



**УНИВЕРЗИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“ – БИТОЛА
ТЕХНОЛОШКО ТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ ВЕЛЕС**



Иновативни технологии за храна и нутриционизам

**РАЗВОЈ И ВАЛИДАЦИЈА НА ЕКСПЕРТСКИ СИСТЕМ ЗА ДОНЕСУВАЊЕ
ОДЛУКИ ЗА ИСХРАНА КАЈ ЛИЦА СО ДИЈАБЕТЕС**
докторски проект

Кандидат
Дардан Битиќи

Ментор
ред.проф.д-р Весна Антоска Knights

2026, летна сесија

РАЗВОЈ И ВАЛИДАЦИЈА НА ЕКСПЕРТСКИ СИСТЕМ ЗА ДОНЕСУВАЊЕ ОДЛУКИ ЗА ИСХРАНА КАЈ ЛИЦА СО ДИЈАБЕТЕС

Дардан Битиќи
Универзитет “Св. Климент Охридски” – Битола, Р.С. Македонија
dardan.bitici@uklo.edu.mk

Весна (Антоска) Knights
Универзитет “Св. Климент Охридски” – Битола, Р.С. Македонија
0000-0003-1768-2231
vesna.knights@uklo.edu.mk

Апстракт

Вовед/Цели: Примената на нутритивна терапија во практични планови за исхрана бара доследно почитување на клиничките и диететските правила. Целта беше развој и компјутерска евалуација на транспарентен Python-систем за поддршка при планирање менија за лица со дијабетес.

Методи: Прототипот комбинира процедурални правила, шеми на замени, нутритивни проверки и мешано целобројно линеарно програмирање (MILP). Опфатени се конвенционални оброци за лица со инсулинска терапија. Базата има 42 различни оброци, распоредени во 6 категории (7 појадоци, 7 претпладневни ужини, 7 ручеци, 7 попладневни ужини, 7 вечери, 7 вечерни ужини) вкупно 117.649 можни дневни комбинации.

Резултати: При енергетска толеранција од $\pm 6,5\%$, 5.628 комбинации (4,78%) ги исполнија сите нутритивни ограничувања. Уделот на прифатливи комбинации изнесуваше 2,71% при $\pm 5\%$ и 9,47% при $\pm 10\%$ толеранција. Оптимизацијата обезбеди решенија за минимизирање на енергијата, јаглехидратите и заситените масти и за максимизирање на влакната. Патеката со три оброци генерираше однапред дефинирана распределба на замените и предупредувања за потребна клиничка процена.

Заклучок: Прототипот ја потврдува техничката изводливост на интегрирањето диететски правила, терапевтски режими и математичка оптимизација во транспарентен систем за поддршка при одлучувањето. Пред клиничка примена се потребни независно тестирање, експертска процена, поголема база на оброци и клиничка валидација.

Клучни зборови: нутритивна терапија; систем за поддршка при одлучување; мешано целобројно линеарно програмирање; робусна оптимизација; дијабетес.

1. ВОВЕД

1.1. Истражувачки проблем и оправданост

Дијабетес мелитус претставува значаен глобален јавно-здравствен проблем, поврзан со сериозни микроваскуларни и макроваскуларни компликации, намален квалитет на живот и зголемено оптоварување на здравствените системи (She et al., 2026; Hofer et al., 2026). Дијабетесот тип 2 е најзастапен и е тесно поврзан со прекумерната телесна маса, несоодветната исхрана и недоволната физичка активност (Elsherif et al., 2024; Chilu Kuri et al., 2026).

Нутритивна терапија претставува основен дел од управувањето со дијабетесот. Индивидуално приспособената исхрана може да придонесе за подобра гликемиска контрола, регулирање на телесната маса и намалување на кардиоваскуларниот ризик (Gray and Threlkeld, 2019; Mongkolsucharitkul et al., 2025). Долгорочното придржување кон препораките, сепак, е отежнато поради сложеноста на секојдневното планирање на оброците, коморбидитетите и индивидуалните разлики.

Оттука произлегува потребата од транспарентен експертски систем кој ќе ги претвори нутритивните препораки во јасни, проверливи и индивидуално приспособени предлози за дневни менија.

1.2. Цел, истражувачки прашања и хипотези

Цел на истражувањето

Целта е да се развие и компјутерски да се оцени транспарентен експертски систем за планирање исхрана кај лица со дијабетес. Системот ги поврзува нутритивните насоки, видот на терапијата, распоредот на оброците и математичката оптимизација.

Истражувачки прашања

1. Дали системот правилно избира шема со три или шест оброци според терапевтскиот режим?
2. Колку од можните дневни комбинации ги исполнуваат поставените нутритивни ограничувања?
3. Како промената на дозволеното отстапување од енергетската цел влијае врз бројот на прифатливи менија?
4. Какви нутритивни разлики се појавуваат при минимизирање на енергијата, јаглехидратите и заситените масти и при максимизирање на влакната?

Хипотези

- **H1:** Системот овозможува точен, транспарентен и повторлив избор на шемата на оброци според терапевтскиот режим.
- **H2:** Само ограничен дел од сите можни дневни комбинации ги исполнува поставените нутритивни услови.
- **H3:** Зголемувањето на дозволеното отстапување од енергетската цел го зголемува бројот на прифатливи комбинации.
- **H4:** Различните цели на оптимизацијата создаваат различни менија и мерливи нутритивни компромиси.

2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРАТА

Во ова поглавје се разгледуваат научните сознанија поврзани со нутритивна терапија, влијанието на распоредот на оброците врз гликемиската контрола и примената на системите за поддршка при одлучувањето. Посебно внимание се посветува на поврзувањето на терапевтскиот режим со бројот и распределбата на дневните оброци.

Врз гликемиската варијабилност влијаат количината и составот на храната, времето на оброците и распределбата на јаглехидратите во текот на денот (Yoshimura et al., 2023).

Хрватските насоки за нутритивна терапија кај возрасни лица со дијабетес содржат препораки за енергетскиот внес, распределбата на макронутриентите, квалитетот на јаглехидратите, внесот на влакна и натриум и бројот на дневните оброци (Pavić et al., 2023). Бројот и распоредот на оброците зависат од терапевтскиот режим. Кај лицата третирани со промена на животниот стил, таблетарна терапија, базален инсулин

или конвенционални инсулински режими може да се применува план со пет или шест оброци. Кај лицата на современа базално-болусна терапија¹ може да се применуваат три главни оброци, под услов внесот и времето на јаглехидратите да бидат усогласени со дејството на инсулинот.

Планирањето менија за дијабетичари бара истовремено разгледување на енергетските потреби, распределбата на јаглехидратите, составот на храната, придружните заболувања и индивидуалните ограничувања. Во услови на голем број пациенти и ограничено време, доследната примена на сите препораки може да биде сложена. Затоа, системите за поддршка при одлучувањето можат да им помогнат на здравствените професионалци преку автоматизирање на рутинските пресметки и стандардизирање на нутритивното планирање, без да го заменат стручното клиничко расудување. Системите засновани на експлицитни правила овозможуваат резултатите да бидат повторливи, проверливи и транспарентни (Knights et al., 2026).

Целта на ова истражување е да се развие транспарентен систем за поддршка при одлучувањето, заснован на правила, кој избрани препораки од хрватските насоки од 2023 година ги претвора во избор на соодветна шема на оброци, распределба на прехранбените замени, нутритивна проверка и оптимизација на дневните менија. Прототипот разликува конвенционална шема со шест оброци и шема со три главни оброци за лица на базално-болусна терапија.

Методолошкиот придонес не се состои во одделната примена на системи засновани на правила или на математичка оптимизација, туку во нивното обединување во единствена и проверлива рамка. Системот ги поврзува правилата изведени од насоките, терапевтскиот режим, системот на замени, нутритивните ограничувања и математичката оптимизација. Со испитувањето на сите дефинирани комбинации може да се утврдат не само оптималните менија туку и бројот и нутритивните карактеристики на сите комбинации што ги исполнуваат поставените ограничувања.

3. МЕТОДИ И МАТЕРИЈАЛИ

3.1. Истражувачки дизајн и извори на податоци

Истражувањето опфаќа развој и компјутерска евалуација на транспарентен експертски систем за планирање исхрана кај лица со дијабетес. Системот е развиен во програмскиот јазик Python и комбинира правила за донесување одлуки, шеми на прехранбени замени, нутритивни проверки и мешано целобројно линеарно програмирање (MILP). За решавање на оптимизацискиот модел се користи библиотеката PuLP.

Клиничките и нутритивните правила се формулирани врз основа на хрватските насоки за исхрана кај возрасни лица со дијабетес (Pavić et al., 2023), додека податоците за

¹ Базално-болусна терапија е начин на лекување со инсулин при кој се користат два вида инсулин:

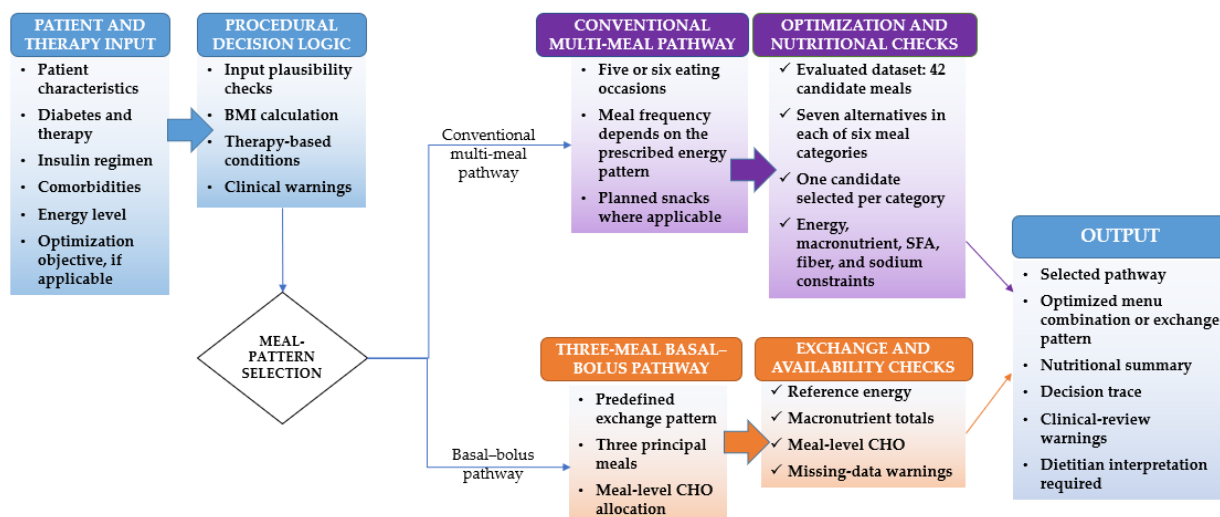
- **Базален инсулин** – инсулин со долго дејство, кој обично се прима еднаш или двапати дневно и ги одржува вредностите на гликозата стабилни меѓу оброците и во текот на ноќта.
- **Болусен инсулин** – инсулин со брзо или кратко дејство, кој се прима пред главните оброци за да го контролира зголемувањето на гликозата предизвикано од внесените јаглехидрати.

оброците се добиени од претходно објавени болнички менија за лица со дијабетес (Resman et al., 2019).

3.2. Архитектура на системот

Како што е прикажано на Слика 1, системот ги обработува податоците за пациентот, видот на дијабетесот, терапијата, инсулинскиот режим, придружните заболувања и енергетските потреби. Системот најпрво ја проверува веродостојноста на внесените податоци и го пресметува индексот на телесна маса. Потоа, во зависност од терапевтскиот режим, избира еден од следните два модела за планирање на оброците:

- **конвенционален модел со пет или шест оброци**, наменет за лица на таблетарна терапија, базален инсулин или избрани конвенционални инсулински режими;
- **модел со три главни оброци**, наменет за лица на базално-болусна инсулинска терапија.



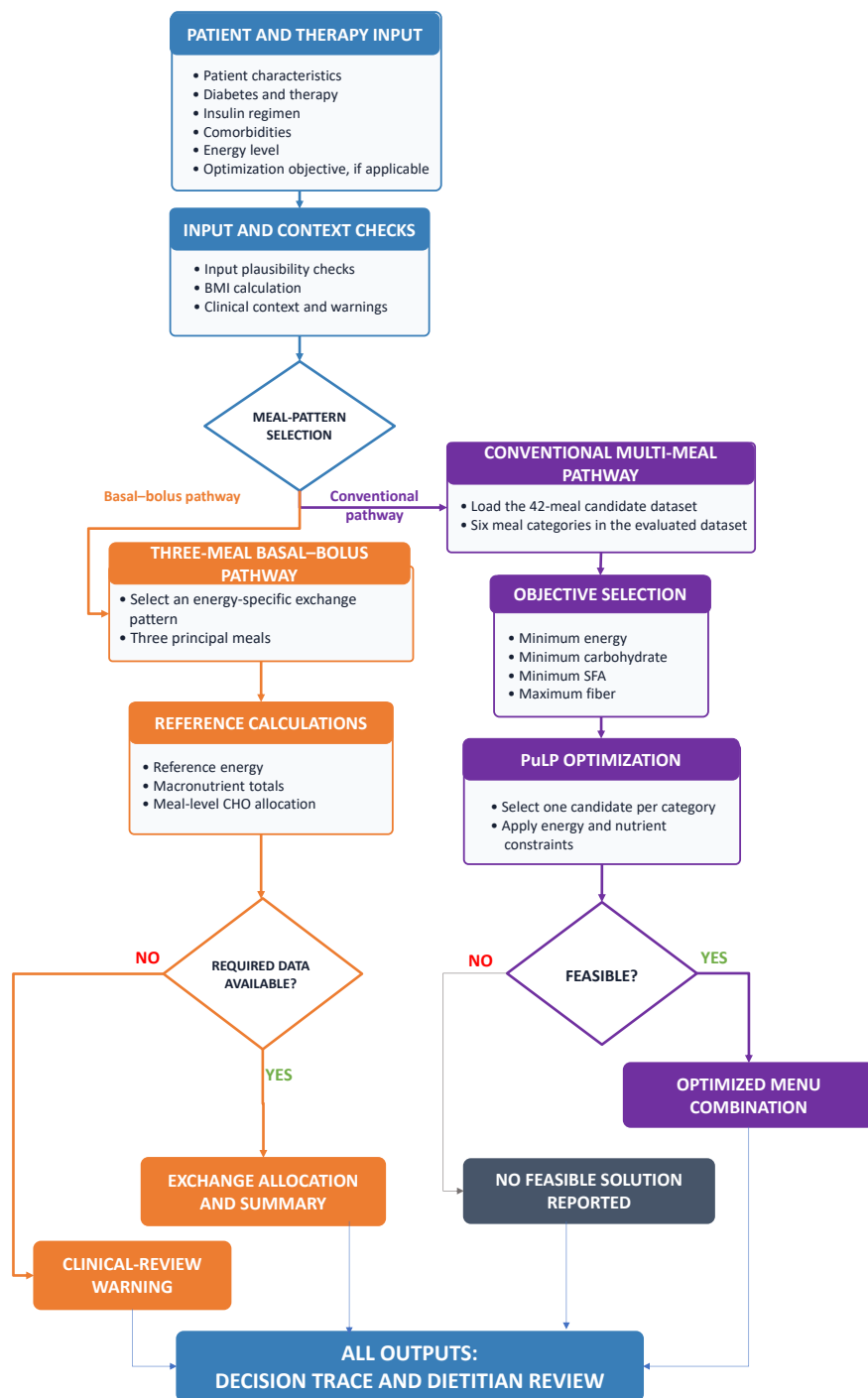
Слика 1. Концептуална архитектура и основни модели за планирање на оброците во предложениот експертски систем.

3.3. Алгоритамски тек на системот

Алгоритамскиот процес започнува со внесување и проверка на податоците за пациентот и неговата терапија. По проверката на податоците, системот го избира соодветниот модел за планирање на оброците.

Кај конвенционалниот модел со пет или шест оброци, системот ја користи базата од 42 кандидатски оброци, ја избира целта на оптимизацијата и применува математичка оптимизација. Доколку постои комбинација што ги исполнува поставените енергетски и нутритивни ограничувања, системот генерира оптимизирано дневно мени. Доколку не постои прифатливо решение, системот јасно го прикажува тоа.

Кај моделот со три главни оброци се избира однапред определена шема на прехранбени замени според енергетските потреби. Потоа се пресметуваат референтните нутритивни вредности и распределбата на јаглехидратите во трите главни оброци. Кога недостигаат потребни податоци, системот прикажува предупредување дека е неопходна дополнителна клиничка процена



Слика 2. Детален алгоритамски тек за обработка на податоците, избор на моделот за планирање на оброците, оптимизација на менито и генерирање на конечниот резултат.

Конечниот резултат содржи избрано мени или шема на прехранбени замени, нутритивен преглед, предупредувања и приказ на донесените одлуки. Резултатот е наменет за проверка од диететичар, нутриционист или друг здравствен професионалец.

3.2. Податоци за оброците

За конвенционалниот модел се користи база од 42 кандидатски оброци, добиени од претходно објавени болнички менија за лица со дијабетес (Resman et al., 2019).

Оброците се распоредени во шест категории со по седум алтернативи:

1. појадок;
2. претпладневна ужина;
3. ручек;
4. попладневна ужина;
5. вечера;
6. вечерна ужина.

Со избирање по еден оброк од секоја категорија се формираат:

$$7^6=117.649$$

можни комбинации на целодневни менија. За секој оброк се анализираат енергетската вредност, јаглехидратите, протеините, вкупните масти, заситените масти, влакната и натриумот.

Базата од 42 оброци се користи за развој и компјутерска проверка на системот. Таа не претставува репрезентативен примерок на сите можни менија за лица со дијабетес.

3.5. Нутритивни правила и модели на оброци

Клиничките и нутритивните правила се формулирани врз основа на хрватските насоки за исхрана кај возрасни лица со дијабетес (Pavić et al., 2023). Системот ги проверува внесените податоци, го пресметува индексот на телесна маса, го избира соодветниот модел на оброци и прикажува предупредувања кога недостигаат потребни информации или кога е неопходна дополнителна клиничка процена.

Кај конвенционалниот модел се применуваат пет или шест дневни оброци, во зависност од терапијата и предвиденото енергетско ниво. Кај моделот со три главни оброци се применува однапред определена шема на прехранбени замени и распределба на јаглехидратите по оброк. Моделот со три оброци не е вклучен во исцрпната комбинациска оптимизација.

3.6. Оптимизација и компјутерска евалуација

За избор на дневното мени се применува мешано целобројно линеарно програмирање. Од секоја од шесте категории се избира точно еден оброк, при што целодневното мени треба да ги исполнува поставените ограничувања за енергија, јаглехидрати, протеини, заситени масти, влакна и натриум.

Оптимизацијата се спроведува одделно според четири цели:

1. минимизирање на вкупната енергетска вредност;
2. минимизирање на јаглехидратите;
3. минимизирање на заситените масти;
4. максимизирање на диететските влакна.

Во рамките на компјутерската евалуација се проверуваат сите 117.649 можни комбинации. Дополнително, се испитува влијанието на дозволеното отстапување од енергетската цел при толеранции од $\pm 5\%$, $\pm 6,5\%$ и $\pm 10\%$.

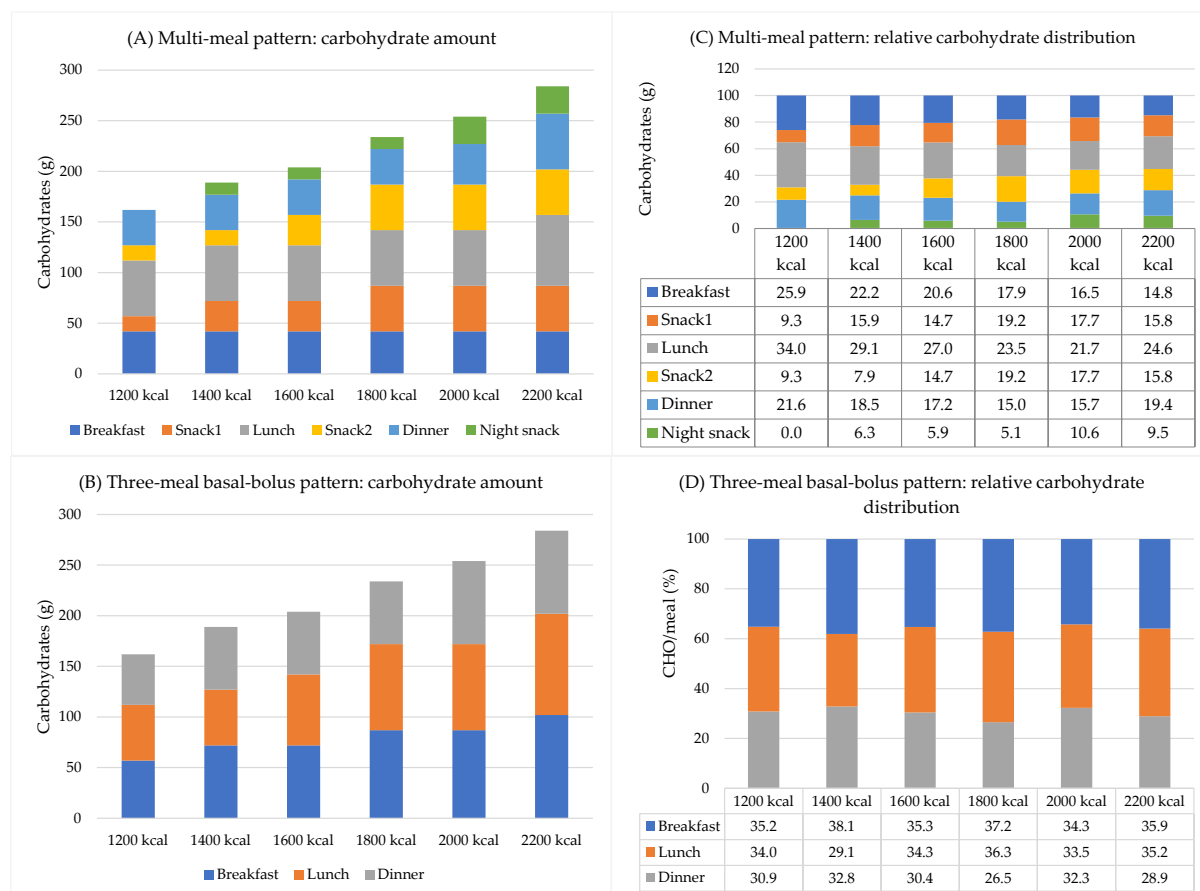
Евалуацијата се однесува на техничката изводливост, точноста на пресметките и повторливоста на резултатите. Таа не претставува експертска, употребна или клиничка валидација на системот.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

4.1. Распределба на јаглехидратите според моделот на оброци

Системот создава различна распределба на јаглехидратите во зависност од избраниот модел на оброци и предвиденото дневно енергетско ниво. Кај конвенционалниот модел јаглехидратите се распределуваат во пет или шест оброци, додека кај моделот за лица на базално-болусна инсулинска терапија се распределуваат во три главни оброци.

Со зголемување на дневното енергетско ниво од 1200 на 2200 kcal се зголемува и вкупната количина на јаглехидрати. Кај моделот со три главни оброци најголемиот дел од јаглехидратите се распределува во појадокот, ручекот и вечерата. Кај конвенционалниот модел распределбата опфаќа појадок, ручек, вечера и планирани ужини.

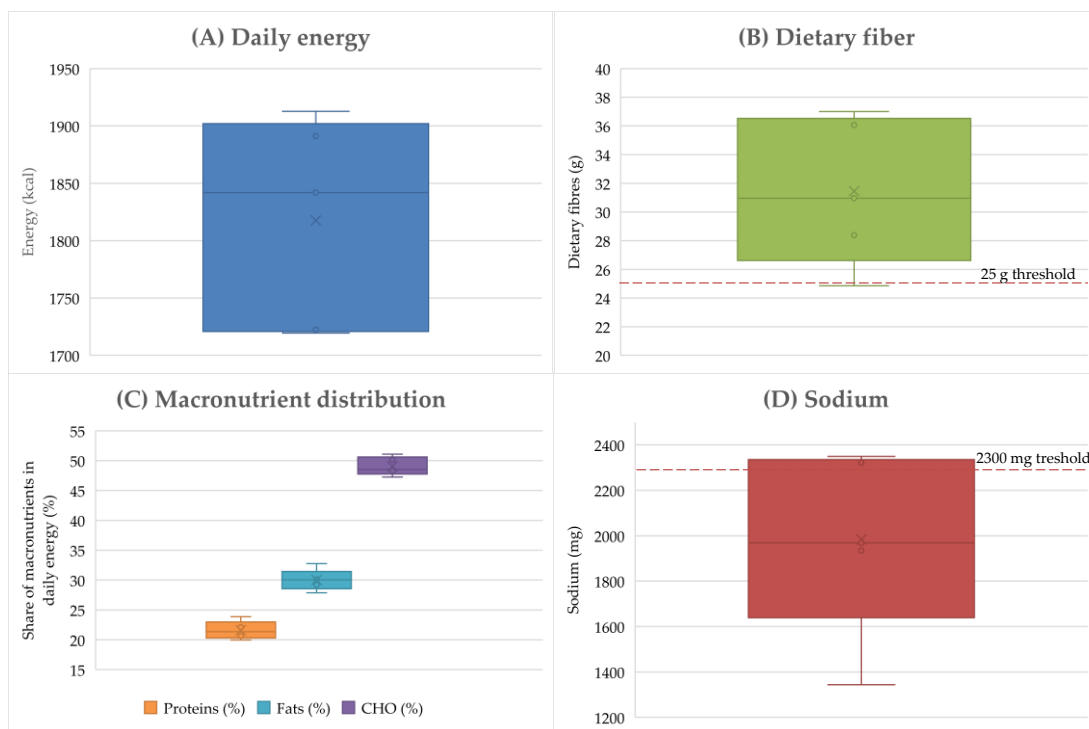


Слика 3. Количина и релативна распределба на јаглехидратите според енергетското ниво и избраниот модел за планирање на оброците.

Прикажаните резултати потврдуваат дека системот не применува единствен распоред за сите лица со дијабетес, туку ја приспособува распределбата на оброците и јаглехидратите според терапевтскиот режим.

4.2. Нутритивна варијабилност на избраните дневни менија

Нутритивните карактеристики на пет избрани конвенционални дневни менија од номиналното енергетско ниво од 1800 kcal се прикажани на Слика 4. Анализата ги опфаќа дневната енергетска вредност, количината на диететски влакна, процентуалната застапеност на макронутриентите и внесот на натриум.



Слика 4. Нутритивна варијабилност на пет избрани конвенционални дневни менија од номиналното енергетско ниво од 1800 kcal: (A) дневна енергетска вредност; (B) диететски влакна; (C) процентуална застапеност на протеините, мастите и јаглехидратите во дневната енергија; и (D) натриум.

Дијаграмите ги прикажуваат медијаната, интерквartilниот опсег, средната вредност означена со поединечните вредности и минималната и максималната вредност. Испрекинатите линии ги означуваат поставените граници од најмалку 25 g влакна и најмногу 2300 mg натриум дневно.

Просечните енергетски вредности на анализираните менија се наоѓаат во предвидениот енергетски опсег. Сепак, едно мени содржи 24,86 g влакна и е малку под поставената граница од 25 g, додека две менија содржат 2321,07 и 2349,41 mg натриум и ја надминуваат границата од 2300 mg. Овие резултати ја потврдуваат потребата системот да прикажува јасни нутритивни предупредувања и конечните предлози да бидат проверени од квалификуван диететичар или нутриционист.

4.3. Резултати од оптимизацијата

За оптимизациската анализа се користи дневно енергетско ниво од 1800 kcal. Дозволеното отстапување изнесува $\pm 6,5\%$, поради што прифатливиот енергетски опсег се движи од 1683 до 1917 kcal дневно.

Се применуваат и следните нутритивни ограничувања:

- мастите обезбедуваат 20–35% од предвидената енергија;
- јаглехидратите обезбедуваат 40–55% од енергијата;
- протеините изнесуваат најмалку 64 g дневно;
- влакната изнесуваат најмалку 25 g дневно;
- натриумот не надминува 2300 mg дневно;
- заситените масти не надминуваат 14 g дневно.

Сите четири оптимизациски цели даваат изводливи решенија што ги исполнуваат поставените ограничувања.

Табела 1. Нутритивни карактеристики на оптимизираниот дневен менија

Цел на оптимизацијата	Енергија (kcal)	Протеини (g)	Масти (g)	Јаглехидрати (g)	Заситени масти (g)	Влакна (g)	Натриум (mg)	Статус
Минимална енергија	1776,97	86,75	52,43	239,52	13,75	35,50	1097,67	Ги исполнува условите
Минимални јаглехидрати	1796,14	109,62	57,39	210,30	13,63	27,35	1996,19	Ги исполнува условите
Минимални заситени масти	1779,27	102,30	54,78	219,25	12,49	33,33	1927,09	Ги исполнува условите
Максимални влакна	1795,07	90,66	56,53	245,94	13,76	41,42	1534,05	Ги исполнува условите

Решението со минимална енергија содржи 1776,97 kcal, додека најниската количина јаглехидрати изнесува 210,30 g дневно. При минимизирање на заситените масти се добива вредност од 12,49 g дневно, а при максимизирање на влакната се постигнуваат 41,42 g дневно.

Дополнителната анализа покажува дека најниската количина протеини што може да се постигне со расположливите 42 оброци изнесува 82,03 g дневно, при енергетска вредност од 1794,57 kcal. Тоа покажува дека резултатот зависи и од нутритивниот состав на оброците во базата.

4.4. Изводливи комбинации и анализа на чувствителност

Од 42 кандидатски оброци се формираат и се проверуваат сите 117.649 можни комбинации на дневен менија. При основната енергетска толеранција од $\pm 6,5\%$, вкупно 5.628 комбинации ги исполнуваат сите поставени нутритивни ограничувања. Тоа претставува 4,78% од сите анализирани комбинации.

Анализата на чувствителност покажува дека бројот на прифатливи комбинации се зголемува со проширување на дозволеното отстапување од енергетската цел.

Табела 2. Влијание на енергетската толеранција врз изводливоста и оптималните вредности

Енергетска толеранција	Прифатлив опсег (kcal/ден)	Изводливи комбинации	Удел (%)	Минимална енергија (kcal)	Минимални јаглехидрати (g)	Минимални заситени масти (g)	Максимални влакна (g)
$\pm 5\%$	1710–1890	3.192	2,71	1807,37	213,99	12,52	39,01
$\pm 6,5\%$	1683–1917	5.628	4,78	1776,97	210,30	12,49	41,42
$\pm 10\%$	1620–1980	11.144	9,47	1710,13	203,66	10,39	41,42

При најстрогата толеранција од $\pm 5\%$, условите ги исполнуваат 3.192 комбинации, односно 2,71%. При толеранција од $\pm 10\%$, бројот се зголемува на 11.144 комбинации,

односно 9,47%. Зголемувањето на толеранцијата од $\pm 5\%$ на $\pm 10\%$ го зголемува бројот на изводливи комбинации приближно 3,5 пати.

Исцрпната анализа се однесува само на конвенционалниот модел со пет или шест оброци. Моделот со три главни оброци не е вклучен во оваа анализа, бидејќи користи однапред определени шеми на прехранбени замени, а не база од 42 кандидатски оброци.

4.5. Компромиси меѓу нутритивните цели

Споредбата на оптимизираниите решенија покажува дека ниту едно мени не ги оптимизира истовремено сите нутритивни показатели. Изборот на различна цел создава различна комбинација на оброци.

Најизразената разлика се забележува меѓу минимизирањето на јаглехидратите и максимизирањето на влакната. Решението со минимални јаглехидрати содржи 210,30 g јаглехидрати и 27,35 g влакна, додека решението со максимални влакна содржи 245,94 g јаглехидрати и 41,42 g влакна. Максимизирањето на влакната го зголемува нивниот внес за 51,4%, но истовремено ги зголемува јаглехидратите за 16,9%.

Минимизирањето на заситените масти ја намалува нивната количина од 13,76 на 12,49 g дневно, но количината на влакна се намалува од 41,42 на 33,33 g. Овие резултати покажуваат дека изборот на конечниот модел на исхрана зависи од нутритивниот приоритет и бара процена од квалификуван здравствен професионалец.

Табелата со овие компромиси не е неопходна, бидејќи вредностите се прикажани во Табела 1 и се објаснети во текстот.

4.6. Резултат за репрезентативен профил

За практична демонстрација на предложениот експертски систем е развиен интерактивен кориснички интерфејс, преку кој се внесуваат основните карактеристики на пациентот, здравствената состојба, терапијата, нивото на физичка активност и нутритивните цели, врз чија основа системот генерира персонализирано мени.

Rule-Based Decision-Support Prototype for Diabetic Menu Planning

Patient and dietary input

Age: 40

Sex: Male

Weight kg: 100

Height cm: 190

Diabetes: Type 1

Therapy: Insulin therapy

Insulin: Basal-bolus

☒ Hypertension

☐ CKD

Activity: Low

Goal: Weight maintenance

Energy: 1800

Objective: Min CHO

Generate Menu

Слика 5. Кориснички интерфејс на прототипот за планирање персонализирано мени кај лица со дијабетес.

За прикажување на функционирањето на системот користен е пример на 40-годишен маж со дијабетес тип 1, телесна маса од 100 kg, висина од 190 cm и индекс на телесна

маса од 27,70 kg/m². Лицето е на базално-болусна инсулинска терапија, има хипертензија и нема хронична бубрежна болест.

Врз основа на внесените податоци, системот го избира моделот со три главни оброци и енергетска шема од 1600 kcal.

Табела 3. Резултати од системот за репрезентативниот профил

Компонента	Резултат
Профил	Маж, 40 години, дијабетес тип 1
Индекс на телесна маса	27,70 kg/m ²
Терапија	Базално-болусна инсулинска терапија
Придружни заболувања	Хипертензија; без хронична бубрежна болест
Избран модел на оброци	Три главни оброци
Избрано енергетско ниво	1600 kcal
Јаглехидрати	189 g
Протеини	78 g
Масти	38,5 g
Распределба на јаглехидратите	Појадок 72 g; ручек 55 g; вечера 62 g
Предупредување	Потребна е дополнителна процена на натриумот
Конечен статус	Условите се исполнети со потребна клиничка проверка

Пресметаната референтна енергетска вредност изнесува 1527,5 kcal, што претставува отстапување од 4,5% во однос на номиналното ниво од 1600 kcal и се наоѓа во дозволената граница од $\pm 6,5\%$.

Поради присуството на хипертензија и недостигот на податоци за натриумот во базата за моделот со три оброци, системот не дава безусловно одобрение. Наместо тоа, прикажува дека е потребна дополнителна процена на внесот на натриум од страна на диететичар или нутриционист.

5. ЗАКЛУЧОК

Резултатите покажуваат дека предложениот експертски систем овозможува транспарентно поврзување на нутритивните правила, терапевтскиот режим, распоредот на оброците и математичката оптимизација. База формирана од седум реално применувани болнички менија за дијабетична исхрана од Клиничката болница Дубрава во Загреб. Секое дневно мени е поделено на шест категории оброци, со што е добиена структурирана база од вкупно 42 кандидат-оброци (7 дневни менија $\times$ 6 оброци = 42 кандидат-оброци). Од вкупно 117.649 можни комбинации, 5.628, односно 4,78%, ги исполнуваат сите нутритивни ограничувања при енергетска толеранција од $\pm 6,5\%$. Уделот на прифатливи комбинации се зголемува од 2,71% при толеранција од $\pm 5\%$ на 9,47% при $\pm 10\%$, што покажува дека избраната енергетска граница значително влијае врз бројот на можни менија.

Различните цели на оптимизацијата создаваат различни нутритивни решенија. Максимизирањето на влакната го зголемува нивниот внес за 51,4% во споредба со решението со минимални јаглехидрати, но истовремено ја зголемува количината на јаглехидрати за 16,9%. Оттука, не постои едно мени што истовремено ги оптимизира

сите нутритивни показатели. Изборот на конечната комбинација зависи од индивидуалните потреби и стручната процена на диететичарот или нутриционистот. Претходните истражувања ја потврдуваат применливоста на системите засновани на експлицитно знаење во персонализираната нутритивна терапија (Spoladore et al., 2024a; Spoladore et al., 2024b). Мешаното целобројно линеарно програмирање се применува и во други модели за избор на нутритивно соодветни менија (Sklan and Dariel, 1993; van Wonderen et al., 2026). За разлика од генеративните модели, предложениот систем користи однапред дефинирани правила и ограничувања, поради што резултатите се повторливи и проверливи. Ова е особено важно бидејќи плановите генерирани од големи јазични модели може да покажат отстапувања од стручните нутритивни препораки (Karakas et al., 2026).

Главните ограничувања се малата база од 42 оброци, отсуството на индивидуални преференции и динамични гликемиски податоци и недостигот на независна експертска и клиничка валидација. Затоа, резултатите ја потврдуваат техничката изводливост на системот, но не и неговата клиничка ефикасност. Пред практична примена се потребни поголема и верзионирана база, тестирање со здравствени професионалци и проспективна клиничка проверка.

6.КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- Chilu Kuri, K. A., Viola, V., & Pozzilli, P. (2026). Integrating artificial intelligence and machine learning into risk prediction for type 2 diabetes: A model for early identification of high-risk populations. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 238, 113389. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2026.113389>
- Elsherif, I., Jammah, A. A., Ibrahim, A. R., Alawadi, F., Sadek, I. S., Rahman, A. M., El Sharify, G., AlFeky, A., Aldossari, K., et al. (2024). Clinical practice recommendations for management of diabetes mellitus in Arab region: An expert consensus statement from Arab Diabetes Forum (ADF). *Primary Care Diabetes*, 18(4), 471–478. <https://doi.org/10.1016/j.pcd.2024.06.003>
- Gray, A., & Threlkeld, R. J. (2019). Nutritional recommendations for individuals with diabetes. In K. R. Feingold et al. (Eds.), *Endotext*. MDText.com. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279012/>
- Hofer, G., Goode, S., Renström, F., Brändle, M., & Cavelti-Weder, C. (2026). Diabetes mellitus complications and their association with patient-reported outcome measures: A longitudinal study of the SwissDiab cohort. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 236, 113263. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2026.113263>
- Karakas, P. E., Calik, A., Bilen, A. B., Kandemir, K., & Alphan, M. E. (2026). Large language models as clinical nutrition decision tools: Quantitative bias and guideline deviation in type 2 diabetes meal planning. *Healthcare*, 14, 739. <https://doi.org/10.3390/healthcare14060739>
- Knights, V. A., Mazlami, V., Prchkovska, M., & Gajdoš Kljusurić, J. (2026). A unified interpretability framework for feature importance in machine learning models. *Algorithms*, 19(7), 548. <https://doi.org/10.3390/a19070548>
- Knights, Vesna Antoska, Marija Prchkovska, Luka Krašnjak, and Jasenka Gajdoš Kljusurić. 2026. "Uncertainty-Aware Multimodal Fusion and Bayesian Decision-Making for DSS" *AppliedMath* 6, no. 1: 16. <https://doi.org/10.3390/appliedmath6010016>
- Knights, V.A.; Stankovski, M.; Nusev, S.; Temeljkovski, D.; Petrovska, O. Robots for Safety and Health at Work. *Mech. Eng. Sci. J.* **2015**, 33, 275–279. Available online: <https://www.mesj.ukim.edu.mk/journals/issue/download/17/9> (accessed on 15 July 2026).
- Knights, V., & Millaku, J. (2023). Three-factor experimental design as a tool in applied statistics. *International Journal of Statistics and Applied Mathematics*, 8(1), 46–49.
- Mongkolsucharitkul, P., Surawit, A., Pimsen, A., Winitchayothin, S., Pumeiam, S., Pinsawas, B., Ophakas, S., Suta, S., Pasookhush, P., & Mayurasakorn, K. (2025). Effectiveness of low-carbohydrate diets on type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials in Eastern vs.

- Western populations. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 229, 112464. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2025.112464>
- Markovikj, G.; Knights, V. Model of Optimization of the Sustainable Diet Indicators. *J. Hyg. Eng. Des.* **2022**, 39, 113–120. Available online: <https://keypublishing.org/jhed/wp-content/uploads/2022/09/13.-JHED-Volume-39-Full-paper-Gordana-Markovikj.pdf> (accessed on 7 January 2026).
- Pavić, E., Rahelić, V., Reiner, Ž., Vranešić Bender, D., Vrdoljak, I., Martinis, I., Mesarić, N., Klobučar, S., Baretić, M., Canecki Varžić, S., Vidović, M., Kolarić, V., Mach, Z., Bakula, M., Liberati Pršo, A. M., Krznarić, Ž., & Rahelić, D. (2023). Smjernice za prehranu kod šećerne bolesti u odrasloj dobi. *Liječnički vjesnik*, 145(3–4), 67–97. <https://doi.org/10.26800/LV-145-3-4-1>
- Resman, B., Rahelić, D., Gajdoš Kljusurić, J., & Martinis, I. (2019). Food composition database reliability in calculations of diet offers. *Journal of Food Composition and Analysis*, 77, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.01.013>
- She, X., Yang, J., Ren, B., Yang, X., Cheng, X., Tian, T., Liu, S., Zhao, X., Zhao, H., & Cui, X. (2026). Multiple inflammation indices and mortality in patients with diabetes and prediabetes: A prospective cohort study from NHANES 1999–2018. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 232, 113112. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2026.113112>
- Sklan, D., & Dariel, I. (1993). Diet planning for humans using mixed-integer linear programming. *British Journal of Nutrition*, 70, 27–35. <https://doi.org/10.1079/BJN19930102>
- Spoladore, D., Tosi, M., & Lorenzini, E. C. (2024a). Ontology-based decision support systems for diabetes nutrition therapy: A systematic literature review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 151, 102859. <https://doi.org/10.2024.102859>
- Spoladore, D., Stella, F., Tosi, M., Lorenzini, E. C., & Bettini, C. (2024b). A knowledge-based decision support system to support family doctors in personalized medical nutrition therapy for type 2 diabetes patients. *Computers in Biology and Medicine*, 180, 109001. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2024.109001>
- van Wonderen, D., Gerdessen, J. C., Melse-Boonstra, A., & Onwezen, M. C. (2026). Using diet optimization and machine learning for the design of healthy and acceptable menu plans. *European Journal of Operational Research*, 328, 668–679. <https://doi.org/105.06.015>
- Yoshimura, E., Hamada, Y., Hatanaka, M., Nanri, H., Nakagata, T., Matsumoto, N., Shimoda, S., Tanaka, S., Miyachi, M., & Hatamoto, Y. (2023). Relationship between intra-individual variability in nutrition-related lifestyle behaviors and blood glucose outcomes under free-living conditions in adults without type 2 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 196, 110231. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2022.110231>