

WSYZ - Projekt

<https://github.com/mGarbowski/wsyz-projekt>

- Maksym Bieńkowski
- Michał Łuszczek
- Mikołaj Garbowski

Projekt jest poświęcony problemowi produkcji i dystrybucji podstawowych warzyw (ziemniaków, kapusty, buraków, marchwi) w Warszawie i okolicach między grupą producentów, siecią magazynów-chłodni i siecią sklepów spożywczych.

Każdy ze sklepów spożywczych składa zamówienie do centrali sieci magazynów raz w tygodniu. Każdy sklep może być obsługiwany przez dowolny magazyn, lub kilka magazynów. Ilość zamawianego towaru wynika z aktualnego stanu zapasów w magazynie przysklepowym i prognozy sprzedaży. Raz w roku producenci dostarczają towar do magazynów. Ilość towaru jest wyliczana na podstawie oddzielnie przeprowadzonych obliczeń, zgodnych z prognozowanymi zapotrzebowaniem. Problem optymalizacyjny to model transportowy połączony z modelem zapasów, wspiera podejmowanie decyzji:

- Jakie warzywa w jakiej ilości powinny być transportowane raz w roku od każdego producenta do każdego magazynu
- Jakie warzywa i w jakiej ilości powinny być transportowane co tydzień z magazynów do poszczególnych sklepów
- Jaka część produktów powinna być w każdym tygodniu przechowywana w lokalnym magazynie każdego sklepu.

Lokalizacje

Sklepy

- **Złota 44** (52.23123538348719, 21.002334582862733)
- **Aleja Komisji Edukacji Narodowej 14** (52.12982562283376, 21.069531384711578)
- **Mińska 25A** (52.24921523643051, 21.059415840535483)
- **Częstochowska 4/6** (52.21497524319214, 20.978488664418016)
- **Ostrobramska 71** (52.23266813037208, 21.11443224907392)
- **Bulwary B. Grzymały Siedleckiego** (52.23673845375636, 21.036976869610385)
- **Sardyńska 1** (52.17787696451111, 21.05353804734241)
- **Pamiętajcie o Ogrodach 4** (52.257231606228096, 20.987110490415766)
- **Gen. Tadeusza Pełczyńskiego 14** (52.24282413331787, 20.9081047450922)
- **Aleja Niepodległości 162** (52.209244900152974, 21.008531883983533)

Producenci

- **Błonie** (52.196210702994726, 20.623323179851976)
- **Książenice** (52.07895991519026, 20.696598439808064)
- **Góra Kalwaria** (51.98163892918433, 21.211795297678236)
- **Otwock** (52.1152108196775, 21.269433923138475)
- **Wołomin** (52.357299338110245, 21.250353828893264)
- **Legionowo** (52.40750915150292, 20.920774568903166)

Magazyny

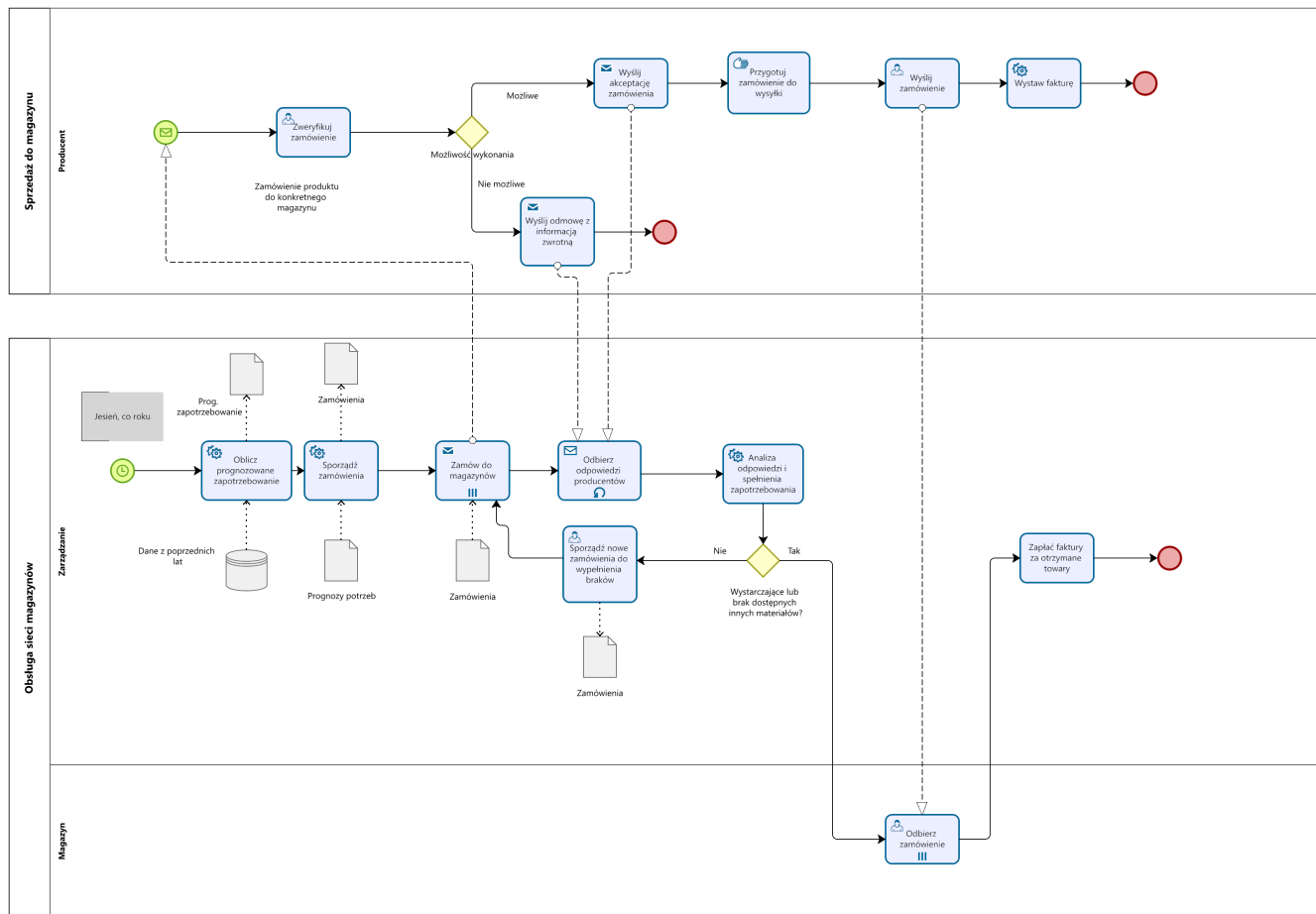
- **Pruszków** (52.175584628053144, 20.793660692851642)
- **Piaseczno** (52.095790995772646, 21.023008661957697)
- **Zielonka** (52.289563668216005, 21.235200160810102)

Procesy biznesowe

Diagramy BPMN przygotowane w programie Bizagi Modeler, zdefiniowane w pliku [Model-operacji.bpm](#)

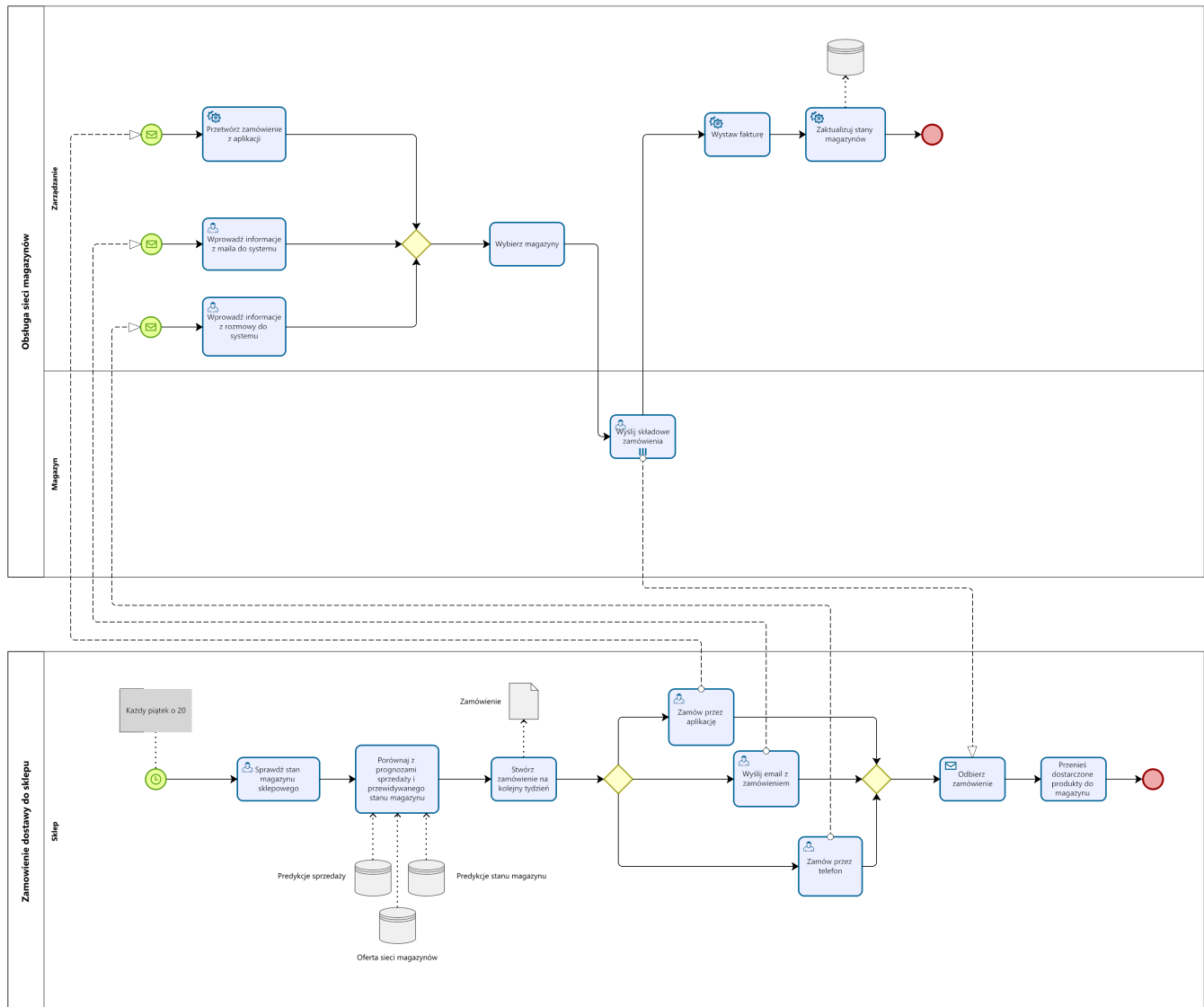
Sprzedaż do magazynów

Diagram przedstawia interakcję producenta z magazynem (hurtownią). Proces rozpoczyna się cyklicznie, raz w roku, po stornie magazynu. Na podstawie danych z poprzednich lat prognozowany jest popyt na poszczególne produkty (na potrzeby modelu optymalizacyjnego wartości są losowane z odpowiednich rozkładów). Na podstawie prognoz magazyn składa zamówienia do producentów. Producent po otrzymaniu zamówienia, jeśli może je spełnić wysyła akceptację i rozpoczyna realizację zamówienia. Magazyn analizuje odpowiedzi producentów i w razie odmowy i niezaspokojenia zapotrzebowania składa kolejne zamówienia.



Sprzedaż do sklepów

Diagram przedstawia interakcję między magazynem a sklepem. W sklepie co tydzień jest sprawdzany stan przysklepowego magazynu. Sklep korzysta z baz danych o predykcjach sprzedaży, stanu magazynu i oferty sieci hurtowni (objęte w naszym modelu optymalizacyjnym) do składania zamówień na kolejny tydzień. Sklep składa zamówienie do hurtowni na jeden z trzech sposobów. Hurtownia realizuje zamówienie, po czym aktualizuje bazę danych ze stanem swoich magazynów.



Model optymalizacyjny

- Model optymalizacyjny wspomaga podejmowanie decyzji w zakresie
 - Wielkości corocznych dostaw od producentów do magazynów
 - Wielkości cotygodniowych dostaw z magazynów do sklepów
 - Ilości produktów przechowywanych w przysklepowych magazynach
- Model wykorzystuje bibliotekę Pyomo dla Pythona 3.12
- Wyniki optymalizacji są zapisywane w formacie csv
- Model wykorzystuje Google Maps API dla uzyskania rzeczywistych odległości między lokalizacjami
- Szczegółowa dokumentacja dostępna w [repozytorium](#)

Dane wejściowe

- Precyzyjne dystanse między lokalizacjami
- Wygenerowane losowo na podstawie poniższych przedziałów prognozy popytu (w kg/tydzień na sklep), różniące się na przestrzeni czasu i w zależności od lokalizacji:
 - Marchewka: 200-400kg
 - Kapusta: 100-300kg
 - Buraki: 50-200kg
 - Ziemniaki: 300-550kg
- Pojemność magazynów, koszt transportu oraz moc przerobowa fabryk zgodnie z warunkami zadania
- Pojemność magazynów przysklepowych: dwukrotność górnej granicy popytu dla każdego warzywa
- Minimum zapasu ponad prognozę na każdy tydzień - 10% średniego popytu, w zależności od sklepu

Dane wyjściowe

- Ilości warzyw przechowywanych w przysklepowych magazynach w kolejnych tygodniach
- Wielkości dostaw każdego z warzyw od producenta do magazynu
- Wielkości dostaw każdego z warzyw z magazynów do sklepów w kolejnych tygodniach

Zbiory

- Produkty P
- Producenci M
- Sklepy S
- Hurtownie W

Parametry

- Liczba tygodni symulacji $NW \in \mathbb{N}^+$
- Koszt transportu $FP \in \mathbb{R}^+$
- Ponumerowane tygodnie $T = \{1 \dots NW\}$
- Możliwości przerobowe producentów $MC \quad [M, P]$
- Prognozowany popyt $D \quad [S, T, P]$
- Pojemność przysklepowych magazynów $SWC \quad [S]$
- Minimum zapasu powyżej prognozy popytu $MS \quad [S, P]$
- Pojemności hurtowni $WC \quad [W]$

Zmienne

- Ilość warzyw wysyłana jesienią od poszczególnych producentów do magazynów $SFM \quad [M, W, P]$
- Ilość warzyw wysyłana co tydzień z poszczególnych magazynów do sklepów $SFW \quad [T, W, S, P]$
- Ilość warzyw pozostała po każdym tygodniu sprzedaży $L \quad [T, S, P]$

Ograniczenia

1. Ograniczenie wiążące ilość pozostałych warzyw w każdym tygodniu ze stanem na początku tygodnia i popytem
2. Ograniczenie zapewniające nieprzekroczenie mocy przerobowej producentów
3. Ograniczenie zapewniające nieprzekroczenie pojemności magazynów
4. Ograniczenie zapewniające nieprzekroczenie pojemności magazynów na terenach sklepów
5. Ograniczenie wiążące ilość produktów wysłanych od producentów z tymi wysłanymi do sklepów
6. Ograniczenie zapewniające spełnienie popytu z określoną nadwyżką

Model matematyczny

(1) Pozostałe warzywa w magazynie przysklepowym

$$\forall s \in S \forall p \in P \quad l_{[1,s,p]} = 0$$
$$\forall t \in T - \{1\} \forall s \in S \forall p \in P \quad l_{[t,s,p]} = l_{[t-1,s,p]} - d_{[s,t,p]} + \sum_{w \in W} sfw_{[t,w,s,p]}$$

(2) Ograniczenie mocy przerobowej producentów

$$\forall m \in M \forall p \in P \quad \sum_{w \in W} sfm_{[m,w,p]} \leq mc_{[m,p]}$$

(3) Ograniczenie pojemności magazynu

$$\forall w \in W \quad \sum_{m \in M} \sum_{p \in P} sfm_{[m,w,p]} \leq wc_w$$

(4) Ograniczenie pojemności przysklepowych magazynów

$$\forall s \in S \quad \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} sfw_{[1,w,s,p]} \leq swc_s$$
$$\forall t \in T - \{1\} \quad \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} sfw_{[t,w,s,p]} + \sum_{p \in P} l_{[t-1,s,p]} \leq swc_s$$

(5) Ograniczenie dostaw do sklepów przez dostawy do magazynów

$$\forall w \in W \forall p \in P \quad \sum_{t \in T} \sum_{s \in S} sfw_{[t,w,s,p]} \leq \sum_{m \in M} sfm_{[m,w,p]}$$

(6) Ograniczenie zaspokojenia popytu

$$\forall s \in S \forall p \in P \quad \sum_{w \in W} sfw_{[1,w,s,p]} \geq d_{[s,1,p]} + ms_{[s,p]}$$
$$\forall s \in S \forall t \in T - \{1\} \forall p \in P \quad \sum_{w \in W} sfw_{[t,w,s,p]} + l_{[t-1,s,p]} \geq d_{[s,t,p]} + ms_{[s,p]}$$

Koszt transportu

$$\sum_{m \in M} \sum_{w \in W} \sum_{p \in P} FP \cdot sfm_{[m,w,p]} \cdot dist_{[w,m]} + \sum_{t \in T} \sum_{w \in W} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} FP \cdot sfw_{[t,w,s,p]} \cdot dist_{[w,s]}$$

Wyniki

- Minimalizowany całkowity roczny koszt transportu wynosi 91689.68 PLN
- Dostawy od producentów do hurtowni
 - nie wszyscy producenci otrzymują zamówienia
 - każda hurtownia jest zaopatrywana przez tylko jednego producenta
 - dostawy odbywają się między najbliższymi parami producent-hurtownia
 - minimalizacja kosztów transportu skłania do uzależnienia od mniejszej liczby dostawców
- Stan przysklepowych magazynów
 - sklepy po pierwszej dostawie utrzymują stabilny poziom każdego z produktów
- Dostawy od hurtowni do sklepów
 - jedna hurtownia stabilnie obsługuje kilka sklepów
 - na ogół sklep jest obsługiwany przez tylko jedną hurtownię, chociaż pojawił się sklep obsługiwany na przemian przez 2 hurtownie (podobnie oddalone)
 - hurtownie obsługują bliżej położone sklepy ze względu na minimalizację kosztów transportu