

Uniwersytet Warszawski
Wydział Nauk Ekonomicznych

Zoia Romas
Nr albumu: 443827

Problem diety: minimalizacja ładunku glikemicznego posiłku

Projekt zaliczeniowy
na kierunku: Informatyka i Ekonometria

Projekt zaliczeniowy na zajęcia
Probabilistyczne i deterministyczne modele optymalizacji, gr. nr 306
wykonany pod kierunkiem dr Anny Lewczuk
Semestr letni 2023/2024

Warszawa, czerwiec 2024

Wstęp

Celem niniejszej pracy jest optymalizacja spożywanego posiłku pod kątem ładunku glikemicznego na podstawie wybranej próbki produktów. Dieta o niskim indeksie glikemicznym jest polecana dla osób z nadwagą, otyłością, cukrzycą typu 2, insulinoopornością, chorobami serca, ale również dla osób chcących utrzymać stabilny poziom energii i zapobiec nagłym skokom cukru we krwi. Jak pokazują badania, profilaktyczne stosowanie diety z niskim ładunkiem glikemicznym w przypadku osób zdrowych przynosi wymierne korzyści w zwiększonej odporności, zdrowej cerze, ochronie przed chorobami dietozależnymi, czy stanami zapalnymi. W niniejszej pracy rozważone zostaną 5 scenariuszy, dla których zostanie podjęta próba ułożenia odpowiedniego posiłku z minimalnym ładunkiem glikemicznym na podstawie próbki wybranych produktów pod warunkiem spełnienia ograniczeń dotyczących pozostałych wartości odżywczych.

Opis problemu

Indeks glikemiczny (IG) to wskaźnik, który w 1981 r. opracował dr David Jenkins (specjalista w dziedzinie odżywiania oraz naukowiec University of Toronto). Jest stosunkowo nową miarą, określa on szybkość zwiększenia stężenia glukozy we krwi po spożyciu danego produktu w porównaniu ze wzrostem stężenia glukozy we krwi, jakie następuje po spożyciu czystej glukozy i wyrażany jest w procentach (Rys. 1 i Rys. 2). Im wyższy IG, tym większy jest wzrost glukozy po spożyciu danego produktu (Rys. 3). Wśród produktów występuje podział na 3 kategorie w zależności od indeksu glikemicznego:

- niski indeks glikemiczny: $IG < 50$
- średni indeks glikemiczny: $IG = 50-70$
- wysokim indeks glikemiczny: $IG > 70$.

Rys. 1. Sposób wyliczenia indeksu glikemicznego produktu spożywczego

$$IG = \frac{\text{Pole powierzchni pod krzywą glikemiczną dla określonego produktu}}{\text{Pole powierzchni pod krzywą glikemiczną dla glukozy}} \times 100$$

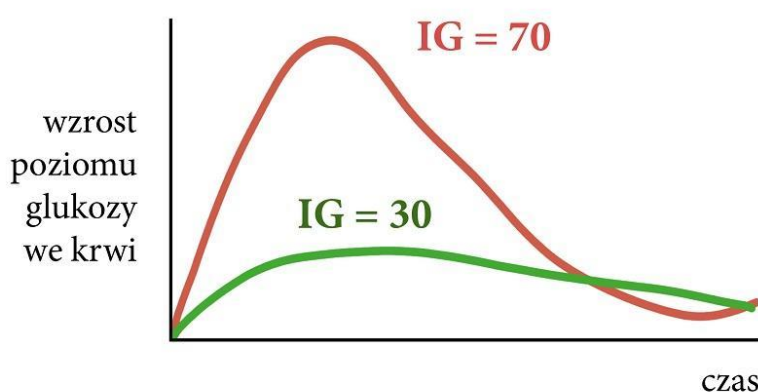
Źródło: <https://gemini.pl/poradnik/zdrowie/indeks-glikemiczny-co-to-jest-i-jak-go-sprawdzic-w-produktach/>.

Rys. 2. Sposób wyliczenia indeksu glikemicznego produktu spożywczego

$$\text{Indeks glikemiczny} = \frac{\text{stężenie glukozy we krwi po spożyciu produktu zawierającego 50g węglowodanów}}{\text{stężenie glukozy we krwi po spożyciu 50g glukozy}} * 100$$

Źródło: <https://www.onlinezdrowie.pl/indeks-glikemiczny-tabela-pdf-co-to-jest-ig-jak-obliczyc/>.

Rys. 3. Wykres obrazujący poziom glukozy we krwi w zależności od indeksu glikemicznego



Źródło: <https://gotujwstylueko.pl/artykuly/eko-styl/indeks-glikemiczny-jak-cukier-wplywa-na-nasz-organizm>

Ładunek glikemiczny (ŁG) z kolei jest obliczany na podstawie indeksu glikemicznego danego produktu (IG). Ładunek glikemiczny jest dokładniejszym wskaźnikiem, ponieważ uwzględnia nie tylko rodzaj węglowodanów i szybkość ich wchłaniania, ale także ilość węglowodanów zawartą w porcji produktu w odróżnieniu od indeksu glikemicznego, który nie zmienia się w zależności od wielkości porcji i jest stały dla produktów spożywczych. Podobnie jak w przypadku IG, rozróżnia się żywność o:

- o niskim ŁG < 10
- średnim ŁG: 10-20
- wysokim ŁG > 20.

Głównym założeniem diety z niskim indeksem glikemicznym (IG) jest ochrona przed gwałtownym wzrostem glikemii i insulinemii po spożytym posiłku, co szczególnie ważne jest dla osób zmagających się z insulinoopornością. Wadą miary indeksu glikemicznego jest to, że

mówi on bardziej o jakości spożywanych węglowodanów, natomiast nie uwzględnia ich ilości w produkcie. Kierowanie się wyłącznie jego wartością, stosując podział żywności na zdrową (z niskim IG) i niezdrową (z wysokim IG) może być mylące, dlatego lepiej jest kierować się ładunkiem glikemicznym (ŁG), który dodatkowo uwzględnia ilość węglowodanów w danym produkcie. Ładunek glikemiczny jest obliczany w oparciu o indeks glikemiczny przy pomocy wzoru przedstawionego na Rys. 4.

Rys. 4. Wzór na obliczenie ładunku glikemicznego produktu spożywczego

$$\text{ŁG} = \frac{\text{IG} \times \text{ilość węglowodanów w spożytej porcji (w gramach)}}{100}$$

Źródło: <https://aliant.com.pl/tajemnice-indeksu-glikemicznego/>

Dane oraz kryteria selekcji produktów spożywczych

Ze względu na dodanie różnych zmiennych do próbki danych (Załącznik 1) takich jak wartości odżywcze, indeks glikemiczny oraz ładunek glikemiczny dla 50 produktów spożywczych posłużono się kilkoma źródłami danych:

- wyszukiwarka IG na stronie Uniwersytetu w Sydney (<https://glycemicindex.com/gi-search/>)
- Glycemic Index Guide (<https://glycemic-index.net>)
- indeks glikemiczny dla poszczególnych produktów spożywczych (z danych dostępnych na stronie <https://www.onlinezdrowie.pl/indeks-glikemiczny-tabela-pdf-co-to-jest-ig-jak-obliczyc>).

Aby ograniczyć dostępne produkty spożywcze podczas tworzenia bazy danych wybrano poszczególne produkty z takich kategorii jak: nabiał, produkty zbożowe, warzywa, owoce, mięso, ryby. Uwzględniono również pojedyncze produkty z innych kategorii. Każdy produkt został wyrażony w określonych porcjach, aby przy pomocy kodu w SAS udało się określić liczbę porcji danego produktu na potrzeby stworzenia najlepszego możliwego posiłku przy pomocy metody programowania w liczbach całkowitych. Wartości odżywcze, ładunek glikemiczny i indeks glikemiczny zostały podane odpowiednio dla wybranej porcji danego produktu oraz określonego stanu przygotowania. Na przykład, w przypadku makaronu czy

ryżu, dane są wyrażone dla produktu w stanie gotowym do spożycia po obróbce termicznej. Wybrano odpowiednie produkty, aby dało się skomponować zbilansowany posiłek nie tylko pod kątem indeksu i ładunku glikemicznego, ale również wartości odżywczych takich jak białko, tłuszcz, węglowodany i błonnik.

Głównie do próbki danych wybrano produkty o niskim indeksie glikemicznym, ale również o średnim i wysokim w mniejszym stopniu, aby sprawdzić, czy znajdują się w rozwiązaniu optymalnym. Zgodnie z intuicją, dieta o niskim indeksie glikemicznym nie powinna składać się głównie z produktów o średnim i wysokim indeksie glikemicznym. Powyższa hipoteza zostanie zweryfikowana po otrzymaniu wyników optymalizacji.

Metoda badawcza

Do optymalizacji posiłku wykorzystano metodę programowania liniowego w liczbach całkowitych. Jest to odpowiednia metoda dla problemu diety, a dodatkowo próbka produktów spożywczych została utworzona w taki sposób, że przedstawia wartości odżywcze dla określonych porcji poszczególnych produktów. Przykładowo, 100 g owoców i 100 g tłuszczu np. oliwa z oliwek nie są porównywalne, bo zazwyczaj występują w diecie w różnych proporcjach. Oprócz tego, 100 g oliwy z oliwek z pewnością nie może się składać na jakikolwiek posiłek, bo dla każdego scenariusza przekracza maksymalne ograniczenie w zakresie kalorii i tłuszczów. W związku z powyższym, każdy produkt już na etapie selekcji próby został przeliczony na określoną porcję, która nie przekroczy górnych ograniczeń.

Głównym celem problemu optymalizacyjnego jest minimalizacja ładunku glikemicznego posiłku dla każdego ze scenariuszy. Funkcja celu przyjmuje następującą postać:

$$f(p_i) = \sum_{i=1}^N p_i * \text{wartość ładunku glikemicznego porcji produktu}_i \rightarrow \min$$

gdzie:

p_i – produkt spożywczy z Załącznika 1.

Dodatkowo, ograniczenia zostały nałożone na liczbę kalorii, zawartość białka, tłuszczów, węglowodanów oraz błonnika, a wartości ograniczeń są zależne od scenariusza. Każdy scenariusz zakłada, że optymalizowany posiłek jest jednym z czterech spożywanych w ciągu dnia. Oprócz tego, każdy produkt można wykorzystać jedynie raz do ułożenia optymalnego

posiłku, więc dla każdego produktu występuje górne ograniczenie w wysokości 1 oraz można go wykorzystać jedynie w postaci całej dostępnej porcji (wynika to z użytej metody – programowanie w liczbach całkowitych).

Rys. 5. Obliczenia dotyczące scenariuszy oraz ograniczenia modeli dla scenariuszy 1-3

Scenariusz 1					Scenariusz 2					Scenariusz 3				
Płeć, wiek	Kobieta w wieku 30 lat				Płeć, wiek	Kobieta w wieku 30 lat				Płeć, wiek	Kobieta w wieku 30 lat			
Aktywność	Niska aktywność, brak ćwiczeń				Aktywność	Umiarkowana aktywność, ćwiczenia 2 razy w tygodniu				Aktywność	Umiarkowana aktywność, ćwiczenia 2 razy w tygodniu			
Cel	Chce utrzymać obecną wagę, profilaktyczna dieta				Cel	Chce schudnąć				Cel	Chce przytyć			
Wzrost, waga	170 cm, 60 kg				Wzrost, waga	170 cm, 70 kg				Wzrost, waga	170 cm, 55 kg			
	Dziennie		1 posiłek (1 z 4)			Dziennie		1 posiłek (1 z 4)			Dziennie		1 posiłek (1 z 4)	
Kcal	1757		439.25		Kcal	1587		396.75		Kcal	2383		595.75	
B [% od kcal, g]	15%	66	16.5	17.98%	B [% od kcal, g]	15%	60	15	18.07%	B [% od kcal, g]	15%	90	22.5	18.07%
T [% od kcal, g]	30%	59	14.75	16.08%	T [% od kcal, g]	30%	53	13.25	15.96%	T [% od kcal, g]	30%	80	20	16.08%
W [% od kcal, g]	55%	242	60.5	65.94%	W [% od kcal, g]	55%	219	54.75	65.96%	W [% od kcal, g]	55%	328	82	65.86%
Model					Model					Model				
Ładunek glikemiczny -> min					Ładunek glikemiczny -> min					Ładunek glikemiczny -> min				
	Min	Max				Min	Max				Min	Max		
Kcal	400	550			Kcal	350	500			Kcal	500	650		
B [g]	15	20			B [g]	13	18			B [g]	20	25		
T [g]	13	18			T [g]	12	17			T [g]	17	22		
W [g]	55	65			W [g]	50	60			W [g]	75	85		
Blonnik [g]	5	12			Blonnik [g]	5	12			Blonnik [g]	5	12		

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <https://www.fabrykasily.pl/bmr/>.

Rys. 6. Obliczenia dotyczące scenariuszy oraz ograniczenia modeli dla scenariuszy 1-3

Scenariusz 4 - dieta wegetariańska					Scenariusz 5 - dieta wegańska				
Płeć, wiek	Kobieta w wieku 30 lat				Płeć, wiek	Kobieta w wieku 30 lat			
Aktywność	Niska aktywność, brak ćwiczeń				Aktywność	Niska aktywność, brak ćwiczeń			
Cel	Chce utrzymać obecną wagę, profilaktyczna dieta				Cel	Chce utrzymać obecną wagę, profilaktyczna dieta			
Wzrost, waga	170 cm, 60 kg				Wzrost, waga	170 cm, 60 kg			
	Dziennie		1 posiłek (1 z 4)			Dziennie		1 posiłek (1 z 4)	
Kcal	1757		439.25		Kcal	1757		439.25	
B [% od kcal, g]	15%	66	16.5	17.98%	B [% od kcal, g]	15%	66	16.5	17.98%
T [% od kcal, g]	30%	59	14.75	16.08%	T [% od kcal, g]	30%	59	14.75	16.08%
W [% od kcal, g]	55%	242	60.5	65.94%	W [% od kcal, g]	55%	242	60.5	65.94%
Model					Model				
Ładunek glikemiczny -> min					Ładunek glikemiczny -> min				
	Min	Max				Min	Max		
Kcal	400	550			Kcal	400	550		
B [g]	15	20			B [g]	15	20		
T [g]	13	18			T [g]	13	18		
W [g]	55	65			W [g]	55	65		
Blonnik [g]	5	12			Blonnik [g]	5	12		

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <https://www.fabrykasily.pl/bmr/>.

Na potrzeby niniejszej pracy przeanalizowane zostaną 5 scenariuszy dla przeciętnych zdrowych kobiet różniących się wagą, codzienną aktywnością, celem dotyczącym wagi ciała oraz preferencjami żywnościowymi. Zapotrzebowanie kaloryczne oraz na poszczególne wartości odżywcze dla każdego z 5 scenariuszy zostały obliczone przy pomocy strony <https://www.fabrykasily.pl/bmr/>. Uzyskane proporcje białka, tłuszczów i węglowodanów są zgodne z systemem RWS, które Narodowe Centrum Edukacji Żywnościowej przedstawia jako odpowiedni system odżywiania się do zachowania zdrowia dla przeciętnej osoby dorosłej (<https://ncez.pzh.gov.pl/tag/rws/>). Pierwsze 3 scenariusze (Rys. 5) dotyczą kobiet o zróżnicowanej wadze, aktywności i celu dotyczącego wagi, dla których posiłek zostanie

zoptymalizowany na podstawie całej próbki produktów. Kolejne 2 scenariusze (Rys. 6) zostaną oszacowane dla danych kobiety ze Scenariusza 1, która chce utrzymać obecną wagę, ale dodatkowo dodane są ograniczenia obejmujące preferencje żywieniowe. Scenariusz 4 zakłada, że kobieta jest wegetarianką, a Scenariusz 5, że jest weganką.

Wyniki

W wyniku optymalizacji posiłków pod względem minimalizacji ładunku glikemicznego w każdym ze scenariuszy udało się uzyskać wynik spełniający wszystkie warunki. Nie zaobserwowano więc rozwiązań sprzecznych, w których nie dało się znaleźć optymalnego rozwiązania na podstawie posiadanej próbki produktów spożywczych.

Scenariusz 1

W danym scenariuszu została utworzona optymalna kombinacja produktów w ramach posiłku dla kobiety o niskiej aktywności fizycznej, której celem jest utrzymanie obecnej wagi. Optymalne rozwiązanie reprezentuje Rys. 7.

Rys. 7 . Optymalny zbiór produktów dla Scenariusza 1

	Ilość porcji	Kategoria	Nazwa Produktu	Porcja (g)	Kcal	Białko (g)	Tłuszcze (g)	Węglowodany (g)	Błonnik (g)	IG	ŁG	
m1	1	Mięso	Szynka drobiowa	20	29	4	1	0	0	0	0	niski IG
n2	1	Nabiał	Mleko pełne 3% tłuszczu	250	150	8	7.5	12	0	27	3	niski IG
n5	1	Nabiał	Serek śmietankowy	15	60	1.2	6	1	0	0	0	niski IG
o2	1	Owoce	Grejfrut	120	50	1	0.1	9	1.5	25	2	niski IG
o6	1	Owoce	Morele	120	50	1	0.3	12	2	30	4	niski IG
o8	1	Owoce	Śliwki	120	50	0.8	0.3	13	2	29	4	niski IG
w8	1	Warzywa	Świeża marchewka	80	35	0.5	0.2	8	3	16	1	niski IG
					424	16.5	15.4	55	8.5		14	

Źródło: Opracowanie własne.

Dobre produkty należą głównie do kategorii nabiału i owoców, pojedyncze porcje stanowią produkty mięsne i warzywa. Nie jest to intuicyjny wynik, jeżeli mówimy o połączeniu wybranych produktów w ramach jednego posiłku. Spełnia on natomiast wszystkie warunki, a końcowy ładunek glikemiczny wszystkich produktów jest bardzo niski – 14 (podczas gdy ładunek glikemiczny dla jednego produktu poniżej 10 uznawany jest za niski), jak również indeks glikemiczny każdego produktu z osobna (dla każdego poniżej 50). Pod kątem głównego problemu, czyli minimalizacji wahań cukru we krwi, jest to jak najbardziej dobre rozwiązanie. Nieintuicyjne połączenie może być natomiast wytłumaczone ograniczeniem nałożonym na zawartość błonnika zgodnie z Rys. 5, którego jest najwięcej w owocach i warzywach. Jeżeli

chodzi o nabiał, to zgodnie z wartościami odżywczymi wydaje się optymalnym rozwiązaniem pod kątem zawartego w nim białka i tłuszczów.

Scenariusz 2

W danym scenariuszu została utworzona optymalna kombinacja produktów w ramach posiłku dla kobiety o umiarkowanej aktywności fizycznej, której celem jest obniżenie wagi ciała. Jej zapotrzebowanie będzie więc niższe niż w Scenariuszu 1. Optymalne rozwiązanie reprezentuje Rys. 8.

Rys. 8 . Optymalny zbiór produktów dla Scenariusza 2

	Ilość porcji	Kategoria Produktu	Nazwa Produktu	Porcja (g)	Kcal	Białko (g)	Tłuszcze (g)	Węglowodany (g)	Błonnik (g)	IG	ŁG	
n2	1	Nabiał	Mleko pełne 3% tłuszczu	250	150	8	7.5	12	0	27	3	niski IG
n5	1	Nabiał	Serek śmietankowy	15	60	1.2	6	1	0	0	0	niski IG
o8	1	Owoce	Śliwki	120	50	0.8	0.3	13	2	29	4	niski IG
r3	1	Rośliny strączkowe	Groch gotowany	150	210	8	0.5	25	9	22	6	niski IG
					470	18	14.3	51	11		13	

Źródło: Opracowanie własne.

Jak można zauważyć, ponownie uzyskano dość nietypowe połączenie produktów, a niektóre z nich pokrywają się ze Scenariuszem 1. W optymalnym rozwiązaniu pojawił się dodatkowo po raz pierwszy groch gotowany, który zapewnia znaczną część zapotrzebowania na białko i błonnik.

Scenariusz 3

W danym scenariuszu została utworzona optymalna kombinacja produktów w ramach posiłku dla kobiety o umiarkowanej aktywności fizycznej, której celem jest zwiększenie obecnej wagi ciała. Optymalne rozwiązanie reprezentuje Rys. 9.

Rys. 9 . Optymalny zbiór produktów dla Scenariusza 3

	Ilość porcji	Kategoria	Nazwa Produktu	Porcja (g)	Kcal	Białko (g)	Tłuszcze (g)	Węglowodany (g)	Błonnik (g)	IG	ŁG	
m1	1	Mięso	Szynka drobiowa	20	29	4	1	0	0	0	0	niski IG
n1	1	Nabiał	Jogurt naturalny	100	60	5	2.5	7.5	0	36	3	niski IG
n2	1	Nabiał	Mleko pełne 3% tłuszczu	250	150	8	7.5	12	0	27	3	niski IG
n5	1	Nabiał	Serek śmietankowy	15	60	1.2	6	1	0	0	0	niski IG
o2	1	Owoce	Grejpfrut	120	50	1	0.1	9	1.5	25	2	niski IG
o4	1	Owoce	Jabłka	120	50	0.3	0.2	14	2.5	38	5	niski IG
o6	1	Owoce	Morele	120	50	1	0.3	12	2	30	4	niski IG
o8	1	Owoce	Śliwki	120	50	0.8	0.3	13	2	29	4	niski IG
w8	1	Warzywa	Świeża marchewka	80	35	0.5	0.2	8	3	16	1	niski IG
					534	21.8	18.1	76.5	11		22	

Źródło: Opracowanie własne.

Tym razem znowu uzyskano nietypowe połączenie produktów. Optymalne rozwiązanie zawiera wszystkie produkty, które pojawiły się w wyniku dla scenariusza 1, ale dodatkowo również jogurt naturalny oraz jabłka.

Scenariusz 4

W danym scenariuszu została utworzona optymalna kombinacja produktów w ramach posiłku dla kobiety o niskiej aktywności fizycznej, której celem jest utrzymanie obecnej wagi. Dodatkowym warunkiem w tym scenariuszu są preferencje żywieniowe – zakładamy, że kobieta jest wegetarianką. Baza dostępnych produktów spożywczych została więc nieco ograniczona w porównaniu do poprzednich scenariuszy. Optymalne rozwiązanie reprezentuje Rys. 10.

Rys. 10 . Optymalny zbiór produktów dla Scenariusza 4

	Ilość porcji	Kategoria	Nazwa Produktu	Porcja (g)	Kcal	Białko (g)	Tłuszcze (g)	Węglowodany (g)	Błonnik (g)	IG	ŁG	
n2	1	Nabiał	Mleko pełne 3% tłuszczu	250	150	8	7.5	12	0	27	3	niski IG
n4	1	Nabiał	Ser żółty	20	70	5	5.8	0.5	0	0	0	niski IG
o2	1	Owoce	Grejpfrut	120	50	1	0.1	9	1.5	25	2	niski IG
o4	1	Owoce	Jabłka	120	50	0.3	0.2	14	2.5	38	5	niski IG
o8	1	Owoce	Śliwki	120	50	0.8	0.3	13	2	29	4	niski IG
w8	1	Warzywa	Świeża marchewka	80	35	0.5	0.2	8	3	16	1	niski IG
					405	15.6	14.1	56.5	9		15	

Źródło: Opracowanie własne.

Otrzymane rozwiązanie optymalne częściowo się pokrywa z poprzednimi scenariuszami. Ponownie pojawia się mleko, grejpfrut, jabłka, śliwki oraz świeża marchewka, co świadczy o optymalnym połączeniu wartości odżywczych przy minimalnym ładunku glikemicznym. Po raz pierwszy natomiast pojawia się ser żółty, który prawdopodobnie pojawił się ze względu na brak produktów mięsnych, które wcześniej mogły stanowić źródło białka. Tym razem jednak nie były dostępne zgodnie z założeniem o stosowaniu diety wegetariańskiej.

Scenariusz 5

W danym scenariuszu ponownie została utworzona optymalna kombinacja produktów dla posiłku dla kobiety o niskiej aktywności fizycznej, której celem jest utrzymanie obecnej wagi. Dodatkowym warunkiem w tym scenariuszu są preferencje żywieniowe – w tym przypadku zakładamy, że kobieta jest weganą. Baza dostępnych produktów spożywczych została więc

jeszcze bardziej ograniczona niż w scenariuszu 4. Optymalne rozwiązanie reprezentuje Rys. 11.

Rys. 11 . Optymalny zbiór produktów dla Scenariusza 5

	Ilość porcji	Kategoria Produktu	Nazwa Produktu	Porcja (g)	Kcal	Białko (g)	Tłuszcze (g)	Węglowodany (g)	Błonnik (g)	IG	ŁG	
n6	1	Nabiał roślinny	Mleko sojowe 1.5% tłuszczu	250	100	7	3.75	15	1	44	7	niski IG
p1	1	Pieczywo	Chleb gryczany	30	80	3	1	20	2	47	9	niski IG
r5	1	Rośliny strączkowe	Soczewica zielona gotowana	150	250	9	0.5	20	8	22	4	niski IG
t1	1	Tłuszcz	Oliwa z oliwek	10	88.4	0	10	0	0	0	0	niski IG
					518.4	19	15.25	55	11		20	

Źródło: Opracowanie własne.

Ponownie uzyskano dość nieintuicyjny wynik w odniesieniu do klasycznego posiłku, jednak udało się uzyskać optymalne rozwiązanie na podstawie dostępnej bazy danych pomimo znaczących ograniczeń związanych z dostępnością produktów spożywczych. Niezmiennie znajduje się w optymalnym rozwiązaniu mleko – tym razem jednak zostało zastąpione mlekiem roślinnym ze względu na preferencje żywieniowe. Co ciekawe, po raz pierwszy pojawiło się pieczywo w optymalnym rozwiązaniu – chleb gryczany. Ma największy ładunek glikemiczny (9) ze wszystkich produktów, które do tej pory znalazły się w rozwiązaniach, jednak nadal produkt ten posiada zarówno niski indeks glikemiczny, jak i ładunek glikemiczny. Oprócz tego, po raz pierwszy również pojawiły się pozostałe produkty – soczewica zielona gotowana (która jest dobrym źródłem białka i błonnika zgodnie z Rys. 11) oraz oliwa z oliwek (stanowiąca źródło tłuszczów). Rozwiązanie nie zawiera jednak owoców i warzyw, co jest dość nietypowe dla diety wegańskiej, ale prawdopodobnie wynik ten ma charakter losowy, a ograniczenia uniemożliwiły dodanie porcji owoców czy warzyw.

Podsumowanie wyników i główne wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że ułożenie optymalnych posiłków o niskim indeksie i ładunku glikemicznym w oparciu o wyselekcjonowaną próbkę produktów spożywczych jest jak najbardziej możliwe. Optymalne rozwiązania spełniają ograniczenia zastosowane w modelu, jednak mogą nie do końca odpowiadać preferencjom ludzkim w kontekście spożywanych posiłków na co dzień. Wynika to z nietypowego połączenia produktów. Aby udoskonalić rozwiązanie problemu diety minimalizującego ładunek glikemiczny należałoby użyć bardziej zaawansowanych metod optymalizacyjnych, w których wystąpiłoby np. wykluczenie połączenia pewnych produktów albo produkty do posiłku byłyby dobierane z poszczególnych kategorii, gdzie każdy produkt mógłby być dodawany zamiennie.

Na przykład, pewien rodzaj kaszy, pewien rodzaj mięsa lub zamiennik mięsa, 1-2 rodzaje warzyw oraz źródło tłuszczów.

Pomimo wątpliwości dotyczących stosowania takich posiłków w praktyce, spełniają one główne wymaganie dotyczące niskiego ładunku glikemicznego. Wartości łącznego ładunku glikemicznego oscylują od 14 (scenariusz 1) do 22 (scenariusz 3 – najwyższa kaloryczność) przy liście składającej się z kilku produktów, gdzie wartości poniżej 10 dla jednego produktu już są uznawane za niski ładunek glikemiczny. Dodatkowo, pomimo braku ograniczenia dotyczącego indeksu glikemicznego, w optymalnych rozwiązaniach znalazły się jedynie produkty o niskim indeksie glikemicznym. Jest to zgodne z intuicją dotyczącą diety o niskim indeksie glikemicznym. Choć w próbie dostępnych produktów również pojawiły się produkty o średnim i wysokim indeksie glikemicznym, to uzyskane wyniki są zgodne z oczekiwaniami, ponieważ indeks glikemiczny jest ściśle powiązany z ładunkiem glikemicznym, który był minimalizowany na potrzeby ułożenia posiłków.

Strony internetowe

<https://glycemicindex.com/gi-search/>

<https://glycemic-index.net>

<https://www.fabrykasily.pl/bmr/>

<https://ncez.pzh.gov.pl/tag/rws/>

<https://trenerindywidualny.pl/indeks-glikemiczny-wprowadzenie/>

<https://gemini.pl/poradnik/zdrowie/indeks-glikemiczny-co-to-jest-i-jak-go-sprawdzic-w-produktach/>

<https://gotujwstylueko.pl/artykuly/eko-styl/indeks-glikemiczny-jak-cukier-wplywa-na-nasz-organizm>

<https://aliant.com.pl/tajemnice-indeksu-glikemicznego/>

<https://www.onlinezdrowie.pl/indeks-glikemiczny-tabela-pdf-co-to-jest-ig-jak-obliczyc>

Załącznik 1. Tabela produktów spożywczych z wartościami odżywczymi

Zmienna	Kategoria Produktu	Nazwa Produktu	Porcja (g)	Kcal	Białko (g)	Tłuszcze (g)	Węglowodany (g)	Błonnik (g)	IG	LG	Kategoria IG
x1	Inne	Jajo kurze	50	78	6.5	5.5	0.55	0	0	0	niski IG
m1	Mięso	Szynka drobiowa	20	29	4	1	0	0	0	0	niski IG
m2	Mięso	Wołowina, polędwica	100	113	21	3.5	0	0	0	0	niski IG
m3	Mięso	Kurczak	100	99	22	1.3	0	0	0	0	niski IG
n1	Nabiał	Jogurt naturalny	100	60	5	2.5	7.5	0	36	3	niski IG
n2	Nabiał	Mleko pełne 3% tłuszczu	250	150	8	7.5	12	0	27	3	niski IG
n3	Nabiał	Serek wiejski o obn. zaw. tłuszczu	100	88	11.1	1.2	3.4	0	30	1	niski IG
n4	Nabiał	Ser żółty	20	70	5	5.8	0.5	0	0	0	niski IG
n5	Nabiał	Serek śmietankowy	15	60	1.2	6	1	0	0	0	niski IG
n6	Nabiał roślinny	Mleko sojowe 1.5% tłuszczu	250	100	7	3.75	15	1	44	7	niski IG
o1	Orzechy	Orzeszki ziemne	50	280	12	20	7	5	15	1	niski IG
o2	Owoce	Grejpfrut	120	50	1	0.1	9	1.5	25	2	niski IG
o3	Owoce	Gruszki	120	50	0.6	0.2	15	3	42	6	niski IG
o4	Owoce	Jabłka	120	50	0.3	0.2	14	2.5	38	5	niski IG
o5	Owoce	Kiwi	120	60	1	0.6	15	3	52	8	niski IG
o6	Owoce	Morele	120	50	1	0.3	12	2	30	4	niski IG
o7	Owoce	Pomarańcze	120	50	1	0.2	12	3	43	5	niski IG
o8	Owoce	Śliwki	120	50	0.8	0.3	13	2	29	4	niski IG
o9	Owoce	Truskawki	120	40	0.8	0.3	10	2	40	4	niski IG
o10	Owoce	Winogrona	120	60	0.7	0.2	18	1.5	46	8	niski IG
p1	Pieczywo	Chleb gryczany	30	80	3	1	20	2	47	9	niski IG
p2	Pieczywo	Chleb pszenny	30	80	3	1	25	1	70	18	wysoki IG
p3	Pieczywo	Pełnoziarnisty chleb żytni	30	70	3	1	23	3	65	15	średni IG
r1	Rośliny strączkowe	Ciecierzycza gotowana	150	250	7	2.5	30	7	33	10	niski IG
r2	Rośliny strączkowe	Czarna fasola	150	220	8	1	25	10	30	8	niski IG
r3	Rośliny strączkowe	Groch gotowany	150	210	8	0.5	25	9	22	6	niski IG
r4	Rośliny strączkowe	Soczewica czerwona gotowana	150	250	9	0.5	30	9	44	13	niski IG
r5	Rośliny strączkowe	Soczewica zielona gotowana	150	250	9	0.5	20	8	22	4	niski IG
r6	Rośliny strączkowe	Soja gotowana	150	300	15	7	9	7	18	2	niski IG
r7	Ryby	Łosoś	100	206	22	12	0	0	0	0	niski IG
r8	Ryby	Dorsz	100	82	18	0.7	0	0	0	0	niski IG
w1	Warzywa	Kukurydza ziarno	150	140	5	2	30	3	69	21	średni IG
w2	Warzywa	Bataty	150	130	2	0.1	36	4	54	19	niski IG
w3	Warzywa	Gotowane ziemniaki	150	100	2	0.1	25	2	65	16	średni IG
w4	Warzywa	Marchewka gotowana	80	35	0.5	0.2	8	2	47	4	niski IG
w5	Warzywa	Młode ziemniaki	150	100	2	0.1	25	2	57	14	średni IG
w6	Warzywa	Obrane ziemniaki gotowane na parze	150	100	2	0.1	25	2	65	16	średni IG
w7	Warzywa	Pieczone ziemniaki	150	150	2	0.2	40	3	85	34	wysoki IG
w8	Warzywa	Świeża marchewka	80	35	0.5	0.2	8	3	16	1	niski IG
w9	Warzywa	Zielony groszek	150	90	5	0.3	15	6	48	7	niski IG
z1	Zboża	Kasza manna	150	150	5	1	28	1	55	15	średni IG
z2	Zboża	Kuskus	150	130	5	1	30	2	65	20	średni IG
z3	Zboża	Ryz Basmati	150	180	3	0	35	1	50	18	niski IG
z4	Zboża	Ryz biały gotowany	150	180	3	0	35	1	56	20	średni IG
z5	Zboża	Makaron ryżowy	180	280	3	0	45	0	61	27	średni IG
z6	Zboża	Spaghetti z maki białej (got. 10-15 min)	180	280	7	1	45	2	45	20	niski IG
z7	Zboża	Spaghetti z maki białej (got. 20 min)	180	280	7	1	45	2	61	27	średni IG
z8	Zboża	Spaghetti z maki białej (got. 5 min)	180	280	7	1	45	2	38	17	niski IG
z9	Zboża	Spaghetti z maki pełnoziarnistej	180	270	8	2	40	6	37	15	niski IG
t1	Tłuszcz	Oliwa z oliwek	10	88.4	0	10	0	0	0	0	niski IG

Źródło: Opracowanie własne na podstawie <https://www.onlinezdrowie.pl/>, <https://glycemicindex.com/gi-search/>, <https://glycemic-index.net>.