

## WENTYLACJA STRUMIENIOWA

Marek Magdziarz

ul. Magnacka 7 lok.39

02-496 Warszawa

tel. kom.: 607 324 445

email: [marek.cfd@gmail.com](mailto:marek.cfd@gmail.com)

*Doświadczenie 12-u lat modelowania CFD:*

*Modelowanie oddymiania i instalacji tryskaczowej*

*Modelowanie warunków komfortu termicznego*

*Modelowanie zanieczyszczeń powietrza wewnątrz i wokół budynków*

*Modelowanie wiatru, nasłonecznienia, zacienienia*

*Modelowanie wentylacji, klimatyzacji, ogrzewania*

*Modelowanie systemów różnicowania ciśnień klatek schodowych*

## EKSPERTYZA TECHNICZNA

„ANALIZA NUMERYCZNA CFD

Z OCENĄ ZAPROJEKTOWANEGO ROZWIĄZANIA

SYSTEMU ODDYMIANIA KLATEK SCHODOWYCH

W BUDYNKU DOMU STUDENCKIEGO UAM

przy ul. Umultowskiej w Poznaniu”

Temat projektowy:

Dom studencki dla celów szkoły wyższej - UAM, uzupełniony o funkcje usługowe, z wewnętrzną komunikacją, parkingami i infrastrukturą techniczną, na terenie dz. nr ewid. 277, 278/1, 278/4, 278/3 ark. 28, obr. Morasko, położonego przy ul. Umultowskiej w Poznaniu

Autor opracowania: Marek Magdziarz, nr. upr. bud. MAZ/0118/PWOS/03



mgr inż. Marek Magdziarz

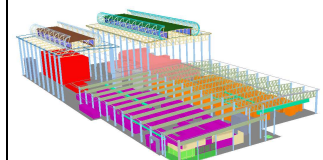
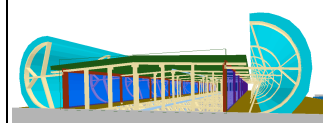
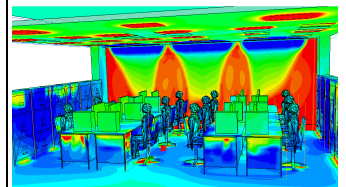
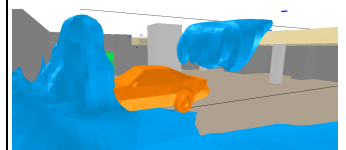
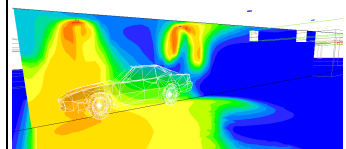
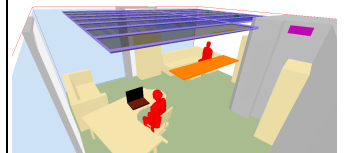
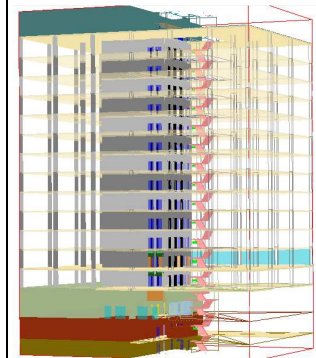
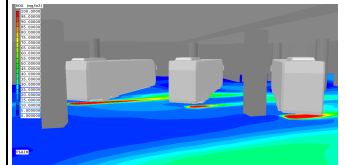
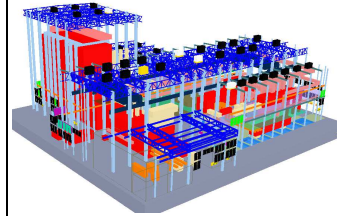
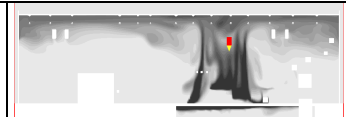
Pracownia budowlana do projektowania i kierowania robotami bez ograniczeń w specjalności instalacyjnej w zakresie sieci, instalacji i urządzeń cieplnych, wentylacyjnych, gazowych, wodociągowych i kanalizacyjnych

Nr ewidencyjny uprawnień: MAZ/0118/PWOS/03

WENTYLACJA STRUMIENIOWA  
Marek Magdziarz

02-496 Warszawa, ul. Magnacka 7 lok. 39  
NIP 113-107-62-57

Opracowanie jest chronione prawami autorskimi. Wszelkie prawa do opracowania przysługują właścicielowi praw autorskich, łącznie z prawem do kopiowania całości lub części opracowania, a jego reprodukcja lub przeróbka na nośnikach elektronicznych lub w wersji drukowanej wymaga zgody właściciela praw autorskich.



## *Spis treści*

1.	Przedmiot opracowania .....	3
2.	Podstawa opracowania.....	3
3.	Założenia projektowe.....	3
3.1.	Klatka schodowa ozn. S .....	3
4.	Przyjęte modele CFD i kryteria .....	4
4.1.	Modele CFD.....	4
4.2.	Kryterium oceny.....	5
5.	Komputerowe modelowania CFD .....	6
5.1.	Modelowania dla klatki schodowej ozn. S .....	6
5.1.1.	Geometria modelu .....	6
5.1.2.	Graficzne wyniki obliczeń CFD .....	7
6.	Analiza wyników oraz wnioski.....	22
7.	Zalecenia końcowe .....	22

# 1. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest system oddymiania z kompensacyjnym nawiewem mechanicznym dla klatki schodowej ozn. **S** w budynku domu studenckiego w Poznaniu przy ul. Umultowskiej. W budynku znajdują się także klatki schodowe ozn. E, N, W o takiej samej powierzchni w rzucie  $16.67\text{m}^2$  i takiej samej wysokości pomiędzy posadzką na 1-yim piętrze (poziomie +2) a szczytem klatki schodowej jak klatka ozn. S, lecz różniącą się wysokością kondygnacji parteru (poziomu +1). Z tego powodu nie zachodzi konieczność wykonywania analizy CFD dla klatek E, N i W.

Celem opracowania jest sprawdzenie systemów czy spełni on stawiany mu cel tj. zapewni skuteczne oddymianie przez wyznaczenie *Czasu Skutecznego Oddymiania Klatki* - **CSOK**, który nie może być dłuższy niż *Graniczny Czas Oddymiania Klatki* - **GCOK** wg. kryteriów i założeń podanych w pkt. 4.2.

Klatka schodowa będzie oddymiania za pomocą klapy oddymiającej u szczytu wraz z nawiewem mechanicznym u dołu i takie rozwiązanie pozwala na wymuszony mechanicznie przepływ wychłodzonego dymu od dołu klatki do jej szczytu i dalej na zewnątrz. Analizy zostały opisane w dalszej części opracowania w pkt. 3, 4, 5.1 dla warunków izotermicznych, letnich i zimowych.

# 2. Podstawa opracowania

Opracowanie sporządzono na podstawie:

- zlecenia Zamawiającego,
- projektu architektury i wentylacji z listopada 2019r,
- wyników symulacji komputerowej wraz z graficznym ich zobrazowaniem uzyskanych za pomocą licencjonowanego programu komputerowego PHOENICS FLAIR wersja 2016,
- zasad wiedzy technicznej:
  - a) wiedza techniczna w zakresie oddymiania klatek schodowych
  - b) norma PN-82/B-02403 „Ogrzewnictwo – Temperatuty obliczeniowe zewnętrzne”

# 3. Założenia projektowe

## 3.1. Klatka schodowa ozn. S

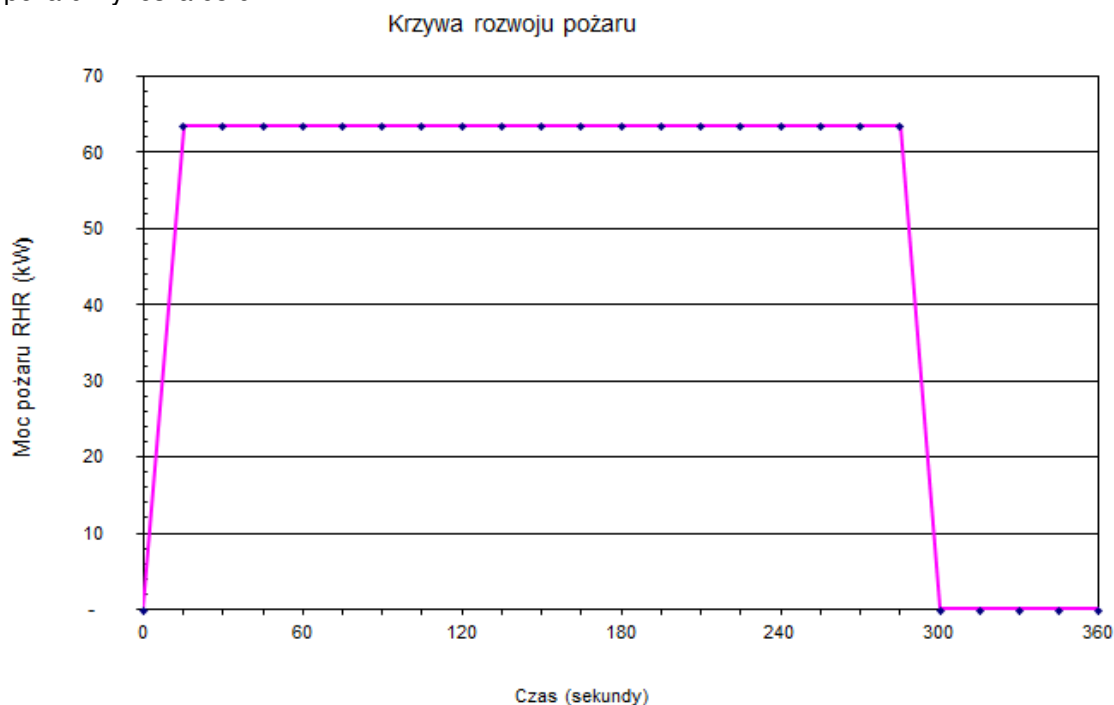
- a) klatka schodowa ozn. **S** zaprojektowana jest w budynku przy osiach 5-6/E-F i jej wysokość od najniższej położonej posadzki do stropu z otworem dla klapy dymowej wynosi 17.36m. Klatka składa się z 5-u kondygnacji nadziemnych. Powierzchnia w rzucie klatki wynosi  $16.67\text{m}^2$ . Wymagana minimalna powierzchnia klapy  $A_{cz}$  wynosi nie mniej  $1\text{m}^2$  i nie mniej niż 5% powierzchni rzutu klatki, stąd:  
 $A_{cz} = 16.67 \cdot 0.05 = 0.83\text{m}^2$  i przyjęto minimalną wymaganą  $A_{cz}=1.0\text{m}^2$
- b) modele geometrii 3D klatki schodowej przedstawione są w pkt. 5.1. Zbudowane są w oparciu o projekty architektoniczne otrzymane od zamawiającego. Elementy systemu oddymiania pokazano na obrazach geometrii 3D modelu.
- c) klatka schodowa jest wyposażona w rozwiązanie do usuwania dymu składające się z elementów:
  - nawiewu mechanicznego na kondygnacji parteru (poziom +1): o wydajności  $8\,000\text{m}^3/\text{h}$  z kratą  $1000 \times 600\text{mm}$  na wysokości 5cm nad posadzką,
  - klapy oddymiającej do odprowadzenia dymu zaprojektowanej u szczytu klatki i o wymiarach  $125 \times 125\text{cm}$  typu C125 z podstawą  $h=500\text{mm}$  i o powierzchni czynnej  $A_{cz}=1.05\text{m}^2$ . Kłapa musi być podłączona do monitoringu stanu otwarcia w centrali systemu sterowania oddymianiem (COD), aysterowanie włączenia wentylatora napowietrzającego klatkę może być wykonane wyłącznie po uprzednim potwierdzeniu w centralce, że kłapa została otwarta.
- d) uwzględniono nieszczelności na drzwiach w klasie EIS w klatce: o łącznej powierzchni  $0.04\text{m}^2$
- e) w scenariuszach założono pożar na 1 piętrze (poziom +2) nad parterem
- f) prędkość ruchu powietrza na drogach ewakuacyjnych nie może przekraczać granicznej wartości bezpieczeństwa  $5.0\text{m/s}$
- g) zakłada się rozpoczęcie pożaru testowego w chwili 0 sek. modelowania, a przebieg i czas trwania pożaru przyjęto wg. krzywej rys. 4.1.h w pkt.4.1
- h) zakłada się wykonanie 3 symulacji dla klatki:
  - dla warunków izotermicznych i przyjęto temperatury początkowe:
    - o powietrza zewnętrznego  $+20^\circ\text{C}$
    - o powietrza wewnętrznego  $+20^\circ\text{C}$
    - o przegród budowlanych wewnętrznych i zewnętrznych  $+20^\circ\text{C}$
  - dla warunków letnich i przyjęto temperatury początkowe:

- o powietrza zewnętrznego  $+30^{\circ}\text{C}$  (strefa klimatyczna nr II)
- o powietrza wewnętrznego  $+24^{\circ}\text{C}$
- o przegród budowlanych wewnętrznych i zewnętrznych  $+24^{\circ}\text{C}$
- dla warunków zimowych i przyjęto temperatury początkowe:
  - o powietrza zewnętrznego  $-18^{\circ}\text{C}$  (strefa klimatyczna nr II)
  - o powietrza wewnętrznego  $+16^{\circ}\text{C}$
  - o przegród budowlanych wewnętrznych i zewnętrznych  $+16^{\circ}\text{C}$
- i) włączenie systemu nawiewu powietrza do klatki schodowej oraz otwarcie się klapy nastąpi w chwili 360sek. modelowania
- j) czas trwania modelowania dla wszystkich warunków (letnich, zimowych i izotermicznych): do chwili uzyskania skutecznego oddymiania klatki tj. kiedy wystąpi czas **CSOK**

## 4. Przyjęte modele CFD i kryteria

### 4.1. Modele CFD

- a) Przyjęto model przepływów turbulentnych: „ $k-\epsilon$ ”
- b) Przyjęto, że promieniowanie stanowi 30% całkowitego strumienia wyzwalanego ciepła
- c) Uwzględniono wymianę ciepła przez powietrze z otaczającymi przegrodami wewnętrznymi i zewnętrznymi
- d) W modelach geometrii zastosowano kartezjańską siatkę obliczeniową o zmiennej wielkości komórek i w scenariuszach ilość komórek wynosiła:
  - dla modelowania izotermicznego: 806 650
  - dla modelowania dla lata: 806 650
  - dla modelowania dla zimy: 1 523 880
- e) Przyjęto stałą w czasie emisję dymu „smoke yield”: 0.05 kg/(kg paliwa)
- f) Przyjęto wymiary źródła pożaru testowego: 0.30m x 0.45m x 0.25m
- g) Przyjęto ciepło spalania stałe w czasie: 26 780 kJ/kg
- h) Przyjęto krzywą rozwoju pożaru testowego wg. poniższego rysunku, a maksymalna wartość mocy pożaru wynosiła 63.6kW:



Rys. 4.1.h Przebieg krzywej rozwoju pożaru testowego w modelowaniach.

## 4.2. Kryterium oceny

Dla oceny rozwiązania wyznaczono *Graniczny Czas Oddymienia Klatki* – **GCOK** dla klatki S, który jest iloczynem **szybkości usuwania dymu „S”** oraz **wysokości „h” między poziomem pożaru testowego a punktem pomiarowym**, na którym analizowana jest transmitancja światła:

- h = 11.18m
- S = 18 sek./m

$$GCOK = S * h = 18 \text{ sek./m} * 11.18\text{m} = \mathbf{201 \text{ sek.}}$$

Zwraca się uwagę, że dla pozostałych klatek schodowych ozn. E, N, W w budynku wysokość „h” także wynosi 11.18m, a więc klatki cechują się podobieństwem i tym samym czasem **GCOK**.

Dla oceny prawidłowości i skuteczności rozwiązania oddymiania klatki schodowej przyjmuje się spełnienie warunku, kiedy w modelowaniu wystąpi *Czas Skutecznego Oddymienia Klatki* – **CSOK** i będzie krótszy niż *Graniczny Czas Oddymienia Klatki* – **GCOK**:

$$CSOK < GCOK$$

Powyższe czasy **CSOK** i **GCOK** liczy się od chwili uruchomienia systemu oddymiania tj. w symulacjach od chwili 360-ej sekundy.

Przyjmuje się, że czas **CSOK** następuje w modelowaniu w chwili, kiedy:

- **wartość transmitancji światła** (w symulacjach ozn. ang. „*light ratio*”) wynosi co najmniej 95% na długości 1m od źródła światła umieszczonego na wysokości nie niższej niż 2.00m nad poziomem posadzki klatki na ostatnim, najwyższym piętrze.

Obliczenia transmitancji światła zostaną wykonane tylko dla 1 źródła światła w klatce ze względu na prostą geometrię klatki.

## 5. Komputerowe modelowania CFD

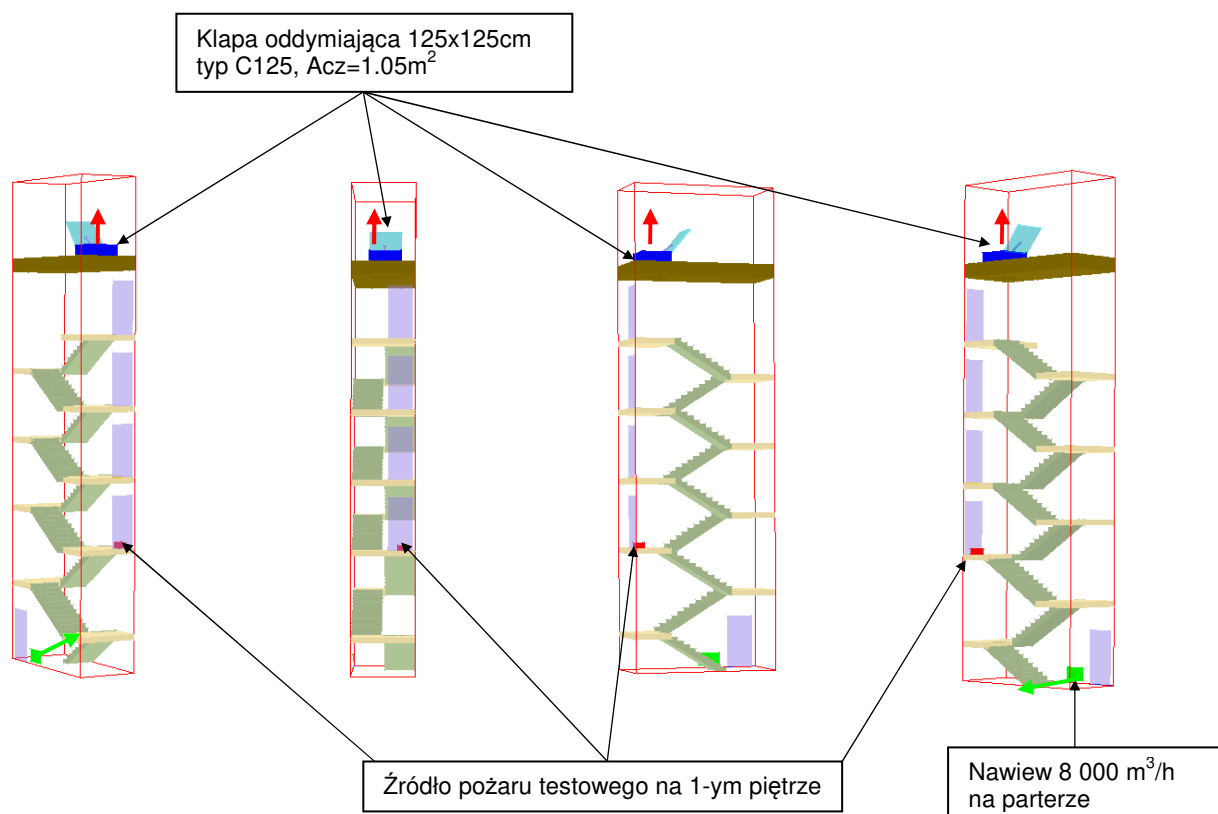
### 5.1. Modelowania dla klatki schodowej ozn. S

#### 5.1.1. Geometria modelu

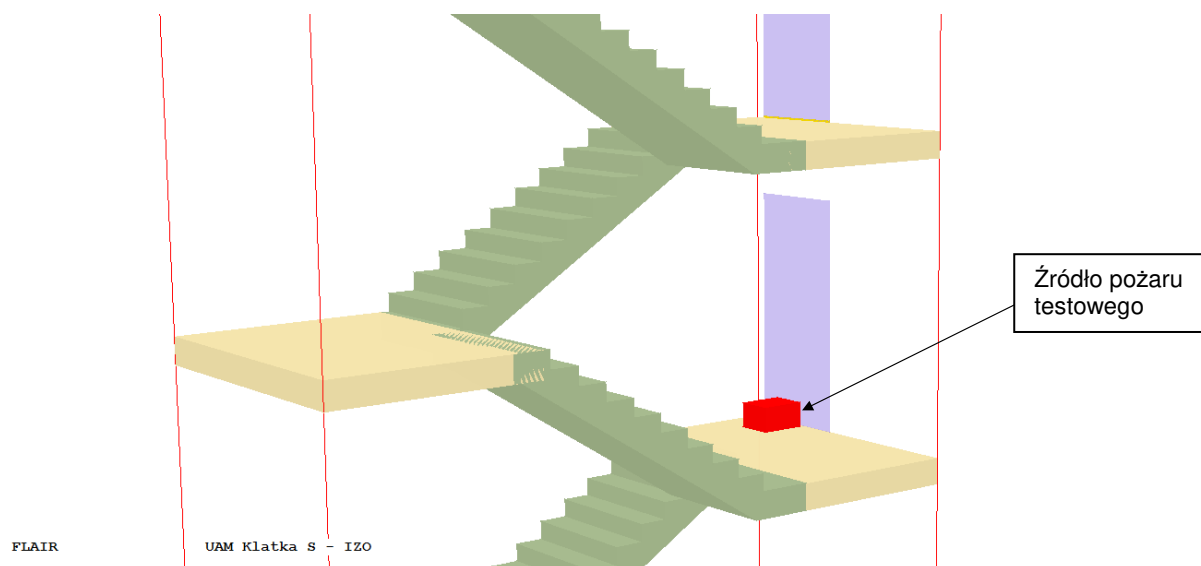
Oznaczenia:

kolor zielony: nawiew →

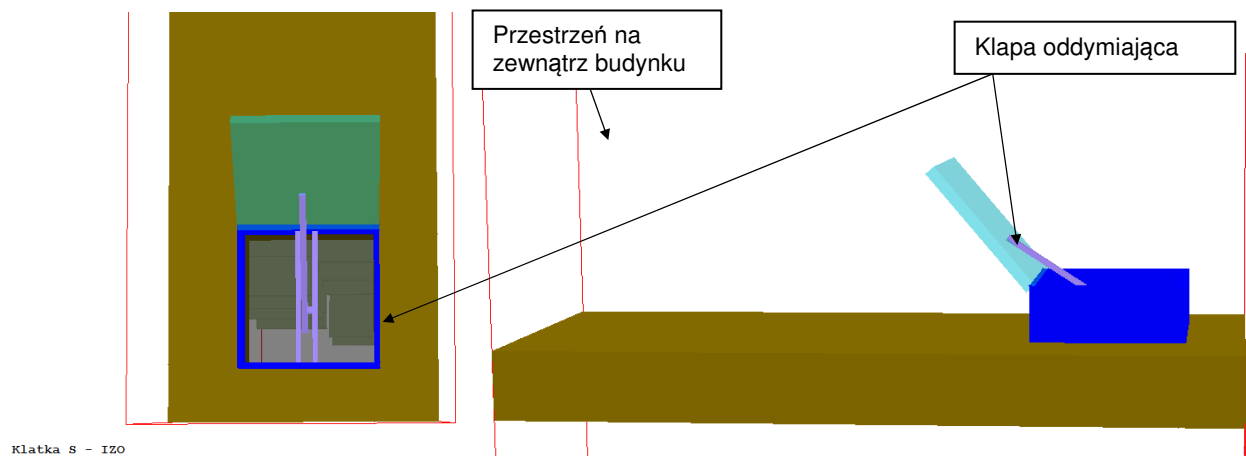
kolor czerwony: wypływ-upust dymu →



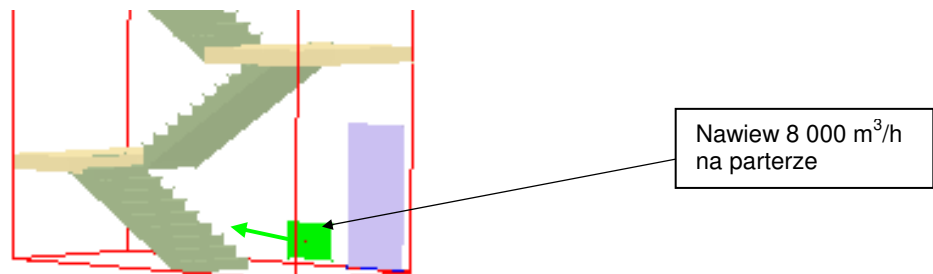
Rys. 5.1.1.1. Widoki klatki schodowej z różnych kierunków.



Rys. 5.1.1.2. Widok 1-ego piętra ze źródłem pożaru testowego.




Rys. 5.1.1.3. Widok dachu z kłapą dymową.



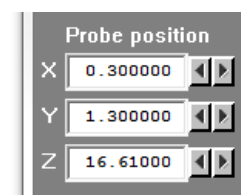
Rys. 5.1.1.4. Widok kondygnacji parteru z nawiewem mechanicznym.

## 5.1.2. Graficzne wyniki obliczeń CFD

Na poniższych rysunkach miejsce źródła światła w klatce umieszczono przy drzwiach na wysokości nie niższej niż 2.00m nad posadzką ostatniego najwyższego poziomu podłogi. Tylko w punkcie źródła światła wartość **transmitancji światła** (ang. „**Light ratio**”) zawsze wynosi 100%. Obszary na poniższych obrazach w kolorze czarnym oznaczają miejsca, w których źródło światła jest niewidoczne (transmitancja światła = 0%).

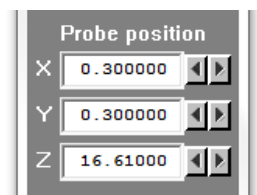
Znacznikiem  oznaczono na rysunkach wskaźnik (ang. „probe”) oraz **współrzędne w modelu dla punktu końca**

**żółtego trójkątnego znacznika** (ang. „probe position”) o współrzędnych 1m w



, czyli w odległości

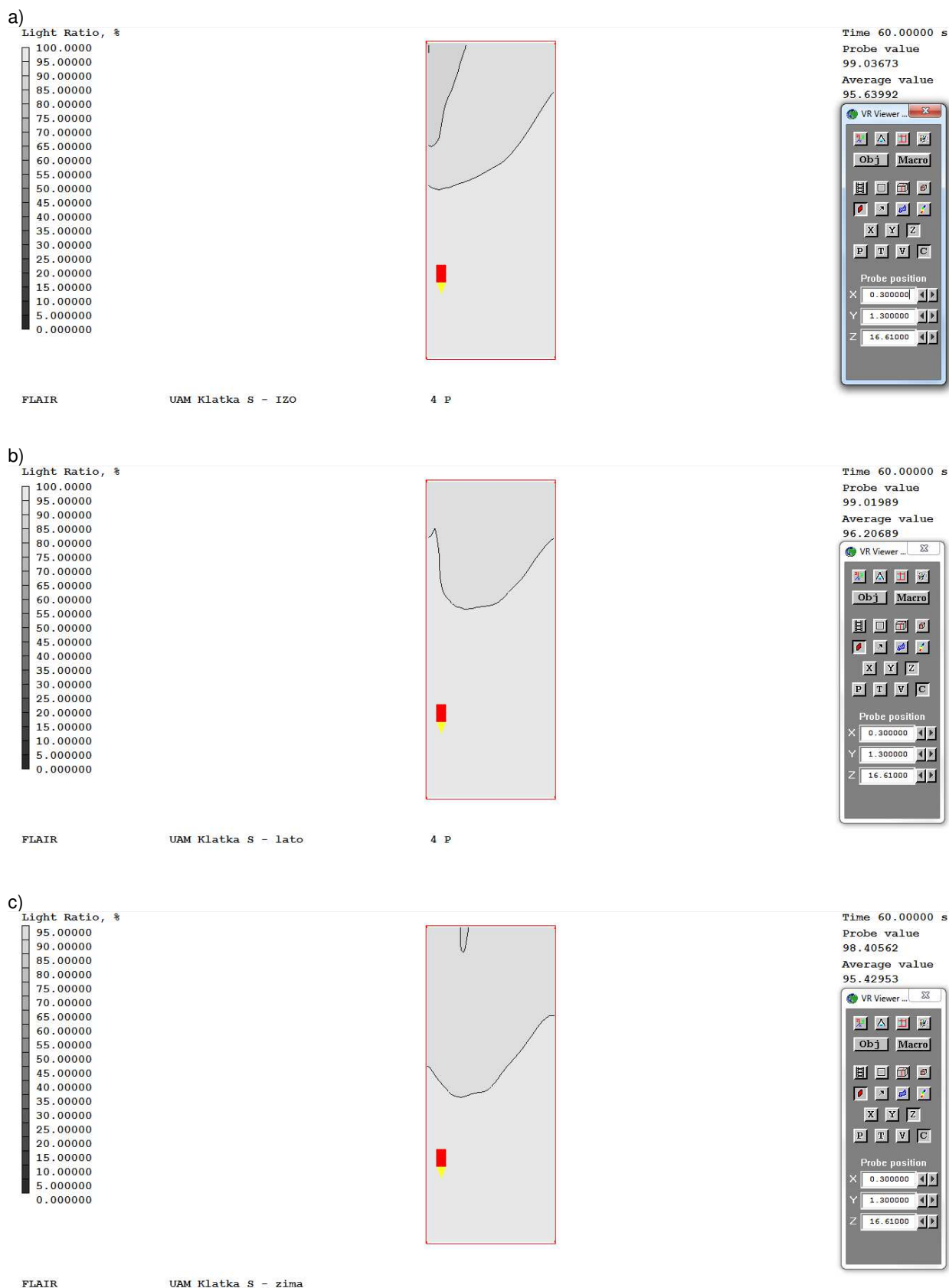
płaszczyźnie poziomej od **źródła światła umieszczonego w punkcie o współrzędnych** na wysokości 2.00m nad posadzką .



W górnych prawych narożnikach obrazów podane są: czas i wartość (ang. „**Probe value**”)

dla **transmitancji światła** [w %] w punkcie końca żółtego trójkątnego znacznika .

Time 500.0000 s  
Probe value  
96.32815



Rys. Zakres transmitancji światła (Light Ratio) w płaszczyźnie poziomej na wys. 2.00m nad posadzką:

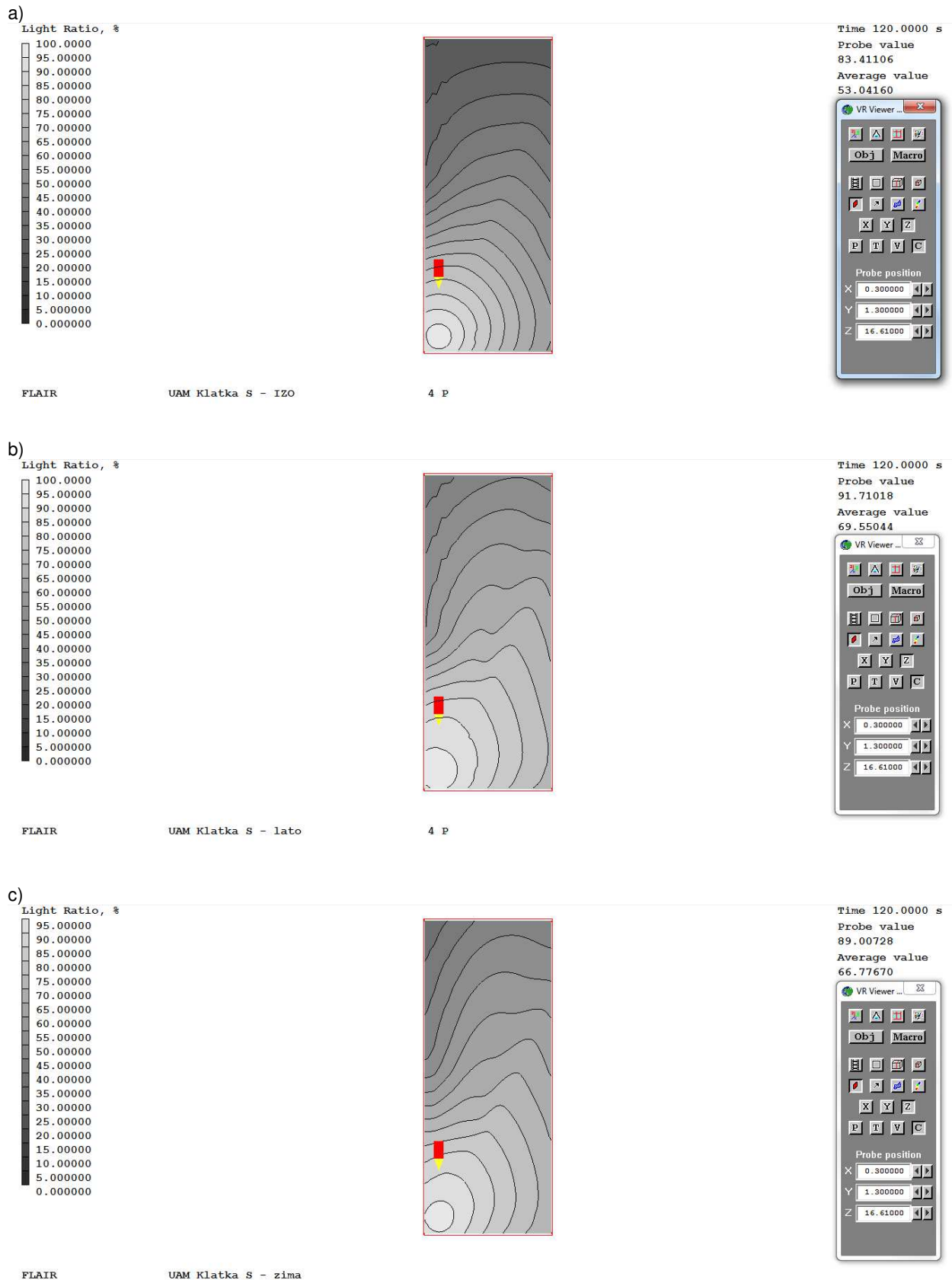
a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

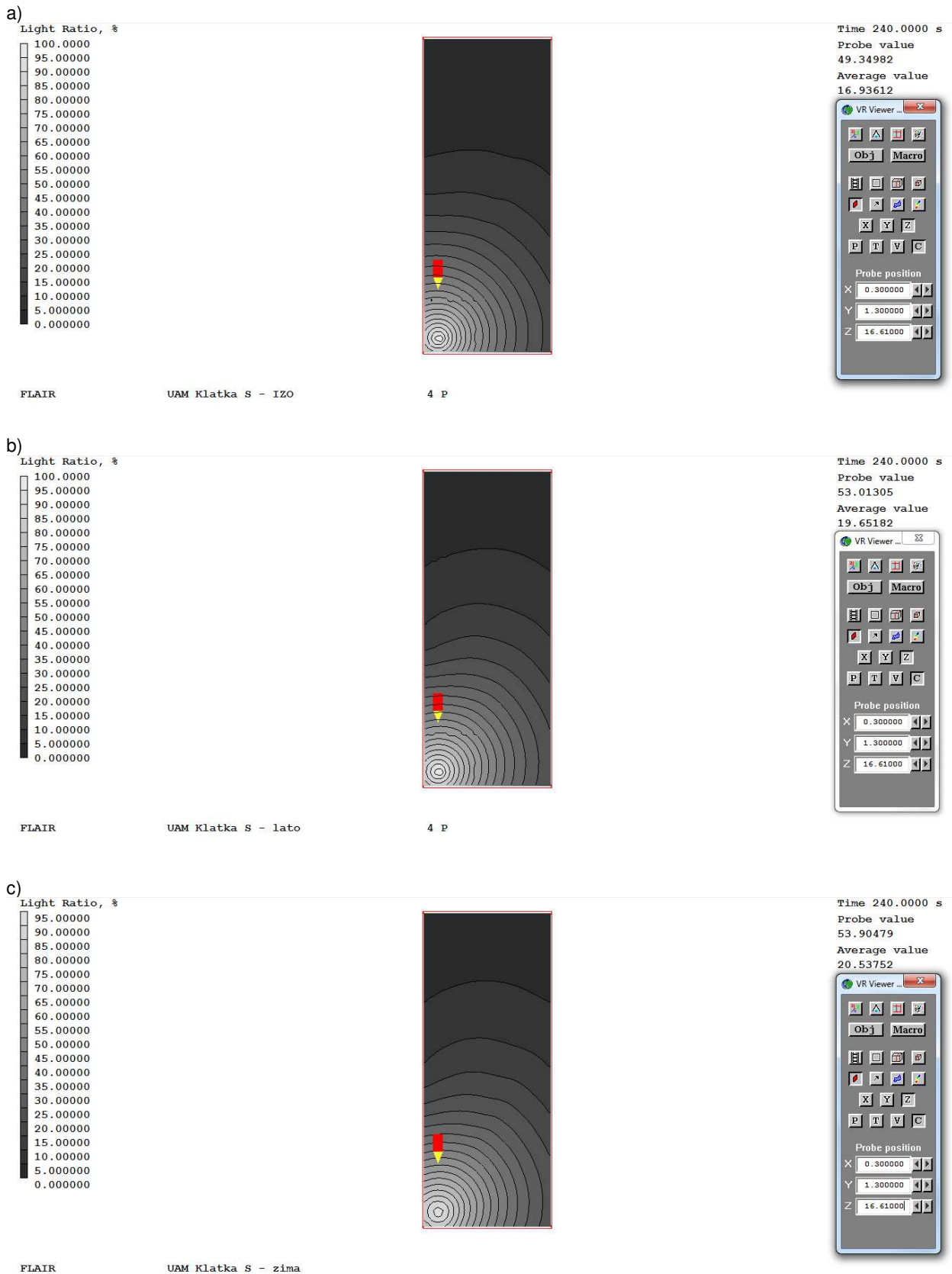
- 1 MINUTA.





Rys. Zakres transmitancji światła (Light Ratio) w płaszczyźnie poziomej na wys. 2.00m nad posadzką:

- a) obraz dla warunków izotermicznych,
  - b) obraz dla warunków letnich,
  - c) obraz dla warunków zimowych
- 2 MINUTY.



Rys. Zakres transmitancji światła (Light Ratio) w płaszczyźnie poziomej na wys. 2.00m nad posadzką:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 4 MINUTY.



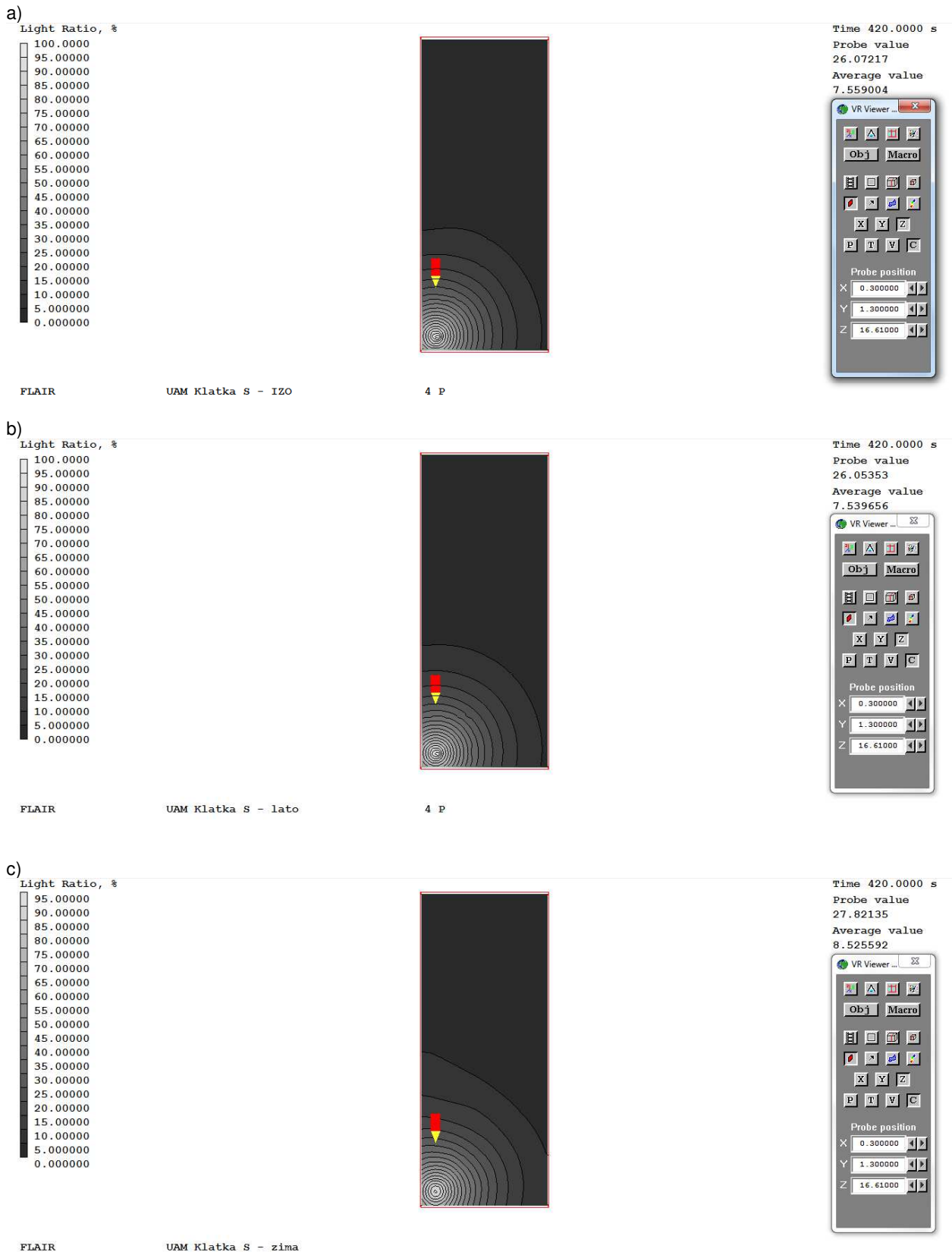
Rys. Zakres transmitancji światła (Light Ratio) w płaszczyźnie poziomej na wys. 2.00m nad posadzką:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

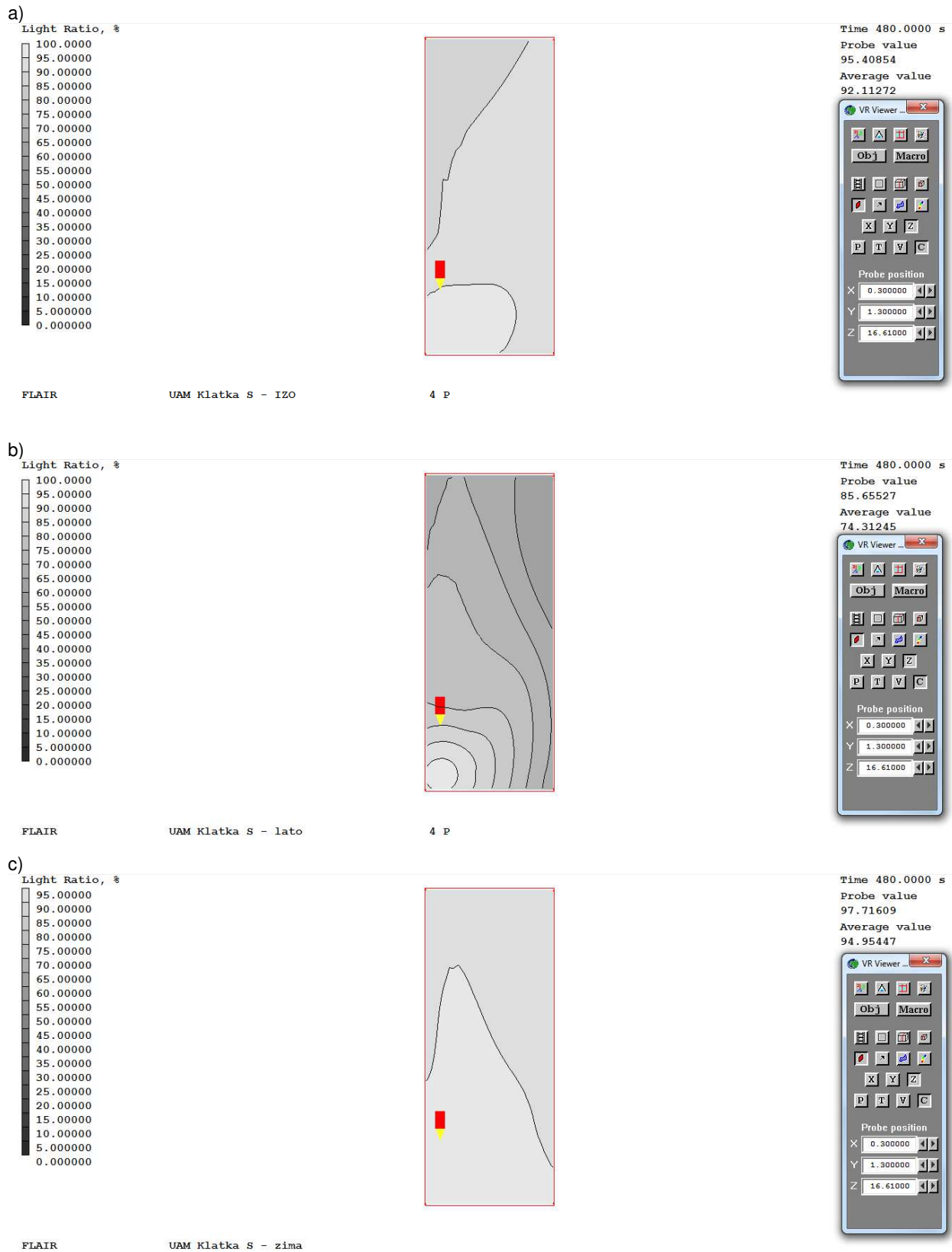
c) obraz dla warunków zimowych

- 6 MINUT.



Rys. Zakres transmitancji światła (Light Ratio) w płaszczyźnie poziomej na wys. 2.00m nad posadzką:

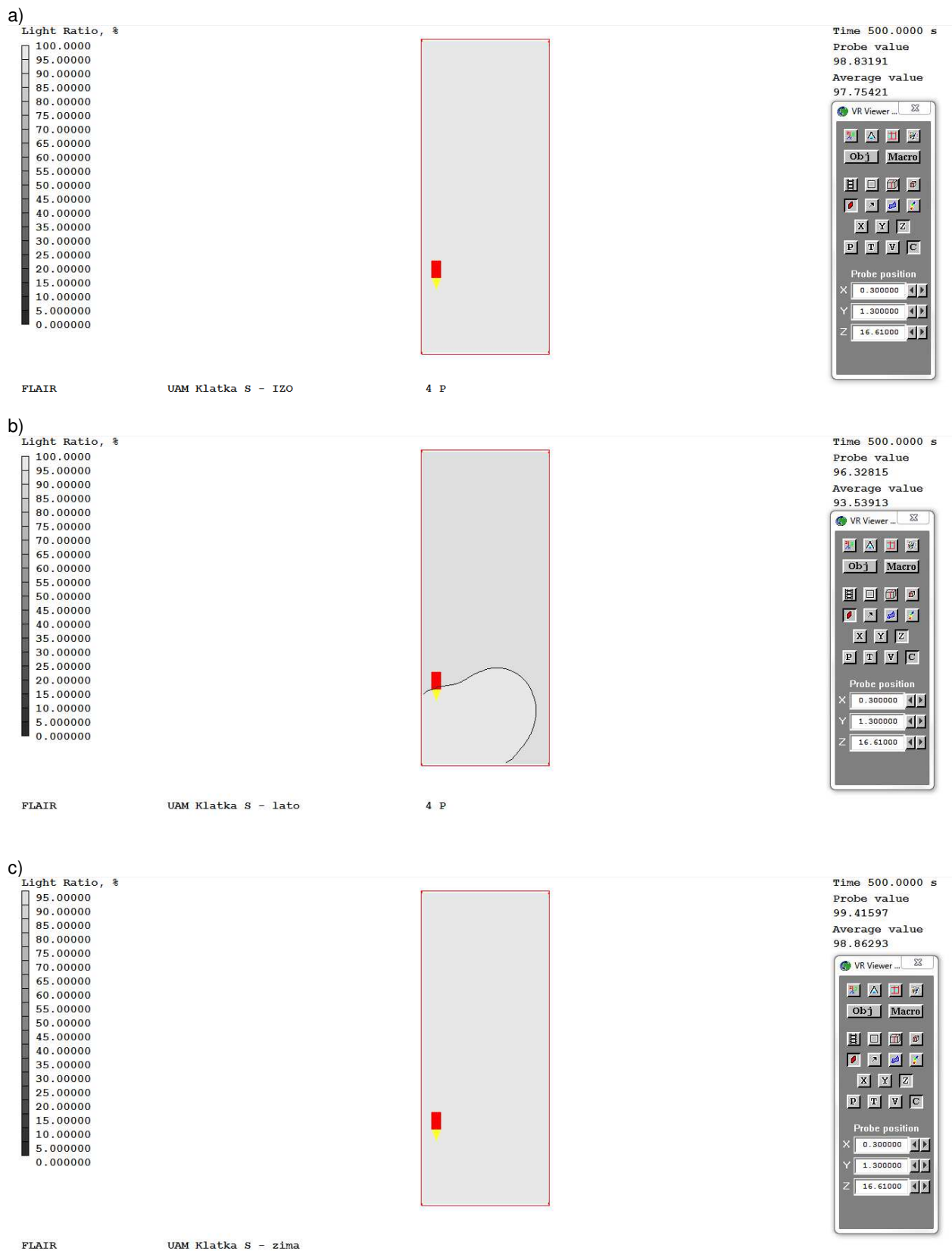
- a) obraz dla warunków izotermicznych,
  - b) obraz dla warunków letnich,
  - c) obraz dla warunków zimowych
- 7 MINUT.



Rys. Zakres transmitancji światła (Light Ratio) w płaszczyźnie poziomej na wys. 2.00m nad posadzką:

- a) obraz dla warunków izotermicznych,
  - b) obraz dla warunków letnich,
  - c) obraz dla warunków zimowych
- 8 MINUT.





Rys. Zakres transmitancji światła (Light Ratio) w płaszczyźnie poziomej na wys. 2.00m nad posadzką:

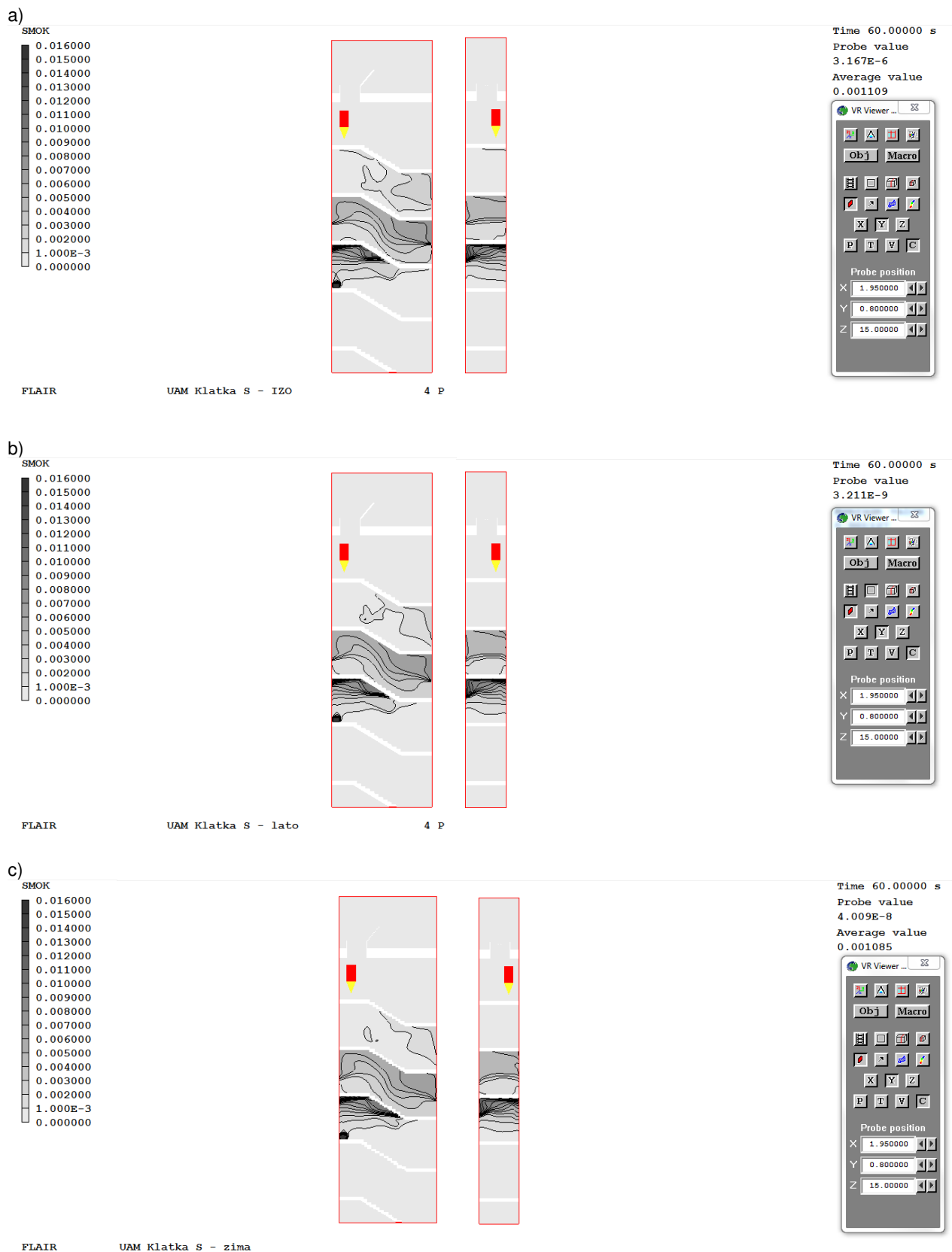
a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 8 MINUT 20 sek.

**Transmitancja światła powyżej 95%. Czas Skutecznego Oddymienia Klatki – CSOK = 500 - 360 = 140 sek.**



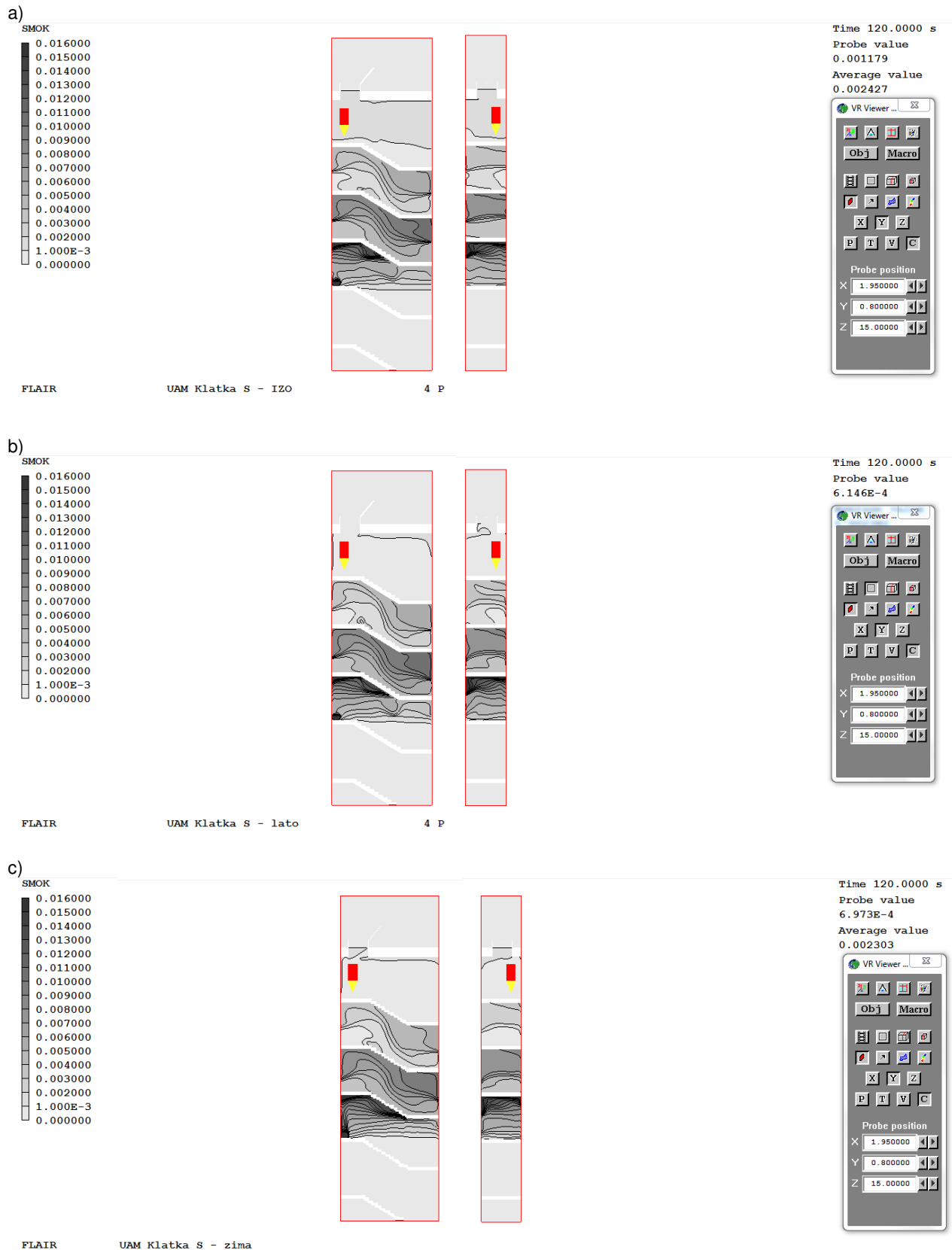
Rys. Zakres stężenia masowego dymu SMOK (g/g powietrza) w 2-óch przekrojach klatki:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 1 MINUTA.



Rys. Zakres stężenia masowego dymu SMOK (g/g powietrza) w 2-óch przekrojach klatki:

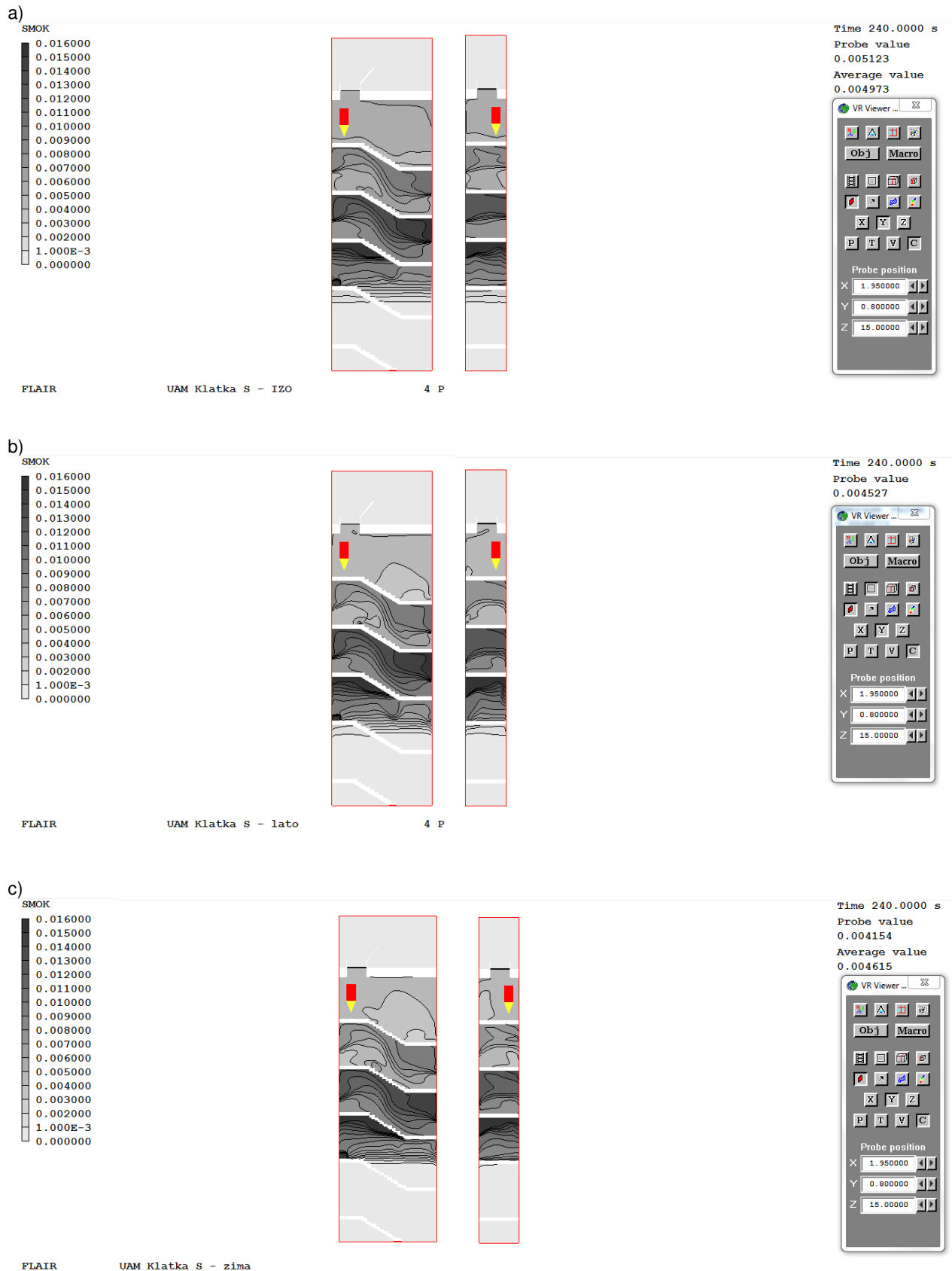
a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 2 MINUTY.





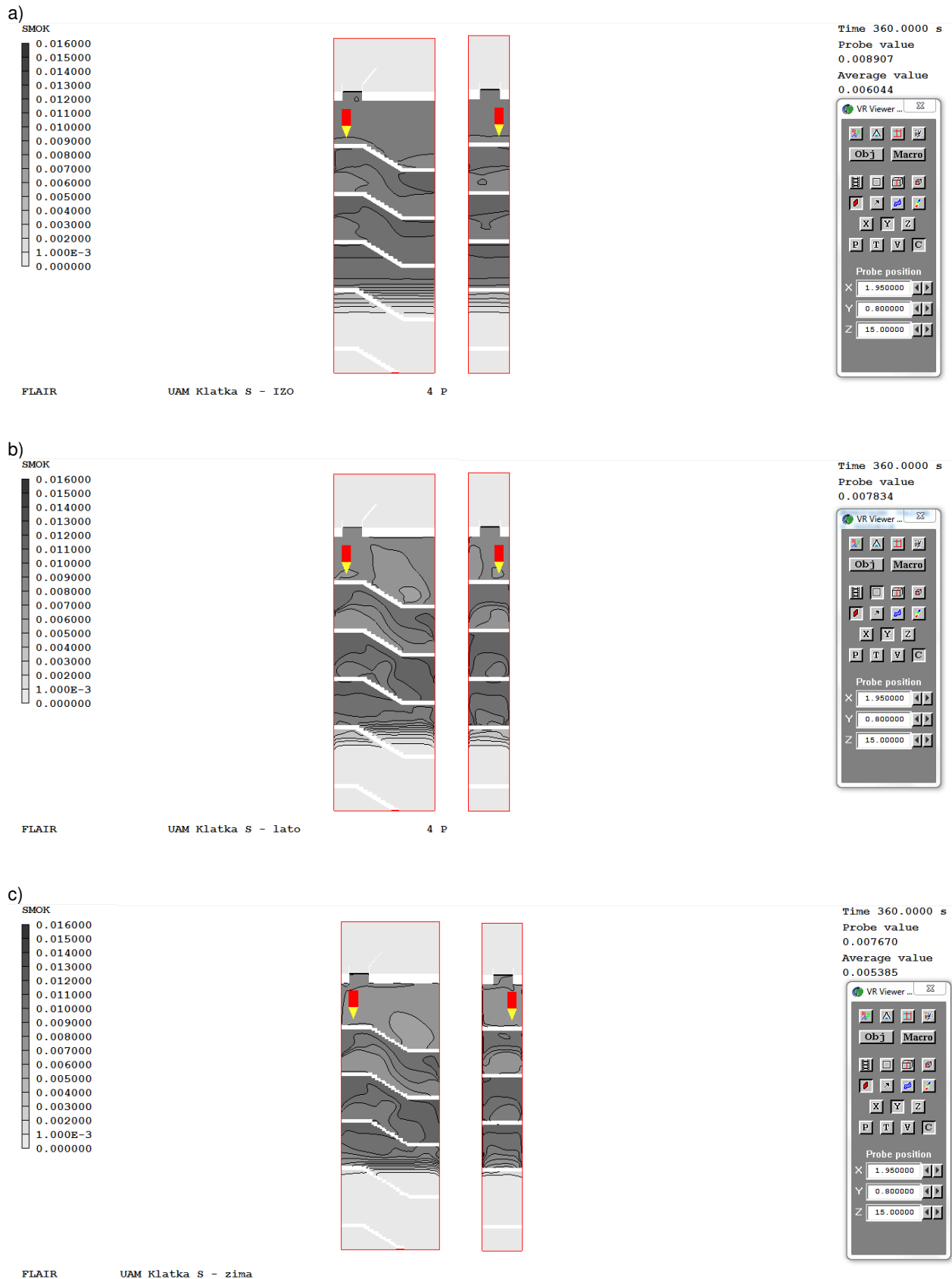
Rys. Zakres stężenia masowego dymu SMOK (g/g powietrza) w 2-óch przekrojach klatki:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 4 MINUTY.



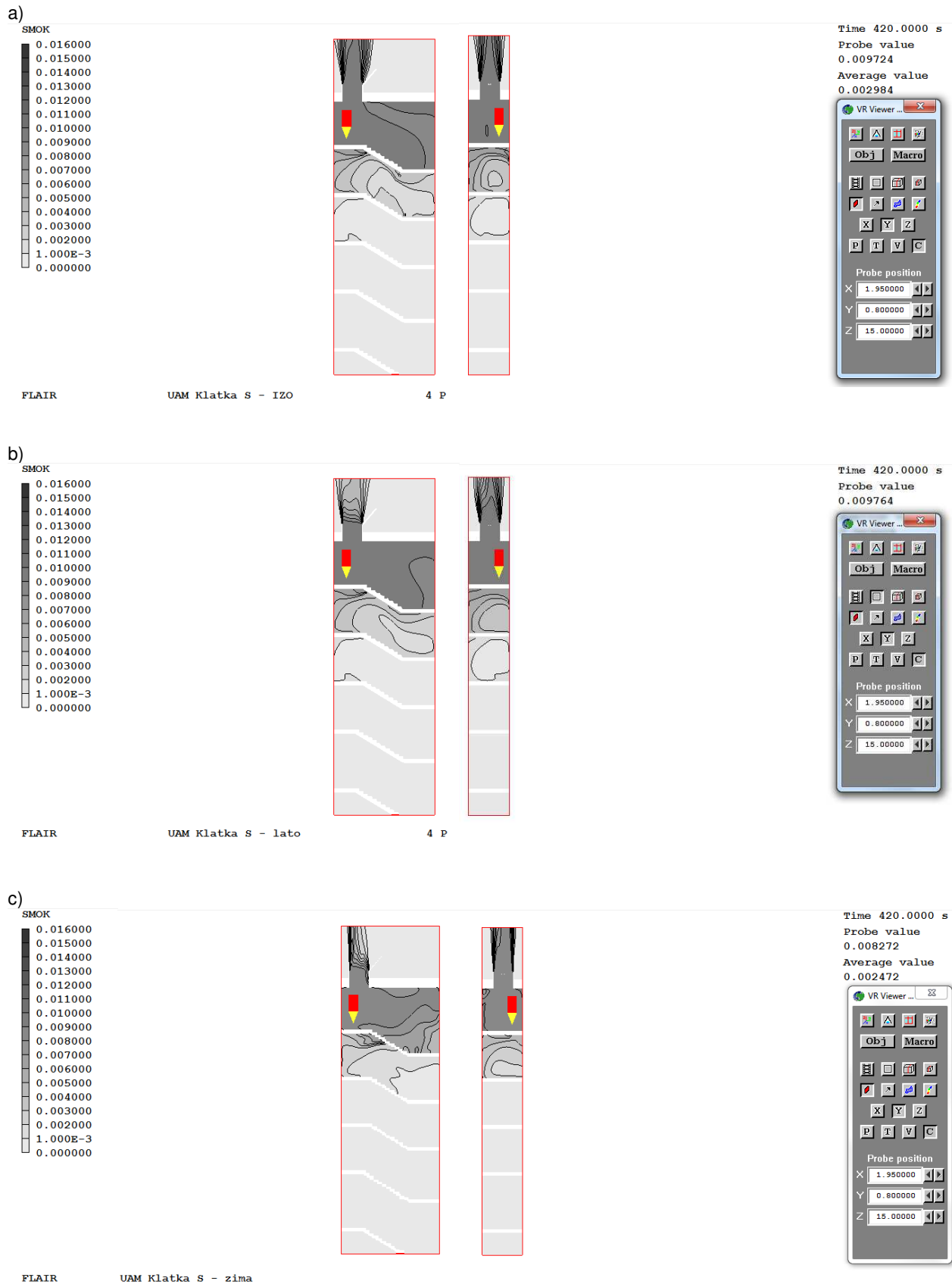
Rys. Zakres stężenia masowego dymu SMOK (g/g powietrza) w 2-óch przekrojach klatki:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 6 MINUT.



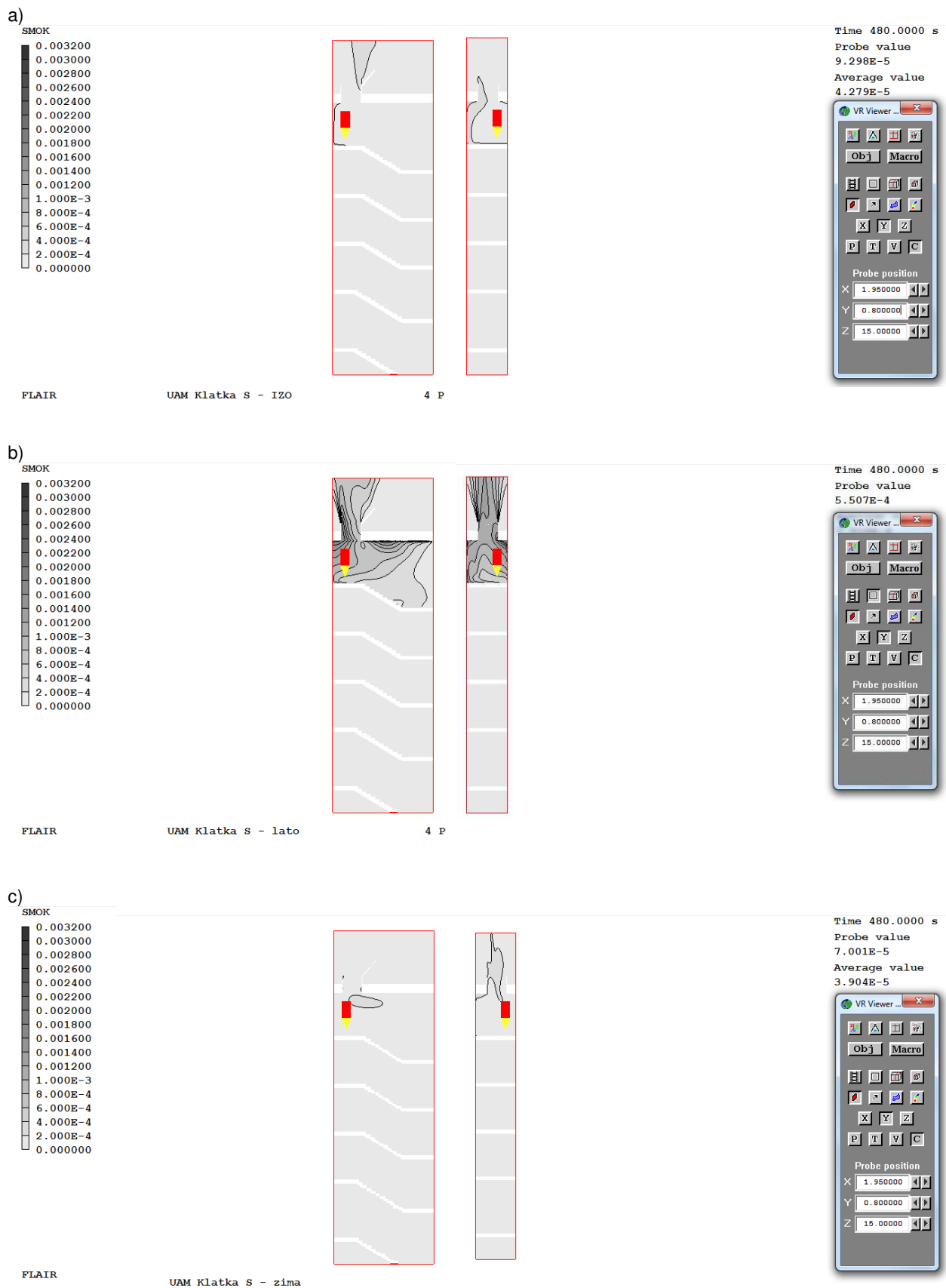
Rys. Zakres stężenia masowego dymu SMOK (g/g powietrza) w 2-óch przekrojach klatki:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 7 MINUT.



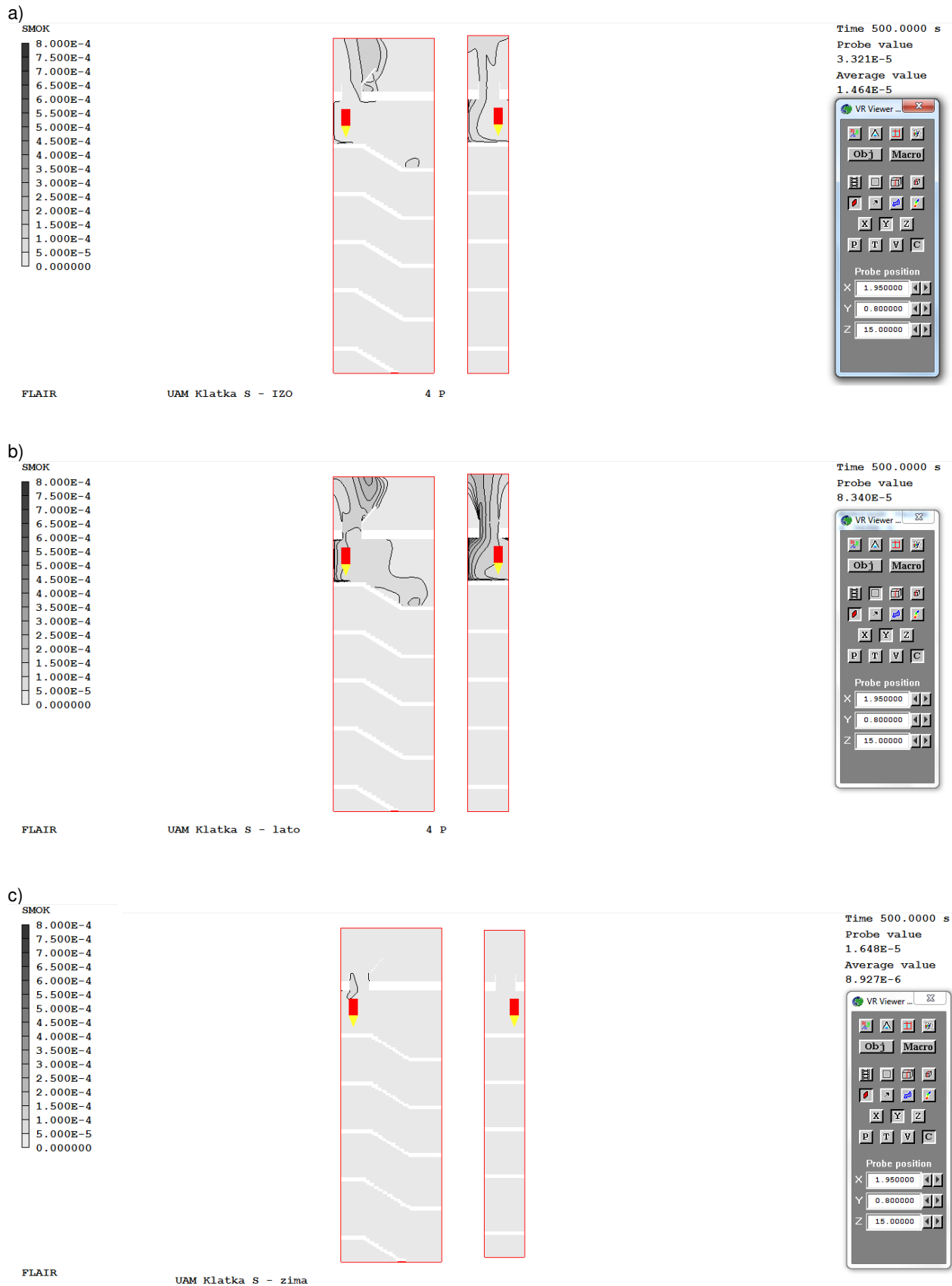
Rys. Zakres stężenia masowego dymu SMOK (g/g powietrza) w 2-óch przekrojach klatki:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 8 MINUT.



Rys. Zakres stężenia masowego dymu SMOK (g/g powietrza) w 2-óch przekrojach klatki:

a) obraz dla warunków izotermicznych,

b) obraz dla warunków letnich,

c) obraz dla warunków zimowych

- 8 MINUT 20 sek.

## 6. Analiza wyników oraz wnioski

Analizując zakresy transmitancji światła na podstawie scenariuszy przeprowadzonych w pkt. 5.1 dla zaprojektowanego systemu obserwujemy, że dla warunków izotermicznych, letnich i zimowych transmitancja światła wyniosła co najmniej 95%:

- dla **klatki nr S** w chwili modelowania 500-jej sek., a więc:
  - Czas Skutecznego Oddymienia Klatki – **CSOK** wynosi: 140 sek. (500 - 360 sek.)
  - spełniony został wymagany warunek: **CSOK = 140 sek. < GCOK = 201 sek.**

*Wniosek nr 1: Zaprojektowane rozwiązanie dla systemu oddymiania z nawiewem mechanicznym o wydajności 8 000 m<sup>3</sup>/h oraz z klapą dymową u szczytu klatki ozn. S jest rozwiązaniem skutecznym oraz zapewniającym spełnienie wymaganych kryteriów oddymienia.*

*Wniosek nr 2: Zaprojektowane rozwiązania dla systemu oddymiania z nawiewem mechanicznym o wydajności 8 000 m<sup>3</sup>/h oraz z klapą dymową u szczytu dla pozostałych klatek schodowych ozn. E, N, W w budynku będzie rozwiązaniem skutecznym i zapewniającym spełnienie wymaganych kryteriów oddymienia i analogicznie spełniającym kryteria oddymienia jako rozwiązanie tożsame z przeprowadzonymi analizami, nie wymagające przeprowadzenia indywidualnych analiz CFD dla tych klatek, zgodnie z nn. opracowaniem pod warunkiem zaprojektowania:*

- nawiewu 8 000 m<sup>3</sup>/h także na kondygnacji parteru oraz
- klapy C125 (125x125mm z podstawą H=500mm) o powierzchni czynnej 1.05m<sup>2</sup> nad posadzką w klatce przy wejściu do klatki na najwyższej kondygnacji, a nie nad biegami lub spocznikiem
- drzwi do klatki w klasie EIS

## 7. Zalecenia końcowe

- Należy zastosować klapy oddymiające z funkcją sygnalizacji stanu otwarcia w COD (centrali oddymiania klatki sterującej tym systemem), a rozruch wentylatorów napowietrzających może nastąpić dopiero po otwarciu się klapy.
- Podczas pożaru należy sprawdzić i zamknąć wszystkie drzwi do wszystkich klatek schodowych w budynku.
- Zmiany parametrów systemu np. zmniejszenie wydajności nawiewu, zmiana miejsca klapy dymowej, podane w pkt-ach 3.1, 5.1 mogą być zmianami istotnymi i mogą wymagać zmiany analizy CFD. Ale zmiany polegające na zmianie:
  - wymiarów klap dymowych przy zachowaniu zbliżonej powierzchni czynnej klapy i nie mniejszej niż 1.0m<sup>2</sup>
  - miejsca nawiewu powietrza w obrębie kondygnacji parteru lub wymiarów dla kratki nawiewnych przy zachowaniu prędkości przepływu powietrza na kratce nawiewnej nie przekraczającej 5 m/s są zmianami nieistotnymi i niewymagającymi aktualizacji symulacji.
- Pozostałe klatki schodowe w obiekcie ozn. E, N, W mogą mieć również zaprojektowane rozwiązanie z nawiewem o wydajności 8 000 m<sup>3</sup>/h na parterze, klapę o pow. czynnej Acz=1.05m<sup>2</sup> przy wejściu do klatki na najwyższej kondygnacji, podobnie jak przyjęto w klatce ozn. S.

Obliczenia wykonał i opracował graficznie:  
PROJEKTANT WENTYLACJI I ANALIZ NUMERYCZNYCH CFD  
mgr inż. Marek Magdziarz (nr upr. MAZ/0118/PWOS/03)  
Członek Mazowieckiej Izby Inżynierów Budownictwa  
(nr ewidencyjny MAZ/IS/0023/04)

mgr inż. Marek Magdziarz  
Uprawnienia budowlane do projektowania i kierowania  
robotami bez ograniczeń w specjalności instalacyjnej  
w zakresie sieci, instalacji i urządzeń cieplnych,  
wentylacyjnych, gazowych, wodociągowych  
i kanalizacyjnych  
Nr ewidencyjny uprawnień: MAZ/0118/PWOS/03