

W sprawie zarysowania żelbetowych ścian kominów obciążonych skurczem, termiką i innymi obciążeniami eksploatacyjnymi

Dr inż. Marek Maj, dr hab. inż. Andrzej Ubysz, Politechnika Wroclawska

1. Wprowadzenie

Rysy w ścianach żelbetowych kominów są związane ze sposobem projektowania, wznoszenia i eksploatacji tych budowli. W początkowej fazie – dojrzwania betonu, a zwłaszcza rozruchu technologicznego, kiedy w konstrukcji występują duże amplitudy temperatur – naprężenia termiczne mogą się sumować ze skurczowymi i łącznie przekroczyć wytrzymałość charakterystyczną betonu na rozciąganie. Z upływem lat pojawiają się kolejne czynniki destrukcyjne – korozja, procesy zmęczeniowe – które pogłębiają stan zarysowania konstrukcji i obniżają jej trwałość (rys. 1, 2 i 3). W kolejnych rozdziałach zostaną przedstawione rodzaje rys, które występują na żelbetowym płaszczu kominów oraz zostaną omówione czynniki sprzyjające ich powstawaniu. Zostaną też przedstawione propozycje pozwalające częściowo zapobiegać tym niekorzystnym w eksploatacji kominów efektom.

2. Rodzaje rys na żelbetowych płaszczach kominowych

Rysy w płaszczu żelbetowego kominów mogą być spowodowane następującymi przyczynami:

- obciążenia spowodowane naporem wiatru,
- obciążenia termiczne pochodzące od gorących spalin,
- dobowe i roczne zmiany temperatury,

- skurcz betonu,
- nierównomierne osiadanie fundamentów,

Ponadto czynnikami wpływającymi na inicjację i rozwój rys są:

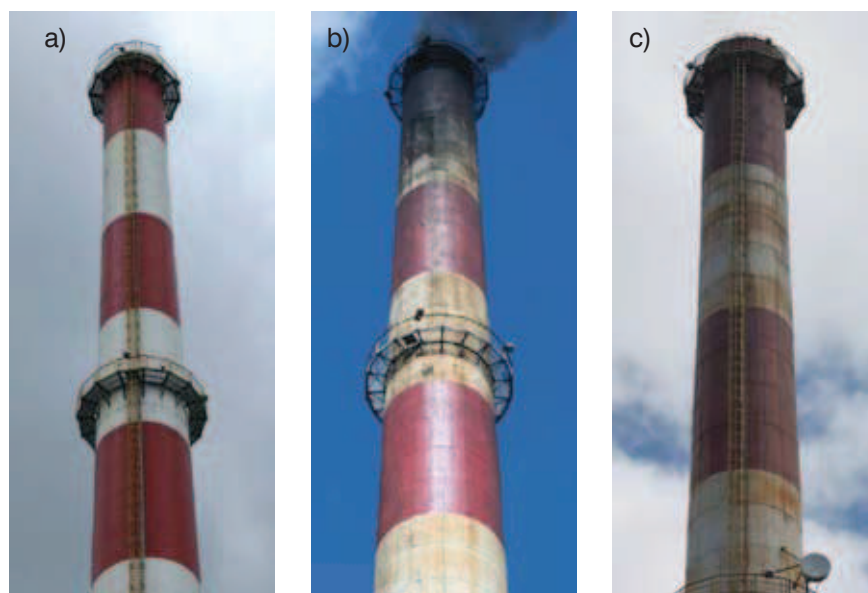
- wybór technologii wznoszenia kominów,
- rodzaj i stopień chemicznej agresywności środowiska oddziaływającego na beton i stal.

Zaobserwowano także niekorzystny wpływ zmiany rozmieszczenia zbrojenia pionowego w przekroju. W przypadku rozmieszczenia zbrojenia pionowego w 2 rzędach na obwodzie (przy zewnętrznej i przy wewnętrznej ścianie przekroju rurowego), obserwuje się więk-

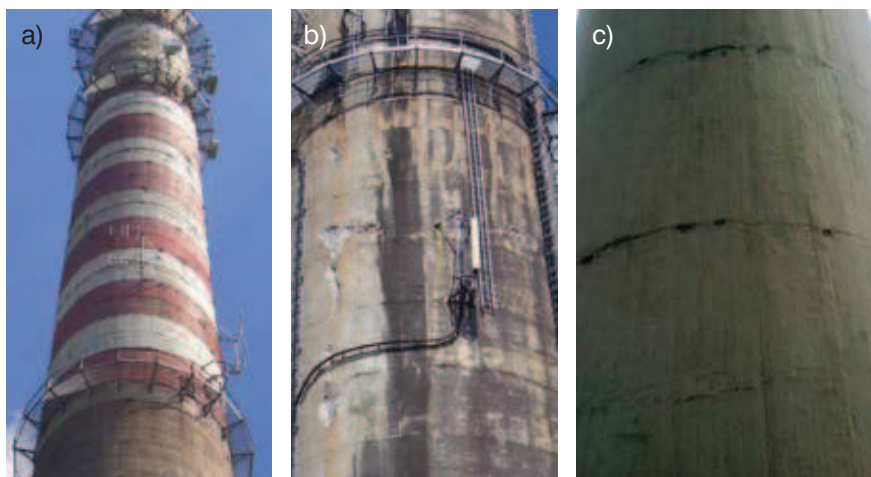
szą ilość rys, aniżeli przy zbrojeniu rozmieszczonym w 1 rzędzie.

3. Przyczyny powstawania rys

Przy projektowaniu, z reguły nie dopuszcza się do wystąpienia takich naprężeń rozciągających w żelbetowym płaszczu kominów, które mogłyby spowodować wystąpienie rys. Można więc uznać, że wiatr jest rzadko bezpośrednią przyczyną wywołującą zarysowanie konstrukcji. W dalszej części artykułu przedstawiono czynniki, które odgrywają największą rolę w powstawaniu rys i stanowią trudności przy eksploatacji kominów żelbetowych.



Rys. 1. Komin żelbetowy: a) nowy, bez uszkodzeń; b) ze zbrojeniem pionowym rozmieszczonym w 1 rzędzie na obwodzie, bez znaczących oznak spękań w miejscach przerw technologicznych podczas betonowania; c) ze zbrojeniem pionowym rozmieszczonym w 2 rzędach na obwodzie, z wyraźnymi rysami (pęknięciami) i wyciekami w miejscach przerw technologicznych



Rys. 2. Uszkodzenia kominów: a) rysy pionowe i wzmocnienie komina opaskami; b) rysy pionowe i poziome oraz odpadająca otulina; c) znaczne zarysowania w miejscu przerw technologicznych

Temperatura

W przypadku kominów z niedostateczną izolacją termiczną, w których występuje duży gradient temperatury $\Delta T/dx$ mogą się pojawić rysy pionowe i poziome, niekiedy o dużej szerokości (rys. 3, 4).

Innym czynnikiem sprzyjającym powstawaniu rys są błędy wykonaw-



Rys. 3. Liczne rysy w ścianie komina



Rys. 4. Rysy w dolnej części ściany komina



Rys. 5. Zbrojenie konstrukcyjne umieszczone w pobliżu środka ściany komina widoczne na wyciętej próbce

cze (a niekiedy projektowe) polegające na tym, że podczas wykonywania ściany pręty zbrojenia są ułożone zbyt blisko jej geometrycznego środka. Moment zginający od gradientu temperatury powoduje wówczas naprężenia krawędziowe rozciągające przekraczające wytrzymałość betonu na rozciąganie i nie jest on przenoszony przez zbrojenie umieszczone blisko środkowej części ściany. Taki przypadek wykonania ściany ze zbrojeniem rozmieszczonym blisko jej środka przedstawiono na próbce wyciętej ze ściany komina (rys. 5). Również przypadek, gdy otulina jest zbyt cienka może prowadzić do sytuacji, że zostanie ona zniszczona w obszarze linii prętów biegnących blisko powierzchni ściany.

Skurcz

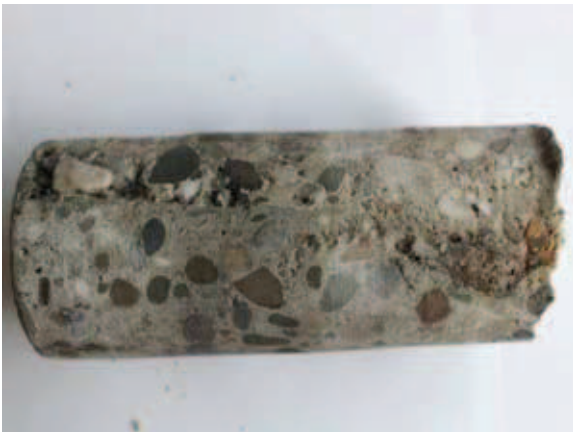
Ważną przyczyną zarysowania jest skurcz. Zagadnienia naprężeń skurczowych należy rozpatrywać

w powiązaniu z naprężeniami termicznymi [1], które są wywołane w konstrukcji bądź przez wpływy wewnętrzne (ciepło hydratacji cementu) bądź przez wpływy zewnętrzne (zmiany temperatury otoczenia, nasłonecznienie itp.). Ściany kominów nie są budowlami masowymi. Dominują w nich naprężenia skurczowe wywołane wpływami zewnętrznymi, a także naprężenia termiczne, których wartości maksymalne mogą występować w różnym czasie. Przyrost skurczu można opóźnić poprzez staranną pielęgnację lub stosowanie domieszek. W okresie budowy, w miejscach przerw technologicznych

zachodzi swoisty „wyścig” pomiędzy wzrastającymi naprężeniami rozciągającymi od skurczu i wzrastającą wolniej wytrzymałością betonu na rozciąganie. W szczególności po rozdeskowaniu dolnego segmentu ściany następuje intensywne wysychanie, podczas gdy w warstwie wylewanej powyżej wysychanie to jest spowolnione przez obecność deskowania. W dolnej warstwie, szczególnie przy większej przerwie w betonowaniu, doszło już do częściowej stabilizacji termicznej oraz w pewnym stopniu zaistniały już odkształcenia skurczowe. Nowo zabetonowany segment ściany najpierw rozszerza się termicznie pod wpływem ciepła hydratacji cementu. Tak zwany szok termiczny zachodzi w pierwszych 40–80 godzinach dojrzewania, gdy beton jest najpierw materiałem o cechach cieczy lepkiej, a później ciałem prawie stałym, o coraz bardziej dominujących cechach sprę-



Rys. 6.
Otwór w ścianie
po odwiercie



Rys. 7.
Odwiert przez przerwę
technologiczną

żytych. Proces dojrzewania betonu polega na tym, że w ścianie beton twardnieje i zaczyna się wychładzać, kurcząc się termicznie. Do tego skurczu dodaje się skurcz fizyczny. Temu łącznemu odkształceniu termiczno-skurczowemu przeciwstawia się wykonany wcześniej segment ściany. Ściana świeżo wykonana jest w otoczeniu styku rozciągana, a wylana wcześniej ściskana. Wzrost naprężeń rozciągających w styku technologicznym może spowodować pojawienie się rys w dolnej części nowo wykonanego segmentu (rys. 6, 7, 8).

Zapobiec temu można układając w ścianie dodatkowe zbrojenie: poziome (do przeniesienia naprężeń rozciągających) i pionowe (do przeniesienia naprężeń ścinających) oraz w miarę możliwości pielęgnując ścianę podczas dojrzewania betonu poprzez zapobieganie wysychaniu.

Skurcz powoduje także naprężenia własne w przekroju, które również mogą być czynnikiem wywołującym rysy [1] i dla ścian kominów o grubości przekraczającej 60 cm mogą stanowić ważny składnik sumarycznych naprężeń

rozciągających. Można im przeciwdziałać przez dobrą pielęgnację, a także przez stosowanie zbrojenia przypowierzchniowego.

Technologia wykonania

Innym problemem jest sposób wibrowania ścian. Do czasu stosowania w kominach pojedynczego zbrojenia po stronie zewnętrznej, nie pojawiały się większe problemy przy wibrowaniu betonu. Po wprowadzeniu zalecenia projektowego, aby zbrojenie rozmieszczać obustronnie, po stronie wewnętrznej i zewnętrznej, wówczas przy stosowaniu prętów o małym rozstawie i przy wysokich ściankach deskowań, buławy wibracyjne są często przykładane do prętów zbrojeniowych i do deskowania. Taki sposób postępowania, z reguły przypadkowy, jest jednak niezgodny z normą [2], gdyż powoduje naruszenie prętów w dojrzewającym betonie w partiach ścian, wykonanych w poprzednim cyklu betonowania. Pręty zbrojeniowe poruszane w częściowo stwardniałym betonie zostają odspojone od betonu tworząc pustki, w których zbiera się woda i kwaśne roztwory, powodujące utratę przyczepności stali zbrojeniowej do betonu.

Z punktu widzenia powstających rys jest to dodatkowe źródło wstępnej inicjacji rys w otulinie przy zbrojeniu oraz w strefie przyległej do przerwy technologicznej. Na rysunkach 7 i 8 pokazano próbki pobrane na linii przerwy technologicznej, tj. na linii połączenia kolejnych dwóch wylewanych segmentów ścian.

Rysy pionowe i poziome mogą również powstać podczas odrywania od ściany deskowania przestawnego, w miejscach tak zwanych „raków” (rys. 2b).

Agresywność środowiska

Następną przyczyną jest oddziaływanie agresywnego środowiska, które powoduje zawilgocenie i karbonatyzację betonu, korozję stali i ostatecznie pęcznienie i zarysowanie zewnętrznej powierzchni żel-



Rys. 8. Łączenie warstw wylewanego betonu w przerwie technologicznej

betowego płaszczu komina (rys. 2, 9). Na skutek tych zjawisk następuje spękanie i odpadanie otuliny w obszarze prętów zbrojenia.

4. Wnioski

Na etapie projektowania należy uwzględnić wszystkie czynniki, które mogą prowadzić do niespełnienia stanów granicznych użyteczności. Oprócz obciążeń zewnętrznych (mechanicznych i termicznych) i wewnętrznych (naprężenia wymuszone i własne od skurczu), należy również wziąć pod uwagę oddziaływania chemiczne. Skurcz i temperatura wpływają na konstrukcję głównie w początkowej fazie eksploatacji, agresywne środowisko – przez cały okres użytkowania.

Ponieważ zarysowanie płaszczu komina żelbetowego jest przy wieloletniej eksploatacji komina poważnym problemem technologicznym, należy przedstawić w referacie czynniki uwzględniać zarówno na etapie wykonywania, jak i użytkowania komina.

Najbardziej destrukcyjny wpływ temperatury wynika z krótkotrwałych, dużych zmian temperatury spalin. Projekt budowlany powinien więc określać dopuszczalny gradient temperatury w płaszczu komina wywołany spalinami zarówno na poziomie wstępnego rozruchu, jak i podczas ewentualnych przerw technologicznych (czas studzenia i wtórnego rozruchu).



Rys. 9.
Wyciekające
skropliny z rury
w miejscu przerwy
technologicznej

Skurcz powinien być rozpatrywany zawsze w aspekcie procesu hydratacji cementu i powierzchniowego wysychania oraz ewentualnie w przypadku wykonywania płaszczu w technologii deskowania przestawnego. W pierwszym przypadku ważne znaczenie ma pielęgnacja betonu. Technologia deskowania przestawnego wymaga oszacowania wartości naprężeń normalnych i stycznych w bezpośrednim otoczeniu planowanych przerw roboczych i uwzględnienia tych wartości przy wymiarowaniu zbrojenia.

Dyskusyjnym rozwiązaniem jest rozmieszczanie zbrojenia obwodowego przy zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni trzonu. Takie rozmieszczenie prętów stwarza trudności wykonawcom, a na negatywne skutki błędów wykonawczych zwracają uwagę użytkownicy tych kominów. Dużą rolę odgrywa tutaj także poprawne wykonanie wykładziny i izolacji.

Agresywność środowiska jest czynnikiem, na który projektant i wykonawca ma stosunkowo mały wpływ. Zaleceniami mogą tutaj być odpowiednio dobrane powłoki chroniące żelbetowy trzon zarówno przed wpływami mechanicznymi, jak i chemicznymi, a przy użytkowaniu przestrzeganie reżimu, aby temperatura nie spadała poniżej punktu rosy. Mając na uwadze trwałość konstrukcji, zalecenia powinny uwzględniać częsty monitoring konstrukcji, szczególnie w pierwszym roku użytkowania.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Flaga K., Zbrojenie przeciwskurczowe, obliczenia, zalecenia. XVII Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Ustroń, Luty 2002
[2] PN-63 B-06251 Roboty betonowe i żelbetowe. Wymagania Techniczne

FAKRO – Budowlana Firma Roku

Za szczególne osiągnięcia w branży producentów budowlanych firma FAKRO została nagrodzona tytułem Budowlana Firma Roku 2011. Za skuteczne zarządzanie firmą i jej sukcesy rynkowe w 2011 uhonorowano specjalnym wyróżnieniem Prezesa Zarządu FAKRO Ryszarda Floraka.

Oprócz tytułów Budowlana Firma Roku, przyznanych w kilku kategoriach (m. in. Producent materiałów budowlanych, Wykonawca robót specjalistycznych, Generalny wykonawca)

polskim firmom budowlanym przyznano także nagrody Polskiego Herkulesa 2011. Uroczystość wręczenia nagród odbyła się 1 marca w Hotelu Polonia Palace w Warszawie.

