

RAPORT Z BADAŃ PRZEMYSŁOWYCH

Opracowanie gamy zrobotyzowanych urządzeń kurierskich
wykorzystujących m.in. kartezjański układ robotów.

Nr wniosku o dofinansowanie: POIR.01.01.01-00-0326/18

Spis treści:

1. Transport przesyłek.
 - 1.1. Robot.
 - 1.1.1. H-BOT.
 - 1.1.2. COREXY.
 - 1.1.3. Napinacz pasa.
 - 1.1.4. Samojedźny.
 - 1.1.5. Kinematyka.
 - 1.2. Mechanizm chwytakowy.
 - 1.2.1. Chwytak ANO.
 - 1.2.2. Chwytak ANOST.
 - 1.3. Śluza.
 - 1.3.1. Śluza ANO.
 - 1.3.2. Śluza ANOST.
2. Konstrukcja stelaży magazynowych.
 - 2.1. Konstrukcja stelaży.
 - 2.1.1. Stelaże ANO.
 - 2.1.2. Stelaże ANOST.
 - 2.1.3. Badania wytrzymałościowe.
 - 2.2. Obieg powietrza.
 - 2.3. Stateczność.
 - 2.4. Współczynnik ilości skrytek.
3. Automatyczne przegrody międzystrefowe.
 - 3.1. Ruchomy stelaż.
 - 3.2. Rodzaje przegród.
 - 3.2.1. Kurtyna.
 - 3.2.2. Roleta.
 - 3.2.3. Przesuwna.
 - 3.3. Zużycie energii.

1. Transport przesyłek.

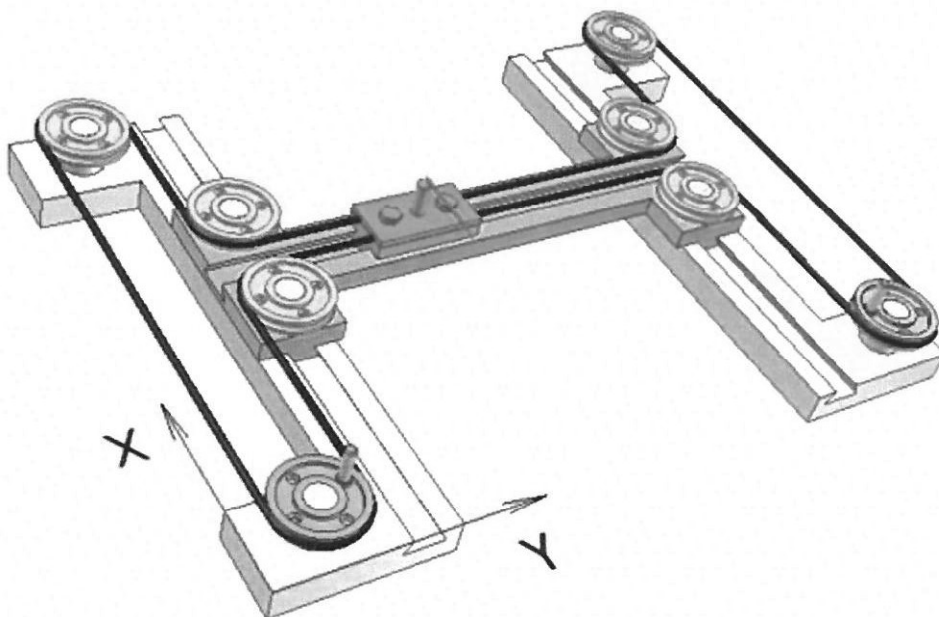
1.1. Robot.

1.1.1. H-BOT.

Schemat pracy układu H:

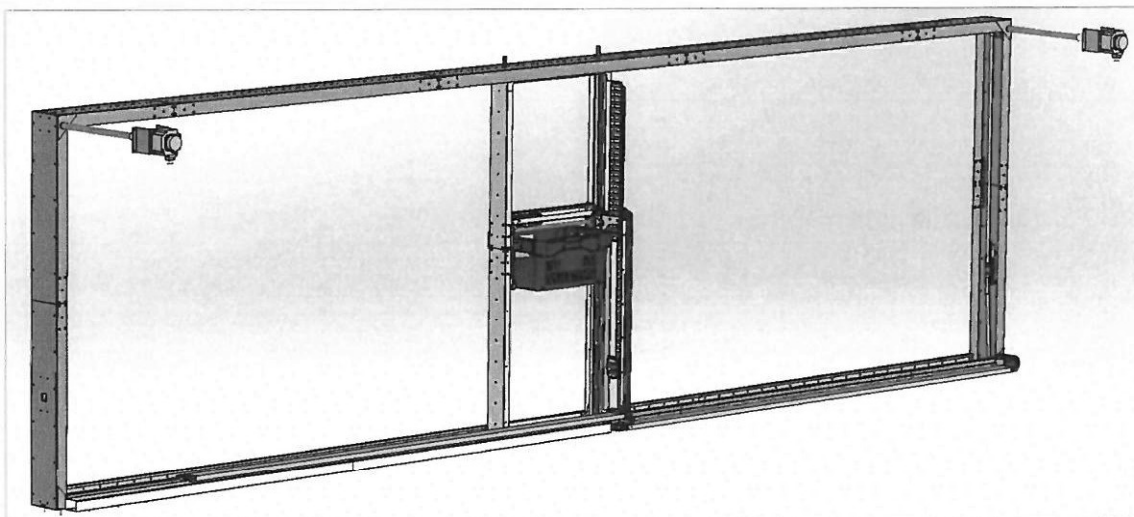
Urządzenie działa w oparciu o robota kartezjańskiego poruszającego się w układzie H na pasku napędowym. 2 silniki położone w 2 sąsiadujących ze sobą rogach układu w zależności od kierunku pracy poruszają ramieniem robota w osi pionowej lub poziomej, naprowadzając go na odpowiedni slot z paczką. Po wybraniu odpowiedniego slotu robot za pomocą specjalnie zaprojektowanych chwytaków łapie kuwetę z paczką i przenosi ją do okna wydawczego. Dzięki odpowiednio zaprojektowanej konstrukcji kuwety ze ściankami bocznymi paczki nie zsuwają się z niej podczas dynamicznej pracy robota. Szybkość pracy robota zdeterminowana jest stosunkiem gabarytów robota do deklarowanego czasu obsługi procesu obioru/nadania zgodnie z wytycznymi:

- czas załadunku dla 1 paczki - max 20 sekund dla urządzenia z modułem narożnym,
- co najmniej 70% mebla dostępne w max 15 sekund,
- co najmniej 30% mebla dostępne w max 10 sekund.



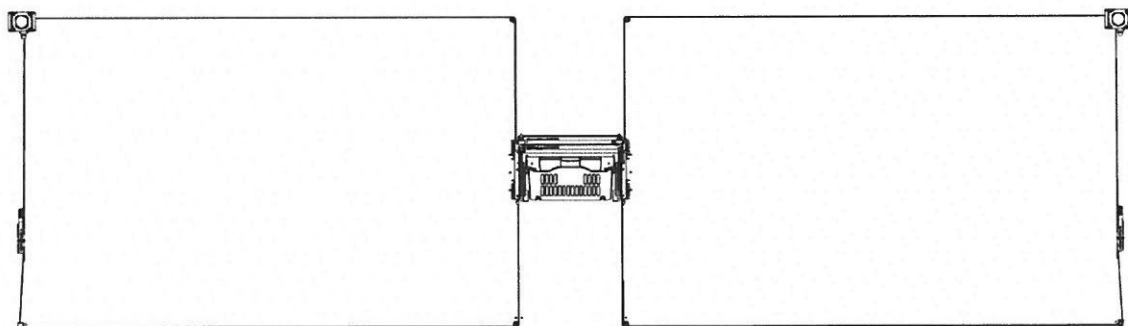
Rys. Schemat układu H-bot.

Wewnątrz automatu pomiędzy regałami wspornikowymi zabudowany jest ramowy manipulator kartezyjski o napędzie elektrycznym z wodzakiem poruszającym się w układzie kartezyjskim. Rama zewnętrzna manipulatora jest nieruchoma i połączona jest na sztywno ze stelażem regałowym oraz korpusem urządzenia, a rama wewnętrzna manipulatora jest przesuwana poziomo w ramie zewnętrznej, zaś wodezak manipulatora kartezyjskiego jest przesuwany pionowo w ramie wewnętrznej.



Rys. Rama zewnętrzna i wewnętrzna układu H-bot.

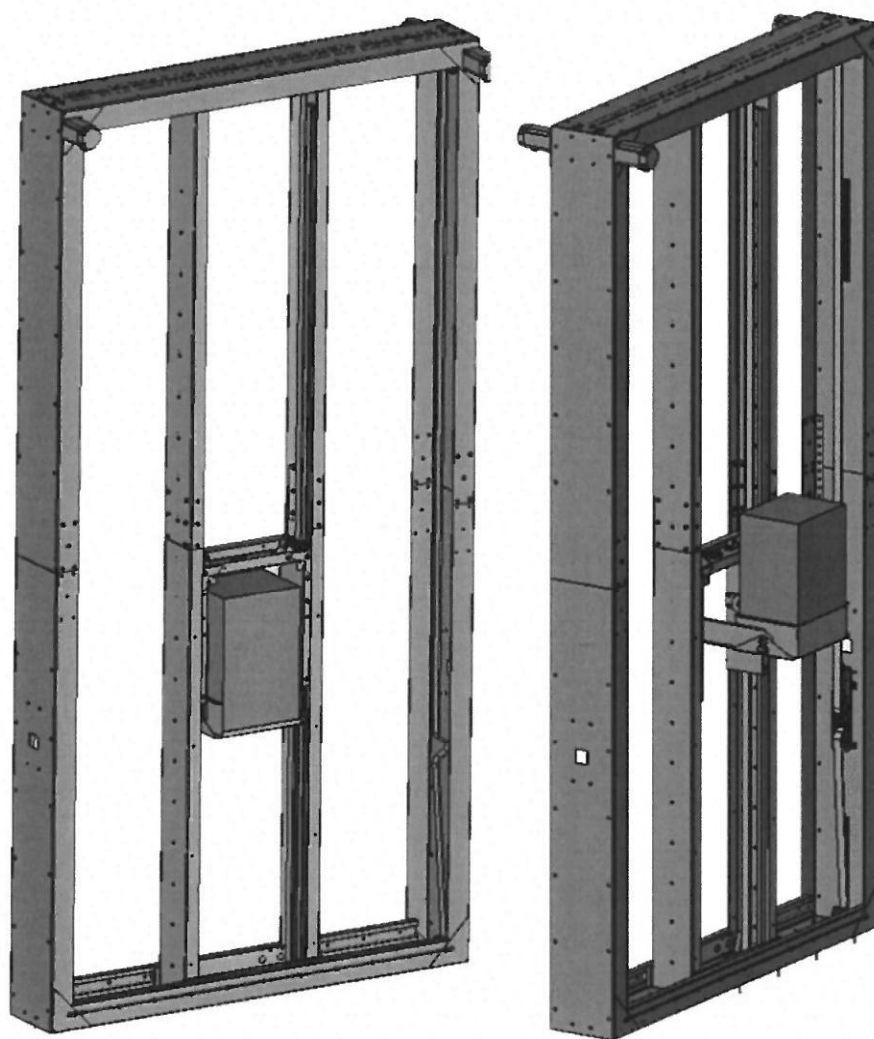
Pokazany na poniższej wizualizacji układ przebiegu i zamocowania w manipulatorze kartezyjskim dwóch zębatach pasów napędowych do wodzaka pozwala na jego ustawienie w pionie, w zadanej programowo kolumnie zawieszenia kuwet, i w poziomie, na zadanej programowo kondygnacji zawieszenia kuwet.



Rys. Układ pasów zębatach.

System automatycznej optymalizacji przestrzeni magazynowej.

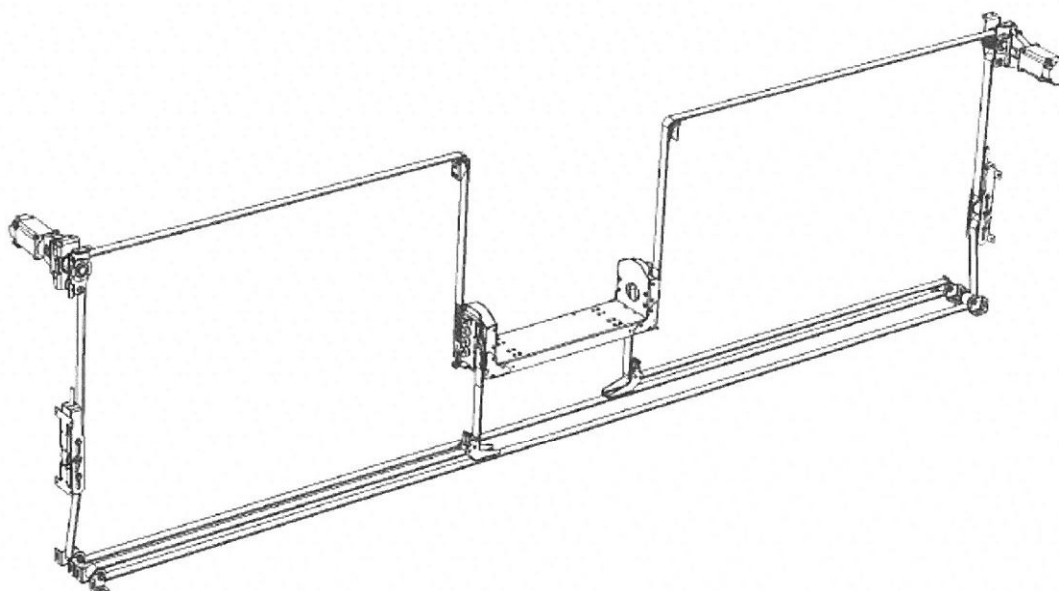
Docelowe urządzenie seryjne ma w sposób automatyczny regulować wielkość slotu przechowywanej paczki w celu optymalizacji przestrzeni magazynowej. Dzięki temu paczki będą magazynowane w przestrzeniach, które odpowiadają realnym wymiarom paczki. System optymalizuje wybór slotu przez robota, maksymalizując objętość (na wejściu skanuje wysokość paczki i wsuwa całą kuwetę z paczką pod inną kuwetę zachowując przerwę nie większą niż potrzebna aby zmieściła się dana paczka. System ten nie będzie implementowany na etapie prototypu, a dopiero na etapie seryjnej produkcji. Prototyp będzie zawierać zdefiniowane wielkości slotów paczkowych do wielkości max 350 mm x 250 mm x 150 mm, wówczas przy gabarytach urządzenia z modułem narożnym 150 x 90 x 270 cm w urządzeniu zmieści się min. 70 paczek.



Rys. System optymalizacji przestrzeni.

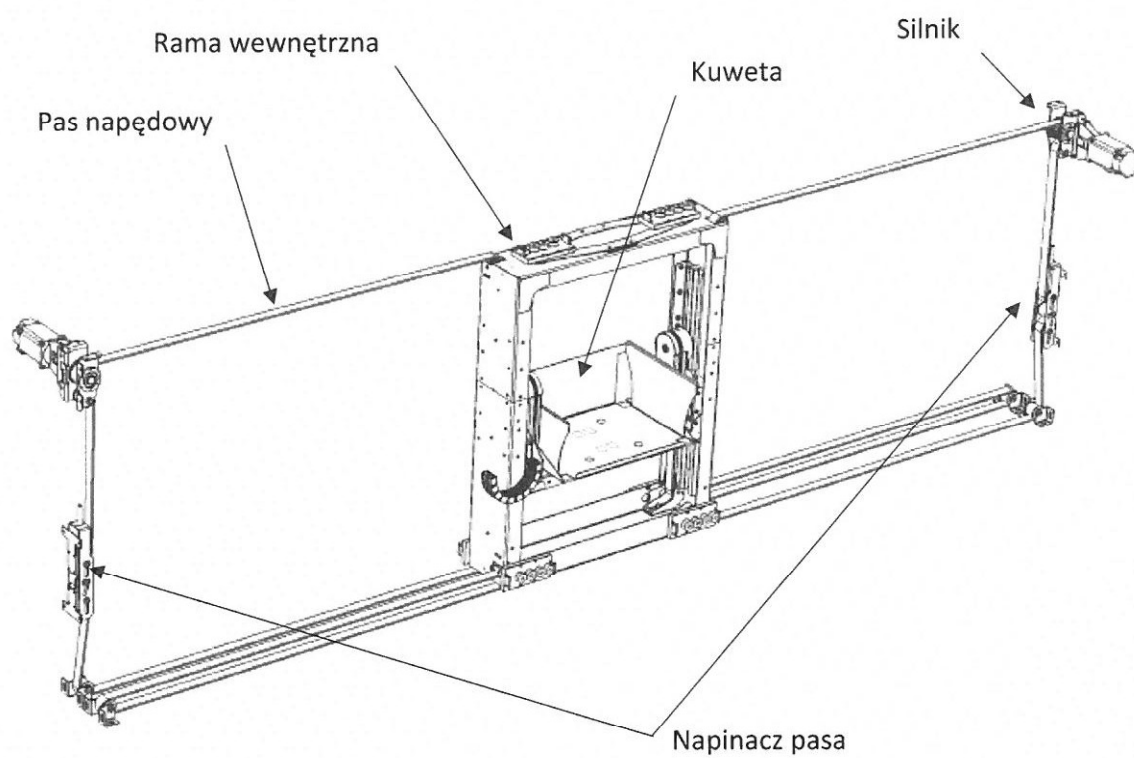
1.1.2. CORE-XY.

Układ Core-XY rozwiązuje problem momentu obrotowego związanego z opisanym wcześniej układem H-bot. Core-XY to dwuosiowa implementacja ruchu liniowego zapewniająca tą samą korzyść co H-bot - lekką ruchomą platformę, utrzymując oba silniki przymocowane do ramy, zamiast montować jeden silnik na osi ruchomej. Ponadto, krzyżując się z paskiem, eliminowane są niepożądane wektory momentu obrotowego.



Rys. Układ pasów Core-XY.

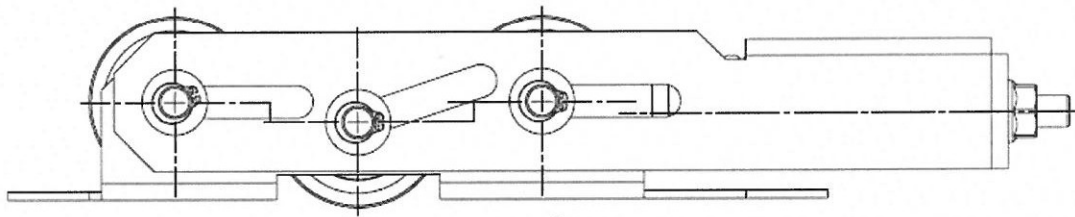
W układzie Core-XY po wywołaniu momentów obrotowych w obu silnikach platforma porusza się w kierunku X, podczas gdy wektory sił w kierunku Y znoszą się podobnie jak w układzie H-bot. Jednak w tym przypadku w osi ruchomej momenty obrotowe od obu silników znoszą się, a co za tym idzie oś ruchoma nie skręca się w odpowiedzi na ten ruch. Ta niewielka zmiana w układzie pasów sprawia, że sztywność konstrukcji robota nie ma już tak dużego wpływu na dokładność robota w porównaniu z wersją H-bot.



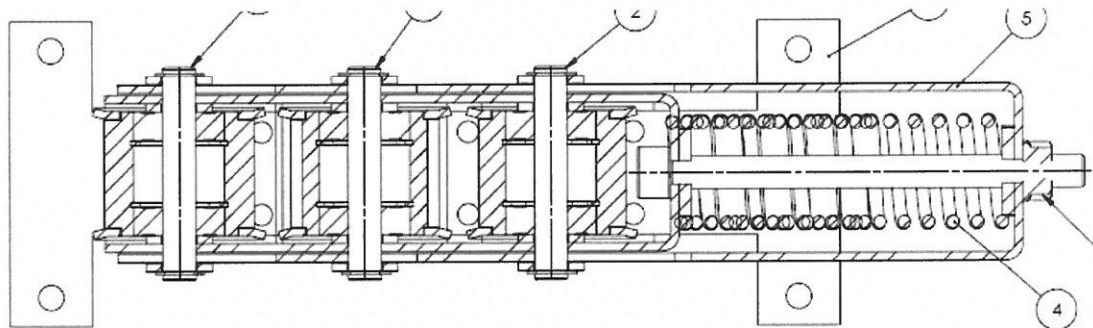
Rys. Układ Core-XY wraz z ran

1.1.3. Napinacz pasa.

Ze względu na pojawiające się z czasem luzy na pasach napędowych robota każdy z nich wyposażony jest w napinacz pasa umocowany na ramie zewnętrznej po obu stronach urządzenia. Napinacz złożony jest z systemu rolek i sprężyny niwelującej pojawiający się z czasem w układzie luz.



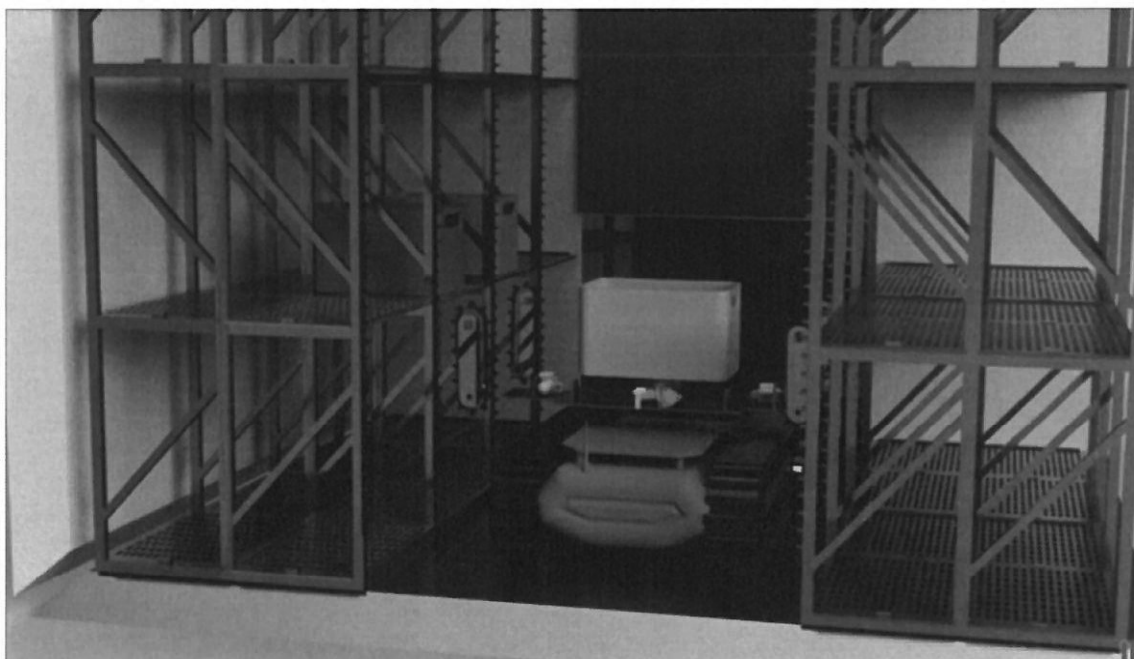
Rys. Napinacz pasa – widok z boku.



Rys. Napinacz pasa – przekrój z góry.

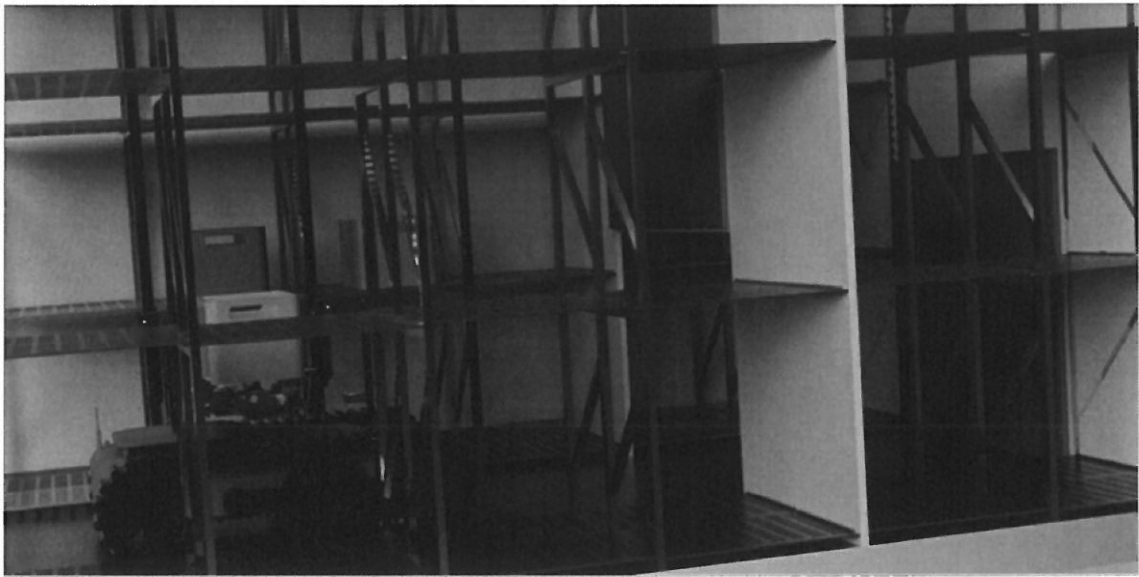
1.1.4. Robot samojezdny.

W odróżnieniu od opisywanych dotychczas wersji robota H-bot i Core-XY bazujących na układzie kartezjańskim napędzanym systemem zębatach pasów napędowych niniejsza koncepcja uwzględnia zastosowanie samojezdnego robota poruszającego się po podłodze automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową.



Rys. Robot samojezdny z koszem na podłodze ANOST.

W tej wersji oś X (pozioma) jest obsługiwana poprzez ruch robota wyposażonego we własny napęd kołowy lub gąsienicowy. Na robocie przewożona jest platforma transportująca kosze z przesyłkami wyposażona w napęd poruszający czterema systemami zębatymi, które w połączeniu z zębatkami na pionowych słupkach stelaży magazynowych umożliwiają ruch platformy w osi Y (pionowej).



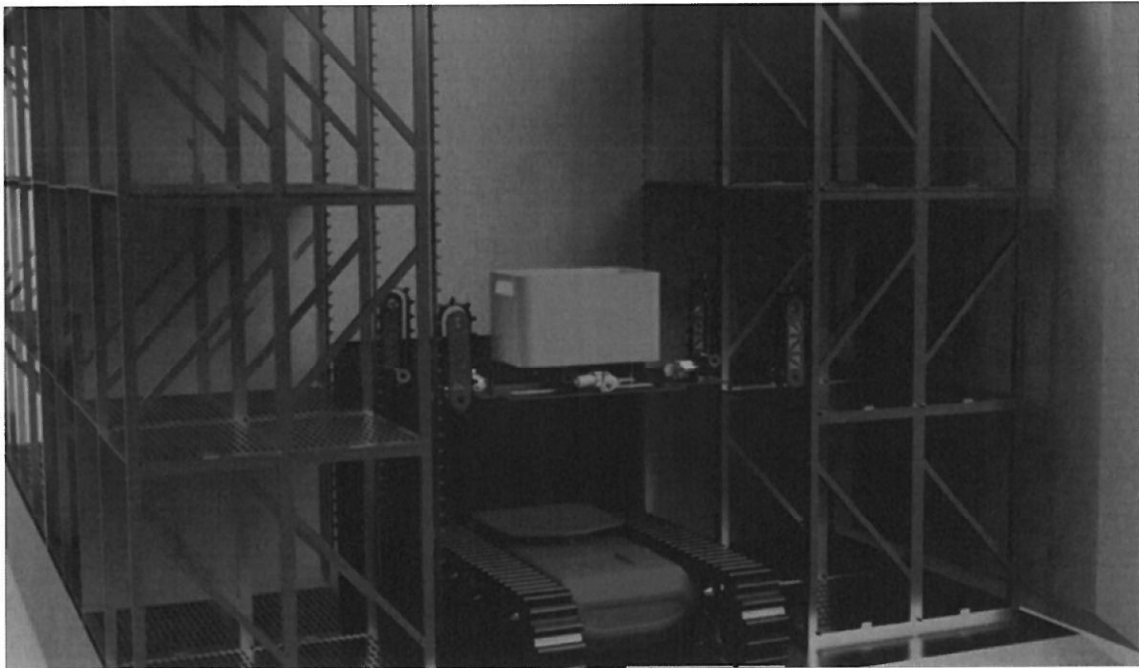
Rys. Robot samojezdny – widoczne przegrody automatyczne między strefami.

Na powyższej wizualizacji widać jedną z koncepcji automatycznej śluzy międzystrefowej. W tej wersji śluza otwiera się w górę umożliwiając przejazd robota ze strefy chłodniczej do mroźniczej.



Rys. Robot w trakcie przejazdu między strefami temperaturowymi.

Po ustawieniu się robota w miejscu pod odpowiednim pionem stelaża magazynowego następuje rozsuniecie czterech ramion z systemami zębatymi i sprzężenie ich z pionowymi zębatkami umożliwiającymi ruch platformy w pionie. Następnie platforma odzepia się od robota samojezdnego i porusza się w górę na żadaną wysokość gdzie kosz z przesyłkami ma zostać wyładowany.



Rys. Transport kosza w pionie za pomocą platformy.

Po dotarciu platformy na wyznaczoną wysokość kosz zostaje umieszczony na półce regału poprzez zintegrowany z platformą system rolek lub pasów transportowych. Ruch kosza może odbywać się w dwóch kierunkach w zależności od tego czy kosz ma zostać zdeponowany na przednim lub tylnym stelażu.

Załadunek kosza na platformę odbywa się w analogiczny sposób jak jego wyładunek. Wykorzystywane w tym celu są specjalne zaczepy umieszczone na platformie transportowej współpracujące z wypustami znajdującymi się w pojemnikach.



Rys. Przekazanie kosza z platformy na stelaż.

Istnieje możliwość zastosowania więcej niż jednej platformy transportowej obsługiwanej przez jednego robota samojezdnego. Miałoby to szczególne znaczenie w przypadku dużych automatów zarówno jeśli chodzi o długość trasy pokonywanej przez robota (powierzchnia maszyny) jak i jej wysokość (większe odległości pokonywane przez platformy w pionie).



Rys. Kosz umieszczony w odpowiednim slocie na stelażu.



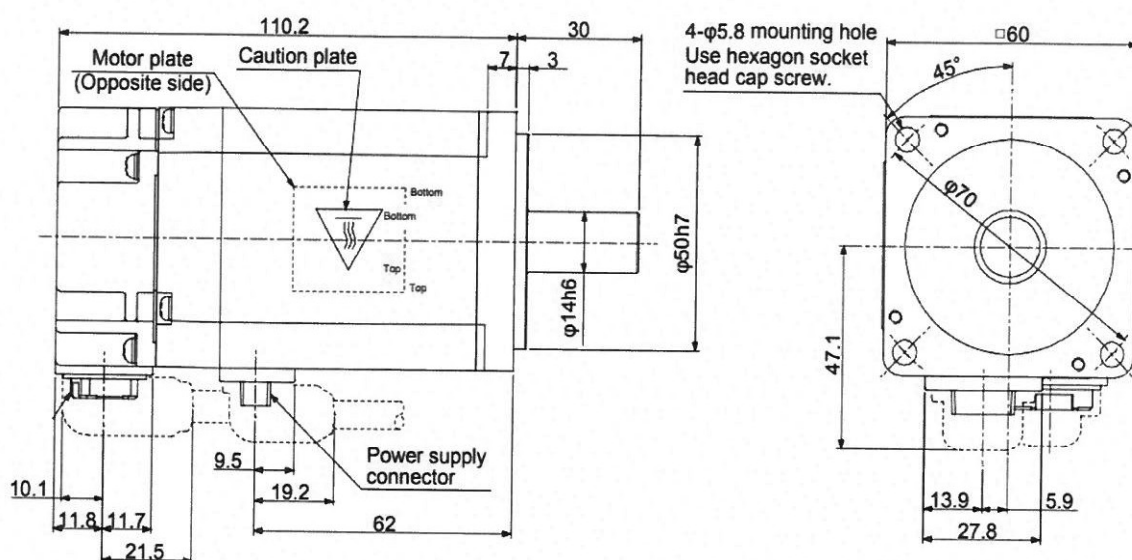
Rys. Powrót platformy na robota samojednego.

Wadą opisywanego rozwiązania wykorzystującego robota samojezdnego i ruchomą platformę transportową jest prędkość przemieszczania się przesyłek wewnątrz automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową. Przesyłka za każdym razem musi pokonywać drogę niezależnie w poziomie i pionie w obu kierunkach w przeciwieństwie do opisywanych wcześniej układów H-bot i Core-XY, gdzie ruch może odbywać się najkrótszą możliwą drogą – po skosie. Niekorzystna jest również skomplikowana metoda pobierania i odkładania kosza za pomocą systemu rolek lub pasów transportowych.

Zaletą omawianego rozwiązania jest relatywnie łatwy sposób tworzenia korpusów o „łamanych” kształtach np. w kształcie litery „L” gdzie robot samojezdny może wykonywać obrót o 90 stopni w miejscu poprzez odpowiednie sterowanie gąsienicami. Prostszy powinien być również serwis robota, który w najgorszym wypadku może polegać na jego szybkiej podmianie i naprawie uszkodzonego w dedykowanym serwisie.

1.1.5. Kinematyka.

W przypadku automatu nadawczo – odbiorczego (ANO) zdecydowano się na napęd w postaci silnika krokowego firmy Mitsubishi serii HF-KN43 o znamionowej prędkości 3000 rpm (obrotów na minutę).



Rys. Wymiary silnika Mitsubishi HF-KN43.

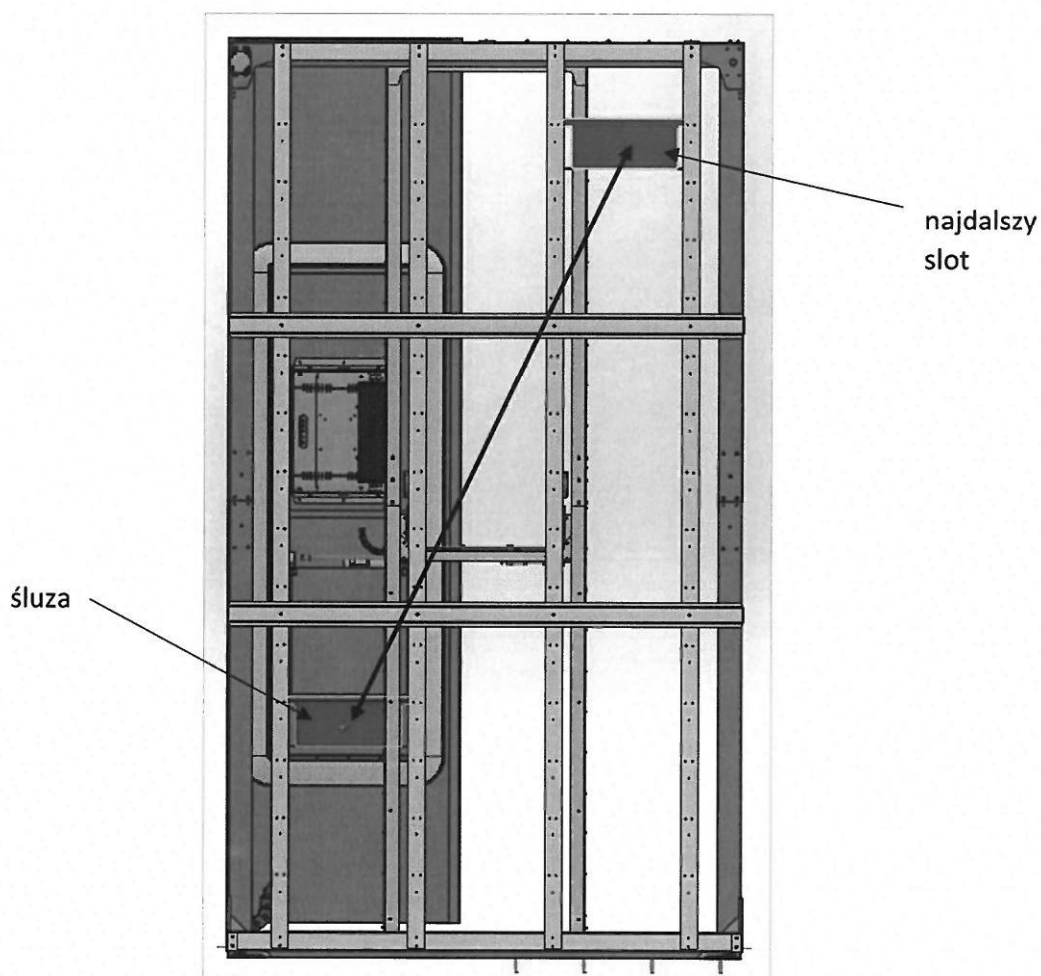
Moment znamionowy	1,3 [Nm]
Maksymalny moment	3,8 [Nm]
Prędkość znamionowa	3000 [rpm]
Maksymalna prędkość	4500 [rpm]
Moment bezwładności	0,42 [kg*cm2]
Masa	1,4 [kg]

Tab. Dane techniczne silnika.

Do obliczeń przyjęto średnią prędkość 1500 rpm co po uwzględnieniu przekładni zębatej o średnicy $d = 50$ mm daje średnią prędkość liniową:

$$V = (1500 \times \pi \times d) / (1000 \times 60) = 3,9 \text{ m/s}$$

Najdłuższa droga jaką musi przebyć paczka od śluzy do skrajnego slotu usytuowanego na ostatniej kolumnie i najwyższym rzędzie to 2050 mm. Stąd na sam ruch robota śluza – slot - śluza potrzebne jest: $T_R = 4,1 / 3,9 = 1,05$ s

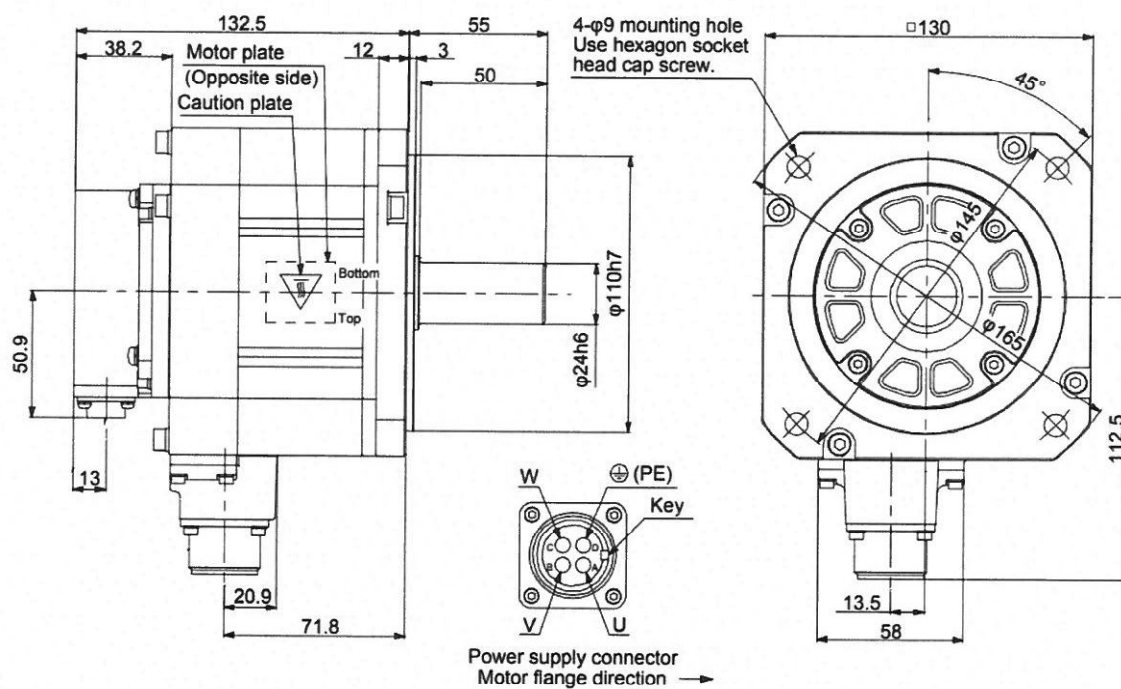


Rys. Najdłuższa droga paczki w automacie ANO.

Czas załadunku kuwety z regału jak i czas wyładunku do śluzy jest równy: $T_M = 4$ s.

Stąd przybliżony czas całej operacji $T = T_R + 2 \times T_M = 1,05 + 2 \times 4 = 9,05$ s

Automat nadawczo – odbiorczy ze stabilizacją temperaturą (ANOST) zostanie wyposażony w silnik krokowy firmy Mitsubishi serii HG-SR102 o znamionowej prędkości 2000 rpm (obrotów na minutę).



Rys. Wymiary silnika Mitsubishi HG-SR102.

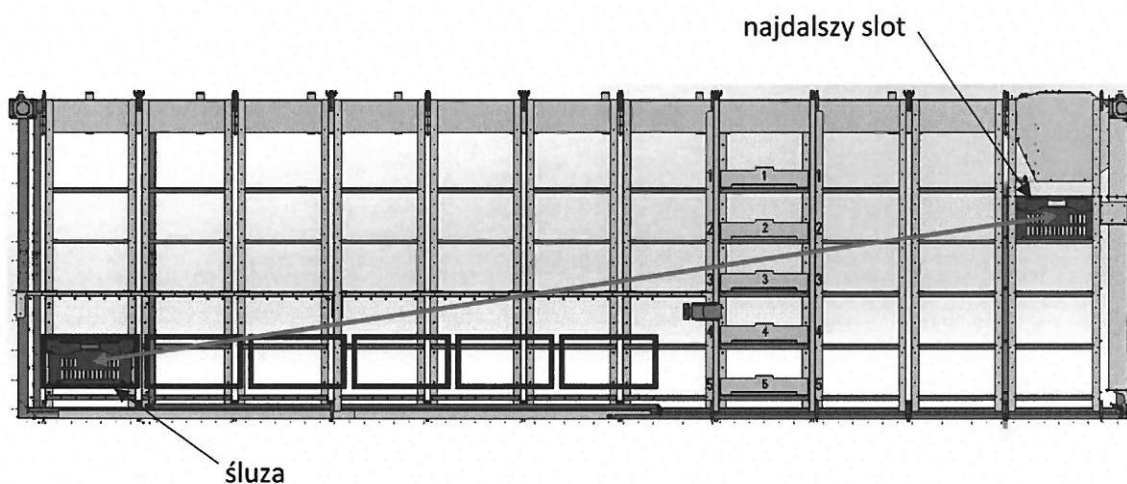
Moment znamionowy	4,8 [Nm]
Maksymalny moment	14,3 [Nm]
Prędkość znamionowa	2000 [rpm]
Maksymalna prędkość	3000 [rpm]
Moment bezwładności	11,6 [kg*cm2]
Masa	6,2 [kg]

Tab. Dane techniczne silnika.

Do obliczeń przyjęto średnią prędkość 1000 rpm co po uwzględnieniu przekładni zębatej o średnicy $d = 50$ mm daje średnią prędkość liniową:

$$V = (1000 \times \pi \times d) / (1000 \times 60) = 2,6 \text{ m/s}$$

Najdłuższa droga jaką musi przebyć paczka od śluzy do skrajnego slotu usytuowanego na ostatniej kolumnie i najwyższym rzędzie to 6600 mm. Stąd na sam ruch robota śluza – slot - śluza potrzebne jest: $T_R = 13,2 / 2,6 = 5,1$ s



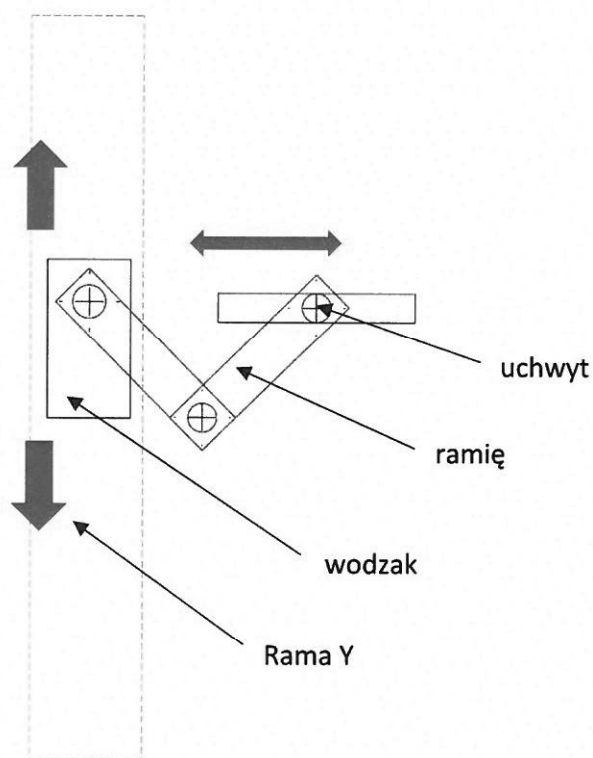
Rys. Najdłuższa droga paczki w automacie ANOST.

Czas załadunku kuwety z regału jak i czas wyładunku do śluzy jest równy: $T_M = 4$ s.

Stąd przybliżony czas całej operacji $T = T_R + 2 \times T_M = 5,1 + 2 \times 4 = 13,1$ s

1.2. Mechanizm chwytakowy.

Mechanizm chwytakowy jest osadzony na tzw. wodzaku czyli wózku wodzonym za pomocą pasów zębatych po pionowym torze liniowym wyznaczonym przez Ramę Y (wewnętrzną ramę robota). Chwytak składa się z pary zginanych ramion nośnych napędzanych silnikiem znajdującym się w wodzaku. Na końcu ramion znajduje się uchwyt przesyłki różny w zależności od jej rodzaju i typu robota. Poniżej przedstawiono schematycznie budowę mechanizmów chwytakowych. Szczegółowe informacje dotyczące budowy różnych wariantów mechanizmów znajdują się kolejnych podpunktach niniejszego raportu.



Rys. Schematyczna budowa mechanizmu chwytakowego z wariantów mechanizmu chwytakowego.

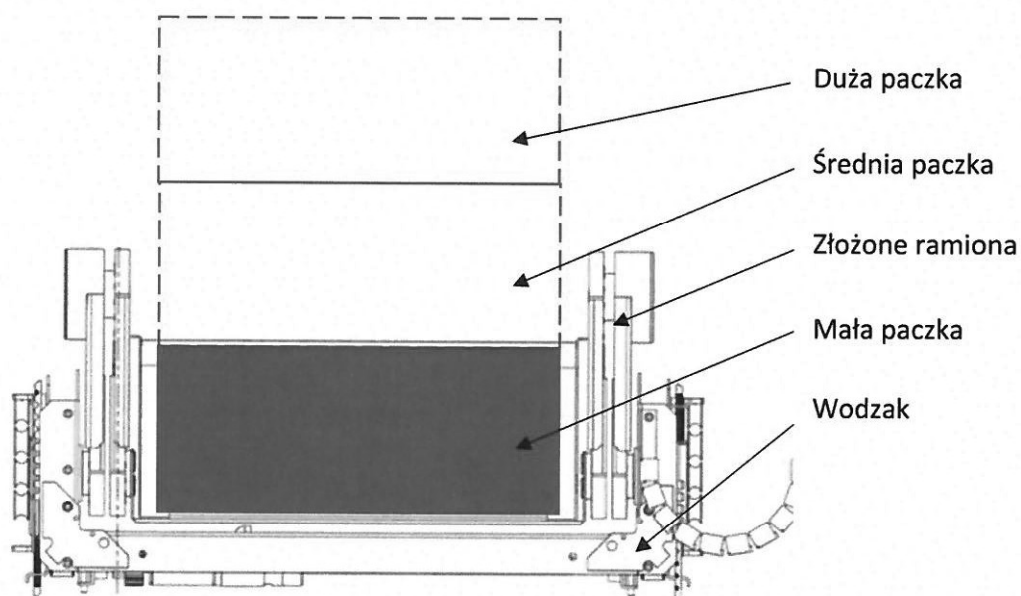
1.2.1. Chwytnik ANO.

Automat do wydawania przesyłek kurierskich wymaga mechanizmu chwytakowego przystosowanego do przenoszenia paczek o maksymalnych wymiarach:

- Małe: 150 x 250 x 350 [mm] (wysokość x głębokość x szerokość)
- Średnie (dwie małe + luz 20 mm pomiędzy nimi): 320 x 250 x 350 [mm]
- Duże (trzech małe + 2x luz 20 mm pomiędzy nimi): 490 x 250 x 350 [mm]

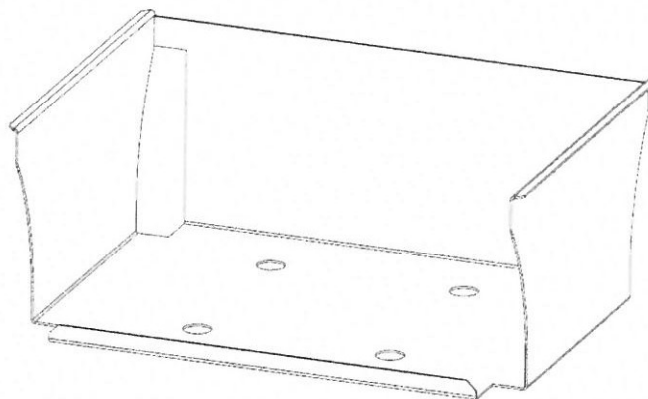
Maksymalna waga przesyłki to 7 kg.

Zmienna wysokość transportowanych przesyłek wymusza zastosowanie mechanizmu chwytakowego o ramionach łamanych w górę tak, aby nie dochodziło do kolizji z wodzakiem robota.



Rys. Różne wysokości przesyłek przy zamkniętym ramieniu mechanizmu chwytakowego.

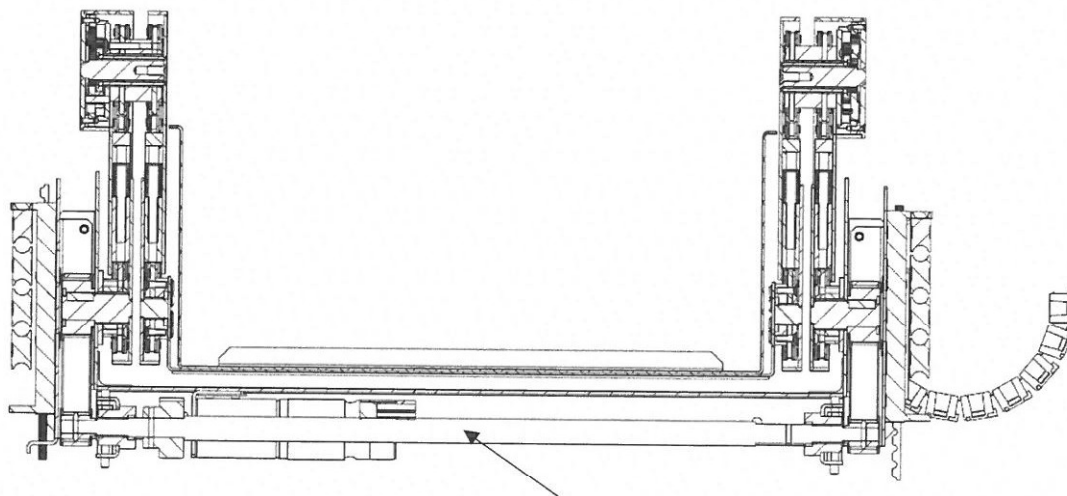
Do transportu przesyłek w obrębie urządzenia używane są tzw. kuwety, w których ułożone są paczki od momentu załadunku w służbie, poprzez ich drogę na stelaż i z powrotem w celu wydania klientowi. Kuweta ma wymiary: 150 x 260 x 374 [mm] (wysokość x głębokość x szerokość) i zbudowana jest z blachy nierdzewnej grubości 1,5 mm.



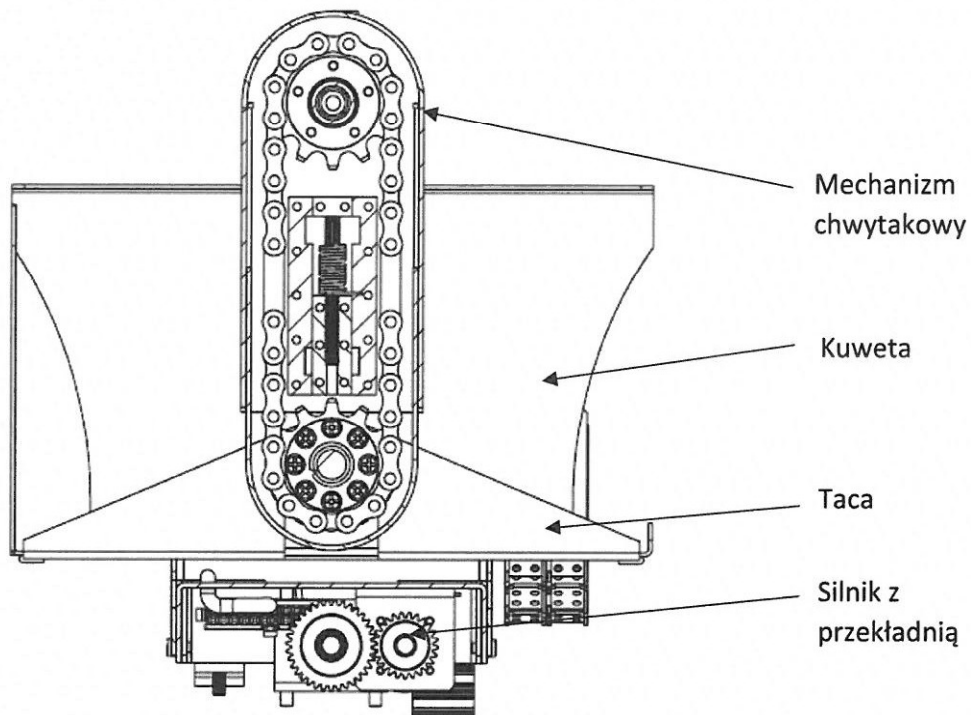
Rys. Kuweta do transportu przesyłek w obrębie automatu.

Poza zabezpieczeniem paczki podczas transportu wewnątrz automatu, kuweta tworzy również przestrzeń do przechowywania poprzez umieszczanie jej na specjalnych wypustach stelaży z wykorzystaniem bocznych zagięć.

Kuweta pobierana jest z przedniego lub tylnego stelaża urządzenia za pomocą tacy transportowej zamontowanej do dwóch zginanych ramion nośnych poruszanych wałkiem umiejscowionym pod wodzakiem. Wałek napędzany jest silnikiem poprzez przekładnię zębatą.

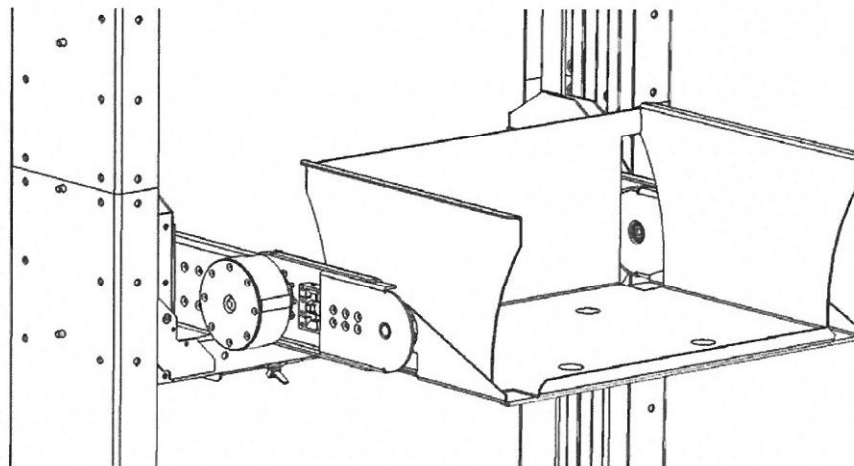


Rys. Wałek napędowy widoczny pod wodzakiem.



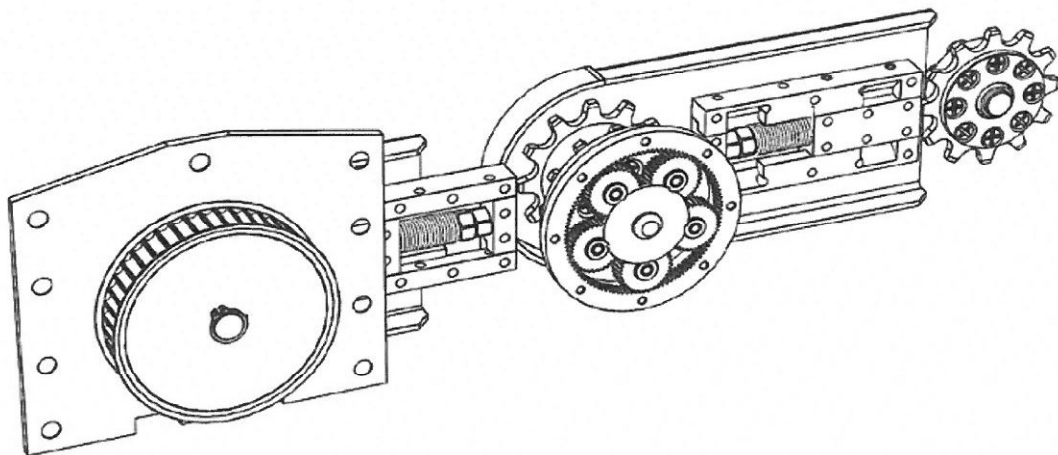
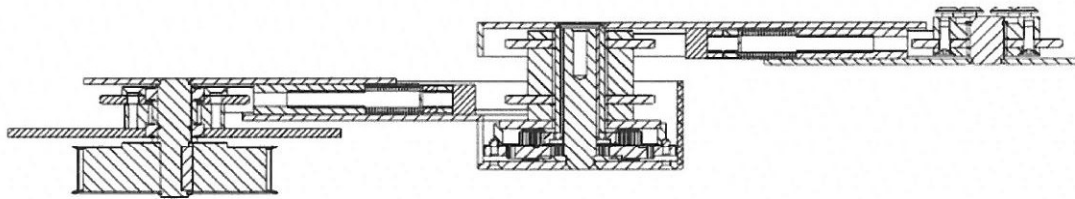
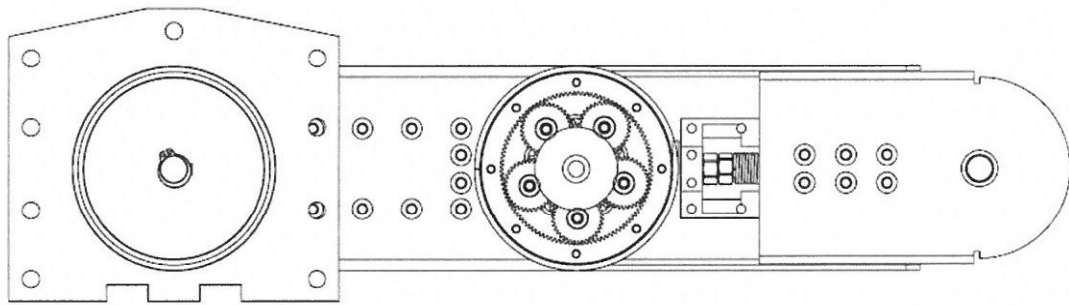
Rys. Przekrój boczny złożonego ramienia oraz przekładni

Zginane ramiona nośne posiadają dwustopniowe przekładnie łańcuchowe w każdym z dwóch wahliwych członów. W przegubach ramion znajdują się przekładnie planetarne dzięki czemu zapewniony zostaje stały poziom pracy tacy transportowej, a ryzyko przechyłu i wypadnięcia przesyłki z kuwety podczas ruchu w kierunku przedniego lub tylnego stelaża jest zminimalizowane.



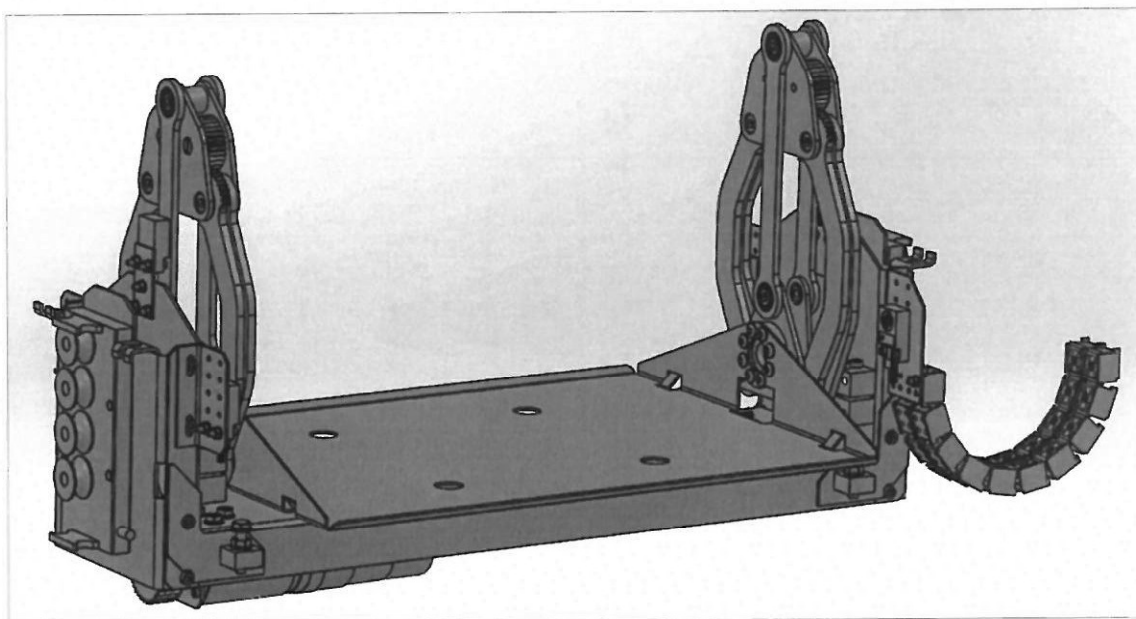
Rys. Mechanizm w pozycji wysuniętej.

Poniższe przekroje przedstawiają konstrukcję ramienia w pozycji w pełni wysuniętej. Widać na nich napinacze łańcuchów znajdujące się w każdym członie pomiędzy dwoma rozsuwanymi elementami z kołami zębatymi.

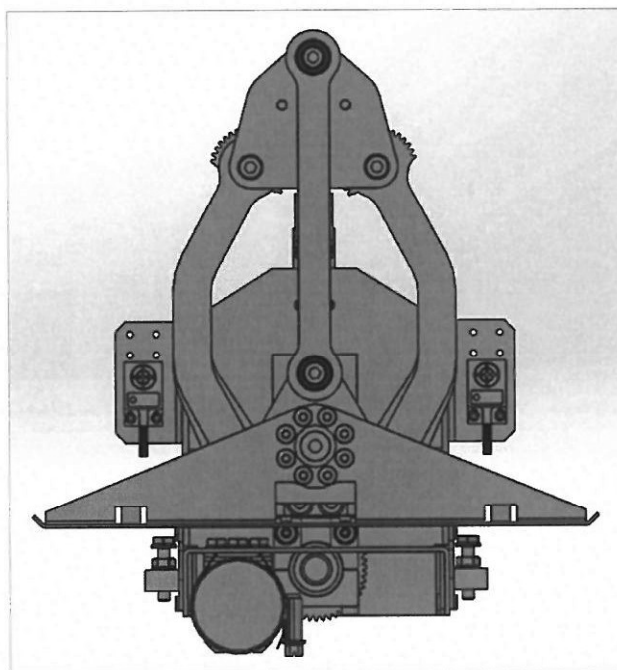


Rys. Przekroje ramienia z widocznymi napinaczami łańcuchów.

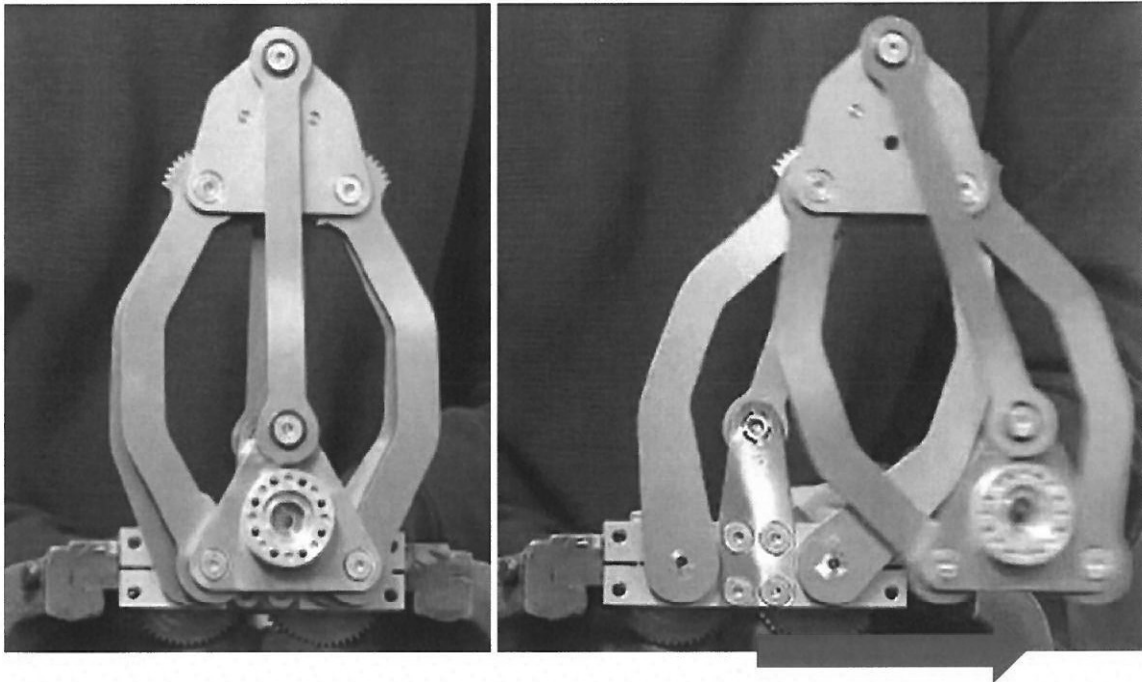
Alternatywnie rozważanym rozwiązaniem był przedstawiony poniżej tzw. mechanizm chwytakowy „3W”, który jednak został odrzucony na etapie wstępnego prototypu ze względu na poziom skomplikowania i wysokie koszty produkcji.



Rys. Model 3D mechanizmu chwytakowego „3W”.



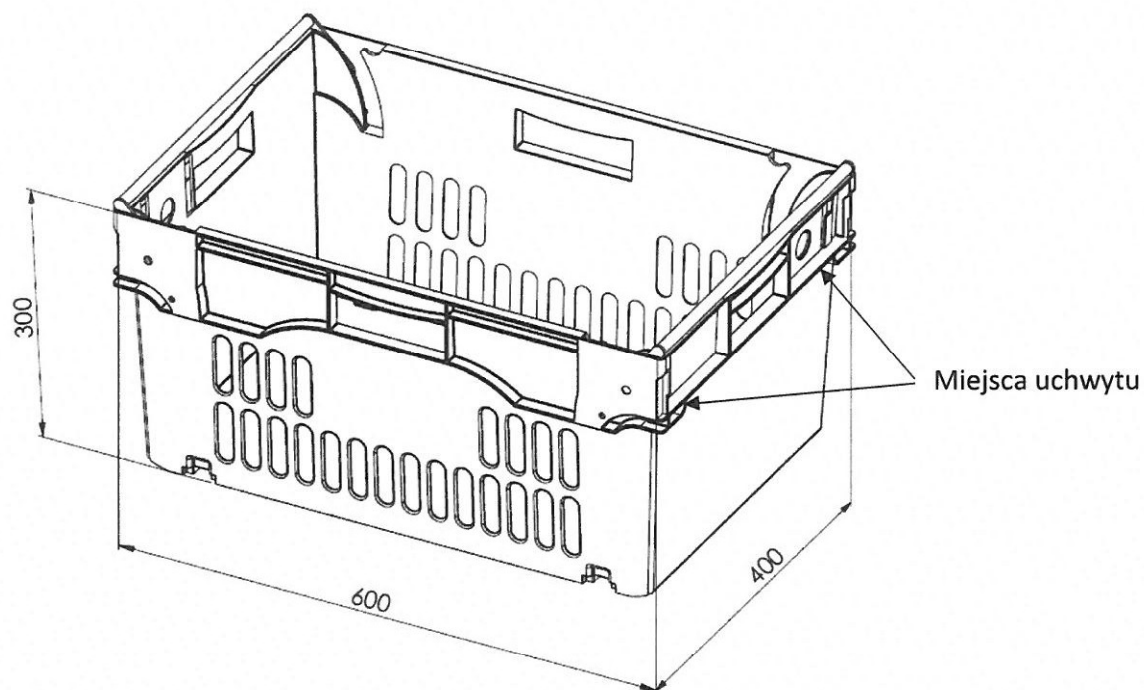
Rys. Przekrój przez mechanizm „3W”.



Rys. Zasada działania mechanizmu chwytakowego „3W” podczas testów wstępnego prototypu – pozycja neutralna oraz mechanizm w trakcie wysięgu w prawo.

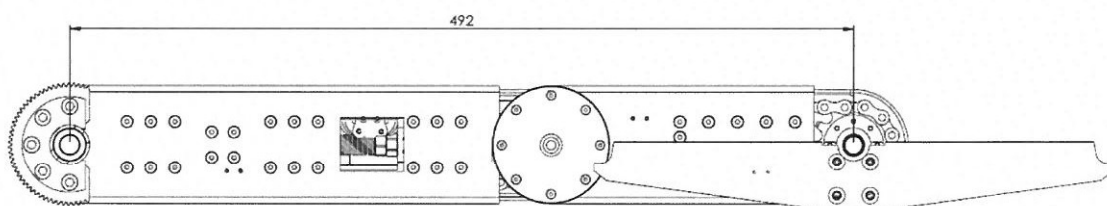
1.2.2. Chwytał ANOST.

Automat nadawczo – odbiorczy ze stabilizacją temperaturą jest przeznaczony do przechowywania i wydawania towarów umieszczonych w wykonanym z tworzywa sztucznego standardowym koszu transportowym o wymiarach: 300 x 400 x 600 [mm] (wysokość x głębokość x szerokość). Kosz posiada własne ruchome uchwyty jednak mechanizm chwytałowy korzysta z jego bocznych wypustów do przenoszenia za pomocą specjalnie wyprofilowanych podpór. Kosze transportowe posiadają perforowane ścianki boczne aby ułatwić przenikanie chłodnego powietrza do ich wnętrza.



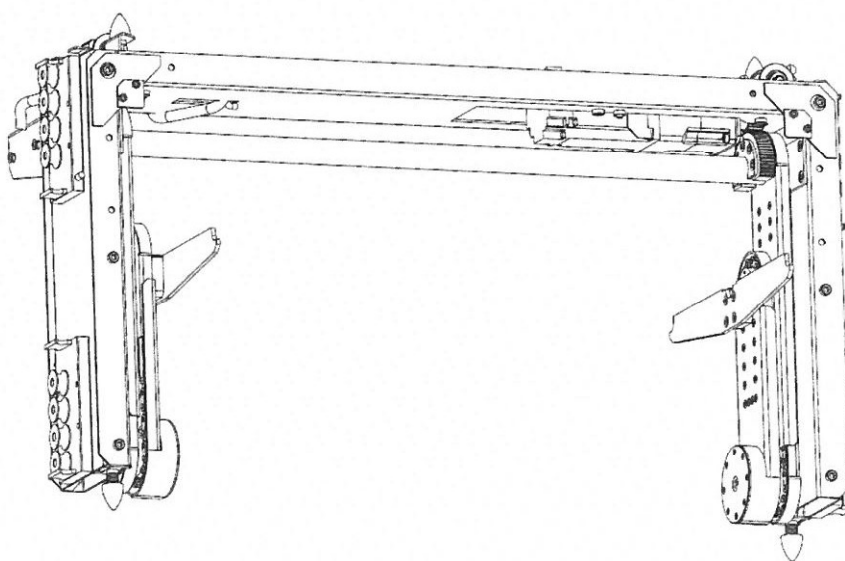
Rys. Kosz transportowy.

Konstrukcja ramion w automacie z funkcją chłodzenia jest podobna do tej z wersji bez chłodzenia. Przede wszystkim ze względu na stałą wysokość kosza transportowego ramię zgina się w dół zamiast w górę. Pierwszy człon ramienia jest dłuższy od drugiego aby umożliwić pełne złożenie bez kolizji kosza z wałem napędowym mechanizmu, który w przypadku maszyny chłodniczej umiejscowiony jest pod wodzakiem. Maksymalny wysięg ramienia liczony pomiędzy skrajnymi osiami członów wynosi 492 mm. Każdy z członów wyposażony jest w napinacz łańcucha znajdujący się pomiędzy dwoma rozsuwanymi elementami z kołami zębatymi.



Rys. Rozłożone ramię mechanizmu chwytakowego.

Wodzak porusza się w pionie wewnątrz ramy Y z wykorzystaniem systemu rolek. Ramiona wysuwają się dzięki silnikowi przenoszącemu napęd poprzez przekładnię zębatą na wałek poruszający członami.



Rys. Wodzak ANOST w pozycji zamkniętej widziany od spodu.

1.3. Śluza.

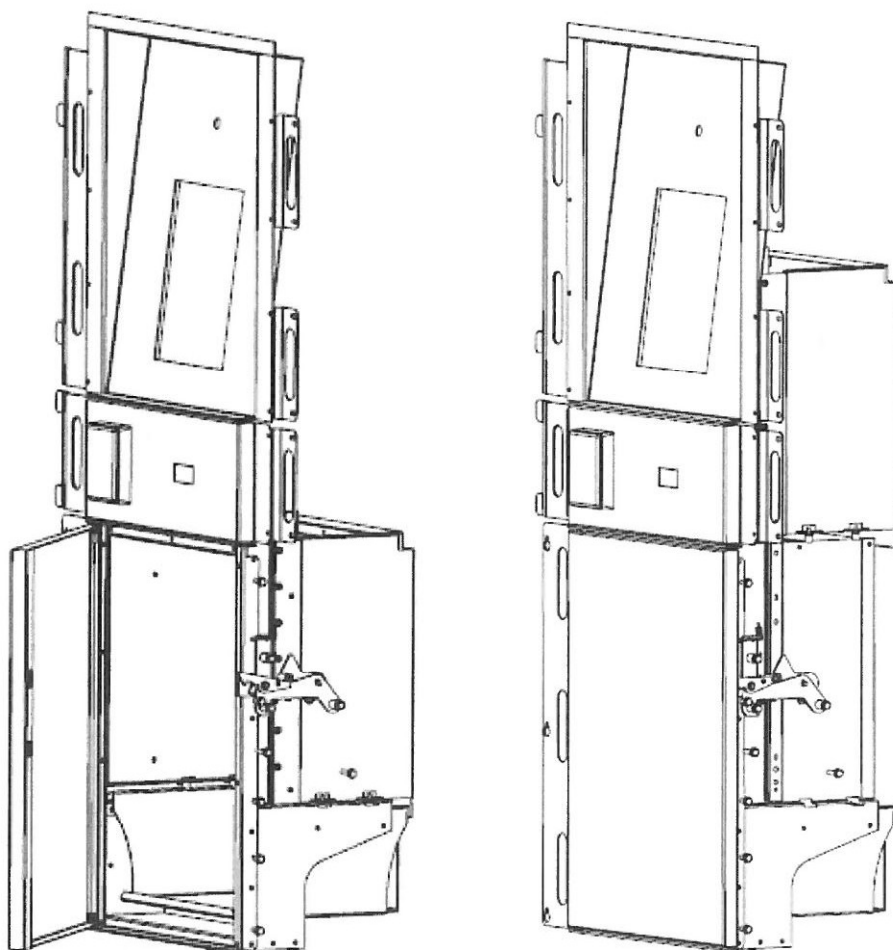
Okno nadawczo – odbiorcze wraz ze śluzą są ważnymi innowacjami w opisywanych automatach. Wraz z zintegrowanym interfejsem umożliwiają one wygodny odbiór przesyłek w jednym miejscu bez konieczności przemieszczania się pomiędzy ekranem gdzie inicjowana jest operacja, skrytką gdzie przesyłka jest odebrana i z powrotem interfejsem gdzie operacja jest finalizowana. W skrajnych przypadkach modułowych automatów paczkowych klient musi pokonywać w sumie kilkadziesiąt metrów aby odebrać przesyłkę co jest uciążliwe i czasochłonne. Opisywana kwestia jest również niezwykle istotna w przypadku załadunku maszyny przez kuriera – podobnie jak w przy odbiorach całość operacji odbywa się w jednym miejscu przy oknie nadawczo – odbiorczym i eliminuje konieczność zbędnego poruszania się wzdłuż automatu.

Kolejnym istotnym atutem jest stała wysokość okna nadawczo – odbiorczego na poziomie 50 cm przystosowana do obsługi przez osoby niepełnosprawne. W dotychczasowych automatach paczkowych skrytki znajdowały się na różnych wysokościach od 20 cm nad ziemią do ponad 180 cm co w niektórych przypadkach uniemożliwiało odbiór przesyłki ludziom z ograniczeniami ruchowymi.

W przypadku automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową (ANOST) okien jest kilka co dodatkowo umożliwia obsługę maszyny przez więcej niż jednego klienta jednocześnie lub równoległe działanie klienta i kuriera.

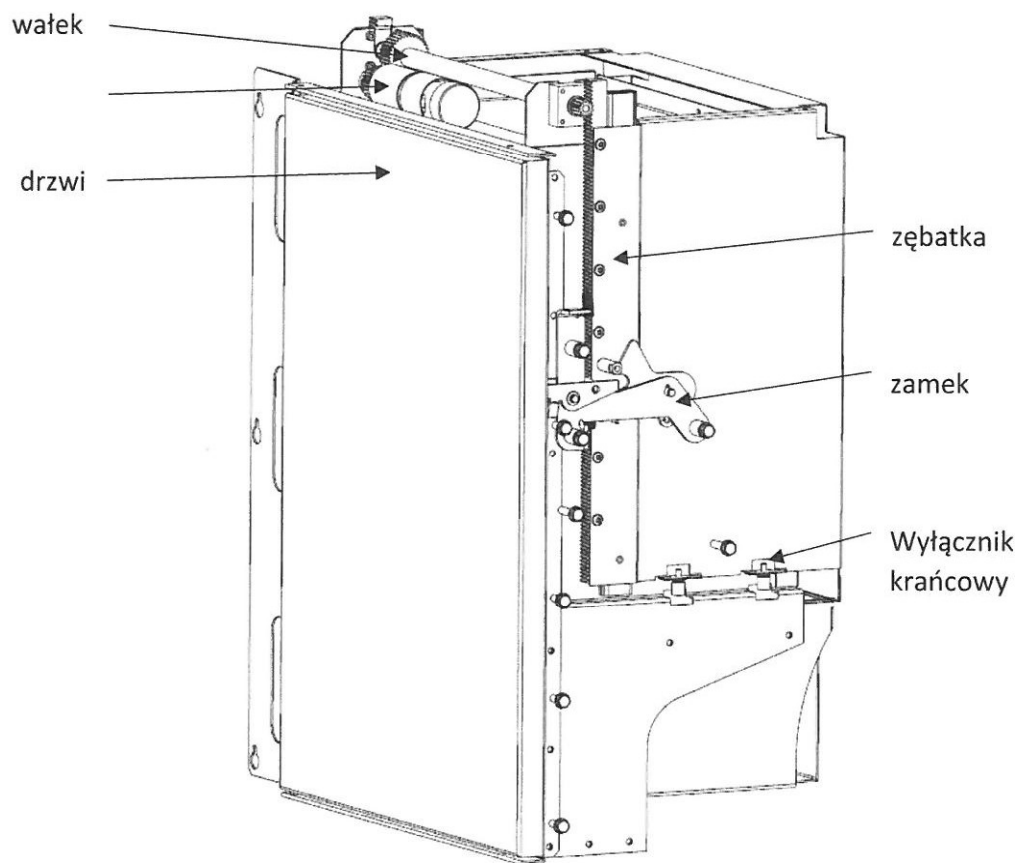
1.3.1. Śluza ANO.

Śluza jest specjalnie zmodyfikowaną wersją skrytki na paczki. Ma postać otwartej przelotowo wnęki wyposażonej w boczne podpory na kuwetę. Śluza od frontu zamykana jest automatycznymi drzwiami obsługiwany przez zamek elektromagnetyczny. We wnętrzu w tylnej części znajduje się podnoszona automatycznie śluza zabezpieczona mechanicznymi wyłącznikami krańcowymi i zamkiem zapadkowym co ma na celu zabezpieczenie przed dostaniem się do wnętrza urządzenia przez osobę nieuprawnioną poprzez blokowanie śluzy w dolnym położeniu przy otwartych drzwiach dostępowych.



Rys. Śluza w pozycji dolnej przy otwartych drzwiach (po lewej) i górnej przy zamkniętych (po prawej).

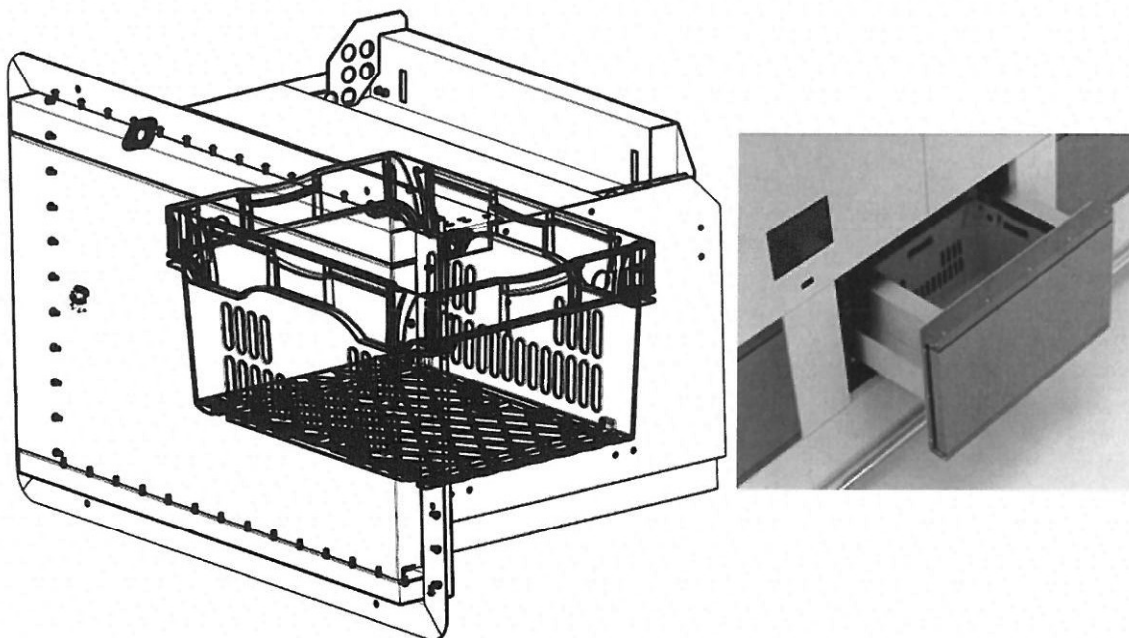
Śluza napędzana jest silnikiem, który wraz z wałkiem osadzony jest na górnej ścianie skrytki. Wałek poprzez osadzone na jego końcach koła zębate współpracuje z listwami zębatymi zamocowanymi na bocznych ściankach śluzy.



Rys. Konstrukcja śluzy.

Na boku skrytki ponad jej szynami umieszczony jest skaner do pomiaru rzeczywistej wysokości paczki, który wysyła sygnał do systemu automatycznej optymalizacji przestrzeni magazynowej w dystrybutorze. W skrytce w szynie półki zabudowany jest czujnik do ustalania rzeczywistej wagi paczki, który wysyła sygnał alarmowy, dźwiękowy albo świetlny, po przekroczeniu dopuszczalnej dla paczki wagi.

1.3.2. Śluza ANOST.

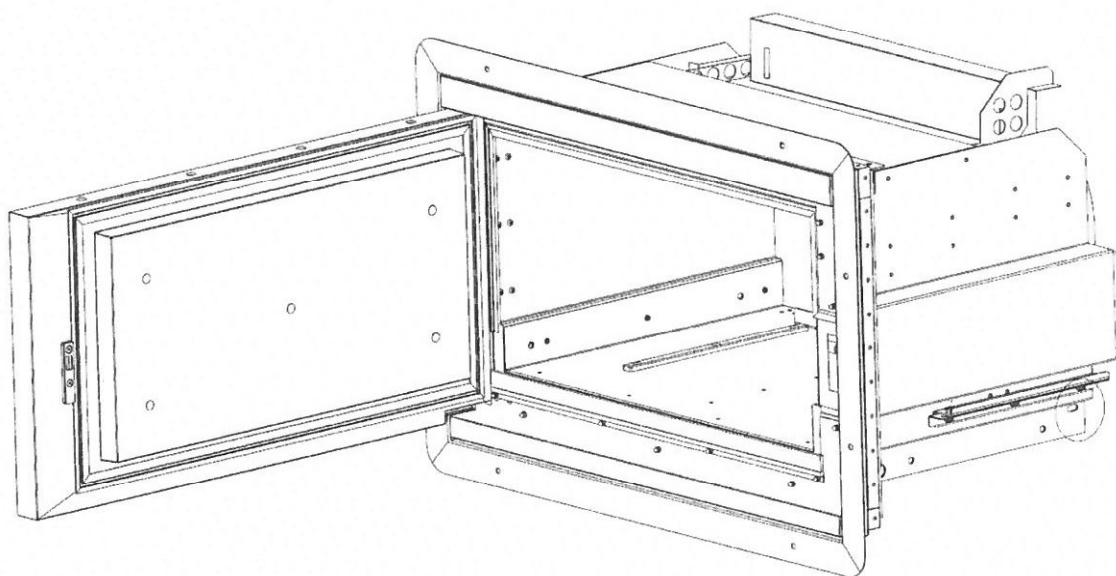


Rys. Kosz transportowy w obrysie śluzy.

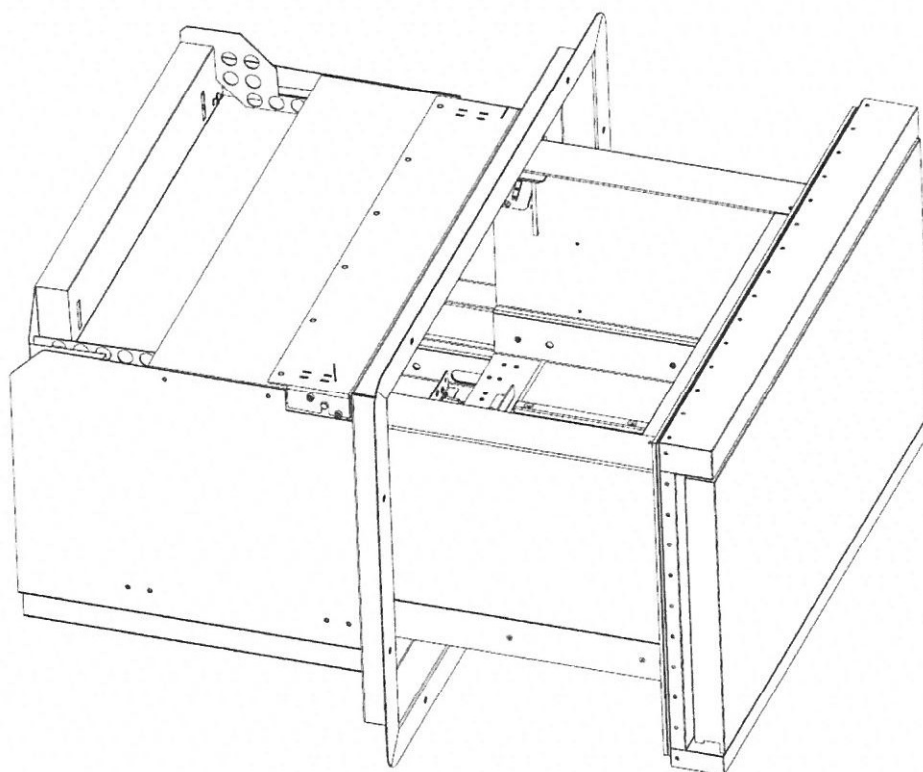
Śluza automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową musi spełniać inne funkcje niż ta z automatu paczkowego w związku z czym jej konstrukcja i zasada działania są odmienne. Dostęp do śluzy można uzyskać na dwa odmienne sposoby:

- kurier – otwarcie automatycznych drzwi,
- klient – wysunięcie automatycznej szuflady.

Ma to na celu uniemożliwienie wyciągnięcia kosza przez klienta, który wyciąga tylko towar znajdujący się wewnątrz. Z kolei kurier przywozi przesyłki w koszach i musi mieć możliwość włożenia kosza oraz ewentualnego odbioru pustych pojemników z wnętrza maszyny. Dodatkowo wysunięcie śluzy w formie szuflady powoduje odcięcie dostępu do wnętrza maszyny gdzie znajduje się ruchomy robot. Dzieje się tak ponieważ umieszczona w poziomie bariera opada i blokuje się w pozycji zamkniętej do momentu ponownego wsunięcia szuflady.



Rys. Otwarte drzwi śluzy – dostęp dla kuriera.



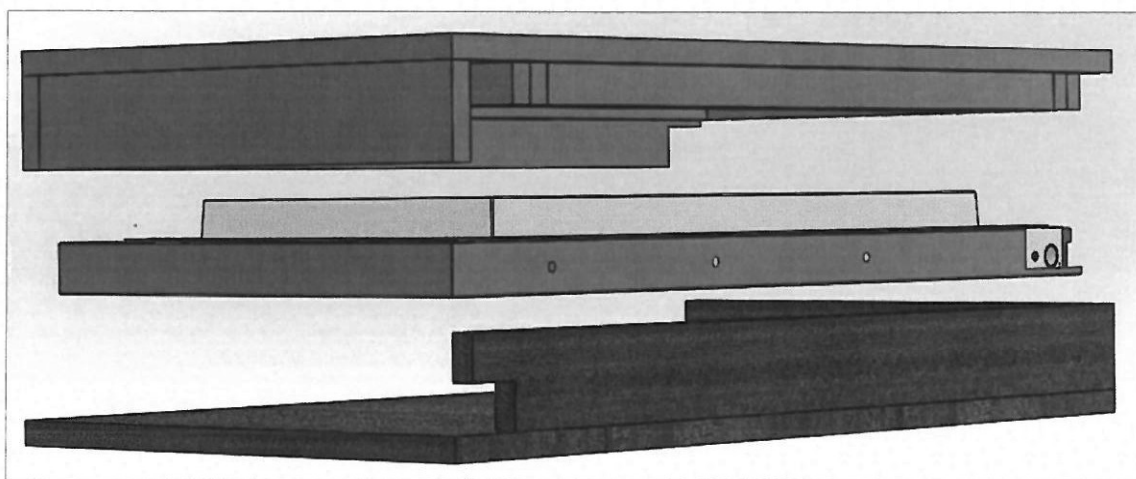
Rys. Otwarta szuflada śluzy – dostęp dla klienta.

Śluza w automacie nadawczo – odbiorczym ze stabilizacją temperaturową musi być odpowiednio izolowana aby minimalizować straty ciepłe. W związku z tym zarówno drzwi jak i ich ościeżnica są wypełniane pianą poliuretanową poprzez jej wtrysk specjalnym aplikatorem. Do przeprowadzenia tego procesu przewiduje się użycie dwuskładnikowej piany poliuretanowej w przenośnym zestawie rozpylającym, umożliwiającym szybkie i łatwe spienianie poliuretanu wysokiej jakości w dowolnym miejscu na hali produkcyjnej.

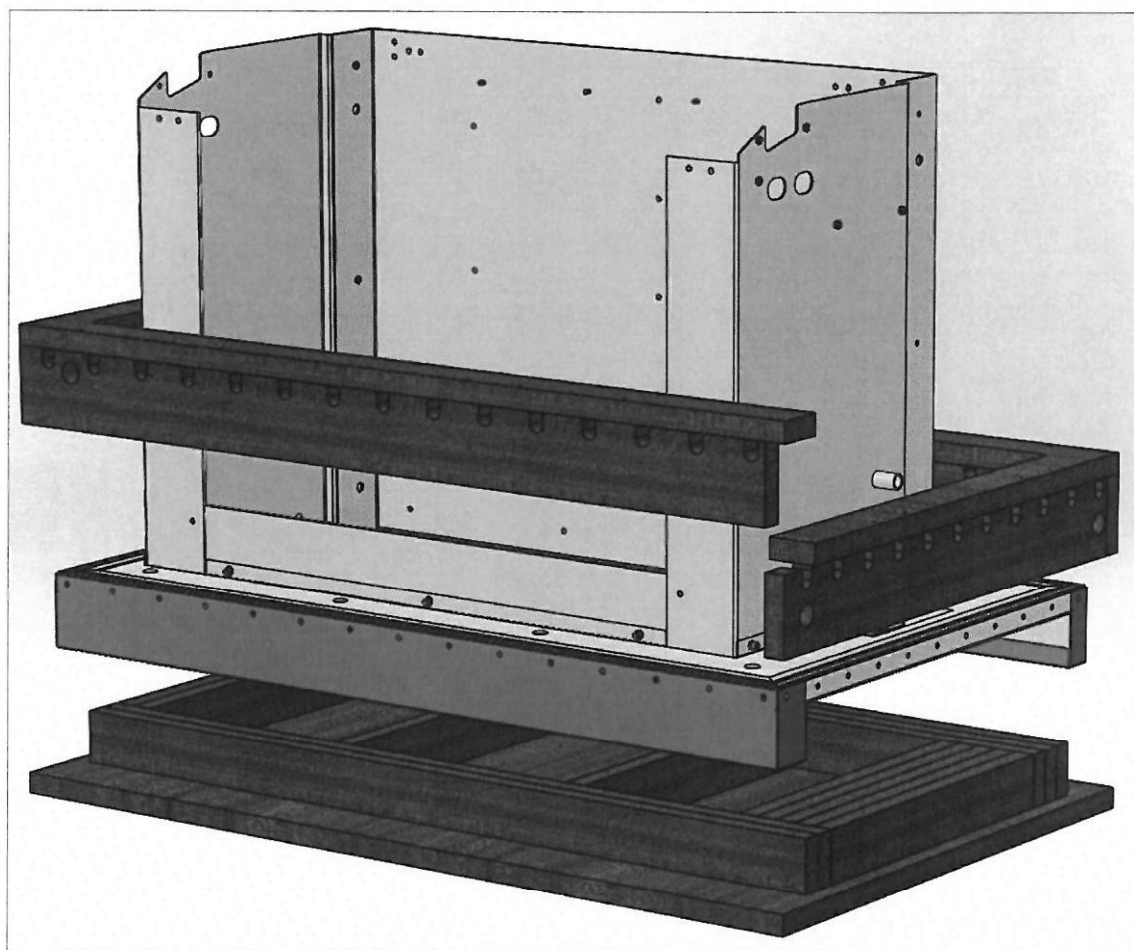


Rys. Zbiorniki ciśnieniowe ze składnikami piany.

Dla uniknięcia odkształceń pianowanych elementów oraz zapewnienia powtarzalności procesu zostaną zbudowane dwie formy na pazie płyt szalunkowych. Na podstawie wymiarów pianowanych elementów szacuje się, że w przypadku drzwi czas pianowania stopniowo wysuwaną dyszą wynosić będzie 12-13 sekund. W przypadku ościeżnicy należy przewidzieć dwa punkty wtrysku, każdy po 14-15 sekund oraz dodatkowy otwór odpowietrzający. Zestaw obu elementów będzie wymagał aplikacji ok. 0,035 m³ piany.

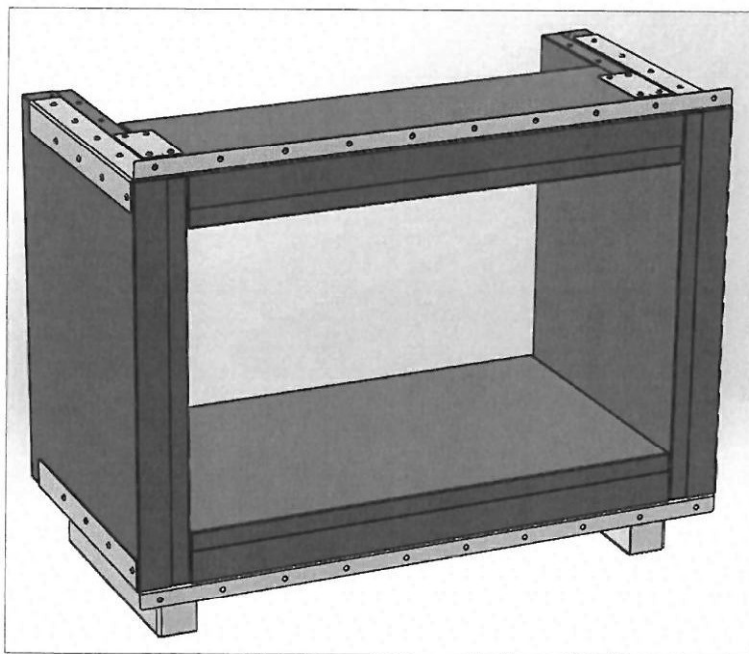


Rys. Forma do pianowania drzwi – widok rozstrzelony.



Rys. Forma do pianowania ościeżnicy – widok rozstrzelony.

Poza drzwiami i ościeżnicą śluza jest dodatkowo chroniona tzw. tunelem czyli czterema prostopadłościami elementami, które ze względu na prostą budowę i czasochłonny proces pianowania nie będzie wypełniana metodą natryskową. Zamiast tego w jej wnętrzu zostaną umieszczone przycięte na wymiar płyty ze styroduru o grubości 80 mm. Materiał ten daje właściwości izolacyjne bardzo zbliżone do utwardzonej piany.

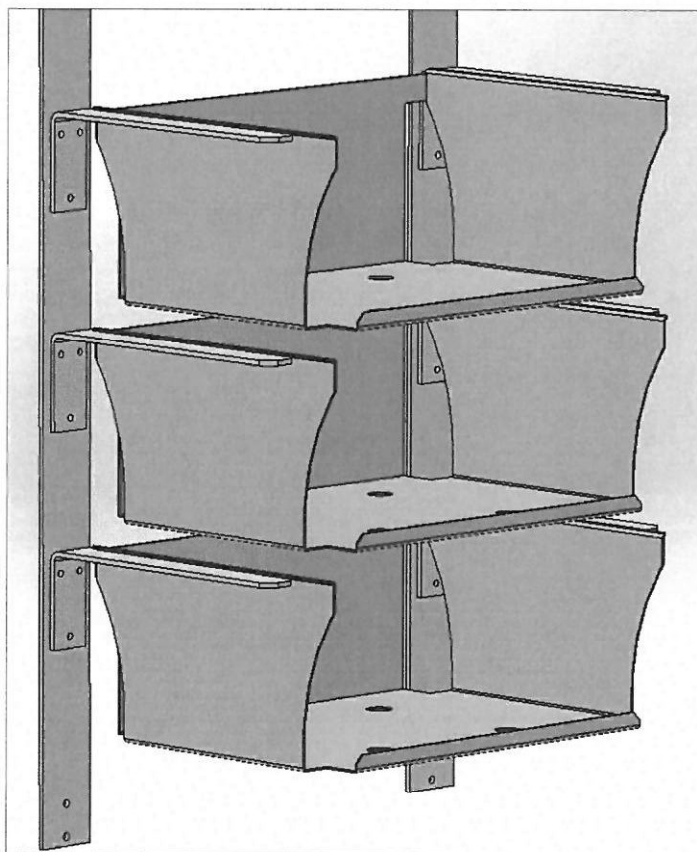


Rys. Tunel izolujący śluzę.

2. Konstrukcja stelaży magazynowych.

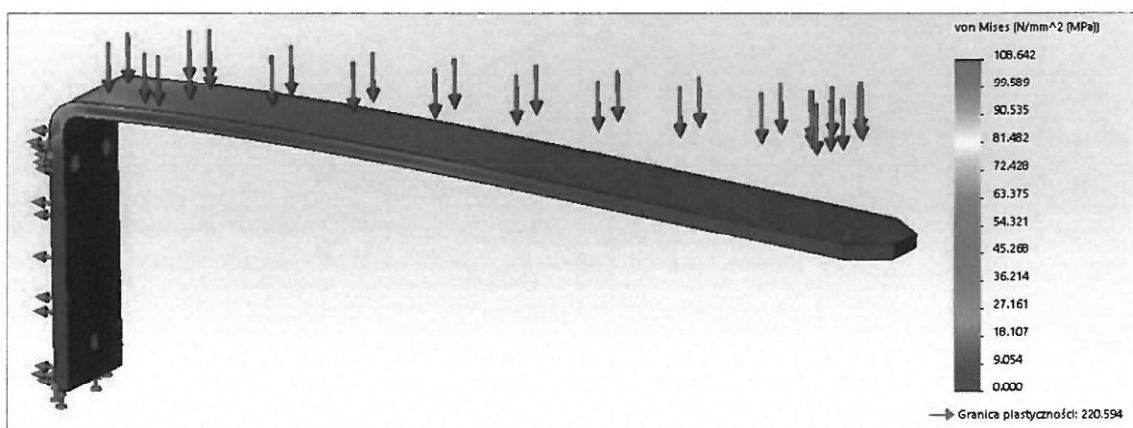
2.1. Stelaże ANO.

Stelaże w automacie nadawczo – odbiorczym dla przesyłek pełnią funkcje podpór dla kuwet z paczkami wypełniając całą ścianę tylną urządzenia oraz przednią z wyjątkiem miejsca na interfejs użytkownika i służę. Mają formę pionowo montowanych płaskowników z blachy nierdzewnej grubości 4 mm sięgających na całą wysokość maszyny, do których nitowane są kątowniki obustronnie podpierające kuwety z przesyłkami.

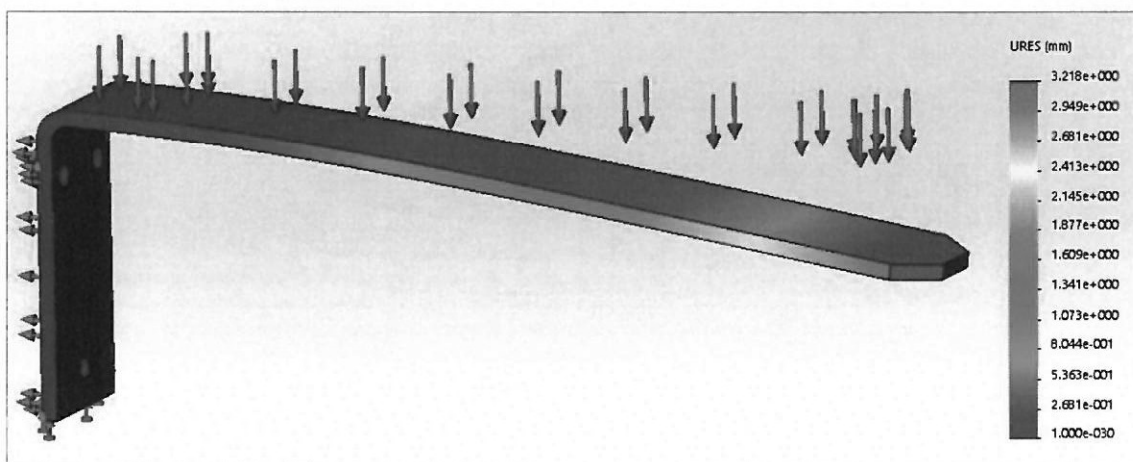


Rys. Wycinek pionu stelaży ANO.

W celu weryfikacji wytrzymałości podpór wykonano badania metodą elementów skończonych obciążając układ siłą 70 N odpowiadającą obciążeniu kuwety przesyłką o maksymalnej dopuszczalnej wadze 7 kg.



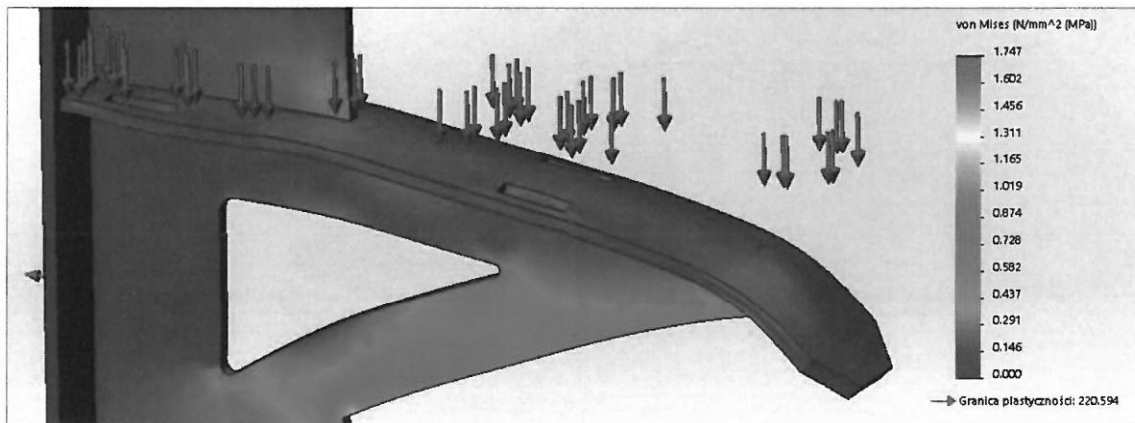
Rys. Wykres naprężeń.



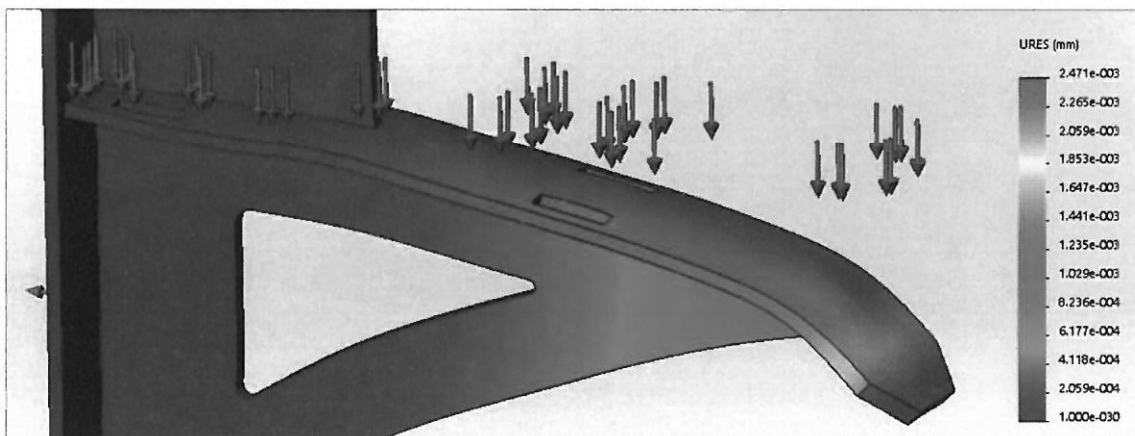
Rys. Wykres przemieszczenia.

Badanie wykazało maksymalne naprężenia na poziomie 110 MPa przy zagięciu kątownika, maksymalną strzałkę ugięcia ok. 3 mm oraz w najniższy współczynnik bezpieczeństwa $k = 2$. Ponieważ nie są to wystarczające wyniki w szczególności jeśli chodzi o odkształcenie w kontekście wymaganej dokładności działania robota konstrukcja stelaży została zmodyfikowana i poddana kolejnemu badaniu.

Zamiast nitowanych kątowników wprowadzono konstrukcję spawaną z dodatkowymi zastrzałami pod blachą podtrzymującą kuwety z paczkami.



Rys. Wykres naprężeń.

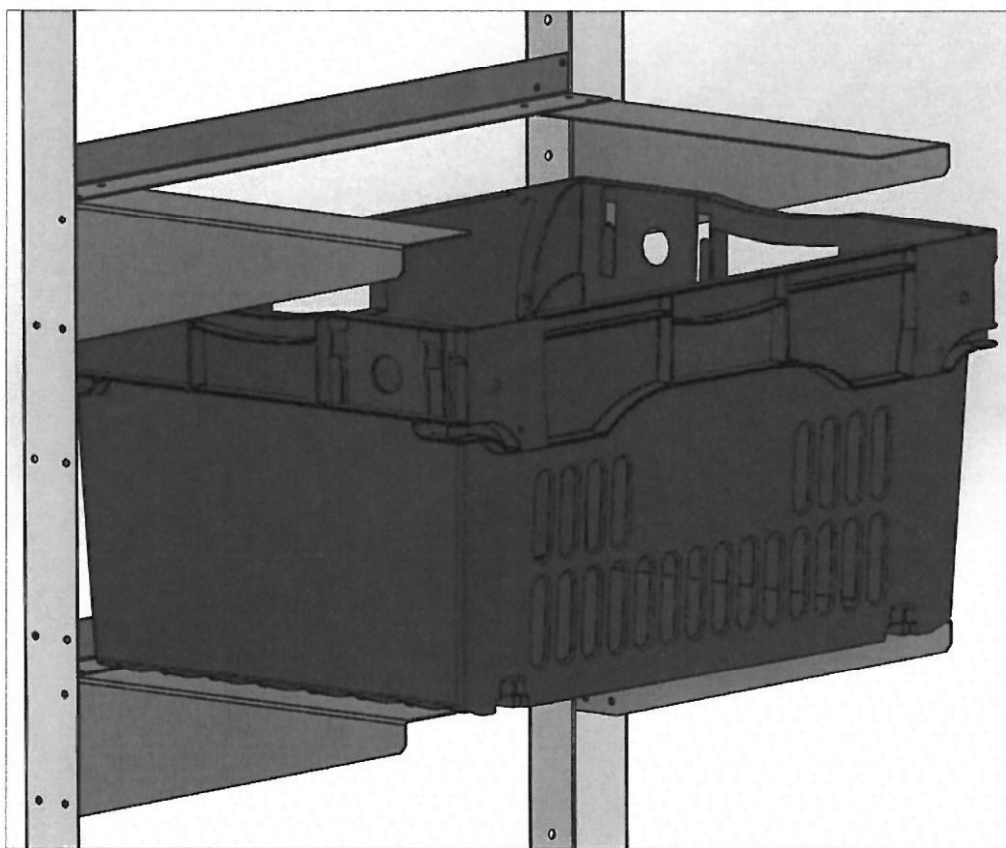


Rys. Wykres przemieszczenia.

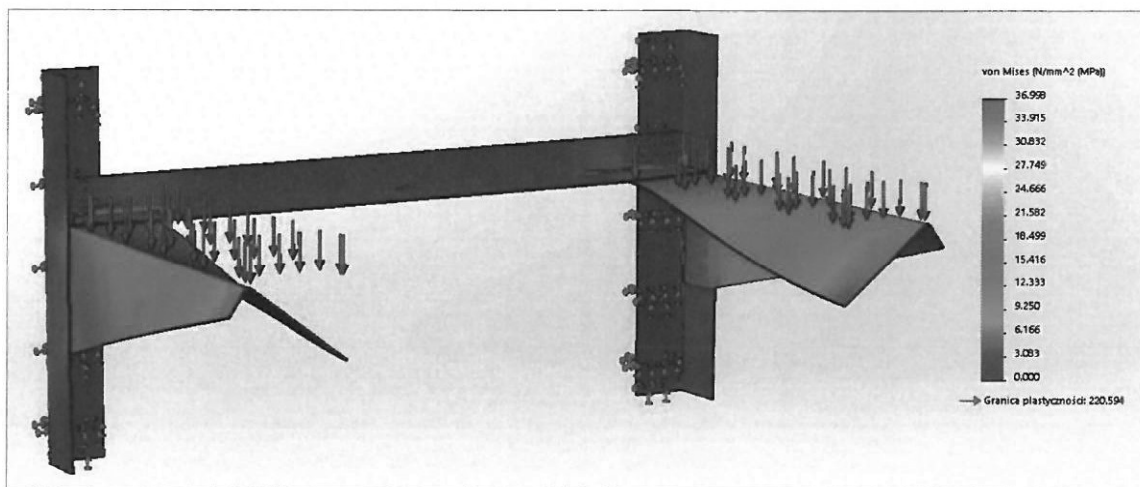
Badanie wykazało maksymalne naprężenia na poziomie 2 MPa przy pomijalnej przy założonych obciążeniach maksymalnej strzałce ugięcia oraz najniższy współczynnik bezpieczeństwa $k = 120$. Wyniki są zadowalające i taka konstrukcja stelaży zostanie zastosowana w prototypie urządzenia.

2.2. Stelaże ANOST.

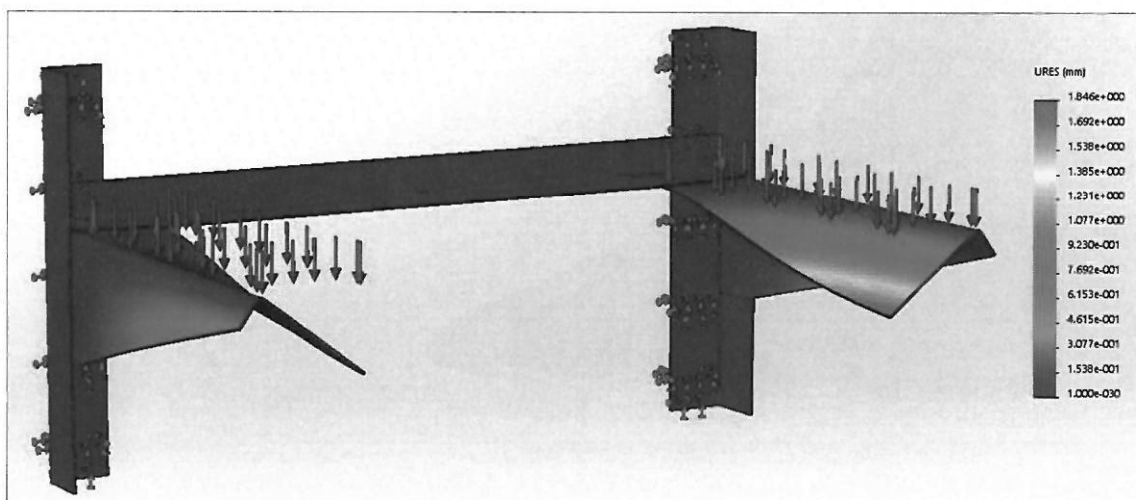
Stelaże automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową są przystosowane do przechowywania standardowych koszy transportowych opisanych w punkcie 1.2.2. niniejszego opracowania obciążonych towarem o ciężarze nieprzekraczającym 12 kg. Na konstrukcję stelaży składa się szereg giętych blach nierdzewnych o grubości 1,5 mm łączonych nitami. Każdy pion montowany jest do wnętrza komory chłodniczej z płyt warstwowych za pomocą wkrętów.



Rys. Kosz transportowy na stelażu ANOST.



Rys. Wykres naprężeń.

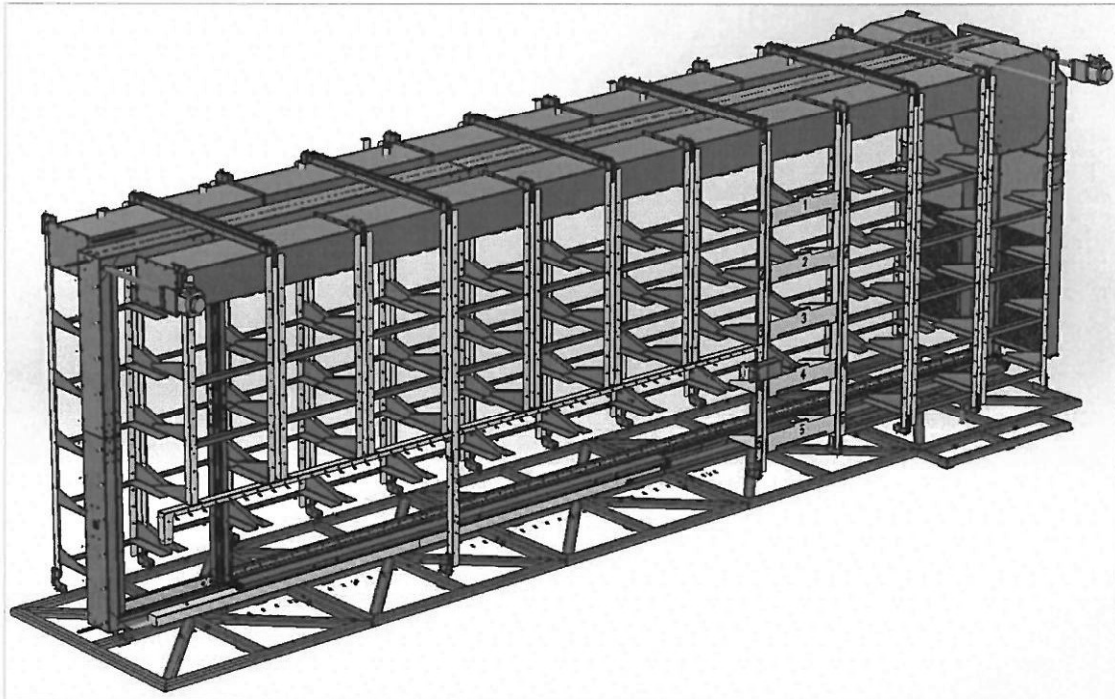


Rys. Wykres przemieszczenia.

Badanie wykazało maksymalne naprężenia na poziomie 37 MPa oraz maksymalną strzałkę ugięcia w granicach 2 mm oraz w najniższy współczynnik bezpieczeństwa $k = 6$. Wyniki są zadowalające i taka konstrukcja stelaży zostanie zastosowana w prototypie urządzenia.

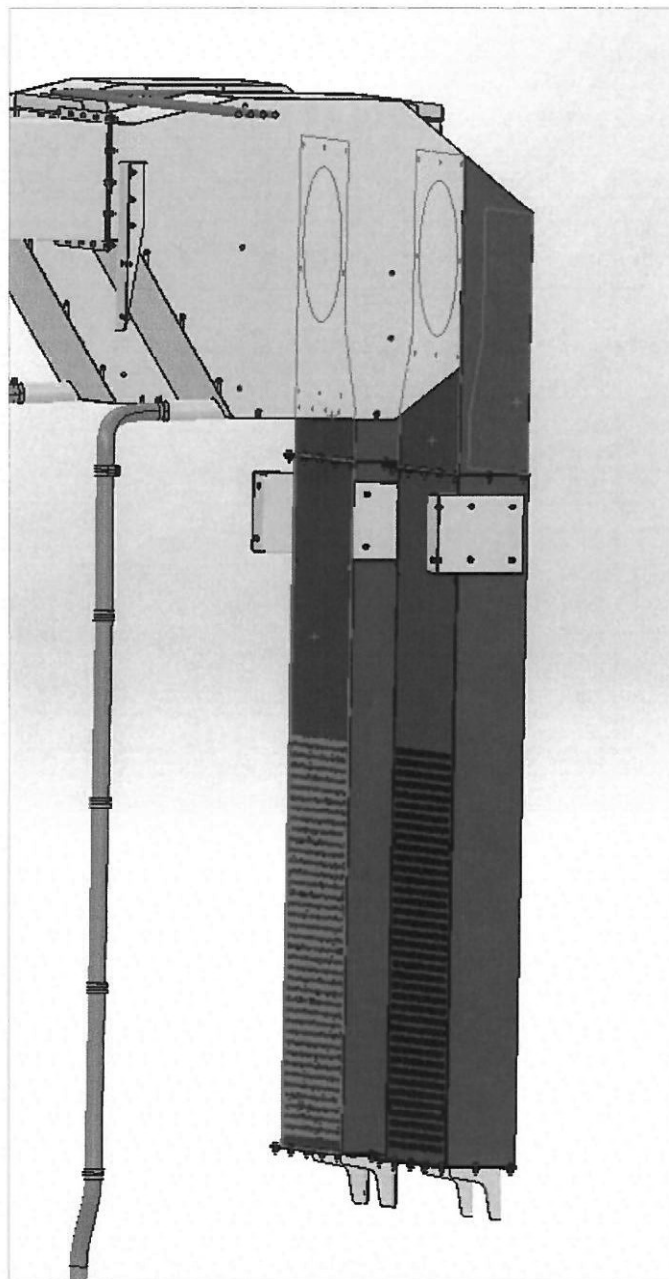
2.3. Obieg powietrza w ANOST.

System chłodzenia i rozprowadzania chłodnego powietrza został zaprojektowany jako połączenie dwóch symetrycznych podsystemów znajdujących się z przodu i z tyłu automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową. Tunele wentylacyjne wykonane będą ze zgrzewanej nierdzewnej blachy grubości 1 mm i montowane do części sufitowej korpusu z modułowych płyt izolacyjnych wypełnionych pianą poliuretanową.

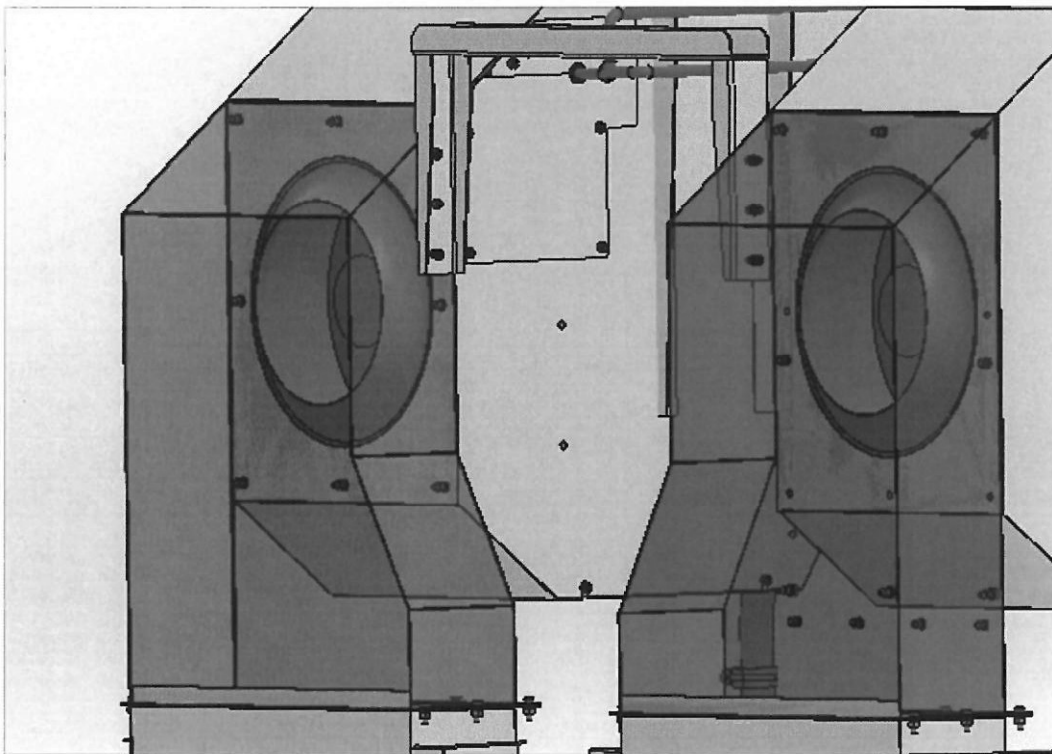


Rys. Rozmieszczenie kanałów wentylacyjnych wewnątrz automatu (kolor żółty).

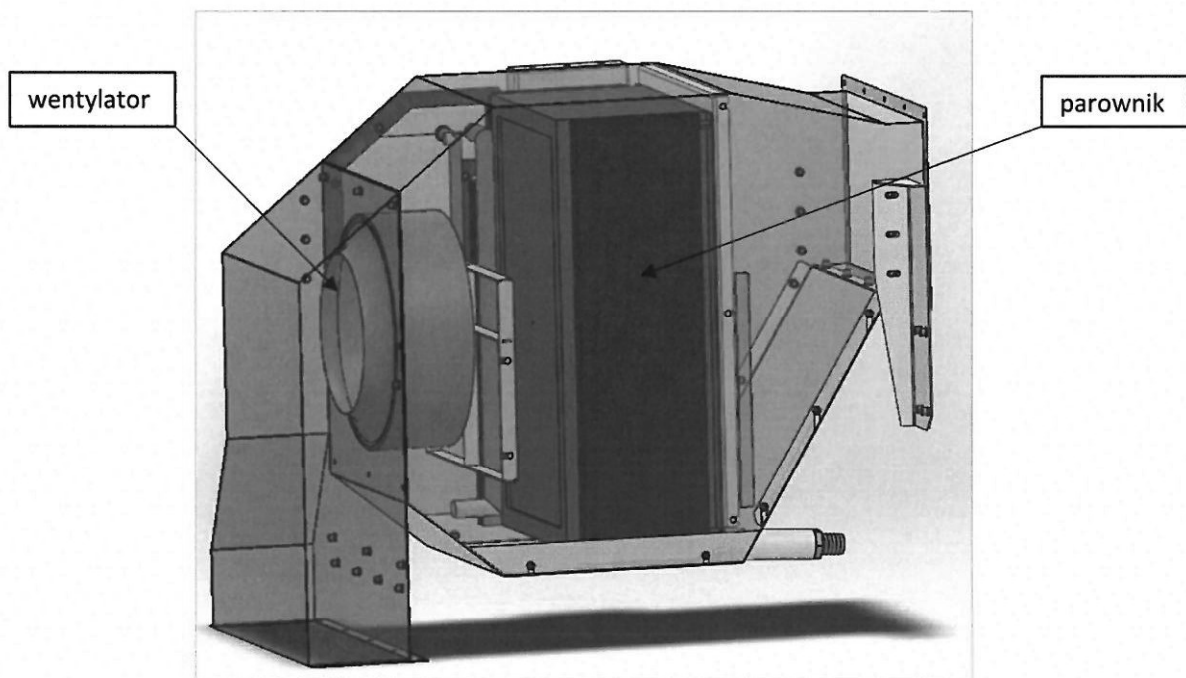
Każdy podsystem składać się będzie z części pobierającej powietrze, która znajduje się wewnątrz z boku maszyny i kończy się wysokowydajnym wentylatorem odśrodkkowym.



Rys. Pobór powietrza w bocznej części maszyny.

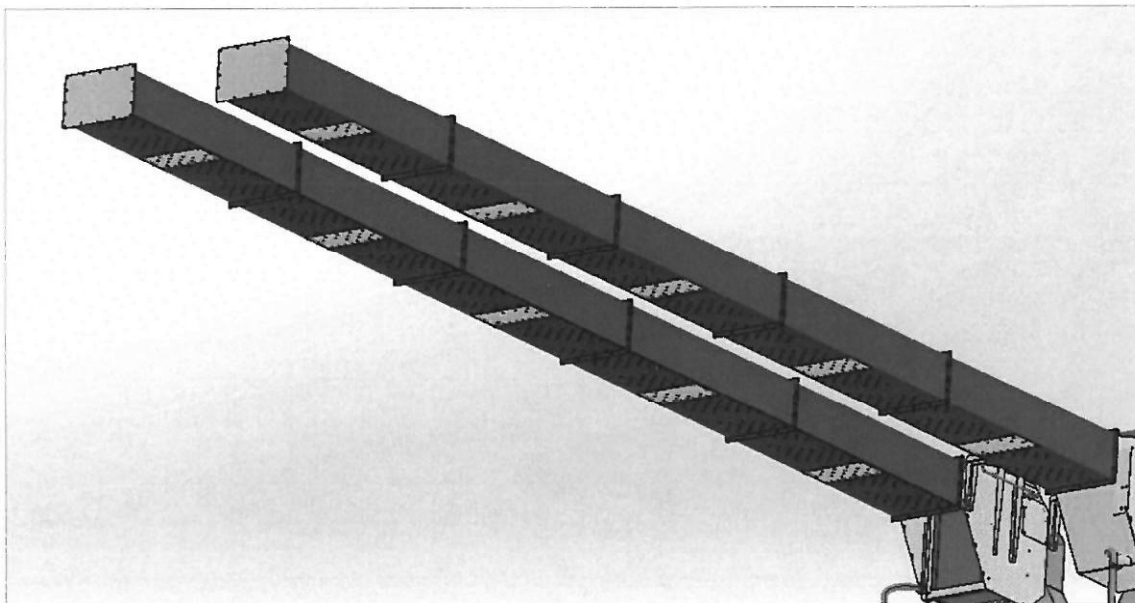


Rys. Wyloty wentylatorów.

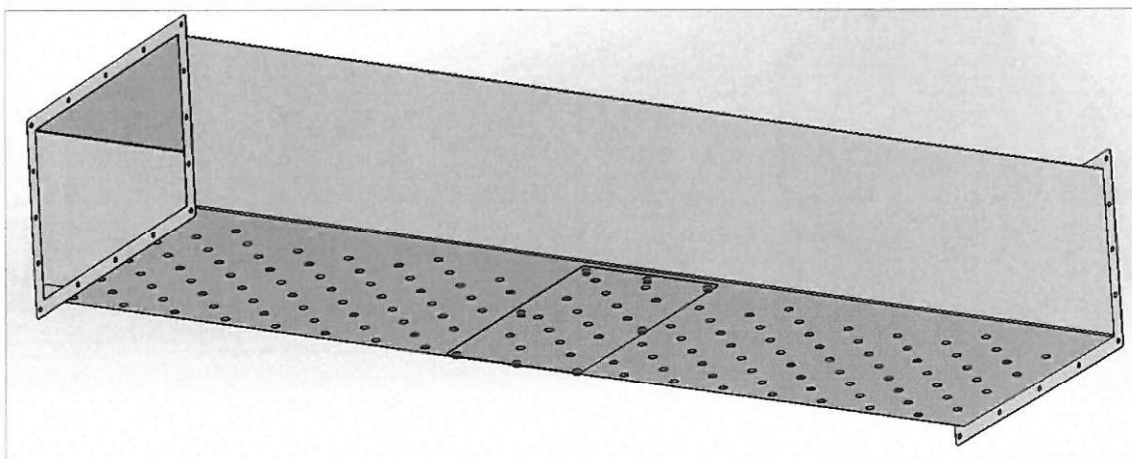


Rys. Główna komora parownika o mocy 2kW każda.

Kanały wylotowe mają budowę modułową pod względem budowy i instalacji oraz są wyposażone w perforowane wyloty powietrza o całkowitym przekroju powierzchni wylotowej otworów równym przekrojowi kanału.

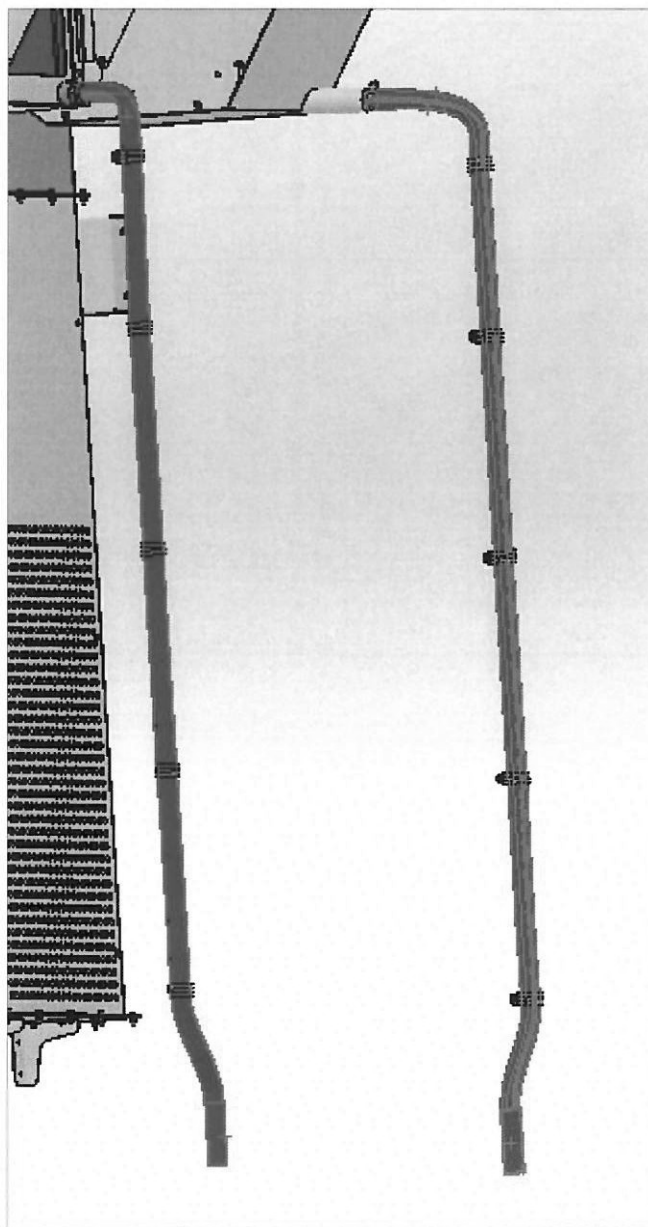


Rys. Kanały wylotowe.



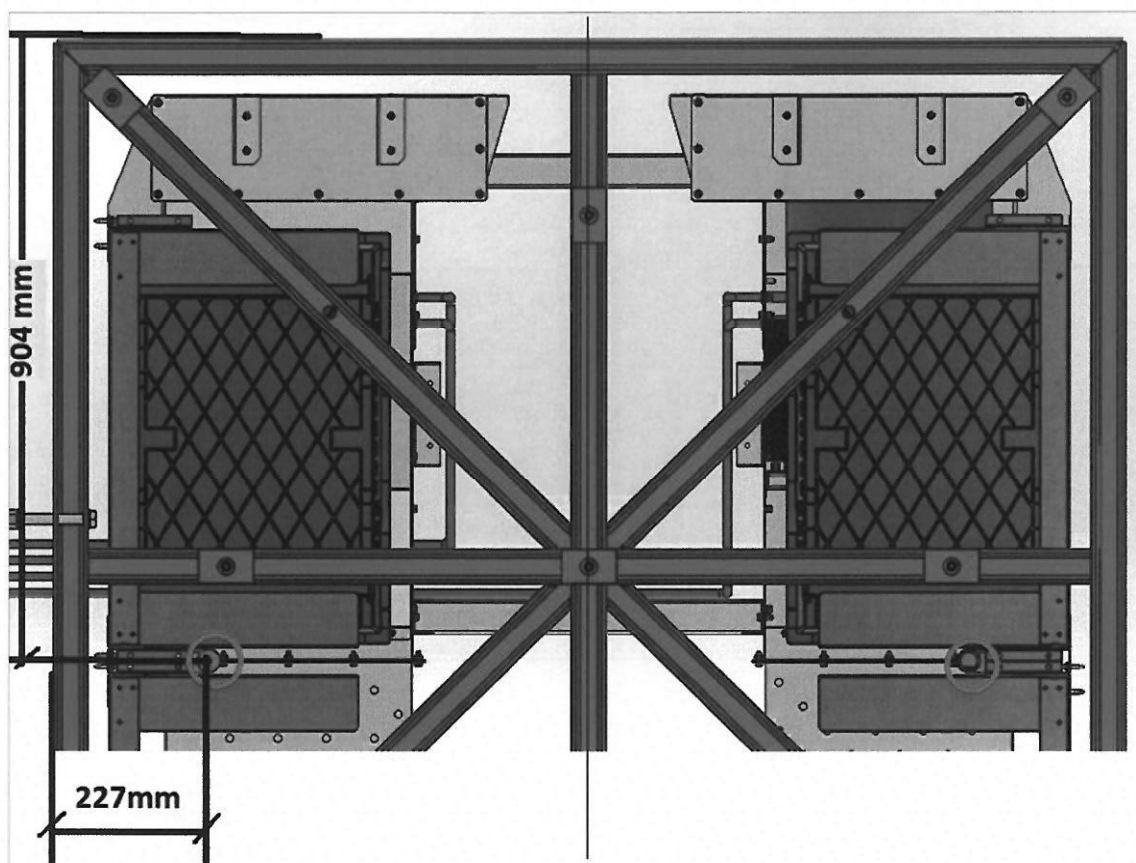
Rys. Moduł wentylacyjny z widocznym otworem rewizyjnym.

W układzie skropliny odprowadzane będą oddzielnie z każdej komory parownika na zewnątrz maszyny. Z tego względu konieczne będzie przygotowanie odpływu skroplin spod urządzenia.



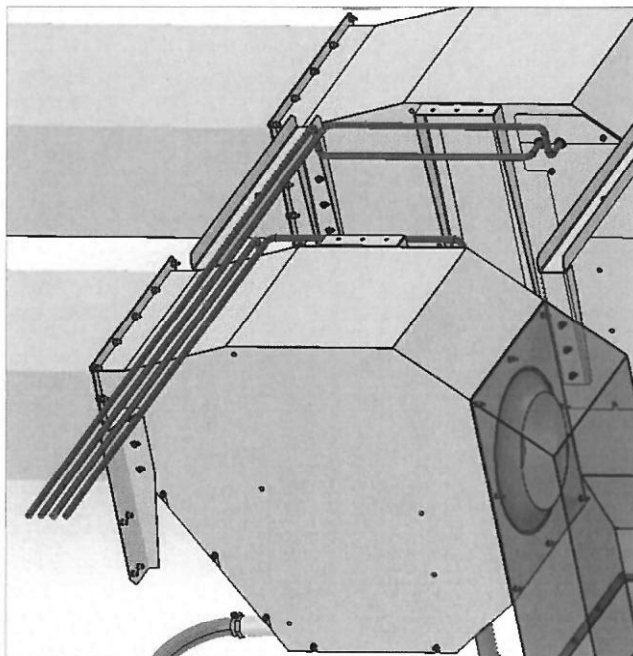
Rys. Odprowadzenie skroplin.

Położenie wylotu skroplin pokazano na poniższym widoku (rzut od spodu urządzenia). Istnieją dwa punkty wylotowe umiejscowione symetrycznie wzdłuż osi wskazanej przez długość maszyny. Zielona kratownica widoczna na wizualizacji to rama pełniąca funkcję usztywniającą oraz używana do poziomowania urządzenia podczas jego montażu.

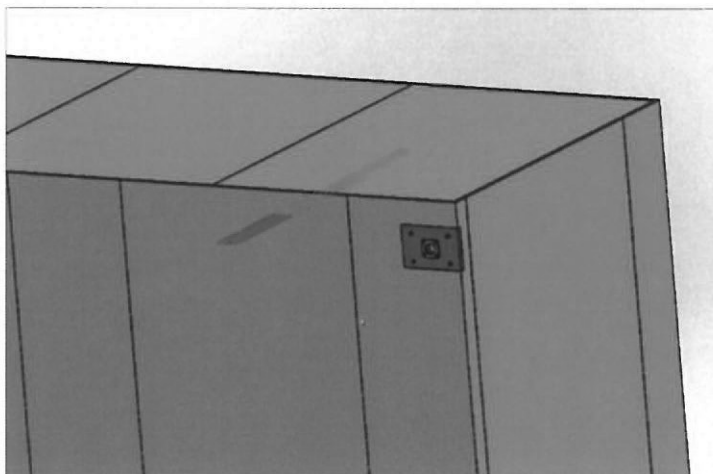


Rys. Miejsca wylotu skroplin.

Wlot i wylot czynnika chłodniczego R32 będzie znajdować się z przodu maszyny zgodnie z przedstawionym poniżej schematem rurek miedzianych o średnicy 12 mm.



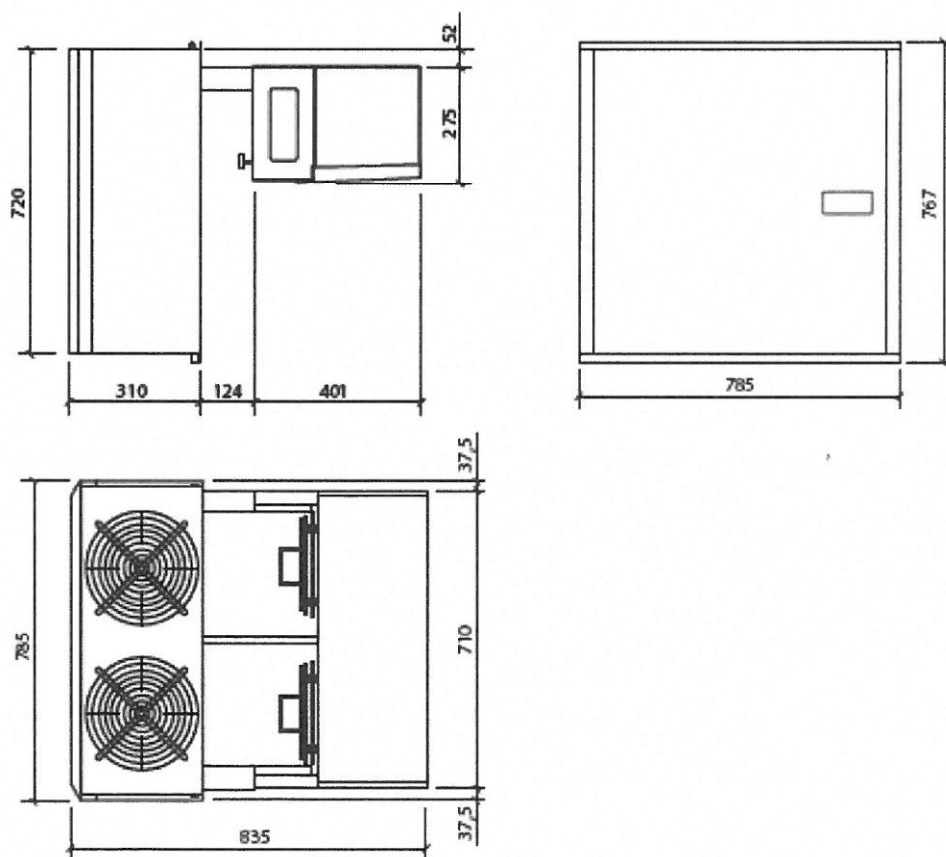
Rys. Schemat rozprowadzania czynnika chłodniczego.



Rys. Miejsce, w którym znajdować się będą automatyczne elementy sterujące takie jak zawory, konwertery, itp.

Wymagania dotyczące systemu wentylacji w przypadku zastosowania niezależnego monoblok chłodniczego na ścianie korpusu urządzenia:

- Zakłada się zastosowanie jednego większego lub dwóch mniejszych monobloków.
- Całkowita moc chłodzenia wynosi około 3 kW (dla komory o pojemności 28 m³).
- Moc elektryczna wynosi około 2,4 kW.
- System wentylacji musi być w stanie odbierać przepływ powietrza około 6 000 m³ / h (około 1 300–1 800 m³ / h, jeśli dostępne jest połączenie z systemem centralnego chłodzenia).
- Dedykowany kanał o powierzchni przekroju około 0,7 m².
- Temperatura otoczenia nieprzekraczająca 40 stopni Celsjusza (maksymalna).
- Wilgotność do 70%.
- Obiekty umieszczone w urządzeniu nie mogą przekraczać 10 stopni Celsjusza.



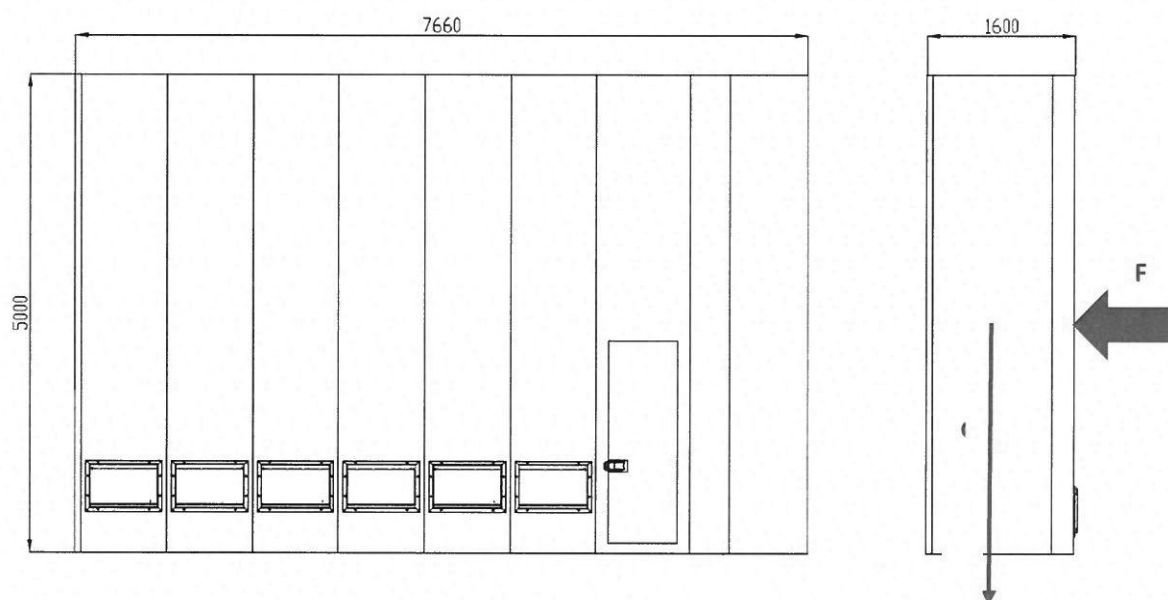
Rys. Monoblok ATZ203.

2.4. Stateczność.

Badanie wstępne.

W pierwszej kolejności zostały przeprowadzone uproszczone obliczenia statyczne dla automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową o szacowanym ciężarze 7000 kg netto (bez przesyłek) i gabarytach:

5000 x 1600 x 7660 [mm] (wysokość x głębokość x szerokość)



Rys. Gabaryty urządzenia przyjęte do obliczeń.

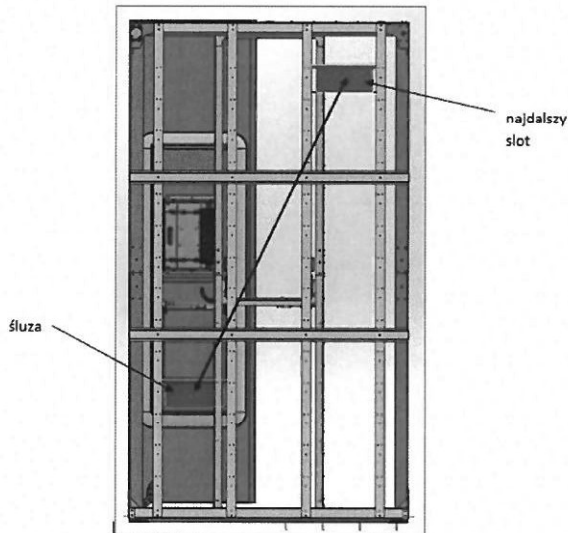
Celem obliczeń jest wyznaczenie teoretycznej granicznej prędkości wiatru przy której układ utraci swoją stateczność. W tym celu przyjęto, że siła pochodząca od wiatru będzie skupiona w połowie wysokości urządzenia, a sam wiatr będzie wiał w kierunku prostym do przedniej płaszczyzny maszyny.

$$F \times 0,5h = G \times 0,5c$$

$$F = G \times c / h = 9,81 \times 7000 \times 1,6 / 5 = 22000 \text{ N}$$

Rys. Schemat układu Core-XY.

W przypadku automatu nadawczo – odbiorczego (ANO) zdecydowano się na napęd w postaci silnika krokowego firmy Mitsubishi serii HF-KN43 o znamionowej prędkości 3000 rpm (obrotów na minutę). Do obliczeń przyjęto średnią prędkość 1500 rpm co po uwzględnieniu przekładni zębatej o średnicy $d = 50$ mm daje średnią prędkość liniową: $V = (1500 \times \pi \times d) / (1000 \times 60) = 3,9$ m/s.



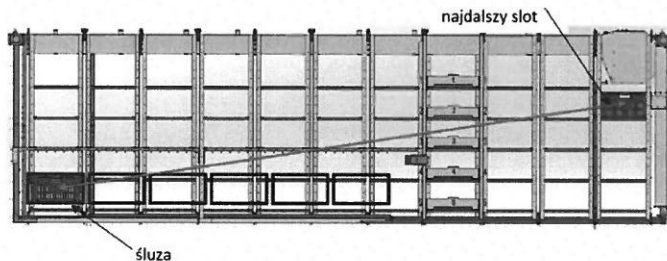
Najdłuższa droga jaką musi przebyć paczka od śluzy do skrajnego slotu usytuowanego na ostatniej kolumnie i najwyższym rzędzie to 2050 mm. Stąd na sam ruch robota śluza – slot – śluza potrzebne jest: $T_R = 4,1 / 3,9 = 1,05$ s

Czas załadunku kuwety z regału jak i czas wyładunku do śluzy jest równy: $T_M = 4$ s. Stąd czas całej operacji $T = T_R + 2 \times T_M = 1,05 + 2 \times 4 = 9,05$ s

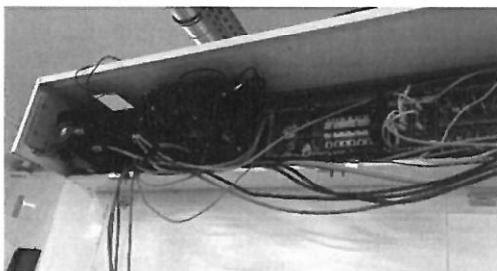
Automat nadawczo – odbiorczy ze stabilizacją temperaturową (ANOST) zostanie wyposażony w silnik krokowy firmy Mitsubishi serii HG-SR102 o znamionowej prędkości 2000 rpm (obrotów na minutę). Do obliczeń przyjęto średnią prędkość 1000 rpm co po uwzględnieniu przekładni zębatej o średnicy $d = 50$ mm daje średnią prędkość liniową:

$$V = (1000 \times \pi \times d) / (1000 \times 60) = 2,6 \text{ m/s}$$

Najdłuższa droga jaką musi przebyć paczka od śluzy do skrajnego slotu usytuowanego na ostatniej kolumnie i najwyższym rzędzie to 6600 mm. Stąd na sam ruch robota śluza – slot – śluza potrzebne jest: $T_R = 13,2 / 2,6 = 5,1$ s



Rys. Najdłuższa droga paczki w prototypie nr 2 oraz mocowanie silnika napędowego



Rys



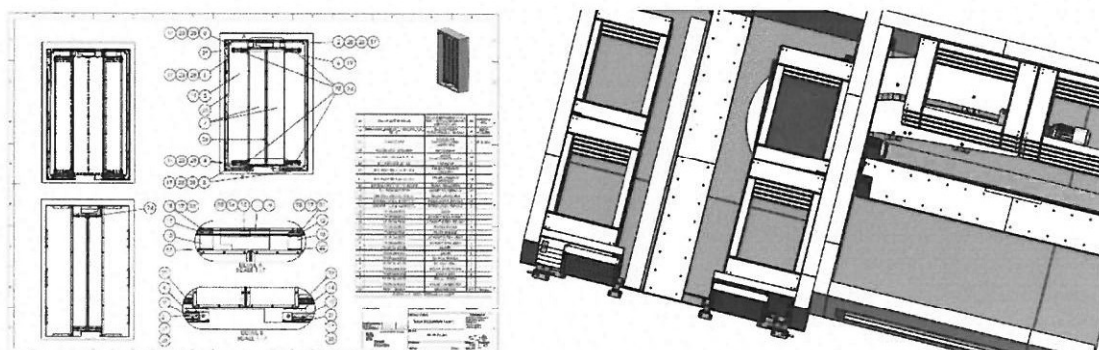
silnik napędowy prototypu nr 1 wraz ze sterownikami w trakcie montażu

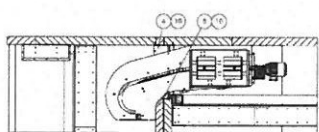
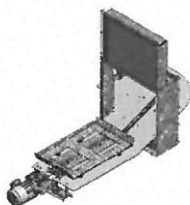
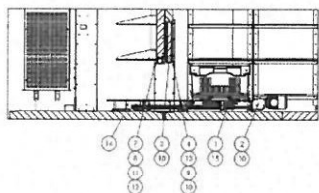
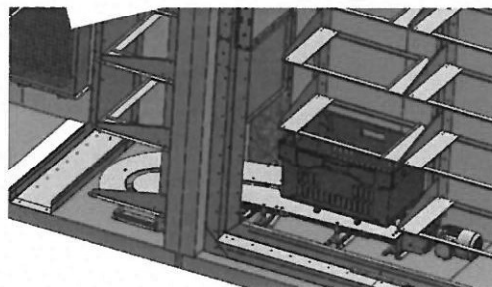
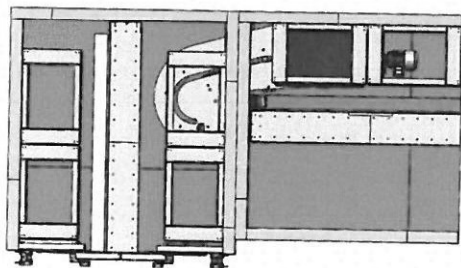
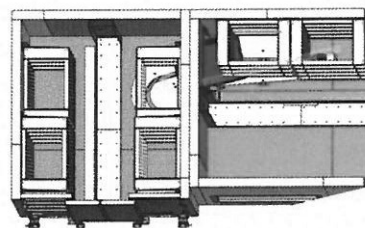
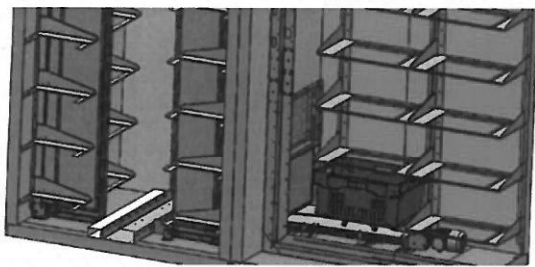
Czas załadunku kuwety z regału jak i czas wyładunku do śluzy jest równy: $T_M = 4$ s. Stąd wyliczony i potwierdzony testowo czas całej operacji $T = T_R + 2 \times T_M = 5,1 + 2 \times 4 = 13,1$ s



Rys. Montaż robota kartezyjskiego, elementów sterowania oraz windy wspornikowej modułu nadpółkowego prototypu nr 4

Poniżej prezentujemy szczegóły techniczne związane z opracowaniem systemu transportu koszy pomiędzy strefami temperaturowymi przez śluzy zapewniające jak najmniejsze straty ciepła.





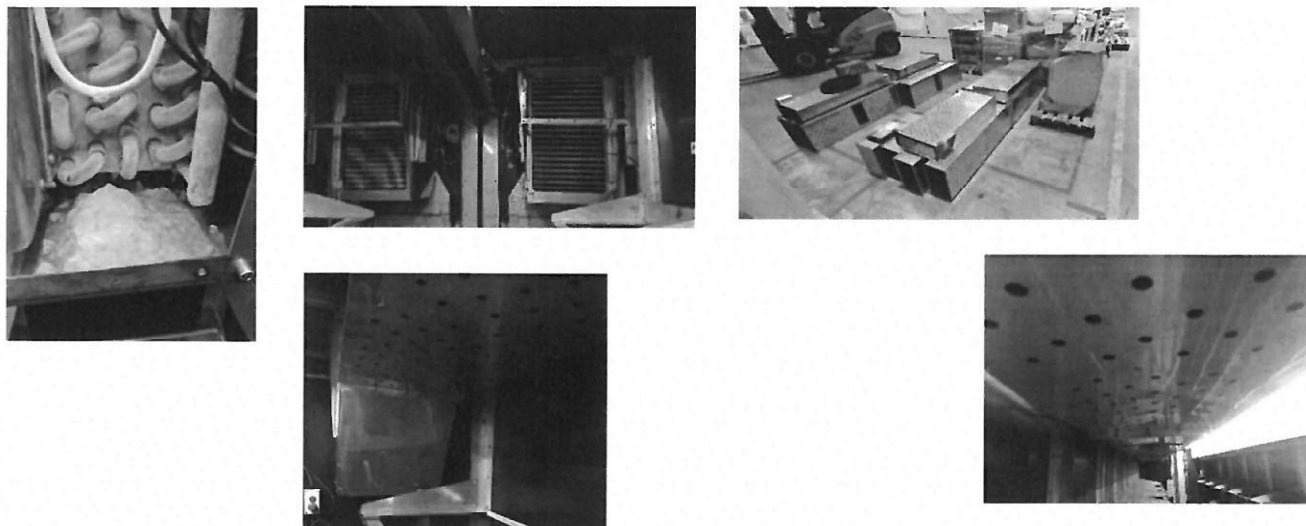
Symbol	Opis	Jednostka	Wartość
1	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
2	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
3	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
4	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
5	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
6	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
7	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
8	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
9	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
10	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
11	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
12	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
13	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
14	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
15	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
16	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
17	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
18	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
19	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80
20	Robot kartezyjski	Wzrost	1,80

rys. Szczegóły technologii umożliwiającej zmianę orientacji kosza oraz przekazywanie przesyłki przez śluzy oddzielające strefy temperaturowe

W etapie nr I wyliczono oszczędności w zużyciu energii elektrycznej ze względu na ograniczenia współczynnika straty ciepła automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturą względem klasycznego rozwiązania jakim jest Lodówkomat. Oszczędność energii elektrycznej jest różna od oszczędności strat energii cieplnej ze względu

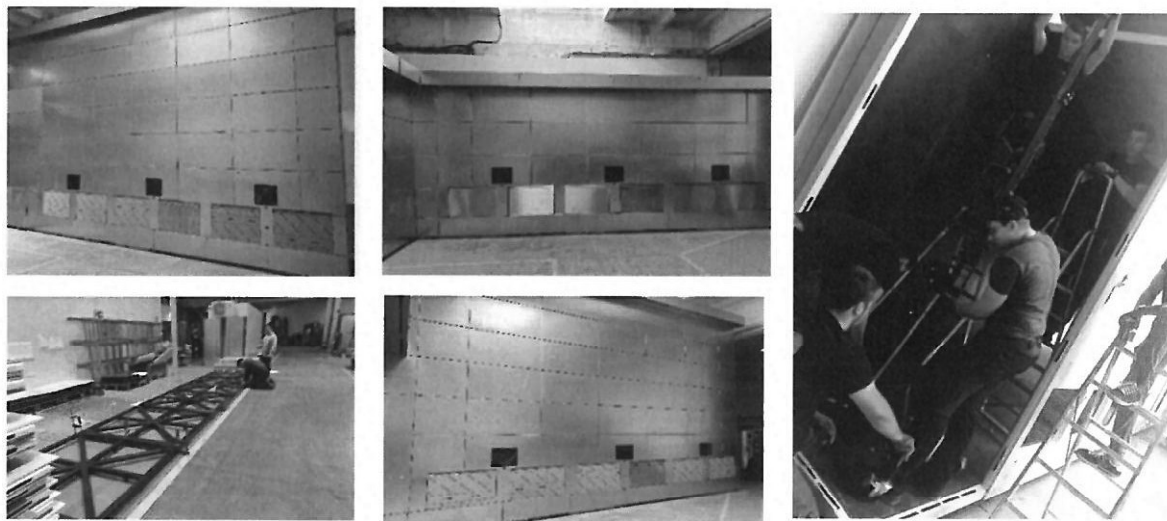
na fakt, że do wydania przesyłki trzeba zasilić jeszcze robot w przeciwieństwie do klasycznej maszyny, gdzie odbiór odbywa się po otwarciu drzwi izolowanych Lodówkomatu. To powoduje obniżenie oszczędności strat ciepła z poziomu 50% do szacunkowych 35%. Dla przyjętej kubatury automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturą moc cieplna (wydajność chłodnicza) układów chłodniczych zawiera się w zakresie od 3 do 5 KW w zależności od temperatury, przy mocy elektrycznej w zakresie ok. 1 - 2 kW. Sumaryczna moc elektryczna silników dla jednego układu kartezyjskiego to 3,6 KW - gdzie sprawność silnika elektrycznego przyjmuje się na poziomie 85%, natomiast za resztę strat mocy odpowiedzialne jest rozproszenie strumienia magnetycznego i ciepło. Wyliczono, że za straty odpowiedzialny jest tylko bilans cieplny, stąd TPD jest na poziomie 0,54 kW / na jednego robota kartezyjskiego przy dwóch robotach TPD dla całego układu wynosi 1,08 kW. Przy czym ta moc jest wydzielana tylko w czasie jazdy czyli ok. 15 sekund na przesyłkę, stąd podczas jej wydawania wydzielana jest energia 0,0045kWh (16,2 kJ). Energia cieplna jaką jest wstanie "wypompować" układ chłodniczy na godzinę (efektywność przy - 18 stopniach Celsjusza zakładając moc 1,kW) to 1 kWh (3,6MJ). Energia elektryczna zużywana przez robota kartezyjskiego dla wydania przesyłki jest większa niż energia potrzebne do otwarcia skrytki. Dlatego procentowa oszczędność energii elektrycznej nie jest taka sama jak cieplna. Mniej energii zostaje wypuszczone / wpuszczone do wnętrza maszyny ale musi zostać zużyte dodatkowe 0,015 kWh dla każdej przesyłki. Przy 50 przesyłkach na godzinę otrzymujemy 0,75 kWh. W przypadku klasycznych drzwiczek Lodówkomatu moc siłownika to ok 50W, a czas otwarcia / zadziałania siłownika to nie więcej niż 2 s. To daje energię $2,7 \cdot 10^{-5}$ kWh. Co z kolei dla 50 paczek na godzinę daje relatywnie pomijalną energię. Stąd jeśli oszczędność termiczna wynosi 50 % to elektryczna oszczędność jest pomniejszona o szacunkowe

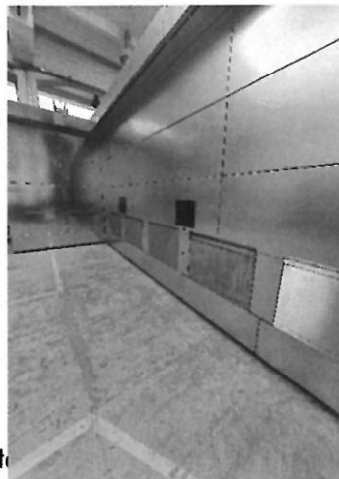
15% wynikające z energii zużywanej na ruch robota (0,75kWh stanowi 15% z 5Kwh) co ostatecznie daje oszczędność strat ciepła na poziomie 35% porównując automat nadawczo – odbiorczy ze stabilizacją temperaturową do Lodówkomatu.



Rys. montaż i szczegóły systemu chłodnictwa i wentylacji prototypów 1,2

W ramach prac nad etapem 2 wniosku, Spółka skupiła się na budowie prototypów 4 urządzeń zrobotyzowanych uwzględniając wyniki badań z etapu pierwszego.

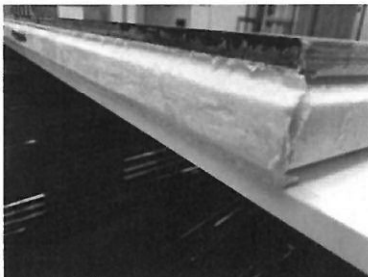




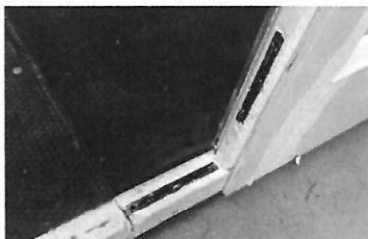
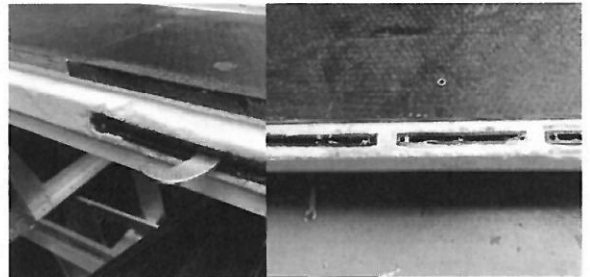
Rys. Prototypy nr 1,2,3, 4
w trakcie montażu

Płyty izolacyjne zostały
dobrane tak aby zachować współ-
dowcy:
0,29 W/m²K, a montaż i konstrukcja ramy urządzeń odpowiada
wymaganiom pierwszej strefy wiatrowe w Polsce wg PN-

77/B-02011, na podstawie
prac obliczeniowych
prowadzonych przez spółkę
w ramach etapu nr 1
niniejszego projektu.



Rys. zastosowanie płyt
izolacyjnych w systemie Camlock



Automaty nadawczo – odbiorcze są przeznaczone do przechowywania i wydawania towarów i paczek umieszczonych w wykonanym z tworzywa sztucznego standardowym koszu transportowym o wymiarach: 300 x 400 x 600 [mm] (wysokość x głębokość x szerokość) - prototypy 1,2 i 3, prototyp nr 4 wykorzystuje system metalowych kuwet transportowych



Rys. Kosze transportowe w trakcie zleconych testów walidacyjnych



w służbie prototypu nr 1 i 2 oraz prototypu nr 3



nadawczo-odbiorczej 1,2 i 3 oraz kuwety 4

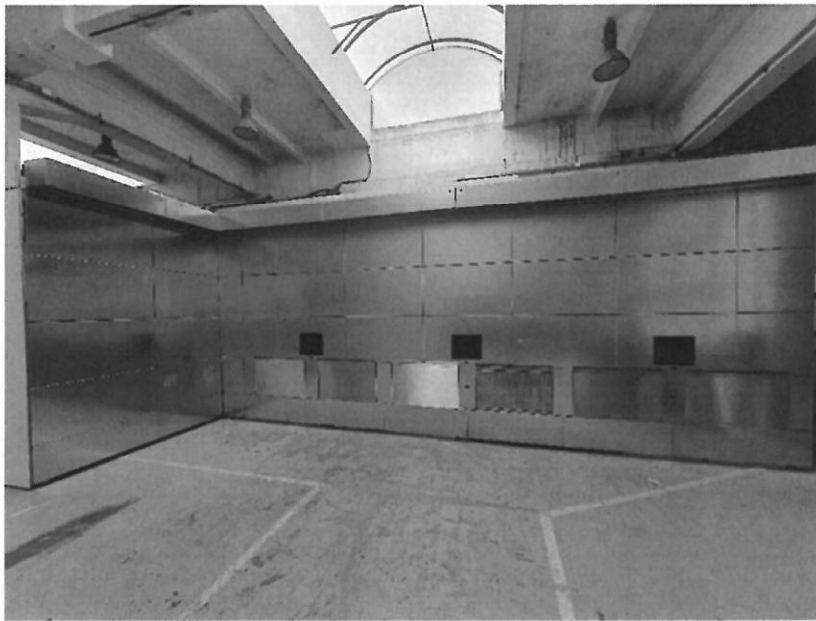
zastosowania

prototypach nr 1,2 i 3 będzie możliwość do 6 okien nadawczo-odbiorczych z wbudowanym interfacem w miejsce

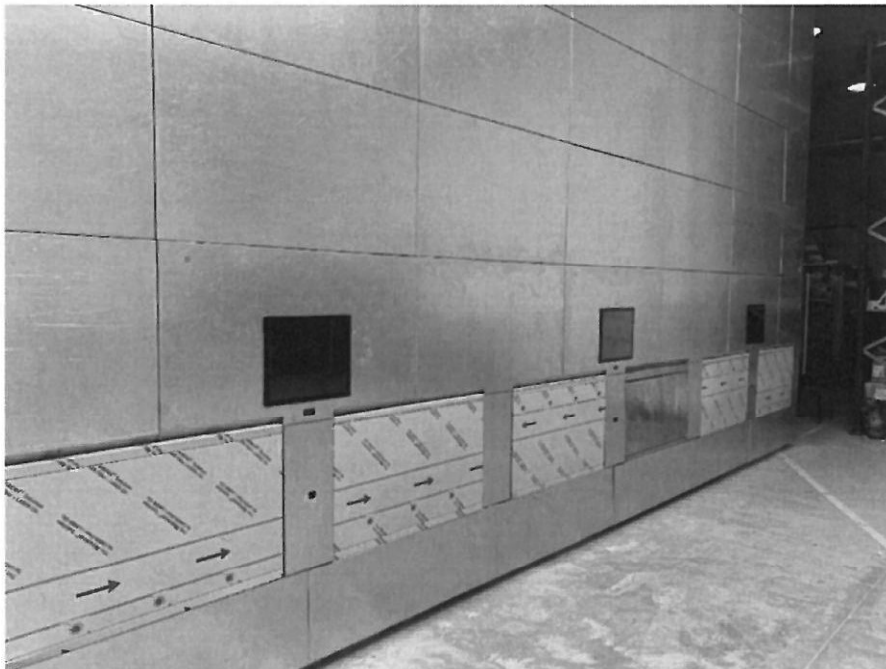
indywidualnie otwieranych skrytek, osobnych dla każdej paczki.



Rys. umiejscowienie 6 okien nadawczo-odbiorczych w prototypie nr 1

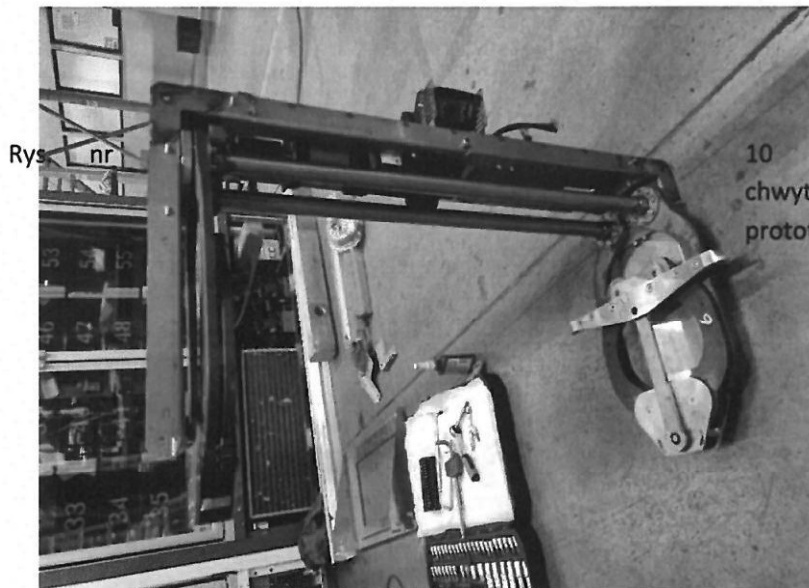


Rys. umiejscowienie 6 okien nadawczo-odbiorczych w prototypie nr 2

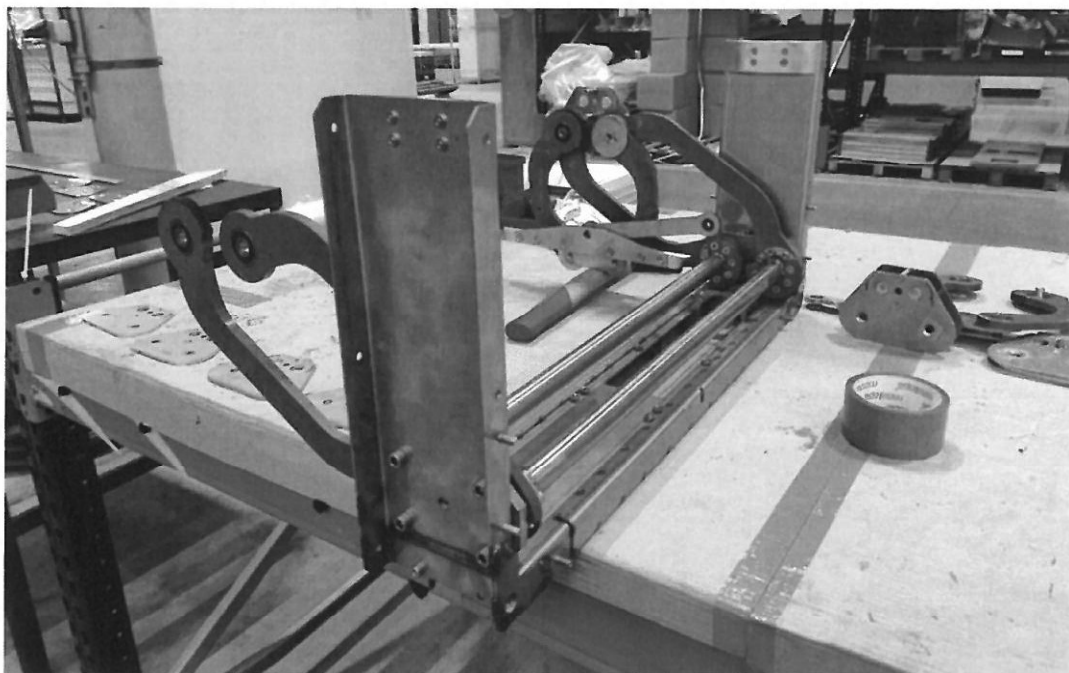


Rys. umiejscowienie 6 okien nadawczo-odbiorczych w prototypie nr 3

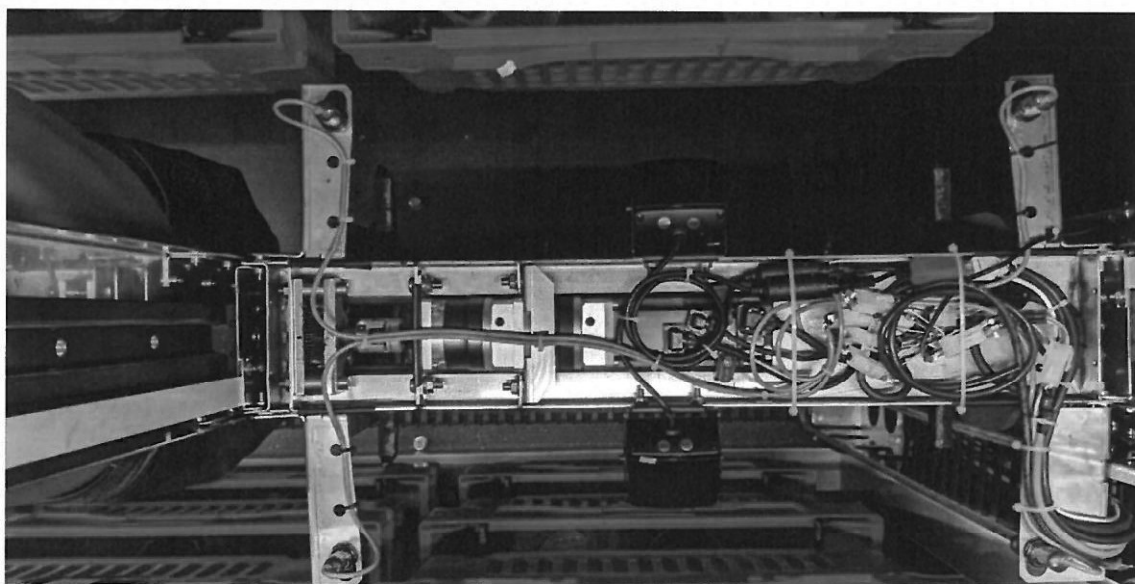
W ramach etapu nr 1 opracowania została koncepcja mechanizmu chwytakowego składającego się z pary zginanych ramion nośnych napędzanych silnikiem znajdującym się w wozzaku. Na końcu ramion znajduje się uchwyt przesyłki różny w zależności od jej rodzaju i typu robota. Dla automatów ze stabilizacją temperaturową został zaprojektowany specjalny mechanizm chwytakowy przystosowany do większych obciążeń i obsługi standardowego kosza na przesyłki.



10 — Montaż mechanizmu chwytaka przeznaczony dla prototypu nr 1 i 2.



Rys. nr 11 - Montaż mechanizmu chwytaka przeznaczony dla prototypu nr 3.

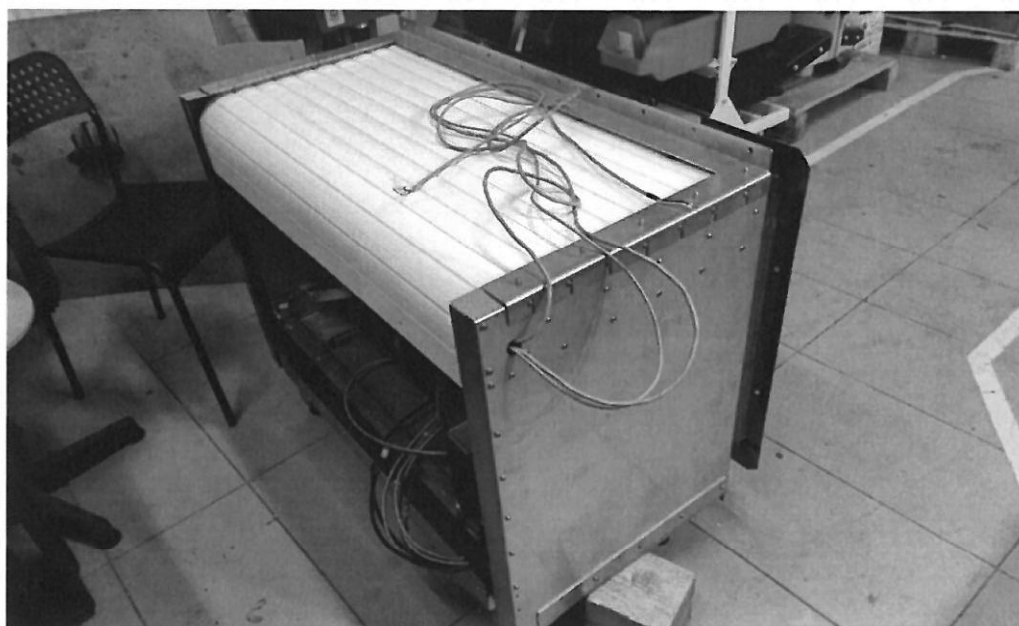


Rys nr 12 – mechanizm chwytaka prototypu nr 1 w trakcie testów (widoczne kosze transportowe umieszczone na regałach urządzenia w strefie ambient)

Dla automatów nadawczo – odbiorczych zaprojektowano specjalną śluzę mającą dwa poziomy dostęp dla kuriera oraz dla klienta. W tej wersji, ze względu na większe gabaryty przesyłek śluza jest większa i posiada ściany izolowane za pomocą pianki poliuretanowej. Śluza automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową musi spełniać inne funkcje niż ta z automatu paczkowego w związku z czym jej konstrukcja i zasada działania są odmienne. Dostęp do śluzy można uzyskać na dwa odmienne sposoby:

- kurier – otwarcie automatycznych drzwi,
- klient – wysunięcie automatycznej szuflady.

Ma to na celu uniemożliwienie wyciągnięcia kosza przez klienta, który wyciąga tylko towar znajdujący się wewnątrz. Z kolei kurier przywozi przesyłki w koszach i musi mieć możliwość włożenia kosza oraz ewentualnego odbioru pustych pojemników z wnętrza maszyny. Dodatkowo wysunięcie śluzy w formie szuflady powoduje odcięcie dostępu do wnętrza maszyny gdzie znajduje się ruchomy robot. Dzieje się tak ponieważ umieszczona w poziomie bariera opada i blokuje się w pozycji zamkniętej do momentu ponownego wsunięcia szuflady. W etapie nr 2 przystąpiono do montażu śluz w prototypach 1,2 i 3

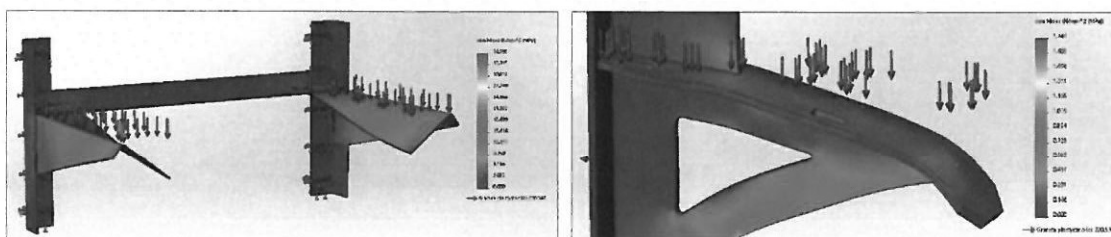


Rys nr 13 – Śluza nadawczo-odbiorcza widok od tyłu na roletę izolującą wnętrze urządzenia w trakcie odbioru zamówienia przez klienta.



Rys. 14 – Montaż śluz nadawczo-odbiorczych w prototypie nr 2

W etapie nr 1 przeprowadzono badania wytrzymałościowe oraz prace nad doбором materiałów w celu zaprojektowania wewnętrznych stelaży magazynowych automatów nadawczo – odbiorczych będących przedmiotem wniosku. Wyniki tych badań zostały wdrożone przy produkcji prototypów w trakcie etapu nr 2. Stelaże urządzeń ze stabilizacją temperaturową są przystosowane do przechowywania standardowych koszy transportowych obciążonych towarem o ciężarze nieprzekraczającym 12 kg. Na konstrukcję stelaży składa się szereg giętych blach nierdzewnych o grubości 1,5 mm łączonych nitami. Każdy pion montowany jest do wnętrza komory chłodniczej z płyt



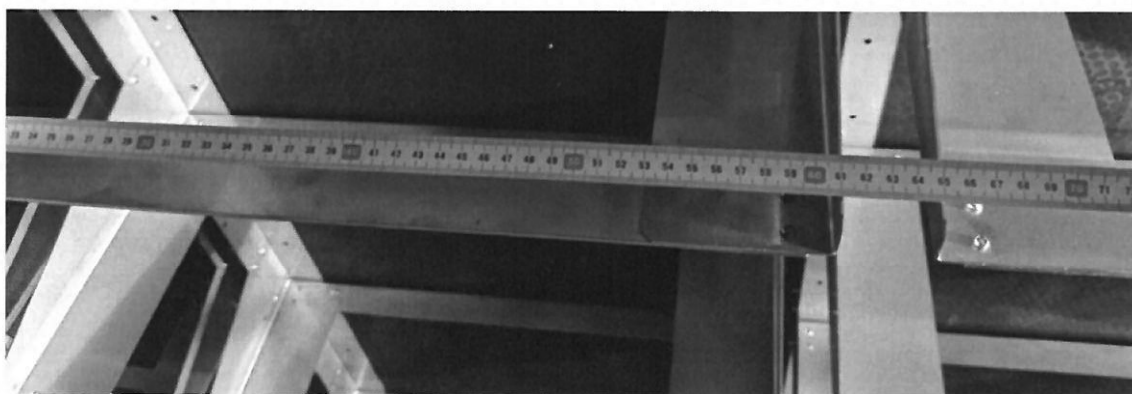
warstwowych za pomocą wkrętów.

Rys 15 – symulacja naprężeń regałów magazynowych urządzeń ze stabilizacją temperaturową i bez stabilizacji



Rys 16 – Kalibracja położenia regałów magazynowych wewnątrz prototypu nr 3

Rys 17 – Pomiary w trakcie montażu stelaży magazynowych prototypu nr 2



W ramach prac przeprowadzonych dotychczas w trakcie etapu nr 2 został wyprodukowany i zamontowany układ wentylacji i chłodzenia uwzględniający analizy obiegu powietrza wewnątrz komór automatów chłodniczych. System chłodzenia i rozprowadzania chłodnego powietrza został zaprojektowany jako połączenie dwóch symetrycznych podsystemów znajdujących się z przodu i z tyłu automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową. Tunele wentylacyjne wykonane zostały ze zgrzewanej nierdzewnej blachy grubości 1 mm i montowane do części sufitowej korpusu z modułowych płyt izolacyjnych wypełnionych pianą poliuretanową.

Rys 18. Schemat zoptymalizowanego układu chłodniczego.

Rezultatem realizacji projektu są 4 nowe typy urządzeń działające w oparciu o roboty kartezjańskie. Urządzenia pod względem funkcjonalnym zostały dostosowane do potrzeb dynamicznie ewoluującego rynku e-commerce i e-grocery. Działanie urządzeń zostało oparte o warstwę oprogramowania sterującego i system centralny całościowo zintegrowany z systemem robotycznym czterech urządzeń objętych wnioskiem o dofinansowanie.

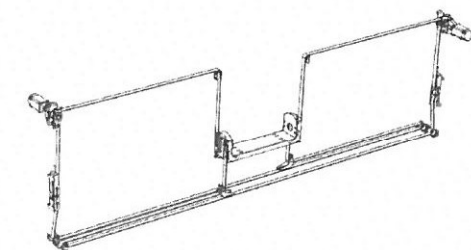
W każdym z zaprojektowanych i wyprodukowanych prototypów robot porusza się w środku urządzenia, a przesyłki są odbierane i wydawane w jednym oknie. Urządzenie pozbawione są skrytek otwieranych indywidualnie. W każdym z powstałych czterech urządzeń znajduje się okno lub okna nadawczo-odbiorcze (na stałej wysokości 1300 mm) połączone z interfejsem sterującym, w których można odebrać wszystkie przesyłki niezależnie od ich ilości, bez konieczności przemieszczania się wzdłuż urządzenia dzięki czemu klient nie będzie musiał szukać skrytki, w której znajduje się jego przesyłka, a w przypadku produktów spożywczych, zrobotyzowany system transportowy dostarczy produkty ze wszystkich 3 stref: ambientowej, chłodniczej i mroźniczej) do jednego okna nadawczo-odbiorczego dzięki zaprojektowanym śluzom umożliwiającym przekazywanie koszy z zamówieniami pomiędzy strefami temperaturowymi.

W toku prac realizowanych przez beneficjenta w trakcie pierwszego i drugiego etapu realizacji wniosku zostały opracowane założenia technologiczno-konstrukcyjne oraz wybudowane i przetestowane 4 prototypy nowych automatycznych urządzeń kurierskich:

1. Urządzenia o regulowanej temperaturze (lodówkomat) działające w oparciu o kartezjański układ robotów, zdolnego do pokonywania zakrętów (urządzenie w kształcie litery L) o wysokości ok 3,2m , w wersji wewnętrznej.
2. Urządzenia o regulowanej temperaturze (lodówkomat) działające w oparciu o kartezjański układ robotów o wysokości ok 5m w wersji zewnętrznej.
3. Urządzenia bez regulacji temperatury (paczkomat) działające w oparciu o kartezjański układ robotów.
4. Urządzenia bez regulacji temperatury (paczkomat) działające w oparciu o robota w układzie kartezjańskim.

W ramach prac w pierwszym etapie została przeprowadzona szczegółowa analiza związana z wyborem optymalnej technologii transportu przesyłek wewnątrz 4 rodzajów automatów pomiędzy slotami magazynowymi, a oknami nadawczo-odbiorczymi za pomocą robotów oraz mechanizmu przekazywania przesyłek pomiędzy dwoma robotami, oraz pomiędzy robotem, a miejscem odkładczym z uwzględnieniem automatycznych przegród między strefami temperaturowymi, które umożliwią fizyczne zdejmowanie/umieszczanie z/na regale przesyłek z prędkością nie wolniej niż 15 sekund od momentu rozpoczęcia ruchu do momentu złożenia ściągniętej skrzynki w okienku wydawczym., średnio nie wolniej niż 1m/sek. Co zostało potwierdzone w ramach testów prowadzonych w etapie nr II.

W ramach 1 etapu przeanalizowano i zaprojektowano roboty kartezjańskie w układzie H-bot oraz Core-XY mające postać ramowych manipulatorów o napędzie elektrycznym z wodzakiem poruszającym się w układzie kartezjańskim. Ramy zewnętrzne manipulatorów są nieruchome i



prototypów

połączone na sztywno ze stelażem regałowym oraz korpusem urządzenia, a ramy wewnętrzne manipulatorów są przesuwane poziomo w ramie zewnętrznej, zaś wózki manipulatorów kartezjańskich są przesuwane pionowo w ramach wewnętrznych. W ramach prac etapu drugiego nastąpiła implementacja wyników prac badawczo-rozwojowych do budowanych

$F = 22 \text{ kN}$ – graniczna siła

Pole powierzchni przedniej płaszczyzny urządzenia: $P = a \times b = 7,66 \times 5 = 38,3 \text{ m}^2$

Ciśnienie: $p = F / P = 22000 / 38,3 = 574,4 \text{ [N/m}^2 = \text{Pa]}$

Obliczona wartość ciśnienia odpowiada w przybliżeniu prędkości wiatru na poziomie 30 m/s (108 km/h) – konieczne są szczegółowe obliczenia z uwzględnieniem norm wiatrowych.

Obliczenia statycznie – wytrzymałościowe dla ANOST dla I strefy wiatrowej w Polsce.



Rys. 41 Strefy wiatrowe w Polsce wg PN-77/B-02011.

Obciążenie wiatrem jest ustalane przy założeniu, że wiatr wieje poziomo z kierunku, który daje najbardziej niekorzystne obciążenie dla budowli, a także przyjmuje się, że wszystkie powierzchnie elementów i przegród są poddane prostopadle skierowanemu do nich parciu albo ssaniu wiatru. Natomiast w przypadku powierzchni równoległych do

kierunku wiania wiatru lub odchylonych o kąt mniejszy niż 15° , należy uwzględnić również obciążenie styczne (działają na powierzchnie poziomowego przykrycia).

Przedmiot opracowania.

Obliczenia zostaną przeprowadzone dla następujących parametrów:

- strefa wiatrowa – I,
- wysokość nad poziomem morza – $A < 300$ m,
- kategoria terenu – III:
- tereny regularnie pokryte roślinnością lub budynkami albo o pojedynczych przeszkodach, oddalonych o siebie najwyżej na odległość równą ich 20 wysokościami.

Podstawa urządzenia.

Przyjęto ciężar urządzenia: 7000 kg netto (bez przesyłek),

Wymiary urządzenia: 5000 x 1600 x 7660 [mm] (wysokość x głębokość x szerokość)

Urządzenie można posadowić na podłożu betonowym lub bezpośrednio na gruncie:

- piaskach, piaskach gliniastych, żwirach o średnim stopniu zagęszczenia.

W przypadku zalegania w podłożu gruntów nienośnych, np. humusu, nasypów niebudowlanych, glin w stanie plastycznym, należy usunąć grunt nienośny i wykonać podsypkę ze żwiru o miąższości min. 30 cm i zagęścić ją do stopnia min. $ID = 0,66$.

Konstrukcja nie może być posadowiona na istniejących instalacjach elektrycznych, wodociągowych, CO, kanalizacyjnych, itp. bez zgody bezpośredniego użytkownika.

1. Oddziaływanie wiatru – I strefa wiatrowa.

1.1 . Lokalizacja.

- strefa obciążenia wiatrem – 1
- wysokość nad poziomem morza – $A < 300$ m.
- wysokość odniesienia – $z = h_{\max} = 5,00$ m

1.2. Kategoria i parametry terenu.

- kategoria terenu – III
 - wymiar chropowatości :
- $z_o = 0,3$ m
- $z_{\min.} = 5$ m

1.3. Wartość bazowej prędkości wiatru.

- bazowa prędkość wiatru:

$$V_b = V_{b,o} \times C_{dir} \times C_{season}$$

- wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru:

$$V_{b,o} = 22 \text{ m/s}$$

- C_{dir} - współczynnik kierunkowy:

$$C_{dir} = 0,8$$

- C_{season} – współczynnik sezonowy:

$$C_{season} = 1,00$$

- bazowa prędkość wiatru:

$$V_b = 22,0 \times 0,80 \times 1,00 = 17,60 \text{ m/s}$$

1.4. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru.

- wysokość odniesienia – $z = h_{\max} = 5 \text{ m}$

- współczynnik chropowatości:

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) = 0,8 \times (5/10)^{0,19} = 0,70$$

- współczynnik rzeźby terenu:

$$c_o(z) = 1,0$$

- średnia prędkość wiatru:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b$$

$$v_m(z) = 0,70 \times 1,0 \times 17,60 = 12,32 \text{ m/s}$$

- intensywność turbulencji:

$$\text{Dla } z < z_{\min.}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min})$$

$$z_{\min.} = 5 \text{ m}$$

$$I_v(z_{\min}) = k_1 : [c_o(z) \times \ln(z/z_o)]$$

- współczynnik turbulencji:

$$k_1 = 1,0$$

$$I_v(z) = 1,0 : [1,0 \times \ln(5 : 0,3)] = 0,355$$

- wartość szczytowa prędkości wiatru:

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times [0,5 \times r \times v_m^2(z)]$$

- gęstość powietrza:

$$r = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_p(z) = (1 + 7 \times 0,355) \times (0,5 \times 1,25 \times 12,32^2) = 330 \text{ Pa} = 0,33 \text{ kPa}$$

1.5. Ciśnienie wiatru działające na powierzchnię ściany:

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{p,\text{net}}$$

- $q_p(z_e)$ – wartość szczytowa ciśnienia prędkości:

$$q_p(z_e) = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

- $c_{p,net}$ - współczynnik aerodynamiczny – współczynnik ciśnienia netto:

$$c_{p,net} = 2,3 \text{ dla pola odniesienia A o powierzchni} = 0,3 \times 5 \times 5 = 7,5 \text{ m}^2$$

$$c_{p,net} = 1,4 \text{ dla pola odniesienia B o powierzchni} = (7,66 \times 5) - 7,5 = 30,8 \text{ m}^2$$

$$w_{e,A} = 0,33 \times 2,3 = 0,76 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = 0,33 \times 1,4 = 0,46 \text{ kN/m}^2$$

1.6. Siły oddziaływania wiatru.

$$F_w = c_s c_d \times \sum w_e \times A_{ref}$$

- $c_s c_d$ – współczynnik konstrukcyjny:

$$c_s c_d = [1 + 2 \times k_p \times I_v(z_s) \times (B^2 + R^2)^{1/2}] : [1 + 7 \times I_v(z_s)]$$

- współczynnik wartości szczytowej:

$$k_p = 3,0$$

- współczynnik odpowiedzi pozarezonansowej:

$$B^2 = 1 : 1,5 \times [(b : L(z_s))^2 + [(h : L(z_s))^2 + (b \times h : L^2(z_s))^2]^{1/2}$$

- liniowa skala turbulencji:

$$L(z) = L(z_{min}) = L(z) = L_t \times (z : z_t)^a$$

- skala odniesienia:

$$L_t = 300 \text{ m}$$

$$a = 0,67 + 0,05 \ln(z_o)$$

$$z_o = 0,3 \text{ m}$$

$$a = 0,67 + 0,05 \times \ln 0,3 = 0,61$$

$$L(z) = 300 \times (5 : 300)^{0,61} = 24,69$$

$$B^2 = 1 : \{1 + 1,5 \times [(7,66 : 24,69)^2 + (5 : 24,69)^2 + (7,66 \times 5 : 24,69)^2]^{1/2}\} = \\ = 0,295$$

- współczynnik odpowiedzi rezonansowej:

$$R^2 = \pi^2 \times S_L(z_s, n_{1,x}) \times K_s(n_{1,x}) : (2 \times d)$$

- całkowity logarytmiczny dekrement tłumienia:

$d = 0,05$ dla konstrukcji stalowych

- bezwymiarowa funkcja gęstości spektralnej mocy:

$$S_L = [6,8 \times f_L(z, n)] : [1 + 10,2 \times f_L(z, n)]^{5/3}$$

- częstotliwość bezwymiarowa:

$$f_L(z, n) = n \times L(z) : v_m(z)$$

- częstotliwość drgań własnych:

$$n = n_{1,x}$$

$$n = 46 : h = 46 : 5 = 9,2$$

$$f_L(z, n) = (9,2 \times 24,69) : 12,32 = 18,44$$

$$S_L = (6,8 \times 18,44) : (1 + 10,2 \times 18,44)^{5/3} = 0,02$$

- współczynnik redukcyjny ze względu na wymiary:

$$K_s = 1 : \{1 + [(G_y \times f_y)^2 + (G_z \times f_z)^2 + (2 \times G_y \times f_y \times G_z \times f_z : 3,14)^2]^{1/2}\}$$

$$G_y = 0,5 \quad G_z = 0,375$$

$$f_y = (c_z \times b \times n) : v_m(z_s)$$

$$c_z = 11,5$$

$$b = 7,66 \text{ m}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$v_m(z_s) = 12,32 \text{ m/s}$$

$$f_y = (11,5 \times 7,66 \times 9,2) : 12,32 = 65,78$$

$$f_z = (c_z \times h \times n) : v_m(z_s)$$

$$f_z = (11,5 \times 5 \times 9,2) : 12,32 = 42,94$$

$$K_s = 1 : \{1 + [(0,5 \times 65,78)^2 + (0,375 \times 42,94)^2 +$$

$$+ (2 \times 0,5 \times 65,78 \times 0,375 \times 42,94 : 3,14)^2]^{1/2}\} = 0,00294$$

$$R^2 = (3,142 \times 0,02 \times 0,00294) : (2 \times 0,05) = 0,00185$$

$$c_s \quad c_d = [1 + 2 \times 3,00 \times 0,355 \times (0,295 + 0,00185)^{1/2}] : [1 + 7 \times 0,355] = 0,62$$

- wartość charakterystyczna:

$$F_w = 0,62 \times [(0,76 \times 7,5) + (0,46 \times 30,8)] = 12,32 \text{ kN}$$

- wartość obliczeniowa:

$$F_w = 12,32 \times 1,5 = 18,48 \text{ kN}$$

1.7. Stateczność konstrukcji na obrót od parcia wiatru.

$$M_o < 0,8 \times 0,9 \times M_u$$

M_o - moment obracający konstrukcję od parcia wiatru

M_u - moment utrzymujący konstrukcję

$$M_u = G_k \times 0,5 \times B_k$$

$$G_k = 68,67 \times 1,35 = 92,7 \text{ kN}$$

$$M_u = 92,7 \times 0,5 \times 1,6 = 74,16 \text{ kNm}$$

$$M_o = 18,48 \times 2,5 = 46,2 \text{ kNm}$$

$$46,2 < 0,8 \times 0,9 \times 74,16 = 53,4 \text{ kNm}$$

Warunek spełniony.

1.8. Stateczność konstrukcji na przesunięcie od parcia wiatru.

$$T_R < 0,8 \times 0,9 \times Q_{ft}$$

T_R - siła pozioma od parcia wiatru

$$Q_{ft} = \mu \times G_k$$

μ - współczynnik tarcia zależny od rodzaju gruntu

- dla piasków średnich średnio zagęszczonych : $m = 0,50$

$$T_R = 18,48 \text{ kN}$$

$$G_k = 68,67 \times 1,35 = 92,7 \text{ kN}$$

$$Q_{ft} = 0,50 \times 92,7 = 46,35 \text{ kN}$$

$$18,48 < 0,8 \times 0,9 \times 46,35 = 33,37 \text{ kN}$$

Warunek spełniony.

2. Oddziaływanie wiatru – II i III strefa wiatrowa (do 600 m.n.p.m.).

2.1 . Lokalizacja.

- strefa obciążenia wiatrem – 2 i 3
- wysokość nad poziomem morza – $A < 600$ m.
- wysokość odniesienia – $z = h_{\max} = 5,00$ m

2.2. Kategoria i parametry terenu.

- kategoria terenu – III
- wymiar chropowatości :
 $z_o = 0,3$ m
 $z_{\min.} = 5$ m

2.3. Wartość bazowej prędkości wiatru.

- bazowa prędkość wiatru:

$$V_b = V_{b,o} \times C_{dir} \times C_{season}$$

- wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru:

$$\text{Strefa II: } v_{b,o} = 26 \text{ m/s}$$

$$\text{Strefa III: } v_{b,o} = 22 \times [1 + 0,006 \times (600 - 300)] = 25,96 \text{ m/s}$$

Przyjęto $v_{b,o} = 26$ m/s dla obu stref wiatrowych.

- c_{dir} - współczynnik kierunkowy:

$$c_{dir} = 0,8$$

- c_{season} – współczynnik sezonowy:

$$c_{season} = 1,00$$

- bazowa prędkość wiatru:

$$v_b = 26 \times 0,80 \times 1,00 = 20,8 \text{ m/s}$$

2.4. Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru.

- wysokość odniesienia – $z = h_{\max} = 5 \text{ m}$

- współczynnik chropowatości:

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) = 0,8 \times (5/10)^{0,19} = 0,70$$

- współczynnik rzeźby terenu:

$$c_o(z) = 1,0$$

- średnia prędkość wiatru:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b$$

$$v_m(z) = 0,70 \times 1,0 \times 20,8 = 14,56 \text{ m/s}$$

- intensywność turbulencji:

$$\text{Dla } z < z_{\min.}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min.})$$

$$z_{\min.} = 5 \text{ m}$$

$$I_v(z_{\min.}) = k_1 : [c_o(z) \times \ln(z/z_o)]$$

- współczynnik turbulencji:

$$k_1 = 1,0$$

$$I_v(z) = 1,0 : [1,0 \times \ln(5 : 0,3)] = 0,355$$

- wartość szczytowa prędkości wiatru:

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times [0,5 \times r \times v_m^2(z)]$$

- gęstość powietrza:

$$r = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_p(z) = (1 + 7 \times 0,355) \times (0,5 \times 1,25 \times 14,56^2) = 462 \text{ Pa} = 0,46 \text{ kPa}$$

2.5. Ciśnienie wiatru działające na powierzchnię ściany:

$$w_e = q_p(z_e) \times c_{p,net}$$

- $q_p(z_e)$ – wartość szczytowa ciśnienia prędkości:

$$q_p(z_e) = 0,46 \text{ kN/m}^2$$

- $c_{p,net}$ - współczynnik aerodynamiczny – współczynnik ciśnienia netto:

$$c_{p,net} = 2,3 \text{ dla pola odniesienia A o powierzchni} = 0,3 \times 5 \times 5 = 7,5 \text{ m}^2$$

$$c_{p,net} = 1,4 \text{ dla pola odniesienia B o powierzchni} = (7,66 \times 5) - 7,5 = 30,8 \text{ m}^2$$

$$w_{e,A} = 0,46 \times 2,3 = 1,06 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = 0,46 \times 1,4 = 0,64 \text{ kN/m}^2$$

2.6. Siły oddziaływania wiatru.

$$F_w = c_s c_d \times \sum w_e \times A_{ref}$$

- $c_s c_d$ – współczynnik konstrukcyjny:

$$c_s c_d = [1 + 2 \times k_p \times I_v(z_s) \times (B^2 + R^2)^{1/2}] : [1 + 7 \times I_v(z_s)]$$

- współczynnik wartości szczytowej:

$$k_p = 3,0$$

- współczynnik odpowiedzi pozarezonansowej:

$$B^2 = 1 : 1,5 \times [(b : L(z_s))^2 + [(h : L(z_s))^2 + (b \times h : L^2(z_s))^2]^{1/2}$$

- liniowa skala turbulencji:

$$L(z) = L(z_{min}) = L(z) = L_t \times (z : z_t)^a$$

- skala odniesienia:

$$L_t = 300 \text{ m}$$

$$a = 0,67 + 0,05 \ln(z_o)$$

$$z_o = 0,3 \text{ m}$$

$$a = 0,67 + 0,05 \times \ln 0,3 = 0,61$$

$$L(z) = 300 \times (5 : 300)^{0,61} = 24,69$$

$$B^2 = 1 : \{1 + 1,5 \times [(7,66 : 24,69)^2 + (5 : 24,69)^2 + (7,66 \times 5 : 24,69)^2]^{1/2}\} = 0,295$$

- współczynnik odpowiedzi rezonansowej:

$$R^2 = \pi^2 \times S_L(z_s, n_{1,x}) \times K_s(n_{1,x}) : (2 \times d)$$

- całkowity logarytmiczny dekrement tłumienia:

$$d = 0,05 \text{ dla konstrukcji stalowych}$$

- bezwymiarowa funkcja gęstości spektralnej mocy:

$$S_L = [6,8 \times f_L(z,n)] : [1 + 10,2 \times f_L(z,n)]^{5/3}$$

- częstotliwość bezwymiarowa:

$$f_L(z,n) = n \times L(z) : v_m(z)$$

- częstotliwość drgań własnych:

$$n = n_{1,x}$$

$$n = 46 : h = 46 : 5 = 9,2$$

$$f_L(z,n) = (9,2 \times 24,69) : 12,32 = 18,44$$

$$S_L = (6,8 \times 18,44) : (1 + 10,2 \times 18,44)^{5/3} = 0,02$$

- współczynnik redukcyjny ze względu na wymiary:

$$K_s = 1 : \{1 + [(G_y \times f_y)^2 + (G_z \times f_z)^2 + (2 \times G_y \times f_y \times G_z \times f_z : 3,14)^2]^{1/2}\}$$

$$G_y = 0,5 \quad G_z = 0,375$$

$$f_y = (c_z \times b \times n) : v_m(z_s)$$

$$c_z = 11,5$$

$$b = 7,66 \text{ m}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$v_m(z_s) = 12,32 \text{ m/s}$$

$$f_y = (11,5 \times 7,66 \times 9,2) : 12,32 = 65,78$$

$$f_z = (c_z \times h \times n) : v_m(z_s)$$

$$f_z = (11,5 \times 5 \times 9,2) : 12,32 = 42,94$$

$$K_s = 1 : \{1 + [(0,5 \times 65,78)^2 + (0,375 \times 42,94)^2 + \\ + (2 \times 0,5 \times 65,78 \times 0,375 \times 42,94 : 3,14)^2]^{1/2}\} = 0,00294$$

$$R^2 = (3,142 \times 0,02 \times 0,00294) : (2 \times 0,05) = 0,00185$$

$$c_s c_d = [1 + 2 \times 3,00 \times 0,355 \times (0,295 + 0,00185)^{1/2}] : [1 + 7 \times 0,355] = 0,62$$

- wartość charakterystyczna:

$$F_w = 0,62 \times [(1,06 \times 7,5) + (0,76 \times 30,8)] = 19,44 \text{ kN}$$

- wartość obliczeniowa:

$$F_w = 19,44 \times 1,5 = 29,16 \text{ kN}$$

FUNDAMENT.

Przyjęto fundament betonowy prefabrykowany :

$$L \times B \times h = 7,66 \times 1,6 \times 0,10 \text{ m}$$

2.7. Stateczność fundamentu na obrót od parcia wiatru.

$$M_o < 0,8 \times 0,9 \times M_u$$

M_o - moment obracający fundament od parcia wiatru

M_u - moment utrzymujący fundament (od ciężaru konstrukcji i ciężaru fundamentu)

$$M_u = (G_k + G_f) \times 0,5 \times B_k$$

$$G_k = 68,67 \times 1,35 = 92,7 \text{ kN}$$

$$G_f = 7 \times 1,6 \times 0,10 \times 25,00 \times 1,35 = 37,8 \text{ kN}$$

$$M_u = (92,7 + 37,8) \times 0,5 \times 1,6 = 104,4 \text{ kNm}$$

$$M_o = 27,72 \times 2,5 = 69,3 \text{ kNm}$$

$$69,3 < 0,8 \times 0,9 \times 104,4 = 75,17 \text{ kNm}$$

Warunek spełniony.

2.8. Stateczność fundamentu na przesunięcie od parcia wiatru.

$$T_R < 0,8 \times 0,9 \times Q_{ft}$$

T_R - siła pozioma od parcia wiatru

$$Q_{ft} = \mu \times (G_k + G_r)$$

μ - współczynnik tarcia zależny od rodzaju gruntu

- dla piasków średnich średnio zagęszczonych : $m = 0,50$

$$T_R = 27,72 \text{ kN}$$

$$G_k = 68,67 \times 1,35 = 92,7 \text{ kN}$$

$$G_r = 7 \times 1,6 \times 0,10 \times 25,00 \times 1,35 = 37,8 \text{ kN}$$

$$Q_{ft} = 0,50 \times (92,7 + 37,8) = 65,25 \text{ kN}$$

$$27,72 < 0,8 \times 0,9 \times 65,25 = 46,98 \text{ kN}$$

Warunek spełniony.

2.9. Zbrojenie fundamentu.

Beton B - 20

Stal A - III (34 GS)

Przyjęto zbrojenie płyty fundamentowej - dołem i górą - # 12 co 20 cm.

Obliczenie uchwytu montażowego :

$$Q = [(0,5 \times 2 \times 1,23) : (\cos 30)] \times 17,93 = 25,47 \text{ kN}$$

Przyjęto średnicę pręta uchwytu : $d = 20 \text{ mm}$ o nośności 29,0 kN ze stali A I.

Długość zakotwienia jednej gałęzi uchwytu :

$$L_a = [1 : (0,04 \times 1,15)] \times [(0,58 \times 27,54 : 2,0) - 0,107 \times 21,0 \times 2] = 75,9 \text{ cm}$$

2.10. Śruby kotwiące.

Beton B - 20

$$T = 27,72 \text{ kN}$$

$$M_o = 27,72 \times 1,27 = 35,2 \text{ kNm}$$

- obliczeniowa siła ścinająca przypadająca na 1 kotwę :

$$V = 0,5 \times 27,72 = 13,86 \text{ kN}$$

- obliczeniowa siła rozciągająca :

$$N = 0,5 \times (35,2 : 0,44) = 40 \text{ kN}$$

Przyjęto kotwy wklejane HILTI HIT HY 150 M25/210.

2.10.1. Nośność obliczeniowa kotwy z uwagi na siłę podłużną - $N = 11,52 \text{ kN}$.

2.10.1.a. Nośność ze względu na wyrwanie kotwy:

$$N_{Rdc} = N_{o_{Rdc}} \times f_T \times f_{B,N} \times f_{A,N} \times f_{R,N}$$

$$N_{o_{Rdc}} = 31,5 \text{ kN dla } h_{nom} = 210 \text{ mm}$$

h_{nom} - nominalna głębokość osadzenia

- f_T - współczynnik uwzględniający głębokość osadzenia kotwy - $f_T = 1,0$

- $f_{B,N}$ - współczynnik uwzględniający wpływ wytrzymałości betonu - $f_{B,N} = 0,80$

- $f_{A,N}$ - współczynnik uwzględniający wpływ rozstawu kotew - $f_{A,N} = 1,0$

- $f_{R,N}$ - współczynnik uwzględniający wpływ odległości kotew od krawędzi - $f_{R,N} = 1,0$

$$N_{Rdc} = 31,5 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 25,20 \text{ kN} > 14,53 \text{ kN}$$

2.10.1.b. Nośność ze względu na rozciąganie.

$$N_{Rd,s} = 204,5 \text{ kN} > 40 \text{ kN}$$

2.10.2. Nośność obliczeniowa kotwy z uwagi na siłę poprzeczną.

$$V = 5,03 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = V_{Rdc}^o \times f_{b,v} \times f_{AR,v} \times f_{b,v}$$

$$V_{Rdc}^o = 15,7 \text{ kN dla } c_{min} = 105 \text{ mm}$$

c_{min} - minimalna odległość od krawędzi

- $f_{b,v}$ - współczynnik uwzględniający wpływ wytrzymałości betonu - $f_{b,v} = 0,80$

- $f_{AR,v}$ - współczynnik uwzględniający wpływ rozstawu kotew i odległości od krawędzi

$$f_{AR,v} = 1,0$$

- $f_{b,v}$ - współczynnik uwzględniający wpływ kierunku działania siły poprzecznej

$$f_{b,v} = 1,0$$

$$V_{Rdc} = 15,7 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0 = 12,56 \text{ kN} > 5,04 \text{ kN}$$

2.10.3 Nośność obliczeniowa stali ze względu na ścinanie.

$$V_{Rd,s} = 108,0 \text{ kN} > 5,04 \text{ kN}$$

2.5. Współczynnik ilości skrytek.

W niniejszym punkcie zostaną przedstawione wizualizacje i obliczenia tzw. współczynnika ilości skrytek na metr kwadratowy zajmowanej przez maszynę powierzchni. Jest to niezwykle istotny parametr ponieważ im mniejsze urządzenie tym lepiej - z reguły odbiorcy urządzeń ponoszą opłaty za zajętą powierzchnię, więc zwracają uwagę na to, aby urządzenie było jak najmniejszych gabarytów. Jednocześnie wiele lokalizacji posiada ograniczenia powierzchniowe i nie ma możliwości posadowienia zbyt dużych urządzeń. Ponadto wyższy współczynnik ilości skrytek maksymalizację wykorzystania przestrzeni w urządzeniu: konieczne jest zmieszczenie jak największej liczby skrytek na jak najmniejszej przestrzeni, stąd m.in. odległości pomiędzy stelażami a ścianami bocznymi nie mogą być zbyt duże.

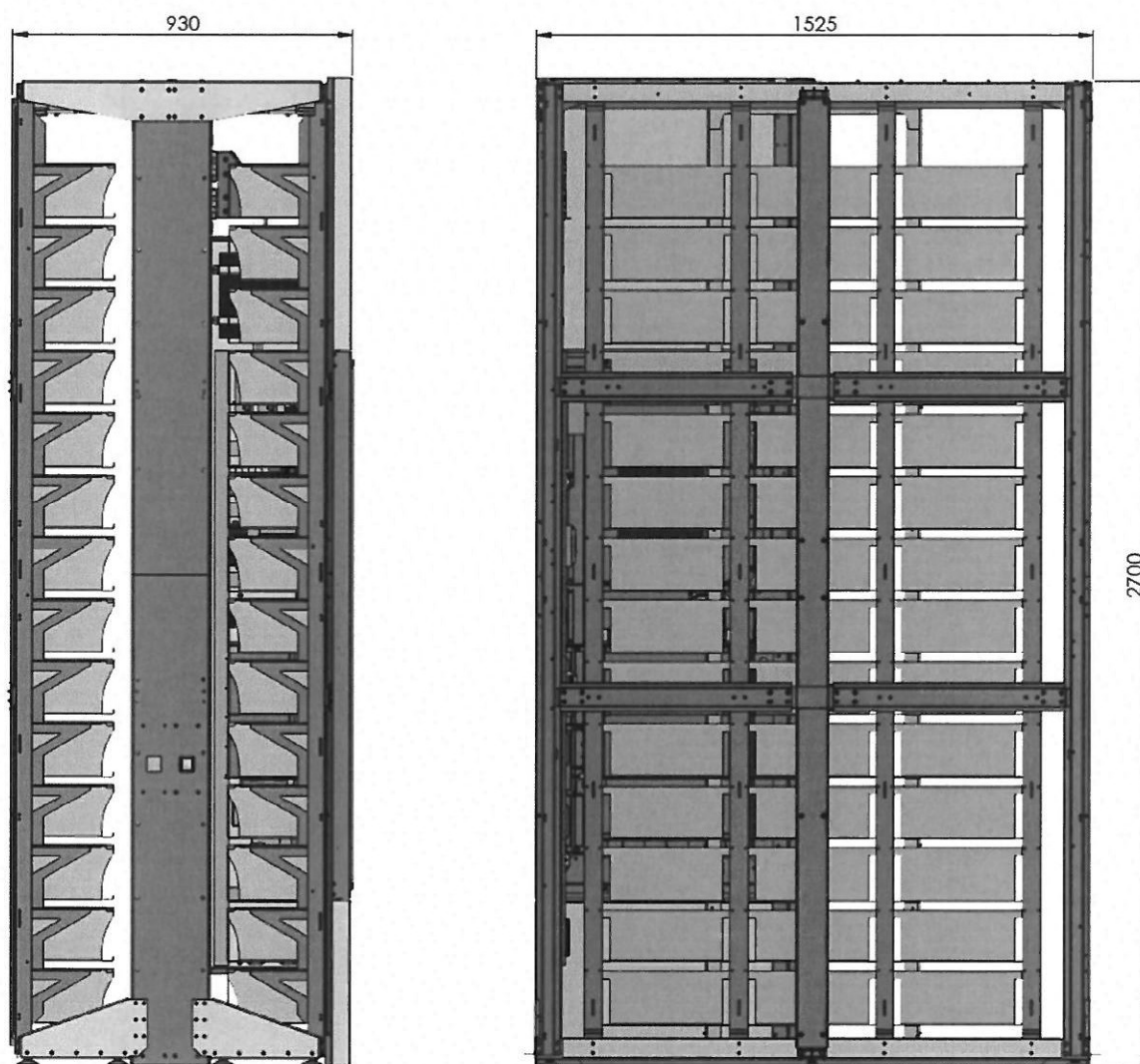
Punktem wyjścia do obliczeń będą najpopularniejsze obecnie na rynku urządzenia firmy Inpost:

- dla automatu nadawczo – odbiorczego (ANO) będą do Paczkomaty,
- dla automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową (ANOST) będą to Lodówkomaty.



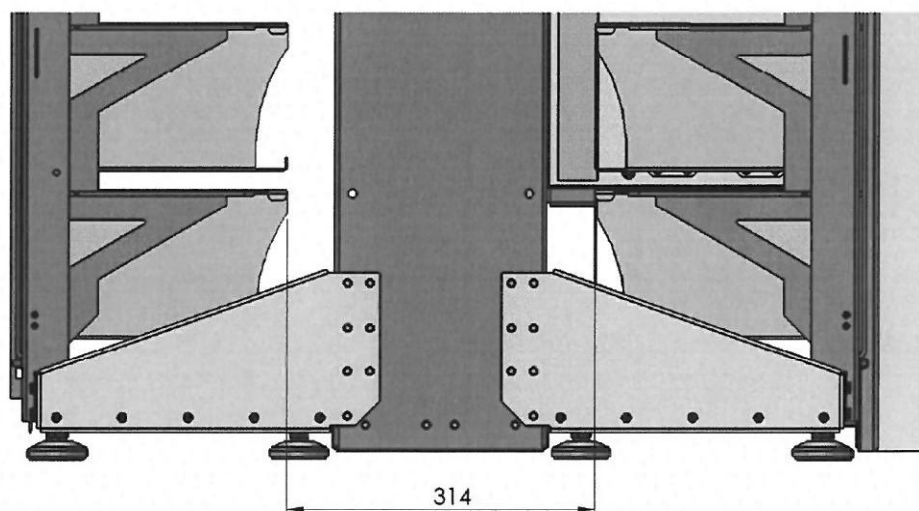
Rys. Jeden z modeli Paczkomatu.

Standardowy maksymalny rozmiar przesyłek w przypadku maszyny ANO to dla przypomnienia: 150 x 250 x 350 [mm] (wysokość x głębokość x szerokość). Do ich obsługi w przypadku wspomnianych Paczkomatów konieczne jest używanie tzw. gabarytu B, którego maksymalne wymiary definiowane są następująco: 190 x 380 x 640 mm. Do analizy wybrano przedstawiony powyżej model Paczkomatu, który posiada maksymalny współczynnik ilości skrytek na metr kwadratowy ze względu na minimalistyczny interfejs zajmujący jedynie odpowiednik trzech gabarytów B. Pozostałą przestrzeń urządzenia (poza najwyższymi skrytkami, które ze względu na ergonomię zawsze są gabarytami C) na potrzeby analizy „wypełniono” gabarytami B. Uzyskano w ten sposób trzy pełne pionowe skrytki po 8 skrytek oraz jeden z 5 (ze względu na interfejs) co daje w sumie 39 skrytek na maszynę, która zajmuje powierzchnię 2022 x 720 mm. Daje to wyjściowy współczynnik o wartości 26,8 skrytki/m²

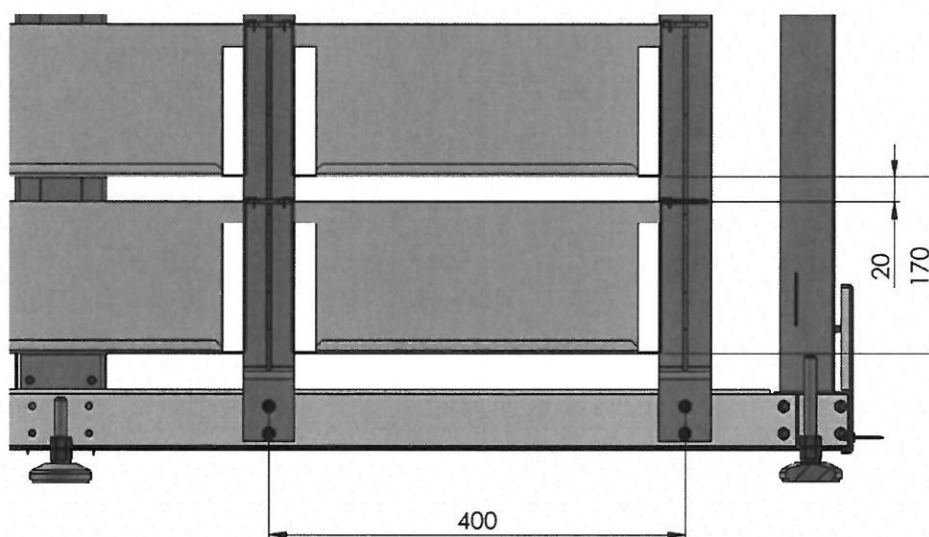


Rys. Urządzenie ANO – widok z boku i od tyłu (bez poszyc).

W przypadku automatu nadawczo - odbiorczego urządzenie ma mieć wysokość 2700 mm oraz zajmować powierzchnię 1525 x 930 mm czyli 1,42 m². Ze względu na specyfikę pracy robota, jego wymiary oraz luzy konieczne do bezpiecznego manipulowania kuwetami w opisywanej maszynie zmieści się 77 paczek co daje współczynnik na poziomie 54,3 skrytki/m²



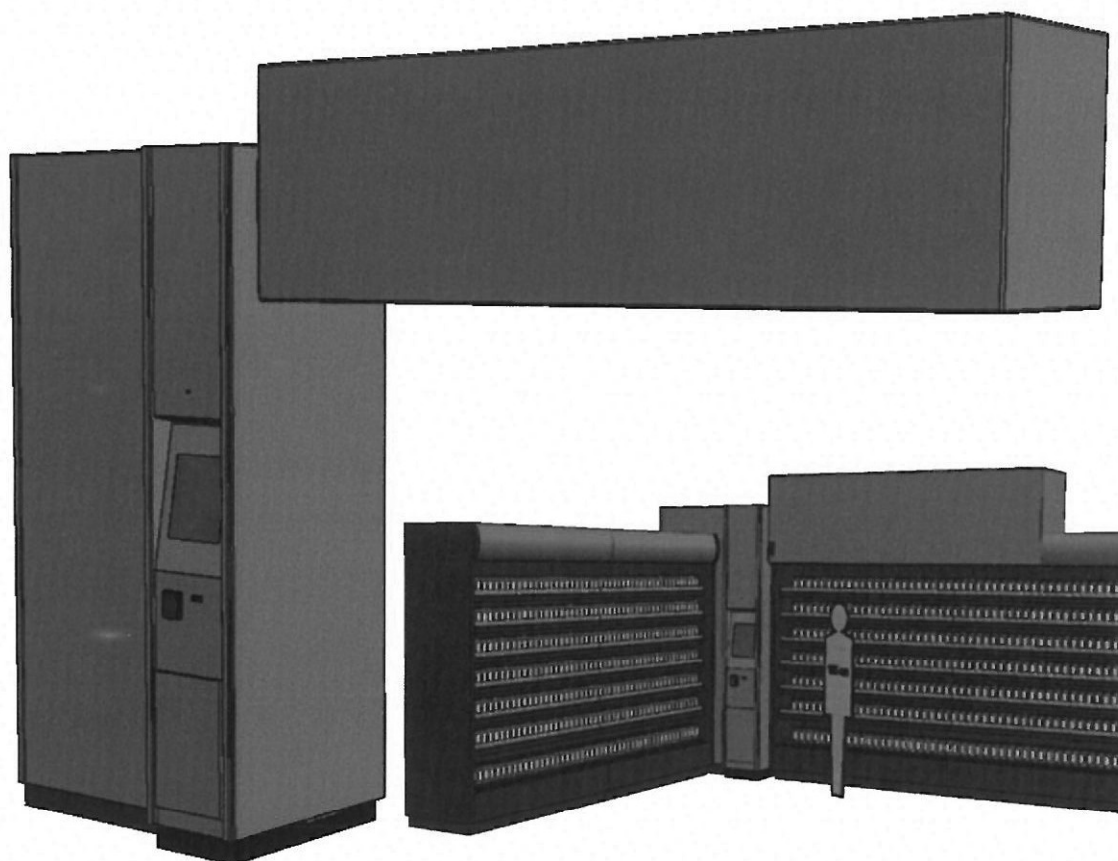
Rys. Przestrzeń pomiędzy stelażami wymagana do prawidłowego działania robota.



Rys. Wymagane odstępy pomiędzy kuwetami na stelażach.

W porównaniu z klasycznym rozwiązaniem jakim jest Paczkomat wzrost współczynnika ilości skrzytek na metr kwadratowy jest ponad dwukrotny. Należy również pamiętać, że w przeciwieństwie do Paczkomatów maszyny ANO mają potencjał do dalszego zwiększania wysokości co przełoży się na jeszcze bardziej znaczące wzrosty współczynnika. Dodanie każdych 170 mm wysokości będzie skutkowało zwiększeniem pojemności opisywanej maszyny o kolejne 6 sloty na paczki.

W przyszłości planowane jest wprowadzenie dodatkowego nadpółkowego modułu magazynującego. Jest to element stanowiący dodatkową przestrzeń magazynową do przechowywania paczek. Montowany jest nad meblami sklepowymi, pod sufitem, na konstrukcji samonośnej lub za pomocą kołków rozporowych do ściany. Schowany za blendami podsufitowymi, wobec tego jest niewidoczny dla konsumenta. Wymiary modułu to 1500 x 900 x max 700 mm (szerokość x głębokość x wysokość) z możliwością rozbudowy o szerokość i modyfikowania wysokości.



Rys. Dodatkowy nadpółkowy moduł magazynujący.

Automat nadawczo – odbiorczy po dodaniu modułu nadpółkowego posiada dwa roboty kartezyjskie współpracujące poprzez mechanizm ruchomego stelaża, który przekazuje przesyłki poprzez ruch pomiędzy modułem głównym a dodatkowym. Uwzględniając ten mechanizm w przypadku stosowania wyłącznie małych paczek o wymiarach maksymalnych 150 x 250 x 350 mm otrzymujemy następujące pojemności:

- moduł główny (2700 x 1500 mm) – 73 sloty,
- moduł nadpółkowy (700 x 1500 mm) – 12 slotów,
- cała maszyna – 85 slotów.

Oczywiście jeśli tylko wymiary pomieszczenia w którym znajdzie się maszyna na to pozwolą, moduł nadpółkowy można wykonać wyższy i dłuższy tak, aby w pełni wykorzystać dostępną przestrzeń i maksymalnie zwiększyć pojemność urządzenia.

W przypadku zastosowania trzech rozmiarów slotów wiemy z wcześniejszych badań rynkowych, że optymalny stosunek ilości poszczególnych gabarytów to 57 – 36 – 7 % (małe – średnie – duże). W przypadku opisywanej maszyny z dodatkowym modułem możemy zbliżyć się do tych wartości w następujący sposób:

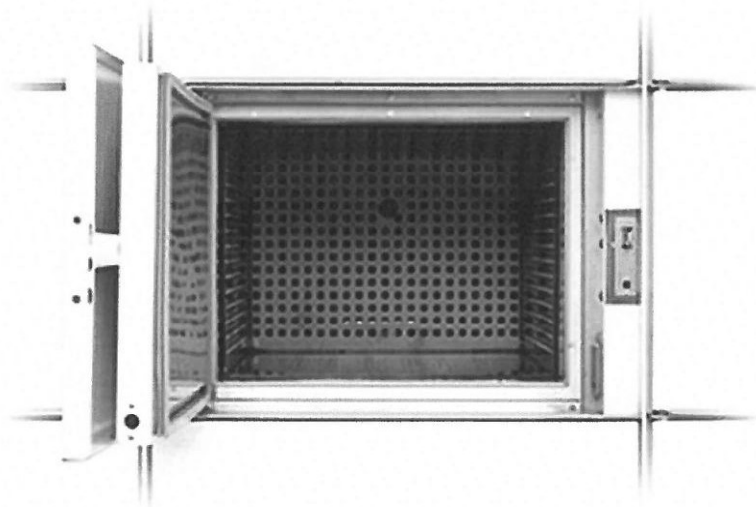
Cała maszyna (moduł główny i nadpółkowy 700mm)		
Rozmiar	Ilość	Procent
M	30	57%
S	20	38%
D	3	6%
SUMA	53	

W przypadku automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową (ANOST) pojemność maszyny i współczynnik ilości skrytek na metr kwadratowy będzie porównywany do Lodówkomatów.



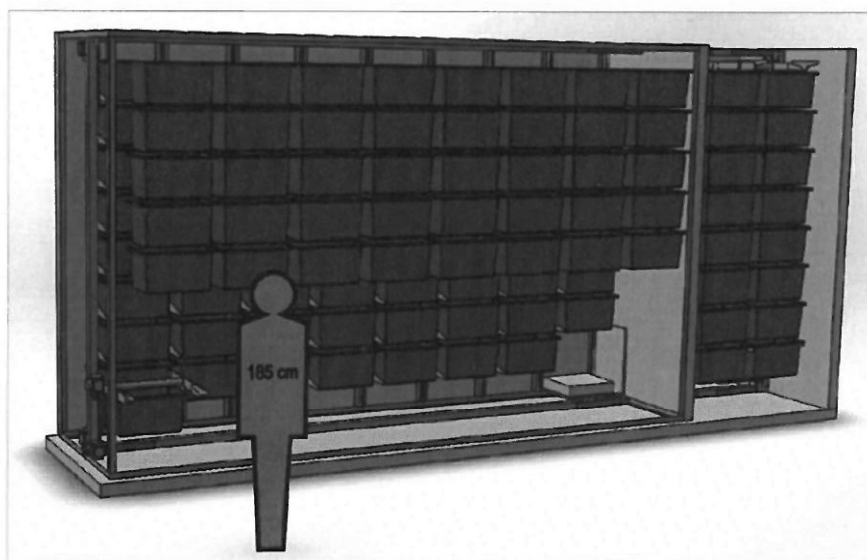
Rys. Lodówkomat firmy Inpost.

W przedstawionym powyżej urządzeniu mieszczą się 32 skrytki na przesyłki (najwyższe drzwiczki dają dostęp do elektroniki i sterowania i są przeznaczone dla serwisantów) o maksymalnych wymiarach: 370 x 300 x 600 mm. Przy zajmowanej powierzchni o wymiarach 5500 x 1250 otrzymujemy 6,875 m², czyli współczynnik na poziomie 4,65 skrytki/m².

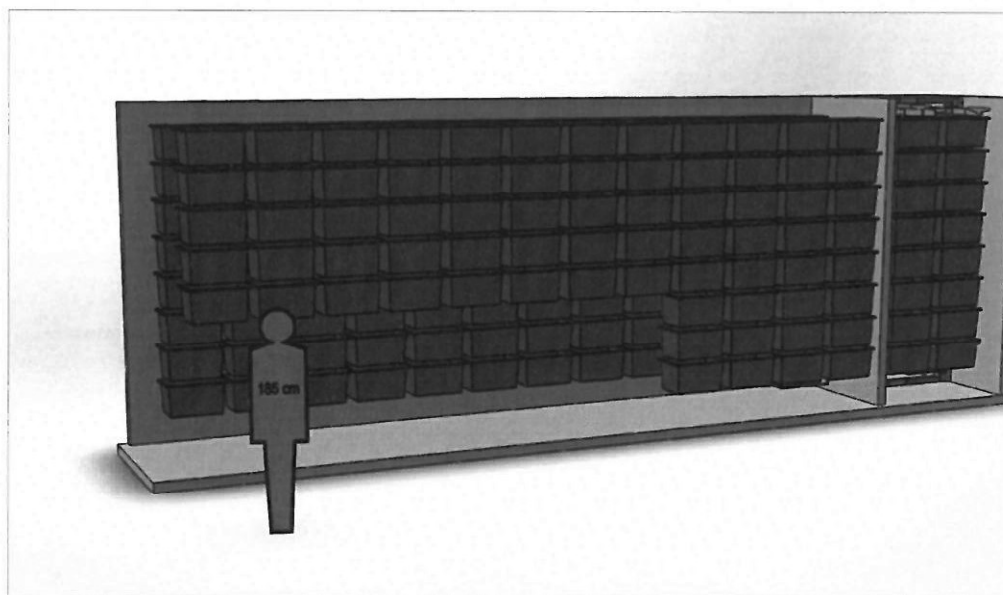


Rys. Wnętrze skrytki Lodówkomatu.

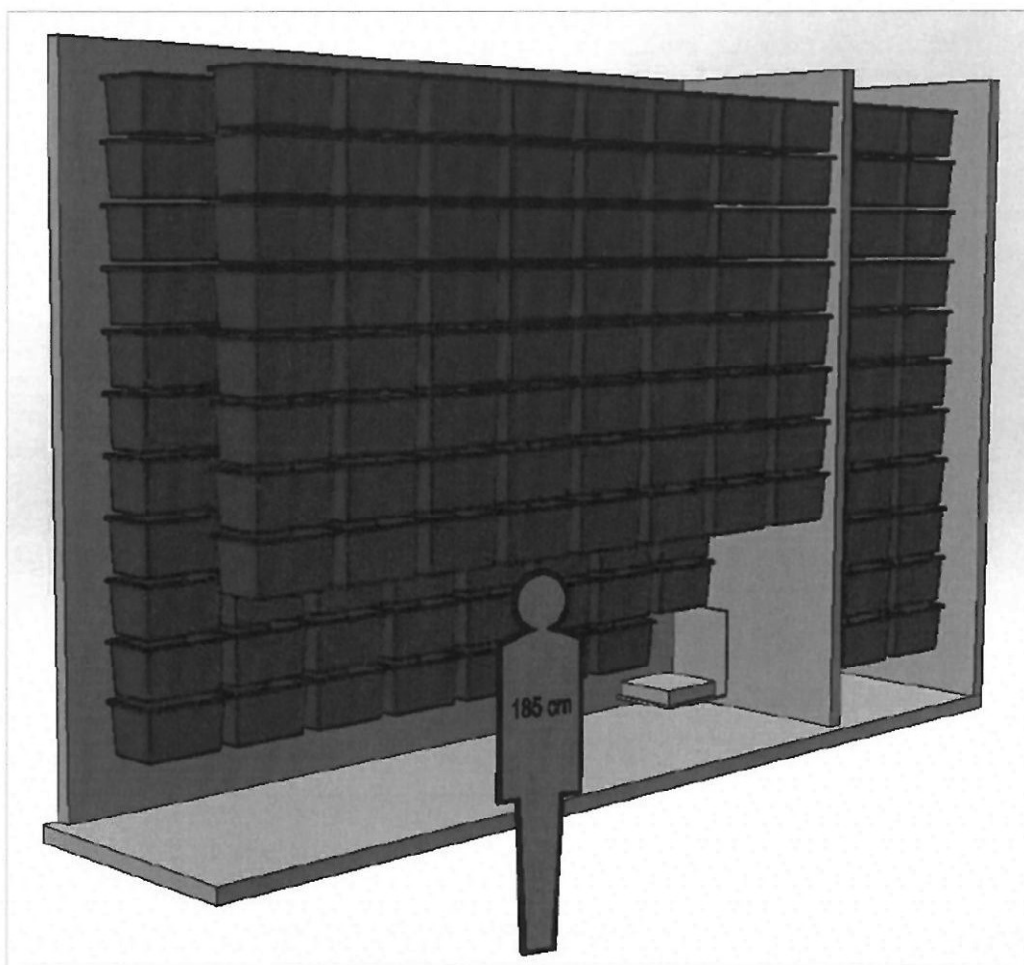
Slot w automacie ANOST pozwala na przechowywanie standardowego kosza o wymiarach 300 x 400 x 600 mm, czyli nieco większych niż te w Lodówkomatach. Poniżej znajdują się wizualizacje kilku wersji ANOST o różnych gabarytach. Cechą wspólną jest głębokość 1560, która wynika zarówno z wielkości koszy, grubości izolacji obudowy oraz przestrzeni wymaganej przez robota. Uwzględniono również miejsce wymagane przez służę i okna nadawczo – wydawcze, przegrody automatyczne oraz mechanizm przekazywania koszy pomiędzy robotami w różnych strefach temperaturowych.



Rys. Automat 7000 x 3500 x 1600 – szacowana pojemność: 135 slotów.



Rys. Automat 9500 x 3500 x 1600 – szacowana pojemność: 199 slotów.



Rys. Automat 7660 x 5000 x 1600 – szacowana pojemność: 214 slotów.

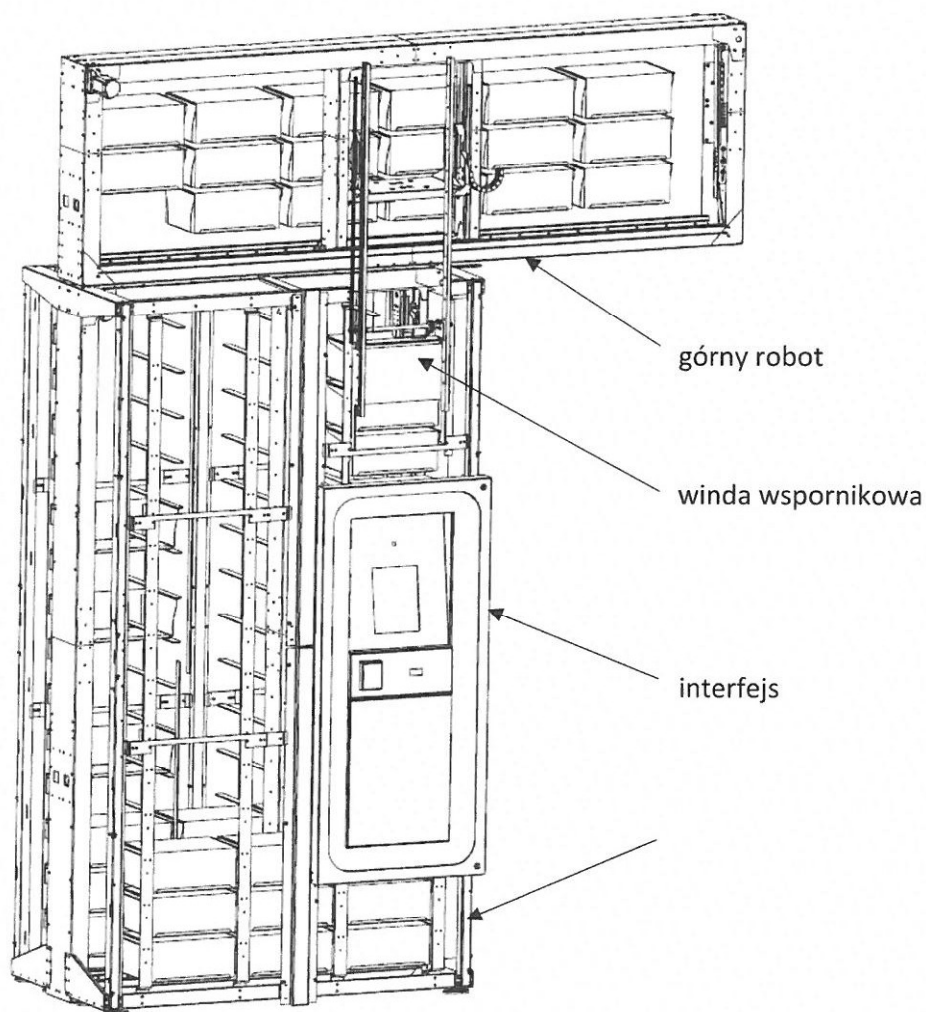
Nr	MASZYNA			ILOŚĆ POJEMNIKÓW				WIS
	Głębokość	Długość	Wysokość	Chłodnia	Mroźnia	Razem	% Chłodni	skr./m2
1	1600	7000	3500	93	32	135	68,9%	12,05
2	1600	9500	3500	167	32	199	83,9%	13,09
3	1600	7000	5000	151	63	214	70,6%	19,11

Powyższa tabela stanowi zestawienie trzech przedstawionych wersji ANOST z wyliczeniem współczynnika ilości skrytek na metr kwadratowy (WIS), który mieści się w zakresie 12,05 – 19,11 skrytek/m² co stanowi odpowiednio wzrost od 159 % do 410 % względem klasycznego Lodówkomatu (w zależności od przyjętych gabarytów ANOST).

3. Automatyczne przegrody międzystrefowe.

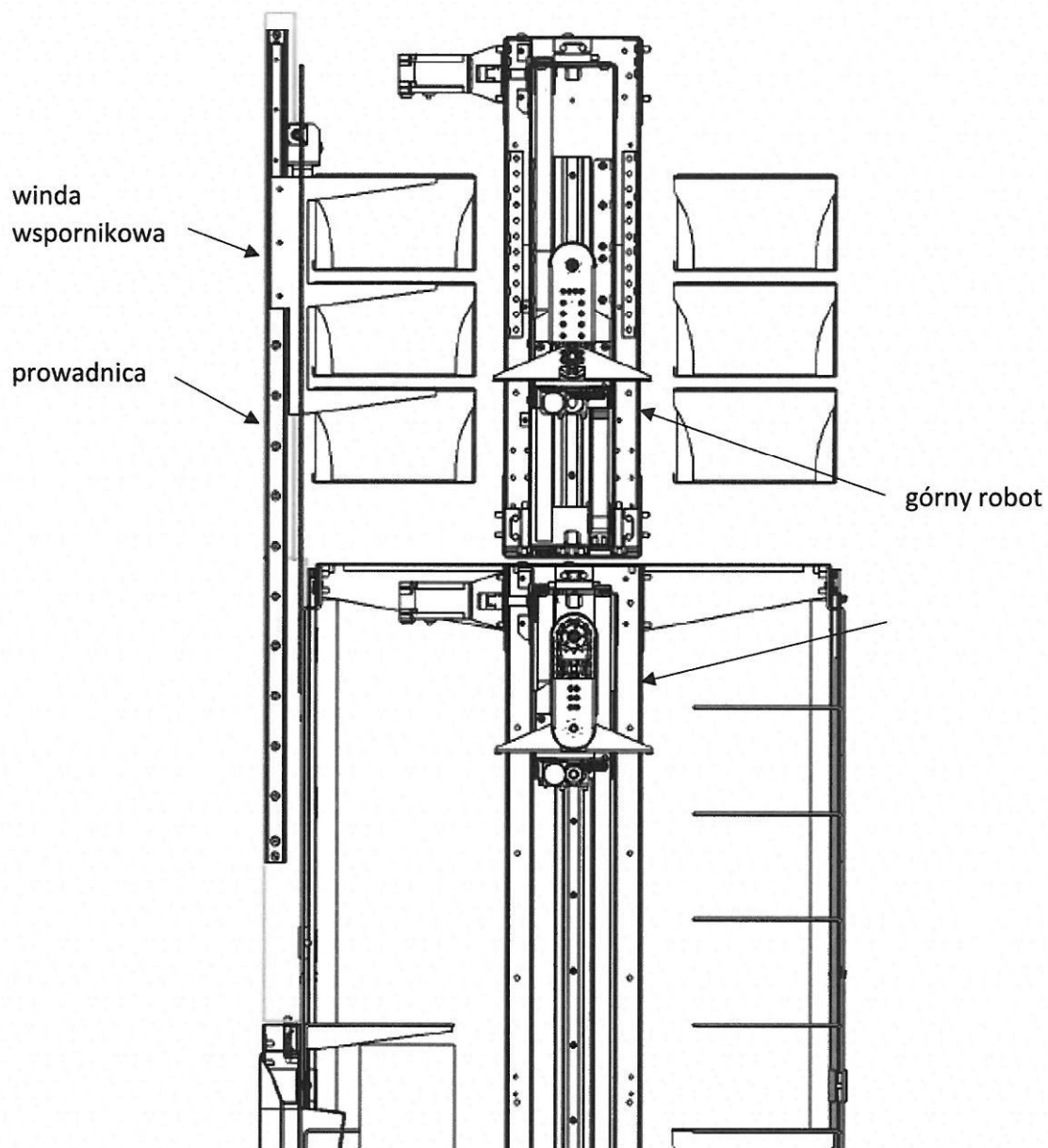
3.1. Ruchomy stelaż.

Automat nadawczo – odbiorczy (ANO) złożony z modułu głównego (narożnikowego) i dodatkowego modułu nadpółkowego wymaga dwóch robotów kartezyjskich do obsługi całej objętości urządzenia. Aby umożliwić współpracę dwóch robotów zostało opracowane rozwiązanie w postaci tzw. windy wspornikowej składającej się z trzech miejsc odkładczych umiejscowionych w przedniej części automatu nad służą nadawczo – odbiorczą i interfejsem użytkownika.



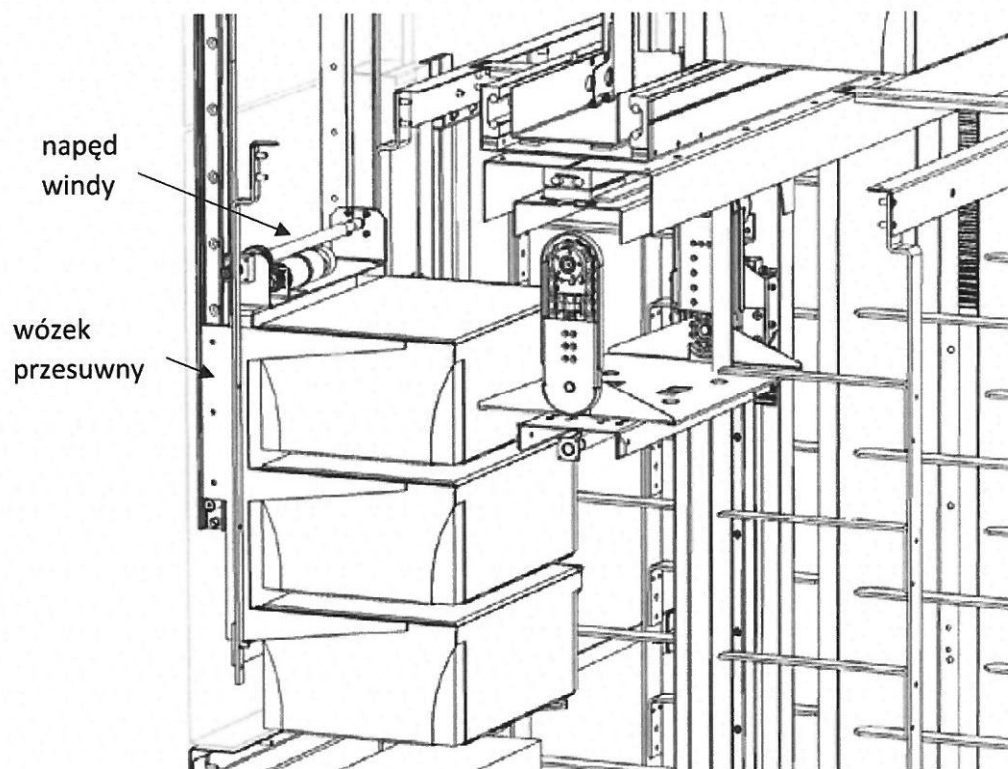
Rys. Dwa roboty kartezyjskie i winda wspornikowa.

Winda zamontowana jest w pionowym szybie utworzonym we frontowych stelażach regałowych w module narożnym i nadpółkowym (podsufitowym). Windę stanowi przesuwny pionowo dwuwspornikowy wózek z umocowanym na nim silnikiem napędowym windy. Wózek przesuwny jest na dwóch pionowych prowadnicach przymocowanych do stelaża regałowego w module narożnym i podsufitowym automatu.

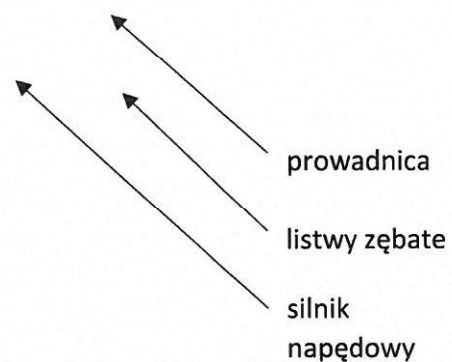


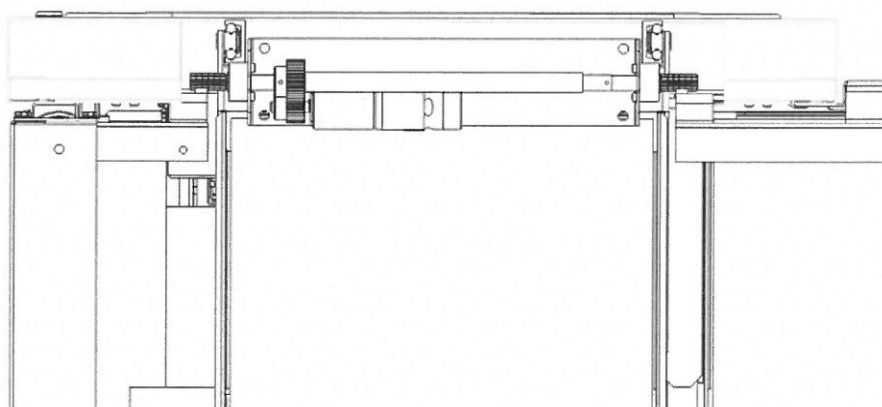
Rys. Winda wspornikowa w położeniu górnym.

Silnik napędowy windy poprzez przekładnię zębatą współpracuje z listwami zębatymi umocowanymi również do stelaża regałowego automatu nadawczo - odbiorczego. Położenia dolne i górne wózka windy ustalają zderzaki kołkowe i wyłączniki krańcowe rozmieszczone na drodze jego przesuwu.



Rys. Winda wspornikowa w położeniu dolnym.

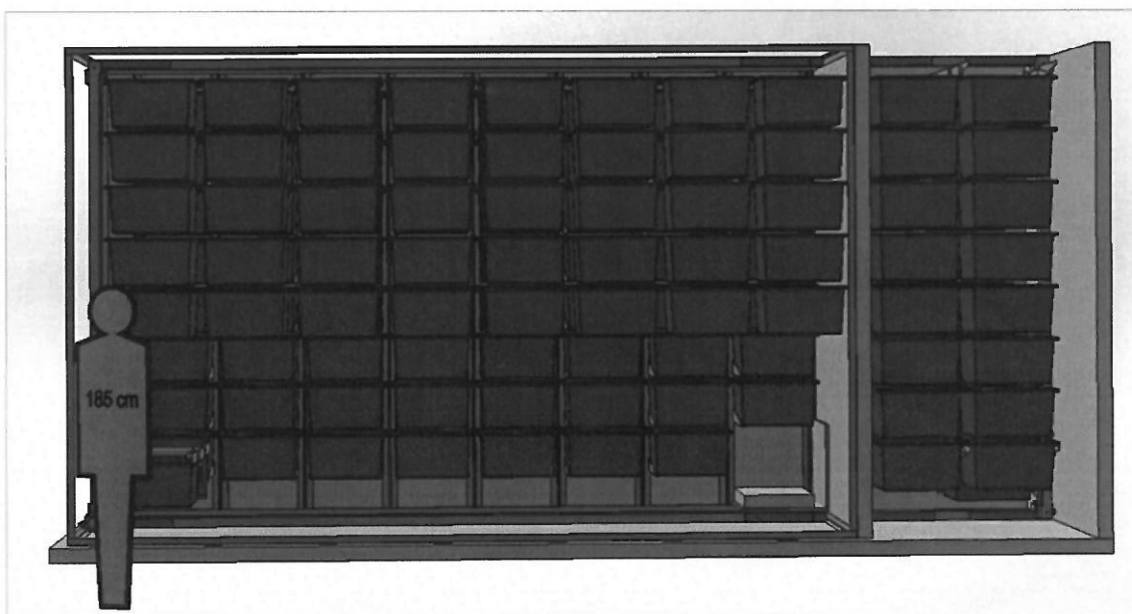




Rys. Widok na napęd windy wspornikowej (od góry).

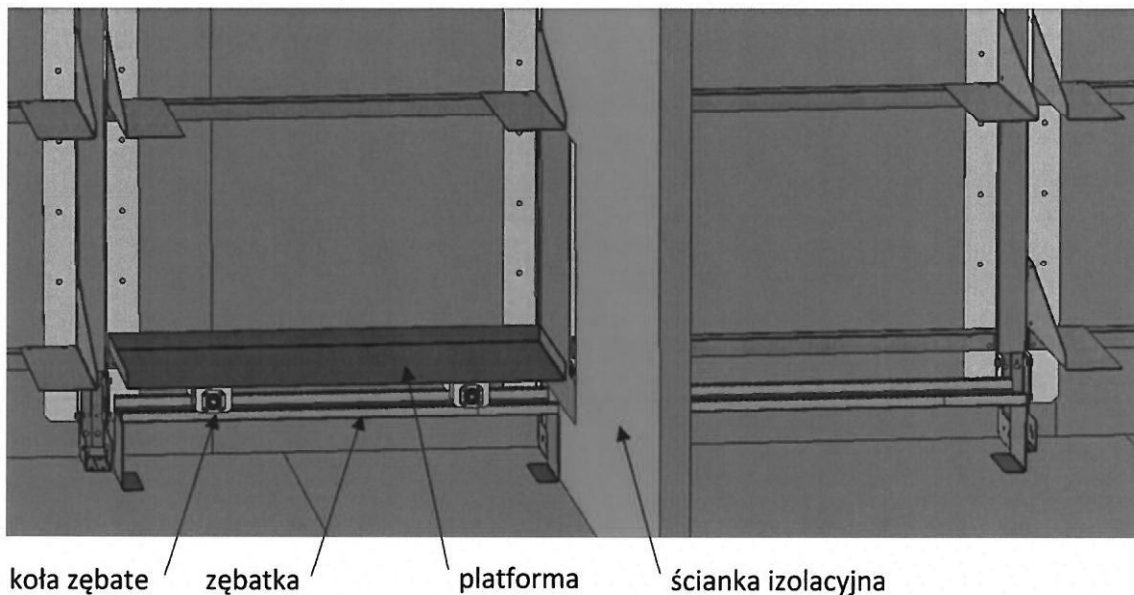
W przypadku automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturą (ANOST) ruchomy stelaż do przekazywania przesyłek między robotami musi mieć inną konstrukcję niż w przypadku rozwiązania opisanego powyżej dla ANO. Powodem tego są następujące czynniki:

- w przeciwieństwie do ANO gdzie przesyłki są przekazywane między robotami umieszczonymi jeden nad drugim, w przypadku ANOST roboty znajdują się obok siebie i dlatego ruchomy stelaż musi poruszać się w poziomie,
- robot oraz regały ANOST przystosowane są do obsługi standardowych koszy do transportu towarów wymagających stabilizacji temperaturowej,
- ze względu na różne warunki panujące w strefie pracy każdego z robotów są one oddzielone od siebie ścianką izolacyjną z płyt warstwowych wypełnionych pianą poliuretanową,
- z tego względu w ściance izolacyjnej wymagane jest zastosowanie przegrody, która po przekazaniu przesyłki pomiędzy robotami będzie minimalizowała straty ciepłe w ogólnym bilansie cieplnym urządzenia.



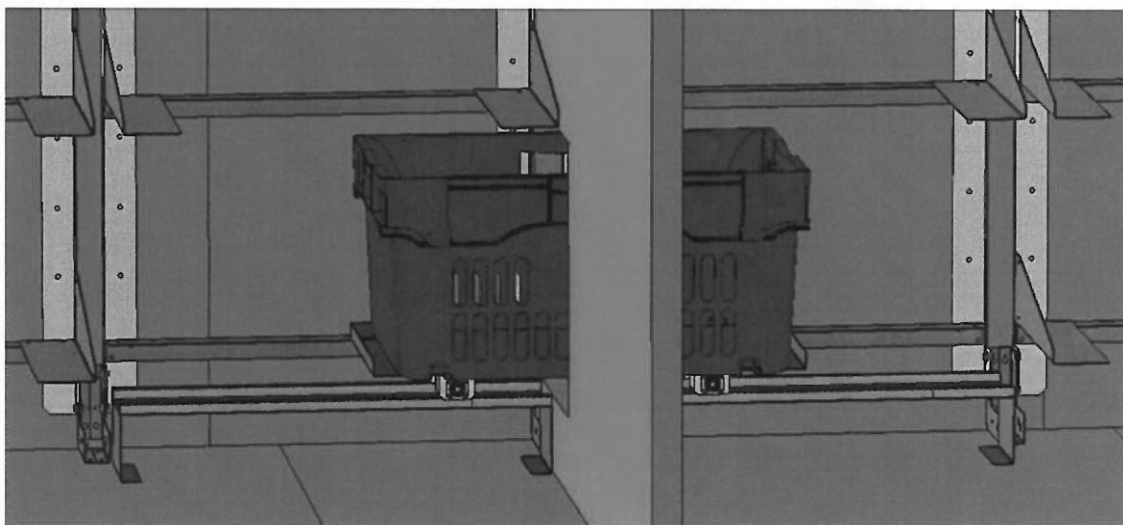
Rys. Podział ANOST na dwie strefy – widoczne dwa roboty po obu stronach ścianki izolacyjnej.

W celu umożliwienia przekazywania koszy pomiędzy strefami wprowadzono tzw. stelaż poziomy zajmujący skrajne dolne sloty w obu strefach połączone systemem dwóch zębatek po których porusza się platforma z własnym napędem przenoszonym na koła zębate.



Rys. Ruchomy stelaż poziomy pomiędzy strefami.

W celu umożliwienia przejazdu stelaża pomiędzy strefami konieczne jest utworzenie otworu w ścianie izolacyjnej o wymiarach min. 425 mm szerokości i 390 mm wysokości tak, aby platforma wraz z koszem mogła swobodnie przez niego przejeżdżać.

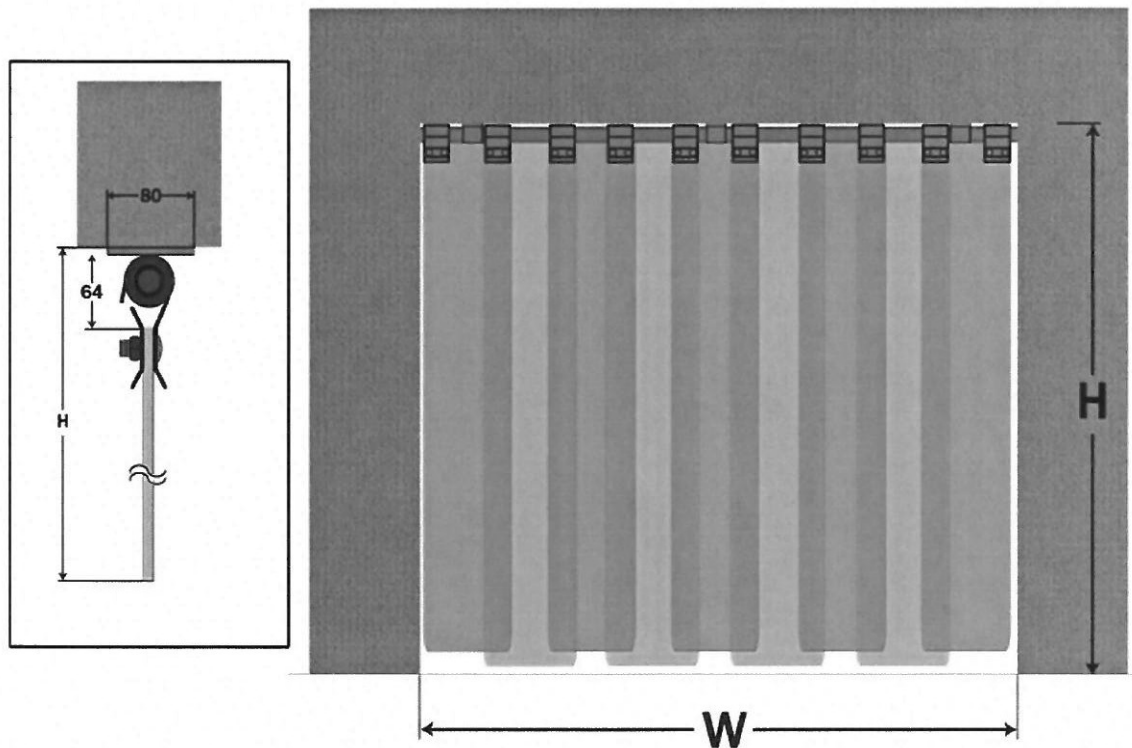


Rys. Platforma z koszem w trakcie przejazdu pomiędzy strefami.

3.2. Rodzaje przegród.

3.2.1. Kurtyna chłodnicza.

Otwór w ścianie izolacyjnej jest wymagany do przekazywania przesylek pomiędzy strefami temperaturowymi jednak poza tą operacją wymagane jest aby był on możliwie dobrze zabezpieczony przed mieszaniem się powietrza o różnych temperaturach. W przypadku granicy pomiędzy strefami tzw. ambient (+16 °C), a chłodniczą (+4 °C) planuje się zastosowanie kurtyny chłodniczej zbudowanej na bazie pasów z folii PCV o grubości 2 mm i szerokości 50 mm.



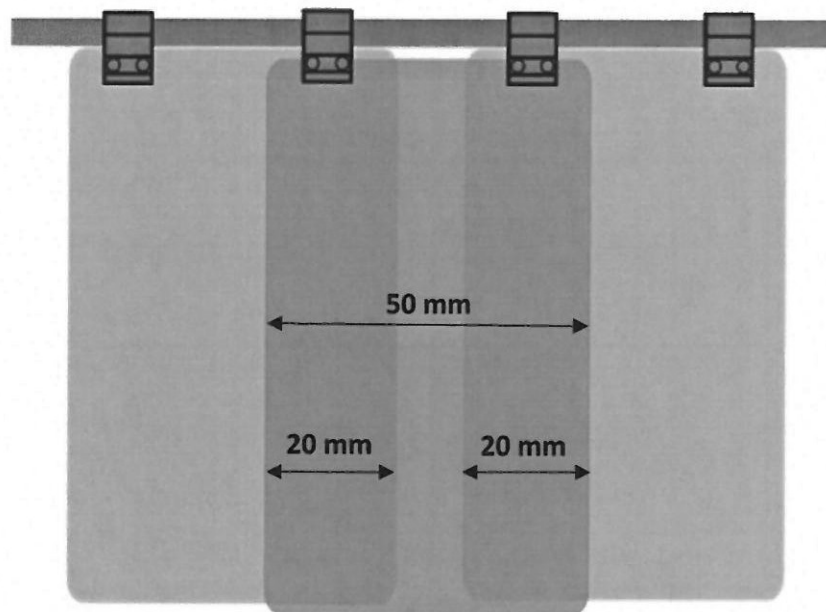
Rys. Przykład kurtyny chłodniczej z wymiarami podanymi przez producenta.

Przyjęte wymiary kurtyny na podstawie wielkości platformy transportowej i kosza:

H = 400 mm

W = 425 mm

Przyjęto zachodzenie pasów na poziomie $2 \times 20\text{mm} / 50\text{mm} = 80\%$:



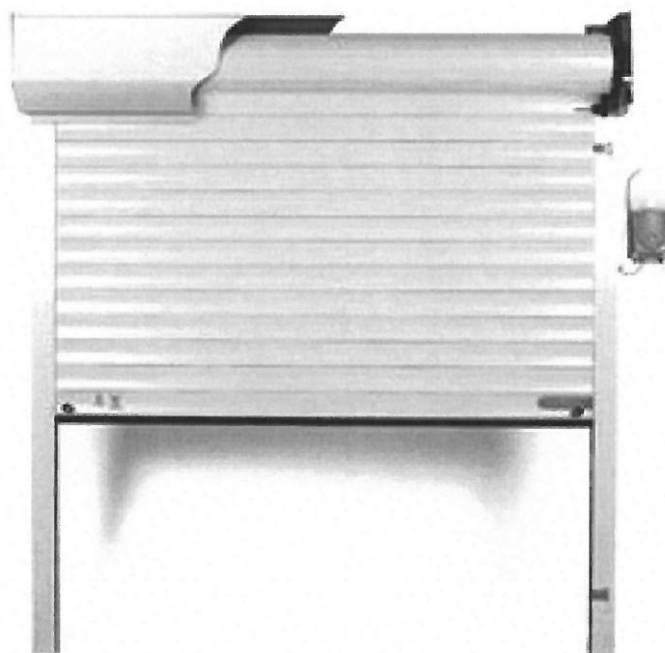
Rys. Zachodzenie pasów w kurtynie.

Rodzaj przyjętej wstępnie folii PCV to folia typu „Food Contact” (lub odpowiednik) przeznaczona do użytkowania w przemyśle spożywczym i przetwórstwie mięsnym w zakresie temperatur od $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.2.2. Roleta.

W przypadku przegrody pomiędzy strefą chłodniczą +4 °C a mroźniczą -18 °C konieczne jest zastosowanie rozwiązania zautomatyzowanego, które zapewni maksymalną izolację pomiędzy strefami w czasie zamknięcia i umożliwi szybkie otwarcie przegrody wyłącznie na czas przekazywania przesyłki między robotami realizowanego poprzez przejazd platformy z koszem.

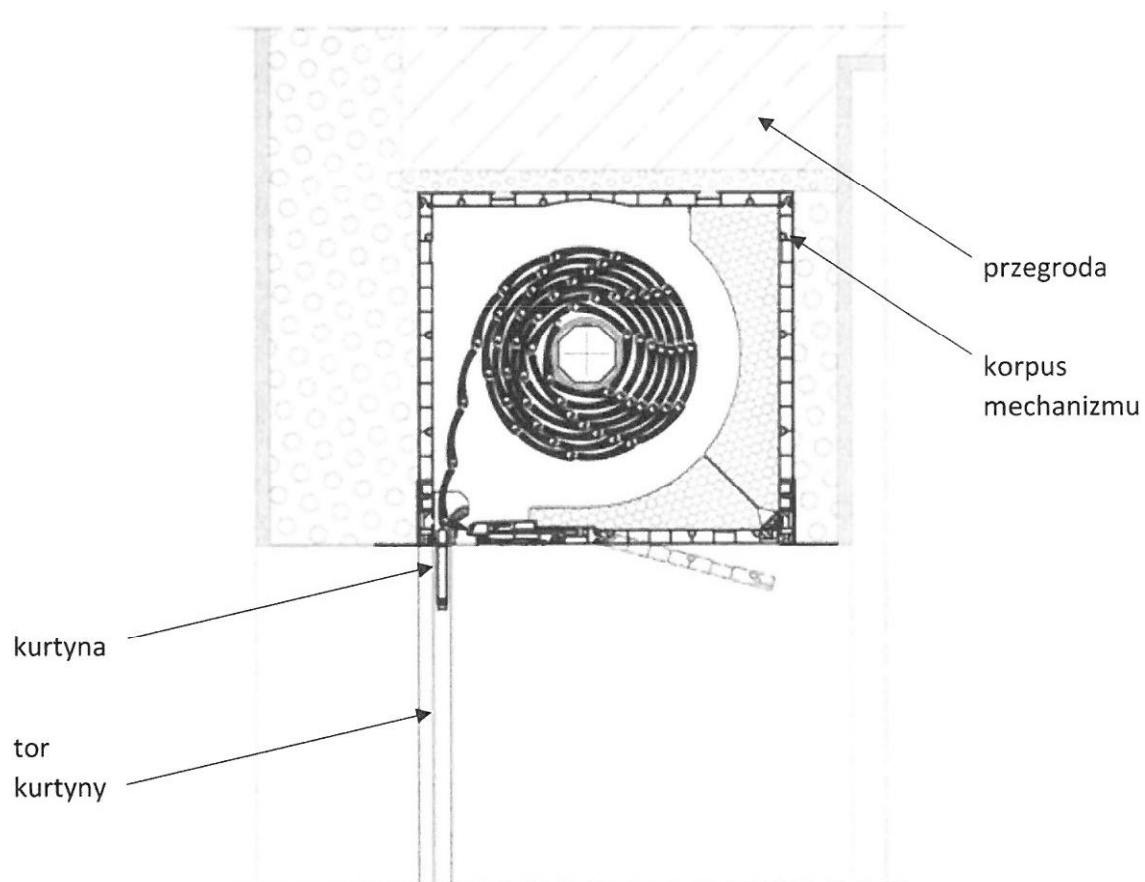
Jednym z rozwiązań jest zastosowanie rolet automatycznych stosowanych w chłodnictwie odpowiednio przeskalowanych na potrzeby projektu automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową, gdzie minimalne wymiary okna to 400 x 425 mm.



Rys. Roleta automatyczna.

Kurtynę rolety stanowią profile wykonane z wysokogatunkowej blachy aluminiowej wypełnione pianką poliuretanową, posiadające specjalne dwuwarstwowe powłoki

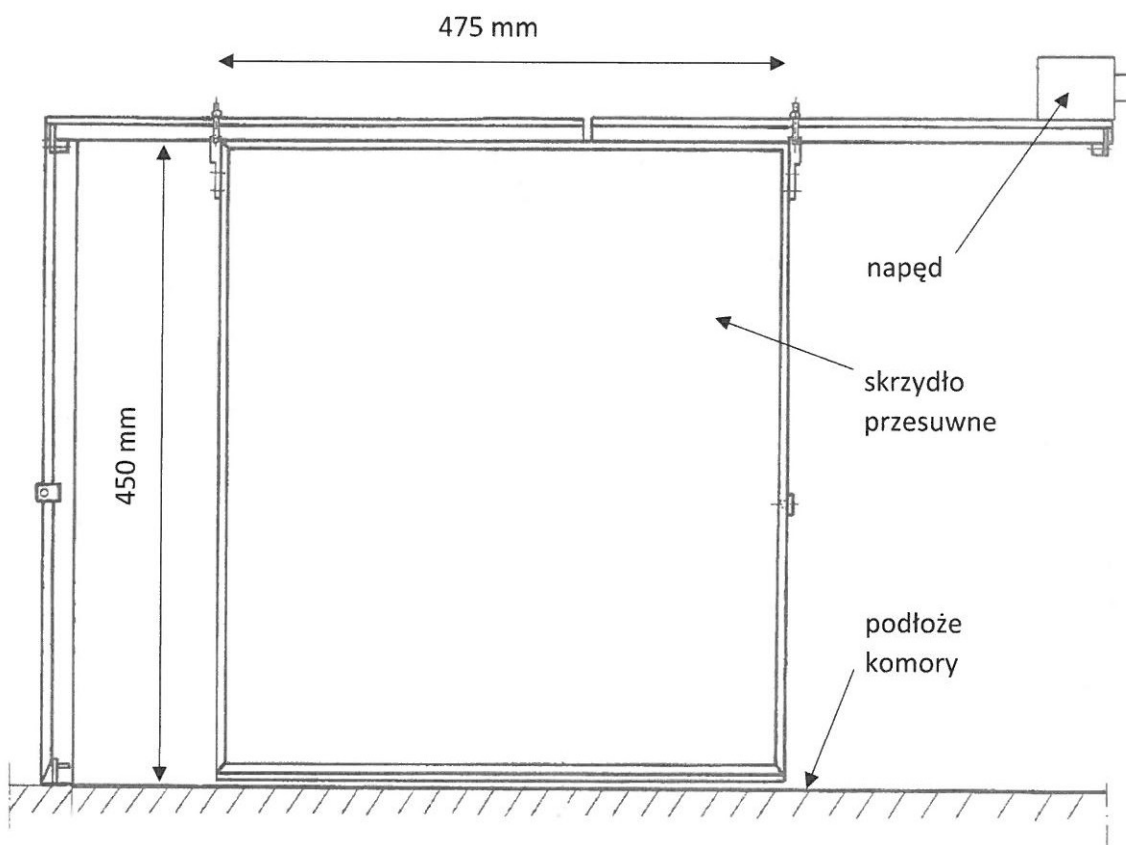
lakiernicze w systemie PU/PA o podwyższonej odporności na ścieranie i zmienne warunki temperaturowe. Sterowanie roletami odbywa się poprzez napęd elektryczny połączony z systemem sterującym automatu. Z uwagi na ograniczone miejsce wewnątrz maszyny gdzie regały magazynowe dla ograniczenia zajmowanego miejsca ściśle przylegają z obu stron do przegrody izolacyjnej, optymalne będzie zastosowanie nadprożowego systemu rolet.



Rys. Przykład nadprożowego mechanizmu rolety.

3.2.3. Przesuwna.

Alternatywnym rozwiązaniem dla opisanej wcześniej rolety jest zastosowanie automatycznych drzwi przesuwnych z napędem mechanicznym składających się z ościeżnicy osadzonej w przegrodzie izolacyjnej oraz skrzydła o wymiarach 450 x 475 mm poruszającego się na prowadnicy umieszczonej w górnej części drzwi. Dolna krawędź drzwi porusza się za pomocą systemu prowadnicy i tworzywowych rolek osadzonych na podłożu komory chłodniczej automatu.



Rys. Schemat drzwi przesuwnych.

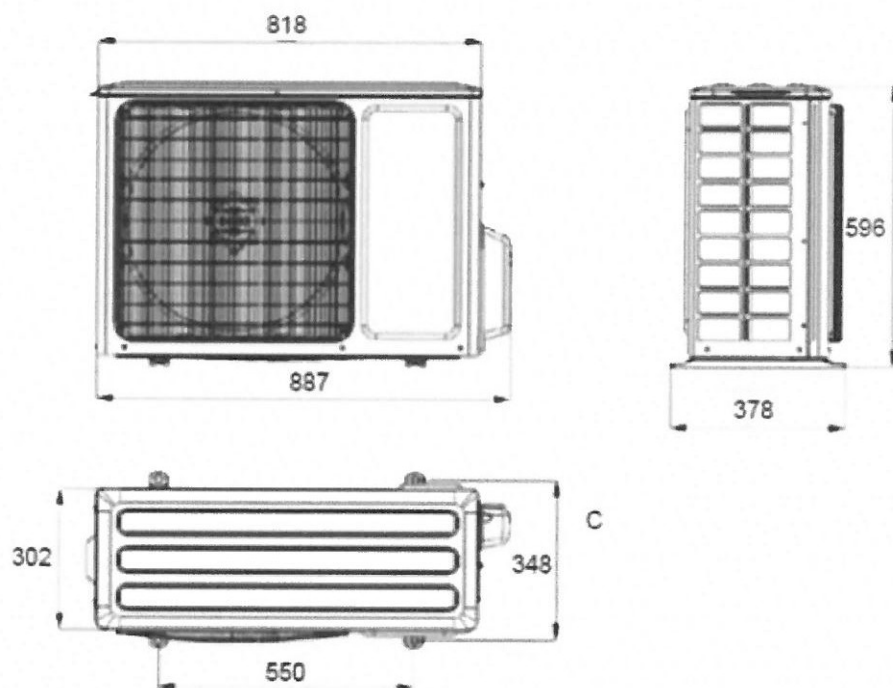
3.3. Zużycie energii.

Zapotrzebowanie na energię:

- Do 7 kW w przypadku wszystkich napędów i agregatów pracujących jednocześnie.
- Do 5 kW gdy dostępne jest połączenie z systemem centralnego chłodzenia.
- W przypadku zasilania jednofazowego 230 V obwód 32-amperowy musi być zabezpieczony bezpiecznikiem typu C (z opóźnieniem). Konieczne jest stosowanie kabli zasilających o minimalnym przekroju 4 mm².
- Dla trójfazowego zasilacza 400 V przy założeniu współczynników cosφ i moc 0,8 prądu mieści się w zakresie 12-13 amperów – dopuszcza się stosowanie cieńszych kabli (do 2,5 mm²) i ochronę prądu 3x16 amperów typu C (z opóźnieniem).

Wymagania dotyczące systemu wentylacji (Split System):

Pobór mocy – chłodzenie / grzanie	950 / 1050 W
Pobór prądu – chłodzenie / grzanie	4.2 / 4.6 A
Napięcie / częstotliwość jednostka zewn.	230 / 50 V / Hz
Napięcie / częstotliwość sterownik	230 / 50 V / Hz
Zasilanie sterownika	2 x 1.0 mm ²
Zasilanie jednostki zewnętrznej	3 x 2.5 mm ²
Sterowanie	ekranowany 2x 1.0 mm ²
Zabezpieczenie nadprądowe sterownik / jedn. zewn.	6 / 16 C
Przepływ powietrza	3000 m ³ /h



Rys. Wybrany agregat SinClair ASGE-12BI + SCMI-01.4 o mocy chłodniczej ok. 4.1kW.

Oszacowanie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej ze względu na ograniczenia współczynnika straty ciepła automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową względem klasycznego rozwiązania jakim jest Lodówkomat.

Oszczędność energii elektrycznej jest różna od oszczędności strat energii cieplnej ze względu na fakt, że do wydania przesyłki trzeba zasilić jeszcze robot w przeciwieństwie do klasycznej maszyny, gdzie odbiór odbywa się po otwarciu drzwi izolowanych Lodówkomatu. To powoduje obniżenie oszczędności strat ciepła z poziomu 50% do szacunkowych 35%.

Założenia przyjęte podczas obliczania poziomu oszczędności:

1. Dla przyjętej kubatury automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturową moc cieplna (wydajność chłodnicza) układów chłodniczych będzie się zawierała w zakresie od 3 do 5 KW w zależności od temperatury, przy mocy elektrycznej w zakresie ok. 1 - 2 kW.

2. Szacowana sumaryczna moc elektryczna silników dla jednego układu kartezyjskiego to 3,6 KW - gdzie sprawność silnika elektrycznego przyjmuje się na poziomie 85%, natomiast za resztę strat mocy odpowiedzialne jest rozproszenie strumienia magnetycznego i ciepło.

Dla uproszczenia szacunków zakłada się, że za straty odpowiedzialny jest tylko bilans cieplny, stąd TPD jest na poziomie 0,54 kW / na jednego robota kartezyjskiego.

3. Robotów mamy 2 sztuki dlatego TPD dla całego układu wynosi 1,08 kW.

4. Moc ta jest wydzielana tylko w czasie jazdy czyli ok. 15 sekund na przesyłkę, stąd podczas jej wydawania wydzielana jest energia 0,0045kWh (16,2 kJ).

5. Energia cieplna jaką jest wstanie "wypompować " układ chłodniczy na godzinę (efektywność przy - 18 stopniach Celsjusza zakładając moc 1,kW) to 1 kWh (3,6MJ).

6. Co za tym idzie sama moc wydzielana w silnikach jest pomijalna jeśli wydaje się jedną przesyłkę na godzinę. Jeśli tych pełnych cykli robota będzie znacznie więcej należy ją wziąć już pod uwagę.

Dla przykładu z szacunków wynika że dla 222 wydanych przesyłek na godzinę energia cieplna wydzielona w silnikach może osiągnąć 1kWh (3,6MJ), a to już dla komory - 18 stopni Celsjusza może przekroczyć wydajność chłodziarek i temperatura w komorze zacznie rosnąć.

7. Sama energia elektryczna zużywana przez robota kartezyjskiego dla wydania przesyłki również jest większa niż otworzenie skrytki. Dlatego procentowa oszczędność energii elektrycznej nie jest taka sama jak cieplna.

Mniej energii zostaje wypuszczone / wpuszczone do wnętrza maszyny ale musi zostać zużyte dodatkowe 0,015 kWh dla każdej przesyłki.

Zakładając 50 przesyłek na godzinę otrzymujemy 0,75 KWh.

W przypadku klasycznych drzwiczek Lodówkomatu moc siłownika to ok 50 W ale czas otwarcia / zadziałania siłownika to nie więcej niż 2 s. To daje energię $2,7 \cdot 10^{-5}$ kWh.

Co z kolei dla 50 paczek na godzinę daje relatywnie pomijalną energię.

Stąd jeśli oszczędność termiczna wynosi 50 % to elektryczna oszczędność jest pomniejszona o szacunkowe 15% wynikające z energii zużywanej na robota (0,75kWh stanowi 15% z 5Kwh) co ostatecznie daje oszczędność strat ciepła na poziomie 35% porównując automat nadawczo – odbiorczy ze stabilizacją temperaturą do Lodówkomatu.

Analiza cech technicznych i formalnych (w odniesieniu do regulacji) zaprojektowanego systemu chłodzenia.

BILANS CHŁODNICZY.

COOLING DEMAND FOR A COLD ROOM							
HEAT TRANSFER THROUGH BUILDING PARTS							
	k-value [W/(m ² ·K)]	T [°C]	L [m] : 7,6	W [m] : 1,56	H [m] : 2,3	Q _{TRANS} : 0,519 [kW]	
WALL 1	0,28	35,0				Volume : 27,27 [m ³]	
WALL 2	0,28	35,0					
WALL 3	0,28	35,0					
WALL 4	0,28	35,0					
FLOOR	0,28	8,0					
CEILING	0,28	35,0					
AIR CHANGE (natural infiltration only)							
T _{AIR,IN} [°C] : 35,0		RH _{AIR,IN} [%] : 65		Air Change Factor (ACF) : 2		Q _{INFILT} : 0,058 [kW]	
ACF : 2,0 [room vol. pr 24 hour] (ACF recommended : 13,4) Volume flow : 2,272 [m ³ /h]							
COOLING AND FREEZING OF GOODS							
Quantity [kg]	T _{IN} [°C]	T _{COOL} [h]	Type	Q _{MAX} [kW]	Q _{AVG} [kW]	Q _{MAX} : 2,123 [kW] Q _{AVG} : 0,722 [kW]	
1 500	15,0	15	Beef	1,132	0,385		
2 500	15,0	15	Pork	0,991	0,337		
AUXILIARY LOADS							
No. of persons [-] : 0		Work type : Light		q : 149 [W/person] at T _{ROOM} : 2,0 [°C]		Q _{AUX} : 1,300 [kW]	
Fans [kW] : 0,100		Lights : 0 [W/m ₂]		Other equipment [kW] : 1,200			
Heat of respiration [W] : 0		Hours of operation per 24 h [h] : 24					
Maximum cooling demand : 4,001 [kW] at SHR : 99 [%]				Average cooling demand : 2,599 [kW] at SHR : 99 [%]			

Rys. Parametry poddane analizie.

$$4,0 \text{ kW} \times 1,3 \text{ (współczynnik bezpieczeństwa)} = 5,2 \text{ kW}$$

Uwaga: do bilansu założono moc elektryczną zamontowanych wewnątrz urządzeń na poziomie 1,2 kW

$$\text{Moc chłodnicza agregatu SinClair ASGE-12BI} = 3,5 \text{ kW}$$

W przypadku montażu na zewnątrz moc chłodnicza agregatu będzie zbyt mała w szczególnie gorące dni. W dni o temperaturze umiarkowanej moc chłodnicza będzie wystarczająca.

Ocena cząstkowa: 3-/6 (najniższa akceptowalna).

SYSTEM CHŁODZENIA - czynnik chłodniczy.

Ocena cząstkowa: 3-/6 (najniższa akceptowalna)

System chłodniczy pracuje na czynniku chłodniczym r32

Zalety:

- GWP=675
- Czynnik popularny i ogólnie dostępny

Wady:

- GWP=675. Czynnik jest traktowany jako substancja niebezpieczna a więc jego obrót jest kontrolowany
- Obowiązek rejestracji urządzeń przy załadunku powyżej 3 kg (w niektórych sytuacjach ten próg może być przekroczony)
- Objętość projektowanego automatu nadawczo – odbiorczego ze stabilizacją temperaturą: $7,6 \times 2,3 \times 1,56 = 27,2 \text{ m}^3$. Daje to maksymalną ilość czynnika 40 kg (przy założeniu szczelności) lub 18 kg dla pomieszczenia 300 m^3 (jeśli urządzenie nie jest szczelne). Jeśli urządzenie jest szczelne wymagana jest detekcja czynnika i dedykowany wyciąg na zewnątrz.
- Może się okazać potrzebne aby silniki i napędy robota były w wykonaniu przeciwwybuchowym.

- Czynnik z Grupy A2L – lekko palny i lekko wybuchowy. Wg nie certyfikowanych badań może być także szkodliwy dla ludzi

	R32		
		Class A: Non Toxicity*	Class B: High Toxicity
Class 3: High Flammability		A3	B3
		A2	B2
Class 2: Lower Flammability		A2L	B2L
		A1	B1
Class 1: Non Flammability			
		SAFETY GROUP	
	R410A / R22		Propane, iso-butane

Rys. Klasy bezpieczeństwa czynnika chłodniczego.

SYSTEM CHŁODZENIA – agregat SinClair.

Ocena cząstkowa: 3-/6 (najniższa akceptowalna)

Urządzenie pracuje na zewnętrznym agregacie chłodniczym SinClair ASGE-12BI + SCMI-01.4.

Zalety:

- Bardzo niska cena
- Urządzenie popularne dostępne w wielu krajach
- W razie potrzeby może być zastąpione podobnymi innych producentów

Wady:

- Minimalne odparowanie -5°C . Może być problem z utrzymaniem temperatury $+2^{\circ}\text{C}$ w szczególnie gorące dni w przypadku montażu ADP na zewnątrz lub w przypadku długich rurociągów.
- Głośność 52 dB zbyt duża dla niektórych lokalizacji.
- System z bezpośrednim odparowaniem zwiększa ilość czynnika.
- Maksymalna długość rurociągu między agregatem a parownikiem: 20m.
- Agregat posiada własny zawór rozprężny -> brak zaworu rozprężnego przy parownikach (2 szt.) -> niebezpieczeństwo nierównomiernego zasilania parowników.
- Są wątpliwości czy agregat może pracować na wystarczająco niskim DT w celu utrzymania temperatury $+2^{\circ}\text{C}$ z urządzeniu.
- Moc chłodnicza 3,5 kW jest zapewne podana w warunkach $T_{\text{evap}} = +16^{\circ}\text{C}$, przy -5°C będzie znacząco mniejsza (brak konkretnych danych).

SYSTEM CHŁODZENIA – parownik.

Wady:

- Dokumentacja parownika na r410, czyli inny czynnik niż r32 na który jest projektowane urządzenie
- Parownik jest zaprojektowany do ciśnienia max 28 bar. Ciśnienie to może być przekroczone podczas odszraniania

Parowniki posiadają moc 1,7 kW przy DT9. Przy DT mniejszej (która będzie wymagana blisko punktu temperatury wewnątrz urządzenia $+2^{\circ}\text{C}$) parowniki mogą mieć zbyt małą moc.

AUTOMAT ANOST (jako całość).

Wady:

- Dwa parowniki bez zaworów rozprężnych (zawór rozprężny w agregacie) co może powodować problemy z ich zasilaniem a co za tym idzie poziomem suchości czynnika na powrocie do agregatu -> trudne do wysterowania / ryzyko usterek / kłopotliwe odszranianie.

Poniższe kwestie powinny zostać jeszcze określone na etapie testów prototypów:

- Czy powietrze dostaje się do wewnątrz urządzenia podczas otwarcia szuflady, jeśli tak w jakiej ilości?
- Czy w dnie szuflady konieczny będzie odpływ?
- Czy wewnątrz urządzenia konieczny będzie odpływ?
- Czy woda wykroplona z powietrza nie będzie się zbierać wewnątrz urządzenia?
- Czy nie występują lokalnie mostki cieplne?

OCENA KOŃCOWA: 3-/6 (najniższa akceptowalna)

Uzasadnienie:

- Urządzenie będzie mogło legalnie i technicznie pracować.
- Czynnik chłodniczy z grupy A2L o relatywnie wysokim GWP może przysporzyć wielu problemów.
- Agregat zewnętrzny: dostarczana moc chłodnicza może okazać się zbyt mała w szczególnie gorące dni. Jest to urządzenie oryginalnie przeznaczone do klimatyzacji pomieszczeń.
- Dwa parowniki bez zaworów rozprężnych.

- Uwaga: urządzenie może nigdy nie osiągnąć zakładanej temperatury $+2^{\circ}\text{C}$, szczególnie w trudnych warunkach temperaturowych zewnętrznych i przy długich rurociągach.

Rekomendacje:

Zaprojektowany system chłodniczy jest wystarczający na etapie testów, jednak powinien być znacząco ulepszony w niedalekiej przeszłości. Jego zaletą jest na dzień dzisiejszy blisko najniższa możliwa cena. Systemy chłodnicze o lepszych parametrach będą droższe.

Koncepcje rozwiązania systemu chłodzenia dla ANOST w 3 wariantach oraz podstawowe cechy zaproponowanych rozwiązań.

BILANS CHŁODNICZY.

Na potrzeby przygotowania niniejszych koncepcji przeanalizowane zostały możliwe zyski ciepła, a następnie sporządzono bilans zapotrzebowania na chłód dla urządzenia.

Na potrzeby bilansu przyjęto wartości zgodnie z dokumentacją urządzenia ANOST:

- Wymiary urządzenia: 7660x2360x1560 mm;
- Współczynnik przenikania ciepła obudowy: $0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ – płyta warstwowa PUR 80 mm (komora modułowa);
- Wymagana do utrzymania temperatura wewnątrz: 2°C ;
- Maksymalny załadunek urządzenia: 80 paczek po 12kg;

Do wyznaczenia zapotrzebowania na chłód założono skrajnie niekorzystne warunki pracy urządzenia, tzn.:

- Maksymalna temperatura zewnętrzna, przy której urządzenie pracuje: 40°C ;
- Całkowity załadunek urządzenia towarem w postaci wieprzowiny o cieple właściwym 3650 J/kgK ;

- Temperatura załadowywanego towaru: 15°C
- Strumień powietrza wymieniany podczas jednego otwarcia szuflady równy 0,144m³;
- Otwarcie szuflady z towarem co 3 minuty.

Powyższe wartości i założenia pozwoliły oszacować zyski ciepła z poszczególnych źródeł zgodnie z poniższą tabelą:

Lp.	Źródło ciepła	Moc źródła [kW]
1	Przenikanie przez przegrody	0,612
2	Wymiana powietrza z otoczeniem	0,158
3	Załadowane towary	4,218
4	Praca urządzeń wewnętrznych	0,2

Tabela 1. Zyski ciepła w skrajnie niekorzystnych warunkach.

Oznacza to, że całkowita wymagana moc chłodnicza dla urządzenia wynosi 5,188 kW.

KONCEPCJE ROZWIĄZANIA.

Do poprawnego funkcjonowania urządzenia i zapewnienia wymaganych warunków wewnątrz przewidziane zostały dwa parowniki o takim samym obciążeniu cieplnym, tj. 2,6 kW każdy.

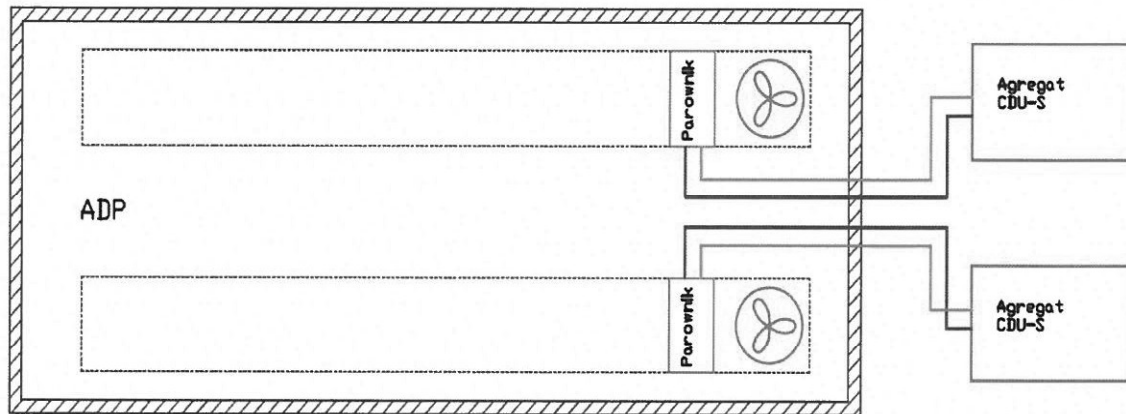
W opracowaniu opisano propozycję rozwiązania dla źródła chłodu w trzech wariantach.

Pierwsze rozwiązanie zakłada 2 zewnętrzne agregaty chłodnicze o mocy 3,27 kW każdy, pracujące na naturalnym czynniku chłodniczym R744.

Drugie rozwiązanie zakłada jeden zewnętrzny agregat chłodniczy o mocy 5 kW, pracujący na naturalnym czynniku chłodniczym R744.

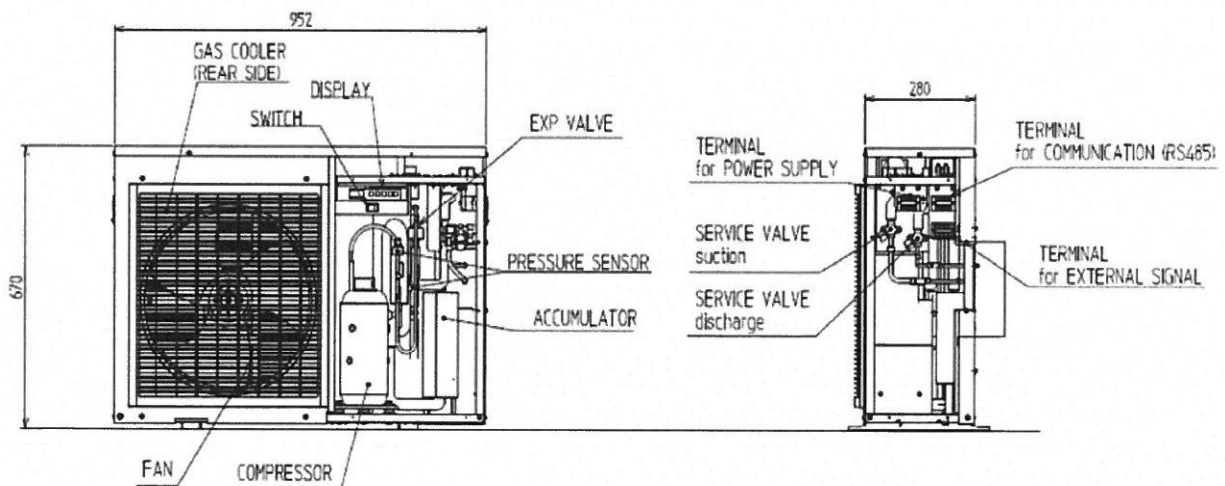
Trzecie rozwiązanie zakłada jeden zewnętrzny agregat chłodniczy o mocy 5,3kW, pracujący na syntetycznym czynniku chłodniczym R448A.

Wariant 1 – 2 agregaty na R744.



Rys. Schemat układu dla wariantu 1.

Wariant z dwoma agregatami chłodniczymi, z których każdy pracuje z jednym parownikiem. Do tego rozwiązania zaproponowano moduły chłodnicze CDU-S produkowane przez Sanden. Moduły te pracują na czynniku R744 oraz zapewniają moc chłodniczą na poziomie $2 \times 3,27 \text{ kW} = 6,54 \text{ kW}$.



Rys. Moduł chłodniczy CDU-S.

Podstawowe dane techniczne agregatu CDU-S przedstawia poniższa tabela.

Lp.	Parametr	Wartość
1	Moc chłodnicza deklarowana przez producenta	3,27 kW
2	Moc elektryczna	1,90 kW
3	Napięcie zasilające	230V 1P
4	Wymiary urządzenia	670 x 952 x 280 mm
5	Ciężar	57 kg
6	Czynnik chłodniczy	R744 (CO2)
7	Poziom ciśnienia akustycznego	46 dB(A) (1m)

Tabela 2. Podstawowe dane techniczne agregatu CDU-S.

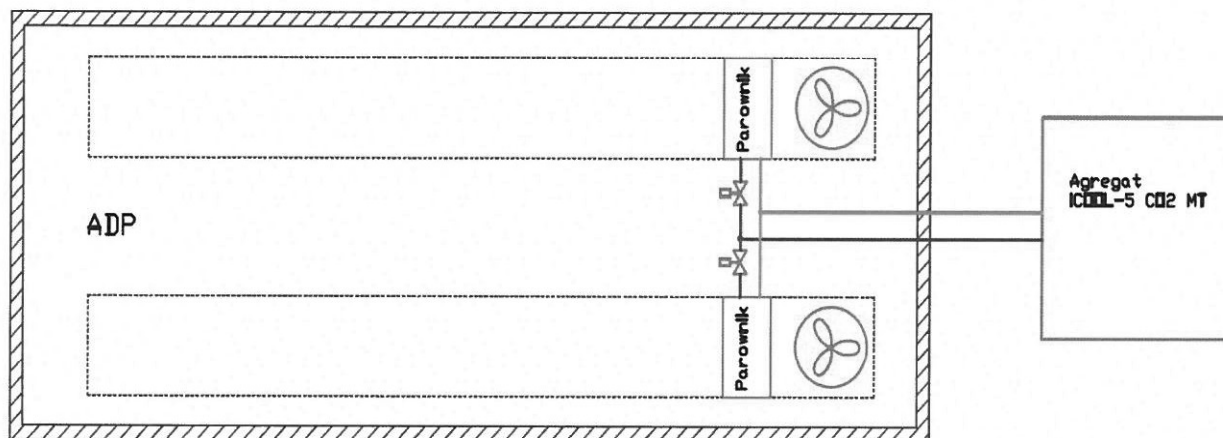
Zalety rozwiązania:

- Urządzenie wykorzystuje naturalny czynnik chłodniczy, jakim jest dwutlenek węgla (GWP = 1). Czynnik ten jest niepalny i nietoksyczny.
- Niski poziom ciśnienia akustycznego.
- Bardzo prosty montaż – rozwiązanie nie wymaga dodatkowych zaworów rozprężnych.
- Urządzenie posiada wbudowany falownik umożliwiający płynną regulację wydajności.
- W przypadku awarii jednego agregatu możliwa praca urządzenia – z ograniczoną wydajnością.
- Urządzenie w estetycznej obudowie, możliwość montażu na zewnątrz.

Wady rozwiązania:

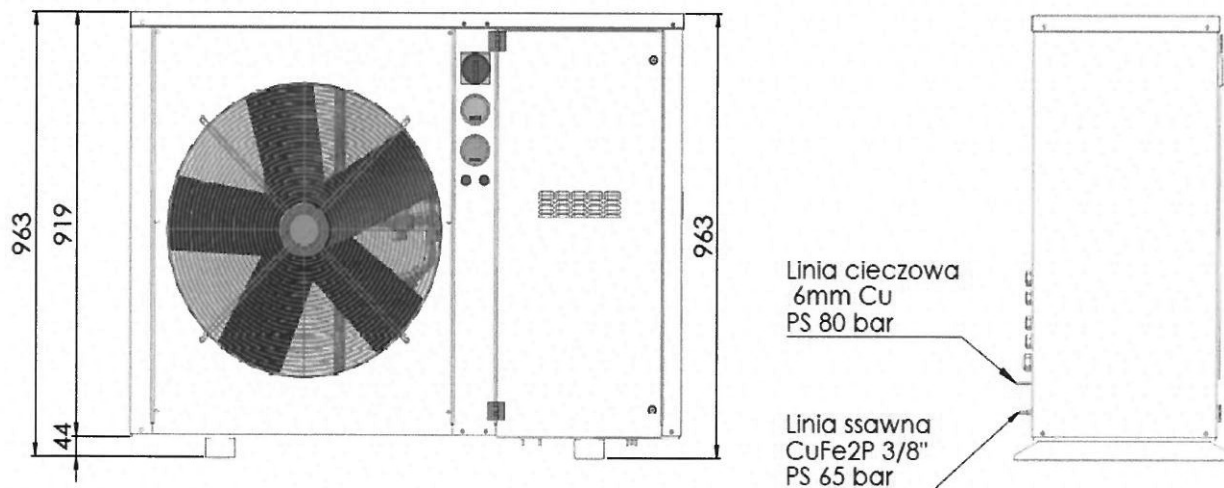
- Brak komunikacji między agregatami.

Wariant 2 – agregat na R744.



Rys. Schemat układu dla wariantu 2.

Wariant z jednym agregatem chłodniczym zasilającym oba parowniki. Do tego rozwiązania zaproponowano moduły chłodnicze iCOOL-5 CO2 MT produkowane przez Area. Moduł ten pracuje na czynniku R744, zapewnia moc chłodniczą na poziomie 5 kW.



Rys. Moduł chłodniczy iCOOL-5 CO2 MT.

Podstawowe dane techniczne agregatu iCOOL-5 CO2 MT przedstawia poniższa tabela.

Lp.	Parametr	Wartość
1	Moc chłodnicza deklarowana przez producenta	5 kW
2	Moc elektryczna	2,80 kW
3	Napięcie zasilania	400V 3P
4	Wymiary urządzenia	1300 x 970 x 510 mm
5	Ciężar	160 kg
6	Czynnik chłodniczy	R744 (CO2)
7	Poziom ciśnienia akustycznego	37 dB(A) (10m)

Tabela 3. Podstawowe dane techniczne agregatu iCOOL-5 CO2 MT.

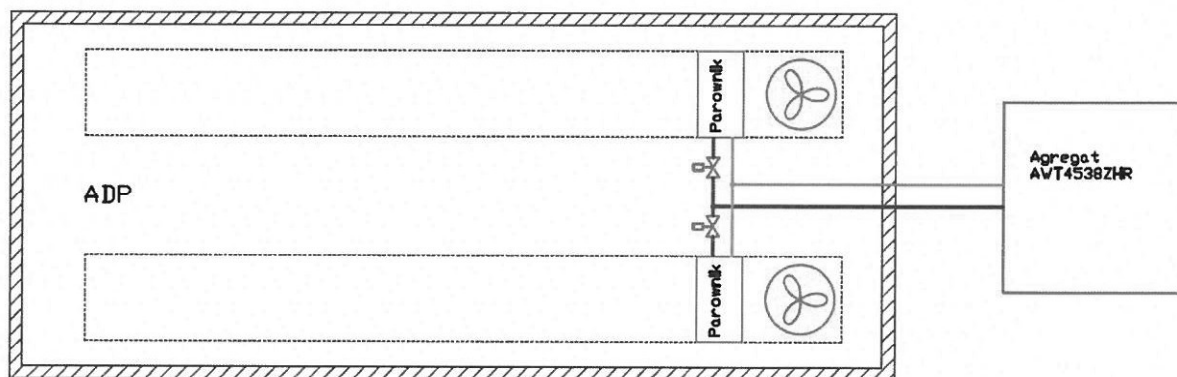
Zalety rozwiązania:

- Urządzenie wykorzystuje naturalny czynnik chłodniczy, jakim jest dwutlenek węgla (GWP = 1). Czynnik ten jest niepalny i nietoksyczny.
- Niski poziom ciśnienia akustycznego.
- Urządzenie posiada wbudowany falownik umożliwiający płynną regulację wydajności.
- Producent daje możliwość zamówienia agregatu ze zdalnym monitoringiem parametrów pracy.
- Urządzenie w estetycznej obudowie, możliwość montażu na zewnątrz.

Wady rozwiązania:

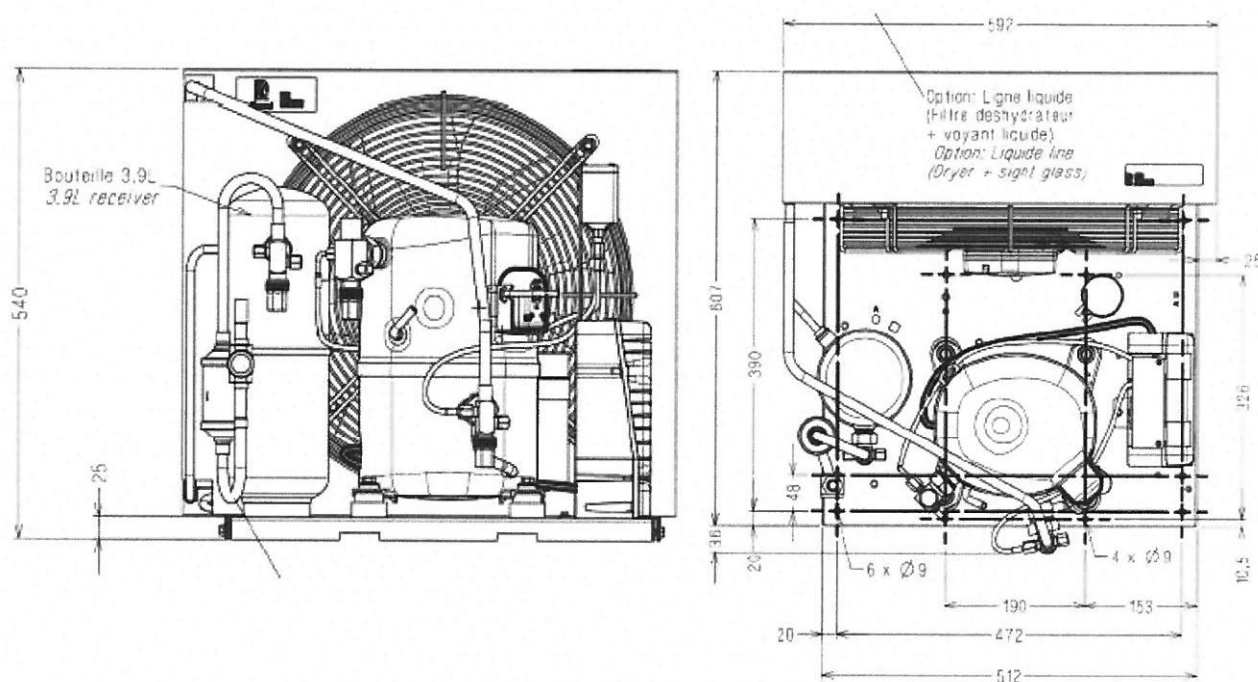
- Wysoki koszt inwestycyjny.
- Konieczność zastosowania dodatkowych zaworów rozprężnych w celu równomiernego zasilania parowników.

Wariant 3 – agregat na R448A.



Rys. Schemat układu dla wariantu 3.

Wariant z jednym agregatem chłodniczym zasilającym oba parowniki. Do tego rozwiązania zaproponowano moduły chłodnicze AWT4538ZHR produkowane przez Tecumseh. Moduł ten pracuje na czynniku R44A oraz zapewnia moc chłodniczą na poziomie 5,3 kW.



Rys. Moduł chłodniczy AWT4538ZHR.

Podstawowe dane techniczne agregatu AWT4538ZHR przedstawia poniższa tabela.

Lp.	Parametr	Wartość
1	Moc chłodnicza deklarowana przez producenta	5,3 kW
2	Moc elektryczna	2,70 kW
3	Napięcie zasilania	400V 3P
4	Wymiary urządzenia	607 x 540 x 592 mm
5	Ciężar	67 kg
6	Czynnik chłodniczy	R448A
7	Poziom ciśnienia akustycznego	81 dB(A) (1m)

Tabela 4. Podstawowe dane techniczne agregatu AWT4538ZHR.

Zalety rozwiązania:

- Niski koszt inwestycyjny.
- Urządzenie łatwo dostępne, istnieje wiele możliwych zamienników.
- Czynnik z grupy A1 – niepalny, nietoksyczny.

Wady rozwiązania:

- Czynnik chłodniczy R448A jest czynnikiem syntetycznym o GWP = 1386.
- Obowiązek rejestracji urządzenia przy załadunku czynnika powyżej 3kg.
- Konieczność zastosowania dodatkowych zaworów rozprężnych w celu równomiernego zasilania parowników.
- Urządzenie nie jest wyposażone w falownik – konieczność dokupienia w celu zapewnienia płynnej regulacji.
- Urządzenie bez obudowy.

----- KONIEC RAPORTU -----