

Architektura Systemów Eksperckich w Dietetyce Obliczeniowej: Kompletny Raport Implementacyjny

1. Wstęp: Paradygmat Cyfrowej Dietetyki Precyzyjnej

Współczesna nauka o żywieniu przechodzi fundamentalną transformację paradygmatu, ewoluując z modelu opartego na ogólnych zaleceniach populacyjnych w stronę wysoce spersonalizowanej medycyny żywieniowej, wspieranej przez zaawansowaną analitykę danych. Projektowanie systemów wspomagania decyzji dietetycznych (DSS – *Dietary Support Systems*) oraz autonomicznych botów żywieniowych nie jest już jedynie procesem translacji wiedzy biologicznej na prosty kod proceduralny. Stanowi ono wyzwanie inżynierijne wymagające głębokiego zrozumienia stochastycznej natury metabolizmu człowieka, nieliniowych odpowiedzi hormonalnych oraz złożonych interakcji biochemicznych zachodzących pomiędzy składnikami odżywczymi. Niniejszy raport stanowi wyczerpującą, techniczną analizę algorytmów, protokołów klinicznych, struktur danych oraz zasad bezpieczeństwa niezbędnych do stworzenia bezpiecznego, skutecznego i etycznego systemu dietetycznego.

Analiza ta opiera się na założeniu, że cyfrowy dietetyk nie może być jedynie kalkulatorem kalorii. Musi on emulować proces wnioskowania klinicznego (clinical reasoning), biorąc pod uwagę nie tylko termodynamikę (bilans energetyczny), ale również endokrynologię (insulinooporność, choroby tarczycy), psychodietetykę (relacje z jedzeniem) oraz logistykę kulinarną (sezonowość, zero waste). W raporcie zintegrowano najnowsze wytyczne towarzystw naukowych, w tym Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego (2024) oraz standardy FAO/WHO, tworząc kompendium wiedzy dla architektów systemów e-zdrowia.

2. Modelowanie Matematyczne Metabolizmu: Algorytmy Energetyczne

Fundamentem każdego systemu dietetycznego jest precyzyjny model wydatkowania energii przez organizm ludzki. Błąd na etapie szacowania zapotrzebowania energetycznego ulega propagacji na wszystkie kolejne warstwy systemu – od rozkładu makroskładników, przez dobór produktów, aż po finalną gramaturę posiłku w przepisie. W inżynierii systemów żywieniowych wyróżniamy dwie kluczowe zmienne stanu: Podstawową Przemianę Materii (PPM/BMR) oraz Całkowitą Przemianę Materii (CPM/TDEE).

2.1. Algorytmika Podstawowej Przemiany Materii (PPM)

Podstawowa Przemiana Materii (ang. *Basal Metabolic Rate*, BMR) reprezentuje minimalny

wydatek energetyczny niezbędny do podtrzymania podstawowych funkcji życiowych, takich jak oddychanie, praca mięśnia sercowego, aktywność neuronalna mózgu oraz transport jonów przez błony komórkowe, w warunkach spoczynkowych, na czczo i w komforcie cieplnym. Z punktu widzenia algorytmicznego, PPM jest funkcją masy ciała, wzrostu, wieku oraz płci.

W literaturze naukowej i praktyce klinicznej funkcjonuje kilka modeli regresji służących do estymacji tej wartości. Wybór odpowiedniego algorytmu zależy od charakterystyki populacji docelowej oraz dostępności danych wejściowych.¹

2.1.1. Równanie Mifflina-St Jeora: Złoty Standard Kliniczny

Opracowane w 1990 roku równanie Mifflina-St Jeora jest obecnie uznawane za najbardziej precyzyjny wzór dla populacji rasy kaukaskiej, zarówno dla osób o prawidłowej masie ciała, jak i osób z nadwagą oraz otyłością I stopnia. Badania walidacyjne wykazały, że błąd predykcji tego wzoru mieści się najczęściej w granicach $\pm 10\%$ względem kalorymetrii pośredniej, co czyni go domyślnym wyborem dla nowoczesnych aplikacji dietetycznych.

Struktura matematyczna modelu przedstawia się następująco¹:

- Dla mężczyzn:

$$PPM = (10 \times \text{masa ciała [kg]}) + (6,25 \times \text{wzrost [cm]}) - (5 \times \text{wiek [lata]}) + 5$$

- Dla kobiet:

$$PPM = (10 \times \text{masa ciała [kg]}) + (6,25 \times \text{wzrost [cm]}) - (5 \times \text{wiek [lata]}) - 161$$

Analiza współczynników i implikacje implementacyjne:

Współczynnik przy masie ciała (10) jest identyczny dla obu płci, co odzwierciedla bazowy koszt metaboliczny utrzymania kilograma tkanki w spoczynku. Kluczowa różnica algorytmiczna objawia się w stałej końcowej (+5 dla mężczyzn vs -161 dla kobiet). Różnica ta, wynosząca 166 kcal, wynika z fizjologicznego dymorfizmu płciowego. Mężczyźni genetycznie posiadają wyższy udział beztłuszczonej masy ciała (LBM – Lean Body Mass), która jest tkanką wysoce aktywną metabolicznie, podczas gdy kobiety posiadają fizjologicznie wyższy procent tkanki tłuszczowej, której koszt utrzymania jest niższy.

Dla dewelopera oznacza to, że zmienna gender jest krytycznym parametrem wejściowym, którego błędne określenie prowadzi do systematycznego błędu w obliczeniach rzędu 150-200 kcal/dobę, co może całkowicie zniwelować założony deficyt kaloryczny.

2.1.2. Równanie Harris-Benedicta: Rys Historyczny i Zastosowanie

Wzór Harris-Benedicta, pierwotnie opublikowany w 1919 roku i zrewidowany w 1984 roku przez Roza i Shizgal, był przez dekady standardem w dietetyce. Jednakże analizy porównawcze wskazują, że model ten wykazuje tendencję do przeszacowywania

zapotrzebowania energetycznego, szczególnie u osób z otyłością (nawet o 5-15%). Wynika to z faktu, że baza danych, na której opracowano wzór, obejmowała populację o innej strukturze ciała i stylu życia niż współczesna.²

Struktura równania (rewizja 1984):

- Dla mężczyzn:

$$PPM = 66,5 + (13,75 \times \text{masa}) + (5,003 \times \text{wzrost}) - (6,775 \times \text{wiek})$$

- Dla kobiet:

$$PPM = 655,1 + (9,563 \times \text{masa}) + (1,85 \times \text{wzrost}) - (4,676 \times \text{wiek})$$

Rekomendacja Implementacyjna:

W architekturze systemu zaleca się implementację logiki warunkowej przy wyborze wzoru:

1. **Domyślny (Default):** Mifflin-St Jeor – dla >90% użytkowników.
2. **Alternatywny:** Harris-Benedict – może być stosowany u osób bardzo szczupłych (ektomorfików), gdzie przeszacowanie jest mniej ryzykowne niż niedoszacowanie, lub u sportowców, jeśli system nie posiada danych o % tkanki tłuszczowej.
3. Zaawansowany: Wzór Katch-McArdle – jeśli użytkownik poda procentową zawartość tkanki tłuszczowej (Body Fat %). Jest to najdokładniejsza metoda, ponieważ bazuje bezpośrednio na LBM, eliminując zgadywanie metabolizmu tkanki tłuszczowej.

$$PPM = 370 + (21,6 \times \text{LBM [kg]})$$

2.2. Całkowita Przemiana Materii (CPM) i Współczynniki Aktywności (PAL)

Całkowita Przemiana Materii (TDEE - *Total Daily Energy Expenditure*) jest wartością pochodną, będącą iloczynem PPM i współczynnika aktywności fizycznej (PAL - *Physical Activity Level*). Precyzyjne określenie PAL stanowi największe wyzwanie w dietetyce zdalnej, ponieważ użytkownicy mają naturalną tendencję do subiektywnego przeszacowywania swojej aktywności.

$$CPM = PPM \times PAL$$

2.2.1. Kwantyfikacja Poziomów Aktywności Fizycznej (PAL) według FAO/WHO

Analiza dokumentacji FAO/WHO oraz wytycznych żywieniowych pozwala na stworzenie dyskretnej tabeli mapowania stylu życia na wartości liczbowe PAL. System powinien unikać pytania użytkownika o wybór liczby; zamiast tego należy zastosować drzewo decyzyjne oparte na opisie behawioralnym.⁴

Kategoria Stylu Życia	Zakres PAL	Opis Behawioralny i Logika Decyzyjna
Siedzący (Sedentary)	1.40 – 1.69	Praca biurowa lub zdalna, dojazd samochodem, brak celowej aktywności treningowej. Czas wolny spędzany pasywnie. Większość współczesnej populacji miejskiej wpada w dolną granicę tego przedziału (1.4-1.5).
Średnio Aktywny (Moderately Active)	1.70 – 1.99	Praca siedząca + regularne treningi (3-4x w tygodniu po 1h o umiarkowanej intensywności) LUB praca wymagająca ciągłego ruchu (nauczyciel, kelner, pielęgniarka) bez dodatkowych treningów.
Bardzo Aktywny (Vigorous)	2.00 – 2.40	Ciężka praca fizyczna (budownictwo, rolnictwo bez maszyn) LUB praca siedząca połączona z codziennym, intensywnym treningiem wyczynowym (np. przygotowanie do triathlonu, CrossFit 5-6x/tydz.).

Kluczowe Uwagi dla Inżynierów:

- Safety Cap:** Wartości PAL > 2.40 są fizjologicznie trudne do utrzymania przez dłuższy czas dla osób niebędących zawodowymi sportowcami. System powinien traktować wybór takiej opcji jako anomalię i wyświetlić prośbę o potwierdzenie ("Twoje zapotrzebowanie sugeruje poziom wyczynowy. Czy na pewno trenujesz ponad 2 godziny dziennie z wysoką intensywnością?").
- Redukcyjna Ostrożność:** Przy obliczaniu zapotrzebowania dla celu "Redukcja", bezpieczniejszą strategią jest przyjęcie dolnej granicy wybranego przedziału (np. 1.4 dla

trybu siedzącego zamiast średniej 1.55), aby zminimalizować ryzyko braku efektów w przypadku przeszacowania aktywności przez użytkownika.

3. **Termiczny Efekt Pożywienia (TEF):** W zaawansowanych modelach do TDEE dolicza się TEF (*Thermic Effect of Food*), wynoszący ok. 10% TDEE. Jednak w większości wzorów PAL (w tym FAO/WHO) TEF jest już częściowo uwzględniony. Jawne dodawanie TEF do PAL może prowadzić do podwójnego liczenia (double counting). Zaleca się stosowanie skalibrowanych współczynników PAL, które zawierają w sobie komponent TEF oraz NEAT (*Non-Exercise Activity Thermogenesis*).

3. Algorytmy Podziału Makroskładników: Strategie Celowane

Po ustaleniu poziomu kaloryczności (CPM), system musi dokonać partycjonowania energii na trzy główne makroskładniki: białka, tłuszcze i węglowodany. Proporcje te nie są stałe; są funkcją celu metabolicznego użytkownika oraz jego stanu zdrowia.

3.1. Protokół Redukcji Tkanki Tłuszczowej

Głównym celem algorytmu redukcyjnego jest maksymalizacja utleniania kwasów tłuszczyowych przy jednoczesnej ochronie tkanki mięśniowej przed katabolizmem. Wymaga to strategicznego zwiększenia podaży białka.⁷

Procedura Obliczeniowa:

1. **Deficyt Energetyczny:** Obliczenie CPM, a następnie odjęcie wartości stałej (np. 500 kcal) lub procentowej (15-20%). Metoda procentowa jest bezpieczniejsza dla osób o skrajnie niskiej lub wysokiej masie ciała.
2. **Priorytetyzacja Białka:** Białko jest ustawiane jako stała wartość względem masy ciała, a nie procent energii.
 - Wartość docelowa: **2.0 – 2.4 g / kg masy ciała.**
 - Uzasadnienie: Wyższa podaż białka zwiększa termogenezę popośiłkową, zapewnia sytość i chroni azotowy bilans mięśniowy w deficycie.
3. **Tłuszcze:** Ustawiane jako procent CPM po odjęciu kalorii białkowych, jednak z zachowaniem dolnego limitu bezpieczeństwa.
 - Zakres: **20% – 35% CPM.**
 - *Hard Stop:* Algorytm nie może zejść poniżej 0.8 g tłuszczy / kg masy ciała (lub 20% energii), aby nie zaburzyć produkcji hormonów steroidowych i wchłaniania witamin (A, D, E, K).
4. Węglowodany: Stanowią zmienną resztową.

$$\text{Węglowodany [kcal]} = \text{CPM}_{\text{red}} - (\text{Białko [g]} \times 4) - (\text{Tłuszcze [g]} \times 9)$$

3.2. Protokół Budowy Masy Mięśniowej (Hipertrofia)

Celem jest stworzenie środowiska anabolicznego. Wymaga to nadwyżki energetycznej oraz odpowiedniej dostępności węglowodanów do stymulacji insuliny (hormonu anabolicznego) i resyntezy glikogenu.⁷

Procedura Obliczeniowa:

1. **Nadwyżka Energetyczna:** CPM + (10% do 15%) lub stała wartość +200-300 kcal. Agresywniejsze nadwyżki (>500 kcal) u osób zaawansowanych prowadzą głównie do przyrostu tkanki tłuszczowej.
2. **Białko: 1.6 – 2.0 g / kg masy ciała.** Badania nie wykazują liniowej korzyści z przekraczania progu 2.2 g/kg w warunkach nadwyżki kalorycznej (białko jest "oszczędzane" przez węglowodany i tłuszcze).
3. **Tłuszcze:** Umiarkowana podaż (**25% – 30% CPM**), aby nie spowalniać nadmiernie opróżniania żołądka przy dużych objętościach jedzenia.
4. **Węglowodany:** Znaczny udział (45-55% energii). Są kluczowe jako paliwo glikolityczne dla intensywnych treningów siłowych.

3.3. Protokół Utrzymania (Normokaloryczny)

Dla użytkowników dążących do stabilizacji wagi (rekompozycja lub maintenance), algorytm stosuje zrównoważony podział zgodny z zaleceniami IŻŻ/WHO:

- Białko: 15-20% energii (lub 1.0 - 1.2 g/kg m.c.).
- Tłuszcze: 25-35% energii.
- Węglowodany: 45-60% energii.

4. Kliniczne Ścieżki Postępowania (Clinical Pathways)

Systemy dietetyczne klasy medycznej muszą posiadać zaimplementowane moduły logiczne dla specyficznych jednostek chorobowych. Moduły te działają jako "filtry" nakładane na bazę produktów i algorytmy makroskładników.

4.1. Insulinooporność (IO) i Zaburzenia Glikemii

W IO komórki stają się oporne na działanie insuliny, co prowadzi do hiperinsulinemii kompensacyjnej. Celem diety jest spłaszczenie krzywej glikemicznej i redukcja wyrzutów insuliny.

Logika Algorytmiczna i Zalecenia PTD ⁹:

1. **Indeks i Ładunek Glikemiczny (IG/ŁG):** Algorytm musi filtrować produkty węglowodanowe.
 - *Allowlist:* Produkty o IG < 55.
 - *Blocklist:* Cukier, biała mąka pszenna, soki owocowe, produkty wysokoprzetworzone.
2. **Błonnik Pokarmowy:** System musi wymuszać podaż błonnika na poziomie **25-40 g/dobę**, ze szczególnym uwzględnieniem frakcji rozpuszczalnych (beta-glukany,

pektyny), które opóźniają wchłanianie glukozy.

3. **Kompozycja Posiłku:** Implementacja zasady unikania "nagich węglowodanów" (naked carbs). Każdy posiłek zawierający >15g węglowodanów musi zawierać obligatoryjny dodatek białka lub tłuszczy.
4. **Modyfikacja Makro:** Zwiększenie udziału tłuszczy nienasyconych (MUFA/PUFA) do 35% energii kosztem węglowodanów, przy zachowaniu wysokiej jakości tłuszczy (oliwa, orzechy, awokado) i eliminacji tłuszczy trans.

4.2. Choroba Hashimoto (Autoimmunologiczne Zapalenie Tarczycy)

Choroba o podłożu zapalnym, często współwystępująca z nietolerancjami pokarmowymi i zaburzeniami wchłaniania.

Protokół Wykluczeń i Ograniczeń¹¹:

1. **Zarządzanie Goitrogenami:** Substancje wolotwórcze (goitrogeny) zawarte w warzywach krzyżowych (brokuł, kalafior, kapusta) mogą hamować wchłanianie jodu.
 - o *Błąd logiczny do uniknięcia:* Całkowite wykluczenie tych warzyw jest błędem, gdyż są one źródłem cennych sulforafanów.
 - o *Rozwiążanie:* Algorytm oznacza te produkty tagiem „Wymaga obróbki termicznej”. Gotowanie bez przykrycia redukuje zawartość goitrogenów o ok. 30-50%, co czyni je bezpiecznymi w umiarkowanych ilościach.
2. **Soja i Izoflawony:** Ze względu na silne działanie goitrogenne i potencjalną interakcję z lekami (lewotyrosyna), soja i jej przetwory powinny być drastycznie ograniczone lub wykluczone.
3. **Gluten i Nabiał:** Z uwagi na molekularną mimikrę i częste współwystępowanie celiakii, algorytm powinien sugerować (lub umożliwiać łatwe włączenie) diety bezglutenowej i bezlaktozowej.
4. **Mikroskładniki:** Priorytetyzacja produktów bogatych w Selen (orzechy brazylijskie, ryby), Cynk i Żelazo, niezbędnych do konwersji T4 w T3.

4.3. Cukrzyca (Typ 2 i Ciążowa) – Implementacja Wytycznych PTD 2024

Najnowsze wytyczne Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego (2024) wprowadzają precyzyjne ramy postępowania dietetycznego.¹²

Kluczowe Parametry Algorytmu Cukrzycowego:

1. **Węglowodany:** Zalecany udział to 40-50% energii całkowitej. W przypadku cukrzycy ciążowej (GDM), minimalna podaż węglowodanów nie może spaść poniżej 180g/dobę, aby zapewnić prawidłowy rozwój płodu i uniknąć ketozy głodowej.
2. **Cukry proste:** Rygorystyczne ograniczenie sacharozy (<10% energii).
3. **Częstotliwość posiłków w GDM:** Algorytm musi generować plan oparty na 6 posiłkach (I śniadanie, II śniadanie, Obiad, Podwieczorek, Kolacja, Posiłek przed snem). Ostatni

posiłek (ok. 22:00-22:30) musi zawierać ok. 25g węglowodanów złożonych, aby zabezpieczyć przed nocną hipoglikemią i poranną ketozą.

4. **Integracja z CGM (Ciągły Monitoring Glikemii):** Nowoczesne systemy powinny pozwalać na korektę diety w oparciu o dane TIR (Time in Range).

4.4. Zespół Jelita Drażliwego (IBS) i Protokół Low-FODMAP

Dieta Low-FODMAP jest interwencją czasową i diagnostyczną, a nie modelem żywienia na stałe. Algorytm musi obsługiwać logikę fazową.¹⁵

Struktura Procesu:

1. **Faza Eliminacyjna (2-6 tygodni):**
 - System generuje jadłospis wykluczający wszystkie grupy FODMAP: Fruktozę (nadmiar nad glukozą), Laktozę, Oligosacharydy (fruktany, galaktany – pszenica, czosnek, cebula, strączki), Poliole (sorbitol, mannitol).
 - **Krytyczne:** Wykluczenie "ukrytych" źródeł, np. czosnku w gotowych mieszankach przypraw.
2. **Faza Reintrodukcji (Testowa):**
 - Algorytm planuje próby prowokacyjne. Np. "Dzień 1: Miód (Fruktoza) - mała dawka. Obserwacja. Dzień 3: Średnia dawka".
 - Użytkownik raportuje objawy (ból brzucha, wzdęcia, biegunka).
3. **Faza Personalizacji:**
 - Na podstawie wyników testów, system buduje "Białą Listę" i "Czarną Listę" produktów, tworząc zrównoważoną dietę z maksymalną możliwą różnorodnością.

5. Infrastruktura Danych: Bazy Wartości Odżywczych i Struktury Przepisów

Jakość generowanego jadłospisu jest bezpośrednio skorelowana z jakością i strukturą danych wejściowych o produktach spożywczych. Systemy oparte na danych crowdsourcingowych często zawierają błędy; systemy profesjonalne muszą bazować na referencyjnych tabelach składu żywności.

5.1. Wiarygodne Źródła Danych

5.1.1. Tabele IŻŻ (NIZP PZH - PIB) – Standard Polski

Baza Instytutu Żywności i Żywienia (obecnie w strukturach NIZP PZH - PIB) jest standardem referencyjnym dla rynku polskiego.²⁰

- **Przewaga:** Uwzględnia lokalne produkty (np. specyficzne rodzaje chleba, wędlin), polskie marki oraz, co kluczowe, lokalne straty witamin podczas typowych procesów obróbki kulinarnych.
- **Struktura Danych:** Wartości podawane są na 100g części jadalnych.

- **Kluczowe Pole: % odpadków:** Jest to parametr krytyczny dla algorytmu generującego listę zakupów.
 - *Przykład:* Przepis wymaga 100g miąższa banana. Baza podaje, że odpadki (skórka) wynoszą 33%.
 - *Obliczenie zakupowe:*

$$\text{Masa do kupienia} = \frac{\text{Masa netto}}{1 - \% \text{ odpadków}} = \frac{100\text{g}}{0.67} \approx 150\text{g}$$

5.1.2. USDA FoodData Central – Standard Globalny

Amerykańska baza USDA jest jedną z najobszerniejszych na świecie, udostępnianą poprzez darmowe API.²²

- **Architektura API:**
 - Endpoint /foods/search: Wyszukiwanie produktów.
 - Endpoint /food/{fdclId}: Pobieranie szczegółów nutrienントw.
 - Format JSON: Zwraca obiekty zawierające labelNutrients (makro i mikroelementy).
- **Wyzwanie:** Konwersja miar objętościowych (cups, oz, fl oz) na system metryczny (gramy). Baza USDA często podaje wartości dla "serving size", który może być zdefiniowany jako "1 cup". Wymaga to zaimplementowania tabeli gęstości dla każdego produktu, aby przeliczyć objętość na masę.

5.2. Struktura Danych Przepisu (JSON Schema)

Aby umożliwić algorytmiczne skalowanie porcji, każdy przepis w systemie musi posiadać ustandardowaną strukturę danych, a nie być jedynie blokiem tekstu.

JSON

```
{
  "recipe_id": "UUID_v4",
  "name": "Owsianka z borówkami i orzechami",
  "base_yield_grams": 400,
  "dietary_tags": ["vegetarian", "high-fiber", "low-fodmap-adaptable"],
  "ingredients": // Czerwiec-Wrzesień
    "swap_with": // Alternatywy poza sezonem
  },
  [
    {
      "instructions": ...
    }
  ]
}
```

6. Bezpieczeństwo Pacjenta i Etyka Algorytmiczna

Automatyzacja poradnictwa dietetycznego niesie ze sobą ryzyko przeoczenia stanów zagrażających zdrowiu lub życiu użytkownika. Bot dietetyczny, jako narzędzie zaufania publicznego, musi posiadać zaimplementowane mechanizmy bezpieczeństwa ("Red Flags") i etyczne bezpieczniki, które w sytuacjach granicznych odmówią świadczenia usługi i przekierują do specjalisty.²⁶

6.1. Wykrywanie Zaburzeń Odżywiania (ED – Eating Disorders)

Algorytm musi aktywnie monitorować dane wejściowe pod kątem symptomów anoreksji (AN), bulimii (BN) czy ortoreksji. Zgodnie z kryteriami ICD-11 oraz badaniami klinicznymi, system powinien stosować następujące progi odcięcia (Cut-off Criteria) ²⁹:

1. Analiza BMI (Body Mass Index):

- **BMI < 18.5:** Wyświetlenie ostrzeżenia o niedowadze. Sugestia diety na przytycie lub utrzymanie.
- **BMI < 17.0 (Łagodna Anoreksja):** Blokada generowania jakiejkolwiek diety redukcyjnej. System może generować jedynie diety normokaloryczne lub z nadwyżką, z jednoczesnym komunikatem o konieczności konsultacji lekarskiej.
- **BMI < 15.0 (Skrajna Anoreksja):** Bezwzględna blokada usługi ("Hard Stop"). Stan ten zagraża życiu i wymaga hospitalizacji. Bot powinien wyświetlić numery telefonów zaufania i odmówić dalszej interakcji w zakresie planowania posiłków.

2. Dynamika Zmian Masy Ciała:

- Jeśli użytkownik w wywiadzie raportuje utratę >20% masy ciała w ciągu ostatnich 6 miesięcy (niezamierzoną lub wynikającą z restrykcji), jest to silny predyktor zaburzeń.

3. Ankieta Psychometryczna (SCOFF):

- Warto zaimplementować elementy kwestionariusza SCOFF (np. "Czy czujesz, że tracisz kontrolę nad tym, ile jesz?"). Pozytywna odpowiedź na ≥2 pytania powinna flagować użytkownika jako grupę ryzyka.

6.2. Przeciwwskazania Medyczne dla Diet Eliminacyjnych (np. Keto)

Dieta ketogeniczna, mimo popularności, posiada ścisłe przeciwwskazania medyczne. Bot nie może wygenerować diety ketogenicznej, jeśli użytkownik zaznaczy w wywiadzie ³²:

- Niewydolność wątroby lub nerek.
- Cukrzycę typu 1 (ryzyko kwasicy ketonowej – DKA) – chyba że system jest przeznaczony dla profesjonalistów i dieta jest prowadzona pod nadzorem.
- Ciążę lub karmienie piersią (ryzyko uszkodzenia płodu/rozwoju dziecka).
- Kamicę pęcherzyka żółciowego lub stan po cholecystektomii (upośledzone trawienie tłuszczy).

6.3. Bezpieczeństwo w Ciąży: Protokoły Ochronne

Algorytm dla kobiet w ciąży musi automatycznie filtrować produkty stanowiące zagrożenie mikrobiologiczne lub toksykologiczne³⁴:

- **Listeria i Toksoplazmoza:** Eliminacja surowego mięsa (tatar, krwiste steki), surowych ryb (sushi), surowych jaj (kogel-mogel, domowy majonez), niepasteryzowanego mleka i serów pleśniowych.
- **Metale Ciężkie:** Wykluczenie dużych ryb drapieżnych (rekin, miecznik, makrela królewska, tuńczyk w dużych ilościach) ze względu na neurotoksykowość rtęci dla płodu.
- **Witamina A:** Bot nie może sugerować częstego spożycia wątróbki (bogatej w retinol), gdyż nadmiar witaminy A jest teratogenny.

6.4. Analiza Zdrowia Jelit: Skala Bristol

W dietach ukierunkowanych na problemy gastryczne (IBS, zaparcia), bot powinien zbierać dane o wypróżnieniach oparte na wizualnej Skali Brilstolskiej³⁶:

- **Typ 1-2 (Zaparcia):** Algorytm zwiększa podaż płynów i błonnika nierożpuszczalnego, sugeruje produkty bogate w sorbitol (śliwki).
- **Typ 3-4 (Norma):** Utrzymanie obecnych parametrów.
- **Typ 5-7 (Biegunka):** Algorytm przechodzi w tryb diety lekkostrawnej (zmniejszenie błonnika, eliminacja produktów wzdymających, nawadnianie elektrolitami). Jeśli stan trwa >3 dni, bot sugeruje wizytę lekarską.

7. Logika Kulinarna: Sezonowość, Smak i Zero Waste

Aby dieta była stosowana długofalowo, musi być nie tylko zdrowa, ale również smaczna, ekonomiczna i łatwa w logistyce. Wymaga to implementacji zaawansowanej "logiki kulinarnej".

7.1. Algorytm Sezonowości (Kontekst Polski)

Ceny warzyw i owoców poza sezonem mogą być 3-4 krotnie wyższe, a ich wartość odżywcza niższa z powodu długiego transportu i przechowywania. System powinien posiadać tabelę wagową (score) dla produktów w zależności od miesiąca.⁴⁰

Przykładowy Model Wagi (0.0 - 1.0):

- **Styczeń-Marzec:** Promowanie warzyw korzeniowych (marchew, pietruszka, burak), kapustnych, jabłek, gruszek oraz mrożonek.
- **Kwiecień-Maj:** Wprowadzanie nowalijek (rzodkiewka, sałata), szpinaku, rabarbaru.
- **Czerwiec-Lipiec:** Szczyt sezonu na owoce jagodowe (truskawki, borówki), szparagi, bób. Algorytm powinien maksymalnie wykorzystywać te produkty w przepisach.
- **Sierpień-Wrzesień:** Czas na paprykę, cukinię, bakłażan, pomidory (najniższa cena w roku).
- **Październik-Grudzień:** Dynia, orzechy, późne odmiany jabłek.

Algorytm generujący jadłospis powinien "podbijać" prawdopodobieństwo wylosowania

przepisu zawierającego składniki o wysokim wskaźniku sezonowości w danym miesiącu.

7.2. Foodpairing: Chemia Smaku

Aby posiłki były satysfakcjonujące sensorycznie, bot może wykorzystywać zasady łączenia smaków oparte na analizie lotnych związków zapachowych.⁴¹

Kluczowe Pary i Zasady Równoważenia:

- **Słodki + Kwaśny:** Kwas równoważy słodycz. Przykłady: Truskawki + Oczet balsamiczny, Szarlotka + Kwaśna śmietana.
- **Tłusty + Kwaśny:** Kwas "przecina" tłuszcz, odświeżając kubki smakowe. Przykłady: Ryba smażona + Cytryna, Tłusty ser + Marynowana gruszka.
- **Umami Booster:** Łączenie produktów bogatych w glutaminian i rybonukleotydy potęguje smakowitość (synergia umami). Przykłady: Pomidor + Parmezan, Pieczarki + Sos sojowy.

7.3. Strategie Zero Waste w Planowaniu

Marnowanie żywności jest jednym z głównych problemów diet pudełkowych i planowanych. Algorytm musi optymalizować listę zakupów.⁴⁵

Reguły Optymalizacyjne:

1. **Agregacja Składników:** Jeśli przepis A w poniedziałek zużywa 200g brokuła, a standardowa główka waży 500g, system musi zaplanować inny przepis z brokułem (300g) w ciągu kolejnych 2-3 dni, aby zużyć produkt.
2. **Priorytetyzacja Psucia:** Produkty o krótkim terminie przydatności (świeże mięso, ryby, delikatne sałatki) są planowane na początek cyklu zakupowego (np. poniedziałek-wtorek). Warzywa korzeniowe, sery twarde i produkty syrkie mogą być planowane na koniec tygodnia.
3. **Cross-Utilization:** Bot powinien preferować przepisy, które dzielą bazowe składniki (np. ugotowanie większej ilości kaszy gryczanej do obiadu w poniedziałek, aby wykorzystać ją do sałatek we wtorek).

8. Specyficzne Modele Żywieniowe: Logika Doboru Produktów

System musi obsługiwać różne ideologie żywieniowe, stosując odpowiednie filtry produktowe i reguły bilansowania.

8.1. Dieta Wegańska

- **Wykluczenia:** Wszelkie produkty pochodzenia zwierzęcego (mięso, ryby, nabiał, jaja, miód, żelatyna, koszenila).
- **Zasada Krytyczna (Suplementacja):** Algorytm musi obligatoryjnie przypominać o

suplementacji witaminy B12, która nie występuje w produktach roślinnych w formie aktywnej.

- **Zwiększone Zapotrzebowanie:** Ze względu na niższą biodostępność żelaza niehemowego i cynku z roślin (obecność fitynianów), normy na te pierwiastki dla wegan powinny być mnożone przez współczynnik 1.8.
- **Komplementarność Białek:** Promowanie łączenia zbóż (metionina) z roślinami strączkowymi (lizyna) w skali dnia, aby zapewnić pełny profil aminokwasów.

8.2. Dieta Ketogeniczna (Keto)

- **Rozkład Makro:** Tłuszcze 70-80%, Biały 15-20%, Węglowodany 5-10% (zazwyczaj <50g, a często <20g węglowodanów netto).
- **Wybór Produktów:** Baza: mięso, ryby, jaja, oleje, masło, orzechy, awokado. Warzywa: tylko niskowęglowodanowe (liściaste, kapustne, cukinia).
- **Zarządzanie Elektrolitami:** W fazie adaptacji (keto-flu) system powinien zalecać zwiększone spożycie sodu, potasu i magnezu oraz odpowiednie nawodnienie.

8.3. Dieta DASH (Dietary Approaches to Stop Hypertension)

Uznawana za jedną z najzdrowszych diet na świecie.⁴⁷

- **Cel:** Obniżenie ciśnienia krwi.
- **Reguły:** Ograniczenie sodu (<2300 mg lub <1500 mg). Wysoka podaż potasu, wapnia, magnezu i błonnika.
- **Produkty:** Pełnoziarniste zboża, owoce, warzywa, chudy nabiał, orzechy. Ograniczenie czerwonego mięsa i słodyczy.

9. Ankieta Dietetyczna: Architektura Danych Wejściowych

Skuteczność personalizacji zależy od precyzji danych zebranych podczas onboardingu użytkownika. Ankieta musi być dynamiczna i wyczerpująca.⁴⁹

9.1. Sekcja Antropometryczna i Demograficzna

1. **Płeć:** (Kluczowa dla wzorów PPM).
2. **Data urodzenia:** (Precyzyjny wiek do wzorów).
3. **Wzrost i Masa Ciała:** (BMI, PPM).
4. **Pomiary obwodów (Talia, Biodra):** Pozwalają na obliczenie WHR (Wskaźnik Talia-Biodro) i ocenę ryzyka metabolicznego niezależnie od BMI.

9.2. Sekcja Celu i Stylu Życia

1. **Cel Główny:** Redukcja, Masa, Utrzymanie, Zdrowie (specyficzne, np. poprawa lipidogramu).

2. **Tempo zmian:** Np. 0.5 kg/tydzień (system musi sprawdzić, czy deficyt nie jest zbyt głęboki).
3. **Opis Dnia (PAL):** Szczegółowe pytania o charakter pracy i aktywność treningową.
4. **Logistyka:** Ile posiłków dziennie? Ile czasu na gotowanie? Jaki budżet?

9.3. Sekcja Kliniczna (Medical History)

1. **Choroby przewlekłe:** Lista wyboru (Cukrzyca, IO, Hashimoto, Nadciśnienie, IBS, etc.). Wybór uruchamia odpowiednie protokoły opisane w sekcji 4.
2. **Alergie i Nietolerancje:** Gluten, Laktoza, Orzechy, Ryby, Skorupiaki.
3. **Leki i Suplementy:** Istotne interakcje (np. warfaryna a witamina K).
4. **Stan Fizjologiczny:** Ciąża (który tydzień?), laktacja.

9.4. Sekcja Preferencji (Hedoniczna)

1. **Dieta preferowana:** Standard, Wege, Keto, Paleo, etc.
2. **Produkty nielubiane:** Czarna lista produktów, które nigdy nie mają pojawić się w menu (np. "nie lubię selera naciowego"). To kluczowe dla adherencji (przestrzegania diety).

10. Podsumowanie i Wnioski

Projektowanie systemów dietetycznych to zadanie wykraczające poza prostą arytmetykę kalorii. Wymaga ono integracji zaawansowanych algorytmów metabolicznych z logiką kliniczną, wiedzą kulinarną i etyką medyczną. Przedstawione w raporcie protokoły – od wyboru wzoru Mifflina-St Jeora, przez specyficzne reguły dla Hashimoto i IO, aż po mechanizmy bezpieczeństwa w zaburzeniach odżywiania – stanowią niezbędny szkielet dla budowy nowoczesnego, bezpiecznego i skutecznego bota dietetycznego. Sukces takiego narzędzia zależy od jakości danych wejściowych (bazy USDA/IŻŻ) oraz zdolności systemu do elastycznego reagowania na zmieniające się potrzeby i stan zdrowia użytkownika. Prawidłowo zaimplementowany system ma potencjał nie tylko optymalizować sylwetkę, ale realnie wspierać leczenie chorób cywilizacyjnych w skali populacyjnej.

Cytowane prace

1. PPM - Wzór Mifflina kalkulator | Program dla dietetyków - DietetykPro, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://dietetykpro.pl/kalkulatory/ppm-mifflin>
2. PPM - Wzór Harris-Benedicta kalkulator | Program dla dietetyków - DietetykPro, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://dietetykpro.pl/kalkulatory/ppm-harris-benedict>
3. Kalkulator PPM (Podstawowej Przemiany Materii) — wzór Mifflin-St Jeor - Omni Calculator, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://www.omnicalculator.com/pl/zdrowie/podstawa-przemiana-materii>
4. Współczynnik aktywności fizycznej (PAL). Jak obliczyć PAL? - Maslove, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://maslove.pl/wspolczynnik-aktywnosci-fizycznej-pal-jak-obliczyc/>

5. Współczynnik aktywności fizycznej PAL – jak go określić? - Dietific, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://dietific.pl/wiedza/porady-dietetyczne/wspolczynnik-aktywnosci-fizycznej-pal-jak-go-okreslic/>
6. Human energy requirements, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.fao.org/4/y5686e/y5686e07.htm>
7. Makroskładniki - jak obliczyć makro na redukcji i masie? - BudujMase.pl, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.budujmase.pl/diety/o-dietach/podzial-makroskladnikow-krok-po-kroku.html>
8. Jakie makro na redukcji? Proporcje makroskładników - Maczfit, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.maczfit.pl/blog/jakie-makro-na-redukcji-proporcje-makroskladnikow/>
9. Dieta w insulinooporności. Zasady postępowania i jadłospis - enel-med, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://enel.pl/enelzdrowie/zdrowie/dieta-w-insulinoopornosci-jaka-diete-stosowac-i-jakich-zasad-postepowania-sie-trzymac>
10. Rozkład talerza w insulinooporności – jak komponować posiłki? - Nutrapharma, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://nutrapharma.pl/blog/post/rozklad-talerza-w-insulinoopornosci-jak-komponowac-posilki.html>
11. Hashimoto – dieta. Czego nie wolno jeść: te produkty trzeba ... - Dietly, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://dietly.pl/blog/hashimoto-dieta-czego-nie-wolno-jesc-te-produkty-sa-zakazane>
12. Zalecenia kliniczne Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego 2024 są już dostępne - Wytyczne - Diabetologia - Medycyna Praktyczna dla lekarzy, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://diabetologia.mp.pl/wytyczne/340513,zalecenia-kliniczne-polskiego-towarzystwa-diabetologicznego-2024-sa-juz-dostepne>
13. Current Topics - in Diabetes - Polskie Towarzystwo Diabetologiczne, otwierano: stycznia 15, 2026,
https://ptdiab.pl/images/docs/zalecenia/2024/zalecenia_PTD_2024_22_01_2024.pdf
14. Raport 2024: Terapeutyczne ograniczanie węglowodanów i posty przerywane u pacjentów chorych metabolicznie. Aktualne dane nauk - Dietetyk metaboliczny, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://dietetykmetaboliczny.pl/wp-content/uploads/2025/05/Raport-2024-Aktualne-dane-naukowe.pdf>
15. Dieta low FODMAP - Hack Your Health, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://hackyourhealth.pl/low-fodmap/>
16. Dieta Fodmap - tabela produktów PDF, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://centrumgh.pl/wp-content/uploads/2021/01/FODMAP-do-druku.pdf>
17. Reintrodukcja - FODMAP po polsku, otwierano: stycznia 15, 2026,

<https://www.fodmap.pl/reintrodukcja/>

18. Dieta Low FODMAP – poznaj jej etapy oraz najważniejsze zasady – Cosdlazdrowia.pl, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.cosdlazdrowia.pl/blog/dieta-low-fodmap-poznaj-jej-etapy-oraz-najwazniejsze-zasady>
19. Dieta Low FODMAP: Jak przeprowadzić fazę reintrodukcji produktów? - Catering Dietetyczny 5PD, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://5pd.pl/dieta-low-fodmap-jak-przeprowadzic-faze-reintrodukcji-produktow/w/>
20. Baza danych - wersja skrócona – NIZP PZH - PIB, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.pzh.gov.pl/uslugi/tabele-wartosci-odzywczej-produktow/baza-danych-versja-skronna/>
21. Baza danych - wersja pełna – NIZP PZH - PIB, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.pzh.gov.pl/uslugi/tabele-wartosci-odzywczej-produktow/baza-danych-versja-pelna/>
22. Downloadable Data – USDA FoodData Central, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://fdc.nal.usda.gov/download-datasets>
23. FoodData Central API Guide, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://fdc.nal.usda.gov/api-guide>
24. FDC Nutrient Data OpenAPI Documentation - USDA FoodData Central, otwierano: stycznia 15, 2026, https://fdc.nal.usda.gov/api-spec/fdc_api.html
25. USDA FoodData Central API - Sample JSON Response - GitHub Gist, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://gist.github.com/magdiel01/3c82068d71a745788c04f49aa23d5244>
26. Dostosowana aplikacja przekazuje indywidualnie dopasowane porady żywieniowe | SmartEater Project | Wyniki w skrócie - CORDIS, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://cordis.europa.eu/article/id/428506-customised-app-delivers-targeted-eating-advice/pl>
27. Red flags for nutrition advice on Instagram - Health Promotion & Wellness, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://wellness.sfsu.edu/sites/default/files/documents/Nutrition%20Red%20Flags%20Handout%20%28Accessible%29%20%282%29.pdf>
28. Addressing the Ethical Considerations in Diet Management App Development - SynergyTop, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://synergytop.com/blog/addressing-the-ethical-considerations-in-diet-management-app-development/>
29. 6B80 Anorexia Nervosa - ICD-11 MMS - Find-A-Code, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://www.findacode.com/icd-11/code-263852475.html>
30. Full article: Psychiatric comorbidity and severity in anorexia nervosa: a comparative study of the DSM-5, the ICD-11, and overvaluation of Weight/Shape severity ratings, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10640266.2024.2346001>
31. Age dependency of body mass index distribution in childhood and adolescent inpatients with anorexia nervosa with a focus on DSM-5 and ICD-11 weight criteria

- and severity specifiers - PMC - PubMed Central, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://PMC8295075/>
32. Dieta ketogeniczna – przeciwwskazania, czyli kto nie powinien stosować diety keto?, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.wygodnadieta.pl/blog/dieta-ketogeniczna-przeciwwskazania-kto-nie-powinien-stosowac>
33. Dieta ketogeniczna: zasady, opinie, efekty. Co jeść na diecie keto? Przykładowy jadłospis, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://apteline.pl/artykuly/dieta-ketogeniczna-zasady-opinie-efekty-co-jesc-na-diecie-keto-przykladowy-jadlospis>
34. Produkty niewskazane w ciąży - Diety NFZ, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://diety.nfz.gov.pl/porady/ciaza-i-dziecko/produkty-niewskazane-w-ciazy>
35. Czego nie można jeść w ciąży? - Diagnostyka, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://diag.pl/pacjent/artykuly/czego-nie-mozna-jesc-w-ciazy/>
36. Bristol Stool Chart - NHS England, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.england.nhs.uk/wp-content/uploads/2023/07/Bristol-stool-chart-for-carer-web-version.pdf>
37. Bristol Stool Chart: Types of Poop - Shapes, Textures & Consistency - WebMD, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.webmd.com/digestive-disorders/poop-chart-bristol-stool-scale>
38. Bristol Stool Chart | Faecal | Continence Foundation of Australia, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://www.continence.org.au/bristol-stool-chart>
39. Bristol stool scale - Wikipedia, otwierano: stycznia 15, 2026,
https://en.wikipedia.org/wiki/Bristol_stool_scale
40. Kalendarz sezonowości: świeże warzywa i owoce w każdym miesiącu, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://bioave.pl/kalendarz-sezonowosci-produktow>
41. Foodpairing — poznaj zasady łączenia smaków - Blog Bidfood Farutex, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://blog.bidfood.pl/foodpairing-poznaj-zasady-laczenia-smakow/>
42. Food Pairing - Władca smaku, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://wladcasmaku.pl/food-pairing>
43. How to Pair Flavors: A Comprehensive Flavor Pairing Guide, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://pastrychefonline.com/how-to-pair-flavors-1/>
44. The Flavor Bible - Food Message Board - GameFAQs, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://gamefaqs.gamespot.com/boards/267-food/73235114>
45. 5 zasad Zero Waste w kuchni - Poradnik - Proste Historie, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://prostehistorie.com.pl/podstawy-zero-waste-w-kuchni/blog/>
46. Zero waste w kuchni – 7 prostych kroków, by ograniczyć plastik i żyć bardziej eko, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.ekologia.pl/styl-zycia/zero-waste-w-kuchni-7-prostych-krokow-by-ograniczyc-plastik-i-zyc-bardziej-eko/>
47. Dieta DASH - jadłospis, zasady i efekty - Blog Centrum Respo, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://centrumrespo.pl/dieta/dieta-dash-zasady-efekty-jadlospis/>
48. Dieta DASH – jadłospis, zasady, produkty zalecane i niezalecane - Wygodna Dieta, otwierano: stycznia 15, 2026, <https://www.wygodnadieta.pl/blog/dieta-dash>

49. przed wizytą u dietetyka Witam serdecznie, Ankieta pomoże mi przeanalizować nawyki żywieniowe oraz ustalić indy, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://fcmed.pl/wp-content/uploads/2023/04/Dietetyk-Wywiad-zywieniowy.pdf>
50. Wywiad zdrowotno-żywieniowy, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://scm.pl/wp-content/uploads/2022/08/Wywiad-zdrowotno-zywieniowy-dzenniczek-zywieniowy.pdf>
51. Poradnia-dietetyczna---ankieta-do-badania.pdf, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.coms.pl/files/135/Dokumenty/7/Poradnia-dietetyczna---ankieta-do-badania.pdf>
52. Sample Nutritional Assessment, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.hhs.texas.gov/sites/default/files/documents/doing-business-with-hhs/provider-portal/QMP/nutrition-care-sample-asmt-form.pdf>
53. Nutrition/Dietary Assessment, otwierano: stycznia 15, 2026,
https://wellness.studentaffairs.miami.edu/_assets/pdf/nutrition/nutrition-assessment-form.pdf
54. Nutrition Assessment Form, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.wku.edu/awellu/images/nutrition-assessment.pdf>
55. Nutrition Questionnaire - UF Health, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://ufhealth.org/sites/default/files/media/Weight-loss-center/Nutrition-Questionnaire3.pdf>
56. RDN Nutrition Counseling - Assessment Form, otwierano: stycznia 15, 2026,
<https://www.rdnnutritioncounseling.com/assets/pdf/assessment-form.pdf>