

Wilhelm Król, Adam Król, Zbigniew Pająk

O WARUNKACH ZAPEWNIENIA WYMAGANYCH CECH ŻELBETOWYCH  
KONSTRUKCJI PRZEMYSŁOWYCH SPECJALNYCH NA TLE PEWNEJ  
AWARII ODMULNIKA PROMIENIOWEGO - DORRA

Streszczenie. W oparciu o wyniki analizy przyczyn pewnego odmulnika Dorra, rozważono i wskazano najistotniejsze czynniki i warunki racjonalnego projektowania, wykonawstwa i użytkowania żelbetowych konstrukcji specjalnych obiektów budownictwa przemysłowego.

## 1. Wstęp

Każdy obiekt budownictwa przemysłowego przeznaczony jest do spełnienia określonych zadań w zamierzonym czasie jego eksploatacji. Stosownie do zapotrzebowania społecznego, stanu wiedzy i rozporządzalnych środków materialnych podejmowane są decyzje o budowie, rozbudowie, wzmocnieniu czy likwidacji poszczególnych obiektów i o ewentualnym zastępowaniu ich nowymi, lepiej odpowiadającymi aktualnym wymaganiom. Występuje przy tym szereg problemów, których należyte rozeznanie i rozwiązanie warunkuje osiągnięcie zamierzonego celu.

W niniejszym opracowaniu poruszane są, w związku z awarią pewnego odmulnika Dorra, najistotniejsze czynniki i warunki racjonalnego projektowania, wykonawstwa i użytkowania a w niektórych przypadkach przebudowy i likwidacji żelbetowych konstrukcji specjalnych obiektów budownictwa przemysłowego.

## 2. Wymagane cechy żelbetowych konstrukcji przemysłowych budowli specjalnych i ich uwarunkowanie

Do specjalnych żelbetowych konstrukcji przemysłowych, wyróżniających się spośród powszechnie stosowanych obiektów budowlanych odrębnymi cechami ustrojowymi, wynikającymi z zadań i warunków ich eksploatacji, zalicza się przykładowo:

- w przemyśle górniczym: wieże wyciągowe, sortownie, płuczki węgla, pod-sadzki, osadniki wód popłuczkowych, odmulniki Dorra i in.;
- w przemyśle hutniczym: fundamenty wielkich pieców, baterii kokso-wniczych, walcowni;

- w przemyśle energetycznym: chłodnie kominowe, kominy przemysłowe a w szczególności nowoczesne osłony reaktorów atomowych i ich obiekty towarzyszące.

Obiekty te, stanowiące przeważnie podbudowę, obudowę czy pomieszczenia różnych urządzeń technicznych - przeważnie mechanicznych, względnie przewody, zbiorniki czy pojemniki materiałów niezbędnych w danych procesach produkcyjnych odpowiadać muszą warunkom wynikającym przede wszystkim z wymogów technologicznych, prowadzących do uzyskania oczekiwanych efektów - wytworów. Wynikają stąd wymagania dotyczące cech geometrycznych, materiałowych, nośności, użytkowania, trwałości i efektów ekonomicznych konkretnych obiektów budowlanych.

Cechy geometryczne każdego obiektu oznaczają jego kształty i wymiary gabarytów oraz położenie w przestrzeni - w odniesieniu do terenu i sąsiednich obiektów.

Z cech materiałowych najistotniejsze są różne rodzaje wytrzymałości, odkształcalności, ciężar objętościowy, odporność na wpływy chemiczne, termiczne, wilgotnościowe oraz trwałość w czasie. Cechy nośności i użytkowania wynikają z rodzaju konstrukcji przyjętych ustrojów, układów obciążeń - mechanicznych i niemechanicznych, odkształceń wymuszonych oraz podłoża gruntowego.

Cechy ekonomiczne ustalane są w aspekcie kosztów budowy i utrzymania, zużycia materiałów - zwłaszcza deficytowych - efektów produkcyjnych itp.

Zapewnienie konstrukcji wszystkich wymaganych cech uwarunkowane jest:

- należytym sprecyzowaniem warunków wstępnych - założeń techniczno-ekonomicznych, czasokresu amortyzacji i ewentualnie potrzeby późniejszej przebudowy czy likwidacji danego obiektu,
- racjonalnym zaprojektowaniem - obliczeniem statyczno-wytrzymałościowym i skonstruowaniem,
- solidnym zrealizowaniem - doбором odpowiednich materiałów i poprawnym wykonawstwem oraz
- prawidłowym użytkowaniem danego obiektu budowlanego (zgodnie z jego przeznaczeniem) i systematycznym konserwowaniem, z równoczesnym zabezpieczeniem go przed szkodliwymi wpływami wyjątkowymi.

Z uwagi na przewidywaną czasem, w programie produkcyjnym niektórych zakładów przemysłowych, etapową przebudowę czy nawet sukcesywną likwidację pewnych obiektów, dobierać należy już przy ich projektowaniu takie materiały i ustroje konstrukcyjne, które by te czynności ułatwiały.

Jakkolwiek powyższe sformułowanie wymagań uznane być może za truizm, zwłaszcza dla doświadczonych uczestników procesu inwestycyjnego, to jednak wobec zauważania często rażących, negatywnych efektów w naszej działalności budowlanej, szczególnie brzemiennych w skutkach awarii konstrukcji przemysłowych, uznaje się za wskazane bliższe naświetlenie występu-

jących tu zagadnień i - czego sobie wszyscy życzymy - przyczynienie się do tworzenia, także w budownictwie, tylko tego co dobre.

W myśl dydaktycznie najmocniej przemawiającej zasady "uczenia się na błędach" - oby nie powtarzających się, własnych - przedstawia się poniżej przykład pewnej, charakterystycznej awarii żelbetowego odmulnika promieniowego, z objaśnieniem jego konstrukcji, postaci zniszczenia, domniemyanych przyczyn awarii i analizy tychże wraz z odnośnymi wnioskami, stanowiącymi m.in. podstawę do sprecyzowania najistotniejszych warunków niezbędnych dla zapewnienia potrzebnych cech realizowanych konstrukcji żelbetowych.

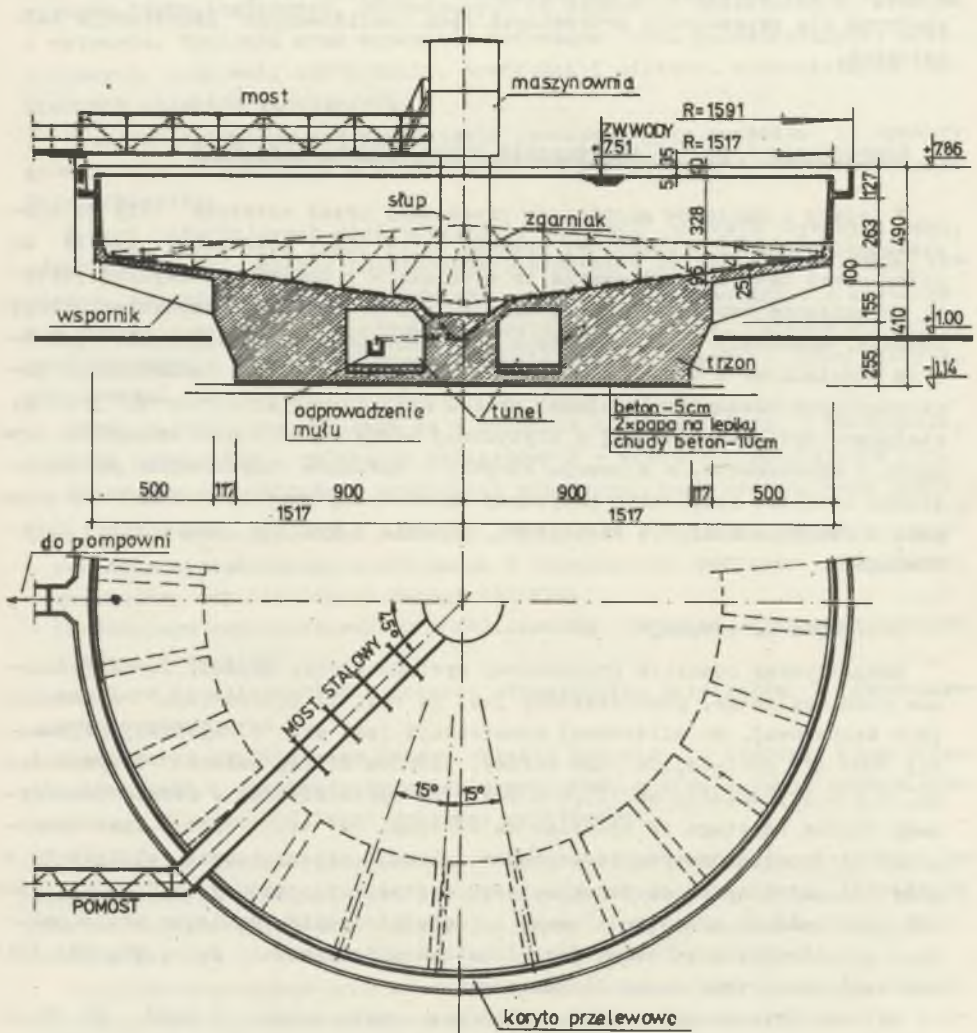
### 3. Konstrukcja i postać zniszczenia pewnego odmulnika Dorra

W jednym z zakładów górniczych przekazany przed czterema laty do eksploatacji odmulnik promieniowy systemu Dorra uległ gwałtownej awarii. Oprócz strat materialnych awaria ta wywołała - z powodu niezwyklej postaci zniszczenia danej żelbetowej konstrukcji - poważne zaniepokojenie użytkownika, wykonawcy i projektanta o los wielu innych istniejących, podobnych odmulników. W wyniku przeprowadzonych badań stanu technicznego poszczególnych elementów i całości układu zniszczonej konstrukcji, analizy statyczno-wytrzymałościowej i krytycznej oceny odtworzonych szczegółów projektu i wykonawstwa, a w pewnym stopniu i warunków użytkowania przedmiotowego obiektu, rozpoznano przyczyny zaistniałej awarii, dochodząc do wniosków o szerszym zakresie zastosowań, zgodnie z tytułem niniejszego opracowania.

#### 3.1. Opis konstrukcji

Rozpatrywany odmulnik promieniowy systemu Dorra, służący do zagęszczania mułu węglowego, przedstawiony jest na rys. 1. Zasadniczym elementem jego żelbetowej, monolitycznej konstrukcji jest misa o użytkowej pojemności  $2000 \text{ m}^3$ , posiadająca rzut kołowy, pionową ścianę walcową o wysokości ok. 3,3 m i promieniu ok. 15,0 m oraz dno wykształcone w formie odwróconego stożka ściętego ze spadkiem ku środkowi ok. 14%. Płytę dna wzmocniono 24 promieniowo rozmieszczonymi żebrami, przenoszącymi obciążenia z misy na centralny trzon fundamentowy, o średnicy podstawy 18,0 m. Ten sposób posadowienia przyjęto z uwagi na zabezpieczenie odmulnika przed szkodami górniczymi, gdyż teren jego lokalizacji zaliczono do kategorii III pod względem przydatności do zabudowy.

Walcowa ściana misy posiada zmienną w sposób ciągły grubość - od 25 cm u dołu, w miejscu utwierdzenia w płycie dennej, do 15 cm u góry, gdzie po jej zewnętrznej stronie wykształcono koryto przelewowe. Sklarowana woda z tego koryta, przebiegającego wzdłuż całego obwodu misy, odprowadzana jest kanałem przelewowym do pompowni - poza obrębem odmulnika.



Rys. 1. Konstrukcja odmulnika systemu Dorra - przekrój pionowy oraz część poziomego rzutu

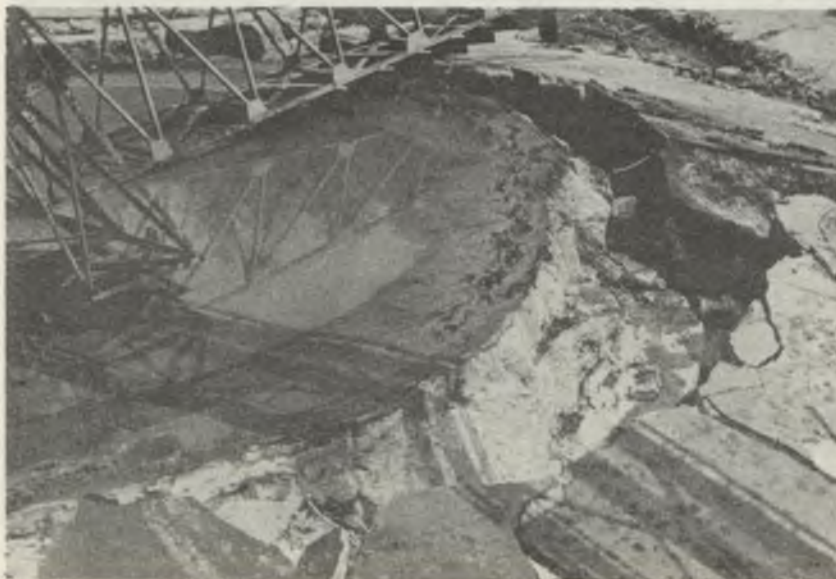
Zagęszczony muł wygarniany jest z dna misy przez dolny wylot - lej do rurociągu mechanicznie zagarniakiem obrotowym, wprawianym w ruch pionowym wałem za pomocą silnika elektrycznego i mechanizmu umieszczonego na stalowym moście obsługowym, opartym z jednej strony na stalowym słupie w osi trzonu, zaś z drugiej na żelbetowej, obwodowej ścianie walcowej, wzmocnionej w tym miejscu dwoma pionowymi żebrami.

W projekcie odmulnika przewidziano do wykonania jego misy i żeber beton o  $R_w = 200 \text{ kg/cm}^2$ , do trzonu fundamentowego beton o  $R_w = 140 \text{ kg/cm}^2$  oraz uzbrojenie stalą żebrowaną o  $Q_T = 4200$  wzgl.  $4000 \text{ kg/cm}^2$  i stalą gładką (na strzemiona) o  $Q_T = 2500 \text{ kg/cm}^2$ .

Podłoże gruntowe składa się tu z pochyłych przewarstwień iłu pylastego, szarego o różnych konsystencjach, z gipsem zwietrzałym. Wznoszące się po stronie północnej odmulnika strome, kilkunastometrowe stoki wykazują, zwłaszcza w związku z opadami atmosferycznymi, tendencje osuwiskowe, wywołując pewne deformacje (falowanie) terenu odmulnika i sąsiednich torów kolejowych.

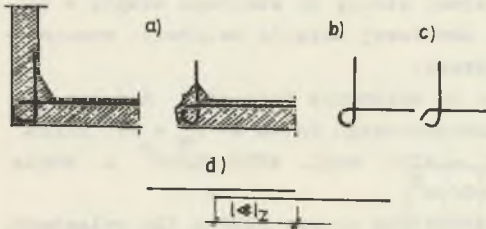
### 3.2. Opis postaci zniszczenia

Awaria przedmiotowego odmulnika nastąpiła gwałtownie, powodując zalanie i zamulenie przyległego terenu ze stacją pomp i torami kolejowymi. Zniszczeniu uległa walcowa ściana odmulnika na całej jej długości, płyta dna i utwierdzenia jej wszystkich żeber w trzonie fundamentowym - rys.2.



Rys. 2. Zniszczenie walcowej ściany i płyty dennej odmulnika - obraz awarii

Walcowa ściana uległa załamaniu w krawędzi jej styku z płytą denną i oderwaniu od tej płyty, przy czym końce wkładek zbrojeniowych, o krótkich



Rys. 3. Wadliwie skonstruowane pętle prętów zbrojeniowych w przejściu z dna w ścianę (a - c) oraz niedostateczne zakłady prętów obwodowych (d)

zakotwieniach w betonie przyległych elementów, zostały z tych elementów wyrwane (rys. 3a), zaś pętlowe przejścia wkładek dennych w ścianę uległy zacieśnieniom do średnicy kilku cm (rys. 3b) i często przy tym kruchym pęknięciom (rys. 3c) albo też spowodowały przecięcie betonowych rdzeni - przez te pętle opasywanych. Równocześnie zerwaniu względnie wyrwaniu końcówek we wzajemnych stykach u-

legły obwodowe wkładki zbrojeniowe ściany walcowej odmulnika (rys. 3d), dzieląc tę ścianę na siedem płatów. Płaty te opadły na zewnątrz obrysu płyty dennej misy odmulnika, podobnie jak płatki kwiatu - rys. 4. Jedynie płaty przyległe do budynku pompowni oparły się na konstrukcji tego budynku, podobnie jak i jeden płat podtrzymany pobliską skarpą północnego stożku terenu.



Rys. 4. Widok fragmentu zniszczonej ściany i dna

Radykalnemu zniszczeniu uległy zakotwienia wszystkich żeber promieniowych w betonie trzonu fundamentowego. Przekroje zniszczenia rozpoczynają się tu w górnej powierzchni trzonu, gdzie zakończone było górne zbrojenie żeber wspornikowych, a kończą się na dolnych powierzchniach tych żeber. Przy zniszczeniu nastąpiło wyrwanie z betonu prawie wszystkich, kończących się w tych przekrojach, wkładek głównego zbrojenia żeber oraz zerwanie - tylko nielicznych - pozostałych prętów, sięgających ponad 1,60 m w głąb trzonu betonowego. W kilku przekrojach zniszczenia, zwłaszcza w dolnych ich partiach, stwierdzono - w odróżnieniu od na ogół dobrej struktury betonu w trzonie fundamentowym odmulnika - zwały betonu gruboziarnistego, jakby z jednofrakcyjowego kruszywa otoczakowego, dającego się stosunkowo łatwo rozkruszyć młotkiem - rys. 5.



Rys. 5. Wadliwa partia betonu - wewnątrz trzonu fundamentowego

#### 4. Analiza charakteru zniszczeń i wyłonienie przyczyn awarii

Obraz zniszczonej konstrukcji odmulnika "Dorra", charakteryzujący się w przybliżeniu symetrią biegunową załamów i przemieszczeń oddzielonych od siebie elementów walcowej ściany i dna, uprzednio monolitycznie ze sobą związanych, świadczy o również biegunowo - symetrycznie działających, głównych przyczynach zaistniałej awarii.

Przyczyn tych doszukiwać się można w rozpatrywanym przypadku w:

- a) nieściśłościach, brakach lub błędach założeń, obliczeń statycznych i rysunków konstrukcyjnych projektu danego obiektu,
- b) wadach materiałów i wykonawstwa przedmiotowej konstrukcji,
- c) szkodliwych wpływach oddziaływań podłoża gruntowego, ulegającego nieregularnym przemieszczeniom zwłaszcza po intensywniejszych opadach atmosferycznych oraz często na terenach górniczych występujących, wpływach eksploatacji górniczej, powodujących znaczne szkody,
- d) ujemnych wpływach normalnej eksploatacji odmulnika i braku systematycznej jego konserwacji, przy agresywnym działaniu chemicznych wód popłuczkowych, powodujących korozję konstrukcji żelbetowych oraz w zachodzących czasem przestojach zakładu przerobczego i możliwym w tym czasie zamarzaniu wody, z tendencją rozsadzania konstrukcji ściany oraz przeciążeń spowodowanych zatkanie odpływu zagęszczonego mułu i wypełnieniem zbiornika do górnego poziomu koryta przelewowego,
- e) aktach sabotażu, np. przez eksplozję ładunku wybuchowego, wrzuconego do napełnionego wodą odmulnika.

W podanej kolejności przeanalizowano poszczególne czynniki w aspekcie ich związku przyczynowego z zaistniałą awarią, ustalając co następuje:

ad a) W założeniach technicznych projektu rozpatrywanego obiektu przewidziano prawidłowo ogólne cechy geometryczne i materiałowe konstrukcji odmulnika oraz działające nań stałe i zmienne obciążenia mechaniczne jak i niektóre wpływy eksploatacji górniczej. Nie uwzględniono jednak chemicznej agresywności wód popłuczkowych ani możliwości oddziaływań termicznych - nierównomiernego nagrzewania i oziębiania konstrukcji a zwłaszcza możliwości okresowego zamarznięcia wody w odmulniku.

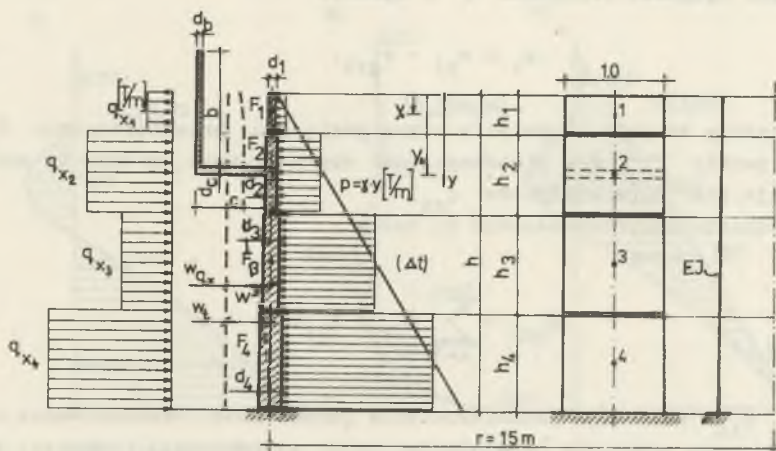
W obliczeniach statycznych projektu tego skomplikowanego, wielokrotnie statycznie niewyznaczalnego ustroju przestrzennego na programowe obciążenia cieczą, wprowadzono szereg powszechnie stosowanych, upraszczających przyjęć, umożliwiających korzystanie z gotowych, w dostępnej literaturze podanych rozwiązań. W szczególności w obliczeniach ściany walcowej współpracującej ze stożkową konstrukcją dna, nie uwzględniono zróżnicowanej sztywności giętej tej powłoki i usztywniającego ją koryta przelewowego. Pominięto też wpływy możliwych oddziaływań termicznych i pionowych odkształceń terenu górniczego na konstrukcję odmulnika.

Braki te uwzględniono w przeprowadzonych w ramach niniejszej analizy sprawdzających obliczeniach statycznych, których zarys dla niektórych wpływów podano poniżej:

- $a_1$  - obciążenie parciem cieczy
- $a_2$  - wpływy zmian temperatury
- $a_3$  - wpływy zamarzania cieczy w odmulniku
- $a_4$  - wpływy eksploatacji górniczej.



Przedmiotowe zadanie rozwiązano tu dla wpływów  $a_1$  i  $a_2$  metodą sił, traktując ustrój ściany walcowej o promieniu  $r = 15$  m i wysokości  $h = 3,28$  m jako złożony - wg rys. 6 - z poziomych pasów pierścieniowych o grubości  $d_i$ , szerokości  $h_i$  i polach przekroju  $F_i$  oraz usztywniających je - wiążących wzajemnie - 1 m szerokich pionowych pasów wspornikowych o wysokości  $h$  i zastępczym momencie bezwładności przekroju  $J$ , utwierdzo-



Rys. 6. Schemat obliczeniowy ściany zbiornika - opis w tekście

nych w konstrukcji dna misy odmulnika, traktowanej jako nieodkształcalna. Ten zastępczy schemat statyczny ustroju żelbetowego rozpatrzono w podany niżej sposób dla dwóch rodzajów wpływów: obciążenia parciem cieczy o  $\gamma = 1,2$  T/m<sup>3</sup> oraz oddziaływania zmian temperatury  $\Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$ , przy założeniu dla betonu  $E = 285$  T/cm<sup>2</sup> i  $\alpha_t = 1 \cdot 10^{-5}$  1/°C.

ad  $a_1$ ) Wpływ obciążenia parciem cieczy

Na poszczególne poziome pasy - pierścienie - działają obciążenia parciem cieczy  $\gamma \cdot y_i$  (T/m<sup>2</sup>), wywołujące równomierny nacisk na 1 mb obwodu  $p_i = \gamma \cdot y_i \cdot 1$  (T/m). Jednocześnie na pierścienie te działają przeciwnie skierowane reakcje poziome pionowych pasm wspornikowych - hiperstatyczne niewiadome  $q_{xi}$  (T/m). Obciążenia  $p_i$  oraz  $q_{xi}$  powodują odpowiednio wydłużenia - względnie redukcję tych wydłużeń - pierścieni a tym samym poziome przemieszczenia wzdłuż promieni

$$w_{pi} = \frac{p_i \cdot r^2}{E \cdot F_i} \quad (1)$$

oraz

$$w_{qxi} = \frac{q_{xi} \cdot r^2}{E \cdot F_1} \quad (2)$$

Rzeczywiste przemieszczenie  $w_i$  elementu "i" powłoki walcowej równe jest zmianie długości promienia  $r$  i wynosi:

$$w_i = w_{pi} - w_{qxi} \quad (3)$$

Przemieszczenie to jest oczywiście równe poziomemu przemieszczeniu  $\delta_{qxi}$  odnośnego punktu "i" w/w pionowego pasa wspornikowego, na który to wspornik działają siły hiperstatyczne  $q_{xi}$ .

Przy wyznaczaniu przemieszczeń wg wzoru

$$\delta_{qxi} = \sum_{k=1}^{k=n} \delta_{ik} \cdot q_{xk} \quad (4)$$

w którym  $\delta_{ik}$  oznaczają przemieszczenia jednostkowe, zróżnicowanie sześcianu pionowego wspornika uwzględniono przez wprowadzenie zastępczej sześcianu przekroju EJ.

Z układu  $n$  równań kanonicznych ( $i = 1$  do  $n$ ) typu

$$(\delta y_i - q_{xi}) \frac{r^2}{E F_1} = \sum_{k=1}^n \delta_{ik} \cdot q_{xk} \quad (5)$$

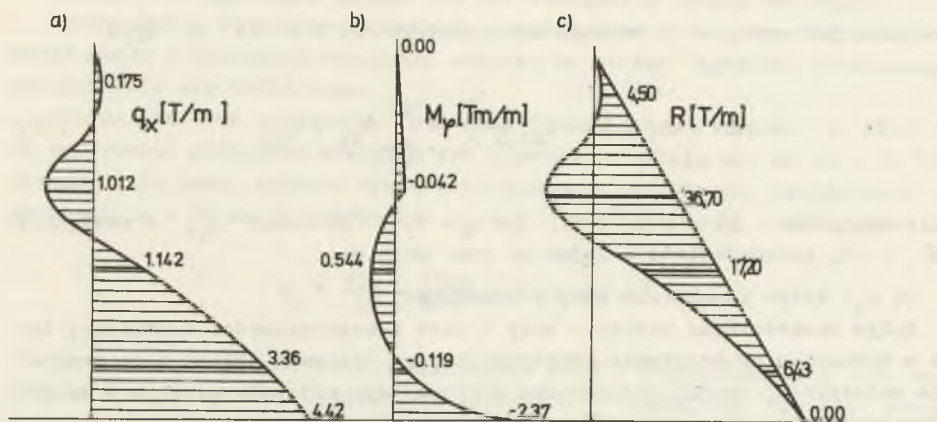
obliczono, dla konkretnych danych geometrycznych i mechanicznych, wartości  $q_{xi}$  oraz południkowe momenty zginające  $M_{\varphi}$  i siły pierścieniowe  $R_1$  w walcowej ścianie, przedstawione kolejno na rys. 7a,b,c.

ad a<sub>2</sub>) Wpływ zmian temperatury

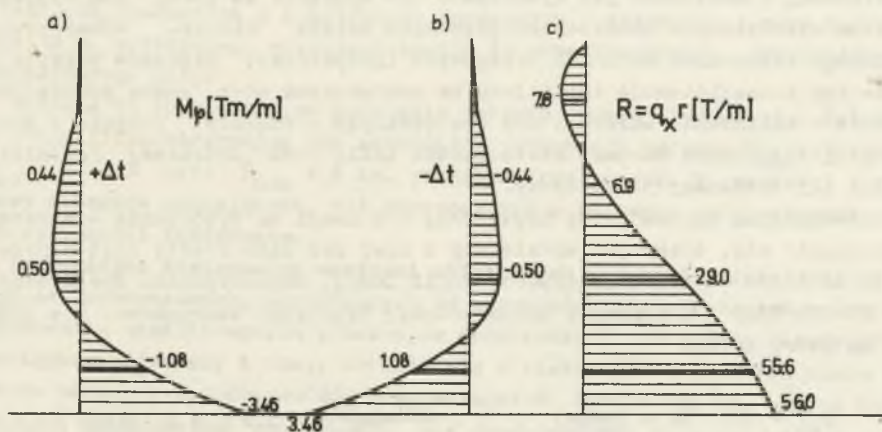
Wpływ podwyższenia lub obniżenia temperatury walcowej ściany odmulnika o  $\Delta t$  °C, przy założeniu niezmienności temperatury konstrukcji dna - osłoniętego, prowadzi do przemieszczeń i odkształceń konstrukcji ściany c przyjętym wyżej schemacie statycznym, wyznaczonych podobnie jak w przypadku poprzednim. Z rozszerzalności termicznej wydzielonych pasów pierścieniowych żelbetowej ściany walcowej wynikająca zmiana długości pierścienia

$$w_{ti} = \Delta t \cdot \alpha_t \cdot r = w_t \quad (6)$$

jest na całej wysokości ściany jednakowa.



Rys. 7. Siły i momenty zginające w ścianie zbiornika od obciążenia parciem cieczy



Rys. 8. Siły i momenty zginające w ścianie zbiornika od podwyższenia względnie obniżenia temperatury o  $\Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$

Z oddziaływań hiperstatycznych niewiadomych  $q_{xi}$  pionowych pasów wspornikowych oblicza się odpowiednie przemieszczenia

$$w_{qxi} = \sum_{k=1}^n \delta_{ik} \cdot q_{xk} \quad (7)$$

Podobnie jak wyżej z  $n$  równań kanonicznych ( $i = 1$  do  $n$ ) typu

$$\Delta t \cdot \alpha_t \cdot r - q_{xi} \frac{r^2}{E F_i} = \sum_{k=1}^n \delta_{ik} \cdot q_{xk} \quad (8)$$

obliczono, dla  $\Delta t = +10^\circ\text{C}$  i  $\Delta t = -10^\circ\text{C}$  wartości  $q_{xi}$  a następnie  $M\varphi$  i  $R$ , przedstawione kolejno na rys. 8a, b, c.

ad a<sub>3</sub>) Wpływ zamarzania wody w odmulniku

Wpływ zamarznięcia cieczy - wody - oraz rozszerzalności termicznej lodu w odmulniku na wyężenie konstrukcji jego walcowej ściany i na powstanie zaistniałej awarii rozpatrzono w niniejszym artykule jedynie w sposób uproszczony dla grubszej oceny stopnia szkodliwości zjawiska.

Zamarzająca woda, przechodząc w lód, zwiększa swoją objętość o około 9% i w przypadku ograniczenia swobody odkształceń może doprowadzić do wywarcia bardzo dużych nacisków na otaczającą ją konstrukcję. Znane są przypadki rozsadzania stalowych rur czy zniszczenia otworów kotwicznych w żelbetowych fundamentach. W przypadku rozpatrywanej konstrukcji tak dużych nacisków nie należy się spodziewać, ze względu na znaczną powierzchnię tafli lodowej i możliwość jej wybożenia lub wygięcia ku górze pod wpływem ciśnień wywoływanych zamarzaniem głębszych warstw cieczy. Wobec braku bliższego rozeznania warunków brzegowych (podparcia), procesów pęknięcia i ponownego konsolidowania tafli lodu na powierzchni wody, można postawione zadanie - obliczenie wartości sił wewnętrznych - rozważyć jedynie z grubym przybliżeniem z warunku stateczności tafli lodu ściskanej radialnie wzdłuż jej środkowej płaszczyzny.

Orientacyjną wartość siły krytycznej - z uwagi na wybożenie - warstwy lodu ocenia się, traktując wydzielony z niej pas jako prosty pręt o przekroju  $20 \times 100 \text{ cm}$  ( $20 \text{ cm}$  - grubość tafli lodu), współczynnika sprężystości  $E = 75 \text{ T/cm}^2$  i długości wybożeniowej przyjętej szacunkowo  $l = 3000 \text{ cm}$ , wg wzoru Eulera

$$P_{kr} \approx \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 EJ = \left(\frac{\pi}{3000}\right)^2 \cdot 75 \cdot \frac{100 \cdot 20^3}{12} = 5,5 \text{ T} = p \text{ (T/m)}.$$

Wywołane tą siłą naprężenia rozciągające w żelbetowym pierścieniu, o grubości  $s = 20$  cm i wysokości pasa współpracującego  $d_s = 10 \cdot s = 200$  cm wynoszą

$$\sigma_s = \frac{55 \cdot 1500}{20 \cdot 200} \approx 20,6 \text{ kG/cm}^2.$$

Naprężenia tego rzędu wydają się być realnymi w danych warunkach.

Niezależnie, dodatkowe naprężenia rozciągające w ścianie odmulnika powstać mogły w warunkach raptownej odwilży, na skutek zjawiska termicznego rozszerzenia się tafli lodu.

Przyjmując - na podstawie obserwacji (Budownictwo Betonowe t. XVII) - że maksymalne ciśnienia wywołane tym zjawiskiem wahają się od 10 - 30 T/m obwodu tafli lodu, oblicza się w rozpatrywanym żelbetowym pierścieniu o grubości  $s = 20$  cm i wysokości  $d_s = 200$  cm naprężenia rozciągające

$$\sigma_s = \frac{100 \cdot 1500}{20 \cdot 200} = 37,5 \text{ kG/cm}^2.$$

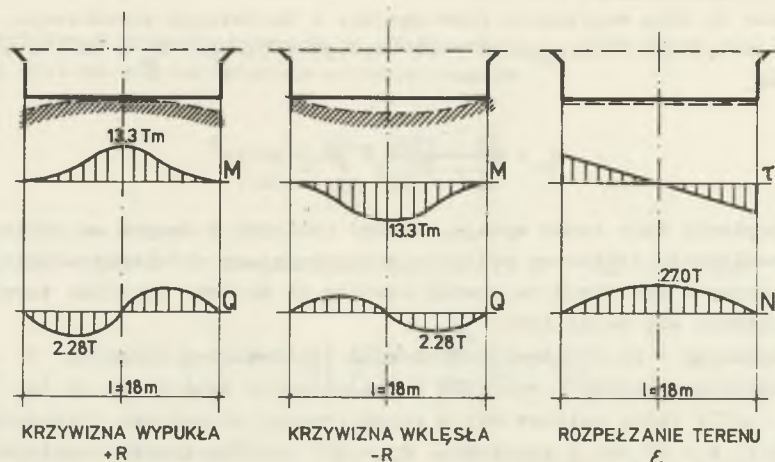
Jakkolwiek opisane zjawiska zamarzania wody i rozszerzalności lodu występować mogły tylko w wyjątkowych warunkach - awaryjnej przerwy pracy zakładu przerobczego, to jednak w konkretnych okolicznościach przyczynić się mogły do powstania rys i awarii konstrukcji odmulnika.

ad a<sub>4</sub>) Wpływ eksploatacji górniczej

Przedmiotowy odmulnik posadowiony był na terenie górniczym zaliczonym do III kategorii pod względem przydatności do zabudowy. W związku z tym deformacje terenu - wygięcie oraz rozpełzanie - spowodować mogą w konstrukcji powstanie sił rozciągających, momentów zginających i sił poprzecznych, zwłaszcza w konstrukcji fundamentu - sztywnego trzonu o średnicy 18 m, osłabionego wykrojami tunelu do grawitacyjnego odprowadzania zagęszczonego mułu.

Zadanie to rozwiązano na podstawie znanych wzorów (Budownictwo Betonowe - tom XII), otrzymując dla wskaźników deformacji terenu:  $T_{\max} = 10$  mm/m,  $\xi_{\max} = 6$  mm/m oraz  $R_{\min} = 6$  km, przedstawione na rys. 9 wartości i wykresy momentów zginających, sił poprzecznych i osiowych odniesionych do 1 m szerokości fundamentu.

Zestawiając ekstremalne wartości obliczonych w ramach niniejszej analizy sił wewnętrznych, pochodzących od wszystkich rozpatrywanych wpływów, z nośnością zrealizowanych przekrojów konstrukcji, zwłaszcza mimośrodowo rozciąganych (ściany i dna), okazują się w niektórych elementach nieco niższe wartości współczynników bezpieczeństwa. Niedomiary te, gdyby były jedynymi mankamentami konstrukcji, nie spowodowałyby jeszcze rozpatrywanej awarii. W projekcie przedmiotowego odmulnika nie sprawdzono jednak warunków zarysowań i nie zapewniono wymaganej szczelności konstrukcji.



Rys. 9. Wpływ eksploatacji górniczej na konstrukcję odmulnika - wykresy sił wewnętrznych

W rysunkach konstrukcyjnych projektu omawianego odmulnika powtarza się brzemienne w skutkach niedopatrzanie w postaci niedostatecznych zakotwień prętów zbrojeniowych w betonie - rys. 3. Z powodu dużego niedomiaru długości zakotwienia siła przyczepności tych prętów do betonu jest znacznie mniejsza od nośności ich przekroju poprzecznego na rozciąganie. Prowadzi to do przedwczesnego wyrywania prętów z betonu. Niedostateczne długości zakładu w stykach prętów obwodowych w ścianie walcowej, wadliwe wprowadzenie radialnych wkładek dna do ściany i zbyt krótkie ich zakotwienia, podobnie jak i niewystarczające długości zakotwienia górnych prętów zbrojenia żeber dna w trzonie fundamentowym, objawiły się w zniszczonych przekrojach żelbetowej konstrukcji.

Wykazane wady zbrojenia uznać należy za jedno z głównych przyczyn zaistniałej awarii.

W projekcie nie zwrócono też dość wyraźnie uwagi na wymaganą szczelność betonu, warunki jego zagęszczenia wibratorami, usytuowanie, ukształtowanie i betonowanie przerw roboczych oraz na potrzebę powierzchniowego zabezpieczenia konstrukcji żelbetowej przed chemiczną agresją wód popłuczkowych.

ad b) Z wad materiałów konstrukcyjnych rażąca jest, widoczna na rys. 5 w wewnętrznej partii trzonu fundamentowego, luźna struktura betonu o grubofrakcyjnym kruszywie. Obecność takiego betonu w konstrukcji odmulnika mogła się niewątpliwie przyczynić do zniszczenia utwierdzenia żeber dna stożkowego w fundamencie. Znamienne jest jednak rzeczą, że poza wskazanym miejscem w pozostałych elementach konstrukcji odmulnika jakość betonu była na ogół dobra, a jego wytrzymałość odpowiadała projektowanej. Niemniej stwierdzona partia nieodpowiedniego betonu świadczyć może o nierzetelno-

ści wykonawców, liczących może na "niewykrywalność" błędów ukrytych w dużym masywie trzonu fundamentowego. Na karb wykonawstwa przypisać też należy niedostateczną szczelność zastosowanego tu betonu, ujawniającą się w naciekach na dolnej powierzchni misy i potrzebie dokonanych - dopiero po kilku latach użytkowania odmulnika - uszczelnień za pomocą powłoki bitumicznej i masy asfaltowej. Nieszczelność ta doprowadziła do korozji znajdującej się w betonie stali zbrojeniowej, utraty przyczepności wkładek do betonu i wyłączenia ich z pracy, zwłaszcza w końcowych odcinkach zakotwień.

Ponadto na niektórych powierzchniach elementów żelbetowych widoczne, rdzawe ślady prętów zbrojeniowych świadczą o braku należytej otuliny zbrojenia i o niestosowaniu, przy stabilizacji zbrojenia w deskowaniu, niezbędnych podkładek - betoników.

Na powierzchniach walcowej ściany odmulnika stwierdzono też nieprawidłowo usytuowane i wadliwie wykonane przerwy robocze. Wzdłuż ukośnych nieregularnych linii ich przebiegu występują pasy betonu o porowatej strukturze, wskazując na brak wymaganej obróbki powierzchni stykowych betonu poniżej przerwy i brak zagęszczenia wibratorami betonu ponad przerwą.

ad c) W danym przypadku osuwające się stoki terenu, otaczające odmulnik z trzech stron, powodowały pewne falowanie podłoża odmulnika, stwierdzone w okresie 4-letniej eksploatacji obiektu geodezyjnymi pomiarami, w granicach od -14 do +9 mm oraz deformacje terenu pod sąsiednimi torami kolejowymi. Wskutek tego przeprowadzono okresowe rektyfikacje torów jak i poziomów deski ograniczającej przelew wody z odmulnika do koryta obwodowego.

Wobec małej częstotliwości dokonywania obserwacji nie można wykluczyć przypuszczenia, że w międzyczasie amplitudy wahań konstrukcji były znacznie większe i powodowane nimi obciążenia miały charakter skokowy, wzbudzając znaczniejsze siły masowe, objawiające się we wzroście parcia wody w odmulniku na jego konstrukcję. Mogło to przyczynić się do osiągnięcia w konstrukcji stanu zarysowania a w konsekwencji stanowić jedną z przyczyn awarii.

Dopatrywanie się przyczyn awarii we wpływach eksploatacji górniczej zostało tutaj wykluczone wobec autorytatywnych oświadczeń odpowiednich władz górniczych, że w danym terenie i okresie żadnych wpływów eksploatacji górniczej - odkształceń powierzchni ani tąpnięć - nie było.

ad d) Dopiero po kilkuletniej programowej eksploatacji odmulnika i stwierdzeniu przecieków jego żelbetowej konstrukcji, wykonana została, na wewnętrznych powierzchniach ściany i dna, izolacja bitumiczna. Przedtem jednak chemicznie agresywna woda popłuczkowa mogła penetrować w głąb konstrukcji i powodować korozję zbrojenia.

Możliwe - jako wyjątkowe - przeciążenie konstrukcji a w szczególności żelbetowego płaszcza misy odmulnika nastąpić mogło na skutek rozsadzającego działania zamrożonej w nim wody - lodu w czasie - związanego z przeszkodami ruchowymi zakładu przerobczego - okresowego wyłączenia odmulnika

z ruchu w okresie zimowym. Przeciążenie to doprowadzić mogło do zarysowań konstrukcji, stwarzając dogodne warunki dla korozji zbrojenia i likwidacji przyczepności stalowych wkładek do betonu.

ad e) Wysunięta w dociekaniach przyczyn awarii koncepcja eksplozji ładunku materiału wybuchowego, np. wrzuconego przez lekkomyślność czy złośliwość do napełnionego wodą popłuczkową odmulnika i spowodowane tym rozsadzenie konstrukcji, została wykluczona po wnikliwych dociekaniach władz nadzorujących zakład. Przeprowadzony przy tej sposobności odpowiedni eksperyment w skali półtechnicznej pozwolił na wyciągnięcie tylko ogólnych wniosków, prowadzących do wzmożonej czujności straży przemysłowej i odpowiedniej ochrony obiektu.

W podsumowaniu powyższych uwag można było uznać za ewidentne przyczyny rozpatrywanej awarii niedociągnięcia czy wady wymienione w punktach a), b), c) i d) z równoczesnym zwróceniem uwagi użytkownikom obiektu na nie dopuszczanie do niego osób niepowołanych.

## 5. Wnioski

Dla zapewnienia potrzebnych, wymienionych w punkcie 2 niniejszego artykułu, cech żelbetowych konstrukcji specjalnych obiektów przemysłowych, stanowiących w większości przypadków skomplikowane układy przestrzenne, których warunki pracy statyczno-wytrzymałościowej nie zawsze są w pełni rozeznane, należy przy ich projektowaniu, wykonawstwie i użytkowaniu zwracać szczególną uwagę na niżej wymienione czynniki.

5.1. W założeniach techniczno-ekonomicznych, danych wyjściowych do projektowanego obiektu, należy wnikliwie przeanalizować i ustalić jego zadania, gabaryty, materiały<sup>x)</sup> i ocenić wpływy wszystkich mechanicznych i niemechanicznych możliwych obciążeń oraz oddziaływań stałych, zmiennych i wyjątkowych. Uwzględnić tu należy zwykle niedoceniane a bardzo istotne wpływy termiczne, chemiczne, technologicznego skurczu betonu, zróżnicowanego oddziaływania podłoża gruntowego na konstrukcję obiektu, możliwości jego modernizacji, wzmocnienia czy przebudowy, skutki spowodowane nieprawidłową pracą urządzeń mechanicznych itp., w całym okresie zamierzonego użytkowania obiektu. Założenia te zatwierdzone powinny być przez jednostki nadrzędne inwestora.

5.2. W projekcie konstrukcji należy dążyć do spełnienia wszystkich założonych warunków technicznych i ekonomicznych, w uzasadnionych przypad-

---

<sup>x)</sup> Np. w zbiornikach na ciecz stosować stal zwykłą o niskiej wytrzymałości, co umożliwi lepsze jej wykorzystanie oraz połączenia spawaniem.



kach uwzględnić możliwość dogodnej przebudowy czy też rozbiórki - całości lub niektórych elementów - obiektu, w związku z przewidywanymi modernizacjami procesów produkcyjnych czy też likwidacją obiektu.

5.3. W obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych należy dążyć do ustalenia i rozwiązania takich schematów statycznych i dynamicznych, które by możliwie dokładnie odzwierciedlały rzeczywistą pracę zrealizowanej konstrukcji - a dokonywane uproszczenia - także w wymiarowaniu przekrojów - nie prowadziły do obniżenia nośności konstrukcji poniżej wartości sił faktycznie w poszczególnych przekrojach działających. Oprócz zapewnienia nośności należy zwracać uwagę również na stany graniczne użytkowania - ugięcia i przemieszczenia - a zwłaszcza stan zarysowania narażonych na korozję elementów.

5.4. W rysunkach konstrukcyjnych przestrzegać należy zasad prawidłowego kształtowania i wymiarowania wszystkich szczegółów a zwłaszcza zapewnienia należytych zakotwień prętów zbrojeniowych w betonie oraz zachowania odpowiedniej długości zakładów prętów w miejscach ich styków.

5.5. Wykonawstwo konstrukcji powinno jej zapewnić, zgodne z założonymi w projekcie, fizyczne i geometryczne cechy. Oprócz dokonywanego z reguły sprawdzania wytrzymałości należy tu zwracać szczególną uwagę na jakość - wymaganą jednorodność i szczelność betonu, właściwe zlokalizowanie, ukształtowanie i wykonanie przerw roboczych w betonowaniu oraz na zapewnienie należytego otulenia betonem wkładek zbrojeniowych.

5.6. Użytkowanie konstrukcji powinno odpowiadać założonym w projekcie warunkom. W całym okresie eksploatacji obiektu należy konstrukcję chronić przed szkodliwymi wpływami wyjątkowymi, do maksimum ograniczać możliwości powstawania przeciążeń spowodowanych niewłaściwą pracą urządzeń oraz przeprowadzać okresową konserwację elementów najbardziej narażonych na działanie agresywnych czynników.

5.7. Dokumentację projektową, z naniesionymi ewentualnymi zmianami w trakcie realizacji obiektu oraz dokumentację wykonawstwa - dzienniki budowy, protokoły odbioru itp., jak również specjalnie założoną metrykę każdego obiektu, w której zaznaczać należy wszystkie wprowadzone w czasie jego eksploatacji zmiany, naprawy czy zabiegi konserwacyjne, należy przechowywać w aktach inwestora lub użytkownika. Ułatwi to należyte utrzymanie i racjonalną kontrolę stanu technicznego obiektu.

ОБ УСЛОВИЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМЫХ СВОЙСТВ  
СПЕЦИАЛЬНЫМ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ КОНСТРУКЦИЯМ  
НА ПРИМЕРЕ АВАРИИ РАДИАЛЬНОГО ШЛАМОУДАЛИТЕЛЯ ДОРРА

Р е з ю м е

На основе результатов анализа причин аварии надёжного шламоудалителя ДОРРА рассмотрены и указаны самые существенные факторы и условия рационального проектирования, возведения и эксплуатации специальных объектов промышленного строительства.

ON THE CONDITIONS OF ASSURING THE REQUIRED PROPERTIES  
OF SPECIAL INDUSTRIAL CONCRETE STRUCTURES ON THE EXAMPLE  
OF A BREAKDOWN OF RADIAL DORR ELUTRIATOR

S u m m a r y

In the paper there have been analysed reasons for a breakdown of a certain radial elutriator (Dorr system). The most important factors and conditions for rational designing, carrying out and exploitation have been pointed out which apply to all concrete industrial structures of special use.