

Analiza termiczna żelbetowych kominów

Mgr inż. Bartłomiej Ratajewicz, słuchacz studiów doktoranckich, Politechnika Krakowska, prof. dr. hab. inż. Tadeusz Tatara, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

W eksploatacji jednoprzewodowych kominów żelbetowych bardzo istotnym zagadnieniem jest ocena wpływu warunków klimatycznych na zachowanie się konstrukcji. Oddziaływanie wiatru [22] oraz zmiennego pola temperatur ma znaczący wpływ na wartości naprężeń występujących w żelbetowym płaszczu tego typu obiektów.

Agresywne działanie spalin i zastosowane materiały powodują, że większość kominów tego rodzaju wybudowanych przed rokiem 1990 bardzo szybko traci warstwę termoizolacji położoną pomiędzy wewnętrzną wymurówką a płaszczem komina. Brak termoizolacji powoduje narażenie betonu trzonu komina na temperatury wyższe niż przewidywane na etapie projektu, powodując zwiększenie naprężeń termicznych w trzonie; jest to przyczyną rozwarcia rys i penetracji spalin oraz kondensatu w głąb płaszcza. Wysoka kwasowość kondensatu spalin powoduje zmianę odczynu betonu trzonu, a co za tym idzie osłabienie ochronnego działania wywieranego przez beton na stal zbrojeniową, powodując korozję zbrojenia trzonu. Kwasowy odczyn kondensatu spalin i samych spalin sprzyja także karbonatyzacji betonu, powodując zmiany w jego właściwościach materiałowych [1, 2, 3 i 4].

Stan techniczny komina ma również wpływ na charakterystyki dynamiczne konstrukcji. Wpływ degradacji płaszcza komina na jego częstotliwości drgań własnych analizowano w pracy [8]. Wykorzystano trzy warianty modelu uwzględniające stopień degradacji konstrukcji.

W prezentowanej pracy, przyjmując trzy warianty modelu komina, w zależności od jego stanu technicznego, analizowano wpływ obciążenia termicznego w zależności od pory roku na stan naprężeń w konstrukcji.

2. Dane projektowe analizowanego komina

Analizowany komin można uznać za reprezentatywny dla klasy żelbetowych kominów o wysokości do 200 m. Komin wzniesiony został w roku 1975. Jest to jednoprzewodowy komin żelbetowy z wykładziną murowaną o wysokości 180 m (rys. 1). Poniżej, za pracą [8], przytacza się podstawowe dane o konstrukcji komina. Średnica u wylotu wynosi 4,03 m, przy podstawie – 8,15 m. Komin jest zbieżny osiowo od poziomu +20 m. Grubość płaszcza przy podstawie wynosi 70 cm, w segmencie zawierającym wloty czopuchów – 60 cm, a następnie od poziomu +20 m zmniejsza się stopniowo od 50 cm

do 15 cm na poziomie IV galerii (+179 m). Otwory czopuchowe mają wymiary 1,8x6,0 m i znajdują się na wysokości 7 m po przeciwnych stronach trzonu. Płaszcz komina wykonany został z betonu o wytrzymałości odpowiadającej klasie C25/30, zbrojonego stalą klasy A-0. Komin ma jeden przewód spalinowy z wymurówką wykonaną z cegły szamotowej „C1” grubości 25 cm od podstawy do poziomu +30 m, a powyżej tego poziomu z cegły ceramicznej dziurawki grubości 12 cm, odpowiadającej wytrzymałością obecnej klasie 15 [23]. Galerie obsługi znajdują się na poziomach +42,5, +87,5, +132,5 i +178,8 m. Termoizolację trzonu stanowi warstwa wełny żuźlowej o grubości 6cm do poziomu +70 m, 4 cm pomiędzy +70 m a +90 m i 4 cm od poziomu +90 m do +150 m. Na ostatnich 30 m rolę termoizolacji pełni warstwa szkła piankowego szarego grubości 4 cm.

3. Zmiany stanu technicznego komina w świetle badań w latach 2000-2010

Podczas eksploatacji komina w latach 1975-2010 elementy jego konstrukcji ulegały postępującej korozji. Warstwa wełny mineralnej doszczętnie skorodowała i bardzo szybko przestała pełnić swoją funkcję. Trzon komina był wielokrotnie remontowany z powodu licznych pęknięć, rys i perforacji spowodowanych gromadzeniem się kondensatu na wspornikach pomiędzy wymurówką i płaszczem komina. Postępująca karbonatyzacja spowodowała znaczący wzrost wytrzymałości na ściskanie betonu, z którego wykonany został komin, jednocześnie powodując spadek jego odczynu poniżej 11.8pH, sprzyjając korozji zbrojenia [6]. W wewnętrznej warstwie żelbetowego płaszcza komina, narażonej na bezpośredni wpływ spalin, nastąpiły znaczne ubytki grubości betonu (średnio 1 cm grubości ścianki) [11,12,13].

4. Analiza numeryczna konstrukcji komina

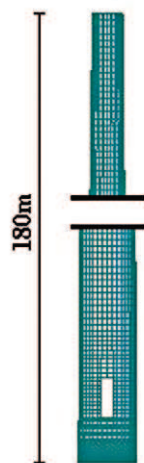
4. 1. Model komina

Komin zamodelowano elementami powłokowymi w programie metody elementów skończonych MIDAS Gen [24]. Przyjęto model komina o utwierdzeniu pełnym, bez uwzględnienia warunków gruntowych (rys. 2, 3).

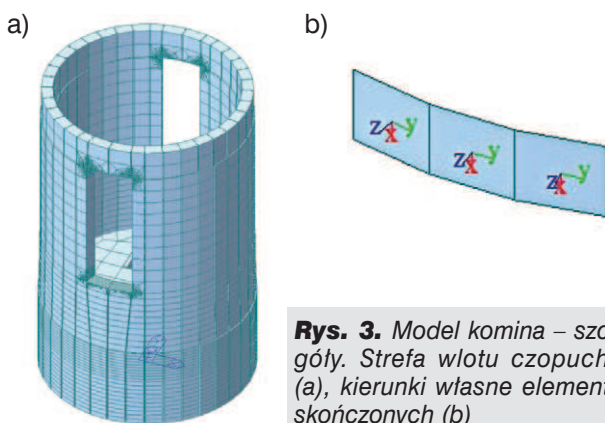
W analizach wykorzystano trzy warianty modelu numerycznego komina, odpowiadające różnym jego stanom technicznym. Model „A” jest to model komina w stanie projektowym (idealnym); model „B” odpowiada stanowi technicznemu komina w roku 2000, a model „C” stanowi komina w roku 2010 [8].



Rys. 1. Widok komina



Rys. 2. Widok modelu komina

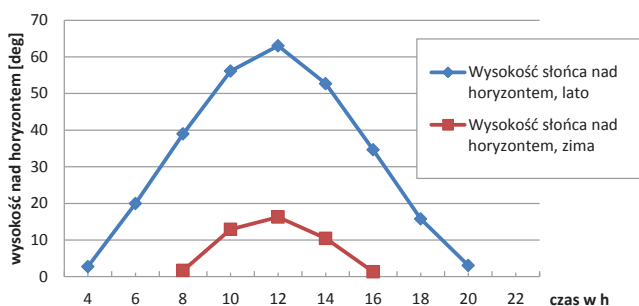


Rys. 3. Model komina – szczegóły. Strefa wlotu czopuchów (a), kierunki własne elementów skończonych (b)

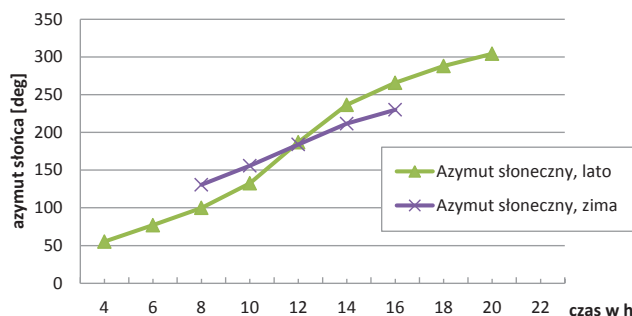
Modele „B” i „C” uwzględniają zmiany wytrzymałości betonu i grubości ścianek żelbetowego płaszczu w kolejnych segmentach na podstawie interpolacji wykorzystującej dane z analizy próbek pobranych z płaszczu na poziomach galerii obsługi. Dodatkowo uwzględniono wpływ korozji na zbrojenie, obniżając pole powierzchni zbrojenia o 25% dla modeli „B” i „C” [1, 5, 7].

4.2. Model obciążenia termicznego

W wariantach modelu uwzględnione zostało zmienne pole temperatur spowodowane warunkami klimatycznymi. Obciążenie to przyłożone zostało do analizowanych



Rys. 4. Wykres wysokości słońca nad horyzontem



Rys. 5. Wykres azymutu słońca

modeli jako gradienty temperatur pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną stroną płaszczu. Nominalna temperatura gazów spalinowych przy wlocie do komina wynosi 130°C , zaś maksymalna 150°C [11]. Dla ciągu naturalnego spadek temperatury wynosi $0,5^{\circ}\text{C}$ na każdy metr wysokości komina.

Na temperaturę powierzchni płaszczu komina wpływ ma także promieniowanie słoneczne absorbowane przez beton. Powoduje ono nierównomierny rozkład temperatur na powierzchni płaszczu, wpływając na naprężenia panujące w betonie. Ilość energii dostarczonej w ten sposób różni się w zależności od pory roku i dnia, z powodu różnej wysokości słońca nad horyzontem (por. rys. 4) i zmian jego azymutu (por. rys. 5) [5].

Na podstawie danych z rysunków 4 i 5 można obliczyć ilość energii absorbowanej przez powierzchnię trzonu komina na podstawie wzoru (1) [5,9]:

$$I_{\beta} = I_{dir} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + h(t) - \beta\right) \cdot \cos(a_s(t) - a_w) \quad (1)$$

gdzie:

I_{dir} – promieniowanie bezpośrednie [W/m^2],

$h(t)$ – wysokość słońca nad horyzontem w funkcji czasu,

β – nachylenie powierzchni elementu,

a_w – azymut normalnej powierzchni elementu [rad],

a_s – azymut słońca w funkcji czasu.

Promieniowanie bezpośrednie określone jest jako [5]:

$$I_{dir} = I_0 \cdot q_G \quad (2)$$

gdzie:

I_0 – stała słoneczna równa $1370 \text{ W}/\text{m}^2$,

q_G – współczynnik zależny od wysokości słońca, pory roku i zanieczyszczenia powietrza.

Temperaturę na powierzchni zewnętrznej płaszczu (T_z) oblicza się wykorzystując zależność (3) [5,9]:

$$T_z = T_0 + I_{\beta} \cdot \frac{E}{\alpha_e} \quad (3)$$

gdzie:

I_{β} – natężenie promieniowania słonecznego na daną powierzchnię [W/m^2],

E – współczynnik absorpcji promieniowania słonecznego,

Tabela 1. Średnie wartości temperatury betonu w segmentach trzonu komina [°C]

Segment	Model „A”						Model „B”				Model „C”			
	Lato		Zima		Lato		Zima		Lato		Zima			
	słońce	cień	słońce	cień	słońce	cień	słońce	cień	słońce	cień	słońce	cień		
0	-	20m	81,18	66,87	38,26	23,95	85,88	72,59	46,01	32,72	85,92	72,6	46,02	32,74
20	-	30m	78,91	64,51	35,72	21,32	84,9	71,89	45,87	32,86	84,95	71,91	45,89	32,89
30	-	40m	77,29	62,86	34,02	19,59	83,43	70,51	44,66	31,74	83,45	70,53	44,67	31,78
40	-	50m	75,69	61,22	32,32	17,86	81,93	69,09	43,42	30,58	81,97	69,15	43,5	30,68
50	-	60m	74,1	59,59	30,63	16,13	80,39	67,64	42,15	29,4	80,5	67,78	42,35	29,63
60	-	70m	72,63	58,11	29,16	14,65	78,81	66,15	40,83	28,17	78,98	66,37	41,16	28,55
70	-	80m	72,15	57,95	29,61	15,42	76,78	64,08	38,68	25,98	77,04	64,42	39,19	26,57
80	-	90m	70,64	56,43	28,12	13,93	75,15	62,54	37,32	24,71	75,45	62,95	37,94	25,44
90	-	100m	70,08	56,25	28,67	14,86	73,7	61,27	36,41	23,98	73,93	61,58	36,89	24,55
100	-	110m	68,39	54,53	25,9	13,06	71,98	59,65	34,98	22,65	72,13	59,85	35,31	23,05
110	-	120m	66,71	52,82	25,14	11,26	70,19	57,94	33,45	21,21	70,27	58,07	33,66	21,46
120	-	130m	65,05	51,11	23,37	9,46	68,35	56,19	31,87	19,72	68,38	56,24	31,97	19,83
130	-	140m	63,69	49,41	21,6	7,65	66,47	54,41	30,27	18,21	66,49	54,43	30,31	18,26
140	-	150m	61,69	47,62	19,64	5,6	64,26	52,05	27,63	15,42	64,28	52,08	27,69	15,47
150	-	160m	59,54	44,94	15,94	1,39	59,55	45,01	15,62	1,52	59,61	45,03	15,68	1,56
160	-	170m	58,05	43,39	14,28	-0,3	58,09	43,44	13,89	-0,11	58,15	43,47	13,92	0,07
170	-	180m	56,6	41,86	12,6	-2,07	56,61	41,87	12,17	-2,03	56,66	42,05	12,21	-1,95

α_e – współczynnik przejmowania ciepła na powierzchni,
 T_o – temperatura powietrza dla danej pory roku,
 Obliczoną temperaturę na powierzchni zewnętrznej płaszcza po stronie nasłonecznionej wg zależności (3) wykorzystano do wyznaczenia rozkładu temperatur w warstwach trzonu komina. Współczynnik przenikania ciepła przez przegrodę cylindryczną wyliczono według wzoru (4) [5,9]:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{g_i}{\lambda_i} \cdot \chi_i \cdot \frac{R}{r_i} \right) + \frac{1}{\alpha_o} \quad (4)$$

w którym:

α_n – współczynnik napływu ciepła dla wewnętrznej strony wykładziny [W/m²K];

α_o – współczynnik odpływu ciepła dla zewnętrznej powierzchni trzonu [W/m²K];

g_i – grubość i-tej warstwy przegrody cieplnej;

λ_i – współczynnik przewodności cieplnej i-tej warstwy przegrody wg załącznika 1 normy [16];

χ_i – współczynnik poprawkowy uwzględniający zakrzywienie ściany, w funkcji (R/r_i);

r_i – wewnętrzny promień krzywizny i-tej warstwy przegrody;

R – zewnętrzny promień trzonu komina.

Wartości temperatur na kolejnych warstwach przegród obliczone zostały, wg zależności (5):

$$\Delta t_i = k \cdot \frac{g_i}{\lambda_i} \cdot \chi_i \cdot \frac{R}{r_i} \cdot dT \quad (5)$$

w której:

$$dT = T_w - T_z \quad (6)$$

gdzie:

T_w – temperatura wewnętrzna,

T_z – temperatura zewnętrznej.

Na podstawie wzoru (6) obliczono różnicę temperatur między wewnętrzną a zewnętrzną częścią trzonu komina dla kolejnych metrów wysokości komina. Przykładowo na rysunku 6 pokazano zmiany różnic temperatur w obliczeniowych modelach „A” i „C”. Ilustrację ograniczono do modeli „A” i „C” z uwagi na skrajne ich stany techniczne.

Wykresy wyraźnie ilustrują różnicę pomiędzy gradientem temperatur występującym w zimie i w lecie w modelach „A” i „C”. Dla szczytowych segmentów komina różnice są nieznaczne ze względu na warstwę szkła piankowego, która nadal spełnia swoje zadanie w przeciwieństwie do warstw termoizolacyjnych z wełny żużlowej na niż-

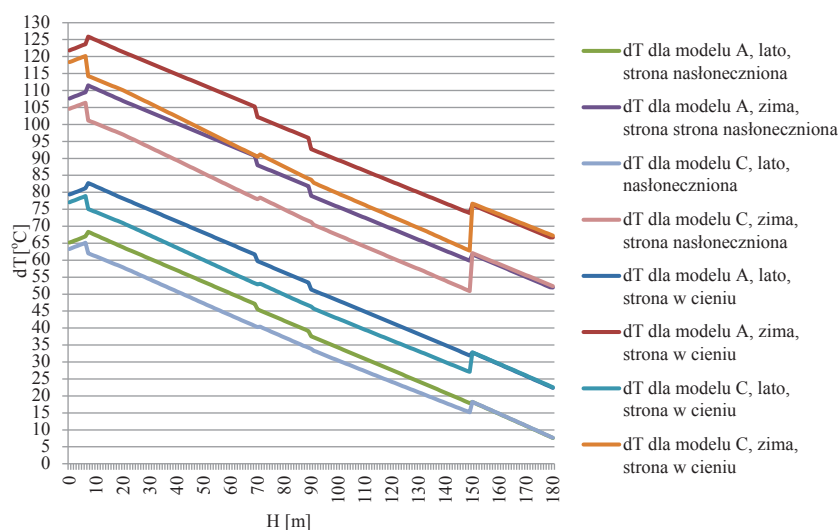
**Rys. 4.** Wykres wysokości słońca nad horyzontem

Tabela 2. Zbrojenie w poszczególnych segmentach komina

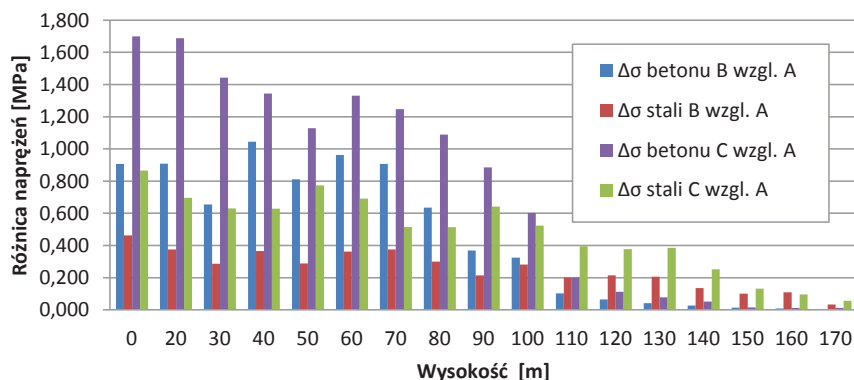
Segment			Zbrojenie pionowe						Zbrojenie obwodowe					
			wg projektu			Pole powierzchni [cm ²]			wg projektu		Pole powierzchni [cm ²]			
			Średnica [mm]	na m.b.	Rozstaw [cm]	„A”	„B”	„C”	Średnica [mm]	Rozstaw [cm]	„A”	„B”	„C”	
0	-	20m	20	10,0	10,0	31,4	28,3	25,1	14	10,0	15,4	13,9	12,3	
20	-	30m	16	8,0	12,5	16,1	14,5	12,9	12	10,0	11,3	10,2	9,0	
30	-	40m	16	8,0	12,5	16,1	14,5	12,9	12	10,0	11,3	10,2	9,0	
40	-	50m	16	8,0	12,5	16,1	14,5	12,9	12	10,0	11,3	10,2	9,0	
50	-	60m	16	8,0	12,5	16,1	14,5	12,9	12	10,0	11,3	10,2	9,0	
60	-	70m	16	9,0	11,1	18,1	16,3	13,6	12	12,5	14,1	12,7	10,6	
70	-	80m	16	9,0	11,1	18,1	16,3	13,6	8	10,0	5,0	4,5	3,8	
80	-	90m	14	10,0	10,0	15,4	12,3	11,5	8	12,5	6,3	5,0	4,7	
90	-	100m	14	9,0	11,1	13,9	11,1	10,4	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
100	-	110m	12	11,0	9,1	12,4	10,0	9,3	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
110	-	120m	12	11,0	9,1	12,4	10,0	9,3	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
120	-	130m	12	8,0	12,5	9,0	7,2	6,8	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
130	-	140m	8	11,0	9,1	5,5	4,4	4,1	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
140	-	150m	8	9,0	11,1	4,5	3,6	3,4	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
150	-	160m	8	9,0	11,1	4,5	3,6	3,4	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
160	-	170m	8	9,0	11,1	4,5	3,6	3,4	8	20,0	10,1	8,0	7,5	
170	-	180m	8	9,0	11,1	4,5	3,6	3,4	8	20,0	10,1	8,0	7,5	

Tabela 3. Naprężenia w stali i betonie trzonu komina

Segment			Naprężenia w stali [MPa]			Naprężenia w betonie [MPa]		
			„A”	„B”	„C”	„A”	„B”	„C”
0	-	20m	11,334	12,241	13,034	5,775	6,237	6,641
20	-	30m	12,982	13,891	14,670	5,361	5,736	6,058
30	-	40m	13,115	13,771	14,558	5,731	6,018	6,361
40	-	50m	14,938	15,984	16,731	5,233	5,599	5,861
50	-	60m	14,477	15,288	16,649	5,152	5,441	5,925
60	-	70m	14,157	15,120	15,997	5,323	5,685	6,015
70	-	80m	11,336	12,243	12,583	4,688	5,063	5,204
80	-	90m	9,073	9,708	10,162	4,274	4,573	4,787
90	-	100m	7,371	7,740	8,477	4,277	4,491	4,919
100	-	110m	4,633	4,957	5,235	4,023	4,305	4,546
110	-	120m	1,832	1,935	2,034	3,588	3,789	3,983
120	-	130m	0,094	0,100	0,105	3,142	3,356	3,519
130	-	140m	0,052	0,056	0,060	2,569	2,775	2,954
140	-	150m	0,039	0,042	0,044	1,938	2,074	2,190
150	-	160m	0,0321	0,0331	0,034	1,5230	1,5687	1,691
160	-	170m	0,0183	0,0187	0,019	1,4410	1,4698	1,513
170	-	180m	0,0154	0,0160	0,016	0,7950	0,8268	0,819

Tabela 4. Wartości rozwarcia rys w płaszczu komina

Segment			Rozwarcie rys [mm]		
			„A”	„B”	„C”
0	-	20m	0,188	0,201	0,203
20	-	30m	0,154	0,163	0,168
30	-	40m	0,194	0,208	0,213
40	-	50m	0,162	0,174	0,182
50	-	60m	0,156	0,164	0,2
60	-	70m	0,137	0,145	0,163
70	-	80m	0,161	0,172	0,176
80	-	90m	0,217	0,233	0,239
90	-	100m	0,214	0,225	0,253
100	-	110m	0,239	0,253	0,289
110	-	120m	0,363	0,388	0,392
120	-	130m	0,342	0,368	0,374
130	-	140m	0,311	0,327	0,355
140	-	150m	0,285	0,302	0,319
150	-	160m	0,262	0,283	0,277
160	-	170m	0,251	0,266	0,261
170	-	180m	0,257	0,267	0,268

**Rys. 7.** Różnice naprężeń pionowych w betonie i stali trzonu komina (model B względem A i C względem A)

szych segmentach. Średnie temperatury betonu w poszczególnych segmentach trzonu przedstawia tabela 1.

4.3. Wyniki analizy numerycznej w zakresie statyczno-wytrzymałościowym

Analiza statyczna modeli „A”, „B” i „C” została wykonana z uwzględnieniem stanu technicznego (ubytki betonu [8]) oraz wpływu naprężeń termicznych. Do analizy wybrano „model dla okresu letniego” ze względu na występowanie wyższych tem-

peratur w płaszczu żelbetowym. Zbrojenie przyjęto według projektu, obniżając dodatkowo pole zbrojenia o 20% i 25% dla modeli „B” i „C” (tab. 2).

W tabeli 3 zestawiono obliczone naprężenia pionowe w stali i betonie trzonu komina. Obliczenia wykazały około 8% wzrost naprężeń w zbrojeniu i betonie w modelu C względem modelu A, oraz 4% w modelu B względem modelu A – por. rysunek 7.

Z analizy wyników obliczeń naprężeń termicznych widoczny jest ich miarowy wzrost wraz ze wzrostem gradientu temperatur w betonowym płaszczu komina.

Analizy numeryczne wykazały też zwiększenie się szerokości rozwarcia rys w płaszczu komina (tab. 4.), spowodowane znacznym wzrostem temperatury betonu w rozpatrywanych modelach „A”, „B” i „C”.

Przykładowo zależność wzrostu rozwarcia rysy w modelu „C” od zmiany temperatury betonu trzonu wraz z linią trendu pokazano na rysunku 8.

5. Podsumowanie

Wyniki analizy numerycznej przedmiotowego komina ukazują zmniejszenie różnicy temperatur między warstwami płaszcza oraz wzrost naprężeń w zbrojeniu i betonie dla modeli „B” i „C”. W porównaniu z modelem „A”, gradienty temperatur modeli „B” i „C” zmniejszyły się o ok. 4%, powodując nagrzanie zewnętrznej warstwy płaszcza i zmiany w naprężeniach panujących w trzonie komina. Bezpośredni wpływ ma na to brak izolacji termicznej, w modelach „B” i „C”, doszczętnie skorodowanej przez spaliny.

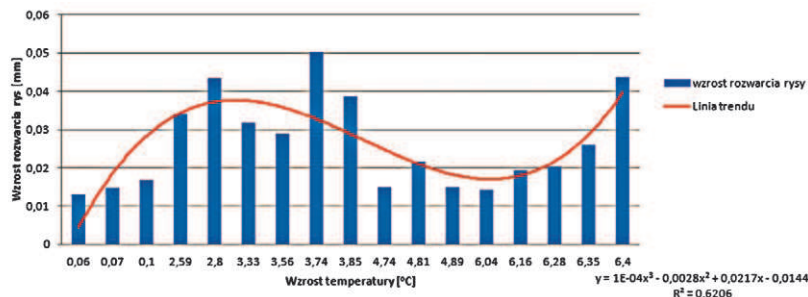
Wzrost temperatury żelbetowego płaszcza podczas eksploatacji powoduje zwiększenie rozwarcia rys i postępujące rozszczelnienie komina [5]. Dodatkowo wzrost temperatury może spowodować odkształcanie się stali zbrojeniowej, a w efekcie utratę przyczepności zbrojenia i zniszczenie otuliny.

Naprężenia w betonie i stali zbrojeniowej w modelach „B” i „C” nie przekraczają dopuszczalnych normowych wartości [17], ale postępująca korozja i utrata grubości ścian trzonu mogą spowodować ich przekroczenie.

Celem precyzyjnego określenia obecnego stanu komina konieczna jest analiza termowizyjna i ponowne pobranie próbek płaszcza, co pozwoli ocenić rzeczywisty rozkład temperatur w betonie podczas pracy komina oraz określić postępek korozji.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fiertak M., Kańka S., Postępek destrukcji betonu trzonu komina energetycznego. Materiały XII Konferencji Naukowo-Technicznej KONTRA, Zakopane 2000
 [2] Fiertak M., Kańka S., Ocena stopnia destrukcji materiałów w żelbetowych kominach energetycznych. Inżynieria i Budownictwo, nr 7-8/1995



Rys. 8. Zależność między zmianą temperatury a wzrostem szerokości rozwarcia rys

- [3] Fiertak M., Kańka S., Ocena jakości i stopnia destrukcji betonu na podstawie badań chemicznych i wytrzymałościowych. Cement-Wapno-Gips, nr 3/1995
 [4] Kańka S., Materiałowe i eksploatacyjne uwarunkowania trwałości żelbetowych kominów przemysłowych. Praca doktorska. Politechnika Krakowska, Kraków 2012
 [5] Lechman M., Ocena wpływu nierównomiernego nasłonecznienia na konstrukcje kominów żelbetowych i murowanych. Prace Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, nr 78, Wrocław 2000
 [6] Oruba R., Analiza wpływu uszkodzeń na sztywność i właściwości dynamiczne żelbetowych kominów przemysłowych. Praca doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 1994
 [7] Oruba R., Oddziaływanie środowiska przemysłowego i eksploatacji górniczej na bezpieczeństwo żelbetowych kominów przemysłowych. Rozprawy Monografie 211. Wydawnictwa AGH, Kraków 2010
 [8] Tąta T., Ratajczak B., Wpływ stanu technicznego komina żelbetowego na jego właściwości dynamiczne, „Inżynieria i Budownictwo”, nr 1/2015
 [9] Zych M., Naprężenia termiczne w dojrzewającym betonie ściany zbiornika żelbetowego, Czasopismo Techniczne z.12 – Środowisko z. 1-Ś/2007, ISSN 0011-4561, str. 191-208
 [10] Praca zbiorowa, Budownictwo betonowe, tom XIII – Zbiorniki, zasobniki, silosy, kominy i maszty. Arkady, Warszawa 1966

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [11] Ocena stanu technicznego żelbetowego komina H = 180 m w Elektrociepłowni nr 2 w Zakładach Koksowniczych „Zdzieszowice”. Politechnika Krakowska, Kraków 2000
 [12] Ocena stanu technicznego żelbetowego komina H = 180 m w Elektrociepłowni nr 2 w Zakładach Koksowniczych „Zdzieszowice”. Politechnika Krakowska, Kraków 2005
 [13] Ocena stanu technicznego żelbetowego komina H = 180 m w Elektrociepłowni nr 2 w Zakładach Koksowniczych „Zdzieszowice”. Politechnika Krakowska, Kraków 2010
 [14] ISO 4354:2009 Wind actions on structures
 [15] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1 – Oddziaływania na konstrukcje. Cz. 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
 [16] PN-B-03004:1988 Kominy murowane i żelbetowe – Obliczenia statyczne i projektowanie
 [17] PN-B-03254:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Obliczenia statyczne i projektowanie
 [18] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2 – Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [19] PN-EN 13084-1:2007 Kominy przemysłowe wolno stojące. Część 1: Wymagania ogólne
 [20] PN-EN 13084-2:2007 Kominy wolno stojące. Część 2: Kominy betonowe
 [21] PN-EN 13084-4:2006 Kominy wolno stojące. Część 4: Wykładziny murowane. Projektowanie i wykonanie
 [22] PN-77B-02011 Obciążenie wiatrem
 [23] PN-EN 771-1 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 1: Elementy murowe ceramiczne
 [24] http://manual.midasuser.com/EN_TW/Gen/761/whnjs.htm, sierpień 2010