

Oddymianie wydzielonych na potrzeby najemcy przestrzeni w nowoprojektowanych i istniejących obiektach produkcyjno-magazynowych - analiza przypadku

mgr inż. Łukasz Ostapiuk

Porównanie Norm

- PN-B-02877-4:2001/Az1 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła. Zasady projektowania.

- Maksymalna powierzchnia strefy dymowej- **2600m²**
- Wymagana powierzchnia czynna klap dymowych A_{cz} w magazynach wysokiego składowania nie może być mniejsza niż **3%** rzutu poziomego powierzchni podłogi magazynu

Powierzchnia największej strefy dymowej- 2400 m², więc **wymagana $A_{cz}=72,0$ m²**. W strefie dymowej należy zabudować 26 klap o wym. 1,5x2,5m (A_{cz} klapy- 2,66m²).

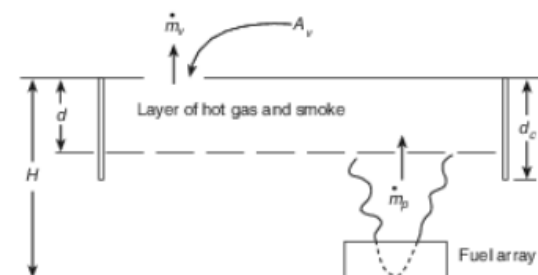
Wymagana powierzchnia geometryczna napowietrzania wynosi- 26x3,75m²x1,3=**126,75m²**

Napowietrznie należy zrealizować przez zabudowę 14 bram o wymiarach 3,0x3,2m każdy

- NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting, 2015 Edition

- Żaden z wymiarów strefy dymowej nie może przekraczać 8H, gdzie H jest wysokością obiektu. W przypadku analizowanego obiektu H=12,0 m, więc ani długość, ani szerokość strefy dymowej nie może być większa niż 96,0 m. Maksymalna powierzchnia strefy wynosi- **9216,0 m²**

- **Ilość klap dymowych wyliczana jest indywidualnie z uwzględnieniem parametrów pożarowych składowanego materiału i nie zależy bezpośrednio od powierzchni strefy dymowej.** Generalnie poprzez dobór klap dymowych i otworów napowietrzających należy spełnić zależność $\dot{m}_v > \dot{m}_p$



- **Rozwiązanie:**

4 strefy dymowe

w każdej strefie dymowej należy zabudować

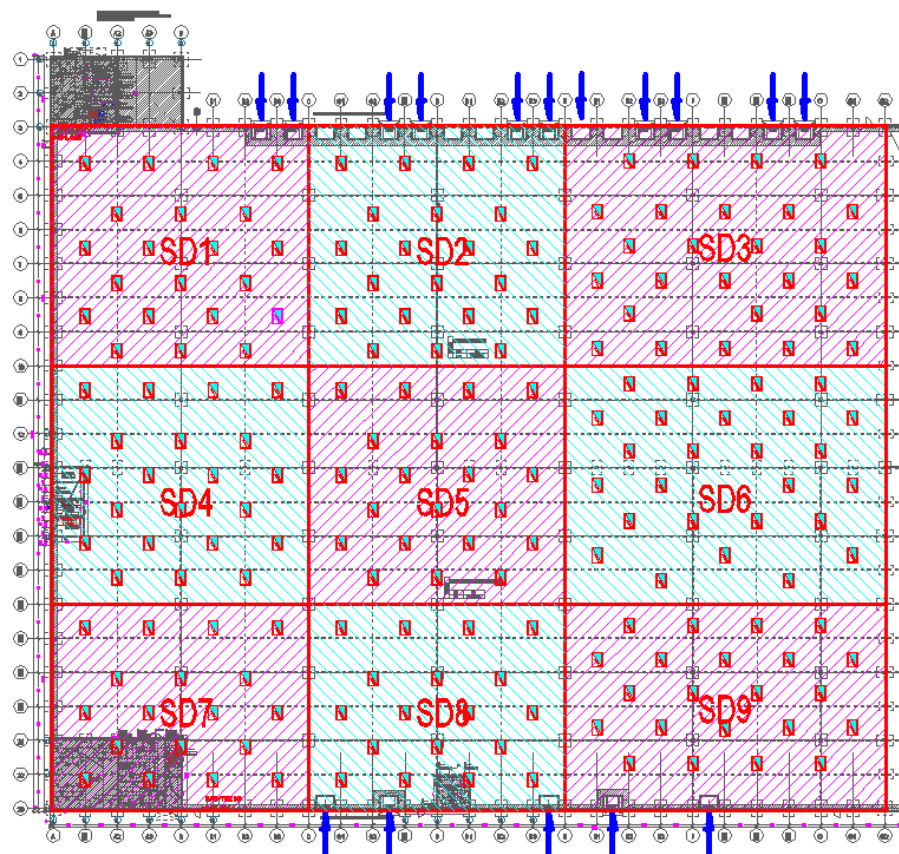
15 klap dymowych o wym. 1,5x2,5m

Wymagana powierzchnia geometryczna napowietrzania wynosi- **57,6m²**

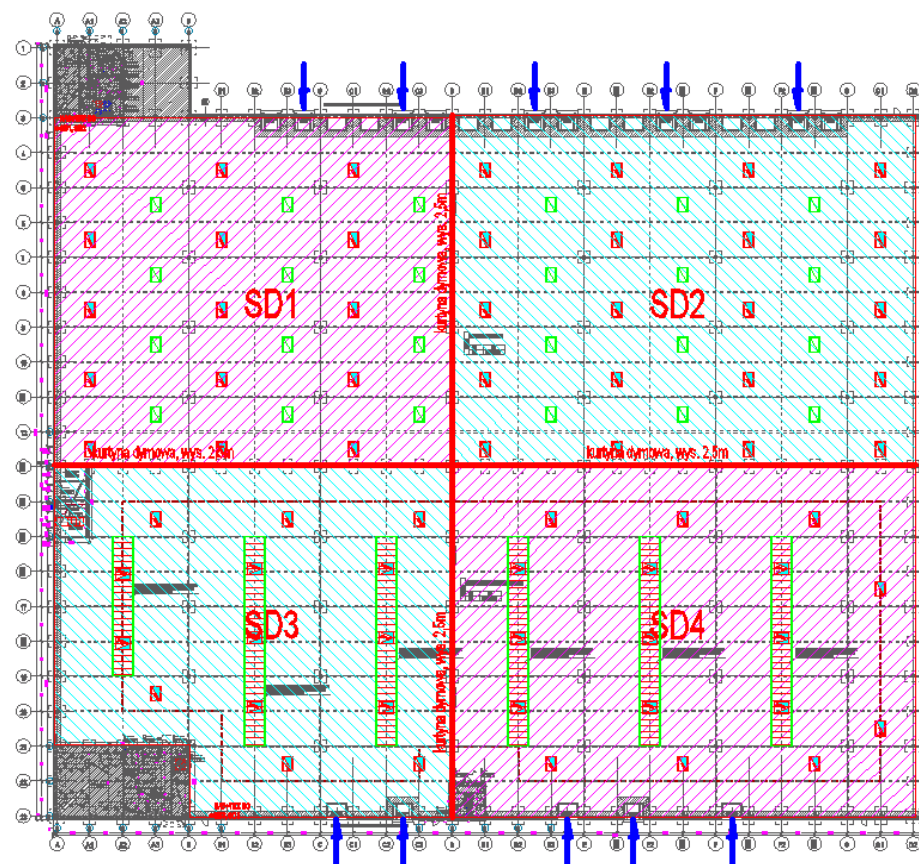
(6 bram o wymiarach 3,0x3,2m każda)

Porównanie Norm

❑ PN-B-02877-4:2001/Az1



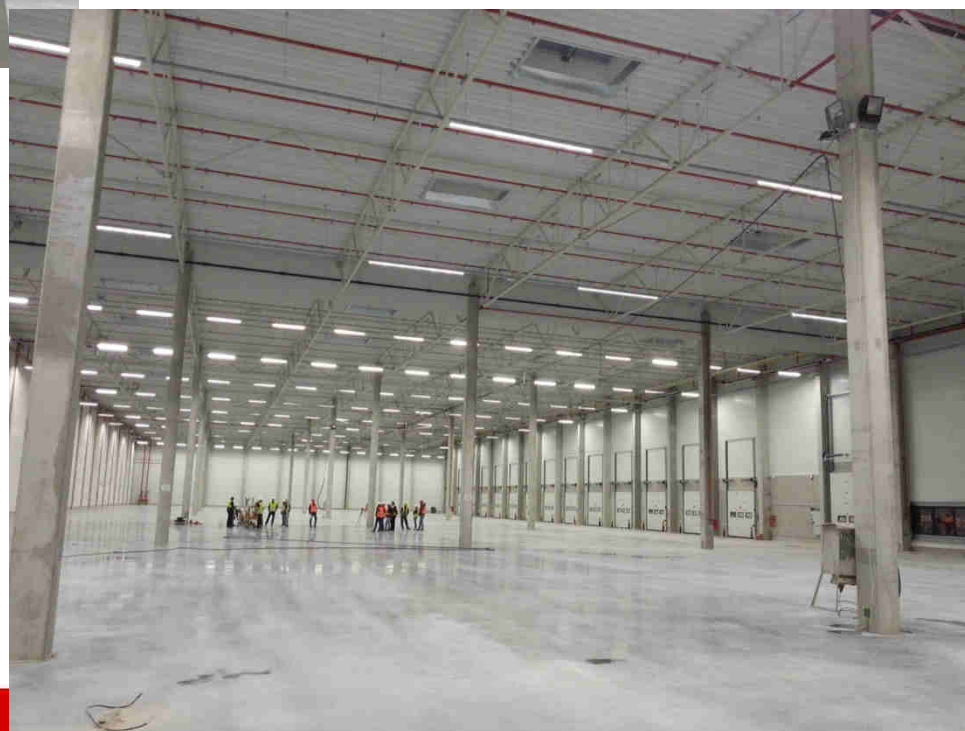
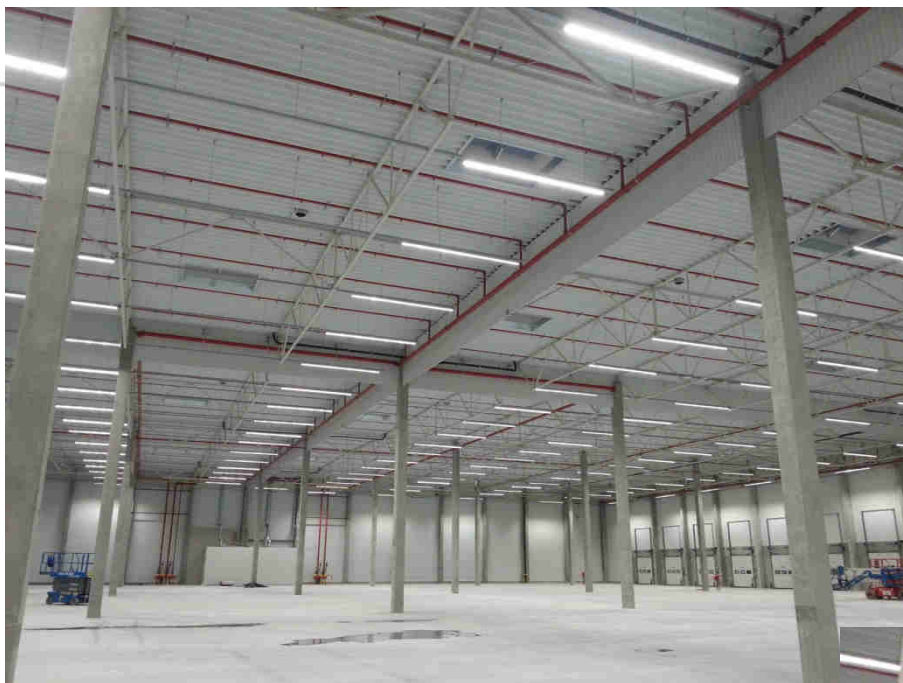
❑ NFPA 204 Standard for Smoke and Heat Venting, 2015 Edition



Porównanie Norm

KARTA OBLICZEŃ wg NFPA204 2015 Edition				
OBIEKT:		DATA:	2016-05-12	
STREFA ODDYMIANIA:	SD1-SD4	PROJEKTOWAŁ:	mgr inż. Łukasz Ostapiuk-rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych	
Dane wejściowe:	Symbol	Wartość	Jednostka	Uwagi:
wysokość obiektu	H	12,00	[m]	
zakładana wysokość składowania materiałów		4,57	[m]	wg NFPA 204, tab. F.1 (a)
czas rozwoju pożaru dla określonej wysokości,		75,0	[s]	wg NFPA 204, tab. F.1 (a), założono spalanie butelek polietylenowych w kartonach, ułożonych w stosy
rzeczywista wysokość składowania materiałów w obiekcie		9,5	[m]	wysokość składowania materiałów nie może być przekroczona
czas od momentu powstania pożaru do osiągnięcia przez niego mocy 1000 kW	t	52,02	[s]	
współczynnik szybkości rozwoju pożaru	α	0,36956	[kW/m ²]	
obliczony czas rozwoju pożaru do zadziałania instalacji tryskaczowej	t	216,80	[s]	założono instalację tryskaczową o temp. zadziałania 74°C, RTI 80, rozstaw tryskaczy (siatka tryskaczowa) 3,0x3,0m
moc pożaru	Q	17370,14	[kW]	
		17,37	[MW]	
gęstość mocy pożaru, wg TABELI 8.26	Q*	4222,22	[kW/m ²]	
średnica pożaru w chwili podania środków gaśniczych	D	2,29	[m]	
średnia wysokość płomienia	L	9,333	[m]	
poziom wirtualnego źródła pożaru	z _o	1,787	[m]	
konwekcyjna moc pożaru	Q _c	12 159,10	[kW]	
		12,16	[MW]	
zakładana wysokość warstwy dymu	d	2,40	[m]	
wysokość warstwy wolnej od dymu	z _e	9,60	[m]	
masowy przepływ dymu w kolumnie konwekcyjnej dymu (masa dymu powstałego)	mp	79,80	[kg/s]	

sprawdzenie: $z_s < 4W_s$		FAŁSZ	
obliczenie wartości mnożnika		0,97	wartość bezwymiarowa
masa dymu wpływająca do zbiornika dymu na wysokości dolnej krawędzi kurtyny dymowej		79,80	[kg/s]
temperatura otoczenia	T _o	291,0	wartość założona
współczynnik utraty energii przez gorący dym	K	0,50	wartość założona
ciepło właściwe powietrza	C ₂	1,01	[kJ/kg*K]
temperatura warstwy dymu	T	366,43	[K]
różnica między temperaturą dymu, a temperaturą otoczenia	$\Delta T (T - T_o)$	75,43	[K]
Obliczenie wymaganej powierzchni czynnej klap dymowych w każdej strefie dymowej			
gęstość powietrza w temp. 20°C	ρ_o	1,2	[kg/m ³]
grubość warstwy dymu	d	2,40	[m]
minimalna wysokość kurtyny dymowej wydzielającej strefe dymową	d _c	2,50	[m]
wymagana sumaryczna powierzchnia geometryczna otworów dołotowych	A _i	57,60	[m ²]
			do napowietrzania założono 6 bram o wym. 3,0x3,2m
wymagana sumaryczna powierzchnia geometryczna otworów wylotowych	A _v	48,75	[m ²]
			w strefach dymowych SD1-SD4 zaprojektowano od 13 do 17 szt. klap dymowych jednoskrzydłowych mcr-PROLIGHT o wym. 1,5x2,5m, Acz. = 2,76m ² . Do obliczeń wzięto wartość najmniejszą jako najbardziej niekorzystną. Przy doborze klap dymowych uwzględniono również wymagania dotyczące odstępu między klapami oraz zachowanie równomierności rozmieszczenia klap dymowych oraz powierzchnię stref dymowych
wymagana powierzchnia czynna oddymiania	AvCv	34,13	[m ²]
współ. przepływu przez otwory napowietrzające	C _i	0,55	wartość założona
współ. przepływu przez otwory wylotowe (klapy)	C _v	0,7	wartość założona
ilość dymu usuwana przez klapy w strefie dymowej	mv	81,97	[kg/s]





Przykład- hala magazynowa (etap przekazania do użytkowania)

Długość hali ok. 217,0m

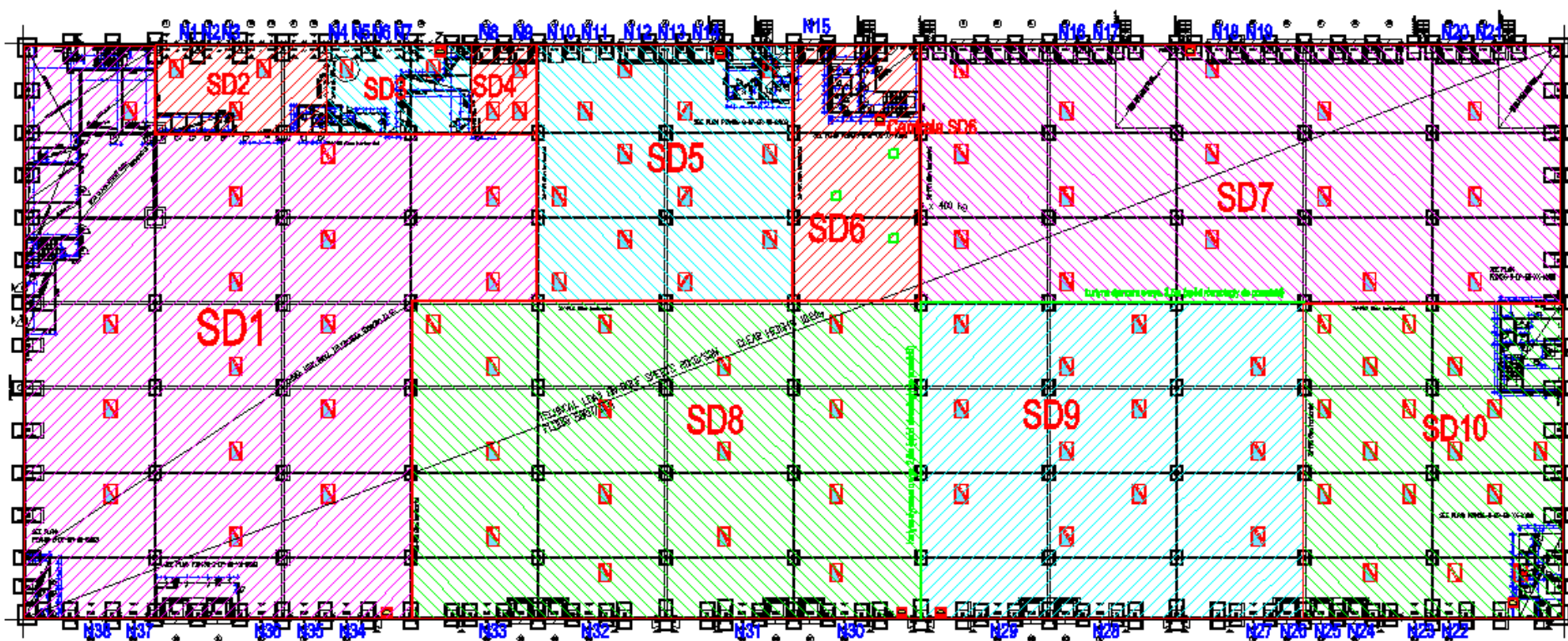
Szerokość hali ok. 81,0m

Wysokość od posadzki do dachu- 12,0m

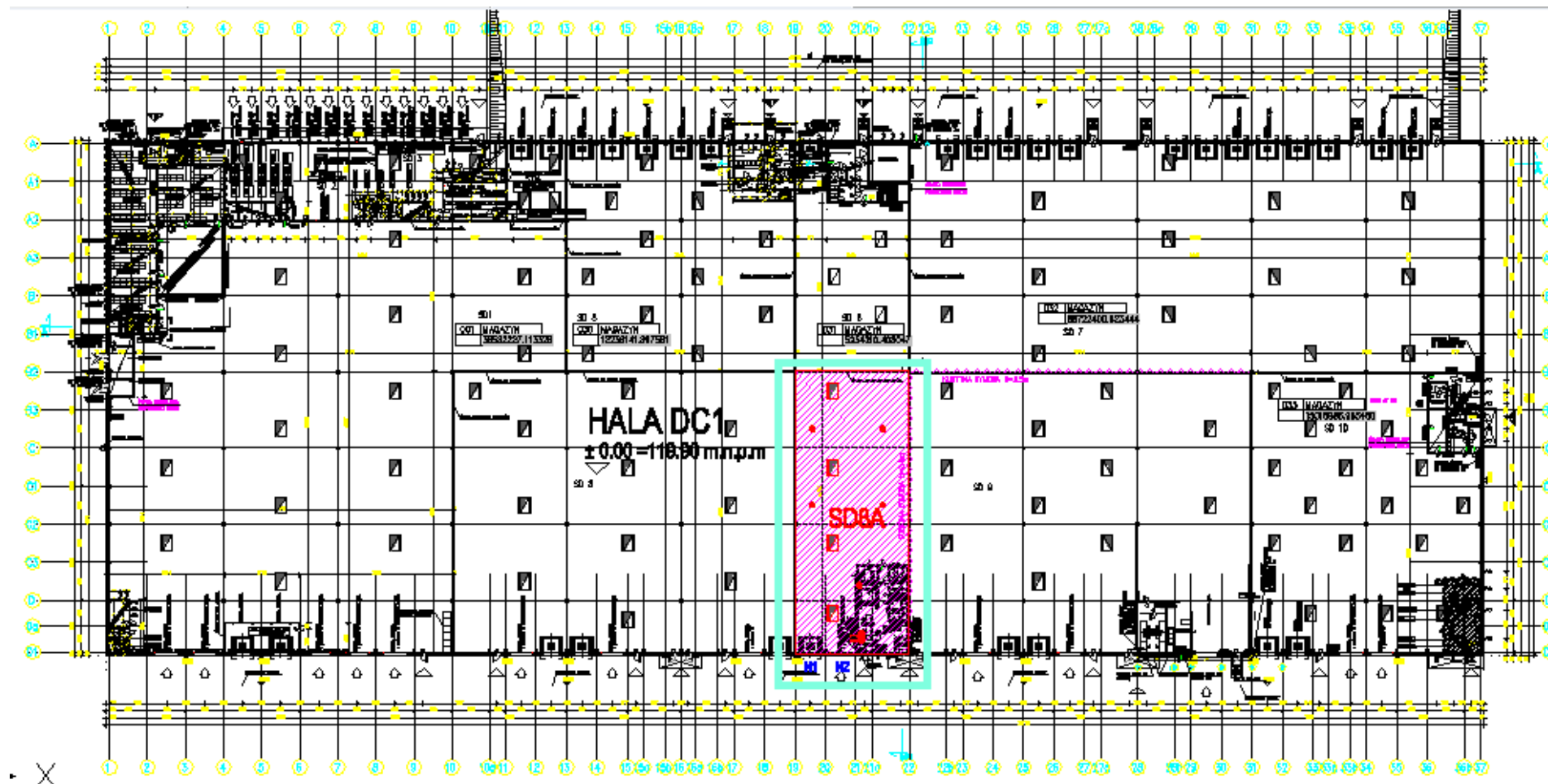
Wysokość od posadzki do dolnego pasa kratownicy- 10,0m

Powierzchnia ok. 17 600m²

Rozstaw słupów konstrukcyjnych (siatka słupów) 12,0x18,0m/12x24,0m



Przykład- hala magazynowa (wydzielenie jednostki najmu na etapie użytkowania)



Zestawienie tabelaryczne obliczeń wg normy NFPA 204 – czas rozwoju pożaru do 1MW – 85 sekund

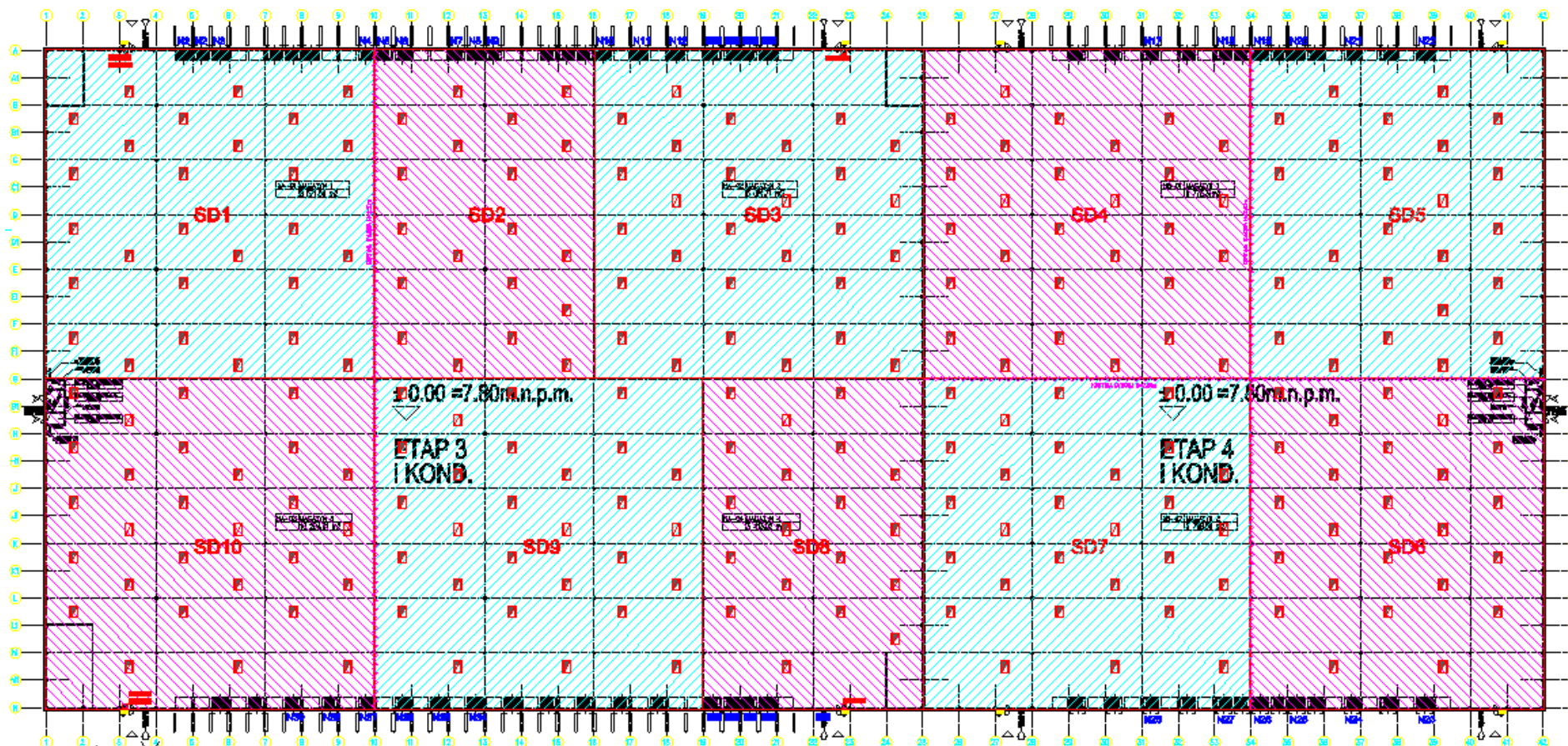
Powierzchnia strefy dymowej, [m ²]	Wymagana minimalna powierzchnia czynna oddymiania, [m ²]	Rodzaj zaprojektowanej klapy dymowej	Wymagana ilość klap dymowych [szt.]	Zapewniona powierzchnia czynna oddymiania [m ²]	Powierzchnia geometryczna klap dymowych w strefie dymowej [m ²]	Wymagana powierzchnia geometryczna napowietrzania, [m ²]	wymagana ilość bram o wym. 3,0x3,2m, pow. napowietrzania 9,6m ² (opcja bez uwzględnienia fartucha)	wymagana ilość bram o wym. 3,0x3,2m, pow. napowietrzania 7,6m ² (opcja z uwzględnieniem fartucha)*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
800,0	31,50	klapa dymowa Mercor Prolight NG-A lub Thermolight o wym. 1,5x2,5m, Acz=2,66m ²	12	31,92	45,00	45,60	5	6
900,0								
1000,0								
1200,0								
1600,0								

*Przyjęto, że fartuch zmniejsza powierzchnię geometryczną bramy o ok. 20% (pow. bramy ok. 7,6m²)

Analizując wyniki dotyczące wymaganej powierzchni geometrycznej napowietrzania stwierdza się, że dla jednostki najmu o pow. **ok. 800m²**, w której ściana zewnętrzna ma szerokość ok. 24,0m **problematiczna staje się zabudowa bram napowietrzających o wymaganej powierzchni geometrycznej napowietrzania 45,6m²** lub w przypadku zabudowy części socjalno- biurowej przylegającej do ściany zewnętrznej takiej możliwości nie będzie.

Można rozważyć zabudowę stale otwartych otworów transferujących powietrze kompensacyjne w wewnętrznych ścianach działowych danej jednostki najmu, ale mając na uwadze wymagania związane z utrzymaniem **wymaganych warunków bytowych (higieniczno- sanitarnych)** może być to **niemożliwe**.

Przykładowy układ klap dymowych



TARCZA < 2% powierzchni geometrycznej dachu

System oddymiania mechanicznego zaprojektowany wg NFPA 92 Standard for Smoke management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces, 2012 Edition jako alternatywa

Zakłada się, że instalacja tryskaczowa w obrębie strefy oddymiania wyposażona będzie w tryskacze o czułości RTI <50. Znamionowa temperatura zadziałania tryskaczy wynosi 74°C.

Przyjęty do obliczeń scenariusz zakłada, że w przypadku powstania pożaru w obszarze magazynu samoczynnie uruchamia się instalacja tryskaczowa. W przypadku prawidłowego zadziałania instalacji tryskaczowej moc pożaru powinna być znacząco ograniczona.

Na podstawie tych danych dla strefy dymowej określono czas uruchomienia instalacji tryskaczowej od momentu powstania pożaru. Czasy zadziałania instalacji tryskaczowej w strefie dymowej wynosi 405s.

Czas zadziałania ampułek zostały zweryfikowane przy pomocy programu komputerowego DETACT T2.

Punkt A.4.4.3 NFPA 204

```

ENTER: 1 FOR ENGLISH UNIT INPUT
       2 FOR METRIC UNIT INPUT
2

ENTER THE AMBIENT TEMPERATURE IN DEGREES C.
16

ENTER THE DETECTOR RESPONSE TIME INDEX <RTI> IN <M-SEC>**(1/2).
50

ENTER THE DETECTOR ACTIVATION TEMPERATURE IN DEGREES C.
74

ENTER A DETECTOR RATE OF RISE IN DEGREES C/MINUTE.
4

ENTER THE CEILING HEIGHT IN METERS.
12

ENTER THE DETECTOR SPACING IN METERS.
6.5

ENTER: S FOR SLOW FIRE GROWTH RATE
       M FOR MEDIUM FIRE GROWTH RATE
       F FOR FAST FIRE GROWTH RATE
       U FOR ULTRAPAST FIRE GROWTH RATE OR
       O FOR OTHER
f

RESULTS:

CEILING HEIGHT   = 12.00 METERS < 39.37 FEET>
DETECTOR SPACING = 6.50 METERS < 21.33 FEET>

DETECTOR RTI = 50.0 <M-SEC>**(1/2) < 90.6 <FT-SEC>**(1/2)>

FIRE GROWTH CONSTANT = .4689E+02 JOULES/(<SEC>**3)
                     < .4444E-01 BTU/SEC**3>

<RETURN> TO CONTINUE

FOR TEMPERATURE ACTUATED DETECTOR:

ACTIVATION TEMPERATURE = 74.0 DEGREES C < 165.2 DEGREES
TIME TO ACTIVATION = 6.75 MINUTES
HEAT RELEASE RATE = .7694E+04 KILOJOULES/SEC
                   < .7293E+04 BTU/SEC>

```

strefa dymowa	czas t, [s]	moc pożaru- pożar szybki, [kW]	przyjęta moc pożaru do obliczeń, [kW]
SD	405	7691,13	7700

Obliczenia wg NFPA 92

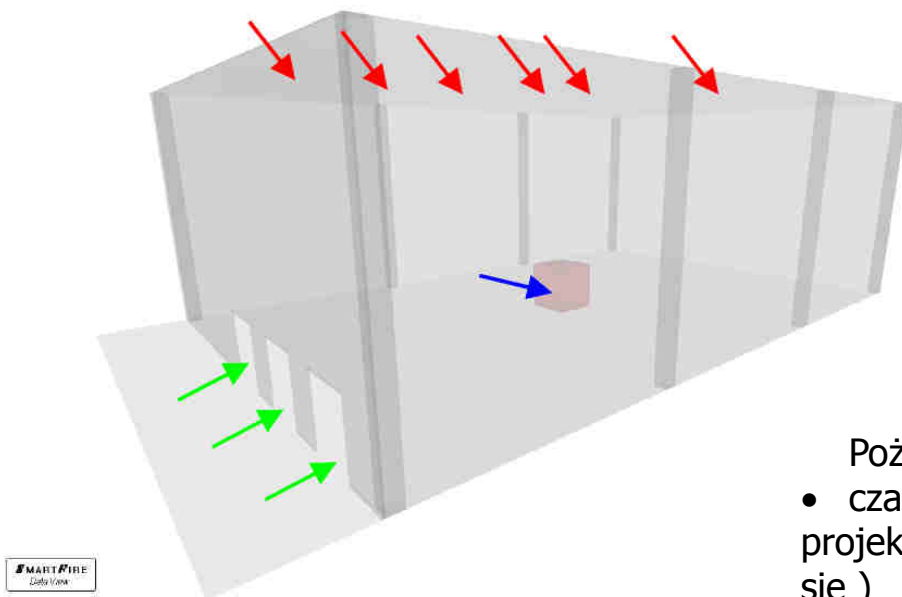
KARTA OBLICZEŃ wg NFPA 92 2012 Edition					
RODZAJ UTWORZONEJ KOLUMNY KONWEKCYJNEJ DYMU:				SYMETRYCZNA	
	<i>Obliczone wartości charakterystyczne</i>	<i>Symbol</i>	<i>Wartość</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Uwagi</i>
wymagane objętościowe natężenie (wydajność) wyciągu dymu		V	63,42316495	[m³/s]	
			228 323,39	[m³/h]	
minimalna ilość punktów wyciągowych z przestrzeni oddymianej		N	4		
minimalna odległość między punktami wyciągowymi		S _{min}	4,55815	[m]	
minimalna powierzchnia otworów napowietrzających strefę oddymiania		A _i	12,68	[m²]	(kryterium przepływu przez otwór 5m/s)
min. wysokość kurtyny dymowej wydzielającej strefę dymową				[m]	strefa dymowa wydzielona jest ścianami szczelnymi- nie przewiduje się montażu kurtyn dymowych
	<i>Dane wejściowe</i>	<i>Symbol</i>	<i>Wartość</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Uwagi</i>
wysokość strefy (przestrzeni oddymianej)		H	12,0	[m]	
zakładana grubość warstwy dymu			3,0	[m]	min. 20% wysokości przestrzeni oddymianej
całkowita moc pożaru		Q	7700,0	[kW]	
zakładana wysokość warstwy wolnej od zadymienia		z	9,0	[m]	

Obliczenia wg NFPA 92

zakładana wysokość warstwy wolnej od zadymienia	z	9,0	[m]	
konwekcyjna moc pożaru	Q_c	5390	[kW]	
wysokość płomienia	z_l	5,16112	[m]	
masowy przepływ dymu na wysokości z	m_p	58,17785	[kg/s]	
ciepło właściwe gazów w słupie dymu	C_p	1,01	[kJ/kg°C]	
temperatura otoczenia	T_o	20	[°C]	
		293,15	[K]	
średnia temperatura kolumny konwekcyjnej dymu na wysokości z	T_p	111,7296438	[°C]	
temperatura absolutna dymu	T	384,8796438	[K]	
część energii konwekcyjnej zawartej w warstwie dymu	K	0,50	[m]	
temperatura dymu przyjmowana do określenia maksymalnej wydajności pojedynczego punktu wyciągu bez zjawiska "plugholing"	T_p	65,86482192	[°C]	
		339,0148219	[K]	

Obliczenia wg NFPA 92

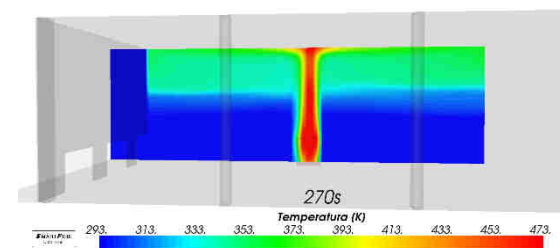
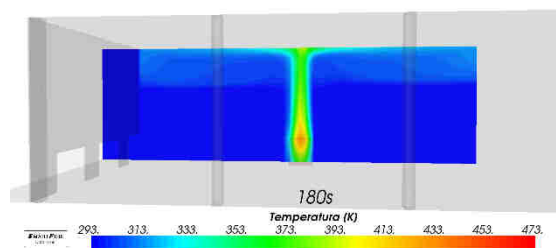
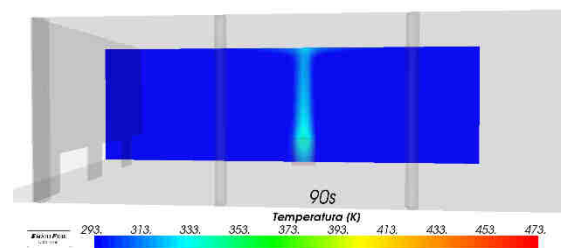
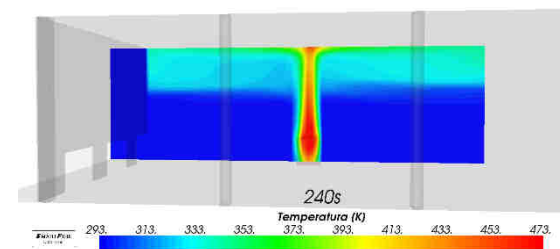
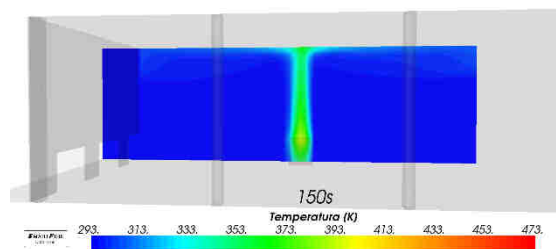
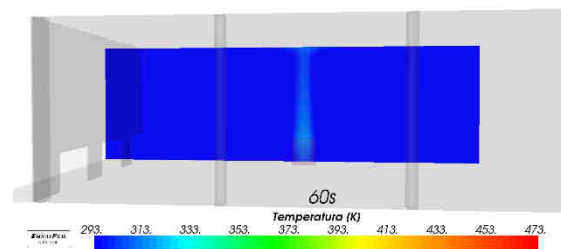
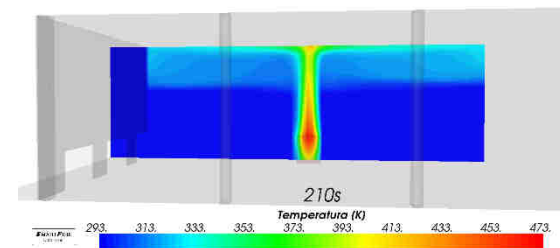
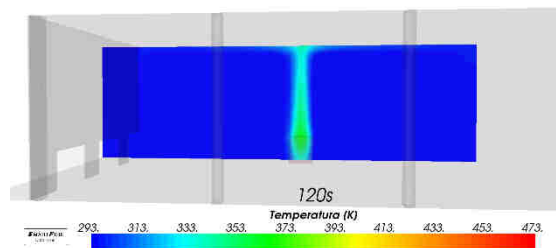
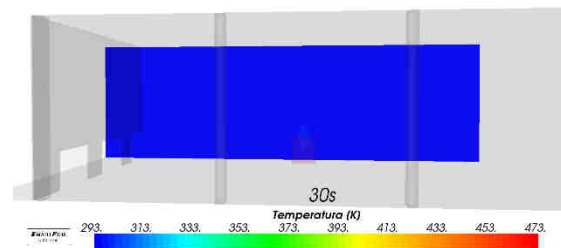
	współczynnik lokalizacji punktu wyciągu dymu (bezwymiarowy)	γ	1,0		środek punktu wyciągowego znajduje się nie bliżej niż podwójna ich średnica od najbliższej ściany
	zakładana grubość warstwy dymu pod wentylatorem/ kratką wyciągową	d	3,0	[m]	
	maksymalne objętościowe natężenia przepływu przez kratkę bez wystąpienia zjawiska zasysania powietrza spod warstwy dymu w temperaturze	V_{max}	25,65023651	[m³/s]	
	<i>Obliczenie objętościowego natężenia przepływu dymu przez wentylatory/kratki oddymiające</i>				
	<i>Dane wejściowe</i>	<i>Symbol</i>	<i>Wartość</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Uwagi</i>
	ciśnienie atmosferyczne	p	101,325	[kPa]	
	stała gazowa	R	287		
	temperatura absolutna dymu	T	384,8796438	[K]	
	gęstość dymu w temperaturze T	ρ	0,917296579	[kg/m³]	



- Pożar standardowy ($Q=at^2$) - szybki;
- czas rozwoju pożaru – 430 sekundy (do uzyskania projektowej mocy pożaru – założono pożar rozwijający się)
 - maksymalna moc pożaru - 8,5 MW
 - rozmiar pożaru stały – 2,4mx 2,6mx 2,4m;
 - ciepło spalania spalanego materiału ustalono na poziomie 30 MJ/kg.
 - współczynnik produkcji sadzy – przyjęto wartość 0,05 kg/kg spalanego materiału.

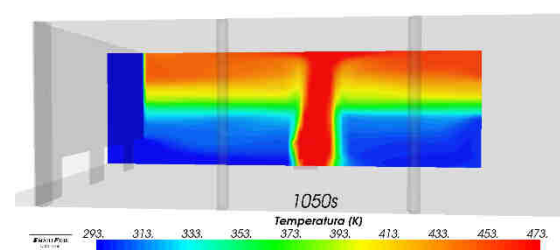
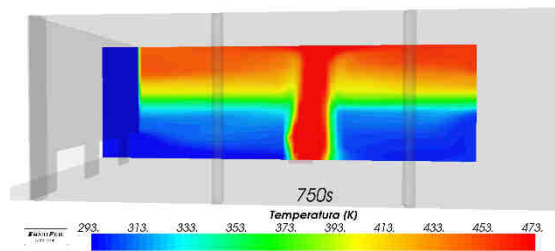
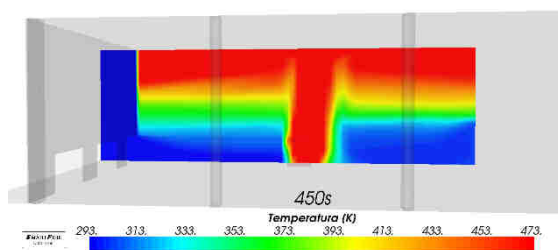
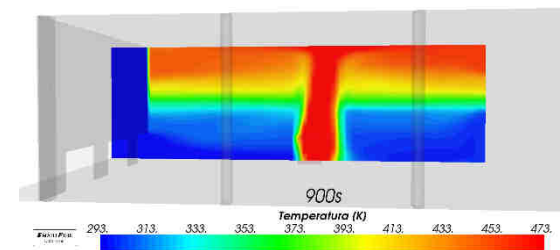
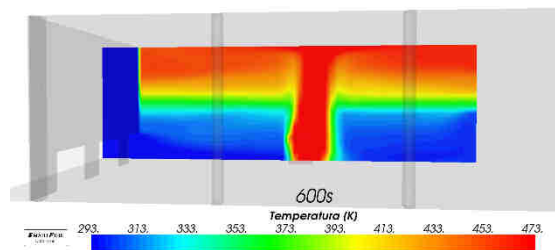
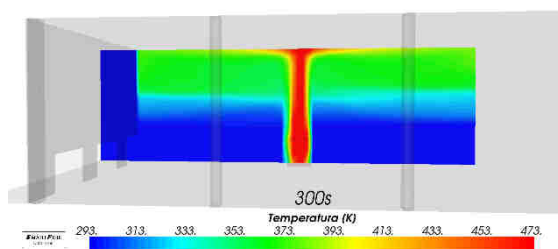
Analiza CFD- wyniki

System oddymiania mechanicznego- wydajność 230 000m³/h



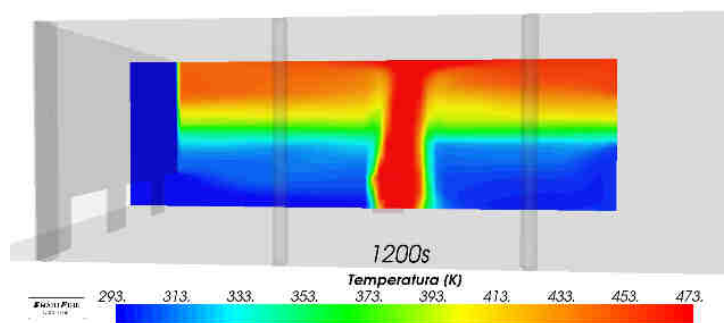
Analiza CFD- wyniki

System oddymiania mechanicznego- wydajność 230 000m³/h

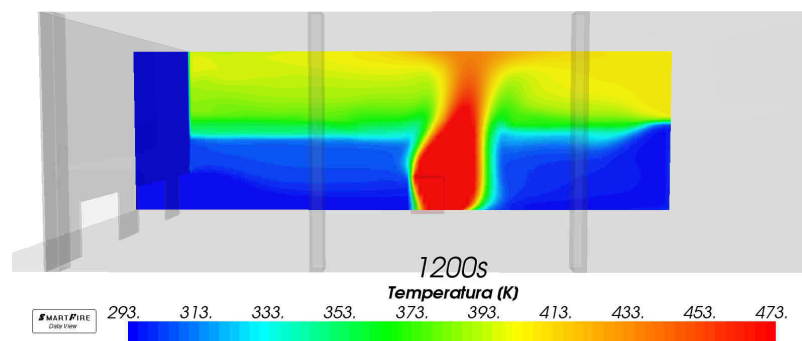


Analiza CFD. Rozkład temperatury- porównanie wyników

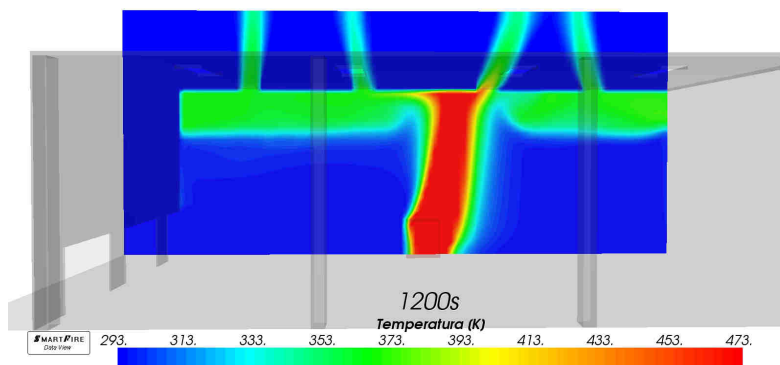
System oddymiania mechanicznego- 230 000m³/h



System oddymiania mechanicznego- 300 000m³/h

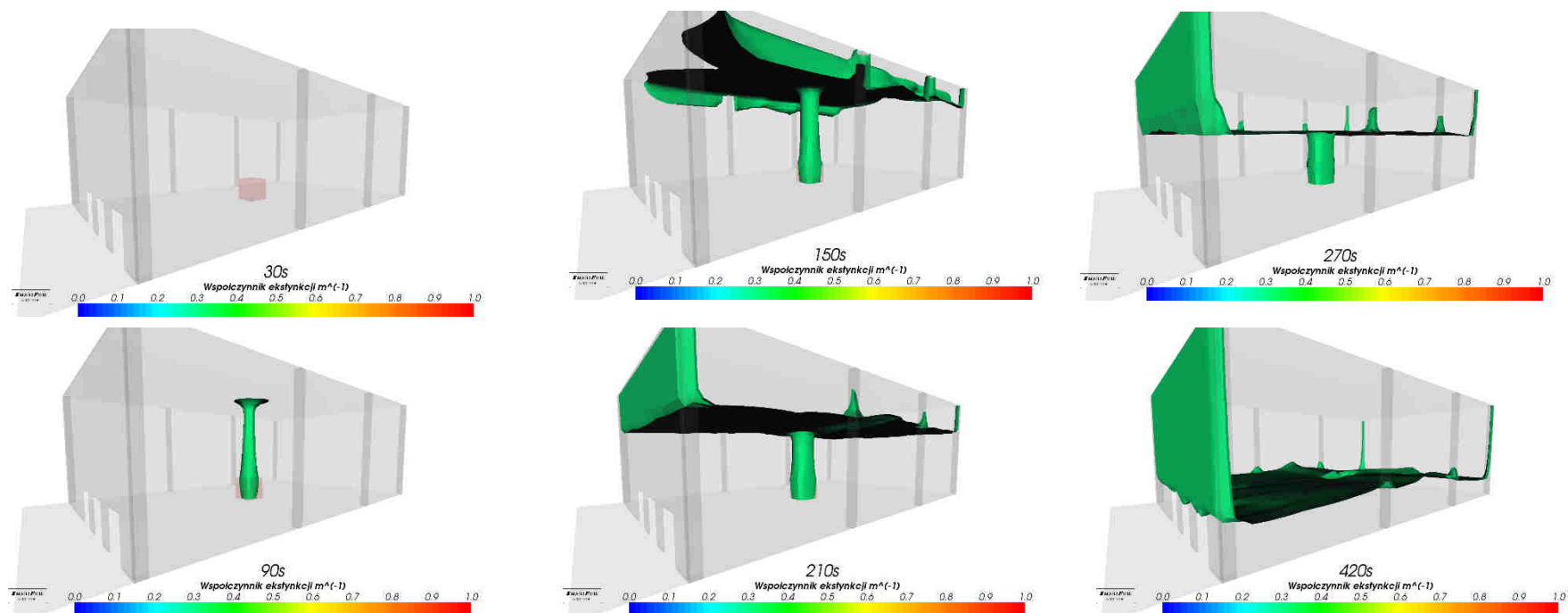


System oddymiania grawitacyjnego- 12 klap dymowych o wym. 1,5x2,5m



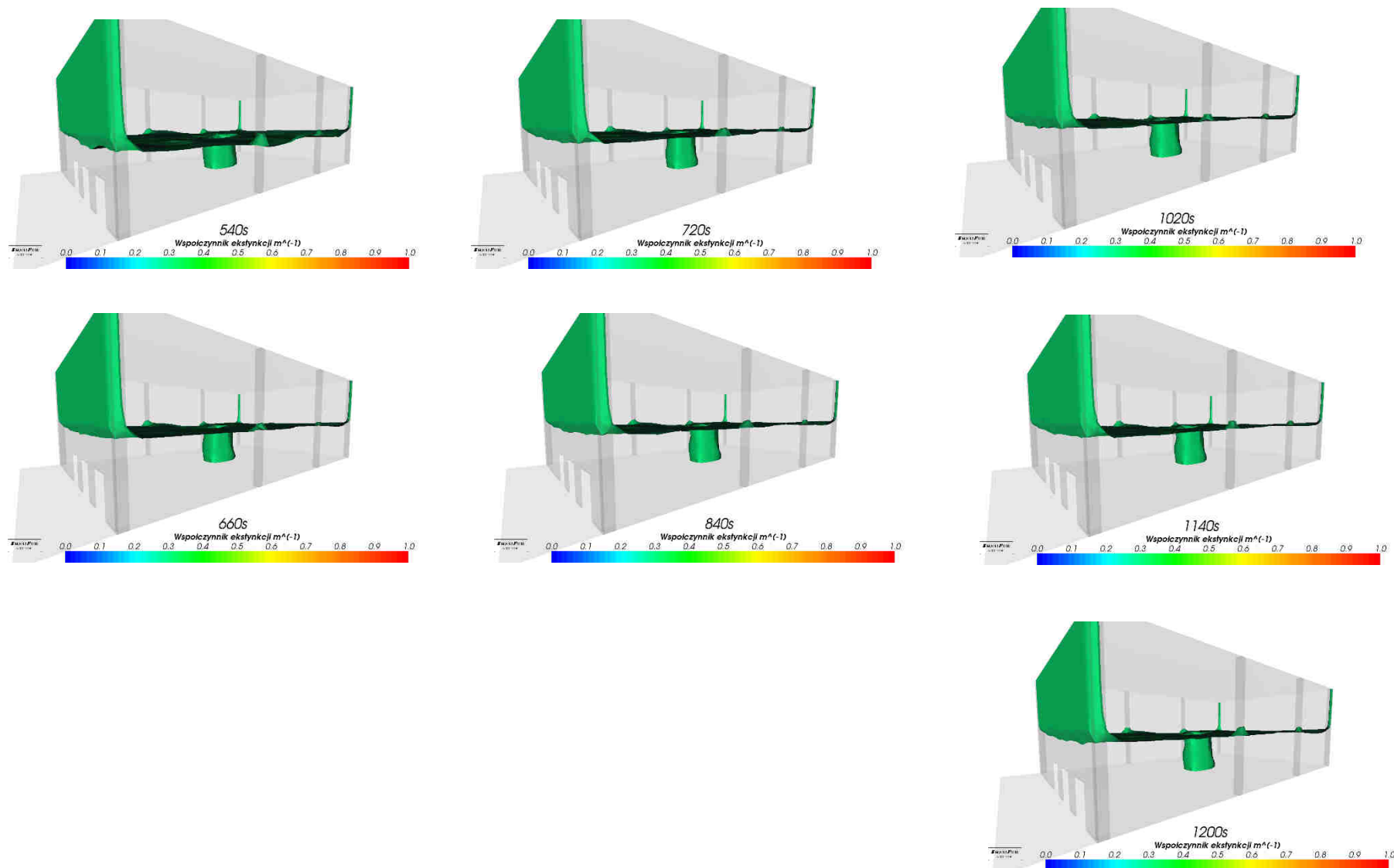
Analiza CFD- wyniki

System oddymiania mechanicznego- wydajność 230 000m³/h



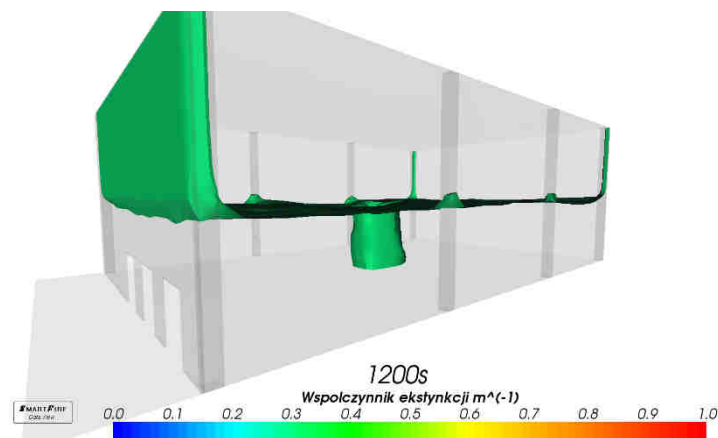
Analiza CFD- wyniki

System oddymiania mechanicznego- wydajność 230 000m³/h

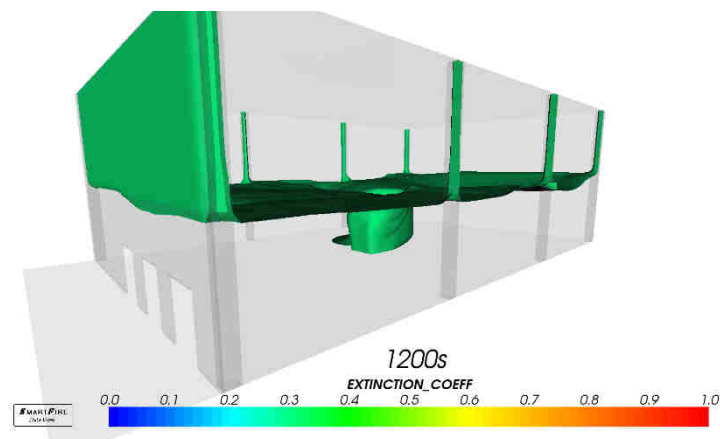


Analiza CFD. Współczynnik ekstynkcji- porównanie wyników

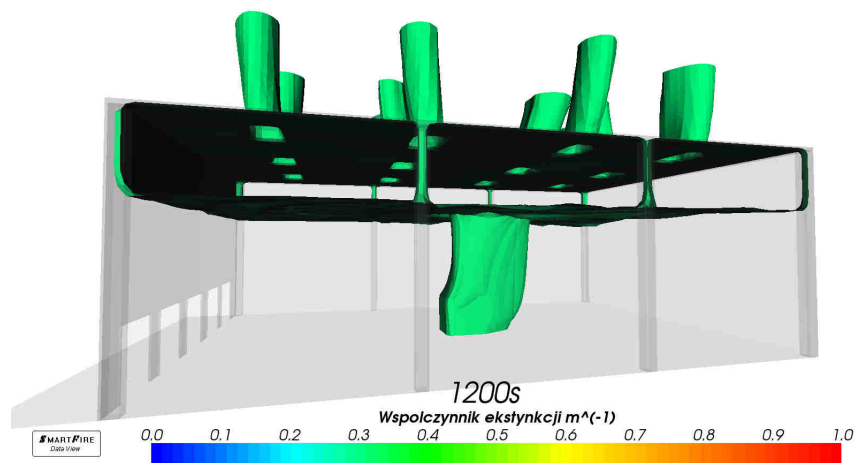
System oddymiania mechanicznego- 230 000m³/h



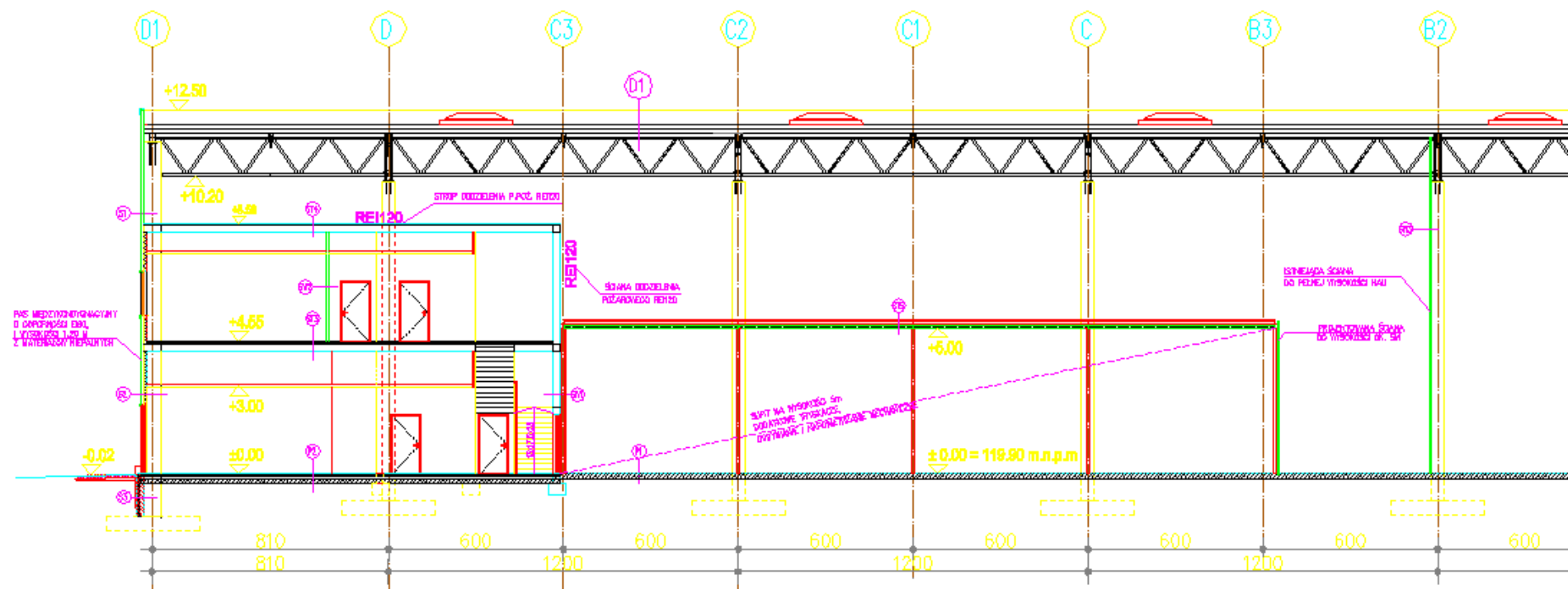
System oddymiania mechanicznego- 300 000m³/h



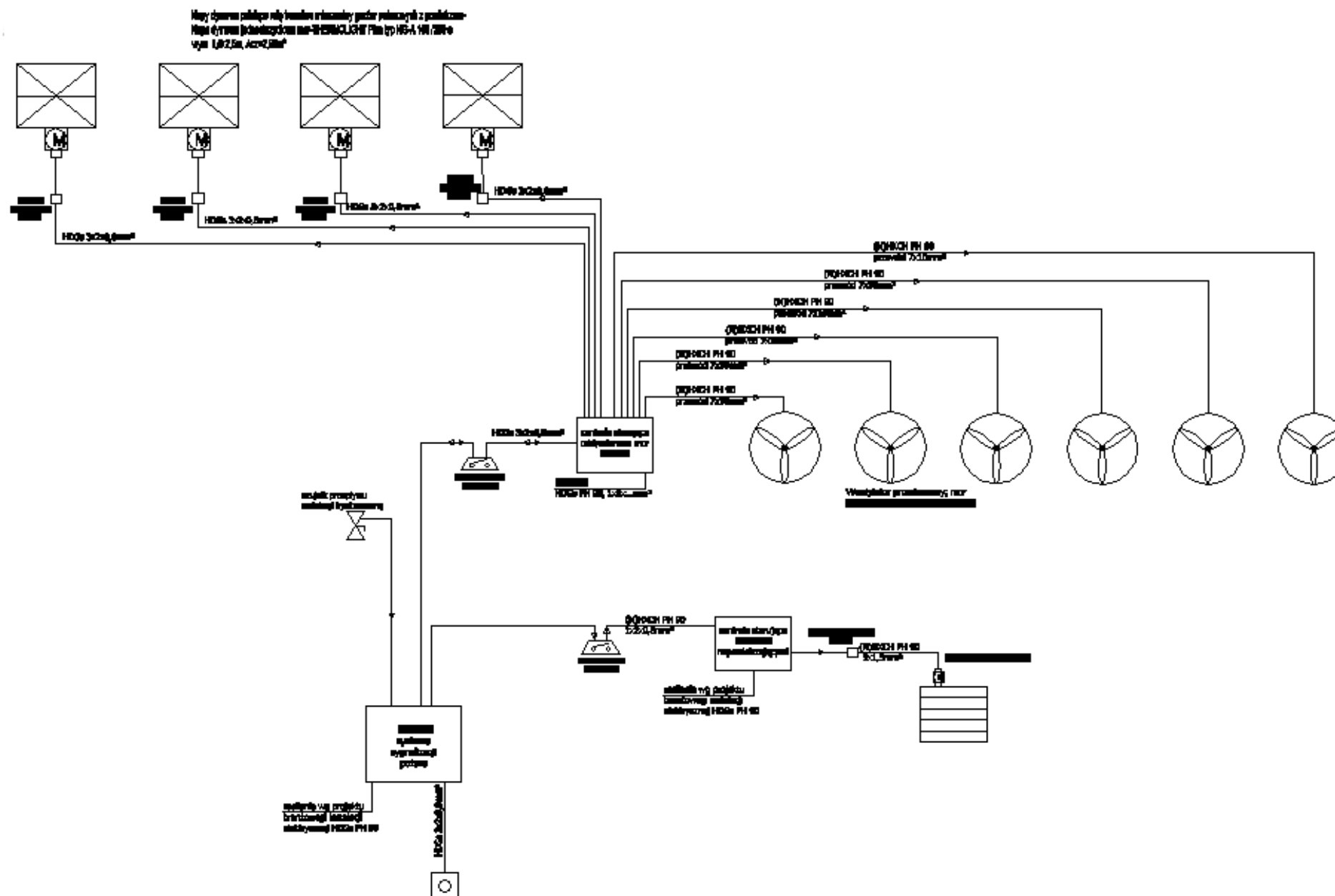
System oddymiania grawitacyjnego- 12 klap dymowych o wym. 1,5x2,5m



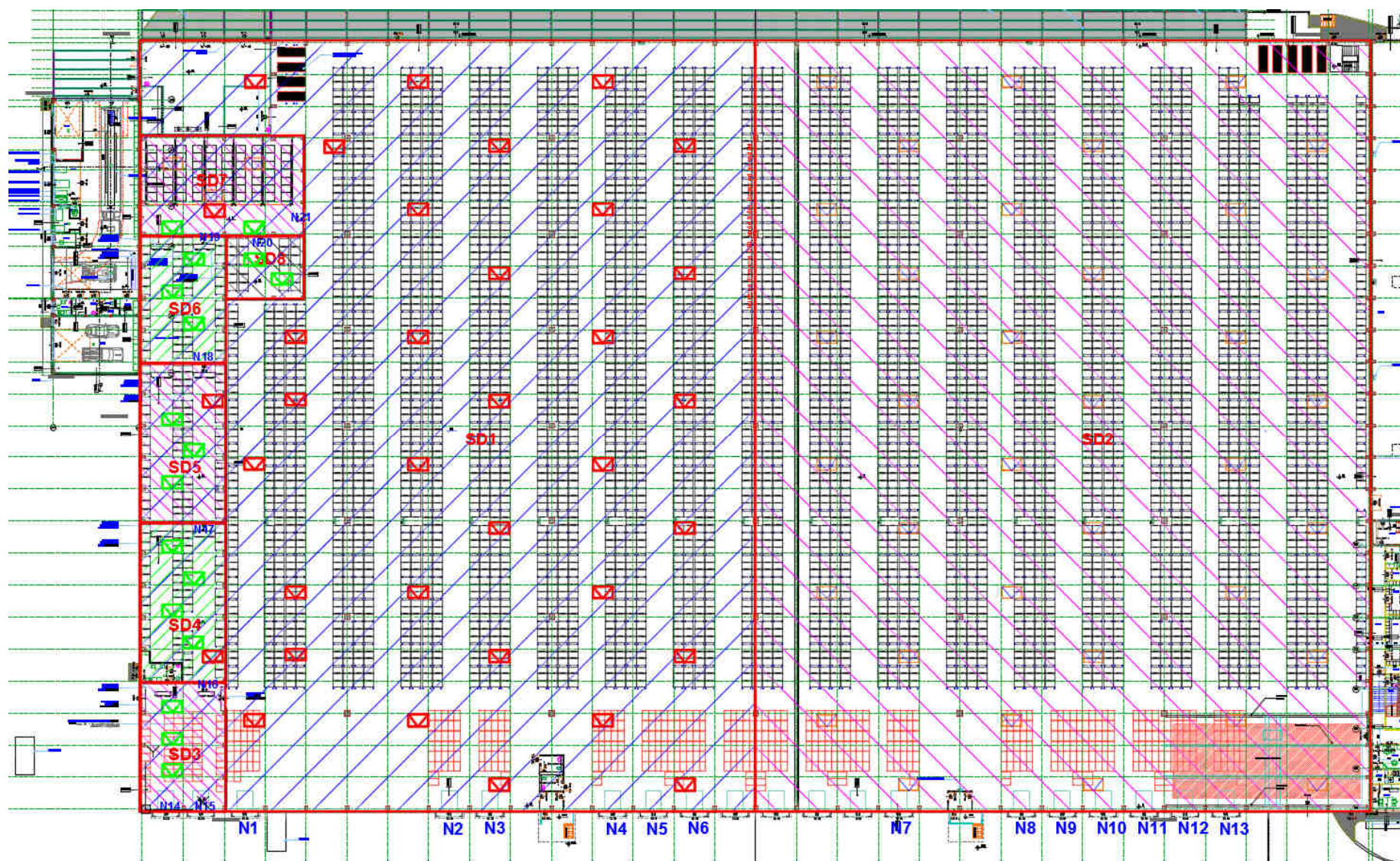
PRZEKRÓJ C-C



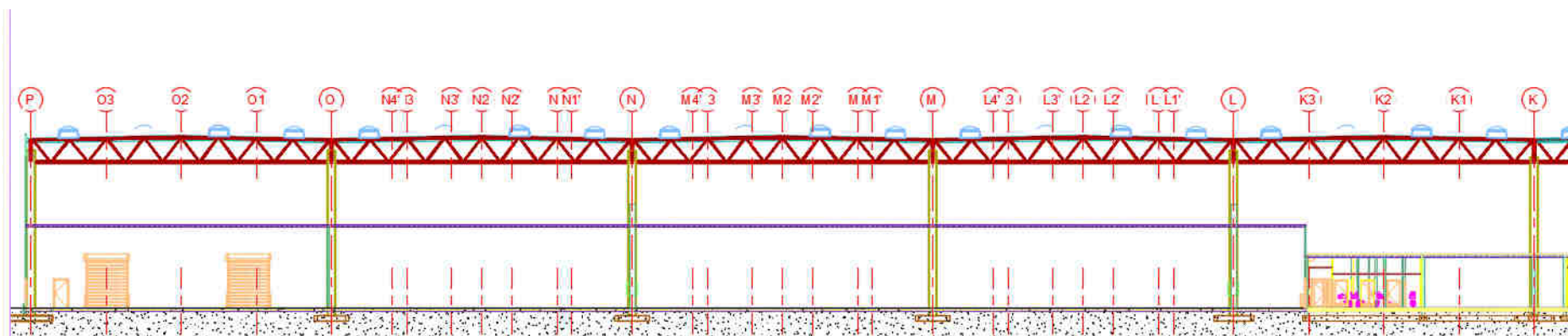
Schemat blokowy sterowania oddymianiem



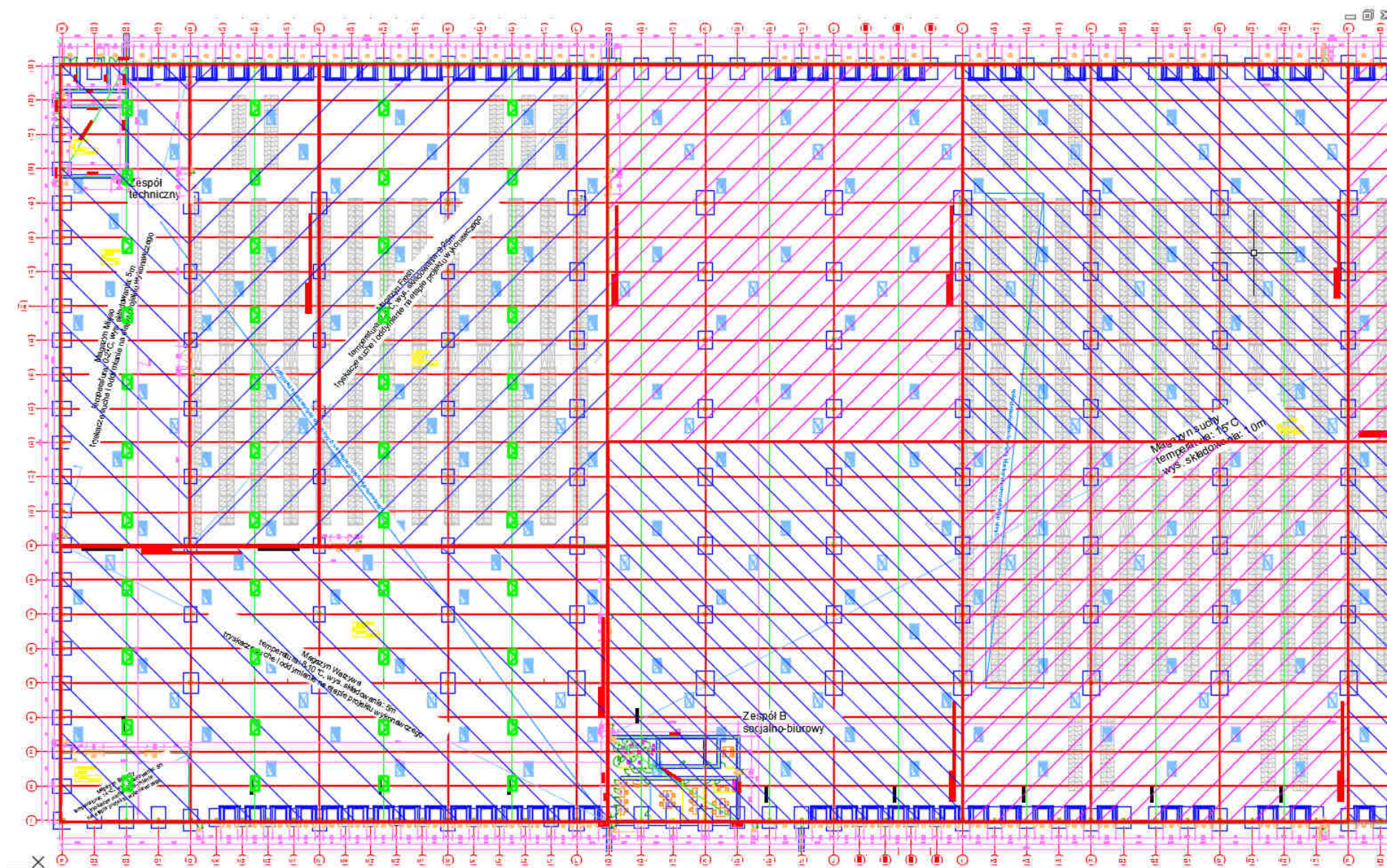
Chłodnie/mroźnie typu box in box



Chłodnie/mroźnie typu box in box przekrój



Chłodnie/mroźnie typu box in box



Wnioski

Na podstawie przyjętych założeń i wykonanych obliczeń oraz analiz CFD rozwoju pożaru możliwe jest sformułowanie następujących wniosków:

- ❑ w jednostce najmu o wymiarach 24,0x36,0m (pow. ok. 864m²), z uwagi na brak w większości przypadków możliwości zapewnienia wymaganej powierzchni otworów napowietrzających w elewacji zewnętrznej, wykonanie grawitacyjnego systemu oddymiania może być niemożliwe
- ❑ z przeprowadzonych obliczeń zaleca się, aby wydajność systemu oddymiania wynosiła od 230 000m³/h do 300 000m³/h. Powyższy zakres wydajności został obliczony z założeniem składowania materiałów do wysokości ok. 9,0m, których pożar charakteryzował się będzie szybką (ang. *fast*) krzywą rozwoju pożaru. W przypadku ograniczenia wysokości składowania materiałów do wysokości ok. 5,5m, które charakteryzować się będą szybką krzywą rozwoju pożaru i zwiększenia grubości warstwy dymu możliwe jest zmniejszenie wymaganej wydajności systemu oddymiania do ok. 150 000m³/h. Prędkość przepływu powietrza przez otwory kompensacyjne nie powinna być większa niż 3,0m/s.

Wnioski

- ❑ w jednostce najmu o wymiarach 24,0x48,0m (powierzchnia poniżej ok. 1100m²) istnieje możliwość zabudowy grawitacyjnego systemu oddymiania w przypadku zapewnienia wymaganej powierzchni czynnej oddymiania i geometrycznej napowietrzania, w zależności od konfiguracji danej jednostki najmu

Uzasadnienie:

wg normy NFPA 204 wymagana minimalna powierzchnia geometryczna napowietrzania wynosi 45,6m², co odpowiada 6 bramom o wymiarach 3,0x3,2m z uwzględnieniem zmniejszenia powierzchni geometrycznej o ok. 20% przez tzw. fartuch.

W jednostkach najmu o długości elewacji zewnętrznej do 24,0m w praktyce nie jest możliwe zabudowanie wymaganej ilości otworów napowietrzających (doki załadownicze)

- ❑ W jednostkach najmu o powierzchni od ok. 1600m² (jednostka najmu o wymiarach 36,0x48,0m²) możliwe jest również wykonanie systemu oddymiania mechanicznego, z zaznaczeniem, że wg normy BS 7346-4: 2003 Components for smoke and heat control systems. Part 4: Functional recommendations and calculation methods for smoke and heat exhaust ventilation systems, employing steady- state design fires- Code of practice, przywołanej jako zasady wiedzy technicznej powierzchnia strefy dymowej oddymianej poprzez system wentylacji pożarowej nie powinna przekraczać 2600m², żaden z boków strefy dymowej nie powinien przekraczać 60m.

Wnioski

Analiza porównawcza wykazała, że zwiększenie wydajności systemu oddymiania poprawia wyniki związane z przyrostem temperatury, tj. wpływa na jej obniżenie. Zaobserwowano, że zwiększenie wydajności przy stałej powierzchni geometrycznej otworów kompensacyjnych powoduje zwiększenie prędkości napływu powietrza kompensacyjnego (zwiększenie turbulencji na granicy warstwy dymu i warstwy wolnej od zadymienia oraz odchylenie w poziomie kolumny konwekcyjnej dymu), co może mieć wpływ na wyniki zasięgu widzialności w analizowanej przestrzeni. W związku powyższym konieczne jest, aby **każde rozwiązanie projektowe dla danej jednostki najmu rozpatrywane było indywidualnie** z uwzględnieniem powierzchni najmu, wielkości i lokalizacji otworów napowietrzających, lokalizacji i mocy pożaru, sposobu uruchamiania systemu oddymiania z uwzględnieniem współdziałania z instalacją tryskaczową.

W przypadku braku możliwości spełnienia wymagań określonych wybraną normą lub na podstawie obliczeń opartych na wybranej normie (np. dopuszczalna powierzchnia strefy dymowej, ilość punktów wyciągowych i ich lokalizacja, itp.) **istnieje możliwość odstąpienia od tych wymagań** z zastrzeżeniem potwierdzenia skuteczności działania systemu oddymiania poprzez narzędzia inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, w tym **analizę CFD** rozwoju pożaru.

mcr
edu

97%

architektów i projektantów
poleca warsztaty **mcr edu**
innym uczestnikom

Dziękuję za uwagę !

Łukasz Ostapiuk

Rzecznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych
Specjalista ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych- projektant

tel. (+48) 22 654 26 55 w. 445

kom. (+48) 605 111 078

faks (+48) 22 654 26 47

MERCOR SA

00-131 Warszawa, ul. Grzybowska 2 lok. 79

www.mercor.com.pl