

# Primjena matematičkog modeliranja u praćenju promjene tjelesne mase

---

**Vukadinović, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*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:159:684590>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-22**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

**Preddiplomski studij Nutricionizam**

**Nikola Vukadinović**

7045/N

**PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELIRANJA U  
PRAĆENJU PROMJENE TJELESNE MASE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet: Modeliranje i optimiranje u nutricionizmu**

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

**Zagreb, 2019.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski sveučilišni studij Nutricionizam  
Zavod za procesno inženjerstvo  
Laboratorij za MRA  
Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Nutricionizam

### PRIMJENA MATEMATIČKOG MODELIRANJA U PRAĆENJU PROMJENE TJELESNE MASE

**Nikola Vukadinović, 0058206307**

**Sažetak:** Wishnofsky-jevo pravilo, nastalo 1958. godine, predviđa linearan i kontinuiran gubitak tjelesne mase kada se osoba nađe u stanju negativne energetske ravnoteže s konstantom gubitka od 7700 kcal/kg. Današnje znanstvene spoznaje pokazuju nam kako je promjene tjelesne mase dinamički proces. Stoga su razvijeni dinamički modeli koji promjenu tjelesne mase promatraju preko koncepta energetske ravnoteže na koji je primijenjen prvi zakon termodinamike. Dinamički modeli, osim što se temelje na novim znanstvenim spoznajama, validirani su uz pomoć podataka iz studija koje su proučavale dugoročni učinak kalorijske restrikcije na promjenu tjelesne mase te daju točnija predviđanja. Iako postoje noviji modeli, Wishnofsky-jevo pravilo je i dalje u upotrebi vjerojatno zbog jednostavnosti izračuna predviđanja. Uporaba računalne tehnologije te izrada aplikacija temeljenih na dinamičkim modelima omogućila bi nam veću raširenost njihove primjene te zamjenu Wishnofsky-jevog pravila.

**Ključne riječi:** dinamički model, energetska ravnoteža, promjena tjelesne mase, Wishnofsky-jevo pravilo

**Rad sadrži:** 24 stranica, 5 slika, 32 literaturnih 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:** 18. rujna 2019.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Bachelor thesis

**University of Zagreb**  
**Faculty of Food Technology and Biotechnology**  
**University undergraduate study Nutrition**  
**Department of Process engineering**  
**Laboratory for measurement, regulation and control**  
**Scientific area: Biotechnical Sciences**  
**Scientific field: Nutrition**

### **APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN MONITORING OF BODY MASS CHANGE**

**Nikola Vukadinović, 0058206307**

**Abstract:** The Wishnofsky's rule, created in 1958, predicts linear and continuous weight loss when a person is in a state of negative energy balance with a loss constant of 7700 kcal / kg. Today's scientific knowledge shows us that weight change is a dynamic process. Therefore, dynamic models have been developed to observe the change in body mass through the concept of energy balance, to which the first law of thermodynamics has been applied. Dynamic models, in addition to being based on new scientific knowledge, have been validated using data from studies that have examined the long-term effect of calorie restriction on weight change and make more accurate predictions. Although there are newer models, the Wishnofsky's rule is still in use probably because of the ease of calculating the prediction. Using computer technology and developing applications based on dynamic models would allow us to increase their widespread use and replace Wishnofsky's rule.

**Keywords:** bodyweight change, dynamic model, energy balance, Wishnofsky's rule

**Thesis contains:** 24 pages, 5 figures, 32 references

**Original in:** Croatian

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

**Mentor:** PhD Jasenka Gajdoš Kljusurić, full professor

**Defence date:** September 18th 2019

## Sadržaj

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Teorijski dio</b>	<b>2</b>
2.1. Linearni model Wishnofsky	2
2.1.1. Primjena Wishnofsky modela	3
2.1.2. Uzrok pogreške Wishnofsky modela	4
2.2. Faze gubitka tjelesne mase i nelinearnost	5
2.2.1. Ravnoteža dušika pri gubitku tjelesne mase	6
2.2.2. Ravnoteža natrija pri gubitku tjelesne mase	7
2.3. CALERIE studija – dinamički model gubitka tjelesne mase	8
2.3.1. Razlike dinamičkog i linearnog matematičkog modela gubitka tjelesne mase	14
<b>3. Zaključak</b>	<b>18</b>
<b>4. Popis literature</b>	<b>21</b>

## 1. Uvod

Prekomjerna tjelesna masa i pretilost predstavljaju sve veći javno-zdravstveni problem u svijetu. Hrvatska nije izuzetak pa tako prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) iz 2016. godine 59,6% odraslog stanovništva ima prekomjernu tjelesnu masu dok 24,4% je pretilo. Zbog toga su nastali brojni programi mršavljenja i dijete koje obećavaju različite rezultate u određenom vremenu.

Ljudima se teško pridržavati takvih režima prehrane te oni često ne daju očekivane rezultate (Heymsfield i sur., 2007). Da bi ljudima mogli dati realnija očekivanja potrebna je uporaba matematičkih modela.

Matematički model je apstraktan model koji koristi matematički jezik i znanstvene spoznaje kako bi opisao ponašanje određenog sustava. Danas se u nutricionizmu, kada se govori o principu energetske ravnoteže i promjena tjelesne mase, koriste modeli koji primjenjuju prvi zakon termodinamike na otvoreni sustav. Ljudsko tijelo se smatra otvorenim sustavom jer se energije može dodati u obliku hrane. To su složeni modeli koji u obzir uzimaju metaboličke adaptacije prilikom promjene tjelesne mase, termički efekt hrane, NEAT (od engl. *non-exercise activity thermogenesis*), promjene u sastavu tijela, dob, spol i druge parametre. No u primjeni je i dalje, vjerojatno zbog jednostavnosti izračuna, linearni model. Takozvano Wishnofsky-ovo pravilo koje kaže da je za gubitak 1 funte (pound) [454 g] tjelesne mase potreban deficit od 3500 kcal.

Cilj ovoga rada je analiza modela kako bi se pobliže objasnila oba modela te pokazati kako uporaba linearnog modela dovodi do pogrešne procjene gubitka tjelesne mase, jer je utjecaj drugih parametara u njemu zanemaren.

## 2. Teorijski dio

Iznos gubitka tjelesne mase predstavlja pokazatelj uspješnosti mršavljenja kod osoba kojima je cilj smanjenje mase. Matematički modeli jedan su od načina kojim se gubitak, odnosno promjena, tjelesne mase može opisati.

### 2.1. Linearni model Wishnofsky

U radu iz 1958. godine Max Wishnofsky (Wishnofsky, 1958) postavlja pitanje: "Koji je kalorijski ekvivalent jedne funte tjelesne mase, dobivene ili izgubljene?". Kako bi dao odgovor na to pitanje Wishnofsky je pretražio tada dostupne analitičke i eksperimentalne studije. Iz Bozenraadove (1911) analitičke studije uzeo je podatak da ljudsko adipozno tkivo sadrži 87% "masti", stoga 454 g adipoznog tkiva sadrži 395 g "masti". Pridružujući tome podatak o kalorijskoj vrijednosti animalne masti od 9,5 kcal/g dolazi do procjene da 454 g ljudskog adipoznog tkiva ima kalorijski ekvivalent od 3750 kcal. Nadalje, ističe da se za razliku od ugljikohidrata i proteina, koji na sebe vežu vodu, mast skladišti u skoro čistom obliku te prilikom razgradnje adipoznog tkiva neće doći do otpuštanja vode, odnosno sva izgubljene masa će biti adipozno tkivo. Pregledavajući eksperimentalne studije Wishnofsky odvaja studije u kojim su ispitanici bili podvrgnuti postu navodeći kako prilikom totalnog posta dolazi do gubitka ugljikohidrata (glikogena) i proteina uz vezanu vodu. Uzimajući studije u kojima su ispitanici bili na nisko kalorijskim/visoko proteinskim dijetama. Koristeći se studijama Stranga i suradnika iz 1930. godine, koje su se provodile na malim grupama pretelih osoba u trajanju od 59 dana, u kojima su ispitanici gubili u prosjeku 0,6 lb/dan te bili u procijenjenom deficitu od 2100 kcal, Wishnofsky dolazi do zaključka da je deficit od 3500 kcal potreban da bi osoba izgubila 1 lb (454 g) tjelesne mase. Također Wishnofsky uvodi pretpostavke da ispitanik održava konstantno propisani unos energije, da na gubitak tjelesne mase ne utječu promjene u potrošnji energije, da na balansiranoj nisko kaloričnoj dijeti većina gubitka tjelesne mase potječe iz gubitka adipoznog tkiva jer će metabolizam proteina i ugljikohidrata (glikogena) biti u balansu i da je energija potrebna za gubitak tjelesne mase konstantna na 3500 kcal/lb odnosno 7700 kcal/kg. Sve navedeno definirano je matematičkom formulom:

$$W(t) = W_0 - \Delta EB \frac{t}{7700} \quad [1]$$

Gdje:

t predstavlja dan negativne energetske ravnoteže,

$\Delta EB$  predstavlja promjenu u energetske ravnoteži izraženu u kcal po danu kao razliku između unesene i potrošene energije,

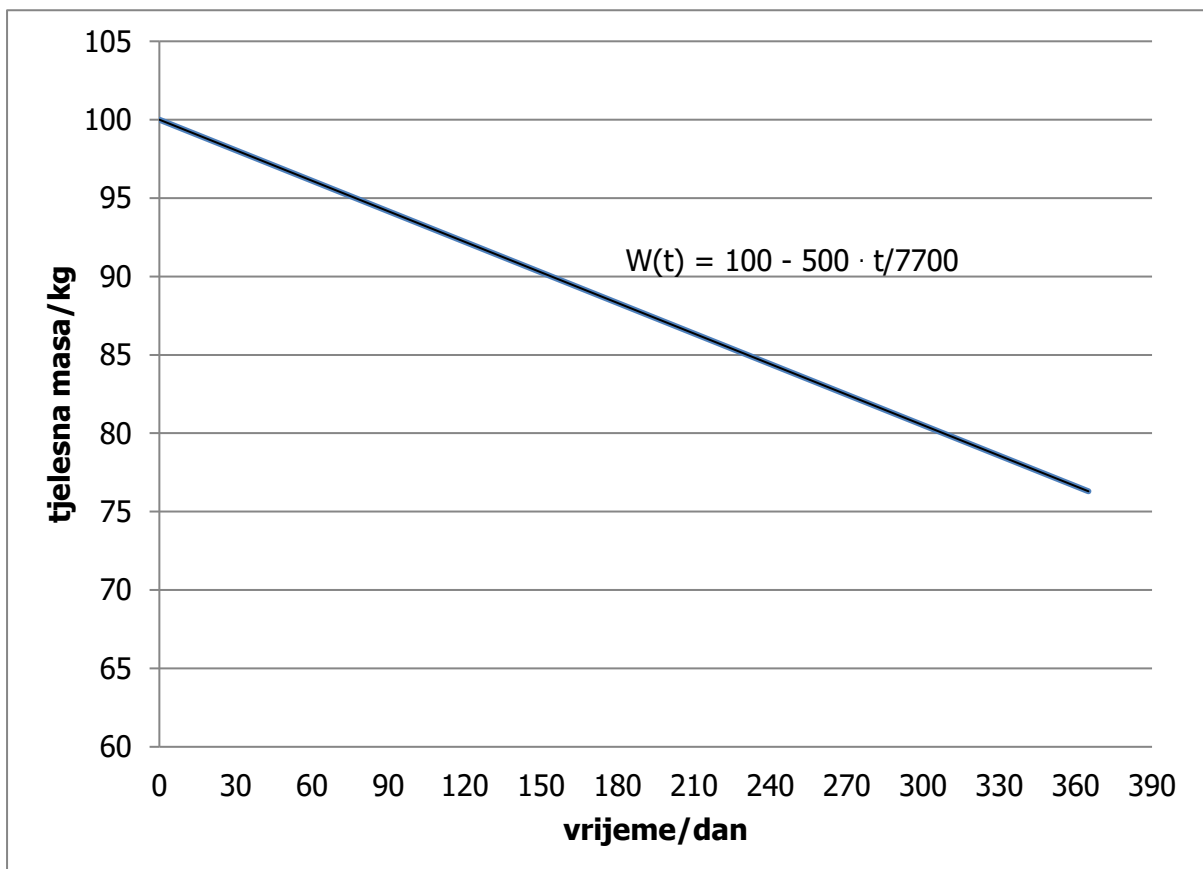
$W_0$  predstavlja početnu tjelesnu masu i

$W(t)$  predstavlja očekivanu tjelesnu masu na dan  $t$  u kilogramima.

### 2.1.1. Primjena Wishnofsky modela

Pogledajmo kako model radi na temelju izmišljenog primjera. Osoba muškog spola visoka je 175 cm s tjelesnom masom od 100 kg te ima nisku razinu tjelesne aktivnosti. Indeks tjelesne mase (ITM) iznosi  $32,65 \text{ kg/m}^2$  što je svrstava u skupinu pretilih osoba ( $\text{ITM} > 30 \text{ kg/m}^2$ ). Osoba je odlučila smanjiti tjelesnu masu zbog zdravstvenih razloga te je pročitala na internetu da ako dnevno smanji unos za 500 kcal gubiti će otprilike 0,5 kg tjelesne mase tjedno da bi nakon godine dana takvog režima prehrane trebala doći do 76,3 kg tjelesne mase čime bi postigla ITM od  $24,91 \text{ kg/m}^2$  čime bi bila na granici između normalne i prekomjerne tjelesne mase.

Ako podatke svih 365 dana u godini prikažemo grafički dobivamo sljedeći prikaz:



**Slika 1.** Prikaz Wishnofsky-jevog pravila na primjeru muške osobe visoke 175 cm, tjelesne mase 100 kg, koja je u negativnoj energetske ravnoteži od 500 kcal u trajanju od 365 dana.



Iz slike 1 možemo vidjeti da Wishnofsky-jevo pravilo predviđa linearan, obrnuto proporcionalan odnos između tjelesne mase i vremena provedenog u negativnoj energetskej ravnoteži. Također svakih 77 dana osoba iz primjera trebala bi izgubiti 5 kg tjelesne mase i da osoba može gubiti tjelesnu masu dokle god ne postigne željenu tjelesnu masu. No, randomizirane kliničke studije (Heilbronn i sur., 2006; Redman i sur., 2007; Redman i sur., 2009; Heymsfield i sur., 2012) pokazuju nam da promjena tjelesne mase, iako obrnuto proporcionalna s vremenom kod negativne energetske ravnoteže, nije linearna već poprima oblik logaritamske funkcije i nakon određenog vremena dolazi do usporavanja i postupnog prestanka gubitka tjelesne mase.

### 2.1.2. Uzrok pogreške Wishnofsky modela

Kako bi utvrdili zašto dolazi do pogreške u predviđanju tjelesne mase uporabom Wishnofsky-jevog pravila moramo razmotriti saznanja o promjeni tjelesne mase koja su otkrivena nakon 1958. godine. Danas gubitak tjelesne mase smatramo kontinuiranim procesom koji se počinje odvijati kada osoba uđe u stanje negativne energetske ravnoteže, a završava kada osoba ponovo postigne energetskej ravnotežu s nižom tjelesnom masom ili smrću zbog toga što su potrošeni svi uskladišteni oblici energije (Heymsfield i sur., 2011).

Energetskej ravnoteža definira se razlikom unesene i potrošene energije:

$$ES = EI - EO \quad [2]$$

gdje je:

ES količina energije koja se pospremi ili izgubi izražena u kcal/dan

EI je količina unesene energije u kcal/dan i

EO je količina energije koja se potroši izražena u kcal/dan.

Kako bi osoba ušla u stanje negativne energetskej ravnoteže količina unesene energije (EI) mora biti manja od količine energije koja se potroši (EO) tijekom dana.

$$gubitak tjelesne mase \rightarrow EI < EO \quad [3]$$

To se može postići smanjenjem unosa energije prelaskom na određen plan prehrane, povećanjem energetske potrošnje uz pomoću tjelesne aktivnosti ili kombinacijom oba pristupa.

Neovisno o načinu na koji je postignuta negativna energetska ravnoteža tijekom gubitka tjelesne mase dolazi do promjene u sastavu tijela koja ovisi o početnom sastavu tijela osobe.

## **2.2. Faze gubitka tjelesne mase i nelinearnost**

Sam gubitak tjelesne mase kao proces se može podijeliti u tri različite faze.

- U prvoj fazi dolazi do ubrzanog gubitka tjelesne mase zbog dinamičkih promjene u ravnoteži glikogena, proteina i s njima povezanih tekućina. Ova faza traje nekoliko dana do 6 tjedana, ovisno o početnim parametrima osobe te veličini promjene u unosu i potrošnji energije. Prva faza traje dok tijelo ne potroši zalihe glikogene i ne postigne ravnotežu između sinteze i razgradnje proteina. Pošto glikogen i proteini u tijelu na sebe vežu vodu, tijekom ove faze dolazi do oslobađanja i gubitka određenog dijela tekućine što doprinosi na gubitku tjelesne mase.
- Nakon toga počinje druga faza za koju je karakteristično da se smanjuje i/ili prestaje gubitak glikogena i proteina te svi daljnji gubitci proizlaze iz gubitka adipoznog tkiva. Ova faza može trajati i nekoliko godina, a gubitci na tjelesnoj masi su značajno sporiji nego u prvoj fazi.
- Kada tijelo potroši sve zalihe adipoznog tkiva ulazi u treću fazu. U toj fazi tijelo kao izvor energije ponovo koristi proteine, no iz etičkih razloga ova faza se previše ne proučava.

Studije koje se bave gubitkom tjelesne mase traju 6 mjeseci do godine dana te obuhvaćaju samo prve dvije faze (Heilbronn i sur., 2006; Redman i sur., 2007; Redman i sur., 2009; Heymsfield i sur., 2012). Promjene u sastavu tijela su nam važne jer tijekom procesa gubitka tjelesne mase želimo zadržati što je više moguće nemasnu masu, a smanjiti udio adipoznog tkiva u tijelu. Zbog toga moramo znati što se događa s pojedinim komponentama tijela tijekom ovog procesa. Proteini su nam od iznimne važnosti jer prevelik gubitak proteina se povezuje s negativnim utjecajem na zdravlje (Gallagher i Heymsfield, 1994).

### 2.2.1. Ravnoteža dušika pri gubitku tjelesne mase

Za mjerenje ukupnih proteina najčešće se koristi indirektna metoda mjerenja ravnoteže dušika u tijelu jer proteini sadrže oko 16% dušika pa vrijedi (Heymsfield i sur., 1997):

$$\Delta\text{proteina(g)} = 6,25 \cdot \Delta\text{N(g)} \quad [4]$$

Ravnoteža dušika ( $\Delta\text{N}$ ) se mjeri kao razlika između unesenog dušika hranom i zbroja izmjerenih gubitaka preko urina i fecesa, dok se gubitci preko kože procjenjuju.

Tijekom prve faze gubitka tjelesne mase dolazi do negativne ravnoteže dušika, odnosno tijelo troši više proteina nego što ih unosi hranom. Kao odgovor na ovaj proces kroz nekoliko dana dolazi do aktiviranja regulatornih mehanizama koji smanjuju potrošnju energije u mirovanju, promjena (engl. *turnover*) proteina, termički efekt hrane i drugih metaboličkih procesa da bi se na kraju ponovno uspostavila ravnoteža na nižim vrijednostima.

Pošto su proteini u ljudskom tijelu vezani s vodom, koja pomaže u formiranju sekundarnih struktura, razgradnjom proteina osloboditi će se određena količina vode. Također, voda je jedan od produkata razgradnje proteina. Ta voda će doprinijeti gubitku tjelesne mase u prvoj fazi. Nakon što se ponovo uspostavi ravnoteža dušika i tijelo uđe u drugu fazu gubitka tjelesne mase gubitci na proteinima se značajno smanjuju te više nemaju toliko izraženi utjecaj. Iako glikogen nema funkcionalnu ulogu u tijelu kao proteini, glikogen služi kao izvor energije kroz kraće vrijeme. Glikogen je pohranjen u jetri i skeletnim mišićima. Acheson i sur. (1988) došli su do zaključka da ljudi mogu pohraniti oko 1 kg glikogena, a nakon toga uneseni ugljikohidrati će se koristiti za *de novo* sintezu lipida. Kao i proteini, glikogen na sebe veže vodu, ovisno o razgranatosti molekule, koja će biti otpuštena nakon njegove razgradnje. Tijekom prve faze gubitka tjelesne mase dolazi do razgradnje glikogena te će tijelo potrošiti zalihe kroz nekoliko dana. Zbog toga glikogen doprinosi gubitku tjelesne mase u prvoj fazi.

U drugoj fazi zalihe glikogena su potrošene, a ugljikohidrati uneseni hranom se koriste za dobivanje energije pošto se tijelo nalazi u negativnoj energetske ravnoteži te se zalihe glikogene ne obnavljaju. Izlučivanje vode i elektrolita nalazi se pod složenom hormonalnom i neurološkom kontrolom te ovisi i o sadržaju i odnosu makro- i mikronutrijanata u prehrani.

### 2.2.2. Ravnoteža natrija pri gubitku tjelesne mase

U studiji Wynn i sur. (1985) promatrali su ravnoteže natrija, kalija i dušika kod ispitanika koji su konzumirali tekuću formulu koja je sadržavala 655 - 789 kcal/dan kroz 68 dana. Ispitanici su bili muškarci (n=6-9) i žene (n= 7-16), broj ispitanika ovisio je o fazi studije.

Ravnoteža natrija je bila negativna u prvom tjednu studije te je pratila gubitke tekućine. Ravnoteža kalija pratila je ravnotežu dušika ukazujući na gubitke proteina i unutarstanične tekućine. Kroz 28 dana ravnoteža kalija i dušika postigla je stabilne vrijednosti niže od početnih, što je označilo kraj prve faze. Sve ovo zajedno odgovorno je za brzi gubitak tjelesne mase u prvoj fazi koji se kasnije usporava tijekom druge faze. Što se tiče koštanog tkiva za mjerenje koštane mase koristi se DXA-a (engl. *dual-energy X-ray absorptiometry*) kako bi se promatrala mineralna gustoća kostiju. U kontroliranim studijama, koje su trajale nekoliko mjeseci, kod pretilih osoba koje su uzimale dovoljne količine kalcija i vitamina D uočene su male ili nikakve promjene u mineralnom sastavu kostiju. Tijekom prve faze gubitka tjelesne mase promjene u količini adipoznog tkiva su male. No kako tijelo troši zalihe glikogena i smanjuje gubitke proteina te izlazi iz prve faze gubitci adipoznog tkiva se povećavaju.

U drugoj fazi gubitka tjelesne mase tijelo koristi adipozno tkivo kao rezervni izvor energije te se njegove količine smanjuju. Osim toga moramo znati da su masna i nemasna masa međusobno povezane te da će promjene jedne uzrokovati promjenu druge.

Forbes i Drenick (1979) su promatrali pretilu muškarce koji su postili te im mjerili gubitak dušika preko izlučenog urina da bi utvrdili koliko gube proteina i uspoređivali dobivene podatke s podacima dostupnim iz literature za osobe adekvatne tjelesne mase tijekom posta. Ispitanici u njihovom istraživanju postili su 60 dana. Uočili su da su kod pretilih ispitanika gubitci tjelesne mase i dušika manji nego kod osoba adekvatne tjelesne mase te da se gubitci događaju sporije. Iz toga su zaključili da postoji obrnuto proporcionalan odnos između nemasne i masne tjelesne mase, a do istog zaključka su došli i Durrant i sur. (1980) čiji su ispitanici bili pretilu osobe na nisko kalorijskoj dijeti.

Nadalje Forbes (1987), koristeći se podacima iz studije u kojoj je određivao sastav tijela žena različitog stupnja uhranjenosti, preko analize kalij-40 atoma dolazi do zaključka da je nemasna tjelesna masa funkcija masne tjelesne mase opisana jednadžbom:

$$FFM(FM) = 10,4 \ln(FM) - 14,2 \quad [5]$$

gdje je:

FFM nemasna tjelesna masa izražena u kilogramima i

FM masna tjelesna masa izražena u kilogramima

Također omjer promjene nemasne i masne tjelesne mase dan je formulom:

$$\frac{\Delta\text{FFM}}{\Delta\text{FM}} = \frac{10,4}{\text{FM}} \quad [6]$$

iz čega proizlazi da će relativan gubitak nemasne mase, nasuprot masne, biti manji kod pretelih osoba nego kod osoba adekvatne tjelesne mase zato što pretile osobe imaju veću početnu masnu masu što je u skladu s ranije navedenim studijama. Isto tako kada se  $\Delta\text{FM}$  supstituira s  $\Delta W - \Delta\text{FFM}$  dobije se jednadžba:

$$\frac{\Delta\text{FFM}}{\Delta W} = \frac{10,4}{10,4+\text{FM}} \quad [7]$$

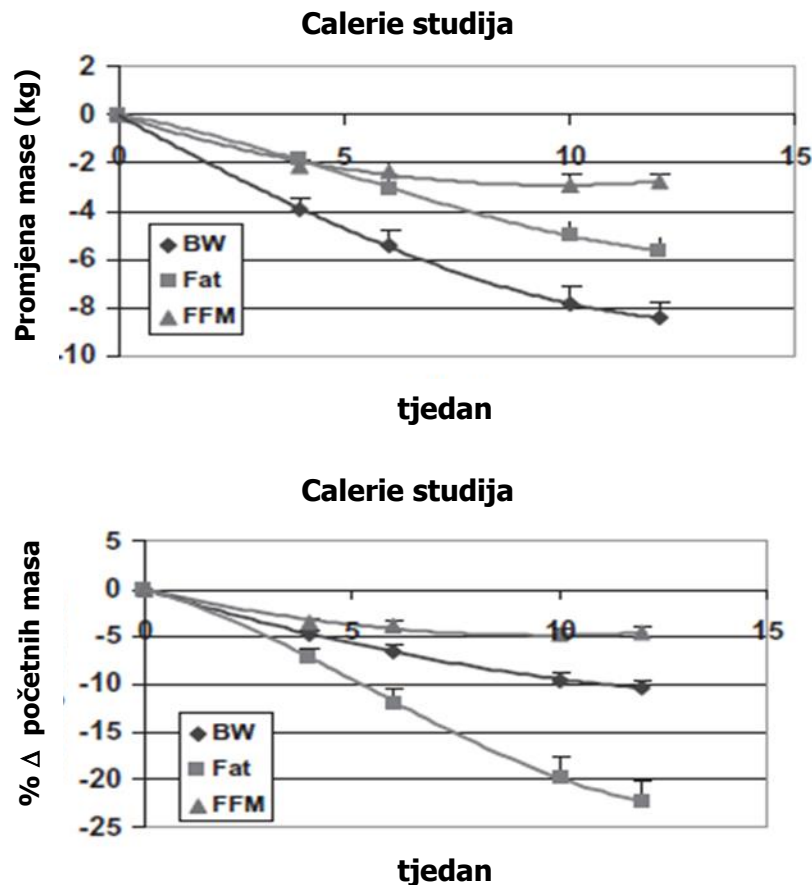
gdje je:

$\Delta W$  promjena ukupne tjelesne mase, koja pokazuje da će relativni doprinos nemasne tjelesne mase u ukupnom gubitku tjelesne mase biti manji što je početna masna masa veća.

### 2.3. CALERIE studija – dinamički model gubitka tjelesne mase

Ovaj model nadopunjuje Hall (2007) te je kao takav sastavni dio dinamičkih modela promjene tjelesne mase. Sve navedeno potvrđuju rezultati CALERIE (engl. *Comprehensive Assessment of Long-term Effects of Reducing Intake of Energy*) studija (Heilbronn i sur., 2006; Redman i sur., 2007; Redman i sur., 2009; Heymsfield i sur., 2012). To su studije koje se obavljaju prema zadanom protokolu. Prema protokolu ispitanici se nasumično dijele u 4 skupine. Prva skupina je kontrolna, druga skupina unosi 25% manje energije nego što je ispitanicima potrebno bez povećanja razine tjelesne aktivnosti, treća skupina unosi 12,5% manje energije i 12,5% povećanu potrošnju energije kroz strukturane aerobne aktivnosti te je treća skupina na nisko kaloričnoj prehrani (890 kcal/dan) dok ne postignu redukciju od 15% početne tjelesne mase, nakon čega unose dovoljno energije za održavanje novo postignute tjelesne mase. Studije traju do 6 mjeseci do 2 godine te se kroz taj period prate promjene na tjelesnoj masi i sastavu tijela uz druge parametre koji su u fokusu istraživača za pojedinu studiju.

Cilj CALERIE studija je proučiti učinak dugotrajne kalorijske restrikcije na ljudsko zdravlje (CALERIE, 2019). Zbog dužine trajanja ove studije obuhvaćaju prvu i drugu fazu gubitka tjelesne mase te nam daju veliku količinu podataka koji se koriste za validaciju matematičkih modela te uvid u to što se događa prilikom redukcije tjelesne mase. CALERIE studije obuhvatile su 220 ispitanika u tri istraživačka centra.

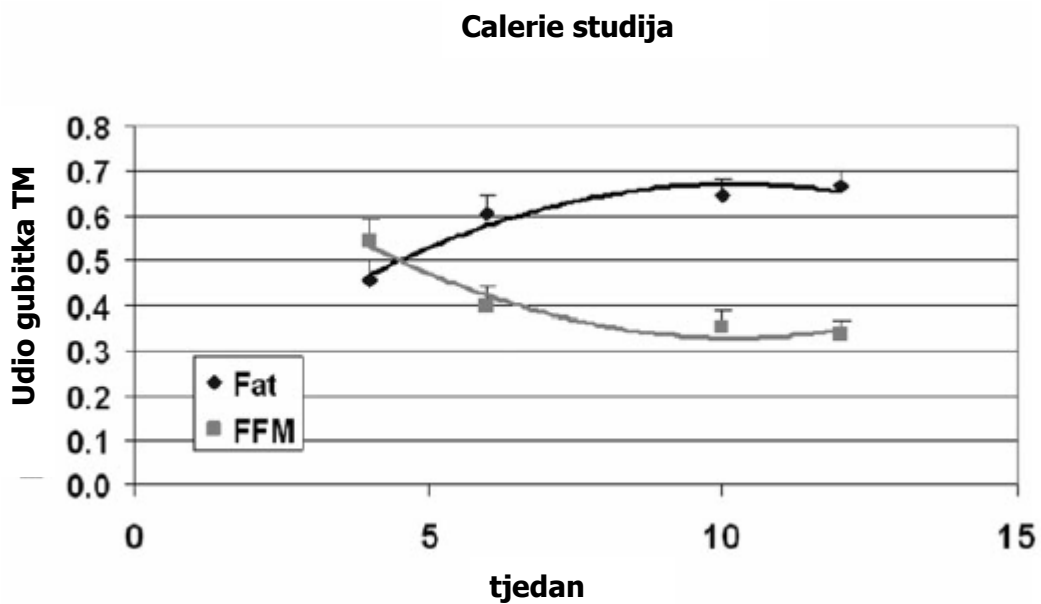


**Slika 2.** Rezultati CALERIE studija (Heymsfield i sur., 2011). Tjelesna masa: BW – *body weight*; nemasna masa: FFM *fat free mass*; masa masnog tkiva (*Fat*)

Slika 2 prikazuje promjene tjelesne mase, nemasne mase i mase masnog tkiva u apsolutnim vrijednostima kroz 12 tjedana. Donji graf prikazuje iste promjene izražene kao postotak početnih masa (Heymsfield i sur., 2011).

U sklopu studija ispitanicima je bilo omogućeno grupno i individualno nutricionističko i psihološko savjetovanje kako bi im se pomoglo u pridržavanju propisanih kalorijskih restrikcija. Cilj ovih studija bio je proučiti utjecaj dugotrajne kalorijske restrikcije na rizik od razvoja bolesti, kvalitetu života, sigurnost i izvedivost takvog načina prehrane (Ravussin i sur., 2015). Dio rezultata ovih studija prikazani su slikama 2 i 3. Na slici 2 gornji grafikon

prikazuje promjenu tjelesne, nemasne i masne mase u apsolutnim vrijednostima tijekom 12 tjedana dok donji grafikon prikazuje promjenu kao postotak početno izmjerenih masa. Na oba grafa vidi se da promjene tjelesne mase nije linearna kako predviđa Wishnofsky-jevo pravilo, već poprima oblik logaritamske funkcije što je u skladu s Forbesovim modelom. Također primjećuje se da se s vremenom gubitak nemasne tjelesne mase usporava i poprima stabilnu vrijednost oko 4. tjedna, a gubitak masnog tkiva se povećava što potvrđuje postojanje dviju faza u kojima se koriste različiti izvori uskladištene energije.



**Slika 3.** Prikaz promjene nemasne i masne tjelesne mase kao udio u ukupnoj promjeni tjelesne mase s promjenom vremena u tjednima (Heymsfield i sur., 2011).

Slika 3 prikazuje promjenu masne i nemasne mase kao udio u ukupnoj masi. Iz grafa se može očitati da se s promjenom vremena udio nemasne mase u ukupnoj promjeni tjelesne mase smanjuje, a udio masne mase povećava. Točka sjecišta dviju krivulja koja se nalazi oko 4 tjedna predstavlja prelazak iz prve u drugu fazu procesa gubitka tjelesne mase.

Iz svega navedenog možemo vidjeti prvi razlog zašto Wishnofsky-jevo pravilo pogrešno predviđa promjenu tjelesne mase. Wishnofsky je smatrao da na balansiranoj nisko kaloričnoj prehrani ne dolazi do gubitaka na nemasnoj masi, odnosno da svi gubitci proizlaze iz gubitaka masnog tkiva. Nadalje Wishnofsky-jevo pravilo ne uzima u obzir da je količina nemasne mase logaritamska funkcija masne mase. To jedan od razloga zašto Wishnofsky-

jevo pravilo predviđa linearni gubitak tjelesne mase te procjenjuje utjecaj negativne energetske ravnoteže u cijelom procesu gubitka tjelesne mase.

Također, Wishnofsky-jevo pravilo ne uzima u obzir gubitke vode koja značajno doprinosi gubitku tjelesne mase u prvoj fazi kada se oslobađa razgradnjom glikogene i proteina. No, također treba uzeti u obzir da je Wishnofsky postavio svoje pravilo bez ovih spoznaja koje su kasnije otkrivene i potvrđene studijama.

Sada kada smo razjasnili kako ES, odnosno promjene u sastavu tijela tijekom negativne energetske ravnoteže, utječe na proces promjene tjelesne mase te kako bismo ga mogli modelirati jednadžbu koja opisuje taj proces moramo vidjeti kako preostala dva člana utječu na promjenu tjelesne mase pošto je ES rezultat razlike između EI i EO.

Unos energije (EI) definira se kao unos hrane tijekom dana u kcal/dan te se može odrediti iz dnevnika prehrane, biti zadan u protokolu studija ili izračunati uz pomoć podataka o dobi, spolu, visini i tjelesnoj masi uz pomoć neke od jednadžbi za procjenu bazalnog metabolizma (RMR) i množenja s koeficijentima za tjelesnu aktivnost (PA) i termički efekt hrane (DIT) te umanjivanjem za određeni postotak jer ako je  $EI = EO$ , ES je jednak 0 te je osoba u ravnoteži s energijom i neće dolaziti do gubitaka na tjelesnoj masi. Potrošnja energije EO definirana je jednadžbom:

$$EO = DIT + RMR + PA + NEAT \quad [8]$$

gdje su sve veličine su izražene u kcal/danu, te nam jednadžba kaže da je:

ukupna potrošnja energije (EO) jednaka zbroju energije koja se potroši za termički efekt hrane (DIT), bazalni metabolizam (RMR), tjelesnu aktivnost (PA) i termogenezu koja nije povezana s vježbanjem (NEAT).

Da bi lakše pojasnio svaku komponentu ove jednadžbe te jednadžbu u cjelini koristi se primjer Thomas i sur. (2009) modela prikazanog u studiji. Ovaj model kao i Wishnofsky-jevo pravilo zasniva se na nekoliko pretpostavki. Model se odnosi na odrasle osobe koje ne boluju od dijabetesa i ne provode izrazito napornu tjelesnu aktivnost, kalorijski ekvivalent glukoze i razine glikogena je dan konstantom u vremenu G izraženom u kcal koja je procijenjena unutar jednog tjedna te se ne mora mjeriti. Unos hrane u danu može se procijeniti klasičnim metodama te ja izražen u kcal/dan. Nemasna masa je funkcija masne mase zadana preko Forbesova modela (1987) i Hallovog (2007) proširenja tog modela. Također pretpostavili su da sva energija potrošena za tjelesnu aktivnost proizlazi iz nošenja tereta prema Chow-Hall



model modelu. To su sve tjelesne aktivnosti u kojima osoba mora nositi i/ili pomicati svoju tjelesnu masu. Termički efekt hrane definira se kao energija koju tijelo troši prilikom probave, apsorpcije, razgradnje, transporta i pospremanja hrane te iznosi 4 - 15% ukupne energetske potrošnje organizma (Gropper i sur., 2009). Termički efekt hrane ovisi o količini unesene hrane, odnosno ovisi o EI te može varirati ovisno o količini unesenih proteina.

Thomas i sur. (2009) daju jednadžbu termičkog efekta hrane kao:

$$DIT = \beta \cdot EI \quad [9]$$

gdje je:

$\beta$  konstanta proporcionalnosti koja je veća od 1 u slučajevima prejedanja, a manja od 1 za slučajeve energetske restrikcije.

Stoga termički efekt hrane povezuje energetske unos EI i energetske potrošnje EO što ukazuje na još jedan izvor pogreške u Wishnofsky-jevom pravilu. Wishnofsky je pretpostavio da se energetska potrošnja EO neće mijenjati ako se smanji energetske unos EI te će zbog toga EO biti konstantan. No iz ove jednadžbe vidimo da će se potrošnja energije EO smanjiti ako se smanji energetske unos EI što će utjecati na energetske ravnotežu i smanjiti deficit energije. Tjelesna aktivnost je u najširem smislu definira se kao svako voljno pomicanje mišića koje će uzrokovati potrošnju energije. Tjelesna aktivnost doprinosi s 20 - 40% ukupnoj energetske potrošnji te najviše varira od svih komponenti potrošnje energije (Štalić, 2008).

Model pretpostavlja da gotovo sva potrošnja energije proizlazi iz pomicanja vlastite tjelesne mase možemo zaključiti da je potrošnja za tjelesnu aktivnost proporcionalna s tjelesnom masom te se može opisati jednadžbom:

$$PA = m \cdot W \quad [10]$$

gdje je:

$m$  konstanta proporcionalnosti izražena u kcal/kg/dan i

$W$  ukupna promjena u tjelesnoj masi za koju znamo da ovisi o promjenama u masnoj i nemasnoj tjelesnoj masi.

Bazalni metabolizam (RMR) je energija potrebna tijelu za održavanje svih vitalnih funkcija i ima najveći doprinos energetske potrošnji od 65 - 70%. Može se određivati direktnom ili

indirektnom kalorimetrijom ili procijeniti preko neke od jednadžbi poput Harris-Benedictove. Na bazalni metabolizam utječu visina, tjelesna masa, sastav tijela, dob, spol i hormonalni status pojedinca (Šatalić, 2008).

Prilikom izrade modela autori su se koristili Livingston-Kohlstadtovom formulom koja glasi:

$$\text{RMR} = (a_i \cdot W^{p_i} - y_i \cdot A) \quad [11]$$

gdje su:

$a_i$ ,  $p_i$  i  $y_i$  koeficijenti koji ovise o spolu,

$A$  predstavlja dob ispitanika.

Da bi te jednadžba bila kontinuirana funkcija dobi i odražavala da se bazalni metabolizma usporava prilikom gubitka tjelesne mase autori modela su je zapisali kao:

$$\text{RMR} = (1 - a)(a_i W^{p_i} - y_i(A_0 + \frac{t}{365})) \quad [12]$$

gdje:

$A_0$  predstavlja dob osobe kada je  $t=0$  i

$a$  predstavlja postotak metaboličke adaptacije definiran kao  $0 \leq a \leq 1$ .

Kako se tjelesna masa smanjuje i povećava stupanj metaboličkih adaptacija, smanjuje se potrošnja energije za bazalni metabolizam. Ove jednadžbe povezuju ES i EO preko tjelesne mase za koju je već opisano kako se mijenja prilikom negativne energetske ravnoteže, a jednadžbe za sva tri navedena parametra ukazuju nam kako je promjena tjelesne mase dinamička promjena gdje će promjena bilo u ES, EI ili EO uzrokovati promjene u druga dva člana. Zadnji član u jednadžbi za energetske potrošnje EO je NEAT, odnosno termogeneza koja nije povezana s vježbanjem. NEAT obuhvaća svu tjelesnu aktivnost koju osoba nesvjesno provodi poput održavanja položaja tijela, kontrakcija glatkih mišića koji nisu pod utjecajem naše volje i slično. NEAT je teško eksperimentalno izmjeriti (Levine i sur., 1999) stoga autori modela koriste pretpostavku da je promjene u NEAT-u proporcionalna promjeni potrošnji energije te opisan jednadžbom:

$$\Delta \text{NEAT} = r \Delta \text{EO} \quad [13]$$

gdje je:  $r$  konstanta proporcionalnosti

Kada se u ovu jednadžbu uvrsti jednadžba za energetske potrošnje slijedi:

$$\Delta \text{NEAT} = \frac{r}{1-r} (\Delta \text{DIT} + \Delta \text{PA} + \Delta \text{RMR}) \quad [14]$$

Kada se ova jednadžba integrira za vrijeme dobije se:

$$NEAT = \frac{r}{1-r} (DIT + PA + RMR) + C \quad [15]$$

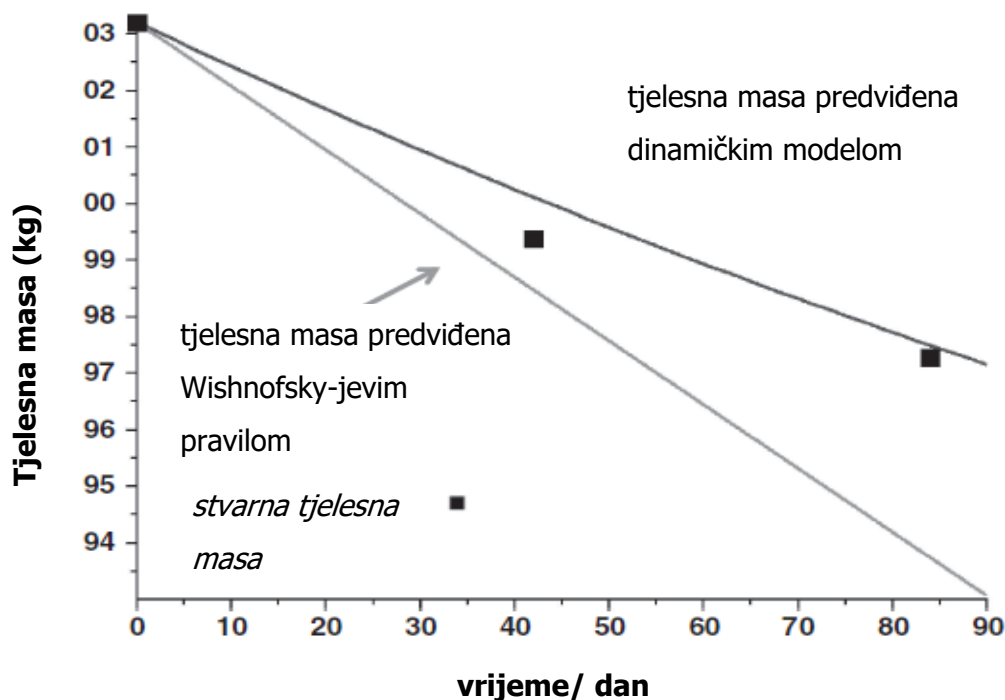
gdje je: C konstanta integracije

Autori modela navode da se može pretpostaviti kako NEAT iznosi 10% EO iz čega se može odrediti koliko iznosi C. Kada se jednadžbe za sve četiri komponente energetske potrošnje uvrste u početnu jednadžbu dobivamo da je energetska potrošnja jednaka:

$$EO = \beta EI + mW + (1 - a) \left( aiW^{pi} - yi \left( A0 + \frac{t}{365} \right) \right) + \frac{r}{1-r} (DIT + PA + RMR) + C \quad [16]$$

### 2.3.1. Razlike dinamičkog i linearnog matematičkog modela gubitka tjelesne mase

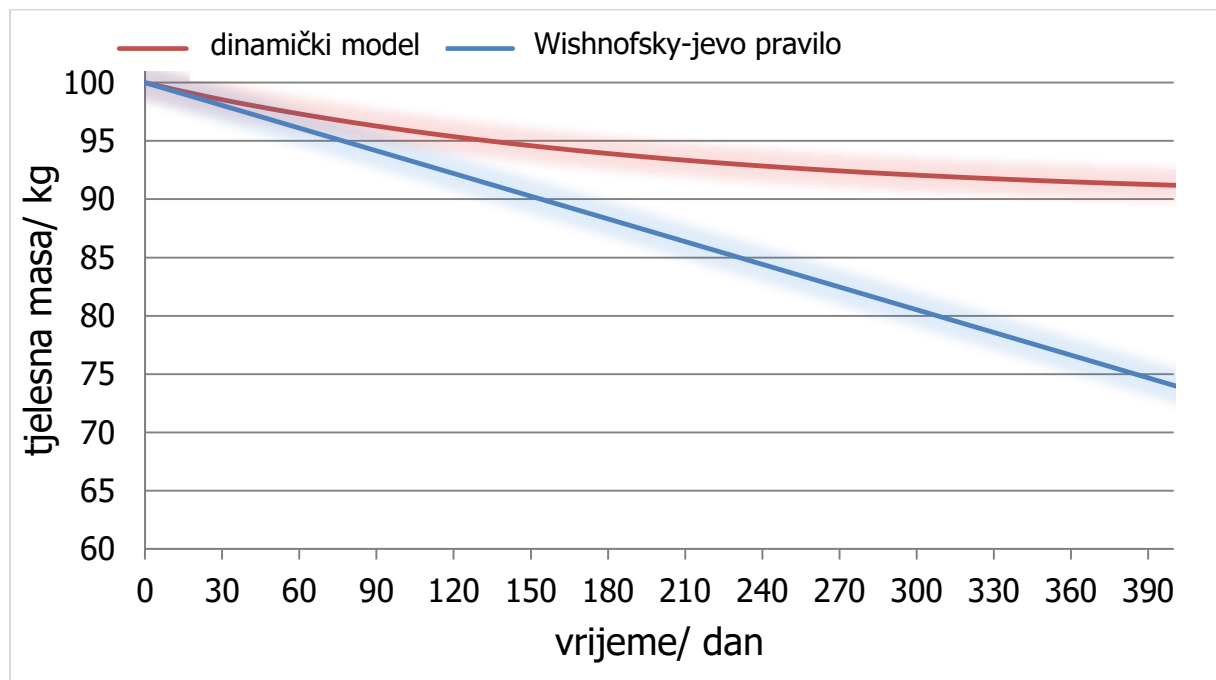
Uz model Thomasa i sur. (2009) korišten kao primjer u ovom radu, razvijeni su i drugi dinamički modeli, poput Hall i sur. modela (2011), no svi pristupaju promjeni tjelesne mase koristeći se sličnim pretpostavkama. Sada kad je pojašnjeno na koji način današnji modeli predviđaju promjenu u tjelesnoj masi možemo usporediti Wishnofsky-jevo pravilo i jedan od dinamičkih modela na podatke dobivene iz CALERIE studija. Na slici 4. prikazana je primjena Wishnofsky-jevog pravila i Thomas i sur. modela (2009) na primjeru muške osobe s tjelesnom masom od 103 kg s kalorijskim deficitom od 867 kcal/dan koja se pridržavala planirane dijeta (prehrane potrebne za redukciju tjelesne mase).



**Slika 4.** Prikaz predviđanja promjene tjelesne mase preko Wishnofsky-jevog pravila i Thomas i sur. dinamičkog modela na primjeru muške osobe tjelesne mase 103 kg iz CALERIE studije. Osoba je bila u energetske deficitu od 867 kcal/dan te se pridržavala dijete. (Thomas i sur., 2103)

Iako se iz slike 4 može vidjeti da niti jedan model ne predviđa savršeno točno stvarne ispitanikove gubitke na tjelesnoj masi dinamički model daje predviđanja koja su bliže stvarnim gubitcima, dok Wishnofsky-jevo pravilo predviđa veće gubitke od stvarnih. Također kod dinamičkog modela možemo uočiti blagu zakrivljenost krivulje koja proizlazi iz odnosa između masne i nemasne tjelesne mase. Ako dinamički model primijenimo (za primjenu korišten je besplatan alata preuzet sa stranice PBRC, 2019) na osobi iz primjera s početka rada dobivamo sličan rezultat ovome. Simulaciju na primjeru s početka rada možemo vidjeti na slici 5.

Za razliku od Wishnofsky-jevog pravila (plavi pravac) koje predviđa gubitak od 5 kg tjelesne mase do 77. dana, dinamički model (crveni pravac) predviđa da je za taj gubitak potrebno 134 dana. Dinamički model predviđa da bi na kraju razdoblja od 365 dana osoba iz primjera trebala imati 91,45 kg, dok Wishnofsky-jevo pravilo predviđa da će konačna tjelesna masa biti 76,3 kg. Razlika u predviđanju konačne tjelesne mase nakon 365 dana između ova dva modela iznosi 15,15 kg što je velika razlika. Pogotovo kad uzmemo u obzir da osobe koje žele smršaviti žele vidjeti rezultate u što kraćem vremenu.



**Slika 5.** Predviđanje promjene tjelesna mase na primjeru muške osobe visoke 175 cm, tjelesne mase 100 kg, koja je u negativnoj energetske ravnoteži od 500 kcal u trajanju od

365 dana. Plavi pravac prikazuje predviđanje izračunato preko Wishnofsky-jevog pravila dok crveni pravac prikazuje predviđanje dinamičkog modela (PBRC, 2019)

Primjenom Wishnofsky-jevog pravila za predviđanje gubitka tjelesne mase ljudima možemo dati pogrešnu procjenu konačnog rezultata koja bi mogla dio njih obeshrabriti u pokušaju da smanje tjelesnu masu jer ne mogu postići taj rezultat u predviđenom vremenu. Kada bi ljudima bila dana procjena gubitka tjelesne mase izračunata preko dinamičkog modela imali bi realniju procjenu, pošto su dinamički modeli validirani na temelju CALERIE studija koje se bave proučavanjem promjena na tjelesnoj masi kroz duži vremenski period te nam daju uvid u promjene tjelesne mase.

Dinamički model također predviđa usporavanje u promjeni tjelesne mase zbog metaboličkih adaptacija koje se događaju prilikom gubitka tjelesne mase (smanjenje potrošnje energije za DIT, RMR, PA i NEAT) te predviđa da će nakon nekog vremena tjelesna masa postati konstantna dok Wishnofsky-jevo pravilo to ne pokazuje. Prema dinamičkom modelu stabilna tjelesna masa za ovaj primjer postiže se za 2,7 godina (točnije 1000 dana) i iznosi 90 kg (za postizanje ove tjelesne mase Wishnofsky-jevo pravilo predviđa 154 dana).

Stabilna tjelesna masa postiže se kada se količina unesene energije (EI) izjednači s količinom potrošene energije (EO), zbog čega ES postaje jednak 0 te se osoba nalazi u stanju energetske ravnoteže i ne dolazi do daljnjih promjena tjelesne mase. To je obuhvaćeno u dinamičkom modelu koji počiva na jednadžbi [2], no ne i u Wishnofsky-jevom pravilu koje predviđa kontinuirani gubitak tjelesne mase dokle god je osoba u energetske deficitu ( $ES < 0$ , kada je  $EI < EO$ ) te gubitak prestaje tek kada osoba odluči prekinuti s provođenjem redukcijskog plana prehrane, jer Wishnofsky smatra da je energetska potrošnja konstantna.

Kada osoba postigne stabilnu tjelesnu masu za daljnju promjenu tjelesne mase potrebno je uvesti novu restrikciju koristeći se dobivenom masom kao početnom. Isto tako analiza podataka iz CALERIE studije pokazuje kako tijekom prve faze gubitka tjelesne mase (tijekom prva 4 tjedna) energija potrebna za promjenu tjelesne mase iznosi  $4858 \pm 388$  kcal/kg što je manje od Wishnofsky-jevog predviđanja od 7700 kcal/kg (Thomas i sur., 2014).

Tijekom druge faze potrebna energija približava se vrijednosti koju predviđa Wishnofsky, no i dalje ostaje manja od nje i iznosi  $6569 \pm 272$  kcal/kg. Ovo također ukazuje na još jednu pogrešku u Wishnofsky-jevom pravilu koje kaže da je energija potrebna za promjenu tjelesne mase konstantna te se ne mijenja tijekom trajanja procesa što možemo vidjeti da nije točno. Sve prikazano pokazuje nam da je primjena Wishnofsky-jevog pravila nepouzdana te ga se

ne bi trebalo primjenjivati jer postoje bolji modeli. No, ono se i dalje primjenjuje vjerojatno zbog jednostavnosti izračuna. Naime zbog svoje jednostavnosti predviđanje Wishnofskyjevog pravila može izračunati svatko tko zna kako ono glasi bez uporabe računala i primjenom osnovnog znanja matematike, dok bi takav pristup za dinamički model zahtijevao puno više vremena i poznavanje rada sa složenijim matematičkim operacijama. Taj problem može se riješiti uporabom računalne tehnologije u obliku izrade aplikacija, bilo za računala ili pametne telefone, koje bi davale predviđanja dinamičkih modela s obzirom na početne antropometrijske podatke te omogućile korisnicima da prate postignute rezultate i uspoređuju ih s predviđanjem dinamičkih modela.

Također, kada bi bilo omogućeno da aplikacije šalju podatke autorima modela, oni bi mogli poboljšavati modele da što vjernije predviđaju promjene u tjelesnoj masi. Treba imati u vidu da ni dinamički modeli, iako daju točnija predviđanja, ne mogu savršeno točno predvidjeti promjenu tjelesne mase te će postojati određeno odstupanje od stvarnih vrijednosti. Jedan razlog zašto dolazi do odstupanja je to što modeli za validaciju koriste eksperimentalne podatke dobivene mjerenjem te oni sadrže određenu razinu pogreške koja se onda provlači kroz model. Nadalje, svaki model je postavljen na određenim pretpostavkama i uvjetima za koje vrijedi, na primjer model Thomas i sur. (2009) kao jedan od uvjeta postavlja da osoba nije dijabetičar te bi predviđanje dano ovim modelom za osobu koja je dijabetičar imalo veći stupanj pogreške jer model nije predviđen za takvu upotrebu.

Ovaj problem može se otkloniti daljnjim istraživanjima na ovu temu kako bi dobili podatke kako različita stanja i bolesti utječu na promjenu tjelesne mase. Iz ovih podataka mogli bi se unaprijediti postojeći modeli te razviti novi modeli koji bi davala točnije procjene. No, čak i kad bi smanjili utjecaj navedenih izvora pogreške modeli i dalje ne bi bili savršeno točni jer uvijek postoji biološka varijacija između pojedinaca koja ne može biti obuhvaćena modelima jer se u izradi modela koriste srednje vrijednosti određene populacije kako bi model bio prikladan za tu populacijsku skupinu.

### 3. Zaključak

Kada se razmotri sve napisano tijekom ovog rada uviđa se da je Wishnofsky-jevo pravilo, iako jednostavno za uporabu s brzim dobivanjem rezultata, nepouzđano u procjeni gubitka tjelesne mase prilikom kalorijske restrikcije.

- Pogreška predviđanja Wishnofsky-jevog pravila povećava se s duljinom trajanja kalorijske restrikcije, a pojavljuje se zato što je Wishnofsky definirao promjenu tjelesne mase kao konstantni i kontinuirani proces dok je god osoba u negativnoj energetskej ravnoteži, a konstanta te promjene iznosi 7700 kcal/kg i temelji se na kemijskoj analizi sastava adipoznog tkiva.
- Zbog toga što Wishnofsky predviđa konstantnu promjenu tjelesne mase u vremenu, ovisnu samo o količini energetskeg deficita, njegovo pravilo poprima oblik linearnog pravca. No, također, valja imati na umu da je Wishnofsky izradio svoj model 1958. godine na temelju tada dostupnih znanja i studija.
- Količina znanja o gubitku tjelesne mase i energetskej ravnoteži značajno se proširila kroz 50 godina koliko je prošlo od kada je Wishnofsky postavio svoj model te je za očekivati da postoje pogreške u modelu.

Koristeći se današnjim znanjima iz fiziologije i biokemije vezanim za ponašanje ljudskog tijela kada se nalazi u stanju djelomične ili potpune kalorijske restrikcije (post), podacima dobivenim u CALERIE studijama i primjenom prvog zakona termodinamike na princip energetske ravnoteže izrađuju se današnji dinamički modeli promjene tjelesne mase.

Ovi modeli pristupaj problemu preko jednadžbe  $ES = EI - EO$  gdje su sva tri parametra jednadžbe međusobno povezana te promjena jednoga utječe na promjenu druga dva.

Također, današnji modeli objedinjuju nekoliko različitih modela koji opisuju različite promjene i odnose u ljudskom tijelu.

Dinamički modeli pokazuju nam kako promjena tjelesne mase nije linearan već logaritamski proces te da ako kalorijska restrikcija tijekom vremena ostaje konstantna dolazi do usporavanja i zaustavljanja procesa gubitka tjelesne mase. Danas je poznato da se promjena tjelesne mase odvija kroz nekoliko faza te da u svakoj fazi dolazi do promjena u sastavu tijela jer se druga komponenta tijela koristi za nadoknadu energije.

- U prvoj fazi su to glikogen i proteini dok u drugoj fazi to postaje adipozno tkivo. Također, analizom podataka iz CALERIE studija znamo da gubitak na tjelesnoj masi nije konstantan u vremenu kako ga opisuje Wishnofsky nego da su u prvoj fazi promjene gubitci brži, a potrebna energija iznosi puno manje nego što je Wishnofsky predvidio zato što većina gubitaka ne proizlazi iz masnog tkiva već iz glikogena i proteina uz gubitak za njih vezane tekućine.
- U drugoj fazi gubitci na tjelesnoj masi su sporiji te se kao izvor rezervne energije koristi uglavnom masno tkivo. Zbog toga potrebna energija se približava Wishnofskyjevim predviđanju, ali i dalje ostaje manja od njega. No bez obzira na sve navedene nedostatke i pogreške u predviđanju, Wishnofskyjevo pravilo se i dalje primjenjuje za procjenu gubitaka tjelesne mase. Jedan od razloga ove pojave je vjerojatno jednostavnost izračuna predviđanja preko njega.

Dinamički modeli iako daju točnije procjene gubitka tjelesne mase puno su složeniji od Wishnofskyjevog pravila te zahtijevaju poznavanje složenijih matematičkih operacija. No ovo bi se moglo zaobići uporabom današnje računalne tehnologije te izrade aplikacija koje bi koristile dinamičke modele za procjenu gubitaka tjelesne mase, poput alata preuzetog s internet stranica Pennington biomedicinskog istraživačkog centara.

- Treba biti oprezan s dobivenim rezultatima procjena bilo kojeg modela jer svaki model sadrži određenu razinu pogreške koja može proizlaziti iz pretpostavki i uvjeta koji su korišteni prilikom izrade modela.

Prilikom validacije modela preko eksperimentalnih podataka, koji sami po sebi sadrže određenu razinu pogreške, pogreška mjerenja se unosi u model. Na kraju ne smijemo zaboraviti da modeli da bi opisali promjene u određenoj populaciji koriste se srednjim vrijednostima te populacije te ne opisuju biološku varijaciju između pojedinaca te populacije.



Bez obzira na sve to Wishnofsky-jevo pravilo je nastalo u 50-im godinama prošloga stoljeća na tadašnjim nepotpunim saznanjima temeljnim na kratkoročnim studijama i kemijskim analizama. Od kada je formulirano pa do danas znanje o gubitku tjelesne mase se višestruko povećalo te su napravljeni modeli koji puno bolje opisuju promjene koje se događaju u stvarnosti prilikom gubitka tjelesne mase i daju preciznija predviđanja promjene tjelesne mase uz određene pretpostavke i uvijete. Iako dinamički modeli mogu i trebaju zamijeniti Wishnofsky-jevo pravilo, ono se još uvijek koristi zbog svoje jednostavnosti dajući ljudima nerealna predviđanja o gubitku tjelesne mase u određenom vremenu. Pošto nam dinamički modeli daju i više nego adekvatnu zamjenu za Wishnofsky-jevo pravilo, uz pomoć računalne tehnologije i izradu odgovarajućih aplikacija njihova uporaba bi se trebala proširiti te omogućiti Wishnofsky-jevom pravilu da "ode u mirovinu".

#### 4. Popis literature

Acheson K. J., Schutz Y., Bessard T., Anantharaman K., Flatt J. P., Jéquier E. (1988) Glycogen storage capacity and de novo lipogenesis during massive carbohydrate overfeeding in man. *The American Journal of Clinical Nutrition* **48**: 240 – 247.

Bozenraad O. (1911) Ueber den Wassergehalt des menschlichen Fettgewebes unter verschiedenen Bedingungen. *Deutsches Archiv für klinische Medizin*. **103**:120 – 123.

Chow C. C., Hall K. D. (2008) The dynamics of human weight change. *PLOS Computational Biology*. 4:e1000045.

CALERIE (2019) Comprehensive Assessment of Long-term Effects of Reducing Intake of Energy, < <https://calerie.duke.edu/> >, Pristupljeno 27. kolovoza 2019.

Durrant M.L., Garrow J.S., Royston P., Stalley S.F., Sunkin S., Warwick P.M. (1980). Factors influencing the composition of the weight lost by obese patients on a reducing diet. *The British journal of nutrition*. **44**: 275 - 85.

Forbes G. B., Drenick E. J. (1979) Loss of body nitrogen on fasting, *The American Journal of Clinical Nutrition* **32**: 1570 – 1574.

Forbes G. B. (1987) Lean body mass-body fat interrelationships in humans. *Nutrition Reviews* **45**: 225 – 231.

Gallagher D., Heymsfield S. B. (1994) Obesity is bad for the heart, but is weight loss always good? *Obesity Research* **2**: 160 – 163.

Gropper S., Smith J. L., Groff J. L., (2009), *Advanced nutrition and human metabolism*, 5. izd., Australia Wadsworth/Cengage Learning

Hall K. D. (2007) Body fat and fat-free mass interrelationships: Forbes Theory revisited. *British Journal of Nutrition* **97**: 1059 – 1063.

Hall K. D., Sacks G., Chandramohan D., Chow C. C., Wang Y. C., Gortmaker S. L., Swinburn B. A. (2011) Quantification of the effect of energy imbalance on bodyweight. *Lancet* **378**: 826 –837.

Heilbronn L. K., de Jonge L., Frisard M. I., DeLany J. P., Larson-Meyer D. E., Rood J., Nguyen T., Martin C., Volaufova J., Most M., Greenway F., Smith S., Deutsch W., Williamson D., Ravussin E. (2006) Effect of 6-month calorie restriction on biomarkers of longevity, metabolic adaptation, and oxidative stress in overweight individuals: a randomized controlled trial. *The Journal of the American Medical Association* **295**: 1539 – 1548.

Heymsfield S. B., Wang Z., Baumgartner R. N., Ross R. (1997) Human body composition: advances in models and methods. *Annual Review of Nutrition* **17**: 527 – 558.

Heymsfield S. B., Harp J. B., Reitman M. L. (2007) Why do obese patients not lose more weight when treated with low calorie diets? A mechanistic perspective. *The American Journal of Clinical Nutrition* **85**: 346 – 54.

Heymsfield S. B., Thomas D. M., Nguyen A. M., Peng J. Z., Martin C., Shen W., Strauss B., Bosy-Westphal A., Müller M. J. (2011) Voluntary weight loss: systematic review of early phase body composition changes. *Obesity Research* **12**: e348 – 61.

Heymsfield S. B., Thomas D., Martin C. K., Redman L. M., Strauss B., Bosy-Westphal A., Müller M. J., Shen W., Nguyen A. M. (2012) Energy content of weight loss: kinetic features during voluntary caloric restriction. *Metabolism* **61**: 937 - 43.

Levine J. A., Eberhardt N. L., Jensen M. D. (1999) Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans. *Science* **283**: R212 – 214.

Livingston E., Kohlstadt I. (2005) Simplified resting metabolic rate-predicting formulas for normal-sized and obese individuals. *Obesity Research* **13**: 1255 – 1262.

Pennington biomedicinski istraživački centar, Alat za simulaciju promjene tjelesne mase, <<http://www.pbrc.edu/sswcp>> Pristupljeno 26. lipnja 2019.

Redman L. M., Heilbronn L. K., Martin C. K., de Jonge L., Williamson D. A., Delany J., Ravussin E. (2009) Metabolic and Behavioral Compensations in Response to Caloric Restriction: Implications for the Maintenance of Weight Loss. *PLOS ONE* **4**: e4377.

Redman L. M., Heilbronn L. K., Martin C. K., Alfonso A., Smith S. R., Ravussin E. (2007). Effect of Calorie Restriction with or without Exercise on Body Composition and Fat Distribution. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* **92**: 865 - 72.

Ravussin E., Redman L. M., Rochon J., Das S. K., Fontana L., Kraus W. E., Romashkan S., Williamson D. A., Meydani S. N., Villareal D. T., Smith S. R., Stein R. I., Scott T. M., Stewart

T. M., Saltzman E., Klein S., Bhapkar M., Martin C. K., Gilhooly C. H., Holloszy J. O., Hadley E. C., Roberts S. B.; CALERIE Study Group. (2015) A 2-Year Randomized Controlled Trial of Human Caloric Restriction: Feasibility and Effects on Predictors of Health Span and Longevity. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences* **70**: 1097 - 104.

Strang J. M., Evans F. A. (1928) The energy exchange in obesity. *Journal of Clinical Investigation*, **6**: 277.

Strang J.M., McCluggage H.B., Evans F.A. (1930) Further studies in the dietary correction of obesity. *The American Journal of the Medical Sciences* **179**: 687 – 693.

Šatalić Z. (2008) Energetske i nutritivne potrebe. *Medicus* **17**: 5 - 17.

Thomas D. M., Ciesla A., Levine J. A., Stevens J. G., Martin C. K. (2009) A mathematical model of weight change with adaptation. *Mathematical Biosciences and Engineering* **6**: 873 - 887.

Thomas D. M., Martin C. K., Lettieri S., Bredlau C., Kaiser K., Church T., Bouchard C., Heymsfield S. B. (2013) Can a Weight Loss of One Pound a Week be Achieved With a 3,500 kcal Deficit? Commentary on a Commonly Accepted Rule. *International journal of obesity* **37**: 10.1038/ijo.2013.51.

Thomas, D. M., Gonzalez, M. C., Pereira, A. Z., Redman, L. M., Heymsfield, S. B. (2014). Time to correctly predict the amount of weight loss with dieting. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, **114**: 857 – 861.

Wishnofsky M. (1958) Caloric equivalents of gained or lost weight. *The American Journal of Clinical Nutrition* **6**: 542 -546.

WHO (2016) Global Health Observatory (GHO) data. WHO - World Health Organization <[https://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/overweight/en/](https://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight/en/)> Pristupljeno 27. kolovoza 2019.

WHO (2016a) Global Health Observatory (GHO) data. WHO - World Health Organization <[https://www.who.int/gho/ncd/risk\\_factors/overweight\\_obesity/obesity\\_adults/en/](https://www.who.int/gho/ncd/risk_factors/overweight_obesity/obesity_adults/en/)> Pristupljeno 27. kolovoza 2019.

Wynn V., Abraham R. R., Densem J. W. (1985) Method for estimating rate of fat loss during treatment of obesity by calorie restriction. *Lancet* **2**: 482–486.

## Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

Nibola Vukadinović

ime i prezime studenta