

dr inż. Stanisław Karczmarczyk
mobil +48 603 642 650
mailto:skarczmarczyk1@poczta.onet.pl

dr inż. Wiesław Bereza
mobil +48 501 580 345
mailto:wieslaw.bereza@kb-projekty.com.pl

KB - PROJEKTY KONSTRUKCYJNE

spółka z ograniczoną odpowiedzialnością
30-010 Kraków, ul. Łokietka 8C/70

tel. +48 (12) 4310449, fax. +48 (12) 6319089

NIP 945-208-10-59

**EKSPERTYZA TECHNICZNA
OKREŚLAJĄCA STAN TECHNICZNY FONTANNY
„KRYSZTAŁ” NA RYNKU GŁÓWNYM
W KRAKOWIE**

Zamawiający: Wydział „Klimat-Energia-Gospodarka
Wodna”
Urzędu Miasta Krakowa
Os. Szkolne 27,
31-977 Kraków

Obiekt: Fontanna Kryształ na Rynku Głównym
w Krakowie

Zespół autorski: dr inż. Stanisław Karczmarczyk
Upr. Nr ewid. 224/69

dr inż. Wiesław Bereza
Upr. Nr ewid. 146/2001
Rzecznik budowlany RZE/X/0027/10

mgr inż. Wojciech Jaśkiewicz

Kraków, listopad 2023 r.

Spis zawartości opracowania

1. Cel i zakres opracowania	3
2. Podstawy opracowania.....	4
3. Opis ogólny fontanny.....	5
4. Opis i ocena stanu zachowania struktury ze szkła hartowanego	8
5. Opis i ocena stanu płyt granitowych	12
6. Analiza bezpieczeństwa i niezawodności przegród pod kątem ich szczelności i trwałości	14
7. Wyniki analizy obliczeniowej proponowanego układu nośnego bryły fontanny	22
7.1. Zestawienie obciążeń.	22
7.2. Tafle szklane kopuły	24
7.3. Pręty ze stali nierdzewnej wzdłuż linii podziału tafli szklanych	29
8. Analiza racjonalności proponowanej przebudowy lub likwidacji fontanny	40
9. Ocena stanu technicznego instalacji elektrycznych, sterowniczych i oświetleniowych...	41
10. Podsumowanie i wnioski	43
11. Zalecenia	44
12. Opracowania rysunkowe:.....	46

1. Cel i zakres opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania jest wykonanie rozpoznania stanu technicznego istniejącej konstrukcji fontanny „Kryształ” na Rynku Głównym w Krakowie wraz z podaniem programu prac zabezpieczających w związku z powstałymi uszkodzeniami na skutek dewastacji oraz narastających nieszczelności elementów szklanych przegród fontanny wystawionych na działanie wody. Opracowanie obejmuje analizę i ocenę stanu zachowania istniejącej struktury ze szkła hartowanego, niezawodności pod kątem szczelności i trwałości żelbetowego przekroju poziomej kieszeni zbiornika fontanny, oraz ocenę przyczyn przemieszczeń kamiennych płyt formujących obwodowy cokół. Oceniono także stan techniczny instalacji elektrycznych, sterowniczych i oświetleniowych. Rozpoznanie to ma być uzupełnione o wnioski dotyczące możliwości dalszej eksploatacji fontanny zgodnie z jej pierwotnym przeznaczeniem oraz wskazanie ewentualnych prac budowlanych niezbędnych do wykonania w celu uzyskania poprawy jej stanu technicznego lub likwidacji fontanny w kontekście istniejących problemów.

Zakres ekspertyzy wykonano na podstawie: dokumentacji architektoniczno-budowlanej dostarczonej przez Zleceniodawcę oraz na podstawie własnych przeglądów obiektu przeprowadzonych przez autorów opracowania. Uzupełnienie opracowania stanowią wyniki obliczeń statycznych oraz przegląd organoleptyczny. Ich celem jest między innymi określenie stanu zużycia elementów konstrukcji oraz uszczelnień, a także elementów z nimi związanymi.

W trakcie przeglądów wykonano dokumentację fotograficzną ilustrującą aktualny stan zachowania fontanny. Fotograficzną ilustrację wad i uszkodzeń należy traktować, jako formę uzasadnienia zalecanych prac remontowych i zabezpieczających. Podstawę oceny i wniosków ujętych w opracowaniu stanowią również obowiązujące przepisy normowe i literatura przedmiotu.

2. Podstawy opracowania

Podstawy formalne i merytoryczne opracowania stanowią:

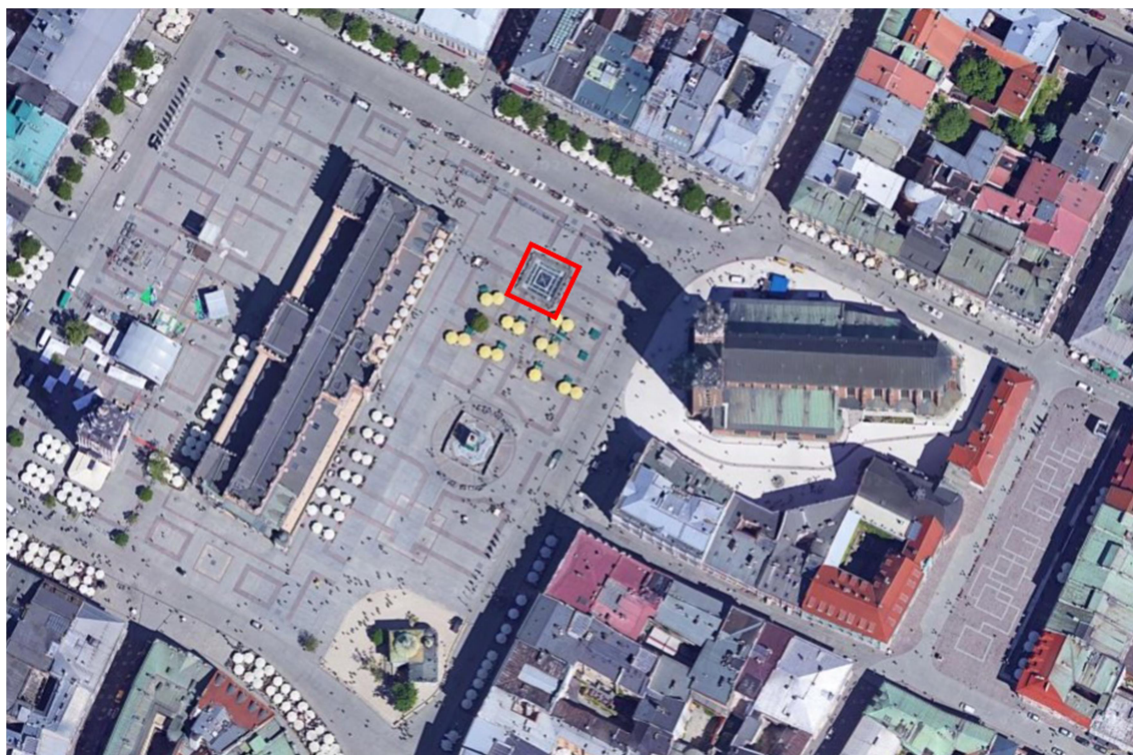
- Zlecenie wykonania przedmiotowej ekspertyzy technicznej fontanny „Kryształ” na Rynku Głównym w Krakowie,
- Przeglądy obiektu przeprowadzone przez autorów opracowania,
- Dokumentacja fotograficzna wykonana przez autorów opracowania,
- Dokumentacja architektoniczno-budowlana obiektu udostępniona przez Zleceniodawcę,
- Projekt warsztatowy konstrukcji stalowej i szklanej wykonany przez firmę Gutkowski, udostępniony przez Zleceniodawcę,
- Normy obciążenia budowli oraz normy projektowania konstrukcji stalowych, żelbetowych, murowych i drewnianych, a w szczególności:

PN—EN 1990:2004	Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji,
PN—EN 1991-1-1:2002	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-1: Oddziaływania ogólne, Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach,
PN—EN 1991-1-2:2002	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-2: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru,
PN—EN 1991-1-3:2003	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-3; Oddziaływania ogólne, Obciążenie śniegiem,
PN—EN 1991-1-4:2005	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-4: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania wiatru,
PN—EN 1991-1-7:2006	Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje, Część 1-7: Oddziaływania ogólne, Oddziaływania wyjątkowe,
PN-EN 1993-1-1:2006	Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
PN-EN 1993 1-3:2008	Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1-3: Reguły ogólne Reguły uzupełniające dla konstrukcji z kształtowników i blach profilowanych na zimno
PN-EN 1993-1-4:2007	Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 1-4: Reguły ogólne Reguły uzupełniające dla konstrukcji ze stali nierdzewnych
PN-B-02361:2010	Pochylenie połaci dachowych.
PN-EN 16612:2020-03	Szkło w budownictwie – Wyznaczanie metodą obliczeniową nośności normalnie obciążonych tafli szklanych
PN-EN 16613:2020-03	Szkło w budownictwie – Szkło warstwowe i szkło warstwowe bezpieczne – Określanie właściwości lepkosprężystych międzywarstwy
- Literatura przedmiotu oraz tablice projektowe:

ST. Hajdasz	<i>Sposoby ustalenia zużycia technicznego budynków i budowli</i> , Promiks, 1991r,
J. Hadyna	<i>Utrzymanie obiektów budowlanych</i> – materiały MOIIB – Kraków, 2005r,
red. Runkiewicz L.,	praca zbiorowa: Diagnostyka obiektów budowlanych, ze szczególnym uwzględnieniem rozdziału dr inż. Stanisława Karczmarczyka „Zasady wykonywania ekspertyz obiektów zabytkowych”, Warszawa, 2020
Czapliński K.	<i>Sposób i forma opracowania ekspertyz budowlanych</i> , Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2012r.
Haldimann M., Luible A., Overend M.	<i>Structural use of glass</i> . Structural Engineering Documents 10. IABSE – AIPC-IVBH. ETH, Zurich 2008

3. Opis ogólny fontanny

Analizowana fontanna położona na Rynku Głównym w Krakowie pomiędzy Bazyliką Mariacką oraz Sukiennicami poza funkcją dekoracyjną, pełni funkcję świetlika jednego z pomieszczeń muzeum Rynku Podziemnego. Obiekt zaprojektowany w lipcu 2010 r. znajduje się także w obrębie układu urbanistycznego miasta Krakowa w granicach Plant, wpisanego do rejestru zabytków pod numerem A-1 od dnia 22.05.1993 r. Obszar starego miasta Krakowa figuruje również na Liście Światowego Dziedzictwa UNESCO. Fontanna ponadto jest usytuowana na obszarze uznanym za pomnik historii „Kraków – historyczny zespół miasta” zgodnie z zarządzeniem Prezydenta RP z dnia 08.09.1994 r.



Ryc. 1. Lokalizacja opiniowanego obiektu na mapie Google Maps.

Opisywana fontanna składa się z trzech zasadniczych części. Centralnie umieszczonej bryły tworzącej „Kryształ”, szklanej niecki oraz kamiennego siedziska. Całość w rzucie ma kształt kwadratu o boku długości 13,0 m. Elementy przeziernie tworzą jednocześnie świetlik w stropie znajdującego się poniżej muzeum Rynku Podziemnego – fontannę umieszczono na ruszcie żelbetowym w poziomie stropu płyty rynku. Z tego względu istotną cechą jaką powinien zapewniać omawiany ustrój jest trwałość systemów uszczelniających zapobiegająca dostawaniu się wody z fontanny do pomieszczeń poniżej.

Centralną bryłę fontanny stanowią dwa czworoboczne ostrosłupy uformowane z trójkątnych tafli ze szkła hartowanego o długości boku podstawy mierzącym 5,0 m. Ostrosłupy skierowane wierzchołkami przeciwnie do siebie tworzą bryłę o kształcie kryształu. Górna kopuła jest wyniesiona na wysokość około 1,65 m powyżej poziomu płyty Rynku Głównego, dolna wnika w przestrzeń pomieszczenia muzeum znajdującego się poniżej.

Dodatkowo powierzchnie dolnej i górnej kopuły połączono punktowo układem czterech pionowych tafli szklanych dwuwarstwowych o grubości 2 x 10 mm zorientowanych pod kątem 45° do krawędzi kopuły. Krawędzie tafli szkła oparto na konstrukcji ze stali nierdzewnej XCrNiMo 17-12-2. W przypadku tafli tworzących kopuły zastosowano szkło hartowane klejone warstwowo o grubości 3 x 10 mm, natomiast płyty niecki 3 x 12 mm z ramką od spodu.



Ryc. 2. Widok fontanny od strony Sukiennic.

Płyty szklane niecki wkomponowano w konstrukcję rusztu żelbetowego w poziomie płyty rynku. Oparcie na ruszcie zrealizowano za pośrednictwem profili zimnogiętych ze stali nierdzewnej XCrNiMo 17-12-2.

Przestrzeń fontanny ogranicza ława żelbetowa o wysokości 67 cm wykonana z betonu wodoszczelnego klasy C45/55. Ławę zwieńczono płytami granitowymi o grubości 15 cm spełniającymi funkcję siedziska dla użytkowników rynku. Tego samego materiału użyto do wykonania zewnętrznego cokołu ławy. Z uwagi na wymiary i wysięg płyt w stronę niecki, zastosowano dodatkowe oparcia w postaci ceowników C30x30x3 rozstawionych co 143 cm. Przestrzeń pod płytami w obrębie niecki zakryto blachami perforowanymi ze stali nierdzewnej, mocowanymi do ceowników. Fontannę wyposażono w system dysz i oświetlenia celem podniesienia walorów estetycznych prezentowanymi iluminacjami. Urządzenia oświetlenia i zsynchronizowanych z oświetleniem wodotrysków uległy uszkodzeniu po krótkim okresie użytkowania.



Ryc. 2. Blacha perforowana maskująca przestrzeń wnętrza w ścianie obwodowej pod płytami kamiennymi



Ryc. 2. Widok fontanny i rusztu żelbetowego od strony podziemi muzeum. Poziom posadzki w pomieszczeniu pod fontanną jest poziomem historycznym.

4. Opis i ocena stanu zachowania struktury ze szkła hartowanego

Podczas przeprowadzania przeglądu i oględzin fontanny, obiekt był wyłączony z użytkowania – obecnie z fontanny na stałe odprowadzona jest woda. Wynika to z wad i uszkodzeń uszczelnień między elementami. Podczas opadów atmosferycznych dochodzi do wnikania wody opadowej przez uszkodzone miejsca wgłąb pomieszczeń muzeum. Ponadto widoczne jest spękanie tafli górnej kopuły od strony południowej w wyniku dewastacji oraz spękania czterech tafli w niecce powodujące istotne defekty o charakterze estetycznym.



Ryc. 3. Spękanie tafli niecki fontanny w widoku od strony Bazyliki Mariackiej

Szkło z jakiego wykonano elementy fontanny zestawiono w tabeli poniżej:

Element	Rodzaj tafli
Górna i dolna kopuła	ESG 10.10.10.44.2
Tafle pionowe wewnątrz bryły	ESG 10.10.4.2
Tafle pionowe nad nieką	ESG 12.12.12.44.2
Płyty niecki	ESG 12.12.12/16.44.2

W każdym z przypadków spękania obejmują całą powierzchnię płyt, co jest typowym mechanizmem zniszczenia szkła hartowanego. Nie spowodowało to jednak deformacji ani zagrożenia wypadnięcia szyby do pomieszczeń pod rynkiem. W płytach górnego ostrosłupa fontanny znajdują się otwory montażowe. W każdym z elementów zaobserwowano spękania szkła w pobliżu tych otworów wynikające prawdopodobnie z dużej koncentracji naprężeń.



Ryc. 4. Spękanie fragmentu tafli kopuły górnej przy wierzchołku

Połączenie elementów bryły zrealizowano liniowo wzdłuż jej krawędzi z oparciem na profilach ze stali nierdzewnej oraz punktowo wprowadzając 4 pionowe tafle wewnątrz ostrosłupów. Podczas oględzin zaobserwowano przemieszczenia elementów dystansowych – podkładek znajdujących się między szkłem, a elementem mocującym.



Ryc. 5. Przemieszczenie elementów dystansowych pod taflą górnego ostrosłupa

Poziome elementy szklane w niecce fontanny posiadają liczne niewielkie rysy powierzchniowe powstałe na przykład w wyniku wtargnięcia osób postronnych na ich powierzchnię. Fontanna od strony muzeum powinna zapewniać widok na Bazylikę Mariacką. Jest to element rozwiązania umożliwiającego sprawdzenie relacji widokowych między historycznym poziomem Rynku Głównego i Bazyliką Mariacką.

Mając to na uwadze, należy rozpatrzyć wymianę zmatowiałych przez zarysowania powierzchniowe tafli, które ograniczają przezierność płyt.



Ryc. 6. Widok fontanny od strony Bazyliki Mariackiej

Na znacznej części tafli zaobserwowano postępujące zjawisko delaminacji. Szkło warstwowe jest kompozytem tafli szklanych oraz umieszczonych między nimi przekładkami wykonanymi z silnie adhezyjnego materiału. Równomierne przyleganie elementów i przyczepność folii do szkła ma znaczący wpływ na właściwości wizualne oraz mechaniczne tak skonstruowanego ustroju. Utrata adhezji folii do powierzchni szkła znana jest jako delaminacja. Jej wynikiem jest redukcja parametrów wytrzymałościowych całego kompozytu i pogorszenie jego walorów estetycznych.

Na powierzchni szkła zaobserwowano nieregularną siatkę pęcherzyków powietrza. Wynika to z utraty międzywarstwowej przyczepności. Głębokość penetracji zjawiska postępuje w kierunku od krawędzi do środka płyty. Elementy poddane delaminacji podlegają naprawie lub wymianie. W rozważanym przypadku konieczna jest wymiana.



Ryc. 7. Szklana płyta niecki z widoczną siatką pęcherzyków powietrza - objaw delaminacji

Fizycznymi przyczynami delaminacji są takie oddziaływania jak promieniowanie słoneczne, wilgoć atmosferyczna oraz temperatura otoczenia. Promieniowanie słoneczne, na które wystawiono laminat może rozpocząć lub przyspieszyć reakcję rozbijania wiązań chemicznych między szkłem a międzywarstwą. Duży wpływ na intensywność reakcji pomiędzy dwoma materiałami ma woda. Może rozbijać wiązania składników będących częścią kompozytu, lub też przenosić pewne związki powodujące degradację tych wiązań. Na etapie projektu szklenia należy zwrócić uwagę na odizolowanie wody z przestrzeni pomiędzy ramą, a szybą. Permanentny kontakt międzywarstwy z uwięzioną wodą pochodzącą z nieszczelności lub kondensacji powoduje jej uszkodzenie z biegiem czasu. Z uwagi na to, że w stanie docelowym tafle szklane znajdować się będą pod wodą, należy zwrócić szczególną uwagę na dobór technologii uszczelnienia połączeń między elementami.

Jednym z zabiegów zapobiegających delaminacji jest stosowanie taśm przyklejanych na krawędziach laminatów w celu uszczelnienia odkrytej krawędzi i zapobieganiu migracji związków chemicznych oraz bezpośredniego kontaktu. Na etapie wykonania zaleca się weryfikację u producentów kompatybilności taśm z zastosowaną międzywarstwą.



Ryc. 8. Widok na bryłę fontanny od spodu

Elementy ze szkła tworzące fontannę „Kryształ” na Rynku Głównym w Krakowie są zużyte technicznie i znajdują się w stanie technicznym określanym jako na ogół niezadowalający. Oznacza to konieczność podjęcia prac remontowo naprawczych zmierzających do wymiany lub naprawy uszkodzonych elementów oraz do doprowadzenia ich do właściwego stanu technicznego.

5. Opis i ocena stanu płyt granitowych

Granitowe płyty okładzinowe oraz płyty siedziska oparte na ławie żelbetowej wykazują widoczne przemieszczenia. Dla części z płyt zaobserwowano ich klawiszowanie oraz przemieszczenie zaburzające prostoliniową krawędź obrysu fontanny. Pierwotnie wypełnione fugą szczeliny między płytami granitowymi uległy zwiększeniu, efektem czego jest odspojenie fug i nagromadzenie się zanieczyszczeń w powstałych przestrzeniach. Część płyt uległa również uszkodzeniom mechanicznym objawiającymi się odspojeniami głównie w ich narożach.



Ryc. 9. Przemieszczenia i uszkodzenia płyt kamiennych formujących cokół i siedzisko fontanny



Ryc. 10. Gromadzenie się zanieczyszczeń w powstałych przestrzeniach między płytami

Stan techniczny większości płyt granitowych fontanny „Kryształ” w Krakowie ocenia się jako dobry. Do wymiany kwalifikują się elementy z widocznymi odspojeniami lub zarysowaniami. Dopuszcza się ponowne wykorzystanie płyt niewykazujących uszkodzeń podczas remontu fontanny po ich uprzedniej inwentaryzacji.

Na podstawie przeprowadzonych oględzin ocenia się, że przyczyną przemieszczeń płyt kamiennych dookoła fontanny jest ich nieprawidłowe zamocowanie na ławie żelbetowej oraz odkształcenia termiczne spowodowane różnicą temperatur jakim poddawane są płyty. W ramach prowadzonych prac naprawczych zaleca się odtworzenie właściwego stanu technicznego okładzin kamiennych poprzez ich powtórne wykorzystanie w przypadku nieuszkodzonych elementów. Elementy należy oczyścić z pierwotnych materiałów mocujących. Powierzchnie łączonych elementów należy przygotować zgodnie z wymaganiami dostawcy technologii.

W celu zapewnienia stabilizacji płyt granitowych należy zamocować płyty granitowe przy użyciu kleju do konstrukcyjnego łączenia i napraw betonu. Zaleca się zastosowanie poniższego systemu lub równoważnych.

Rodzaj materiału	Grubość warstwy [mm]	Wytrzymałość na odrywanie	Wytrzymałość na ścinanie	Wytrzymałość na ściskanie
Sikadur®-31+ Dwuskładnikowy klej konstrukcyjny na bazie żywicy epoksydowej o niskiej zawartości LZO do konstrukcyjnego łączenia i napraw betonu	maksimum 30 mm Zużycie 2,0kg/m ² na mm grubości	Przyczepność >5 MPa* dla czasu wiązania 7 dni w temperaturze +23°C * 100% przełom w b tonie	16 MPa (90°) 25 MPa (70°) 30 MPa (60°) 35 MPa (50°)	Klasa R4 (EN 1504-3) ~75 MPa

Powierzchnie przeznaczone do montażu płyt w przedstawionym systemie muszą być mocne, czyste, suche lub matowo-wilgotne. Bez stojącej wody, lodu, brudu, oleju, smaru, powłok, mleczka cementowego, wykwitów, starych powłok, luźnych cząstek i innych zanieczyszczeń, które mogłyby mieć wpływ na przyczepność. Podłoże musi być przygotowane mechanicznie za pomocą odpowiedniej metody np. czyszczenie strumieniowo-ściernie, igłowanie, lekkie ociosywanie, młotkowanie, szlifowanie lub innej odpowiedniej metody pozwalającej na uzyskanie powierzchni o otwartej teksturze i profilu. Elementy mocowane pionowo należy tymczasowo podeprzeć do momentu uzyskania przez klej pełnej przyczepności do podłoża. W przypadku materiału Sikadur®-31+ następuje to po pełnym utwardzeniu.

6. Analiza bezpieczeństwa i niezawodności przegród pod kątem ich szczelności i trwałości

Fontanna „Kryształ” znajdująca się na Rynku Głównym w Krakowie składa się w przeważającej części z elementów szklanych opartych na profilach ze stali nierdzewnej. W wyniku nieszczelności połączeń obiekt nie spełnia swojej zasadniczej funkcji, a z niecki na stałe spuszczone została woda. Na podstawie przeprowadzonych oględzin przeprowadzono analizę elementów fontanny mających wpływ na trwałość i szczelność jej przegród. W wielu miejscach zaobserwowano objawy świadczące o nieprawidłowo zastosowanych rozwiązaniach hydroizolacyjnych.

Centralna bryła fontanny składająca się z dwóch ostrosłupów ze skierowanymi przeciwnie do siebie wierzchołkami wykazuje zauważalne ślady przecieków wód opadowych. Na podstawie zacieków widocznych na taflach kopuły dolnej oraz elementach stalowych wewnątrz zamkniętej bryły fontanny należy stwierdzić, że połączenia górnej kopuły nie zapewniają wymaganej szczelności i należy je wymienić.



Ryc. 11. Zacieki po wewnętrznej stronie dolnego ostrosłupa na profilu stalowym

Pod obrysem dolnej kopuły znajduje się niewielka przegroda pionowa z narożami zakończonymi słupkami o profilu RK 100x100x3. Od strony wewnętrznej zaobserwowano rdzawe zacieki w narożach przegrody.



Ryc. 12. Zacieki po wewnętrznej stronie przegród pionowych fontanny

Od strony niecki u podstawy narożników zaobserwowano szczeliny umożliwiające napływ wody pod pionowe tafle szkła. Tak wykonane połączenie pozwala na wnikanie wody wraz z zanieczyszczeniami, które osadzają się na widocznych od strony muzeum pionowych elementach.



Ryc. 13. Szczeliny na poziomie niecki u podstawy przegrody pionowej fontanny



Ryc. 14. Zanieczyszczenia między szkleniem a izolacją

Na dnie dolnego ostrosłupa bryły fontanny znajduje się właz szklany z umieszczonym pośrodku układem napełniania z zaworem kulowym. Pierwotnym przeznaczeniem tego elementu było napełnianie centralnej bryły fontanny gazem zapobiegającym skraplaniu się pary wodnej wewnątrz fontanny w wyniku różnicy temperatur między wnętrzem muzeum a otwartą przestrzenią wokół fontanny. Z uwagi

na brak szczelności połączeń, ten fragment nie jest użytkowany zgodnie z przeznaczeniem, a przy samym zaworze gromadzą się zabrudzenia od wody przeciekającej w konstrukcję fontanny.



Ryc. 15. Zawór układu napełniania gazem w dolnym ostrosłupie fontanny

Płyta niecki składa się ze szklanych tafli rozmieszczonych na żelbetowym ruszcie za pośrednictwem zimnogiętych blach ze stali nierdzewnej. Tafle przylegają do siebie, a przestrzeń między nimi wypełniono materiałem uszczelniającym, na którym widoczne są objawy degradacji. Zaobserwowano rozwarstwienie i odspojenie fragmentów materiału izolacyjnego. Dodatkowo występujące w części płyt zjawisko delaminacji świadczy o nieszczelnościach na połączeniach elementów lub braku zgodności chemicznej uszczelnienia z międzywarstwą szklanej płyty



Ryc. 16. Degradacja uszczelnienia między płytami niecki



Ryc. 17. Degradacja uszczelnienia między płytami niecki

W celu zapobieganiu powtórному wystąpienia tego zjawiska po wymianie istniejących elementów, przy zamówieniu materiałów należy skorzystać ze wsparcia technicznego producenta tafli szklanych oraz chemii budowlanej, aby uzyskać informacje czy dane dwa materiały są chemicznie zgodne, tzn. czy nie wystąpi między nimi reakcja chemiczna, która będzie prowadziła do degradacji.



Ryc. 18. Przemieszczenie podkładki uszczelniającej spod elementów fontanny

Trójkątne płyty górnego ostrosłupa oparto na kształtowniku ze stali nierdzewnej. Pomiedzy nimi zastosowano przekładki uszczelniające. Podczas oględzin zaobserwowano wyraźne przemieszczenia tych elementów. Oznacza to, że nie zapewniają one współpracy konstrukcyjnej obu materiałów.

Ruszt pod fontanną opiera się na czterech żelbetowych słupach o przekroju kwadratowym. W pomieszczeniu muzeum pod fontanną widoczne są zacieki na okładzinach słupów, a także odspojenia warstw wykończeniowych rusztu żelbetowego, na którym oparto nieckę. Bezpośrednią przyczyną takich objawów jest wnikanie wody opadowej przez nieprawidłowo wykonane połączenia elementów fontanny. Bez przeprowadzenia prac remontowo naprawczych skala uszkodzeń wywołanych niedostateczną szczelnością będzie się zwiększać.



Ryc. 18. Zacieki na obudowie słupów żelbetowych



Ryc. 20. Odspojenie warstw wykończeniowych żelbetowego rusztu od strony muzeum

Na podstawie przeprowadzonych oględzin i analiz organoleptycznych oceniono, że rozwiązania zastosowane do połączeń elementów szklanych fontanny i ich uszczelnienia nie zostały wykonane prawidłowo. Materiały zastosowane między taflami szklanymi i konstrukcją stalową nie łączą w sobie funkcji uszczelnienia i zapewnienia współpracy konstrukcyjnej łączonych elementów. Wykazują oznaki zużycia technicznego i znajdują się w stanie technicznym określanym jako niezadowalający. Oznacza to konieczność podjęcia prac remontowo naprawczych zmierzających do wymiany elementów mających zapewnić szczelność i trwałość połączeń.

Fontanna znajdująca się na otwartej przestrzeni jest wystawiona na zmienne warunki pogodowe oraz zmiany temperatury. W takim przypadku konieczne jest stosowanie silikonów do klejenia strukturalnego. Zaleca się wykonanie połączeń uszczelniających poprzez zastosowanie poniższego systemu lub równoważnych.

Lp.	Rodzaj materiału	Miejsce stosowania	Zakres temperatury użytkowej [°C]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Odporność na propagację rozdarcia [N/mm]
I	Sikasil® SG-500 Dwukomponentowy klej do szklenia strukturalnego	Taflę trójkątne formujące bryłę fontanny	-40 do +150	1,9	6
II	Sikasil® SG-20 Jednoskładnikowy silikonowy klej do szklenia strukturalnego	Krawędzie przegród poziomych niecki na poziomie tafli szklanych	-40 do +150	2,2	7
III	Sikasil® IG-25 HM Plus Dwukomponentowy uszczelniający wtórny do szyb zespolonych wypełnionych powietrzem lub gazem	Krawędzie ramek ciepłych przegród poziomych niecki	-40 do +150	2,5	3

Przed wykonaniem aplikacji, należy zapewnić odpowiednie przygotowanie podłoża zgodnie z zaleceniami producenta. Powierzchnie muszą być czyste, suche i wolne od tłuszczu, oleju i pyłu. Obróbka powierzchni zależy od specyfiki podłoża i ma kluczowe znaczenie dla długotrwałego wiązania.

Przed przystąpieniem do aplikacji chemii budowlanej należy skontaktować się z działem technicznym producenta tafli szklanych w celu zidentyfikowania materiału międzywarstwy. Na etapie wykonania zaleca się poinformowanie producenta chemii uszczelniającej o folii jaką zastosowano między taflami, aby upewnić się, że nie zachodzi między nimi reakcja powodująca degradację właściwości użytkowych. Niezgodność chemiczna folii i silikonów konstrukcyjnych może spowodować powstanie zjawiska delaminacji.

Szczelność niecki fontanny uzależniona jest również od trwałości powierzchni betonowych. Oprócz powtórnego, prawidłowego wykonania połączeń elementów szklanych należy dokonać zabezpieczenia wodoodpornego żelbetowych fragmentów płyty niecki oraz ławy żelbetowej. Tak przeprowadzone prace z użyciem materiałów dostosowanych do charakteru użytkowania fontanny pozwolą na skuteczne zapewnienie szczelności oraz uniemożliwienie przenikania wody w głąb pomieszczeń muzeum pod fontanną.

Zaleca się wykonanie zabezpieczeń wodoodpornych poprzez zastosowanie poniższego systemu lub równoważnych.

Żelbetowe powierzchnie pionowe oraz poziome			
Rodzaj materiału	Przenikanie wody pod ciśnieniem		Absorpcja kapilarna
Sikalastic®-156 Zaprawa cementowa do wykonywania elastycznych hydroizolacji oraz zabezpieczenia podłoży na bazie cementu	Brak penetracji	5 bar po 3 dniach na próbce z rysą o szerokości 1mm	~ 0,02 kg m ⁻² h ^{-0,5}
	Brak penetracji	5 bar po 3 dniach na próbce bez uszkodzeń	
	Brak penetracji	1,5 bar po 7 dniach	

Przed aplikacją konieczne jest przygotowanie podłoża zgodnie z wymaganiami producenta. Podłoże musi być suche, mocne, oczyszczone z mleczka cementowego, brudu, pyłu, olejów, smarów oraz innych zanieczyszczeń i luźnych cząstek. Powierzchnie betonowe należy przygotować mechanicznie np. przez czyszczenie wodą pod wysokim ciśnieniem tak, aby usunąć stare powłoki. Większe ubytki i uszkodzenia powierzchni (raki, wykruczenia krawędzi) należy naprawić odpowiednią zaprawą z grupy Sika Monotop®, Sika® Repair lub SikaTop® (zgodnie z Kartą Informacyjną materiału). Dylatacje i nacięcia w betonie, przejścia rur, kabli elektrycznych należy także odpowiednio uszczelnić. Podłoże musi być suche lub co najwyżej nieznacznie wilgotne. Nie wolno zwilżać podłoża przed aplikacją. Unikać zastoin wody na powierzchni oraz zjawiska kondensacji przed nanoszeniem materiału.

Żelbetowe narożniki wewnętrzne poziome i pionowe oraz rury przelewowe		
Rodzaj materiału	Wymiary taśmy	Zużycie [kg/m²]
Sikadur-Combiflex® SG-20 M 200 Elastyczna, wodoszczelna taśma uszczelniająca na bazie modyfikowanych, elastycznych poliolefin (FPO).	Grubość – 2,0 mm Szerokość – 200 mm	1,4

Dla przedstawionego powyżej systemu Sikadur-Combiflex® należy dobrać odpowiedni rodzaj kleju do warunków otoczenia zgodnie z poniższą tabelą:

Rodzaj materiału	Zakres temperatury otoczenia w warunkach montażu [°C]
Sikadur-Combiflex® CF Adhesive Normal	+10 do +30
Sikadur-Combiflex® CF Adhesive Rapid	+5 do +15
Sikadur®-31 CF Slow	+25 do +45
Sikadur®-31 CF Normal	+10 do +30
Sikadur®-31 CF Rapid	+5 do +20
Sikadur®-31 DW Normal	+10 do +30
Sikadur®-31 DW Rapid	+5 do +20

Przygotowanie podłoża jest jednym z najważniejszych kryteriów dobrej przyczepności klejów żywicznych. Przed rozpoczęciem prac instalacyjnych podłoże musi spełniać następujące wymagania:

- powierzchnia utwardzona, o odpowiedniej wytrzymałości, wytrzymałość na ściskanie minimum 25 MPa, wytrzymałość na odrywanie badana metodą pull-off minimum 1,5 MPa,
- Temperatura podłoża zgodnie z Kartą Informacyjną stosowanego kleju,
- Wilgotność podłoża: suche lub matowo-wilgotne, temperatura podłoża powinna być o co najmniej 3°C wyższa od temperatury punktu rosy,
- Podłoże musi być mocne, równe, bez uszkodzeń (takich jak pustki powietrzne, rysy, spękania, wtrącenia, itp.),
- Podłoże musi być czyste, bez zanieczyszczeń mogących mieć wpływ na przyczepność (takich jak środki antyadhezyjne i pielęgnacyjne, oleje, smary, paliwa, itp.) oraz luźnych i kruchych cząstek, kurzu, itp.

Powierzchnie muszą być przygotowane mechanicznie, np. metodą strumieniowo-ścierną aby uzyskać powierzchnię bez mleczka cementowego, słabego betonu, starych powłok lub impregnatów. Usunąć luźne i kruche cząstki aby uzyskać czystą powierzchnię bez zanieczyszczeń o otwartej strukturze.

7. Wyniki analizy obliczeniowej proponowanego układu nośnego bryły fontanny

7.1. Zestawienie obciążeń.

- Obciążenia stałe i użytkowe:

Zestawienie obciążeń powierzchniowych konstrukcji stalowej zadaszenia					
	t [cm]	γ [kN/m ³]	q_k [kN/m ²]	γ_f	q_d [kN/m ²]
Obciążenia stałe					
Ciężar własny szkła ESG 1212.4	Uwzględniono w obliczeniach numerycznych				
Obciążenia zmienne					
Kategoria H			0,4	1,50	0,6
Suma zmienne			0,4		0,6
Obciążenia wyjątkowe					
Uderzenie			1,0	1,50*2,0	3,0
Suma zmienne			1,0		3,0
Suma stałe + zmienne			1,40		3,60

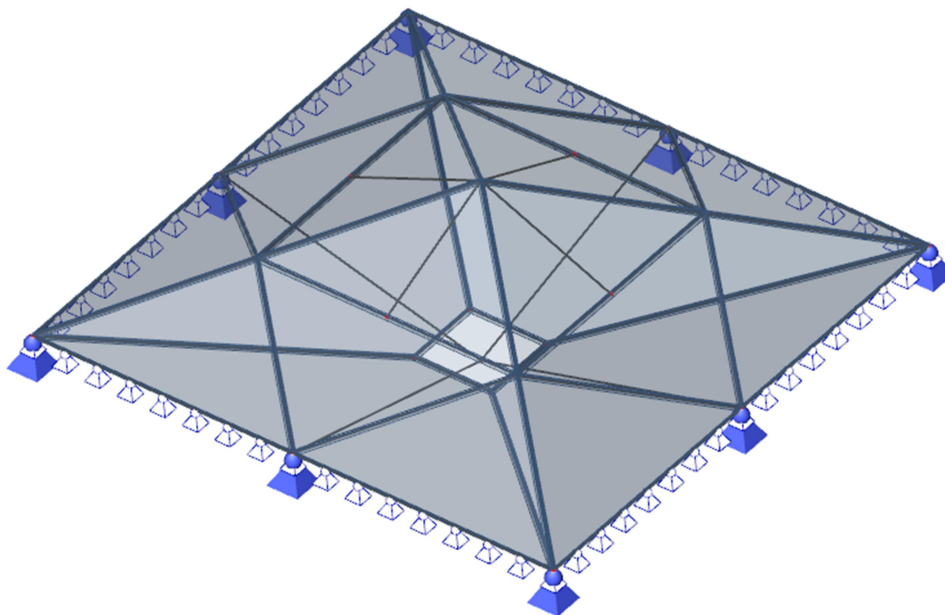
- Obciążenia klimatyczne śniegiem wg PN-EN 1991-1-3:

PN-EN 1991-1-3 Oddziaływanie na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Obciążenie śniegiem					
Lokalizacja budynku:	KRAKÓW				
Strefa obciążenia śniegiem [Tab. NB.1]:	3				
Wysokość nad poziomem morza:	A = 219 m.n.p.m				
Kąt nachylenia połaci dachowej	$\alpha_1 = 26^\circ$				
	$\alpha_1 = 57,78\%$				
Rodzaj warunków terenowych [Tab. 5.1]:	Osłonięty od wiatru				
Obciążenie śniegiem dachów w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej:	$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$				
$s_k =$	1,20	kN/m ²	- wartość charakter. obciążenia śniegiem gruntu [Tab. NB.1]		
$C_t =$	1,00		- współczynnik termiczny [pkt. 5.2 (8)]		
$C_e =$	1,20		- współczynnik ekspozycji [Tab. 5.1]		
$\mu_i(\alpha_1) =$	0,8		- współczynnik kształtu dachu [pkt. 5.3, Tab. 5.2]		
$s =$	1,152	kN/m ²	- wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem dachu		
$\gamma_f =$	1,5		- wartość współczynnika obciążeniowego		
$s_d = s_k \cdot \gamma_f$					
$s_d =$	1,73		- wartość obliczeniowa obciążenia śniegiem dachu		

- Obciążenie klimatyczne wiatrem wg PN-EN 1991-1-4:

PN-EN 1991-1-4 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wiatru									
Lokalizacja budynku:		KRAKÓW							
Strefa obciążenia wiatrem [rys. NB.1]:		1							
Kategoria terenu [tab.4.1]:		IV - obszary, na których przynajmniej 15% powierzchni pokrywają budynki o średniej wysokości przekraczającej 15m							
Wysokość nad poziomem morza									
a =	219	m.n.p.m							
Wysokość nad poziomem terenu:									
z =	5,00	m							
Bazowa prędkość wiatru [pkt 4.2]:									
$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0}$									
$V_{b,0} =$	22,00	m/s		- wartość podstawowa bazowej prędkości wiatru [tab.NB.1]					
$C_{dir} =$	1,0	- współczynnik kierunkowy [tab. NB.2]							
$C_{season} =$	1,0	- współczynnik sezonowy							
$V_b =$	22,00	m/s							
Średnia prędkość wiatru [pkt 4.3]:									
$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b$									
$c_r(z) =$	0,525	z min		z0					
$c_o(z) =$	1,0	- współczynnik chropowatości [tab. NB.3]							
$v_m(z) =$	11,55	m/s		- współczynnik rzeźby terenu (orografii)					
Turbulencja wiatru [pkt 4.4]:									
$I_v(z) = \sigma_v/v_m(z) = k_l/(c_o(z)*\ln(z/z_0))$		dla $z_{min} \leq z \leq z_{max}$							
$I_v(z) = I_v(z_{min})$		dla $z \leq z_{min}$							
$z_{min} =$	10,0	m		- wysokość minimalna [tab. 4.1]					
$z_{max} =$	200	m		- wysokość maksymalna					
$z_0 =$	1,000	m		- wysokość chropowatości [tab. 4.1]					
$k_l =$	1,0	- współczynnik turbulencji							
$I_v(z) =$	0,434	- intensywność turbulencji na wysokości "z"							
Wartość szczytowa ciśnienia prędkości [tab. 4.5]:									
$q_p(z) = [1+7*(I_v(z))*0,5*\rho*v_m^2(z) = c_e(z)*q_b$									
$\rho =$	1,25	kg/m ³		- gęstość powietrza					
$q_{b,0} =$	0,300	kN/m ²		- podstawowa wartość ciśnienia prędkości wiatru [tab. NB.1]					
$q_b = 0,5*\rho*v_b^2$		- wartość bazowa ciśnienia prędkości							
$q_b =$	0,303	kN/m ²							
5,0%		-akceptowalny błąd zwiększenia prędkości wiatru [pkt 4.3.3]							
0,95	≤	$q_{b,0}/q_b*100\%$	≤	1,05					
0,95	≤	99,17	≤	1,05	Warunek spełniony				
$q_b = \max(q_b, q_{b,0})$									
$q_b =$	0,303	kN/m ²							
$c_e(z) =$	1,194	- współczynnik ekspozycji [tab. NB.3]							
$q_p(z) =$	0,36	kN/m ²							

Model przestrzenny konstrukcji fontanny proponowanego podziału tafli



7.2. Tafle szklane kopuły

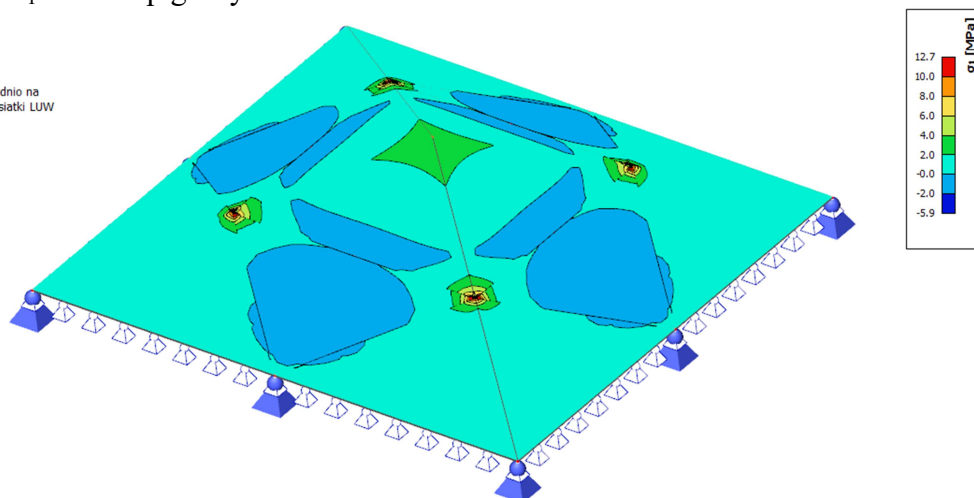
Zaprojektowano konstrukcję kopuły fontanny analogiczną do stanu istniejącego, przy czym usunięto pionowe przeszklenia między górną i dolną kopułą, a każdą z czterech tafli trójkątnych górnej kopuły podzielono na cztery równe elementy. Powstałe mniejsze trójkąty wzdłuż linii podziału oparto na belkach ze stali odpornej na korozję X5CrNiMo17-12-2. Całość konstrukcji szklanej zaprojektowano ze szkła hartowanego ESG o konstrukcji 10.10.10.44.2

Obliczenia przeprowadzono wyznaczając maksymalne naprężenia dla kombinacji SGN uwzględniającej dynamiczny wpływ osoby na powierzchnię zadaszenia wynoszący 2,0. Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń statyczno-wytrzymałościowych:

Naprężenia główne tafli trójkątnych:

Naprężenia σ_1 ostrosłup górny:

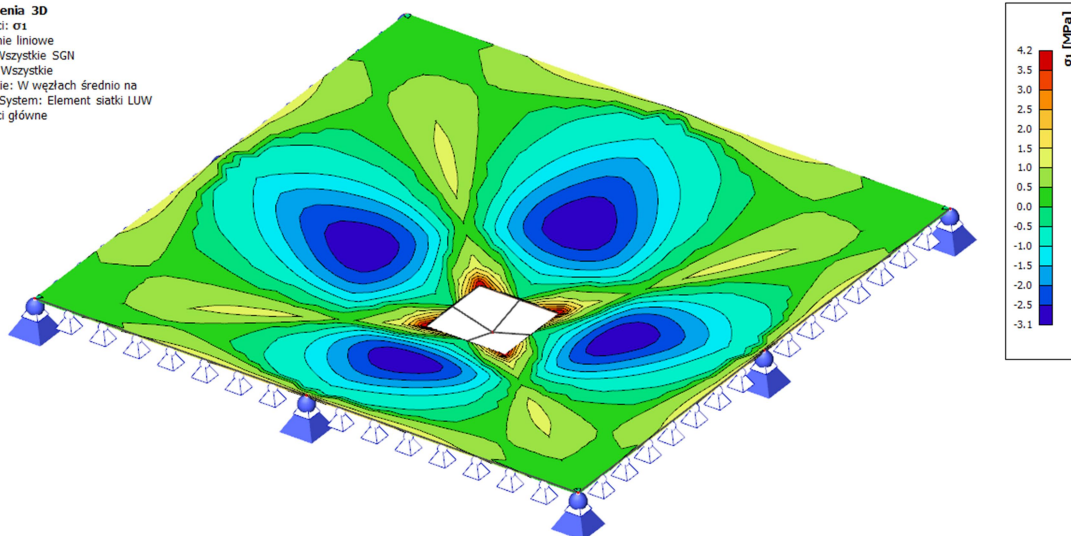
Naprężenia 3D
Wartości: σ_1
Obliczenie liniowe
Klasa: Wszystkie SGN
Wybór: Wszystkie
Położenie: W węzłach średnio na
makro. System: Element siatki LUV
Wartości główne



Wartość maksymalna: **12,7 MPa**

Napężenia σ_1 ostrosłup dolny:

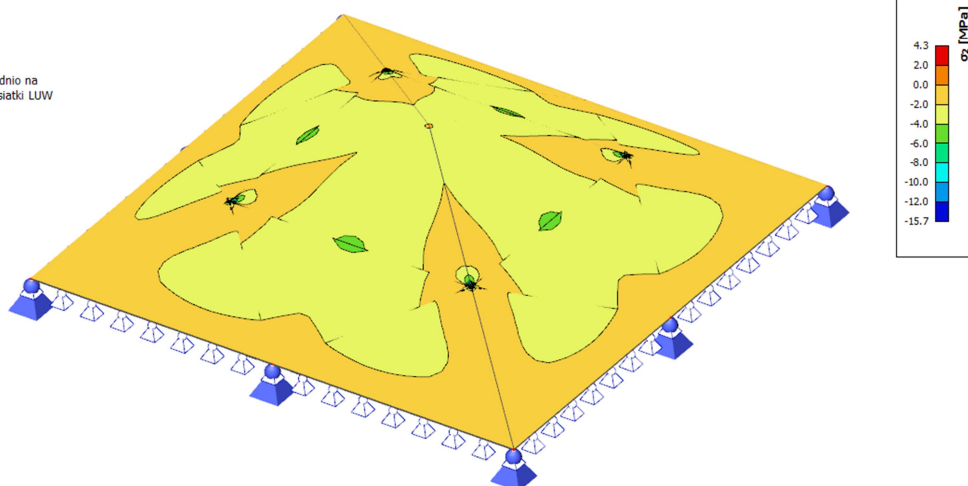
Napężenia 3D
Wartości: σ_1
Obliczenie liniowe
Klasa: Wszystkie SGN
Wybór: Wszystkie
Polozenie: W węzłach średnio na
makro. System: Element siatki LUW
Wartości główne



Wartość maksymalna: **4,2 MPa**

Napężenia σ_2 ostrosłup górny:

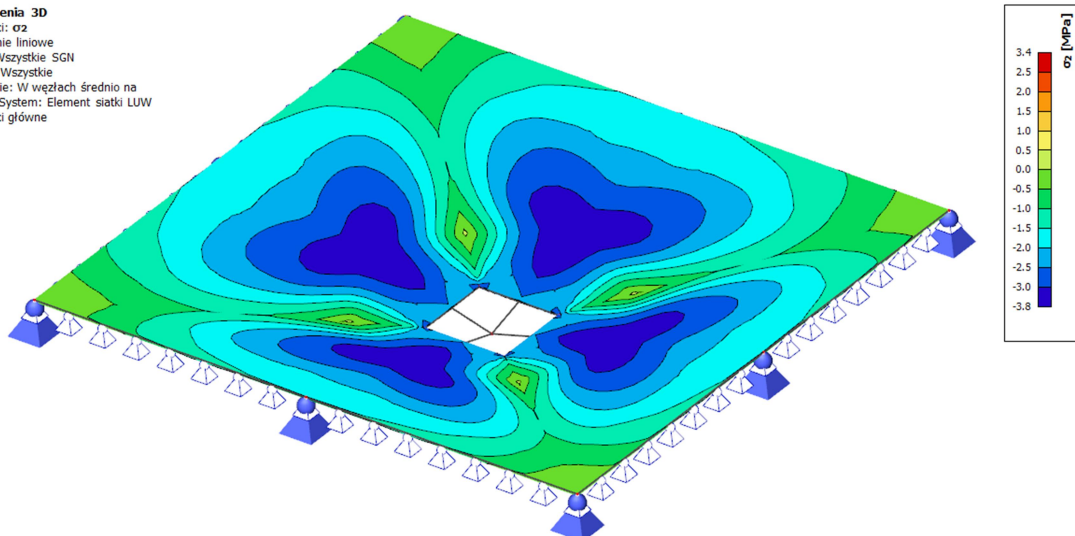
Napężenia 3D
Wartości: σ_2
Obliczenie liniowe
Klasa: Wszystkie SGN
Wybór: Wszystkie
Polozenie: W węzłach średnio na
makro. System: Element siatki LUW
Wartości główne



Wartość maksymalna: **-15,7 MPa**

Napężenia σ_2 ostrosłup dolny:

Napężenia 3D
Wartości: σ_2
Obliczenie liniowe
Klasa: Wszystkie SGN
Wybór: Wszystkie
Polozenie: W węzłach średnio na
makro, System: Element siatki LUV
Wartości główne



Wartość maksymalna: **-3,8 MPa**

Napężenia dopuszczalne wg normy PN-EN 16612:2020-03

Wymiary tafli: $a=2,5\text{m}$ $b=1,37\text{m}$
Powierzchnia tafli: $1,69\text{m}^2$

Współczynniki częściowe $\gamma_{M;A}$; $\gamma_{M;v}$:

Table 1 — Proposed values of the material partial factor

	Ultimate limit state
Annealed glass ^a	$\gamma_{M;A} = 1,8$
Surface prestress	$\gamma_{M;v} = 1,2$
^a The material partial factor for annealed glass is also applied to a component of the bending strength of prestressed glass - see Formula (6).	

Table A.2 — Proposed values of the material partial factor

	Ultimate limit state
Annealed glass.	$\gamma_{M;A}$ can range between 1,6 and 1,8
Surface prestress for thermally toughened glass and heat strengthened glass.	$\gamma_{M;v}$ can range between 1,2 and 1,5
Chemically strengthened glass	$\gamma_{M;v} = 1,2$

$\gamma_{M;v}=1,5$
 $\gamma_{M;A}=1,8$

Współczynnik k_{sp} zależny od powierzchni szkła:

Table 4 — Factor for the glass surface profile

Glass material ^a (whichever glass composition)	Factor for the glass surface profile k_{sp}	
	As produced ^c	Sandblasted ^c
Float glass	1,0	0,6
Drawn sheet glass	1,0	0,6
Enamelled float or drawn sheet glass ^b	(1,0)	(0,6)
Patterned glass	0,75	0,45
Enamelled patterned glass ^b	(0,75)	(0,45)
Polished wired glass	0,75	0,45
Patterned wired glass	0,6	0,36
^a All coated glass, painted glass (not enamelled glass), mirror glass etc., where the applied material does not affect the glass structure, can be treated the same as the substrate glass without the applied material. ^b These glass types are not generally available as annealed glass, but the values of k_{sp} are also needed in the formulae for prestressed glass (see 8.2). ^c For acid etched glass, the 'as produced' value of k_{sp} should be used		

$k_{sp}=1,0$

Współczynnik k_{mod} zależny od czasu trwania obciążenia:

Table A.6 Proposed values of k_{mod}		
Action	Load duration	k_{mod}
Wind gusts ^a	5 s (or less)	1,0
Wind storm accumulative	10 min equivalent ^b	0,74
Balustrade loads - no crowds (e.g. building use categories A, B, C1 and E)	30 s ^c	0,89
Balustrade loads - crowds	5 min ^c	0,77
Maintenance loads	30 min	0,69
Snow	3 weeks ^d	0,45
Cavity pressure variations on insulating glass units	8 h ^e	0,58
Dead load, self weight, altitude effects on insulating glass units	permanent (50 years)	0,29
^a If dimensioning resistance against peak velocity wind pressure ($q_p(z) = C_e(z) q_b$, load duration 3 s), $k_{mod} = 1.0$ should be used. ^b The value of $k_{mod} = 0.74$ is based on a cumulative equivalent duration of 10 min, considered representative of the effect of a storm which may last several hours. Higher values of k_{mod} can be considered for wind. ^c The value of $k_{mod} = 0.89$ is based on a personnel load of 30 s duration. Other values can be considered depending on the type of personnel load being evaluated and also the building use. ^d $k_{mod} = 0.45$ can be considered representative for snow loads lasting between 5 days ($k_{mod} = 0.49$) and 3 months ($k_{mod} = 0.41$). Other values of k_{mod} can be appropriate depending on local climate. ^e $k_{mod} = 0.58$ can be considered representative for cavity pressure variations lasting between 6 h ($k_{mod} = 0.59$) and 12 h ($k_{mod} = 0.57$). Other values of k_{mod} can be appropriate depending on local climate.		

Dla obciążenia ciężarem własnym:

$k_{mod}=0,29$

Dla obciążenia śniegiem:

$k_{mod}=0,45$

Dla obciążenia wiatrem:

$k_{mod}=0,74$

Dla obciążeń wyjątkowych:

$k_{mod}=1,00$

Charakterystyczna wytrzymałość na zginanie szkła sprężonego $f_{b,k}$:

Table 6 — Values of characteristic bending strength for prestressed glass

Glass material per product (whichever composition)	Values for characteristic bending strength $f_{b,k}$ for prestressed glass processed from:		
	thermally toughened safety glass to EN 12150-1, and heat soaked thermally toughened safety glass to EN 14179-1	heat strengthened glass to EN 1863-1	chemically strengthened glass to EN 12337-1
float glass or drawn sheet glass	120 N/mm ²	70 N/mm ²	150 N/mm ²
patterned glass	90 N/mm ²	55 N/mm ²	100 N/mm ²
enamelled float or drawn sheet glass	75 N/mm ²	45 N/mm ²	
enamelled patterned glass	75 N/mm ²	45 N/mm ²	

NOTE 1 The values for thermally toughened safety glass and heat soaked thermally toughened safety glass can also be used for glass conforming to EN 13024-1, EN 14321-1 and EN 15682-1.

NOTE 2 The characteristic bending strength values in the table are the same as in the product standards at the time of publication of this document. In the case of revision of the values in the product standards, then the values in the product standards take precedence.

$$f_{b,k}=120 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Współczynnik wzmacniający k_v :

Table 7 — Strengthening factor

Manufacturing process	Strengthening factor, k_v
Horizontal toughening (or other process without the use of tongs or other devices to hold the glass)	1,0
Vertical toughening (or other process using tongs or other devices to hold the glass)	0,6

$$k_v=1,0$$

Charakterystyczna wytrzymałość na zginanie szkła odpężonego $f_{g,k}$:
 $f_{g,k}=45 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

Napężenia dopuszczalne:

$$f_{g,d} = \frac{k_{mod} * k_{sp} * f_{g,k}}{\gamma_{M;A}} + \frac{k_v * (f_{b,k} - f_{g,k})}{\gamma_{M,v}}$$

$$f_{g,d} = 57,25 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{1,max}| = 12,7 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_{2,max}| = 15,7 \text{ MPa}$$

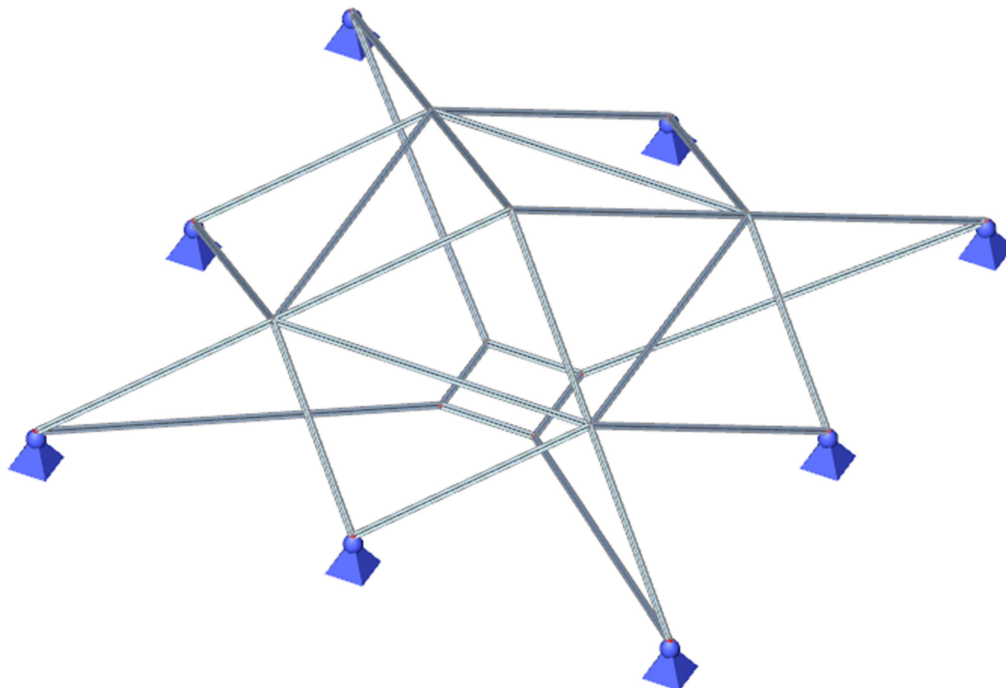
$$\sigma_{eff,d} = \max(\sigma_{1,max}; \sigma_{2,max}) = 15,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{eff,d} = 15,7 \text{ MPa} \leq f_{g,d} = 57,25 \text{ MPa}$$

Warunek spełniony

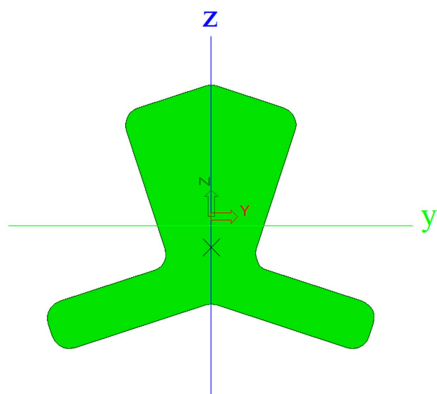
7.3. Pręty ze stali nierdzewnej wzdłuż linii podziału tafli szklanych

Model przestrzenny konstrukcji prętów fontanny w stanie projektowanym



Typ zastosowanego przekroju

Zastosowano przekrój analogiczny jak dla istniejącej konstrukcji stalowej wykonanej ze stali nierdzewnej XCrNiMo 17-12-2. Tak ukształtowane profile stalowe stanowią oparcie dla tafli szklanych.



Wykresy sił przekrojowych:

Moment zginający M_y [kNm] – kopuła górna:

Siły wewnętrzne 1D

Wartości: M_y

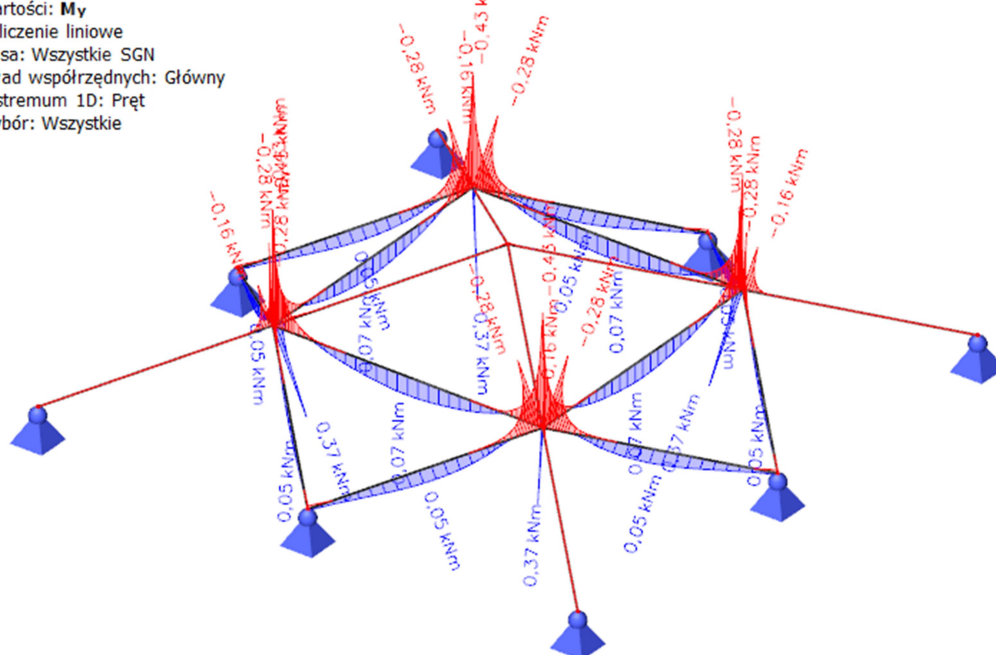
Obliczenie liniowe

Klasa: Wszystkie SGN

Układ współrzędnych: Główny

Ekstremum 1D: Pręt

Wybór: Wszystkie



Maksymalna wartość: **0,43 kNm**

Moment zginający M_z [kNm] – kopuła górna:

Siły wewnętrzne 1D

Wartości: M_z

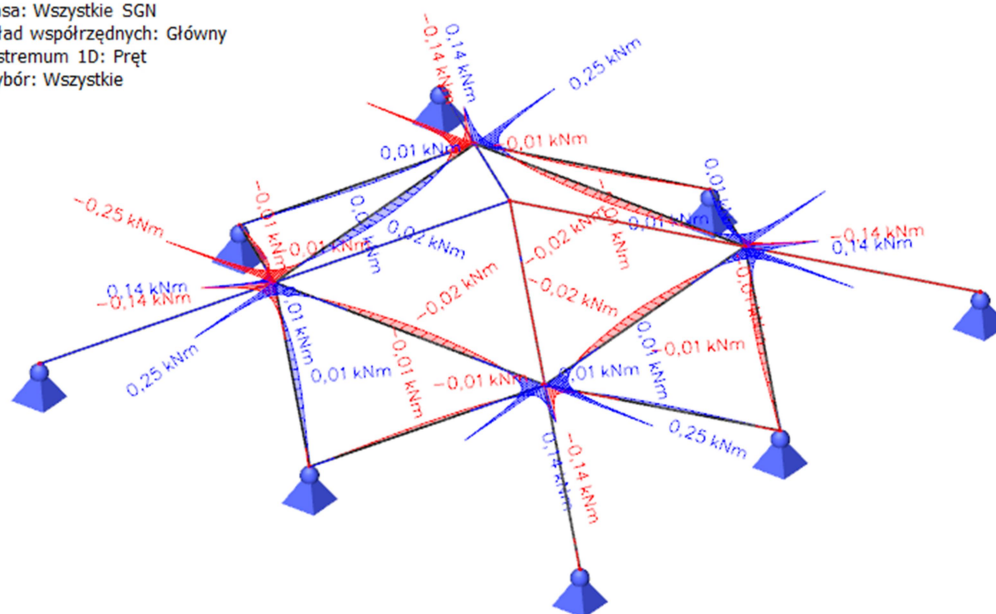
Obliczenie liniowe

Klasa: Wszystkie SGN

Układ współrzędnych: Główny

Ekstremum 1D: Pręt

Wybór: Wszystkie



Maksymalna wartość: **0,25 kNm**

Siła ścinająca V_z [kN] – kopuła górna:

Siły wewnętrzne 1D

Wartości: V_z

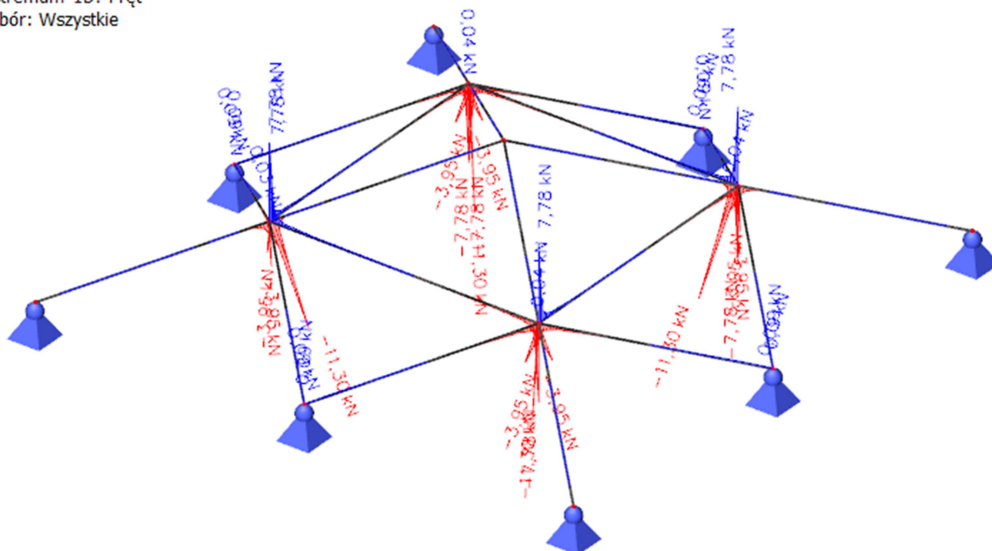
Obliczenie liniowe

Klasa: Wszystkie SGN

Układ współrzędnych: Główny

Ekstremum 1D: Pręt

Wybór: Wszystkie



Maksymalna wartość: **11,30 kN**

Siła podłużna N [kN] – kopuła górna:

Siły wewnętrzne 1D

Wartości: N

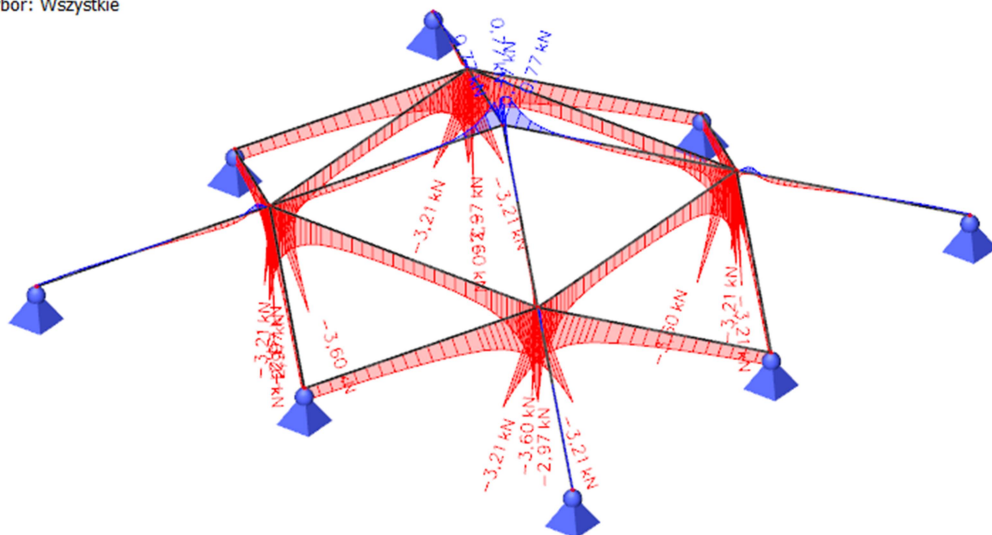
Obliczenie liniowe

Klasa: Wszystkie SGN

Układ współrzędnych: Główny

Ekstremum 1D: Pręt

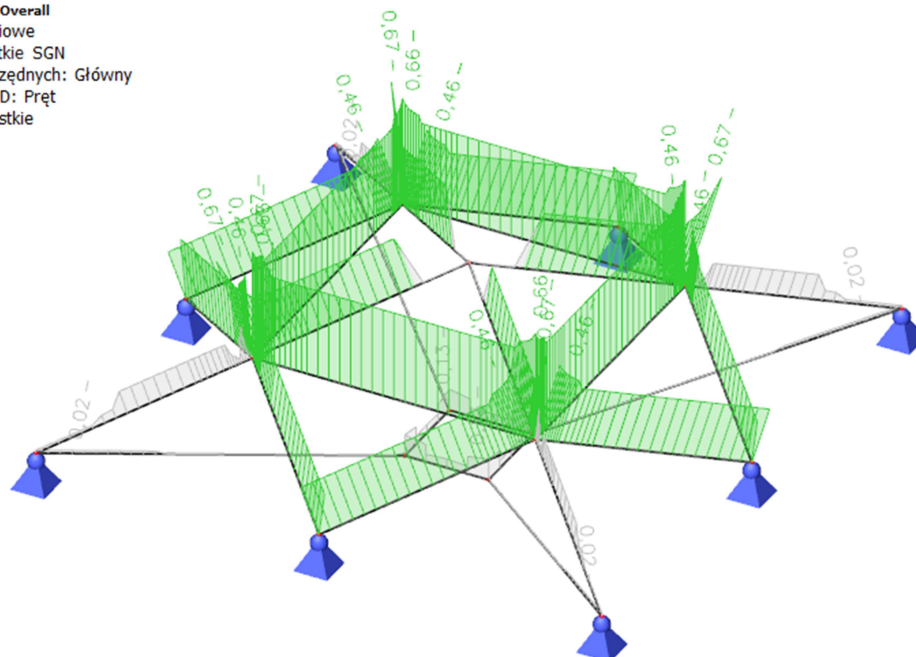
Wybór: Wszystkie



Maksymalna wartość: **-3,60 kN**

EC-EN 1993 Sprawdzenie stali SGN

Wartości: UC Overall
Obliczenie liniowe
Klasa: Wszystkie SGN
Układ współrzędnych: Główny
Ekstremum 1D: Pręt
Wybór: Wszystkie



EC-EN 1993 Sprawdzenie stali SGN

Obliczenie liniowe
Klasa: Wszystkie SGN
Układ współrzędnych: Główny
Ekstremum 1D: Globalny
Wybór: Wszystkie

Sprawdzenie wg normy EN 1993-1-1

Załącznik krajowy: Polski NA PN-EN

Pręt B21	1,851 / 3,703 m	Ogólny przekrój poprzeczny	stal - XCrNiMo 17-12-2	Wszystkie SGN	0,67 -
-----------------	------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	----------------------	---------------

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa	
γ_{M0} przy sprawdzaniu nośności przekrojów poprzecznych	1,00
γ_{M1} przy sprawdzaniu stateczności	1,00
γ_{M2} przy sprawdzaniu nośności przekrojów netto	1,10

Materiał			
Granica plastyczności	f_y	235,0	MPa
Wytrzymałość	f_u	500,0	MPa
Produkcja		Ogólny	

Uwaga: Dla tego typu przekroju poprzecznego redukcja wytrzymałości w funkcji grubości nie jest obsługiwana.

...:SPRAWDZENIE PRZEKROJU:...

Sprawdzenie krytyczne jest w miejscu 1,851 m

Siły wewnętrzne		Obliczony	Jednostka
Siła podłużna	N_{Ed}	-3,60	kN
Siła ścinająca	$V_{y,Ed}$	0,00	kN
Siła ścinająca	$V_{z,Ed}$	-11,30	kN
Skręcanie	T_{Ed}	0,00	kNm
Moment zginający	$M_{y,Ed}$	0,37	kNm
Moment zginający	$M_{z,Ed}$	0,00	kNm

Klasyfikacja projektu przekroju

Uwaga: Klasyfikacja nie jest możliwa w przypadku tego typu przekroju. Przekrój jest sprawdzany jako sprężysty (klasa 3).

Sprawdzenie ściskania

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.2.4 i wzorem (6.9)

Powierzchnia przekroju poprzecznego	A	7,8790e-04	m ²
Nośność na ściskanie	N _{c,Rd}	185,16	kN
Sprawdzenie całkowite		0,02	-

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{7,8790 \cdot 10^{-4} [\text{m}^2] \times 235,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 185,16 [\text{kN}]$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{c,Rd}} = \frac{|-3,60 [\text{kN}]|}{185,16 [\text{kN}]} = 0,02 \leq 1,00$$

Sprawdzenie momentu zginającego — M_y

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.2.5 i wzorem (6.12),(6.14)

Sprężysty wskaźnik przekroju	W _{el,y,min}	4,6124e-06	m ³
Sprężysty moment zginający	M _{el,y,Rd}	1,08	kNm
Sprawdzenie całkowite		0,34	-

$$M_{el,y,Rd} = \frac{W_{el,y,min} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,6124 \cdot 10^{-6} [\text{m}^3] \times 235,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 1,08 [\text{kNm}]$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \frac{|M_{y,Ed}|}{M_{el,y,Rd}} = \frac{|0,37 [\text{kNm}]|}{1,08 [\text{kNm}]} = 0,34 \leq 1,00$$

Sprawdzenie momentu zginającego — M_z

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.2.5 i wzorem (6.12),(6.14)

Sprężysty wskaźnik przekroju	W _{el,z,min}	3,0866e-06	m ³
Sprężysty moment zginający	M _{el,z,Rd}	0,73	kNm
Sprawdzenie całkowite		0,00	-

$$M_{el,z,Rd} = \frac{W_{el,z,min} \times f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3,0866 \cdot 10^{-6} [\text{m}^3] \times 235,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 0,73 [\text{kNm}]$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \frac{|M_{z,Ed}|}{M_{el,z,Rd}} = \frac{|0,00 [\text{kNm}]|}{0,73 [\text{kNm}]} = 0,00 \leq 1,00$$

Sprawdzenie ścinania — V_z

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.2.6 i wzorem (6.17)

Współczynnik korekcyjny dla ścinania	η	1,20	
Powierzchnia ścinania	A _v	5,3225e-04	m ²
Plastyczna nośność na ścinanie — V _z	V _{pl,z,Rd}	72,21	kN
Sprawdzenie całkowite		0,16	-

$$V_{pl,z,Rd} = \frac{A_v \times \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{5,3225 \cdot 10^{-4} [\text{m}^2] \times \frac{235,0 [\text{MPa}]}{\sqrt{3}}}{1,00} = 72,21 [\text{kN}]$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \frac{|V_{z,Ed}|}{V_{c,z,Rd}} = \frac{|-11,30 [\text{kN}]|}{72,21 [\text{kN}]} = 0,16 \leq 1,00$$

Uwaga : Pole przekroju czynnego przy ścinaniu jest pobierane z właściwości przekroju.

Sprawdzenie kombinacji zginania, siły osiowej i siły ścinającej

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.2.1(5) i wzorem (6.1)

Sprawdzenie sprężystości			
Włókno		31	
Napężenie normalne ze względu na siłę normalną N	$\sigma_{N,Ed}$	4,6	MPa
Napężenie normalne ze względu na moment zginający M_y	$\sigma_{My,Ed}$	80,2	MPa
Napężenie normalne ze względu na moment zginający M_z	$\sigma_{Mz,Ed}$	0,0	MPa
Całkowite napężenie wzdłużne	$\sigma_{tot,Ed}$	84,8	MPa
Napężenia ścinające wynikające z poprzecznej siły ścinającej – V_y	$\tau_{Vy,Ed}$	0,0	MPa
Napężenia ścinające wynikające z poprzecznej siły ścinającej – V_z	$\tau_{Vz,Ed}$	0,0	MPa
Napężenie ścinające ze względu na skręcenie równomierne (St. Venanta)	$\tau_{t,Ed}$	0,0	MPa
Całkowite napężenie ścinające	$\tau_{tot,Ed}$	0,0	MPa
Suma naprężeń von Misesa	$\sigma_{von\ Mises,Ed}$	84,8	MPa
Sprawdzenie całkowite		0,36	-

$$\sigma_{N,Ed} = \frac{-N_{Ed}}{A} = \frac{-3,60[kN]}{7,8790 \cdot 10^{-4}[m^2]} = 4,6[MPa]$$

$$\sigma_{My,Ed} = \frac{M_{y,Ed} \times z}{I_y} = \frac{0,37[kNm] \times 20[mm]}{9,3680 \cdot 10^{-8}[m^4]} = 80,2[MPa]$$

$$\sigma_{Mz,Ed} = \frac{M_{z,Ed} \times y}{I_z} = \frac{0,00[kNm] \times 0[mm]}{7,2540 \cdot 10^{-8}[m^4]} = 0,0[MPa]$$

$$\sigma_{tot,Ed} = \sigma_{N,Ed} + \sigma_{My,Ed} + \sigma_{Mz,Ed} + \sigma_{w,Ed} = 4,6[MPa] + 80,2[MPa] + 0,0[MPa] + 0,0[MPa] = 84,8[MPa]$$

$$\tau_{Vy,Ed} = |V_{y,Ed} \times \tau_{Vy,Ed,unit}| = |0,02 \times 1,314[kN/m^2]| = 0,0[MPa]$$

$$\tau_{Vz,Ed} = |V_{z,Ed} \times \tau_{Vz,Ed,unit}| = |-11296,39 \times 0,000[kN/m^2]| = 0,0[MPa]$$

$$\tau_{t,Ed} = |M_{xp,Ed} \times \tau_{t,Ed,unit}| = |0,00 \times -1,945 \cdot 10^2[kN/m^2]| = 0,0[MPa]$$

$$\tau_{tot,Ed} = \tau_{Vz,Ed} + \tau_{Vy,Ed} + \tau_{t,Ed} + \tau_{w,Ed} = 0,0[MPa] + 0,0[MPa] + 0,0[MPa] + 0,0[MPa] = 0,0[MPa]$$

$$\sigma_{von\ Mises,Ed} = \sqrt{\sigma_{tot,Ed}^2 + 3 \times \tau_{tot,Ed}^2} = \sqrt{84,8[MPa]^2 + 3 \times 0,0[MPa]^2} = 84,8[MPa]$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \frac{\sigma_{von\ Mises,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{84,8[MPa]}{\frac{235,0[MPa]}{1,00}} = 0,36 \leq 1,00$$

Pręt spełnia warunki sprawdzenia przekroju.

...:SPRAWDZENIE STATECZNOŚCI:...:

Sprawdzenie wyboczenia giętnego

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.3.1.1 i wzorem (6.46)

Parametry wyboczenia		yy	zz	
Typ przesuwności		przesuwny	nieprzesuwny	
Długość systemowa	L	1,851	1,851	m
Współczynnik wyboczenia	k	2,03	1,00	
Długość wyboczenia	l_{cr}	3,754	1,851	m
Krytyczna siła Eulera	N_{cr}	14,11	44,91	kN
Smukłość	λ	344,24	192,94	
Smukłość względna	λ_{rel}	3,62	2,03	
Smukłość graniczna	$\lambda_{rel,0}$	0,20	0,20	
Krzywa wyboczenia		d	d	
Imperfekcje	α	0,76	0,76	
Współczynnik zmniejszający	χ	0,06	0,17	
Nośność na wyboczenie	$N_{b,Rd}$	11,65	31,90	kN

Sprawdzenie wyboczenia giętnego			
Powierzchnia przekroju poprzecznego	A	7,8790e-04	m ²
Nośność na wyboczenie	$N_{b,Rd}$	11,65	kN
Sprawdzenie całkowite		0,31	-

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \times E \times I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \times 215000,0 [\text{MPa}] \times 9,3680 \cdot 10^{-8} [\text{m}^4]}{3,754 [\text{m}]^2} = 14,11 [\text{kN}]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \times 215000,0 [\text{MPa}] \times 7,2540 \cdot 10^{-8} [\text{m}^4]}{1,851 [\text{m}]^2} = 44,91 [\text{kN}]$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3,754 [\text{m}]}{11 [\text{mm}]} = 344,24$$

$$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{1,851 [\text{m}]}{10 [\text{mm}]} = 192,94$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{344,24}{\pi \times \sqrt{\frac{215000,0 [\text{MPa}]}{235,0 [\text{MPa}]}}} = 3,62$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{192,94}{\pi \times \sqrt{\frac{215000,0 [\text{MPa}]}{235,0 [\text{MPa}]}}} = 2,03$$

$$\varphi_y = 0,5 \times [1 + \alpha_y \times (\lambda_{rel,y} - \lambda_{rel,y,0}) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (3,62 - 0,20) + 3,62^2] = 8,36$$

$$\varphi_z = 0,5 \times [1 + \alpha_z \times (\lambda_{rel,z} - \lambda_{rel,z,0}) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5 \times [1 + 0,76 \times (2,03 - 0,20) + 2,03^2] = 3,26$$

$$\chi_y = \min \left(\frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,y}^2}, 1 \right) = \min \left(\frac{1}{8,36 + \sqrt{8,36^2 - 3,62^2}}, \frac{1}{3,62^2}, 1 \right) = \min (0,06, 0,08, 1) = 0,06$$

$$\chi_z = \min \left(\frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,z}^2}, 1 \right) = \min \left(\frac{1}{3,26 + \sqrt{3,26^2 - 2,03^2}}, \frac{1}{2,03^2}, 1 \right) = \min (0,17, 0,24, 1) = 0,17$$

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,06 \times 7,8790 \cdot 10^{-4} [\text{m}^2] \times 235,0 [\text{MPa}]}{1,00} = 11,65 [\text{kN}]$$

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,17 \times 7,8790 \cdot 10^{-4} [m^2] \times 235,0 [MPa]}{1,00} = 31,90 [kN]$$

$$N_{b,Rd} = \min(N_{b,y,Rd}, N_{b,z,Rd}) = \min(11,65 [kN], 31,90 [kN]) = 11,65 [kN]$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-3,60 [kN]|}{11,65 [kN]} = 0,31 \leq 1,00$$

Sprawdzenie wyboczenia skrętnego (-giętnego)

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.3.1.1 i wzorem (6.46)

Długość wyboczenia skrętnego	I_{cr}	1,851	m
Elastyczne obciążenie krytyczne	$N_{cr,T}$	15487,89	kN
Elastyczne obciążenie krytyczne	$N_{cr,TF}$	14,11	kN
Smukłość względna	$\lambda_{rel,T}$	3,62	
Smukłość graniczna	$\lambda_{rel,0}$	0,20	
Krzywa wyboczenia		d	
Imperfekcje	α	0,76	
Współczynnik zmniejszający	χ	0,06	
Powierzchnia przekroju poprzecznego	A	7,8790e-04	m ²
Nośność na wyboczenie	$N_{b,Rd}$	11,65	kN
Sprawdzenie całkowite		0,31	-

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \times \left(G \times I_t + \frac{\pi^2 \times E \times I_w}{l_{cr}^2} \right) = \frac{1}{15 [mm]^2} \times \left(82692,3 [MPa] \times 4,1248 \cdot 10^{-8} [m^4] + \frac{\pi^2 \times 215000,0 [MPa] \times 2,4492 \cdot 10^{-12} [m^6]}{1,851 [m]^2} \right)$$

$$= 15487,89 [kN]$$

$$N_{cr,TF} = 14,11 [kN]$$

$$\lambda_{rel,T} = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{7,8790 \cdot 10^{-4} [m^2] \times 235,0 [MPa]}{14,11 [kN]}} = 3,62$$

$$\chi = \min \left(\frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \lambda_{rel,T}^2}}, \frac{1}{\lambda_{rel,T}^2}, 1 \right) = \min \left(\frac{1}{8,36 + \sqrt{8,36^2 - 3,62^2}}, \frac{1}{3,62^2}, 1 \right) = \min(0,06, 0,08, 1) = 0,06$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,06 \times 7,8790 \cdot 10^{-4} [m^2] \times 235,0 [MPa]}{1,00} = 11,65 [kN]$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \frac{|N_{Ed}|}{N_{b,Rd}} = \frac{|-3,60 [kN]|}{11,65 [kN]} = 0,31 \leq 1,00$$

Sprawdzenie zwichrzenia

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.3.2.1 & 6.3.2.2 i wzorem (6.54)

Parametry zwichrzenia			
metoda dla krzywej wyboczenia		Przypadek ogólny	
Sprężysty wskaźnik przekroju	$W_{el,y}$	4,6124e-06	m ³
Sprężysty moment krytyczny	M_{cr}	29,96	kNm
Smukłość względna	$\lambda_{rel,LT}$	0,19	
Smukłość graniczna	$\lambda_{rel,LT,0}$	0,20	

Uwaga : Smukłość lub moment zginający jest taka, że wpływy zwichrzenia można zignorować zgodnie z EN 1993-1-1 pkt 6.3.2.2(4).

Parametry M_{cr}			
Długość zwichrzenia	l_{LT}	1,851	m

Parametry M _{cr}			
Wpływ pozycji obciążenia		brak wpływu	
Współczynnik korekcyjny	k	1,00	
Współczynnik korekcyjny	k _w	1,00	
NEN – współczynnik momentu	C ₁	2,42	
NEN – współczynnik momentu	C ₂	0,90	
NEN – współczynnik momentu	C ₃	0,41	
Odległość od środka ścinania	d _z	-3	mm
Odległość przyłożenia obciążenia	z _g	0	mm
Mono-symetria stała	β _y	1	mm
Mono-symetria stała	z _i	-1	mm

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{I_{LT}^2} \times \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \times \frac{I_w}{I_z} + \frac{I_{LT}^2 \times G \times I_z}{\pi^2 \times E \times I_z} + (C_2 \times z_g - C_3 \times z_i)^2} - (C_2 \times z_g - C_3 \times z_i) \right] = 2,42$$

$$\times \frac{\pi^2 \times 215000,0[\text{MPa}] \times 7,2540 \cdot 10^{-8}[\text{m}^4]}{1,851[\text{m}]^2}$$

$$\times \left[\sqrt{\left(\frac{1,00}{1,00}\right)^2 \times \frac{2,4492 \cdot 10^{-12}[\text{m}^6]}{7,2540 \cdot 10^{-8}[\text{m}^4]} + \frac{1,851[\text{m}]^2 \times 82692,3[\text{MPa}] \times 4,1248 \cdot 10^{-8}[\text{m}^4]}{\pi^2 \times 215000,0[\text{MPa}] \times 7,2540 \cdot 10^{-8}[\text{m}^4]} + (0,90 \times 0[\text{mm}] - 0,41 \times -1[\text{mm}])^2} - (0,90 \times 0[\text{mm}] - 0,41 \times -1[\text{mm}]) \right]$$

$$= 29,96[\text{kNm}]$$

$$\lambda_{rel,LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \times f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4,6124 \cdot 10^{-6}[\text{m}^3] \times 235,0[\text{MPa}]}{29,96[\text{kNm}]} = 0,19}$$

Uwaga : Parametry C są określone zgodnie z ECCS 119 2006 / Galea 2002

Sprawdzenie zginania i osiowego ściskania

Zgodnie z EN 1993-1-1, punkt 6.3.3 i wzorem (6.61),(6.62)

Parametry sprawdzenia zginania i osiowego ściskania			
Metoda interakcji		metoda alternatywna 2	
Powierzchnia przekroju poprzecznego	A	7,8790e-04	m ²
Sprężysty wskaźnik przekroju	W _{el,y}	4,6124e-06	m ³
Sprężysty wskaźnik przekroju	W _{el,z}	3,0866e-06	m ³
Obliczeniowa siła ściskająca	N _{Ed}	3,60	kN
Obliczeniowy moment zginający (maksymalny)	M _{y,Ed}	0,37	kNm
Obliczeniowy moment zginający (maksymalny)	M _{z,Ed}	0,00	kNm
Charakterystyczna nośność na ściskanie	N _{Rk}	185,16	kN
Charakterystyczna nośność przy zginaniu	M _{y,Rk}	1,08	kNm
Charakterystyczna nośność przy zginaniu	M _{z,Rk}	0,73	kNm
Współczynnik zmniejszający	χ _y	0,06	
Współczynnik zmniejszający	χ _z	0,06	
Współczynnik zmniejszający	χ _{LT}	1,00	
Współczynnik interakcji	k _{yy}	1,07	
Współczynnik interakcji	k _{yz}	0,96	
Współczynnik interakcji	k _{zy}	0,96	
Współczynnik interakcji	k _{zz}	0,96	

Moment maksymalny M_{y,Ed} jest ustalany na podstawie położenia belki B21 1,851 m.
Moment maksymalny M_{z,Ed} jest ustalany na podstawie położenia belki B21 2,144 m.

Parametry metody interakcji 2			
Metoda dla współczynników interakcji		Tabela B.2	
Przesuwny typu y		przesuwny	
Współczynnik równoważnego momentu	C _{my}	0,90	
Wynikowy typ obciążenia z		obciążenie punktowe F	

Parametry metody interakcji 2			
Moment końcowy	$M_{h,z}$	0,00	kNm
Moment powierzchni	$M_{s,z}$	0,00	kNm
Współczynnik	$\alpha_{h,z}$	-0,01	
Współczynnik momentów końcowych	ψ_z	1,00	
Współczynnik równoważnego momentu	C_{mz}	0,90	
Wynikowy typ obciążenia LT		obciążenie liniowe q	
Moment końcowy	$M_{h,LT}$	0,37	kNm
Moment powierzchni	$M_{s,LT}$	0,00	kNm
Współczynnik	$\alpha_{s,LT}$	-0,01	
Współczynnik momentów końcowych	ψ_{LT}	-0,02	
Współczynnik równoważnego momentu	C_{mLT}	0,40	

Sprawdzenie zgodności (6.61) = 0,31 + 0,36 + 0,00 = 0,67 -

Sprawdzenie zgodności (6.62) = 0,31 + 0,33 + 0,00 = 0,64 -

$$C_{my} = 0,90$$

$$\alpha_{h,z} = \frac{M_{h,z}}{M_{s,z}} = \frac{0,00[\text{kNm}]}{0,00[\text{kNm}]} = -0,01$$

$$C_{mz} = 0,9 + 0,1 \times \alpha_{h,z} = 0,9 + 0,1 \times -0,01 = 0,90$$

$$\alpha_{s,LT} = \frac{M_{s,LT}}{M_{h,LT}} = \frac{0,00[\text{kNm}]}{0,37[\text{kNm}]} = -0,01$$

$$C_{mLT} = \max[0,1 \times (1 - \psi_{LT}) - 0,8 \times \alpha_{s,LT}, 0,4] = \max[0,1 \times (1 - -0,02) - 0,8 \times -0,01, 0,4] = \max[0,11, 0,4] = 0,40$$

$$N_{Rk} = A \times f_y = 7,8790 \cdot 10^{-4}[\text{m}^2] \times 235,0[\text{MPa}] = 185,16[\text{kN}]$$

$$M_{y,Rk} = W_{el,y} \times f_y = 4,6124 \cdot 10^{-6}[\text{m}^3] \times 235,0[\text{MPa}] = 1,08[\text{kNm}]$$

$$M_{z,Rk} = W_{el,z} \times f_y = 3,0866 \cdot 10^{-6}[\text{m}^3] \times 235,0[\text{MPa}] = 0,73[\text{kNm}]$$

$$k_{yy} = \min \left[C_{my} \times \left(1 + 0,6 \times \lambda_{rel,y} \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right), C_{my} \times \left(1 + 0,6 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right]$$

$$= \min \left[0,90 \times \left(1 + 0,6 \times 3,62 \times \frac{3,60[\text{kN}]}{0,06 \times \frac{185,16[\text{kN}]}{1,00}} \right), 0,90 \times \left(1 + 0,6 \times \frac{3,60[\text{kN}]}{0,06 \times \frac{185,16[\text{kN}]}{1,00}} \right) \right] = \min[1,51, 1,07] = 1,07$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 0,96$$

$$k_{zy} = \max \left(1 - \frac{0,05 \times \lambda_{rel,z}}{C_{mLT} - 0,25} \times \frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}, 1 - \frac{0,05}{C_{mLT} - 0,25} \times \frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$= \max \left(1 - \frac{0,05 \times 2,03}{0,40 - 0,25} \times \frac{3,60[\text{kN}]}{0,17 \times \frac{185,16[\text{kN}]}{1,00}}, 1 - \frac{0,05}{0,40 - 0,25} \times \frac{3,60[\text{kN}]}{0,17 \times \frac{185,16[\text{kN}]}{1,00}} \right) = \max(0,92, 0,96) = 0,96$$

$$k_{zz} = \min \left[C_{mz} \times \left(1 + 0,6 \times \lambda_{rel,z} \times \frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right), C_{mz} \times \left(1 + 0,6 \times \frac{N_{Ed}}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right]$$

$$= \min \left[0,90 \times \left(1 + 0,6 \times 2,03 \times \frac{3,60[kN]}{0,17 \times \frac{185,16[kN]}{1,00}} \right), 0,90 \times \left(1 + 0,6 \times \frac{3,60[kN]}{0,17 \times \frac{185,16[kN]}{1,00}} \right) \right] = \min [1,02, 0,96] = 0,96$$

$$\text{Sprawdzenie zgodności (6.61)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_y \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$= \frac{|3,60[kN]|}{0,06 \times \frac{185,16[kN]}{1,00}} + 1,07 \times \frac{|0,37[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{1,08[kNm]}{1,00}} + 0,96 \times \frac{|0,00[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{0,73[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,67 \leq 1,00}$$

$$\text{Sprawdzenie zgodności (6.62)} = \frac{|N_{Ed}|}{\chi_z \times \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \times \frac{|M_{y,Ed}| + |\Delta M_{y,Ed}|}{\chi_{LT} \times \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \times \frac{|M_{z,Ed}| + |\Delta M_{z,Ed}|}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$= \frac{|3,60[kN]|}{0,06 \times \frac{185,16[kN]}{1,00}} + 0,96 \times \frac{|0,37[kNm]| + |0,00[kNm]|}{1,00 \times \frac{1,08[kNm]}{1,00}} + 0,96 \times \frac{|0,00[kNm]| + |0,00[kNm]|}{\frac{0,73[kNm]}{1,00}} = \mathbf{0,64 \leq 1,00}$$

$$\text{Sprawdzenie całkowite} = \max(\text{Sprawdzenie zgodności (6.61)}, \text{Sprawdzenie zgodności (6.62)}) = \max(0,67, 0,64) = \mathbf{0,67 \leq 1,00}$$

Pręt spełnia warunki sprawdzenia stateczności.

8. Analiza racjonalności proponowanej przebudowy lub likwidacji fontanny

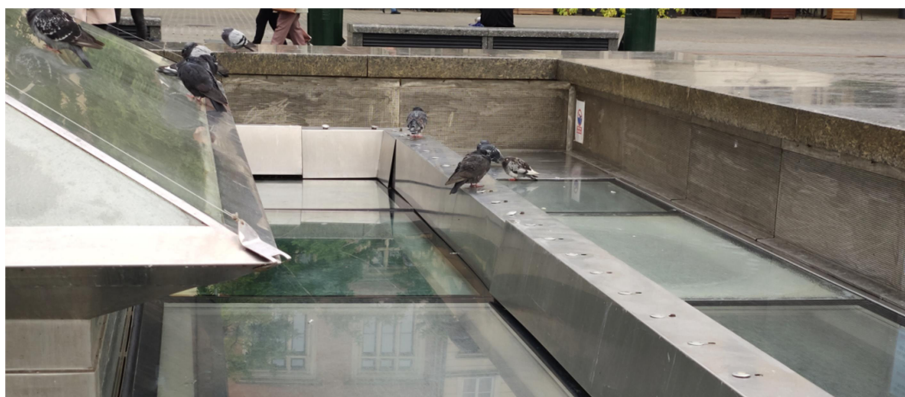
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów i analiz uwzględniających dotychczasowe doświadczenia związane z użytkowaniem fontanny można wyróżnić następujące elementy ryzyka wynikającego z zastosowanych rozwiązań i jakości prac budowlanych.

1. Jednym z głównych czynników powodujących uciążliwości związane z użytkowaniem fontanny była i jest niezawodność w zakresie szczelności styków między konstrukcją stalową fontanny i przegrodami ze szkła klejonego warstwowo. Stwierdzono powtarzające się braki szczelności powodujące przecieki wody do przestrzeni muzeum w podziemiach Rynku Głównego. Ta grupa problemów może być opanowana przy zastosowaniu innych dostępnych uszczelnień i starannego wykonania tych robót. Wysoką niezawodność oferują rozwiązania firmy Sika.
2. Analizując dotychczasowe doświadczenia należy wymienić wysoką podatność istniejącej struktury budowlanej fontanny na działania dewastacyjne. Naprawa rozbitych tafli szkła o wymiarach wynikających z geometrii bryły ostrosłupa jest porównywalna z nakładami na realizację fontanny. Potwierdzają to doświadczenia praktyczne związane z próbą wymiany jednej ze ścian bocznych o wymiarze wysokości 280 cm.
W związku z powyższym autorzy opracowania zaproponowali inny podział ścian bocznych bryły ostrosłupa „kryształ” na mniejsze wymiarowo części trójkątne łatwe do wymiany w przypadku ich dewastacji.
3. W trakcie przeglądów i ocen urządzeń oraz wyposażenia fontanny stwierdzono również wysoką awaryjność instalacji elektrycznych niskoprądowych oraz systemów dysz do formowania kształtu strumieni wody w trakcie użytkowania fontanny. Jedną z przyczyn były działania dewastacyjne i zanieczyszczenia powodowane przez gołębie. Wynika stąd konieczność zamontowania monitoringu rejestrującego zdarzenia przy fontannie i urządzeń akustycznych odstraszających gołębie.
4. Zastosowanie przegród ze szkła klejonego, hartowanego w systemie konstrukcyjnym fontanny będzie zawsze rodzić niebezpieczeństwo uszkodzeń i związanych z tym uciążliwości użytkowania. Równocześnie jednak ważna przesłanka przy projektowaniu fontanny o stworzenie możliwości wglądu na wieżę mariacką z XIII wieku z poziomu Rynku Głównego stanowi ważne kryterium przy podejmowaniu decyzji o sposobie naprawy bądź innego rozwiązania fontanny.

9. Ocena stanu technicznego instalacji elektrycznych, sterowniczych i oświetleniowych

Fontannę „Kryształ” na Rynku Głównym w Krakowie wyposażono w system dysz i oświetlenia mających razem tworzyć iluminację, będącą atrakcją tej części rynku. Podczas przeprowadzonych oględzin oraz na podstawie informacji uzyskanych od pracowników muzeum przeprowadzono ocenę stanu technicznego instalacji rozpatrywanego obiektu.

Dookoła bryły centralnej fontanny rozmieszczony jest układ dysz tryskających z zaworami grzybkowymi, wyposażony dodatkowo w instalację oświetleniową. Całość przykryta jest maskownicami wykonanymi ze stali nierdzewnej. Podczas wizji lokalnej stwierdzono, że zaczepy elementów maskujących są urwane – większość blach leży niezamocowana na instalacji i niece fontanny. Element w południowo zachodnim narożniku uległ rozspojeniu w miejscu załamania blachy.



Ryc. 2. Obluzowanie blach maskujących i elementów systemu dysz i oświetlenia

Instalacja oświetleniowa na maskownicach jest niesprawna. Znaczna część lamp uległa zniszczeniu prawdopodobnie na skutek dewastacji. Elementy są obluzowane, powyrywane lub wygięte. Na podstawie informacji zaczerpniętych od pracowników w trakcie wizji lokalnej określono, że poniżej 10 % lamp dookoła fontanny jest sprawna. Dysze tłoczne ocenia się jako sprawne.



Ryc. 2. Obluzowanie blach maskujących i elementów systemu dysz i oświetlenia

W trakcie oględzin został zgłoszony problem ze sterownikami punktów świetlnych w niecce fontanny. Brak ich trwałości był jedną z przyczyn obecnego, złego stanu oświetlenia w tej części obiektu.



Ryc. 2. Obluzowanie blach maskujących i elementów systemu dysz i oświetlenia

Od spodu fontanny w świetle żelbetowego rusztu rozmieszczona jest instalacja oświetlająca przedmiotowy obiekt od spodu. Zarówno sterowanie jak i instalacja podczas oględzin były sprawne.

Elementy instalacji elektrycznych, oświetleniowych i sterowniczych fontanny „Kryształ” na Rynku Głównym w Krakowie dla części podziemnej ocenia się jako na ogół zadowalający. Jednakże z uwagi na zidentyfikowane nieszczelności i możliwość penetracji wód opadowych do pomieszczenia muzeum zaleca się na etapie remontu przegląd instalacji elektrycznych zamontowanych w ruszcie żelbetowym. Stan techniczny elementów części nadziemnej ocenia się jako zły. Oznacza to konieczność podjęcia prac remontowo naprawczych zmierzających do wymiany uszkodzonych elementów oraz do doprowadzenia ich do właściwego stanu technicznego.

W okresie eksploatacji zaleca się comiesięczne przeglądy ze szczególnym uwzględnieniem ochrony przeciwporażeniowej. Po sezonie zimowym a przed rozruchem wiosennym należy sprawdzić pomiarami stan izolacji oraz ochronę przeciwporażeniową i sporządzić protokół.

10. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzony przegląd i ocena stanu technicznego fontanny „Kryształ” na Rynku Głównym w Krakowie połączone z analizą dokumentacji archiwalnej oraz analizą statycznie wytrzymałościową dają podstawę do sformułowania następujących wniosków:

- a) Stan techniczny przegród szklanych fontanny „Kryształ”, które nie uległy spękaniu należy ocenić jako na ogół niezadowolający. Na taką ocenę wpływają liczne niewielkie zarysowania powierzchni ograniczające przezierność tafli oraz lokalnie występujące zjawiska delaminacji.
- b) Konstrukcja tafli szklanych została dobrana w sposób prawidłowy, spełniając wszelkie wymagania normowe i zalecenia budowlane. Istniejący stan jest efektem negatywnego wpływu czynników zewnętrznych takich jak dewastacja i wtargnięcie na powierzchnie niecki osób postronnych.
- c) Stan techniczny większości granitowych płyt formujących cokół i ławy siedziska ocenia się jako dobry. Przemieszczenia płyt wynikają z oddziaływania na nie odkształceń termicznych, a także z nieprawidłowego zamocowania na ławie żelbetowej. Elementy uszkodzone nienadające się do powtórnego montażu należy wymienić.
- d) Rodzaj uszczelnienia wykorzystany podczas konstruowania fontanny nie został dobrany prawidłowo. Nie łączy w sobie funkcji uszczelnienia i zapewnienia współpracy konstrukcyjnej łączonych elementów. Zaobserwowano degradację i rozwarstwienie wypełnień izolacyjnych między elementami. Na tej podstawie stan techniczny materiałów zastosowanych między taflami szklanymi i konstrukcją stalową ocenia się jako niezadowolający.
- e) Uwzględniając ograniczoną dostępność płyt szklanych o znacznych wymiarach z jakich wykonany jest bryła ostrosłupa, zaproponowano podział każdego z elementów górnej kopuły na 4 trójkąty o jednakowych wymiarach, opartych na profilach stalowych. Pozwoli to na usunięcie ze środka bryły fontanny czterech pionowych płyt szklanych. Umożliwi to również łatwiejsze i bardziej ekonomiczne naprawy w przypadku dewastacji.
- f) Stan techniczny instalacji elektrycznych, oświetleniowych i sterowniczych oceniono dla części pod niecką fontanny jako zadowolający, natomiast dla części nadziemnej jako zły. Konieczne jest podjęcie prac remontowo naprawczych zmierzających do wymiany uszkodzonych elementów oraz doprowadzenia ich do właściwego stanu technicznego.
- g) W obecnym stanie przedmiotowy obiekt nie stwarza zagrożenia awarią bądź katastrofą budowlaną. Stan zachowania obiektu pozwala na jego dalszą eksploatację zgodnie z przeznaczeniem pod warunkiem wymiany pękniętych tafli szklanych i zapewnienia trwałości i szczelności połączeń.
- h) Wszelkie prace naprawcze jak i cała konstrukcja fontanny muszą być kontrolowane poprzez wykonywanie przeglądów okresowych pozwalających w sposób szybki reagować na zaistniałe sytuacje.
- i) Jednym z elementów powodujących narastanie uszkodzeń fontanny są bardzo intensywne zanieczyszczenia odchodami gołębi. Należy obok fontanny zainstalować urządzenia wypłaszające gołębie przy pomocy odgłosów sokoła. Taka metoda okazała się skuteczna wewnątrz Sukiennic.

11. Zalecenia

Podczas oględzin w obrębie obiektu nie stwierdzono istotnych uszkodzeń konstrukcyjnych zagrażających bezpieczeństwu użytkowania pomieszczeń muzeum pod fontanną. Stwierdzono natomiast szereg destrukcji i degradacji połączeń mających zapewnić szczelność między elementami nośnymi fontanny. Na podstawie niniejszego opracowania stwierdza się, że w celu wyeliminowania wszystkich rozpoznanych wad fontanny „Kryształ” na Rynku Głównym w Krakowie należy przeprowadzić prace remontowo naprawcze. Wiąże się to z całkowitym demontażem szklanej konstrukcji fontanny oraz płyt granitowych na ławie żelbetowej.. W ramach zalecanych prac naprawczych należy:

- a) Dokonać demontażu granitowych płyt siedziska i cokołu ławy żelbetowej.
- b) Dokonać wymiany uszkodzonych paneli szklanych.
- c) Przeprowadzić inwentaryzację demontowanych elementów w celu oceny możliwości ich ponownego wykorzystania. Zaleca się powtórne zastosowanie nieuszkodzonych elementów.
- d) Na czas remontu należy wykonać tymczasowe zabezpieczenie pomieszczeń muzeum pod fontanną przed opadami atmosferycznymi.
- e) Usunąć stwierdzone nieszczelności i wykonać na nowo wszystkie połączenia uszczelniające między elementami fontanny przy użyciu silikonów do klejenia strukturalnego, np. Sikasil® SG-500, Sikasil® SG-20, Sikasil® IG-25 HM Plus lub równoważnych. Uszczelnienia należy wykonać zgodnie z wymaganiami producenta, zapewniając odpowiednie przygotowanie podłoża oraz obróbkę łączonych powierzchni. Dobór stosowanych rozwiązań dla konkretnych lokalizacji należy wykonać w porozumieniu z dostawcą technologii. Krawędzie klejonych płyt ze szkła należy zabezpieczyć taśmami zabezpieczającymi przed delaminacją.
- f) Przed zamówieniem płyt szklanych należy skontaktować się z działem technicznym producenta w celu identyfikacji materiału, z którego wykonano folię między szklanymi taflami. Zaleca się, aby w porozumieniu z dostawcą chemii uszczelniającej zweryfikować czy nie zajdzie między nimi reakcja powodująca degradację właściwości użytkowych, czego skutkiem może być powstanie zjawiska delaminacji.
- g) Wykonać nową warstwę izolacji na elementach betonowych (kieszeń obwodowa) niecki fontanny przy użyciu środka Ecofair, bądź taśmami Sikadur-Combiflex® SG 20 M 200, Sikadur-Combiflex® oraz Sikalastic®-156 lub równoważnych.
- h) Dokonać ponownego montażu płyt granitowych na ławie żelbetowej otaczającej nieckę fontanny przy użyciu kleju epoksydowego do konstrukcyjnego łączenia i napraw betonu Sikadur®-31+ lub równoważnych.
- i) Wymienić uszkodzone lampy oświetleniowe oraz sterowniki.
- j) Dokonać wymiany uszkodzonych blach maskujących instalację dysz i oświetlenia.
- k) Wymienić wszystkie elementy stalowe posiadające objawy korozji.
- l) W okresie eksploatacji wykonywać comiesięczne przeglądy ze szczególnym uwzględnieniem ochrony przeciwporażeniowej. Po sezonie zimowym, a przed rozruchem wiosennym należy sprawdzić pomiarami stan izolacji oraz ochronę przeciwporażeniową i sporządzić protokół.

- m) Zainstalować system dźwiękowy imitujący odgłosy ptaków drapieżnych, aby chronić obiekt przed gołębiami powodującymi zanieczyszczenia elementów fontanny oraz procesy korozji.

12. Opracowania rysunkowe:

KE-01 – Inwentaryzacja uszkodzeń – Rzut niecki fontanny

KE-02 – Inwentaryzacja uszkodzeń – Rzut w poziomie rusztu żelbetowego