



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Žmogaus individualaus mitybos plano sudarymo matematinis modelis

Baigiamasis magistro studijų projektas

Roberta Bendikaitė
Projekto autorė

Doc. dr. Vytautas Janilionis
Vadovas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas

Žmogaus individualaus mitybos plano sudarymo matematinis modelis

Baigiamasis magistro studijų projektas
Taikomoji matematika (6211AX006)

Roberta Bendikaitė

Projekto autorė

Doc. dr. Vytautas Janilionis

Vadovas

Doc. dr. Tomas Ruzgas

Recenzentas

Kaunas, 2022



Kauno technologijos universitetas
Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas
Roberta Bendikaitė

Žmogaus individualios mitybos plano sudarymo matematinis modelis

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Roberta Bendikaitė

Patvirtinta elektroniniu būdu

Bendikaitė, Roberta. Žmogaus individualaus mitybos plano sudarymo matematinis modelis. Magistro studijų baigiamasis projektas, vadovas doc. dr. Vytautas Janilionis; Kauno technologijos universitetas, Matematikos ir gamtos mokslų fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Taikomoji matematika (Matematikos mokslai).

Reikšminiai žodžiai: optimizavimas, statistika, Python, mityba, skaitmeninė terapija.

Kaunas, 2022. 68 p.

Santrauka

Skaitmeninė terapija yra naujas lėtinių ligų gydymo ir prevencijos būdas. Siekiant prisitaikyti prie žmogaus įpročių ir teikti individualią pagalbą, skaitmeninė terapija sujungia gydytojų rekomendacijas, programinę įrangą, duomenų analizę ir dirbtinį intelektą. Pavyzdžiui, cukrinis diabetas yra lėtinė liga, kurios prevencijai ir kontrolei yra reikalingas fizinis aktyvumas, tinkama mityba ir kitų sveikatos rodiklių nuolatinis stebėjimas. Specialistų teikiamos mitybos rekomendacijos yra bendros ir šabloninės, o žmogui norint pakeisti vienus maisto produktus kitais ir neturint reikiamų žinių apie maistines medžiagas, tai padaryti yra sudėtinga, todėl šiandien yra aktualus skaitmeninės terapijos matematinų modelių kūrimas ir diegimas. Literatūroje dažniausiai pateikiamas vienas mitybos plano sudarymo metodas, o mitybos planų palyginimas pagal naudojamus metodus ir taikomus apribojimus analizuojamas retai. Mitybos planai nėra pritaikomi pagal kiekvieną dieną kintantį žmogaus fizinį aktyvumą ir nėra atsižvelgiama į visus žmogaus vartojamus produktus, tada kai jis dėl tam tikrų priežasčių nori keisti vienus maisto produktus kitais. Baigiamajame darbe sukurtas modelis, kuris sudaro ir periodiškai tikslina individualų mitybos planą žmogui pagal jo pasirinktą maisto produktų sąrašą ir nuolatos iš jutiklių gaunamus fizinio aktyvumo duomenis bei yra grindžiamas sveikos mitybos ir gydytojo rekomendacijomis. Šis modelis bus naudojamas įmonėje dHealthIQ [1] kuriant skaitmeninės terapijos produktą. Remiantis Amerikos diabeto asociacijos mitybos rekomendacijomis, modelis gali sudaryti mitybos planus pagal angliavandenių kiekio tipą, kalorijų kiekio tipą ir apribojimų skaičių. Taikomi tiesinio programavimo, svertinio tikslo programavimo metodai, genetinis algoritmas ir dalelių spiečiaus algoritmas. Gauti rezultatai rodo, kad svertinio tikslo programavimo metodas yra tinkamas sudaryti mitybos planus su 3 ir 6 apribojimais, o genetinis algoritmas su 12 apribojimų pagal tikslumą, laiko ir atminties sąnaudas. Aukšto angliavandenių kiekio tipo mitybos planai yra sudaromi tiksliausiai, o mažo angliavandenių kiekio planų tikslumas yra mažiausias. Sudarytuose mitybos planuose įtraukiami visi žmogaus pasirinkti maisto produktai, o jų kiekis pasiskirstęs tinkamai: daugiausiai kiekio skiriama vaisiams, daržovėms ir mėšai, o mažiausiai riebalams, grūdams ir saldumynams. Mitybos plano tikslinimui prognozuojama fizinio aktyvumo trukmė taikant laiko eilučių prognozavimo metodus. Modelių ansamblis, pagal nuolatos iš jutiklių gaunamus duomenis, teikia prognozes su priimtinomis paklaidomis, tenkina prielaidas ir padeda sudaryti tinkamesnius mitybos planus žmogui. Baigiamojo darbo tematika skaityti pranešimai mokslinėse konferencijose „Matematika ir gamtos mokslai: teorija ir taikymas“ 2021 ir 2022 metais (straipsniai priimti publikavimui), taip pat pranešimas įtrauktas į Lietuvos matematikų draugijos 63 konferencijos programą ir bus skaitomas 2022 m. birželio 16 d.

Bendikaitė, Roberta. A mathematical model for personalized human meal planning. Master's Final Degree Project, supervisor Assoc. Prof. Dr. Vytautas Janilionis; Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Applied Mathematics (Mathematical Sciences).

Keywords: optimization, statistics, Python, meal planning, digital therapy.

Kaunas, 2022. 68 pages.

Summary

Digital therapy is a new way to treat and prevent chronic diseases. Digital therapy combines physician recommendations, software, data analysis, and artificial intelligence to provide personalized support and fit individual needs. For example, diabetes is a chronic disease that can be prevented or controlled by physical activity, a proper meal, and continuous monitoring of various other parameters. Specialists usually provide general meal recommendations, and it will be difficult for a person to change certain foods without the necessary knowledge about nutrients. The development and implementation of mathematical models of digital therapy is relevant today. Literature usually provides a single method for meal planning. Comparing meal plans according to the methods used and constraints applied is rarely analyzed. Dietary plans do not adapt to an individual person's physical activity on a daily basis and do not take into account all the products a person wants to consume when he or she wants to switch from one food to another for some reason. The developed model compiles and periodically revises the individual meal plan for a human according to the list of foods of his choice and the physical activity data received from the sensors and based on the healthy meal and doctor's recommendations. This model will be used as a digital therapy prototype in the company dHealthIQ [1]. Based on the American Diabetes Association recommendations, the model can suggest different meal plans based on the type of carbohydrate content, the type of caloric content, and the different number of restrictions. Linear programming, weighted goal programming methods, genetic algorithm, and particle swarm algorithm were applied. To adjust the meal plan, the duration of physical activity is predicted using time series prediction methods. The most accurate method is selected for every period of forecast and assumptions are checked. Weighted goal programming is suitable for meal plans models with 3 and 6 constraints, and the genetic algorithm is suitable for models with 12 constraints in terms of accuracy, time, and memory cost. High carbohydrate type meal plans are the most accurate, and low carbohydrate meal plans have larger deviations. The meal plans include all the foods of human choice and are distributed appropriately: fruits, vegetables, and meat take the most quantity and fats, grains, sweets take the least. Predicting the duration of physical activity helps to make more appropriate meal plans for a human. Papers on the related topic of the final work were presented at the conferences "Mathematics and Natural Sciences: Theory and Application" in 2021 and 2022 (articles accepted for publication), also report is included in the 63rd conference program of the Lithuanian Mathematical Society and will be read in 2022 June 16.

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpų ir terminų sąrašas	9
Įvadas.....	10
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Skaitmeninė mitybos terapija	12
1.1.1. Skaitmeninė terapija	12
1.1.2. Cukrinio diabeto kontrolė ir mitybos įpročių valdymas.....	14
1.2. Mitybos įpročių valdymo programinė įranga	18
1.3. Mitybos plano sudarymo mokslinių darbų apžvalga.....	20
2. Duomenys ir tyrimo metodai.....	28
2.1. Duomenys.....	28
2.2. Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo modelis	29
2.3. Mitybos plano optimizavimo modelis	34
2.4. Mitybos plano sudarymo ir tikslinimo modelis.....	39
3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	41
3.1. Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo modelio taikymas	41
3.2. Žmogaus individualių mitybos planų sudarymo modelių palyginimas.....	43
3.3. Mitybos planų sudarymo ir tikslinimo rezultatų pavyzdys	55
Išvados	58
Literatūros sąrašas	59
Priedai.....	65
1 priedas. Genetinio algoritmo pilotinio tyrimo rezultatų pavyzdys	65
2 priedas. Prognozavimo modelyje naudojamos duomenų transformacijos	66
3 priedas. Autokoreliacijų grafikai	67
4 priedas. Tikslumo vertinimas pagal mitybos plano tipus, metodus ir apribojimų skaičių	68

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Skaitmeninės sveikatos, medicinos ir terapijos terminų paaiškinimas.....	12
2 lentelė. Metodų palyginimas	25
3 lentelė. Žmogaus pasirinktų maisto produktų duomenų pavyzdys	28
4 lentelė. Fizinio aktyvumo daugiklio reikšmės pagal fizinio aktyvumo trukmę.....	40
5 lentelė. Fizinio aktyvumo duomenų aprašomoji statistika.....	41
6 lentelė. Atrinkti fizinio aktyvumo prognozavimo metodai	42
7 lentelė. Modelių ir modelių ansamblio tikslumo vertinimas.....	42
8 lentelė. Modelių tinkamumo duomenims kriterijų taikymo rezultatai.....	43
9 lentelė. Genetinio algoritmo pradinių parametų rinkiniai pagal apribojimų skaičių	43
10 lentelė. Dalelių spiečiaus algoritmo pradinių parametų rinkiniai pagal apribojimų skaičių	44
11 lentelė. Atrinkti dalelių spiečiaus algoritmo parametrai	44
12 lentelė. Atrinkti genetinio algoritmo parametrai	45
13 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą ir kalorijų kiekį su 3 apribojimais	45
14 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą ir kalorijų kiekį su 3 apribojimais.....	46
15 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą ir kalorijų kiekį su 6 apribojimais	46
16 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą ir kalorijų kiekį su 6 apribojimais.....	47
17 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą ir kalorijų kiekį su 12 apribojimais	48
18 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą ir kalorijų kiekį su 12 apribojimų	49
19 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių	50
20 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių ..	50
21 lentelė. Skaičiavimo laikas pagal metodą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių.....	52
22 lentelė. Atminties sąnaudos pagal mitybos planą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių.....	53
23 lentelė. Atminties sąnaudos pagal metodą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių	53
24 lentelė. Žemo angliavandenių kiekio mitybos plano dienos pavyzdys.....	57
25 lentelė. Aukšto angliavandenių kiekio mitybos plano pavyzdys	57

Paveikslų sąrašas

1 pav. Dirbtinio intelekto svarba gydant cukrinį diabetą [13]	15
2 pav. Skaitmeniniai įrenginiai ir dirbtinis intelektas medicinoje [14].....	16
3 pav. Fizinio aktyvumo trukmės duomenys	29
4 pav. Genetinio algoritmo schema.....	36
5 pav. Dalelių spiečiaus algoritmo schema	37
6 pav. Eksperimento schema.....	38
7 pav. Apibendrinta modelio naudotojo schema.....	39
8 pav. Gydytojo konsultacijos schema.....	39
9 pav. Naudotojo naudojimosi sudarytu modeliu schema	40
10 pav. Fizinio aktyvumo trukmės laiko eilutės dekompozicija.....	41
11 pav. Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo rezultatai.....	43
12 pav. Skaičiavimo laikas pagal mitybos planą su 3 apribojimais.....	51
13 pav. Skaičiavimo laikas pagal mitybos planą su 6 apribojimais.....	51
14 pav. Skaičiavimo laikas pagal mitybos planą su 12 apribojimų ir kalorijų kieki	52
15 pav. Naudotojo informacija.....	55
16 pav. Fizinio aktyvumo trukmės prognozė ir jos patvirtinimas.....	55
17 pav. Mitybos plano sudarymo parametrai	56
18 pav. Vidutinio angliavandenių kiekio mitybos plano pavyzdys	56
16 pav. ARIMA(1,0,0) modelio paklaidų tyrimo grafikai	67
17 pav. ARIMA(2,0,4) modelio paklaidų tyrimo grafikai	67

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

ACF – autokoreliacijos funkcija (angl. *autocorrelation function*);

ARIMA – Autoregresinis integruotasis slenkamojo vidurkio (angl. Autoregressive Integrated Moving Average);

CD – cukrinis diabetas;

DI – dirbtinis intelektas;

ESM – Eksponentinis glodinimo metodas (angl. Exponential Smoothing Method);

FAD – Fizinio aktyvumo daugiklis;

GA – genetinis algoritmas;

PACF – dalinės autokoreliacijos funkcija (angl. *partial autocorrelation function*).

Įvadas

Lėtinės ligos yra pagrindinė suaugusiųjų mirties priežastis daugelyje pasaulio valstybių. Šioms ligoms būdingas didelis kiekis rizikos veiksnių, ilgas laikas nuo ligos pradžios iki padarinių pajutimo, ilgas gydymas ir didelė komplikacijų rizika. Pavyzdžiui, cukrinis diabetas yra viena iš labiausiai paplitusių lėtinių ligų pasaulyje. Nors vyksta sparti mokslo ir technologijų plėtra sveikatos priežiūros srityje, tačiau cukrinis diabetas lieka nepagydoma, o tik kontroliuojama liga visą gyvenimą. Šios ligos kontrolei reikalingas reguliarus fizinis aktyvumas, tinkama mityba, akių ir pėdų tikrinimas, gliukozės kiekio kraujyje stebėjimas ir kontroliavimas, vaistų vartojimas ir kita. Sveikatos pramonė investuoja į vaistų, skaitmeninės terapijos, nešiojamų prietaisų ir paslaugų kūrimą siekiant geriau kontroliuoti cukrinį diabetą, tačiau tai veiksminga tik tada, kai pacientas nuolatos laikosi visų jam skirtų rekomendacijų. Dauguma priemonių, skirtų priminimų siuntimui arba žmogaus mokymui, grįstos bendromis rekomendacijomis, kurios ilgainiui nėra veiksmingos ir kelia nuovargį, todėl individualių skaitmeninės terapijos matematinių modelių kūrimas ir diegimas yra aktualus uždavinys.

Skaitmeninė terapija sujungia elgesio pokyčių ir palaikymo metodikas, medicininės rekomendacijas, duomenų analizę ir dirbtinį intelektą, siekiant individualiai prisitaikyti prie kiekvieno žmogaus gyvenimo įpročių ir įtraukti jį į ligos kontroliavimo procesą. Literatūroje retai analizuojami ir lyginami keli metodai skirti mitybos plano sudarymui, taip pat retai lyginami skirtingų mitybos planų ar apribojimų skaičiaus įtaka optimizavimo rezultatų tikslumui.

Dirbtinis intelektas yra taikomas keliose srityse susijusiose su diabeto valdymu: prognozuojant komplikacijų išsivystymo riziką, prognozuojant gliukozės kiekį kraujyje, atliekant automatinę akių ar pėdų patikrą, optimizuojant diabetui gydyti skirtų išteklių naudojimą. Mitybos įpročių keitimui naudojami vaizdų atpažinimo, klasterizavimo ir optimizavimo metodai, padedantys gilinti žinias apie maisto produktus. Žmogui svarbu suprasti ryšį tarp maisto produktų, fizinio aktyvumo ir gliukozės kiekio kraujyje. Matematiniais metodais grįsti skaitmeninės terapijos įrankiai padeda gerinti glikemijos kontrolę, paciento savęs priežiūros įgūdžius ir gyvenimo kokybę.

Šiame darbe mitybos plano optimizavimui panaudoti tiesinio programavimo, svertinio tikslo programavimo metodai, genetinis algoritmas ir dalelių spiečiaus algoritmas. Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimui pagal nuolatos iš jutiklių gaunamus duomenis naudojamas modelių ansamblis, atrenkant geriausiai tinkančius laiko eilučių modelius. Remiantis Amerikos diabeto asociacijos rekomendacijomis buvo sudaryti ir analizuojami skirtingi mitybos planų modeliai pagal angliavandenių kiekio tipą, kalorijų kiekio tipą ir apribojimų skaičių. Atlikta sudarytų mitybos planų analizė parodė, kad jie priimtini naudoti praktikoje. Darbo rezultatai bus naudojami įmonėje dHealthIQ, kuriant personalizuotas skaitmeninės terapijos produktus.

Darbo naujumas. Sukurtas individualizuoto mitybos plano sudarymo matematinis modelis, skirtingai nuo žinomų, įvertina žmogaus fizinio aktyvumo prognozę, geriau tenkina žmogaus pageidavimus maisto produktams, taiko keturis optimizavimo metodus sudarant optimalų mitybos planą. Visa tai padeda sudaryti tinkamesnius žmogui mitybos planus.

Tyrimo tikslas – sukurti modelį, kuris sudarytų ir periodiškai tikslintų individualų mitybos planą žmogui pagal jo pasirinktą maisto produktų sąrašą ir nuolatos iš jutiklių gaunamus fizinio aktyvumo duomenis bei būtų grindžiami sveikos mitybos ir gydytojo rekomendacijomis.

Uždaviniai:

1. atlikti mokslinės literatūros analizę, nustatyti metodų taikomų mitybos planų sudarymui stiprybes ir trūkumus. Pagrįsti matematinių metodų ir programinės įrangos pasirinkimą;
2. pasiūlyti matematinį modelį, kuris pagal nuolatos stebimus žmogaus fizinio aktyvumo duomenis ir pasirinktą maisto produktų sąrašą sudarytų ir tikslintų mitybos planą;
3. realizuoti modelį programiškai;
4. ištirti modelyje taikomų mitybos planų optimizavimo metodų tikslumo, greitaveikos ir atminties sąnaudų priklausomybę nuo mitybos plano tipo ir apribojimų skaičiaus;
5. pritaikyti sukurtą modelį realiems duomenims, atlikti tyrimus, apibendrinti gautus rezultatus, pateikti išvadas bei rekomendacijas.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Skaitmeninė mitybos terapija

1.1.1. Skaitmeninė terapija

Skaitmeninė sveikata yra platus apibrėžimas, kuris apima tokias technologijas, kaip personalizuota priežiūra, nuotolinė sveikata, skaitmeniniai sveikatingumo produktai, prietaisai, jutikliai, nešiojami prietaisai ir sveikatos informacinės technologijos. Skaitmeninė sveikata yra skaitmeninę mediciną apimanti sritis, kuri susideda iš skaitmeninių terapijų. Šie terminai plačiau paaiškinti 1 lentelėje.

1 lentelė. Skaitmeninės sveikatos, medicinos ir terapijos terminų paaiškinimas

Terminas	Skaitmeninė sveikata	Skaitmeninė medicina	Skaitmeninė terapija
Apibrėžimas	Skaitmeninė sveikata apima technologijas ir sistemas, kurios įtraukia naudotojus gyvenimo būdo, gerovės ir su sveikata susijusiais tikslais bei renka, saugo arba perduoda sveikatos duomenis ir (arba) remiasi klinikiniais tyrimais.	Skaitmeninė medicina apima klinikiniais tyrimais pagrįstus programinės ir (arba) medicininės įrangos produktus, kurie matuoja ir (arba) prisideda prie žmonių sveikatos priežiūros.	Skaitmeninė terapija teikia klinikiniais tyrimais pagrįstą terapinę intervenciją, skirtą medicininio sutrikimo ar ligos prevencijai, kontrolei ar gydymui.
Klinikiniai įrodymai	Ne visiems skaitmeninės sveikatos produktams reikalingi klinikiniai įrodymai.	Visiems skaitmeninės medicinos produktams reikalingi klinikiniai įrodymai.	Visiems skaitmeninės terapijos gaminiams reikalingi klinikiniai įrodymai.
Reguliavimas	Ne visi atitinka reglamentuojamus medicinos prietaiso apibrėžimus ir jiems nereikia teisinės priežiūros.	Skaitmeniniams medicinos produktams, kurie priskiriami medicinos prietaisams, reikalingas leidimas arba patvirtinimas. Skaitmeniniams medicinos produktams, naudojamiems kaip kitų vaistų, prietaisų ar medicinos produktų kūrimo priemonė, reikalingas atitinkamo skyriaus teisės aktų patvirtinimas.	Skaitmeninės terapijos produktai turi būti peržiūrėti ir patvirtinti arba sertifikuoti reguliavimo institucijos, kad būtų pagrįsti gaminio teiginiai apie riziką, veiksmingumą ir paskirtį.
Pavyzdžiai	Gyvenimo būdo mobilios programos, elektroninės medicininių įrašų sistemos, asmens sveikatos įrašai, nuotolinė sveikata.	Širdies stimulatorius, insulino pompa, geriami jutikliai, skaitmeniniai komponentai, su vaistais integruoti nuotolinio stebėjimo įrankiai.	Skaitmeninė terapija, teikianti medicininę intervenciją ligai gydyti, kontroliuoti ar užkirsti kelią.

Terapijos priemonės, sukurtos sveikatos priežiūros tikslais ir taikomos naudojant programinę įrangą, yra pagrindinis skaitmeninės terapijos skiriamasis bruožas. Skaitmeninės terapijos sąjunga (angl. *digital therapeutics alliance*) 2018 m. apibrėžė, kad „Skaitmeninė terapija teikia klinikiniais tyrimais pagrįstą terapinę intervenciją pacientams naudojant kvalifikuotas programinės įrangos programas, skirtas užkirsti kelią, kontroliuoti ar gydyti ligas. Ji gali būti naudojama kaip atskira terapija arba kartu su kitais gydymo būdais, įskaitant vaistus ar prietaisus, siekiant pagerinti ligos kontroliavimo ar prevencijos rezultatus“ [2]. Skaitmeninė terapija yra pagrįsta programine įranga ir ši programinė įranga gali būti laikoma medicininio prietaisu be medicininio aparato, vietoj kurio yra naudojamas naudotojo mobilusis telefonas ar nešiojamas kompiuteris. J. Hong’as [3] teigia, kad atsižvelgiant į

skaitmeninių terapijų siūlomų intervencijų įvairovę, visi produktai atitinka dešimt pagrindinių gerųjų praktikų principų:

1. užkerta kelią, kontroliuoja, gydo medicininį sutrikimą ar ligą;
2. teikia medicininę intervenciją naudodami programinę įrangą;
3. įtraukia projektavimo, gamybos ir kokybės gerą patirtį;
4. įtraukia galutinį naudotoją į produkto kūrimo, tobulinimo ir naudojimo procesus;
5. užtikrina paciento privatumą ir saugumą;
6. taikoma geriausia produkto diegimo, valdymo ir priežiūros praktika;
7. skelbiami tyrimų rezultatai, įskaitant kliniškai reikšmingus rezultatus, recenzuojamose žurnaluose;
8. reguliuojančios institucijos turi peržiūrėti bei patvirtinti rezultatus, kad būtų pagrįstos produkto rizikos, veiksmingumas ir paskirtis;
9. teikiama kliniškai patvirtinta informacija;
10. renka ir analizuoja produkto veikimo duomenis.

Pagrindinė skaitmeninės terapijos produkto paskirtis yra suteikti gydymą. Ji teikia terapinę naudą, panašią į kitas medicininės terapijas (pavyzdžiui, vaistus), tačiau naudoja kitokią veikimo mechanizmą. Sveikos gyvensenos mobiliosios programos nėra laikomos medicinos prietaisais, joms ne visose šalyse taikomi įvairūs reglamentai ir jos neteikia klinikinių saugumo ir veiksmingumo įrodymų.

Skaitmeninė terapija teikia pacientams naujas gydymo galimybes, kurių iki šiol medicinoje nebuvo. Ši terapija gali veikti nepriklausomai, papildyti kitus gydymo būdus, tobulinti šiuo metu prieinamus gydymo būdus bei sumažinti priklausomybę nuo tam tikrų vaistų ar specifinių gydymo būdų. Skaitmeninė terapija gali būti pritaikyta kiekvienam pacientui pagal jo gyvenimo būdą ir individualius poreikius. Taigi vienas iš svarbiausių skaitmeninės terapijos privalumų yra teikti tinkamą individualų gydymą reikiamu laiku ir reikiamu kiekiu. Straipsnio autorius [3] apibendrina 6 pagrindinius veiksnius, svarbius sėkmingiems ir užbaigtiems skaitmeninės terapijos produktams:

1. integracija: žmonės turi įtraukti naudojimąsi šia technologija į savo kasdienį gyvenimą, tam kad gydytojui reikėtų skirti mažiau laiko informacijos rinkimui. Pacientas tai gali daryti bet kurioje vietoje, skirdamas nedaug laiko per dieną;
2. duomenų mainai: technologija turi leisti keistis duomenimis bent su viena kita technologija ar prietaisu;
3. intelektas: gydymo algoritmams ir intervencijoms prisitaikyti prie paciento naudojamos pažangios technologijos (dirbtinis intelektas, mašininis mokymasis ir t. t.);
4. socializacija: leidžia dalintis sukauptais arba realaus laiko duomenimis su kitais pasirinktais nariais;
5. patvirtinimas: technologija turi turėti bent vieną tyrimą, pavyzdžiui bandomąjį (angl. *pilot*), preliminarų (angl. *preliminary*), pagrindinį (angl. *pivotal*) arba atsitiktinių imčių kontroliuojamą (angl. *randomized controlled trial*) tyrimą;
6. įtraukimas: intervencija naudoja žaidimų elementus (angl. *gamification*).

Šiame baigiamajame darbe didžiausias dėmesys skiriamas 3 kategorijai – algoritmui, adaptyviai prisitaikančiam prie paciento poreikių ir siūlančiam geriausią mitybos sprendimą pagal sveikatos priežiūros specialisto nustatytas rekomendacijas ir fizinio aktyvumo duomenis.

Skaitmeninės terapijos rinka plečiasi visame pasaulyje, tačiau daugiausia dėmesio jai skiria pažangios medicinos rinkos Europoje ir Šiaurės Amerikoje. Remiantis JAV rinkos tyrimų įmonės *Allied Market Reseach* 2020 m. duomenimis [4], pasaulinės skaitmeninės terapijos rinkos dydis 2019 m. siekė 2,88 mlrd. dolerių, ir tikimasi, kad iki 2027 m. metinis vidurkis augs iki 13,8 mlrd. dolerių. Skaitmeninės terapijos skirtos diabeto prevencijai ir kontrolei, 2019 m. užėmė didesnę rinkos dalį nei kitų ligų, taip pat prognozuojama, kad iki 2027 m. skaitmeninė terapija šiai ligai kontroliuoti užims dar didesnę rinkos dalį.

Skaitmeninės technologijos, realizuojamos skaitmeninės terapijos forma, turi galimybę pakeisti ligų prevencijos, diagnostikos ir kontrolės ateitį. Dar visai neseniai sveikatos apsauga atsiliko nuo kitų pramonės šakų pagal skaitmeninimo lygį. Dabar, iš dalies paskatinta COVID-19 pandemijos, sveikatos mobiliųjų programų rinka išaugo – 2021 metų duomenimis rinkoje yra daugiau nei 300 000 sveikatos priežiūrai skirtų mobiliųjų programų. Prasidėjus pandemijai vaizdo konsultacijų paklausa Europoje pakilo nuo 1 000 iki 100 000 kasdien. Tyrimas, kuriame dalyvavo 16 milijonų amerikiečių, parodė, kad per tą patį laikotarpį skaitmeninės medicinos naudojimas išaugo 30 kartų [5].

M. Kim [6] atliko skaitmeninių terapijų atsitiktinių imčių kontroliuojamų (angl. *randomized controlled trials*) klinikinių tyrimų apžvalgą nuo 2017 m. iki 2020 m. Terapijos skirtos nutukusiems asmenims arba turintiems cukrinį diabetą. Tyrimuose buvo naudojami nešiojami įrenginiai, mobiliosios programos arba saitynas. Nė viename tyrime nenaudojamos visos minėtos priemonės, tačiau 3 tyrimuose įtraukiamos bent dvi minėtos priemonės. Geriausius rezultatus parodė tyrimas, kuriame buvo naudojama tik mobilioji programa. Šiame tyrime nustatytas statistiškai reikšmingai sumažėjęs tiriamųjų svoris, pakitę laboratorinių, elgesio ir psichologinių testų rezultatai. Kiti tyrimai taip pat rodo, kad bent vienoje iš analizuotų sričių (svoris, laboratoriniai kraujo tyrimai, elgesio ir psichologiniai testai) nustatytas teigiamas poveikis pacientų sveikatai. Daugumoje tyrimų buvo aukštas, didesnis nei 80 % tiriamųjų įsitraukimo procentas, tik viename tyrime tiriamųjų įsitraukimas siekė 31 %. Šis rodiklis svarbus, nes rekomendacijų laikymasis yra pagrindinis dalykas norint suprasti klinikinį skaitmeninės terapijos veiksmingumą. J. Forte [7] analizuoja *Omada health* skaitmeninės terapijos taikymo įtaką 348 žmonių kraujo spaudimui. Nustatyta, kad spaudimas statistiškai reikšmingai sumažėjo žmonėms, kuriems taikoma skaitmeninė terapija skirta kraujo spaudimo kontrolei. Rezultatai rodo, kad svoris, lytis, genetinė rizika sirgti širdies ir kraujagyslių ligomis nebuvo statistiškai reikšmingai susijusi su kraujo spaudimo sumažėjimu. Apžvalgos rezultatai rodo, kad skaitmeninė terapija yra veiksminga gydant lėtines ligas ir nutukimą bei su mityba susijusias ligas. Cukrinis diabetas dažna lėtinė liga, kurios kontroliavimui pasaulyje yra ir bus skiriama vis daugiau lėšų, o jos kontrolei yra būtina tinkama mityba. Skaitmeninė terapija gali būti skirta įvairių ligų gydymui ar kontrolei, tačiau baigiamajame darbe kaip pavyzdys pasirinktas cukrinis diabetas.

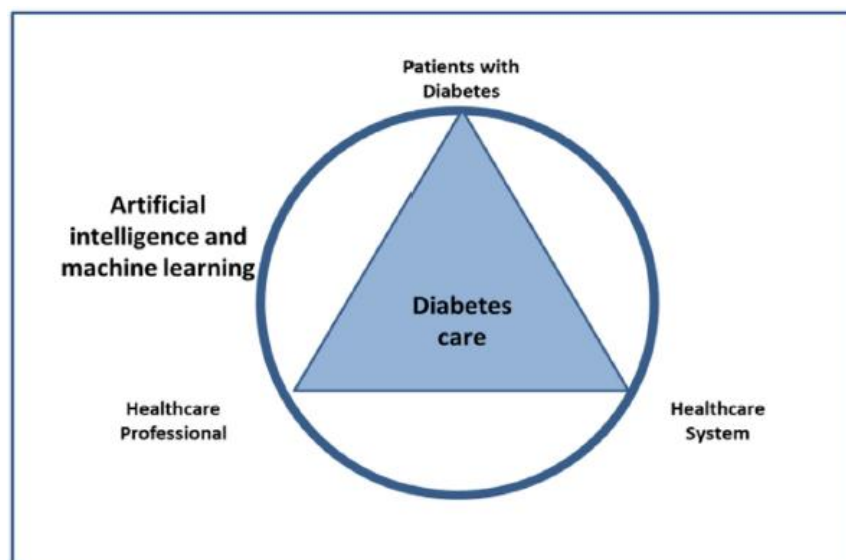
1.1.2. Cukrinio diabeto kontrolė ir mitybos įpročių valdymas

Cukrinis diabetas (CD) yra viena iš didžiausių visuomenės sveikatos problemų, kurios paplitimas pasaulyje siekia 476 mln., o per pastaruosius du dešimtmečius išaugo 129,7 proc. [8]. Didėjant asmenų, sergančių diabetu skaičiui, didėja ir pasaulinė ekonominė našta, kuri prognozuojama, kad iki 2030 metų sudarys 2,5 trilijono dolerių [9]. CD yra lėtinė liga, susijusi su įvairiomis komplikacijomis. Pagrindiniai CD tipai yra: 1 tipo cukrinis diabetas (1 CD), 2 tipo cukrinis diabetas (2 CD), nėščiąjų cukrinis diabetas ir kiti specifiniai diabeto tipai [10]. Amerikos diabeto asociacija teikia CD gydymo ir prevencijos gaires [11], kuriomis naudojasi įvairių kitų šalių, tarp jų ir Lietuvos, sveikatos priežiūros specialistai.

CD kontrolė yra priklausoma nuo elgsenos ir kasdienių įpročių, todėl pacientui būtina žinoti arba lengvai pasiekti informaciją apie tinkamą elgesį, o esant poreikiui ir jo keitimą. Nuolatinis suasmenintas paciento mokymas apie diabeto stebėjimą ir kontrolę yra svarbus norint sumažinti komplikacijų riziką. Gyvenimo būdo pokyčiai: mažesnis sėdėjimo laikas, didesnis fizinis aktyvumas, subalansuota mityba yra veiksniai, lemiantys tinkamą diabeto valdymą [12].

Technologijų pažanga lėmė tai, kad lėtinių ligų diagnozavimas, prevencija ir gydymas tapo efektyvesni, lengviau pasiekiami bei suasmeninti. Tokioms lėtinėms ligoms, kaip CD, reikia nuolatinės gydytojų priežiūros. Šių ligų kontrolės modelio išplėtimas naudojant skaitmeninę terapiją gerina ligos kontrolę ir mažina išteklius. Sergant CD reikalingi dažni stebėjimai, o sveikatos rodiklių stebėjimas realiu laiku didina vizitų pas gydytoją naudą. Pacientų švietimas, periodinis stebėjimas ir savikontrolė, paskatinta skaitmeninės terapijos ne tik sprendžia motyvacijos problemas, bet ir mažina su CD susijusias medicinines išlaidas. Įrodyta, kad individualus glikemijos būklės stebėjimas ir tolesnis terapijos keitimas pagerina 1 tipo CD ir 2 tipo CD sergančių asmenų gyvenimo kokybę ir glikemijos kontrolę. Glikemija yra gliukozės kiekis kraujyje. Hiperglikemija arba hipoglikemija atitinkamai reiškia per didelę arba per mažą gliukozės kiekį kraujyje.

Didelis kūno masės indeksas, prasta mityba, rūkymas, mažas fizinis aktyvumas yra pagrindiniai veiksniai, lemiantys prastą diabeto kontrolę ar mirtį. Vienas iš pagrindinių skaitmeninės terapijos bruožų yra paciento įsitraukimas į ligos gydymą, teikiant suasmenintą sveikatos instruktavimą, stiprinant paciento žinias apie kasdienes veiksmus kontroliuojant lėtinę ligą [13].



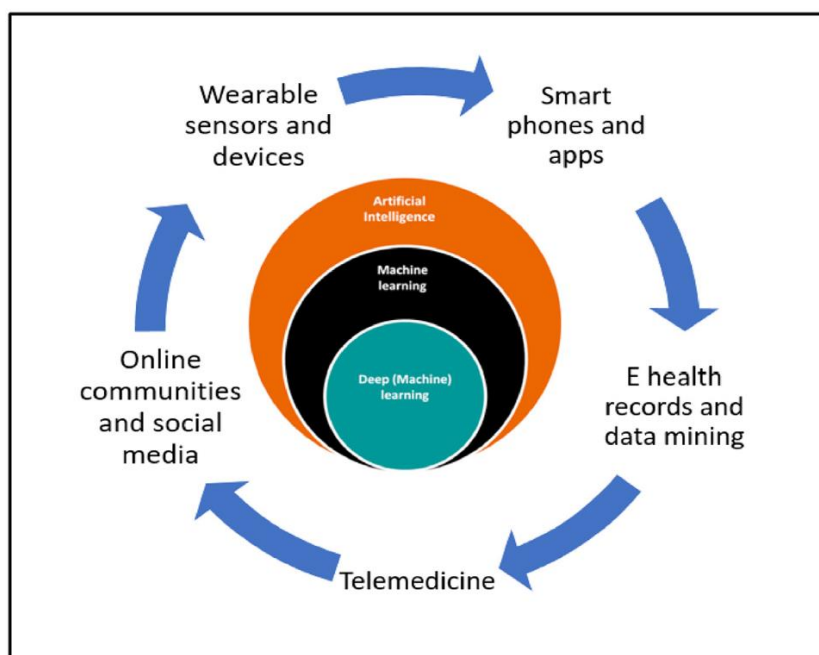
1 pav. Dirbtinio intelekto svarba gydant cukrinį diabetą [13]

Dirbtinio intelekto (DI) taikymas skaitmeninėje terapijoje padeda spręsti daug sveikatos priežiūros problemų. DI keičia CD priežiūrą – nuo įprastų valdymo strategijų prie tikslinės, duomenimis grįstos ir tikslesnės priežiūros kūrimo. DI plačiai naudojamas keturiose pagrindinėse CD priežiūros srityse: atliekant automatizuotą akių tinklainės patikrą, palaikant klinikinius sprendimus, prognozuojant populiacijos rizikas ir taikant pacientų priežiūros priemones. DI taikymas diabeto valdymo skaitmeninėje terapijoje yra naudingas gydytojui ir pacientui (1 pav.).

Savikontrolė yra pagrindinė diabeto valdymo dalis. Pritaikius DI metodus, pacientai gali patys efektyviau valdyti diabetą, generuoti ir stebėti savo duomenis bei būti savo sveikatos ekspertais.

Skaitmeninės platformos leidžia tiksliai teikti informaciją CD sergantiems pacientams. Supratimas ir žinios apie mitybos įpročius ir fizinį aktyvumą dabar pasiekiami naudojant saityną ir mobiliųjų telefonų bei išmaniųjų telefonų programas. DI ir kiti metodai leidžia CD sergantiems pacientams kasdien priimti tinkamus sprendimus dėl mitybos ir fizinės veiklos. H. Froisland'o [14] atliktame tyrime naudojamos programos, leidžiančios pacientams įvertinti suvartojamo maisto kokybę ir kaloringumą. Nustatyta, kad atsakomybė už CD priežiūrą padidėja, kai pacientai nufotografuoja savo maistą ir įvertina, ką valgo.

Skaitmeninė sveikata ir dėvimi sveikatos priežiūros įrenginiai (nuolatinės gliukozės matavimo sensoriai, išmanieji laikrodžiai) keičia CD valdymą. Nuotolinis stebėjimas mažina vizitų pas gydytoją laiką ir leidžia realiuoju laiku stebėti glikemijos būklę bei bendrą paciento sveikatą. Sveika mityba ir fizinis aktyvumas yra veiksmingos 2 tipo CD sergančių asmenų prevencijos ir kontrolės priemonės [12]. Sukurtos įvairios programos, kurios teikia asmeninius mitybos planus bei siūlo keisti maisto suvartojimą, kad jis atitiktų žmogaus gyvenimo būdą. Kasdienės veiklos lygius galima stebėti nešiojamaisiais prietaisais, kurie matuoja žingsnių skaičių pulsą ir kitus parametrus. Nešiojami prietaisai yra veiksmingi elgesio pokyčiams, susijusiems su sveikata, stebėti [15]. Šie prietaisai kartu su DI metodais leidžia sekti kasdienę veiklą ir gali paskatinti asmenį į įprastinę veiklą įtraukti tikslią prevencinę ar gydomąją veiklą (2 pav.).



2 pav. Skaitmeniniai įrenginiai ir dirbtinis intelektas medicinoje [14]

M. Makroum [16] atliko straipsnių apie mašininio mokymosi ir dėvimų prietaisų naudojimą cukrinio diabeto kontrolėje sisteminę apžvalgą. Analizuojama 19 straipsnių, kurie buvo išleisti 2011–2021 metais. Daugiausia iš atrinktų straipsnių aprašo gliukozės kiekio kraujyje prognozavimą pagal jutiklių teikiamus nuolatinio stebėjimo duomenis. Išmaniųjų apyrankių ir laikrodžių duomenys naudojami fizinio aktyvumo tipams nustatyti, o maisto produktų nuotraukos naudojamos angliavandenių kiekio įvertinimui. Apžvalgos autoriai teigia, kad per pastaruosius du dešimtmečius nešiojami prietaisai sukėlė didelį mokslininkų susidomėjimą sveikatos priežiūros srityje ir ypač lėtinių ligų gydyme. Vienas iš baigiamojo darbo tikslų yra sukurti matematinį modelį, kuris sudarytų mitybos planą pagal pateiktas rekomendacijas ir prisitaikytų prie žmogaus kasdienės veiklos – pavyzdžiui fizinio

aktyvumo. Fizinis aktyvumas yra vertinamas nustatant reikiamą kalorijų kiekį, todėl remiantis literatūroje aprašytais gliukozės kiekio kraujyje prognozavimo modelių pavyzdžiais siūloma prognozuoti fizinio aktyvumo trukmę.

Pastaraisiais metais pasaulyje pasikeitė žmonių mitybos įpročiai, taip pat progresavo ir mitybos mokslas. Daugelis lėtinių ligų yra tiesiogiai ar netiesiogiai susijusios su netinkama mityba. Gydant CD pagrindinis tikslas yra tinkama mityba, o kalorijų skaičiaus sumažinimas gali padėti sulėtinti ligos progresavimą. D. Mozaffarian'as [17] teigia, kad bloga mitybos kokybė skatina dar didesnę suvartojamo maisto kiekį. Šis procesas apima nuo kalorijų nepriklausomus faktorius: sotumą, gliukozės ar insulino jautrumą, kepenų riebalų sintezę, smegenų potraukį maistui ir pasitenkinimą juo, medžiagų apykaitą. Nepriklausomai nuo kalorijų ir svorio, mitybos įpročiai daro įtaką medžiagų apykaitos sutrikimui, CD rizikai ir kontrolei. Fizinis aktyvumas turi panašią naudą kaip ir mitybos įpročiai.

Mitybos įpročiai atspindi bendrą įprastai vartojamų maisto produktų derinį, kartu sukuriant bendrą poveikį sveikatai. Įrodymais grįsti naudingos mitybos modeliai turi keletą pagrindinių savybių: daugiau minimaliai perdirbtų maisto produktų, tokių kaip vaisiai, riešutai, sėklos, daržovės, ankštiniai augalai, sveiki grūdai, jūros gėrybės, jogurtas ir augalinis aliejus; ir mažiau raudonos mėsos, perdirbtos mėsos ir maisto produktų, kuriuose gausu rafinuotų grūdų, krakmolo ir pridėto cukraus. Tokiose mitybos planuose yra daugiau skaidulų, vitaminų, antioksidantų, mineralų, fenolių ir nesočiųjų riebalų, mažesnis glikemijos indeksas, druskos ir transriebalų kiekis.

Mitybos planų siekiamų tikslų moksliniai įrodymai įvairiose publikacijose yra skirtingi. Tai atspindi mitybos ir lėtinių ligų mokslo jaunumą, taip pat didelę mokslinių tyrimų ir žinių pažangą per pastaruosius 1–2 dešimtmečius.

Mitybos ir dietologijos akademija [18] atliko sisteminę 18 straipsnių apžvalgą, kurioje siekiama nustatyti individualios mitybos terapijos veiksmingumą suaugusiems CD sergantiems žmonėms. Nustatyta, kad mitybos terapija statistiškai reikšmingai sumažina vartojamų gliukozės kiekį mažinančių vaistų dozes ir pagerina gyvenimo kokybę. Autoriai teigia, kad pagrindinis sveikatos priežiūros specialistų ir pedagogų iššūkis yra skaitmeninių sveikatos technologijų priėmimas, integravimas ir įgyvendinimas. Mitybos ir dietologijos akademijos rekomendacijos individualios mitybos terapijos sudarymui:

- mitybos specialistai per pirmuosius 6 mėnesius turi organizuoti nuo trijų iki šešių susitikimų ir nustatyti, ar reikia papildomų susitikimų; susitikimai vykdomi ne mažiau kaip vieną kartą per metus pakartotinai;
- individualizuoti mitybos terapijos intervencijas, daugiausia dėmesio skiriant energijos suvartojimo mažinimui, ir įgyvendinti bendradarbiaujant su CD sergančiu suaugusiuoju;
- asmeninės nuostatos (tradicijos, kultūra, religija, sveikatos tikslai ir ekonomika) ir metaboliniai tikslai turėtų būti įvertinti, kai rekomenduojamas tam tikras mitybos planas;
- gydymo sprendimai turėtų būti pagrįsti dietologų rekomendacijomis, kurios yra pritaikytos pagal asmens pageidavimus, prognozes ir gretutines ligas.

Remiantis šiomis gairėmis kuriamas baigiamojo darbo individualaus mitybos plano sudarymo proceso modelis. Modelyje įtraukiamas vizitas pas sveikatos priežiūros specialistą, energijos suvartojimo mažinimo parametras, dietologo rekomendacijos pritaikytos pagal fizinio aktyvumo prognozę.

Amerikos diabeto asociacijos mitybos gairėse [12] yra nurodoma, kad skatinant pacientą mesti svorį ir kontroliuoti diabetą svarbu atsižvelgti į jo mitybos įpročius ir pagal tai sudaryti mitybos planą. Įvairūs mitybos planai turi skirtingą poveikį žmogaus organizmui. Dažniausiai žmonėms neseniai susirgusiems 2 tipo CD skiriami angliavandenių kiekį ribojantys mitybos planai (didelio, vidutinio, mažo ir labai mažo angliavandenių kiekio). Net jei mitybos planas yra sudarytas atsižvelgiant į žmogaus įpročius, tačiau žmogus dėl tam tikrų priežasčių negali pasiekti reikiamų produktų ir nori pakeisti vienus maisto produktus kitais bei neturi pakankamai žinių apie maistines medžiagas, tai padaryti bus sudėtinga. Šio skaitmeninės mitybos terapijos modelio tikslas yra kuo labiau prisitaikyti prie žmogaus kasdienių mitybos ir fizinio aktyvumo įpročių ir išlaikyti rekomenduojamas sveikas kalorijų ir maistinių medžiagų normas.

A. Schafer [19] analizuoja kaip maistinėmis medžiagomis grįstos rekomendacijos gali būti paverstos praktinėmis rekomendacijomis. Sudėtingumą didina individualūs mitybos įpročiai, ligos, alergijos, genetinė prigimtis, specifiniai individualūs poreikiai, tvarumo aspektai (šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas, žemės naudojimas, vandens naudojimas ir azoto praradimas), etikos sumetimai ir kt. Norint išspręsti įvairių dimensijų integravimo į mitybos rekomendacijas problemą, reikalingi skaičiavimo įrankiai ir maisto duomenų bazės. Matematiniai optimizavimo įrankiai gali padėti paversti maistinių medžiagų poreikius maisto pasirinkimu, kartu atsižvelgiant į kitas su maistu susijusias ypatybes, įskaitant maisto saugą, biologinį prieinamumą, maisto biudžetą, vartojimo įpročius ir poveikį aplinkai. Optimizavimo metodai leidžia pasirinkti geriausią įmanomą sprendinį, atsižvelgiant į apribojimų rinkinį. Mitybos plano optimizavimas taip pat gali naudojamas apskaičiuoti minimalioms išlaidoms, kurios yra reikalingos rekomenduojamo mitybos plano maisto produktams. Matematiniai metodai padeda sumažinti nuokrypius nuo mitybos plano apribojimų, nes jie gali apdoroti daug duomenų ir netgi prieštaringus duomenis, kurių būtų per daug, kad asmuo galėtų juos iširti. Sveikatos priežiūros specialistas nustato taisykles, pagal kurias turi veikti matematinis modelis. Apibendrinant, optimizavimas yra tinkamas įrankis įvairiapusei informacijai apie atskirus maisto produktus paversti sveika ir tvaria mityba. Šio baigiamojo darbo tikslas yra sukurti skaitmeninės terapijos modelį, todėl bus įtraukiami tik maistinių medžiagų apribojimai pagal Amerikos diabeto asociacijos rekomendacijas.

1.2. Mitybos įpročių valdymo programinė įranga

Mitybos įpročių stebėjimui ir keitimui naudojama įvairi programinė įranga ir skirtingos metodikos. Daug rinkoje esančių mitybos rekomendacijos priemonių yra grįstos iš anksto sudarytais mitybos planų šablonais su parinktais maisto produktais ir jų kiekiais. Naudotojo profilio nustatymui ir periodiniam stebėjimui skiriami klausimynai, o nuolatos renkami mitybos ar fizinio aktyvumo duomenys naudojami retai. Saitynas *Foodsmart* CD sergantiems asmenims teikia mitybos planavimo, maisto užsakymo ir mitybos mokymo funkcijas [20]. *CalorieKing* [21] ir *GoMeals* [22] yra mobiliosios programos, kurios teikia naudotojui išsamią informaciją apie maistą restoranuose. Jos padeda nustatyti reikiamą porcijos dydį ir rodo maisto sudėtį. *MobiDiaBTs* yra mobilioji programa, kuri teikti mitybos rekomendacijoms, CD sergantiems žmonėms, naudoja taisykles ir ontologijas [23]. *FareWell* mobilioji programa skirta skaitmeniniu būdu teikti specializuotą pagalbą žmonėms. Sveikatos priežiūros specialistas naudodamasis šia mobiliąja programa teikia konsultacijas susijusias su mityba ir gyvenimo būdo įpročiais CD sergantiems asmenims. Pacientai teigiamai vertino programą, o 92 % teigė, kad labiau pasitiki savo gebėjimais kontroliuoti diabetą labiau nei prieš dalyvavimą tyrimą [24]. Tumark'as [25] siūlo ontologija pagrįstas asmenines mitybos rekomendacijas sportininkams.

Skaitmeninės terapijos įmonės (*Blue Star, Diabeo System, Livongo Diabetes Program, Omada Health* ir kt.) naudoja saityną įrodymais pagrįstų ir suasmenintų rekomendacijų tiekimui. *Omada Health* įtraukia pacientus į grupines intervencijas, kuriose stiprėja pacientų tarpusavio bei pacientų ir trenerių tarpusavio ryšiai. Skaitmeninės terapijos platformos tokios kaip *Diabeo System, Livongo Diabetes* yra skirtos teikti personalizuotas insulino dozės rekomendacijas realiu laiku, analizuojant gliukozės kiekio kraujyje duomenis [26].

Maisto rekomendacinė sistema [27] naudoja klasterinę analizę. Ji rekomenduoja tinkamai pakeisti maisto produktą atsižvelgiant į maistines charakteristikas. Klasterizavimas naudojamas panašiam maistui sugrupuoti pagal aštuonių svarbių maistinių medžiagų panašumą CD sergantiems pacientams. D. Preuveneers [28] aprašo mobiliąją programėlę 1 tipo CD sergantiems pacientams leidžia stebėti savo suvartojamą maistą, fizinį aktyvumą, gliukozės kiekį kraujyje ir insulino. Programėlė naudoja paslėptą Markovo modelį, kad stebėtų naudotojų vietą ir atpažintų ankstesnę elgesį, o galiausiai padarytų išvadą apie jų veiklą, kad padėtų naudotojams priimti sprendimus dėl kasdienės insulino dozės.

Tobulėjantys genų tyrimai paskatino suasmenintos mitybos kūrimo poreikį, tačiau sudėtinga rasti tokią rekomendacijų sistemą. Autoriai [29] pristato suasmenintą ekspertinę rekomendacijų sistemą mitybai, kuri atlieka maisto produktų filtravimą ir teikia rekomendacijas. Automatiniam maisto produktų skirstymui į kategorijas taikomi neuroniniai tinklai. Šiame sprendime produktas lyginamas su kitais produktais toje pačioje kategorijoje. Viena iš rekomendacijų sudarymo dalių taip pat yra optimizuoti asmens maisto produktus, o tam naudojamas genetinis algoritmas. Modelyje nurodyta 1000 maksimalus iteracijų skaičius. Genetinis algoritmas pasiekia didžiausią tikslo funkcijos reikšmę per 410 iteracijų.

Nutrioapp [30] yra komercinis produktas skirtas dietologui. Saityne dietologas gali pasirinkti iš jau paruoštų šablonų arba sukurti savo mitybos planą. Kiekvienas mitybos planas rodomas su reikalingu makroelementų ir mikroelementų analize. Remiantis taisyklėmis programa siūlo maisto produktus, kuriais galima pakeisti jau esančius produktus mitybos plane. Siūloma mobilioji programa skirta dietologo klientui, kurioje galima skirti rekomenduojamą mitybos planą, bendrauti su pacientu, siūsti pacientui mokomąją medžiagą ar klausimynus. Šis sprendimas naudoja viešai prieinamą maisto duomenų bazę, kuri yra naudojama ir šiame baigiamajame darbe. *Optimeal* [31] yra produktas skirtas mitybos plano optimizavimui atsižvelgiant į mitybos parametrus ir aplinkos tvarumą. Ši programinė įranga naudojama įvairiose moksliniuose tyrimuose susijusiuose su mityba ir tvarios aplinkos kūrimu [32,33]. Mitybos plano sudaryme įtraukiami maisto produktai, pradiniai maisto produktų kiekiai ir apribojimai. Mitybos planas sudaromas dienai, o kalorijų skaičius parenkamas įvedus asmens, kuriam bus skirta dieta parametrus (lytį, amžių ir alergijas). Programoje galima rinktis kelis optimizavimo variantus: išlaikyti kuo artimesnius dabartinius maisto produktų kiekius naudojant tiesinę arba kvadratinę programavimo metodą atsižvelgiant į vieną produktą arba į visus, arba optimizuoti tik tam tikrus makroelementų kiekius. Sudarius optimalų mitybos planą rodomi nuokrypiai nuo pradinių maisto produktų kiekių ir mikroelementų ir makroelementų analizė. Šis produktas turi daugiausia optimizavimo pasirinkimų iš visų aprašytų apžvalgoje, tačiau tai nėra komercinis produktas skirtas sveikatos priežiūros specialistui, o mokslininkui. A. Volland'as [34] analizuoja skaitmeninius įrankius (saitynus ir mobiliąsias programas) skirtas mitybos įpročių stebėjimui ir kontrolei. Inovatyvūs maisto produktų įvedimo būdai tokie kaip brūkšninio kodo skenavimas yra naudojami komercinėse mobiliosiose programose, tačiau rečiau moksliniuose tyrimuose. Autoriai taip pat teigia, kad yra du pagrindiniai veiksniai skatinantys naudoti ir pasitikėti skaitmeninėmis mitybos aplikacijomis: 1)

paprastas, aiškus ir intuityvus naudotojo sąsajos kūrimas maisto produktų įrašymui ir 2) išsamių maisto produktų duomenų bazių prieinamumas. Elektroninės maisto mitybos kontrolės priemonės yra pranašesnės už tradicines – popierines. Skaitmeninės mitybos stebėjimo priemonės yra tik viena priemonė, kuri turėtų būti derinama su kitomis: psichologine ir socialine parama, motyvacija sveikai keisti įpročius ar svorio metimas.

1.3. Mitybos plano sudarymo mokslinių darbų apžvalga

Optimizavimo metodai taikomi įvairiose sveikatos priežiūros srityse: išteklių valdyme, vietos medicinos reikmėms ar sveikatos priežiūros paslaugoms pasirinkime, optimalaus gydymo pasirinkime, personalo ar pacientų apžiūros tvarkaraščių sudaryme [35].

K. Davis [36] apžvelgia statistinius modeliavimo metodus, naudojamus sudaryti sveikos mitybos planams. Analizė įtraukia publikacijas ir literatūrą nuo oficialių Kanados sveikos mitybos rekomendacijų išleidimo [37]. Autoriai teigia, kad yra dvi skirtingos sveikos mitybos įpročių kūrimo metodikos: maisto medžiagų kiekio modeliavimas ir mitybos įpročių analizė.

Maistinių medžiagų modelių analizė yra procesas, kai sudaromos kasdienės arba savaitinės vartojamų maisto produktų kiekių rekomendacijos, atitinkančios konkrečius kriterijus (kalorijų kiekį, tam tikrų produktų ar maistinių medžiagų ribojimą, maisto produktų ar kategorijų proporcijas ir kiekius). Nustatyti kriterijai leidžia pasiekti reikiamą maistinių medžiagų kiekį ir mažina lėtinių ligų riziką. Taip pat šiuose modeliuose atsižvelgiama į maisto grupes, žmonių amžių, lytį, fizinį aktyvumą.

Mitybos įpročių analizė nustato ir apibūdina skirtingus gyventojų mitybos įpročius. Ji rodo mitybos įpročius be susiejimo su konkrečiais sveikatos rezultatais, tačiau nustato mitybos įpročius būdingus tam tikrai populiacijai. Naudojami kintamieji: dažniausiai vartojamas maistas, demografiniai duomenys ar rizikos veiksniai. Baigiamajame darbe analizuojama abiejų rūšių literatūra, nes juose siekiama gauti optimalų mitybos planą taikant optimizavimo metodus.

A. Iwuji [38] aprašo sveikos mitybos plano, sergantiems hipertenzija optimizavimą naudojant tiesinio programavimo metodą. Tikslas gauti dienos mitybos planą, kuris tenkina mitybos plano sergantiems hipertenzija maisto medžiagų toleruojamą didžiausią ir mažiausią suvartojimo kiekį skirtingoms kalorijų normoms ir yra minimalios kainos. Mitybos planas sergantiems hipertenzija rekomenduoja vartoti mažiau natrio, sočiųjų riebalų, riebalų bei cholesterolio, ir daugiau magnio, kalio, kalcio, skaidulinių medžiagų. Sudaromi 9 apribojimai, o maisto produktai pasirenkami iš skirtingų maisto produktų grupių: grūdų, vaisių, daržovių, pieno, žuvies ir riešutų. Maisto produktų kainų duomenys surinkti iš prekybos centro. Gauti rezultatai tenkina visus apribojimus. Straipsnyje aprašytas modelis naudoja maisto produktų porcijas bei optimizuoja maisto produktų kainas ir naudoja apribojimus iš vienos pusės (reikia naudoti mažiau arba daugiau tam tikrų maisto medžiagų), todėl pagal gautus optimizavimo rezultatus sudarytas mitybos planas gali neįtraukti tam tikrų produktų arba įtraukti labai daug.

A. Iwuji [39] taiko svartinio tikslo programavimo (angl. *weighted goal programming*) metodą mitybos plano hipertenzija sergantiems žmonėms optimizavimui, ir lygina gautus rezultatus su tiesinio programavimo metodu gautais mitybos plano rezultatais. Svertinis tikslo programavimo metodas mažina nuokrypius nuo mitybos plano apribojimų. Tiesinio programavimo metodas nerats tinkamo sprendinio, kai sąlygos prieštarauja viena kitai. Svertinis tikslo programavimo metodas teikia geresnį sprendinį, nors jis nėra optimalus visų (galimai ir prieštaraujančių vienas kitam) tikslų

atžvilgiu. Tikslu funkcijoje kintamiesiems skiriami svoriai, pagal kintamojo nuokrypio svarbumą. Autorių pateikiamame modelyje sudaromi 9 apribojimai, o dienos mitybos planas sudaromas su 2000 kalorijų. Šio modelio nuokrypiai buvo mažesni nei naudojant tiesinio programavimo metodą. Svertinio tikslo programavimo nuokrypis 3 % nuo vieno apribojimo, o tiesinio programavimo metodo nuokrypiai nuo 19 % iki 167 % penkiems apribojimams. Tiesinis programavimas yra dažniausiai naudojamas mitybos plano uždavinio sprendimo būdas, ir jis yra tinkamas, kai apribojimų nėra daug ir jie neprieštarauja vienas kitam, o svertinio tikslo programavimo metodas leidžia rasti tikslesnį sprendinį, net jei jis nėra optimalus visų apribojimų atžvilgiu.

P. Heinonen [40] aprašo genetinio algoritmo (GA) metodo naudojimą mitybos plano sudarymui. Šiame metode genas yra maisto produktas, o chromosoma yra vienas galimas mitybos plano sprendinys. Populiacija yra chromosomų rinkinys. Geriausias sprendinys randamas vertinant populiaciją, taikant genetinio algoritmo operatorius. Per maža populiacija neturi įvairovės, kad būtų randamas globalus optimalus sprendinys. Kuo ilgesnė chromosoma, tuo didesnė populiacija turėtų egzistuoti. Kai populiacijos dydis per didelis, tuo daugiau reikia iteracijų, kad būtų pasiektas geriausias sprendimas. Tai veikia skaičiavimo laiką ir lėtina konvergavimą. Mutacija kuria atsitiktinį populiacijos kitimą. Dvi tėvinės chromosomos yra kryžminamos naudojant lygtis:

$$y_i^1 = \alpha_i x_i^1 + (1 - \alpha_i) x_i^2; \quad y_i^2 = \alpha_i x_i^2 + (1 - \alpha_i) x_i^1 \quad (1)$$

čia α_i – atsitiktinis skaičius; x_i^1, x_i^2 – tėvinės chromosomos; y_i^1, y_i^2 – vaikinės chromosomos.

Aprašytame modelyje naudojama 100 iteracijų, kryžminimo tikimybė 0,8 ir mutacijos tikimybė 0,2. Šiame modelyje naudojama *Nutri-Flow* duomenų bazė ir sudaroma 30 apribojimų, įvertinant asmeninį skonį ir alergijas. Rezultatai rodo, kad visi apribojimai tenkinami, išskyrus du atvejus, kai išvis nebuvo gauta rezultatų. Sprendinys apskaičiuotas per priimtina laiką, todėl modelis tinkamas naudojimui bei patikrintas ekspertų. Šio darbo privalumai yra tai, jog įtraukiami ir kiti kintamieji kaip skonis ar alergijos. Nuo baigiamojo darbo skiriasi tuo, jog turi didelę vertinimo taisyklių bazę ir parenka optimalius iš visų galimų, o baigiamajame darbe bus atsižvelgiama į tai ko naudotojas nori tuo metu.

A. Sulistiani [41] naudoja dalelių spiečiaus algoritmą (angl. *particle swarm optimization*) 3–5 metų vaikų mitybos planui sudaryti pagal jų amžių ir fizinį aktyvumą. Modelyje naudojami 4 apribojimai: kalorijų, angliavandenių, riebalų ir baltymų. Tinkamumo funkcija aprašoma lygtimi:

$$F = \left(\frac{1}{Bauda} * 100000 \right) + c; \quad Bauda = |EN - E| + |CN - C| + |FN - F| + |PN - P| \quad (2)$$

čia: c – konstanta; EN – kalorijų kiekio tikslas; E – kalorijų kiekis; CN – angliavandenių kiekio tikslas; C – angliavandenių kiekis; FN – riebalų kiekio tikslas; F – riebalų kiekis; PN – baltymų kiekio tikslas; P – baltymų kiekis.

Naudoti parametrai: dalelių skaičius – 20, wmin – 0,4, wmax – 0,7, iteracijos – 20, kombinacijos – 50, c1, c2 – 1. Gautas mitybos plano tikslumas yra 90 %.

R. Rizqullah [42] taiko dalelių spiečiaus algoritmą vyresnio amžiaus žmonių mitybos plano sudarymui. Naudojami 5 apribojimai: kalorijų, angliavandenių, baltymų, riebalų, kainos. Mitybos planas sudaromas kiekvienam valgiui. Tinkamumo funkcija aprašoma lygtimi:

$$F = \frac{1}{Bauda} * c_1 + \frac{1}{Kaina} * c_2 + c_3 \quad (3)$$

čia: c_1, c_2, c_3 – konstantos, Kaina – maisto produktų kaina, Bauda – Bauda iš (2) lygties.

Naudoti parametrai: dalelių skaičius – 25, w_{min} – 0,4, w_{max} – 0,6, iteracijos – 10, kombinacijos – 50, c_1, c_2 – 1,5. Gauta, kad vidutiniškai angliavandenių kiekis mažesnis 10 %, baltymų ir riebalų kiekiai didesni 10 % už nustatytus apribojimus.

H. Rong'as [43] aprašo chaotiškų dalelių spiečiaus algoritmą (angl. *chaotic particle swarm optimization*), kuris sujungia chaoso paieškos metodą su dalelių spiečiaus algoritmu. Chaoso paieška yra atsitiktinis judėjimas su pseudoatsitiktinumu ir reguliarumu, kuris aprašomas lygtimi:

$$a_{n+1} = \mu a_n (1 - a_n) \quad (4)$$

čia: μ, a_n – konstantos; $n = 0, 1, 2 \dots$

Tikslo funkcija yra sudaroma pagal asmeninius apribojimus: ūgį, svorį, amžių, fizinį aktyvumą, lytį, maisto produktų pasirinkimą. Modelyje vertinamos 7 maisto medžiagos: vanduo, baltymai, angliavandeniai, riebalai, skaidulinės medžiagos, vitaminai ir mineralai, taip pat įtraukiamos maisto produktų kategorijos: daržovės, vaisiai, kiaušiniai, jūros gėrybės ir pienas. Tyrimo rezultatai rodo, kad šis algoritmas tiksliau rekomenduoja mitybos planą negu paprastas dalelių spiečiaus algoritmas, nes garantuoja proporcingą maisto produktų pasiskirstymą. Sudarytame modelyje atsižvelgiama tik į bendros rekomendacijos kombinaciją, be atsižvelgimo į jos loginę struktūrą. Šis metodas pasiekia globalų optimalų sprendinį per mažiau iteracijų, nei dalelių spiečiaus algoritmas. Šio straipsnio panašumai su baigiamuoju darbu yra tai, jog atsižvelgiama į žmogaus parametrus bei maisto pasirinkimus. Taip pat, svarbu, jog sudaroma funkcija, kuri vertina kiekvieno iš reikalavimų nuokrypius.

G. Asghari [44] analizuoja neraiškios logikos (angl. *fuzzy logic*) panaudojimą sveikos mitybos plano sudarymui. Tikslas pagal asmens pasirinktus maisto produktus rasti geriausią mitybos planą, kuris tenkina energijos ir maisto medžiagų apribojimus. Modelyje naudojami 7 maisto produktų grupių (vaisių, daržovių, grūdų, mėsos, pieno, aliejaus ir riebalų bei pridėtinio cukraus) porcijų dydžiai ir 31 energijos bei maisto medžiagų apribojimai. Rezultatai rodo, kad neraiškioji logika dažniausiai tenkina nustatytus apribojimus, išskyrus vitamino E ir kalio (šių apribojimų tikslumai atitinkamai 69 % ir 98 %). Šio straipsnio skirtumai nuo baigiamojo darbo yra tai, kad vertinamas maisto produktų porcijų dydis, o panašumai, jog stengiamasi įtraukti kuo daugiau apribojimų ir optimizuojami pasirinkti produktai.

M. Zarch [45] aprašo keleto tikslų mitybos plano optimizavimo (angl. *multi-objective optimization*) modelį diabetu sergantiems pacientams. Šio darbo tikslas yra sukurti maisto medžiagų normas atitinkančią, įvairią ir ekonomišką dietą diabetu sergantiems pacientams naudojant keleto tikslų sveikojo skaičiaus tiesinio programavimo modelį. Modelis aprašomas lygtimi:

$$\text{Min } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)); \quad C(x) \leq 0 \quad (5)$$

čia f_1, f_2, \dots, f_n – tikslo funkcijos; $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – sprendiniai; $C(x)$ – apribojimai.

Modelio tikslas yra sumažinti sočiųjų riebalų, cukraus, cholesterolio kiekius ir išlaidas. Į modelį įtraukiama maistinių produktų duomenų rinkinys, maistinių medžiagų normos ir maisto produktų grupės. Keleto tikslų optimizavimo metoduose neegzistuoja vienas galimas sprendimas, kuris minimizuotų visas tikslo funkcijas tuo pačiu metu. Todėl yra naudojamas Pareto optimalus

sprendimas, kuris negali pagerinti vieno rezultato nesumažindamas bent vieno kito apribojimo rezultato. Pagal Pareto principą sprendimas y dominuoja prieš sprendimą z , jei:

$$f_i(y) \leq f_i(z) \quad \forall i \in (1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

$$f_i(y) < f_i(z) \quad \exists i \in (1, 2, \dots, m) \quad (7)$$

čia f_i – tikslo funkcija; y, z – sprendiniai; m – tikslo funkcijų skaičius.

Šio modelio sprendinys nėra vienintelis dominuojantis, todėl nėra lyginamas su kitais rezultatais. Tinkamiausias mitybos planas gali būti pasirenkamas pagal paciento skonį, maisto produktų prieinamumą ir kainą. Buvo atlikta analizė tarp 30 metų vyrų ir moterų su kūno masės indeksu nuo 18,5 iki 24,9 ir skirtingais fizinio aktyvumo lygiais (neaktyvūs, mažai aktyvūs, aktyvūs, labai aktyvūs). Ji parodė, kad pacientai palankiai vertino sudarytą mitybos planą dėl galimybės suvartoti didesnę kiekį tinkamų angliavandenių ir skaidulinių medžiagų bei kontroliuoti druskos, cukraus, sočiųjų riebalų ir cholesterolio kiekį. Šio straipsnio panašumai į baigiamąjį darbą yra tai, jog parenkami tam tikri maisto produktai ir jų grupės, mitybos planas sudaromas atsižvelgiant į kūno masės indeksą, amžių ir lytį. Naudojant šį modelį galima gauti rezultatus, kur maisto produktas nebus pasiūlytas vartoti, o mitybos planas yra vertinamas pagal tai ar ją renkasi pacientai.

E. Bas [46] mitybos plano sudarymo problemai spręsti naudoja sveikojo skaičiaus programavimo (angl. *integer programming*) metodą. Į šį modelį yra įtraukta glikeminė apkrova, kaip vienas iš tikslo funkcijos parametrų. Šie duomenys yra retai įtraukiami į mitybos plano problemas – dažniausiai tokio tipo problemos nagrinėja mažiausią kainą. Šis modelis taip pat turi keletą apribojimų: yra teigiama, kad glikeminė apkrova yra patiekalo dydžio ir maisto glikeminės apkrovos tiesinė kombinacija, taip pat nėra atsižvelgiama į tokius veiksnius kaip maisto produktų kombinacijos ir jų įtaka gliukozės kraujyje lygiui. Mažo glikeminio indekso maistas daro ne tokią didelę įtaką cukraus ar insulino kiekiui kraujyje, kaip didelio glikeminio indekso maistas. Todėl tai yra svarbūs faktoriai sudarant mitybos planą diabetu sergančiam pacientui. Taip pat yra literatūroje yra nagrinėjami ryšiai tarp glikeminio indekso ir chroninių ligų tokių kaip nutukimas, diabetas, širdies ir kraujagyslių ligos. Tačiau glikeminio indekso ir apkrovos kitimas kiekvienam žmogui gali būti skirtingas bei literatūroje pateikti rodikliai gali skirtis dėl skirtingų metodų juos matuojant. Todėl šie rodikliai yra laikomi tiksliai neapibrėžiamais. Sudarant optimizavimo modelį, tikslo funkcija yra sumažinti glikeminę apkrovą. Modelyje nustatyta 16 skirtingų mikroelementų, vitaminų, ir kalorijų kiekio apribojimai bei vertinamas maisto grupių porcijų skaičius. Rezultatai vertinami pagal tai, ar gauti maisto produktai sudarytuose planuose yra mokslinėje literatūroje siejami su mažesne glikemine apkrova. Šio straipsnio skirtumai nuo baigiamojo darbo yra tai, jog modeliui teikiamas didelis kiekis produktų ir tik dalis jų yra įtraukiama į optimalų mitybos planą, taip pat maisto kiekis yra vertinamas porcijomis, o ne gramais. Tačiau panašumai yra tai, jog norima įvertinti kuo daugiau maistingųjų medžiagų normų, pasiekti reikiamą dienos kalorijų kiekį.

J. Xie [47] aprašo asmeninio mitybos plano ir fizinio aktyvumo sudarymo sistemą 1 tipo CD sergantiems žmonėms. Šis modelis kiekvienos intervencijos metu prognozuoja gliukozės kiekį kraujyje pagal paciento specifinį gliukozės dinamikos modelį ir pateikia rekomendacijas tokias kaip: valgio ar užkandžio kiekis, tam tikras širdies ritmo intensyvumas atliekant fizinius pratimus. Šios rekomendacijos yra skirtos mažinti hiperglikemijos arba hipoglikemijos atvejus, be to, pagal naudotojo poreikius rekomendacijos gali būti keičiamos (tarkime pacientas nenori būti fiziškai aktyvus, todėl gliukozės valdymas gali būti atliekamas atsižvelgiant tik į maisto sudėtį, ir atvirkščiai,

galima rekomenduoti atitinkamą fizinio aktyvumo kiekį bei intensyvumą). Šiam modeliui testuoti yra naudoti simuliuoti duomenys – 30 asmenų su pirmo tipo cukriniu diabetu bei turintys fizinį aktyvumą. Optimizavimo tikslo funkcija yra gliukozės kiekio kraujyje rizikos funkcija. Naudojamas baigtinio horizonto optimizavimas (angl. *finite-horizon optimization*) su 5 minučių periodu. Apribojimo funkcijos sudarytos iš insulino kiekio, angliavandenių, pulso bei triukšmo vertinimo skirtingame horizonte (skirtingo valgio metu). Šis modelis yra lyginamas su kitomis sistemomis ir pasižymi tuo, jog sumažino hipoglikemijų skaičių po fizinio aktyvumo. Šio straipsnio pagrindinis skirtumas yra tai, jog tikslas yra palaikyti optimalų gliukozės kiekį kraujyje laike su skirtingomis rekomendacijomis, o ne sudaryti tinkamą mitybos planą. Pagrindinis plusas yra tai, jog sudarytas modelis yra kintantis ir adaptuojasi laike pagal fizinį aktyvumą ir kitus horizontui skirtus parametrus.

A.Dhoruri [48] atliko tikslo programavimo (angl. *goal programming*) mitybos plano sudarymo modelio, skirto diabetu sergantiems pacientams, jautrumo analizę. Diabetu sergančių pacientų mityboje svarbiausi elementai yra energija, baltymai, riebalai ir angliavandeniai. Tikslo programavimas yra tiesinio programavimo plėtinys, skirtas kuo geriau tenkinti nustatytus apribojimus ir tikslą. Šiame modelyje apribojimai turi būti aprašyti pagal svarbumo lygį. Gauti sprendiniai yra naudojami jautrumo analizėje, kad būtų galima nustatyti kaip keičiasi optimalus sprendinys keičiant parametrus. Šiuo atveju jautrumo analizė buvo atliekama vertinant maisto medžiagų kiekio pasikeitimą ir fiksuoto koeficientų pasikeitimą. Modelyje dienos valgis suskirstytas į 5 dalis – pusryčiai, ryto užkandis, pietūs, vakaro užkandis, ir vakarienė. Įtraukiami maisto produktų, energijos, angliavandenių, proteinų, riebalų apribojimai, o tikslo funkcija yra išlaidos. Šiame tyrime aptariamas dešinėje apribojimų pusėje esančių kiekių pakeitimas. Nustatyta, jog yra tam tikra tolerancijos reikšmė, kurios neviršijus optimalus sprendinys vis dar bus pasiektas, o tai rodo modelio tinkamumą šio uždavinio sprendimui.

R. Broekema [49] tiria olandų mitybos plano optimizavimą. Sudarytas mitybos planas turi tenkinti sveikos mitybos, tvarios aplinkos apribojimus ir minimaliai nukrypti nuo dabartinio olandų mitybos plano. Optimalaus mitybos plano formulavimui naudojami nacionalinių maisto suvartojimo apklausų Nyderlanduose (2007–2010) duomenys ir kvadratinė optimizacija (angl. *quadratic optimization*). Tiriama atvejai su skirtingais šiltnamio dujų išmetimo tikslais ir mitybos plano modeliais (mitybos gairės veganams, vegetarams ir t. t.). Rezultatai rodo, kad iki 2030 metų mitybos plane reikalingas jautienos, kiaulienos, sūrio, sviesto ir užkandžių sumažėjimas (mažiau nei 33 % nuo pagrindinio mitybos plano) bei ankštinių pupelių, žuvies, riešutų, daržovių ir sojos produktų padidėjimas (daugiau nei 150 %). Optimizuotas mitybos planas, kurio tikslas sumažinti šiltnamio dujų išmetimą, neturi pakankamos maisto produktų įvairovės, o veganų ir vegetarų mitybos planuose trūksta maisto medžiagų. Tyrimas rodo, kad įmanoma maitintis pagal sveikos mitybos nurodymus ir mažinti šiltnamio dujų išsiskyrimą. Tyrėjai ateityje siekia įtraukti daugiau aplinkos veiksnių. Šis tyrimas įtraukia labai daug skirtingų kintamųjų, o jo tikslas, kaip ir baigiamojo darbo yra optimizuoti maisto produktų kiekius taip, kad tenkintų ir tam tikros mitybos plano reikalavimus.

A.Chaudhary [50] aprašo skirtingoms šalims būdingų mitybos planų optimizavimo modelį. Netiesinio (angl. *nonlinear*) programavimo metodas taikomas sudaryti 152 skirtingų šalių mitybos planus, kurie tenkina 4 kultūrinius apribojimus, 5 su aplinka susijusius apribojimus (anglies dvideginio išmetimas, vandens, žemės, azoto ir fosforo sunaudojimas) ir dienos rekomenduojamas 29 maisto medžiagų kiekio apribojimus. Atliktas tyrimas rodo, kad svarbu atsižvelgti į kiekvienos šalies ypatumus bei 221 maisto produktai yra specifiški kiekvienai valstybei. Bendru atveju nustatyta, kad reikia mažinti mėsos, pieno, ryžių ir cukraus suvartojimą bei padidinti vaisių, daržovių, riešutų ir

kitų grūdų vartojimą. Skaidulinių medžiagų, vitamino B12, vitamino E, sočiųjų riebalų rūgščių, anglies dvideginio išmetimo, azoto apribojimai buvo tenkinami ne visada, todėl į juos reikia atkreipti daugiau dėmesio ateityje. Analizė rodo, kad mitybos plano optimizavimui yra tinkamas netiesinio programavimo modelis. Šiame modelyje yra įtraukiami apribojimai, kurie neleidžia vienai šaliai priskirti vieno produkto daugiau nei 95 % visų produktų, produktų kiekis turėtų nenukrypti daugiau nei 20 % nuo dabar suvartojamo maisto kiekio, ir į mitybos planą neįtraukiami tie produktai, kurių negalima vartoti dėl religinių ar kitų įsitikinimų. Straipsnyje aprašomas modelis įtraukia daug su aplinka ir skirtingos šalies įpročiais susijusių apribojimų, tačiau duomenys yra kiekvienos šalies suvartojamo produkto vidurkis, taip pat neatsižvelgiama į žmonių amžių, o kalorijų kiekis yra bendras visiems.

M. Hernandez [51] aprašo optimizavimo metodus skirtus nustatyti sveikos mitybos planą Ispanijoje pagal Viduržemio jūros mitybos rekomendacijas. Modelyje pasirenkami maisto produktai iš 10 maisto produktų grupių, įtraukiami 21 apribojimai: biudžeto ir maisto medžiagų. Tikslas yra tenkinti reikiamus apribojimus kuo mažiau nukrypstant nuo dabartinės mitybos. Mitybos plano optimizavimui autorius siūlo svartinio tikslo programavimo metodą (angl. *weighted goal programming*), kur tikslo funkcija yra svorinė nuokrypių nuo tikslo suma. Kitas siūlomas metodas yra minmax tikslo programavimas (angl. *minmax goal programming*). Jo tikslas yra sumažinti didžiausią svorinį nuokrypį nuo siekiamo tikslo. Šie metodai yra skirtingi tikslo programavimo sprendimo būdai, tačiau antrasis užtikrina labiau subalansuotą tikslų pasiekimą, tačiau svartinis tikslo programavimas teikia geresnį skirtingų apribojimų tikslumą. Kaip kompromisas tarp minėtų dviejų modelių siūlomas išplėstas tikslo programavimas (angl. *extended goal programming*). Autorius uždavinio sprendimui taiko tikslo programavimo (angl. *goal programming*) su Tchebycheff metrika metodą. Pagal šią metriką keičiamas kintamųjų svoris. Nustatyta, kad tikslo programavimo su Tchebycheff metrika sprendiniai yra pastovesni už tikslo programavimo sprendinius, ir abu metodai tenkina apribojimus. Nustatyta, kad sveikos mitybos prekių krepšelis nėra brangesnis už dabartinį ispaniškos mitybos prekių krepšelį. Straipsnyje yra palyginamos kelios tikslo programavimo modifikacijos skirtos mitybos optimizavimo uždaviniui. Panašumai su baigiamuoju darbu yra tai, kad pasirenkami maisto produktai iš tam tikrų kategorijų, tačiau baigiamajame darbe nebus atsižvelgiama į maisto produktų kainas, kaip tai daroma šiame straipsnyje.

2 lentelė. Metodų palyginimas

Metodas	Straipsnis	Apribojimų skaičius	Tikslumas	Lyginimas su kitais modeliais	Greitis
Tiesinis programavimas	[38]	9	Visi apribojimai tenkinami	–	–
Svartinis tikslo programavimas	[39]	9	2,7 % nuokrypis nuo skaidulinių medžiagų apribojimo	Lyginama su tiesiniu optimizavimu, kurio nuokrypiai nuo 19 % iki 167 %	–
Tikslo programavimas	[48]	5	Yra tam tikros produktų tolerancijos reikšmės, su kuriomis bus randamas optimalus sprendinys	–	–
Tikslo programavimas su	[51]	21	Reikalavimai tenkinami	Tikslo programavimas	–

Tchebycheff metrika					
Kvadratinė optimizacija	[49]	61	Nuokrypiai nuo 33 % iki 150 %	–	–
Genetinis algoritmas	[40]	30	Visi reikalavimai tenkinami išskyrus 2 atvejus, kai nebuvo rasta sprendinių	–	Laikas priimtinas (tikslus laikas nenurodomas)
Dalelių spiečiaus algoritmas	[41] [42]	4 5	Vidutinis tikslumas 90 %, angliavandenių kiekis mažesnis 10 %, baltymų ir riebalų kiekiai didesni 10 %	–	–
Chaotiškas dalelių spiečiaus optimizavimo algoritmas	[43]	7	Reikalavimai tenkinami ir maisto produktų pasiskirstymas geresnis nei dalelių spiečiaus algoritme	Lyginama su dalelių spiečiaus algoritmu	Reikia mažiau iteracijų globalaus sprendinio radimui
Sveikojo skaičiaus programavimas	[46]	26	Gauti maisto produktai siejami su mažesne glikemine apkrova, reikalavimai tenkinami	–	–
Netiesinis optimizavimas	[50]	38	Reikalavimai tenkinami, nuokrypiai nėra didesni nei 20 % nuo dabar suvartojamų	–	–
Neraiškioji logika	[44]	31	Reikalavimai tenkinami, išskyrus vitamino E ir kalio	–	–
Keleto tikslų optimizavimas (fuzzy ir sveiko skaičiaus programavimas)	[45]	10	Gaunamas Pareto sprendinys, pacientų vertinimas teigiamas	–	–

2 lentelėje lyginami analizuoti metodai pagal apribojimų skaičių, tikslumą, palyginimą su kitais metodais ir greitį. Į modelius vidutiniškai įtraukiama 20 apribojimų, jei į modelį įtraukiami tik maistinių medžiagų apribojimai, jų vidutinis skaičius 12. Į tyrimus įtrauktų apribojimų skaičius yra skirtingas, o svarbiausiais apribojimais laikomi kalorijų, angliavandenių ir baltymų kiekiai, todėl baigiamajame darbe lyginami modeliai su skirtingu apribojimų skaičiumi: 3, 6, 12. Mitybos planai literatūroje sudaromi pasirinkus tam tikrą dienos kalorijų skaičių. Vienas iš sudaromo modelio tikslų yra prisitaikymas prie žmogaus, todėl siūloma sudaryti mitybos plano modeliui su dienos kalorijų norma ir vieno valgio kalorijų norma. Daroma prielaida, kad yra valgomi 2 užkandžiai po 100 kalorijų bei pusryčiai, pietūs ir vakarienė su vienodu kalorijų kiekiu, kuris priklauso nuo dienos kalorijų kiekio normos.

Kiekvieno aprašyto metodo tikslumo vertinimas skiriasi, vienur yra atsižvelgiama į tai kiek procentų buvo nukrypta nuo tikslo, kitur atsižvelgiama į mitybos specialistų ar pačių naudotojų nuomonę. Dažniausiai aprašytuose modeliuose yra lyginamas modelis su modelio modifikacija, o į modelio

greitį atsižvelgiama retai. Šie metodai randa tikslius sprendinius per priimtina laiką. Baigiamajame darbe naudojami 4 optimizavimo metodai: tiesinis programavimas, svertinis tikslo programavimas, genetinis algoritmas ir dalelių spiečiaus algoritmas. Tiesinis programavimas dažnai taikomas mitybos planavimo ir kitų uždavinių sprendimuose ir pagal atliktą literatūros apžvalgą teikia priimtinus mitybos plano optimizavimo rezultatus. Svertinis tikslo programavimas yra tikslo programavimo patobulinimas, teikiantis tikslesnius rezultatus nei tiesinis programavimas, leidžia atsižvelgti į apribojimų svarbumą ir randa sprendinį tada kai tiesinio programavimo metodas to padaryti negali. Genetinis algoritmas ir dalelių spiečiaus algoritmas yra metaeuristiniai metodai, kurie dažnai yra naudojami mitybos plano optimizavimo bei kituose uždaviniuose.

Skaitmeninė terapija yra naujas ir inovatyvus būdas pagerinti lėtinių ligų prevenciją ir gydymą. Cukrinis diabetas yra dažna lėtinė liga pasaulyje, kurią kontroliuoti padeda tokie gyvenimo būdo įpročiai kaip sveika mityba ar fizinis aktyvumas. Literatūroje aprašomi dirbtinio intelekto modeliai, padedantys kontroliuoti įvairias su diabetu susijusias problemas ir pastebima, kad skaitmeninė terapija yra veiksminga tik tada, kai žmogus atlieka gautas rekomendacijas. Žmonėms, kuriems neseniai diagnozuotas cukrinis diabetas yra siūloma keisti esamus įpročius, tačiau didelis kiekis naujos informacijos apsunkina šį procesą. Siekiama sukurti individualios mitybos modelį skirtą keisti esamos mitybos įpročius pagal Diabeto asociacijos ir gydytojo pateikiamas mitybos rekomendacijas, prisitaikant prie kasdienės žmogaus veiklos.

Darbo tikslas – sukurti modelį, kuris sudarytų ir periodiškai tikslintų individualų mitybos planą žmogui pagal jo pasirinktą maisto produktų sąrašą ir nuolatos iš jutiklių gaunamus fizinio aktyvumo duomenis bei būtų grindžiami sveikos mitybos ir gydytojo rekomendacijomis.

Uždaviniai:

1. atlikti mokslinės literatūros analizę, nustatyti metodų taikomų mitybos planų sudarymui stiprybes ir trūkumus. Pagrįsti matematinių metodų ir programinės įrangos pasirinkimą;
2. pasiūlyti matematinį modelį, kuris pagal nuolatos stebimus žmogaus fizinio aktyvumo duomenis ir pasirinktą maisto produktų sąrašą sudarytų ir tikslintų mitybos planą;
3. realizuoti modelį programiškai;
4. ištirti modelyje taikomų mitybos planų optimizavimo metodų tikslumo, greitaveikos ir atminties sąnaudų priklausomybę nuo mitybos plano tipo ir apribojimų skaičiaus;
5. pritaikyti sukurtą modelį realiems duomenims, atlikti tyrimus, apibendrinti gautus rezultatus, pateikti išvadas bei rekomendacijas.

Darbo rezultatai bus naudojami įmonėje dHealthIQ [1], kuriant skaitmeninės terapijos produktą. Šio darbo tematika skaityti pranešimai „Individualaus mitybos plano sudarymo matematinis modelis diabetu sergantiems žmonėms“ ir „Žmogaus individualaus mitybos plano sudarymo modelių palyginimas“ konferencijose „Matematika ir gamtos mokslai: teorija ir taikymas“ 2021 ir 2022 metais (straipsniai priimti publikavimui), taip pat pranešimas įtrauktas į Lietuvos matematikų draugijos 63 konferencijos programą ir bus skaitomas 2022 m. birželio 16 d.

2. Duomenys ir tyrimo metodai

2.1. Duomenys

Darbe naudojama viešai prieinama *McCance and Widdowson's The Composition of Foods Integrated Dataset 2021* maisto duomenų bazė [52]. Nuasmenintus žmonių vartojamo maisto, ūgio, svorio, amžiaus, lyties ir fizinio aktyvumo duomenis pateikė įmonė dHealthIQ [1].

3 lentelėje yra žmogaus pasirinktų maisto produktų duomenų pavyzdys. Žmogus iš produktų grupės pasirenka maisto produktą. Jei vienoje maisto grupėje yra daugiau nei vienas maisto produktas, tai pasirenkama maisto produktų proporcija. Duomenyse nurodomas naudotojo kodas ir pasirinktų maisto produktų duomenų rinkinio numeris.

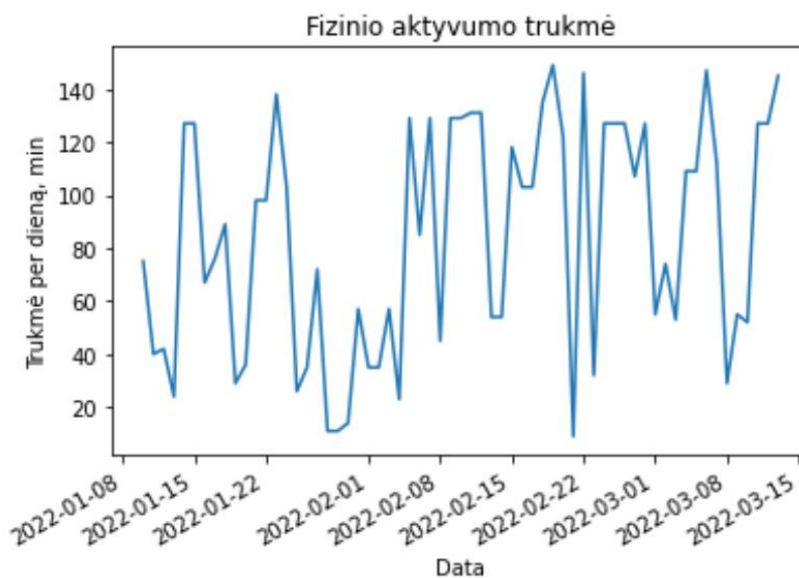
3 lentelė. Žmogaus pasirinktų maisto produktų duomenų pavyzdys

Naudotojo kodas	Numeris	Maisto produktų grupė	Pasirinktas produktas	Proporcija
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2	Riebalai	Saulėgrąžų aliejus	1
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2	Vaisiai	Obuolys	1
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2	Grūdai	Juoda duona	1
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2	Mėsa	Paukštiena	1
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2	Riešutai	Migdolai	1
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2	Saldumynai	Juodas šokoladas	1
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2		Morka	0,5
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	2		Daržovės	Agurkas

Pagal pasirinktus maisto produktus ir duomenų bazės reikšmes yra gaunami kiekvienoje maisto grupėje esantys vidutiniai maistinių medžiagų kiekiai 100g. Pagal asmens pasirinktus maisto produktus ir maisto produktų duomenų bazę apskaičiuojama kiek maistinių medžiagų yra kiekvienoje maisto produktų grupių. Apribojimai sudaromi remiantis Amerikos diabeto asociacijos rekomendacijomis [53, 54] ir sveikos mitybos rekomendacijomis [55] pagal:

- mažo angliavandenių kiekio mitybos plano tipus (labai mažo angliavandenių kiekio (< 10 % visų kalorijų), mažo angliavandenių kiekio (< 26 % visų kalorijų), vidutinio angliavandenių kiekio (< 44 % visų kalorijų), ir aukšto angliavandenių kiekio (< 55 % visų kalorijų));
- 2 kalorijų kiekio tipus (kalorijų kiekis dienai ir kalorijų kiekis vienam valgiui);
- 3 apribojimų skaičiaus tipus (I tipas - kalorijos, angliavandeniai, baltymai, II – I tipo apribojimai ir riebalai, druska, skaidulinės medžiagos, III tipas – II tipo apribojimai ir tiaminas, folio rūgštis, kalcis, geležis, cinkas, selenas).

3 pav. vaizduojami vieno žmogaus fizinio aktyvumo trukmės duomenys (minutėmis per dieną). Duomenys renkami iš išmaniųjų apyrankių *Fitbit Charge 4* [56]. Vidutiniškai turima 70 įrašų asmens fizinio aktyvumo duomenų.



3 pav. Fizinio aktyvumo trukmės duomenys

2.2. Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo modelis

Duomenų kokybė tikrinama naudojant pagrindines statistikas: vidurkį, standartinį nuokrypį, minimumą, maksimumą, bendrą reikšmių kiekį ir trūkstančių reikšmių kiekį.

Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimui naudojami laiko eilučių prognozavimo metodai, kurie realizuoti *Python* bibliotekoje *AutoTS* [57]. Ji pagal nustatytus parametrus parenka tiksliausius metodus fizinio aktyvumo trukmės laiko eilutei prognozuoti. Parenkamas modelių ansamblio tipas mozaika (angl. *mosaic*), kuris kiekvienai laiko eilutei ir kiekvienam prognozavimo laikotarpiui parenka geriausią metodą. Naudojant tikslumo matavimus ir jų svorius, apskaičiuojamas ansamblio tikslumas. Bibliotekos dokumentacijoje teigiama, kad šis tipas turi aukščiausią automatinio prognozavimo metodų parinkimų tikslumą, tačiau yra lėtesnis už kitus. Prognozavimo laikotarpis yra 4 dienos, modelio kokybei vertinti naudojama kryžminė validacija ir 100 iteracijų, kai yra generuojami nauji modelių ansambliai.

Bibliotekoje realizuoti šie metodai: vidutinės vertės naivusis, sezoninis naivusis, autoregresinis integruotasis slenkamojo vidurkio modelis, eksponentinio glodinimo modelis (ESM), apibendrintas mažiausių kvadratų (GLS), vienmatė regresija, slenkančio lango regresija.

Vidutinės vertės naivusis metodas prognozės yra lygios visų istorinių duomenų vidurkiui ir yra aprašomas lygtimi [58]:

$$\hat{y}_{n+h|n} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t; \quad (8)$$

čia $\hat{y}_{n+h|n}$ – prognozė; y_t – stebėta reikšmė; h – ateities laikotarpis; n – stebinių skaičius.

Sezoninis naivusis metodas naudojamas, kai duomenyse yra sezoniškumas [58]. Šis metodas prognozuoja paskutinę žinomą reikšmę iš to paties sezono ir yra aprašomas lygtimi:

$$\hat{y}_{n+h|n} = y_{n+h-s(k+1)}; \quad (9)$$

čia $\hat{y}_{n+h|n}$ – prognozė; y – stebėta reikšmė; s – sezoninis periodas; k – sveikoji $(h - 1)/s$ dalis; n – stebinių skaičius.

Adityvus modelis aprašomas lygtimi [59]:

$$y_t = tr_t + s_t + z_t; \quad (10)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; tr_t – trendas; s_t – sezoniškumas; z_t – atsitiktinis procesas.

Multiplikatyvus modelis aprašomas lygtimi [59]:

$$y_t = tr_t \cdot s_t \cdot z_t; \quad (11)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; tr_t – trendas; s_t – sezoninė komponentė; z_t – atsitiktinis procesas.

Atsitiktinis procesas yra stacionarus, kai proceso vidurkis ir dispersija yra pastovūs laike, stebinių autokovariacijos funkcija nepriklauso nuo laiko, o priklauso tik nuo atstumo tarp stebinių ašyje (t. y. priklauso nuo vėlavimo).

Laiko eilutės modelis yra stacionarus, nėra autokoreliacijos, jei vidurkis ir dispersija yra pastovūs.

Vidurkio funkcija aprašoma lygtimi [59]:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n y_t; \quad (12)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; \bar{y} – vidurkis; n – stebinių skaičius.

Dispersijos funkcija aprašoma lygtimi [59]:

$$\sigma_t^2 = E[(y_t - \bar{y})^2]; \quad (13)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; \bar{y} – stebinių vidurkis; E – vidurkio operatorius.

Autokoreliacija funkcija (angl. *autocorrelation function*, ACF) įvertina tiesinę koreliaciją tarp laiko eilutės reikšmių skirtingais laiko momentais [59]:

$$\rho_k = \frac{E[(y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})]}{\sigma^2} = cor(y_{t+k}, y_t); \quad (14)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; \bar{y} – vidurkis; k – vėlinimas; E – vidurkio operatorius.

Dalinės autokoreliacijos funkcija (angl. *partial autocorrelation function*, PACF) aprašoma lygtimi [59]:

$$\gamma_k = cor(y_{t+k} - \hat{y}_{t+1,t+k-1} y_{t+k}, y_t - \hat{y}_{t+1,t+k-1} y_t); \quad (15)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; k – vėlinimas; cor – koreliacijos funkcija apibrėžta (14) formulėje.

Vėlinimo operatorius aprašomas lygtimi [59]:

$$B^h y_t = y_{t-h}; \quad (16)$$

čia h – vėlinimas; y_t – stebėta reikšmė.

Autoregresinis procesas (angl. *autoregressive process*) AR(p) aprašomas lygtimi [59]:

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + w_t; \quad (17)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; p – proceso eilė; α_p – parametras $\neq 0$; w_t – baltasis triukšmas.

Baltas triukšmas – tai nekoreliuotas atsitiktinis procesas w_t su nuliniu vidurkiu ir pastovia dispersija (nekinta laike). $\gamma_k=0$, $E(w_t)=0$, $D(w_t)=E(w_t^2) = const$. Baltasis triukšmas yra tiesiškai neprognozuojamas.

Naudojant (16) ir (17) formules galima išraiška [59]:

$$\theta_p(B)y_t = (1 - \alpha_1 B - \dots - \alpha_p B^p)y_t = w_t; \quad (18)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; p – proceso eilė; α_p – parametras $\neq 0$; w_t – baltasis triukšmas; B^p – p eilės vėlinimo operatorius.

Slenkamojo vidurkio (angl. *moving average*) MA(q) procesas aprašomas lygtimi [59]:

$$y_t = w_t + \beta_1 w_{t-1} + \dots + \beta_q w_{t-q}; \quad (19)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; q – proceso eilė; β_q – parametras $\neq 0$; w_t – baltasis triukšmas.

Naudojant (16) ir (19) formules galima išraiška [59]:

$$y_t = (1 + \beta_1 B + \dots + \beta_q B^q)w_t = \phi_q(B)w_t; \quad (20)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; q – proceso eilė; β_q – parametras $\neq 0$; w_t – baltasis triukšmas.

AR(p) ir MA(q) procesų junginys yra ARMA(p,q) procesas ir jis yra aprašomas lygtimi [59]:

$$\theta_p(B)y_t = \phi_q(B)w_t; \quad (21)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; B – vėlinimo operatorius; θ – AR(p) proceso polinomas; ϕ – MA(q) proceso polinomas; w_t – baltasis triukšmas.

Autoregresinis integruotasis slenkamojo vidurkio modelis (angl. *Autoregressive Integrated Moving Average*) ARIMA(p,d,q) aprašomas lygtimi [59]:

$$\theta_p(B)(1 - B)^d y_t = \phi_q(B)w_t; \quad (22)$$

čia y_t – stebėta reikšmė; B – vėlinimo operatorius; θ – AR(p) proceso polinomas; ϕ – MA(q) proceso polinomas; w_t – baltasis triukšmas.

Eksponentinio glodinimo metodas (angl. *Exponential smoothing method*, ESM) glodina laiko eilutes naudojant stebėjimų vidurkį [59]. Paprasčiausias glodinimo variantas, kai paskutiniam stebėjimui suteikiamas didesnis svoris nei prieš tai buvusiam, aprašomas lygtimi:

$$\hat{y}_{t+h|t} = \alpha y_t + (1 - \alpha)\hat{y}_{t|t-1}, \quad t = 1, \dots, n; \quad (23)$$

čia $\hat{y}_{t+h|t}$ – prognozė; α – parametras $\alpha \in [0,1]$; n – stebinių skaičius.

Vienmatės regresijos lygtis aprašoma [59]:

$$\hat{y}_{t+h} = \alpha + \beta y_t + z_t, \quad i = 1, \dots, n; \quad (24)$$

čia \hat{y}_t – prognozė; z_t – paklaida; α, β – parametrai randami mažiausių kvadratų metodu; y_t – stebėta reikšmė; n – stebinių skaičius.

Apibendrintas mažiausių kvadratų metodas (angl. *generalized least squares*, GLS) [59] įvertina tiesinio modelio parametrus α ir β . Tiesinio modelio lygtis aprašoma (24) lygtimi.

Slenkamojo lango regresija (angl. *rolling regression*) naudojama, kai laikui bėgant duomenų kitimo tiesinė tendencija keičiasi. Naudojant šį metodą regresijos modelio parametrai įvertinami naudojant duomenis iš fiksuoto dydžio slenkančiojo lango.

Paklaidų autokoreliacijos prielaidai tikrinti naudojamas Ljung-Box kriterijus [60]. Tikrinama hipotezė:

$$H_0: \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_H = 0$$

$$H_1: \text{bent vienas } \rho_i \neq 0, \quad i \in 1, \dots, H; \quad (25)$$

čia ρ_i – paklaidų autokoreliacijos koeficientas; H – vėlavimas.

Hipotezės tikrinimui taikomas Ljung Box Pierce Q-kriterijus [60]:

$$Q = n(n+2) \sum_{h=1}^H \frac{\rho_h^2}{n-h}; \quad (26)$$

čia ρ_i – paklaidų autokoreliacijos koeficientas; H – vėlavimas; n – stebėjimų skaičius.

Tikrinimui ar paklaidų vidurkis lygus 0 naudojamas Stjudento t kriterijus. Tikrinama hipotezė [60]:

$$H_0: \mu = 0$$

$$H_1: \mu \neq 0;$$

čia μ – paklaidų aritmetinis vidurkis. (27)

Hipotezės tikrinimui taikomas t -kriterijus:

$$t = \frac{\bar{g} - \mu}{\sigma^2 \sqrt{n}}; \quad (28)$$

čia \bar{g} – paklaidų aritmetinis vidurkis; μ – teorinis vidurkis; σ^2 – dispersija; n – stebinių skaičius.

Paklaidų dispersijos prielaidai tikrinti naudojamas Breusch–Pagan kriterijus [61]. Tikrinama hipotezė:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_H^2$$

$$H_1: \text{bent dvi dispersijos nelygios}; \quad (29)$$

čia σ^2 – dispersija; H – vėlavimas.

Hipotezės tikrinimui taikomas Breusch–Pagan kriterijus:

$$BP_n = \sum_{i=1}^{H-1} \sum_{j=i+1}^H \hat{\delta}_{ij,n}^2; \quad (30)$$

$$\hat{\delta}_{ij,n} = \frac{\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{t=1}^n \hat{y}_{it} \hat{y}_{jt}}{\sqrt{(\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \hat{y}_{it}^2) \cdot (\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \hat{y}_{jt}^2)}}; \quad (31)$$

Akima interpoliacija aprašoma lygtimis [62] :

$$y = p_0 + p_1(x - x_i) + p_2(x - x_i)^2 + p_3(x - x_i)^3;$$

$$t_i = \frac{|m_{i+1}-m_i|m_i+|m_{i-1}-m_{i-2}|m_i}{|m_{i+1}-m_i|+|m_{i-1}-m_{i-2}|}; \quad (32)$$

$$m_i = \frac{(y_{i+1}-y_i)}{(x_{i+1}-x_i)}; \quad (33)$$

$$p_0 = y_i; \quad p_1 = t_i; \quad (34)$$

$$p_2 = \frac{[3 \frac{(y_{i+1}-y_i)}{(x_{i+1}-x_i)} - 2t_i - t_{i+1}]}{(x_{i+1}-x_i)}; \quad (35)$$

$$p_3 = \frac{[t_i + t_{i+1} - 2 \frac{(y_{i+1}-y_i)}{(x_{i+1}-x_i)}]}{(x_{i+1}-x_i)^2}; \quad (36)$$

Modelių prognozių tikslumo vertinimui naudojami matai: RMSE, MAE, MADE, MLE, skaičiavimo laikas.

RMSE – šaknis iš vidutinės kvadratinės paklaidos (angl. *root mean square error*) [63] aprašoma lygtimi:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}; \quad (37)$$

čia \hat{y}_i – prognozė; y_i – stebėta reikšmė; n – stebinių skaičius.

MAE – Vidutinė absoliučioji paklaida (angl. *mean absolute error*) [64] aprašoma lygtimi:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n}; \quad (38)$$

čia \hat{y}_i – prognozė; y_i – stebėta reikšmė; n – stebinių skaičius.

MLE – vidutinė kvadratinė logaritminė paklaida (angl. *mean squared logarithmic error*) [65] naudojama įvertinti paklaidoms, kai buvo prognozuojamam mažesnė negu reali reikšmė ir aprašoma lygtimi:

$$MLE = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (\log(y_i + 1) - \log(\hat{y}_i + 1))^2; \quad (39)$$

čia \hat{y}_i – prognozė; y_i – stebėta reikšmė; n – stebinių skaičius.

MASE – vidutinė absoliutinė mastelio paklaida [65] aprašoma lygtimi:

$$MASE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{\hat{y}_t - y_t}{\frac{1}{n-1} \sum_{t=2}^n |y_t - y_{t-1}|}; \quad (40)$$

Ansamblio tikslumas (AT) vertinamas pagal kiekvieno tikslumo vertinimo mato svorį ir aprašomas lygtimi:

$$AT = w_1 \cdot RMSE + w_2 \cdot MAE + w_3 \cdot MLE + w_4 \cdot MASE + w_5 \cdot SL; \quad (41)$$

čia w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 – tikslumo matų svoriai; SL – skaičiavimo laikas.

2.3. Mitybos plano optimizavimo modelis

Atlikus literatūros analizę buvo atrinkti 4 optimizavimo metodai: tiesinis programavimas, svartinis tikslo programavimas, genetinis algoritmas ir dalelių spiečiaus algoritmas.

Tiesinis programavimas yra optimizavimo metodas, kai tikslo funkcija ir apribojimai yra tiesiniai. Apribojimai yra apibrėžiami tiesinėmis lygybėmis arba nelygybėmis [38]. Tiesinio programavimo modelis aprašomas lygtimis:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n x_i c_i \quad (41)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot a_{ij} \leq b_{jk} \quad (42)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot a_{ij} \geq b_{jk} \cdot d_j, \quad j=1, \dots, m \quad (43)$$

$$x_i > 0; \quad (44)$$

čia: x_i – i maisto produktų grupės kiekis; i – maisto produktų grupės; $i=1,2,\dots,n$ (1 – grūdai, 2 – daržovės, 3 – vaisiai, 4 – pienas, 5 – žuvis/mėsa/kiaušiniai, 6 – riebalai, 7 – saldumynai, 8 – riešutai); a_{ij} – maistinės medžiagos kiekis 100 gramų maisto kiekvienoje maisto produktų grupėje; $j=1,2,\dots,m$; (1 – kalorijos, 2 – angliavandeniai, 3 – baltymai, 4 – riebalai, 5 – druska, 6 – skaidulinės medžiagos, 7 – tiaminas, 8 – folio rūgštis, 9 – kalcis, 10 – geležis, 11 – cinkas, 12 – selenas); I - $m=1,2,3$; II - $m=1,2,\dots,6$; III - $m=1,2,\dots,12$; kai $j = 2$, sudaromi 4 mitybos planai: labai mažo, mažo, vidutinio ir didelio angliavandenių kiekio; b – maistinės medžiagos tikslas pagal kalorijų normą; $k=1,2$ (1 – dienos kalorijų norma, 2 – valgio kalorijų norma); d – neneigiama apribojimų konstanta kiekvienai maisto produktų grupei.

Svartinis tikslo programavimas yra tiesinio programavimo išplėtimas, kur siekiama mažinti nuokrypius nuo apribojimų ir kiekvienam apribojimui suteikiamas svoris pagal jo svarbumą [39]. Svartinio tikslo programavimo modelis aprašomas lygtimis:

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^m w_j^+ d_j^+ + w_j^- d_j^- \quad (45)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot a_{ij} + d_{ij}^- - d_{ij}^+ = b_{jk}, \quad j=1, \dots, m \quad (46)$$

$$x_i > 0; \quad (47)$$

čia visi kintamieji analogiškai tiesinio programavimo modelyje esantiems kintamiesiems, išskyrus: d_i^+ ir d_i^- – teigiami ir neigiami nuokrypiai nuo tikslo; w_i^+ ir w_i^- – neneigiama kintamojo nuokrypio svorio konstanta; K – apribojimų skaičius.

Genetinis algoritmas yra optimizavimo strategija, kuri populiacijoje ieško geriausio sprendinio, kol pasiekia optimalų sprendinį [40]. Genetinis algoritmas yra evoliucinių algoritmų klasė. Šie algoritmai naudoja evoliucinės biologijos principus: kryžminimą, individų mutaciją, paveldėjimą ir atranką.

Atsitiktinai sugeneruojama individų populiacija ir vėliau kartose vyksta evoliucija. Apskaičiuojami kiekvieno individo įverčiai, pagal kuriuos iš esančios populiacijos išrenkami individai. Iš išrinktų individų yra formuojama nauja populiacija naudojant mutaciją ir kryžminimą. Sudaryta nauja populiacija bus einamoji kitoje iteracijoje. Genetinio algoritmo optimizavime sprendinių aibė atitinka populiaciją, sprendinys atitinka individą, o tikslo funkcijos reikšmė gautam sprendiniui yra individo vertė. Kuo mažesnė tikslo funkcijos reikšmė, tuo geresnis yra sprendinys. N individų yra atsitiktinai pasirenkami, naudojant turnyro metodą, o su tikimybe p išrenkamas geriausias individas. Reprodukcija yra sudaryta iš kryžminimo ir mutacijos, taip iš tėvinių individų yra gaunami palikuonys. Kryžminimo tikimybė p_k rodo ar reikia kryžminti chromosomas tėvus. Tiksliai tėvų kopija gaunama tada, kai chromosomų nekryžminame. Palikuonys gaunami, kai tėvų chromosomos genai yra atsitiktinai sukeičiami. Gamtoje evoliucijos metu išlieka geriausiai prisitaikę individai, todėl optimizuojant norima gauti geriausią įmanomą sprendinį. Pakeitimas vykdomas po mutacijos. Pakeitimo metu dalį arba visą tėvų populiaciją pakeičia tėvų populiacija, o naudojant elito (angl. *elitist*) pakeitimą išsaugomi labiausiai prisitaikę individai. Kiek bus paliekama sprendinių aprašo elito skaičius, taip bent vienas sprendinys be pakeitimų yra nukopijuojamas iš populiacijos P į populiaciją P' ir visada yra išsaugomas geriausias sprendinys. Kai gaunama stabili būseną be geresnių sprendinių arba pasiekiamas didžiausias nustatytų iteracijų skaičius, skaičiavimas nutraukiamas.

Algoritmo aprašymas:

1. iš chromosomų p generuojama populiacija P ;
2. kiekvienos chromosomos x_r tinkamumas vertinimas populiacijoje P , $e_r = f(x_r)$, ($1 \leq r \leq p$);
3. nauja tokio paties dydžio populiacija P' sukuriama, kartojant veiksmus, kol užpildoma visa populiacija:
 - 3.1 iš populiacijos P atrankos metu išrenkamos dvi chromosomos tėvai x_r ir x_j atitinkamai pagal chromosomų įverčius e_r ir e_s ($1 \leq r \leq p, 1 \leq s \leq p$);
 - 3.2 naujos chromosomos palikuonio x_k' sudarymui su tikimybe p_k kryžminami išrinkti tėvai, čia k – populiacijos P' pildymo žingsnio numeris;
 - 3.3 kiekvienoje chromosomos r -tojoje pozicijoje palikuonis x_k' pakeičiamas su mutacijos tikimybe p_M ($1 \leq r \leq c$);
 - 3.4 gautas palikuonis x_k' įtraukiamas naują sudarytą populiaciją P' ;
4. senoji populiacija P pakeičiama nauja populiacija P' su tėvų tikimybe, kuri nurodo populiacijos dalį, kurią užpildo tėvai;
5. įvertinti populiacijos P kiekvienos chromosomos x_r tinkamumą $e_r = f(x_r)$;
6. algoritmas stabdomas ir teikiamas geriausias populiacijos P sprendinys, jei tenkinamas pabaigos kriterijus;
7. grįžtama į 2 žingsnį, ($1 \leq r \leq p$).

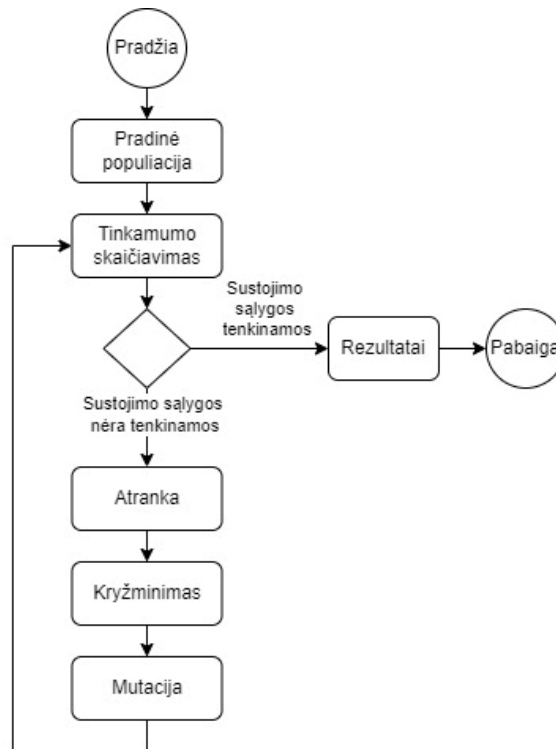
Genetinio algoritmo modelis aprašomas lygtimis:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \text{Bauda}_i \quad (48)$$

$$\text{Bauda}_i = c_{1i} + c_{2i} \cdot \sum_{j=1}^m x_j \cdot a_{ij}, \quad j=1, \dots, m \quad (49)$$

čia visi kintamieji analogiški tiesinio programavimo modelyje esantiems kintamiesiems, išskyrus: c_1, c_2 – neneigiamos konstantos kiekvienai maisto grupei; Bauda – bauda kiekvienai maisto grupei.

Diagramoje pateikiama genetinio algoritmo schema pateikiama 4 pav.



4 pav. Genetinio algoritmo schema

Remiantis literatūros analizėje aprašytais parametrais [40] ir metodo bibliotekos siūlomais parametrais atliekamas pilotinis tyrimas atsitiktinai bandant įvairias parametrų kombinacijas. Modelio įvertinimui skaičiuojamas suminis nuokrypis nuo kiekvieno apribojimo.

Dalelių spiečiaus algoritmas yra grįstas gyvūnų elgesiu, pavyzdžiui paukščių arba žuvų migracija [66]. Kiekvienas dalelių spiečiaus algoritmo individas laikomas taškine dalele d-matėje erdvėje. Dalelių spiečiaus algoritme kiekviena dalelė juda paieškos erdvėje greičiu, kuris dinamiškai koreguojamas pagal dalelės ir grupės judėjimo patirtį. Pagal geriausią lokalų ir globalų sprendinius atnaujinamas dalelės greitis ir pozicija. Atnaujinus greičio vektorius dalelei, šis greitis pridedamas prie dalelės pozicijos. Geriausias globalus sprendinys paverčiamas lokaliu, jei geriausio lokalaus sprendinio vertės funkcijos reikšmė yra mažesnė už globalaus sprendinio vertės funkcijos reikšmę (minimizavimo atveju). Dalelių spiečiaus algoritmas, kaip ir genetinis algoritmas, gali optimizuoti funkcijas su daug lokalių minimumų. Genetinis algoritmas ir dalelių spiečiaus algoritmas skiriasi tuo, kad dalelių spiečiaus algoritme nėra mutacijos ar kryžminimo, o panašūs, nes yra pradami nuo atsitiktinai sugeneruotų populiacijų. Dalelių spiečiaus algoritmo schema vaizduojama 5 pav.

Algoritmo aprašymas:

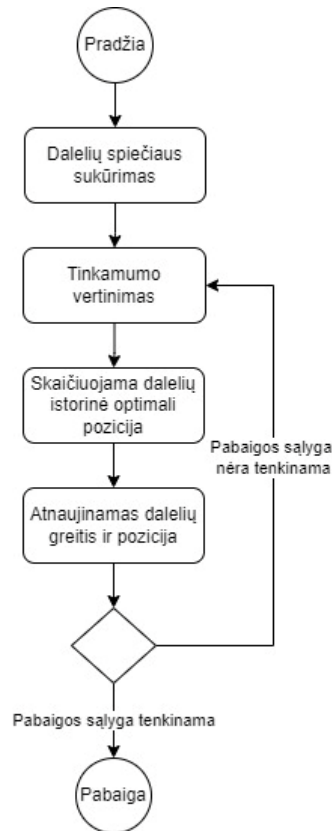
1. kiekviena i-oji dalelė aprašoma koordinatėmis $X_h = (x_{h1}, \dots, x_{hd}), h = 1, \dots, t$,
čia t – populiacijos dydis; d – erdvės matmenų skaičius;
2. ankstesnė pozicija, kuri rodo geriausią h-osios dalelės judėjimo erdvėje tinkamumo funkcijos reikšmę, yra žymima $P_h = (p_{h1}, \dots, p_{hd}), h = 1, \dots, t$;
3. dalelių populiacijos geriausios dalelės indeksas žymimas simboliu g , o h-osios dalelės greitis $V_h = (v_{h1}, \dots, v_{hd}), h = 1, \dots, t$;
4. populiacijos greičio ir pozicijos atnaujinimas:

$$v_{hd} = \omega \cdot v_{hd} + \phi_{hp} \cdot r_1 \cdot (p_{hd} - x_{hd}) + \phi_{hg} \cdot r_2 \cdot (p_{gd} - x_{hd}) \quad (50)$$

$$x_{hd} = x_{hd} + v_{hd}, h = 1, \dots, d \quad (51)$$

čia r_1 ir r_2 yra du tolygiai pasiskirstę atsitiktiniai skaičiai iš intervalo $[0, 1]$; phip – teigiamas koeficientas, skirtas ieškoti toliau nuo geriausiai žinomos dalelės padėties; phig – teigiamas koeficientas, skirtas ieškoti toliau nuo geriausiai žinomos spiečių padėties; omega – svoris balansuojantis globalų ir lokalų sprendinius;

5. algoritmas stabdomas ir gražinamas geriausias sprendinys iš populiacijos P, jei tenkinamas pabaigos kriterijus.



5 pav. Dalelių spiečiaus algoritmo schema

Dalelių spiečiaus modelis aprašomas lygtimis:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \text{Bauda}_i \quad (52)$$

$$\text{Bauda}_i = \sum_{j=1}^m b_{jk} - x_i \cdot a_{ij}, \quad j=1, \dots, m; \quad (53)$$

čia visi kintamieji analogiški tiesinio programavimo ir genetinio algoritmo modeliuose esantiems kintamiesiems.

Remiantis literatūros analizėje aprašytais parametrais [41, 42] ir metodo bibliotekos siūlomais parametrais atliekamas pilotinis tyrimas atsitiktinai bandant įvairias parametrų kombinacijas. Modelio vertinimui skaičiuojamas suminis nuokrypis nuo kiekvieno. Sudaromi 24 skirtingi mitybos planų modeliai remiantis Amerikos diabeto asociacijos rekomendacijomis [53, 54] ir sveikos mitybos rekomendacijomis [55] pagal:

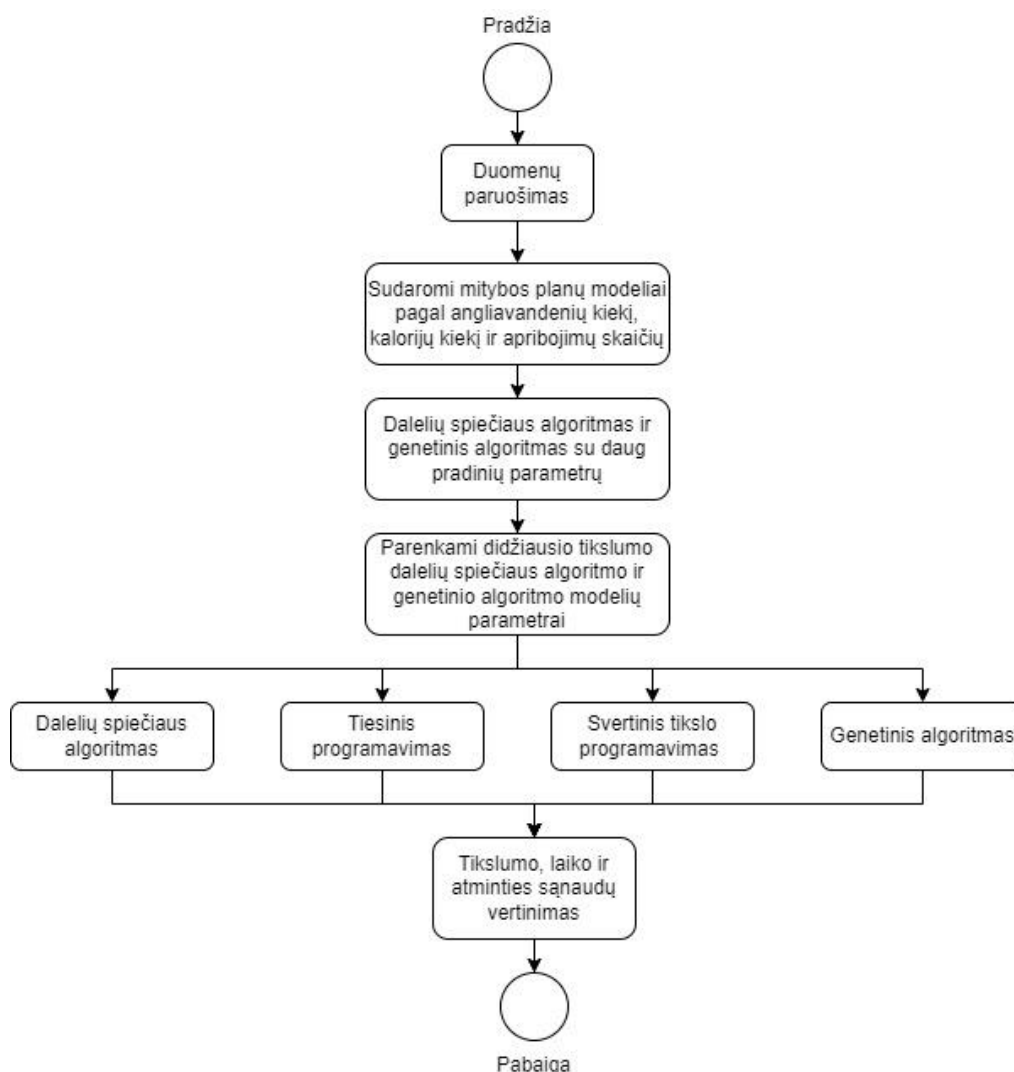
1. mažo angliavandenių kiekio mitybos plano tipus (aukšto, vidutinio, žemo, labai žemo angliavandenių kiekių);
2. 2 kalorijų kiekio tipus (kalorijų kiekis dienai ir kalorijų kiekis vienam valgiui);

3. 3 apribojimų skaičiaus tipus (I tipas - kalorijos, angliavandeniai, baltymai, II – I tipo apribojimai ir riebalai, druska, skaidulinės medžiagos, III tipas – II tipo apribojimai ir tiaminas, folio rūgštis, kalcis, geležis, cinkas, selenas).

Valgio kalorijų kiekis apskaičiuojamas remiantis prielaida, kad žmogus valgo pusryčius, pietus, vakarienę ir du užkandžius (abu užkandžiai po 100 kalorijų).

Pagal asmens pasirinktus maisto produktus ir maisto produktų duomenų bazę apskaičiuojama kiek maistinių medžiagų yra kiekvienoje maisto produktų grupių.

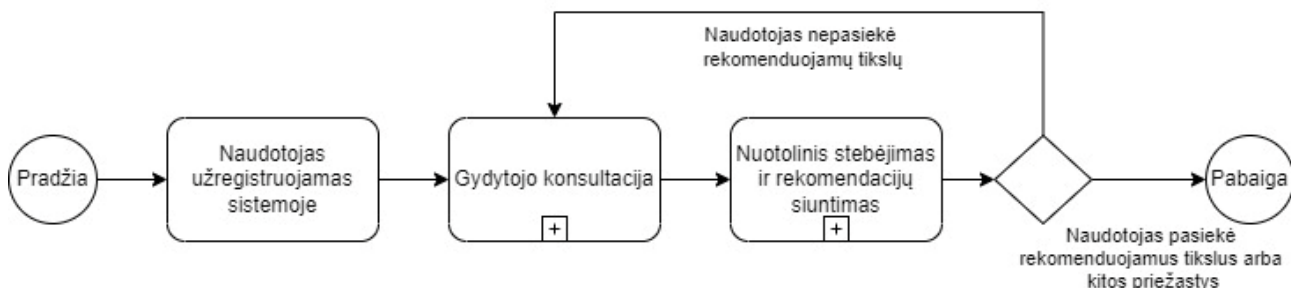
Kiekvienas sudarytas mitybos plano modelis optimizuojamas naudojant 4 metodus (tiesinis programavimas, svertinis tikslo programavimas, dalelių spiečiaus algoritmas ir genetinis algoritmas). Kiekvieno eksperimento metu skaičiuojamas tikslumas yra vertinamas pagal procentinį nuokrypį nuo tikslo (0 – nuokrypio nebuvo, > 0 – rodo kiek procentų buvo viršytas tikslas, < 0 – rodo kiek procentų trūksta iki tikslo). Apskaičiuota kiek laiko sekundėmis trunka ir kiek atminties sunaudoja kiekvienas eksperimentas. Viso aprašyto eksperimento schema pateikta 6 pav.



6 pav. Eksperimento schema

2.4. Mitybos plano sudarymo ir tikslinimo modelis

Naudotojas užregistruojamas sistemoje. Įvedami pagrindiniai asmens duomenys: ūgis, svoris, amžius, lytis. Naudotojui skiriama konsultacija, kurios metu gydytojas sistemoje nustato reikiamus skaitmeninės terapijos recepto parametrus. Šio modelio sudarymui reikalingi tik mitybos plano sudarymo parametrai.



7 pav. Apibendrinta modelio naudotojo schema

Mitybos plano sudarymui reikia vieną iš pasirinkti:

- vieną iš 4 mitybos plano tipų: labai mažo angliavandenių kiekio (< 10 % visų kalorijų), mažo angliavandenių kiekio (< 26 % visų kalorijų), vidutinio angliavandenių kiekio (< 44 % visų kalorijų), ir aukšto angliavandenių kiekio (< 55 % visų kalorijų);
- mitybos plano apribojimų skaičių: 3, 6, 12;
- nustatyti reikiamą kalorijų deficitą;
- parinkti bazinio metabolinio greičio skaičiavimo formulę.

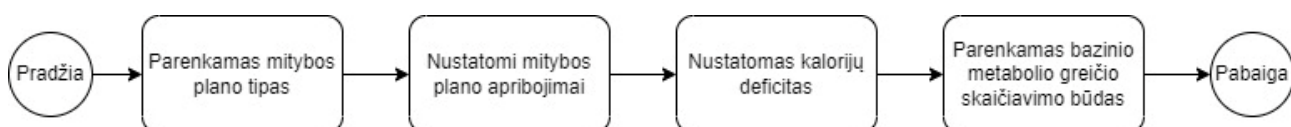
Šiame modelyje visiems asmenims parenkamas 500 kalorijų deficitas. Bazinis metabolinis greitis (BMG) yra energijos kiekis per laiko vienetą reikalingas gyvybinėms funkcijoms (kvėpavimui, virškimui ir kt.) atlikti, o jo skaičiavimui naudojama Harris-Benedict lygtis [67]:

$$BMG = 66 + (13,7 \cdot svoris) + (5 \cdot ūgis) - (6,8 \cdot amžius); \quad (54)$$

$$BMG = 6556 + (9,6 \cdot svoris) + (1,8 \cdot ūgis) - (4,7 \cdot amžius); \quad (55)$$

čia svoris – žmogaus svoris kilogramais; ūgis – žmogaus ūgis centimetrais; amžius – žmogaus amžius metais.

(54) lygtis naudojama apskaičiuoti vyrų, o (55) moterų baziniam metaboliniam greičiui.



8 pav. Gydytojo konsultacijos schema

Naudotojui duodami reikiami nuolatinio stebėjimo prietaisai (svarstyklės, išmanusis laikrodis ar kt.) ir mobili programa, kurioje jis kiekvieną dieną gaus gydytojo rekomendacijas pagal nustatytą planą. Mobilioje programoje naudotojas bet kada galės pasiekti funkciją, kurioje įvedęs norimą suvartoti maistą, jis gaus optimalius maisto produktų kiekius pagal gydytojo sudarytą mitybos planą ir planuojamą fizinį aktyvumą. Fizinis aktyvumas kiekvieną dieną gali būti skirtingas, o tai daro įtaką

reikiamo kalorijų kiekio suvartojimui. Fizinio aktyvumo ir mitybos derinimas yra labai svarbus diabetu sergantiems asmenims dėl tinkamo gliukozės kiekio kraujyje palaikymo. Atidaręs optimalaus mitybos plano sudarymo funkciją naudotojas matys fizinio aktyvumo trukmės minutėmis prognozę ir turės patvirtinti prognozuojamą fizinį aktyvumą arba jį pakoreguoti. Pagal fizinio aktyvumo duomenis ir 6 lentelėje esančius duomenis randamas fizinio aktyvumo daugiklis (FAD) [68].

4 lentelė. Fizinio aktyvumo daugiklio reikšmės pagal fizinio aktyvumo trukmę

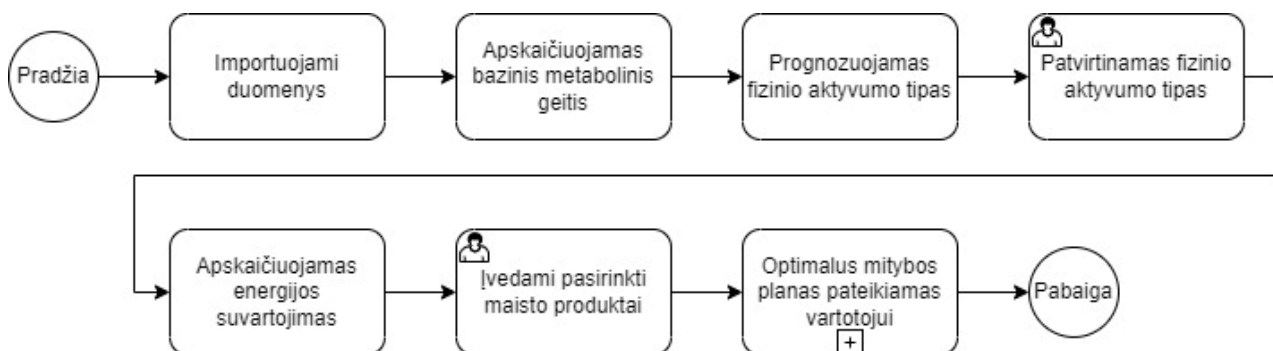
Fizinio aktyvumo trukmė per dieną minutėmis	FAD
< 30	1,2
30–60	1,375
60–180	1,55
>180	1,725

Reikiamas kalorijų kiekis apskaičiuojamas pagal lygtį [68]:

$$Kalorijos = BMG \cdot FAD; \quad (56)$$

čia BMG – bazinis metabolinis greitis; FAD – fizinio aktyvumo daugiklis.

Pagal reikiamą kalorijų kiekį ir gydytojo parinktus parametrus sudaromas optimalus tos dienos ar valgio mitybos planas.



9 pav. Naudotojo naudojimosi sudarytu modeliu schema

Optimalus mitybos planas sudaromas naudojant tyrimo metu parinktus metodus kiekvienam mitybos plano tipui.

Visos žmogaus individualaus mitybos plano sudarymo modelio dalys realizuotos programiškai panaudojus programinę įrangą Python [69], rezultatų grafiniam vaizdavimui panaudota programinė įranga Tableau [70]. Autorės parašytas Python programų kodas (965 eilučių) pateiktas papildomoje medžiagoje.

3. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Šiame skyriuje pateikiami sukurtų modelių ir programinių priemonių taikymo rezultatai realiems duomenims. Skaičiavimai atlikti stacionariu kompiuteriu su AMD Ryzen 7 2700 8 branduolių 3,20 GHz procesoriumi ir 32 GB RAM atminties. Duomenis pateikė įmonė dHealthIQ [1]. Modelis sudaromas tiriant mitybos planus, kuriems sudaryti buvo naudojami duomenys: lytis – moteris, ūgis – 170, svoris – 66, amžius – 30.

3.1. Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo modelio taikymas

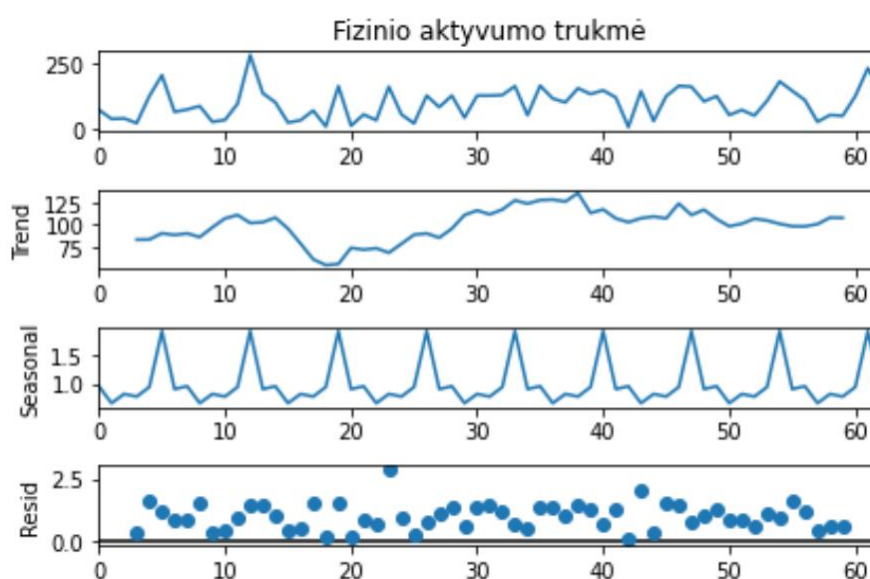
Šiame skyriuje pateikti fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo taikymo rezultatai.

Fizinio aktyvumo trukmės (minutėmis per dieną) skaitinių charakteristikų rezultatai pateikti 5 lentelėje. Iš viso gauti 63 dienų duomenys su 1 trūkstama reikšme. Vidutiniškai per dieną žmogus yra aktyvus 100 minučių su standartiniu nuokrypiu 63. Trumpiausias fizinis aktyvumas truko 9 minutes, o ilgiausias 284 minutes.

5 lentelė. Fizinio aktyvumo duomenų aprašomoji statistika

Skaitinės charakteristikos	Fizinio aktyvumo trukmė
Stebinių skaičius	63
Vidurkis	100
Standartinis nuokrypis	59
Minimumas	9
Maksimumas	284
Trūkstančių reikšmių skaičius	1

Atlikus fizinio aktyvumo trukmės laiko eilutės dekompoziciją gauta, kad eilutėje yra sezoninė ir trendo komponentės (10 pav.).



10 pav. Fizinio aktyvumo trukmės laiko eilutės dekompozicija

6 lentelėje pateikti *Python AutoTS* bibliotekos atrinkti geriausi metodai, trūkstumų reikšmių ir duomenų transformacijos kiekvienam prognozavimo laikotarpiui. Naudojami 2 skirtingi ARIMA modeliai, sezoninis naivusis modelis ir tiesinė regresija. Modeliams taikytos transformacijos pateiktos 2 priede.

6 lentelė. Atrinkti fizinio aktyvumo prognozavimo metodai

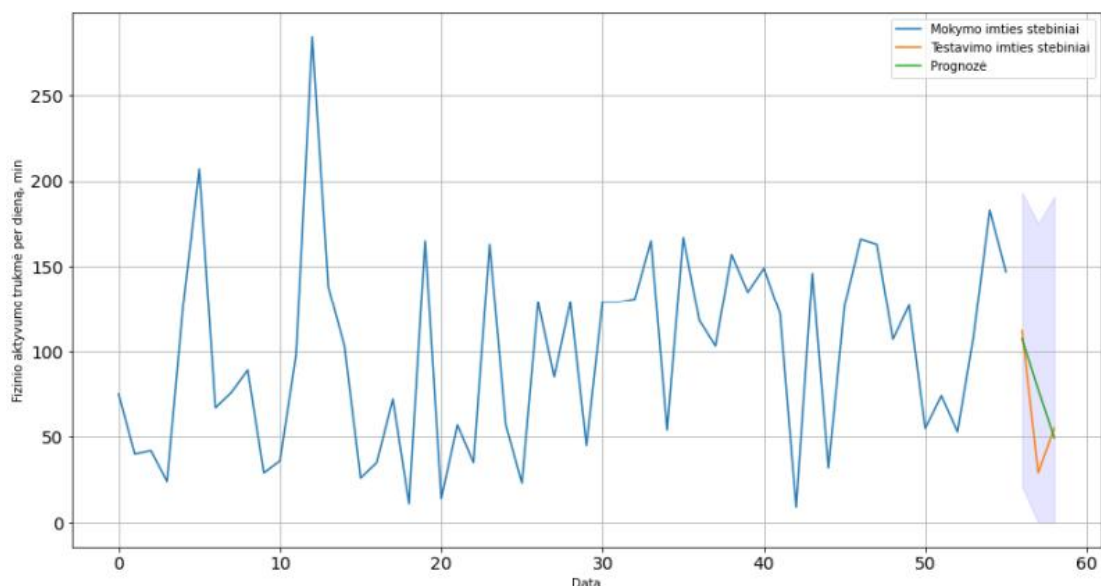
Periodas	Modelis	Trūkstumų reikšmių užpildymas
1	ARIMA(1,0,0)	Kvadratinė interpoliacija
2	Sezoninis naivusis	Paskutinė stebėta reikšmė
3	Regresija	Paskutinė stebėta reikšmė
4	ARIMA(2,0,4)	Paskutinė stebėta reikšmė

7 lentelėje pateikti kiekvieno iš 6 lentelėje aprašytų modelių bei modelių ansamblio prognozavimo tikslumo vertinimai. Modelių ansamblio tikslumas apskaičiuojamas naudojant tiksliausio metodo prognozuotą reikšmę kiekvienam periodui pagal 7 lentelėje pateiktus duomenis ir svorius: $w_1 - 4$, $w_2 - 2$, $w_3 - 5$, $w_4 - 3$, $w_5 0,05$. Rezultatai rodo, kad didžiausias paklaidas (pažymėta raudona spalva) pagal visus tikslumo vertinimo kriterijus turi ARIMA(2,0,4), o mažiausias (pažymėta žalia spalva) paklaidas pagal daugelį vertinimo kriterijų sezoninis naivusis modelis. Visų modelių ir ansamblio skaičiavimo laikas trunka mažiau nei 1 sekundę. Analizuotų modelių ansamblis pateikė geriausius rezultatus pagal tikslumo vertinimo kriterijus, išskyrus vidutinės absoliutinės paklaidos vertinimo kriterijų, kuris yra nežymiai didesnis nei sezoninio naiviojo modelio. Modelių ansamblio skaičiavimo laikas yra didesnis nei kitų metodų, tačiau jis neviršija 1 sekundės, todėl yra laikomas priimtiniu.

7 lentelė. Modelių ir modelių ansamblio tikslumo vertinimas

Modelis	RMSE	MAE	MASE	MLE	Laikas, s
ARIMA(1,0,0)	57,55	49,00	0,90	31,77	0,05
Sezoninis naivusis	51,76	41,30	0,82	32,84	0,04
Regresija	63,18	51,74	1,15	32,87	0,05
ARIMA(2,0,4)	65,19	53,96	1,05	35,58	0,13
Ansamblis	48,85	41,41	0,66	28,09	0,56

Fizinio aktyvumo trukmės prognozė mitybos plano sudarymo modelyje naudojama fizinio aktyvumo daugiklio tikslinimui. 4 lentelėje nurodyta, kad daugiklis keičiasi, kai fizinio aktyvumo trukmė skiriasi 30–120 minučių. Ansamblio vidutinė absoliutinė paklaida 41,41 minutės ir ji nežymiai (11,41 minutės) viršija anksčiau minėtą 30 min. leistiną žemiausią fizinio aktyvumo trukmės rėžį. Mitybos plano sudarymo modelyje fizinio aktyvumo trukmės prognozė bus tik pasiūlymas, kurį turės patvirtinti naudotojas, todėl šis sudaryto modelių ansamblio tikslumas yra priimtinas. 11 pav. pateikti fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo rezultatai.



11 pav. Fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo rezultatai

8 lentelė. Modelių tinkamumo duomenims kriterijų taikymo rezultatai

Modelis	Ljung-Box statistika	p-reikšmė	Stjudento t statistika	p-reikšmė	Breusch-Pagan statistika	p-reikšmė
ARIMA(1,0,0)	7,8392	0,1653	0,2780	0,7903	3,0819	0,0791
ARIMA(2,0,4)	6,8822	0,2295	0,3777	0,7185	3,8043	0,0511

Tikrinamos prognozavimo prielaidos: paklaidų vidurkio lygybė 0, autokoreliacija ir dispersijos pastovumas. Naudotų kriterijų p reikšmės pateiktos 8 lentelėje. Visų modelių liekanose nėra autokoreliacijos, nes Ljung-Box kriterijaus p reikšmės $> 0,05$. Paklaidų autokoreliacijos grafikai pateikti 3 priede. Pritaikius Stjudento t kriterijų gauta, kad paklaidų vidurkis nesiskiria nuo 0, nes p reikšmė $> 0,05$ visais atvejais. Pritaikius Breusch-Pagan kriterijų, nustatyta, kad modelių paklaidose dispersija yra pastovi, nes $p > 0,05$. Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad visi sudaryti modeliai yra korektiški ir tinka analizuojamiems duomenims.

3.2. Žmogaus individualių mitybos planų sudarymo modelių palyginimas

Šiame skyriuje pateikta sudarytų mitybos planų modelių tikslumo, skaičiavimo laiko bei sąnaudų analizė ir palyginimas.

9 lentelė. Genetinio algoritmo pradinių parametų rinkiniai pagal apribojimų skaičių

Parametras	Apribojimų skaičius		
	3	6	12
Maksimalus iteracijų skaičius	100	200	800
Populiacijos dydis	100; 200	200	600
Mutacijos tikimybė	0,1	0,1	0,1
Elito skaičius	0,4	0,3; 0,4	0,1
Kryžminimo tikimybė	0,5; 0,75	0,5; 0,75	0,2; 0,4
Tėvų tikimybė	0,5; 0,75	0,5; 0,75	0,2; 0,4

Genetinio ir dalelių spiečiaus algoritmų parametrų parinkimui atlikti pilotiniai tyrimai. Pilotinio tyrimo rezultatų pavyzdys pateiktas 1 priede. Skaičiuojamas suminis nuokrypis nuo kiekvieno apribojimo. Genetinio algoritmo pradinių parametrų kombinacijos kiekvienam apribojimų skaičiui pateiktos 9 lentelėje.

10 lentelė. Dalelių spiečiaus algoritmo pradinių parametrų rinkiniai pagal apribojimų skaičių

Parametras	Apribojimų skaičius		
	3	6	12
Dalelių skaičius	30	20	50; 100
Omega	0,2; 0,5; 0,7	0,1; 0,5	0,2; 0,5
Phip	0,01; 0,2; 0,5; 0,7	0,01; 0,2	0,2; 0,5
Phig	0,01; 0,2	0,01; 0,2	0,2; 0,5

Dalelių spiečiaus pradinių parametrų kombinacijos kiekvienam apribojimų skaičiui pateiktos 10 lentelėje.

11 lentelė. Atrinkti dalelių spiečiaus algoritmo parametrai

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Apribojimų skaičius	Dalelių skaičius	Omega	Phip	Phig
Aukšto	3	30	0,20	0,70	0,01
	6	20	0,50	0,01	0,01
	12	100	0,50	0,20	0,20
Vidutinio	3	30	0,50	0,70	0,01
	6	20	0,50	0,01	0,01
	12	50	0,50	0,50	0,20
Žemo	3	30	0,20	0,50	0,01
	6	20	0,10	0,20	0,20
	12	100	0,20	0,20	0,50
Labai žemo	3	30	0,50	0,01	0,01
	6	20	0,50	0,20	0,01
	12	50	0,20	0,20	0,20

11 lentelėje pateikti parametrai, su kuriais buvo gautas mažiausias suminis nuokrypis nuo apribojimų naudojant dalelių spiečiaus algoritmą. Gauti rezultatai rodo, kad modelyje su 12 apribojimų reikalingas didesnis dalelių skaičius, nei modeliuose su 3 ar 6 apribojimais nepriklausomai nuo mitybos plano tipo.

12 lentelė. Atrinkti genetinio algoritmo parametrai

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Apribojimų skaičius	Maksimalus iteracijų skaičius	Populiacijos dydis	Mutacijos tikimybė	Elito skaičius	Kryžminimo tikimybė	Tėvų tikimybė
Aukšto	3	100	200	0,10	0,40	0,50	0,50
	6	200	200	0,10	0,30	0,50	0,50
	12	800	600	0,10	0,10	0,40	0,20
Vidutinio	3	100	200	0,10	0,40	0,50	0,50
	6	200	200	0,10	0,30	0,50	0,50
	12	800	600	0,10	0,10	0,40	0,20
Žemo	3	100	200	0,10	0,40	0,75	0,50
	6	200	200	0,10	0,40	0,50	0,75
	12	800	600	0,10	0,10	0,40	0,40
Labai žemo	3	100	200	0,10	0,40	0,75	0,50
	6	200	200	0,10	0,40	0,75	0,50
	12	800	600	0,10	0,10	0,40	0,40

12 lentelėje pateikti parametrai, su kuriais buvo gautas mažiausias suminis nuokrypis nuo apribojimų naudojant genetinį algoritmą. Didėjant apribojimų skaičiui didėja maksimalus reikalingas iteracijų skaičius. Modeliuose su 12 apribojimų populiacijos naudojama didesnė populiacija ir mažesnė kryžminimo tikimybė, nei naudojant 3 ar 6 apribojimus, nepriklausomai nuo mitybos plano tipo pagal angliavandenių kiekį. Mutacijos tikimybė visuose modeliuose vienoda.

13 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą ir kalorijų kiekį su 3 apribojimais

Metodas	Tiesinis programavimas		Svertinis tikslo programavimas		Genetinis algoritmas		Dalelių spiečiaus algoritmas	
	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos
Kalorijų kiekio tipas								
Kalorijos	0,0	-3,3	0,1	0,1	16,0	2,3	838,8	62,7
Angliavandeniai	-2,0	-1,5	0,0	0,2	3,6	3,9	1249,7	122,8
Baltymai	-5,9	-1,7	-13,4	1,3	0,3	8,7	1048,8	97,5

13 lentelėje pateikti procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal optimizavimo metodą ir kalorijų kiekio tipą su 3 apribojimais. 13–20 lentelėse žalia spalva pažymėti mažiausi, o raudona didžiausi absoliutūs procentiniai nuokrypiai dienos ir valgio kalorijų kiekio tipams. Naudojant dienos kalorijų kiekio tipą mažiausi nuokrypiai nuo visų apribojimų gauti naudojant svertinį tikslo programavimą. Naudojant valgio kalorijų tipą mažiausi nuokrypiai nuo kalorijų ir angliavandenių apribojimų gauti naudojant tiesinį programavimą, o nuo baltymų apribojimo naudojant genetinį algoritmą. Didžiausi nuokrypiai nuo angliavandenių ir baltymų apribojimų gauti naudojant dalelių spiečiaus algoritmą visiems kalorijų kiekio tipams. Naudojant dienos kalorijų kiekio tipą dažniausiai gaunami mažesni nuokrypiai nuo apribojimų, nei naudojant valgio kalorijų kiekio tipą kiekvienam metodui, išskyrus dalelių spiečiaus algoritmą, kuriame naudojant valgio kalorijų kiekio tipą gauti mažesni nuokrypiai nuo visų apribojimų, nei naudojant dienos kalorijų kiekio tipą. Daugiausiai didžiausių nuokrypių nuo

apribojimų turi dalelių spiečiaus algoritmas, o daugiausiai mažiausių nuokrypių turi tiesinis programavimas su valgio bei svertinis tikslo programavimas su dienos kalorijų kiekio tipais.

14 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą ir kalorijų kiekį su 3 apribojimais

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Aukšto		Vidutinio		Žemo		Labai žemo	
	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos
Kalorijos	231,8	20,7	249,6	-8,3	179,8	0,0	193,7	49,5
Angliavandeniai	106,6	2,1	168,7	-6,5	184,2	-11,2	791,8	141,0
Baltymai	281,5	20,2	353,8	-7,6	174,3	0,0	220,1	93,2

14 lentelėje pateikti procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal angliavandenių kiekio mitybos plano tipą ir kalorijų kiekio tipą su 3 apribojimais. Mažiausi nuokrypiai nuo kalorijų apribojimo su dienos kalorijų kiekio tipu gauti naudojant žemo angliavandenių kiekio mitybos planą, o didžiausi naudojant labai žemo angliavandenių kiekio planą. Didžiausi nuokrypiai nuo kalorijų apribojimo su valgio kalorijų kiekio tipu gauti naudojant vidutinio, o su dienos kalorijų kiekio tipu naudojant labai žemo angliavandenių kiekio mitybos planą. Mažiausi nuokrypiai nuo angliavandenių kiekio apribojimų su dienos ir valgio kalorijų kiekio tipu gauti naudojant aukšto, o didžiausi labai žemo angliavandenių kiekio mitybos planą. Didžiausi nuokrypiai nuo baltymų apribojimo su dienos kalorijų kiekio tipu gauti naudojant labai žemo, o mažiausi naudojant žemo angliavandenių kiekio mitybos planus. Mažiausi nuokrypiai nuo baltymų apribojimo su valgio kalorijų kiekio tipu gauti naudojant žemo, o didžiausi vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planus. 14 lentelėje pateikti rezultatai yra visų naudotų metodų rezultatų vidurkiai. Duomenys rodo, kad didžiausi nuokrypiai nuo apribojimų gauti naudojant dalelių spiečiaus algoritmą, todėl tai daro įtaką 15 lentelėje pateiktiems rezultatams.

15 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą ir kalorijų kiekį su 6 apribojimais

Metodas	Tiesinis programavimas		Svertinis tikslo programavimas		Genetinis algoritmas		Dalelių spiečiaus algoritmas	
	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos
Kalorijos	-5,4	-6,1	0,9	-1,5	140,9	151,6	642,8	101,7
Angliavandeniai	-22,4	-24,2	0,0	0,0	695,1	510,8	626	165,2
Baltymai	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	10,1	472,2	48,4
Riebalai	-17,4	-12,3	-21,7	-9	74,2	17,6	189,3	-10,6
Druska	-5,7	0	-14,5	-4,7	44,4	147,3	912,2	151,8
Skaidulos	-90,7	-87,8	-79,3	-79,6	0,0	0,0	51,8	-47,6

Procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal optimizavimo metodą ir kalorijų kiekio tipą su 6 apribojimais pateikti 15 lentelėje. Didžiausi nuokrypiai nuo apribojimų su dienos ir valgio kalorijų kiekio tipu visiems apribojimams gauti naudojant dalelių spiečiaus algoritmą, išskyrus angliavandenių, riebalų ir skaidulų apribojimus, kur didžiausi nuokrypiai gauti naudojant genetinį algoritmą angliavandenių ir skaidulų apribojimams ir tiesinį programavimą riebalų apribojimui. Mažiausi nuokrypiai nuo kalorijų, angliavandenių, baltymų ir riebalų apribojimų su valgio ir dienos

kalorijų kiekio tipu gauti naudojant svertinio tikslo programavimo metodą. Mažiausi nuokrypiai nuo baltymų ir druskos apribojimų gauti naudojant tiesinio programavimo metodą. Naudojant genetinį algoritimą gauti mažiausi nuokrypiai nuo skaidulų apribojimų su valgio ir dienos kalorijų kiekio tipu. Daugiausiai didžiausių nuokrypių nuo apribojimų turi dalelių spiečiaus algoritmas, o mažiausių nuokrypių svertinis tikslo programavimas visiems kalorijų kiekio tipams.

16 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą ir kalorijų kiekį su 6 apribojimais

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Aukšto		Vidutinio		Žemo		Labai žemo	
	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos
Kalorijos	248,8	35	152,4	78,2	156,8	74,3	221,2	58,2
Angliavandeniai	80,8	8,7	245,3	152,7	121,6	51,4	851,0	439,1
Baltymai	175,8	-2,4	82,2	22,5	79,4	22,8	137,8	15,6
Riebalai	71,0	10,6	50,8	-6,6	54,9	9,3	47,6	-27,6
Druska	312,2	28,7	172,8	97,2	168,9	87,9	282,5	80,5
Skaidulos	-21,0	-62,0	-38,8	-47,7	-34,5	-50,9	-23,9	-54,3

16 lentelėje pateikti procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal angliavandenių kiekio mitybos plano tipą ir kalorijų kiekio tipą su 6 apribojimais. Didžiausi nuokrypiai nuo kalorijų apribojimo su dienos kalorijų kiekio tipu gauti naudojant vidutinio, o su valgio kalorijų kiekio tipu su aukšto angliavandenių kiekio mitybos planu. Mažiausi nuokrypiai nuo kalorijų apribojimo su dienos kalorijų kiekio tipu gauti naudojant aukšto, o su valgio kalorijų kiekio tipu su vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planu. Didžiausi nuokrypiai nuo angliavandenių apribojimų gauti naudojant labai žemo, o mažiausi naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą. Didžiausi nuokrypiai nuo baltymų apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu gauti naudojant vidutinio, o mažiausi naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą. Mažiausi nuokrypiai nuo baltymų apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu gauti naudojant aukšto, o mažiausi naudojant žemo angliavandenių kiekio mitybos planą. Didžiausi nuokrypiai nuo riebalų apribojimo su valgio kalorijų kiekio tipu gauti naudojant aukšto ir su dienos kalorijų kiekio tipu naudojant labai žemo angliavandenių kiekio mitybos planus. Mažiausi nuokrypiai nuo druskos apribojimų gauti naudojant aukšto, o didžiausi naudojant vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planą su dienos kalorijų kiekio tipu. Mažiausi nuokrypiai nuo druskos apribojimų gauti naudojant vidutinio, o didžiausi naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą su valgio kalorijų kiekio tipu. Didžiausi nuokrypiai nuo skaidulų apribojimo su valgio kalorijų kiekio tipu gauti naudojant vidutinio, o su dienos kalorijų kiekio tipu naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą. Mažiausi nuokrypiai nuo skaidulų apribojimų gauti naudojant vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planą su valgio ir aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą su dienos kalorijų kiekio tipu.

17 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą ir kalorijų kiekį su 12 apribojimais

Metodas	Tiesinis programavimas		Svertinis tikslo programavimas		Genetinis algoritmas		Dalelių spiečiaus algoritmas	
	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos
Kalorijų kiekio tipas								
Kalorijos	-5,4	-6,6	6,9	8,5	262	146,4	661,7	-12,6
Angliavandeniai	-31	-21,7	57,6	69,7	633,5	524,5	1213,8	-17,4
Baltymai	0,0	0,0	-17,6	-0,2	193,8	137,1	750,0	-17,9
Riebalai	0,0	0,0	14,1	0,0	259,7	2,9	398,3	-13,6
Druska	-34,2	-33,2	0,0	0,0	203,1	18,8	354,8	-30,6
Skaidulos	-88,8	-83,1	-77,5	-71,1	1,3	0,0	102,2	-77,3
Tiaminas	-53,7	-26,1	0,0	45,5	372,8	328,1	742,4	6,6
Folio rūgštis	-85,5	-75,9	-71,6	-55,7	47,1	31,0	169,9	-66,6
Kalcis	-77,7	-73,1	-61,7	-60,9	0,0	-72,0	35,1	-72,7
Geležis	-38,6	-35,9	-50,3	-32,1	46,7	14,9	305,3	-49,0
Kalis	-13,4	-7,5	5,1	28,7	207,1	151,4	572,3	-9,7
Selenas	-23,1	-23,6	-21,3	-12,8	86,5	52,8	402,1	-36,9

Procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal optimizavimo metodą ir kalorijų kiekio tipą su 12 apribojimais pateikti 17 lentelėje. Didžiausi nuokrypiai nuo apribojimų su valgio kalorijų kiekio tipu visiems apribojimams gauti naudojant dalelių spiečiaus algoritmą, išskyrus kalcio apribojimą. Naudojant dienos kalorijų kiekio tipą didžiausi nuokrypiai nuo kalorijų, angliavandenių, baltymų, tiamino ir seleno apribojimų gauti naudojant genetinį algoritmą, o nuo skaidulų, folio rūgšties, geležies, kalio apribojimų naudojant tiesinį programavimą. Naudojant tiesinio programavimo metodą gauti mažiausi nuokrypiai nuo kalorijų, angliavandenių, baltymų ir riebalų apribojimų su valgio ir dienos kalorijų kiekio tipais bei nuo tiamino apribojimo su dienos kalorijų kiekio tipu. Naudojant svertinį tikslo programavimą su valgio kalorijų kiekio tipu gauti mažiausi nuokrypiai nuo druskos, tiamino, kalio ir seleno apribojimų bei riebalų, druskos, kalcio, seleno su dienos kalorijų kiekio tipu. Naudojant genetinį algoritmą gauti mažiausi nuokrypiai nuo skaidulų, folio rūgšties ir kalcio su valgio kalorijų kiekio tipu ir nuo skaidulų, folio rūgšties ir geležies apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu. Daugiausiai didžiausių nuokrypių nuo apribojimų turi dalelių spiečiaus algoritmas su valgio kalorijų kiekio tipu ir genetinis algoritmas su dienos kalorijų kiekio tipu. Daugiausiai mažiausių nuokrypių nuo apribojimų turi svertinis tikslo programavimas visiems kalorijų kiekio tipams.

18 lentelėje pateikti procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal angliavandenių kiekio mitybos plano tipą ir kalorijų kiekio tipą su 12 apribojimais. Mažiausi nuokrypiai nuo kalorijų, riebalų, druskos, tiamino, folio rūgšties, geležies, kalio ir seleno apribojimų gauti naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą su valgio kalorijų kiekio tipu ir nuo angliavandenių, skaidulų, folio rūgšties ir kalcio apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu. Didžiausi nuokrypiai naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą gauti nuo kalcio apribojimo su valgio kalorijų kiekio tipu ir nuo kalorijų ir tiamino apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu. Didžiausi nuokrypiai nuo kalorijų, baltymų, riebalų, druskos, tiamino, folio rūgšties, geležies, kalio ir seleno apribojimų gauti naudojant labai žemo angliavandenių kiekio mitybos planą su valgio kalorijų kiekio tipu ir baltymų apribojimo su dienos kalorijų kiekio tipu.

18 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą ir kalorijų kiekį su 12 apribojimų

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Aukšto		Labai žemo		Vidutinio		Žemo	
	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos	Valgio	Dienos
Kalorijos	196,9	47,6	305,7	33,3	220,4	41,3	202,2	13,5
Angliavandeniai	109,8	28,9	434,5	103,6	228,7	61,5	1101,00	361,2
Baltymai	195,2	37,9	349,4	39,5	189,5	28,2	192,2	13,3
Riebalai	137,6	4,7	213,8	-2,6	148,8	-6,7	172,0	-6,1
Druska	103,3	-4,4	147,0	-13,3	146,4	-3,6	126,9	-23,7
Skaidulos	-24,2	-50,6	-1,1	-61,6	-12,8	-52,0	-24,6	-67,3
Tiaminas	222,1	121,1	304,8	67,7	293,0	117,6	241,7	47,5
Folio rūgštis	0,8	-31,9	32,1	-47,4	18,5	-34,5	8,6	-53,4
Kalcis	-35,2	-68,6	-18,8	-69,2	-25,3	-69,0	-25,2	-72,0
Geležis	46,6	-23,2	112,9	-19,4	54,9	-24,7	48,7	-34,7
Kalis	160,0	51,9	238,5	39,4	208,0	56,3	164,6	15,3
Selenas	89,2	-2,1	162,6	1,0	108,1	0,3	84,2	-19,7

Mažiausi nuokrypiai nuo skaidulų ir kalcio apribojimų gauti naudojant labai žemo angliavandenių kiekio su valgio kalorijų kiekio tipu ir nuo kalorijų, geležies apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu. Mažiausi nuokrypiai nuo angliavandenių, baltymų apribojimų gauti naudojant valgio kalorijų kiekio tipą ir vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planą. Mažiausi nuokrypiai nuo druskos ir seleno apribojimų gauti naudojant dienos kalorijų kiekio tipą ir vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planą. Naudojant žemo angliavandenių kiekio mitybos planą gauti mažiausi nuokrypiai nuo kalorijų, baltymų, tiarino ir kalio apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu. Naudojant žemo angliavandenių kiekio mitybos planą su valgio kalorijų kiekio tipu gauti didžiausi nuokrypiai nuo angliavandenių, ir skaidulų apribojimų, o nuo angliavandenių, druskos, skaidulų, folio rūgšties, kalcio, geležies ir seleno apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu. Daugiausiai mažiausių nuokrypių nuo apribojimų gauta naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą ir valgio kalorijų kiekio tipo bei žemo ir aukšto angliavandenių kiekio mitybos planus ir dienos kalorijų kiekio tipą. Daugiausiai didžiausių nuokrypių nuo apribojimų gauta naudojant labai žemo angliavandenių kiekio mitybos planą su valgio kalorijų kiekio tipu ir žemo angliavandenių kiekio mitybos planą su dienos kalorijų kiekio tipu.

19 lentelėje pateikti vidutiniai procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal naudotus metodus, kalorijų kiekio tipus ir apribojimų skaičius. Naudojant svertinį tikslo programavimą su 3 apribojimais gauti mažiausi nuokrypiai su dienos kalorijų kiekio tipu, o valgio kalorijų kiekio tipo modelyje mažiausi nuokrypiai gauti naudojant tiesinio programavimo metodą. Taikant tiesinio programavimo metodą modeliui su 3 apribojimais ir dienos kalorijų kiekio tipu gauti nežymiai didesni nuokrypiai, nei taikant svertinio tikslo programavimo metodą. Taip pat taikant tiesinio programavimo metodą valgio kalorijų kiekio tipo modeliui gauti nežymiai didesni nuokrypiai, nei taikant svertinio tikslo programavimo metodą.

19 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal metodą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių

Metodas	Kalorijų kiekio tipas	Apribojimų skaičius		
		3	6	12
Tiesinis programavimas	Dienos	-2,2	-21,7	-66,1
	Valgio	-2,6	-23,5	-68,8
Svertinis tikslo programavimas	Dienos	0,5	-15,8	-53,3
	Valgio	-4,4	-19,1	-59,0
Genetinis algoritmas	Dienos	4,9	139,6	5,4
	Valgio	6,6	159,6	49,8
Dalelių spiečiaus algoritmas	Dienos	94,3	68,2	-67,8
	Valgio	1045,7	482,4	220,8

Mažiausi nuokrypiai nuo 6 apribojimų gauti naudojant svertinio tikslo programavimo metodą su visais kalorijų kiekio tipais, tačiau tiesinio programavimo nuokrypiai yra nežymiai didesni nei naudojant tiesinio programavimo metodą. Didžiausi nuokrypiai nuo 3 ir 6 apribojimų gauti naudojant dalelių spiečiaus algoritmą. Mažiausi nuokrypiai nuo 12 apribojimų gauti naudojant genetinį algoritmą. Didžiausi nuokrypiai su 12 apribojimų ir visais kalorijų kiekio tipais gauti naudojant dalelių spiečiaus algoritmą. Naudojant 12 apribojimų tiesinio programavimo ir svertinio tikslo programavimo metodais gauti nuokrypiai didesni nei naudojant 3 ar 6 apribojimus. Svertinis tikslo programavimas ir tiesinis programavimas yra tinkami sudaryti mitybos planus su 3 ir 6 apribojimais. Genetinis algoritmas yra tinkamas sudaryti mitybos planus su 12 apribojimų.

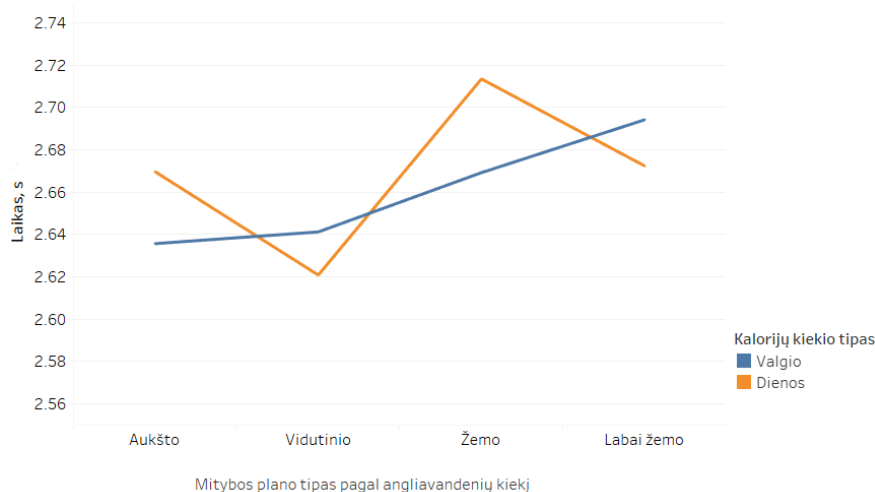
20 lentelėje pateikti procentiniai nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių. Mažiausi nuokrypiai nuo 3 ir 6 apribojimų su dienos kalorijų kiekio tipu bei nuo 6 ir 12 apribojimų su valgio kalorijų kiekio tipu gauti naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą. Mažiausi nuokrypiai nuo 3 apribojimų su valgio kalorijų kiekio tipu gauti naudojant vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planą, o nuo 12 apribojimų ir dienos kalorijų kiekio tipu naudojant labai mažo angliavandenių kiekio mitybos planą. Didžiausi nuokrypiai gauti naudojant labai mažo angliavandenių kiekio mitybos planą visais atvejais, išskyrus, kai su 12 apribojimų ir dienos kalorijų kiekio tipu gaunami didžiausi nuokrypiai naudojant mažo angliavandenių kiekio mitybos planą.

20 lentelė. Nuokrypiai nuo apribojimų pagal mitybos planą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Kalorijų kiekio tipas	Apribojimų skaičius		
		3	6	12
Aukšto	Dienos	14,3	3,0	-53,5
	Valgio	206,6	144,6	27,6
Vidutinio	Dienos	-3,7	32,4	-43,4
	Valgio	179,3	91,2	13,6
Mažo	Dienos	-7,4	49,4	-49,7
	Valgio	257,3	110,7	19,3
Labai mažo	Dienos	94,5	85,2	-35,2
	Valgio	401,8	252,7	82,2

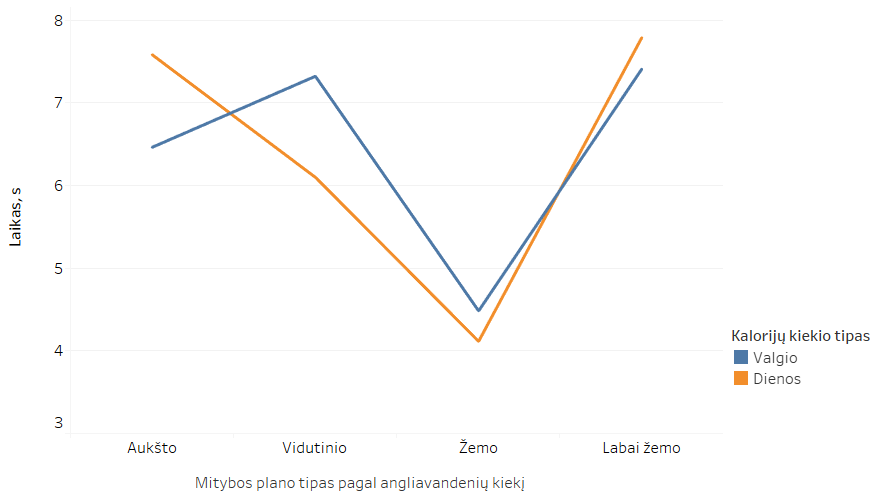
20 lentelėje pateikti rezultatai rodo, kad daugiausiai mažiausių nuokrypių nuo apribojimų gaunama naudojant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planą, o naudojant mitybos planus, kuriuose yra mažesni angliavandenių kiekiai gaunami vis aukštesni nuokrypiai.

Rezultatai rodo, kad labai mažo angliavandenių kiekio mitybos planui reikia atrinkti kitus parametrus arba, kad žmogaus pasirinkti maisto produktai nėra tinkami tokio mitybos plano sudarymui.



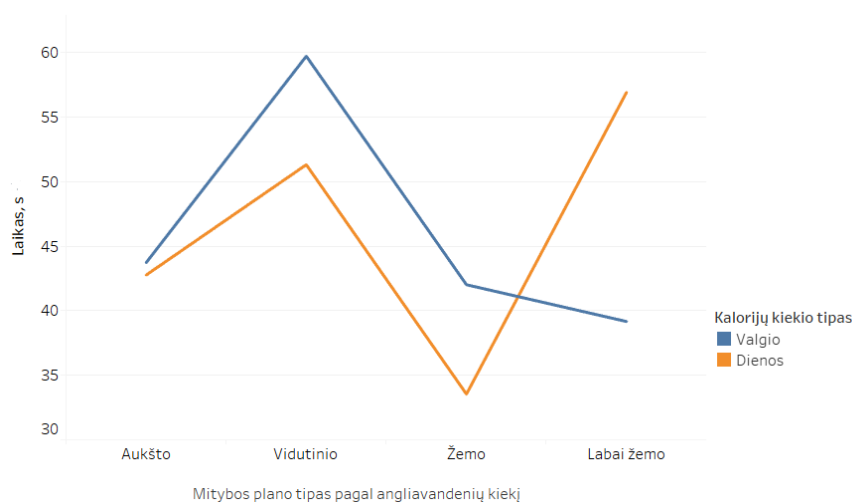
12 pav. Skaičiavimo laikas pagal mitybos planą su 3 apribojimais

Skaičiavimo laiko sekundėmis su 3 apribojimais palyginimas pagal kalorijų kiekio tipą ir angliavandenių kiekio mitybos planą pateiktas 12 pav. Naudojant valgio kalorijų kiekio tipą ir mažinant angliavandenių kiekį mitybos plane gaunami aukštesni skaičiavimo laikai, tačiau jie skiriasi tik 0,5 sekundės. Naudojant dienos kalorijų kiekio tipą mažiausias skaičiavimo laikas gaunamas sudarant vidutinio angliavandenių kiekio planą, o didžiausias žemo angliavandenių kiekio planą.



13 pav. Skaičiavimo laikas pagal mitybos planą su 6 apribojimais

Mažiausias skaičiavimo laikas su 6 apribojimais ir visais kalorijų kiekio tipais gaunamas sudarant žemo angliavandenių kiekio mitybos planą. 13 pav. pateikti skaičiavimo laiko rezultatai rodo, kad aukšto, vidutinio ir labai žemo angliavandenių kiekio mitybos planų su visais kalorijų kiekių tipais skaičiavimams reikėjo panašaus laiko. Visų tipų mitybos planų sudarymui su 6 apribojimais reikia daugiau laiko, nei su 3 apribojimais.



14 pav. Skaičiavimo laikas pagal mitybos planą su 12 apribojimų ir kalorijų kiekį

Didžiausias skaičiavimo laikas su 12 apribojimų gautas naudojant vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planą, o mažiausias žemo angliavandenių kiekio mitybos planą su visais kalorijų kiekio tipais. 14 pav. pateikti rezultatai rodo, kad mitybos planą sudarant su labai žemo angliavandenių kiekio apribojimais ir valgio kalorijų kiekio tipu gautas mažesnis skaičiavimo laikas, nei su to paties angliavandenių kiekio mitybos planu ir dienos kalorijų kiekio tipu. Naudojant 12 apribojimų visais atvejais reikalingas didesnis skaičiavimo laikas nei su 3 ar 6 apribojimais, tačiau šis skaičiavimo laikas yra priimtinas praktikoje.

21 lentelė. Skaičiavimo laikas pagal metodą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių

Metodas	Kalorijų kiekio tipas	Apribojimų skaičius		
		3	6	12
Tiesinis programavimas	Valgio	0,01	0,01	0,01
	Dienos	0,01	0,01	0,01
Svertinis tikslo programavimas	Valgio	0,13	0,2	1,21
	Dienos	0,12	0,15	1,99
Genetinis algoritmas	Valgio	9,57	24,19	171,44
	Dienos	9,72	23,86	174,01
Dalelių spiečiaus algoritmas	Valgio	0,94	1,28	11,95
	Dienos	0,83	1,56	8,53

21 lentelėje pateikti skaičiavimo laiko rezultatai sekundėmis pagal naudotus metodus ir kalorijų kiekio tipą. 21 lentelėje žalia spalva pažymėti mažiausi, o raudona didžiausi skaičiavimo laiko rezultatai valgio ir dienos kalorijų kiekio tipams. Mažiausias skaičiavimo laikas gautas naudojant

tiesinio programavimo metodą, tačiau naudojant svartinio tikslo programavimo metodą gauti tik 0,119 – 1,98 sekundėmis didesnis skaičiavimo laikas. Didžiausias skaičiavimo laikas gautas naudojant genetinį algoritmą. Kuo didesnis apribojimų skaičius modelyje, tuo didesnis genetinio algoritmo, svartinio tikslo programavimo ir dalelių spiečiaus algoritmo skaičiavimo laikas. Gauti rezultatai rodo, kad naudojant tiesinį programavimą visiems apribojimams reikalingas tas pats skaičiavimo laikas, išskyrus atvejį, kai naudojami 3 apribojimai ir valgio kalorijų kiekio tipas.

22 lentelė. Atminties sąnaudos pagal mitybos planą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Kalorijų kiekio tipas	Apribojimų skaičius		
		3	6	12
Aukšto	Dienos	213,66	211,51	195,88
	Valgio	211,23	210,47	191,47
Vidutinio	Dienos	213,64	211,49	195,8
	Valgio	211,02	210,44	191,42
Žemo	Dienos	213,63	211,43	195,33
	Valgio	211,23	210,37	191,33
Labai žemo	Dienos	213,29	211,34	194,92
	Valgio	213,03	210,28	190,97

22 lentelėje pateiktos atminties sąnaudos (MB) pagal mitybos planą, kalorijų kiekio tipą ir apribojimų skaičių. 22–23 lentelėse žalia spalva pažymėti mažiausios, o raudona didžiausios skaičiavimo resursų sąnaudos valgio ir dienos kalorijų kiekio tipams. Daugiausiai atminties sunaudojama sudarant aukšto angliavandenių kiekio mitybos planus visais atvejais ir žemo angliavandenių kiekio mitybos planą su 3 apribojimais ir valgio kalorijų kiekio tipu. Mažiausios atminties sąnaudos gautos sudarant labai žemo angliavandenių kiekio mitybos planus, išskyrus kai naudojami 3 apribojimai ir valgio kalorijų kiekio tipas, mažiausiai atminties sunaudoja vidutinio angliavandenių kiekio mitybos plano sudarymas. Atminties sunaudojimas skirtingiems mitybos planų modeliams yra skirtingas, tačiau skiriasi tik 0,37 – 0,5 MB.

23 lentelė. Atminties sąnaudos pagal metodą, kalorijų kiekį ir apribojimų skaičių

Metodas	Kalorijų kiekio tipas	Apribojimų skaičius		
		3	6	12
Tiesinis programavimas	Valgio	211,89	210,38	191,29
	Dienos	213,53	211,44	195,46
Svartinis tikslo programavimas	Valgio	211,48	210,38	191,29
	Dienos	213,53	211,44	195,46
Genetinis algoritmas	Valgio	211,67	210,41	191,32
	Dienos	213,61	211,45	195,54
Dalelių spiečiaus algoritmas	Valgio	211,48	210,38	191,29
	Dienos	213,53	211,44	195,46

23 lentelėje pateikti rezultatai rodo, kad didžiausios atminties sąnaudos (MB) gautos naudojant genetinį algoritmą visais atvejais, išskyrus kai naudojami 3 apribojimai ir valgio kalorijų kiekio tipas,

gaunamos didžiausios sąnaudos naudojant tiesinį programavimą. Visais kitais atvejais gaunamos sąnaudos pagal apribojimų skaičių ir kalorijų kiekio tipą yra vienodos visiems metodams, išskyrus kai naudojamas genetinis algoritmas su 3 apribojimais ir valgio kalorijų kiekio tipu.

Mitybos plano sudarymo modelyje naudojant 3 apribojimus ir svertinį tikslo programavimą gaunami mažiausi nuokrypiai nuo apribojimų ir mažiausios atminties sąnaudos visiems kalorijų kiekio tipams. Naudojant 3 apribojimus ir tiesinio programavimo metodą gaunamas mažiausias skaičiavimo laikas, tačiau jis ne daug skiriasi nuo svertinio tikslo programavimo skaičiavimo laiko ir yra priimtinas praktikoje. Mitybos planams su 3 apribojimais visiems kalorijų kiekio tipams tinkamiausias metodas yra svertinio tikslo programavimas.

Naudojant 6 apribojimus mitybos plano sudarymui ir valgio kalorijų kiekio tipą mažiausi nuokrypiai, trumpiausias skaičiavimo laikas ir sunaudojama mažiausiai atminties naudojant tiesinį programavimą. Šiam mitybos planui sudaryti panaudojus svertinį tikslo programavimą gaunami 0,65 % didesnis nuokrypis nuo apribojimų ir 0,13 sekundės ilgesnis skaičiavimo laikas, todėl teigiama, kad svertinis tikslo programavimo metodas taip pat yra tinkamas sudaryti mitybos planą 6 apribojimais ir valgio kalorijų kiekio tipu. Naudojant 6 apribojimus ir dienos kalorijų kiekio mitybos planą gaunami mažiausi nuokrypiai nuo apribojimų ir mažiausias sunaudotos atminties kiekis naudojant svertinį tikslo programavimo metodą. Rezultatai rodo, kad šiam modeliui sudaryti mažiausiai laiko reikia tikslo programavimo metodui, tačiau yra gaunamas mažesnis tikslumas, o naudojant svertinį tikslo programavimą skaičiavimo laikas yra nežymiai ilgesnis, tačiau gaunamas 28,74 % didesnis tikslumas. Mitybos plano su 6 apribojimais ir dienos kalorijų kiekio tipu sudarymui tinkamiausias metodas yra svertinis tikslo programavimas.

Sudarant mitybos planą su 12 apribojimų ir visais kalorijų kiekio tipais gauti mažiausi nuokrypiai, ilgiausias skaičiavimo laikas ir sunaudota daugiausiai atminties su naudojant genetinį algoritmą. Mažiausiai atminties ir skaičiavimo laiko su 12 apribojimų ir visais kalorijų kiekio tipais naudoja tiesinio programavimo metodas, tačiau nuokrypiai nuo apribojimų yra 66,43–52,96 % didesni nei naudojant genetinį algoritmą, o sunaudojama atmintis skiriasi tik 0,19–0,31 MB. Naudojant 12 apribojimų uždavinio sudėtingumas yra didesnis nei naudojant 6 ar 3 apribojimus, todėl norint gauti tikslesnius rezultatus ilgesnis skaičiavimo laikas yra priimtinas, todėl genetinis algoritmas yra laikomas tinkamu šio mitybos plano sudarymo modeliui.

Pagal gautus rezultatus galima teigti, kad kuo didesnis angliavandenių kiekis mitybos plane, tuo didesnis mitybos plano tikslumas, didesnis sunaudojamos atminties kiekis ir mažesnis skaičiavimo laikas su visais apribojimais ir kalorijų kiekio tipais. Tai rodo, kad žmogaus pasirinkti maisto produktai nėra tinkami sudaryti mažo ar labai mažo angliavandenių kiekio mitybos planus ir reikalinga keisti tam tikrus maisto produktus arba atlikti tyrimą skirtą tik labai mažo angliavandenių kiekio mitybos planų sudarymui.

Naudojant valgio kalorijų kiekio tipą su visais mitybos planais pagal angliavandenių kiekį ir 3 bei 6 apribojimais gaunami didesni nuokrypiai, nei naudojant dienos kalorijų kiekio tipą, o šiems modeliams sudaryti su 12 apribojimų gaunami didesni nuokrypiai naudojant dienos kalorijų kiekio tipą lyginant su valgio kalorijų kiekio tipu. 4 priede pateiktas išsamesnis tikslumo vertinimas pagal naudotus metodus, angliavandenių kiekio mitybos plano tipus, kalorijų kiekio tipus ir apribojimų skaičių. Aukščiau minėta, kad sudarant modelius su 3 arba 6 apribojimais mažiausiai nuokrypiai gaunami naudojant svertinio tikslo programavimą, o naudojant 12 apribojimų mažiausi nuokrypiai

gaunami naudojant genetinį algoritmą. Rezultatai rodo, kad svartinis tikslo programavimas sudaro didesnio tikslumo mitybos planus visiems angliavandenių kiekio tipams naudojant 3 arba 6 apribojimus, tačiau dienos mitybos planas yra tikslesnis nei valgio. Sudarant mitybos planus su 12 apribojimų didžiausias tikslumas gaunamas naudojant genetinį algoritmą, kur valgio mitybos planas yra sudaromas tiksliau nei dienos.

3.3. Mitybos planų sudarymo ir tikslinimo rezultatų pavyzdys

Šiame skyriuje pateikiamas mitybos plano sudarymo ir tikslinimo pavyzdys. Pavyzdyje nurodomi gydytojo parinkti parametrai, naudotojo įvesti duomenys ir gauta fizinio aktyvumo prognozė bei sudarytas mitybos planas. Pateikiami kitų mitybos planų tipų pavyzdžiai.

Įvedami naudotojo duomenys: lytis – moteris, ūgis – 170, svoris – 66, amžius – 30 (15 pav.). Nustatant skaitmeninės terapijos recepto parametrus gydytojas pasirenka:

- vidutinio angliavandenių kiekio mitybos planą;
- 3 mitybos plano apribojimus;
- kalorijų deficitą – 500;
- bazinio metabolinio greičio skaičiavimo formulę – Harris-Benedict;
- kalorijų kiekio tipas – dienos.

Naudotojo informacija

Naudotojo kodas	Amžius	Lytis	Ūgis	Svoris
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	30	2	170	66

15 pav. Naudotojo informacija

Naudotojui atsidarius mitybos rekomendacijos funkciją mobiliojoje programoje, pateikta prognozuojama fizinio aktyvumo trukmė (16 pav.), kurioje jis gali patvirtinti fizinio aktyvumo trukmę (pažymėta žalia varnele) arba įvesti kitą.

Prognozuojama fizinio aktyvumo trukmė

Data	Prognozė	
07/03/2022	107	✓

Jei fizinio aktyvumo trukmė skiriasi nuo Jūsų planuojamos, prašome patikslinti.

16 pav. Fizinio aktyvumo trukmės prognozė ir jos patvirtinimas

Pagal parinktus parametrus bei fizinio aktyvumo trukmę apskaičiuotas ir 17 pav. pavaizduotas: bazinis kalorijų kiekis – 1479, kalorijų kiekis įvertinus fizinį aktyvumą ir neatėmus kalorijų deficito – 2292 ir reikiamas dienos kalorijų kiekis kalorijų kiekis – 1792.

Mitybos plano parametrai

Naudotojo kodas	Kalorijų deficitas	Bazinis kalorijų kiekis	Kalorijų kiekis (be deficito)	Kalorijų kiekis
2330dfc8-7722-43c6-ac57-948eed070047	500	1 479	2 292	1 792

17 pav. Mitybos plano sudarymo parametrai

Vėliau naudotojas įveda pasirinktus maisto produktus ir gauna rekomenduojamus kiekvieno pasirinkto maisto produkto kiekius. Dienos mitybos planas sudarytas naudojant 3 apribojimus ir vidutinį angliavandenių kiekį. 18 pav. pateikta visa sudaryto mitybos plano informacija ir analizė.

Dienos mitybos plano tikslai

Kalorijos	Angliavandeniai	Baltymai	Mitybos planas	Optimizavimo metodas	Apribojimų skaičius
1 792	197	67	Vidutinio angliavandenių kiekio	Svertinio tikslo programavimo	3

Mitybos planas

Maisto produktų grupė	Pasirinktas produktas	Proporcija	Kiekis (g)
Grūdai	Juoda duona	1	26
Mėsa	Jautiena	1	593
Daržovės	Paprika	0.5	231
	Pomidoras	0.5	231
Vaisiai	Bananas	1	1 363
Riebalai	Saulėgrąžų aliejus	1	20
Pieno produktai	Pienas	1	217
Riešutai	Migdolai	1	24
Saldumynai	Obuolių pyragas	1	100

Mitybos plano analizė

Maisto produktų grupė	Kiekis maisto produktų grupėje	Kiekis maisto		
		Kalorijos	Angliavandeniai	Baltymai
Grūdai	26	22.69	3.97	0.34
Mėsa	593	622.79	0.00	40.33
Daržovės	463	67.12	8.56	2.31
Vaisiai	1 363	695.07	174.45	10.90
Riebalai	20	178.20	0.00	0.04
Pieno produktai	217	56.40	1.08	2.82
Riešutai	24	48.72	0.45	1.85
Saldumynai	100	101.00	8.60	1.80

Maisto medžiagų kiekiai mitybos plane

Kalorijos	Angliavandeniai	Baltymai
1 792	197	60

Vidutinis mitybos plano tikslumas

-3.37

Mitybos plano tikslumas



18 pav. Vidutinio angliavandenių kiekio mitybos plano pavyzdys

Sudarytame mitybos plane maisto produktų kiekiai yra paskirstyti visose maisto produktų grupėse. Didžiausias kiekis skiriamas daržovėms, vaisiams ir mėsai, o mažesnis kiekis saldumynams riebalams, grūdams. Nukrypta nuo kalorijų ir angliavandenių apribojimų nebuvo, o angliavandenių

mitybos plane yra 10,12 % mažiau nei nustatyta. Vidutinis sudaryto mitybos plano tikslumas yra - 3,37 %.

24 lentelė. Žemo angliavandenių kiekio mitybos plano diena pavyzdys

Maisto produktų grupė	Pasirinktas produktas	Proporcija	Maisto produkto kiekis, g
Riebalai	Saulėgrąžų aliejus	1	10
Vaisiai	Obuolys	1	164
Grūdai	Juoda duona	1	29
Mėsa	Paukštiena	1	169
Riešutai	Migdolai	1	12
Saldumynai	Juodas šokoladas	1	10
Daržovės	Morka	0,5	182
	Agurkas	0,5	182
Pieno produktai	Pienas	1	238

Žemo angliavandenių kiekio valgio mitybos plano pavyzdys pateiktas 24 lentelėje. Mitybos planui sudaryti naudojami 6 apribojimai, o vidutinis nuokrypis nuo apribojimų -23,00 %.

25 lentelė. Aukšto angliavandenių kiekio mitybos plano pavyzdys

Maisto produktų grupė	Pasirinktas produktas	Proporcija	Maisto produkto kiekis, g
Riebalai	Sviestas	1	16
Vaisiai	Kivis	1	116
Grūdai	Juoda duona	1	26
Mėsa	Jautiena	1	199
Riešutai	Migdolai	1	174
Saldumynai	Obuolių pyragas	1	17
Daržovės	Morka	0,5	367
	Paprika	0,5	367
Pieno produktai	Pienas	1	65

25 lentelėje pateiktas aukšto angliavandenių kiekio dienos mitybos planas. Mitybos planui sudaryti naudojama 12 apribojimų, o vidutinis nuokrypis nuo apribojimų -52,2 %. Gauti rezultatai rodo, kad maisto produktų kiekiai yra paskirstyti visose maisto produktų grupėse. Didžiausias kiekis skiriamas daržovėms, vaisiams ir mėšai, o mažesnis kiekis saldumynams riebalams, grūdams.

Išvados

1. Atlikus literatūros analizę nustatyta, kad skaitmeninė terapija yra naujas ir efektyvus būdas gydyti lėtines ligas, todėl šiandien aktualus uždavinys yra įvairių skaitmeninės terapijos matematinių modelių kūrimas ir diegimas. Tinkama mityba ir jos kontrolė yra viena iš svarbiausių faktorių gerinant lėtinių ligų prevenciją ir gydymą. Literatūroje, kurioje nagrinėjami mitybos planų sudarymo klausimai, dažnai analizuojamas vienas mitybos plano sudarymo modelis, paskelbta labai mažai darbų, kuriuose būtų palyginami skirtingi mitybos planai pagal naudojamus metodus ir taikomus apribojimus. Mitybos planų individualizavimo lygis yra žemas, planai periodiškai netikslinami pagal žmogaus fizinį aktyvumą, pilnai neatsižvelgiama į žmogaus pageidavimus, kai jis dėl tam tikrų priežasčių negali naudoti reikiamų produktų arba nori juos keisti kitais.
2. Panaudojus optimizavimo ir laiko eilučių prognozavimo metodus sukurtas individualizuoto mitybos plano sudarymo matematinis modelis, kuris skirtingai nuo žinomų modelių, įvertina žmogaus fizinio aktyvumo prognozę, geriau tenkina žmogaus pageidavimus maisto produktams, taiko keturis optimizavimo metodus sudarant planą, kurio nuokrypis nuo yra rekomendacijų yra mažiausias. Sudarytas fizinio aktyvumo trukmės prognozavimo modelių ansamblis tinka duomenims, pagal nuolatos iš jutiklių gaunamus duomenis teikia prognozes su priimtinomis paklaidomis, tenkina prielaidas ir padeda sudaryti tinkamesnius žmogui mitybos planus.
3. Panaudojus realius duomenis ir remiantis Amerikos diabeto asociacijos mitybos rekomendacijomis (pagal angliavandenių kiekio tipą, apribojimų skaičių ir kalorijų kiekį) sudaryti ir palyginti 24 mitybos planai. Gauta, kad su 3 arba 6 apribojimais tinkamiausias metodas pagal tikslumą, laiko ir atminties sąnaudas yra svertinis tikslo programavimas, o su 12 apribojimų tinkamiausias metodas yra genetinis algoritmas. Naudojant svertinį tikslo programavimą tiksliau sudaromi dienos mitybos planai, o vieno valgio mitybos planai sudaromi tiksliau naudojant genetinį algoritmą. Aukšto angliavandenių kiekio mitybos planai sudaromi tiksliausiai. Mažo ir labai mažo angliavandenių kiekio planai yra sudaromi su mažesniu tikslumu dėl netinkamo žmogaus maisto pasirinkimo arba netinkamo parametru parinkimo, todėl siūloma keisti maisto produktus kitais. Sudaryti mitybos planai tinkamai įtraukia visus žmogaus pasirinktus maisto produktus – didžiausia dalis skiriama daržovėms, vaisiams ir mėšai, o mažiausiai saldumynams, grūdams, riebalams, todėl rezultatai yra priimtini naudoti praktikoje.
4. Darbo praktinė nauda - sukurtas programinis įrankis, kuriame gydytojas gali įvesti duomenis ir pasirinkti reikiamą parametru kombinaciją mitybos rekomendacijos skyrimui. Naudotojas gauna individualias ir lengvai pasiekiamas gydytojo dienos arba valgio mitybos rekomendacijas, kurios prisitaiko prie jo įpročių ir į mitybos planą įtraukia visus jo norimus maisto produktus. Darbo rezultatai bus panaudoti įmonėje dHealthIQ, kuriant personalizuotos skaitmeninės terapijos produktus.

Literatūros sąrašas

1. Digital Therapeutics ('DTx') company dHealthIQ [interaktyvus], 2022 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per: <https://dhealthiq.com>.
2. DIGITAL THERAPEUTICS ALLIANCE, Digital Therapeutics: Combining Technology and Evidence-based Medicine to Transform Personalized Patient Care [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per: https://dtxalliance.org/wp-content/uploads/2018/09/DTA-Report_DTx-IndustryFoundations.pdf
3. HONG Sun, Chris WASDEN, Doug Hyun HAN, Introduction of digital therapeutics, Computer Methods and Programs in Biomedicine, Volume, [interaktyvus] 2021. ISSN 0169-2607, [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per: Science Direct, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106319>.
4. GILL Sanjivan, Vikita THAKUR, Onkar SUMANT, Digital Therapeutics Market by Application (Diabetes, Obesity, Cardiovascular Disease (CVD), Central Nervous System (CNS) Disease, Respiratory Disease, Smoking Cessation, Gastrointestinal Disorder (GID), and Others), Product Type (Software and Device), and Sales Channel (Business-to-Business (B2B), Business-to-Consumer (B2C)), Global Opportunity Analysis and Industry Forecast [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per: <https://www.alliedmarketresearch.com/digital-therapeutics-market>.
5. WIEDERHOLD Brenda, Data-Driven Digital Therapeutics: The Path Forward, Editorial, [interaktyvus] 2021, [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per: doi: 10.1089/cyber.2021.29227.
6. KIM Meelim, Jin CHOI, Digital Therapeutics for Obesity and Eating-Related Problems [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per PubMed doi: 10.3803/EnM.2021.107.
7. FORTE Castela, Pytrik FOLKERTSMA, Rahul GANNAMANI, Sridhar KUMARASWAMY, Sipko DAM, Jan HOOGSTEEN. Effect of a Digitally-Enabled, Preventive Health Program on Blood Pressure in an Adult, Dutch General Population Cohort: An Observational Pilot Study. Int. J. Environ. Res. Public Health [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per PubMed doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph19074171>
8. LIN Xiling, Yufeng XU, Xiaowen PAN, Jingaya XU, Yue DING, Xue SUN, Xiaoxiao SONG, Yuezhong REN, Peng-Fei SHAN, Global, regional, and national burden and trend of diabetes in 195 countries and territories: an analysis from 1990 to 2025 [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-01-23] Prieiga per PubMed, doi: 10.1038/s41598-020-71908-9.
9. BOOMER Christian, Vera SAGALOVA, Esther HEESEMANN, Jennifer GOEHLER, Rifat ATUN, Til BARNIGHAUSEN, Justine DAVIES, Sebastian VOLLMER, Global economic burden of diabetes in adults: projections from 2015 to 2030 [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23] Prieiga per PubMed, doi: 10.2337/dc17-1962.
10. American Diabetes Association Professional Practice Committee; 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes—2022 [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2337/dc22-S002>.
11. American Diabetes Association Professional Practice Committee, Standards of Medical Care in Diabetes – 2022 [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per Diabetes Care: https://diabetesjournals.org/care/issue/45/Supplement_1.
12. American Diabetes Association Professional Practice Committee; 3. Prevention or Delay of Type 2 Diabetes and Associated Comorbidities: Standards of Medical Care in Diabetes—2022. [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2337/dc22-S003>.

13. RAMAKRISHNAN Priyadharshini, Kevin YAN, Chakrapani BALIJEPALLI, Eric DRUYTS, Changing face of healthcare: digital therapeutics in the management of diabetes, *Current Medical Research and Opinion* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per PubMed doi: 10.1080/03007995.2021.1976737.
14. FROISLAND Dag Helge, Eirik ARSAND, Integrating visual dietary documentation in mobile-phone-based self-management application for adolescents with type 1 diabetes [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per PubMed doi: 10.1177/1932296815576956.
15. ELLAHHAM Samer, Artificial Intelligence: The Future for Diabetes Care [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per Science Direct doi: 10.1016/j.amjmed.2020.03.033.
16. MAKROUM Mohammed, Mehdi ADDA, Abdenour BOUZOUANE, Hussein IBRAHIM. Learning and Smart Devices for Diabetes Management: Systematic Review. *Sensors* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.3390/s22051843>.
17. MOZAFFARIAN Dariush, Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per PubMed doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585.
18. FRANZ Marion, Janice MACLEOD, Success of nutrition-therapy interventions in persons with type 2 diabetes: challenges and future directions [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per PubMed doi: 10.2147/DMSO.S141952.
19. SCHAFFER Anne Carolin, Annemarie SCHMIDT, Angela BECHTHOLD, Heiner BOEING, Bernhard WATZL, Nicole DARMON, Brecht DEVLEESSCHAUWER, Thomas HECKELEI, Sara PIRES, Perrine NADAUD, Corne van DOOREN, Florent VIEUX, Integration of various dimensions in food-based dietary guidelines via mathematical approaches: Report of a DGE/FENS Workshop in Bonn [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per Cambridge doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114520004857>.
20. SHEA Benjamin, Shivani BAKRE, Keaton CARANO, Jared SCHAREN, Jason LANGHERIER, Emily HU, Changes in Glycemic Control Among Individuals With Diabetes Who Used a Personalized Digital Nutrition Platform: Longitudinal Study [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per PubMed doi: 10.2196/32298.
21. CalorieKing [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per: <https://www.calorieking.com>.
22. GoMeals [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per: <https://www.gomeals.com>.
23. ALIAN Shadi, Juan LI, Vikram PANDEY, A Personalized Recommendation System to Support Diabetes Self-Management for American Indians [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: 10.1109/ACCESS.2018.2882138
24. BERMAN Mark, Nicole GUTHRIE, Katherine EDWARDS, Kevin APPELBAUM, Valentine NJIKE, David EISENBERG, David KATZ, Change in glycemic control with use of a digital therapeutic in adults with type 2 diabetes: cohort study [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2196/diabetes.9591>.
25. TUNMARK Piyaporn, Leandro OLIVEIRA, Nonchai SANTIBUTR, Ontology-Based Personalized Dietary Recommendation for Weightlifting [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2991/iwcss-13.2013.13>
26. RAMAKRISHNAN Priyadharshini, YAN Kevin, BALIJEPALLI Chakrapani, Changing face of healthcare: digital therapeutics in the management of diabetes [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: 10.1080/03007995.2021.1976737.

27. PHANICH Maiyaporn, Phathrajarin PHOLKUL, Suphakant PHIMOLTARES, Food Recommendation System Using Clustering Analysis for Diabetic Patients diabetes [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per Semantic Scholar doi: 10.1109/ICISA.2010.5480416.
28. PREUVENEERS Davy, Yolande BERBERS, Mobile phones assisting with health self-care: a diabetes case study [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: 10.1145/1409240.1409260.
29. ALIAN Shadi, Juan LI, Vikram PANDEY, A Personalized Recommendation System to Support Diabetes Self-Management for American Indians [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2022-01-23]. Prieiga per doi: 10.1109/ACCESS.2018.2882138.
30. Nutrioapp [interaktyvus], 2021 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per: <https://nutritioapp.com/>
31. Optimieal [interaktyvus], 2021 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per: <https://blonksustainability.nl/tools/optimeal>
32. SLEGGERS Petronella, Roel HELMES, Marlies DRAISMA, Roline BROEKEMAB, Mila VLOTES, Sander van den Burg, Environmental impact and nutritional value of food products using the seaweed *Saccharina latissima* [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128689>.
33. GRASSO Alessandra, Margreet OLTHOF, Corné van DOOREN, Roline BREKEMA, Marjolein VISSER, Ingeborg A BROUWER, Protein for a Healthy Future: How to Increase Protein Intake in an Environmentally Sustainable Way in Older Adults in the Netherlands [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa322>.
34. VOLLAND Arens, Lubomira SPASSOVA, Torsten BOHN, Promising approaches of computer-supported dietary assessment and management—Current research status and available applications [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Science Direct doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2015.08.006>.
35. CROWN William, Praveen THOKALA, Alec Morton ir kt., Constrained Optimization Methods in Health Services Research—An Introduction: Report 1 of the ISPOR Optimization Methods Emerging Good Practices Task Force [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Science Direct doi: <https://doi.org/10.1016/j.jval.2017.01.013>.
36. DAVIS Karelyn, Krista ESSLINGER, Lisa-Anne ELVIDGE, Sylvie PIERRE. International approaches to developing healthy eating patterns for national dietary guidelines, Nutrition Reviews [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Oxford Academic, doi: <https://doi-org.ezproxy.ktu.edu/10.1093/nutrit/nuy058>.
37. DIABETES CANADA CLINICAL PRACTICE GUIDELINES EXPERT COMMITTEE. Diabetes Canada 2018 Clinical Practice Guidelines for the Prevention and Management of Diabetes in Canada. Kanada, 2018 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per: <http://guidelines.diabetes.ca/forcitation>.
38. IWUJI Anayo, Mercy NNANNA, Nonso IFEYINWA, Chizube NDULUE. An Optimal DASH Diet Model for People with Hypertension Using Linear Programming, American Journal of Operations Research [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Scientific Research Publishing, doi: 10.4236/ojop.2016.51002.
39. IWUJI Anayo, Emeka Uchendu AGWU. A Weighted Goal Programming Model for the Linear Programming DASH Diet Model, American Journal of Operations Research [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Scientific Research Publishing, doi: 10.4236/ajor.2017.75023.

40. HEINONEN Petri, Esko JUUSO. Development of a Genetic Algorithms Optimization Algorithm for a Nutritional Guidance Application, Conference on Simulation and Modelling SIMS 2016. Linköping University Electronic Press [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: 10.3384/ecp1714255.
41. SULISTIANI Ayu , Queenisti DYAH, Budhi CASI. Dietary Habits for Toddler Growth using Particles Swarm Optimization Algorithms, 2020 2nd International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS) [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per IEEE, doi: 10.1109/ICORIS50180.2020.9320841.
42. RIZQULLAH R, PERMANA S., YADDARABULLAH Y. Optimization of elderly nutrition needs using PSO algorithm: A case study at POSBINDU PTM Sejahtera, [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi ProQuest, doi: 10.1088/1757-899X/1098/6/062009.
43. RONG Xiaolong, Xiaolong XU, Marcello TROVATI, Mark LIPTROTT. CS-PSO: chaotic particle swarm optimization algorithm [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi Springerlink, doi: <https://doi.org/10.1007/s00500-016-2383-8>.
44. ASGHARI Golaleh, Hanieh-Sadat EJTAHED, Mohammad SARSHARZADEH, Pantea NEZERI, Parvin MIRMIRAN. Designing Fuzzy Algorithms to Develop Healthy Dietary Patte, International Journal of Endocrinology and Metabolism [interaktyvus], 2013 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: 10.5812/ijem.9927
45. ZARCH Maryam, Reza MOGHADDAM, Fatemeh ESFAHANIAN, Amir AZARON, Mohammad MEDHI. A New Multi-objective Optimization Model for Diet Planning of Diabetes Patients under Uncertainty, Health Education and Health Promotion [interaktyvus], 2017 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Semantic scholar.
46. BAS Esra. A robust optimization approach to diet problem with overallglycemic load as objective function [interaktyvus], 2014 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per ScienceDirect doi: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2014.03.049>.
47. XIE Jinyu, Qian WANG. A personalized diet and exercise recommender system for type 1 diabetes self-management: An in silico study, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA [interaktyvus], 2019 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Elsevier, doi: <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2019.100069>.
48. DHORURI Atmini, Dwi LESTARI, Eminugroho RATNASARI. Sensitivity Analysis of Goal Programming Model for Dietary Menu of Diabetes Mellitus Patients, International Journal of Modeling and Optimization [interaktyvus], 2017 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: 10.7763/IJMO.2017.V7.549.
49. BROEKEMA Roline ir kt. Future-proof and sustainable healthy diets based on current eating patterns in the Netherlands, Division of Human Nutrition and Health, Wageningen University and Research, Wageningen, Netherlands [interaktyvus], 2020 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi Oxford Academic: doi.org/10.1093/ajcn/nqaa217.
50. CHAUDHARY Abhishek, Vaibhav KRISHNA. Country-Specific Sustainable Diets Using Optimization Algorithm, American Chemical Society [interaktyvus], 2019 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06923>.
51. HERNANDEZ Monica, GOMEZ Trinidad, ANTEQUERA Laura, CABALLERO Rafael. Using multiobjective optimization models to establish healthy diets in Spain following Mediterranean standards [interaktyvus], 2019 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Springer Nature, doi: 10.1007/s12351-019-00499-9.

52. McCance and Widdowson's The Composition of Foods Integrated Dataset 2021 [interaktyvus], 2021 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per: <https://www.gov.uk/government/publications/composition-of-foods-integrated-dataset-cofid>.
53. American Diabetes Association; 5. Facilitating Behavior Change and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Medical Care in Diabetes—2021. Diabetes Care [interaktyvus] 2021; 44 (Supplement_1): S53–S72. [žiūrėta 2022-04-17] Prieiga per doi: <https://doi.org/10.2337/dc21-S005>.
54. OH Robert, Brian GILANI, Kalyan UPPALURI. Low Carbohydrate Diet. StatPearls Publishing; 2021 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per doi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537084/>.
55. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. Dietary Guidelines for Americans, 2020-2025, 9th Edition 2020 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per: DietaryGuidelines.gov arba https://www.dietaryguidelines.gov/sites/default/files/202012/Dietary_Guidelines_for_Americans_2020-2025.pdf.
56. Fitbit [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-12-01]. Prieiga per: <https://www.fitbit.com/global/uk/products trackers/charge4>.
57. AutoTS: Model Selection for Multiple Time Series. [interaktyvus], 2020 [žiūrėta 2022-03-17] prieiga per: https://github.com/winedarksea/AutoTS/blob/master/extended_tutorial.md.
58. HYNDMAN Rob, George ATHANASOPOULOS. Forecasting: Principles and Practice, 2nd edition, Monash University, Australia 2018 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per: OTexts.com/fpp2.
59. METCALFE Andrew, Paul COWPERTWAIT, Introductory Time Series with R, 2009 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per Springer doi: 0.1007/978-0-387-88698-5.
60. SHUMWAY Robert, David Stoffer. Time Series Analysis and Its Applications. Springer Texts in Statistics 2017 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per Springer doi: 10.1007/978-3-319-52452-8.
61. HALUNGA Andrea, Chris ORME, Takashi YAMAGATA. A heteroskedasticity robust Breusch–Pagan test for Contemporaneous correlation in dynamic panel data models, 2016 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2016.12.005>.
62. AKIMA Hiroshi. A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures, 1970 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1145/321607.321609>.
63. HEWAMALAGE Hansika, Klaus ACKERMANN, Christoph BERGMEIR, Forecast Evaluation for Data Scientists: Common Pitfalls and Best Practices, 2022 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.10716>.
64. COOK Diane, Samaneh AMINIKHANGHAHI. A survey of methods for time series change point detection , 2016 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per Springer doi: 10.1007/s10115-016-0987-z.
65. FERRO Christopher. Measuring forecast performance in the presence of observation error, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2017 [interaktyvus] [žiūrėta 2022-04-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3115>.

66. WANG Dongshu, Dapei TAN, Lei LIU. Particle swarm optimization algorithm: an overview, *Soft Computing* [interaktyvus], 2018 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per Springer, doi: 10.1007/s00500-016-2474-6.
67. HARRIS Arthur, Francis BENEDICT. A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [interaktyvus] [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.4.12.370>.
68. DWYER Johanna, Kathaleen MELANSON. Dietary Treatment of Obesity [interaktyvus], 2015 [žiūrėta 2022-03-17]. Prieiga per doi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK278991/>.
69. Guido Van ROSSUM, Fred Drake. *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace [interaktyvus], 2009. Prieiga per: <https://www.python.org/>.
70. STOLTE Chris, Christian CHABOT, Pat HANRAHAN. *Tableau* [interaktyvus], 2003. Prieiga per: <https://www.tableau.com/>.

Priedai

1 priedas. Genetinio algoritmo pilotinio tyrimo rezultatų pavyzdys

M. It.	Pop.	Mut.	Elit.	Kryž.	T.t.	Laikas	Atmintis	A.k.m.t.	Nr.	Nuokr.	K.k.t.
100	100	0,1	0,4	0,50	0,50	00:04.9	2,1E+08	Labai mažo	1	480,60	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,50	0,75	00:02.7	2,1E+08	Labai mažo	1	452,47	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,50	00:04.9	2,1E+08	Labai mažo	1	356,96	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,75	00:02.5	2,1E+08	Labai mažo	1	881,46	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,50	0,50	00:09.6	2,1E+08	Labai mažo	1	357,67	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,50	0,75	00:05.0	2,1E+08	Labai mažo	1	1074,40	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,75	0,50	00:09.6	2,1E+08	Labai mažo	1	101,39	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,75	0,75	00:05.0	2,1E+08	Labai mažo	1	544,11	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,50	0,50	00:05.0	2,11E+08	Labai mažo	2	579,95	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,50	0,75	00:02.6	2,11E+08	Labai mažo	2	798,41	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,50	00:04.9	2,11E+08	Labai mažo	2	578,60	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,75	00:02.6	2,11E+08	Labai mažo	2	692,00	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,50	0,50	00:10.0	2,11E+08	Labai mažo	2	306,02	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,50	0,75	00:05.1	2,11E+08	Labai mažo	2	432,59	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,75	0,50	00:09.6	2,11E+08	Labai mažo	2	417,28	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,75	0,75	00:05.1	2,11E+08	Labai mažo	2	613,26	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,50	0,50	00:04.9	2,11E+08	Labai mažo	3	301,72	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,50	0,75	00:02.5	2,11E+08	Labai mažo	3	591,21	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,50	00:04.9	2,11E+08	Labai mažo	3	520,58	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,75	00:02.5	2,11E+08	Labai mažo	3	1708,43	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,50	0,50	00:09.5	2,11E+08	Labai mažo	3	223,94	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,50	0,75	00:05.0	2,11E+08	Labai mažo	3	388,41	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,75	0,50	00:09.6	2,11E+08	Labai mažo	3	208,70	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,75	0,75	00:05.0	2,11E+08	Labai mažo	3	544,64	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,50	0,50	00:04.9	2,1E+08	Labai mažo	1	480,60	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,50	0,75	00:02.7	2,1E+08	Labai mažo	1	452,47	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,50	00:04.9	2,1E+08	Labai mažo	1	356,96	Valgio
100	100	0,1	0,4	0,75	0,75	00:02.5	2,1E+08	Labai mažo	1	881,46	Valgio
100	200	0,1	0,4	0,50	0,50	00:09.6	2,1E+08	Labai mažo	1	357,67	Valgio

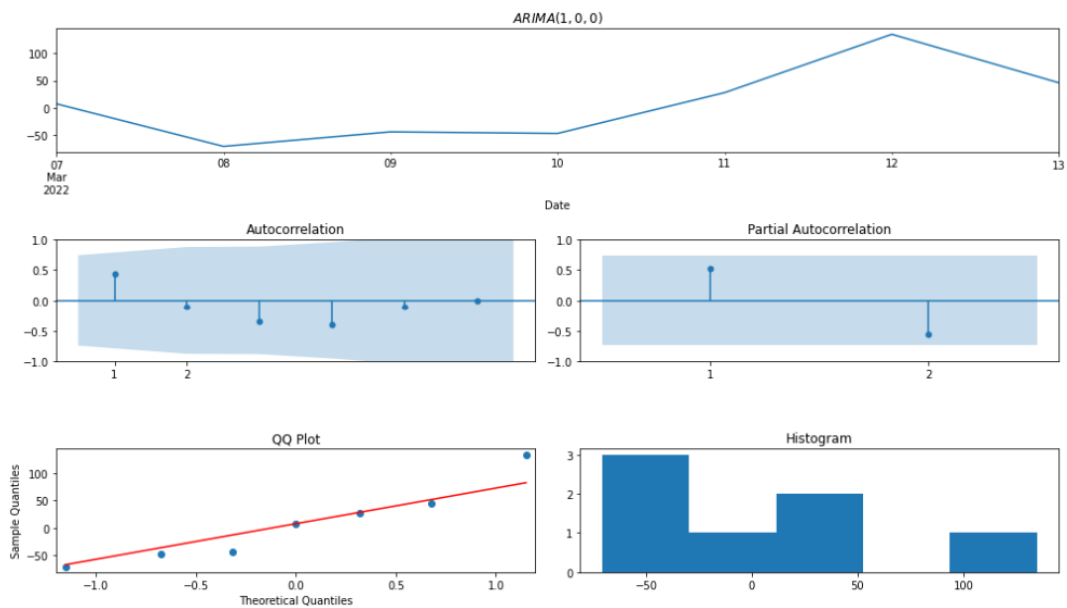
...

čia M.it. – iteracijų skaičius; Pop. – populiacijos dydis; Mut. – mutacijos tikimybė; Elit. – Elito skaičius; Kryž. – kryžminimo tikimybė; T.t. – tėvų tikimybė; A.k.m.t. – angliavandenių kiekio mitybos plano tipas; Nuokr. – nuokrypiai nuo apribojimų; K.k.t. – kalorijų kiekio tipas.

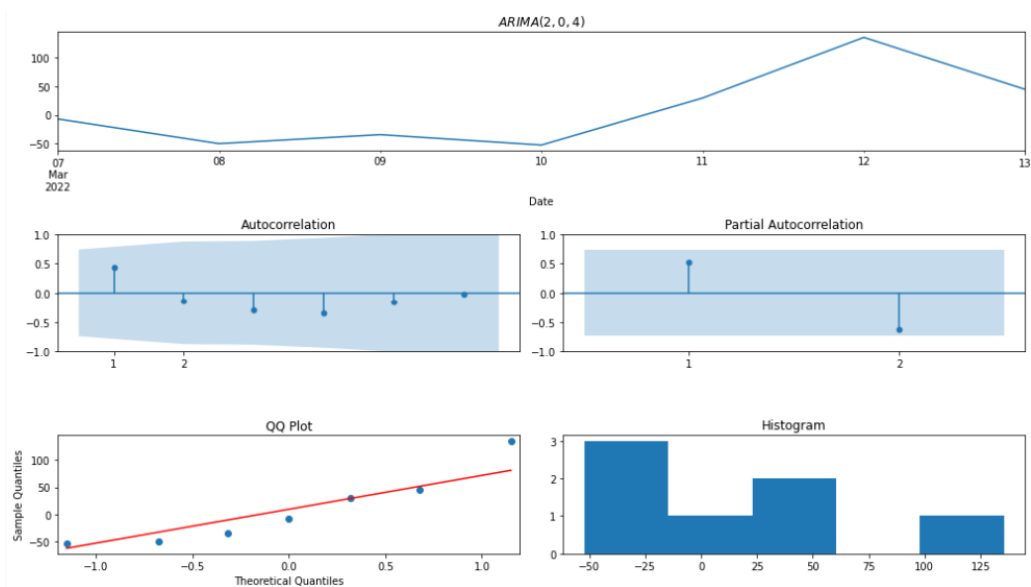
2 priedas. Prognozavimo modelyje naudojamos duomenų transformacijos

Periodas	Modelis	Transformacija
1	ARIMA(1,0,0)	Duomenys transformuojami atimant medianą ir dalinant iš kvartilių pločio naudojant funkciją <i>RobustScaler</i> . Pašalinamas tiesinis trendas su funkcija <i>Detrend</i> .
2	Sezoninis naivusis	Duomenys transformuojami atimant medianą ir dalinant iš kvartilių pločio naudojant funkciją <i>RobustScaler</i> . Pašalinamas tiesinis trendas su funkcija <i>Detrend</i> . Laiko eilutė filtruojama naudojant Baxter-King filtrą su funkcija <i>bkfilter</i> . Sezoniško komponentės šalinimui taikomas svertinis slenkantis vidurkis, kurio svoriai apskaičiuojami pagal laiko eilutės periodo plotį.
3	Regresija	Taikomas slenkantis vidurkis su langu (eilutės ilgis)/100 (minimali reikšmė 2) su funkcija <i>RollingMean100thN</i> . Taikoma principinių komponentių analizė <i>PCA</i> .
4	ARIMA(2,0,4)	Duomenys transformuojami atimant medianą ir dalinant iš kvartilių pločio naudojant funkciją <i>RobustScaler</i> . Pašalinamas tiesinis trendas su funkcija <i>Detrend</i> .

3 priedas. Autokoreliacijų grafikai



19 pav. ARIMA(1,0,0) modelio paklaidų tyrimo grafikai



20 pav. ARIMA(2,0,4) modelio paklaidų tyrimo grafikai

4 priedas. Tikslumo vertinimas pagal mitybos plano tipus, metodus ir apribojimų skaičių

Mitybos planas pagal angliavandenių kiekį	Metodas	Kalorijų kiekio tipas	Apribojimų skaičius		
			3	6	12
Aukšto	Tiesinis programavimas	Valgio	-8,14	-6,36	-67,11
		Dienos	-2,00	-29,31	-66,40
	Svertinis tikslo programavimas	Valgio	-2,33	-0,20	-58,12
		Dienos	-0,94	-1,36	-61,9
	Genetinis algoritmas	Valgio	33,47	103,64	2,66
		Dienos	9,44	39,52	-9,90
	Dalelių spiečiaus algoritmas	Valgio	620,19	435,97	123,01
		Dienos	34,05	100,03	-16,65
Vidutinio	Tiesinis programavimas	Valgio	-2,00	-5,45	-66,88
		Dienos	-2,00	-26,88	-65,84
	Svertinis tikslo programavimas	Valgio	-3,16	-0,11	-58,13
		Dienos	-0,94	3,06	-58,46
	Genetinis algoritmas	Valgio	24,79	120,18	4,11
		Dienos	6,41	49,68	-8,74
	Dalelių spiečiaus algoritmas	Valgio	489,17	511,26	84,94
		Dienos	43,44	114,64	-11,87
Žemo	Tiesinis programavimas	Valgio	-2,00	-2,29	-66,09
		Dienos	-2,00	-35,71	-68,61
	Svertinis tikslo programavimas	Valgio	-3,16	-8,75	-57,22
		Dienos	-0,94	-15,95	-55,63
	Genetinis algoritmas	Valgio	16,85	147,52	12,66
		Dienos	4,43	99,74	-1,47
	Dalelių spiečiaus algoritmas	Valgio	550,34	539,69	141,11
		Dienos	136,29	108,94	-32,82
Labai žemo	Tiesinis programavimas	Valgio	0,58	10,08	-63,00
		Dienos	-2,00	-43,56	-78,86
	Svertinis tikslo programavimas	Valgio	-0,65	2,46	-46,23
		Dienos	-0,94	-6,22	-52,17
	Genetinis algoritmas	Valgio	74,36	237,79	31,83
		Dienos	45,77	125,79	18,10
	Dalelių spiečiaus algoritmas	Valgio	989,68	754,23	172,44
		Dienos	259,49	96,00	-1,94