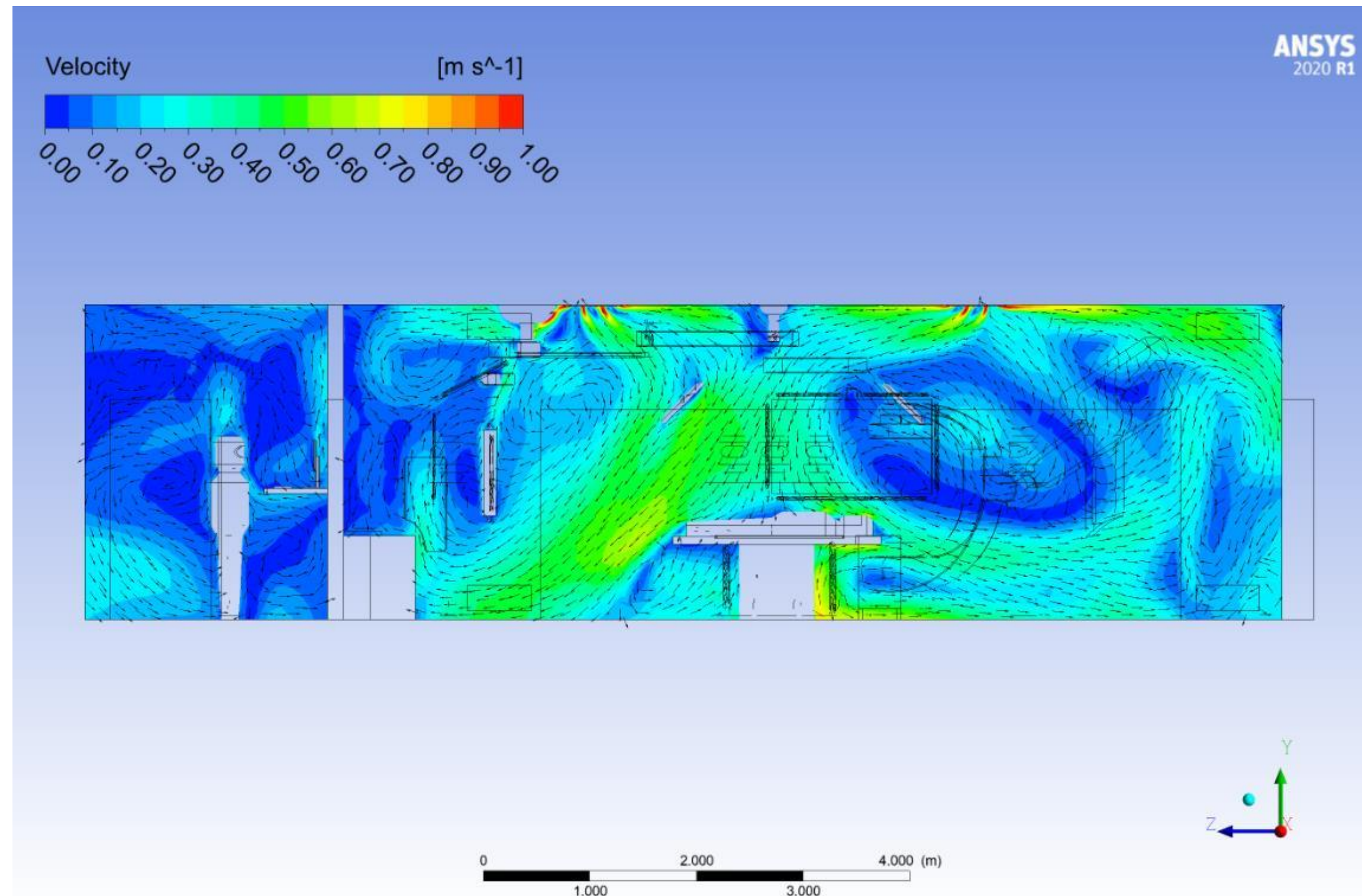
Kantospital Graubinded – weryfikacja JTK



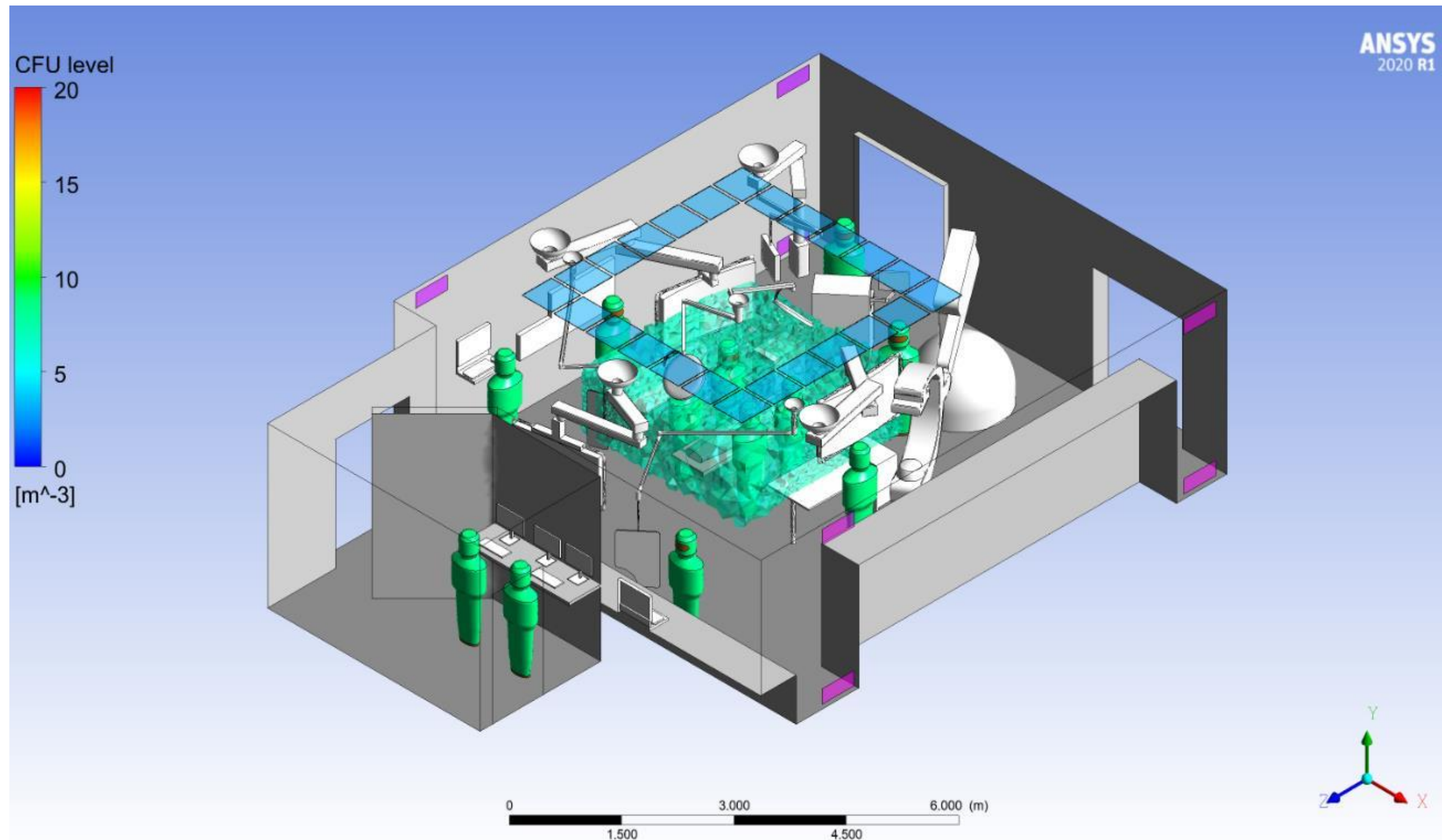
Kantospital Graubinded – weryfikacja JTK



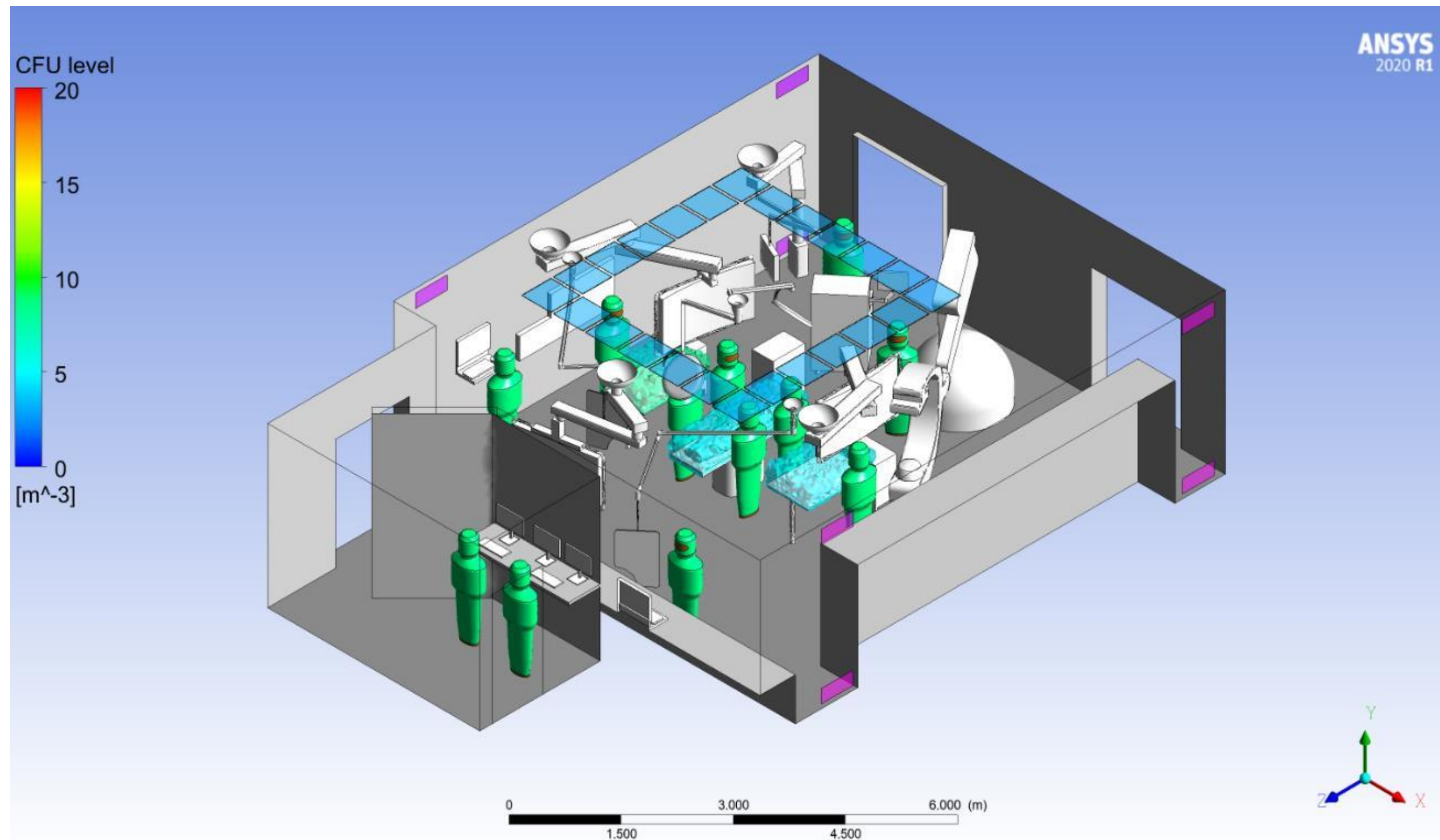
Kantospital Graubinded – weryfikacja JTK



Kantospital Graubinded – weryfikacja JTK



Kantospital Graubinded – weryfikacja JTK



Wnioski



Wnioski

- CFD okazuje się istotnym narzędziem do podejmowania ważnych decyzji dotyczących projektów / rozwiązań zarówno dla konsultantów, jak i personelu medycznego (personelu operacyjnego i specjalistów mikro-bio)
- Naprawdę ma znaczenie dla bezpieczeństwa mikrobiologicznego, jak rozprawdane jest powietrze
- Rzeczywiste (realistycznie symulowane) zachowanie powietrza może różnić się od naszych oczekiwań, które są oparte na podejściu tradycyjnym, nie zawsze biorąc pod uwagę rosnącą liczbę źródeł ciepła, źródła CFU (personel i odzież), rosnącą wielkość i siłę źródeł itp.
- Ważne jest, gdzie znajduje się personel
- Drzwi, kolumny medyczne, szyny, lampy itp. mają znaczący wpływ na osiągnięte rezultaty i są zmienne
- Tradycyjna walidacja (pomieszczenie w spoczynku, sprzęt poza strefą krytyczną) może być częściowo niemiarodajna dla bezpieczeństwa mikrobiologicznego pacjenta, szczególnie w pomieszczeniach hybrydowych i innych, które wymagają szerszej ochrony niż tradycyjnie rozumiana strefa krytyczna

Dziękuję!

Ismo Gronval
Pekka Kanerva
Zuzanna Krynicka
Bartosz Kaczmarek
Sander Ramioul
Jean-Paul Bindels
Bengt Samuelsson





Paweł Borowiecki

Q&A



Ismo Grönvall



ismo.gronvall@halton.com
pawel.borowiecki@halton.com