

**KOMINY STALOWE** ZALICZA SIĘ DO SPECJALNYCH KONSTRUKCJI PRZEMYSŁOWYCH, KTÓRYCH GŁÓWNYM ZADANIEM JEST ODPROWADZENIE GAZÓW DO ATMOSFERY.

**CECHY SZCZEGÓLNE KOMINÓW STALOWYCH:**

- **PODATNOŚĆ NA KOROZJĘ**
- **NADMIERNE DRGANIA OD WIATRU**
- **ODDZIAŁYWANIE TEMPERATURY**

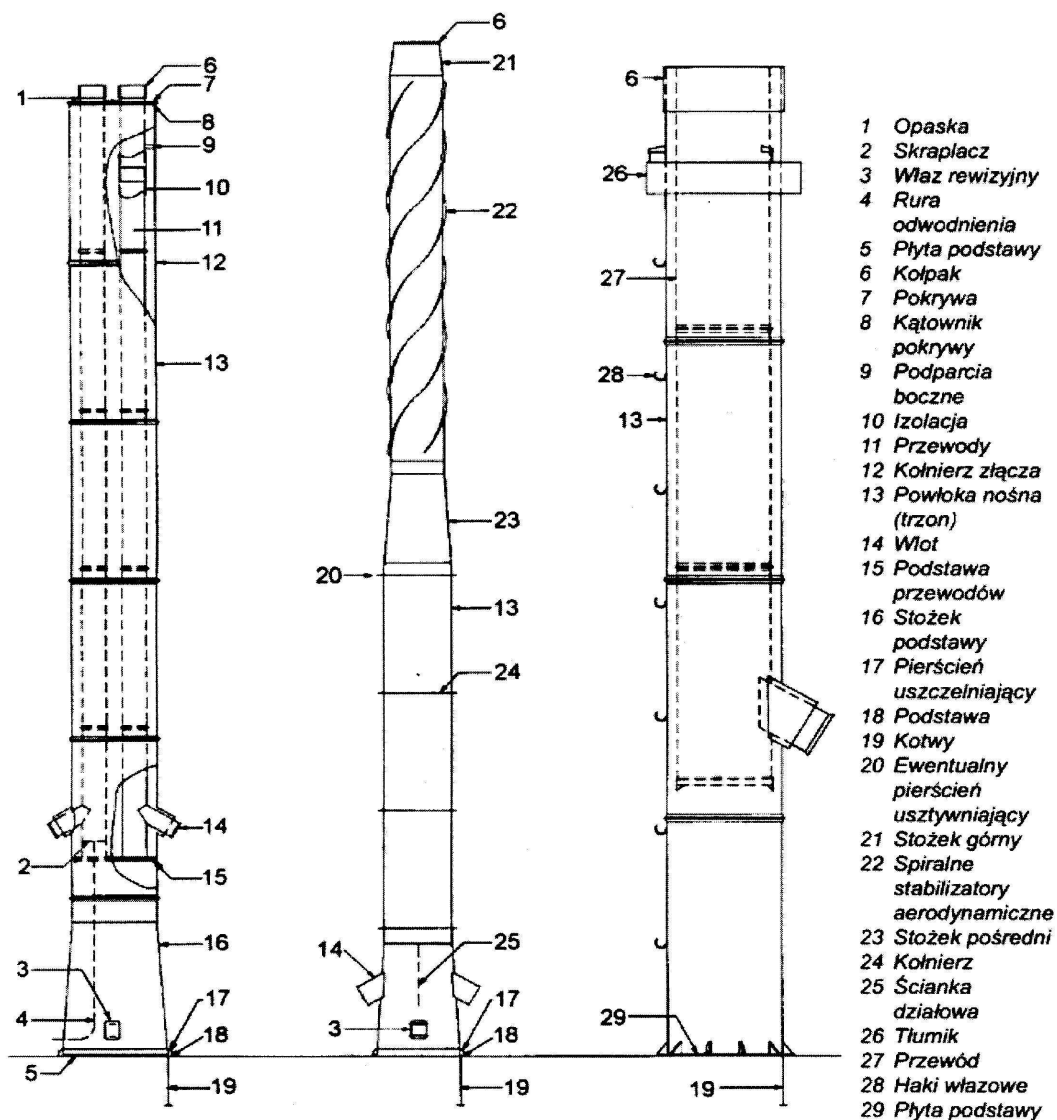
**CECHY TE MUSZĄ BYĆ UWZGLĘDNIONE W PROCESIE PROJEKTOWANIA – W ROZWIĄZANIACH KONSTRUKCYJNO-MATERIAŁOWYCH ORAZ W PROCEDURACH OBLICZENIOWYCH.**

**PROJEKTOWANIE KOMINÓW STALOWYCH JEST TRUDNYM ZADANIEM INŻYNIERSKIM, A Z UWZGLĘDNieniem WYMAGAŃ EUROKODÓW JESZCZE TRUDNIEJSZYM I BARDZIEJ ZŁOŻONYM NIŻ BYŁO DOTYCHCZAS!**

**EUROKODY ZWIĄZE Z PROJEKTOWANIEM KOMINÓW STALOWYCH TO KILKANAŚCIE POWIĄZANYCH NORM LICZĄCYCH PONAD 600 STRON! ☹**

## WPROWADZENIE

RODZAJE KOMINÓW  
WOLNO STOJĄCYCH  
WG PN-EN 1993-3-2



- 1 Opaska
- 2 Skraplacz
- 3 Właz rewizyjny
- 4 Rura odwodnienia
- 5 Płyta podstawy
- 6 Kołpak
- 7 Pokrywa
- 8 Kątownik pokrywy
- 9 Podparcia boczne
- 10 Izolacja
- 11 Przewody
- 12 Kołnierz złącza
- 13 Powłoka nośna (trzon)
- 14 Włot
- 15 Podstawa przewodów
- 16 Stożek podstawy
- 17 Pierścień uszczelniający
- 18 Podstawa
- 19 Kotwy
- 20 Ewentualny pierścień usztywniający
- 21 Stożek górny
- 22 Spiralne stabilizatory aerodynamiczne
- 23 Stożek pośredni
- 24 Kołnierz
- 25 Ścianka działowa
- 26 Tłumik
- 27 Przewód
- 28 Haki włazowe
- 29 Płyta podstawy

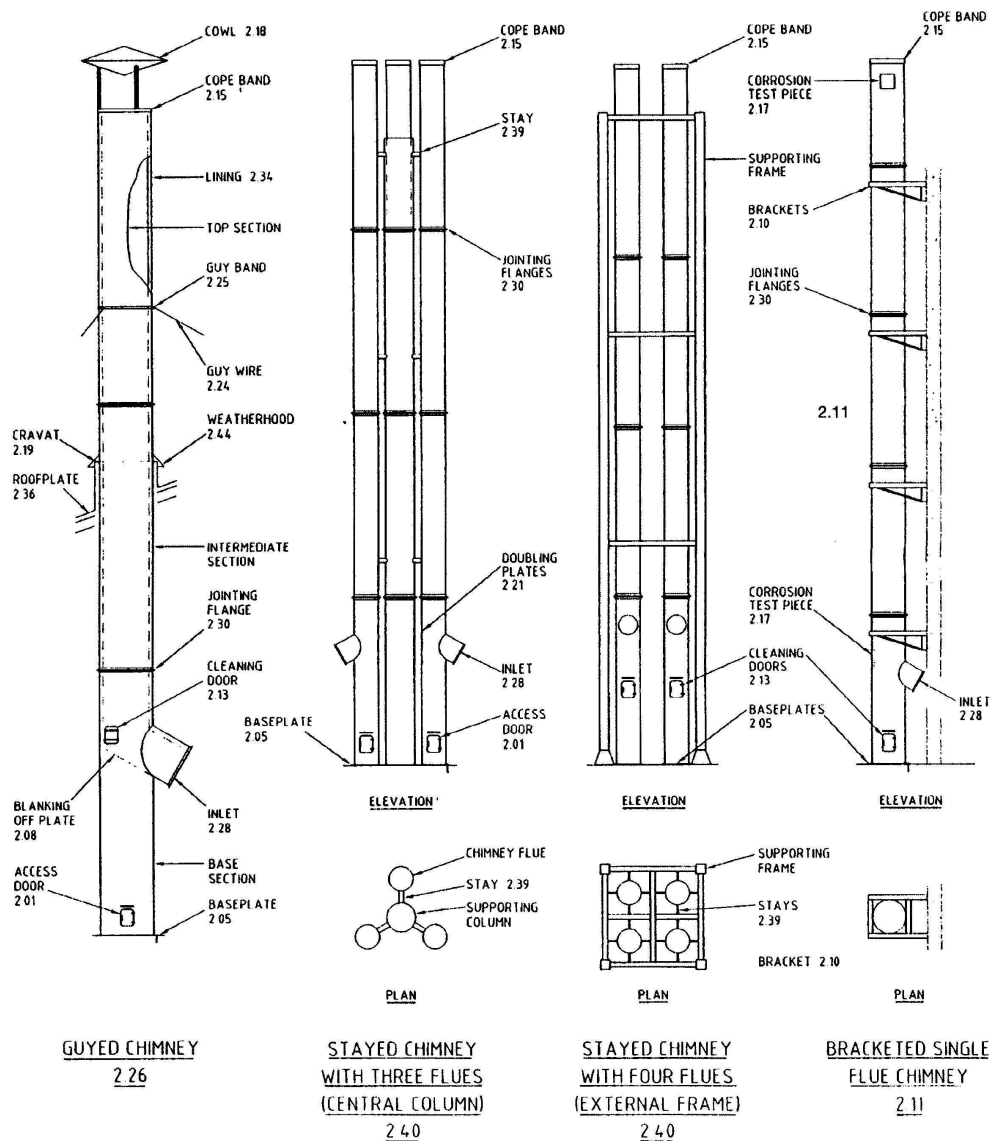
Komin wieloprzewodowy

Komin jednowłokowy

Komin dwuwłokowy

Rysunek 1.1 Definicje dotyczące kominów

## INNE RODZAJE KOMINÓW WEDŁUG CICIND



Tablica 1. Granica plastyczności stali  $f_y$  w MPa w zależności od temperatury stali

Norma i gatunek stali	Temperatura materiału w °C											
	20	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PN-EN 10025-2	Stal konstrukcyjna niestopowa											
S235JRG1	235	235	190	175	160	140	120					
S235JRG2	235	235	190	175	160	140	120					
S235JRG3	235	235	190	175	160	140	120					
S275JR	275	275	215	200	185	165	145	125	104			
S275J2G3	275	275	215	200	185	165	145	125	104			
S355J2G3	355	355	260	245	230	210	190					
PN-EN 10025-5	Stal konstrukcyjna trudno rdzewiejąca											
S235JRW	235	235	190	175	160	140	120					
S235J2W	235	235	190	175	160	140	120					
S355J2WP	355	355	260	245	230	210	190					
S355J2G1W	355	355	260	245	230	210	190	170	140	120	85	
PN-EN 10088	Stal stopowa odporna na korozję											
X5CrNi 18-10	195	177	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90
X6CrNiTi 18-10	205	190	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118
X6CrNiMoTi 17-12-2	215	202	185	177	167	157	145	140	135	131	129	127
X2CrNiMo 17-12-2	190	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98
X2CrNiMo 18-14-3	190	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98
X1NiCrMoCu 25-20-5	220	190	175	165	155	145	135	130	125	120	110	105
PN-EN 10095	Stal stopowa żaroodporna											
X8CrNiTi 18-10	205	190	176	167	157	147	136	130	125	121	119	118
X15CrNiSi 25-21	205	190	176	167	157	147	136	130	125	121	120	112
X15CrNiSi 20-12	230	190	176	167	157	147	136	130	125	121	120	120

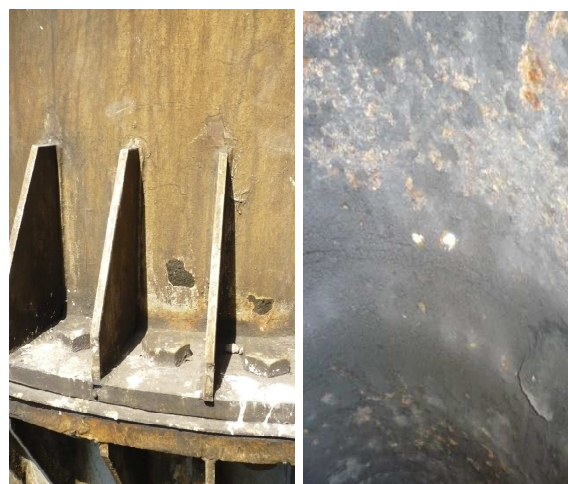
## ZAGADNIENIA MATERIAŁOWE

## ZGADNIENIA MATERIAŁOWE

Wartości charakterystyczne współczynnika sprężystości  $E$  stali konstrukcyjnych niestopowych i trudno rdzewiejących w różnych temperaturach według [N25] należy przyjmować:  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  przy  $20^\circ\text{C}$ ,  $2,05 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  przy  $150^\circ\text{C}$ ,  $2,0 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  przy  $250^\circ\text{C}$  oraz  $E = 1,92 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  przy  $350^\circ\text{C}$ .

Wartości współczynnika rozszerzalności termicznej stali konstrukcyjnych niestopowych i trudno rdzewiejących zależą także od temperatury i wynoszą według [N25]:  $\alpha = 12,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  przy  $100^\circ\text{C}$ ,  $12,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  przy  $200^\circ\text{C}$ ,  $12,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  przy  $300^\circ\text{C}$ .

W procesie doboru stali na konstrukcje nośne kominów należy uwzględnić także nowe zasady podane w części 1-10 Eurokodu 3, dotyczące doboru stali ze względu na odporność na kruche pęknięcie i ciągliwość międzywarstwową według [N19].



**ZAGADNIENIA  
KOROZYJNE – KOROZJA  
STALI NIESTOPOWYCH**



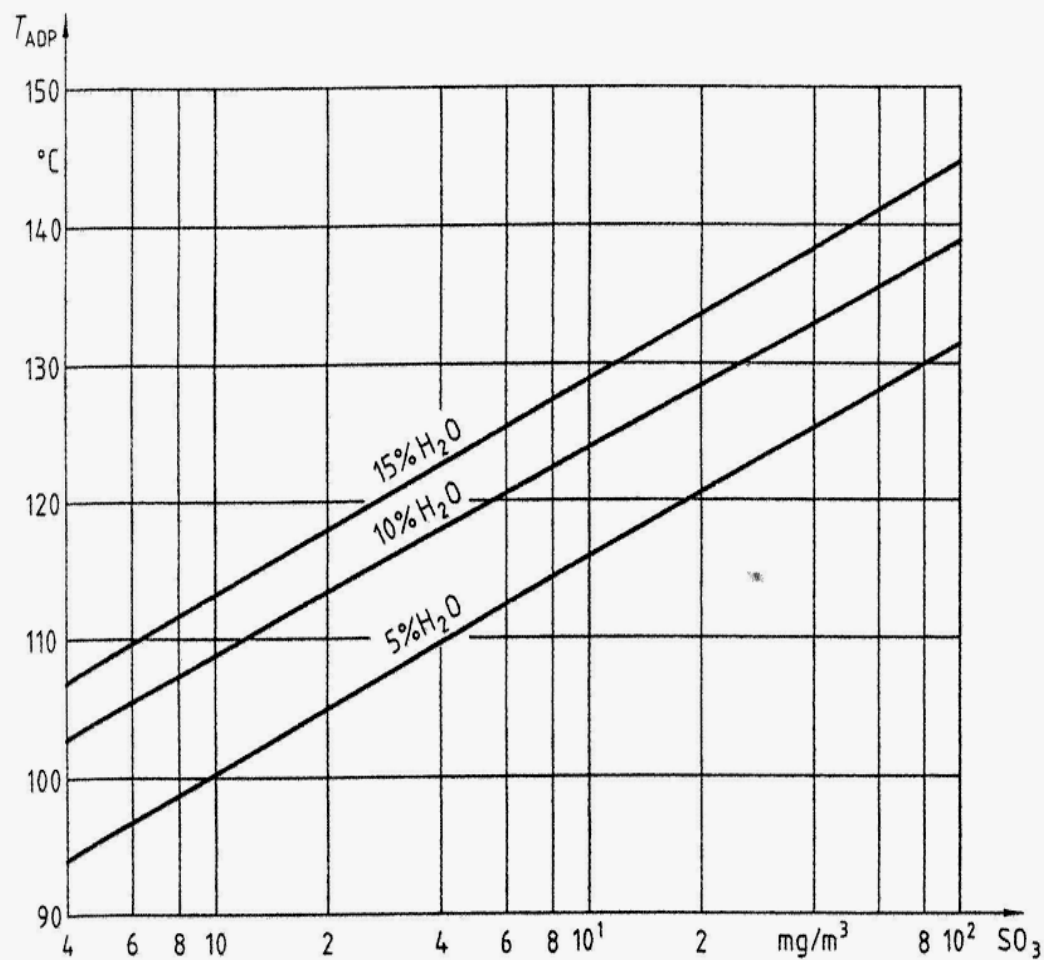
**ZAGADNIENIA  
KOROZYJNE – KOROZJA  
STALI NIERDZEWNYCH**

Kminy objęte zestawieniem	Liczba kominów objętych zesta- wieniem	Średnie ubytki korozyjne grubości ścianek				Średni ubytek korozyjny całego trzonu
		segmenty dolne	segmenty środkowe	segmenty górne	przy po- łączeniach	
$H \leq 30$ m	60	0,17	0,26	0,37	0,37	0,26
$30 < H \leq 50$ m	60	0,18	0,30	0,44	0,55	0,31
$50 < H \leq 80$ m	20	0,16	0,32	0,50	0,66	0,33
Kminy ogółem $H \leq 80$ m	140	0,17	0,29	0,44	0,53	0,30

**ZAGADNIENIA  
KOROZYJNE- UBYTKI  
KOROZYJNE ŚCIANEK  
TRZONU KOMINA  
[mm/rok]  
STAL KONSTRUKCYJNA  
NIESTOPOWA**



**ZAGADNIENIA  
KOROZYJNE- KWASOWY  
PUNKT ROSY**



Rys. 3. Temperatura kwasowego punktu rosy  $T_{ADP}$  gazów zawierających parę wodną i  $SO_3$  [20]

Tablica 4. Chemiczne działanie korozyjne gazów zawierających  $50\text{mg/m}^3 \text{SO}_3$

Stopień działania korozyjnego	Czas chemicznego działania korozyjnego w godz./rok <sup>1)</sup>			
	Powierzchnia wewnętrzna (np. wykładzina stykająca się z gazem)		Części kominu chronione przez wykładzinę	
	$T_{ADP} > 150^\circ\text{C}$	$T_{ADP} \leq 150^\circ\text{C}$	$T_{ADP} > 150^\circ\text{C}$	$T_{ADP} \leq 150^\circ\text{C}$
1	2	3	4	5
Niski	<10	<30	<50	<150
Średni	10 do 50	30 do 150	50 do 250	150 do 750
Wysoki	50 do 1000	150 do 3000	250 do 5000	750 do 15000 <sup>2)</sup>
Bardzo wysoki	>1000	>3000	>5000	>15000 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Czas, w którym temperatura powierzchni materiału stykającego się z gazem kominowym pozostaje poniżej kwasowego punktu rosy tego gazu.

<sup>2)</sup> Tylko do celów interpolacji, jednak w żadnym przypadku nie więcej niż 8760 godz. (1 rok)

**ZAGADNIENIA KOROZYJNE  
– STOPNIE CHEMICZNEGO  
ZAGROŻENIA  
KOROZYJNEGO**

Tablica 5. Zewnętrzny naddatek na korozję  $C_{ext}$  wg PN-EN 1993-3-2

Rodzaj stali i sposób jej zabezpieczenia	Okres użytkowania	
	Pierwsze 10 lat	Każde następne 10 lat
1	2	3
Malowana stal niestopowa (bez planu konserwacji)	0	1 mm
Malowana stal niestopowa (z planem konserwacji)	0	0
Malowana stal niestopowa chroniona izolacją wodoszczelną okładziną	0	1 mm
Niemalowana stal niestopowa	1,5 mm	1 mm
Niemalowana stal trudno rdzewiejąca	0,5 mm	0,3 mm
Niemalowana stal odporna na korozję	0	0
Niezabezpieczona wewnętrzna powierzchnia trzonu i zewnętrzna powierzchnia przewodu w dwupowłokowym lub wieloprzewodowym kominie ze stali niestopowej lub trudnordzewiejącej	0,2 mm	0,1 mm

**ZAGADNIENIA KOROZYJNE  
– ZEWNĘTRZNY NADDATEK  
KOROZYJNY**

Tablica 6. Wewnętrzne naddatki korozyjne grubości blach stykających się z gazami  
 $C_{int}$ [mm]

Gatunek stali	Stopień chemicznego działania korozyjnego wg PN-EN 13084-1							
	Pierwsze 10 lat użytkowania				Każde następne 10 lat			
	L	M	H	V	L	M	H	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9
S235JRG1 S235JRG2 S235JRG3 S275JR S275J2G3 S355J2G3	1,0	2,5	N	N	1,0	1,5	N	N
S235JRW S235J2W S355J2WP S355J2G1W	1,0	2,5	N	N	1,0	1,5	N	N
X5CrNi 18-10	0,0	0,75	1,25	N	0,0	0,75	1,25	N
X6CrNiTi 18-10	0,0	0,25	0,75	N	0,0	0,25	0,75	N
X6CrNiMoTi 17-12-2	0,0	0,25	0,75	N	0,0	0,25	0,75	N
X2CrNiMo 17-12-2	0,0	0,25	0,50	1,50	0,0	0,25	0,50	1,50
X2CrNiMo 18-14-3	0,0	0,75	1,25	N	0,0	0,75	1,25	N
X1NiCrMoCu 25-20-5	0,0	0,25	0,75	N	0,0	0,25	0,75	N
X8CrNi 18-10 X15CrNiSi25-21 X15CrNiSi20-12	0,0	0,75	1,5	N	0,0	0,75	1,5	N

Oznaczenia: L-stopień niski, M-średni, H-wysoki, V-bardzo wysoki, N-nie uwzględniać naddatków, tylko zastosować inne rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe

**ZAGADNIENIA KOROZYJNE  
– WEWNĘTRZNE NADDATKI  
KOROZYJNE**

**Kominy należy sprawdzać z uwzględnieniem następujących stanów granicznych nośności:**

- **Stateczności położenia;**
- **Nośności elementów konstrukcji;**
- **Stateczności ogólnej;**
- **Stateczności miejscowej elementów konstrukcji;**
- **Zmęczenia wysoko i niskocyklowego elementów konstrukcji;**
- **Zniszczenia połączeń.**

**PODSTAWY  
PROJEKTOWANIA  
STANY GRANICZNE  
NOŚNOŚCI KOMINÓW  
STALOWYCH**

**CZYNNIKI USZKODZEŃ I AWARYJNOŚCI KOMINÓW  
STALOWYCH**

**KOROZJA STALI –** dominującą przyczyną awaryjności i niedostatecznej trwałości kominów jednopowłokowych.

**Korozja stali trzonów kominów stalowych zależy od:**

- Składu chemicznego, wilgotności i temperatury spalin.
- Gatunku stali i zastosowanych środków ochrony przeciwkorozyjnej.
- Rozwiązań konstrukcyjnych, podatnych na korozję.
- Jakości wykonania i sposobu użytkowania komina.

**PODSTAWY  
PROJEKTOWANIA –  
AWARYJNOŚĆ  
KOMINÓW STALOWYCH**

## **BŁĘDY I UCHYBIENIA PROJEKTOWANIA KOMINÓW STALOWYCH**

- Brak norm, doświadczenia, niedostatek wiedzy.
- Ograniczenia materiałowe.
- Niewłaściwie przyjęte założenia technologiczno – eksploatacyjne.
- Niewłaściwa ocena zagrożeń, np. korozja, zmęczenie oraz brak adekwatnego zabezpieczenia przed tymi zagrożeniami.
- Pominięcie wpływów dynamicznych na trzon, na połączenia i wyposażenie (np. wzbudzenia wirowego).
- Źle zaprojektowane otwory w trzonie, powstanie karbów-pęknięć zmęczeniowych.
- Niewłaściwie przyjęte rozwiązania konstrukcyjne połączeń trzonu, zakotwienia komina w fundamencie, połączeń z konstrukcją wsporczą.
- Błędnie przyjęte założenia wyjściowe dotyczące konstrukcji i montażu.

## **PODSTAWY PROJEKTOWANIA – AWARYJNOŚĆ KOMINÓW STALOWYCH**

Tablica 2. Klasy niezawodności kominów stalowych

Klasa niezawodności	Rodzaje kominów
1	2
1	Kominy na otwartym terenie wiejskim, których zniszczenie nie powoduje szkód, także kominy niższe niż 16 m na terenach mało zaludnionych
2	Wszystkie zwyczajne kominy na terenach przemysłowych i innych, które można określić jako nie odpowiadające klasie 1 lub 3
3	Kominy w miejscach strategicznych, np. w siłowniach jądrowych lub w gęsto zaludnionych terenach miejskich. Wysokie kominy na terenach tradycyjnie przemysłowych o bardzo dużych społecznych i ekonomicznych konsekwencjach zniszczenia.

Tablica 3. Współczynniki częściowe do oddziaływań stałych i zmiennych

Efekt oddziaływań	Klasa niezawodności	Oddziaływania stałe	Oddziaływania zmienne
1	2	3	4
Niekorzystny	1	1,0	1,2
	2	1,1	1,4
	3	1,2	1,6
Korzystny	wszystkie klasy	1,0	0,0
Sytuacje wyjątkowe		1,0	1,0

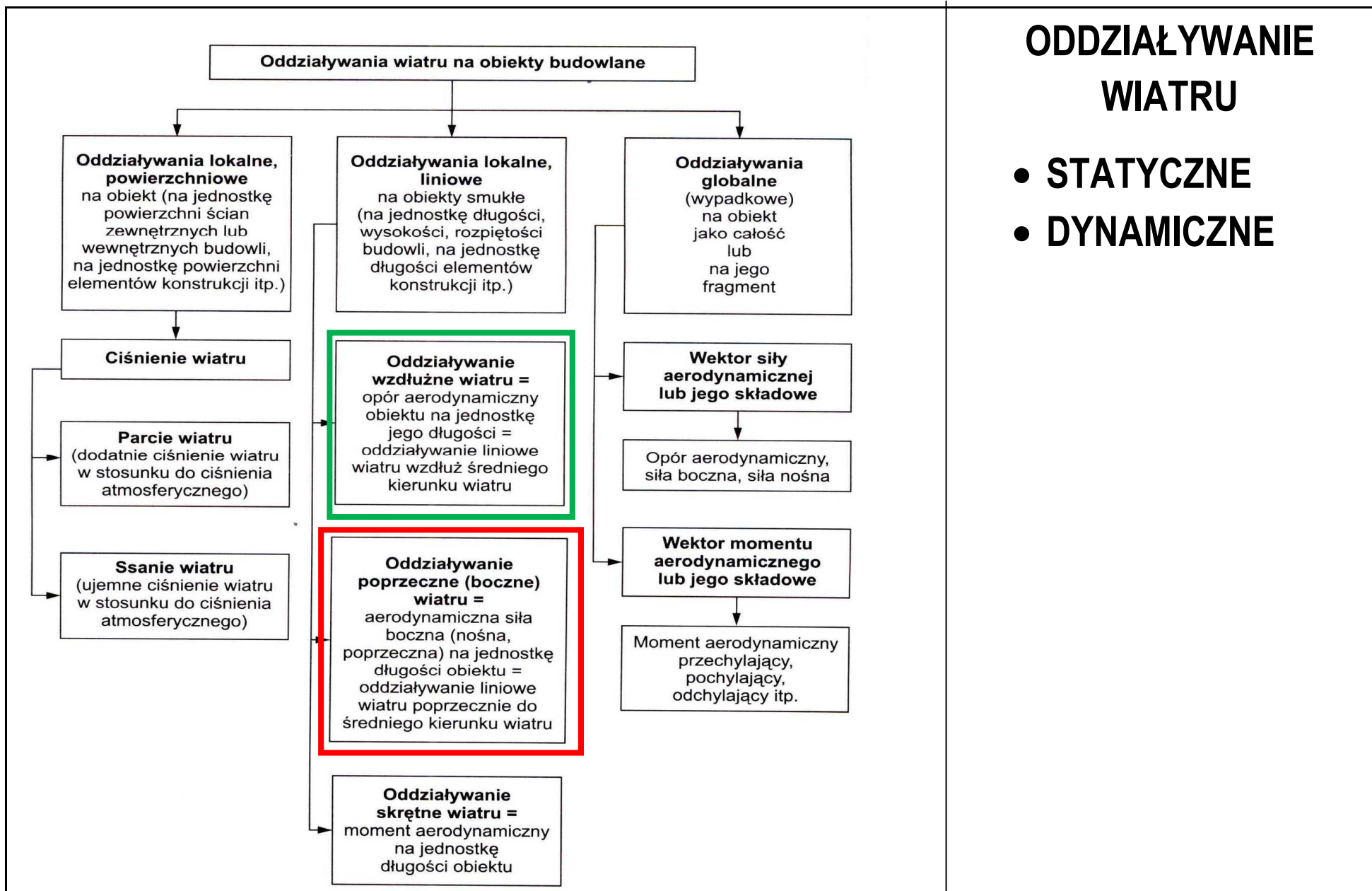
## PODSTAWY PROJEKTOWANIA – WSPÓŁCZYNNIKI CZĘŚCIOWE

$\gamma_{M0} = 1,00$  – gdy nie zagraża  
utrata stateczności powłoki

$\gamma_{M1} = 1,10$  – utrata  
stateczności powłoki

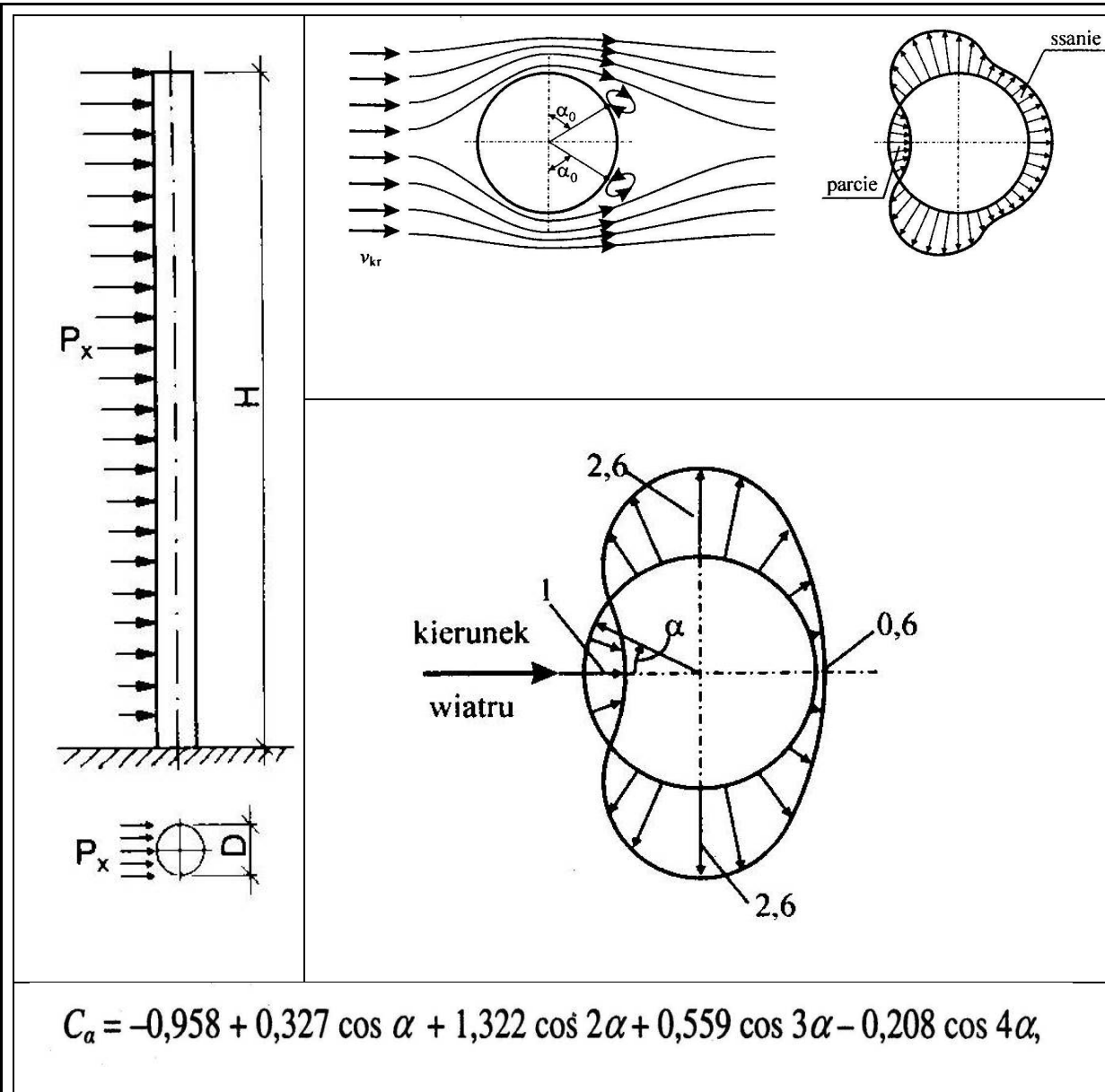
$\gamma_{M2} = 1,25$  – pęknięcie  
powłoki, zniszczenie łączników





## ODDZIAŁYWANIE WIATRU

- STATYCZNE
- DYNAMICZNE



## OBCIĄŻENIE WIATREM W LINII DZIAŁANIA WIATRU – OBCIĄŻENIE STATYCZNE

WSPÓŁCZYNNIK OPORU  
AERODYNAMICZNEGO =  
= WYPADKOWA WSPÓŁCZYNNIKÓW  
RADIALNYCH

Siły wywierane przez porywy wiatru na konstrukcje komina wyznacza się z wyrażenia normowego:

$$F_w = C_s C_d C_f q_p(z_e) A_{ref} \quad [\text{kN}],$$

w którym:

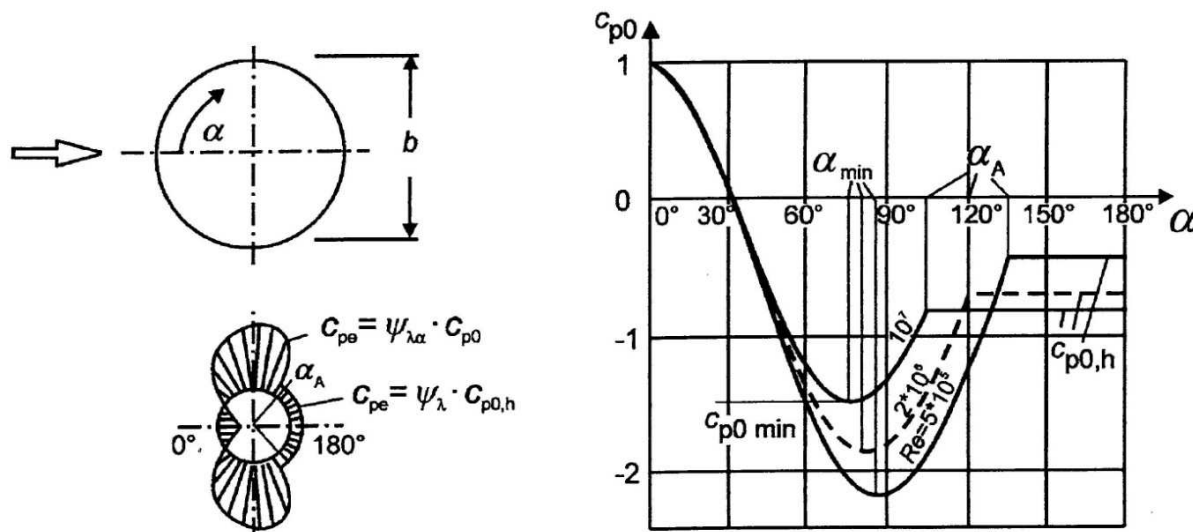
$C_s C_d$  – współczynnik konstrukcyjny,

$C_f$  – współczynnik siły aerodynamicznej (oporu aerodynamicznego) konstrukcji lub elementu konstrukcyjnego,

$q_p(z_e)$  – wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru na wysokości odniesienia  $z_e$ ,

$A_{ref}$  – pole powierzchni odniesienia konstrukcji lub elementu konstrukcyjnego, np. segmentu  $A_{ref} = b h$

**OBCIĄŻENIE  
WIATREM W LINII  
DZIAŁANIA WIATRU  
OBCIĄŻENIE STATYCZNE  
według  
PN-EN 1991-1-4**

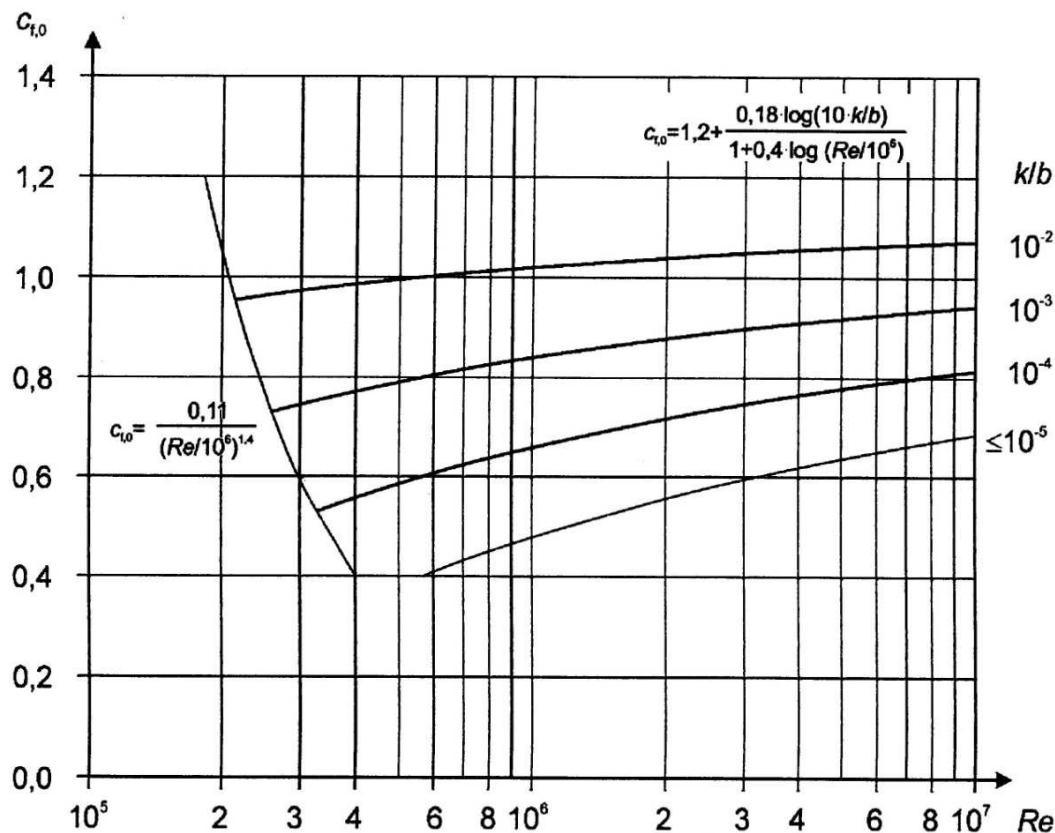


**OBCIĄŻENIE  
WIATREM W LINII  
DZIAŁANIA WIATRU**  
**OBCIĄŻENIE STATYCZNE**  
według  
**PN-EN 1991-1-4**  
Przewód kominowy  
Współczynnik  $C_f$

Tablica 7.13 – Wartości chropowatości powierzchni  $k$

Rodzaj powierzchni	Chropowość $k$ mm	Rodzaj powierzchni	Chropowość $k$ mm
szkło	0,0015	beton gładki	0,2
metal polerowany	0,002	<del>drewno heblowane</del>	<del>0,5</del>
malowanie gładkie	0,006	beton surowy	1,0
malowanie natryskowe	0,02	<del>drewno pilowane</del>	<del>2,0</del>
stal polerowana	0,05	rdza	2,0
żelazo lane	0,2	mur ceglany	3,0
stal galwanizowana	0,2		

Chropowość powierzchni  $k$



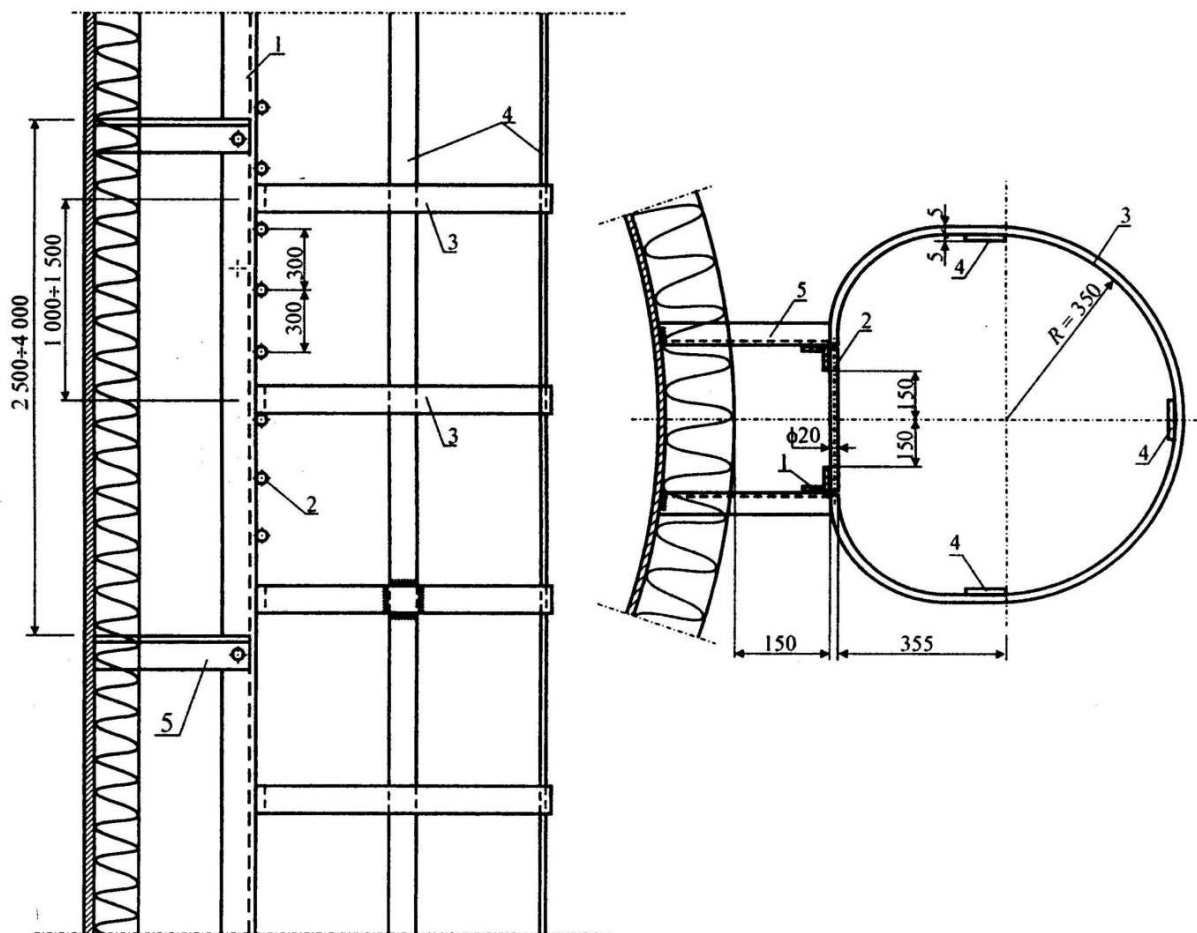
Rysunek 7.28 – Współczynnik oporu aerodynamicznego  $c_{r,0}$  walca kołowego bez wpływu swobodnych końców dla różnych wartości chropowatości względnej  $k/b$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \Psi_\lambda$$

**OBCIĄŻENIE  
WIATREM W LINII  
DZIAŁANIA WIATRU  
OBCIĄŻENIE STATYCZNE  
według  
PN-EN 1991-1-4**

Przewód kominowy

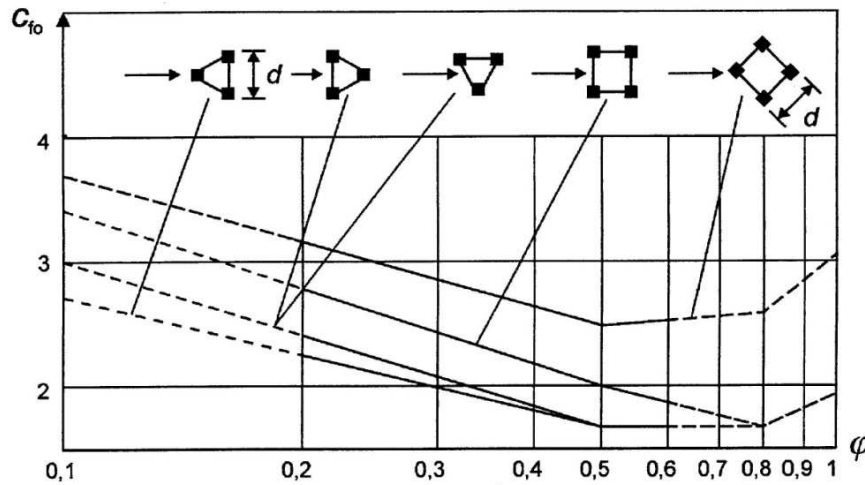
Współczynnik  $C_f$



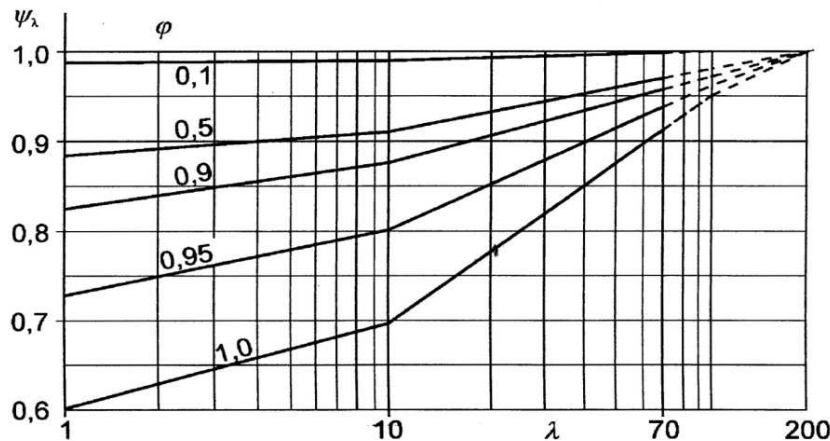
TYPOWA DRABINKA WŁAZOWA  $A_d = 0,15 \div 0,25 \text{ m}^2/\text{mb}$

**OBCIĄŻENIE  
WIATREM W LINII  
DZIAŁANIA WIATRU  
OBCIĄŻENIE STATYCZNE  
według  
PN-EN 1991-1-4**

Drabinka włazowa konstrukcja  
kratowa – współczynnik  $C_{f,0}$



Rysunek 7.34 – Współczynnik oporu aerodynamicznego,  $c_{f,0}$ , kratownicy przestrzennej z kątowników w funkcji współczynnika wypełnienia  $\varphi$

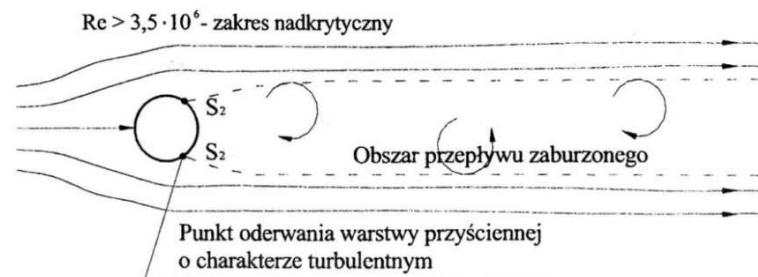
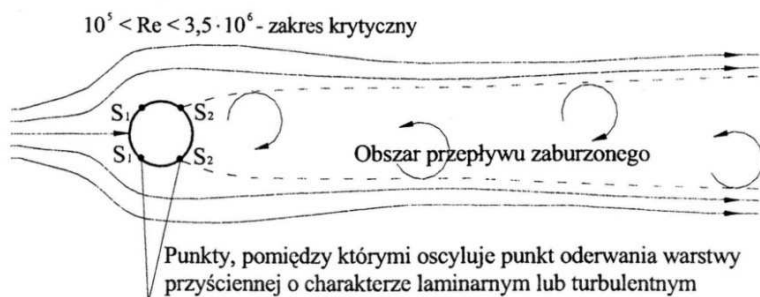
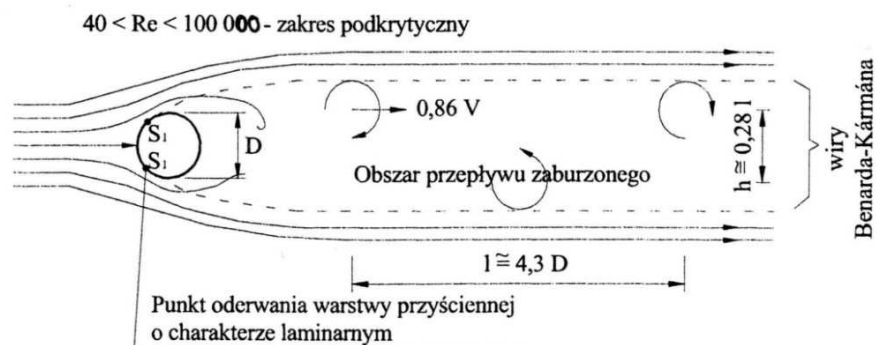


Rysunek 7.36 – Orientacyjne wartości współczynnika wpływu swobodnego końca  $\psi_\lambda$  w funkcji współczynnika wypełnienia  $\varphi$  i smukłości  $\lambda$

**OBCIĄŻENIE  
WIATREM W LINII  
DZIAŁANIA WIATRU  
OBCIĄŻENIE STATYCZNE  
według  
PN-EN 1991-1-4**

Drabinka włazowa konstrukcja  
kratowa – współczynnik  $C_{f,0}$

Współczynnik wpływu  
swobodnego końca



## OBCIĄŻENIE WZBUDZENIEM WIROWYM

według  
PN-EN 1991-1-4

### Kryteria oceny

Należy uwzględnić:

$$h/b > 6$$

Nie ma konieczności rozpatrywania  
wzbudzenia wirowego:

$$V_{crit,i} = \frac{b \cdot n_{i,y}}{S_t} > 1,25 \cdot v_m$$

$S_t = 0,18$  – walec kołowy  
(przekrój kołowy)



Efekt drgań wskutek odrywających się regularnie wirów można otrzymać z sił bezwładności  $F_w(s)$  na jednostkę wysokości, w miejscu  $s$  komina, w kierunku prostopadłym do kierunku wiatru. Norma PN-EN-1991-1-4 podaje następujący wzór na siły  $F_w(s)$

$$F_w(s) = (2\pi n_{i,y})^2 m(s) \Phi_{i,y}(s) y_{F,max}, [N/m]$$

gdzie:

$m(s)$  – drgająca masa komina na jednostkę wysokości, kg/m,

$y_{F,max}$  – maksymalne przemieszczenie w czasie na osi komina, w którym  $\Phi_{i,y}(s) = 1$ ,

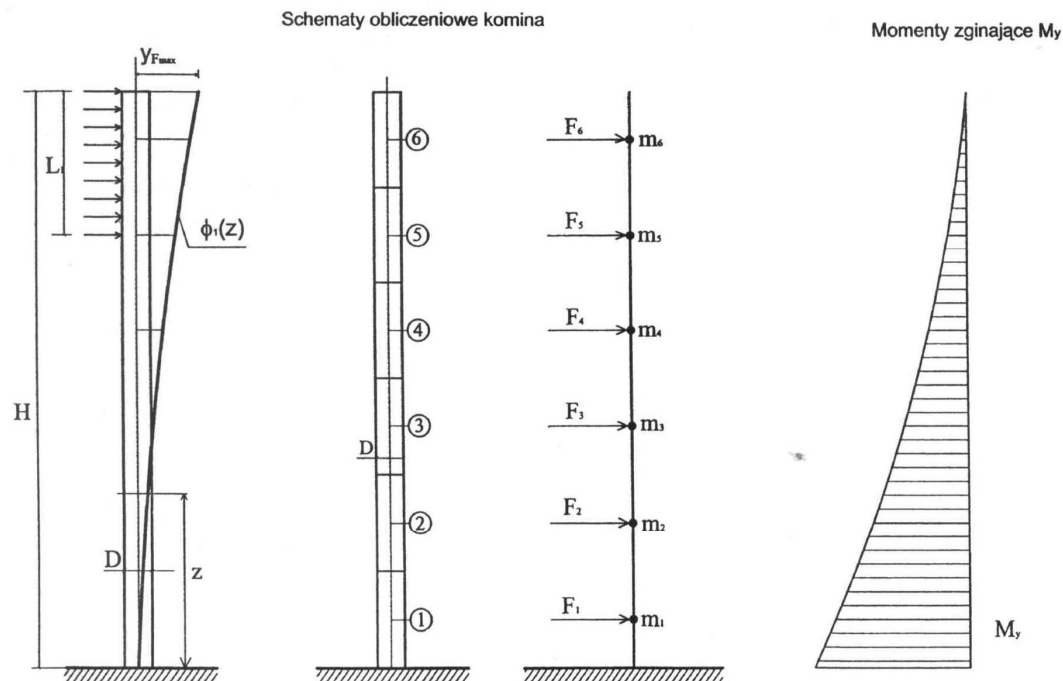
$\Phi_{i,y}(s)$  – postać drgań własnych komina, unormowana do 1 w punkcie maksymalnego przemieszczenia (w kominie wolnostojącym – w wierzchołku komina).

## WZBUDZENIE WIROWE DRGAŃ KOMINA

według

PN-EN 1991-1-4

## SIŁY BEZWŁADNOŚCI



Rys. 1. Schemat obliczania kominia obciążonego wzbudzeniem wirowym wg EN 1991-1-4 (E)

## OBCIĄŻENIE WZBUDZENIEM WIROWYM

według  
PN-EN 1991-1-4

Dla kominia wolnostojącego pierwsza (podstawowa) postać drgań giętych jest wyrażona wzorem:

$$\Phi_{1,y}(s) = (s/h)^2$$

Funkcja  $\Phi_{1,y}(s)$

**E.1.5.3 Sposób 2 obliczania amplitudy drgań w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku wiatru**

(1) Wartość charakterystyczną przemieszczenia, w punkcie największego wychylenia podaje wyrażenie (E.13):

$$y_{\max} = \sigma_y \cdot k_p \quad (\text{E.13})$$

gdzie:

$\sigma_y$  odchylenie standardowe przemieszczenia, patrz (2);

$k_p$  współczynnik wartości szczytowej, patrz (6).

(2) Odchylenie standardowe  $\sigma_y$  przemieszczenia odniesione do szerokości  $b$ , w punkcie największego ugięcia ( $\Phi = 1$ ) można obliczyć za pomocą wyrażenia (E.14):

$$\frac{\sigma_y}{b} = \frac{1}{St^2} \cdot \frac{C_c}{\sqrt{\frac{Sc}{4 \cdot \pi} - K_a} \cdot \left(1 - \left(\frac{\sigma_y}{b \cdot a_L}\right)^2\right)} \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot b^2}{m_e}} \cdot \sqrt{\frac{b}{h}} \quad (\text{E.14})$$

gdzie:

$C_c$  stała aerodynamiczna, zależna od kształtu przekroju poprzecznego, a w przypadku walca kołowego także od liczby Reynoldsa  $Re$  zdefiniowanej w E.1.3.4 (1); jej wartość podano w Tablicy E.6;

$K_a$  parametr tłumienia aerodynamicznego podany w E.1.5.3 (4);

$a_L$  unormowana graniczna amplituda ugięcia konstrukcji o bardzo małym tłumieniu, podana w Tablicy E.6;

$St$  liczba Strouhala;

$\rho$  gęstość powietrza w warunkach wzbudzenia wirowego, patrz Uwaga 1;

$m_e$  masa efektywna (równoważna) na jednostkę długości; podana w F.4 (1);

$h, b$  wysokość i szerokość konstrukcji. W przypadku konstrukcji o zmiennej szerokości stosuje się szerokość w punkcie największego przemieszczenia.

**OBCIĄŻENIE  
WZBUDZENIEM  
WIROWYM**

$y_{F,\max}$  – wg PN-EN 1991-1-4:  
sposób 2.

Największe przemieszczenie wierzchołka komina  $y_{F,max}$  można obliczyć z następującego wzoru

$$\frac{y_{F,max}}{b} = \frac{K \cdot K_w \cdot c_{lat}}{St^2 \cdot Sc},$$

gdzie:

$K = 0,13$  – dla pierwszej postaci drgań,

$$K_w = 3 \frac{L_1}{h} \left[ 1 - \frac{L_1}{h} + \frac{1}{3} \left( \frac{L_1}{H} \right)^2 \right] - \text{współczynnik efektywnej długości korelacyjnej},$$

$Sc$  – liczba Scrutona, odzwierciedlająca podatność komina na drgania (zależy ona od tłumienia konstrukcyjnego  $\delta_s$  i stosunku masy konstrukcji do masy powietrza) i może być obliczana ze wzoru

$$Sc = \frac{2 \cdot \delta_s \cdot m_{i,e}}{\rho \cdot b^2},$$

$c_{lat}$  – współczynnik siły bocznej  $i$ -tej postaci drgań, zależny od liczby Reynoldsa  $Re$  i względnej prędkości krytycznej  $v_{crit,i} / v_{m,Lj}$ , wyznaczany według Załącznika E

## OBCIĄŻENIE WZBUDZENIEM WIROWYM

$y_{F,max}$ :

- ✓ wg PN-EN 1991-1-4 – sposób 1.
- ✓ wg PN (za DIN)

**Amplitudy drgań wierzchołka komina stalowego** od wzbudzenia wirowego powinny być ograniczone, dlatego norma kominowa PN-EN 1993-3-2 określiła graniczne wartości tych amplitud dla poszczególnych klas niezawodności. Załącznik Krajowy nie wprowadził zmian. Największe amplitudy drgań poprzecznych według normy przedstawiono w poniższej tabelicy

**Tablica 7.1 Największe amplitudy drgań w poprzek kierunku wiatru**

Klasa niezawodności	Amplituda drgań poprzecznych	
3	0,05 $b$	$b$ – średnica zewnętrzna
2	0,10 $b$	$b$ – średnica zewnętrzna
1	0,15 $b$	$b$ – średnica zewnętrzna

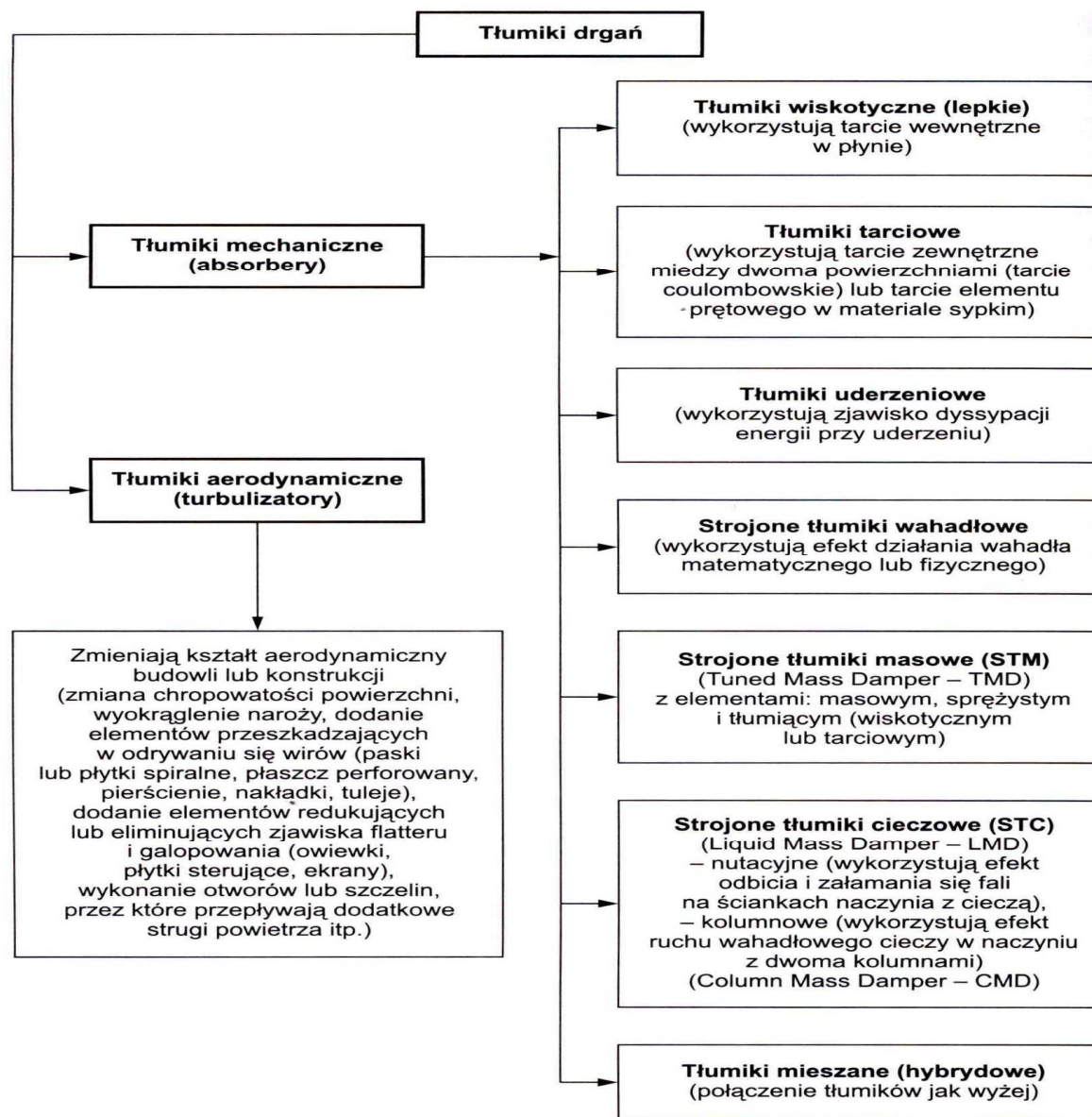
**OBCIĄŻENIE  
WZBUDZENIEM  
WIROWYM**

według  
**PN-EN 1991-1-4**

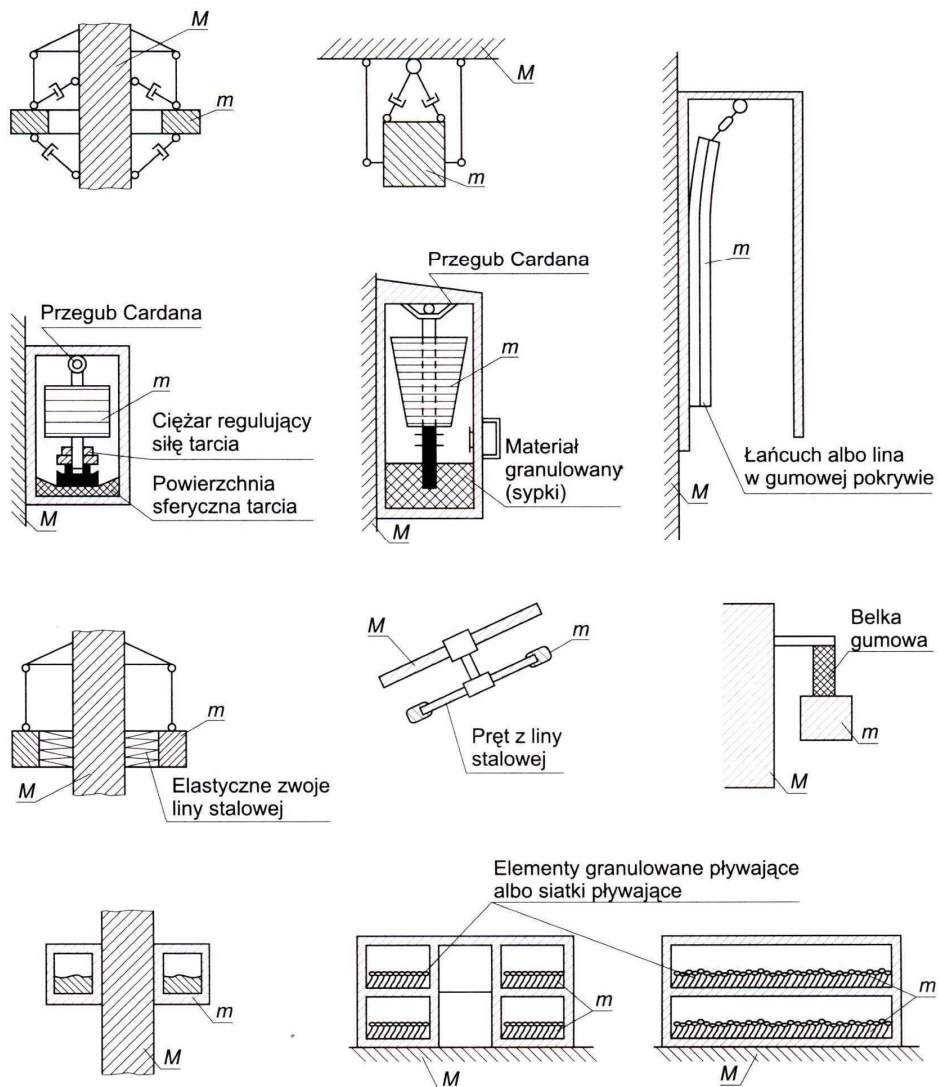
Jeżeli  $y_{F, \max} > y_{gr}$  należy zastosować tłumik drgań

## TŁUMIKI DRGAŃ

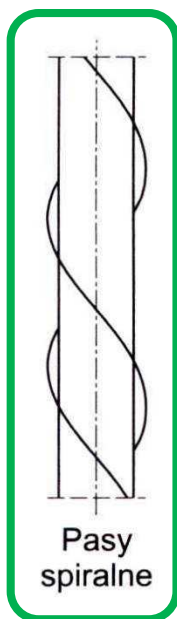
Urządzenia aerodynamiczne  
(tłumiki aerodynamiczne)  
zalecane przez normę PN-EN  
1991-1-4, jeżeli liczba Scrutona  
 $S_c > 8$



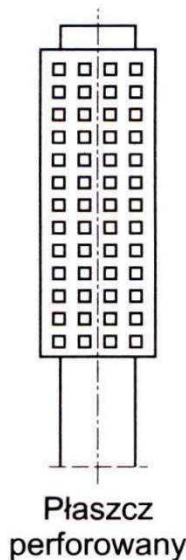
## TŁUMIKI MECHANICZNE



**TŁUMIKI  
AERODYNAMICZNE –  
TURBULIZATORY**



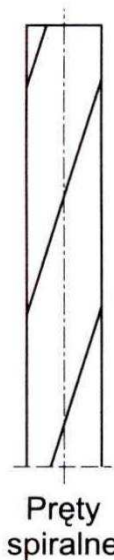
Pasy spiralne



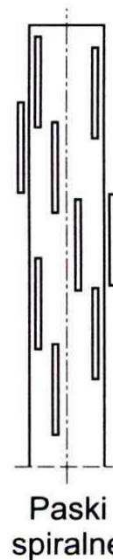
Płaszcz perforowany



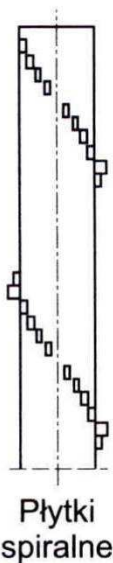
Paski osiowe



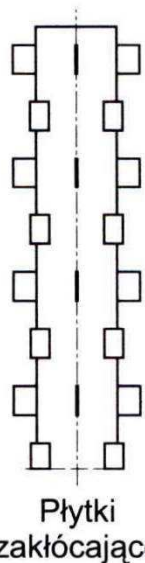
Pręty spiralne



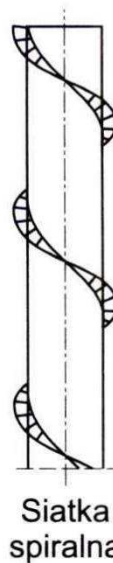
Paski spiralne



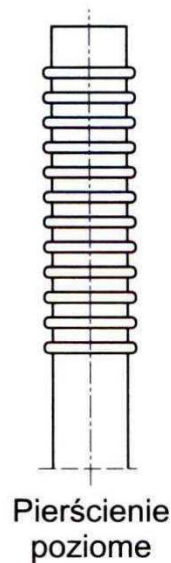
Płytki spiralne



Płytki zakłócające



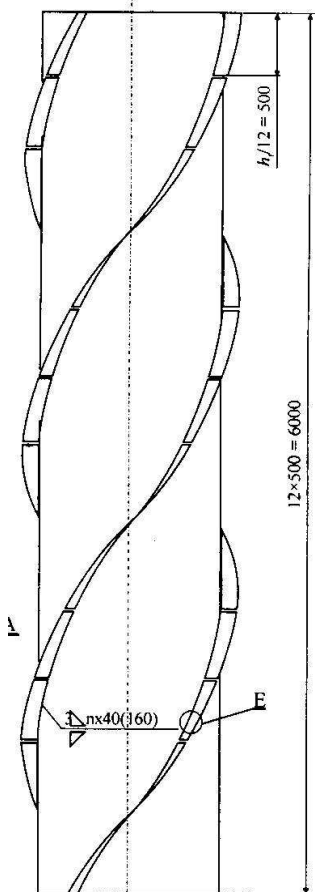
Siatka spiralna



Pierścienie poziome

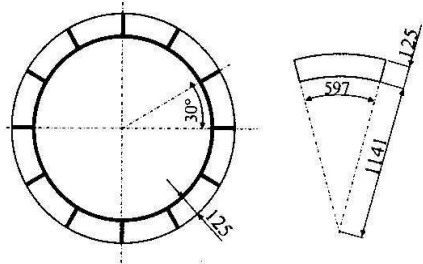
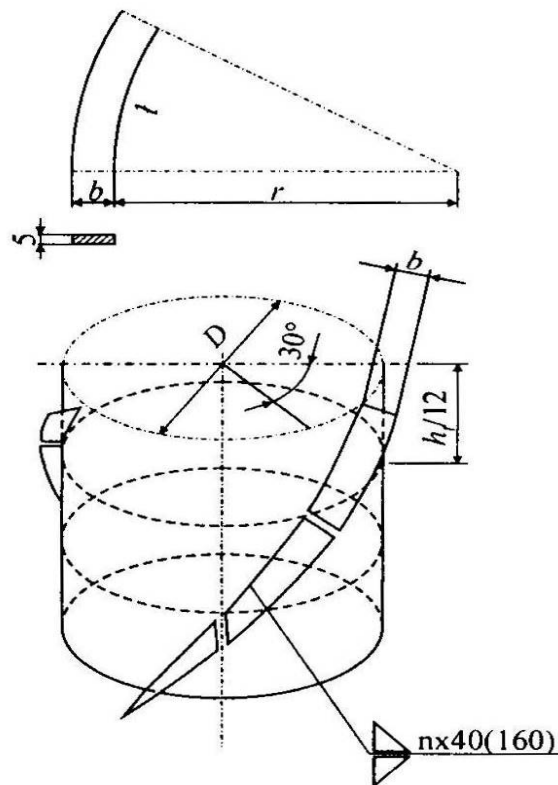


## TURBULIZATOR SPIRALNY



Lp.	Wymiary mm					Masa segmentu kg	Potrzebna ilość szt.
	$D$	$r$	$b$	$l$	$h_i$		
1	1000	1078	100	561	6000	2,21	36
2	1250	1141	125	597		2,93	
3	1400	1184	140	619		3,41	
4	1600	1504	160	787	8000	4,94	27
5	1800	1559	180	885	9000	6,26	24
6	2000	1890	200	914		7,18	

$h_i$  – skok zwoju spirali





**PRZYKŁADOWA  
ANALIZA  
PORÓWNAWCZA**

**ANALIZOWANY KOMIN**

**H=36m; D=1.26m**

**WIDOK**

**EKSPLOATACJA OD 1982 R.**

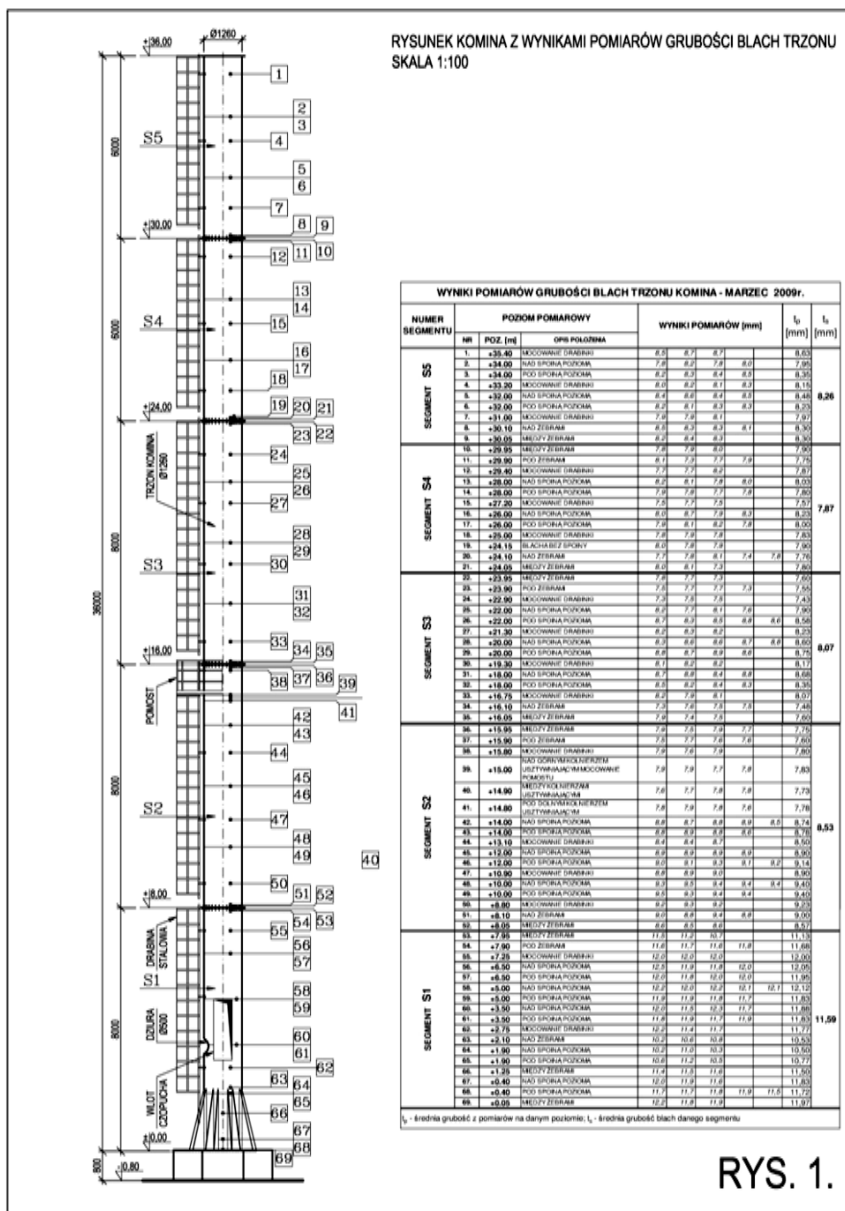
**PALIWO – DREWNO, TROCINY**

## PRZYKŁADOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA

### ANALIZOWANY KOMIN

H=36m; D=1.26m

EKSPERTYZA 2009 r.



RYS. 1.

Tablica 1.

Lp.	Poziom	Wyniki pomiarów grubości		Wyniki obliczeń statyczno – wytrzymałościowych.	
		Grubość minimalna	Grubość średnia	stateczności miejscowej	zmęczenia w wybranych przekrojach
[ - ]	[m]	[mm]			
1.	+15.0	7.6	7.73	2.7	---
2.	+10.0	9.3	9.40	3.4	7.8 <sup>1</sup>
3.	+8.0	8.5	8.57	3.8	9.6 <sup>2;4</sup> /7.6 <sup>3</sup>
4.	+2.0	10.2	10.50	6.0	10.8 <sup>1;4</sup> /9.6 <sup>3</sup>

)<sup>1</sup>  $\Delta\sigma_c = 50$  MPa – kategoria zmęczeniowa karbu 4 wg PN-93/B-03201  
 )<sup>2</sup>  $\Delta\sigma_c = 45$  MPa – kategoria zmęczeniowa karbu 20 wg PN-93/B-03201  
 )<sup>3</sup>  $\Delta\sigma_c = 56$  MPa – kategoria zmęczeniowa karbu 17 wg PN-93/B-03201  
 )<sup>4</sup> **przekroczenie warunku nośności zmęczeniowej.**

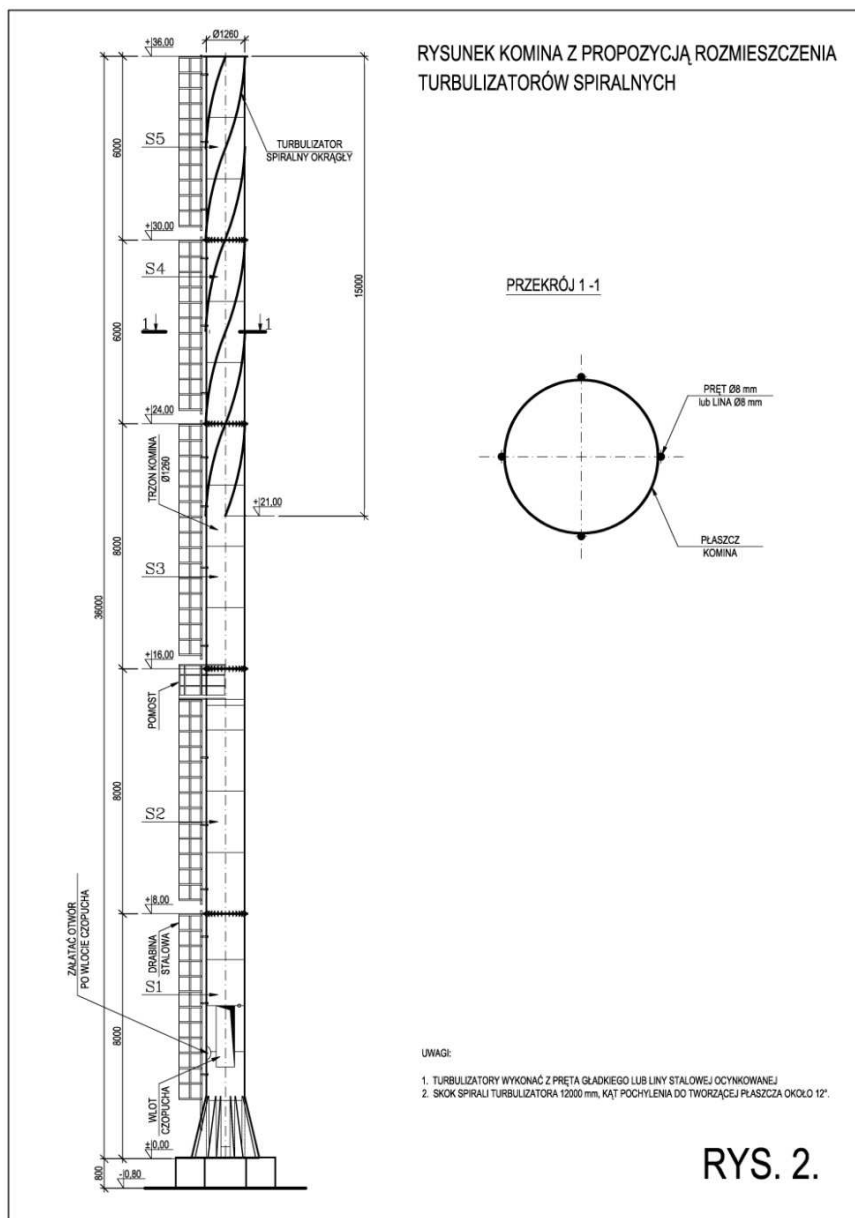
PRZYKŁADOWA  
ANALIZA  
PORÓWNAWCZA

KOMIN

H=36m; D=1,26m

WYNIKI ANALIZ 2009r.

według PN



## PRZYKŁADOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA

### KOMIN

H=36m; D=1,26m

### ZALECENIA EKSPERTYZY

MONTAŻ DO TRZONU  
(GÓRNY 15 m ODCINEK)  
TURBULIZATORÓW  
SPIRALNYCH Z PRĘTA  
ŚREDNICY d=8mm



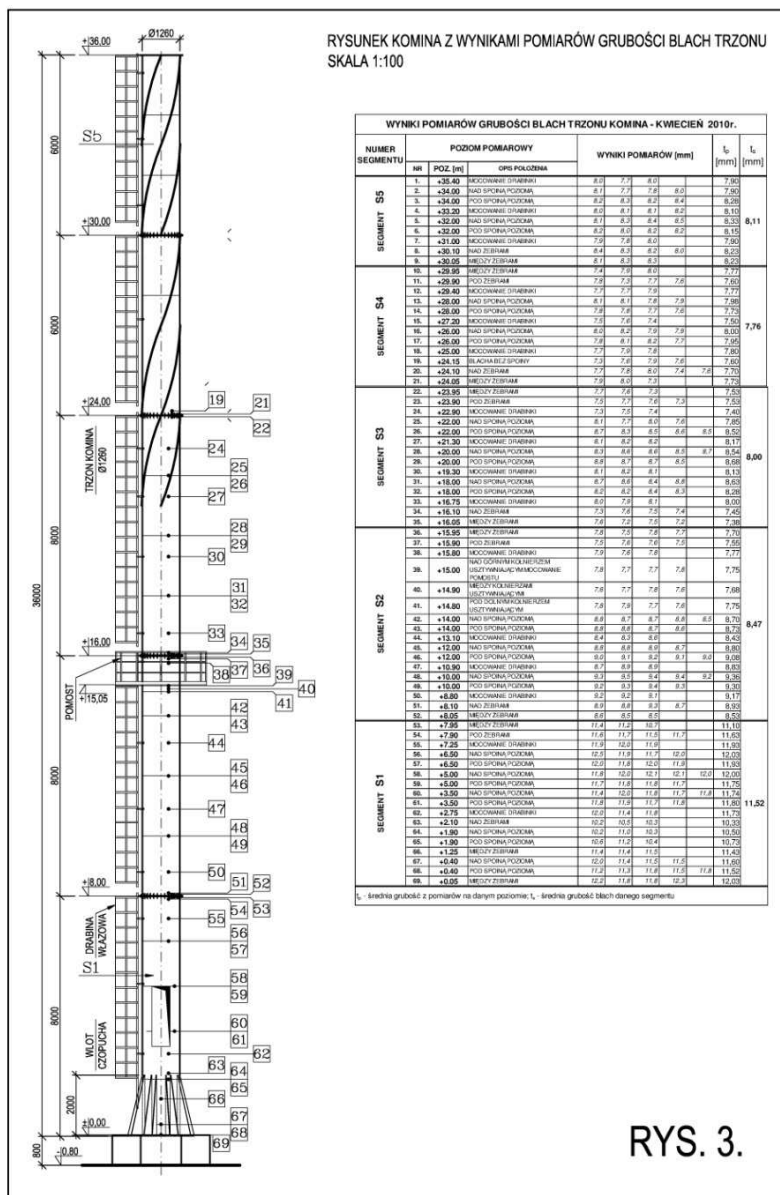
## PRZYKŁADOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA

**KOMIN**

**H=36m; D=1,26m**

**ZALECENIA  
EKSPERTYZY**

**MONTAŻ DO TRZONU  
(GÓRNY 15 m ODCINEK)  
TURBULIZATORÓW  
SPIRALNYCH Z PRĘTA  
ŚREDNICY  $d=8\text{mm}$**



RYS. 3.

## PRZYKŁADOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA

### KOMIN

H=36m; D=1,26m

EKSPERTYZA 2010 r.

1. WYNIKI POMIARÓW GRUBOŚCI
2. MAŁA INTENSYWNOŚĆ KOROZJI
3. NAWROTY DRGAŃ KOMINA!

Tablica 2.

Segment	Grubości średnie z III.2009 r.	Grubości średnie z IV.2010 r.	Ubytki korozyjne	Intensywność korozji
[-]	mm			[mm/rok]
S5	8,26	8,11	0,15	0,14
S4	7,87	7,76	0,11	0,10
S3	8,07	8,00	0,07	0,06
S2	8,53	8,47	0,06	0,06
S1	11,59	11,52	0,07	0,06

**PRZYKŁADOWA  
ANALIZA  
PORÓWNAWCZA**

**KOMIN**

**H=36m; D=1,26m**

**WYNIKI POMIARÓW  
GRUBOŚCI**



Tablica 3.

Lp.	Poziom	Wyniki pomiarów grubości		Wyniki obliczeń statyczno – wytrzymałościowych. Minimalna potrzebna grubość z warunku:	
		Grubość minimalna	Grubość średnia	stateczności miejscowej	zmęczenia w wybranych przekrojach
[ - ]	[m]	[mm]			
1.	+14.9	7.6	7.68	<b>3.9</b>	3,8 ( $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$ ) <sup>1</sup>
2.	+10.0	9.2	9.30	<b>4.9</b>	8.0 ( $\Delta\sigma_c = 50 \text{ MPa}$ ) <sup>1</sup>
3.	+8.0	8.5	8.53	<b>5.4</b>	<b>9.3</b> ( $\Delta\sigma_c = 45 \text{ MPa}$ ) <sup>1,2</sup>
4.	+3.5	11,4	11.74	<b>6.7</b>	10.2 ( $\Delta\sigma_c = 50 \text{ MPa}$ ) <sup>1</sup>
5.	+2.75	11.4	11.73	<b>6.9</b>	9.2 ( $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$ ) <sup>1</sup>
6.	+2.0	10.2	10.33	<b>7.1</b>	9.4 ( $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$ ) <sup>1</sup> <b>10.6</b> ( $\Delta\sigma_c = 50 \text{ MPa}$ ) <sup>1,2</sup>

)<sup>1</sup> w nawiasach podano kategorię zmęzeniową karbu według PN-93/B-03201

)<sup>2</sup> **przekroczenie warunku nośności zmęzeniowej, obciążenie procedura uproszczona**

## PRZYKŁADOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA

### KOMIN

H=36m; D=1,26m

### WYNIKI ANALIZ

według PN

Tablica 4.

Przewód kominowy					Drabinka	Przewód + drabinka		
Gładka powierzchnia		Chropowata pow.			$A_d = 0,2 \text{ m}^2$	Min.	Maks.	
Współczynnik oporu aerodynamicznego $C_x$ według PN								
<b>0,7</b>		0,9			0,38	<b>1,08</b>	<b>1,28</b>	
Parametry powierzchni								
k=0,006	k=0,02	k=0,2	k=1	k=2	$A_d = 0,2 \text{ m}^2$ $\phi = 0,25$	b – średnica przewodu		
Współczynnik oporu aerodynamicznego $C_f$ według EC								
<b>0,41</b>	0,48	0,60	<b>0,69</b>	0,72	2,90 (0,50)*	Min.	Maks.	
÷ 0,43	÷ 0,50	÷ 0,62	÷ <b>0,70</b>	÷ <b>0,73</b>		<b>0,91</b>	<b>1,23</b>	
Zwiększenie wartości $C_f$ w stosunku do wartości minimalnej								
0%	16%	44%	68%	70%	---	<b>0%</b>	<b>35%</b>	

)\* - wartość „przeliczeniowa” na wymiary geometryczne przewodu kominowego

## PRZYKŁADOWA ANALIZA PORÓWNAWCZA

### KOMIN

H=36m; D=1,26m

### PORÓWNANIE WYNIKÓW OBLICZEŃ WG PN i EC

Tabelaryczne zestawienie obliczeń wartości współczynnika oporu aerodynamicznego

Tablica 5.

NORMA OBC.  ANALI. PARAM.	PN-B- 02011	PN-B- 02011+ Az1 LIPIEC 2009	PN-B-02011+Az1		PN-EN 1991-1-4	
			BEZ TURBULI- ZATORÓW	Z TURBULI- ZATORAMI	BEZ TURBULI- ZATORÓW	Z TURBULI- ZATORAMI
MOMENT $M_{Ed}$ [kNm]	<b>960</b> $\gamma_f=1,3$	<b>1325</b> $\gamma_f=1,5$	<b>1325</b> $\gamma_f=1,5$	<b>1450</b> $\gamma_f=1,5$	<b>950</b> $\gamma_f=1,4$	<b>1025</b> $\gamma_f=1,4$
$t_{min}$ [mm] według PN- B-03201	<b>6,0</b>	<b>7,7</b>	<b>6,6</b>	<b>7,1</b>	---	---
			<b>6,2*</b>	<b>6,7*</b>		
$t_{min}$ [mm] wg PN-EN 1993-1-6	---	---	<b>7,45**</b>	<b>8,0**</b>	<b>5,7</b>	<b>6,0</b>
<p>)* - bez uwzględnienia wpływu korozji )** - w celach porównawczych</p>						

**PRZYKŁADOWA  
ANALIZA  
PORÓWNAWCZA**

**KOMIN**

**H=36m; D=1,26m**

**PORÓWNANIE  
WYNIKÓW OBLICZEŃ  
WG PN i EC**

**STATECZNOŚĆ ŚCIANKI  
PRZEWODU (TRZONU)  
KOMINA**

Przekrój na poz. +2,0 m

OBLICZANA WIELKOŚĆ	WG PN		EG EC SPOSÓB 1	WG EC SPOSÓB 2
	Met. przybliżona	Met. dokładna		
$y_{MAX}$ [m]	<b>0,077</b>		<b>0,131</b>	<b>0,736</b>
$y_{max} < y_{gr} = 0.1b = 0,126m$	<b>OK</b>		<b>NG!</b>	<b>NG!</b>
OBCIĄŻENIE	$p_{\gamma} = 0,87 \text{ kN/m}$ $L = 0,25H = 9,0m$	$p_{\gamma} = 1,27 \text{ kN/m}$ $L = 0,25H = 9,0m$	$F_{max} = 1.32 \text{ kN/1m}$	$F_{max} = 7,4 \text{ kN/1m}$
MOMENT ZGINAJ.	$M = 230 \text{ kNm}$	$M = 335 \text{ kNm}$	$M = 425 \text{ kNm}$	$M = 2385 \text{ kNm!!!}$
$t_{MIN}$ ( $\Delta\sigma_c = 50 \text{ MPa}$ ) $T = 15 \text{ lat}$	<b>10,6</b>	<b>15,8</b>	<b>25,7</b>	<b>142???</b>
	<b>14,2*</b>	<b>20,4*</b>		
$t_{MIN}$ ( $\Delta\sigma_c = 56 \text{ MPa}$ ) $T = 15 \text{ lat}$	<b>9,4</b>	<b>14,1</b>	<b>23,0</b>	<b>127???</b>
	<b>12,6*</b>	<b>18,2*</b>		
$t_{MIN}$ ( $\Delta\sigma_c = 71 \text{ MPa}$ ) $T = 15 \text{ lat}$	<b>7,4</b>	<b>11,0</b>	<b>18,1</b>	<b>100???</b>
	<b>10,0*</b>	<b>14,4*</b>		
$t_{MIN}$ ( $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$ ) $T = 15 \text{ lat}$	<b>6,6</b>	<b>9,7</b>	<b>16,1</b>	<b>89???</b>
	<b>8,8*</b>	<b>12,8*</b>		
)* - OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ WG EUROKODÓW				

**PRZYKŁADOWA  
ANALIZA  
PORÓWNAWCZA**

**KOMIN**

**H=36m; D=1,26m**

**PORÓWNANIE  
WYNIKÓW ANALIZ  
WG PN I ECWZBUDZENIE  
WIROWE I ZMĘCZENIE**

Przekrój na poz. +2,0 m

Liczba cykli obciążenia:

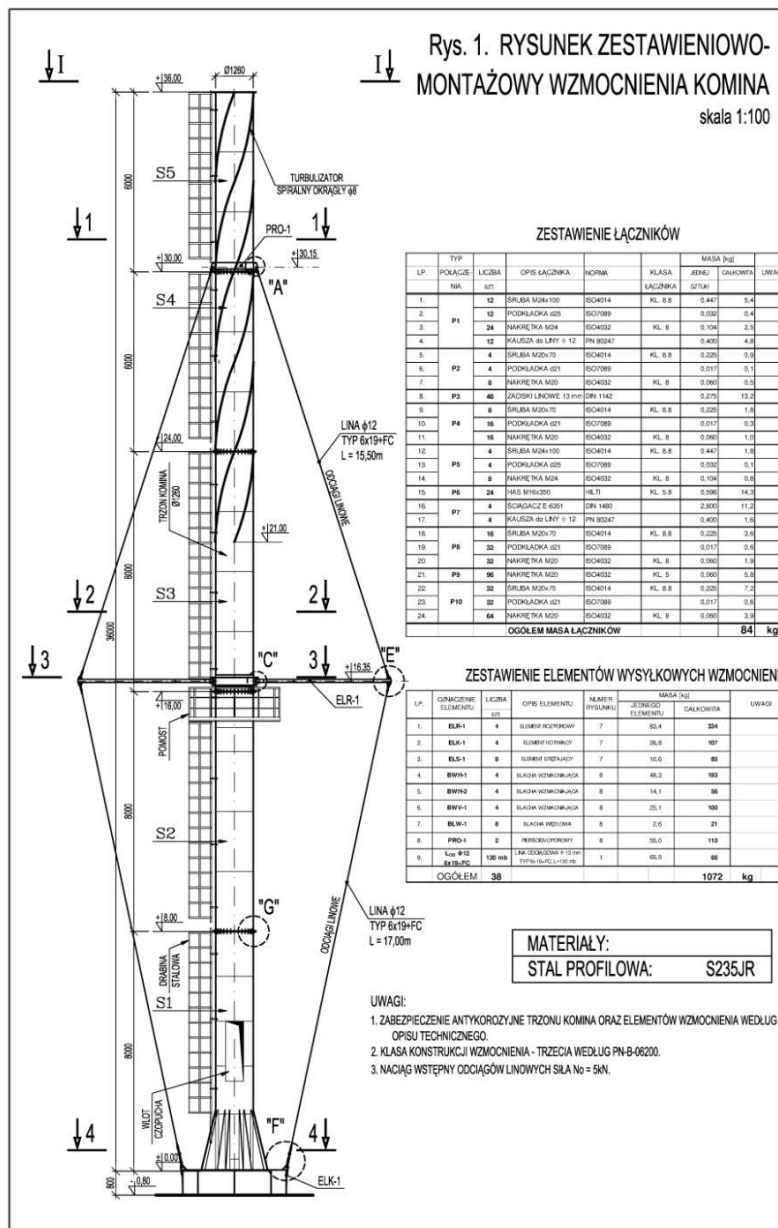
Wg PN:  $N = 12 \times 10^6$

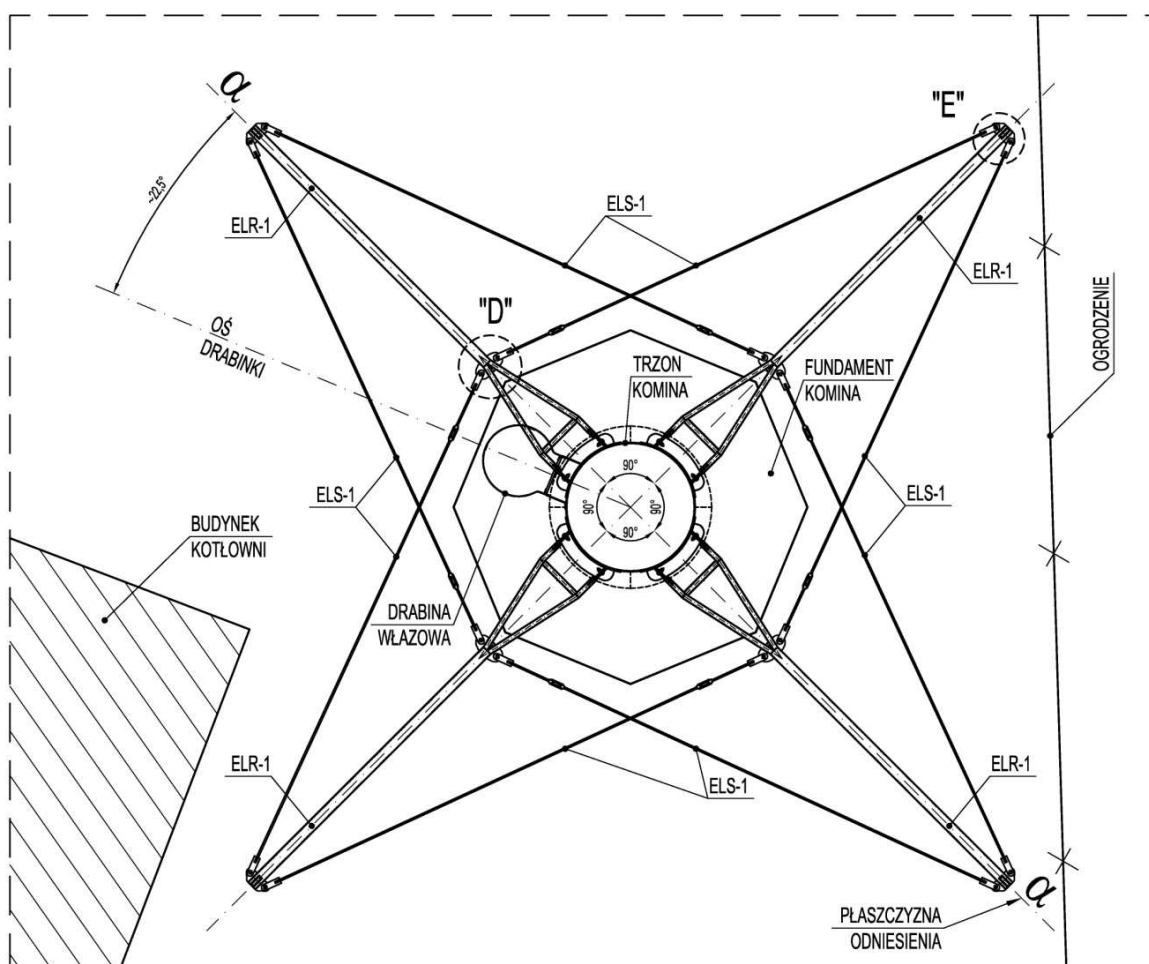
Wg EC:  $N = 66 \times 10^6$  ???

## KOMIN

H=36m; D=1,26m

## PROJEKT REMONTU I WZMOCNIENIA





## KOMIN

H=36m; D=1,26m

## PROJEKT REMONTU I WZMOCNIENIA



## KOMIN

H=36m; D=1,26m

REMONT  
I WZMOCNIENIE



## KOMIN

H=36m; D=1,26m

REMONT  
I WZMOCNIENIE





## KOMIN

H=36m; D=1,26m

REMONT  
I WZMOCNIENIE



## KOMIN

H=36m; D=1,26m

REMONT  
I WZMOCNIENIE



## KOMIN

H=36m; D=1,26m

REMONT  
I WZMOCNIENIE

- ✓ Przyjęcie małych wartości chropowatości  $k$  prowadzi do zaniżenia oporu aerodynamicznego w porównaniu do wymagań dotychczasowych norm. Wykazano, że dopiero przyjęcie  **$k = 1,0 \text{ mm}$**  (beton surowy) prowadzi do wartości  $C_f$  porównywalnej z wartością  $C_x$  z normy PN-B-03201.
- ✓ W normie PN-EN 1991-1-4 nie podano sposobu określania współczynnika oporu aerodynamicznego drabiny włączowej, natomiast wyjaśniono, że siły wywierane przez wiatr na poszczególne elementy konstrukcyjne należy dodawać wektorowo.
- ✓ Obciążenie wzbudzeniem wirowym (dynamiczne) obliczone drugim sposobem jest **od 3,5 do 5,5 razy** większe od obciążenie obliczonego pierwszym sposobem.
- ✓ Eurokod nie uwzględnia tłumienia konstrukcyjnego np. od połączeń kołnierzowych. Wątpliwości budzi liczba cykli obciążenia obliczona wg EC w relacji do wartości otrzymanych wg PN oraz uzależnienie wartości amplitudy granicznej  $y_{gr}$ , tylko od średnicy przewodu kominowego.
- ✓ Grubość powłoki przewodu kominowego określona według normy PN-EN 1993-1-6 jest nieco większa, niż otrzymana z obliczeń według PN-B-03201 (przy tym samych wartościach sił wewnętrznych).

## Podsumowanie Uwagi szczegółowe

- ✓ Projektowanie konstrukcji stalowych z uwzględnieniem wymagań Eurokodów jest procesem trudniejszym i bardziej złożonym niż projektowanie według dotychczasowych norm polskich, o czym mogą świadczyć także zagadnienia przedstawione na dzisiejszym seminarium.
- ✓ Generalnie wartość statycznego obciążenia wiatrem kominów stalowych określana wg EC jest mniejsza od obciążenia wg PN.
- ✓ Wymiarowanie powłoki trzonu komina stalowego z uwzględnieniem stateczności miejscowej według PN i EC daje porównywalne rezultaty.
- ✓ Obciążenie wynikające ze wzbudzenia wirowego według PN jest znacząco mniejsze od obciążenia wyznaczonego wg EC.
- ✓ Brak spójnych i realnych procedur normowych w Załącznikach Krajowych utrudnia proces projektowania, ale też prowadzi do konieczności przyjmowania rozwiązań nieuzasadnionych konstrukcyjnie i często ekonomicznie.

## Podsumowanie Uwagi ogólne

- ✓ Przykładem może być, np. problem uwzględnienia efektów wzbudzenia wirowego według PN-EN 1991-1-4 i PN-EN 1993-3-2 w odniesieniu do kominów stalowych, zwłaszcza o liczbie Scrutona  $S_c < 8$ . Zachowanie warunku normowego  $y_{F,max} \leq y_{gr}$  w projektowaniu jednopowłokowych kominów stalowych, najczęściej stosowanych w Polsce, jest bardzo trudne, zwłaszcza uwzględniając postanowienie Załącznika Krajowego NA.17 normy PN-EN 1991-1-4 narzucające drugi sposób obliczania wartości  $y_{F,max}$ . Gdyby taką procedurę zastosować do sprawdzenia istniejących stalowych kominów wolno stojących, to większość z nich (o liczbie Scrutona  $S_c < 8$ ) nie spełniałaby ww. warunku.
- ✓ W przypadku podtrzymania ww. zaleceń konieczne będzie projektowanie kominów stalowych wolnostojących tylko z turbulizatorami aerodynamicznymi lub mechanicznymi tłumikami drgań.
- ✓ Dobry i sprawdzony program komputerowy, jako materiał wspomagających obliczeniową część projektowania kominów według Eurokodów, byłby skutecznym rozwiązaniem inżynierskim.

## Podsumowanie

### Uwagi ogólne

Cecha	Drgania powodowane przez porywy wiatru	Drgania powodowane wzbudzeniem wirowym
Przyczyna drgań	praktycznie niezależna od konstrukcji	zależna od kształtu i rozwiązania konstrukcyjnego
Wymuszenie (wzbudzenie)	przypadkowe, nieregularne	w określonym zakresie cykliczne, regularne
Prędkość wiatru	duża w szerokim, otwartym zakresie	mała lub umiarkowana w wąskim zakresie (lub w kilku zakresach)
Kierunek drgań (główny)	zgodny ze średnim kierunkiem wiatru	prostopadły do średniego kierunku wiatru
Zmęczenie konstrukcji	małe niebezpieczeństwo	bardzo duże niebezpieczeństwo
Sprzyjające warunki otoczenia	teren zabudowany, duża turbulencja	teren otwarty, mała turbulencja
Zapobieganie	bardzo ograniczone (zwiększenie tłumienia, niekiedy odciągi); niemożliwe usunięcie źródła, tylko ograniczone zmniejszenie odpowiedzi	możliwe różnymi sposobami

## Podsumowanie

### uwagi końcowe

**CHARAKTERYSTYKA PORÓWNAWCZA RÓŻNYCH RODZAJÓW DRGAŃ KOMINÓW STALOWYCH POWODOWANYCH PRZEZ WIATR**



**DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ**

