

# Predviđanje gubitka tjelesne mase tijekom ketogene dijete

---

Jurišić, Iva

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:297097>

*Rights / Prava:* [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-16**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



**Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski studij Nutricionizam**

**Iva Jurišić  
0058218518**

**PREDVIĐANJE GUBITKA TJELESNE MASE  
TIJEKOM KETOGENE DIJETE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet:** Modeliranje i optimiranje u nutricionizmu

**Mentor:** Prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

**Zagreb, 2022.**

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski sveučilišni studij Nutricionizam

Zavod za procesno inženjerstvo  
Laboratorij za mjerenje, regulaciju i automatizaciju

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Nutricionizam

## Predviđanje gubitka tjelesne mase tijekom ketogene dijetе

Iva Jurišić, 0058218518

**Sažetak:** Razvijeni su brojni matematički modeli u svrhu predviđanja dinamike gubitka tjelesne mase. Jednadžba po Wishnofskom prvi je takav model te je u ovom radu primijenjen u praćenju gubitka tjelesne mase petnaest ispitanika koji su se u svrhu redukcije tjelesne mase vodili načelima ketogene prehrane. S obzirom na fazu dijetе u kojoj su se ispitanici nalazili i dopušteni energetska unos, modificirana je i sama jednadžba. U svrhu validacije predikcije korišteni su i online alati *Weight Loss Predictor Calculator* i *Body Weight Planner*. Iz dobivenih rezultata vidljivo je kako jednadžba po Wishnofskom zahtjeva malen broj ulaznih varijabli (vrijeme i prosječan energetska unos) te je stoga jednostavna za korištenje. Kod većine ispitanika pokazuje visok stupanj točnosti u predikciji gubitka tjelesne mase. Utvrđeno je kako su odstupanja i pogreške u predikciji dominantno vezani uz fazu održavanja tjelesne mase te ukazuju na složenost ukupnog procesa redukcije tjelesne mase te održavanja iste bez „jo-jo efekta“.

**Ključne riječi:** Jednadžba po Wishnofskom, redukcija tjelesne mase, energetska ravnoteža, ketogena dijeta

**Rad sadrži:** 26 stranica, 12 slika, 3 tablice, 34 literaturna navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

**Mentor:** Prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

**Datum obrane:** 07. rujna 2022.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Undergraduate thesis

University of Zagreb  
Faculty of Food Technology and Biotechnology  
University undergraduate study Nutrition

Department of Process Engineering  
Laboratory for Measurement, Control and Automatization

Scientific area: Biotechnical Sciences  
Scientific field: Nutrition

Predicting body weight loss during the ketogenic diet

Iva Jurišić, 0058218518

**Abstract:** Various mathematical models are developed to predict the dynamics of weight loss. The Wishnofsky equation is the first such model, and in this paper it was applied to monitor the body weight loss of fifteen participants following a ketogenic diet in order to reduce their weight. Considering the phase of the diet in which the respondents were and the allowed energy intake, the equation itself was modified. For the purpose of validating the prediction, the online tools *Weight Loss Predictor Calculator* and *Body Weight Planner* were used. The obtained results show that the Wishnofsky equation requires a small number of input variables (time and average energy intake) and is therefore easy to use. In the majority of respondents, it shows a high degree of accuracy in predicting body weight loss. It was found that the deviations and errors in the prediction are dominantly related to the phase of maintaining body weight and indicate complexity of the overall process of reducing body weight and maintaining it without the “yo-yo effect”.

**Keywords:** Wishnofsky equation, weight loss, energy balance, ketogenic diet

**Thesis contains:** 26 pages, 12 figures, 3 tables, 34 references

**Original in:** Croatian

Thesis is deposited in printed and electronic form in the Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb

**Mentor:** Jasenka Gajdoš Kljusurić, PhD/Full Professor

**Thesis defended:** September 7<sup>th</sup>, 2022.

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD.....   | 1  |
| 2. TEORIJSKI DIO .....   | 2  |
| 2.1. KETOGENA PREHRANA.....  | 2  |
| 2.2. MRŠAVLJENJE KAO POSLJEDICA VEĆE ENERGETSKE POTROŠNJE OD UNOSA ..... | 4  |
| 2.2.1. OSNOVNE POSTAVKE ENERGIJE .....                                   | 4  |
| 2.2.2. MJERENJE I PROCJENA ENERGETSKE POTROŠNJE .....                    | 5  |
| 2.2.3. ODRŽAVANJE ENERGETSKE RAVNOTEŽE.....                              | 5  |
| 2.2.4. REDUKCIJA TJELESNE MASE .....                                     | 7  |
| 2.2.5. ODRŽAVANJE TJELESNE MASE I „JO-JO EFEKT“ .....                    | 7  |
| 2.3. PREDIKCIJA OČEKIVANE REDUKCIJE TJELESNE MASE KROZ VRIJEME .....     | 8  |
| 2.3.1. ANTONETTI-JEV MODEL .....   | 9  |
| 2.3.2. HALL-OV MODEL .....   | 9  |
| 2.3.3. THOMAS-OV MODEL .....   | 10 |
| 3. EKSPERIMENTALNI DIO.....  | 11 |
| 3.1. MATERIJALI.....   | 11 |
| 3.2. METODE.....   | 12 |
| 4. REZULTATI I RASPRAVA.....   | 16 |
| 5. ZAKLJUČCI.....  | 22 |
| 6. POPIS LITERATURE .....  | 23 |

## 1. UVOD

Posljednjih godina, pretilost je postala ozbiljna globalna zdravstvena kriza s porastom prevalencije za gotovo tri puta od 1975. do 2016. godine (WHO, 2021). Istraživanja ukazuju na povezanost pretilosti i brojnih bolesti te zdravstvenih komplikacija kao što su kardiovaskularne bolesti, razni tipovi raka, dijabetes tipa 2, hipertenzija, sindrom policističnih jajnika (PCOS) i brojne druge (Vasileva i sur., 2018). Bitno je naglasiti kako je pretilost moguće prevenirati uspostavljanjem uravnotežene prehrane, odgovarajućom fizičkom aktivnosti te promjenama u ponašanju i načinu života (Di Rosa i sur., 2020).

U svrhu razvijanja učinkovitih mjera za restrikciju tjelesne mase, potrebno je, između ostalog, uspješno predvidjeti gubitak tjelesne mase. S obzirom na to, razvijeni su brojni matematički modeli u svrhu predviđanja gubitka tjelesne mase, koji se međusobno razlikuju prema konceptu kako se energija pohranjuje i troši (Thomas i sur., 2019). Prvi takav model, koji je objedinio sva znanja o kalorijama i metabolizmu energije poznata do tada i iskoristio ih za praktičnu primjenu u predikciji tijeka redukcije tjelesne mase, je model po Wishnofskom iz 1958. godine (Thomas i sur., 2014).

Cilj ovog rada je pokazati korist jednadžbe po Wishnofskom na temelju sakupljenih podataka osoba na ketogenoj dijeti. Proučavana je nekolicina zahtjeva od kojih je najvažniji točnost predikcije tijeka gubitka tjelesne mase kroz određeno vrijeme. Uz to, cilj je usporediti predikciju dobivenu jednadžbom po Wishnofskom s predikcijom dobivenom modernim online alatima *Weight Loss Predictor Calculator* i *Body Weight Planner*.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. KETOGENA PREHRANA

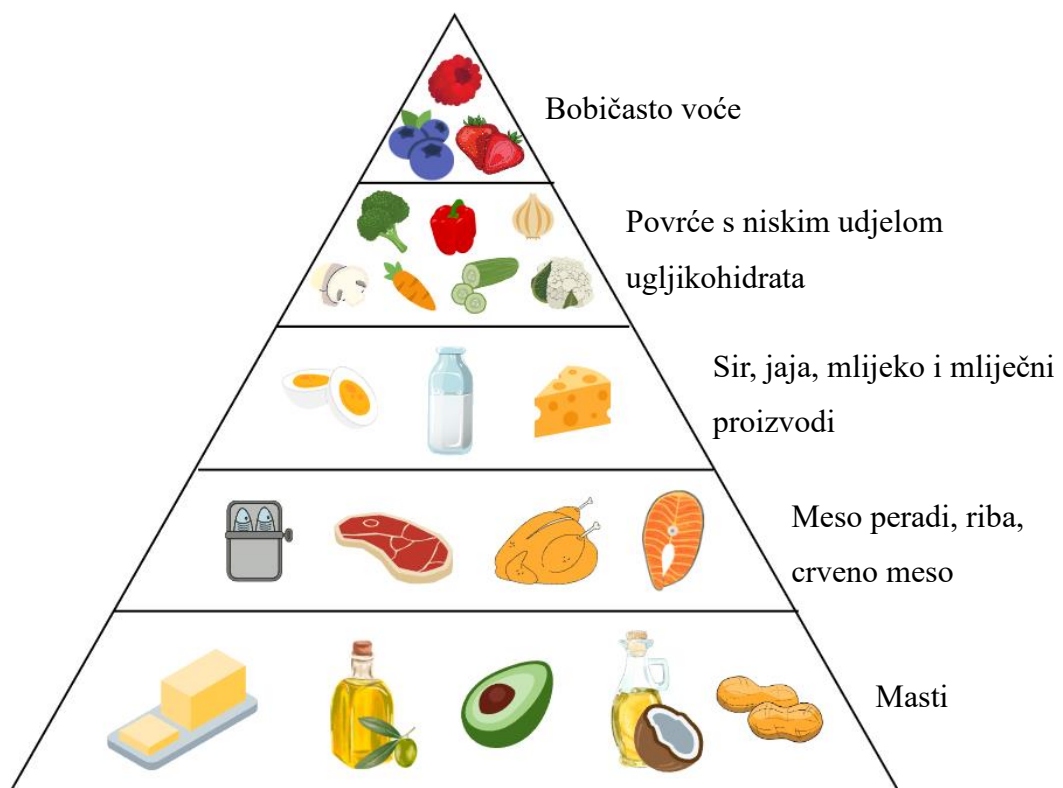
Ketogena prehrana naziv je za prehrambeni obrazac s visokim udjelom masti, umjerenim unosom proteina te značajno sniženim unosom ugljikohidrata s obzirom na općenite prehrambene preporuke (55-65 % dnevnog energetskeg unosa). Postoji nekoliko vrsta prehrambenih obrazaca unutar ketogene prehrane. Standardna ketogena dijeta podrazumijeva da masti čine 70 % DEI (*daily energy intake*; dnevnog energetskeg unosa), proteini 20 %, a ugljikohidrati tek 10 %. Uz standardnu, imamo cikličku ketogenu dijetu koja podrazumijeva periode nadoknade ugljikohidrata (nakon svakih pet dana dijete slijede dva dana s povišenim unosom ugljikohidrata), ciljanu ketogenu dijetu koja dopušta dodatak ugljikohidrata u periodu intenzivne tjelesne aktivnosti (25 do 50 grama pola sata prije treninga) te visokoproteinsku ketogenu dijetu koja je slična standardnoj, ali je omjer unosa makronutrijenata promijenjen (masti: proteini: ugljikohidrati = 60:35:5). Osim za redukciju tjelesne mase, ketogena dijeta se koristi za liječenje zdravstvenih stanja, kao npr. dijabetesa tipa 2, epilepsije, Alzheimerove bolesti, raznih tipova karcinoma i sl. (Sreenivas, 2021).

Primarno „gorivo“ našega tijela je glukoza, tj. ugljikohidrati. To je posebice izraženo kod središnjeg živčanog sustava čiji je primarni izvor energije upravo glukoza. Razlog tome je što masne kiseline ne mogu biti iskorištene zbog nemogućnosti prolaska hematoencefalne barijere uslijed svoje hidrofobne prirode. Zbog toga, kada su zalihe glukoze niske kao što je slučaj za vrijeme ketogene prehrane, središnji živčani sustav mora pronaći alternativni izvor energije (Di Rosa i sur., 2020). Tada, izvor energije postaju ketonska tijela – acetoacetat, beta-hidroksibutirat i aceton. Ove molekule produkt su ketogeneze koja se odvija u matriksu mitohondrija u jetri. U normalnim se uvjetima u tijelu nalaze u vrlo niskim koncentracijama ( $<0,3 \text{ mmol L}^{-1}$ ). S obzirom da su slične strukture kao glukoza, imaju sposobnost korištenja glukoznog transportera za prolazak hematoencefalne barijere kako bi se koristili kao izvor energije kada u tijelu dosegnu koncentraciju od  $4 \text{ mmol L}^{-1}$ . Opisano stanje povišene razine ketonskih tijela u organizmu naziva se „ketoza“ (Paoli i sur. 2015).

Smatra se kako je ovim mehanizmom tijelo, uslijed nedostatka glukoze, tj. ugljikohidrata u prehrani, primorano trošiti zalihe masti te na taj način reducirati količinu masnoga tkiva i ukupne tjelesne mase. Uz to, korištenjem ketonskih tijela smanjuje se potreba tijela za

glukoneogenezom, odnosno stvaranjem ugljikohidrata iz proteina, čime je umanjena razgradnja mišićnog tkiva i gubitak nemasne mase tijela.

Konkretne namirnice koje se kod ovakve vrste prehrane preporučuju prikazane su piramidom ketogene prehrane (slika 1). Kao što je vidljivo u piramidi, osnovu prehrane trebaju činiti masti. Dopuštene su nezasićene masne kiseline, kao npr. orašasti plodovi, sjemenke, avokado, tofu i maslinovo ulje, ali se naglašava veći unos zasićenih masnih kiselina, kao što su maslac, životinjska mast, kokosovo ulje, maslac i sl. Proteini su idući makronutrijent s obzirom na udio dnevnog energetskeg unosa. Nema velikih razlika u preporukama proteinskih izvora, ali se u većoj količini preporučuju meso peradi, riba i crveno meso nego jaja, sir te mlijeko i mliječni proizvodi. Naposljetku ostaju ugljikohidrati. Prema piramidi vidimo kako se dopušta povrće s niskim udjelom ugljikohidrata, tj. zeleno lisnato povrće, brokula, cvjetača, prokulice, šparoge, paprike, luk, češnjak, krastavac, gljive, itd. Osim povrća, voće sadrži visok udio ugljikohidrata pa se stoga preporuča samo bobičasto voće (LeWine, 2020.).



**Slika 1.** Piramida ketogene prehrane (samostalno izrađeno prema *LeWine*, 2020)



## 2.2.MRŠAVLJENJE KAO POSLJEDICA VEĆE ENERGETSKE POTROŠNJE OD UNOSA

### 2.2.1. Osnovne postavke energije

Razumijevanje principa energetske ravnoteže može biti vrlo korisno za rješavanje globalnog problema pretilosti. Koncept energetske ravnoteže zasniva se na zakonu očuvanja energije (jednadžba 1) koji govori kako energija ne može nestati niti ni iz čega nastati već samo može mijenjati svoje oblike (Hill i sur., 2013).

Zakon o očuvanju energije:

$$E_S = E_I - E_O \text{ (jedinica energije/jedinica vremena)} \quad [1]$$

Gdje je:

$E_I$  = unesena energija

$E_O$  = potrošena energija

$E_S$  = stanje energije organizma.

Unos energije za čovjeka označava hranu i piće, tj. predstavlja tri makronutrijenta koja unosimo hranom – ugljikohidrate, proteine i masti, a uz njih u manjoj mjeri unosu pridonosi i alkohol. Svaki od ovih nutrijenata ima određenu energetska gustoću, tj. količinu energije dobivenu njihovom probavom kojim stanica potom raspolaže za provođenje bioloških procesa. Energetski najbogatiji nutrijent su masti koje stanicama osiguravaju 9 kcal g<sup>-1</sup>, a potom slijede proteini i ugljikohidrati koji osiguravaju energiju od 4 kcal g<sup>-1</sup>. Ove vrijednosti predstavljaju razliku između cjelokupne energije unesenog nutrijenta te njegovih gubitaka fecesom i urinom (Hall i sur., 2012).

Komponente energetske potrošnje su energetska potrošnja pri odmoru (RMR; *resting metabolic rate*), termički efekt hrane (TEF; *thermic effect of food*) i tjelesna aktivnost (TA). RMR označava količinu energije potrebnu za obavljanje osnovnih funkcija organizma te održavanje homeostaze, a najčešće obuhvaća oko 60 – 65 % dnevne energetske potrošnje. Varira među pojedincima s obzirom na tjelesnu masu i kompoziciju tijela. Veća masa tijela te veći udio nemasne mase uzrokuju veću vrijednost RMR-a. TEF podrazumijeva energiju potrebnu za apsorpciju, probavu i metabolizam nutrijenata unesenih hranom te u prosjeku iznosi 8 – 10 % dnevne energetske potrošnje. Najviši je za proteine, a najniži na masti (Hall i sur., 2012). Najvarijabilnija komponenta energetske potrošnje je TA, a podrazumijeva

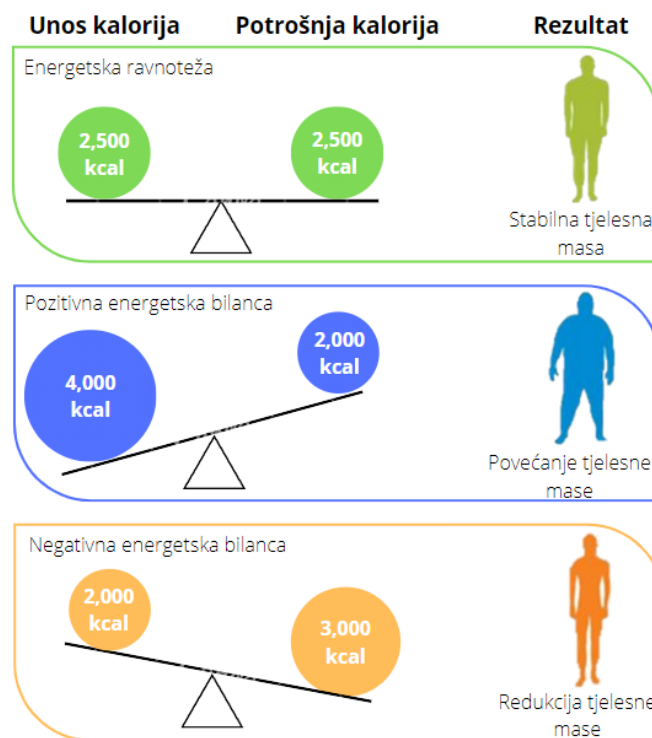
vježbanje, održavanje ravnoteže, drhtanje i voljne pokrete tijela. Dobiva se množenjem energetske potrošnje pojedine aktivnosti s vremenom utrošenim na tu aktivnost. Općenito, energetska potrošnja varira kroz dan, ali i kroz životni vijek (Hill i sur., 2012).

### 2.2.2. Mjerenje i procjena energetske potrošnje

Postoje dva načina određivanja energetske potreba pojedinca: mjerenje energetske potrošnje ili procjena pomoću jednadžbe. Kada govorimo o mjerenju, to podrazumijeva uređaj, tj. opremu, koja služi za mjerenje određenih čimbenika kao što su toplina ili potrošnja kisika putem izdahnutog CO<sub>2</sub>. Takve metode su direktna i indirektna kalorimetrija te zlatni standard, metoda dvostruko označene vode (DLW; *doubly labeled water*). Metoda dvostruko označene vode temelji se na principu da se proizvodnja CO<sub>2</sub> može procijeniti iz razlike u stopi eliminacije vodika i kisika iz tijela. Oralno se unose oksid deuterija (<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O) i kisik-18 (H<sub>2</sub><sup>18</sup>O), koji predstavljaju izotope vodika i kisika, te se praćenjem njihove kinetike izlučivanja, tj. razlike u stopi eliminacije iz tijela procjenjuje proizvodnja CO<sub>2</sub>. Oksid deuterija se izlučuje putem vode, a kisik-18 vodom i CO<sub>2</sub>. S druge strane, kada govorimo o procjeni, to podrazumijeva uporabu neke od jednadžbi za izračun RMR-a. Najčešće takva korištena jednadžba je Harris-Benedictova jednadžba, ali koriste se i druge jednadžbe, kao npr. Mifflin-St. Jeorova jednadžba (Štalić, 2008).

### 2.2.3. Održavanje energetske ravnoteže

Za održavanje stabilne tjelesne mase potrebno je unositi jednaku količinu energije potrošenoj, odnosno moramo tijelo držati u stanju energetske ravnoteže (Hafekost i sur., 2013). Poremećaji u energetskej ravnoteži uzrokuju promjene u tjelesnoj masi i sastavu tijela. Pozitivna energetska bilanca označava veći unos energije od potrošnje što rezultira povećanjem tjelesne mase i to uglavnom (60 – 80 %) povećanjem masnog tkiva (Hill i sur., 1996). Negativna energetska bilanca nastupa kada potrošnja energije premašuje unos što rezultira smanjenjem tjelesne mase, najvećim dijelom smanjenjem masnog tkiva (Lustig, 2007). Opisani koncept energetske ravnoteže prikazan je na slici 2.



**Slika 2.** Koncept energetske ravnoteže (Sanchez, 2014)

Naš organizam teži stanju energetske ravnoteže te posjeduje regulatorne mehanizme u tu svrhu. Regulacija podrazumijeva složeni fiziološki sustav kontrole koji uključuje neuronske i hormonalne signale gastrointestinalnog trakta, pankreasa i adipoznog tkiva koji dopijevaju u hipotalamus te autonomni živčani sustav koji inervira mišiće, organe i adipozno tkivo (Sumithran i sur., 2011). Zbog tog fiziološkog sustava kontrole, komponente unosa i potrošnje energije se ne mogu pojedinačno mijenjati već će svaka promjena u jednoj komponenti uzrokovati kompenzacijske promjene druge komponente. Te dvije komponente energetske bilance utječu jedna na drugu i teže održavanju konstantne tjelesne mase, bez obzira je li ona adekvatna, povećana ili smanjena. Primjerice, u slučaju redukcije energetske unosa, organizam teži kompenzaciji stimulacijom osjećaja gladi i smanjenjem RMR-a kako bi se umanjila energetska potrošnja (Martin i sur., 2007). Dokazano je kako ovaj integrirani regulatorni sustav posjeduje snažnije mehanizme zaštite za gubitak tjelesne mase nego za prevenciju akumulacije viška energije pa je stoga i veća šansa za uspješnost povećanja tjelesne mase nego redukcije (Hafekost i sur., 2013).

#### 2.2.4. Redukcija tjelesne mase

Kao što je već opisano, redukcija tjelesne mase rezultat je negativne energetske bilance, odnosno povećane potrošnje energije u odnosu na unos. S obzirom da su komponente energetske bilance međuovisne, strategije za suočavanje s problemom pretilosti moraju uz modifikaciju prehranbenog unosa uključiti i povećanje tjelesne aktivnosti radi povećanja energetske potrošnje (Hill i sur., 2013).

Smanjenje energetske unosa ne rezultira kontinuiranim gubitkom tjelesne mase. Razlog tome je što je smanjenje tjelesne mase popraćeno smanjenom potrošnjom energije (RMR je sukladan tjelesnoj masi). To dovodi do stabilizacije energije s novom, blago smanjenom tjelesnom masom (Hill i sur., 2009). Stoga, krivulja redukcije tjelesne mase nije linearna već se povremeno javljaju platoi koji označavaju ponovno uspostavljanje energetske ravnoteže. Iako nije jednostavno reducirati tjelesnu masu, veći problem nastupa kada novu tjelesnu masu treba održati (Jeffery i sur., 2000).

#### 2.2.5. Održavanje tjelesne mase i „jo-jo efekt“

Redukcija zahtjeva privremene promjene u prehrani i tjelesnoj aktivnosti dok dugoročno održavanje zahtjeva trajne promjene. S obzirom da je to ljudima vrlo težak zadatak, većina ih s vremenom vrati izgubljene kilograme (Mann i sur., 2007). Konkretnije, istraživanja pokazuju kako 35 do 80 % pojedinaca, koji su reducirali barem 10 % svoje početne tjelesne mase, ne uspiju održati reduciranu tjelesnu masu duže od godinu dana (Wing i Phelan, 2005; Weiss i sur., 2007; Turk i sur., 2009).

Kada govorimo o uspješnoj redukciji tjelesne mase, Wing i Hill (2001) navode kako pod taj izraz svrstavamo pojedince koji su namjerno izgubili barem 10 % svoje izvorne tjelesne mase i održali je na toj razini barem godinu dana. Uz to, zahtjev je i da je ta redukcija tjelesne mase bila namjerna jer nenamjerna redukcija tjelesne mase nije rijetka pojava, a može imati drugačije uzroke i posljedice od namjerne redukcije. Kriterij od 10 % postavljen je jer se već tada značajno umanjuje rizik od dijabetesa i kardiovaskularnih bolesti.

Termin „jo-jo efekt“ označava ciklički proces smanjenja i povećanja tjelesne mase. Najprije pojedinac uspješno reducira tjelesnu masu, ali potom ju ne uspijeva održati dugoročno i dolazi do povratka tjelesne mase. Kada osoba ponovno pokuša smanjiti tjelesnu masu ciklus započinje

iznova (Carey i sur., 2020). Kako bi se taj efekt izbjegao, a napredak očuvao, Wing i Phelan (2005) navode kako se treba držati šest ključnih strategija: povećana razina fizičke aktivnosti (1 h/dan), promjena prehrambenih navika u kontekstu izbjegavanja energetski bogate hrane i hrane bogate mastima, redovit zajuttrak, redovno samostalno praćenje tjelesne mase, konstantan obrazac prehrane te reagiranje na manje pogreške ispravljajući ih pravovremeno kako ne bi uzrokovale veći povrat izgubljene tjelesne mase i negativan utjecaj na napredak.

### **2.3. PREDIKCIJA OČEKIVANE REDUKCIJE TJELESNE MASE KROZ VRIJEME**

Kao što smo vidjeli, osnovni princip mršavljenja je poprilično jednostavan - troši više energije nego što unosiš. Međutim, znajući činjenicu da moramo smanjiti unos kalorija, postavlja se pitanje koliko točno kalorija unositi, iz kojih izvora te možemo li utjecati na svoj organizam i njegovu težnju uspostavljanja ravnoteže?

Godine 1958. doktor Max Wishnofsky pokušao je objediniti sve što se do tada znalo o energiji iz hrane, tzv. kalorijama, kako se one pohranjuju u tijelu te koliko osoba mora potrošiti kalorija vježbanjem ili uskratiti kalorija iz prehrane da bi izgubila 1 kilogram tjelesne mase (Goodman, 2016). U tu svrhu osmislio je regresijski matematički model koji je trebao poslužiti kao univerzalna mjera za procjenu gubitka tjelesne mase (Thomas i sur., 2019). Analizom postojeće literature došao je do zaključka kako je kalorijski ekvivalent jednom kilogramu izgubljene ili dobivene tjelesne mase 7700 kcal (Thomas i sur., 2014).

Desetljećima nakon pretpostavke Wishnofskog, stvoreni su matematički modeli za predikciju očekivane tjelesne mase u određenom vremenu, temeljeni na zakonu o očuvanju energije već opisanom u prethodnom poglavlju. Nekoliko je takvih modela, a međusobno se razlikuju prema razlikama u shvaćanju što podrazumijeva energetska potrošnja te što podrazumijeva energetska stanje organizma. Svaki od modela ima svoje prednosti, ali i nedostatke s obzirom na varijable koje su uključene u određivanje energetskog statusa organizma (Thomas i sur., 2019).

Općenito, model predstavlja prikaz nekog sustava ili procesa s ciljem njegovog boljeg razumijevanja tako što se stvarnost aproksimira na način da se izdvajaju najvažnije komponente sustava koji se želi opisati. Glavni zahtjev je da modeli budu što jednostavniji te

korisni i ispravni. S obzirom na način na koji opisuju stvarni sustav ili stanje te alate koji se koriste za njihovu izradu, razlikujemo nekoliko vrsta modela: mentalni, fizički, računalni, konceptualni te matematički (Gajdoš Kljusurić, 2020).

### 2.3.1. Antonetti-jev model

Antonetti (1973) razvija prvi termodinamički model. Jedina korištena varijabla stanja bila je ukupna tjelesna masa na dan  $t$  perioda promjene tjelesne mase. Nije odvajao komponente tjelesne mase na masno tkivo, nemasnu masu, proteine i zalihe glikogena već je iskoristio pravilo Wishnofskog za konverziju energije, koje iskazuje 7700 kcal kao kalorijski ekvivalent jednom kilogramu tjelesne mase, te dodao varijablu vremena.

Kao komponente energetske potrošnje izdvojio je RMR, tjelesnu aktivnost i termički efekt hrane. RMR ovisi o ukupnoj površini tijela, a predstavlja derivaciju konstante, koja je funkcija visine, dobi i spola. Termički efekt hrane direktno je proporcionalan energetskeg unosu dok je tjelesna aktivnost direktno proporcionalna ukupnoj tjelesnoj masi. Diferencijalna jednadžba nema konkretan rezultat već je Antonetti dobiveni rezultat morao numerički integrirati putem računala kako bi se dobilo rješenje (Antonetti, 1973).

Model je jednostavan i zasniva se isključivo na ukupnoj tjelesnoj masi, ali ne pruža informacije o efektu promjena unosa makronutrijenata na tjelesnu masu i energetske potrošnju (Thomas i sur., 2019).

### 2.3.2. Hall-ov model

Individualne komponente Hall-ovog matematičkog modela temeljene su na nekoliko *in vivo* istraživanja na ljudima gdje se svaka komponenta proučava zasebno, a najvažniji fiziološki efektori sjedinjeni su u ovaj model. Sastoji se od tri grupacije jednadžbi – ravnoteža makronutrijenata, sastav tijela te potrošnja energije. Jednadžbe za ravnotežu makronutrijenata zahtijevaju informacije o unesenom udjelu ugljikohidrata, masti i proteina. Sastav tijela označava tjelesnu masu izraženu kao sumu nemasne mase i masnog tkiva gdje se obje komponente mjere zasebno sumiranjem njihovih komponenti. Primjerice, nemasnu masu čine izvanstanična tekućina, izvanstanični proteini, glikogen, proteini, nemasna masa stanica itd. Naposljetku, energetska potrošnja predstavlja sumu termičkog efekta hrane, tjelesne aktivnosti uključujući vježbanje te potrošnju metabolizma pri mirovanju (RMR).

Kao rezultat, model opisuje fiziologiju metabolizma i promjene tjelesne mase te na koji način promjena prehrane, tj. promjena u unosu makronutrijenata, utječe na prilagodbu energetske potrošnje i promjene u sastavu tijela (Hall, 2010).

### 2.3.3. Thomas-ov model

Thomas i suradnici (2011) razvili su jednodimenzionalni matematički model s ciljem osiguravanja jednostavnosti korištenja uz minimalnu pogrešku u predikciji tjelesne mase. Kako bi se model mogao praktično implementirati u kliničkoj praksi, bilo je potrebno svesti osnovne informacije potrebne za korištenje modela na one koje su minimalne i lako mjerljive, kao što su dob, visina, tjelesna masa i spol.

Model se zasniva na prvom zakonu termodinamike za otvoreni sustav te smatra kako je i ljudsko tijelo otvoreni sustav jer se energija može dovesti u sustav putem hrane. Razvijen je kao sustav diferencijalnih jednadžbi reguliranih dvjema varijablama stanja: količinom masnog tkiva na dan  $t$  i količinom nemasne mase na dan  $t$  perioda promjene tjelesne mase. Nemasna masa proučava se kao funkcija masnog tkiva dobivena regresijskom analizom iz varijabli dobi, visine, rase i spola temeljenih na podacima sakupljenih od strane NHANES-a (*The National Health and Nutrition Examination Survey*). Na taj način nije potrebno proučavati nemasnu masu odvojeno od masnog tkiva kao sumu proteina, glikogena i ostalih nemasnih komponenti te je time dvodimenzionalni model reduciran na jednodimenzionalni (Thomas i sur., 2011).

Energetska potrošnja izražava se kao suma termičkog efekta hrane, voljne tjelesne aktivnosti, RMR-a i spontane tjelesne aktivnosti. RMR se izražava kao regresijska funkcija dok se voljna tjelesna aktivnost dobiva direktno, putem proporcionalnosti tjelesnoj masi. Termički efekt hrane, slično kao i kod Antonetti-jevog modela, dobiva se direktno iz energetske unosa. Posljednja komponenta potrošnje, spontana tjelesna aktivnost, predstavlja aproksimativnu vrijednost od 32,6 % ukupne energetske potrošnje, određenu na temelju proučavanih podataka dobivenih metodom dvostruko označene vode.

Specifičnost modela je što nije razvijen s ciljem predviđanja promjena u tjelesnoj masi na temelju promjena i intervencija tjelesne aktivnosti već njegova jednostavnost omogućava da se inverzijom odredi energetske unos koji rezultira promjenama u tjelesnoj masi (Thomas i sur., 2010).

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

#### 3.1. Materijali

Korištena je jednačica po Wishnofskom koju je 1958. godine osmislio Max Wishnofsky s ciljem dizajniranja jedinstvenog modela za predviđanje tijeka gubitka tjelesne mase, a u ovom eksperimentalnom radu koristilo se nekoliko varijacija jednačice koje se međusobno razlikuju ovisno o fazi procesa redukcije tjelesne mase.

$$W(t) = W_0 - 0,454 \cdot \Delta EB \cdot \frac{t}{3500} \quad [2]$$

Gdje je:

$W$  (kg) – tjelesna masa (TM);  $W_0$  (kg) – početna TM;  $W(t)$  (kg) – očekivana tjelesna masa nakon  $t$  dana redukcije energetske unosa

$t$  – broj dana u kojima je negativna energetska bilanca

$\Delta EB$  (kcal) – razlika između potrošene i unesene energije.

Jednačica je primjenjivana na petnaest ispitanika koji su provodili redukciju tjelesne mase vodeći se principima ketogene prehrane. Osim toga, korišteni su i alati za predikciju gubitka tjelesne mase dostupni na webu: *Weight Loss Predictor Calculator* i *Body Weight Planner* (NIH, 2022; PBRC, 2022) radi dodatne usporedbe s podacima dobivenim preko jednačice po Wishnofskom. Napredak ispitanika praćen mjerenjima bilježen je i obrađivan u programu *Microsoft Excel* (*Microsoft 365*, verzija 2207).

Rasponi dozvoljenih unosa energije s obzirom na fazu u kojoj se ispitanik nalazi prikazani su u tablici 1.



**Tablica 1.** Dopušteni rasponi energetskeg unosa s obzirom na fazu ketogene dijetae

| Faza      | Raspon energije (kcal) |
|-----------|------------------------|
| I faza    | 750-850                |
| II a faza | 850-950                |
| II b faza | 950-1050               |
| III faza  | 1100-1200              |
| IV faza   | 1300-1400              |
| V faza    | 1500                   |

Sukladno energetskeg unosu različitih faza, modificirana je i jednađba 1:

$$W(t)_j = W_{j-1} - 0,454 \cdot \Delta EB_i \cdot \frac{t_j}{3500} \quad [3]$$

Gdje je:

$W_{j-1}$  – početna tjelesna masa za novu fazu keto dijetae, faza keto dijetae ( $i=1, \dots, 6$ ) može se ponavljati i nekoliko puta ( $j=1, \dots, n$ ) i završava kada je  $W(t)_j \approx TM_c$  (ciljanoj tjelesnoj masi).

Pri izračunu  $\Delta EB_i$  su korištene srednje vrijednosti raspona energije različitih faza keto dijetae (tablica 1).

### 3.2. Metode

Na početku, ispitanicima je izmjerena tjelesna masa, tjelesna visina te obujmi ruku, nogu, struka i bokova. Iz početne mase i visine izražen je početni indeks tjelesne mase (ITM), a iz tjelesne visine i ciljanog ITM-a dobivena je i ciljana tjelesna masa za svakog sudionika istraživanja (tablica 2).

**Tablica 2.** Primjer početnog mjerenja

| Pacijent      | Datum pregleda   | Tjelesna visina (cm) | Tjelesna masa (kg) | Početni ITM      | Ciljani ITM      | Ciljana tjelesna masa (kg) |
|---------------|------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------------|
| 1             | 3. travnja 2019. | 171                  | 92,2               | 31               | 22               | 65                         |
| Obujam I (cm) | Obujam II (cm)   | Obujam III (cm)      | Obujam IV (cm)     | Obujam ruka (cm) | Obujam noga (cm) |                            |
| 96            | 98               | 112                  | 116                | 43               | 74               |                            |

Računanje ITM:

$$ITM = \frac{tjelesna\ masa}{tjelesna\ visina^2} \left( \frac{kg}{m^2} \right) \quad [4]$$

Na svakom sljedećem pregledu, ispitanicima je mjerena tjelesna masa i obujmi kako bi se pratio napredak. Ako osoba adekvatno napreduje, povećan je dozvoljeni energetske unos, tj. osoba prelazi u iduću fazu. Međutim, ako u nekom trenutku dođe do stagnacije napretka ili povećanja tjelesne mase, ispitanici su vraćeni u prethodnu fazu i energetske unos im je smanjen.

Osim mjerenja tjelesne mase na pojedinim pregledima, računala se i očekivana tjelesna masa za taj pregled koristeći jednadžbu po Wishnofskom, koja se temelji na masi zabilježenoj na prethodnom pregledu, broju dana od prethodnog pregleda te trenutnom energetske unosu. Niti jedna od te tri varijable nije stalna. Tjelesna masa je svaki puta drugačija kako osoba napreduje te se analogno tome mijenja i energetske unos, tj. faza ketogene prehrane u kojoj se ispitanik nalazi. Broj dana od prethodnog pregleda različit je za svaku osobu i nije konstantan, ali je cilj bio držati se razmaka od oko dva tjedna.

Uz to, podaci i rezultati dobiveni za osobu 1 uspoređivani su s rezultatima dobivenim preko mrežnih stranica (NIH, 2022; PBRC, 2022), što je prikazano na slikama 3 i 4.

**Body Weight Planner** | Balancing Your Food and Activity

Step 1 of 4 - Enter your starting information Switch to Expert Mode

| Starting Information   |  |
|--|--|
| U.S. Units   | Metric Units   |
| Weight   | 92.2 kg  |
| Sex  | Female   |
| Age  | 34 yrs   |
| Height   | 171 cm.  |
| Physical Activity Level <span style="font-size: small;">i</span> | 1.5 <span style="float: right;">Estimate Your Level</span> |

Next Step →

**Starting Information**  
Enter your starting information, including your weight, sex, age, height, and physical activity level.

**Physical Activity Level**  
Click the "Estimate Your Level" button to find your physical activity level. Typical physical activity level numbers range from 1.4 (sedentary) to 2.5 (very active). The default value of 1.6 describes someone who does very light activity at school or work (mostly sitting) and moderate physical activity (such as walking or cycling) at least once a week.

**Body Weight Planner How-to Video**  
Watch a video [to see how to use the Body Weight Planner.](#)

**Starting Information**  
Enter your starting information, including your weight, sex, age, height, and physical activity level.

**Physical Activity Level**  
Click the "Estimate Your Level" button to find your physical activity level. Typical physical activity level numbers range from 1.4 (sedentary) to 2.5 (very active). The default value of 1.6 describes someone who does very light activity at school or work (mostly sitting) and moderate physical activity (such as walking or cycling) at least once a week.

**Body Weight Planner How-to Video**  
Watch a video [to see how to use the Body Weight Planner.](#)

**Slika 3.** Snimka zaslona početnog prozora *Body Weight Planner*-a (NIH, 2022)

**pb** Pennington Biomedical Research Center  
Louisiana State University

About Us ▾ Research + Faculty ▾ Research Studies ▾

## Weight Loss Predictor Calculator

The latest news in metabolic research, scientific study results, and the latest nutrition information, sign up for the monthly [Inside](#)

View the Calculator
About the Model
FAQ

Weight Loss DE Plotter Plot

**Sex:**  
 Male  Female

**Units:**  
 Imperial (lb/in)  
 Metric (kg/cm)

**Starting Weight:**

**Age:**

**Height:**

**Duration of weight change (days):**

**Decrease in daily calorie intake:**

Calculate

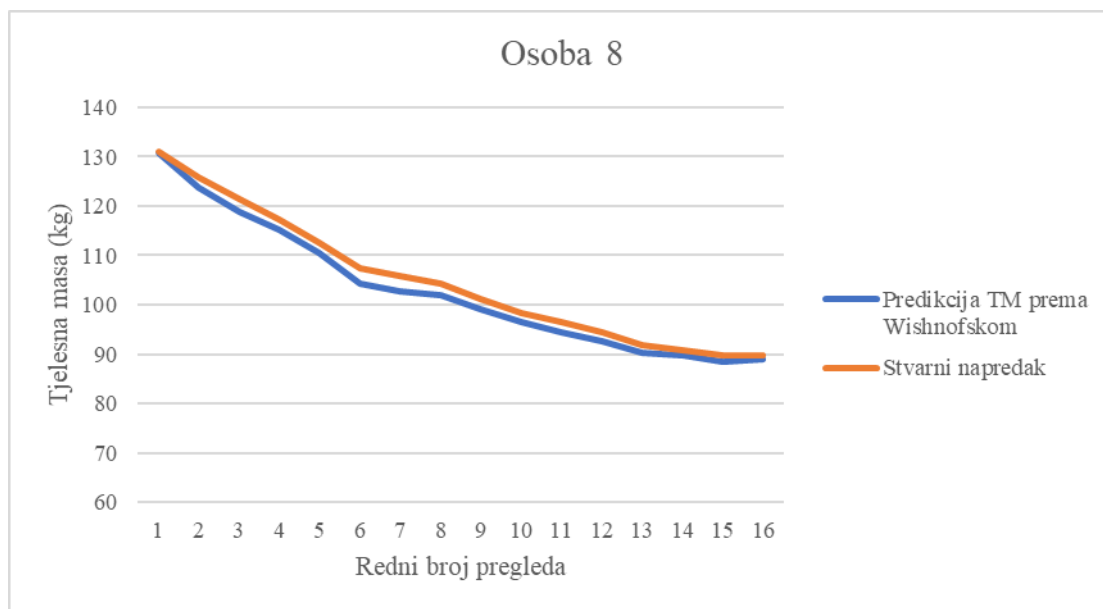
**Slika 4.** Snimka zaslona početnog prozora *Weight Loss Predictor Calculator*-a (PBRC, 2022)

Ulazni podaci za stranice se razlikuju. *Weight Loss Predictor Calculator* zahtjeva unos spola, tjelesne mase, dobi, tjelesne visine, trajanja procesa redukcije tjelesne mase te smanjenja energetskeg unosa (slika 4) dok *Body Weight Planner* traži tjelesnu masu, spol, dob, tjelesnu visinu i razinu fizičke aktivnosti (slika 3).

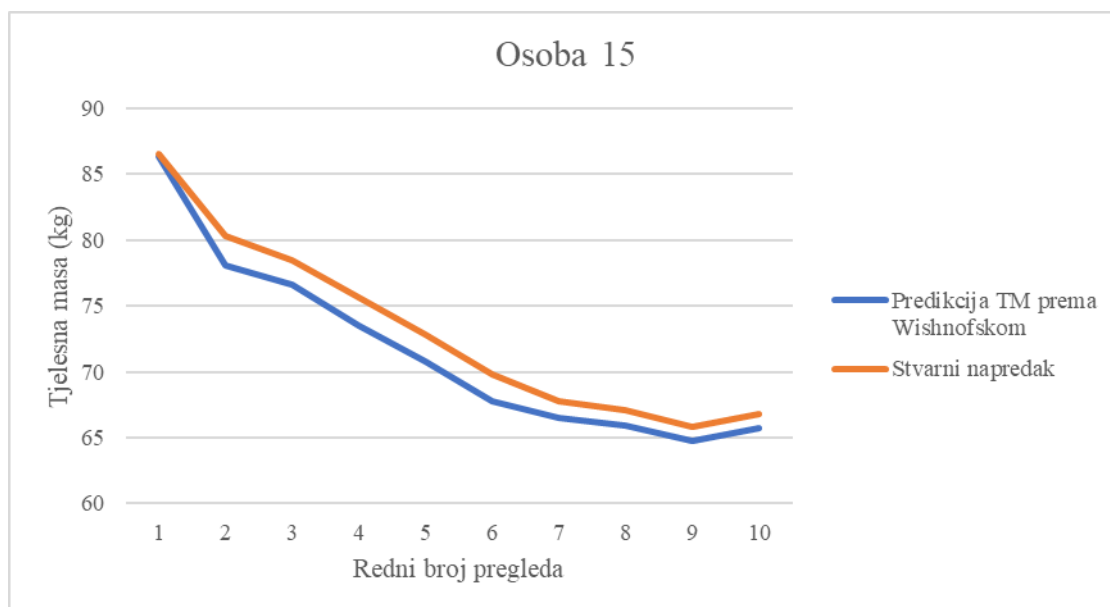
Na kraju istraživanja, podaci su statistički obrađeni te se uspoređivalo stvarno stanje i napredak s predikcijom temeljenoj na jednadžbi po Wishnofskom.

## 4. REZULTATI I RASPRAVA

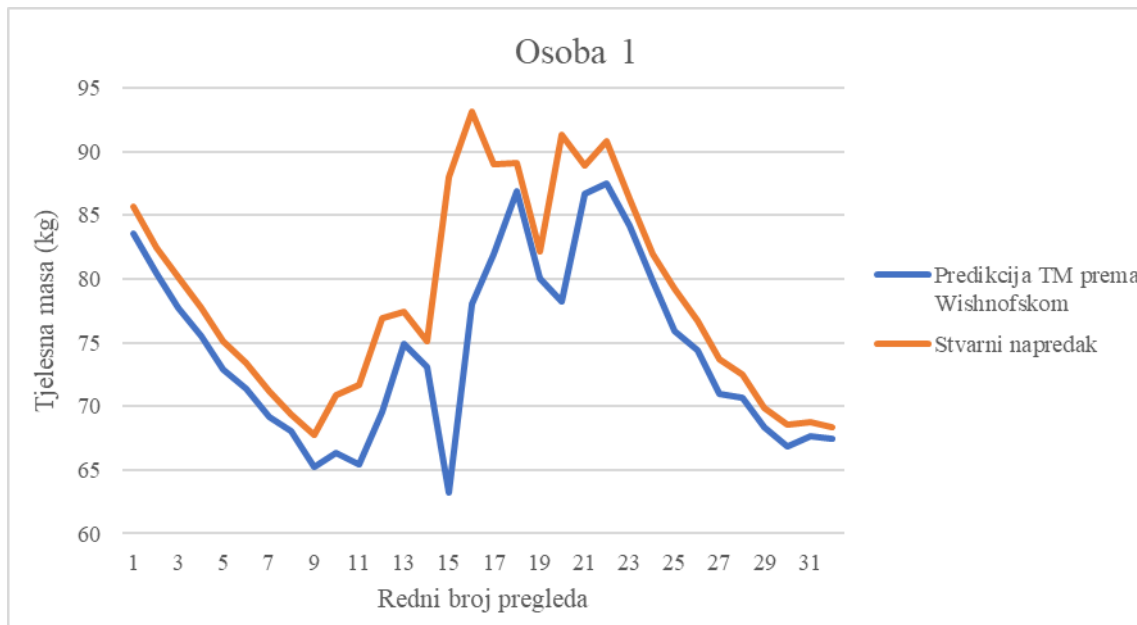
Dobiveni podaci o izmjerenim i predviđenim tjelesnim masama označeni su s obzirom na redni broj pregleda, a stvarni napredak i predviđeni napredak uspoređivani su putem grafova koristeći te podatke kao ulazne skupove.



**Slika 5.** Promjena tjelesne mase za ispitanika 8 s prikazom stvarnog napretka i predikcije

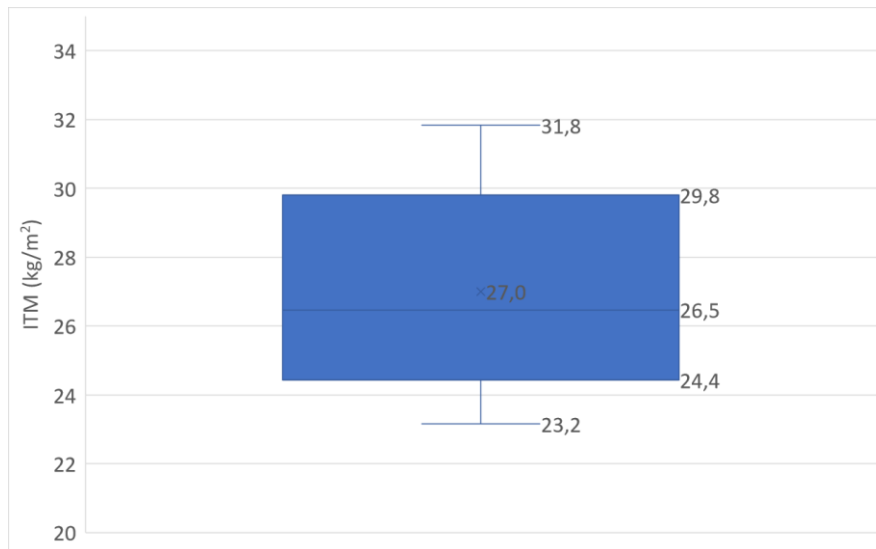


**Slika 6.** Promjena tjelesne mase za ispitanika 15 s prikazom stvarnog napretka i predikcije



**Slika 7.** Promjena tjelesne mase za ispitanika 1 s prikazom stvarnog napretka i predikcije

Iz slike 5 i 6 vidljivo je kako je predikcija dobivena koristeći jednadžbu po Wishnofskom gotovo u potpunosti jednaka stvarnom napretku osoba. Međutim, na slici 7 vidljiva je konzistentnost u početnom i završnom dijelu krivulje dok su u središnjem dijelu prisutna odstupanja. Analizirajući dobivene podatke vidljivo je kako su osobe 8 i 15 imale konstantan pad tjelesne mase dok je osoba 1 imala značajnije varijacije tjelesne mase i nije konstantno gubila na tjelesnoj masi. Na slici 7 vidimo kako je osoba u početku gubila tjelesnu masu, ali je na desetom pregledu došlo do porasta tjelesne mase koji se nastavio sve do dvadeset i drugog pregleda kada osoba ponovno uspostavlja kontrolu i nastavlja s daljnjim konstantnim padom tjelesne mase. Te značajne varijacije tijekom ketogene dijetе kod osobe 1 mogu se prikazati i putem ITM koristeći Box-Whisherov graf prikazan na slici 8, gdje je vidljivo kako ITM osobe varira od adekvatne razine do pretilosti prvoga stupnja, ali se ipak dominantno zadržava u rasponu prekomjerne tjelesne mase.

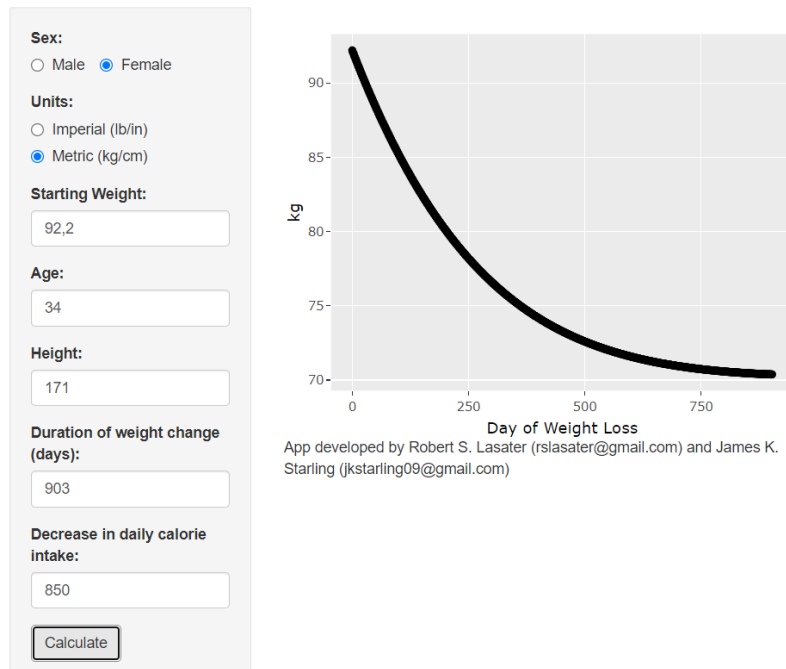


**Slika 8.** Box-Whiskerov graf za indeks tjelesne mase ispitanika tijekom keto dijeta

S obzirom na varijacije i posebnosti rezultata uočenih kod osobe jedan, podatke i rezultate te osobe usporedili smo s rezultatima dobivenim preko mrežnih stranica *Weight Loss Predictor Calculator* i *Body Weight Planner*.



**Slika 9.** Snimka zaslona s rezultatima predikcije *Body Weight Planner*-a za osobu 1 (NIH, 2022)



**Slika 10.** Snimka zaslona s rezultatima predikcije *Weight Loss Predictor Calculator*-a za osobu 1 (PBRC, 2022)

Na slikama 9 i 10 vidljivo je kako obje mrežne stranice prikazuju sličan tijek redukcije tjelesne mase. U početku se predviđa brži pad tjelesne mase koji se s vremenom usporava sve dok ne dosegne ciljanu tjelesnu masu. Kada usporedimo ove rezultate sa stvarnim grafom osobe 1 prikazanim na slici 7, vidljivo je kako niti mrežne stranice ne uzimaju u obzir moguća odstupanja tijekom procesa redukcije već pretpostavljaju konstantan proces. Na taj način funkcionira i jednačba po Wishnofskom. Međutim, jednačba po Wishnofskom se koristila pri svakom pregledu i prilagođavala se novonastalom stanju što joj daje prednost u predikciji i manja odstupanja u usporedbi s korištenim mrežnim stranicama.

Najveći izazov u procesu redukcije tjelesne mase je održavanje postignutog napretka i izbjegavanje takozvanog „jo-jo efekta“, tj. obrambenog mehanizma organizma. Izvrstan primjer toga u ovome istraživanju je upravo osoba 1. Prema podacima vidimo kako je osoba na devetom pregledu gotovo dostignula ciljanu tjelesnu masu određenu na početnom pregledu. Međutim, do sljedećeg pregleda uočen je porast na tjelesnoj masi koji se nastavio sve do šesnaestog pregleda. Nakon toga slijedila su naizmjenična razdoblja gubitka i porasta na tjelesnoj masi do dvadeset i drugog pregleda. Taj središnji dio krivulje sa značajnim varijacijama u tjelesnoj masi predstavlja razdoblje održavanja.

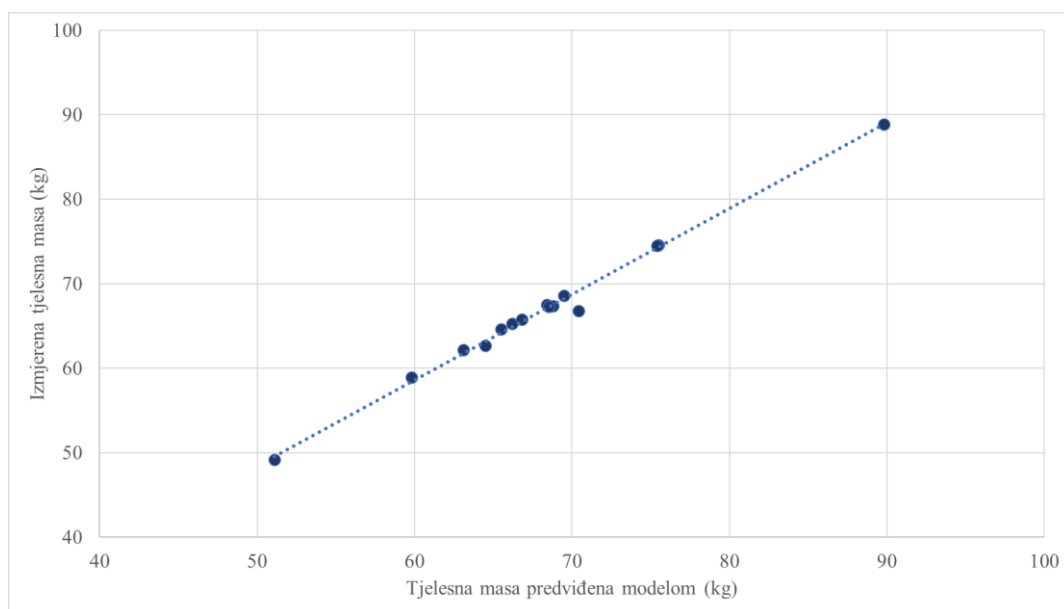


Analizirajući potom podatke osoba 8 i 15 vidimo kako je kod njih krivulja ujednačenija, ali i kako su na posljednjem pregledu kod obje osobe zamijećeni blagi porasti u tjelesnoj masi što je vidljivo u tablici 3.

**Tablica 3.** Podaci o tjelesnoj masi osoba 8 i 15 koji sugeriraju na razdoblje povećanja TM

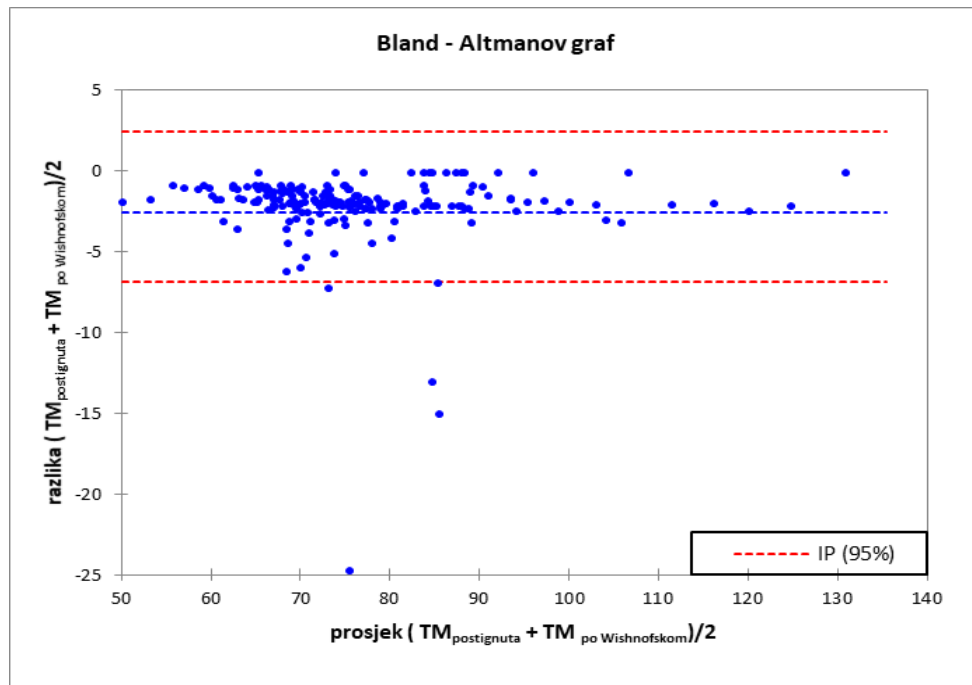
|   | <b>Osoba 8</b> | <b>Osoba 15</b> |
|---|----------------|-----------------|
| Početna TM (kg)                             | 131,0          | 86,5            |
| Ciljana TM (kg)                             | 90,0           | 58,0            |
| TM zabilježena na predzadnjem pregledu (kg) | 89,7           | 65,8            |
| TM zabilježena na zadnjem pregledu (kg)     | 89,8           | 66,8            |

Na temelju toga možemo zaključiti kako kod ovih osoba tek slijedi faza održavanja i proces ponovnog dobivanja i gubitka tjelesne mase, ali s obzirom da njihov daljnji napredak nismo pratili, nismo uspjeli zabilježiti to razdoblje na način kako smo kod osobe 1.



**Slika 11.** Usklađenost tjelesnih masa predviđenih jednadžbom po Wishnofskom, za svih 15 ispitanika

Slika 11 prikazuje graf izmjerene konačne tjelesne mase svih ispitanika (os ordinata) u odnosu na predviđanja jednadžbom po Wishnofskom (os apscisa). Vidimo kako nema velikih odstupanja od linearne crte trenda te je moguće zaključiti kako jednadžba po Wishnofskom precizno predviđa promjenu tjelesne mase.



**Slika 12.** Blant-Altmanov graf usklađenosti stvarnih i predviđenih tjelesnih masa

Iz rezultata slike 12 vidljiv je utjecaj „jo-jo“ efekta kod ispitanika kod kojih jednadžba po Wishnofskom nije uspješno predvidjela očekivanu tjelesnu masu te su navedene vrijednosti izvan intervala pouzdanosti u Bland-Altman grafu. Takvih podataka je u skupu oko 5 %, a prosječna pogreška u predikciji očekivane tjelesne mase je 2,2 %. Ovdje je vidljiv i efekt koji je u svom istraživanju potvrdio Thomas sa suradnicima (2014) koji navodi kako je korištenje jednadžbe po Wishnofskom pravilo koje je jednostavno primijeniti, ali može dovesti do velike pogreške u predviđanju gubitka tjelesne mase. Međutim u nedostatku jednostavnih i razumljivih rješenja, prihvatljiva je i manja pogreška (Thomas i sur., 2019), a ukoliko se koriste web stranice o prehrani, aplikacije za mobilne telefone i prijenosna računala, dostupni su validirani dinamički modeli mršavljenja koji imaju znanstvene temelje i koje imaju točniju i realniju vrijednost predviđanja mršavljenja.

## 5. ZAKLJUČCI

1. Jednadžba po Wishnofskom predstavlja jednostavan matematički model koji relativno precizno predviđa tijek promjene tjelesne mase kod osoba koje konstantno gube na tjelesnoj masi. Nije potreban velik broj ulaznih varijabli za korištenje što ga čini korisnim i za kliničku praksu.
2. Jednadžba predstavlja dobar alat za pomoć praksi u praćenju i stvaranju učinkovitog programa za gubitak tjelesne mase, posebice zbog velikog problema pretilosti u svijetu.
3. Kod faze održavanja i kod osoba koje nemaju linearan tijek gubitka tjelesne mase, javljaju se određena odstupanja i pogreške u predikciji.
4. S obzirom da je model predložen za predikciju redukcije tjelesne mase, uzimajući u obzir da se osoba drži propisanih smjernica i određenog unosa energije, pogreške koje nastaju rezultat su odabira i postupaka ispitanika, a ne samog modela.
5. Nedostatak modela je što ne objašnjava metaboličke adaptacije koje se događaju u tijelu, a uz to ne uzima u obzir niti tjelesnu aktivnost. Fokus je isključivo na energetske unosu, vremenskom okviru trajanja redukcije tjelesne mase te zadnje izmjerenoj tjelesnoj masi.
6. Obzirom na ograničen vremenski period ovog istraživanja, ostavlja se prostora za buduća istraživanja koja će pratiti dulji vremenski period redukcije tjelesne mase i obuhvatiti fazu održavanja te svojim rezultatima potvrditi ili osporiti našu pretpostavku za karakterističnost uočenu kod osobe 1.

## 6. POPIS LITERATURE

Antonetti W (1973) The equations governing weight change in human beings. *The American Journal of Clinical Nutrition* **26**, 64-71. <https://doi.org/10.1093/ajcn/26.1.64>

Carey KJ, Vitek W (2020) Weight Cycling in Women: Adaptation or Risk? *Seminars in Reproductive Medicine*. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1721418>

Di Rosa C, Lattanzi G, Taylor SF, Manfrini S, Khazrai YM (2020) Very low calorie ketogenic diets in overweight and obesity treatment: Effects on anthropometric parameters, body composition, satiety, lipid profile and microbiota. *Obesity Research and Clinical Practice* **14**, 491-503. <https://doi.org/10.1016/j.orcp.2020.08.009>

Gajdoš Kljusurić J. (2020) Modeliranje i optimiranje u nutricionizmu, Element, Zagreb

Goodman B (2016) Mysteries of Weight Loss – WebMD. <https://www.webmd.com/special-reports/weight-loss-mysteries/20160104/weight-loss-mysteries>. Pristupljeno 20. lipnja 2022.

Hafekost K, Lawrence D, Mitrou F, O'Sullivan TA, Zubrick SR (2013) Tackling overweight and obesity: does the public health message match the science?. *BMC Medicine* **11**, 41. . <https://doi.org/10.1186/1741-7015-11-41>

Hall KD (2010) Predicting metabolic adaptation, body weight change, and energy intake in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* **298**, 449-466. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00559.2009>

Hall KD, Heymsfield SB, Kemnitz JW, Klein S, Schoeller DA, Speakman JR (2012) Energy balance and its components: implications for body weight regulation. *The American Journal of Clinical Nutrition* **95**, 989-994. <https://doi.org/10.3945/ajcn.112.036350>

Hill JO, Commerford R (1996) Physical Activity, Fat Balance, and Energy Balance. *International Journal of Sport Nutrition* **6**, 80-92. <https://doi.org/10.1123/ijns.6.2.80>

Hill JO, Peters JC, Wyatt HR (2009) Using the Energy Gap to Address Obesity: A Commentary. *Journal of the American Dietetic Association* **109**, 1848-1853. <https://doi.org/10.1016%2Fj.jada.2009.08.007>

Hill JO, Wyatt HR, Peters JC (2012) Energy Balance and Obesity. *Circulation* **126**, 126-132. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.087213>

Hill JO, Wyatt R, Peters JC (2013) The Importance of Energy Balance. *European Endocrinology* **9**, 111-115. <https://doi.org/10.17925%2FEE.2013.09.02.111>

Jeffery RW, Epstein LH, Wilson GT, Drewnowski A, Stunkard AJ, Wing RR (2000) Long-Term Maintenance of Weight Loss: Current Status. *Health Psychology* **19**, 5-16. <https://doi.org/10.1037//0278-6133.19.1>

LeWine H (2020) Harvard Health Publishing: Should you try the keto diet?. <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/should-you-try-the-keto-diet>. Pristupljeno 4. srpnja 2022.

Lustig R (2007) The Efferent Arm of the Energy Balance Regulatory Pathway: Neuroendocrinology and Pathology. Energy Metabolism and Obesity. U: Donohoue PA (ured.) Energy Metabolism and Obesity: Research and Clinical Applications, Humana Totowa, New Jersey, str. 69-85.

Mann T, Tomiyama AJ, Westling E, Lew AM, Samuels B, Chatman J (2007) Medicare's search for effective obesity treatments: diets are not the answer. *American Psychologist* **62**, 220-233. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.62.3.220>

Martin CK, Heilbronn LK, De Jonge L, DeLany JP, Volaufova J, Anton SD, i sur. (2007) Effect of calorie restriction on resting metabolic rate and spontaneous physical activity. *Obesity* **15**, 2965-2973. <https://doi.org/10.1038/oby.2007.354>

NIH (2022) Body Weight Planner. <https://www.niddk.nih.gov/bwp>. Pristupljeno 20. lipnja 2022.

Paoli A, Bosco G, Camporesi EM, Mangar D (2015) Ketosis, ketogenic diet and food intake control: a complex relationship. *Frontiers in Psychology* **6**, 27 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00027>

PBRC (2022) Weight Loss Predictor Calculator. <https://www.pbrc.edu/research-and-faculty/calculators/weight-loss-predictor/> . Pristupljeno 1. srpnja 2022.

Sanchez O (2014) Chapter 14: Energy Balance and Body Composition. <https://www.slideserve.com/oneida/chapter-14-energy-balance-and-body-composition>. Pristupljeno 24. kolovoza 2022.

Sreenivas S (2021) Keto Diet for Beginners – Nourish by WebMD. <https://www.webmd.com/diet/keto-diet-for-beginners>. Pristupljeno 20. lipnja 2022.

Sumithran P, Prendergast LA, Delbridge E, Purcell K, Shulkes A, Kriketos A, i sur. (2011) Long-Term Persistence of Hormonal Adaptations to Weight Loss. *The New England Journal of Medicine* **365**, 1597-1604. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1105816>

Štalić Z (2008) Energy and Nutrient Requirements. *Medicus* **17**, 5-17.

Thomas DM, Gonzalez MC, Pereira AZ, Redman LM, Heymsfield SB (2014) Time to Correctly Predict the Amount of Weight Loss with Dieting. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* **114**, 857-861. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2014.02.003>

Thomas DM, Martin CK, Heymsfield S, Redman LM, Schoeller DA, Levine JA (2011) A simple model predicting individual weight change in humans. *Journal of Biological Dynamics* **6**, 579-599. <http://dx.doi.org/10.1080/17513758.2010.508541>

Thomas DM, Schoeller DA, Redman LA, Martin CK, Levine JA, Heymsfield SB (2010) A computational model to determine energy intake during weight loss. *The American Journal of Clinical Nutrition* **92**, 1326-1331. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29687>

Thomas DM, Scioletti M, Heymsfield SB (2019) Predictive Mathematical Models of Weight Loss. *Current Diabetes Reports* **19**, 93. <https://doi.org/10.1007/s11892-019-1207-5>

Turk MW, Yang K, Hravnak M, Sereika SM, Ewing LJ, Burke LE (2009) Randomized Clinical Trials of Weight Loss Maintenance: A Review. *Journal of Cardiovascular Nursing* **24**, 58-80. <https://doi.org/10.1097/01.JCN.0000317471.58048.32>

Vasileva LV, Marchev AS, Georgiev MI (2018) Causes and solutions to „globesity“: The new FA(S)T alarming global epidemic. *Food and Chemical Toxicology* **121**, 173-193. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.08.071>

Weiss EC, Galuska DA, Khan LK, Gillespie C, Serdula MK (2007) Weight regain in U.S. adults who experienced substantial weight loss, 1999-2002. *American Journal of Preventive Medicine* **33**, 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2007.02.040>

Wing RR, Phelan S (2005) Long-term weight loss maintenance. *The American Journal of American Nutrition* **82**, 222-225. <https://doi.org/10.1093/ajcn/82.1.222s>

Wing RR, Hill JO (2001) Successful weight loss maintenance. *Annual Review of Nutrition* **21**, 323-341. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.21.1.323>

WHO (2021) Obesity and overweight. WHO-World Health Organisation, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Pristupljeno 4. srpnja 2022.

## Izjava o izvornosti

Ja Iva Jurišić izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

  
Vlastoručni potpis