

Računalno planiranje jelovnika za osobu s hipotireozom uzrokovanom Hashimoto tireoiditisom

Ćosić, Sara

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:159:559232>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-02**



Repository / Repozitorij:

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



**Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišni prijediplomski studij Nutricionizam**

Sara Ćosić
0053219682

**RAČUNALNO PLANIRANJE JELOVNIKA ZA OSOBU S HIPOTIREOZOM
UZROKOVANOM HASHIMOTO TIREOIDITISOM**

ZAVRŠNI RAD

Predmet: Modeliranje i optimiranje u nutricionizmu

Mentor: prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

Zagreb, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Završni rad

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno-biotehnološki fakultet
Sveučilišni prijediplomski studij Nutricionizam

Zavod za procesno inženjerstvo
Laboratorij za mjerenje, regulaciju i automatizaciju

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Nutricionizam

Računalno planiranje jelovnika za osobu s hipotireozom uzrokovanom Hashimoto tireoiditi-
som

Sara Ćosić, 0053219682

Sažetak:

Hashimoto tireoiditis (HT) je autoimuna bolest koja dovodi do nepravilnog izlučivanja hormona štitne žlijezde te se smatra vodećim uzrokom hipotireoze u razvijenim državama. Cilj ovoga rada bio je optimiranje dnevnog unosa prema postojećih pet jelovnika, prilagođenih oboljelima od HT-a. Izračun energije i nutrijenata koji imaju utjecaja na funkciju štitne žlijezde (jod, selen, željezo, cink i vitamin D) proveden je korištenjem Danske baze podataka o kemijskom sastavu namirnica. U optimiranju je korišten program LINDO program, a kao funkcija cilja postavljen je maksimalan unos joda, dok su sadržaj nutrijenata i energija pojedinih jela ograničenja modela. Optimalnu ponudu predstavljala su četiri obroka s energetske vrijednosti od 1849 kcal (preporuka: 1878 kcal) te 187,8 µg joda (preporuka: 150 µg/dan). Danska baza podataka kemijskog sastava hrane pokazala se kvalitetnim izvorom informacija prilikom kreiranja jelovnika za oboljele od HT-a zbog posjedovanja informacija o sadržaju joda u namirnicama, što nije slučaj u drugim, često korištenim bazama kemijskog sastava hrane, kao npr. USDA tablice.

Ključne riječi: hipotireoza, Hashimoto tireoiditis, linearno optimiranje, optimiranje

Rad sadrži: 27 stranica, 6 slika, 7 tablica, 36 literaturnih navoda, 1 prilog

Jezik izvornika: hrvatski

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

Mentor: prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

Datum obrane: 10. rujna, 2024.

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 Automatisation

Scientific area: Biotechnical Sciences
Scientific field: Nutrition

Computerized menu planning for a person with hypothyroidism caused by Hashimoto thyroiditis

Sara Ćosić, 0053219682

Abstract: Hashimoto thyroiditis (HT) is an autoimmune disease that disrupts thyroid hormone secretion and is the leading cause of hypothyroidism in developed countries. This study aimed to optimize the daily dietary intake for patients with HT, based on five existing menus. Energy and nutrient calculations, focusing on thyroid-related nutrients (iodine, selenium, iron, zinc, and vitamin D), were performed using the Danish food composition database. The LINDO program was employed for optimization, with maximum iodine intake set as the objective function, while nutrient content and energy values of individual dishes served as constraints. The optimal diet consisted of four meals with an energy value of 1,849 kcal (recommended: 1,878 kcal) and an iodine intake of 187.8 μg (recommended: 150 $\mu\text{g}/\text{day}$). The Danish food composition database proved to be a valuable resource for menu planning for HT patients, particularly due to its comprehensive information on iodine content, which is often lacking in other widely used food composition databases, such as the USDA tables.

Keywords: hypothyroidism, Hashimoto thyroiditis, linear optimization, optimization

Thesis contains: 27 pages, 6 figures, 7 tables, 36 references, 1 supplement

Original in: Croatian

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

Mentor: Jasenka Gajdoš Kljusurić, PhD, Full Professor

Thesis defended: September 10, 2024

Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	TEORIJSKI DIO	2
2.1.	DIJETOTERAPIJA.....	2
2.2.	HASHIMOTO TIREODITIS I ŠTITNA ŽLIJEZDA.....	2
2.2.1.	SIMPTOMI	3
2.2.2.	ČIMBENICI RAZVOJA BOLESTI.....	4
2.2.3.	EPIDEMIOLOGIJA BOLESTI	5
2.3.	PREHRANA KOD HASHIMOTO TIREOIDITISA.....	5
2.4.	RAČUNALNO PLANIRANJE JELOVNIKA	10
3.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	11
3.1.	MATERIJALI.....	11
3.1.1.	ULAZNI PODATCI ZA OPTIMIRANJE JELOVNIKA.....	11
3.1.2.	PLAN PREHRANE S OBZIROM NA ENERGETSKE I NUTRITIVNE POTREBE POJEDINCA	11
3.2.	METODE	12
3.2.1.	IZRAČUN ENERGIJE I NUTRITIVNOG SASTAVA JELA.....	12
3.2.2.	LINDO PROGRAM	12
4.	REZULTATI I RASPRAVA.....	14
4.1.	ANALIZA JELOVNIKA.....	14
4.2.	KREIRANJE OPTIMALNE PONUDE POMOĆU LINDO PROGRAMA.....	17
4.3.	USPOREDBA DANSKE I USDA BAZE PODATAKA.....	21
5.	ZAKLJUČCI.....	24
6.	POPIS LITERATURE	25
7.	PRILOG	1

1. UVOD

Način na koji ljudi doživljavaju i percipiraju hranu mijenjao se kroz evoluciju ljudskog društva i kulture kroz povijest, različito kroz razdoblja i razne dijelove svijeta. Duga povijest hrane i razvoj znanosti, te razumijevanja ljudskog tijela i komponenti hrane doveli su do toga da danas pojam hrane nije povezan samo s osnovnom potrebom za preživljavanje, nego predstavlja puno više od toga, te je danas pojam hrane jedan od sastavnih komponenta mnogih znanosti, a prvenstveno nutricionizma.

Pojam hrane danas je definiran zakonom, jedan je od ključnih pojmova kada govorimo o održavanju zdravlja ljudskog organizma, ali je hrana bitan aspekt i u drugim područjima poput ekonomije i gospodarstva. U Republici Hrvatskoj pojam hrane je definiran prema Zakonu o hrani koji navodi „ *Hrana je svaka tvar ili proizvod prerađen, djelomično prerađen ili neprerađen, a namijenjen je konzumaciji ili se može očekivati da će ga ljudi konzumirati.*“ (NN 117/03).

„*Neka hrana bude tvoj lijek, a lijek tvoja hrana*“ je misao Hipokrata, oca medicine (460.-370. godina prije Krista), koja nam ukazuje da je hrana u to doba predstavljala lijek, nasuprot tome u današnje vrijeme poznato je da hrana nije lijek, ali može imati ljekovito djelovanje (Živković, 2000). Dijetoterapija je složenica grčkih riječi *diaite* i *therapia* što u prijevodu znači dijetalno liječenje, ona se prilagođava individualnim potrebama pacijenta sa ciljem poboljšanja kvalitete života, očuvanja i unapređenja zdravlja. Pojam dijetete se danas koristi često i označuje poseban način prehrane osobito bolesnika, ali u današnje vrijeme sve češće i zdravih pojedinaca, a temelji se na probiru određenih namirnica te na restrikciji i izbjegavanju drugih namirnica. Dijetoterapija objedinjuje znanja o odabiru prehrambenih obrazaca i same hrane koji osiguravaju prevenciju bolesti i potporu ukoliko je bolest prisutna u njenom liječenju (Vranešić Bender i sur., 2023). Kako dijetoterapija uključuje optimiranje energetske-nutritivnog unosa prilagođenog potrebama krajnjeg korisnika, primjena računalnog planiranja je u sve većoj primjeni. Računalno planiranje jelovnika omogućava optimizaciju energetske-nutritivnog unosa prema preporukama, a nije ograničen promatranom količinom informacija o kemijskom sastavu hrane koju je preporučeno konzumirati i slično.

Stoga je cilj ovog rada optimiranje dnevne ponude korištenjem petodnevnih, postojećih jelovnika, za osobu s hipotireozom uzrokovanom Hashimoto tireoditisom. Za linearno optimiranje korišten je program LINDO.

2. TEORIJSKI DIO

Kako bi se uspješno provelo računalno planiranje jelovnika za krajnjeg korisnika s određenim tegobama, dijagnozama i/ili preferencijama, nužno je detaljno proučiti preporuke i upoznati se s problematikom.

2.1. DIJETOTERAPIJA

Dijetoterapija stavlja naglasak na promjeni prehrambenih navika koja se prilagođava konzumiranjem točno određenih jela i konkretne hrane, ali i izbjegavanjem hrane i jela koji mogu dodatno pogoršati bolest i simptome koji dolaze s njom. Dakako, hrana i jela koja se preporučaju i ona koja se preporučuju izbjegavati razlikuju se od bolesti do bolesti, te hrana koja kod neke bolesti može imati ljekovito djelovanje, kod neke bolesti je upravo ona koju se preporuča izbjegavati. Iako se dijetete najčešće propisujemo osobama s pojedinim zdravstvenim poteškoćama, dijetete se danas nerijetko propisuju i zdravim pojedincima. Dijetoterapija može biti općenita koja se može primijeniti na skupinu bolesnika s istom ili sličnom dijagnozom, iako su te dijetete lako primjenjive i česte pogotovo u bolnicama prilikom hospitalizacije, u svakom trenutku moguća je prilagodba dijetete bolesniku prema njegovim potrebama. Individualizirani pristup uvijek je poželjniji i puno uspješniji kod bolesnika koji nisu u bolnici hospitalizirani, uz same dijetetičke usluge, kod ovakvog pristupa potrebna je edukacija bolesnika (Vranešić Bender i sur., 2023).

2.2. HASHIMOTO TIREODITIS I ŠTITNA ŽLIJEZDA

Hashimoto tireoiditis (HT), također poznat kao kronični limfocitni tireoiditis ili autoimuni tireoiditis (AIT), kronična je upala štitnjače s nepotpuno definiranom etiopatogenezi. Danas se smatra da je HT najčešća autoimuna bolest i endokrini poremećaj, kao i vodeći uzrok hipotireoze u razvijenim državama i državama u kojim stanovnici imaju dovoljan unos joda, dok je općenito diljem svijeta glavni uzročnik hipotireoze upravo nedovoljan unos joda (Mikulska i sur., 2022). Predispozicija za razvoj autoimune bolesti štitnjače, konkretno HT, stoji u mehanizmu koji prethodi, samom gubitku imunološke tolerancije na stvorene autoantigene. U skorije vrijeme zabilježena je povećana prevalencija oboljelih od Hashimoto tireoiditis-a što implicira da postoji širok raspon čimbenika koji doprinose patogenezi i samoj incidenciji ove bolesti (Ajjan i Weetman, 2015). Dijagnoza HT-a se postavlja pomoću biokemijskih parametara odnosno testiranjem na prisutnost tireoidnih autoantitijela i ultrazvuka štitnjače, hipoehogena nehomogena struktura štitne žlijezde na ultrazvučnoj slici, uz karakteristične kliničke osobine (Mikulska i sur., 2022). HT je autoimuna bolest okarakterizirana oštećenjem tkiva štitne žlijezde zbog infiltracije limfocita i pojave antitijela na proteine potrebne za

stvaranje hormona štitnjače, tiroksin (T4) i trijodtrionin (T3). Najčešće oboljeli od HT razvijaju antitijela na antigen štitnjače, tireoidna peroksidaza (TPOAb), ali u nerijetkim slučajevima osobe stvaraju antitijela na tireoglobulin (TgAb) i antitijela za blokiranje TSH receptora (TBII) (Mincer i Jialal, 2023). Antitijela na tireoidnu peroksidazu (TPOAb) u današnje vrijeme utvrđeni su kao najboljim biokemijski markeri za utvrđivanje HT-a, pošto su pozitivna antitijela na TPOAb kod oko 95 % oboljelih od HT, a kod zdravih pojedinaca izuzetno su rijetka, što ih čini kvalitetnim parametrom za dijagnosticiranje ove bolesti. Kada je riječ o antitijelima na tireoglobulin (TgAb), najzastupljeniji protein štitne žlijezde, njihova karakteristika je da su manje osjetljiva u usporedbi s antitijelima na tireoidnu peroksidazu (TPOAb) i prilikom testiranja pozitivna su kod samo 60-80 % pacijenata sa HT. Uz manju osjetljivost, antitijela na tireoglobulin (TgAb) su manje specifična u usporedbi s antitijelima na tireoidnu peroksidazu, odnosno prisutni su kod većeg postotka zdravih osoba bez poremećaja rada štitne žlijezde (Caturegli i sur., 2014). U istraživanju provedenom na 145 oboljenih sa novodijagnosticiranom hipotireozom, konstatirana je značajna ($p < 0.001$) i pozitivna korelacija između antitijela na tireoglobulin i tireoidnu peroksidazu, ali sa niskim koeficijentom determinacije od 0,11, što ukazuje da ova dva tireoidna antitijela slabo koreliraju (Carlé i sur., 2006). Ovi podaci impliciraju da antitijela na tireoglobulin i tireoidnu peroksidazu predstavljaju dva različita aspekta autoimunog odgovora na tkivo štitne žlijezde, pa tako i na izlučivanje hormona koje proizvodi štitna žlijezda. Antijela na tireoglobulin (TgAb) bi mogla biti odraz urođenog tipa imunološkog odgovora, dok bi antitijela na tireoidnu peroksidazu (TPOAb) mogla biti karakteristika kasnijeg napredovalog imunološkog odgovora. Autoimune bolesti kod ljudi teško je rano dijagnosticirati, odnosno rijetko se uoče u ranijim stadijima bolesti, pa tako i HT, kod većine oboljelih klinička dijagnoza uspostavlja se tek nakon prisutnosti bolesti najmanje 7 godina. Shodno tome, kod ljudi se očekuje da prilikom dijagnostike HT antitijela na tireoidnu peroksidazu (TPOAb) budu prisutna kod velikog broja oboljelih i u višim nivou antitijela, nego antitijela na tireoglobulin, a može se zaključiti da je to točno pošto je tako i prijavljeno u većini slučajeva (Caturegli i sur., 2014). Kao već spomenuto, Hashimoto tireoiditis se može dijagnosticirati na osnovi više parametara, već spomenutog prisustva tireoidnih antitijela koji utječu na proizvodnju hormona štitne žlijezde (TPOAb i TgAb) i infiltracijom limfocita u tkivo štitne žlijezde što je uočljivo na ultrazvuku. Također, postoje i ostali dijagnostički markeri koji upućuju na hipotireozu, a to su povišeni krvne testove za TSH (tireoidni stimulirajući hormon) i snižena koncentracija slobodnog T4 (tiroksin) (Osowiecka i Myszkowska-Ryciak, 2023).

2.2.1. Simptomi

Štitna žlijezda izlučivanjem svojih hormona sudjeluje u brojnim i složenim metabolizmima

organskih sustava u tijelu, stoga su simptomi uzrokovani stanjem HT-a mnogobrojni i često se razlikuju među oboljelima. U inicijalnom stadiju bolesti oboljeli mogu imati simptome hipertireoze, ali kada uništenje tkiva štitne žlijezde, uzrokovano antitijelima, dosegne određeni stadij oboljeli u većini slučajeva imaju simptome hipotireoze koji su nestalno i promjenjivi te mogu zahvatiti gotovo sve organske sustave. Miksedem je kožna stanje povezano s hipotireozom, a karakterizira ga povećano taloženje glikozaminoglikana, ljuskava i suha koža pogotovo na dlanovima i stopalima, no ovo stanje je rijetko i pojavljuje se samo u težim slučajevima. Ostali simptomi u ranijim fazama bolesti mogu uključivati konstipaciju, suhu kožu te nagli gubitak na tjelesnoj masi ili debljanje, a u kasnijim fazama bolesti nerijetki simptomi su tromost i umor, poremećaji živčanog sustava, bolove u zglobovima, manjak energije, krhost noktiju, gubitak kose te razne dodatne simptome (Mincer i Jialal, 2023).

2.2.2. Čimbenici razvoja bolesti

Razvoju autoimune bolesti štitnjače, HT, pridonose genetski čimbenici i vanjski, odnosno okolišni čimbenici koji epigenetskim mehanizmima kao medijatorima utječu na prisutnu genetsku pozadinu (Bogusławska i sur., 2022). Genetski čimbenici kod oboljelih od HT su dominantniji, s osjetljivošću u 70-80 % slučajeva, dok su okolišni čimbenici dokazani u 20-30 % slučajeva oboljelih, pa tako osobe s obiteljskom anamnezom ove bolesti imaju povećan rizik razvoja HT (Sur i sur., 2020). U genetske čimbenike koji su uključeni u patogenezu HT-a ubrajamo više gena u koje spadaju: geni histokompatibilnosti (HLA klase I i II), imunoregulacijski geni (SNPs u HLA, CTLA-4, PTPN22, CD40 geni), geni specifični za štitnjaču, geni povezani sa sintezom antitijela na peroksidazu štitnjače (Mikulska i sur., 2022). Jasno je da je pojava HT-a i njegova genetika složena te su potrebna daljnja istraživanja kako bi se upotpunio uvid u mehanizme djelovanja jedni na druge, ali i u interakciji s okolišnim čimbenicima (Ajjan i Weetman, 2015). U bolnici John's Hopkins provedena je patološka analiza slučajeva HT od 1889. do 2012. godine, čime je zaključeno da je HT-a prije 1950-ih bio rijedak, a danas je jedan od najčešćih autoimunih poremećaja. Povezano s ovim podacima, važnost učinka okolišnih čimbenika u patogenezi HT uvidi se u promjenama vezanim uz epidemiologiju ove bolesti u bliskoj prošlosti i sadašnjosti (Caturegli, 2013). Među okolišne čimbenike koji utječu na patogenezu HT ubraja se nedovoljan ili prekomjeran unos joda, selen, vitamin D, lijekovi (npr. interferon- α , litij, amiodaron), infekcije poput hepatitis C, one uzrokovane virusom i zračenje. Što se tiče alkohola i pušenja, njihova uloga u etiopatogenezi HT nije u potpunosti razjašnjena, neka istraživanja sugeriraju da umjerena konzumacija alkohola može imati zaštitnu ulogu od HT i razvoja hipotireoze, a pušenje smanjuje razinu autoantitijela štitne žlijezde

i, također, smanjuje rizik od hipotireoze. Međutim mehanizmi djelovanja ovih supstanci u razvoju ove bolesti nisu u potpunosti jasni i potrebna su daljnja istraživanja. Ostali čimbenici koji između ostalog utječu na etiopatologiju HT su: spol, dob, povezane bolesti (npr. dijabetes tipa 1, perniciozna anemija, celijakija, maistenija gravis bolest), trudnoća, Down-ov sindrom, sastav mikrobioma i obiteljska anamneza (Mikulska i sur., 2022). Posljednjih godina istraživani je utjecaj stresa razvoj i simptome HT te randomizirano kontrolirano ispitivanje Markomanolaki i sur. sugerirala da je kontrola i regulacija stresa bitan čimbenik u liječenju oboljelih od HT (Markomanolaki i sur., 2019).

2.2.3. Epidemiologija bolesti

Do sredine prošlog stoljeća HT bila je rijetka bolest, a danas se smatra jednom od najčešćih autoimunih bolesti i endokrinih poremećaja s incidencijom od 1 na 1000 slučajeva. Također, žene imaju do 8 puta veću šansu od muškaraca za razvoj i dijagnozu HT, što iznosi 3.5 na 1000 slučajeva kod žena (Caturegli i sur., 2014). Učestalost hipotireoze uzrokovane HT povezana je i s dobi, prevalencija antitireoidnih antitijela povećava se s dobi. S obzirom na veću učestalost pojave HT u žena pretpostavlja se da spolni steroidi imaju određenu ulogu u pojavi ove bolesti, a budući da je najveća prevalencija dijagnoze HT među starijim ženama, postoji vjerojatnost da je i odsutnost estrogena čimbenik od važnosti za razvoj ove bolesti. Epidemiološke studije pokazuju geografsku heterogenost što sugerira da se incidencija antitireoidnih antitijela razlikuje prema rasama (Ragusa i sur., 2019). Kada je govor o rasama veća je prevalencija HT kod bijelaca i azijata, nego kod afroamerikanaca (Caturegli i sur., 2014). Zaključno, za razvoj HT 79 % predispozicija uzrokovano je genetske prirode, dok ostalih 21 % čine okolišni čimbenici i utjecaji spolnih hormona (Mincer i Jialal, 2023).

2.3. PREHRANA KOD HASHIMOTO TIREOIDITISA

Nakon razvoja bolesti i dijagnoze autoimune bolesti HT liječenje se odvija nadomjesnom terapijom levotiroksinom (sintetski LT-4), ovaj lijek služi za suzbijanje simptoma, a ne liječenje bolesti stoga je sintetski LT-4 terapija koju oboljeli uzimaju svakodnevno do kraja života (Ragusa i sur., 2019). HT je progresivna bolest koja napreduje kroz godine, što je posljedica djelovanja genetskih i okolišnih čimbenika međusobno, pa samim time i na simptome koji se mogu razviti kod oboljelih. Određeni važni okolišni čimbenici, poput unosa joda, selena, vitamina D i ostalih bitnih nutritivnih komponenti, mogu se regulirati prehranom, pa se može reći da je prehrana jedan od glavnih okidača za progresiju bolesti HT. Neprikladnu prehranu kod ovog stanja prate gastrointestinalne bolesti koje se mogu razviti, a podrazumijevaju malapsorpciju minerala, elemenata u tragovima i vitamina, te drugih makro- i mikronutrijenata

koji mogu pridonijeti daljnjem razvoju bolesti (Duntas, 2023). Provođenje principa mediteranske prehrane pokazalo se da općenito poboljšava kvalitetu života i smanjuje rizik od bolesti kardiovaskularnog sustava, ali uspostavilo se da u kombinaciji s adekvatnom tjelesnom aktivnosti može poboljšati i kvalitetu života oboljelih od HT te poboljšanje funkcije štitne žlijezde (Kamińska i sur., 2023). Zaključno, nutricionistička intervencija temeljila bi se na namirnicama s protuupalnim učincima, ali i na izbacivanju hrane i namirnica koje potencijalno mogu postati okidač tijekom razvoja bolesti i intolerancija kao neželjeni učinak same autoimune bolesti HT (Duntas, 2023).

U nastavku su navedeni nutrijenti od važnosti za funkcioniranje štitne žlijezde, ali i oni rizični za razvoj same bolesti.

Jod je esencijalan mikronutrijent potreban za pravilan rad štitne žlijezde, pa tako i za sintezu trijodtironina (T3) i tiroksina (T4) koji imaju ključnu ulogu u rastu, razvoju i samom metabolizmu. Osim za sintezu hormona štitnjače, jod je važan zbog njegovog utjecaja na indukciju i modulaciju autoimune bolesti štitnjače (Mikulska i sur., 2022). Pošto funkcija štitne žlijezde i proizvodnja hormona štitnjače uveliko ovise o jodu, nedostatak joda danas utječe na više od milijardu ljudi te uzrokuje hipotireozu i gušavost kao i mentalna retardacija i zastoj u rastu među djecom (Duntas, 2023). Međutim, prekomjerni unos joda, koji nastaje kombinacijom konzumiranja jodirane soli i uz pretjeranu suplementaciju, povećava rizik za nastanak poremećaja u radu štitne žlijezde i između ostalog HT (Hu i Rayman, 2017). Dugi vremenski period nedostatan unos joda bio je važan javnozdravstveni problem u cijelom svijetu i primarna strategija u rješavanju tog problema bilo je jodiranje soli. U današnje vrijeme veliki problem stvaraju hipertenzija i kardiovaskularne bolesti zbog kojih se preporuča ograničiti unos soli, glavnog izvora joda. Prema smjernicama WHO-a adekvatan unos soli za odrasle osobe je 150 µg/dan, a izuzevši jodiranu sol kvalitetni izvori joda su plodovi mora, riba, kokošja jaja, mlijeko, mliječni proizvodi, određeno povrće i voće poput kukuruza i šljive (Mikulska i sur., 2022).

Selen je esencijalni mikronutrijent s brojnim pleiotrofnim učincima, uključujući antioksidativna i protuupalna svojstva, a pokazatelj da je selen izuzetno važan za funkciju štitnjače je da činjenica da štitna žlijezda sadrži najveću koncentraciju selena, u usporedbi s ostatkom ljudskog organizma, zbog toga što izražava specifične selenoproteine poput glutation peroksidaze i jodotironin dejodinaze. Upravo ti selenoproteini imaju važnu ulogu u funkciji štitne žlijezde (Mikulska i sur., 2022). Adekvatan unos selena ima više aspekata povoljnih učinaka na autoimunu bolest HT koji su najviše povezani uz njegovu ulogu kao selenoproteini. Selen u obliku glutacion peroksidaze i tioredoksin reduktaze, ima antioksidacijsku i zaštitnu ulogu, te protuupalna svojstva. Također, selen ima ulogu i u samom razvoju HT na genetskoj razini, može potisnuti ekspresiju HLA-DR molekula na tireocitima,

uspoređujući razvoj HT i može regulirati regulatorne T-stanice što rezultira poboljšanom imunološkom tolerancijom. Iako je selen neophodan, bitno je za napomenuti da je u pretjeranim količinama selen toksičan, suplementacija selenom od 200 µg/dan povezani su s toksičnim učincima (Hu i Rayman, 2017). Preporučeni dnevni unos za zdrave odrasle osobe iznosi 55 µg, a te preporuke mogu biti veće ovisno o regiji u kojoj se živi ili samom zdravstvenom stanju pojedinca (Duntas, 2023). U kliničkoj praksi sve češće su preporuke o unosu selena od 100 µg dnevno, pogotovo kod oboljenja s visokim titrom protutijela kao što je slučaj kod HT (Vranešić Bender i sur., 2023). Selen u hrani se najčešće nalazi u kombinaciji s proteinima, stoga su dobri izvori selena: meso i iznutrice, riba i morski plodovi, jaja, žitarice i gljive. Međutim, kao daleko najbolji izvori selena ističu se brazilski oraščići, ali pošto se rijetko konzumiraju ne mogu se izdvojiti kao primarni izvor selena, a uz to njihov je sastav često vrlo varijabilan (Mikulska i sur., 2022).

Željezo je jedan od glavnih esencijalnih minerala, zbog njegove prisutnosti u hemoglobinu i raznim enzimima koji u svojoj strukturi sadrže željezo, ima ulogu u brojnim metaboličkim procesima. Određena količina željeza potrebna je za proizvodnju hormona štitnjače, T3 i T4, tireoidna peroksidaza (TPO) enzim ima ulogu u reakcijama organizacije i spajanja u sintezi hormona štitnjače, a postaje aktivan nakon kovalentnog vezanja prostetske Hem I skupine. Stoga kod oboljelih od HT veća je prevalencija nedostatka željeza koji dovodi do smanjene proizvodnje hormona štitnjače, a duži nedostatak željeza može dovesti do hipotireoze (Hu i Rayman, 2017). Mnogi oboljeli od HT često imaju problema s željezom, u smislu nedostatka željeza, zbog drugih stanja poput autoimunog gastritisa, koji je uzročnik smanjene apsorpcije željeza i celijakije koja dovodi do gubitka željeza (Mikulska i sur., 2022). Pokazalo se da kod anemičnih oboljelih od HT liječenje suplementacijom željezom značajno povećava koncentraciju hormona štitnjače te su klinički simptomi značajno su poboljšani obnovom vrijednosti feritina iznad 100 mg/l. Preporučeni dnevni unos željeza iznosi 8-18 mg (Duntas, 2023). U hrani, kao dobar izvor hem željeza ističu se crveno meso, perad, jaja i riba, dok se ne-hem željezo nalazi u žitaricama, mahunarkama te voću i povrću.

Cink je mikro-element potreban u procesu proizvodnje tireoidnih hormona, nedovoljan unos cinka može uzrokovati poremećaje u razini tih hormona, pa povezano s time i poremećaju u samom radu štitne žlijezde (Vranešić Bender i sur., 2023). Također, cink je neophodan za pravilan rad metaloenzima, a deficit cinka posljedično uzrokuje smanjenje aktivnosti enzima koji imaju antioksidativna svojstva. Deficit cinka tako uzrokuje nastanak oksidativnog stresa i hipotireoze, pa je postizanje adekvatnog unosa kod oboljelih od HT neophodno za pravilnu funkciju štitne žlijezde (Duntas, 2023). Cink se nalazi u namirnicama biljnog podrijetla poput cjelovitih žitarica, sjemenkama lana i budeve te u prosu i heljdi (Danailova i sur., 2022). Međutim, zbog prehrambenih vlakana koja ometaju apsorpciju cinka

iskoristivost cinka iz namirnica životinjskog podrijetla, koji su bogatiji prehrambenih izvor cinka, puno je veća. Od namirnica životinjskog podrijetla kao bogati izvor cinka ističu se školjke i morski plodovi, crveno meso i meso peradi, a u manjoj mjeri i mliječni proizvodi (Vranešić Bender i sur., 2023). Preporučeni dnevni unos cinka iznosi 2-15 mg, ovisno o dobi (Duntas, 2023).

Vitamin D je steroidni prekursor koji ima ulogu u regulaciji ekspresije mnogih gena, a ima dva oblika, vitamin D₂ koji se unosi prehranom i vitamin D₃ koji se sintetizira u stanicama kože prilikom izlaganja sunčevoj svjetlosti te on predstavlja primaran izvor vitamina D u ljudskom organizmu. Kada je riječ o autoimunoj bolesti HT postoji povezanost niže razine vitamina D, prisutan nedostatak vitamina D, i povišene razine TSH te se u nekoliko studija uvidjelo da suplementacija vitaminom D može smanjiti razinu antitijela povezanih sa štitnjačom (anti-TPO i anti-TG) (Gierach i Junik, 2023). Uloga vitamina D je široka, te uključuje i imunomodulaciju, stoga se adekvatan unos vitamina D smatra učinkovitim u smanjenju razine antitireoidnih antitijela kod oboljelih. Međutim, prekomjerni unos vitamina D hranom je povezan sa štetnim učincima poput hiperkalcemije, a pretjerano izlaganje sunčevoj svjetlosti s razvojem melanoma kože. Među namirnicama s najvećom količinom vitamina D su masna riba poput lososa i ulje riblje jetre, a ostali izvori koji se mogu ubrojati u kvalitetne izvore ovog vitamina su meso, iznutrice, jaja i mliječne proizvode. Nedostatak vitamina D je svjetski problem, a definira se serumskim 25-hidroksivitaminom D ispod 50 nmol/L ili 20 ng/mL (Mikulska i sur., 2022).

Vitamin B₁₂ također je bitan kod oboljelih od HT upravo iz razloga što je rizik od anemije povećan upravo zbog popratnih stanja ili autoimunih bolesti kao što su atrofični gastritis ili perniciozna anemija. Perniciozna anemija je uzrokovana nedostatkom vitamina B₁₂, koji se nerijetko javlja kod oboljelih od HT, a 1/3 imala antitijela protiv želučanih parijetalnih stanica. Razina TPOAb bila je značajno povišenija kod oboljelih s niskim unosom i razinom vitamina B₁₂ te je utvrđena negativna korelacija između vitamina B₁₂ i antitijela na TPOAb. Osim toga, nedostatak vitamina B₁₂ može dovesti do povišenja razine homocisteina (Hcy), što kao posljedicu uzrokuje razvoj ateroskleroze (Aktaş, 2019). Vitamini B skupine reguliraju funkciju imunološkog sustava aktiviranjem kofaktora povezanih s energetskim metabolizmom i imaju antioksidativna svojstva, hvataju slobodne kisikove radikale, čiji je nastanak povezan s patofiziologijom razvoja autoimunološkog mehanizma kojim nastaje HT (Duntas, 2023). Vitamin B₁₂ prisutan je u hrani životinjskog podrijetla, uključujući meso, ribu, jaja, mlijeko i druge mliječne proizvode. Osvrnuvši se na navedene mikronutrijente može se zaključiti da su adekvatne količine joda, selena, željeza, vitamina D i B₁₂ neophodne za normalno funkcioniranje štitne žlijezde i izlučivanje njenih hormona, ali imaju značaja u patofiziologiji nastanka, razvoja i napredovanja autoimune bolesti štitnjače, HT.

Oboljenje od HT često se povezuje s dodatnim zdravstvenim problemima i autoimunim bolestima, a nerijetko su to intolerancija na laktozu i celijakija, stoga se preporučaju eliminacijske dijetе ukoliko ima problema s istima.

Eliminacija glutena – Celijakija se u oboljelih od HT pojavljuje čak deset puta češće, nego među zdravim pojedincima, stoga je bitno među oboljelima provesti dijagnostički pregled za celijakiju (Vranešić Bender i sur., 2023). Kada je riječ o oboljelima od HT koji ne pate od celijakije ili osjetljivosti na gluten, nije potrebna eliminacija glutena, nego je bitnija nadoknada nedostatnih minerala poput joda, selena i cinka, adekvatnom prehranom ili suplementacijom (Szczuko i sur., 2022). Česta povezanost HT i celijakije leži u strukturnoj sličnosti između molekula glutena i tkiva štitne žlijezde, stoga može doći do aktiviranja autoimunog odgovora i pojave bolesti ili kod već oboljelih od HT do pogoršanja bolesti i simptoma koji doleže s njom. Dakako, prije početka prakticiranja bezglutenske prehrane potrebno je obaviti dijagnostički pregled na celijakiju i savjetovanje s nutricionistom, kako bi se spriječili nedostaci mikronutrijenata potrebnih i esencijalnih kod oboljelih od autoimune bolesti štitnjače (Vranešić Bender i sur., 2023).

Eliminacija laktoze – Intolerancija na laktozu vrlo je česta kod oboljelih od HT, a prevalencijom od čak 76 %, stoga dijetoterapija kod oboljelih nerijetko uključuje eliminaciju mlijeka i mliječnih proizvoda te se preporuča ispitivanje tolerancije na laktozu. Testiranje tolerancije na laktozu posebno se savjetuje oboljelima koji primaju terapiju levotiroksinom (L-tiroksin) iz razloga što intolerancija na laktozu smanjuje bioraspložitost levotiroksina što posljedično dovodi do potrebe za povećanom dozom lijeka, koja potencijalno može imati određene nuspojave. Osim laktoze i namirnice bogate kalcije mogu imati utjecaja na bioraspložitost ovog lijeka. Shodno tome, preporuča se prilagodba prehrambenih navika, kako eliminacijom mlijeka i mliječnih proizvoda, tako i vremenska prilagodba ukoliko se one konzumiraju s obzirom na vrijeme u koje se uzima terapija levotiroksinom. Preporuka je da se namirnice koje potencijalno ometaju bioraspložitost lijeka konzumiraju nekoliko sati prije ili poslije uzimanja terapije (Vranešić Bender i sur., 2023).

Uloga mikrobote – Mikrobiom u gastrointestinalnom traktu nepohodan je za pravilnu funkciju imunološkog sustava. Pokazalo se da se sastav crijevne mikrobiote razlikuje kod zdravih pojedinaca i oboljelih od HT, što je koreliralo sa stadijem bolesti, odgovorom na terapiju, ali i razinu autoantitijela štitnjače (Bogusławska i sur., 2022). Također, istraživanja sugeriraju da koncentracija bakterijskih vrsta *Lactobacillus* i *Bifidobacterium* ovisi o koncentraciji tireoidnih hormona, ali i da kod oboljelih od HT postoji povećana propusnost crijeva. Kako bi se utjecalo na sastav mikrobiote, odnosno sinergiju korisnih i patogenih bakterija u gastrointestinalno tranku, oboljelima se preporuča uvesti određene promjene u vidu promjena prehrambenih navika koje uključuju: smanjen unos zasićenih masnih kiselina koje

koje pridonose crijevnoj propusnosti, konzumaciju cjelovitih žitarica te voća i povrća bogatih prehrambenim vlaknima, također konzumacija masne ribe bogate omega-3-masnim kiselinama koja ima imunomodulatorni i protuupalni učinak (Vranešić Bender i sur., 2023). Iako sve ove komponente imaju pozitivan utjecaj na sastav crijevne mikrobiote, kada se govori o prehrani, najbitnije je uzimanje u obzir potreba svakog oboljelog pojedinačno, odnosno planiranje individualne prehrane koja zahtijeva edukaciju bolesnika i primjenjivanje individualnih nutritivnih planova.

2.4. RAČUNALNO PLANIRANJE JELOVNIKA

Kada je riječ o kreiranju i planiranju jelovnika u obzir se uzimaju više aspekata poput energetske i nutritivne potrebe pojedinca, kako kod bolesnika tako i kod zdravih pojedinaca, no jednako bitno je uzeti u obzir osobne preferencije pojedinca koji će se u tom slučaju čvršće držati dogovorenih smjernica ukoliko su u taj plan uključeni preferirana hrana i jela uz modifikaciju energetske i nutritivne potrebe. Kako bi dobili takav jelovnik usklađen prema potrebama pojedinca potrebna je primjena znanja iz znanosti o prehrani, ali i tehnika u korištenju alata u svrhu planiranja jelovnika. Optimiranje je donošenje odluke u svrhu pronalaska i izbora najpovoljnijeg rješenja, u ovom slučaju optimalno rješenje predstavlja jelovnik za određeni vremenski period prilagođen potrebama pojedinca i smjernicama za skupinu kojoj pripada. Optimiranje u dijetoterapiji koristi se kako bi olakšalo sami proces kreiranja jelovnika, prilikom održavanja ravnoteže kod unosa hranjivih tvari, makro- i mikronutrijenata te energetske unosa (Gajdoš Kljusurić, 2020).

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Ulazni podatci za optimiranje jelovnika

Jelovnici namjenjeni osobama boljelima od hipotireozom uzrokovanom Hashimoto tireoiditisom preuzeti su sa internetske stranice (Fitness, 2023), ali su donekle izmijenjeni s obzirom na to da nisu sve namirnice korištene u izradi tih jelovnika bile dostupne u bazi podataka koja se koristila prilikom izrade ovoga rada (prilog 1). Jelovnici su napravljeni za pet dana, od kojih se svaki sastoji od tri do četiri obroka ovisno o energetske vrijednostima obroka, a ti obroci su: doručak, ručak, međuobrok i večera koji predstavljaju ulazne podatke prilikom optimiranja jelovnika. Predloženo je pet ponuda za doručak, ručak i večeru te četiri međuobroka.

3.1.2. Plan prehrane s obzirom na energetske i nutritivne potrebe pojedinca

Kod izrade plana prehrane potrebno je uzeti u obzir energetske i nutritivne potrebe pojedinca. Za izračun i potrebe ovog rada izdvojena osoba s nadalje navedenim karakteristikama: ženski spol, 30 godina, 175 cm visine i 73 kg, te kada je riječ o tjelesnoj aktivnosti slabo aktivna. Dnevne energetske potrebe pojedinca uključuju energiju koja je potrebna za održavanje bazalnog metabolizma, tjelesnu aktivnost i onu koja se potroši za probavljanje hrane. Za izračun dnevnih energetskih potreba korištena je Harris – Benedictova jednadžba za računanje bazalne energetske potrošnje (BEP) i ona odgovara energetske potrebama u mirovanju te se koregira s koeficijentom tjelesne aktivnosti (PAL) koji za slabo aktivnu osobu iznosi 1,2. Harris-Benedictova jednadžba glasi:

$$\text{BEP} = 655,1 + (9,563 \times \text{tj. masa [kg]}) + (1,850 \times \text{tj. visina [cm]}) - (4,676 \times \text{dob [godine]})$$

Uzimajući u obzir osnovne parametre pojedinca za kojeg se planiraju jelovnici, dnevna potreba na energiji, prema prethodno navedenom iznosi: 1844 kcal/dan. Kao preporučeni dnevni energetski unos za osobu koja je slabo aktivna uzeta je vrijednost od 1878 kcal/dan (7,9 MJ/dan), što je EU preporuka za odraslu žensku osobu (EFSA, 2019).

Od nutritivnih potreba izdvojeni su, od makronutrijenata, proteini čiji bi se unos trebao nalaziti u rasponu od 67,5-100 g/dan kako bi se osigurali proteini koji se neprestano razgrađuju i izgrađuju te kako bi se osigurale sve esencijalne aminokiseline kao osnova za izgradnju drugih molekula (Vranešić Bender i sur., 2023). Od minerala istaknuti su jod, selen, željezo i cink, a od vitamina vitamin D, koji su važni za pravilan rad i očuvanje zdravlja štitne žlijezde.

3.2. Metode

U ovome radu imali smo dva aspekta istraživanja: (i) rad u Danskoj bazi podataka i usporedba Danske baze podataka i USDA baze podataka s obzirom na dostupnost namirnica prilikom izrade jelovnika i dostupnih vrijednosti makro- i mikronutrijenata i (ii) optimiranje u LINDO programu s dodatnim mikronutrijentima koji nisu bili dostupni u USDA bazi podataka.

3.2.1. Izračun energije i nutritivnog sastava jela

Kada su poznate energetske i nutritivne potrebe pojedinca, sastavljanje jelovnika uvelike olakšavaju dostupne tablice kemijskog sastava namirnica koji se često naziva i bazom podataka o kemijskom sastavu (engl. *Food Composition Database*, FCDB). Baze podataka koje se koriste prilikom sastavljanja jelovnika sastoje se od namirnica i njihovog kemijskog sastava, te je omogućeno izračunavanje energetske i nutritivne statusa jela, ali i cjelodnevnog jelovnika. Danska baza podataka iz 2024. godine sadrži 1314 namirnica te 213 parametara koji daju informaciju o namirnici.

Namirnice su u tablicama najčešće navedene u sirovom obliku, ali u Danskoj verziji postoje podaci i za termički obrađene. Informacije o namirnicama su sljedeće:

- (i) energetska vrijednost,
- (ii) sastav makronutrijenata,
- (iii) sadržaj alkohola,
- (iv) sadržaj vode i suhe tvari,
- (v) sadržaj vitamina i minerala,
- (vi) sadržaj pojedinih šećera i aminokiselina te masnih kiselina i
- (vii) pH vrijednost namirnice.

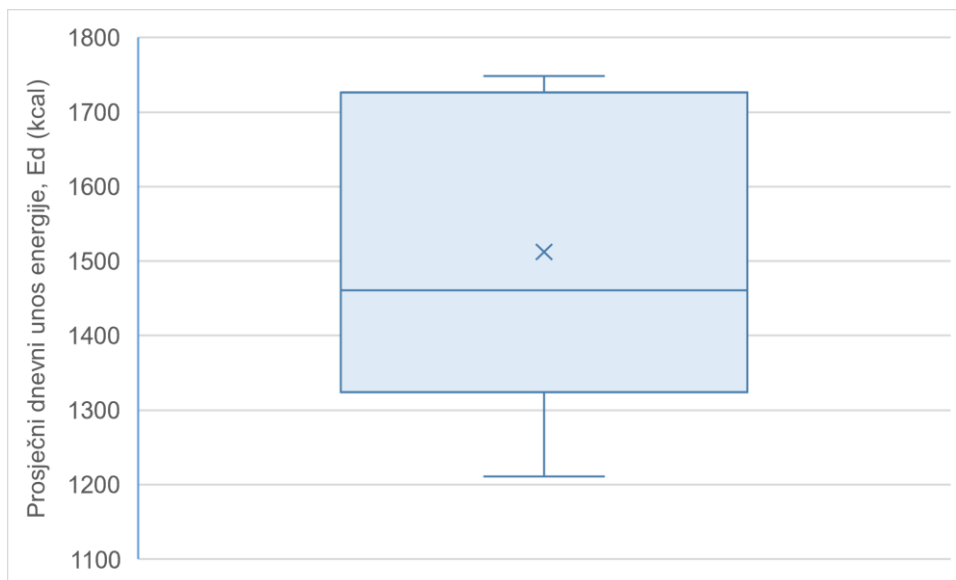
3.2.2. LINDO program

Za pronalazak optimalnog rješenja, u ovom slučaju optimalan jelovnik za osobu oboljelu od HT, postoji više računalnih modela, a u ovom radu korišten je LINDO program. Linearno optimiranje je skup metoda koje se koriste u traženju optimalnog rješenja, a osnovna karakteristika problema koji se, primjenom linearnog programiranja, rješava je linearna povezanost čimbenika koji karakteriziraju taj problem, stoga se koriste računalni modeli poput LINDO programa (Gajdoš Kljusurić, 2020). Za rad u LINDO programu sastavljen je skup ograničavajućih uvjeta za izabrane parametre koji su ključni kod osoba koje su oboljele od hipotireoze uzrokovane HT-om. Parametri i ograničenja su navedeni u tablici 1.

Tablica 1. Ograničavajući uvjeti korišteni pri optimiranju u LINDO programu

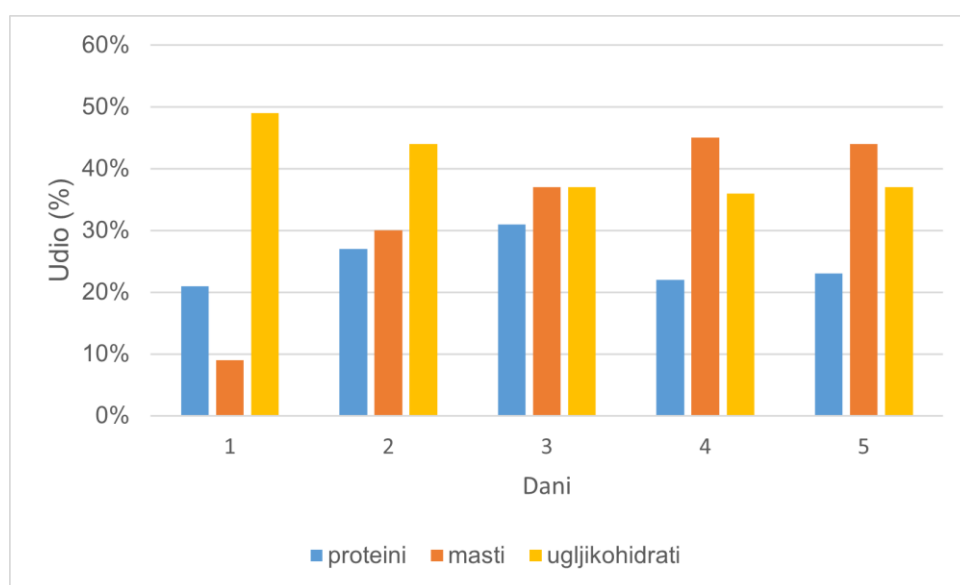
Ograničavajući uvjeti	
Energija (kcal)	>1800 <2200
Proteini (g)	>67,5
Jod (μg)	>150
Selen (μg)	>100
Željezo (mg)	>8
Cink (mg)	>10
Vitamin D (μg)	>5

Kod ograničavajućih uvjeta za mikronutrijente postavljene su samo minimalne vrijednosti, odnosno, vrijednosti koje će osigurati bar zadovoljenje minimalnih granica unosa mikronutrijenata jer su esencijalni za pravilan rad štitne žlijezde.



Slika 2. Box Whiskerov dijagram za prosječni dnevni unos energije (vlastita fotografija)

Prema preporukama (USDA Dietary Guidelines for Americans) idealan unos makronutrijenata trebao bi biti: 45-65 % kcal iz ugljikohidrata, 10-35 % iz proteina i 20-35 % iz masti (USDA, 2020) dok se prema EU preporukama neznatno mijenjaju udjeli za ugljikohidrate (45-60 % energije), udjeli za masti su identični, a proteini su preporučeni u rasponu od 0,66-0,83 g/kg tjelesne mase (EFSA, 2019). Na slici 3 prikazani su udjeli makronutrijenata (proteina, masti i ugljikohidrata) po danima.



Slika 3. Udio makronutrijenata u dnevnom energetske unosu po danima

Unos proteini je svaki dan bio unutar raspona od 21 % do 31 %, što je prihvatljivo s obzirom na preporuke, dok je unos ugljikohidrata bio od 36 % do 49 % te je čak četiri od pet dana unos

ugljikohidrata bio nedostatan. Iako su ugljikohidrati najčešće najveći udio energije koju čovjek unosi, to uveliko ovisi o vrsti namirnica koje prevladavaju u prehrani pojedinca (Jéquier, 1994). U ovome slučaju izbačene su namirnice koje sadrže gluten i zamijenjene alternativnim namirnicama, ali prehrana se na njima ne bazira, nego su one dodane uz određene obroke kako bi se dobili ugljikohidratni izvori. Unos masti samo je jedan dan bio adekvatan s 30 %, dok je jedan dan bio nedostatan s 9 %, a ostale dane je bio prekomjeran s do 45 %.

Ljudskom organizmu su potrebne optimalne količine mikronutrijenata svakodnevno za učinkovitu imunološku funkciju, a ti su zahtjevi različiti u različitim fazama života (Gombart i sur., 2020). Iako se teži tome, malo je vjerojatno da će svakodnevno svi promatrani mikronutrijenti (jod, selen, željezo, cink i vitamin D) biti unutar referentnih vrijednosti, stoga su promatrane prosječne vrijednosti unosa mikronutrijenata u pet dana te prikazane u tablici 2. Unos joda, kao jednog od ključnih prehrambenih čimbenika za zdravlje štitne žlijezde, bio je poprilično niži od preporuke od 150 µg/dan, te je iznosio u prosjeku 91,3 µg/dan. Uz unos joda nedostatan je unos cinka, te vitamina D, ali s manjim odstupanjem. Unos selena i željeza bio je dostatan te u skladu s povećanim potrebama za ovim mikronutrijentima s obzirom na prisutnost hipotireoze uzrokovane HT.

Tablica 2. Prosječni dnevni unosi mikronutrijenata u usporedbi s preporučenim unosima

Mikronutrijent	Preporučeni unos	Prosječne vrijednosti
Jod (µg/dan)	150	91,3
Selen (µg/dan)	>100	116,4
Željezo (mg/dan)	8-18	11,5
Cink (mg/dan)	>10	8,1
Vitamin D (µg/dan)	>5	4,98

Prema ovim parametrima energije, makronutrijenata i mikronutrijenata, jasno je da ovakav plan prehrane i jelovnici ne ispunjuju zahtjeve i potrebe pojedinca, odnosno žene odrasle dobi, pritom oboljele od HT. Sukladno tome, potrebno je pronaći najpovoljnije rješenje problema, odnosno jelovnik koji je u skladu sa svim ograničenjima koja se postave kako bi bio prikladan za oboljele od HT. Taj proces naziva se optimiranje jelovnika pomoću i često se koristi u svrhu kreiranja plana prehrane, a uz dodatno stručno znanje i prehrambene obrasce može biti jedan

Tablica 3. Optimalan jelovnik (D1; R1; M5 i V1)

	Doručak (D1)	Ručak (R1)	Međuobrok (M5)	Večera (V1)
Optimalan dnevni jelovnik	Puding od chia sjemenki s rižinim mlijekom (sol, cimet)	Kruh bez glutena, konzervirana tuna i dressing (jogurt, peršin, sol, papar, češnjak)	Orašasti plodovi	Kajgana jaja i riža

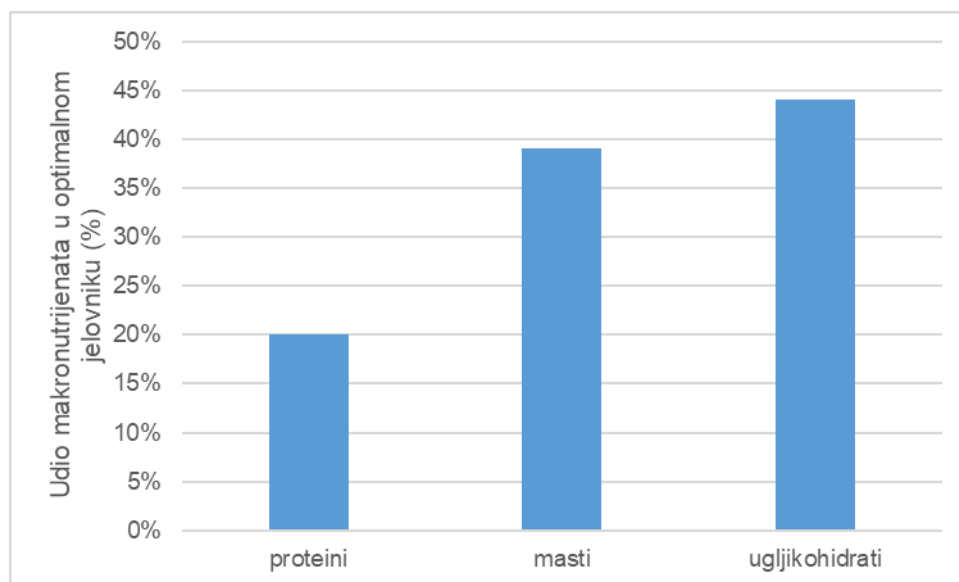
Energetski i nutritivni sadržaj optimalnog jelovnika analiziran je i uspoređen s energetskim i nutritivnim potrebama pojedinca koji su postavljeni kao promatrani parametri te je navedeno u tablici 4.

Tablica 4. Dnevni unosi energije i nutrijenata u optimalnoj ponudi u usporedbi s ograničavajućim uvjetima

	Ograničenja	Optimalna ponuda
Energija (kcal)	>1800 <2200	1846
Proteini (g)	>67,5	93,8
Jod (µg)	>150	163,4
Selen (µg)	>100	150,3
Željezo (mg)	>8	12,7
Cink (mg)	>10	11,1
Vitamin D (µg)	>5	8

Kao rezultat optimiranja dobiven je jelovnik koji ima sve promatrane parametre u rasponu i prihvatljivim granicama postavljenih ograničavajućih parametara. Optimalan jelovnik kombinacija je prvoga i petkog jelovnika, doručak i međuobrok iz petog jelovnika, a ručak i večera

iz prvoga. Nadalje su analizirani udjeli makronutrijenata u optimalnom jelovniku kako bi on bio u skladu s načelima pravilne prehrane te su prikazani na slici 5.



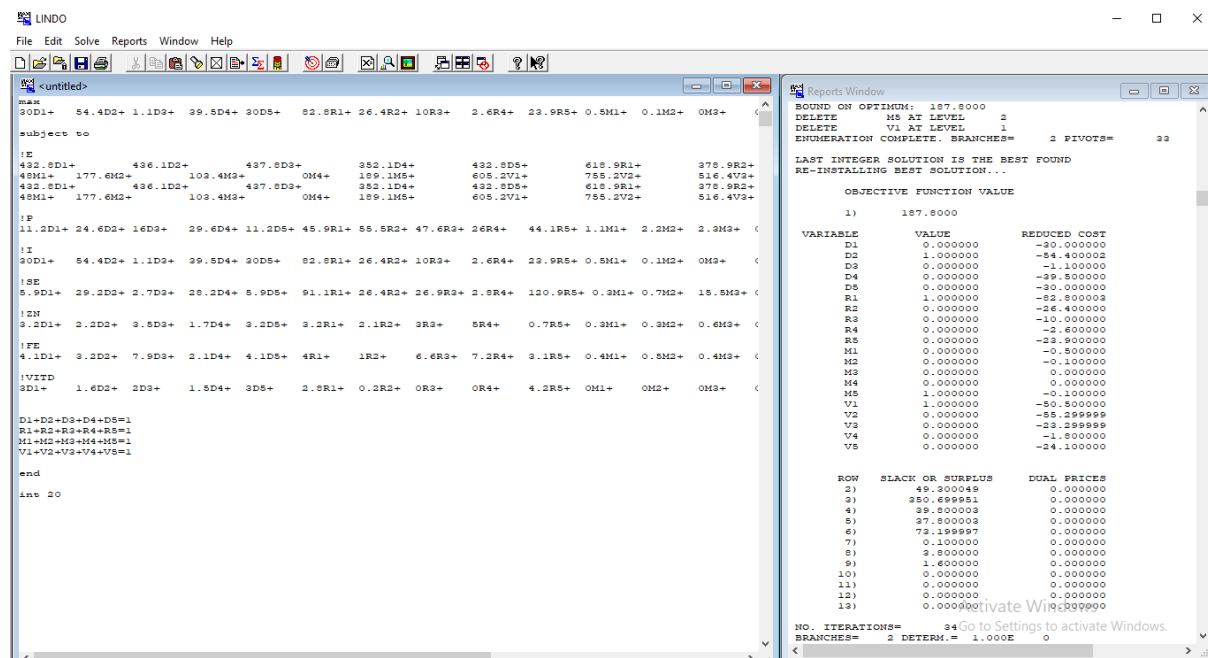
Slika 5. Udjeli makronutrijenata u optimalnoj ponudi

Iako ponuđeni optimalni jelovnik zadovoljava sve odabrane ograničavajuće kriterije, jelovnik nije u skladu s preporučenim udjelima makronutrijenata. Udio masti iznosi 39 % te prelazi gornji prag udjela masti u preporučenoj i pravilno ujednačenoj prehrani te se preporučuje smanjiti udio masti u dnevnoj ponudi na 20-35 % energije. Udio proteina zadovoljava kriterije u ukupnom dnevnom energetske unosu, dok je udio ugljikohidrata nedostatan te se preporuča povećanje unosa ugljikohidrata. Važan je naglasak da prehrana sadržava adekvatan udio ugljikohidrata jer su ugljikohidrati glavni izvor energije u ljudskom metabolizmu, ali imaju i značajnu ulogu u održavanju ravnoteže crijevnog mikrobioma i od velike je važnosti za osobe oboljele od HT (Mora-Flores i sur., 2023).

Unatoč tome što optimalni jelovnik zadovoljava sve postavljene ograničavajuće uvjete, ne zadovoljava uvjete adekvatnih unosa makronutrijenata. Rješenje bi bilo optimiranje jelovnika koji uz energiju i ostale navedene ograničavajuće uvjete sadrži ograničavajuće uvjete za unos makronutrijenata, proteina, masti i ugljikohidrata, te bi se onda ponovno provodio proces optimiranja i utvrđivanja jesu li svi prethodno zadani parametri unutar postavljenih ograničavajućih uvjeta (Đundek i sur., 2011). Iako su svi ograničavajući uvjeti prilikom optimiranja u LINDO programu zadovoljeni, prilikom kreiranja jelovnika bitno je uzeti u obzir i osobne preference pojedinca koji je još jedan aspekt koji zahtjeva dodatnu korekciju prilikom optimiranja jelovnika pošto su osobna preferencija i cijena samih namirnica i hrane ključni čimbenici u prehrani pojedinaca (Persson i sur., 2019).

Zaključno, ovakav jelovnik dobiven optimiranjem u LINDO programu ne može se smatrati optimalnim dok se ne zadovolje uvjeti za unos makronutrijenata dodatkom ograničavajućih uvjeta za masti i ugljikohidrate. Važno je napomenuti da svi ograničavajući uvjeti za mikronutrijente zadovoljavaju što je najbitnije pošto pravilna funkcija štitne žlijezde uveliko ovisi o adekvatnom unosu tih mikronutrijenata. Iz toga razloga, nutricionistička intervencija i optimiranje jelovnika temeljilo se na adekvatnom unosu tih nutrijenata, odnosno na namirnicama s protuupalnim učincima, ali i na izbacivanju hrane i namirnica koje potencijalno mogu postati okidač tijekom razvoja bolesti, u ovome slučaju gluten, i intolerancija kao neželjeni učinak same autoimune bolesti HT, odnosno zamjena mlijeka s rižinim mlijekom kako bi se potencijalno izbjegli neželjeni učinci.

Tijelo odraslih osoba sadrži u prosjeku 15-20 mg joda, a 70-80 % toga joda pohranjeno je u štitnoj žlijezdi (Hatch-McChesney i Lieberman, 2022). Nedostatak joda povezan je sa smanjenom proizvodnjom hormona štitnjače te ima mnogo popratnih štetnih učinaka tijekom ljudskog života (Zimmermann i Boelaert, 2015). S obzirom na činjenicu da je jod neophodan za pravilan rad štitne žlijezde, pa samim time i kod oboljelih od autoimune bolesti štitnjače HT, provedeno je ponovno optimiranje prilikom čega je funkcija cilja maksimizirana s obzirom na jod, što je prikazano u slici 6.



Slika 6. Prikaz optimiranja s maksimalnim unosom joda kao funkcije cilja i pripadajući rezultati (vlastita fotografija)

Prilikom ponovnog optimiranja, s funkcijom cilja maksimiziranom s obzirom na jod, u optimalnoj ponudi jedina zabilježena promjena je doručak, pa je u ovome slučaju u optimalnu ponudu

uključen doručak iz drugog jelovnika (D2) te je dobivena optimalna ponuda (D2; R1; M5 i V1). Doručak iz drugog jelovnika sastoji se od kruha bez glutena i jaja, te u ovoj optimalnoj ponudi dolazi do ponavljanja namirnice jaja za doručak i večeru, što nije u skladu s načelom raznovrsnosti prehrane (Gajdoš Kljusurić i sur., 2016). U tablici 5 prikazana su rješenja energetske vrijednosti i sadržajem promatranih nutrijenata kada je funkcija cilja maksimiziranje unosa joda.

Tablica 5. Dnevni unosi energije i promatranih nutrijenata u optimalnoj ponudi s maksimalnim unosom joda

	Ograničenja	Optimalna ponuda
Energija (kcal)	>1800 <2200	1849
Proteini (g)	>67,5	107
Jod (µg)	>150	187,8
Selen (µg)	>100	173,6
Željezo (mg)	>8	11,8
Cink (mg)	>10	10,1
Vitamin D (µg)	>5	6,6

4.3. Usporedba Danske i USDA baze podataka

Baze podataka su logički i organizirano podijeljeni skupovi podataka koji su osmišljeni u svrhu jednostavnog korištenja i mogućnosti mijenjanja podataka, odnosno brisanja i nadopunjavanja te dodavanja informacija (Gajdoš Kljusurić, 2020). U nutricionizmu baze podataka su tablice o kemijskom sastavu namirnica. U svrhu usporedbe Danske i USDA baze podataka, u ovome radu koristili su se jelovnici iz istog izvora kao i u radu u kojem se koristila USDA baza podataka (Hodžić, 2023). Iako je USDA baza podataka opširnija u smislu količine namirnica, Danska baza podataka sadrži više podataka o kemijskom sastavu namirnica, uključujući jod koji je od velike važnosti prilikom kreiranja jelovnika za osobe oboljele od HT, dok USDA baza podataka ne sadrži informacije o jodu u namirnicama. Također, europska i američka prehrana se poprilično razlikuju, a USDA baza podataka naklonjenija je američkoj prehrani uz pregršt

gotovih jela, namirnica i načina pripreme namirnica koji se poprilično razlikuju od onih u Republici Hrvatskoj. Usporedba podataka dobivenih u obje baze podataka prikazana je u tablici 6.

U obje baze podataka nisu bili dostupni sve namirnice iz prvobitnih jelovnika preuzetih s internetske stranice (Fitness, 2023), stoga su jelovnici modificirani prema dostupnim namirnicama u bazama podataka.

Tablica 6. Usporedba dnevnih prosječnih unosa energije i nutrijenata u USDA i Danskoj bazi podataka

Prosječno	USDA baza podataka*	Danska baza podataka
Energija (kcal/dan)	1596	1512
Proteini	107,7	94,2
Jod	-	91,3
Selen	229	116,3
Željezo	16,1	11,4
Cink	10,4	8
Vitamin D	5,6	5

*Podaci preuzeti iz Hodžić, 2023

Razlika u prosječnim energetske vrijednostima u ove dvije baze podataka može se objasniti odabirom sličnih, ali ne u potpunosti istih namirnica zbog nedostupnosti istih u obje baze, isto tako s proteinima. Najveća razlika prisutna je kod sadržaja selena u jelovnicima, gdje je razlika u prosječnim sadržajima selena iznosi 112,7 $\mu\text{g}/\text{dan}$, odnosno prosječan sadržaj selena u dnevnom jelovniku prema USDA bazi podataka skoro duplo je veći od istoga u Danskoj bazi podataka. Pitanje je što je uzrok tome, ali inače je prosječni dnevni unos selena u Europi 40 $\mu\text{g}/\text{dan}$, dok u SAD-u iznosi 93 $\mu\text{g}/\text{dan}$ pa je moguće da to ovisi o kemijskom sastavu namirnica (Vranešić Bender i sur., 2023). Prilikom kreiranja optimalnog jelovnika baza podataka je temelj za esencijalne nutrijente za osobu oboljelu od HT koji su okarakterizirani kao ograničavajući uvjeti koji se uzimaju iz Excela te se prilagođavaju za unos u LINDO program. Nakon optimiranja u LINDO programu dobiveni su optimalni jelovnici koji su bili različiti ukoliko se koristila USDA, odnosno Danska baza podataka bez obzira na to što su u obje računaljke

korišteni isti ulazni podatci tj. jelovnici. Optimalni jelovnici dobiveni korištenjem USDA i Danske baze podataka prikazani su u tablici 7.

Tablica 7. Optimalni jelovnici s podacima iz USDA i Danske baze podataka

	Doručak	Ručak	Međuobrok	Večera
Optimalni jelovnik s podacima iz Danske baze podataka	Puding od chia sjemenki s rižinim mlijekom (sol, cimet)	Kruh bez glutena, konzervirana tuna i dressing (jogurt, peršin, sol, papar, češnjak)	Orašasti plodovi	Kajgana jaja i riža
Optimalni jelovnik s podacima iz USDA baze podataka (Hodžić, 2023)	Integralni kruh, 2 jaja (kajgana)	Salata od kivi-noje, dressing	Banana	Kajgana jaja i riža

Korištenjem podataka iz ove dvije baze podataka te optimiranjem u LINDO programu dobivena su dva različita optimalna jelovnika, iako su korišteni isti ulazni podatci. Razlog tome je što je u ovome radu prilikom rada u Danskoj bazi podataka bio ukomponiran dodatni ograničavajući uvjet, odnosno sadržaj joda u namirnicama koji nije dostupan u USDA bazi podataka. Dodatni problem kod optimalnog jelovnika u kojemu su korišteni podatci iz USDA baze podataka je ponavljanje iste namirnice, jaja, za doručak i večeru, što nije u načelima raznovrsne prehrane te bi eventualno rješenje za taj problem predstavljalo novo optimiranje s dodatnim ograničenjem (Hodžić, 2023).

S obzirom da je jod esencijalan za pravilan rad štitne žlijezde, pa samim time i prilikom kreiranja jelovnika za osobu oboljelu od HT, zaključeno je da je kvalitetniji izvor podataka u ovom slučaju Danska baza podataka koja sadrži informacije o sadržaju joda u namirnicama.

5. ZAKLJUČCI

1. Iako ne postoji konkretna dijetoterapija za osobe oboljele od Hashimoto tireoiditisa, postoje smjernice za unos nutrijenata esencijalnih za pravilnu funkciju štitne žlijezde koje se razlikuju od smjernica za zdrave pojedince.
2. Često su planovi prehrane i jelovnici za oboljele od hipotireoze, uzrokovane Hashimoto tireoiditisom, dostupni na internetskim stranicama, ali analizom u Danskoj bazi podataka utvrđeno je da jelovnici (preuzeti za potrebe rada) nisu prilagođeni niti energetske niti nutritivno potrebama oboljelih.
3. Jelovnici su analizirani s obzirom na nutrijente esencijalne za pravilan rad štitne žlijezde, a uključuju, osim energije i proteina, mikronutrijente: jod, selen, željezo, cink i vitamin D.
4. Prosječne vrijednosti energije i mikronutrijenata (jod, cink i vitamin D) bile su preniske u odnosu na preporučene vrijednosti.
5. Optimiranjem je izrađen optimalan jelovnik kako bi se nedostatne vrijednosti optimizirale i bile u skladu s preporukama za oboljele od Hashimoto tireoiditisa.
6. Optimiranje se odvija uz pomoć računalnih alata, u ovome slučaju korišten je LINDO program koji je praktičan u slučajevima kada je velik broj ulaznih podataka i kako bi se zadovoljio veći broj ograničavajućih uvjeta.
7. Rezultat optimiranja je optimalan jelovnik koji zadovoljava sve postavljene ograničavajuće uvjete esencijalne u prehrani oboljelih od HT.
8. Optimalni jelovnik može služiti kao primjer za prehranu kod oboljelih od HT, ali bi bila poželjna dorada s obzirom na makronutrijente.
9. S obzirom na karakteristike baza podataka, kao učinkovitiji izvor podataka, prilikom kreiranja jelovnika za oboljele od HT, izdvaja se Danska baza podataka koja sadrži informaciju o sadržaju joda u namirnicama.
10. Prilikom kreiranja jelovnika linearno optimiranje korisna je alatka i služi kao smjernica, ali potrebno je obratiti pozornost na druge aspekte i ukomponirati stručna dostignuća i znanja za dostizanje konačnog jelovnika koji će primjenjivati oboljeli od HT.

6. POPIS LITERATURE

Ajjan RA, Weetman AP (2015) Pathogenesis of Hashimoto's thyroiditis: Further developments in our understanding. *Horm Metab Res* **47**, 702–710. <http://doi.org/10.1055/s-0035-1548832>

Aktaş HŞ (2020) Vitamin B12 and vitamin D levels in patients with autoimmune hypothyroidism and their correlation with anti-thyroid peroxidase antibodies. *Med Princ Pract* **29**, 364–370. <https://doi.org/10.1159/000505094>

Andrijašević M (2023) 7-dnevni jelovnik za osobu koja boluje od hipotireoze – Fitness. <https://www.fitness.com.hr/prehrana/dijete/Sedmodnevni-jelovnik-hipotireoza.aspx>
Pristupljeno 4. srpnja 2024.

Bogusławska J, Godlewska M, Gajda E, Piekiełko-Witkowska A (2022) Cellular and molecular basis of thyroid autoimmunity. *Eur Thyroid J* **11**, e210024. <https://doi.org/10.1530/ETJ-21-0024>

Brink E, van Rossum C, Postma-Smeets A, Stafleu A, Wolvers D, van Dooren C i sur. (2019) Development of healthy and sustainable food-based dietary guidelines for the Netherlands. *Public Health Nutr* **22**, 2419–2435. <https://doi.org/10.1017/S1368980019001435>

Carlé A, Laurberg P, Knudsen N, Perrild H, Ovesen L, Rasmussen LB i sur. (2006) Thyroid peroxidase and thyroglobulin auto-antibodies in patients with newly diagnosed overt hypothyroidism. *Autoimmunity* **39**, 497-503. <https://doi.org/10.1080/08916930600907913>

Caturegli P, De Remigis A, Rose NR (2014) Hashimoto thyroiditis: Clinical and diagnostic criteria. *Autoimmun Rev* **13**, 391-397. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2014.01.007>

Caturegli P, De Remigis A, Chuang K, Dembele M, Iwama A, Iwama S (2013) Hashimoto's thyroiditis: celebrating the centennial through the lens of the Johns Hopkins hospital surgical pathology records. *Thyroid* **23**, 142-150. <http://doi.org/10.1089/thy.2012.0554>

Danailova Y, Velikova, T, Nikolaev G, Mitova Z, Shinkov A, Gagov H i sur. (2022) Nutritional management of thyroiditis of Hashimoto. *Int J Mol Sci* **23**, 5144. <https://doi.org/10.3390/ijms23095144>

Duntas LH (2023) Nutrition and thyroid disease. *Curr Opin Endocrinol* **30**, 324-329. <http://doi.org/10.1097/MED.0000000000000831>

Đunđek S, Gajdoš Kljusurić J, Magdić D, Lukač Čačić, J, Kurtanjek Ž (2011) Optimisation of the daily nutrient composition of daily intakes during gestation. *Croatian J Food Technol Biotechnol Nutrition* **6**, 45-51.

EFSA (2019) Dietary reference values for the EU - Energy. <https://multimedia.efsa.europa.eu/drvs/index.htm>. Pristupljeno 9. srpnja 2024.

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

Gajdoš Kljusurić J, Bosanac V, Šanko K, Colić Barić I (2016) Establishing energy-nutritional variety of boarding school daily menus as a result of regional differences using multivariate analysis. *J Food Comp Anal* **51**, 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.06.010>

Gierach M i Junik R (2023) The role of vitamin D in women with Hashimoto's thyroiditis. *Endokrynol Pol* **74**, 176–180. <https://doi.org/10.5603/EP.a2022.0095>

Gombart AF, Pierre A i Maggini S (2020) A review of micronutrients and the immune system-working in harmony to reduce the risk of infection. *Nutrients* **12**, 236. <https://doi.org/10.3390/nu12010236>

Hatch-McChesney A i Lieberman HR (2022) Iodine and iodine deficiency: A comprehensive review of a re-emerging issue. *Nutrients* **14**, 3474. <https://doi.org/10.3390/nu14173474>

Hodžić M (2023) Optimiranje jelovnika za osobu oboljelu od Hashimoto tireoiditisa (završni rad), Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Hu S, Rayman MP (2017) Multiple nutritional factors and the risk of Hashimoto's thyroiditis. *Thyroid* **27**, 597–610. <https://doi.org/10.1089/thy.2016.0635>

Jéquier E (1994) Carbohydrates as a source of energy. *Am J Clin Nutr* **59**, 682–685. <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.3.682S>

Kamińska W, Wiśniewska K, Okręglicka K, Pazura I, Nitsch-Osuch A (2023) Lifestyle intervention towards Mediterranean Diet, physical activity adherence and anthropometric parameters in normal weight women with Polycystic Ovary Syndrome or Hashimoto's Thyroiditis - preliminary study. *Ann Agr Env Med* **30**, 111–117. <https://doi.org/10.26444/aaem/159156>

Knights V, Kolak M Markovikj G, Gajdoš Kljusurić J (2023) Modeling and Optimization with Artificial Intelligence in Nutrition. *Appl Sci* **13**, 7835. <https://doi.org/10.3390/app13137835>

Markomanolaki ZS, Tigani X, Siamatras T, Bacopoulou F, Tsartsalis A, Artemiadis A i sur. (2019) Stress Management in Women with Hashimoto's thyroiditis: A Randomized Controlled Trial. *J Mol Biochem* **8**, 3-12.

Mikulska AA, Karaźniewicz-Łada M, Filipowicz D, Ruchała M, Główska FK (2022) Metabolic characteristics of Hashimoto's thyroiditis patients and the role of microelements and diet in the

disease management—An overview. *Int J Mol Sci* **23**, 6580. <https://doi.org/10.3390/ijms23126580>

Mincer DL, Jialal I (2023) Hashimoto thyroiditis, StatPearls Publishing, Treasure Island.

Mora-Flores LP, Moreno-Terrazas Casildo R, Fuentes-Cabrera J, Pérez-Vicente HA, de Anda-Jáuregui G, Neri-Torres EE (2023) The role of carbohydrate intake on the gut microbiome: A weight of evidence systematic review. *Microorganisms* **11**, 1728. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071728>

Osowiecka K, Myszkowska-Ryciak J (2023) The influence of nutritional intervention in the treatment of Hashimoto's thyroiditis—A systematic review. *Nutrients* **15**, 1041. <https://doi.org/10.3390/nu15041041>

Persson M, Fagt S i Nauta MJ (2019) Optimising healthy and safe fish intake recommendations: a trade-off between personal preference and cost. *Brit J Nutr* **122**, 206–219. <https://doi.org/10.1017/S0007114519000989>

Ragusa F, Fallahi P, Elia G, Gonnella D, Paparo SR, Giusti C i sur. (2019) Hashimotos' thyroiditis: Epidemiology, pathogenesis, clinic and therapy. *Best Pract Res Cl En* **33**, 101367. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2019.101367>

Sur L, Gaga R, Calin L, Cecilia L (2020) Genetic and environmental factors in the pathophysiology of Hashimoto's thyroiditis. *Pediatr Endocr Rev* **17**, 343-348. <https://doi.org/10.17458/per.vol17.2020.gsl.geneticenvironmentalhashimoto>

Szczuko M, Syrenicz A, Szymkowiak K, Przybylska A, Szczuko U, Pobłocki J i sur. (2022) Doubtful justification of the gluten-free diet in the course of Hashimoto's disease. *Nutrients* **14**, 1727. <https://doi.org/10.3390/nu14091727>

USDA (2020) Dietary Guidelines for Americans 2020 – 2025. USDA - United States Department of Agriculture, <https://www.dietaryguidelines.gov>. Pristupljeno 9. srpnja 2024.

Vranešić Bender D i sur. (2023) Dijetoterapija, 1. izd., Medicinska naklada, Zagreb.

Zimmermann MB i Boelaert K (2015) Iodine deficiency and thyroid disorders. *Lancet Diabetes Endo* **3**, 286-295. [http://dx.doi.org/10.1016/S2213-8587\(14\)70225-6](http://dx.doi.org/10.1016/S2213-8587(14)70225-6)

Zakon (2003) Zakon o hrani. Narodne novine 117, Zagreb. https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2003_07_117_1633.html Pristupljeno 30. kolovoza 2024.

Živković R (2000) Hranom do zdravlja. Medicinska knjiga, Zagreb.

7. PRILOG

Prilog 1. Jelovnik kreiran za osobe s hipotireozom uzrokovanom Hashimoto tireoiditisom (Andrijašević, 2023)

	Jelovnik 1	Jelovnik 2	Jelovnik 3	Jelovnik 4	Jelovnik 5
Doručak	Puding od chia sjemenki s rižinim mlijekom (sol, cimet)	Kruh bez glutena i kajgana jaja	Smoothie (rižino mlijeko, banana, špinat i chia sjemenke)	2 jaja, rajčica i zrnati sir	Puding od chia sjemenki s rižinim mlijekom (sol, cimet)
Ručak	Kruh bez glutena, konzervirana tuna i dressing (jogurt, peršin, sol, papar, češnjak)	Salata od piletine (piletina, rajčica, zrnati sir) i dressing (jogurt)	Juha od rajčice, puretina i svježa rukola	Kvinoja salata s krastavcima, tikvicom, rajčicom i cvjetačom uz dressing (maslinovo ulje i ocat)	Tuna odrezak, mrkva, cvjetača, brokula
Međuobrok	Štapići (mrkva i krastavac)	Banana	Brazilski oraščići	/	Orašasti plodovi
Večera	Kajgana jaja i riža	Tjestenina od riže, škampi, tikvice i maslinovo ulje	Tuna odrezak i brokula na maslinovom ulju	Pečena piletina uz salatu (krastavac, rajčica, paprika, luk, kupus, mrkva, maslinovo ulje)	Jogurt i banana

Izjava o izvornosti

Ja, Sara Ćosić, 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.

Sara Ćosić

Vlastoručni potpis