

NOWA KONSTRUKCJA SZTUCZNEGO DNA SZYBU Z SIATKI STALOWEJ

W polskim przemyśle wydobywczym z każdym rokiem rozpoczynane są kolejne projekty związane z pogłębianiem czynnych szybów górniczych. Każde takie przedsięwzięcie wymaga zastosowania sztucznego dna szybu. Zabudowa sztucznego dna szybu jest kosztownym i pracochłonnym zadaniem. Przedsiębiorstwo Budowy Szybów SA we współpracy z Geobruigg AG zaprojektowało nową konstrukcję sztucznego dna szybu z siatki stalowej, która pozwala na znaczną redukcję kosztów oraz czasu zabudowy sztucznego dna w szybie.

Pogłębianie czynnego szybu górniczego wymaga utrzymania ciągłości jego normalnego funkcjonowania. Oznacza to, że istnieje konieczność wydzielenia w szybie stref, w których odbywają się odpowiednio typowa eksploatacja szybu (jak jazda ludzi czy materiałów) oraz roboty związane z pogłębianiem szybu. Oddzielenie tych stref realizuje się poprzez pozostawienie półki skalnej na dnie szybu bądź zabudowę specjalnej konstrukcji, nazywanej sztucznym dnem szybu. Jego podstawowym zadaniem jest zapewnienie górnikom pracującym w przodku szybowym bezpieczeństwa przed spadającymi przedmiotami. Jest to zagadnienie szczególnie istotne w przypadku szybów wyposażonych w górnicze wyciągi szybowe. Znaczenie problemu wynika z bardzo dużej energii kinetycznej, jaką musi

przejąć sztuczne dno zaprojektowane do przechwytywania przedmiotów o dużej masie spadających z wysokości setek metrów [1-6].

Lata doświadczeń w pogłębianiu szybów w polskiej branży górniczej pozwoliły wypracować sprawdzone rozwiązania konstrukcji sztucznych den szybów stosowanych w dziesiątkach podobnych projektów. Stosowane konstrukcje mają jednak jedną wspólną wadę. Sztuczne dno szybu stanowi poprzeczną przegrodę szybu prze-

znaczoną do absorbowania znacznej energii spadającego przedmiotu. Sprawia to, że ich konstrukcje mają znaczne wymiary oraz masę. Składają się z licznych elementów,

takich jak stalowe kratownice, rury czy piasek. Transport i montaż takich konstrukcji stanowią wielkie wyzwania logistyczne oraz wymagają dużych nakładów pracy do zabudowania ich w szybie. Taka sytuacja jest podwójnie niekorzystna – podnosi koszty wykonania konstrukcji ze względu na znaczne koszty materiałów i wymaganej pracy oraz powoduje konieczność wyłączenia szybu z eksploatacji na czas zabudowy w nim sztucznego dna [7-10].

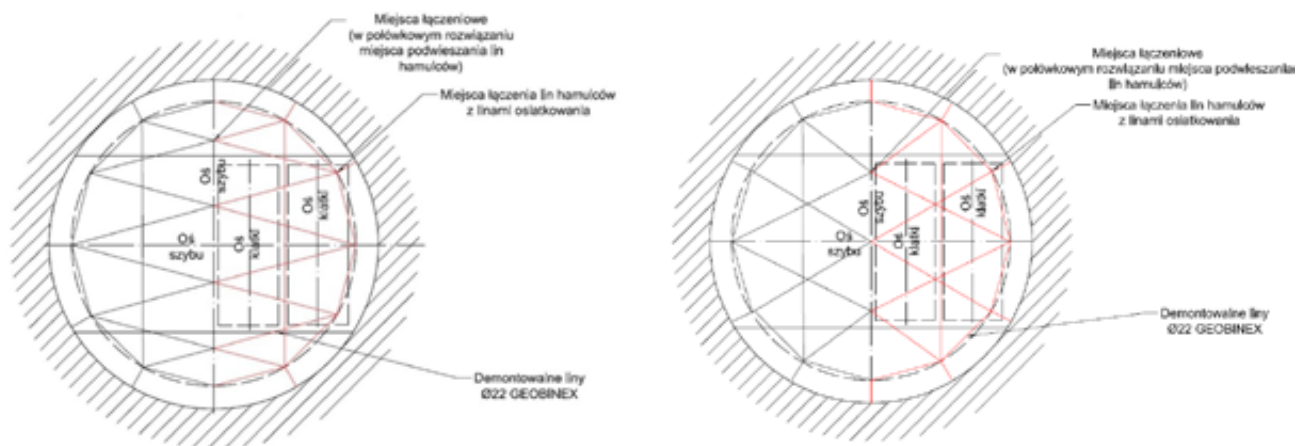
Odpowiedzią na te problemy jest nowa konstrukcja sztucznego dna szybu, zaprojektowana przez Przedsiębiorstwo Budowy Szybów S.A. z wysokowytrzymałych siatek stalowych

dostarczonych przez Geobruigg AG. Sztuczne dno szybu zostało zabudowane jako pierwszy etap pogłębiania szybu II w ruchu Borynia KWK Borynia-Zofiówka.

**Lata doświadczeń
w pogłębianiu
szybów w polskiej
branży górniczej
pozwoliły wypracować
sprawdzone
rozwiązania
konstrukcji
sztucznych den
szybów stosowanych
w dziesiątkach
podobnych projektów.**

Koncepcja sztucznego dna szybu

Sztuczne dno zaprojektowano do pochłonięcia energii 35 300 kJ. Jako podstawę obliczeń przyjęto ciężar jednostki transportowej wraz z ładunkiem równy 3500 kg, swobodnie spadającej z wysokości 950 m.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia lin GEBINEX w warstwach projektowanego sztucznego dna [12]

Początkowy projekt zakładał wykonanie sztucznego dna szybu z pięciu warstw siatek ze stali wysokowytrzymałościowej wspartych na linach stalowych mocowanych do elementów hamujących mogących pochłonąć 696 kJ (120 kN x 5,8 m) energii w ciągu 0,3 s. Na każdą warstwę siatek zaprojektowano 12 elementów hamujących mocowanych do obudowy szybu. Całkowita wysokość zabudowy sztucznego dna w szybie, uwzględniając wysokość lin, miała wynosić 11,38 m [11].

Główny element nośny warstw stanowią uchwyty kotwione do obmurza, do których są montowane 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. Projekt zakładał, że do lin zostaną spięte pierścienie zagęszczające konstrukcję linową. Następnie na pierścieniach zostanie położona siatka pleciona z drutu w celu uszczelnienia całości pierścieni i lin. Dodatkowo na pierwszej warstwie zostaną położone beton i blacha górna zabezpieczająca, a na trzeciej warstwie beton. Uchwyty, liny, pierścienie i siatki będą ze sobą połączone szakłami oraz zaciskami linowymi [12]. Schematy rozmieszczenia lin w poszczególnych warstwach przedstawiono na rys. 1.

Obliczenia i symulacje

Kluczowym elementem projektowania nowego rozwiązania sztucznego dna szybu była weryfikacja założeń dotyczących energii, jaką konstrukcja może pochłonąć. 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].

Elementy sztucznego dna szybu 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 sześćkrotnie i wynosi 583,3 kg.
2. Prędkość początkowa spadającego obiektu wynosi 136,5 m/s.
3. Liny są nieważkie i nierozciągliwe.
4. Warstwy betonu i blach zastąpiono prostokątami o odpowiednich masach, połączonymi siłownikami ustawionymi na odpowiednie wartości, reprezentujące wytrzymałość stali i betonu na rozciąganie.
5. Po odpowiednim wydłużeniu siłowników blach i betonu zostają one wyłączone z symulacji, co ma oznaczać zniszczenie materiału.

W trakcie symulacji na bieżąco są wyświetlane następujące wartości:

1. czas,
2. prędkość, pozycja i energia spadającego obiektu,
3. siły i wydłużenie dla hamulców.

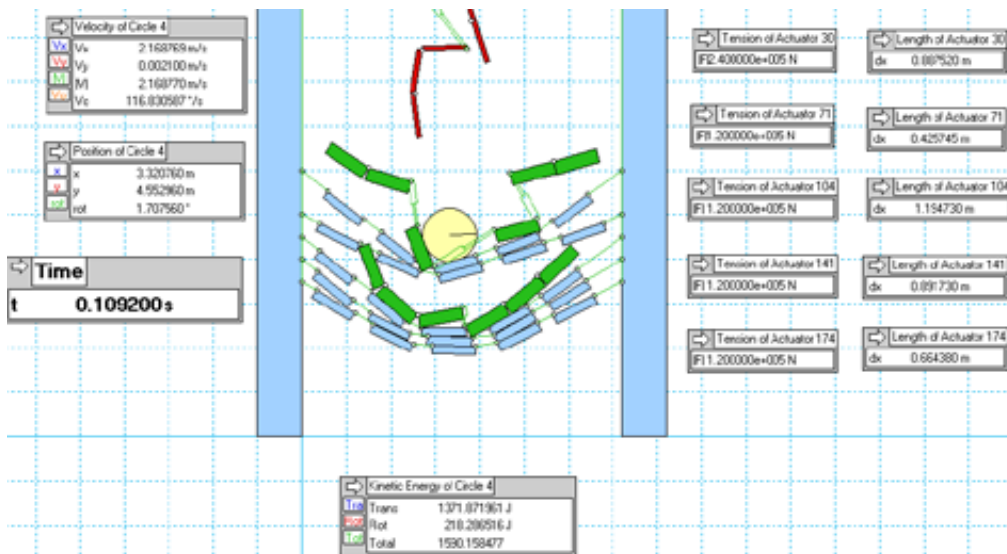
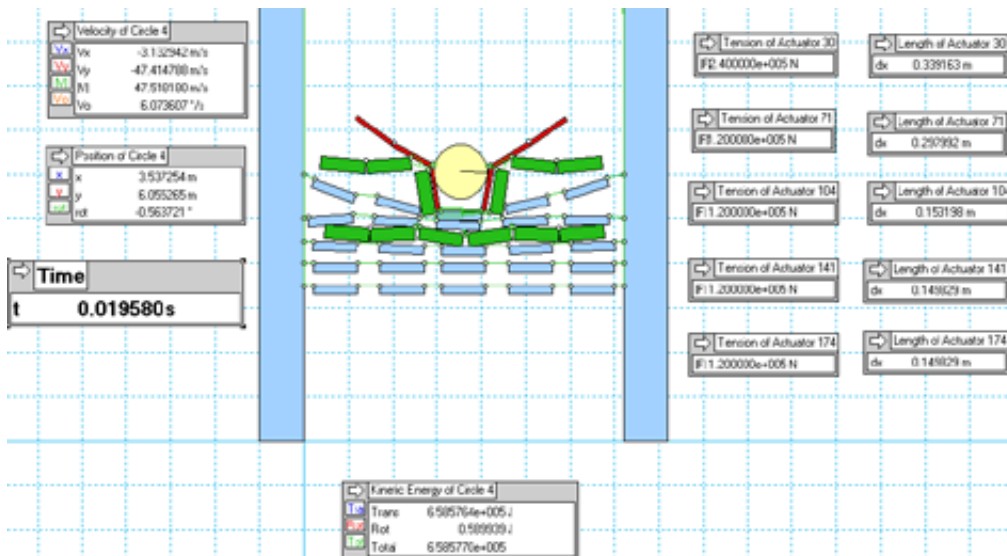
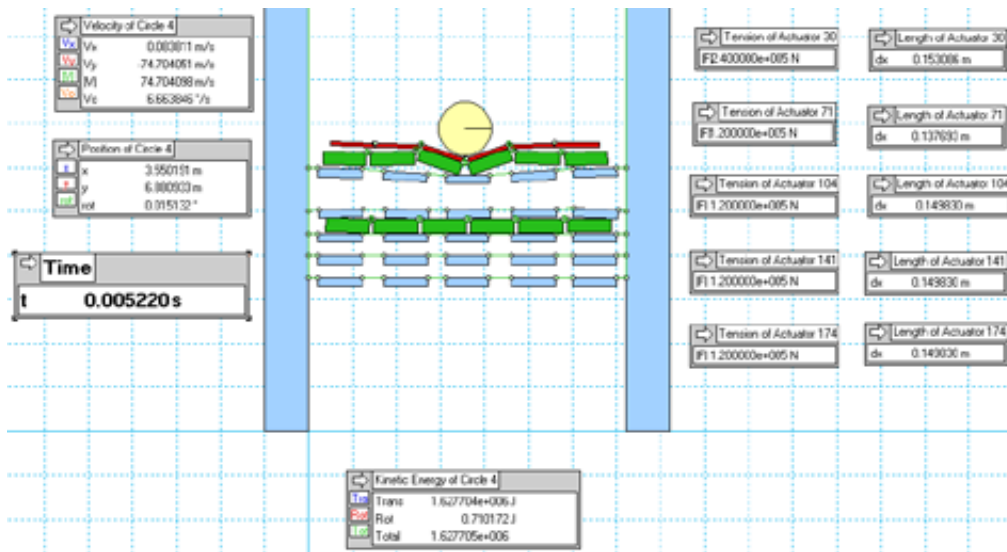
Na rys. 2. przedstawiono etapy symulacji dla wariantu całościowego.

Symulacje wykazały, że:

- po czasie 0,1092 s spadający obiekt wytracił prędkość pionową ze 136,5 m/s do 0,
- 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.

Konstrukcja sztucznego dna szybu

Optymalizacja zaprojektowanej konstrukcji, obejmująca szereg obliczeń i konsultacje z ekspertami, pozwoliła ▶



Rys. 2. Symulacja wariantu całościowego

▶ na redukcję masy i rozmiarów sztucznego dna szybu poprzez rezygnację z dwóch warstw siatek oraz warstw betonu i blach. Takie zmiany pozwalają na skrócenie czasu wykonania sztucznego dna i redukcję kosztów, zapewniając wymagany poziom bezpieczeństwa.

Wykonane sztuczne dno szybu składa się z trzech warstw siatek, ułożonych kolejno w odległości 500 mm względem siebie. Główny element nośny warstw stanowi 12 blach mocujących, które za pomocą kotew M36 zakotwiono na tym samym poziomie do obmurza i górotworu. Do blach mocujących zamontowano hamulce wytracające energię uderzeniową (700 kJ: 120 kN przez ok. 0,3 s i 5,8 m) od spadającej jednostki transportowej. Na 72 hamulcach podwieszono trzy warstwy sztucznego dna (24 hamulce na warstwę). Wszystkie warstwy zamontowano na 12 pionowych linach, przy czym jedna lina jest wpięta równoległe do dwóch hamulców. Pionowe liny w każdej z warstw przepleciono poprzez zakotwione do obmurza oczko M30 w celu uzyskania poziomych warstw. Każda z warstw posiada specyficzne rozmieszczenie poziomych lin, aby dopasować je do blach mocujących. Z linami spięto wytrzymałe pierścienie $\varnothing 300$, zagęszczając konstrukcję linową. Liny, pierścienie i siatki są spięte ze sobą szaklami oraz zaciskami linowymi. W każdej warstwie sztucznego dna liny rozmieszczono w taki sposób, aby zapewnić przejście na drabinę dojsiową do pomostu do kontroli sztucznego dna. W warstwie 1 pozostawiono otwór wokół obmurza szybu, zapewniając przewietrzanie o pow. ok. 2,5 m².

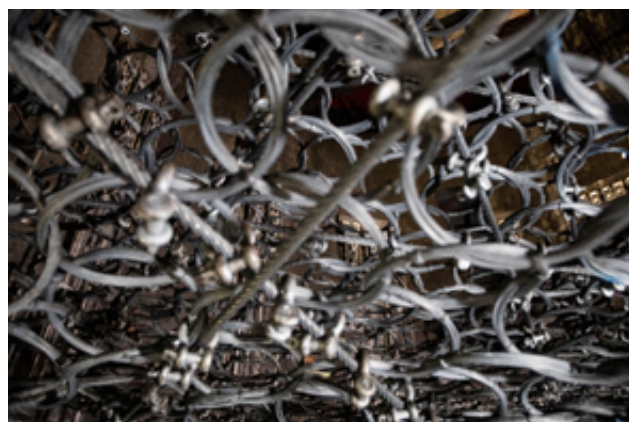
Sztuczne dno zabudowano, zwracając uwagę na prawidłowe rozmieszczenie w szybie, ponieważ można je wykorzystać jako połówkowe. Sztuczne dno po częściowym uruchomieniu wyciągu szybowego będzie można połowicznie zdemontować, umożliwiając ruch w przedziale północnym. W tym celu sztuczne dno należy częściowo zdemontować, a blachy mocujące wraz z hamulcami i linami pionowymi przebudować. Blachy mocujące, które będą przebudowane, należy ponownie zamontować z dystansami. Po częściowym demontażu sztucznego dna należy zamontować barierkę ochronną. Dla rozwiązania połówkowego sztucznego dna należy zachować taką samą liczbę hamulców, jak przy rozwiązaniu całościowym (72 szt.).

Konstrukcja sztucznego dna składa się z następujących elementów:

- warstwy 1,
- warstwy 2,
- warstwy 3,
- blachy mocujące z hamulcami,
- barierki ochronnej,
- pomostu operacyjnego.



Fot. 1. Widok górnej warstwy sztucznego dna szybu



Fot. 2. Sztuczne dno szybu – widok od dołu



Fot. 3. Sztuczne dno szybu – widok od dołu



▶ Fot. 4. Widok sztucznego dna szybu oraz pomostu do kontroli

- Wszystkie warstwy sztucznego dna składają się z:
- 24 hamulców 120 kN GEOBRUGG amortyzujących energię uderzenia,
 - lin GEOBINEX Ø22 z minimalną siłą zrywającą 400,6 kN,
 - pierścieni ROCCO 19/3/300 (średnica pierścienia: Ø 300 mm, średnica drutu pierścienia: Ø3, liczba zwojów: 19, klasa energetyczna: 5000 kJ) dobranych do średnicy liny GEOBINEX Ø22.

Dodatkowo ok. 2,5 m pod konstrukcją sztucznego dna zabudowano pomost do kontroli o szerokości ok. 1 m, który umożliwi obejście wokół obmurza, pozostawiając środek szybu wolnym od konstrukcji. Pomost jest 12-bokiem, którego konstrukcja wokół szybu jest symetrycznie połączona, a obejście wokół szybu zabezpieczone barierkami. Konstrukcję pomostu zamontowano na wspornikach kotwionych do obmurza szybu.

Podsumowanie

Sztuczne dno szybu jest niezbędne w celu zapewnienia bezpieczeństwa załogi pracującej w przodku pogłębianego szybu. Analiza stosowanych dotychczas rozwiązań sztucznych den pozwoliła pracownikom Przedsiębiorstwa Budowy Szybów SA we współpracy z Geobrugg AG opracować nową konstrukcję sztucznego dna szybu. 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 górniczego, a także przepisów pokrewnych.

Opisane rozwiązanie sztucznego dna szybu cechują 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 szybu, nadal jest wysokie. Przedstawione rozwiązanie pozwala dodatkowo obniżyć koszt przedsięwzięcia budowy sztucznego dna, a w konsekwencji pogłębiania szybu. 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 przy-

padku standardowych rozwiązań, wymaga także mniejszej ilości miejsca niż dotychczas stosowane konstrukcje. □

Piśmiennictwo

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, 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*. [W:] *Górnictwo*. T. VI, cz. 3, Katowice 1972.
4. Walewski J.: *Zasady projektowania kopalń. Część V. Projektowanie szybów i szybków*. 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”, 116/2016, 744-752.
6. Gospodarczyk P., Stopka G., Szot Ł., Szot M.: *Innowacyjne rozwiązanie sztucznego dna szybu dla kopalni Jankowice*. „Przegląd Górniczy”, 72/2016, 78-84.
7. Hansel J., Wójcik M., Konieczny S., Libardi B., Śmiałek Z.: *Platforma bezpieczeństwa sztucznego dna szybu*. Patent polski PL140124, 1983.
8. Hansel J., Cichociński A., Berbec S., Śmiałek Z., Wójcik M.: *Warstwa amortyzująca sztuczne dna szybu*. Patent polski PL155340, 1987.
9. Hansel J., Wójcik M., Rokita T., Olszyna G.: *Sztuczne dno szybu*. Patent polski PL123095U1, 2014.
10. Olszyna G., Rokita T., Wójcik M.: *Ruchome sztuczne dno szybów górniczych*. [W:] Tytko A., Wójcik M. (red. nauk.): *Bezpieczeństwo pracy urzędzeń transportowych w górnictwie. Monografia*. Łędziny 2016, s. 140-146.
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*. Tarnowskie Góry 2020 [niepublikowana].
13. Szweda S., Markowicz J., Żołnierz M., Dębek C., Wasilewicz A.: *Wyznaczenie skali podobieństwa energii sprężystej przejmowanej przez sztuczne dno szybu*. „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)/4, s. 1029-1039.
15. PBSz S.A.: *Obliczenia dynamiczne sztucznego dna. Nr obliczeń: 7055*. Tarnowskie Góry 2020 [niepublikowana].
16. PBSz S.A.: *Obliczenia statyczne uchwytów sztucznego dna. Nr obliczeń: 7067*. Tarnowskie Góry 2020 [niepublikowana].