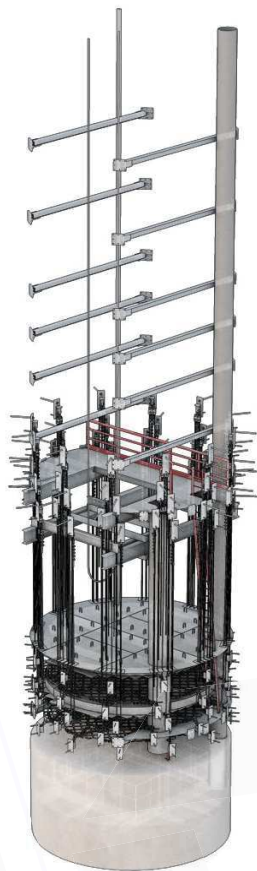


6 Nowa konstrukcja sztucznego dna szybu



6.1 Wprowadzenie

Sztuczne dno instalowane jest w pogłębianych lub zbrojonych szybach górniczych w celu oddzielenia części szybu będącego w normalnej eksploatacji i części w której prowadzone są roboty, czyli ponad strefą prac związanych z pogłębianiem lub zbrojeniem szybu górniczego. Jego zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa pracującym poniżej górnikom przez przechwycenie mas spadających szybem, zwłaszcza w warunkach szybu z eksploatowanym wyciągiem górniczym. Znaczenie problemu wynika z bardzo dużej energii kinetycznej jaką przejąć musi sztuczne dno wychwytyjąc przedmioty o dużej masie, często większej od 20 Mg a opadających z wysokości niekiedy większej od 1000 m [1-5]. Lata doświadczeń w pogłębianiu szybów górniczych pozwoliły opracować różne rozwiązania sztucznych den, pełniących funkcje poprzecznej przegrody szybu [2,6]. Najistotniejsze spośród tych rozwiązań przedstawiono poniżej.

6.2 Aktualnie stosowane rozwiązania

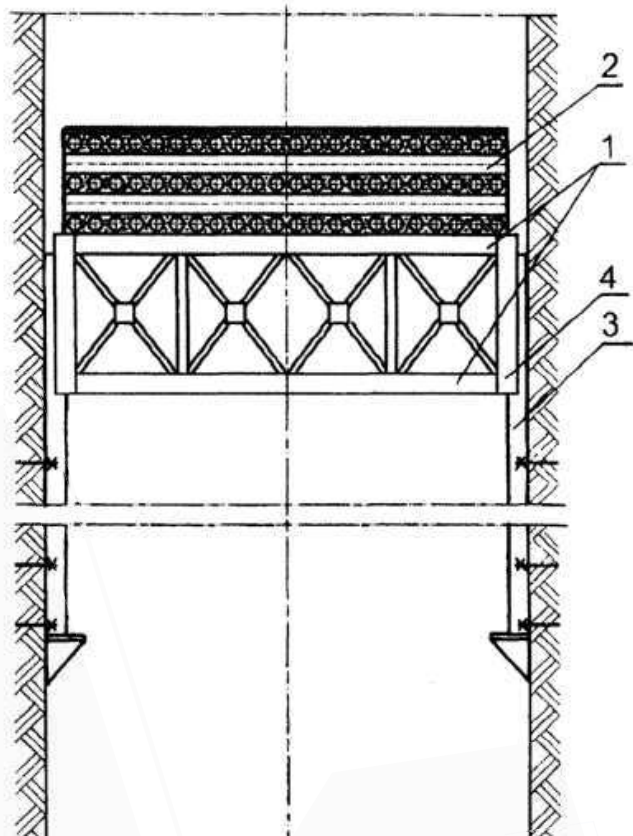
Po latach doświadczeń wypracowano wiele różnych rozwiązań sztucznych den, które stanowią poprzeczne przegrody mocowane do obudowy szybu. Sztuczne dno szybu przedstawione w opisie patentowym PL 140124 [7] posiada ruchomy pomost bezpieczeństwa połączony przez ciernie zespoły hamujące z pionowymi prowadnicami ciernymi, które przytwierdzone są do ociosów szybu górniczego. Przejmująca uderzenia górna powierzchnia kratowej konstrukcji pomostu, ma właściwości sprężystego pokładu, wykonanego w postaci centralnej płyty zawieszanej na wielu stalowych linach połączonych promieniowo z górną obręczą kratowej konstrukcji ruchomego pomostu. Amortyzacja uderzenia na takim pokładzie jest niewystarczająca, co wiąże się z możliwością wystąpienia znacznych uszkodzeń i wymusza wymiarowo duże osunięcia się w dół pomostu przejmującego energię kinetyczną w wyniku wyhamowania ruchu siłami tarcia w zespołach hamujących.

Znane jest także rozwiązanie sztucznego dna z opisu patentowego PL155340 [8], w którym na rozbudowanej w pionie konstrukcji kratowej, sztywno utwierdzonej w obudowie szybu ułożony jest pokład amortyzujący, złożony z kilku warstw rur stalowych, które w każdej warstwie ułożone są poziomo obok siebie oraz skierowane prostopadle do rur w warstwie sąsiadującej. Przestrzenie między rurami wypełnione są materiałem sypkim, przykładowo piaskiem. Rury pokładu amortyzującego podpartego na sztywnej konstrukcji kratowej ulegają dużym odkształceniom, co skutkuje szybką utratą właściwości amortyzujących sztucznego dna.

Interesujące rozwiązanie przedstawione zostało także w polskim opisie patentowym PL123095U1 [9]. Sztuczne dno szybu, według niniejszego wzoru wyposażony jest w ruchomy pomost bezpieczeństwa o pionowo rozbudowanej konstrukcji kratowej połączony przez ciernie zespoły hamujące z pionowymi prowadnicami ciernymi, przytwierdzonymi do ociosów szybu górniczego. Istota wzoru polega na ułożeniu na ruchomym pomoście bezpieczeństwa pokładu amortyzującego, złożonego z kilku warstw rur stalowych, w każdej warstwie ułożonych poziomo obok siebie oraz skierowanych prostopadle do rur w warstwie sąsiadującej, przy czym przestrzenie między rurami wypełnione są materiałem sypkim. Skojarzenie obu opisanych wcześniej rozwiązań pozwoliło na

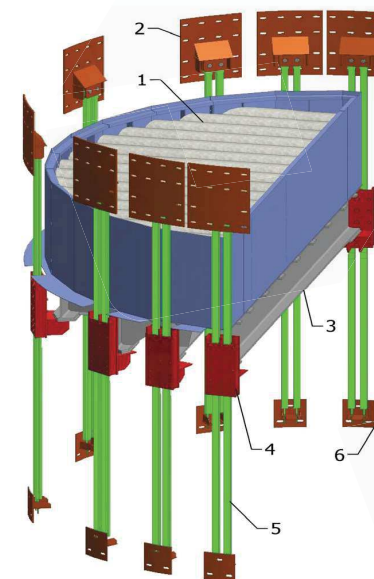
znaczne zwiększenie energetycznej skuteczności przyjmowania uderzeń o wartości nawet do 200 MJ oraz zwiększenie trwałości sztucznego dna [10].

Opisane powyżej sztuczne dno szybu górniczego przedstawiono na rysunku 6.1. w ujęciu schematycznym przekroju pionowego.



Rys. 6.1 Sztuczne dno szybu wg opisu patentowego PL 123095U1 [9]; 1 – ruchomy pomost bezpieczeństwa, 2 – pokład amortyzacyjny, 3 – pionowe prowadnice ciernie, 4 – zespoły hamujące

Pomost bezpieczeństwa został osadzony przesuwnie za pośrednictwem zespołów hamujących na pionowych prowadnicach ciernych o długości 10÷12 m, a przytwierdzonych do obudowy szybu górniczego. Rozwiązanie sztucznego dna umożliwi wytracanie bardzo dużych energii kinetycznych spadających mas, przy względnie małej całkowitej masie własnej. Jednocześnie modułowa konstrukcja dna pozwala na montaż poszczególnych elementów składowych na powierzchni – co ogranicza koszty oraz czas budowy i demontażu sztucznego dna szybu. Wizualizacja ruchomego pomostu bezpieczeństwa została przedstawiona na rysunku 6.2.



Rys. 6.2 Wizualizacja ruchomego pomostu bezpieczeństwa [10]; 1 – pokład amortyzujący, 2 – górne zamocowanie prowadnic, 3 – rama nośna, 4 – urządzenie hamujące, 5 – pionowe listwy ciernie, 6 – dolne zamocowanie prowadnic

6.3 Nowe rozwiązanie sztucznego dna szybu

6.3.1 Nowa konstrukcja sztucznego dna szybu

Sztuczne dno zaprojektowano do pochłonięcia energii 35300 kJ. Jako podstawę obliczeń przyjęto ciężar jednostki transportowej wraz z ładunkiem równy 3500 kg, swobodnie spadającej z wysokości 950 m. Sztuczne dno wykonane zostanie z pięciu warstw siatek wysokowytrzymałościowych wspartych na linach stalowych. Liny stalowe mocowane będą do elementów hamujących mogących pochłonąć 696 kJ (120 kN x 5,8 m) energii w ciągu 0,3 s. Na każdą warstwę siatek przypadać będzie 12 elementów hamujących mocowanych do obudowy szybu w odległościach względem siebie: warstwa 1 i 2 – 1 m, warstwa 2 i 3 – 0,5 m, warstwa 3 i 4 – 0,5 m, warstwa 4 i 5 – 0,5 m. Całkowita zabudowa sztucznego dna w szybie, uwzględniając wysokość lin, wyniesie 11,38 m w wersji całościowej i 18,56 m w wersji półkowej [11].

Głównym elementem nośnym warstw są uchwyty kotwione do obmurza, do których montowane są hamulce z dolną rolką, przez którą przechodzi lina nośna. Lina pionowa jest spięta z hamulcem u góry konstrukcji. W dolnej części spina ona liny poziome wraz z innymi hamulcami, których przewidywana ilość w obmurzu wynosi dwanaście kompletów. Liny są z jednej strony zakute na stałe oczko, na drugim końcu spinane zaciskami zgodnie z wymaganiami producenta. Do lin spięte są wytrzymałe pierścienie zagęszczające konstrukcję linową. Następnie na pierścieniach położona jest siatka pleciona z drutu w celu uszczelnienia całości pierścieni i lin. Dodatkowo na pierwszej

warstwie zostanie położony beton i blacha górna zabezpieczająca, a na trzeciej warstwie beton. Uchwyty, liny, pierścienie i siatki są będą z sobą szaklami oraz zaciskami linowymi [12].

Warstwa 1 (rys. 6.3) składa się z:

- podwójnych hamulców 120 kN GEOBRUGG amortyzujących energię uderzenia przez 5855 mm w czasie 0,3 s z rolką,
- lin GEOBINEX Ø22 z minimalną siłą zrywającą 400,6 kN,
- uchwytów lin środkowych,
- pierścieni ROCCO 19/3/300 (średnica pierścienia Ø300 mm, średnica drutu pierścienia Ø3, ilość zwojów 19, klasa energetyczna 5000 kJ) dobranych do średnicy liny GEOBINEX Ø22,
- siatki plecionej 40x40 o grubości drutu 5 mm,
- zbrojonego betonu segmentowego o grubości 300 mm w klasie 2,5 MPa położonego na szalunku drewnianym,
- blachy zabezpieczającej o grubości 5mm położonej na betonie.

Warstwa 2 (rys. 6.4) składa się z:

- pojedynczych hamulców 120 kN GEOBRUGG amortyzujących energię uderzenia przez 5855 mm w czasie 0,3 s z rolką,
- lin GEOBINEX Ø22 z minimalną siłą zrywającą 400,6 kN,
- uchwytów lin środkowych,
- pierścieni ROCCO 19/3/300 (średnica pierścienia Ø300 mm, średnica drutu pierścienia Ø3, ilość zwojów 19, klasa energetyczna 5000 kJ) dobranych do średnicy liny GEOBINEX Ø22,
- siatki plecionej 40x40 o grubości drutu 5 mm.

Warstwa 3 (rys. 6.3) składa się z:

- pojedynczych hamulców 120 kN GEOBRUGG amortyzujących energię uderzenia przez 5855 mm w czasie 0,3 s z rolką,
- lin GEOBINEX Ø22 z minimalną siłą zrywającą 400,6 kN,
- uchwytów lin środkowych,
- pierścieni ROCCO 19/3/300 (średnica pierścienia Ø300 mm, średnica drutu pierścienia Ø3, ilość zwojów 19, klasa energetyczna 5000 kJ) dobranych do średnicy liny GEOBINEX Ø22,
- siatki plecionej 40x40 o grubości drutu 5 mm,

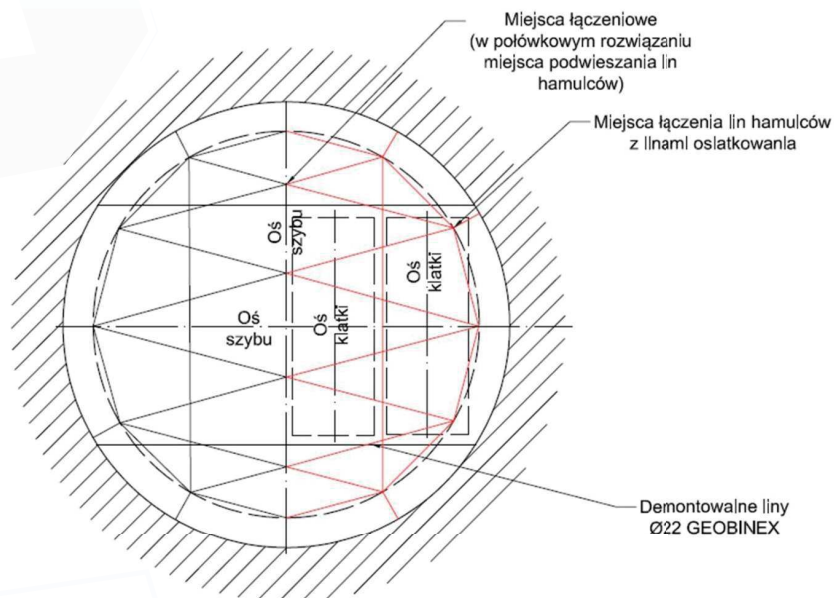
- zbrojonego betonu segmentowego o grubości 300 mm w klasie 2,5 MPa położonego na szalunku drewnianym.

Warstwa 4 (rys. 6.4) składa się z:

- pojedynczych hamulców 120 kN GEOBRUGG amortyzujących energię uderzenia przez 5855 mm w czasie 0,3 s z rolką,
- lin GEOBINEX Ø22 z minimalną siłą zrywającą 400,6 kN,
- uchwytów lin środkowych,
- pierścieni ROCCO 19/3/300 (średnica pierścienia Ø300 mm, średnica drutu pierścienia Ø3, ilość zwojów 19, klasa energetyczna 5000 kJ) dobranych do średnicy liny GEOBINEX Ø22,
- siatki plecionej 40x40 o grubości drutu 5 mm,

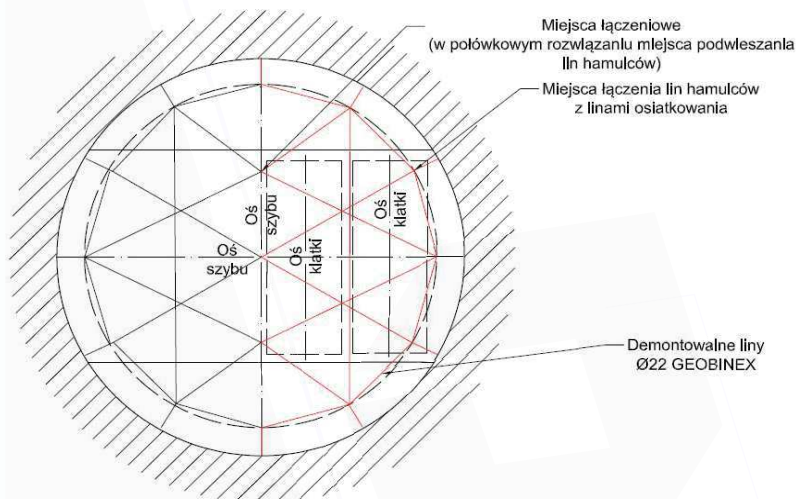
Warstwa 5 (rys. 6.3) składa się z:

- pojedynczych hamulców 120 kN GEOBRUGG amortyzujących energię uderzenia przez 5855 mm w czasie 0,3 s,
- lin GEOBINEX Ø22 z minimalną siłą zrywającą 400,6 kN,
- pierścieni ROCCO 19/3/300 (średnica pierścienia Ø300 mm, średnica drutu pierścienia Ø3, ilość zwojów 19, klasa energetyczna 5000 kJ) dobranych do średnicy liny GEOBINEX Ø22,
- siatki plecionej 40x40 o grubości drutu 5 mm.



Rys. 6.3 Schemat 1. rozmieszczenia lin GEOBINEX w warstwach 1, 3, 5 [12]

Schemat 2



Rys. 6.4 Schemat 2 rozmieszczenia lin GEOBINEX w warstwach 2, 4 [12]

Warstwy zaprojektowano w sposób umożliwiający montaż na całej powierzchni szczytu (wersja całościowa) jak i na 1/2 powierzchni szczytu (wersja połówkowa). Na całej powierzchni szczytu linie montowane w sposób symetryczny na obwodzie obmurza szczytu. W rozwiązaniu połówkowym

linie zabudowane są na nieczynnej połowie szybu, a środkowe linie podwieszane odciągami do obmurza szczytu. W wersji całościowej każda z warstw podwieszona jest na dwunastu linach, które podtrzymują hamulce 120 kN w konfiguracji pojedynczej lub podwójnej. Hamulce mają za zadanie podwieszenie konstrukcji poszczególnych warstw sztucznego dna, a w przypadku uderzenia maksymalnego ciężaru swobodnie spadającego zatrzymać (pochłoniąć) energię uderzeniową. Hamulce montowane są do uchwyty stalowego, który należy zakotwić do obmurza szczytu. W wersji całościowej zastosowano łącznie 72 szt. hamulców podwieszonych na 60 linach, co jest w stanie pochłoniąć energię uderzeniową 50400 kJ. Współczynnik bezpieczeństwa dla wersji całościowej wynosi $k_c \approx 1,47$.

Wersja połówkowa podwieszona jest na jedenastu linach, które podtrzymują hamulce 120 kN w konfiguracji pojedynczej lub podwójnej. W wersji połówkowej zastosowano łącznie 66 szt. hamulców podwieszonych na 55 linach. Hamulce są w stanie pochłoniąć energię uderzeniową 46200 kJ. Współczynnik bezpieczeństwa dla wersji połówkowej wynosi $k_p \approx 1,35$.

6.3.2 Techniczne warunki wykonania

Należy przestrzegać wszystkich wymogów podanych na poszczególnych rysunkach wykonawczych i złożeniowych. Ponadto należy mieć na uwadze następujące wymagania [12]:

- Detale należy wykonać w tolerancji m-K zgodnie z normą PN-EN-22768-1.
- Obrabiane powierzchnie nie powinny mieć śladów korozji, rys, pęknięć, wgniotów, rozwarstwień, ostrych krawędzi, zadziorów i uszkodzeń mechanicznych.
- Chropowatość powierzchni ciętych i obrabianych nie powinna być większa niż podana na rysunkach
- Powierzchnie nieobrobione części wykonanych z wyrobów walcowanych powinny być oczyszczone. Wzery spowodowane korozją są niedopuszczalne
- Wszystkie otwory okrągłe muszą być wiercone. Otwory podłużne muszą być wykonane za pomocą obróbki mechanicznej. Niedopuszczalne jest wykonywanie otworów przez wypalanie.
- Rozstaw otworów montażowych, o ile nie podano inaczej na rysunku konstrukcyjnym, musi być utrzymany w tolerancji $\pm 0,5$ mm, natomiast średnice otworów w tolerancji $\pm 0,2$ mm.
- Wszystkie krawędzie elementów nośnych wykonane przez cięcie gazowe należy oszlifować, co najmniej na głębokość 1 mm tak, aby zachować wymaganą chropowatość powierzchni obrabianych.
- Ostre krawędzie pozostałe po obróbce należy stępić.

Warstwy powinny być obrócone względem siebie o minimalny kąt, tak aby obrót poszczególnych warstw względem siebie był jak najmniejszy. Im większy kąt obrotu warstw względem siebie tym

większe prawdopodobieństwo nieuzyskania odstępów ruchowych w wersji połówkowej. Sztuczne dno zaprojektowano w sposób umożliwiający przebudowanie go z wersji całościowej do wersji połówkowej bez konieczności demontażu elementów jednej z połówek pozostającej w szybie. Jeśli założono połówkowy demontaż sztucznego dna przed jego montażem, całościową linię osi szybu należy wygiąć tak, aby w przyszłości po demontażu połówki zachowane zostały przepisowe odstępy ruchowe od klatek. Uzyskanie odpowiedniego ugięcia liny skutkować będzie wydłużeniem i skróceniem lin poprzecznych w stosunku do liny środkowej.

Liny poprzeczne podczas montażu wstępnego powinny być maksymalnie napięte, ale tak aby istniała możliwość ich ręcznego demontażu a następnie montażu końcowego, przy założeniu, że zacisk stały liny pionowej jest możliwie jak najbliżej rolki przez którą przechodzi lina pionowa.

W przypadku zabudowy drabiny oraz dodatkowych rurociągów, które mają przechodzić przez warstwy sztucznego dna, podczas montażu wstępnego należy je ominąć wykonując dodatkowe spięcia lin zaciskami linowymi.

6.3.3 Materiały, elementy złączne i połączenia spawane

Do wykonania konstrukcji stalowych należy stosować materiały gatunku S235JR lub innych, o nie gorszych właściwościach mechanicznych. Zastosowane materiały muszą posiadać własności zgodne z wymaganiami technicznymi określonymi w przedmiotowych normach. Parametry te powinny być potwierdzone w atestach dostarczonych przez hutę. Do wyrobów stalowych dostawca powinien dołączyć dokumenty kontroli zgodnie z PN-EN 10204:2006 (atesty). Niedopuszczalne jest zastosowanie materiałów posiadających wady geometryczne kształtu a także zwiększone odchyłki wymiarowe. Powierzchnia materiału powinna być czysta, gładka bez zendry, zawalcowań i wżerów korozyjnych. Grubości ścianek profili walcowanych powinny być zgodne z wymiarami określonymi w wykazach części i materiałów.

Materiały dodatkowe do spawania powinny spełniać wymagania przedmiotowych norm. Materiał lin GEOBINEX oraz pierścieni ROCCO musi być zgodny z kartą katalogową producenta firmy GEOBRUGG, spełniającej właściwości mechaniczne potwierdzone w opracowanych obliczeniach.

Do połączeń przewiduje się zastosowanie elementów złącznych, tj. szaki, zacisków, kotew, nakrętek i podkładek okrągłych. Kotwy, szaki i zaciski powinny spełniać wymagania przedmiotowych norm. Elementy złączne powinny być zabezpieczone antykorozyjnie przez ocynkowanie galwanicznie. Stosowanie elementów złącznych o właściwościach mechanicznych gorszych niż założone jest niedopuszczalne. Skręcanie elementów powinno być wykonane zgodnie z normą PN-B-06200. Konstrukcję zaliczono do klasy konstrukcji spawanej 2 wg normy PN-M-69008. Połączenia spawane powinny być wykonywane zgodnie z instrukcjami technologicznymi spawania WPS. Każda część konstrukcji w każdej fazie procesu wytwarzania, powinna być określona przez odpowiedni system identyfikacji. Wykonawca konstrukcji powinien posiadać ważne „Świadectwo Kwalifikacyjne” wg wymagań normy PN-M-69009 – grupa zakładu I oraz powinien posiadać certyfikowany zakładowy system jakości dotyczący spawania materiałów metalowych wg wymagań normy PN-EN-ISO 3834-2. W przypadku wykonania przez podwykonawcę wykonawca powinien upewnić się, że podwykonawca może stosować się do określonych wymagań jakościowych. Podwykonawca konstrukcji powinien wykonywać prace zgodnie z zamówieniem i na odpowiedzial-

ność wykonawcy. Powinien również spełnić odpowiednie wymagania normy PN-EN-ISO-3834-2. Podwykonawca powinien prowadzić odpowiednie zapisy i dokumentację swojej pracy. Jeśli podwykonawca nie ma certyfikowanego zakładowego systemu, jakości wg wymagań normy PN-EN-ISO 3834-2, zamawiający (wykonawca konstrukcji) prowadzi na podstawie odrębnych ustaleń (umów) jednostkową lub ciągłą ocenę zgodności wykonania konstrukcji w procesie wytwarzania oraz weryfikuje wyniki kontroli i badań przeprowadzonych przez podwykonawcę. W ramach nadzoru zewnętrznego kompletuje się dokumentację badań i kontroli końcowej wyrobów w zakresie ustalonym przez plan kontroli i badań weryfikacyjnych. Prace spawalnicze mogą być wykonywane tylko przez spawaczy, posiadających aktualne „Świadectwo Egzaminu Spawacza” – wydane zgodnie z normą: PN-EN-ISO-9606-1:2017-10 potwierdzające wymagane uprawnienia oraz posiadających książeczkę spawacza. Osoby te powinny być ujęte w ewidencji spawaczy, jako upoważnione do wykonywania prac spawalniczych w danym zakładzie. Prace spawalnicze powinny być wykonywane pod nadzorem spawalniczym, którego organizację, kwalifikacje, uprawnienia i zakres odpowiedzialności określają PN-M-69009 i PN-EN-ISO14731:2008 – Inżynier Spawalnik (I/EWE).

6.4 Obliczenia

6.4.1 Badania dynamiczne

Kluczowym elementem projektowania nowego rozwiązania sztucznego dna szybu była weryfikacja założeń dotyczących energii jaką konstrukcja może pochłoniąć. Jest to niezbędne aby zapewnić bezpieczeństwo załogi pracującej w wyrobisku zabezpieczonym omawianą konstrukcją. Liczne modele stosowano dla podobnych rozwiązań historycznych, natomiast obecnie stosuje się metody numeryczne i symulacje [13-14]. Poniżej przedstawiono obliczenia nowej konstrukcji sztucznego dna szybu [11, 15-16].

Jak zaznaczono powyżej, sztuczne dno wykonane zostanie z pięciu warstw siatek wysokowytrzymałościowych wspartych na linach stalowych. Liny stalowe mocowane będą do elementów hamujących mogących pochłoniąć 696 kJ (120 kN x 5,8 m) energii w ciągu 0,3 s. W wariancie całościowym na każdą warstwę siatek przypadać będzie 12 elementów hamujących mocowanych do obudowy szybu. W wariancie połówkowym na każdą warstwę siatek przypadać będzie 11 elementów hamujących mocowanych.

Ponadto na pierwszej i trzeciej warstwie ułożona zostanie warstwa betonu grubości 0,3 m, a na betonowej wylewce górnej warstwy położone zostaną blachy grubości 5 mm. Sztuczne dno ma zabezpieczać załogę pracującą poniżej przed spadkiem masy 3500 kg z wysokości 950 m. Wszystkie opisane powyżej elementy zostały zamodelowane w symulacji dynamicznej w programie Working Model. Ponieważ program wykonuje symulacje w środowisku dwuwymiarowym, należało dokonać następujących przeliczeń i założeń:

1. Masa spadającego obiektu została zmniejszona sześciokrotnie i wynosi 583,3 kg.
2. Prędkość początkowa spadającego obiektu wynosi 136,5 m/s.
3. Liny są nieważkie i nierozciągliwe.

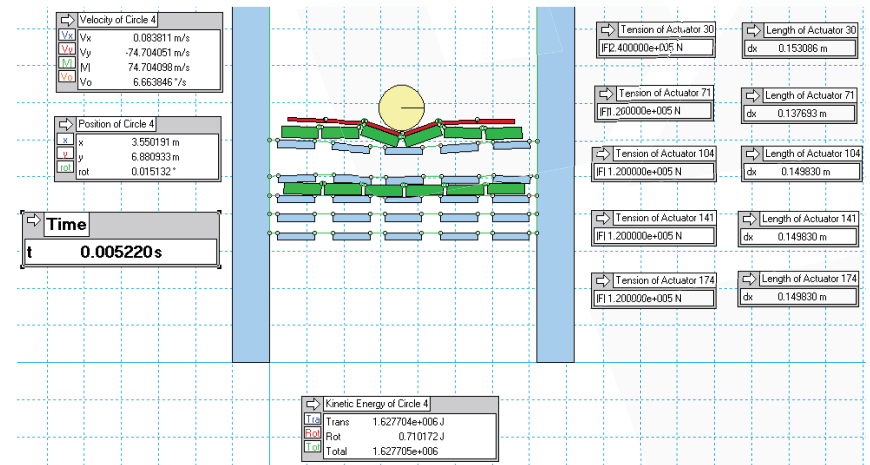
- Warstwy betonu i blach zastąpiono prostokątami o odpowiednich masach połączonych siłownikami ustawionych na odpowiednie wartości reprezentującymi wytrzymałość stali i betonu na rozciąganie.
- Po odpowiednim wydłużeniu siłowników blach i betonu zostają one wyłączone z symulacji, co ma oznaczać zniszczenie materiału.

W trakcie symulacji na bieżąco wyświetlane są następujące wartości:

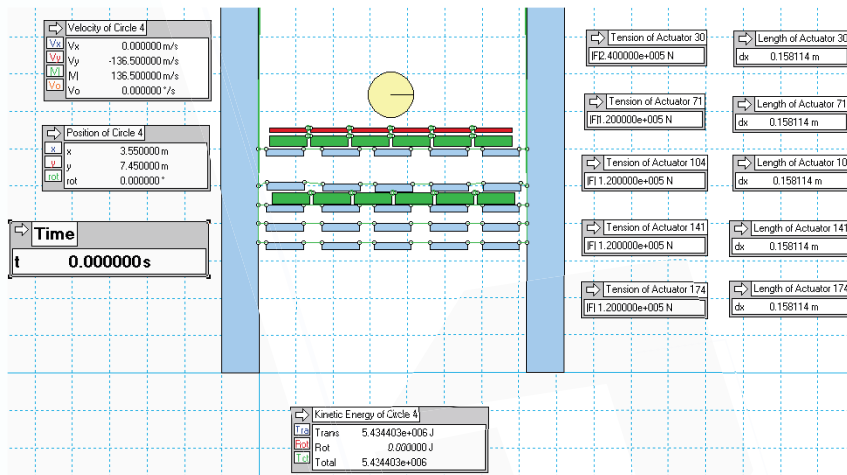
- czas,
- prędkość, pozycja i energia spadającego obiektu,
- siły i wydłużenie dla hamulców.

Symulacja wariantu całościowego

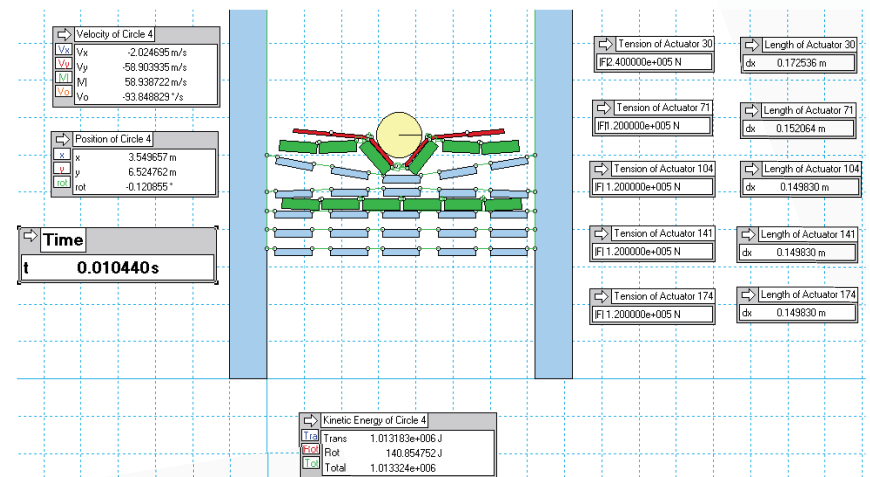
Na rysunkach 6.5 – 6.12 przedstawiono etapy symulacji dla wariantu całościowego.



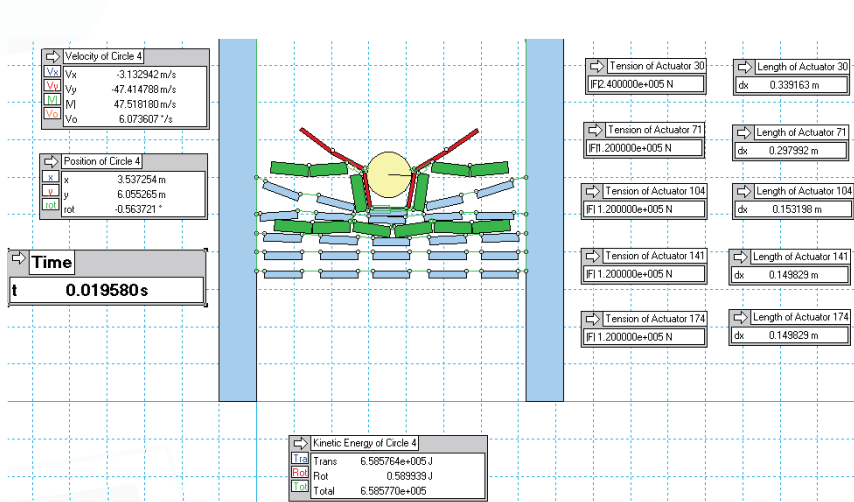
Rys. 6.6 Symulacja wariantu całościowego, t=0,0052 s



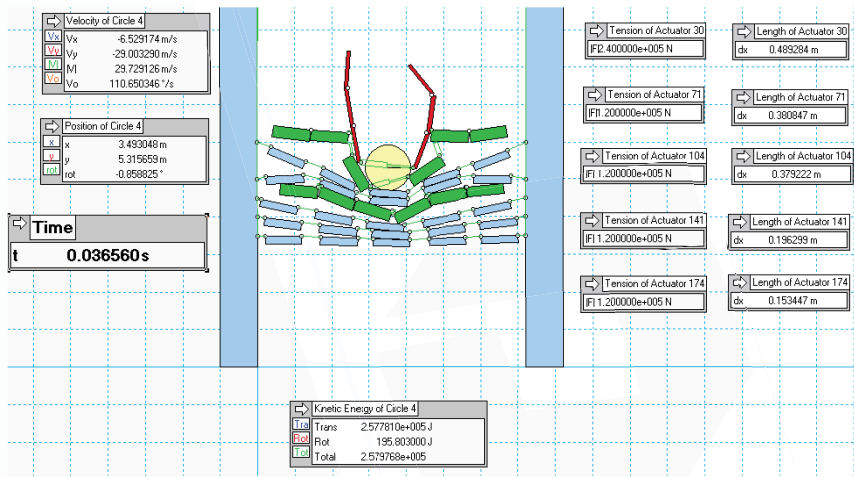
Rys. 6.5 Symulacja wariantu całościowego, t=0,0s



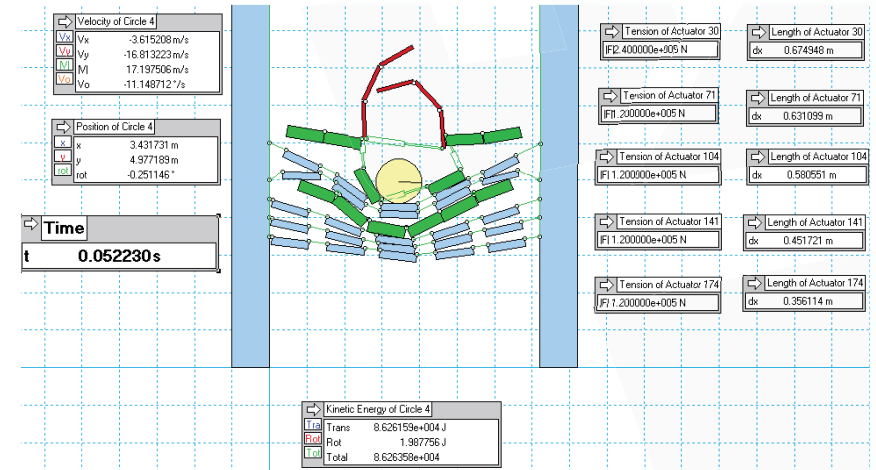
Rys. 6.7 Symulacja wariantu całościowego, t=0,0104 s



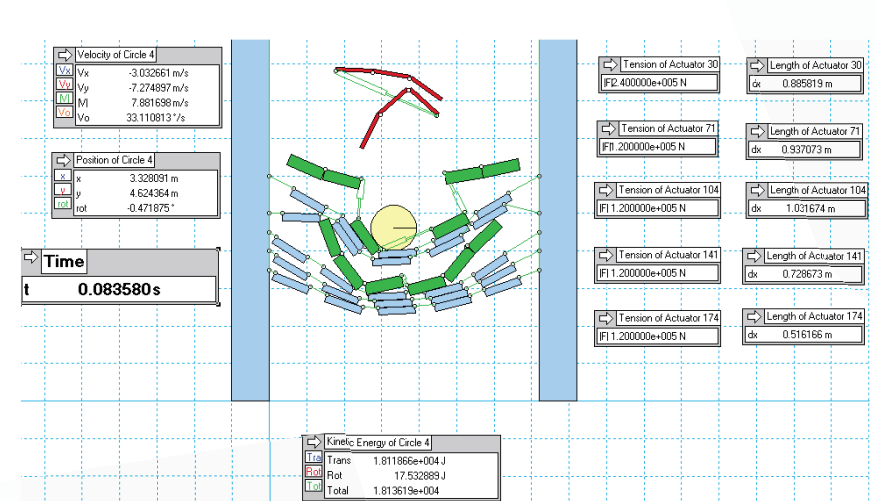
Rys. 6.8 Symulacja wariantu całościowego, t=0,01958 s



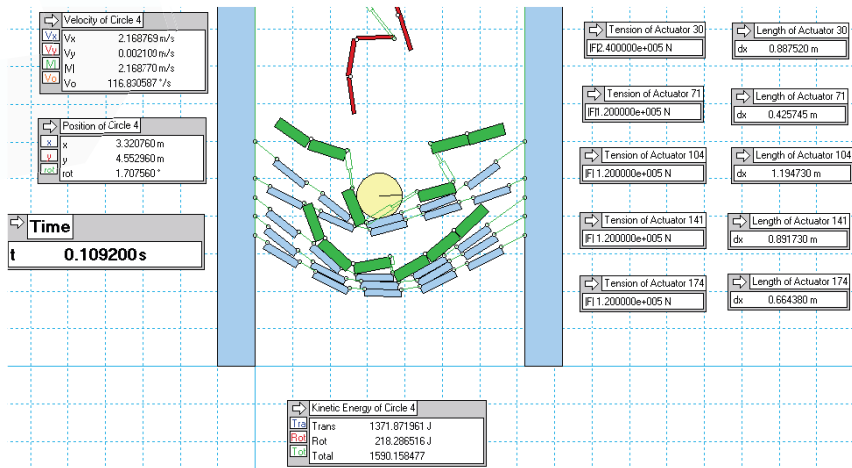
Rys. 6.9 Symulacja wariantu całościowego, t=0,03656 s



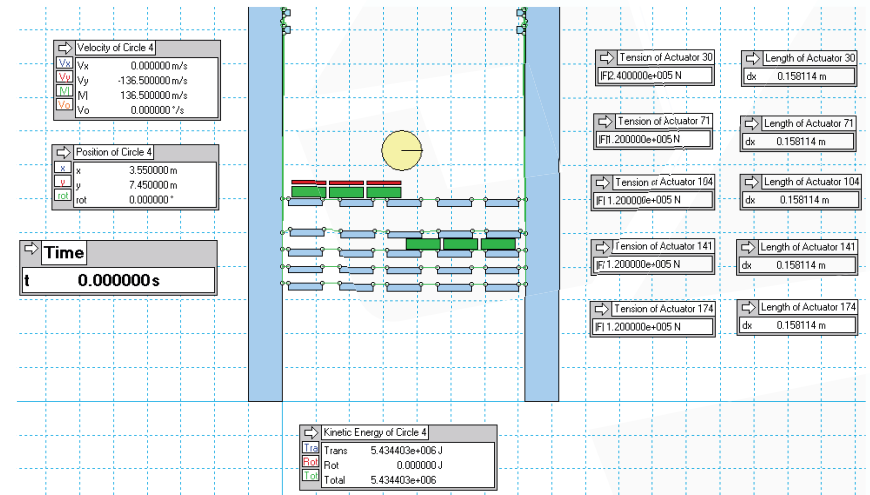
Rys. 6.10 Symulacja wariantu całościowego, t=0,05223s



Rys. 6.11 Symulacja wariantu całościowego, t=0,08358s



Rys. 6.12 Symulacja wariantu całościowego, t=0,1092 s



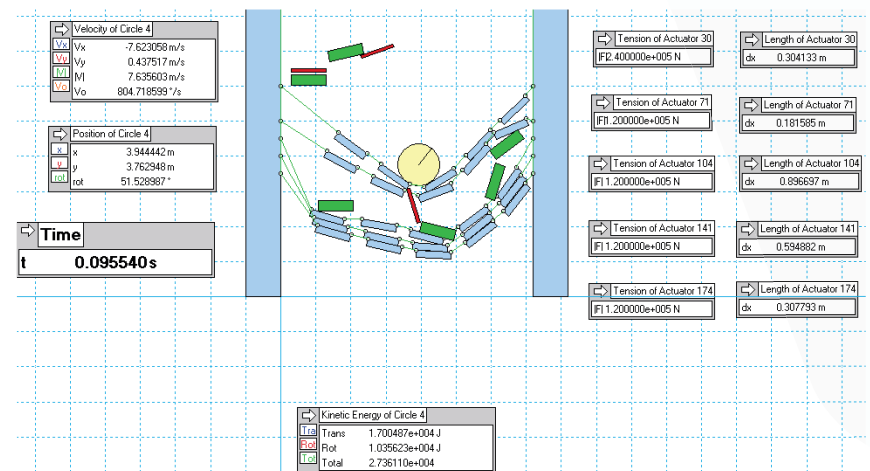
Rys. 6.13 Symulacja wariantu półkowego betonu na warstwie 1 i 3, t=0,000 s

Symulacje wykazały, że:

- po czasie 0,1092 sekundy spadający obiekt wytracił prędkość pionową ze 136,5 m/s do zera,
- górna warstwa blach uległa zniszczeniu,
- obie warstwy betonu uległy zniszczeniu,
- maksymalne wydłużenie hamulców wyniosło 1 m,
- sztuczne dno w części dolnej odkształciło się mniej niż 2 m.

Symulacja wariantu półkowego betonu na warstwie pierwszej i trzeciej

Na rysunkach 6.13 – 6.14 przedstawiono etapy symulacji dla wariantu półkowego betonu na warstwie pierwszej i trzeciej.



Rys. 6.14 Symulacja wariantu półkowego betonu na warstwie 1 i 3, t=0,09554 s

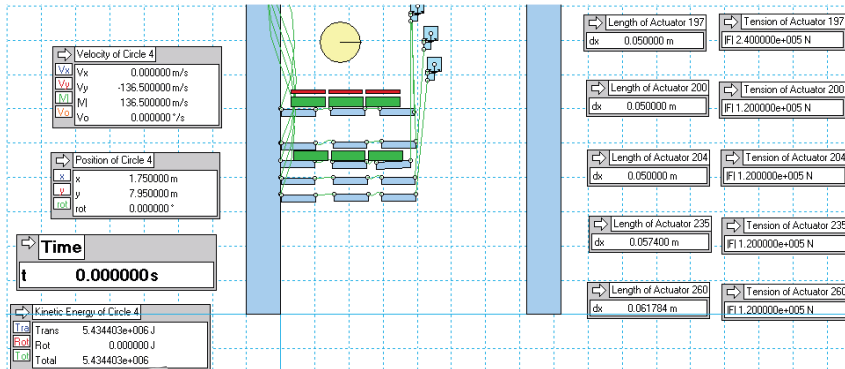
Symulacje wykazały, iż:

- po czasie 0,1092 s spadający obiekt wytracił prędkość pionową ze 136,5 m/s do zera,
- górna warstwa blach uległa zniszczeniu,
- obie warstwy betonu uległy zniszczeniu,

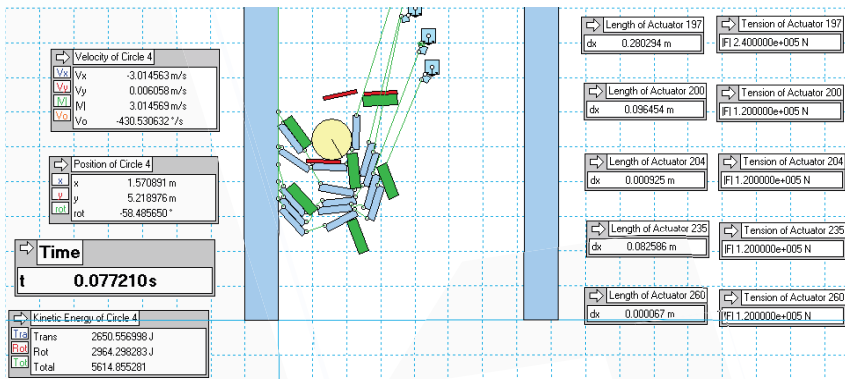
- maksymalne wydłużenie hamulców wyniosło 1 m,
- sztuczne dno w części dolnej odkształciło się mniej niż 2 m.

Symulacja wariantu półkowego

Na rysunkach 6.15 – 6.16 przedstawiono etapy symulacji dla wariantu półkowego.



Rys. 6.15 Symulacja wariantu półkowego, t=0,0 s



Rys. 6.16 Symulacja wariantu półkowego, t=0,07721 s

Na podstawie symulacji ustalono, że:

- po czasie 0,07721 s spadający obiekt wytracił prędkość pionową ze 136,5 m/s do zera,
- góra warstwa blach uległa zniszczeniu,

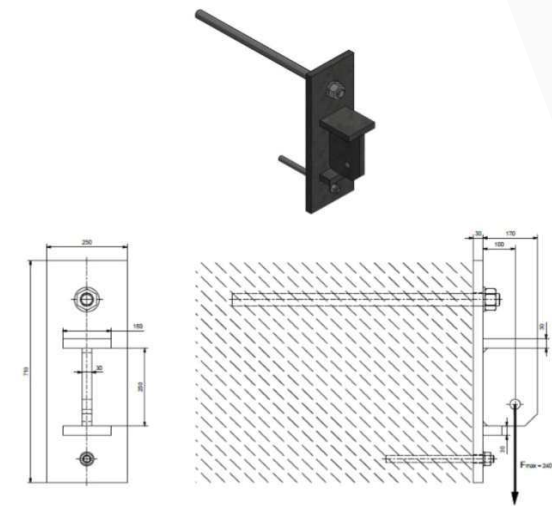
- obie warstwy betonu uległy zniszczeniu,
- maksymalne wydłużenie hamulców wyniosło 0,3 m,
- sztuczne dno w części dolnej odkształciło się ok. 1 m.

6.4.2 Obliczenia statyczne uchwytów sztucznego dna

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń wytrzymałościowych uchwytów sztucznego dna kotwionych do obmurza szybu. Do uchwytów 120 kN i 240 kN mocowane będą hamulce GEOBRUGG 120 kN. Uchwyt mocujący 240 kN zastosowany będzie wyłącznie w pierwszej warstwie, natomiast uchwyt mocujący 120 kN zastosowany zostanie w czterech kolejnych warstwach. W uchwycie 240 kN zamocowany będzie podwójny hamulec 240 kN, a w uchwycie 120 kN zastosowany zostanie pojedynczy hamulec 120 kN. Ostatnim elementem jest uchwyt rolki, który będzie współpracować z uchwytami 120 kN i 240 kN, uchwyt ma za zadanie poziomować każdą z warstw.

Obliczenia dla uchwytu mocującego 240 kN

Uchwyt przedstawiony na rysunku 6.17 składa się z blach spawanych oraz kotew - kotwy głównej M39 L = 780 mm 240 kN oraz kotwy stabilizującej M24 L = 300 mm. Materiał uchwytu to stal 235JR.



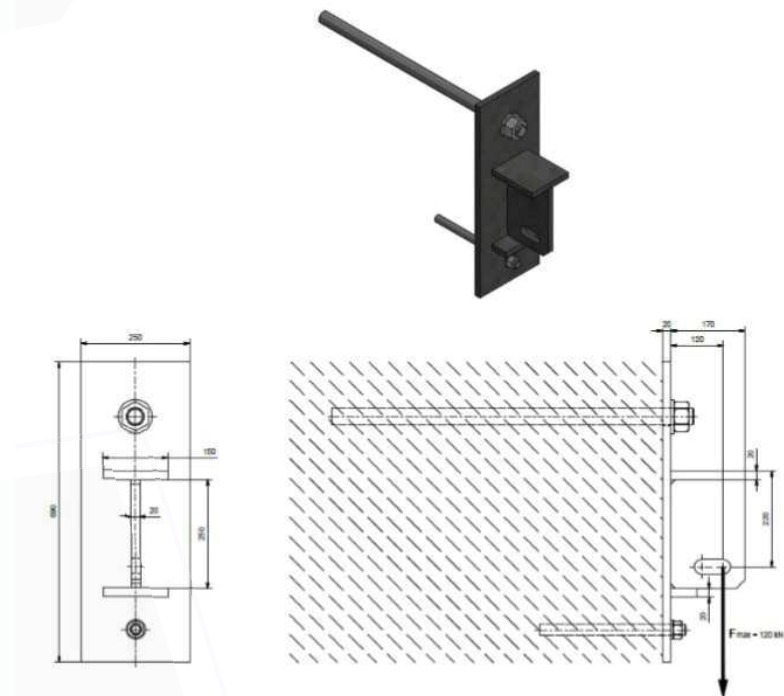
Rys. 6.17 Uchwyt mocujący 240 kN

$$R_m = 340 \text{ MPa}, W_x = 357,5 \text{ cm}^3, M_g = 124000 \text{ Nm}, \sigma = 67,13 \text{ Mpa}, n = 3,35 > 2 - \text{OK}$$

Zadaniem pojedynczego hamulca jest amortyzowanie uderzenia 240 kN, powyżej tej wartości hamulec ulega zniszczeniu. Współczynnik bezpieczeństwa dla uchwytu powinien minimalnie większy od $n = 1$, więc zakłada się współczynnik bezpieczeństwa $n_{\min} = 2$.

Obliczenia dla uchwytu mocującego 120 kN

Uchwyt przedstawiony na rysunku 6.18 składa się z blach spawanych oraz kotew - kotwy głównej M39 L = 780mm 240 kN oraz kotwy stabilizującej M24 L = 300 mm. Materiał uchwytu to stal 235JR.



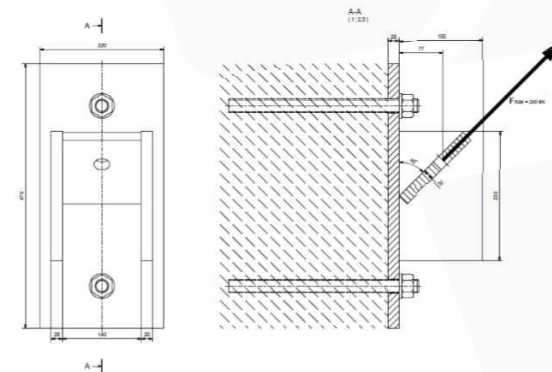
Rys. 6.18 Uchwyt mocujący 120 kN

$$R_m = 340 \text{ MPa}, W_x = 228,33 \text{ cm}^3, M_g = 12000 \text{ Nm}, \sigma = 52,55 \text{ Mpa}, n = 6,47 > 2 - \text{OK}$$

Założeniem pojedynczego hamulca jest amortyzowanie uderzenia 120 kN, powyżej tej wartości hamulec ulega zniszczeniu. Współczynnik bezpieczeństwa dla uchwytu powinien minimalnie być większy od $n = 1$, więc zakłada się współczynnik bezpieczeństwa $n_{\min} = 2$.

Obliczenia dla uchwytu rolki

Uchwyt na rolkę liny, przedstawiony na rysunku 6.19, składa się z blach spawanych oraz kotew M24 L = 300 mm. Założeniem uchwytu jest wytrzymanie maksymalnej możliwej siły 240 kN dla podwójnego hamulca. Kotwy mają za zadanie podtrzymać całą konstrukcję, ale niekoniecznie wytrzymać energię uderzeniową, która może spowodować wyrwanie kotwy z obmurza. Materiał uchwytu to stal 235JR.



Rys. 6.19 Uchwyt rolki

$$R_m = 340 \text{ MPa}, W_x = 240,67 \text{ cm}^3, M_g = 18480 \text{ Nm}, \sigma = 76,76 \text{ Mpa}, n = 4,43 > 2 - \text{OK}$$

6.5 Podsumowanie

Sztuczne dno szybu jest niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa załogi pracującej w przodku pogłębianego szybu. Analiza stosowanych dotychczas rozwiązań sztucznych den pozwoliła pracownikom Przedsiębiorstwa Budowy Szybów SA opracować nową koncepcję sztucznego dna szybu, a następnie przedstawić projekt na niej oparty. Przedstawione powyżej rozwiązanie może pomóc przyczynić się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa załogi pracującej przy pogłębianiu szybu przy jednoczesnej redukcji czasu instalacji sztucznego dna, a przez co także kosztów takiego przedsięwzięcia.

Przedstawiona powyżej koncepcja sztucznego dna szybu, oparta o konstrukcję z siatek z drutu o wysokiej wytrzymałości, może stać się wygodnym rozwiązaniem stosowanym podczas prac prowadzonych w szybach górniczych, w szczególności ich pogłębiania. Zaprezentowane rozwiązanie sztucznego dna szybu jest zgodne z przepisami prawa geologicznego i górnictwa, a także przepisów pokrewnych.

Opisane rozwiązanie sztucznego dna szybu cechuje wysoka wytrzymałość oraz możliwość pochłonięcia energii przedmiotu spadającego z wysokości aż 950 m przy bezpiecznym, akceptowalnym i niższym niż w przypadku dotychczas stosowanych rozwiązań poziomie zniszczeń oraz deformacji elementów budujących konstrukcję.

Zapotrzebowanie na pogłębianie szybów górniczych, a przez co na sztuczne dna szybów nadal jest wysokie. Przedstawione rozwiązanie pozwala dodatkowo obniżyć koszt przedsięwzięcia budowy sztucznego dna, a w konsekwencji pogłębiania szybów. Użycie lekkich i łatwych w transporcie kotew zamiast ogromnych stalowych profili pozwala na montaż sztucznego dna znacznie szybciej, bezpieczniej, taniej i wygodniej niż to ma miejsce w przypadku standardowych rozwiązań. Ilość miejsca wymagane na zabudowę konstrukcji jest również mniejsza.

Przeprowadzone symulacje i obliczenia wykazały, że zaprojektowane rozwiązanie lekkiego sztucznego dna szybów zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa ludzi przebywających pod nim. Konstrukcja ma możliwość przechwycenia spadającego obiektu przy maksymalnych deformacjach nie przekraczających 2 m. Konieczne jest jednak skonstruowanie i przetestowanie sztucznego dna w warunkach rzeczywistych szybów górniczych.

6.6 Bibliografia

- [1] Konopko W.: *Podziemne roboty górnicze - próba sumarycznej oceny stanu zagrożenia*, Materiały XII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Górnictwo i Zagrożenia Naturalne 2005” nt. Eksploatacja podziemna - zagrożenia górnicze, Ustroń, 21-24 listopada 2005. Wydaw. GIG, Katowice 2005
- [2] Ostrowski R.: *Wybrane aspekty techniczne procesu głębiania i pogłębiania szybów*, Systemy wspomagania w inżynierii produkcji 2018, vol. 7, no 2, s. 108-117
- [3] Kostrz J.: *Pogłębianie szybów i roboty szybowe*. Górnictwo t. VI cz. 3, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1972
- [4] Walewski J.: *Zasady projektowania kopalń. Część V. Projektowanie szybów i szybków*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1965
- [5] Judeel, G.; Swanepoel, T.; Holder, A.; Swarts, B.; van Strijp, T.; Cloete, A.: *Extension of the Cullinan Diamond Mine No. 1 Shaft underneath the existing operating shaft, with emphasis on rock engineering consideration*. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. 2016, 116, 744–752
- [6] Gospodarczyk, P.; Stopka, G.; Szot, Ł.; Szot, M.: *Innowacyjne rozwiązanie sztucznego dna szybów dla kopalni Jankowice*, Przegląd Górniczy 2016, 72, 78-84
- [7] Hansel J., Wójcik M., Konieczny S., Libardi B., Śmiątek Z.: *Platforma bezpieczeństwa sztucznego dna szybów*, patent polski PL140124, 1983
- [8] Hansel J., Cichociński A., Berbec S., Śmiątek Z., Wójcik M.: *Warstwa amortyzująca sztucznego dna szybów*, patent polski PL155340, 1987
- [9] Hansel J., Wójcik M., Rokita T., Olszyna G.: *Sztuczne dno szybów*, patent polski PL123095U1, 2014
- [10] Olszyna G., Rokita T., Wójcik M.: *Ruchome sztuczne dno szybów górniczych w: Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie*. Monografia. Praca zbiorowa pod red. nauk.: Andrzej Tytko, Marian Wójcik; s. 140-146; Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o.o., Łędziny 2016

[11] Kamiński, P.; Dyczko, A.; Prostański, D.: *Virtual Simulations of a New Construction of the Artificial Shaft Bottom (Shaft Safety Platform) for Use in Mine Shafts*, Energies 2021, 14, 2110. <https://doi.org/10.3390/en14082110>

[12] PBSz S.A.: *Koncepcja sztucznego dna z możliwością połowicznego demontażu*, Tamowskie Góry 2020 [niepublikowana]

[13] Szweda S., Markowicz J., Żotnierz M., Dębek C., Wasilewicz A.: *Wyznaczanie skali podobierstwa energii sprężystej przejmowanej przez sztuczne dno szybów*, Maszyny Górnicze 2/2015, s. 9-13

[14] Gospodarczyk P.: *Computer Simulation Usage for Verification Of Deepened Shaft Artificial Bottom Construction*, Archives of Mining Sciences, vol. 60 (2015), no 4, s. 1029–1039

[15] PBSz S.A.: *Obliczenia dynamiczne sztucznego dna. Nr obliczeń: 7055*, Tamowskie Góry 2020 [niepublikowana]

[16] PBSz S.A.: *Obliczenia statyczne uchwytów sztucznego dna. Nr obliczeń: 7067*, Tamowskie Góry 2020 [niepublikowana]