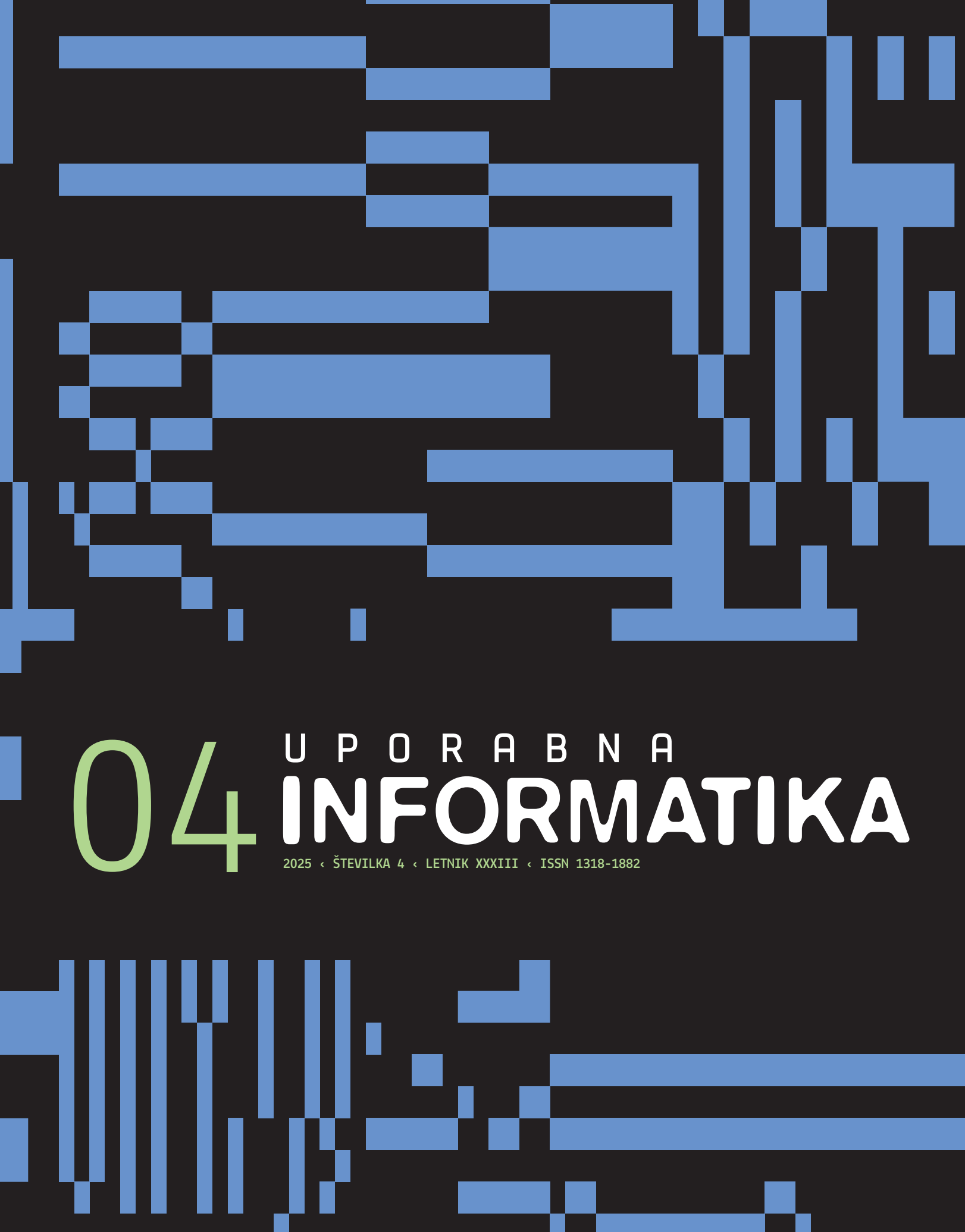




04

U P O R A B N A

INFORMATIKA

2025 ◀ ŠTEVILKA 4 ◀ LETNIK XXXIII ◀ ISSN 1318-1882

U P O R A B N A I N F O R M A T I K A

2025 ŠTEVILKA 4 OKT/NOV/DEC LETNIK XXXIII ISSN 1318-1882

Znanstveni prispevki

Viktor Taneski, Marko Hölbl

Preverjanje moči gesel: primerjava rešitve na osnovi pametnih algoritmov in markovskih verig z obstoječimi spletnimi merilniki 183

Maja Juntež, Alenka Baggia

Okoljski vpliv in uporabniška izkušnja univerzitetnih spletnih strani 201

Luka Lah

Digitalizacija in avtomatizacija letnih načrtov treninga 215

Rok Smodiš, Filip Ivanišević, Ivana Karasmanakis, Primož Kocuvan, Tadej Horvat, Matjaž Gams

(R)evolucija slovenskega zdravstva z uporabo metod umetne inteligence: ocena finančnih koristi na primeru sistema HomeDOCTOR 229

Informacije

Iz Islovarja 245

Ustanovitelj in izdajatelj

Slovensko društvo INFORMATIKA
Litostrojska cesta 54, 1000 Ljubljana

Predstavniki

Slavko Žitnik

Odgovorni urednik

Mirjana Kljajić Borštnar

Uredniški odbor

Andrej Kovačič, Anton Manfreda, Evelin Krmac, Jan Mendling, Jan von Knop, John Taylor, Lili Nemec Zlatolas, Marko Hölbl, Miodrag Popović, Mirjana Kljajić Borštnar, Mirko Vintar, Pedro Simões Coelho, Saša Divjak, Sjaak Brinkkemper, Stevanče Nikoloski, Tatjana Welzer Družovec, Timotej Knez, Vesna Bosilj-Vukšić, Vida Groznik, Vladislav Rajković

Recenzentski odbor

Alenka Baggia, Alenka Brezavšček, Anton Manfreda, Blaž Markelj, Blaž Rodič, Borut Werber, Damjan Fujs, Dejan Lavbič, Domen Mongus, Drago Bokal, Eva Krhač, Gregor Lenart, Igor Rožanc, Klemen Klanjšček, Lili Nemec Zlatolas, Luka Pavlič, Luka Tomat, Maja Meško, Marina Trkman, Marjeta Marolt, Marko Hölbl, Marko Urh, Martina Šestak, Matej Klemen, Matevž Pesek, Mirjam Sepesy Maučec, Mirjana Kljajić Borštnar, Nejc Čelik, Petar Kochovski, Ratko Pilipovic, Sanda Martinčič-Ipšić, Sandi Gec, Saša Ogrizović, Stevanče Nikoloski, Tilen Medved, Timotej Knez, Tina Beranič, Tina Jukić, Uroš Rajković, Yauhen Unuchak, Živa Rant

Tehnični urednik

Timotej Knez

Lektoriranje angleških izvlečkov

Marvelingua (angl.)

Oblikovanje

KOFEIN DIZAJN, d. o. o.

Prelom in tisk

Boex DTP, d. o. o., Ljubljana

Naklada

110 izvodov

Naslov uredništva

Slovensko društvo INFORMATIKA
Uredništvo revije Uporabna informatika
Litostrojska cesta 54, 1000 Ljubljana
www.uporabna-informatika.si

Revija izhaja četrtletno. Cena posamezne številke je 20,00 EUR. Letna naročnina za podjetja 85,00 EUR, za vsak nadaljnji izvod 60,00 EUR, za posameznike 35,00 EUR, za študente in seniorje 15,00 EUR. V ceno je vključen DDV.

Revija Uporabna informatika je od številke 4/VII vključena v mednarodno bazo INSPEC.

Revija Uporabna informatika je pod zaporedno številko 666 vpisana v razvid medijev, ki ga vodi Ministrstvo za kulturo RS.

Revija Uporabna informatika je vključena v Digitalno knjižnico Slovenije (dLib.si).

Izd publikacije je finančno podprla Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije.

© Slovensko društvo INFORMATIKA

Vabilo avtorjem

V reviji Uporabna informatika objavljamo kakovostne izvirne prispevke domačih in tujih avtorjev z najširšega področja informatike, ki se nanašajo tako na poslovanje podjetij, javno upravo, družbo in posameznika. Prispevki so lahko znanstvene, strokovne ali informativne narave, še posebno spodbujamo objavo interdisciplinarnih prispevkov. Zato vabimo avtorje, da prispevke, ki ustrezajo omenjenim usmeritvam, pošljejo uredništvu revije po elektronski pošti na naslov ui@drustvo-informatika.si.

Avtorje prosimo, da pri pripravi prispevka upoštevajo navodila, ki so objavljena na naslovu <http://www.uporabna-informatika.si>.

Za kakovost prispevkov skrbi mednarodni uredniški odbor. Prispevki so anonimno recenzirani, o objavi pa na podlagi recenzij samostojno odloča uredniški odbor. Recenzenti lahko zahtevajo, da avtorji besedilo spremenijo v skladu s priporočili in da popravljeni prispevek ponovno prejmejo v pregled. Sprejeti prispevki so pred izidom revije objavljeni na spletni strani revije (predobjava), še prej pa končno verzijo prispevka avtorji dobijo v pregled in potrditev. Uredništvo lahko še pred recenzijo zavrne objavo prispevka, če njegova vsebina ne ustreza vsebinski usmeritvi revije ali če prispevek ne ustreza kriterijem za objavo v reviji.

Pred objavo prispevka mora avtor podpisati izjavo o avtorstvu, s katero potrjuje originalnost prispevka in dovoljuje prenos materialnih avtorskih pravic. Avtorji prejmejo enoletno naročnino na revijo Uporabna informatika, ki vključuje avtorski izvod revije in še nadaljnje tri zaporedne številke. S svojim prispevkom v reviji Uporabna informatika boste pomagali k širjenju znanja na področju informatike. Želimo si čim več prispevkov z raznoliko in zanimivo tematiko in se jih že naprej veselimo

Uredništvo revije

Navodila avtorjem člankov

Članke objavljamo praviloma v slovenščini, članke tujih avtorjev pa v angleščini. Besedilo naj bo jezikovno skrbno pripravljeno. Priporočamo zmernost pri uporabi tujk in, kjer je mogoče, njihovo zamenjavo s slovenskimi izrazi. V pomoč pri iskanju slovenskih ustreznih priporočamo uporabo spletnega terminološkega slovarja Slovenskega društva Informatika, Islovar (www.islovar.org).

Znanstveni prispevek naj obsega največ 40.000 znakov, kratki znanstveni prispevek do 10.000 znakov, strokovni članki do 30.000 znakov, obvestila in poročila pa do 8.000 znakov.

Prispevek naj bo predložen v urejevalniku besedil Word (*.doc ali *.docx) v enojnem razmaku, brez posebnih znakov ali poudarjenih črk. Za ločilom na koncu stavka napravite samo en presledek, pri odstavkih ne uporabljajte zamika.

Naslovu prispevka naj sledi polno ime vsakega avtorja, ustanova, v kateri je zaposlen, naslov in elektronski naslov. Sledi naj povzetek v slovenščini v obsegu 8 do 10 vrstic in seznam od 5 do 8 ključnih besed, ki najbolje opredeljujejo vsebinski okvir prispevka. Sledi naj prevod naslova povzetka in ključnih besed v angleškem jeziku. V primeru, da oddajate prispevek v angleškem jeziku, velja obratno. Razdelki naj bodo naslovljeni in oštevilčeni z arabskimi številkami.

Slike in tabele vključite v besedilo. Opremite jih z naslovom in oštevilčite z arabskimi številkami. Na vsako sliko in tabelo se morate v besedilu prispevka sklicevati in jo pojasniti. Če v prispevku uporabljate slike ali tabele drugih avtorjev, navedite vir pod sliko oz. tabelo. Revijo tiskamo v črno-beli tehniki, zato barvne slike ali fotografije kot original niso primerne. Slikam zaslonov se v prispevku izogibajte, razen če so nujno potrebne za razumevanje besedila. Slike, grafiki, organizacijske sheme ipd. naj imajo belo podlago. Enačbe oštevilčite v oklepajih desno od enačbe.

V besedilu se sklicujte na navedeno literaturo skladno s pravili sistema IEEE navajanja bibliografskih referenc, v besedilu to pomeni zaporedna številka navajenega vira v oglatem oklepaju (npr. [1]). Na koncu prispevka navedite samo v prispevku uporabljeno literaturo in vire v enotnem seznamu, urejeno po zaporedni številki vira, prav tako v skladu s pravili IEEE. Več o sistemu IEEE, katerega uporabo omogoča tudi urejevalnik besedil Word 2007, najdete na strani https://owl.purdue.edu/owl/research_and_citation/ieee_style/ieee_general_format.html.

Prispevku dodajte kratek življenjepis vsakega avtorja v obsegu do 8 vrstic, v katerem poudarite predvsem strokovne dosežke.

Preverjanje moči gesel: primerjava rešitve na osnovi pametnih algoritmov in markovskih verig z obstoječimi spletnimi merilniki

Viktor Taneski, Marko Hölbl

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor
viktor.taneski@um.si, marko.holbl@um.si

Izvleček

Gesla kljub razvoju alternativnih metod ostajajo najpogostejši način overjanja, zato je njihova moč še vedno ključnega pomena. Ob pomanjkljivostih obstoječih merilnikov moči gesel članek obravnava razvoj naprednega pristopa za njihovo preverjanje moči. Predstavljeno je spletno orodje za preverjanje moči gesel, ki temelji na markovskih verigah in uporablja tri modele, trenirane na različnih podatkovnih množicah. Orodje je bilo testirano na 10.000 geslih in primerjano z devetimi obstoječimi spletnimi merilniki. Za dodatno preverjanje je bila izvedena tudi analiza odpornosti na napade z uporabo verjetnostne kontekstno proste slovnice. Rezultati kažejo konkurenčno delovanje razvitega modela, a z rahlim zaostankom za najboljšimi rešitvami. Članek tako potrjuje uporabnost verjetnostnih modelov pri praktičnem izboljševanju varnosti gesel.

Ključne besede: Markovske verige, preverjanje moči gesel, varna gesla, odpornost na razbijanje gesel, verjetnostni modeli

Password Strength Evaluation: Comparison of a Solution Based on Smart Algorithms and Markov Chains with Existing Online Meters

Abstract

Despite the rise of alternative authentication methods, passwords remain the most widely used mechanism, making their strength evaluation critical. Due to the limitations of current password strength meters, this paper explores a more advanced, probabilistic approach. We present a web-based password strength evaluation tool based on Markov chains. The tool combines three models, each trained on a different dataset, and calculates the average score as the final strength estimate. The system was tested on a dataset of 10,000 passwords and benchmarked against nine popular online meters. Additionally, password cracking resistance was assessed using probabilistic context-free grammars. Results show that the proposed tool performs competitively, although it still lags slightly behind top-performing solutions. This confirms the practical value of statistical modelling in enhancing password security.

Keywords: Markov chains, password cracking resistance, secure passwords, password strength estimation, probabilistic models

1 UVOD

Kljub alternativnim metodam, kot sta biometrija in uporaba žetonov, gesla še vedno ostajajo prevladujoč mehanizem overjanja za lokalne in spletne storitve

[1] in je zato razvijanje natančnejših metod za preverjanje moči gesel še vedno aktualno raziskovalno vprašanje [2], [3]. Njihov glavni namen je zaščita podatkov in sistemov, pri čemer se moč gesel meri

predvsem z odpornostjo proti nepooblaščenemu razkritju gesla [4]. V nadaljevanju uporabljamo izraz moč gesla (angl. password strength), ki označuje stopnjo odpornosti gesla proti nepooblaščenemu razkritju in ponazarja, kako zahtevno je geslo razbiti z metodami, kot so napadi z grobo silo, slovarski napadi ali napadi, ki temeljijo na verjetnostnih modelih. Moč gesla je odvisna od dolžine, kompleksnosti in nepredvidljivosti znakov, vendar uporabniki pogosto izbirajo gesla, ki si jih je preprosto zapomniti, kar povečuje njihovo predvidljivost in ranljivost za napade. Posledično napadalci pri napadih na gesla najprej preizkušajo kombinacije, ki jih uporabniki najverjetneje uporabljajo [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Za izboljšanje varnosti gesel številne storitve uvažajo različne zahteve, kot so minimalna dolžina gesla ali uporaba posebnih znakov [2]. Kljub temu te omejitve pogosto ne zagotavljajo zadostne zaščite. Natančnejše preverjanje moči gesel omogočajo različne metrike, ki ocenijo odpornost gesla in pomagajo pri oblikovanju pravil za njihovo kreiranje. Takšne metrike so vključene tudi v merilnike moči gesel (angl. Password Strength Meter – PSM), ki vizualno predstavljajo oceno moči gesla in lahko preprečijo uporabo prešibkih gesel. Obstoječe metode ocenjevanja moči gesel delimo na tri glavne skupine: metode, ki temeljijo na napadih na gesla, hevristične metode in statistične oziroma verjetnostne metode. Prvi pristop meri odpornost gesla glede na čas, potreben za njegovo razkritje, medtem ko hevristične metode ocenjujejo gesla na podlagi pravil, kot je izračun entropije. Statistične metode, ki temeljijo na verjetnostnih modelih, se osredotočajo na pomanjkljivosti prejšnjih dveh pristopov in pogosto uporabljajo markovske verige za preverjanje moči gesla na podlagi verjetnosti pojavljanja določenih nizov znakov. Vsaka izmed teh metod ima svoje prednosti in slabosti, zato se pogosto kombinirajo za izboljšanje natančnosti [1], [4].

Kljub široki uporabi gesel njihova moč ostaja izziv, saj uporabniki pogosto dajejo prednost preprostosti in zapomnljivosti pred kompleksnostjo. Pravilniki za ustvarjanje gesel so večinoma zasnovani za zaščito pred napadi z grobo silo (angl. brute-force), vendar pogosto ne zagotavljajo zadostne zaščite. Prav tako metode ocenjevanja moči gesel postajajo manj učinkovite zaradi napredka v napadih. Ena od možnosti za izboljšanje ocenjevanja gesel je kombinacija različnih metod, ki združujejo prednosti posameznih pristopov in omogočajo večjo prilagodljivost [1], [4].

Namen raziskave je prispevati k izboljšanju moči gesel z razvojem lastne metode, ki temelji na markovskih verigah. Razvili smo izpostavljen API, ki bo za oceno moči gesel uporabljal tri različne markovske modele, vsakega treniranega na drugačnem naboru podatkov, pri čemer je končna ocena določena kot povprečje izračunov vseh treh modelov. Da bi omogočili hitrejši in enostavnejši dostop do storitve, smo aplikacijo preoblikovali v spletno storitev ter razvili Google Chrome razširitev, ki uporabnikom omogoča preverjanje moči gesel neposredno v brskalniku. Našo rešitev tudi primerjamo z več uveljavljenimi spletnimi orodji za preverjanje moči gesel ter analiziramo njeno učinkovitost v primerjavi z obstoječimi metodami. Pri razvoju in testiranju smo upoštevali tudi relevantno literaturo, ki obravnava različne pristope k preverjanju moči gesel in orodja, ki so že na voljo.

Na osnovi identificiranih problemov smo oblikovali naslednja raziskovalna vprašanja:

- **RV 1:** Kako se sodobne metode in orodja za preverjanje gesel (kot so merilniki moči gesla, preverjalniki gesel) soočajo in prilagajajo naprednim napadom na gesla?
- **RV 2:** Kakšna je funkcionalnost razvite rešitve v smislu natančnosti ocenjevanja moči gesel (brez napak) in hitrosti računanja?
- **RV 3:** Kako se učinkovitost naše rešitve primerja z drugimi uveljavljenimi merilniki moči gesel na spletu?

S to raziskavo želimo pridobiti vpogled v učinkovitost različnih pristopov k preverjanju moči gesel in razviti rešitev, ki bo izboljšala natančnost ter dostopnost tovrstnih orodij.

V nadaljevanju je članek strukturiran kot sledi: v drugem poglavju predstavimo teoretično ozadje ter pregled sorodnih del na področju ocenjevanja moči gesel. V tretjem poglavju opišemo zasnovo razvite rešitve, vključno z arhitekturo spletne storitve in razširitvijo za brskalniki. Poglavje vsebuje tudi opis eksperimentalne validacije. V četrtem poglavju primerjamo učinkovitost naše rešitve z izbranimi uveljavljenimi spletnimi merilniki moči gesel. V petem poglavju sledi diskusija dobljenih rezultatov glede na zastavljena raziskovalna vprašanja. Članek zaključujemo s šestim poglavjem, kjer podamo ključne ugotovitve in predloge za nadaljnje delo.

2 OZADJE IN SORODNA DELA

Gesla že več kot pet desetletij predstavljajo temeljni mehanizem overjanja identitete v okviru informacijske varnosti. Kljub razvoju številnih sodobnejših metod, kot so biometrični sistemi (npr. prepoznavanje glasu, prstnega odtisa ali obraza), overjanje z uporabo žetonov (npr. pametne kartice, mobilne naprave) ter uvedba večfaktorskega overjanja, gesla še naprej ostajajo prevladujoča izbira. Njihova priljubljenost izhaja predvsem iz nizkih tehničnih zahtev, enostavne implementacije ter uporabniške dostopnosti, kar jim v praksi daje izrazito prednost pred alternativnimi rešitvami. Slednje se pogosto soočajo z izzivi, kot so višji stroški uvedbe, kompleksnost vzdrževanja ter zmanjšana uporabniška sprejemljivost. Poleg tega na strani uporabnikov pomembno vlogo igra občutek domačnosti in udobje pri uporabi – na primer, stalna uporaba fizičnih žetonov lahko sčasoma postane moteča. Ob upoštevanju navedenih prednosti ter široke razširjenosti gesel je mogoče sklepati, da bodo ta še naprej igrala pomembno vlogo v sodobnih sistemih informacijske varnosti [2], [7], [8], [9].

2.1 Trenutno stanje uporabniških gesel

Z izjemno hitro rastjo spletnih tehnologij se je močno povečala tudi uporaba spletnih storitev in družbenih omrežij tako v rekreativne kot poslovne namene. Overjanje z gesli tako ostaja ključen mehanizem za zaščito in identifikacijo velikega števila uporabniških računov. Stopnja varnosti gesel pa je v veliki meri odvisna od same izbire gesla s strani uporabnika, kar že vrsto let predstavlja temeljno varnostno ranljivost. Uporabniki se pri oblikovanju gesel pogosto odločajo med preprostostjo, ki omogoča lažje pomnjenje, in kompleksnostjo, ki pa zagotavlja višjo raven varnosti. Kljub zavedanju o pomenu močnih gesel, številni posamezniki še vedno izbirajo krajša, enostavna gesla, ki pogosto vključujejo osebne podatke, kot so imena, rojstni datumi, telefonske številke ali običajne slovarske besede. Dodatno ranljivost prinašajo tudi slabe navade, kot so ponovna uporaba enakega gesla za več različnih računov, zapisovanje gesel na lahko dostopna mesta (npr. list papirja ali računalniško namizje) ter neredno posodabljanje gesel [2], [5], [8], [9], [10], [11].

Po podatkih raziskave iz leta 2021 kar 53 % anketirancev v svoja gesla vključuje osebne informacije, ki napadalcem omogočajo lažje ugibanje. Poleg tega kar

74 % uporabnikov isto geslo ponovno uporabi za več različnih storitev, gesla pa redko posodablja. Tovrstne prakse sicer olajšajo upravljanje z gesli, vendar hkrati bistveno povečujejo njihovo predvidljivost in dovzetnost za napade [9].

Z namenom zmanjšanja vpliva človeške malomarnosti so številni ponudniki spletnih storitev uvedli določene varnostne politike oziroma zahteve za oblikovanje gesel, npr. minimalna dolžina gesla, obvezna uporaba velikih črk, številke in posebnih znakov. Primer tovrstnih zahtev je prikazan na sliki 1, kjer Google ob ustvarjanju računa zahteva geslo z vsaj osmimi znaki, ki vključuje črke, številke in simbole [12]. Kljub temu te zahteve pogosto ne zadostujejo za doseganje ustrezne varnostne ravni, saj uporabniki še vedno pogosto sledijo predvidljivim vzorcem. Kot dopolnitev teh pravil se zato uvajajo tudi merilniki moči gesel (angl. password strength meter), ki uporabnikom nudijo vizualno povratno informacijo o ocenjeni moči njihovega gesla. Na sliki 2 je prikazan primer takega sistema pri ustvarjanju računa na platformi Dropbox, kjer je moč gesla ponazorjena s štirimi kvadrati, ki se obarvajo glede na moč vnešenega gesla. V prikazanem primeru se obarva le en kvadrat, kar pomeni, da sistem geslo oceni kot šibko [13]. Algoritmi za vrednotenje moči gesel, ki te ocene izračunajo, so podrobneje predstavljeni v tretjem poglavju. V primeru, da geslo ne ustreza določenim kriterijem ponudnika, se le-to preprosto zavrne, pri čemer nekatere platforme celo prepovedujejo uporabo določenih gesel [8], [10], [14], [15].

The image shows the Google account creation interface. At the top, it says 'Ustvarjanje Google Računa' and 'Naprej v Gmail'. Below this are input fields for 'Ime' (First name) and 'Priimek' (Last name). Then, there's a field for 'Uporabniško ime' (Email address) with a placeholder '@gmail.com'. Below that is a section for the password, with a label 'Geslo' and a 'Potrdi' (Confirm) button. A red line underlines the password field with the text 'Uporabite 8 ali več znakov s črkami, številkami in simboli'. There is also a checkbox labeled 'Pokaži geslo'. To the right of the form is a graphic of a blue shield with a white person icon, and below it, a laptop with a red 'b' and a green 'c' on its screen. At the bottom right of the graphic, it says 'En račun. Ves Google v vaši službi.' At the bottom of the form, there is a link 'Namesto tega se prijavite' and a blue 'Naprej' button.

Slika 1: Primer zahtev za izbiro gesla pri ustvarjanju Google računa. Uporabnik mora ustvariti geslo, ki vsebuje vsaj 8 znakov s črkami, številkami in simboli [12].

Slika 2: Primer merilnika moči gesel pri ustvarjanju Dropbox računa [13].

Kot že omenjeno, uporabniki pogosto predstavljajo najšibkejši člen v procesu overjanja. Na izbiro gesla vpliva več dejavnikov, med katerimi so ključna pravila za oblikovanje gesel, ki jih določijo ponudniki storitev. Uporabniki se morajo tem zahtevam podrediti, pogosto pa so tudi aktivno spodbujeni ali celo prisiljeni k spremembi gesel. Čeprav ta pravila sama po sebi ne zagotavljajo visoke ravni varnosti, dokazano pozitivno vplivajo na oblikovanje varnejših gesel. Pomemben vpliv ima tudi sam uporabnik – njegova osebnost, navade in razumevanje varnosti. Vsak posameznik si različno razlaga, kaj pomeni močno geslo, kar lahko zaradi pomanjkanja znanja vodi v suboptimalne izbire. Eden ključnih razlogov za izbiro šibkejših gesel je tudi človeški spomin. Povprečen uporabnik ima lahko do osem različnih gesel, katerih si je pogosto težko zapomniti. Posledično uporabniki pogosteje posegajo po lažje zapomljivih in s tem manj varnih geslih ter jih ponovno uporabljajo na različnih platformah [8].

2.2 Merilniki moči gesel

Številne sodobne spletne storitve za izboljšanje kakovosti gesel uporabnikov vključujejo tako imenovane merilnike moči gesel. Veliki ponudniki, kot je Google, pogosto uporabljajo enoten merilnik za več svojih platform, medtem ko drugi, kot na primer Ebay, uporabljajo različne merilnike glede na geografsko lokacijo storitve. Osnovni namen teh mehanizmov je spodbujanje uporabnikov k izbiri močnejših gesel s pomočjo vizualnih indikatorjev, ki podajajo oceno trenutne kakovosti gesla in priporočila za njegovo izboljšavo. Vizualne povratne informacije se lahko realizirajo v obliki barvnih lestvic, obarvanih besed

(slika 3), kljukic (slika 4), indikatorjev napredka (slika 5) ali kontrolnih seznamov (slika 6). Uporabniška izkušnja se ob tem izboljša, če je prikaz ocene hiter in interaktiven; nasprotno pa lahko zamik ali nedoslednost med vnosom gesla in prikazom ocene zmanjša uporabnikovo zaupanje in motivacijo.

Slika 3: Primer merilnika moči gesel, ki vrača povratne informacije le z različno pobarvanimi besedami [14].

Slika 4: Primer merilnika moči, ki vrača povratne informacije s kljukicami. Prav tako je v pomoč zelena lestvica [14].

Slika 5: Primer merilnika moči, ki vrača oceno gesla s pomočjo barvne lestvice. Geslo umesti v enega izmed petih razredov [14].

Checklists

Apple

.....

Password strength: weak

Password must:

- Have at least one letter
- Have at least one capital letter
- Have at least one number
- Not contain more than 3 consecutive identical characters
- Not be the same as the account name
- Be at least 8 characters

Slika 6: Primer merilnika moči, ki vrača povratne informacije s pomočjo seznama [14].

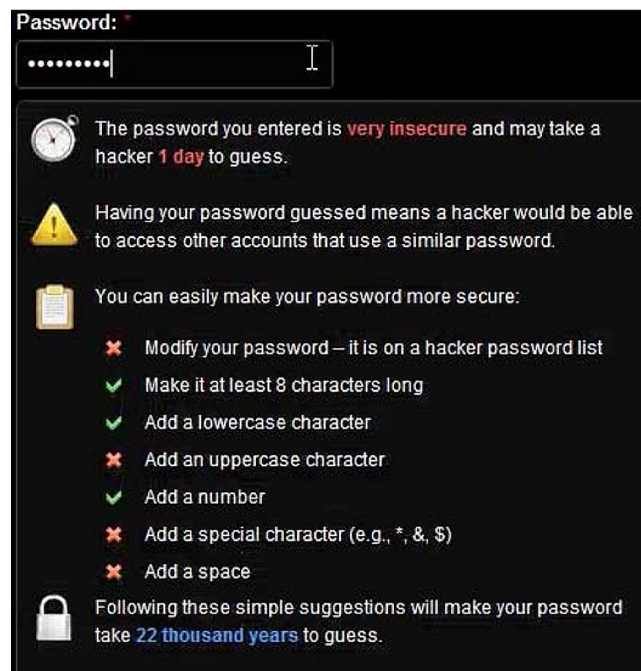
V večini primerov merilniki gesel razvrščajo gesla v tri (npr. šibko, srednje močno, močno) ali pet kakovostnih razredov (npr. zelo šibko, šibko, srednje, dobro, zelo dobro), ki so pogosto označeni z barvami (npr. rdeča za šibko, zelena za močno). Le redko pa merilniki posredujejo konkretno številčno oceno ali podatke o metodologiji izračuna, ki običajno poteka v ozadju. Nekateri sicer uporabijo odstotkovno oceno ali oceno časa, potrebnega za razbitje gesla glede na uporabljeni vrednotenjski sistem [7], [14], [15], [16].

Čeprav prisotnost merilnikov na splošno spodbuja uporabnike k izbiri daljših in kompleksnejših gesel, imajo največji učinek strožji merilniki, ki temeljijo na natančnih in restriktivnih kriterijih. Takšni merilniki pogosto vključujejo zahteve po uporabi raznovrstnih znakov (številke, simboli, velike črke) in vodijo k daljšemu premisleku uporabnika o ustreznosti izbranega gesla. Po drugi strani pa pretirano strogi ali slabo zasnovani merilniki lahko povzročijo frustracije, zmanjšajo pripravljenost uporabnika za sodelovanje in vodijo k izbiri enostavnih, a formalno skladnih gesel. Uporabniki so nagnjeni k večjemu trudu pri ustvarjanju gesel, kadar merilnik omogoča vizualno povratno informacijo, ki je jasna, razumljiva in motivacijska.

Kljub razširjenosti merilnikov številne spletne strani še vedno uporabljajo neustrezne in nenatančne mehanizme, ki vračajo nedosledne rezultate. Tako se lahko zgodi, da eno geslo pri eni storitvi velja za močno, pri drugi pa za šibko [7], [14], [15], [16]. Učinkovitost merilnikov je pogosto odvisna od konteksta, in sicer v primeru manj pomembnih računov so uporabniki nagnjeni k uporabi že obstoječih gesel, zaradi česar merilniki nimajo bistvenega vpliva. Za naslavljanje teh izzivov nekateri merilniki vključujejo elemente socialnega vpliva, kot so primerjave z drugimi uporabniki (slika 7), ali opozorila na varnostna tveganja, ki spremljajo slaba gesla, skupaj s predlogi za izboljšave (slika 8) [7], [16].



Slika 7: Primer merilnika moči, ki gesla primerja z drugimi uporabniki [7].

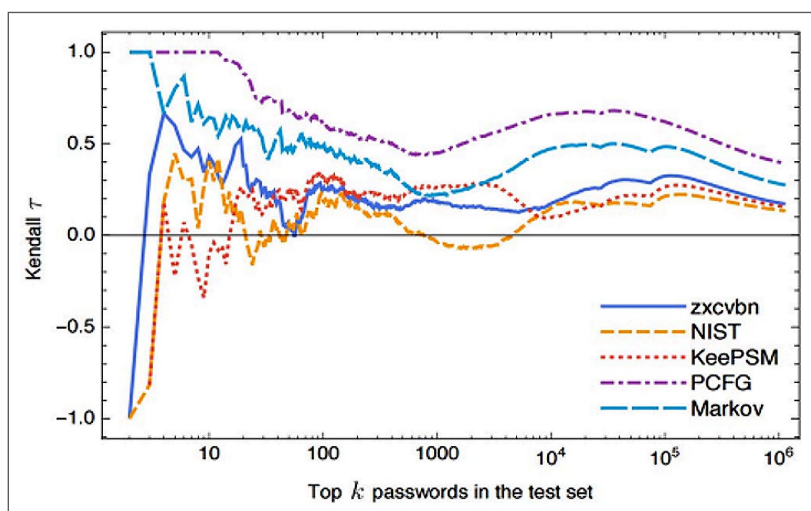


Slika 8: Primer sporočil pri interaktivnem merilniku moči, ki opominjajo na nevarnost [16].

Empirične študije so pokazale, da zgolj interaktivnost merilnikov ni dovolj za doseganje varnejšega vedenja uporabnikov – pomembno je tudi, da merilnik jasno predstavi resnost tveganja in učinkovitost uporabniškega odziva nanj [7], [14], [15], [16].

Večina spletnih merilnikov moči gesel še vedno temelji na hevrističnih pristopih, predvsem zaradi njihove enostavne implementacije in nizkih stroškov delovanja, čeprav so rezultati teh metod pogosto nezadovoljivi. Znotraj hevrističnih metod se običajno ločujeta dva temeljna pristopa. Prvi temelji na vnaprej določenih pravilih oziroma zahtevah, ki jih mora geslo izpolnjevati za pridobitev višje ocene in najpogosteje gre za pravila, skladna s smernicami NIST. Drugi pristop vključuje prepoznavanje vzorcev v geslu, pri čemer sistem išče ujemanja s preddefiniranimi semantičnimi ali zaporednimi strukturami.

V zadnjih letih se razvijajo sodobnejši, bolj prilagodljivi merilniki, ki temeljijo na simulaciji napadov na gesla. Ti merilniki se v grobem delijo na tri skupine: (1) merilniki, ki temeljijo na orodjih za ugibanje gesel, (2) merilniki, ki uporabljajo verjetnostne modele, ter (3) merilniki, ki temeljijo na nevronske mrežah. V nadaljevanju se osredotočamo na verjetnostne pristope, ki najpogosteje temeljijo na markovskih verigah ali na verjetnostnih kontekstno prostih slovnica (angl. Probabilistic Context-Free Gram-



Slika 9: Primerjava raznih tipov merilnikov moči gesel [18].

mars - PCFG). Ti merilniki praviloma dosegajo boljše natančnost pri ocenjevanju ranljivosti gesel (slika 9), vendar kljub temu vodilni ponudniki spletnih storitev še vedno uporabljajo klasične hevristične rešitve. Eden od razlogov za to je pomanjkanje obsežnih empiričnih primerjav med najnovejšimi akademskimi modeli in uveljavljenimi industrijskimi orodji, kot sta Zxcvbn in KeePass. Zaradi tega številne prednosti in pomanjkljivosti sodobnih pristopov ostajajo nepoznane širši skupnosti, kar zavira njihovo širšo uveljavitev. Pomembna omejitev verjetnostnih modelov je predpostavka, da uporabniki vedno generirajo nova gesla, pri čemer zanemarijajo pogosto prakso ponovne uporabe gesel. Na to težavo opozarja več novejših raziskav, vključno z deli [17] in [18], ki predstavljajo izboljšane verjetnostne modele, upoštevajoč ta pomemben dejavnik [3], [6], [17], [18], [19], [20].

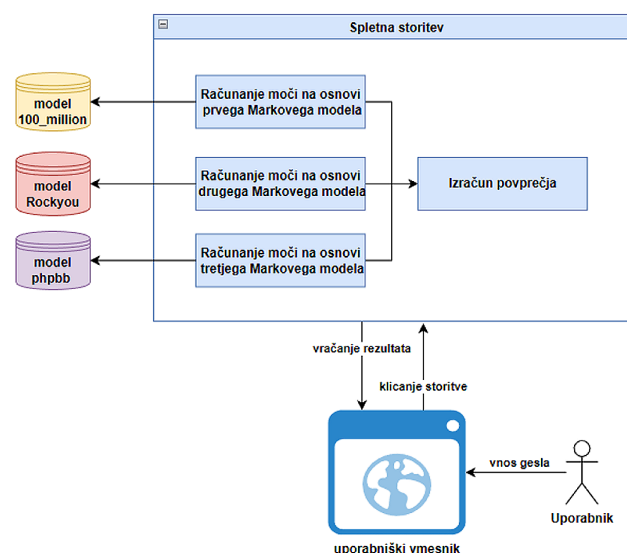
3 PREVERJANJE MOČI GESEL Z UPORABO MARKOVSKIH VERIG

Na področju varnosti gesel želimo prispevati z razvojem novega verjetnostnega ocenjevalnika moči gesel, ki temelji na kombinaciji več modelov. Naša rešitev temelji na pristopu predstavljenem v [11], kjer so bile razvite markovske verige na podlagi dvanajstih različnih podatkovnih zbirk. Za potrebe naše raziskave smo izbrali tri modele z najvišjo uspešnostjo: model, osnovan na zbirki *10_million*, model na zbirki *rockyou* ter model na zbirki *phpbb*. Ocenjevalnik gesel izračuna moč gesla na podlagi vsakega izmed teh treh modelov, končni rezultat pa predstavlja aritmetično povprečje vseh treh izračunov.

Razvoj rešitve smo razdelili na dva ključna dela (slika 10). Prvi del predstavlja spletna storitev, ki v ozadju izvaja izračune moči gesla na podlagi izbranih markovskih modelov. Drugi del predstavlja razširitev za spletni brskalnik Chrome, ki služi kot uporabniški vmesnik. Ta omogoča uporabniku vnos gesla ter komunikacijo s spletno storitvijo v ozadju. Po posredovanju gesla se izvede analiza s pomočjo treh modelov, uporabniku pa se vrne povprečna ocena varnosti gesla.

3.1 Spletna storitev

Za namen izračuna moči gesel v ozadju smo razvili spletno storitev v obliki aplikacijskega programskega



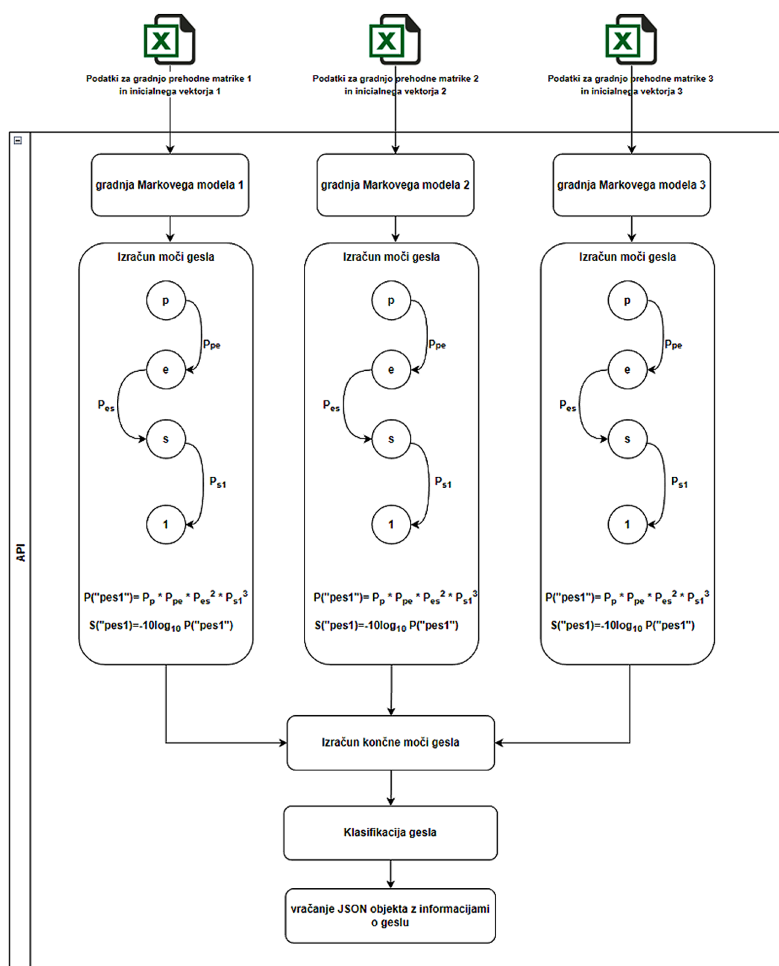
Slika 10: Preprost prikaz strukture aplikacije.

vmesnika (angl. Application Programming Interface - API). Storitve je implementirana z uporabo ogrodja Spring Boot za programski jezik Java, ki omogoča hitro in učinkovito vzpostavitev REST API-jev. Za uporabo jave smo se odločili, ker izhajamo iz obstoječe namizne aplikacije za preverjanje moči gesel opisane v [11], ki smo jo želeli nadgraditi v spletno storitev in s tem omogočiti enostavnejši dostop do funkcionalnosti. Razvoj je potekal v okolju IntelliJ IDEA.

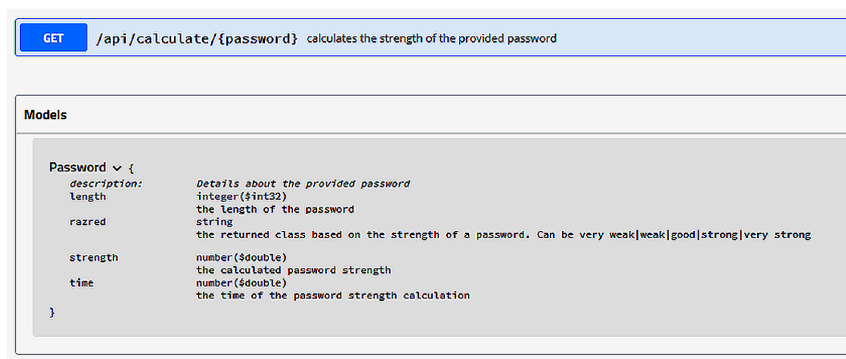
Osrednja funkcionalnost API-ja obsega gradnjo markovskih verig in izračun verjetnosti gesla glede na vsak posamezen model. Izračun verjetnosti gesla temelji na začetnem vektorju in prehodni matriki, ki opisuje verjetnosti prehodov med znaki v geslu. Začetni vektor določa verjetnosti, da se posamezen znak pojavi na začetku gesla, prehodna matrika pa opisuje verjetnost, da določen znak sledi drugemu znaku. Na ta način markovska veriga omogoča izračun skupne verjetnosti gesla kot produkta začetne

verjetnosti prvega znaka in verjetnosti prehodov za vse nadaljnje znake. Višja kot je ta verjetnost, večja je predvidljivost gesla, posledično pa je geslo šibkejše. Podrobnejši matematični opis metode je na voljo v [11]. Tako je vsak model definiran z začetnim vektorjem in prehodno matriko, katerih dimenzije so odvisne od nabora znakov, ki jih obravnavamo pri ocenjevanju moči gesla. V našem primeru obravnavamo 95 ASCII znakov, kar vključuje velike in male črke, številke ter posebne znake. Prehodna matrika je zato definirana kot dvodimenzionalno polje velikosti 95×95 , začetni vektor pa kot enodimenzionalno polje dolžine 95. Vse vrednosti začetnih in verjetnosti prehodov za tri izbrane modele so shranjene v ločenih Excel dokumentih.

API vsebuje en glavni klic, ki kot vhodni parameter prejme geslo. Ob prejemu klica se najprej zgradijo markovski modeli iz pripadajočih Excelovih datotek, nato pa se za vsakega izmed modelov izvede izra-



Slika 11: Vizualna predstavitev delovanja spletne storitve za izračun moči gesla »pes1«.



Slika 12: Primer dokumentacije za klic izračuna moči gesla in razred Password.

čun moči gesla, skladno s postopki predstavljenimi v [11]. Proces se izvede vzporedno za vse tri modele, končni rezultat pa predstavlja povprečje vseh treh izračunov. Celoten potek je prikazan na sliki 11. Na podlagi dobljene vrednosti se geslo nadalje klasificira v enega izmed petih varnostnih razredov: zelo šibko, šibko, dobro, močno in zelo močno. Uporabniku se vrne strukturiran JSON objekt, ki vsebuje razred gesla, dolžino gesla, čas izračuna in samo oceno moči.

Za lažje razumevanje in testiranje smo razvili tudi dokumentacijo API-ja z uporabo orodja SwaggerUI. Dokumentacija podaja opise vseh dostopnih klicev ter pojasnila ključnih razredov. Na sliki 12 je prikazana dokumentacija klica za izračun moči gesla, ki kot parameter prejme le geslo. Ob izbiri klica se prikažejo tudi podrobnejši podatki o možnih odgovorih in strukturi vrnjenega objekta. Na sliki je predstavljen tudi razred Geslo, katerega instanca se vrača v obliki JSON objekta. Primer konkretnega odgovora je prikazan na sliki 13: za geslo 'drevo' je bila ocena moči 74, izračun pa je trajal tri sekunde, kar je sistem uvrstil v razred »zelo šibko«.

```
{
  "razred": "very weak",
  "time": 3,
  "length": 5,
  "strength": 74.42791192787637
}
```

Slika 13: Primer vrnjenega JSON objekta za geslo »drevo«.

3.2 Uporabniški vmesnik

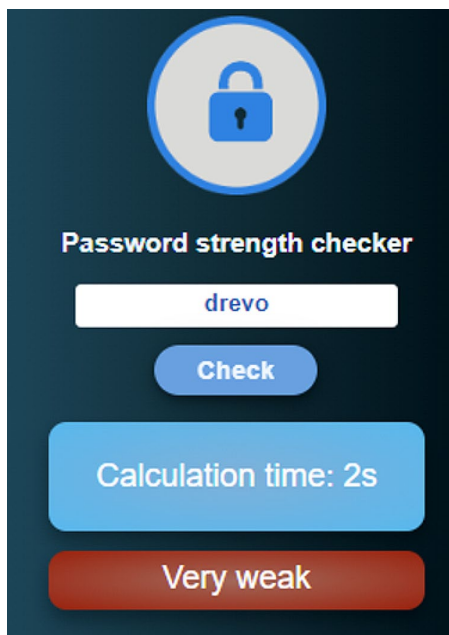
Za zagotavljanje boljše uporabniške izkušnje in lažji dostop do razvitega API-ja smo implementirali

preprost uporabniški vmesnik v obliki razširitve za spletni brskalnik Google Chrome. Razširitev je bila razvita v programskem jeziku JavaScript, pri čemer smo za razvoj uporabljali okolje Visual Studio Code. Glavni namen razširitve je delovati kot merilnik moči gesel: uporabnik vpiše geslo v vnosno polje in z enim klikom sproži klic API-ja.

Po izvedbi klica razširitev prejme JSON objekt in izpiše izbrane informacije – konkretno: razred moči gesla ter čas, potreben za izračun. Samo numerične vrednosti ocene moči ne prikazujemo, saj uporabniku ta podatek ne prinaša dodatne vrednosti. Namesto tega je razred moči predstavljen tudi z barvno oznako, s čimer smo želeli izboljšati vizualno razumljivost rezultata: šibko geslo je označeno z rdečo, dobro z rumeno, in močno geslo z zeleno barvo.

Na sliki 14 je prikazan primer rezultata za zelo šibko geslo. Poleg osnovnega delovanja razširitev vključuje tudi odzive na posebne dogodke, s katerimi dodatno informira uporabnika. V primeru, da je vnosno polje prazno, uporabnika opozori na potrebo po vnosu gesla pred izvedbo preverjanja. Prav tako razširitev sproži obvestilo v primeru daljšega trajanja izračuna, s čimer obvešča uporabnika o morebitnem čakanju na rezultat.

Razvita Chrome razširitev je namenjena raziskovalni in pedagoški uporabi ter je dostopna na zahtevo. Gesla se obdelujejo izključno v pomnilniku za čas ocenjevanja, zato rešitev ne shranjuje uporabniških podatkov in ne predstavlja varnostnega tveganja. Takšne odprtokodne akademske rešitve prispevajo k ozaveščanju o kakovosti gesel ter predstavljajo varnejšo alternativo komercialnim pristopom, kjer obstaja nevarnost zlorabe shranjenih podatkov.



Slika 14: Primer prikaza rezultatov za šibko geslo.

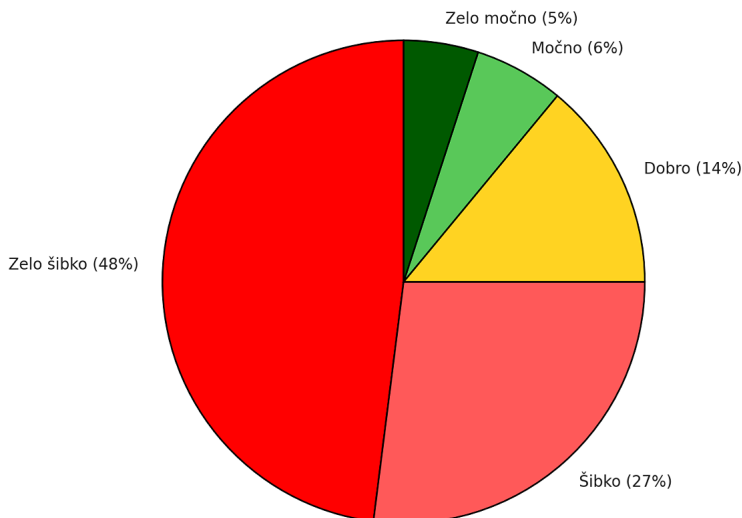
3.3 Eksperimentalna validacija funkcionalnosti rešitve

Delovanje razvite rešitve smo preverili s pomočjo zbirke testnih gesel. V ta namen smo izvedli testiranje na 10.000 geslih, ki smo jih pridobili iz javno dostopnih podatkovnih zbirk Rockyou in Phpbb. Gesla smo shranili v besedilni obliki v ustrezno datoteko. Zaradi strojnih omejitev naprave, uporabljene za testiranje (kot opisano v uvodnem delu), smo se odločili za manjši obseg testne zbirke. Procesiranje celotnega nabora 10.000 gesel je trajalo približno 27

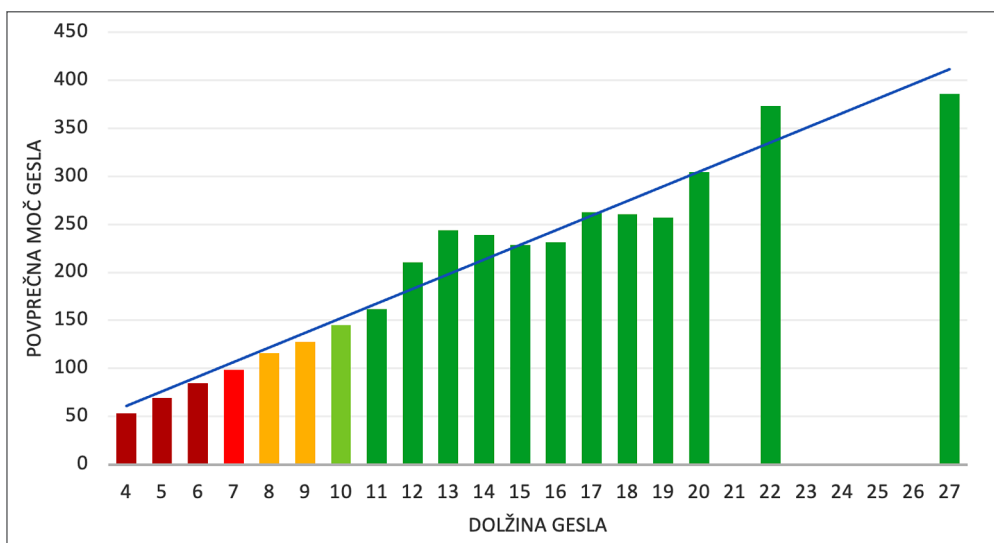
ur, pri čemer je bil povprečni čas obdelave enega gesla okoli 9 sekund. Sistem je uspešno izračunal moč in vrnil pripadajoče podatke za vsa gesla. Rezultati klasifikacije gesel glede na njihovo ocenjeno moč so prikazani na sliki 15. Analiza kaže, da je bila kar polovica gesel ocenjena kot zelo šibka (48 %), dodatnih 27 % pa kot šibka. Le 14 % gesel je bilo označenih kot dobra, medtem ko je 6 % gesel doseglo oznako močna in 5 % zelo močna.

V okviru testiranja smo izvedli tudi dodatno analizo, s katero smo želeli preučiti razmerje med dolžino gesla, ocenjeno močjo in časom potrebnim za izračun. Podatki te analize so predstavljeni v tabeli 1. Prikazani rezultati predstavljajo povprečne vrednosti, dobljene pri testiranju naše rešitve na zbirki 10.000 gesel. Za vsako dolžino gesla so izračunani povprečni časi obdelave, povprečne ocene moči in število gesel v posamezni skupini.

Dolžina testnih gesel je variirala med 4 in 27 znaki. Največ gesel je vsebovalo med 6 in 8 znakov, število daljših gesel pa se je hitro zmanjševalo, pri čemer je bilo zelo malo primerov gesel z več kot 15 znaki. Rezultati so pokazali pričakovano korelacijo med dolžino gesla, njegovo močjo in časom obdelave. Gesla, dolga med 4 in 7 znaki, so bila večinoma ocenjena kot šibka, medtem ko so gesla z dolžino 8 ali 9 znakov dosegla oceno dobra. Gesla z 10 ali več znaki so bila večinoma uvrščena v kategorijo močnih. Povezava med dolžino in ocenjeno močjo gesla je dodatno ponazorjena na sliki 16. Analiza časa obdelave je pokazala, da se trajanje izračuna moči gesla z naraščajočo dolžino hitro povečuje. Že za gesla z dol-



Slika 15: Klasifikacija 10 000 gesel glede na izračunano moč.



Slika 16: Moč gesel glede na dolžino gesel. Obarvanost posameznih stolpcev predstavlja moč gesla (rdeča barva-šibko geslo, rumena barva-dobro geslo, zelena barva-močno geslo).

žino 8 znakov je povprečni čas presegel 10 sekund. Najkrajši časi obdelave so bili zabeleženi pri geslih dolžine med 4 in 6 znakov, kjer je bil čas obdelave

v povprečju krajši od 10 sekund. Najdaljše geslo v testni zbirki, dolgo 27 znakov, je sistem obdeloval kar 58 sekund.

Tabela 1: Prikaz podatkov za dolžino gesel, povprečni čas izračuna, povprečno moč in število gesel.

Dolžina gesla	Povprečen čas izračuna	Povprečna moč	Število gesel
4	2	53,3	785
5	4,9	69,2	794
6	7	84,6	2907
7	9,6	98,4	1938
8	12	115,8	2479
9	14,2	128,04	434
10	17	145,4	252
11	19	161,7	124
12	22	210,5	118
13	24	243,9	57
14	26,7	239,3	37
15	29	228,9	31
16	31,1	231,5	15
17	34	262,7	12
18	36	260,3	6
19	39	257	4
20	41	304,5	3
21			0
22	46	373	3
23			0
24			0
25			0
26			0
27	58	386	1

4 PRIMERJAVA REŠITVE Z OBSTOJEČIMI MERILNIKI

Za preverjanje učinkovitosti razvite spletne rešitve za preverjanje moči gesel smo izvedli empirično primerjavo z več uveljavljenimi spletnimi merilniki. Cilj primerjave je bil oceniti, kako različni pristopi – tako heuristični kot probabilistični – razvrščajo gesla glede na njihovo domnevno varnost, v kolikšni meri se njihove ocene skladajo z dejansko odpornostjo gesel proti napadom ter kakšna je stopnja ujemanja med posameznimi orodji.

V raziskavo smo vključili naslednje merilnike: Password Monster [21], UIC ocenjevalec gesel [22], BitWarden [23], Password Meter [24], Nordpass [25], Kaspersky [26], Lastpass [27], Haveibeenpwned [28] in Zxcvbn [29]. Vsak od teh merilnikov uporablja svoj mehanizem za preverjanje moči – nekateri temeljijo na enostavnih pravilih (npr. dolžina gesla, uporaba velikih črk, števil in simbolov), drugi na ocenah časa razbijanja, spet tretji na podatkovno podprtih modelih. Rešitev, ki smo jo razvili temelji na povprečju treh markovskih modelov (1-gram, 2-gram, 3-gram), ki so bili trenirani na treh ločenih realnih podatkovnih zbirkah gesel (model, osnovan na zbirki *10_million*, model na zbirki *rockyou* ter model na zbirki *phphbb*), kar omogoča robustnejšo oceno na osnovi dejanske pogostosti zaporedij znakov.

Za analizo smo uporabili 10.000 testnih gesel, pri čemer je vsak merilnik podal svojo oceno moči. Osem izbranih merilnikov razvršča gesla v ustrezne razrede na podlagi ocenjene moči. Edina izjema je Have I Been Pwned, ki namesto ocene varnosti poda število pojavitev gesla v javno dostopnih podatkovnih zbirkah. V tej raziskavi smo za potrebe enotne klasifikacije uvedli naslednjo razvrstitev: gesla, ki se ne pojavijo, so označena kot zelo močna; gesla z največ dvema pojavitvama kot močna; gesla z 2 do 5 pojavitvami kot dobra; gesla z več kot 5 in do 50 pojavitvami kot šibka; in gesla z več kot 50 pojavitvami kot zelo šibka. Zaradi različnega načina preverjanja moči med našim orodjem (preverjanje moči na osnovi verjetnosti) in izbranimi merilniki (preverjanje moči na osnovi heuristik) so lahko rezultati primerjave nezadovoljivi. V namen natančnejše analize smo odpornost gesel v zbirki testirali tudi s simuliranim napadom z uporabo PCFG, ki velja za enega izmed učinkovitejših pristopov k razbijanju gesel.

V tabeli 2 je prikazana porazdelitev gesel po merilnikih. Rezultati kažejo, da je v primerjavi z ostali-

mi izbranimi merilniki naša rešitev dosledno zaznala nižji delež gesel kot šibkih oziroma zelo šibkih. Skupno je bilo 75 % vseh gesel s strani našega orodja klasificiranih kot šibkih ali zelo šibkih, medtem ko so ostali merilniki v povprečju kar 91 % gesel uvrstili v to kategorijo. Najstrožji med njimi so bili merilniki Nordpass, Kaspersky in Lastpass, saj so vsi trije kot šibka označili več kot 95 % analiziranih gesel, kar kaže na zelo konservativen kriterij ocenjevanja.

Obraten trend pa je bil zaznan pri klasifikaciji močnih ali zelo močnih gesel. Naša rešitev je kot takšna prepoznala 11 % gesel, kar je občutno več kot pri večini ostalih merilnikov. Povprečno so drugi merilniki kot močna označili le 4 % gesel, pri čemer so Nordpass, Kaspersky in Lastpass ponovno izstopali z najnižjim deležem – zgolj 1 % gesel so uvrstili med močne. Izmed vseh orodij sta največji delež gesel, označenih kot močna (6 %), zabeležila Zxcvbn in PasswordMonster, ki imata nekoliko bolj uravnoteženo porazdelitev.

Tabela 2: Delež gesel pri tri delitvi na tri razrede.

	šibko	dobro	močno
Naša rešitev	75%	14%	11%
PasswordMonster	89%	5%	6%
UIC	89%	7%	4%
BitWarden	94%	4%	2%
PasswordMeter	89%	7%	4%
Nordpass	96%	3%	1%
Kaspersky	97%	2%	1%
Lastpass	95%	4%	1%
Haveibeenpwned	90%	3%	7%
Zxcvbn	83%	11%	6%
Povprečje	91%	5%	4%

Zanimala nas je tudi podobnost klasifikacije za vsak posamezen razred (npr. koliko gesel, ki jih je naša rešitev označila za šibka je tudi druga rešitev označila za šibka). Rezultati te primerjave so predstavljeni v tabeli 3.

Tabela 3: Enakost ocenjevanja za posamezen razred.

	šibko	dobro	močno
password monster	0,979	0,1	0,42
UIC	0,959	0,11	0,25
bitwarden	0,99	0,04	0,14
passwordmeter	0,959	0,11	0,25
nordpass	0,99	0,01	0,05
kaspersky	0,99	0,01	0,04
lastpass	0,99	0,04	0,12
haveibeenpwned	0,95	0,03	0,3
zxcvbn	0,93	0,22	0,41
povprečje	0,970777778	0,074444444	0,22

Rezultati, prikazani v tabeli 4, kažejo, da med izbranimi merilniki in razvito rešitvijo obstaja visoka stopnja soglasja pri razvrščanju šibkih gesel. V povprečju kar 97 % gesel, ki jih naš model oceni kot šibka, enako ovrednotijo tudi ostali merilniki. To kaže na precejšnje soglasje glede kriterijev za identificiranje najšibkejših gesel. Povsem drugačna slika pa se pojavi pri razvrščanju gesel v razreda dobra in močna, kjer so razlike med merilniki bistveno izrazitejše.

V povprečju le 22 % tistih gesel, ki jih naša rešitev klasificira kot močna, enako oceni tudi katerikoli drug merilnik. To nakazuje na precejšnje odstopanje v kriterijih za najvišjo stopnjo varnosti. V tej zvezi ponovno izstopata merilnika PasswordMonster in Zxcvbn, saj imata z našim merilnikom najvišjo stopnjo ujemanja pri ocenjevanju močnih gesel – nad 40

%. Najnižjo skladnost pa beležimo pri orodjih Nordpass (5 %) in Kaspersky (4 %), kar potrjuje, da je njihova ocena varnosti v tem razredu bistveno bolj restriktivna oziroma temelji na drugačnih kriterijih.

Kljub obsežnim podatkom o stopnjah ujemanja med posameznimi orodji, ti rezultati še ne omogočajo zanesljive ocene učinkovitosti posameznega merilnika. Ujemanje z drugimi orodji ne pomeni nujno višje točnosti. Da bi ocenili dejansko zanesljivost razvrstitev, smo zato izvedli dodatno analizo, ki temelji na dejanski odpornosti gesel proti napadu. Za preverjanje dejanske odpornosti gesel smo izvedli simuliran napad z uporabo modela PCFG, treniranega na isti učni množici. Rezultati napada so podani v številu potrebnih poskusov za ugotovitev gesla. Glede na število poskusov smo gesla klasificirali v pet razredov, kot je prikazano v tabeli 4.3. Skozi napad smo kar 63 % gesel identificirali za šibke. Za močne smo prepoznali 7 % gesel. To so gesla, ki so potrebovala za zlom nad 100 milijonov poskusov. Napad prav tako ni odkril 4 % gesel, ki seveda prav tako veljajo za zelo močna.

Table 4: Rezultati napada na gesla.

zelo šibko	< 103	438	4,38 %
šibko	< 106	6262	62,62 %
dobro	< 108	1152	11,52 %
močno	< 1010	727	7,27 %
zelo močno	> = 1010	1018	10,18 %
neodkrita		403	4,03 %

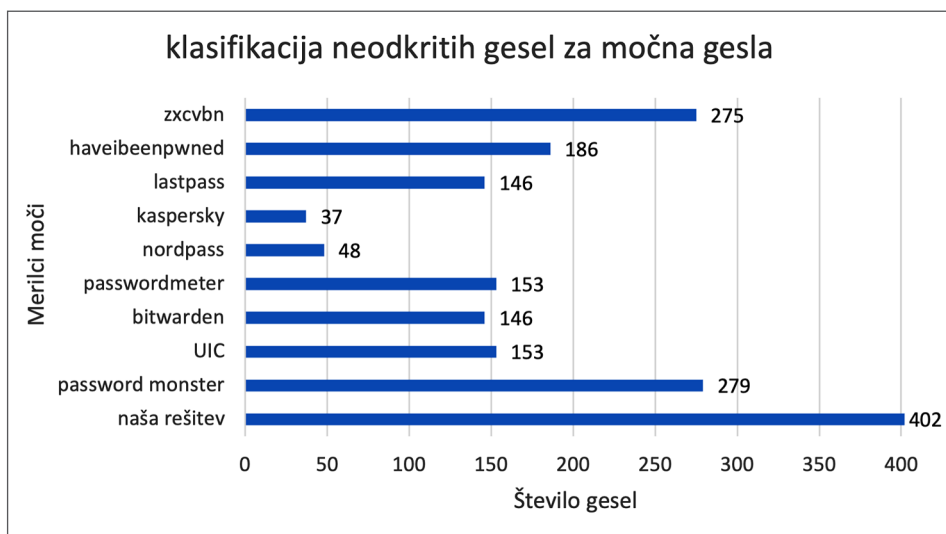


Figure 17: Število neodkritih gesel v napadu označene za močne.

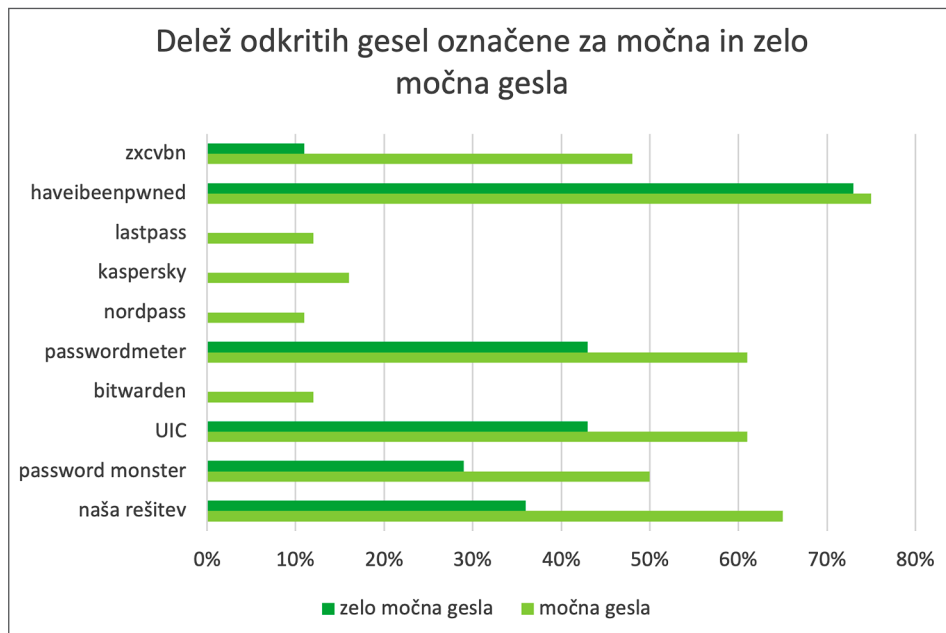


Figure 18: Delež odkritih gesel označene za močna in zelo močna gesla.

Rezultate napada smo primerjali z rezultati merilnikov. Sprva nas je zanimalo koliko neodkritih gesel so merilniki klasificirali za močna gesla in koliko močnih gesel (identificiranih iz strani merilnikov) je bilo odkritih v napadu. Od 403 neodkritih gesel naša rešitev le eno ni označila za močno. Naslednja merilnika, ki sta okoli 70 % neodkritih gesel označila za močna sta PasswordMonster in Zxcvbn. Najmanj neodkritih gesel sta za močne označila Nordpass in Kaspersky in sicer 10 %. Deleži drugih merilnikov se gibajo nekje okoli 35 %. Ti podatki so podrobneje predstavljeni na sliki 17. V pravilnosti klasifikacije neodkritih gesel naša rešitev prekaša vse druge.

Pri analizi ujemanja med ocenami moči gesel in njihovo dejansko odpornostjo proti napadu smo zaznali, da je naša rešitev kljub sicer visoki natančnosti pri klasifikaciji šibkih gesel nekoliko manj uspešna pri razpoznavanju najvarnejših gesel. Kar 65 % gesel, ki jih je naš model ocenil kot močna, je bilo uspešno razbitih z napadom s PCFG. Če pa analiziramo zgolj podskupino zelo močnih gesel, ta delež pade na 35 %, kar nakazuje, da je razvrščanje v najvišji razred bolj dosledno, vendar še vedno ne optimalno. V obeh primerih gre za najvišji delež razbitih močnih gesel med vsemi preizkušenimi merilniki, kar kaže na možnost precenjevanja varnosti določenih gesel znotraj našega modela.

Nasprotno pa so se merilniki Nordpass, Kaspersky in Lastpass izkazali kot bolj previdni. Med gesli,

ki so jih ta orodja označila kot močna, je bilo le 20 % dejansko razbitih – kar pomeni, da so njihova merila za klasifikacijo močnih gesel strožja in bolj usklajena z realno odpornostjo.

Ob upoštevanju petstopenjske razdelitve gesel, kjer smo analizirali tudi razred zelo močnih gesel, se razlike med orodji še dodatno poglobijo. Merilniki UIC in PasswordMeter so imeli najvišji delež razbitih gesel v tem najvišjem varnostnem razredu – pri obeh je bilo kar 43 % zelo močnih gesel uspešno razbitih. Še slabše rezultate je pokazal Have I Been Pwned, saj je bilo kar 73 % gesel, ki so bila po tej storitvi označena kot zelo močna, dejansko prepoznanih v napadu.

Ti rezultati opozarjajo, da visoka ocena moči gesla s strani merilnika še ne pomeni nujno dejanske varnosti – zlasti če model temelji na statičnih ali heurističnih kriterijih brez preverjanja verjetnostne porazdelitve gesel v realnih podatkovnih bazah. Podrobne vrednosti za vse obravnavane primere so predstavljene na sliki 18, kjer so prikazani deleži razbitih gesel znotraj posameznih razredov glede na pripadajoči merilnik.

V nadaljevanju smo posebno pozornost namenili natančnosti klasifikacije močnih gesel pri posameznih merilnikih glede na rezultate dejanskega napada. Analiza je bila usmerjena v ugotavljanje, kolikšen delež gesel, ki jih je napad prepoznal kot močna, so ustrezno kot takšna prepoznali tudi merilniki. Re-

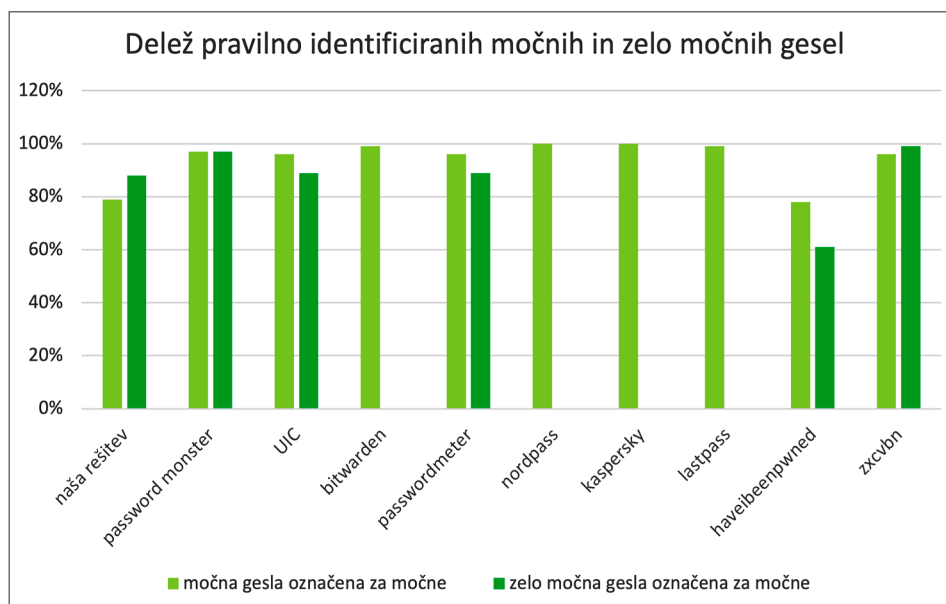


Figure 19: Delež pravilno identificiranih močnih gesel.

zultati kažejo, da tudi po tem kriteriju naša rešitev nekoliko zaostaja. Med vsemi gesli, ki so bila s strani napada ocenjena kot močna, jih je naša rešitev pravilno klasificirala 79 %, kar pomeni, da se 21 % močnih gesel po naši oceni ne bi uvrstilo v najvišji razred – kljub njihovi visoki odpornosti.

Vsi ostali merilniki, z izjemo Have I Been Pwned, so pri tem dosegli boljše rezultate. Vsak od njih je pravilno identificiral vsaj 96 % gesel, ki so bila po napadu ocenjena kot močna. Najbolje sta se izkazala merilnika Kaspersky in Nordpass, ki sta dosegla 100 % skladnost – torej sta vsa gesla, ki so se po rezultatih napada izkazala kot močna, tudi sama ustrezno označila.

Pri analizi klasifikacije zelo močnih gesel so se razlike med merilniki nekoliko zmanjšale. Naša rešitev je pri tem dosegla 88 % pravilno klasificiranih zelo močnih gesel, kar jo približa ostalim orodjem in kaže na večjo zanesljivost pri prepoznavanju najbolj odpornih gesel.

Natančni podatki po posameznem merilniku in razredu so prikazani na slki 19, ki omogoča neposredno primerjavo uspešnosti klasifikacije močnih in zelo močnih gesel med vsemi vključenimi rešitvami.

5 DISKUSIJA

S pomočjo preučene literature in izvedenih eksperimentov smo uspeli pridobiti naslednje odgovore na zastavljena raziskovalna vprašanja.

RV1: Kako se sodobne metode in orodja za preverjanje gesel soočajo in prilagajajo naprednim napadom na gesla?

Kljub izboljššanemu zavedanju glede varne uporabe gesel v primerjavi s stanjem pred desetletjem, še vedno ostajajo uporabniki najšibkejši člen v verigi informacijske varnosti. Z neprestano rastjo števila spletnih storitev in posledično večjim številom uporabniških računov se pričakuje, da bo problematika gesel v prihodnje še bolj izrazita. Raziskave s področja varnosti priporočajo uvedbo strožjih meril za preverjanje moči gesel – gesla, ki teh standardov ne izpolnjujejo, naj bodo zavrnjena že ob vnosu.

Raziskovalna skupnost vse bolj podpira razvoj metod za preverjanje moči gesel, ki temeljijo na verjetnostnih modelih (npr. markovske verige, PCFG) in umetnih nevronske mrežah, saj te ponujajo višjo natančnost v primerjavi s klasičnimi heurističnimi pristopi. Pri naši primerjavi smo se osredotočili na merilnike moči gesel, ki so javno dostopni in enostavni za uporabo brez posebnih tehničnih zahtev, saj so ti orodja, s katerimi se srečujejo povprečni uporabniki. Zavedamo se, da obstajajo neposredno primerljivi verjetnostni pristopi, kot so OMEN, PCFG-cracker ter novejši modeli SMML in uLMM, ki dosegajo visoko natančnost pri ocenjevanju. Vendar zaradi zahtevne namestitve in nižje uporabnosti za širšo skupnost teh rešitev nismo vključili v empirično primerjavo. Kljub temu menimo, da bi razširitev raziskave tudi

na ta orodja pomenila zanimivo smer za prihodnje delo, saj bi omogočila neposredno primerjavo različnih verjetnostnih pristopov in celovitejšo oceno njihove praktične uporabnosti.

Obenem se kaže trend v smeri razvoja prilagodljivih in kombiniranih rešitev, ki za preverjanje moči uporabljajo več metod hkrati in tako bolje pokrivajo različne vidike varnosti. Velik poudarek je tudi na uporabniški izkušnji, zlasti pri reševanju izzivov, povezanih z zapomnitvijo kompleksnih gesel. Orodja, kot so generatorji gesel in upravljalniki gesel, postajajo vse bolj razširjena.

Klasični spletni merilniki moči, ki uporabniku podajajo le vizualno povratno informacijo, pogosto ne dosegajo svojega namena – uporabniki takšne ocene ne jemljejo resno in se zadovoljijo z gesli, ki komaj dosegajo osnovne standarde. V ta namen so se pričele razvijati alternativne oblike povratne informacije, kot so družbeno primerjalni merilniki, ki ocenjujejo moč gesla v primerjavi z gesli drugih uporabnikov in tako ustvarjajo dodaten psihološki pritisk za izboljšanje izbire.

RV2: Kakšna je funkcionalnost razvite rešitve (računanje in klasifikacija moči testiranih gesel brez napak, hitrost računanja)?

V okviru testiranja je razvita rešitev uspešno analizirala 10.000 gesel, pri čemer je za vsako geslo pravilno izračunala oceno moči in ga razvrstila v ustrezen razred. Med testiranjem ni bilo zaznanih napak v delovanju. Poleg natančnosti nas je zanimal tudi časovni vidik, saj je odzivnost ključna pri uporabi spletnih orodij. Povprečni čas obdelave celotne množice gesel je znašal približno 9 sekund na geslo. Za gesla dolžine med 8 in 9 znaki, kar je najpogostejša dolžina uporabniških gesel, se je povprečni čas izračuna podaljšal na 13 sekund. Z višanjem dolžine gesla pa čas linearno narašča in lahko preseže 30 do 60 sekund, kar presega običajna pričakovanja uporabnikov.

Iz tega razloga menimo, da trenutna rešitev ni optimalno primerna za neposredno vključitev v spletna okolja, kjer se od ocenjevanja gesel pričakuje skoraj takojšen odziv. Časovna zahtevnost torej predstavlja eno od ključnih omejitev naše implementacije.

RV3: Kako se učinkovitost naše rešitve primerja z drugimi uveljavljenimi merilniki moči gesel na spletu?

Razvito rešitev smo primerjali z devetimi uveljavljenimi spletnimi merilniki moči gesel. V primerjavi s konkurenco je naša rešitev manj stroga pri ocenje-

vanju šibkih in močnih gesel, saj zazna manj šibkih in hkrati več močnih gesel kot večina drugih merilnikov. Ugotovili smo, da se ocene naše rešitve v povprečju ujemajo s 76 % ocen drugih merilnikov. Največje ujemanje je bilo zaznano pri šibkih geslih, kjer je 97 % ocen enakih, medtem ko se pri močnih geslih ocene ujemajo le v 4 % primerov.

Primerjava z rezultati simuliranega napada je pokazala, da naša rešitev pravilno klasificira 99 % neodkritih gesel kot močna, kar jo uvršča med najzanesljivejše glede na ta vidik. Vendar pa v nadaljnjih primerjavah zaostaja za ostalimi, saj je 65 % gesel, ki jih je označila kot močna, bilo uspešno razbitih. To je eden najvišjih deležev med primerjanimi orodji. Poleg tega je zaznano tudi razmeroma visoko število šibkih gesel, ki so bila napačno označena kot močna.

Po drugi strani je bila uspešnost naše rešitve pri nepravilnem označevanju močnih gesel za šibka boljša – napačno je bilo klasificiranih le 10 % takšnih primerov, kar je ugodnejši rezultat v primerjavi z večino drugih orodij. Pri natančnosti ocenjevanja močnih gesel pa naša rešitev zopet nekoliko zaostaja – le 79 % gesel, ki jih je označila za močna, je bilo v napadu dejansko potrjenih kot takšnih. Vsi ostali merilniki so v tem pogledu presegli prag 95 % natančnosti.

Najboljše rezultate so v celotni primerjavi dosegli merilniki Nordpass, Kaspersky in Lastpass. Ti so uspešno klasificirali največ gesel pravilno ter označili najmanj šibkih gesel za močna. Napad je razkril, da so ta tri orodja med vsemi najmanjkrat napačno ocenila šibka gesla kot močna (manj kot 20 %). Vendar pa imajo ta orodja tudi nasproten učinek – pogosto ne prepoznajo dejansko močnih gesel, kar pomeni, da njihovi kriteriji morda presegajo realne zahteve. Naša rešitev je bolj popustljiva, saj v najvišji razred uvrsti več gesel, vendar s tem nekoliko ogrozi zanesljivost.

Pri interpretaciji rezultatov pa je treba biti previden, saj lahko premehki kriteriji razvrščanja povzročijo, da so šibka gesla ocenjena kot dobra ali celo močna. Takšne ocene so za uporabnika zavajajoče in lahko pomenijo resno varnostno tveganje v praksi.

Na podlagi teh rezultatov ocenjujemo, da trenutna rešitev ne predstavlja boljše alternative v primerjavi z najboljšimi obstoječimi merilniki – tako z vidika hitrosti kot z vidika natančnosti. Visoko število napačno ocenjenih močnih gesel lahko pripišemo omejitvam v markovskih modelih, predvsem pomanjkanju verodostojnih verjetnostnih porazdelitev

za nekatera zaporedja znakov. Potencialno izboljšavo predstavlja dodatno treniranje modelov ter vključitev drugih pristopov. Ker se končna ocena trenutno izračuna kot povprečje treh modelov, bi alternativna strategija – kot je uporaba najnižje posamezne ocene – morda vodila do večje previdnosti pri dodeljevanju najvišjih ocen.

Čeprav trenutna različica še ne predstavlja konkurenčne alternative, ima zaradi 80 % natančnosti pri prepoznavanju močnih gesel potencial, ki ga je mogoče nadgraditi. Nadaljnji razvoj bi lahko vključil nov markovski model, treniran na drugem jeziku (npr. nemščini), kar bi omogočilo lokalizirane rešitve, prilagojene posameznim uporabniškim skupinam.

Ključni prispevek našega dela je v inovativni uporabi verjetnostnega pristopa, temelječega na markovskih verigah, in njegovi praktični integraciji v okolje spletnega brskalnika. S tem smo pokazali, da je mogoče metode, ki so bile doslej večinoma obravnavane v raziskovalnem okolju, uspešno prenesti v uporabniški kontekst ter jih približati vsakodnevni rabi. Poleg tega smo izvedli obsežno primerjalno analizo z devetimi obstoječimi spletnimi merilniki moči gesel, kar omogoča celovitejše razumevanje razlik med heurističnimi in verjetnostnimi pristopi ter osvetluje njihove prednosti in omejitve v praksi. Naše delo tako združuje aplikativni in raziskovalni vidik: prvi zagotavlja uporabniško relevantnost, drugi pa prispeva k nadaljnjemu razvoju metod za preverjanje moči gesel.

6 ZAKLJUČEK

Gesla že več kot pet desetletij ostajajo prevladujoča metoda overjanja, kar je posledica njihove enostavne implementacije, nizkih stroškov ter minimalnih tehničnih zahtev. Kljub razvoju naprednih pristopov overjanja ostaja največja ranljivost na področju gesel človeška malomarnost, kar ob naraščajočem številu spletnih storitev in uporabniških računov povečuje kompleksnost upravljanja gesel. Glede na trajnostno vlogo gesel v informacijski varnosti, tudi ob uvedbi novih mehanizmov overjanja, je nujno spodbujati oblikovanje močnejših gesel. To področje večajo strožji kriteriji za ustvarjanje gesel, vpeljava merilnikov moči gesel, vizualnih povratnih indikatorjev ter uporaba upraviteljev gesel.

V članku smo najprej pregledali obstoječo strokovno literaturo o metodah ocenjevanja moči gesel in se nato osredotočili na razvoj verjetnostnega oce-

njevalnika moči, ki temelji na markovskih verigah. Učinkovitost in funkcionalnost razvite rešitve smo ovrednotili z eksperimentalnim preizkusom na testni zbirki gesel ter primerjavo z devetimi obstoječimi spletnimi ocenjevalci moči. Zaradi zmogljivostnih omejitev testne strojne opreme smo uporabili omejeno zbirko gesel, sestavljeno iz znakovnega nabora 95 ASCII znakov v angleško govorečem okolju. Sistem je neprekinjeno izračunal moč in razred za vsako geslo, vendar je povprečni čas obdelave enega gesla znašal približno 13 sekund, kar presega sprejemljive čakalne dobe v spletnem okolju.

Pri primerjavi z drugimi spletnimi merilniki smo ugotovili, da naša rešitev ne ponuja bistvene prednosti: poleg počasnejše obdelave je tudi ocenjevalna politika premalo stroga pri prepoznavanju močnih gesel. Kljub temu smo zaznali, da ima razvita metoda s svojimi markovskimi modeli potencial za visoko natančnost pri identifikaciji močnih gesel. Z nadaljnjim treniranjem obstoječih modelov ali vključitvijo dodatnih, na primer jezikovno specifičnih modelov (npr. za nemško jezikovno območje), bi lahko izboljšali konkurenčnost naše rešitve v primerjavi z uveljavljenimi merilniki.

LITERATURA

- [1] J. Galbally, I. Coisel, and I. Sanchez, »A probabilistic framework for improved password strength metrics,« in *2014 international carnahan conference on security technology (ICCSST)*, 2014, pp. 1–6. doi: 10.1109/CCST.2014.6986985.
- [2] B. Ye, Y. Guo, L. Zhang, and X. Guo, »An empirical study of mnemonic password creation tips,« *Computers & Security*, vol. 85, pp. 41–50, 2019, doi: 10.1016/j.cose.2019.04.009.
- [3] D. Pereira, J. F. Ferreira, and A. Mendes, »Evaluating the accuracy of password strength meters using off-the-shelf guessing attacks,« in *2020 IEEE international symposium on software reliability engineering workshops (ISSREW)*, 2020, pp. 237–242. doi: 10.1109/ISSREW51248.2020.00079.
- [4] J. Galbally, I. Coisel, and I. Sanchez, »A new multimodal approach for password strength estimation—part i: Theory and algorithms,« *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 12, no. 12, pp. 2829–2844, 2017, doi: 10.1109/TIFS.2016.2636092.
- [5] M. M. Taha, T. A. Alhaj, A. E. Moktar, A. H. Salim, and S. M. Abdullah, »On password strength measurements: Password entropy and password quality,« in *2013 international conference on computing, electrical and electronic engineering (ICCEEE)*, 2013, pp. 497–501. doi: 10.1109/ICCEEE.2013.6633989.
- [6] Q. Dong, C. Jia, F. Duan, and D. Wang, »RLS-PSM: A robust and accurate password strength meter based on reuse, leet and separation,« *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 16, pp. 4988–5002, 2021, doi: 10.1109/TIFS.2021.3107147.
- [7] M. Dupuis and F. Khan, »Effects of peer feedback on password strength,« in *2018 APWG symposium on electronic*

- crime research (eCrime)*, 2018, pp. 1–9. doi: 10.1109/ECRI-ME.2018.8376210.
- [8] R. Dubey and M. V. Martin, »Fool me once: A study of password selection evolution over the past decade,« in *2021 18th international conference on privacy, security and trust (PST)*, 2021, pp. 1–7. doi: 10.1109/PST52912.2021.9647823.
- [9] I. Mannuela, J. Putri, Michael, and M. S. Anggreainy, »Level of password vulnerability,« in *2021 1st international conference on computer science and artificial intelligence (ICCSAI)*, 2021, pp. 351–354. doi: 10.1109/ICCSAI53272.2021.9609778.
- [10] C. Brill and A. Olmsted, »Password reinforcement leveraging social media,« in *2016 international conference on information society (i-society)*, 2016, pp. 135–136. doi: 10.1109/i-Society.2016.7854197.
- [11] V. Taneski, M. Heričko, and B. Brumen, »Analysing real students' passwords and students' passwords characteristics received from a questionnaire,« in *2016 39th international convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO)*, 2016, pp. 1436–1441. doi: 10.1109/MIPRO.2016.7522365.
- [12] Google, »Create your google account.« [Online]. Available: <https://accounts.google.com/lifecycle/steps/signup/name>
- [13] Dropbox, »Login – dropbox.« [Online]. Available: <https://www.dropbox.com/register>
- [14] B. Ur *et al.*, »How does your password measure up? The effect of strength meters on password creation,« in *Proceedings of the 21st USENIX security symposium*, USENIX Association, 2012, p. 5. Available: <https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity12/technical-sessions/presentation/ur>
- [15] S. Egelman, A. Sotirakopoulos, I. Muslukhov, K. Beznosov, and C. Herley, »Does my password go up to eleven? The impact of password meters on password selection,« in *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, in CHI '13. New York, NY, USA: ACM, 2013, pp. 2379–2388. doi: 10.1145/2470654.2481329.
- [16] A. Vance, D. Eargle, K. Ouimet, and D. Straub, »Enhancing password security through interactive fear appeals: A web-based field experiment,« in *2013 46th hawaii international conference on system sciences*, 2013, pp. 2988–2997. doi: 10.1109/HICSS.2013.196.
- [17] D. He, B. Zhou, X. Yang, S. Chan, Y. Cheng, and N. Guiana, »Group password strength meter based on attention mechanism,« *IEEE Network*, vol. 34, no. 4, pp. 196–202, 2020, doi: 10.1109/MNET.001.1900482.
- [18] D. Wang, D. He, H. Cheng, and P. Wang, »fuzzyPSM: A new password strength meter using fuzzy probabilistic context-free grammars,« in *2016 46th annual IEEE/IFIP international conference on dependable systems and networks (DSN)*, 2016, pp. 595–606. doi: 10.1109/DSN.2016.60.
- [19] B. Pal, T. Daniel, R. Chatterjee, and T. Ristenpart, »Beyond credential stuffing: Password similarity models using neural networks,« in *2019 IEEE symposium on security and privacy (SP)*, 2019, pp. 417–434. doi: 10.1109/SP.2019.00056.
- [20] X. Cui, C. Li, Y. Qin, and Y. Ding, »A password strength evaluation algorithm based on sensitive personal information,« in *2020 IEEE 19th international conference on trust, security and privacy in computing and communications (TrustCom)*, 2020, pp. 1542–1545. doi: 10.1109/TrustCom50675.2020.00211.
- [21] PasswordMonster, »How secure is your password?« [Online]. Available: <https://www.passwordmonster.com/>
- [22] U. of Illinois Chicago, »Password strength test.« [Online]. Available: <https://www.uic.edu/apps/strong-password/>
- [23] Bitwarden, »Password strength testing tool.« [Online]. Available: <https://bitwarden.com/password-strength/>
- [24] PasswordMeter, »How secure is your password?« [Online]. Available: <https://passwordmeter.com/>
- [25] NordPass, »How secure is my password?« [Online]. Available: <https://nordpass.com/secure-password/>
- [26] Kaspersky, »How secure is my password?« [Online]. Available: <https://password.kaspersky.com/>
- [27] LastPass, »How secure is your password?« [Online]. Available: <https://lastpass.com/howsecure.php>
- [28] T. Hunt, »Pwned websites.« [Online]. Available: <https://haveibeenpwned.com/PwnedWebsites>
- [29] Dropbox, »Low-budget password strength estimation (zxcvbn).« [Online]. Available: <https://github.com/dropbox/zxcvbn>

Viktor Taneski je asistent na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, kjer je zaposlen od leta 2016. Doktoriral je iz računalništva na Univerzi v Mariboru, kjer je opravil tudi dodiplomski. Njegovo raziskovalno delo je usmerjeno v metode overjanja, preizkušanje varnosti sistemov (penetracijsko testiranje), kibernetsko varnost in spletni razvoj. Sodeloval je pri več evropskih raziskovalnih projektih, med drugim CyberSec4Europe in Smart Villages, ter pomembno prispeval k razvoju mobilnih in spletnih aplikacij. Poleg tega je organiziral in sodeloval na delavnicah, usposabljanjih in znanstvenih konferencah s področja kibernetske varnosti, kot sta OTS in SQAMIA. Kot recenzent je ocenjeval različne izobraževalne materiale, povezane z razvojem programske opreme in varnostjo. Z bogatim znanjem s področij programiranja, modeliranja sistemov in varnostnih praks aktivno prispeva k prenosu znanja skozi poučevanje in raziskovanje.

Raziskave **Marka Höblja** na področju kibernetske varnosti in zasebnosti zajemajo širok spekter tem, od kriptografije do uporabniških vidikov informacijske varnosti in zasebnosti. Trenutno je prodekan za raziskovalno dejavnost na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru (FERI UM), aktiven član in generalni sekretar CEPIS LSI, član delovne skupine ECSO (WG6), član izvršnega odbora sekcije slovenskega društva Informatika ter član Sekcije za kibernetsko varnost pri Gospodarski zbornici Slovenije.

mikrografija

PRIHRANIMO VAŠ ČAS.

Najboljši poslujejo brezpapirno.
Bodite med njimi tudi vi.

**Sodobne in celovite rešitve
obvladovanja dokumentacije.**

REŠITVE IN STORITVE



mDocs+
Certificirani
dokumentni sistem



mSign
E-podpisovanje
dokumentov



mSef
Certificirana
hramba



mScan
Certificirana rešitev
za skeniranje



mSlog
Izmenjava
e-računov



Fizična hramba,
skeniranje dokumentov in
uničenje dokumentacije



Svetovanje in ostale
certificirane storitve
ravnjanja z dokumenti

ZAKAJ IZBRATI NAS?

- ✓ Skladnost s slovensko zakonodajo.
- ✓ Skladnost z ISO 9001 in ISO 27001.
- ✓ Prisotnost v širši regiji.
- ✓ Fleksibilnost - storitve izvajamo v naših centrih ali na lokaciji naročnika.
- ✓ Nakup ali oblak? Nudimo vam oboje.
- ✓ Partnerstvo z vsemi proizvajalci vrhunske tehnologije na področju obvladovanja dokumentov.
- ✓ Z obvladovanjem in hrambo dokumentov se ukvarjamo že tretje desetletje
- ✓ Proizvodne zmogljivosti prilagodimo velikosti posameznih projektov.

AVSTRIJA

NEMČIJA

SLOVENIJA

HRVAŠKA

BOSNA IN
HERCEGOVINA

SRBIJA

MAKEDONIJA

KONTAKTIRAJTE NAS

080 51 15 | info@mikrografija.si
www.mikrografija.si

Okoljski vpliv in uporabniška izkušnja univerzitetnih spletnih strani

Maja Juntez, Alenka Baggia

Univerza v Mariboru, Fakulteta za organizacijske vede, Kidričeva cesta 55a, 4000 Kranj, Slovenija

maja.juntez@student.um.si, alenka.baggia@um.si

Izvleček

Z digitalizacijo se povečuje tudi okoljski vpliv storitev, zato postaja razumevanje in spremljanje okoljske trajnosti spletnih strani vse pomembnejše. V prispevku obravnavamo okoljsko trajnostnost spletnih mest na osnovi analize spletnih strani šestih slovenskih univerz. Osredotočili smo se na oceno ogljičnega odtisa in elemente tehnične optimizacije (hitrost, dostopnost, učinkovitost), na osnovi katerih gradimo uporabniško izkušnjo. Podatke smo pridobili s pomočjo orodij oziroma razširitev za oceno emisij ter orodij za oceno elementov tehnične optimizacije. Uporaba metrik okoljske učinkovitosti razvijalcem omogoča boljši vpogled v vpliv digitalnih storitev ter omogoča spremljanje vpliva sprememb oziroma izboljšav na okoljsko trajnostnost spletne strani. Rezultati kažejo, da obstaja povezava med stopnjo tehnične optimizacije strani in njenim ogljičnim odtisom. Najbolj učinkovito zasnovane strani (npr. Univerza v Ljubljani) dosegajo bistveno nižje emisije CO₂ na obisk, ne glede na visoko obiskanost. Ugotovitve prispevajo k razumevanju pomena integracije okoljskih kriterijev v procese digitalnega oblikovanja in upravljanja spletnih mest.

Ključne besede: okoljska trajnostnost, spletna stran, ogljični odtis, tehnična optimizacija, uporabniška izkušnja

Environmental Impact and User Experience of University Websites

Abstract

With digitalisation, the environmental impact of services also grows. Therefore, understanding and monitoring the environmental sustainability of websites is becoming increasingly important. This paper examines the environmental sustainability of websites through the analysis of web pages of six Slovenian universities. The primary focus was to assess the carbon footprint and elements of technical optimisation (speed, accessibility, efficiency), which form the basis of user experience. Data were collected using tools or browser extensions for the assessment of emissions and tools for the assessment of technical performance. The use of environmental performance metrics enables developers to gain clearer insight into the impact of digital services and to monitor how changes or improvements affect the environmental sustainability of a website. The findings indicate a correlation between the technical optimisation and the carbon footprint of a website. The most efficiently designed websites (e.g., University of Ljubljana) achieve significantly lower CO₂ emissions per visit, regardless of high traffic volumes. The findings of this study contribute to the understanding of the importance of integrating environmental criteria into the processes of digital design and website management.

Keywords: Environmental sustainability, web page, carbon footprint, technical optimization, user experience

1 UVOD

Hiter razvoj digitalnih tehnologij in naraščajoča odvisnost od spletnih storitev vse bolj zaznamujeta sodobni način življenja. Čeprav digitalizacija prinaša številne prednosti, kot sta večja učinkovitost in dostopnost storitev, pa njen vpliv na okolje ni zanemarljiv [1]. Kot navaja [2], je sektor informacijsko-ko-

munikacijskih tehnologij (IKT) že v letu 2020 porabil okrog 4 % globalne električne energije in povzročil kar 1,4 % globalnih emisij toplogrednih plinov. Vsaka dejavnost v digitalnem okolju (npr. ogled spletne strani, pošiljanje e-pošte, objava na družbenih omrežjih) pomeni porabo energije in virov. Podatki potujejo skozi energetska zahtevno infrastrukturo,

ki vključuje tudi velike, pogosto energetske požrešne podatkovne centre. Med ključnimi viri digitalnega ogljičnega odtisa so prav spletne strani in aplikacije, predvsem kompleksnejše, z multimedijo bogate strani. [3] navajata, da povprečna spletna stran ustvari približno 1,76 grama emisij ogljikovega dioksida (CO_2) na obisk. Spletna stran s približno 10.000 ogledi na mesec tako letno prispeva okoli 211 kg emisij CO_2 . Kot navaja [4] lahko strani z vključenim videom dosežajo emisije okoli 10 g CO_2 na obisk, minimalistično oblikovane strani pa manj kot 0,3 g.

Vrednost globalnih emisij, ki jih povzroča IKT, naj bi se, predvsem zaradi hitre digitalizacije, po nekaterih napovedih do leta 2040 povišala kar za 14 % [1]. Tovrstne napovedi poudarjajo nujnost pri usklajevanju digitalnega razvoja z načeli trajnostnega razvoja v skladu z Agendo 2030 za trajnostni razvoj. Agenda 2030 združuje tri razsežnosti trajnostnega razvoja (ekonomsko, družbeno in okoljsko) v 17 ciljih trajnostnega razvoja [5].

Naša raziskava se neposredno navezuje na cilj št. 13 – Podnebni ukrepi, ki poziva k zmanjšanju emisij zaradi višjih temperatur in rekordnih koncentracij CO_2 [6]. Namen raziskave je oceniti ogljični odtis domačih spletnih strani šestih slovenskih univerz ter raziskati, kako so tehnični dejavniki, ki vplivajo na uporabniško izkušnjo (ang. User Experience - UX), povezani z ogljičnim odtisom spletne strani. V raziskavi se osredotočamo na naslednje raziskovalno vprašanje: Kako se okoljska trajnostnost spletnih mest slovenskih univerz povezuje z njihovo tehnično učinkovitostjo, ki zagotavlja boljšo uporabniško izkušnjo?

V nadaljevanju predstavljamo nekaj teoretičnih izhodišč, kjer posebej izpostavimo trajnostno spletno oblikovanje in zeleno uporabniško izkušnjo. Sledi opredelitev metodologije in predstavitev raziskave, ki smo jo izvedli s pomočjo več orodij oziroma razširitev brskalnikov. V diskusiji razpravljamo o rezultatih analize in predstavljamo omejitve raziskave.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Zelene informacijske tehnologije oziroma informacijski sistemi (ang. Green IT/IS) predstavljajo celosten pristop k zmanjševanju okoljskega odtisa IKT, ki vključuje energetske učinkovite strojno in programsko opremo ter organizacijske pobude, ki zmanjšujejo okoljski vpliv dejavnosti podprte z IKT [7]. Ker napovedi kažejo, da se bo globalna poraba energije

podatkovnih centrov do leta 2030 zvišala tudi do 21 % [8], strokovnjaki pozivajo k zmanjšanju porabe energije. Čeprav večji del porabe energije predstavlja učenje in uporaba energetske zelo potratne umetne inteligence, pa tudi obseg ostalih podatkov ni zanemarljiv. Nekateri raziskovalci tako pozivajo razvijalce, naj postanejo bolj aktivni pri razvoju okolju prijaznih rešitev [9]. Razvoj energetske učinkovite programske opreme ni preprost, saj zahteva spremembo mišljenja razvijalcev in oblikovalcev programske opreme. Obstajajo prakse, kot sta prestrukturiranje (ang. refactoring) kode in samo-prilagajanje delovanja programov, ki omogočajo manjšo porabo energije tudi brez izgube funkcionalnosti [10]. Pojavljajo se tudi pobude za standardizacijo na področju trajnostnega razvoja programske opreme [11], ki združujejo tehnološka podjetja in strokovnjake z namenom oblikovati smernice za razvoj energetske učinkovitih programskih rešitev [12]. Na osnovi teh pobud, je bil oblikovan tudi standard za izračun ogljičnega odtisa programske opreme [13].

2.1 Trajnostno spletno oblikovanje

Trajnostno spletno oblikovanje (ang. Sustainable web design) pomeni uporabo načel Green IT pri razvoju spletnih strani in aplikacij, z namenom znižati njihovo porabo energije in ogljični odtis [14], obenem pa ohraniti ali izboljšati UX. Spletne strani predstavljajo pomemben delež internetnega prometa, zato njihova optimizacija ni zanemarljiva. Vsak prenos podatkov (HTML, slike, videoposnetki, skripte) zahteva energijo na strežniku, v omrežju in na napravi uporabnika. Priporočila za razvoj optimiziranih oziroma »lažjih«, hitrih in učinkovitih spletnih strani poudarjajo pomen minimalistične zasnove. Z odstranjevanjem nebitvenih elementov, optimizacijo slik, uporabo sodobnih formatov in tehnik kot je zakasnjeno nalaganje (ang. lazy loading), zmanjšamo količino podatkov za prenos in obdelavo [15]. Kakovost kode ima zelo velik vpliv na učinkovitost spletne strani, saj lahko z učinkovitim programiranjem uporabimo manj skript, manj strežniških zahtev in tako manj obremenimo sistem. Pomemben del trajnostnega spletnega oblikovanja je tudi izbira infrastrukture. Poskrbeti moramo, da spletne strani gostujejo na strežnikih, ki uporabljajo obnovljivo energijo ali na druge načine zmanjšujejo ogljični odtis – temu rečemo tudi zeleno gostovanje (ang. Green hosting) [14]. Ko je spletna stran razvita, pa je priporočljivo spre-

mljati njen ogljični odtis [15], ter na osnovi rezultatov redno izvajati optimizacijo.

Vsaka interakcija na spletu, od nalaganja strani do iskanja, za seboj pušča ogljični odtis zaradi porabe energije v podatkovnih centrih, omrežjih in uporabniških napravah. Analiza 93 španskih univerzitetnih spletnih strani je razkrila, da jih le 17 % izpolnjuje kriterije za okolju prijazno spletno stran [16]. Razlike med stranmi so bile velike, večina strani je bila slabo ocenjena, prav nobena stran pa ni bila ocenjena z najboljšo oceno A+ (najmanj CO₂ emisij). Raziskava je med drugim potrdila tudi to, da najnižje emisije dosežejo strani, ki imajo učinkovito zasnovano in uporabljajo zeleno energijo.

Za oceno ogljičnega odtisa spletnega mesta so na voljo različna prosto dostopna orodja v obliki spletnih aplikacij, razširitev ali kalkulatorjev. Orodja omogočajo oceno energetske porabe in emisij CO₂ na podlagi različnih tehničnih parametrov spletne strani, kot so velikost, število zahtevkov in vrsta gostovanja. Globemallow [17] je brezplačna razširitev za brskalnike namenjena analizi okoljske učinkovitosti spletne strani, ki na podlagi velikosti strani, barve ozadja, formata in velikosti slik ter vrste gostovanja oceni energetske porabo in ogljični odtis na posamezen obisk spletne strani. Razširitev poda trajnostno oceno strani in generira poročilo s tehničnimi podatki in priporočili za izboljšave. GreenIT Analysis [18] je razširitev za brskalnike, ki izračuna EcoIndex (oceno učinkovitosti spletne strani, ki temelji na številu DOM elementov, HTTP zahtevkov in velikosti prenesenih podatkov). Orodje hkrati preveri tudi upoštevanje 115 dobrih praks odgovornega spletnega oblikovanja [19] ter predlaga ukrepe za izboljšave. Website Footprint [20] je razširitev za spletni brskalnik, ki prav tako prikaže ogljični odtis obiskane strani. Poda tudi informacije o tekoči seji: prikaže število vseh obiskanih strani, ogljični odtis celotne seje in ekvivalent porabe premoga, da si uporabnik lažje predstavlja tveganje za okolje. Brezplačno spletno orodje Ecograder na osnovi vnešenega URL-ja, s pomočjo odprtokodne knjižnice CO₂.js in metrikami orodja Google Lighthouse, izračuna količino CO₂ emisij na obisk spletne strani [21]. Pri tem upošteva regionalne podatke o ogljični intenzivnosti in informacijo o vrsti gostovanja. Drugo brezplačno spletno orodje Digital Beacon ogljični odtis strani izračuna na osnovi modela OneByte. V poročilu, ki vključuje oceno ekvivalenta CO₂ emisij, porabo razčleni glede na vrsto

vira ter predlaga možne izboljšave [22]. Podobno kot Ecograder, je tudi Website Carbon Calculator osnovan na Sustainable Web Design (SWD) modelu [23]. Website Carbon Calculator simulira nalaganje strani, izmeri količino prenesenih podatkov in izračuna porabo energije, nato pa upošteva obisk strani, preveri vrsto gostovanja in oceni ogljični odtis [24].

Za celovito oceno okoljskega vpliva spletnega mesta je treba upoštevati tudi podatke o prometu (številu, trajanju obiskov). Za pridobivanje teh podatkov lahko uporabimo različna orodja, kot so Google Analytics, SEMrush, Ahrefs ali Similarweb. Glede na dostopnost in primerjalne analize, se, kot posebej uporabno, izpostavlja orodje Similarweb [25]. Orodje Similarweb [26] omogoča vpogled v metrike spletnega mesta, kot so število obiskov, trajanje obiska, stopnja odboja ter viri prometa. Gre za globalno analitično platformo, ki podatke zbira iz različnih javno dostopnih virov, vključno z anonimiziranimi podatki iz brskalniških vtičnikov, jih agregira in obdela.

2.2 Zelena uporabniška izkušnja

UX je skupek dožemanj in reakcij uporabnikov, ki nastanejo zaradi njihove interakcije z izdelkom, sistemom ali storitvijo [27]. Pri digitalnih rešitvah je UX tesno povezana s tehnično učinkovitostjo sistema. Spletna stran, ki se hitro naloži, tekoče deluje in je odzivna, ni le prijaznejša uporabniku, temveč porabi manj procesorske moči in energije [3]. V praksi se za analizo zmogljivosti, dostopnosti, uporabi najboljših praks, optimizacijo za iskalnike in UX najpogosteje uporabljata orodji Google Lighthouse in Google PageSpeed Insights. Google Lighthouse je odprtokodno orodje za samodejno ocenjevanje kakovosti spletnih strani, ki izvede vrsto testov in pripravi podrobno poročilo o uspešnosti strani. Na voljo je v različnih oblikah, namenjeno pa predvsem razvijalcem [28]. Google PageSpeed Insights (PSI) je prav tako brezplačno spletno orodje za analizo zmogljivosti spletnih strani. Orodje meri UX na mobilnih in namiznih napravah ter podaja priporočila za izboljšave [29]. Ključni kazalniki povezani z uporabniško izkušnjo (ang. Core Web Vitals, CWV) merijo hitrost nalaganja oz. čas prikaza največjega vsebinskega elementa (ang. Largest Contentful Paint, LCP), odzivnost oz. interaktivnost (ang. Interaction to Next Paint, INP) in vizualno stabilnost strani oz. kumulativni premik postavitve (ang. Cumulative Layout Shift, CLS). Poleg tega lahko pridobimo tudi podatke o času do prve

vsebine (ang. First Contentful Paint, FCP) ter času do prvega bajta (ang. Time to First Byte, TTFB) [30].

Oblikovalci UX ugotavljajo, da z energetsko učinkovitim oblikovanjem (npr. zamiki pri nalaganju podatkov, pametno nalaganje vsebine) lahko izboljšajo UX in hkrati zmanjšajo porabo virov [31]. V idealnem primeru sta UX in tehnična učinkovitost usklajena cilja: hitrejša in učinkovitejša spletna aplikacija pogosto vodi v višjo stopnjo zadovoljstva uporabnika in manjšo porabo virov [32]. Po drugi strani pa bogata večpredstavna vsebina, visoke ločljivosti slik in videov ali interaktivne funkcionalnosti prispevajo k večji privlačnosti za uporabnike, a hkrati povečajo porabo podatkov in energije. Pogosto se pojavi problem tako imenovane funkcionalne zasičenosti, ko programska oprema z vsako nadgradnjo in dodajanjem novih funkcionalnosti v ozadju zahteva več moči procesorja in prenosa [12].

Zelena UX (ang. Green UX) je filozofija in praksa oblikovanja UX, ki izrecno upošteva okoljsko trajnostnost. Medtem ko se tradicionalni UX osredotoča na zadovoljstvo, učinkovitost in potrebe uporabnikov, zelena UX dodaja še eno dimenzijo: zmanjšanje okoljskega vpliva digitalnih produktov v vsaki fazi življenjskega cikla [12]. Cilj zelene UX je torej oblikovati trajnostne rešitve, ki uporabnika spodbudijo k okoljsko odgovornemu vedenju, ne da bi pri tem ogrozili uporabnost produkta. Ključni principi zelene UX se prekrivajo z načeli trajnostnega spletnega oblikovanja, vendar bolj poudarjajo vlogo uporabnika. Sem sodijo zmanjševanje podatkovnega balasta (ciljno usmerjene informacije), optimizacija shranjevanja (npr. spodbujanje brisanja starih datotek), odgovorna raba infrastrukture (npr. obveščanje o nastavitvah, ki vplivajo na porabo) ter privzete trajnostne nastavitve [33]. Oblikovalci imajo pomembno vlogo pri posredovanju okoljskih informacij uporabe produkta, na primer z vključevanjem poročil ali posebnih oznak v vmesniku [12] in usmerjanju uporabnika k okoljsko boljšim izbiram. Zelena UX torej ne prenaša odgovornosti za okoljski vpliv na uporabnika temveč z ustreznim načrtovanjem digitalnega produkta skrbi za minimalen okoljski odtis ter širjenje vrednot okoljske trajnostnosti.

3 METODOLOGIJA

V okviru raziskave smo želeli oceniti in primerjati ogljični odtis spletnih strani šestih slovenskih univerz, raziskati vpliv števila obiskov strani, ter ovre-

dnotiti vpliv izbranih tehničnih dejavnikov, ki vplivajo na uporabniško izkušnjo in ogljični odtis. S tem želimo poiskati odgovor na raziskovalno vprašanje: *Kako se okoljska trajnostnost spletnih mest slovenskih univerz povezuje z njihovo tehnično učinkovitostjo in uporabniško izkušnjo?*

Raziskava je bila zasnovana kot kombinacija kvantitativne analize (meritve okoljskih in tehničnih parametrov izbranih spletnih strani) in primerjalne študije primerov (medsebojna primerjava rezultatov izbranih spletnih strani). Izbrali smo spletne strani šestih javnih slovenskih univerz, ki kot največje visokošolske ustanove omogočajo reprezentativno primerjavo stanja digitalne prisotnosti in spletne optimizacije v Sloveniji. Nacionalna agencija Republike Slovenije za kakovost v visokem šolstvu [34] sicer navaja osem institucij, vendar dveh institucij nismo izbrali, ker imata drugačen status in nista popolnoma primerljivi z drugimi. Analizirali smo uradne domače spletne strani naslednjih univerz:

- Univerza v Ljubljani (UL), spletni naslov: <https://www.uni-lj.si/>
- Univerza v Mariboru (UM), spletni naslov: <https://www.um.si/>
- Univerza na Primorskem (UPR), spletni naslov: <https://www.upr.si/>
- Univerza v Novi Gorici (UNG), spletni naslov: <https://ung.si/>
- Nova univerza (NU), spletni naslov: <https://www.nova-uni.si/>
- Univerza v Novem mestu (UNM), spletni naslov: <https://uni-nm.si/>

Kot smo zapisali v teoretičnih izhodiščih, za izračun ogljičnega odtisa spletne strani obstaja več različnih orodij, ki temeljijo na različnih metodologijah in kazalnikih. Za kvantitativno oceno ogljičnega odtisa in trajnostnih lastnosti spletnih strani smo uporabili več orodij, da bi zagotovili širši in zanesljivejši vpogled v okoljsko učinkovitost analiziranih strani:

- Globemallow [17] – poda oceno okoljske trajnosti spletnega mesta (ocene v razredu A-F), energijsko porabo (kWh), število emisij CO₂ in izčrpen tehnični pregled (velikost strani, število zahtevkov, delež elementov z odloženim nalaganjem ipd.). Uporabili smo ga za beleženje trajnostne ocene (ogljčni odtis in energetski kazalniki) ter tehničnih kazalnikov za nadaljnjo analizo.

- GreenIT-Analysis [18] – omogoča izračun indeksa učinkovitosti EcoIndex (0-100, preslikan v razred A-G) in oceno emisij CO₂ na ogled strani. Zabeležili smo EcoIndex oceno in količino ogljičnih emisij na obisk.
- Website Footprint [20] – izračuna ogljični odtis spletne strani na obisk. Za vsako stran smo evidentirali izračunane emisije CO₂ na obisk.
- Ecograder [21] – poda točkovno oceno okoljske trajnosti (0-100, pretvorjeno v ocene A-E) in oce- ni emisije na obisk. Prav tako omogoča izračun skupnih emisij glede na promet. Zabeležili smo trajnostno oceno strani, emisije CO₂ na obisk ter ocenjeno skupno mesečno količino CO₂ (na podlagi podatkov o obisku).
- Digital Beacon [22] – dodeli oceno okoljske trajnosti (A+ do F) in prikaže ogljični odtis na obisk. Posebnost orodja je podrobna razčlenitev vsebin strani po kategorijah (slike, skripti, pisave, CSS itd.) z njihovimi prispevki k skupni velikosti in emisijam. Beležili smo skupno oceno, emisije na obisk ter porazdelitev velikosti strani in emisij po vrstah vsebin.
- Website Carbon Calculator [24] – poda oceno okoljske trajnosti (A-F), oce- ni emisije CO₂ na ogled in na letni ravni ter izračuna skupne emisije. Zabeležili smo trajnostno oceno, emisije na obisk in ocenjene letne emisije CO₂. To orodje dodatno oce- ni tudi porabo energije in vode, povezano z delovanjem strani – s pomočjo njegovih izračunov smo ocenili mesečno porabo električne energije (kWh).

Spletno orodje Digital Beacon uporablja model OneByte, ki količino emisij izračuna na podlagi prenešenih »bajtov« oz. podatkov. Orodje Website Carbon Calculator in Ecograder temeljita na SWD modelu, ki upošteva oceno porabe energije v podatkovnih centrih, omrežjih, uporabniških napravah in pri proizvodnji opreme [35]. GreenIT-Analysis poda oceno EcoIndex, ki temelji na strukturnih značilnostih spletne strani (število DOM elementov, število HTTP zahtevkov, velikost strani). Od preostalih dveh orodij Globemallow uporablja lastne metode izračuna ogljičnega odtisa, medtem ko o metodologiji, ki jo uporablja Website Footprint, ni na voljo dovolj informacij. Vsa omenjena orodja in razširitve analizirajo le izbrano (posamezno) spletno stran v brskalniku (podano s pripadajočim URL-jem, ali v primeru upo-

rabe razširitve, tisto, ki je trenutno obiskana) in ne celotnega spletnega mesta oz. njegovih podstrani ali poddomen. Če bi želeli analizirati več spletnih strani (ali pa spletno stran in njene podstrani ali poddomene), bi morali, z večino omenjenih orodij (izjema je GreenIT-Analysis, ki omogoča shranjevanje zgodovine), to storiti ločeno oz. za vsak posamezen URL.

Za preučevanje obiskanosti spletnih mest smo uporabili orodje SimilarWeb, ki nudi ocene mesečnega števila obiskov. Te podatke smo nato uporabili za preračun skupnega mesečnega ogljičnega odtisa (emisije na obisk pomnožene s številom obiskov na mesec).

Analizirali smo tudi tehnične dejavnike, ki vplivajo na uporabniško izkušnjo in posredno tudi na okoljsko trajnost spletnih mest. Z orodjem Google PSI smo pridobili vrednosti metrik CWV (LCP, INP in CLS), FCP ter TTFB (osredotočili smo se le na prikaz strani v namiznem načinu).

Vsi podatki so bili zbrani istega dne in v enakih pogojih. Postopek je bil za vsako od šestih spletnih strani enak: najprej smo odprli domačo spletno stran v brskalniku Chrome in zaporedno uporabili posamezne razširitve za ogljični odtis (Globemallow, GreenIT-Analysis, Website Footprint) ter zabeležili rezultate. Nato smo URL vnesli v spletna orodja (EcoGrader, Digital Beacon, Website Carbon) in prav tako zabeležili rezultate. V obeh primerih (razširitve in spletna orodja) je bila analiza omejena na domače spletne strani, saj so te običajno vsebinsko »najbogatejše« (veliko informacij, multimedijskih vsebin, člankov,...). Podstrani in poddomen v analizo nismo vključili. Pri uporabi spletnih orodij smo bili pozorni, da so bile nastavitve privzete in da smo pri vseh uporabili isto vhodno informacijo (URL in če je bilo mogoče tudi mesečni obisk v marcu 2025). Podatke o številu mesečnih obiskov smo pridobili z orodjem Similarweb. Vrednosti smo zbrali v ločeni tabeli in jih nato uporabili za preračun emisij na osnovi mesečne uporabe. V naslednjem koraku smo v brskalniku Chrome uporabili orodje Google PSI. Opravili smo analizo za vsak posamezen URL in zabeležili rezultate prej omenjenih metrik. Pri tem smo upoštevali mejne vrednosti metrik kot prikazuje Tabela 1 [30].

Tabela 1: Referenčne vrednosti Core Web Vitals.

Metrika	Dobro	Potrebne izboljšave	Slabo
LCP	< 2,5 s	2,5-4 s	> 4 s
INP	< 200 ms	200-500 ms	> 500 ms
CLS	< 0,1	0,1-0,25	> 0,25
FCP	< 1,8 s	1,8-3,0 s	> 3,0 s
TTFB	< 800 ms	800-1800 ms	> 1800 ms

Zbrane podatke smo uredili v preglednice po vsebinskih sklopih, zabeležili smo ocene okoljske trajnosti, emisije CO₂ na obisk, preračunane mesečne emisije za vsako stran. Izračunali smo povprečno emisijo na obisk za vsako stran (povprečje 6 orodij) ter rangirali strani glede na ogljični odtis. Podobno smo obdelali podatke o porabi energije. Tehnične metrike UX smo združili v preglednice. Ločeno smo pripravili tudi preglednico o sestavi strani v obliki deležev kategorij (slike, skripti itd.) za vsako spletno stran.

4 RAZISKAVA

V okviru raziskave smo s pomočjo razširitev in spletnih orodij izvedli analize spletnih strani šestih slovenskih univerz. Prvi sklop analiz je vezan na tehnične elemente spletne strani, s katerimi dosegamo boljšo UX, drugi sklop pa na kazalnike okoljske trajnosti spletnih strani.

4.1 Analiza tehničnih elementov spletne strani

Na UX vplivamo z različnimi tehničnimi značilnostmi spletne strani, ki jih med drugim obravnavajo tudi kazalniki CWV. S pomočjo orodja Google PSI smo pridobili oceno in posamezne meritve CWV za

vseh 6 spletnih strani (tabela 2). Kot je razvidno iz tabele, ima polovica strani ustrezne metrike, polovica pa ne. Celice z rezultati posameznih metrik so obarvane zeleno v primeru dobrega rezultata, oranžno v primeru rezultata, ki potrebuje izboljšave ter rdeče v primeru slabega rezultata. Spletna stran UNG izstopa z odlično strežniško odzivnostjo in skoraj brezhibno vizualno stabilnostjo. Vse ključne metrike (LCP, INP in CLS) so pod priporočenimi mejami, kar omogoča hitro in nemoteno uporabniško izkušnjo. Malenkost zaostaja stran UNM, ki ji lahko pripišemo skoraj enako raven kakovosti. Ustrezne metrike ima tudi stran UL, kjer pa bi lahko izboljšali prikaz prve vsebine. Strani UPR in NU se ponašata z dobrim časom nalaganja glavnih vsebin, vendar nimata dobre vizualne stabilnosti (CLS). Nadalje manjkajoče ocene pri spletni strani NU zamegljijo oceno interaktivnosti. Najslabše rezultate ima stran UM, ki jo bremenita počasno nalaganje in nestabilna postavitev.

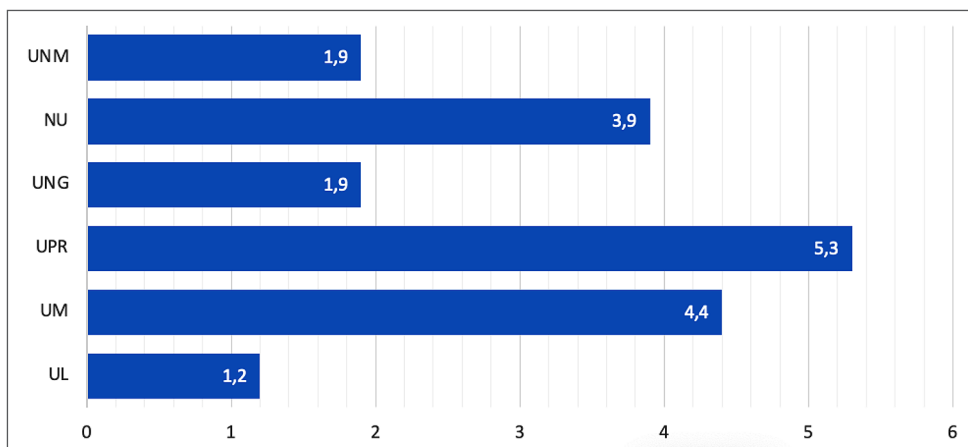
Spletni strani UL in UNG sta sistematično najhitrejši in najstabilnejši, medtem ko spletni strani UM in NU potrebujeta celovitejšo optimizacijo hitrosti nalaganja in vizualne stabilnosti. Spletna stran UPR se uvršča na sredino.

Pri nalaganju spletne strani je ključnega pomena tudi velikost spletne strani oziroma koliko megabajtov podatkov mora brskalnik prenesti ob prvem obisku strani. Nekatera od orodij (Globemallow, Digital Beacon in Ecograder) podajo tudi oceno velikosti spletne strani. Na osnovi zbranih podatkov smo izračunali povprečno velikost spletne strani (slika 1). Spletna stran UL je ocenjena kot najmanjša, kar kaže na zelo varčno zasnovo strani. Sledita ji strani UNG in UNM, najmanj varčni pa sta strani UM in UPR.

Tabela 2: Rezultati Core Web Vitals.

Metrika	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
Ocena	Ustrezno	Neustrezno	Neustrezno	Ustrezno	Neustrezno	Ustrezno
LCP [s]	2.3	4.5	1.4	0.9	1.3	1.2
INP [ms]	23	56	29	15	N/A	34
CLS	0	0.32	0.28	0.01	0.25	0.06
FCP [s]	2.1	3.6	1.3	0.8	1	0.8
TTFB [s]	1.9	1.1	0.9	0.4	N/A	0.3

Legenda: Rezultati znotraj tabele so obarvani glede na referenčne vrednosti Core Web Vitals: zelena = dobro, znotraj priporočil; oranžna = na meji, potrebne izboljšave; rdeča = slabo, izven priporočil; siva = »N/A«, podatek ni na voljo



Slika 1: Ocena velikosti spletne strani (MB).

Tabela 3: Sestava spletnih strani (v %).

Kategorija	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
Dokument	1,4	0,6	1,8	0,5	0,4	0,6
Slogovne datoteke (CSS)	2,8	1,7	5,4	4,3	1,2	3,0
Slike	78,2	87,5	48,3	71,2	84,6	48,7
Skripte (JS)	6,5	7,7	28,8	16,7	8,5	15,2
Pisava	11,2	2,5	6,3	7,3	5,3	32,4
XHR	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
Fetch	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Drugo	0,0	0,0	9,4	0,0	0,0	0,0

S pomočjo poročil orodja Digital Beacon smo lahko ocenili tudi sestavo spletne strani. Skupna velikost nam je sicer omogočila pregled velikosti strani, ne razkrije pa, kateri elementi so glavni povzročitelji – slike, obsežni skripti, pisave ali drugi. To je pomembno, saj vsak element zahteva drugačne optimizacijske ukrepe in drugače vpliva na ogliščni odtis. Na osnovi ocene velikosti posamezne kategorije in

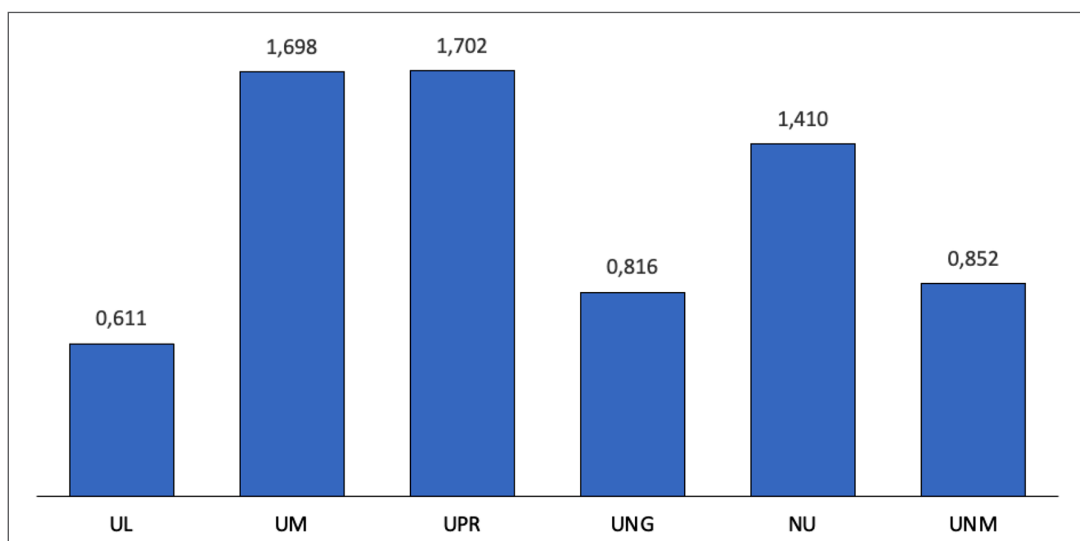
skupne velikosti strani smo izračunali prispevek vsake kategorije elementov (tabela 3).

Preračun pokaže, da največji delež na vseh analiziranih straneh predstavljajo slike, sledijo jim skripte JavaScript in pisave. V vseh primerih najmanjši zahtevki tipa XHR (XMLHttpRequest) in fetch, ki se uporabljajo za asinhroni prenos podatkov med brskalnikom in strežnikom.

Tabela 4: Ocene okoljske trajnosti slovenskih univerz.

Orodje	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
Globemallow	A	C-	C+	B-	C+	B-
Website Footprint	B	F	F	D	F	C
GreenIT-Analysis	C	D	C	B	C	C
Website Carbon Calculator	B	F	F	C	F	C
Digital beacon	C	F	F	D	F	D
Ecograder	C	E	E	D	E	D

Legenda: Barva ozadja celice označuje razvrstitev ocen po posameznem orodju: zelena = najvišja ocena, najbolj trajnostna stran; rdeča = najnižja ocena, najmanj trajnostna stran; bela = vmesne ocene

Slika 2: Ocena povprečne vrednosti emisij CO₂ (g) na obisk spletne strani.

4.2 Okoljska trajnost spletnih strani

Orodja, ki smo jih uporabili za oceno okoljske trajnosti spletnih strani uporabljajo različne ocenjevalne lestvice. Večina najboljše spletno stran (z najmanj vpliva na okolje) oceni z oceno A (tudi A+, A-), najslabšo pa z oceno F (oziroma v primeru orodja Ecograder z oceno E). V tabeli 4 so prikazane ocene okoljske trajnosti spletnih strani izbranih slovenskih univerz z različnimi orodji.

Kot je razvidno iz tabele 3, se ocene, pridobljene z različnimi orodji, v nekaterih primerih pomembno razlikujejo. V tem primeru izstopa orodje GreenIT-

-Analysis, ki je za razliko od ostalih orodij najvišjo oceno dodelilo spletni strani UNG. Ne glede na metodološke razlike med orodji, se spletna stran UL uvršča med najbolj okoljsko trajnostne, medtem ko imajo spletne strani UM, UPR in NU najnižje ocene.

Da bi dobili podrobnejše rezultate, smo zbrali tudi podatke o emisijah CO₂ (g) na obisk spletne strani. Podobno kot pri oceni okoljske trajnosti so se tudi v tem primeru rezultati posameznih orodij razlikovali, zato smo izračunali povprečja, kot prikazuje slika 2.

Nekatera orodja omogočajo tudi izračun mesečnih emisij CO₂ (Website Carbon Calculator, Digital

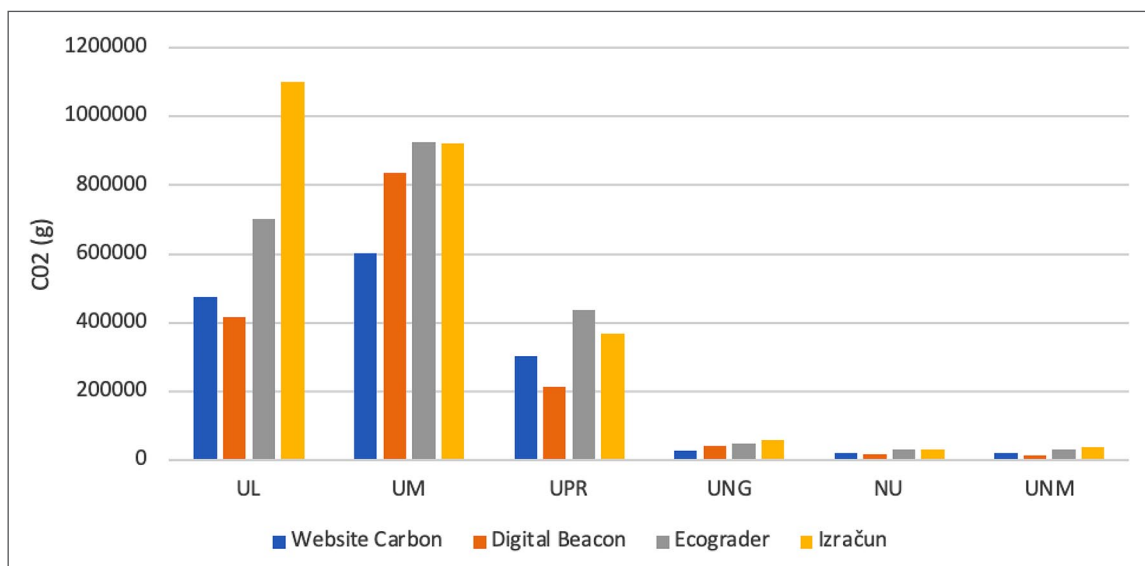
Slika 3: Ocena mesečnih emisij CO₂ na obisk spletne strani.

Tabela 5: Ocena mesečne porabe električne energije (kWh).

Orodje	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
Globemallow	306	406,50	114,32	14	10,03	10,85
Website Carbon Calculator	1236,42	1359,67	788,83	61,50	44,00	45,92
Povprečje	771,21	883,08	451,58	37,75	27,02	28,38

Beacon in Ecograder), pri čemer uporabljajo podatke o povprečnem mesečnem obisku spletnih strani. Ker orodje Website Carbon Calculator izračuna letno količino emisij, smo vrednosti delili z 12. Pripravili pa smo tudi lastni izračun, pri katerem smo upoštevali podatke o povprečni količini emisij na obisk ter število obiskov pridobljeno s pomočjo orodja Similarweb. Kot prikazuje slika 3, smo tudi v tem primeru dobili precej različne rezultate pri posameznem orodju oziroma lastnem izračunu.

Na sliki 3 lahko opazimo izstopajoče količine emisij pri spletnih straneh UL in UM. Pri UL se ocene gibljejo od 416 kg do 1100 kg, medtem ko se pri UM ocene gibljejo od 600 kg do skoraj 930 kg. Čeprav ima UL več kot trikrat večji obisk kot UM (v marcu 2025 UL 1,8 M, UM pa 0,54 M), so skupne mesečne vrednosti emisij skoraj enake. Nekaj manj emisij CO₂ ima glede na ocene spletna stran UPR, kjer se vrednosti gibljejo med 200 in 438 kg. Rezultati ostalih 3 spletnih strani so na sliki komaj vidni, saj dosežejo le do 50 kg.

S pomočjo orodij Globemallow in Website Carbon Calculator smo pridobili tudi podatke o porabi električne energije. Pri tem smo morali podatke ustrezno dopolniti, saj Globemallow oceni porabo električne energije na obisk strani, Website Carbon Calculator pa letno porabo električne energije. Za primerjavo vrednosti smo morali torej rezultate prvega pomnožiti s številom obiskov na mesec, rezultate drugega

pa deliti z 12. Rezultate grobe ocene porabe električne energije prikazujemo v tabeli 5.

Kot je razvidno iz tabele 4, je glede na ocene največji porabnik električne energije spletna stran UM, najmanjša pa sta NU in UNM, ki imata tudi izrazito manjše število mesečnih obiskov. Pri tem je treba poudariti, da le 2 spletni strani uporabljata zeleno gostovanje, to sta UL in UPR.

Digital Beacon izvede/opravi izračun ogljičnega odtisa tudi po posameznih kategorijah elementov spletnih strani. Zajeti podatki so predstavljeni v tabeli 6.

Kot smo lahko pričakovali, največji delež emisij predstavljajo slike, sledijo pa skripte JavaScript. Opis sestave spletne strani ponuja tudi orodje Ecograder. Pridobljeni rezultati so pokazali podobne rezultate kot analiza z orodjem Digital Beacon, zato jih na tem mestu ne bomo posebej predstavljali.

Pomemben podatek pri ugotavljanju ogljičnega odtisa je tudi število zahtevkov, ki jih pri posamezni kategoriji elementov zabeleži spletna stran (tabela 7).

Najbolj razdrobljena je spletna stran UPR, ki ob prvem nalaganju sproži kar 119 zahtevkov, med njimi 32 ločenih slogovnih datotek ter po 33 posameznih slik in skript. Najbolj kompaktni sta strani UL in UNG, s 25 oziroma 30 zahtevki. Z zgolj 12 oziroma 21 slikovnimi zahtevki ter dvema do tremi slogovnimi datotekami imata ti dve strani med vsemi analiziranimi najnižjo kompleksnost nalaganja vsebin, kar

Tabela 6: Ogljični odtis posameznih kategorij spletnih strani v g CO₂.

Kategorija	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
Dokument	0,005	0,009	0,032	0,003	0,005	0,004
Slogovne datoteke (CSS)	0,010	0,026	0,096	0,026	0,016	0,019
Slike	0,277	1,382	0,888	0,448	1,154	0,310
Skripte (JS)	0,023	0,118	0,526	0,103	0,113	0,098
Pisava	0,04	0,038	0,113	0,045	0,070	0,208
XHR	0	0,002	0	0	0,001	0,001
Fetch	0	0	0	0	0	0
Drugo	0	0	0,168	0	0	0

Tabela 7: Število zahtevkov za posamezno kategorijo na spletni strani.

Kategorija	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
Dokument	1	1	5	1	1	1
Slogovne datoteke (CSS)	2	6	32	3	13	3
Slike	12	58	33	21	45	23
Skripte (JS)	6	23	33	3	19	4
Pisava	4	7	13	2	4	7
XHR	0	1	0	0	2	2
Fetch	0	1	1	0	1	1
Drugo	0	0	2	0	0	0
Skupaj:	25	97	119	30	85	41

pomembno prispeva k njunemu nizkemu ogljičnemu odtisu.

Orodje Globemallow z zmogljivostjo in trajnostjo spletne strani povezuje še nekatere druge oblikovne elemente, ki so prikazani v tabeli 8.

Število glavnih HTML strani je pri večini kategorij enako (1), z izjemo spletne strani UPR, ki jih ima 5. Časi nalaganja strani se kar močno razlikujejo. Najhitreje se naložita strani UNG in UNM, najpočasneje pa spletna stran UM. Samo spletni strani UL in UNG uporabljata strategijo zakasnjenege nalaganja slik. Do velikih razlik prihaja tudi v uporabi odzivnih slik, in sicer največji odstotek odzivnih slik je na spletni strani UL, sledi ji UPR, nekaj malega jih uporablja stran UNG, strani UM in UNG pa jih ne uporabljata. Zunanje (uvožene) pisave uporabljajo spletne strani UM, UPR in UNG, medtem ko jih ostale ne. Razlike so prisotne tudi pri upravljanju s slogovnimi predlogami, UL ima predpomnjene vse slogovne predloge, medtem ostale spletne strani uporabljajo različno število zunanjih slogovnih predlog.

5 DISKUSIJA

Rezultati raziskave kažejo, da pri spletnih straneh šestih slovenskih univerz obstajajo izrazite razlike v ogljičnem odtisu. Povprečne emisije CO₂ na obisk segajo od 0,611 g (UL) do približno 1,7 g (UM in UPR), pri čemer stran UL izstopa kot najbolj trajnostna – z najnižjimi emisijami in najboljšimi ocenami pri skoraj vseh uporabljenih orodjih. Spletni mesti UM in UPR imata najvišji ogljični odtis ter slabše ocene okoljske trajnosti. Ostale strani (UNG, UNM, NU) se uvrščajo v srednji razpon (0,8–1,4 g CO₂ na obisk).

Če rezultate okoljske trajnosti spletnih strani primerjamo z rezultati tehnične optimiziranosti strani, podobno kot [31] ugotovimo, da se razlike ujemajo z različnimi stopnjami tehnične optimiziranosti strani. Spletna stran UL namreč uporablja energetske učinkovite prakse (slike z zakasnjeno nalaganjem, odzivne slike, predpomnenje, varčno uporabo pisav) in gostuje na strežnikih z zeleno energijo. Po drugi strani pa imata UM in UPR podatkovno obsežnejši strani z neoptimiziranimi slikami in številnimi skriptami. Rezultati nakazujejo povezavo med tehničnimi kazal-

Tabela 8: Tehnične in oblikovne značilnosti spletnih strani.

Kategorija	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
HTML strani	1	1	5	1	1	1
Čas nalaganja strani [s]	1,6	2,8	1,4	0,52	0,78	0,52
Slike z zakasnjeno nalaganjem	81,00 %	0 %	0 %	77,60 %	0 %	0 %
Slike s sodobnimi formati	19,00 %	10,40 %	7,14 %	18,40 %	45,50 %	38,50 %
Uvožene pisave	Ne	Da	Da	Da	Ne	Ne
Odzivne slike	81,00 %	0 %	46,40 %	2,04 %	15,20 %	0 %
Notranje slogovne datoteke	0	5	1	1	>10	0
Slogovne datoteke	Vsi slogi v predpomnilniku	10	>10	4	>10	3

niki UX in ogličnim odtisom spletnih strani. Spletne strani z boljšimi metrikami zmogljivosti in kakovosti UX praviloma povzročajo manj emisij na obisk. Spletne strani UL, UNG in UNM so prestale test CWV in imajo hitre čase nalaganja (LCP od 0,9 do 1,2 s) ter minimalno vizualno nestabilnost (CLS od 0,01 do 0,1). Vse tri našete spletne strani so med najmanjšimi po velikosti (< 2 MB) in imajo najnižje emisije na ogled. V nasprotju s tem spletna stran UM ni dosegla priporočenih vrednosti kazalnikov CWV (LCP 4,5 s, CLS 0,32), in hkrati v analiziranem naboru strani izstopa po velikosti (4,4 MB) visoki oceni ogličnega odtisa. Ugotovitve o izrazitih razlikah med boljše in slabše optimiziranimi spletnimi mesti so skladne z rezultati tujih raziskav. Razmerje med dobro in slabo optimiziranimi spletnimi stranmi je primerljivo z ugotovitvami študije španskih univerz [16], ki je pokazala, da „čiste“ spletne strani povzročajo (v povprečju) približno 0,35 g CO₂ na obisk, medtem ko „umazane“ tudi do (povprečno) 2,04 g. Le okoli 17 % od 93 analiziranih univerz sta avtorja ocenila kot okolju prijazne, kar kaže na razširjenost neučinkovitih praks. To potrjuje, da so razlike, ki jih opažamo med slovenskimi univerzami, del širšega pojava.

Posebej zanimiva je ugotovitev, da spletna stran UL, kljub najvišjemu mesečnemu številu obiskov ni imela največjih skupnih emisij CO₂. Zaradi dobre tehnične optimizacije je njen oglični odtis na obisk nizek in se po skupnih emisijah uvrsti ob bok precej manj obiskani strani UM. Primer spletne strani UL kaže na to, da lahko visoko obiskanost kompenziramo z učinkovito optimizacijo in tako pomembno zmanjšamo okoljski vpliv spletne strani [21].

Glede na izvedeno raziskavo lahko odgovorimo na raziskovalno vprašanje o povezavi med okoljsko trajnostjo spletnih mest in tehnično učinkovitostjo. Spletne strani, ki imajo dobro tehnično optimizacijo, imajo načeloma boljše rezultate pri ocenah okoljske trajnosti. Tudi v literaturi najdemo takšna spoznanja: na primer, [15] so dokazali, da lahko z upoštevanjem trajnostnih načel pri oblikovanju in zasnovi UI/UX bistveno prispevajo k manjšemu vplivu aplikacij na okolje.

Razvijalcem spletnih strani slovenskih univerz lahko podamo nekaj priporočil za zmanjšanje ogličnega odtisa spletne strani. Priporočamo, da pri prenovah ali optimizaciji strani upoštevajo načela zelenega oblikovanja in zelene UX. Najprej je smiselno zmanjšati skupno velikost strani. To vključuje optimizacijo slik (uporaba sodobnih formatov, stiskanje

brez vidne izgube kakovosti itd.), omejitev števila in ločljivosti slik. Prav tako je smiselno uvesti počasno nalaganje za večpredstavne elemente. Slik in vgrajenih video posnetkov ni treba naložiti, dokler se uporabnik z drsnikom ne premakne do njih. Ta preprosta tehnika je pri straneh UL in UNG znatno znižala količino prenosa podatkov. Nadalje priporočamo uporabo odzivnih slik, torej, da se na mobilnih napravah nalagajo manjše različice slik. S tem se izognemo nepotrebnemu prenosu velikih datotek na majhne zaslone. Naslednji sklop izboljšav se nanaša na datoteke in programsko kodo, kjer priporočamo zmanjšanje števila zunanjih skript in slogovnih datotek (npr. združiti CSS/JS, odstraniti neuporabljen kodni zapis), omogočanje predpomnjenja pri brskalniku za statične vire in strežniku (kot v primeru UL, ki ima vse CSS sloge v predpomnilniku). Posebno pozornost naj namenijo pisavam. Uvoz zunanjih pisav pomeni dodatne povezave in prenos podatkov. Če je mogoče, priporočamo uporabo sistemskih pisav. Poleg teh izboljšav v ospredju spletnih strani je potrebno upoštevati tudi infrastrukturo. Priporočamo prehod na zeleno spletno gostovanje (izbira ponudnikov, uporabljajo energijo iz obnovljivih virov). V obravnavanem vzorcu sta le dve univerzi uporabljali zeleno gostovanje za svoje spletne strani.

Pri interpretaciji rezultatov se moramo zavedati nekaterih omejitev raziskave. Prvič, vzorec zajema le domače strani šestih univerz, medtem ko odstrani ali druge spletne storitve v okviru univerz (npr. e-učilnice) niso analizirane. Posledično ugotovitev te raziskave ni mogoče posplošiti na celotna spletna mesta obravnavanih univerz. Drugič, vsi podatki so zajeti kot enkratne meritve v določenem trenutku. Spletne strani se lahko sčasoma spreminjajo, naši rezultati pa predstavljajo stanje na dan meritve (27. 4. 2025) in jih ne moremo neposredno posplošiti na kasnejša obdobja. Menimo, da so med uporabljenimi orodji najzanesljivejše meritve, opravljene z orodjem Google PSI, saj gre za uveljavljeno in med razvijalci priznано orodje. Predpostavljamo tudi, da so ocene ogličnega odtisa verodostojnejše pri orodjih, pri katerih je metodologija izračuna jasno in pregledno dokumentirana. Tretjič, uporabljena orodja za izračun ogličnega odtisa temeljijo na različnih modelih in predpostavkah, kar povzroča razlike v rezultatih. Zaradi odsotnosti enotnega standarda za merjenje ogličnega odtisa spletnih strani so vse vrednosti ocenjene in lahko odstopajo od dejanske porabe,

vendar kljub temu nudijo uporaben okvir za primerjavo med stranmi. Pomanjkljiva standardizacija med orodji za merjenje ogljičnega odtisa, poudarja potrebo po enotnih merilih in smernicah. Kot poudarja [36] bi razvoj skupnih okoljskih kriterijev za digitalno oblikovanje in ustreznih orodij pripomogel k doslednejšemu upoštevanju okoljske trajnosti v praksi. Četrtrič, podatki o obiskanosti iz SimilarWeb so zgolj ocene oziroma podatki tretje strani, zato se lahko razlikujejo od dejanskega števila obiskov, vendar so dovolj dobri za okvirne izračune. Petič, v raziskavi smo obravnavali le meritve hitrosti nalaganja spletne strani in UX (Google PSI) na namiznih napravah, pri čemer rezultatov za mobilne naprave nismo upoštevali, četudi jih orodje ponuja. Zavedati se moramo, da se lahko rezultati razlikujejo glede na napravo, preko katere dostopamo (mobilna različica spletne strani je lahko optimizirana drugače).

6 ZAKLJUČEK

Analiza okoljskih in tehničnih vidikov spletnih strani šestih slovenskih univerz je pokazala, da obstaja tesna povezava med tehnično optimizacijo strani in njenim ogljičnim odtisom. Spletne strani, ki uporabljajo dobre prakse trajnostnega oblikovanja, dosegajo bistveno nižje emisije CO₂ na obisk. Primer spletne strani Univerze v Ljubljani kaže na to, da tudi zelo visoka obiskanost ne pomeni nujno večjih skupnih emisij CO₂, če je spletna stran ustrezno optimizirana. Tehnične odločitve so tako ključnega pomena za zmanjšanje okoljskega vpliva digitalnih storitev.

Naši izsledki poudarjajo pomen vključevanja trajnostnih praks v oblikovanje in vzdrževanje spletnih mest, še posebej, če gre spletne strani z veliko obiska. V prihodnje bi bilo smiselno v analizo vključiti še več dejavnikov, kot so življenjski cikel vsebine, trajanje obiska ali vpliv uporabniških naprav, ter razširiti vzorec analiziranih strani. Kljub določenim metodološkim omejitvam raziskava prispeva k večjemu razumevanju povezave med tehnično učinkovitostjo, povezano z dobro UX, in okoljskim vplivom digitalnih storitev ter ponuja smernice za razvoj trajnostnejšega spleta.

LITERATURA

- [1] G. C. Dimian, M. Maftai, J. Jablonský, E. Marin, in S. M. Olaru, »The Influence of Digitalization on Greenhouse Gas Emissions in European Union. The Analysis of Mediating Effect of Renewable Energy Consumption«, *J Knowl Econ*, mar. 2025, doi: 10.1007/s13132-025-02657-1.
- [2] J. Malmodin, N. Lövehagen, P. Bergmark, in D. Lundén, »ICT sector electricity consumption and greenhouse gas emissions – 2020 outcome«, *Telecommunications Policy*, let. 48, št. 3, str. 102701, apr. 2024, doi: 10.1016/j.telpol.2023.102701.
- [3] P. Jardine in B. Thorn, »How much CO2 does a website produce?«, Root Web Design Studio. [Na spletu]. Dostopno na: <https://rootwebdesign.studio/articles/how-much-carbon-does-a-website-produce>
- [4] D. Chan, »Your website is killing the planet«, Wired. Pridobljeno: 30. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.wired.com/story/internet-carbon-footprint>
- [5] United Nations, »Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development«. 10 2015. Pridobljeno: 15. maj 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://docs.un.org/en/A/RES/70/1>
- [6] UNEP, »Goal 13: Climate Action«, UN Environment Programme. Pridobljeno: 30. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.unep.org/topics/sustainable-development-goals/why-do-sustainable-development-goals-matter/goal-13>
- [7] C. F. Lei, E. W. T. Ngai, C. W. H. Lo, in E. W. K. See-To, »Green IT/IS adoption and environmental performance: The synergistic roles of IT–business strategic alignment and environmental motivation«, *Information & Management*, let. 60, št. 8, str. 103886, dec. 2023, doi: 10.1016/j.im.2023.103886.
- [8] B. Stackpole, »AI has high data center energy costs — but there are solutions«, MIT Management Sloan School. Pridobljeno: 30. julij 2025. [Na spletu]. Dostopno na: https://mit-sloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/ai-has-high-data-center-energy-costs-there-are-solutions?utm_source=chatgpt.com
- [9] R. Verdecchia, P. Lago, C. Ebert, in C. De Vries, »Green IT and Green Software«, *IEEE Softw.*, let. 38, št. 6, str. 7–15, nov. 2021, doi: 10.1109/MS.2021.3102254.
- [10] L. Ardito, G. Procaccianti, M. Torchiano, in A. Vetrò, »Understanding Green Software Development: A Conceptual Framework«, *IT Prof.*, let. 17, št. 1, str. 44–50, jan. 2015, doi: 10.1109/MITP.2015.16.
- [11] Green Software Foundation, »What is Green Software?«, What is Green Software? Pridobljeno: 30. maj 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://greensoftware.foundation/articles/what-is-green-software>
- [12] M. Gregg, »Defining Green UX«, *interactions*, let. 31, št. 6, str. 18–19, nov. 2024, doi: 10.1145/3690929.
- [13] ISO/IEC, *ISO/IEC 21031:2024 Information technology — Software Carbon Intensity (SCI) specification*, 22. marec 2024.
- [14] T. Greenwood, *Sustainable web design*. v A Book Apart, no. No 34. New York, N.Y.: A Book Apart, 2021.
- [15] A. Kiourtis, A. Mavrogiorgou, N. Zafeiropoulos, K. Mavrogiorgos, A. Karabetian, in D. Kyriazis, »UI/UX Sustainable Design: Best Practices for Applications CO2 Emissions Reduction«, v *2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, Bol and Split, Croatia: IEEE, jun. 2024, str. 01–06. doi: 10.23919/SpliTech61897.2024.10612495.
- [16] S. Sanchez-Cuadrado in J. Morato, »The Carbon Footprint of Spanish University Websites«, *Sustainability*, let. 16, št. 13, str. 5670, jul. 2024, doi: 10.3390/su16135670.
- [17] Globemallow.io, »Start Creating a More Sustainable Internet«. Pridobljeno: 20. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://globemallow.io>
- [18] didierfred, *GreenIT-Analysis (razširitev za Chrome/Edge/Firefox)*. (2023). [Na spletu]. Dostopno na: GitHub repozitorij [cnu-mr/GreenIT-Analysis](https://github.com/didierfred/GreenIT-Analysis)

- [19] F. Bordage, *Ecoconception web : les 115 bonnes pratiques: Réduire les impacts environnementaux de son site web*, 5. izd. Éditions Eyrolles, 2025.
- [20] Advancy, *Website Footprint*. (15. april 2022). [Na spletu]. Dostopno na: <https://chromewebstore.google.com/detail/website-footprint/jlpnoijijmliogpegigbllcnpckflnik>
- [21] T. Frick, »What is a Good Digital Carbon Rating?«, Mightybytes. Pridobljeno: 20. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.mightybytes.com/blog/digital-carbon-rating>
- [22] Aline, »Calculate the environmental impact of a web page, see the breakdown and learn what measures can be taken to improve it.«, Beacon. Pridobljeno: 20. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://digitalbeacon.co/>
- [23] A. Davies, »Updating Website Carbon to V4 of the Sustainable Web Design Model«, Wholegrain Digital. Pridobljeno: 30. julij 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.wholegrain-digital.com/blog/updating-website-carbon-to-v4-of-the-sustainable-web-design-model>
- [24] Wholegrain Digital, »The original Website Carbon calculator«, Website Carbon Calculator. Pridobljeno: 10. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.websitecarbon.com>
- [25] Promodo, »Comparing Traffic Data Accuracy: Similarweb vs. Ahrefs vs. Semrush«, Digital marketing news with professional opinion. Pridobljeno: 30. marec 2025. [Na spletu]. Dostopno na: https://www.promodo.com/blog/data-accuracy-at-similarweb-ahrefs-and-semrush?utm_source=chatgpt.com
- [26] Similarweb, »Website Traffic Checker«, Similarweb. Pridobljeno: 10. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.similarweb.com/website>
- [27] ISO, *ISO 9241-210: Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems*, 2019.
- [28] Google Developers, »Lighthouse«, Lighthouse. Pridobljeno: 10. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse>
- [29] Google Developers, »About PageSpeed Insights«, PageSpeed Insights. Pridobljeno: 10. april 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://developers.google.com/speed/docs/insights/v5/about>
- [30] P. Walton, »Web Vitals«, web.dev. Pridobljeno: 30. junij 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://web.dev/articles/vitals>
- [31] M. Lee, J. Jun, S. Lee, in S. Lee, »Understanding the Initial Journey of UX Designers Toward Sustainable Interaction Design: A Focus on Digital Infrastructure Energy Reduction«, v *Designing Interactive Systems Conference*, Copenhagen Denmark: ACM, jul. 2024, str. 3079–3096. doi: 10.1145/3643834.3661598.
- [32] B. Nardi *idr.*, »Computing within limits«, *Commun. ACM*, let. 61, št. 10, str. 86–93, sep. 2018, doi: 10.1145/3183582.
- [33] Torresburriel Estudio, »The role of UX Design in reducing the digital footprint (green UX)«, Pridobljeno: 6. maj 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://uxtbe.medium.com/the-role-of-ux-design-in-reducing-the-digital-footprint-green-ux-6f50a4d635b2>
- [34] NAKVIS, Podatki o visokošolskih zaodih. [Na spletu]. Dostopno na: <https://nakvis.si/analize-in-publikacije/porocila-strokovnjakov-in-odlocbe>
- [35] Green Web Foundation, »Welcome to Green Web Foundation's Documentation Site«, Methodologies for calculating website carbon. Pridobljeno: 16. september 2025. [Na spletu]. Dostopno na: <https://developers.thegreenwebfoundation.org/co2js/explainer/methodologies-for-calculating-website-carbon/>
- [36] J. Moreschi, »Sustainable Digital Design: Integrating Environmental Considerations in the Digital Design Process«. Politecnico di Milano, 2024. [Na spletu]. Dostopno na: https://www.politesi.polimi.it/retrieve/21fea482-d6da-4c49-8b6f-415091c3c4aa/2024_07_Moreschi.pdf

■

Maja Juntez je študentka podiplomskega študija Organizacija in management informacijskih sistemov na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede. Zanima jo podatkovna analitika, strojno učenje, umetna inteligenca ter UX/UI oblikovanje.

■

Alenka Baggia je zaposlena na Univerzi v Mariboru, Fakulteti za organizacijske vede kot docentka za področje informacijski sistemi. Njeno raziskovalno delo je osredotočeno na sprejetje novih tehnologij in vlogo informacijskih sistemov v trajnostnem razvoju. Je članica Laboratorija za kakovost in testiranje programske opreme ter certificirana inštruktorica Oracle Academy.

Premikamo meje za bolnike.

Smo Sandoz,
vodilno farmacevtsko
podjetje v svetu za generična
in podobna biološka zdravila.
In smo Lek, pionirji farmacevtske industrije
v Sloveniji.

Naša strast so odličnost in vrhunska kakovost zdravil.
Navdušujejo nas biotehnološki postopki za razvoj in
proizvodnjo podobnih bioloških zdravil ter najvišji standardi
farmacevtske proizvodnje.

SANDOZ



Lek farmacevtska družba d. d.
Verovškova ulica 57
1526 Ljubljana, Slovenija
www.lek.si

■ Digitalizacija in avtomatizacija letnih načrtov treninga

Luka Lah

Fakulteta za organizacijske vede, Univerza v Mariboru, Kidričeva cesta 55 A, 4000 Kranj

luka.lah4@student.um.si

Izvleček

V članku predstavljamo razvoj spletne aplikacije za digitalizacijo in avtomatizacijo letnih načrtov treninga, ki naslavlja problem tradicionalnih pristopov. Glavna težava je pomanjkanje individualizacije, saj trener potrebuje do enega tedna za pripravo načrta za enega športnika, kar pri večjem številu športnikov vodi v uporabo generaliziranih načrtov in povečano tveganje za poškodbe. Ta problem smo naslovili z razvojem prototipne spletne rešitve po metodologiji načrtovanja in razvoja. V osrednjem razvojnem ciklu smo uporabili metodo prototipiranja s tehnološkim skladom Vue.js (čelni del), Python Flask (zaledni del) in Oracle bazo podatkov s paketi PL/SQL za poslovno logiko. Zahteve za izdelavo aplikacije smo pridobili z intervjuji s trenerji Atletskega kluba Velenje. V rešitvi smo uspešno implementirali preko 200 vaj, 23 metod, 5 gibalnih sposobnosti in 10-stopenjsko lestvico težavnosti za prilagajanje trenažnega obsega in obremenitev. Rešitev smo ovrednotili na podlagi logičnega argumenta, ki je vseboval primerjavo z alternativno rešitvijo in kvantitativne metrike časa ustvarjanja, prostora shrambe podatkov, omejitve časovnih pravil. Rezultati kažejo, da načrt treninga ustvarimo v 12 s, zanj porabimo 133,12 KB in se držimo trajanja enote s 15 min standardnim odklonom. Predstavljamo prvi celostni pristop k digitalizaciji trenažnih procesov ob upoštevanju interferenčnih učinkov gibalnih sposobnosti.

Ključne besede: digitalizacija športa, spletna aplikacija, paketi PL/SQL, avtomatizacija treninga.

Digitalization and Automatization of Annual Training Periodization

Abstract

In this article, we present the development of a web application for the digitalization and automation of annual training plans, addressing the problems of traditional approaches. The main issue is the lack of individualization, as a trainer requires up to one week to prepare a plan for a single athlete, which, with a larger number of athletes, leads to the use of generalized plans and increased risk of injuries. We addressed this problem by developing a prototype web solution using the design and development methodology. In the core development cycle, we used the prototyping method with a technology stack of Vue.js (frontend), Python Flask (backend), and Oracle database with PL/SQL packages for business logic. We obtained requirements for creating the application through interviews with trainers from Athletic Club Velenje. In the solution, we successfully implemented over 200 exercises, 23 methods, 5 motor abilities, and a 10-level difficulty scale for adjusting training volume and loads. We evaluated the solution based on logical arguments that included the comparison with alternative solutions and quantitative metrics of creation time, data storage space, and time rule constraints. Results show that we can create a training plan in 12 seconds; the plan requires 133.12KB of storage, and we maintain unit duration with a 15-minute standard deviation. We present the first comprehensive approach to the digitalization of training processes while considering the interference effects of motor abilities.

Keywords: Digitalization of sport, web application, PL/SQL packages, automatization of training

1 UVOD

Digitalna preobrazba predstavlja integracijo digitalne tehnologije v izdelke, procese in samo strategijo podjetja. Na področju športne industrije predstavlja rastoči trend po celem svetu. Izraža se s povečano produktivnostjo športnega osebja, optimizacijo procesov in povečano komunikacijo s strankami [1]. Pomemben vpliv ima na kulturo športa, saj omogoča implementacijo novih metod k profesionalnim načrtom treningov [2]. Informacijske tehnologije omogočajo nove možnosti za individualizacijo procesov in napovedno modeliranje, vendar je lahko prenos znanstvenih spoznanj v praktične rešitve otežen zaradi pomanjkanja primernih sistemskih struktur [3]. Pri športnem treniranju se trenerji večkrat zanašajo na tradicionalne pristope, ki temeljijo na intuiciji, namesto na algoritmično podprtih tehnologijah [4].

Sodobni pristopi k načrtovanju športne vadbe zahtevajo obravnavo več deset parametrov, kot so npr. biomehanski indeksi, fiziološki odzivi in ciklizacija (ciklizacija je daljše obdobje načrta treninga) obremenitev [5], [6], [7]. Obstoječe digitalne rešitve se osredotočajo na posamezne vidike trenažnega procesa, medtem ko celostni sistemski pristopi ostajajo redki. Avtomatizirano načrtovanje treningov lahko pri tem zahteva krajši čas in omogoči večjo individualizacijo v primerjavi s tradicionalnimi pristopi [8], [9]. Večina komercialnih aplikacij, kot so Training Peaks, TeamBuildr in Final Surge, temelji na preprostih predlogah, brez implementacije znanstveno podprtih algoritmov za ciklizacijo in distribucijo trenažnih metod. Pri tem ostaja izziv razvoja algoritmov, ki bi omogočili avtomatsko ustvarjanje letnih načrtov treninga z upoštevanjem biomehanske normalizacije testnih rezultatov in kompleksnih omejitev pri razporejanju vaj. Sistemi bi morali implementirati večplastno logiko za preprečevanje interferenčnih učinkov med različnimi gibalnimi sposobnostmi, upravljanje aktivnega počitka in optimizacijo obremenitev glede na individualne sposobnosti športnikov [10], [11]. Tehnična implementacija zahteva robustno podatkovno arhitekturo za obdelavo velikih količin strukturiranih podatkov o vajah, metodah treninga in testnih rezultatov.

Analitične funkcionalnosti omenjenega sistema predstavljajo dodatno kompleksnost, saj bi se morali implementirati biomehanski algoritmi za pretvorbo različnih meritev v primerljive indekse. S strojnim učenjem bi lahko sestavili natančnejše načrte trenin-

ga in napovedovali napredek športnika, če bi imeli strukturirane in natančne podatke. Omenjeno se že uporablja pri nogometu za natančnejše napovedi športnih dosežkov, pri preventivi poškodb in prepoznavanju mladih talentov v športu [12]. Analitične funkcionalnosti lahko delujejo le ob standardizaciji pristopov, ki omogoča objektivno primerjavo rezultatov med različnimi športniki ne glede na antropometrične značilnosti.

Cilj raziskave je razviti funkcionalno spletno platformo, ki vpelje algoritme za avtomatsko ustvarjanje znanstveno podprtih letnih ciklizacij treningov s pomočjo naprednih podatkovnih struktur in poslovne logike. Sistem mora omogočati standardizirane vaje in analitično spremljanje napredka z vizualizacijami. Osnovno raziskovalno vprašanje je: »Ali lahko z vpeljavo algoritmov PL/SQL in sodobnih spletnih tehnologij ustvarimo sistemsko rešitev, ki avtomatizira znanstveno podprt pristop k načrtovanju športnih treningov?«.

V nadaljevanju članka najprej predstavimo sorodna dela, ki se nanašajo na pristope načrtovanja treninga in digitalizacijo. Nato sledi opis metodologije, postopek razvoja, ovrednotenje ter testiranja rešitve. Na koncu sledita še diskusija in zaključek.

2 SORODNA DELA

Načrtovanje in organizacija športnega treninga sta v zgodovini nastajali na presečišču tradicije in znanosti. Vplivni teoretiki ciklizacije so oblikovali različne modele na podlagi takrat dostopnih znanstvenih utemeljitev, praktičnih izkušenj in kulturnih predpostavk, ki so se z razvojem sodobne znanosti izkazale za deloma zastarele. Sodobni dokazi [13] o izraziti medsebojni variabilnosti prilagoditev zato vse bolj spodkopavajo univerzalno uporabo generičnih, na pravilih temelječih pristopov. Prav tako narekujejo [13] preoblikovanje teorij ciklizacije v smer občutljivih, prilagodljivih in kontekstno vodenih sistemov treninga.

Vzporedno z metodološkim premislekom se v praksi uveljavlja tehnološka transformacija treniranja z integracijo umetne inteligence in strojnega učenja, analitiko velikih podatkov, nosljivih naprav ter mobilnih in spletnih aplikacij.

S pregledom želimo povezati koncepte ciklizacije z dokazi podprto rabo tehnologije, da bi zasnovali odziven, na podatkih in človekovih posebnostih utemeljen trenažni sistem. V sistematičnem pregledu

[14] tradicionalnih in sodobnih modelov periodizacije v športnem treningu, ki je zajel analizo 12 funkcionalnih člankov iz petih podatkovnih baz, je zapisana evolucija načrtovanja od klasičnih pristopov k sodobnim metodam. Tradicionalni modeli, kot je Matvejev s strukturo pripravljalnega, tekmovalnega in prehodnega obdobja, temeljijo na pristopnem prehodu od splošnih k specifičnim obremenitvam skozi daljše cikle. Nasprotno delujejo sodobni modeli, ki vključujejo blokovne, s koncentriranimi enosmernimi obremenitvami in zamaknjenim učinkom treninga ter ATR (angl. Accumulation, Transformation and Realization) z zaporednimi bloki akumulacije, transformacij in realizacije. Ti omogočajo bolj ciljno usmerjeno ciklizacijo. Iz empiričnih dokazov [14] lahko povzamemo, da klasični, ATR in strukturni zvonasti modeli dosegajo večje učinke (efektivna velikost $> 0,80$) v primerjavi z blokovnimi (efektivna velikost $= 0,20$). Pri tem polovica načrtov v vrhunskih španskih ekipah ne ustreza specifičnim zahtevam športnih panog.

Športniki potrebujejo individualizirane trenažne načrte za vzdrževanje in izboljševanje svojih sposobnosti z namenom doseganja najboljših rezultatov na tekmovanjih. To predstavlja delovno obremenitev za trenerje, ki morajo poleg zastavljanja ciljev, oblikovati podrobne načrte treninga ob upoštevanju več deset parametrov. Avtomatizirano načrtovanje je bilo vpeljano že v realnih situacijah, kot so vesoljsko raziskovanje, robotika in proizvodnji procesi. Raziskovalci so predlagali [15] uporabo tehnik avtomatiziranega načrtovanja za ustvarjanje individualnih načrtov treninga. Ti so sestavljeni iz vaj, katere mora športnik izvajati med treningom, ob upoštevanju trenutne športnikove učinkovitosti. Eksperimentalna analiza [15], ki je upoštevala splošen trening kikboksarjev, kaže, da so avtomatično ustvarjeni načrti skrajšali čas načrtovanja. Poleg tega so bili takšni načrti bolj podrobni in individualizirani kot načrti, ki jih ročno pripravi strokovni trener.

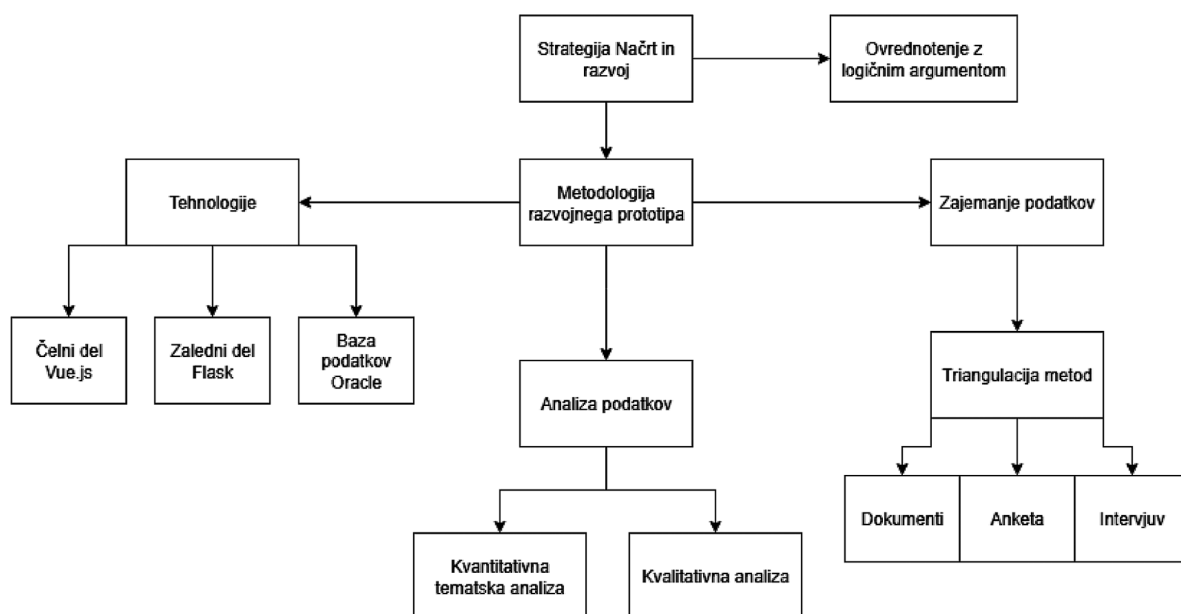
Ker načrtovanje športne vadbe predstavlja velik izziv, potrebujejo trenerji obsežne izkušnje in temeljito poznavanje sposobnosti svojih športnikov ter teoretičnih osnov. Z razvojem mobilnih tehnologij in športnih ur z GPS (angl. Global Positioning System) se pojavljajo novi načini načrtovanja, kjer lahko zanesljivi podatki o srčni frekvenci in trajanju aktivnosti, služijo kot osnova za inteligentno ustvarjanje trenažnega procesa. V raziskavi [16] so pokazali, da lahko

avtomatizirani algoritmi, kot je algoritem bat, ustvarijo trenažne procese primerljive kakovosti tistim, ki jih pripravijo trenerji. Sodobna tehnologija omogoča razvoj pomoči trenerjem pri optimizaciji trenažnih obdobja za posamezne športnike, ki se pripravljajo na tekmovanje.

Matematični modeli, ki uporabljajo tako strokovno znanje kot eksperimentalne podatke, izboljšajo razumevanje dinamičnih lastnosti preučevanih sistemov za namene napovedovanja, diagnosticiranja, odločanja in nadzora. Podatkovni pristop se je izkazal za uporabnega pri oblikovanju prilagodljivih rešitev podpore odločanja pri športnem treningu. Razvit je bil sistem [17], ki uporablja strokovno znanje skupaj z merjenimi in okoljskimi (GPS) podatki. Merjeni podatki so bili srčna frekvenca, EMG (elektromiografija) in pospešek. Našteto je bilo uporabljeno za ustvarjanje optimalnega trenažnega načrta. Ustvarjen artefakt pa izvaja naloge modeliranja športnikovega kardiovaskularnega sistema, ocenjevanja njegovih parametrov in prilagajanja modela vsakega posameznemu.

S sistematičnim pregledom literature [4] identificiramo 109 študij o inteligentnih metodah analize podatkov za pametno športno treniranje. Raziskave [4] pokrivajo štiri faze: načrtovanje, realizacijo, nadzor in ovrednotenje treninga, pri čemer so najširše uporabljene metode podporni vektorski stroji SVM (19 študij), umetne nevronske mreže (14), K-najbližji sosed (11) in naključni gozdovi (11), medtem ko so najpogostejše raziskani športi nogomet (12), tek (11) in dvigovanje uteži (9 študij). Ugotovimo lahko [4], da je 54,6 % raziskav osredotočenih na individualne športe, večina pa ostaja v prototipni fazi tehnološke pripravljenosti, ker nobena ni dosegla ravni validacije, le šest pa je uporabilo javno dostopne zbirke podatkov.

Kljub obsežnim raziskavam na področju načrtovanja športne vadbe in digitalizacije, ostajajo pomembne raziskovalne vrzeli, ki omejujejo praktično uporabnost sodobnih pristopov. Sodobni teoretični modeli ciklizacije [13], kot so ATR in blokovni modeli, se pogosto ne prilagajajo osebnim variabilnostim športnikov. To spodbija njihovo učinkovitost v praksi. Čeprav so nekateri sistemi že razviti, obstoječe študije [14] ostajajo v prototipni fazi brez ustreznih ovrednotenj na realnih podatkih. Ostaja pomanjkanje javno dostopnih zbirk podatkov in dolgoročnega spremljanja vpliva na športne rezultate. Avtomatizirani



Slika 1: Grafični prikaz metodologije.

rani sistemi načrtovanja treninga so v mnogih organizacijah že prisotni vendar, a pogosto ne vključujejo omejitev, kot so interferenčni učinki med različnimi gibalnimi sposobnostmi.

Metode umetne inteligence za pametno športno treniranje so obetavne, vendar se večina od 109 raziskav [4] osredotoča na podporo odločanju in analizo podatkov, medtem ko manjka integracija teh metod v celostni proces načrtovanja, ki bi vključeval tudi ciklizacije in individualizacijo treninga.

Navedeno kaže na potrebo po razvoju odzivnih, individualiziranih in znanstveno utemeljenih sistemov za avtomatizacijo načrtovanja treningov, ki so sposobni upoštevati kompleksne biološke, fiziološke in motorične omejitve športnikov ter nuditi prilagodljivost in merljive učinke v praksi.

3 METODOLOGIJA

V raziskavi smo sledili strategiji načrtovanja in razvoja (angl. Design Science Research), ki predstavlja sistematičen pristop k oblikovanju, vpeljavi in ovrednotenju tehnoloških artefaktov [18], v našem delu spletna rešitev (slika 1). Strategija je posebej primerena za raziskave na področju informacijskih sistemov, kjer je cilj razviti uporabne tehnološke rešitve za praktične probleme. Razvoj rešitve je potekal po metodologiji razvojnega prototipa [19], katera je zagotovila fleksibilnost pri prilagoditvah funkcionalnosti glede na zahteve.

3.1 Razumevanje problema

V raziskavi je glavni problem pomankanje individualizacije letnih načrtov treninga za športnike. Trenerji imajo navadno več deset športnikov, izdelava letnega načrta treninga pa lahko za enega športnika traja tudi en teden ali več. Poleg izvajanja trenažnega procesa navadno ne ostane dovolj časa, da bi lahko vsak športnik dobil individualen načrt. Zato se v praksi večkrat uporabljajo generalizirani načrti [20], ki si jih deli več športnikov, ti pa lahko vodijo do povečanega tveganja za poškodbe.

Namen raziskave je olajšati proces ustvarjanja letnih načrtov treninga za izboljšanje individualizacije treninga posameznika in posledično zmanjšanje tveganj za poškodbe.

3.2 Načrtovanje sistema

Metodološko zasnovo smo temeljili na interdisciplinarnem pristopu, ki povezuje področje informatike in informacijskih sistemov z domenskim znanjem športne znanosti. Raziskavo smo razdelili na štiri glavne faze: analizo problema področja, oblikovanje systemske arhitekture, vpeljavo rešitev z algoritmi ter validacijo funkcionalnosti.

Za pridobitev zahtev uporabnikov smo izvedli strukturirane intervjuje s trenerji Atletskega kluba Velenje in anketo trenerjev v Sloveniji s priložnostnim vzorcem. Za identifikacijo potreb digitalizacije trenažnih procesov smo uporabili tematsko analizo



Slika 2: Žični model uporabniškega vmesnika aplikacije.

z induktivnim pristopom. Podatke za oceno algoritmov smo pridobili iz znanstvene literature s področja teorije športa.

Rešitev smo načrtovali na osnovi baze podatkov (slika 3), ki je bila vpeljana za podporo teorije športa. V podatkovno strukturo smo dodali zapise več kot 200 vaj, 23 metod treninga in 5 gibalnih sposobnosti, skupaj s svojimi teoretičnimi opisi.

Pred razvojem rešitve smo ustvarili žični model uporabniškega vmesnika v programu GIMP (slika 2). Ta je vseboval modele za prijavo in registracijo, domačo stran za trenerje in športnike, pregled nad testi, pogled ciklizacije in vizualizacije.

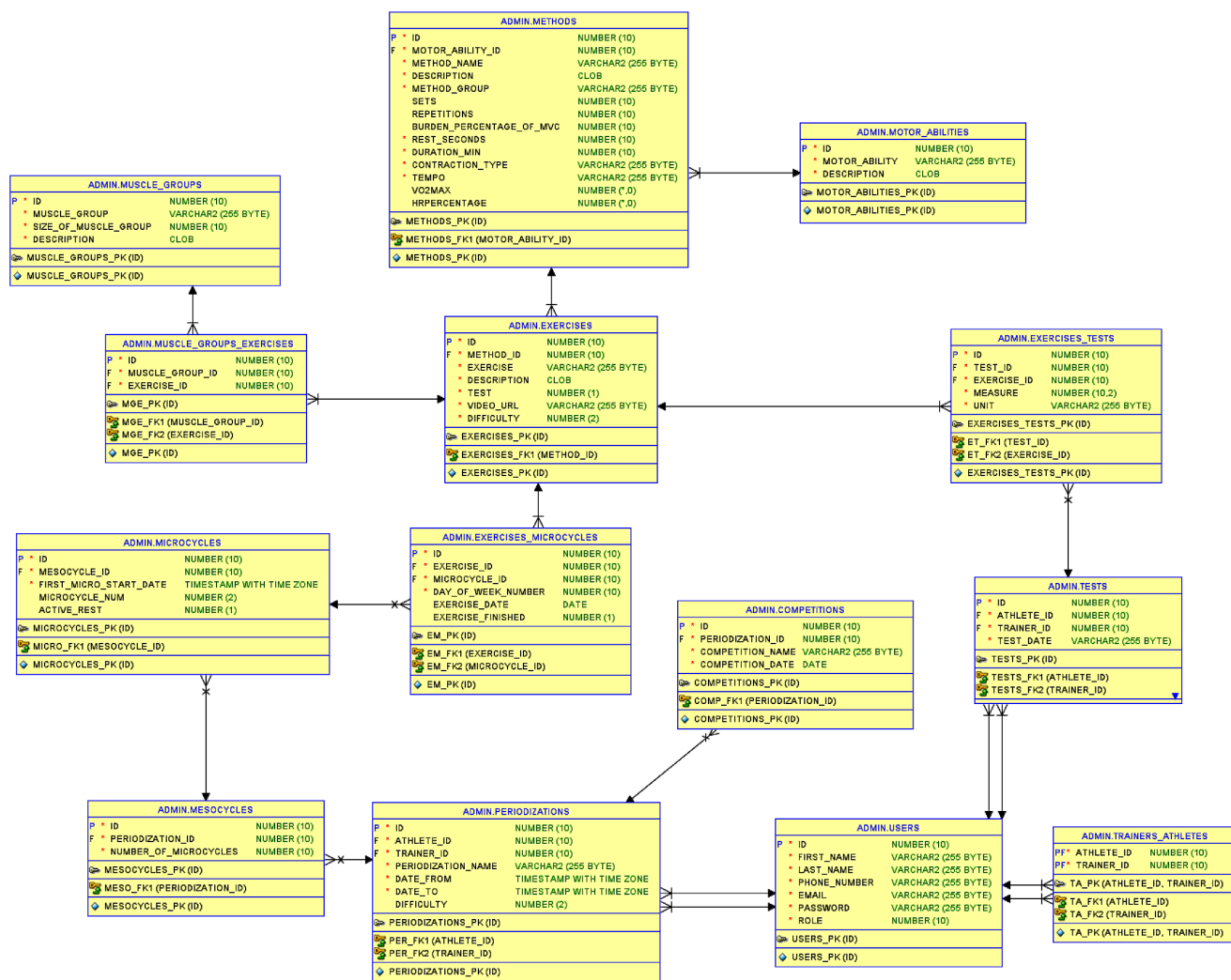
3.3 Razvoj sistema

Sistemska rešitev smo zasnovali kot spletno aplikacijo s čelnim in zalednim delom ter bazo podatkov (slika 1). Čelni del smo vpeljali z enostransko spletno aplikacijo (angl. SPA) oziroma orodjem JavaScript Vue.js verzije 3, ker omogoča komponentno strukturo, ki optimizira upodabljanje aplikacije. Zaledni del smo vpeljali s Python knjižnico Flask, medtem ko smo za avtentikacijo in avtorizacijo dodali žeton JWT (angl. JSON Web Token) ter BCrypt za šifriranje

gesel. Komunikacija med komponentami je bila standardizirana preko vmesnika Rest API z avtomatsko generirano dokumentacijo Swagger.

Podatkovno strukturo smo temeljili na bazi podatkov Oracle z vpeljavo poslovne logike preko paketov PL/SQL. Z Izbiro platforme Oracle smo bili motivirani zaradi zmožnosti procesiranja algoritmov neposredno v bazi. Procesiranje neposredno v bazi podatkov zagotavlja optimalno zmogljivost sistema pri obdelavi velikih količin strukturiranih podatkov. Kot osrednjo funkcionalnost sistema smo vpeljali algoritme za avtomatsko ustvarjanje letnih načrtov treninga. Algoritmi so organizirani kot hierarhija paketov PL/SQL (slika 4), kjer vsak paket vpelje specifičen del poslovne logike. V našem sistemu bi v primeru poslovne logike na zaledju, morali opraviti več kot 150 (odvisno od trajanja ciklizacije) klicev izjav DML (angl. Data manipulation language) preko 5 entitet na podatkovno bazo, da bi ustvarili en načrt treninga.

Bazo podatkov in zaledni del aplikacije smo naložili na OCI (angl. Oracle Cloud Infrastructure). Kot vmesnik zaledju je služila storitev NoIP, ki je spletnemu gostovanju OCI pripisala domeno, da smo do nje lahko dostopali preko brskalnika (posledica pravil CORS).



Slika 3: Model entitet in povezav (angl. Entity Relationship Model) podatkovne baze.

Podatkovni model smo zasnovali na normalizirani relacijski strukturi z hierarhično organizacijo entitet (slika 3). Osrednja tabela periodizations (ciklizacije) se hierarhično razveja preko mesocycles (mezocikli) in microcycles (mikrocikli) do posameznih exercises_microcycles (vaje povezane s tabelo mikrocikli) zapisov v tabeli. Referenčna integriteta je zagotovljena z uporabo tujih ključev in kaskadnega brisanja.

Vsaka vaja vsebuje parametre izvajanja (serije, ponovitve, obremenitev, počitek) ter povezave z glavnimi mišičnimi skupinami.

Sistem deluje po hierarhični strukturi omejitev, kjer se najprej preveri omejitve motoričnih sposobnosti, nato pa omejitve mišičnih skupin.

Artefakt je bil ovrednoten z metodo logičnega argumenta [21], [22], ki artefakt preveri z določanjem

doseženih zahtev pridobljenih iz literature ali drugih virov.

4 REZULTATI

Z vpeljavo rešitve smo dosegli cilje raziskave oziroma uspešno digitalizacijo in avtomatizacijo procesa načrtovanja letnih načrtov treningov (slika 5). Razviti sistem MVP (angl. Minimum Viable Product) predstavlja prvi celostni pristop k avtomatizaciji trenajnega procesa, ki teorijo športa pretvarja v praktično tehnološko rešitev.

S tematsko analizo intervjujev s trenerji smo prepoznali štiri organizacijske teme: Sistematično načrtovanje treninga, individualizacija in prilagoditve, spremljanje in ovrednotenje ter praktično delovanje. Te opredeljujejo trenutno stanje in potrebe v trenažni praksi. Trenerji uporabljajo znanstveno podprte me-

Tabela 1: Pomen vhodnega parametra težavnosti pri ustvarjanju ciklizacije.

Težavnost	Frekvenca (število enot na teden)	Trajanje (min)	Izbira vaj	Dnevi v tednu
1	2 krat	45 min	Lažje vaje	Torek, Petek
2	2 krat	60 min	Težje vaje	Torek, Petek
3	3 krat	45 min	Lažje vaje	Ponedeljek, sreda, petek
4	3 krat	60 min	Težje vaje	Ponedeljek, sreda, petek
5	4 krat	45 min	Lažje vaje	Ponedeljek, torek, četrtek, petek
6	4 krat	60 min	Težje vaje	Ponedeljek, torek, četrtek, petek
7	5 krat	45 min	Lažje vaje	Od ponedeljka do petka
8	5 krat	60 min	Težje vaje	Od ponedeljka do petka
9	6 krat	45 min	Lažje vaje	Od ponedeljka do sobote
10	6 krat	60 min	Težje vaje	Od ponedeljka do sobote

tode ciklizacije, vendar se soočajo s časovnimi izzivi pri administrativnih nalogah. Pri analizi smo ugotovili, da 1 trener porabi do 1 tedna za ročno pripravo letnega načrta treninga, medtem ko lahko z digitalno rešitvijo isti proces izvede v nekaj minutah.

Odkrili smo potrebo po sistematičnem beleženju in analizi testnih rezultatov. Trenerji trenutno za do-

kumentiranje uporabljajo fizične beležnice, kar onemogoča napredne analitične pristope in vizualizacijo napredka. Prav tako smo prepoznali potrebo po individualizaciji treningov pri delu z večjim številom športnikov, kjer administrativne naloge pogosto prevzamejo prednost pred kakovostnim treningom.

1. **PKG_PERIODIZATION_BUILDER.create_periodization()**
 - |— Ovrednotenje vhodov
 - |— Razčlenjevanje parametrov
 - |— Klic PKG_MESOCYCLE_MANAGER
2. **PKG_MESOCYCLE_MANAGER.create_mesocycle_with_multiple_methods()**
 - |— Ustvarjanje zapisa mesocycle
 - |— Klic create_individual_microcycle()
3. **create_individual_microcycle()**
 - |— PKG_TRAINING_CALCULATOR.get_training_days()
 - |— distribute_methods_by_frequency()
 - |— Klic PKG_EXERCISE_SELECTOR
4. **PKG_EXERCISE_SELECTOR.get_exercises_for_method_with_constraints()**
 - |— Motorične sposobnosti omejitve
 - |— Mišične skupine omejitve
 - |— Vrnitev exercise_array
5. **Koordinacijske vaje dodajanje**
 - |— get_koordinacija_exercise_for_method()
 - |— Sledenje redundancam
6. **INSERT INTO exercises_microcycles**
 - |— Končni vnos vaj z datumi

Slika 4: Proces ustvarjanja letnega načrta treninga (hierarhija algoritmov).

Glavno poslovno logiko (slika 4) smo uvedli s paketom `PKG_PERIODIZATION_BUILDER`, kateri ustvari letni načrt treninga. Ta skrbi za validacijo in razčlenjevanje vhodnih parametrov: ime ciklizacije, identifikator športnika, težavnost, metode in trajanje posameznih obdobj.

Težavnost smo opredelili od 1 do 10 (tabela 1), kjer liha števila predstavljajo vadbo z lažjimi vajami in trajanjem 45 min, soda pa vadbo s težjimi vajami in trajanjem 60 min. Težavnost vaj je določena glede na objektivno zahtevnost izvedbe in je zapisana v tabeli `exercises`. Sama velikost števila določa pogostost vadbe na tedenski ravni, pri tem 1 - 2 predstavljata vadbo 2 krat tedensko in 9 - 10 vadbo 6 krat tedensko. Vso avtomatizirano načrtovanje se nanaša na kondicijsko pripravo vadbe.

Nadaljnjo smo s paketom `PKG_MESOCYCLE_MANAGER` zagotovili distribucijo metod po mikrociklih (mikrocikel je časovno obdobje vadbe, ki običajno traja 7 dni) z upoštevanjem znanstvenih načel ciklizacije. Glede na izbrano težavnost vadbe smo s paketom `PKG_TRAINING_CALCULATOR` razporedili dneve treninga v teden. S `PKG_MESOCYCLE_MANAGER` pa smo nato v dneve uvrstili izbrane metode glede na teoretično podlago teorije športa. V nadaljevanju smo s paketom `PKG_EXERCISE_SE-`

`LECTOR`, izbrali vaje glede na omejitve motoričnih sposobnosti.

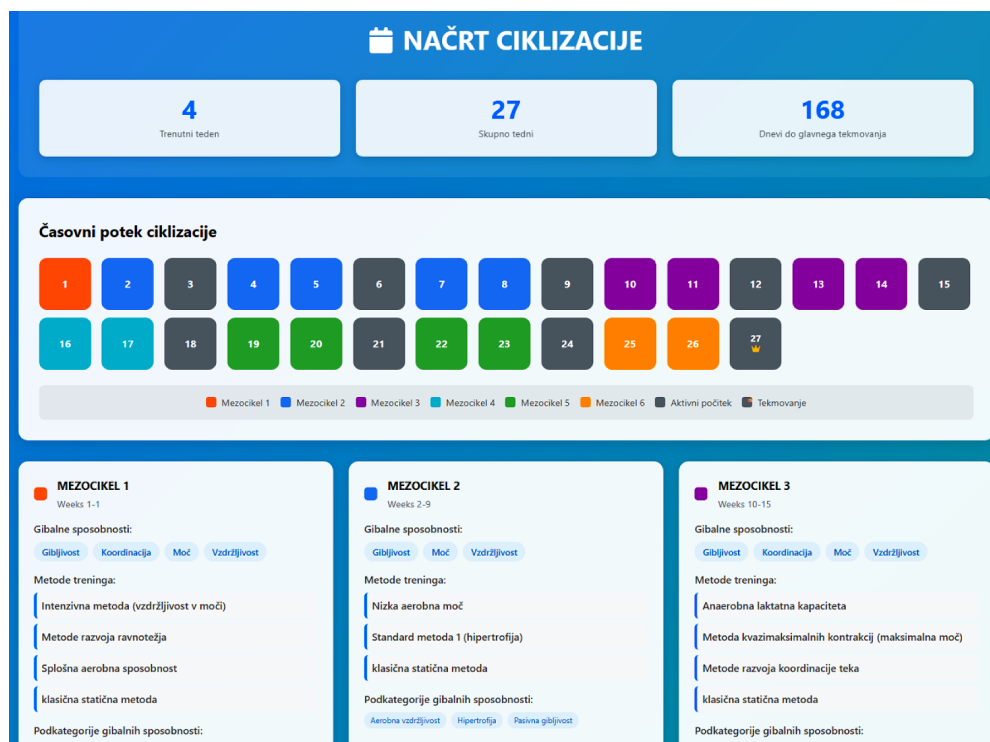
Moč ima v sistemu najkompleksnejšo obravnavo. Osnovno načelo temelji na razporeditvi vaj po velikosti mišičnih skupin (od večjih proti manjšim). Tedenko se lahko ista mišična skupina trenira samo 2 krat, oziroma znotraj ene enote (enega dneva) samo 3 krat.

Vzdržljivost je omejena na eno vajo na dan zaradi specifične fiziološke narave. Takšni treningi zahtevajo velike energetske zaloge in povzročajo pomembne spremembe v presnovnih procesih. Enaki omejitvi sledi tudi gibalna sposobnost hitrost.

Rešitvo smo vpeljali samodejno dodajanje razteznih vaj (gibljivost): raztezanje glavnih mišičnih skupin se izvaja ob ponedeljkih, sredah in petkih, medtem ko se raztezanje vseh mišičnih skupin izvaja ob nedeljah.

Standardne koordinacijske metode smo omejili na eno vajo na dan in jih dodali izključno k sejam z ne-koordinacijskimi metodami. Posebna izjema velja za koordinacijo teka, ki lahko ima neomejeno število koordinacijskih vaj na dan.

Vizualizacije smo implementirali s pomočjo knjižnice `Chart.js`, ki omogoča interaktivne grafe za spremljanje napredka. Sistem avtomatsko generira ločene grafe za različne enote meritve.



Slika 5: Primer pogleda ustvarjene ciklizacije na razviti rešitvi.

Varnostni standardi sledijo zakonodaji GDPR z vpeljavo obveznega soglasja uporabnikov, po vlogah orientiranega dostopa do podatkov ter šifriranim shranjevanjem občutljivih informacij.

Z razvito rešitvijo smo uspešno vpeljali hierarhijo algoritmov za avtomatsko ustvarjanje ciklizacij.

Razvit uporabniški vmesnik je pokazal visoko stopnjo intuitivnosti in odzivnosti. Enostranska spletna aplikacija zagotavlja gladko navigacijo brez osveževanja strani. Komponentna arhitektura ni bila v celoti razvita, vendar omogoča konsistentno vedenje skozi različne module aplikacije.

S pomočjo rešitvije lahko uspešno ustvarimo letni načrt treninga v 12 sekundah, brez upoštevanja časa, ki ga namenimo izbiri optimalnih metod treninga in trajanju posameznih obdobij.

Varnostni standardi s skladnostjo GDPR, šifriranjem BCrypt in avtentikacijo JWT so uspešno vpeljeni in testirani. Sistem zagotavlja varno ločevanje podatkov med različnimi uporabniki z ustreznimi omejitvami avtorizacije. S čelnim delom spletne aplikacije, zahteve za zaledni del trenutno pošiljamo preko protokola HTTP, ki ni primeren za produkcijsko okolje oziroma izniči namen uporabe šifriranja BCrypt.

Kljub uspešni vpeljavi osnovnih funkcionalnosti smo odkrili določene omejitve sistema. V rešitvi trenutno ne omogočamo dinamičnega dodajanja lastnih vaj s strani trenerjev, kar zmanjšuje prilagodljivost za specifične potrebe. Ne vpeljemo analitičnih funkcionalnosti z uporabo umetne inteligence, ki bi omogočile odkrivanje vzorcev in napovedovanje rezultatov. Prav tako bi z umetno inteligenco omogočili opis zahtev specifičnega športa in avtomatsko ustvarjanje ciklizacije glede le-tega, s pomočjo naših navodil in ekspertnega sistema.

Pomanjkanje dinamičnega prilagajanja obremenitev na podlagi individualnih testnih rezultatov predstavlja priložnost za nadaljnji razvoj. Trenutni pristop temelji na statičnih parametrih težavnosti, pri katerem ne upoštevamo objektivnih meritev napredka posameznega športnika.

Objektivno primerjamo rezultate športnikov, kar prispeva k razvoju na dokazih temelječe znanosti športa. Hkrati lahko z avtomatizacijo administrativnih nalog, trenerji izvedejo bolj kakovostno delo s športniki.

Novost predstavlja hierarhična struktura s standardiziranimi vajami, ki na podlagi teorije športa ustvari letni načrt treninga brez interferenčnih učinkov vadbe.

4.1 Ovrednotenje in testiranje sistema

Rešitev smo testirali s pomočjo programa Postman. Pri Funkcionalnem testiranju smo pokrili vse končne točke API z validacijo vhodnih parametrov, obdelavo napak ter konsistentnostjo izhodnih podatkov. Integracijsko testiranje smo osredotočili na validacijo PL/SQL paketov, ki implementirajo poslovno logiko. S testi smo preverili pravilnost algoritmov za distribucijo metod, matematično točnost kalkulacij za aktivni počitek ter upoštevanje vseh omejitvenih pogojev. S testiranjem sistema smo potrdili stabilnost in zanesljivost implementiranih algoritmov.

V nadaljevanju podajamo ovrednotenje, utemeljeno z logičnim argumentom [21] priznано npr., ko je artefakt nov in še brez terenskega ovrednotenja [18], [21], [23].

Avtomatsko smo ustvarili 300 različnih načrtov letnega treninga za različne scenarije v 3 krogih po 100 iteracij (slika 6). Ugotovili smo, da je bil povprečni čas ustvarjanja načrta 12,31 sekund s standardnim odklonom 6,41 sekund, proti oceni ročnega ustvarjanja (anketa z velikostjo vzorca 21) 100800 sekund s standardnim odklonom 67968 sekund. Opisano predstavlja 99,98 % izboljšanje časa pri ustvarjanju letnega načrta treninga.

Pri ustvarjanju ciklizacije so bila dovoljena časovna odstopanja za enoto treninga, ki so omogočila, da je bilo mogoče kombinirati vse vaje ob upoštevanju omejitev. Pri lihih težavnostih, ki bi morale imeti čas treninga na enoto 45 minut, je bil povprečen čas na enoto 49,38 minut s standardnim odklonom 14,57 minut. Pri sodih težavnostih, ki bi morale imeti čas treninga na enoto 60 minut, pa je bil povprečen čas na enoto 54,341 minut s standardnim odklonom 15,08 minut. Odstopanja se pojavijo, ker imamo v bazi podatkov vajo s trajanjem 75 minut, medtem ko najkrajša vaja traja 5 minut. Čeprav smo ciljali na 15

POVZETEK TESTIRANJA:

```
Število uspešnih testov: 100/100
Skupni čas uspešnih testov: 126502 centiseconds
Povprečni čas ustvarjanja: 1265.02 centiseconds
Standardni odklon: 667.26 centiseconds
Povprečni čas v milisekundah: 12650.2 ms
Standardni odklon v milisekundah: 6672.58 ms
```

Slika 6: Povzetek 1. testiranja pri 100-kratnem iterativnem ustvarjanju ciklizacije.

minutno razliko, se težavnosti lihih in sodih razlikujejo po uporabljeni zahtevnosti vaj.

Za 100 ustvarjenih ciklizacij smo v podatkovni bazi porabili 13 MB prostora. Za en načrt tako v povprečju porabimo 0,13 MB oziroma 133,12 KB. Pri nadaljnjem testnem scenariju v praksi, 100 trenerjev, kjer ima vsak 50 športnikov, bi potrebovali 650 MB prostora, če bi imel vsak športnik samo en načrt.

Konsistentnost treningov je 100 %, saj gre v celostnem pogledu pri raziskavi za ekspertni sistem, ki deluje na podlagi določenih pravil. Enaki parametri bodo vedno ustvarili enak letni načrt treninga. Prav tako ni prišlo do interferenčnih konfliktov. V 100 % se upoštevajo razmerja med aktivnim počitkom.

Teoretični prispevek k znanosti je prva formalizacija interferenčnih pravil v algoritemski obliki. Na splošno je glede na literaturo iz športa, načrt vadbe strukturno razdeljen na enote in standardiziran. Novost je tudi pri operacionalizaciji načel sočasnega treninga [10] in prvi ustvarjen sistem, ki implementira vseh 5 gibalnih sposobnosti z omejitvami za razliko od avtomatskega načrtovanja za kimboksarje [15]. Podobno so z algoritmom bat [16] optimizirali razporejanje treningov, vendar pri tem niso upoštevali fizioloških omejitev interferenčnih učinkov vadbe. Potrebno po interferenčnih omejitvah prav tako potrjujemo, saj sistemi brez teoretičnih omejitev pogosteje vodijo v prekomerne obremenitve [10].

Obstoječe komercialne rešitve, kot npr. TrainingPeaks, TeamBuildr, temeljijo na preprostih predlogah brez implementacije znanstveno podprtih algoritmov v primerjavi z Artefaktom (tabela 2). V sistematičnem pregledu ugotavljajo, da 54,6 % raziskav

ostaja v prototipni fazi, predvsem zaradi pomanjkanja standardiziranih pristopov [4]. Naš sistem naslavlja to omejitev z implementacijo preko 200 standardiziranih vaj in 23 metod. S tem omogočamo prilagojene kondicijske načrte treninga in se izognemo generičnim, da bi preprečili nastanek poškodb [20]. Z ustreznimi prilagoditvami omejitev, lahko vadbo razširimo tudi v kontekst rekreativnih športnikov in rehabilitacije, saj ostaja kondicijska priprava pri vseh vadečih enaka.

Trenutne teoretične omejitve artefakta so pomanjkanje dodajanja tehničnih/lastnih vaj, pomanjkanje izvoza načrtov v dokument PDF in pomanjkanje kopiranja načrtov. Glavno omejitev raziskave predstavlja pomanjkanje ovrednotenja v praksi.

5 DISKUSIJA

Rezultati raziskave potrjujejo smernice dosedanjih študij na področju avtomatizacije športnega načrtovanja, in hkrati presegajo obstoječe pristope z vpeljavo celostnega sistema, ki teorijo športa pretvarja v praktično tehnološko rešitev.

Naše rezultate lahko povežemo z ugotovitvami [15], da avtomatično ustvarjeni načrti skrajšajo čas načrtovanja in povečajo individualizacijo glede na ročno pripravljene načrte za kimboksarje. Pristop smo razširili na pet gibalnih sposobnosti z vpeljavo omejitev in hierarhičnih algoritmov. Doseženo zmanjšanje časa načrtovanja iz enega tedna na nekaj minut predstavlja kvantitativni napredek, ki se sklada tudi z zahtevami pridobljenimi z intervjuji. Krajši čas ustvarjanja posredno podpira zahteve za individualizacijo treninga posameznika. Štiri identificira-

Tabela 2: Primerjava artefakta z obstoječo alternativo.

Kriterij	Naš artefakt	Training Peaks
Čas ustvarjanja letnega načrta	12,31 sekund ($\pm 6,41$ sekund)	Manj kot 1 sekunda
Število vpeljanih vaj	200+	0
Število trenažnih metod	23	0
Število gibalnih sposobnosti	5	3 (manjka koordinacija in gibljivost)
Podpora za ciklizacijo	Hierarhična (makro-mezo-mikro)	Omejena, brez mezocikla.
Standardizacija vaj	Da	Ne. Ni vaj.
Podpora več vrhov ciklizacije	Ne	Da
Število podprtih športov	Kondicijska priprava vseh športov	20+
Mobilna aplikacija	Ne	Da
Interferenčni konflikti	0 %	N/D
Vizualizacija napredka	Da	Da

ne organizacijske teme se prekrivajo tudi s potrebo [16] po avtomatizaciji administrativnih nalog pri trenerjih. Sistematično beleženje testnih rezultatov se sklada z ugotovitvami [17] podatkovnega pristopa za individualizirano načrtovanje treningov, saj lahko z rezultati izvajamo podatkovno analitiko ali ustvarimo vizualizacije. Prav tako, lahko kasneje podatke uporabimo za treniranje napovednega modela, ali modela UI za ustvarjanje ciklizacije. Vizualizacije, ustvarjene z Chart.js, naslovijo potrebo po boljšem spremljanju napredka iz sistematičnega pregleda [4] inteligentnih metod analize podatkov za športno treniranje. S pristopom še ne izkoriščamo polnega potenciala naprednih analitičnih metod, kot so vektorski stroji ali umetne nevronske mreže, ki jih literatura [4] odkriva kot najširše uporabljene metode.

Omejitev, ki smo jih v aplikacijo vpeljali se nanašajo na interferenčne učinke vadbe. Ugotovitve [10] o interferenčnih učinkih med trenažnimi modalnostmi neposredno podpirajo naše omejitve. V sistem smo uspešno vpeljali teoretične smernice, kjer vzdržljivost in hitrost omejujemo na eno vajo na dan, medtem ko pri moči upoštevamo razporeditev po velikosti mišičnih skupin. Omejitve in ustvarjanje ciklizacije bi lahko v prihodnosti izboljšali s strojnimi učenjem. Pomembna omejitev v kontekstu ovrednotenja sistema je pomanjkanje dinamičnega prilagajanja obremenitev na podlagi testnih rezultatov. Ugotovitev [8] sovпада s potrebo po prilagodljivih sistemih podpore odločanja, ki uporabljajo realne podatke zmogljivosti športnikov.

Skladnost GDPR pridobljenega artefakta naslavlja etične izzive, ki jih povežemo z ugotovitvami [24] glede varovanja zasebnosti pri uporabi tehnologije v športnem treniranju. Vpeljava šifriranja BCrypt in avtentikacije JWT zagotavlja profesionalne varnostne standarde, vendar komunikacija preko protokola HTTP izniči namen šifriranja. Pri razvojni različici smo se odločili za rešitev NoIP, ki je bila izbrana zaradi hitrosti vpeljave v sistem in ni podpirala brezplačne nadgradnje. Nujno potrebna pa je nadgradnja sistema na protokol HTTPS ali dodajanje plasti SSL za produkcijsko uporabo.

Spoznanje [12] o potencialu tehnologije pri športu potrjujemo tudi z našimi rezultati, vendar se hkrati izpostavijo tudi izzivi praktične implementacije. Medtem ko literatura [4] identificira 109 študij o inteligentnih metodah, večina ostaja v prototipni fazi. Tudi naš artefakt ostaja v prototipni fazi z namenom nadaljnjega razvoja.

Omejitev pri upravljanju lastnih vaj odraža širšo problematiko standardizacije v športni znanosti. Medtem ko standardizacija omogoča objektivno primerjavo rezultatov, zmanjšuje prilagodljivost za specifične potrebe. Ta dilema se navezuje ugotovitve [13] o potrebi po preoblikovanju teorij ciklizacije v smer prilagodljivih sistemov.

Predstavljena novost je prvi celostni ekspertni sistem za ustvarjanje letnih načrtov treninga, podprt s teorijo športa za preprečevanje interferenčnih učinkov. Omenjeno predstavlja metodološko novost, saj dosežanje raziskave niso sistemsko obravnavale avtomatizacije celotnega procesa načrtovanja z upoštevanjem vseh gibalnih sposobnosti in njihovih omejitev.

Praktični pomen našega sistema lahko presega akademske okvire, saj naslavlja realne potrebe trenažne prakse. Avtomatizacija administrativnih nalog omogoča trenerjem večjo osredotočenost na kakovostno delo s športniki, kar se sklada s širšimi trendi digitalizacije v športni industriji.

6 ZAKLJUČEK

V raziskavi smo obravnavali problematiko tradicionalnih pristopov k načrtovanju treningov v športu, ki se pri večjem številu športnikov izkažejo za neučinkovite. V ta namen smo razvili rešitev za avtomatsko ustvarjanje letnih načrtov treninga. Hkrati, smo omogočili spremljanje napredka športnikov glede na vnesene teste. Aplikacijo smo razvili po strategiji načrta in razvoja in metodologiji razvojnega prototipa. Za čelni del smo uporabili Vue.js, za zaledni del Python Flask in bazo podatkov Oracle z PL/SQL za implementacijo poslovne logike. Raziskavo smo izvedli z ovrednotenjem preko strukturiranih intervjujev s trenerji Atletskega kluba Velenje in anketami s trenerji v Sloveniji. Sistem je vseboval več kot 200 vaj, 23 metod in 5 gibalnih sposobnosti. Pri tem smo naslovili problem avtomatizacije časovno zahtevnih administrativnih nalog pri načrtovanju treningov. Prav tako, smo zagotovili znanstveno podprto individualizacijo kondicijskega trenažnega procesa.

Z Implementacijo algoritmov za avtomatsko ustvarjanje ciklizacije z 10-stopenjsko lestvico, lahko sistematično načrtujemo trenažni proces kondicijske priprave.

Ovrednotenje sistema je potrdilo potrebe trenerjev po digitalizaciji administrativnih procesov. Razkrili pa smo izzive pri ohranjanju fleksibilnosti in možnosti prilagajanja specifičnim potrebam posame-

znih športnikov. V praksi je tako potrebno poiskati ravnotežje med standardizacijo vadbenih vsebin, ki omogočajo objektivno analizo napredka, ter zasnovano sistema, ki trenerjem še vedno zagotavlja možnost individualnih prilagoditev.

Uporaba znanstveno podprtih metod ciklizacije z implementacijo aktivnega počitka predstavlja obetavno področje, ki lahko izboljša učinkovitost načrtovanja športnih treningov. Rezultati raziskave so pomemben prispevek k praksi digitalizacije športnega treniranja. Sistem uspešno implementira arhitekturo, ki upošteva načela teorije športa, kot so razporeditev metod treninga, preprečevanje interferenčnih učinkov med gibalnimi sposobnostmi in sistematična organizacija mikrociklov ter mezociklov.

Prihodnje raziskave se lahko usmerijo v nadaljnji razvoj spletne aplikacije z implementacijo dinamičnega prilagajanja obremenitev na podlagi testnih rezultatov, integracijo umetne inteligence za napredne analitične funkcionalnosti ter razvoj modula za upravljanje lastnih vaj. Prav tako, bi bilo smiselno raziskati možnosti integracije pametnih nosljivih naprav za spremljanje v realnem času ter razvoj mobilne aplikacije za lažji uporabniški dostop. Te izboljšave lahko zagotovijo široko uporabo v slovenskem športnem prostoru ter prispevajo k dvigu profesionalnih standardov športnega treniranja.

LITERATURA

- [1] V. Babajanyan, N. Semal, N. Beseda, V. Farionov, in O. Kurii, »Digitalization of fitness and sports«, Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова. Серія 15, let. 8, št. 8(168), str. 32–36, avg. 2023, doi: 10.31392/NPU-NC.SERIES15.2023.8(168).06.
- [2] A. D. Artemov, »The impact of digitalization on physical culture and professional physical training of athletes in Russia«, *Physical Education and University Sport*, let. 2, št. 1, str. 28–34, feb. 2023, doi: 10.18500/2782-4594-2023-2-1-28-34.
- [3] J. Ranjan in R. Gera, »Bridging the gap in knowledge transfer between academia and practitioners«, *International Journal of Educational Management*, let. 26, št. 3, str. 252–273, mar. 2012, doi: 10.1108/09513541211213336.
- [4] A. Rajšp in I. Fister, »A Systematic Literature Review of Intelligent Data Analysis Methods for Smart Sport Training«, *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 3013, let. 10, št. 9, str. 3013, apr. 2020, doi: 10.3390/AP10093013.
- [5] L. Siyuan, Q. Yunan, L. Jiaze, B. Jiuzhi, in Z. Hetong, »Design and Implementation of Sports Safety Mechanics Signal Monitoring System in Sports Training«, *Computer Fraud and Security*, str. 07–12, dec. 2024, doi: 10.52710/CFS.151.
- [6] M. A. A. Rivas in A. J. H. Guerrero, »Parámetros morfo-funcionales básicos del rendimiento atlético evaluados en los deportes«, *Lecturas: Educación Física y Deportes*, let. 25, št. 273, str. 175–190, feb. 2021, doi: 10.46642/EFD.V25I273.1645.
- [7] B. H. Jones, D. N. Cowan, in J. J. Knapik, »Exercise, Training and Injuries«, *Sports Medicine: An International Journal of Applied Medicine and Science in Sport and Exercise*, let. 18, št. 3, str. 202–214, nov. 1994, doi: 10.2165/00007256-199418030-00005/METRICS.
- [8] M. Connor, D. Faganan, B. Watters, F. McCaffery, in M. O'Neill, »Optimizing Team Sport Training with Multi-Objective Evolutionary Computation«, *Int J Comput Sci Sport*, let. 20, št. 1, str. 92–105, jan. 2021, doi: 10.2478/IJCSS-2021-0006.
- [9] D. S. Teyhen idr., »Automation to improve efficiency of field expedient injury prediction screening«, *J Strength Cond Res*, let. 26, št. SUPPL. 2, jul. 2012, doi: 10.1519/JSC.0B013E31825D80E6.
- [10] G. A. Nader, »Concurrent strength and endurance training: From molecules to man«, *Med Sci Sports Exerc*, let. 38, št. 11, str. 1965–1970, nov. 2006, doi: 10.1249/01.MSS.0000233795.39282.33.
- [11] G. J. Wilson, R. U. Newton, A. J. Murphy, in B. J. Humphries, »The optimal training load for the development of dynamic athletic performance«, *Med Sci Sports Exerc*, let. 25, št. 11, str. 1279–1286, 1993, doi: 10.1249/00005768-199311000-00013.
- [12] M. Rico-González, J. Pino-Ortega, A. Méndez, F. M. Clemente, in A. Baca, »Machine learning application in soccer: a systematic review«, *Biol Sport*, let. 40, št. 1, str. 249–263, 2022, doi: 10.5114/BIOLOSPORT.2023.112970.
- [13] J. Kiely, »Periodization Paradigms in the 21st Century: Evidence-Led or Tradition-Driven?«, *Int J Sports Physiol Perform*, let. 7, št. 3, str. 242–250, sep. 2012, doi: 10.1123/IJ-SPP.7.3.242.
- [14] J. E. C. Velázquez, N. D. O. Reyes, in N. J. R. Bolívar, »REVISIÓN TEÓRICA DE LA PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y CONTEMPORÁNEA EN EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO«, *Revista digital: Actividad Física y Deporte*, let. 5, št. 2, str. 171–181, jun. 2019, doi: 10.31910/RDAFD.V5.N2.2019.1265.
- [15] T. Skerik, L. Chrapa, W. Faber, in M. Vallati, »Automated Training Plan Generation for Athletes«, *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2018*, str. 3865–3870, jul. 2018, doi: 10.1109/SMC.2018.00655.
- [16] I. Fister, S. Rauter, X. S. Yang, K. Ljubič, in I. Fister, »Planning the sports training sessions with the bat algorithm«, *Neurocomputing*, let. 149, št. PB, str. 993–1002, feb. 2015, doi: 10.1016/J.NEUCOM.2014.07.034.
- [17] K. Brzostowski, J. Drapała, A. Grzech, in P. Świątek, »ADAPTIVE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR AUTOMATIC PHYSICAL EFFORT PLAN GENERATION—DATA-DRIVEN APPROACH«, *Cybern Syst*, let. 44, št. 2–3, str. 204–221, mar. 2013, doi: 10.1080/01969722.2013.762260.
- [18] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, in S. Chatterjee, »A design science research methodology for information systems research«, *Journal of Management Information Systems*, let. 24, št. 3, str. 45–77, dec. 2007, doi: 10.2753/MIS0742-1222240302;PAGE:STRING:ARTICLE/CHAPTER.
- [19] T. S. Jones in R. C. Richey, »Rapid prototyping methodology in action: A developmental study«, *Educational Technology Research and Development*, let. 48, št. 2, str. 63–80, 2000, doi: 10.1007/BF02313401/METRICS.
- [20] J. S. Brenner idr., »Overuse Injuries, Overtraining, and Burnout in Young Athletes«, *Pediatrics*, let. 153, št. 2, feb. 2024, doi: 10.1542/PEDS.2023-065129.
- [21] K. Peffers, M. Rothenberger, T. Tuunanen, in R. Vaezi, »Design science research evaluation«, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, let. 7286 LNCS, str. 398–410, 2012, doi: 10.1007/978-3-642-29863-9_29.

- [22] K. R. Larsen idr., »VALIDITY IN DESIGN SCIENCE«.
- [23] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, in S. Ram, »DESIGN SCIENCE IN INFORMATION SYSTEMS RESEARCH 1«, *Design Science in IS Research MIS Quarterly*, let. 28, št. 1, str. 75, 2004.
- [24] F. Ihsan, A. Nasrulloh, S. Nugroho, in R. Yuniana, »A review of the use of technology in sport coaching: current trends and future directions«, *Health, sport, rehabilitation*, let. 11, št. 1, str. 85–101, mar. 2025, doi: 10.58962/HSR.2025.11.1.85-101.

■

Luka Lah je magister organizator informatik z univerzitetno izobrazbo na področju športnega treniranja. Raziskovalni interesi so vezani na uporabo umetne inteligence in izboljšanjem procesov športne vadbe.

The logo for MODRA, featuring a stylized 'M' with two white circles above it, followed by the word 'MODRA' in a bold, white, sans-serif font.

Zavarovalnica za dodatno
pokojsninsko zavarovanje



MANJ DOHODNINE. **VEČ POKOJSNINE.**

ZAKORAKAJ Z MODRO V PRIHODNOST.

Z varčevanjem v dodatnem pokojninskem zavarovanju ste upravičeni do posebne davčne olajšave. Vplačila v posameznem letu vam znižajo osnovo za odmero dohodnine in država vam del dohodnine vrne ali pa se vam zniža morebitno doplačilo dohodnine.

IZRAČUNAJTE
DAVČNO OLAJŠAVO



■ (R)evolucija slovenskega zdravstva z uporabo metod umetne inteligence: ocena finančnih koristi na primeru sistema HomeDOctor

Rok Smodiš, Filip Ivanišević, Ivana Karasmanakis, Primož Kocuvan¹, Tadej Horvat¹ in Matjaž Gams¹

¹Department of Intelligent Systems, Jožef Stefan Institute, 1000 Ljubljana, Slovenia

rok.smodis@gmail.com, filipivanisevic79@gmail.com, karasmanakisivana@gmail.com, primoz.kocuvan@ijs.si, tadej.horvat@ijs.si, matjaz.gams@ijs.si

Izvleček

Po letih obljub, da bo umetna inteligenca (UI) reformirala zdravstvo, se zdravstveni sistemi po svetu in Sloveniji še vedno soočajo z resnimi težavami. V članku smo testirali sposobnosti pravilnega odgovarjanja sistemov HomeDOctor in GPT-4o na medicinska vprašanja, prav tako pa smo analizirali, kako bi lahko HomeDOctor pomagal zdravstvenemu sistemu ter kakšni bi bili finančni prihranki zaradi tega. Rezultati testiranja so pokazali, da tako HomeDOctor, kot GPT-4o zelo dobro odgovarjata na medicinska vprašanja, pri čemer lahko HomeDOctor pri svojih odgovorih uporabnikom ponuja dodatno gradivo. Finančna ocena prihrankov pa nakazuje, da bi slovenski zdravstveni sistem z uvedbo sistema, kot je HomeDOctor lahko prihranil med 19 in 347 milijoni evrov na leto.

Ključne besede: HomeDOctor, zdravstvo, umetna inteligenca, veliki jezikovni modeli, prihranki v zdravstvu

(R)evolution of Slovenian Healthcare through the Methods of Artificial Intelligence: An Assessment of Financial Benefits in the Case of HomeDOctor

Abstract

After years of promises that artificial intelligence (AI) will reform healthcare, healthcare systems around the world and in Slovenia still face serious problems. In this article, we tested the abilities of HomeDOctor and GPT-4o in answering medical questions. Additionally, we analyzed how HomeDOctor could benefit the healthcare system and what the potential financial impacts might be. The test results showed that both HomeDOctor and GPT-4o answer medical questions very well, with HomeDOctor being able to provide users with additional material in its answers. The financial assessment of the savings suggests that the Slovenian healthcare system could save between 19 and 347 million euros annually by introducing a system like HomeDOctor.

Keywords: HomeDOctor, healthcare, Artificial Intelligence, large language models, healthcare savings

1 UVOD

V tem prispevku analiziramo, kako lahko uporaba umetne inteligence (UI) v primarnem zdravstvu v Sloveniji bistveno izboljša dostopnost storitev, zmanjša čakalne vrste in optimizira stroške. Po letih obljub, da bo UI reformirala zdravstvene sisteme, se ti, tako globalno kot v Sloveniji, še vedno soočajo z resnimi

strukturnimi in kadrovskimi težavami. Velik delež sveta se spopada s staranjem prebivalstva, kar povečuje potrebe po zdravstvenih storitvah [1]. V Sloveniji je bilo leta 2022 več kot 130.000 ljudi brez izbranega osebnega zdravnika, kar predstavlja 21 % povečanje glede na stanje dve leti prej, ter 230.000 žensk brez izbranega ginekologa [2] - [3]. Podobno kot drugod

po svetu se tudi pri nas zdravstveni sistem sooča s pomanjkanjem medicinskega osebja, preobremenjenostjo zdravnikov in staranjem zdravstvene delovne sile [4] - [5].

Dodaten pritisk na sistem predstavljajo nepotrebni obiski urgenc in osebnih zdravnikov zaradi blagih bolezenskih stanj (npr. zamašen nos, blag prehlad, glavobol), pri katerih bi si pacienti lahko pomagali sami. Ocenjuje se, da med 11 % in 26 % vseh obiskov osebnih zdravnikov predstavljajo stanja, ki ne zahtevajo strokovne obravnave [6] - [8], medtem ko med 20 % in 40 % obiskov urgence ni nujnih [9] - [11]. Posledice tega so dolge čakalne vrste in pozna diagnostika, ki je leta 2020 po podatkih Evropske komisije in OECD-ja prispevala k 1418 prezgodnjim smrtim v Sloveniji [12].

Poleg vpliva na zdravje prebivalstva se težave odražajo tudi v visokih javnih in zasebnih izdatkih za zdravstvo. Leta 2022 so izdatki za zdravstvo v povprečju predstavljali 10,2 % BDP v EU, v Sloveniji 9,6 %, v ZDA pa 16,5 % [13] - [14]. Na gospodarstvo dodatno vpliva zmanjšana produktivnost zaradi bolniških odsotnosti. Leta 2024 je bilo v Sloveniji zaradi bolezni izgubljenih 14.743.437 koledarskih dni, kar ustreza približno 16 dnevom na zaposlenega [15].

Med rešitvami za te izzive je vedno pogostejše omenjena uporaba naprednih tehnologij, zlasti umezne inteligence (UI) in velikih jezikovnih modelov (VJM) [16]. Študija Sahnija in sodelavcev [17] ocenjuje, da bi integracija UI v zdravstveni sistem ZDA lahko letno prihranila med 5 % in 10 % zdravstvenega BDP. Prvi koraki so že vidni, saj nekateri zdravniki že uporabljajo VJM kot prevajalnike, pomočnike pri pripravi dokumentacije in kot podporo pri kliničnem odločanju [18] - [19]. Po podatkih Ameriške medicinske zveze je delež zdravnikov, ki uporabljajo UI, v letu 2024 dosegel 66 %, kar je dvakrat več kot leto prej [19]. Tudi pacienti uporabljajo VJM za pridobivanje prilagojenih informacij o boleznih in zdravlilih, za razumevanje strokovnih vsebin v laičnem jeziku, za priporočila glede življenjskega sloga in za pripravo na posege [20].

Kljub temu pa le 17 % uporabnikov VJM, te uporablja za pridobivanje zdravstvenih informacij, pri čemer jih le 6 % popolnoma zaupa v točnost podanih zdravstvenih informacij [21]. Vendar pa vedno več raziskav kaže, da VJM odlično odgovarjajo na zdravstvena vprašanja [22] - [26]. Ayers in sodelavci [22] so pokazali, da VJM na vprašanja na forumih

odgovarjajo natančneje in z več empatije kot zdravniki. Yanagita in kolegi [23] poročajo, da bi ChatGPT 4 prestopil japonski nacionalni medicinski izpit. Gams in sodelavci [24] so pokazali, da HomeDOCTOR v več kot 95 % primerov pravilno diagnosticira klinične vinjete in presega splošne VJM v slovenskem okolju. Goh in sodelavci [25] ugotavljajo, da VJM prekašajo zdravnike tudi, kadar imajo ti dostop do interneta ali pa si pri odgovarjanju lahko pomagajo z VJM.

Posebno pozornost pritegne nedavna pobuda podjetja OpenAI, ki je v sodelovanju z 262 zdravniki razvila test za ocenjevanje zmogljivosti VJM v medicinskem kontekstu. Rezultati kažejo, da najnovejši modeli presegajo zdravnike v kvaliteti odgovorov, pri čemer so bistveno boljši od starejših različic [26].

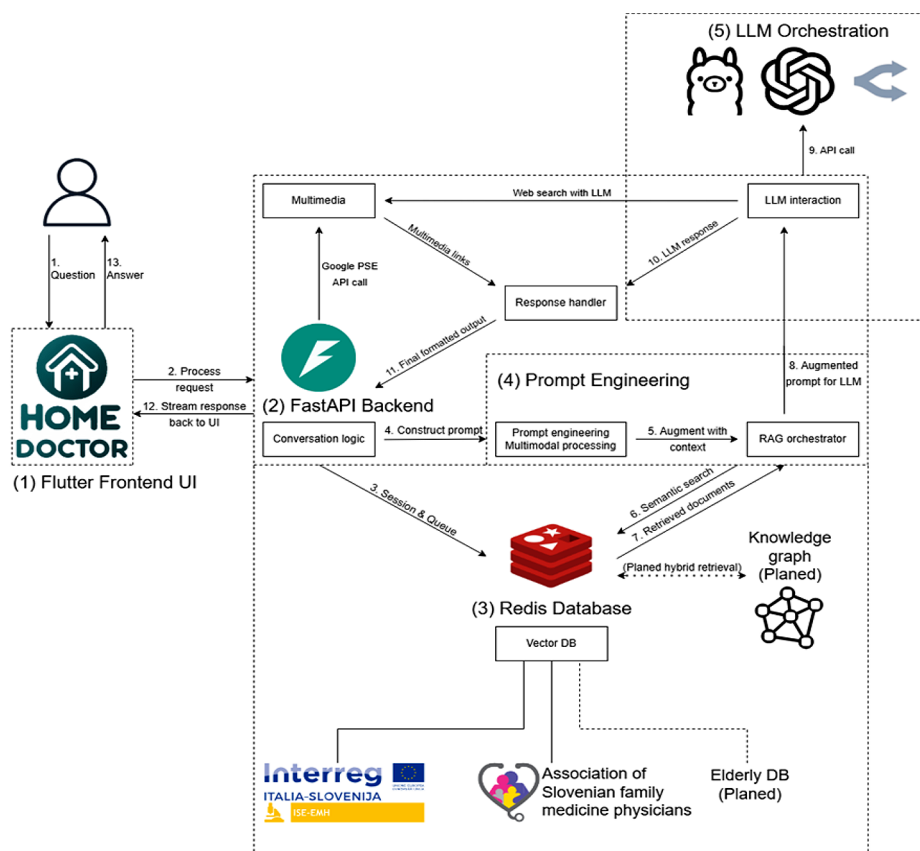
Prvi cilj naše raziskave je bil replicirati rezultate prejšnjih študij o zmogljivosti VJM pri odgovarjanju na medicinska vprašanja, opraviti kvalitativno analizo njihove uporabnosti kot zdravstvenih podpornih sistemov (za paciente) ter podati oceno skladnosti z regulatornimi zahtevami EU. Drugi cilj je bil oceniti finančne prihranke, ki bi jih Slovenija lahko dosegla z uvedbo takšnega sistema v svoj zdravstveni sistem.

2. METODOLOGIJA

2.1 Testirana sistema

V naši raziskavi smo testirali dva sistema: HomeDOCTOR ter GPT-4o (v času testiranja eden izmed najzmogljivejših modelov). Za namene te študije bomo oba sistema obravnavali kot zdravstveni podporni orodji.

HomeDOCTOR je specializirana sistem, ki uporabnikom preko interakcije v naravnem jeziku zagotavlja medicinske usmeritve, skladne s strokovnimi smernicami. Sistem je zasnovan kot spletna aplikacija, ki uporabnikom nudi varen, anonimen in neprekinjen (24/7) dostop do strukturiranih zdravstvenih informacij, navodil za samopomoč ter priporočil za nadaljnje korake. Sistem temelji na osnovnem VJM ter uporablja tehnologijo RAG s katero priključuje relevantno medicinsko znanje, ki ga tvorijo slovenske klinične smernice, priročniki družinske medicine in drugi zanesljivi zdravstveni viri prilagojeni slovenskemu okolju. Ob poizvedbi uporabnika sistem izvede semantično iskanje po korpusu medicinskih dokumentov, ki so v vektorsko obliko pretvorjeni z domensko specifičnimi kodirniki. Na podlagi najdenih fragmentov besedil se zgradi kontekstualno



Slika 1: Vizualizacija delovanja sistema HomeDOctor.

obogaten poziv, ki ga obdela izbrani veliki jezikovni model [27]. Shematski prikaz delovanja sistema HomeDOctor je razviden na Sliki 1.

2.2 Odgovarjanje na medicinska vprašanja

Za ocenjevanje obeh sistemov smo uporabili javno dostopna uporabniška vmesnika, prek katerih se lahko uporabniki pogovarjajo s sistemoma. Ocenjevanje

sta operativno izvedla dva študenta zadnjega letnika medicine Univerze v Ljubljani.

Pozive (prompte) s katerim smo testirali uspešnost so predstavljala medicinska vprašanja, ki so bila izbrana iz različnih učbenikov in študijskih gradiv, dostopnih študentom Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani, s čimer smo zagotovili ustreznost in relevantnost za slovensko okolje. Nabor je vklju-

V nadaljevanju sledi primer izpitnega vprašanja in odgovora: Glavna patofiziološka motnja pri restriktivni kardiomiopatiji je: a. motena diastolična funkcija prekatov b. moteno krčenje prekatov c. perikardna konstrikcija d. zadebeljene stene obeh prekatov e. funkcionalna trikuspidalna in mitralna insuficienca

Glavna patofiziološka motnja pri restriktivni kardiomiopatiji je motena diastolična funkcija prekatov. To pomeni, da so prekat srca manj sposobni sproščanja in polnjenja s krvjo med diastolo, kar vodi do zmanjšane srčne zmogljivosti in povečanega pritiska v srčnih komorah. Če imate kakšna dodatna vprašanja ali potrebujete več informacij, sem vam na voljo



Slika 2: Primer klinične vinjete in odgovora sistema HomeDOctor.

čeval vprašanja s področja interne medicine, delno pa tudi iz splošne medicine in kirurgije, pri čemer so bila vprašanja različnih zahtevnosti. Podobno kot v drugih študijah (npr. [24] - [25]) je tudi našim vprašanjem sledilo več možnih odgovorov, med katerimi je sistem moral izbrati pravi. Testiranje je potekalo tako, da smo vsakemu sistemu vprašanja predstavili v obliki enotnega »one-shot« poziva, brez dodatnega konteksta ali možnosti nadaljnega dialoga. Točnost smo ocenjevali glede na to ali je sistem izbral pravi odgovor. Oba sistema smo testirali z istimi 150 vprašanji. Primer vprašanja in odgovora, ki ga je podal sistem HomeDOCTOR, je prikazan na Sliki 2.

2.3 Kvalitativno ocenjevanje sistemov

Kvalitativno smo sistema ocenili tako, da smo analizirali način podajanja odgovorov ter gradiva, ki jih sistem lahko vključi v svoj odgovor. Pri tem smo posebno pozornost namenili razumljivosti, struktuiranosti in lokalni relevantnosti podanih informacij, prav tako pa tudi uporabnosti dodatnih gradiv za podporo pacientu.

2.4 Analiza regulatorne skladnosti

Regulatorno skladnost smo ocenili z javno dostopnim vprašalnikom Future of Life Institute – EU AI Act Compliance Checker [28]. Orodje vodi uporabnika skozi nabor trditev, razvrščenih v domene upravljanja tveganj, preglednosti, človeškega nadzora ter varovanja podatkov. Na podlagi odgovorov se sistem uvrsti med prepovedane, visokorizične ali sisteme z omejenim tveganjem.

Vprašalnik smo izpolnili le za sistem HomeDOCTOR, saj imamo le pri njem popoln dostop do izvorne kode, podatkovnih tokov, dokumentacije in RAG-virov, ter le pri njem lahko zagotovimo sledljivost metapodatkov (verzije modela, datum izdaje, evidence testov).

2.5 Ocenjevanje finančnih prihrankov

V Tabeli 1 so zbrani podatki, ki smo jih uporabili za izračun finančnih prihrankov. Pri tem smo uporabili podatke o stroških zdravstvenega sistema, številu obiskov zdravnikov in drugih relevantnih statistikah iz zbirk NIJZ, ZZZS, SURS, OECD in Eurostat. Do-

Tabela 1: Podatki, uporabljeni za izračune

Kategorija	Opis podatka	Število	Vir
Zdravstveni podatki			
	Število izgubljenih koledarskih delovnih dni (2024)	14.743.437	[15]
	Št. nepotrebnih obiskov pri zdravniku	11 - 26 %	[6] – [8]
	Št. nepotrebnih obiskov urgenc	20 - 40 %	[9] – [11]
	Število letnih smrti zaradi ozdravljive smrtnosti (2020)	1413	[12]
	Delež napačnih ali prepoznanih diagnoz	5 %	[29]
	Št. obiskov urgence (2022)	548.908	[30]
	Št. preventivnih pregledov (2023)	685.372	[31]
	Št. kurativnih pregledov (2023)	2.255.056	[31]
	Št. kontrolnih kurativnih pregledov (2023)	1.896.015	[31]
	Št. kurativnih kratkih pregledov (2023)	5.409.586	[31]
	Št. kurativnih posvetov na daljavo (2023)	1.254.886	[31]
	Št. hišnih obiskov (2023)	20.596	[31]
Cene in podatki o gospodarstvu			
	Cena preventivnega pregleda	46,02 €	[32]
	Cena prvega kurativnega pregleda	12,74 €	[32]
	Cena kontrolnega kurativnega pregleda	8,14 €	[32]
	Cena kratkega kurativnega pregleda	5,31 €	[32]
	Cena kurativnega pregleda na daljavo	5,31 €	[32]
	Cena hišnega obiska	56,64 €	[32]
	Cena ostalih storitev	5,31 €	[32]
	Cena obiska urgence	30 €	[33]
	Zdravstveni BDP	5.948.000.000 €	[34]
	Strošek zdravljenja v zadnjih šestih mesecih življenja	46.000 €	[35]
	Cena enega pogovora s HomeDOCTORjem	0,05 €	[36]
	Povprečen proizveden BDP na delovni dan	480 €	[37]

datne podatke, kot so frekvence nepotrebnih obiskov zdravnikov, smo povzeli iz študij, v katerih so te deleže ocenili zdravniki. Pri podatkih o številu nepotrebnih obiskov pri osebnem zdravniku in v urgentnih službah smo za končne izračune uporabili povprečne vrednosti iz literature: 18,5 % za nepotrebne obiske pri osebnih zdravnikih in 30 % za nepotrebne obiske urgence.

Delež prebivalstva, ki bi uporabljalo zdravstveno podporno orodje, smo določili na več načinov. Maksimalni delež in s tem najbolj optimističen scenarij predvideva 91 % uporabnikov, kar ustreza deležu prebivalcev, ki uporabljajo internet [38]. Naslednji scenarij temelji na podatku, da trenutno VJM uporablja 65 % ljudi [21]. Tretji scenarij smo izračunali tako, da smo od deleža vseh uporabnikov VJM odšteli tiste, ki jih že sedaj uporabljajo za zdravstvene namene, s čimer smo dobili vrednost 48 %. Zadnja dva scenarija sta bila določena arbitrarno: nevtralni scenarij predvideva uporabo pri 25 % prebivalstva, zelo pesimistični scenarij pa le pri 5 % prebivalstva.

2.6 Enačbe za ocenjevanje finančnih prihrankov

Za oceno finančnih prihrankov zdravstvenega sistema smo uporabili več pristopov.

(1) Splošna ocena po Sahniju in sodelavcih [17]

Ta metoda posnema oceno Sahnija in kolegov, ki predvideva, da bi uvedba umetne inteligence v zdravstvu lahko letno prihranila med 5 % in 10 % zdravstvenega BDP. Ker zajema celoten zdravstveni sistem, ta ocena ni združljiva z drugimi, bolj specifičnimi ocenami.

$$\text{Prihranek} = \text{zdravstven BDP} * 0,05 \text{ (ali } 0,1)$$

Preostale ocene pa ocenjujejo posamezen del zdravstvenega sistema, zaradi česar jih je potrebno za skupno oceno prihranka med seboj sešteti.

(2) Prihranek zaradi zmanjšanja nepotrebnih obiskov osebnih zdravnikov

V prvem koraku smo izračunali skupni strošek vseh tipov pregledov v splošni in družinski medicini: $\text{Skupni strošek} = \text{št. preventivnih pregledov} * \text{cena preventivnega pregleda}$

+ št. prvih kurativnih pregledov * cena prvega kurativnega pregleda

+ št. kontrolnih kurativnih pregledov * cena kontrolnega kurativnega pregleda

+ št. kurativnih kratkih pregledov * cena kurativnega kratkega pregleda

+ št. kurativnih posvetov na daljavo * cena kurativnega posveta na daljavo

+ št. hišnih obiskov * cena hišnega obiska

+ št. ostalih storitev * cena ostale storitve

Končni prihranek dobimo z upoštevanjem deleža nepotrebnih obiskov in deleža uporabnikov orodja:

$$\text{Prihranek} = \text{Skupni strošek} * \text{delež nepotrebnih obiskov} * \text{delež uporabnikov}$$

(3) Prihranek zaradi zmanjšanja nepotrebnih obiskov urgence

Prihranek smo izračunali kot zmnožek števila vseh obiskov urgence, deleža nepotrebnih obiskov, deleža uporabnikov orodja in cene enega obiska urgence:

$$\text{Prihranek} = \text{št. vseh obiskov urgence} * \text{delež nepotrebnih obiskov} * \text{delež uporabnikov orodja} * \text{cena 1 obiska urgence}$$

(4) Prihranek zaradi zmanjšanja »ozdravljive smrtnosti«

V to kategorijo spadajo bolezni, ki bi jih bilo možno zdraviti z zgodnjo detekcijo. Prihranek izhaja iz preprečenih dragih obravnav v zadnjih stadijih bolezni:

$$\text{Prihranek} = \text{št. vseh »ozdravljivih smrti«} * \text{delež uporabnikov orodja} * \text{delež napačnih ali prepoznih diagnoz človeških zdravnikov} * \text{strošek zdravljenja v zadnjih stadijih bolezni}$$

(5) Prihranek zaradi povečane produktivnosti (manj bolniških dni)

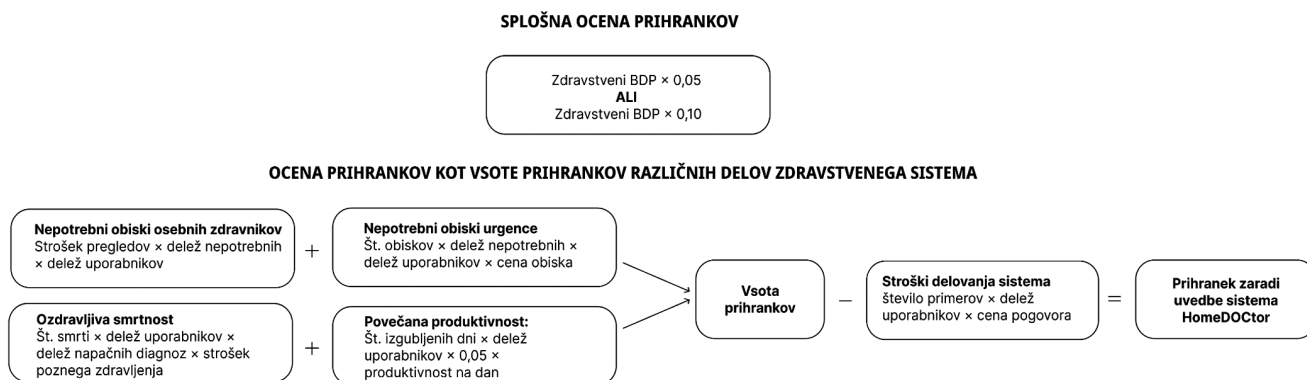
Zmanjšanje bolniških odsotnosti smo ocenili konzervativno – kot 5 % manj bolniških dni zaradi hitrejšje diagnostike in boljše dostopnosti zdravstvenih nasvetov.

$$\text{Prihranek} = \text{št. izgubljenih dni zaradi bolezni} * \text{delež uporabnikov orodja} * \text{ocenjen delež zmanjšanje bolniških odsotnosti} * \text{produktivnost osmih ur dela v BDP-ju}$$

(6) Stroški delovanja sistema

Stroški vključujejo obratovanje, pri čemer smo ocenili ceno na podlagi števila uporabnikov, cene enega pogovora ter števila primerov uporabe (obični zdravnikov, urgence, bolniški dnevi, ozdravljiva smrtnost).

Pri tej oceni smo ocenjevali le sistem HomeDOCtor, saj imamo pri njem celoten vpogled v njegove stroške. Ti zajemajo njegovo vzpostavitev, vzdrževanje ter obratovanje. Ker je sistem HomeDOCtor že vzpostavljen v okviru raziskovalnega projekta EU, njegovo vzdrževanje pa bi zahtevalo minimalne stroške, glavni del stroškov predstavlja njegovo obrato-



Slika 3: Relacije med postavkami finančne analize

vanje. To smo izračunali kot vsoto zmnožkov ljudi, ki bi podporni zdravstveni sistem uporabljalo, ceno enega pogovora s sistemom ter številom vseh, ki bi ga v določenem primeru potrebovali.

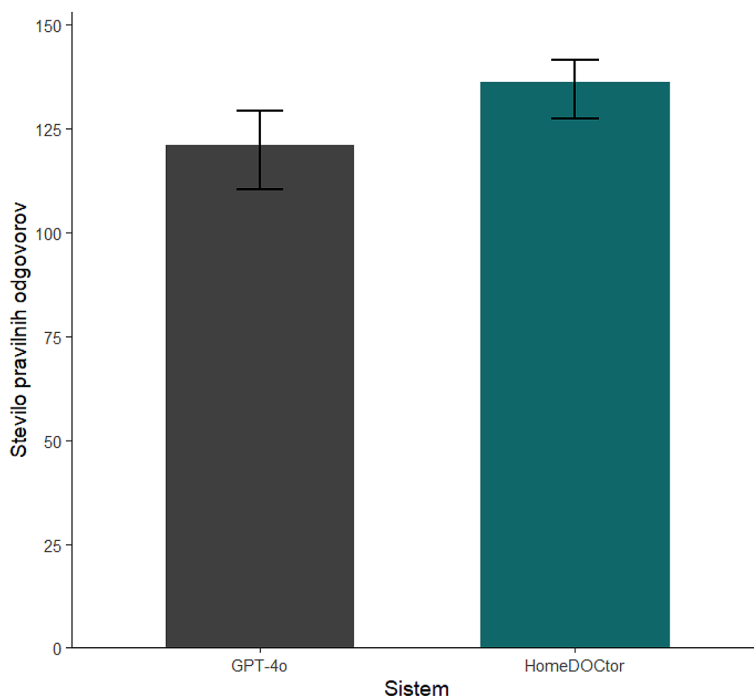
*Strošek = št. vseh obiskov osebnega zdravnika * delež uporabnikov orodja * cena enega pogovora s sistemom*
*+ št. vseh obiskov urgence * delež uporabnikov orodja * cena enega pogovora s sistemom*
*+ št. vseh izgubljenih delovnih dni zaradi bolniške odsotnosti * delež uporabnikov orodja * cena enega pogovora s sistemom*
*+ št. vseh »ozdravljivih smrti * delež uporabnikov orodja * cena enega pogovora s sistemom*

Oba načina finančnih prihrankov sta v grafični obliki predstavljena na Sliki 3.

3. REZULTATI

3.1 Odgovori na medicinska vprašanja

Na Sliki 4 je prikazana primerjava uspešnosti modelov HomeDOctor in GPT-4o pri odgovarjanju na medicinska vprašanja. Navpična (oz. y) os prikazuje skupno število pravih odgovorov (od 0 do 150), medtem ko vodoravna (oz. x) os prikazuje posamezna modela. Iz slike je razvidno, da sta oba sistema na zdravstvena vprašanja odgovarjala kvalitetno.



Slika 4: Rezultati zdravstvenih podpornih orodij pri odgovarjanju na medicinska vprašanja.

Sistem HomeDOctor je pravilno odgovoril na 136 vprašanj (95 % interval zaupanja za točnost je znašal 0,85 – 0,94), GPT-4o pa na 121 (95 % interval zaupanja: 0,74 – 0,86). Rezultati χ^2 so pokazali, da je razlika med modeloma statistično značilna ($\chi^2 = 6,11$; $p = 0,014$). Cohenova velikost učinka pa nakazuje majhen do srednje velik učinek ($h = 0,29$) v prid sistema HomeDOctor. Razlog, zakaj smo uporabili χ^2 za neodvisne pare in ne za odvisne pa je, ker nismo imeli dostopa do podatkov na ravni posameznih vprašanj.

3.2 Kvalitativna ocena sistemov

Poleg besedilnih odgovorov sistem HomeDOctor ponuja tudi dodatne multimedijske informacije prilagojene za slovensko okolje: dostop do izobraževalnih videoposnetkov, strokovnih člankov, slikovnega gradiva ter preverjenih mobilnih aplikacij s področja zdravstva in dobrega počutja. Vgrajena zbirka virov vključuje tudi seznam priporočenih izdelkov iz lekarn ter kontakte relevantnih ustanov in društev. Vsebine so predstavljene v strukturirani obliki, kar uporabniku omogoča hitro orientacijo in enostaven dostop do poglavljenih informacij.

Sistem GPT-4o pa je na vprašanja odgovarjal zgolj v besedilni obliki. V testirani različici ni ponujal integrirane baze video-vsebin, slik, produktnih priporočil, neposrednih kontaktov ali kurirane zbirke aplikacij. Interakcija je bila omejena na dialog, pri čemer so morebitne zunanje vire morali poiskati uporabniki sami.

3.3 Regulatorna skladnost

Ocena skladnosti sistema HomeDOctor je bila izvedena z javno dostopnim orodjem *Future of Life Institute – EU AI Act Compliance Checker*, ki preverja izpolnjevanje zahtev nove evropske Uredbe o umetni inteligenci (EU AI Act) [28]. Rezultati analize so pokazali, da bi se sistem HomeDOctor zaradi svoje uporabe v medicinskem kontekstu, uvrstil med visokorizične sisteme. Takšna klasifikacija pomeni, da mora ponudnik zagotoviti:

- strogo upravljanje tveganj
- sledljivost vseh obdelanih podatkov in izhodov
- stalno beleženje dogodkov v sistemu,
- popolno tehnično in regulatorno dokumentacijo
- usposabljanje osebja, ki z njim upravlja

Čeprav so nekateri elementi skladnosti že izpolnjeni (npr. obveščanje uporabnika, da komunicira z umetno inteligenco), bi za popolno skladnost bila potrebna izvedba dodatnih korakov. Ti vključujejo dokončno pripravo tehnične dokumentacije, uvedbo avtomatskega beleženja dnevniških zapisov, izdajo EU-izjave o skladnosti ter pridobitev oznake CE. Podroben seznam regulatornih zahtev in trenutnega stanja njihove izpolnjenosti je predstavljen v Prilogi, Tabela 1.

3.4 Prihranki

Potencialni finančni učinek uvedbe sistema, kot je HomeDOctor, je bil ocenjen z več metodami, pri čemer so rezultati predstavljeni v Tabelah 2–8.

Splošna ocena prihrankov

Po oceni Sahnija in sodelavcev [17] bi lahko uporaba umetne inteligence v zdravstvenem sistemu letno prihranila med 5 % in 10 % zdravstvenega BDP. Če upoštevamo slovenski zdravstveni BDP, to pomeni približno 297 milijonov € pri 5 % prihranku in 595 milijonov € pri 10 % prihranku (Tabela 2). Čeprav ta ocena zajema širšo rabo umetne inteligence in ne le sistema HomeDOctor, ponuja okvir za razumevanje možnih finančnih učinkov.

Tabela 2: Prihranek kot ocena prihranka celotnega zdravstvenega BDP-ja

Zdravstveni BDP	Prihranjen delež (%)	Ocena prihranka
5.948.000.000 €	5	297.400.000 €
5.948.000.000 €	10	594.800.000 €

Na Tabeli 2 vidimo oceno prihranka UI v zdravstvu, kot splošne ocene celotnega BDP-ja.

Struktura izdatkov za splošno in družinsko medicino

Tabela 3 prikazuje število in skupne stroške opravljenih storitev v splošni in družinski medicini v letu 2023. Največ je bilo opravljenih kurativnih kratkih pregledov, medtem ko so najvišji skupni izdatki nastali pri preventivnih pregledih. Skupni letni izdatki za vse storitve znašajo 113,38 milijona €. Ti podatki so bili uporabljeni kot osnova pri izračunih prihrankov zaradi zmanjšanja nepotrebnih obiskov pri zdravnikih.

Tabela 3: Skupni znesek letnih izdatkov za posamezne preglede splošne in družinske medicine

Pregled	Število	Cena	Znesek
Preventivni pregled	685.372	46,02 €	31.540.819 €
Prvi kurativni pregled	2.255.056	12,74 €	28.729.413 €
Kontrolni kurativni pregled	1.896.015	8,14 €	15.433.562 €
Kratki kurativni pregled	5.409.586	5,31 €	28.724.902 €
Kurativni posvet na daljavo	1.254.886	5,31 €	6.663.445 €
Hišni obisk	20.596	56,64 €	1.166.557 €
Ostalo	211.774	5,31 €	1.124.520 €
Vsota	11.733.285		113.383.219 €

Prihranki pri zmanjšanju nepotrebnih obiskov osebnih zdravnikov

Izračuni temeljijo na podatkih o številu in stroških pregledov v splošni in družinski medicini ter povprečnem deležu nepotrebnih obiskov (18,5 %). Pri 91-odstotni uporabi sistema med prebivalci bi ocenjeni prihranek znašal približno 19,1 milijona € letno (Tabela 4).

Tabela 4: Prihranek zaradi zmanjšanja nepotrebnih obiskov pri zdravnikih splošne in družinske medicine

Cena vseh pregledov splošne in družinske medicine	Delež nepotrebnih obiskov	Delež ljudi, ki bi uporabljali sistem	Prihranek
113.383.219 €	0,185	0,91	19.088.065 €
113.383.219 €	0,185	0,65	13.634.332 €
113.383.219 €	0,185	0,48	10.068.430 €
113.383.219 €	0,185	0,25	5.243.974 €
113.383.219 €	0,185	0,05	1.048.795 €

Prihranki pri zmanjšanju nepotrebnih obiskov urgence

Ob upoštevanju deleža nepotrebnih obiskov urgence (30 %) in cene enega obiska bi bil prihranek v najboljšem scenariju približno 4,5 milijona € letno (Tabela 5).

Tabela 5: Prihranek zaradi zmanjšanja nepotrebnih obiskov urgence

Št. vseh obiskov urgence	Delež nepotrebnih obiskov	Cena 1 obiska urgence	Delež ljudi, ki bi uporabljali sistem	Prihranek
548.908	0,3	30 €	0,91	4.495.557 €
548.908	0,3	30 €	0,65	3.211.112 €
548.908	0,3	30 €	0,48	2.371.283 €
548.908	0,3	30 €	0,25	1.235.043 €
548.908	0,3	30 €	0,05	247.009 €

Prihranki zaradi zgodnje identifikacije bolezni

Zgodnejša diagnostika bolezni, ki sodijo med t. i. »ozdravljivo smrtnost«, bi lahko preprečila draga zdravljenja v poznih stadijih bolezni. Ocenjeni letni prihranki se v najboljšem scenariju gibljejo okoli 3 milijonov € (Tabela 6).

Tabela 6: Prihranki zaradi zgodnje identifikacije bolezni, ki spadajo pod »ozdravljivo smrtnost«

Št. smrti	Delež ljudi, ki bi uporabljali sistem	Delež napačnih ali prepoznih diagnoz zdravnikov	Strošek zdravljenja v zadnjih stadijih bolezni	Prihranek
1413	0,91	0,05	46.000 €	2.957.409 €
1413	0,65	0,05	46.000 €	2.112.435 €
1413	0,48	0,05	46.000 €	1.559.952 €
1413	0,25	0,05	46.000 €	812.475 €
1413	0,05	0,05	46.000 €	162.495 €

Prihranki zaradi zmanjšanja bolniških odsotnosti

Največji potencialni finančni učinek izhaja iz povečane produktivnosti zaradi krajših bolniških odsotnosti. Ob predpostavki 5-odstotnega zmanjšanja izgubljenih delovnih dni bi pri 91 % uporabe sistema prihranili do 322 milijonov € letno (Tabela 7).

Tabela 7: Prihranki pri povečanju produktivnosti zaradi zmanjšanja števila bolniških odsotnosti

Produktivnost osmih ur dela v BDP-ju	Št. izgubljenih dni zaradi bolezni	Delež ljudi, ki bi uporabljali sistem	Delež zmanjšanja izgubljenih delovnih dni	Prihranek
480 €	14743437	0,91	0,05	321.996.664 €
480 €	14743437	0,65	0,05	229.997.617 €
480 €	14743437	0,48	0,05	169.844.394 €
480 €	14743437	0,25	0,05	88.460.622 €
480 €	14743437	0,05	0,05	17.692.124 €

Tabela 8: Skupni prihranki in stroški sistema kot je HomeDOctor

Uporaba sistema (%)	Splošna in družinska medicina	Urgenca	Ozdravljiva smrtnost	Povečana produktivnost	Skupni prihranek	Stroški sistema	Razlika
0,91	19.088.065 €	4.495.557 €	2.957.409 €	321.996.664 €	349.759.965 €	1.229.730 €	347.307.964 €
0,65	13.634.332 €	3.211.112 €	2.112.435 €	229.997.617 €	248.955.496 €	878.379 €	248.077.117 €
0,48	10.068.430 €	2.371.283 €	1.559.952 €	169.844.394 €	183.844.059 €	648.649 €	183.195.410 €
0,25	5.243.974 €	1.235.043 €	812.475 €	88.460.622 €	95.752.114 €	337.838 €	95.414.276 €
0,05	1.048.795 €	247.009 €	162.495 €	17.692.124 €	19.150.423 €	67.568 €	19.082.855 €

Skupni prihranki

Seštevek vseh ocenjenih virov prihrankov (ob odšteju stroškov delovanja sistema) kaže, da bi lahko v najboljšem scenariju dosegli približno 347 milijonov € letnega prihranka. Tudi pri nizki stopnji uporabe (5 % prebivalstva) bi letni prihranek znašal vsaj 19 milijonov € (Tabela 8). Stroški delovanja sistema HomeDOctor so v vseh scenarijih zanemarljivi v primerjavi z doseženimi prihranki.

4. DISKUSIJA

4.1 Ocene Podpornih orodij za klinično odločanje

Rezultati naše študije potrjujejo, da tako sistem HomeDOctor kot tudi VJM ChatGPT-4o dosega ta visoke rezultate pri odgovarjanju na medicinska vprašanja, kar je skladno z ugotovitvami iz obstoječe literature [22] - [25]. Uspešno smo replicirali tudi rezultate Gamsa in sodelavcev [24], saj je bil sistem HomeDOctor tudi v naši raziskavi statistično značilno natančnejši od sistema GPT-4o.

Razlika v številu pravilnih odgovorov nakazuje, da ima HomeDOctor višjo zanesljivost pri kliničnem odločanju in postavljanju diagnoz kot GPT-4o. Njegova prednost izhaja iz znanja do katerega lahko dostopa z RAG arhitekturo, ki vključuje lokalne medicinske smernice, ustrezno terminologijo ter tipične vzorce vprašanj, s katerimi se srečujejo zdravstveni delavci v Sloveniji.

Čeprav tudi GPT-4o dosega visoko kvaliteto ravnen točnosti, rezultati kažejo, da splošna zmogljivost velikih jezikovnih modelov ne zadostuje vedno pri jezikovno občutljivih in regulatorno zahtevnih področjih, kot je zdravstvo. Lokalno prilagajanje modelov tako ni le dodatna prednost, temveč pogosto nujen pogoj za zagotavljanje praktične uporabnosti in zanesljivosti.

Kvalitativna analiza je dodatno potrdila prednost sistema HomeDOctor, saj ta uporabnikom poleg besedilnih odgovorov ponuja tudi bogat nabor dodatnih gradiv, kot so izobraževalni videoposnetki, strokovni članki, slikovno gradivo in preverjene mobilne aplikacije s področja zdravstva. Ti vključujejo tudi sezname priporočenih izdelkov iz lekarn ter kontakte relevantnih ustanov in društev, vse predstavljeno v pregledni, strukturirani obliki. GPT-4o v preizkušeni različici takšnih vsebin ni ponujal, kar pomeni, da mora uporabnik dodatne vire poiskati sam.

Analiza skladnosti z zakonodajo je pokazala, da je za polno uskladitev sistema HomeDOctor z zahtevami EU AI Act potrebna izvedba več korakov, od katerih je del že izpolnjen. To potrjuje, da bi bilo mogoče ob ustreznem načrtovanju in implementaciji doseči popolno regulatorno skladnost, kar je ključnega pomena za medicinske aplikacije.

Na podlagi teh ugotovitev lahko zaključimo, da je HomeDOctor v trenutni obliki primernejši kot zdravstveno podporno orodje v slovenskem zdravstvenem okolju v primerjavi s splošnimi VJM, kot je GPT-4o. Še enkrat želimo izpostaviti, da je bil v času testiranja GPT-4o najprimernejši kot osnovni model na katerem je deloval HomeDOctorju, pri čemer se lahko v HomeDOctorja ob izidu novejših VJM ti preprosto integrirajo.

4. 2 Finančni prihranki

Splošna ocena prihrankov po metodologiji Sahnija in sodelavcev [17], ki temelji na deležu celotnega zdravstvenega BDP, nakazuje možne letne prihranke v višini približno 297 milijonov € (pri 5 % prihranku) oziroma 595 milijonov € (pri 10 % prihranku). Ker ta metoda zajema celovit vpliv umetne inteligence na zdravstveni sistem in ne zgolj implementacijo sistema, kot je HomeDOctor, verjetno precenjuje dejan-

ski učinek, vendar kljub temu nakaže potencialne koristi ob širši digitalizaciji zdravstva.

Drugo, morda bolj realno sliko ponuja seštevek prihrankov iz posameznih segmentov, ki so neposredno povezani z delovanjem HomeDOCTORja. Ocenjeni letni prihranki se glede na delež uporabnikov gibljejo med 19 milijoni € (pri 5 % uporabi) in 347 milijoni € (pri 91 % uporabi). V zmerno optimističnem scenariju, ko bi sistem uporabljalo 25 % prebivalstva, bi skupni prihranek znašal približno 95 milijonov € letno.

Prihranki izhajajo iz več virov:

- Zmanjšanje nepotrebnih obiskov splošne in družinske medicine: pacienti z blagimi zdravstvenimi težavami bi namesto obiska zdravnika uporabili HomeDOCTOR, ki bi jim svetoval ustrezne ukrepe za samopomoč ali opazovanje simptomov.
- Zmanjšanje nepotrebnih obiskov urgence: podobno kot pri osebnih zdravnikih bi HomeDOCTOR lahko preusmeril del pacientov, ki nujne medicinske pomoči ne potrebujejo.
- Zgodnejša diagnostika »ozdravljivih« bolezni: s hitrim dostopom do informacij in napotkov bi bilo možno zmanjšati delež prepozno postavljenih diagnoz, s čimer bi se izognili dragim obravnavam v napredovalih stadijih bolezni.
- Zmanjšanje bolniških odsotnosti: hitrejša diagnostika in boljša dostopnost informacij bi lahko pomenili hitrejšo okrevanje in vrnitev na delo. Predpostavljamo, da bi k temu prispevalo možnost takojšnjega ukrepanja ob pojavu začetnih simptomov, kar omogoča zgodnejše zdravljenje in skrajša trajanje bolezni. Prav tako pa bi k temu prispevalo zmanjšanje preventivnih odsotnosti, ki se lahko pojavijo zaradi negotovosti glede resnosti zdravstvenega stanja, saj lahko zanesljiv nasvet okrepi zaupanje zaposlenih in omogoči nadaljevanje dela v primerih, ko to ni tvegano.

4.3 Omejitve

Kljub prej izpostavljenim prednostim ima naša študija tudi nekaj omejitev. Vprašanja, ki smo jih uporabili za evalvacijo odgovorov podobno kot večina študij, ki ocenjuje sposobnosti VJM pri odgovarjanju na medicinska vprašanja [22 - 25], sestavljajo sintetične vinjete in ne pravi pogovori sistema in pacientov. Druga pomanjkljivost je, da nismo upoštevali potencialnih lažnih pozitivnih diagnoz, ki bi lahko v neka-

terih primerih vodile k zvečanju obiskov zdravnikov. Največja pomanjkljivost pa je, da del podatkov uporabljenih za izračune (specifično delež zmanjšanja bolniške odsotnosti) temelji na domnevah, ki jih ne moremo oceniti s popolno gotovostjo. Pri tej oceni smo bili sicer konzervativni, vendar je kljub temu možno, da smo nekatere vrednosti precenjevali.

Po drugi strani pa bi s tem, da bi se zmanjšalo število nepotrebnih obiskov osebnih zdravnikov in urgenc, zmanjšale tudi čakalne vrste, kar bi lahko vodilo k zgodnejši identifikaciji bolezni, razbremenjenosti zdravnikov ter večjemu zadovoljstvu uporabnikov zdravstvenega sistema. To bi lahko vodilo k večjim finančnim prihrankom za zdravstveni sistem. Tega vidika, zaradi preveč neznank nismo ocenili, kljub temu pa želimo s tem izpostaviti, da obstaja še več vidikov finančnih prihrankov, ki bi lahko sledili z implementacijo sistema, kot je HomeDOCTOR.

4.4 Prihodnji koraki

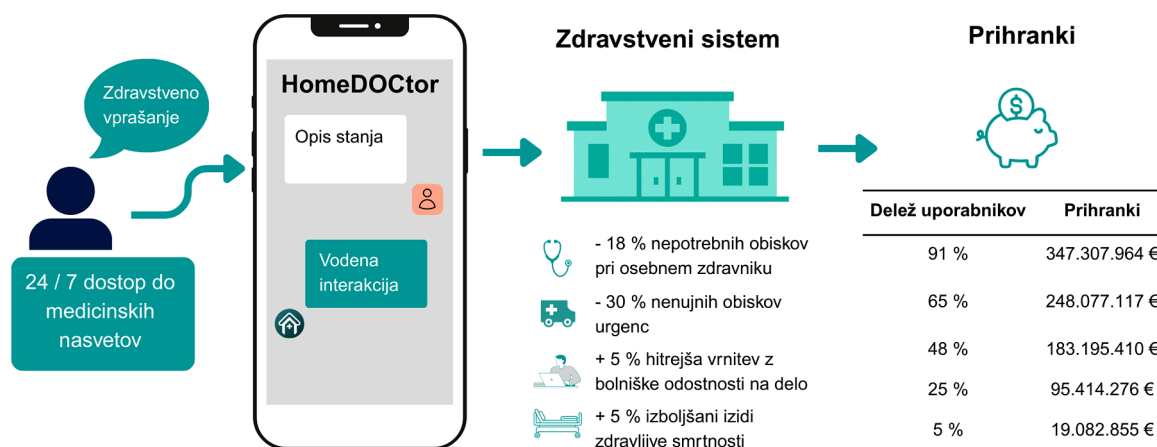
Rezultati nakazujejo, da bi uvedba sistema HomeDOCTOR v slovenski zdravstveni sistem lahko prinesla večplastne koristi, od večje učinkovitosti in dostopnosti zdravstvenih storitev do znatnih finančnih prihrankov in izboljšanega zdravstvenega stanja prebivalstva.

Ker rezultati jasno kažejo, da je velikost prihrankov močno odvisna od deleža uporabnikov, bi morala implementacija vključevati tudi strategijo za promocijo sistema ter prilagoditev uporabniške izkušnje različnim ciljnim skupinam. Poleg tehničnih izboljšav bi morala promocija poudariti varnost, zanesljivost in prednosti uporabe, saj rezultati študije Preicada in kolegov [21] kažejo, da je zaupanje ljudi v uporabo VJM v zdravstvu še vedno razmeroma nizko.

Pri tem je ključno poudariti, da HomeDOCTOR ni mišljen kot nadomestilo za zdravnike, temveč kot dopolnitev zdravstvenega sistema, ki razbremeni najbolj obremenjene segmente in pacientom omogoča hitrejši dostop do ustreznih informacij in napotkov.

Prav tako pa želimo izpostaviti, da, čeprav je bila v raziskavi ocenjena le učinkovitost enega sistema, menimo, da smo s tem korektno nakazali, da je vpleta sistemov umetne inteligence v zdravstvo možna in smiselna, tako zaradi zdravstvenih kot finančnih učinkov.

Slika 5 grafično prikazuje ključne izboljšave, ki bi jih v slovenski primarni zdravstveni sistem lah-



Slika 5: Prednosti uvajanja sistemov, kot je HomeDOCTOR.

ko prinesel HomeDOCTOR: 24/7 dostop do varnega pogovora, zmanjšanje nepotrebnih obiskov osebnih zdravnikov in urgenc, hitrejša vrnitev zaposlenih na delo ter letne prihranke nad 100 milijoni €.

LITERATURA

- [1] World Health Organization, »Ageing and health,« Oct. 1, 2024. [Spletni vir]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>. [Dostopno: Jul. 11, 2025].
- [2] Ministry of Health, »The health system in Slovenia, January 2023: Summary,« Government of the Republic of Slovenia, 2023. [Spletni vir]. Available: <https://www.gov.si/assets/ministrstva/MZ/DOKUMENTI/NOVICE/Zdravstveni-sistem-v-Sloveniji-januar-2023-povzetek.pdf>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [3] Zdravniška zbornica Slovenije, »V petih letih lahko brez ginekologa ostane dodatnih 200.000 žensk,« Sep. 10, 2024. [Spletni vir]. Available: <https://www.zdravniskazbornica.si/informacije/publikacije-in-analize/obvestila/2024/09/10/v-petih-letih-lahko-brez-ginekologa-ostane-dodatnih-200.000-%C5%BEensk>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [4] Association of American Medical Colleges, »The complexities of physician supply and demand: Projections from 2021 to 2036 (Summary Report),« AAMC, 2024. [Spletni vir]. Available: <https://www.aamc.org/media/75231/download>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [5] World Health Organization, Regional Office for Europe, Health and Care Workforce in Europe: Time to Act. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe, 2022. [Spletni vir]. Available: <https://www.who.int/europe/publications/item/9789289058339>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [6] S. Fielding, D. B. Porteous, P. P. Haynes, I. E. R. MacLennan, and P. A. C. Murchie, »Estimating the burden of minor ailment consultations in general practices and emergency departments through retrospective review of routine data in North East Scotland,« *Family Practice*, vol. 32, no. 2, pp. 165–172, Apr. 2015, doi: 10.1093/fampra/cmv003.
- [7] C. J. Morris, J. A. Cantrill, and M. C. Weiss, »Minor ailment consultations: A mismatch of perceptions between patients and GPs,« *Primary Health Care Research & Development*, vol. 4, no. 4, pp. 365–370, 2003, doi: 10.1191/1463423603pc159oa.
- [8] L. K. Welle-Nilsen, T. Morken, S. Hunskaar, and A. G. Granås, »Minor ailments in out-of-hours primary care: An observational study,« *Scandinavian Journal of Primary Health Care*, vol. 29, no. 1, pp. 39–44, Mar. 2011, doi: 10.3109/02813432.2010.545209.
- [9] M. L. V. Carret, A. C. G. Fassa, and M. R. Domingues, »Inappropriate use of emergency services: A systematic review of prevalence and associated factors,« *Cadernos de Saúde Pública*, vol. 25, no. 1, pp. 7–28, 2009, doi: 10.1590/S0102-311X2009000100002.
- [10] A. Durand, E. Gentile, F. Devictor, A. Palazzolo, F. Vignally, J. L. Gerbeaux, and P. Bosson, »ED patients: How nonurgent are they? Systematic review of the emergency medicine literature,« *American Journal of Emergency Medicine*, vol. 29, no. 3, pp. 333–345, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.ajem.2010.01.003.
- [11] L. Uscher-Pines, J. M. Pines, A. L. Kellermann, E. M. Gillen, and A. Mehrotra, »Deciding to visit the emergency department for non-urgent conditions: A systematic review of the literature,« *The American Journal of Managed Care*, vol. 19, no. 1, pp. 47–59, 2013.
- [12] European Commission and Organisation for Economic Co-operation and Development, »Slovenia: State of Health in the EU, Country Health Profile 2023,« European Observatory on Health Systems and Policies, 2023. [Spletni vir]. Available: <https://eurohealthobservatory.who.int/publications/m/slovenia-country-health-profile-2023>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [13] Eurostat, »Total health care expenditure (tps00207),« European Commission, Jun. 26, 2025. [Spletni vir]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tps00207/default/table?lang=en&category=t_hlth.t_hlth_care. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [14] Organisation for Economic Co-operation and Development, »Health expenditure and financing,« OECD Data Explorer, Jul. 6, 2025. [Spletni vir]. Available: [https://data-explorer.oecd.org/vis?fs\[0\]=Topic%2C1%7CHealth%23HEA%23%7CHealth%20expenditure%20and%20financing%23HEA_EX%23&pg=0&fc=Topic&bp=true&snb=5&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_SHA%40DF_SHA&df\[ag\]=OECD.ELS.HD&df\[vs\]=1.0](https://data-explorer.oecd.org/vis?fs[0]=Topic%2C1%7CHealth%23HEA%23%7CHealth%20expenditure%20and%20financing%23HEA_EX%23&pg=0&fc=Topic&bp=true&snb=5&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_SHA%40DF_SHA&df[ag]=OECD.ELS.HD&df[vs]=1.0). [Dostopano: Jul. 11, 2025].
- [15] Nacionalni inštitut za javno zdravje, »Bolniška odsotnost,« *NIJZ Podatkovni portal*, Jun. 19, 2025. [Spletni vir]. Available: https://podatki.nijz.si/pxweb/sl/NIJZ%20podatkovni%20portal/NIJZ%20podatkovni%20portal__1%20Zdravstveno%20stanje%20prebivalstva__07%20Bolni%C5%A1ka%20odsotnost/. [Dostopano: Aug. 19, 2025].

- [16] P. Rajpurkar, E. Chen, O. Banerjee, and E. J. Topol, »AI in health and medicine,« *Nature Medicine*, vol. 28, no. 1, pp. 31–38, 2022, doi: 10.1038/s41591-021-01614-0.
- [17] N. R. Sahni, G. Stein, O. McKinsey, R. Zimmel, and D. M. Cutler, *The Potential Impact of Artificial Intelligence on Healthcare Spending*, NBER Working Paper 30857. Cambridge, MA, USA: National Bureau of Economic Research, 2023.
- [18] T. Y. C. Tam, A. Gichoya, N. M. Drezner, J. Luo, A. S. Rajpurkar, and C. J. Kelly, »A framework for human evaluation of large language models in healthcare derived from literature review,« *NPJ Digital Medicine*, vol. 7, no. 1, 2024, doi: 10.1038/s41746-024-01258-7.
- [19] American Medical Association, AMA Augmented Intelligence Research: Physician Sentiments Around the Use of AI in Health Care. American Medical Association, Feb. 2025. [Spletni vir]. Available: <https://www.ama-assn.org/system/files/physician-ai-sentiment-report.pdf>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [20] S. Aydin, M. Karabacak, V. Vlachos, and K. Margetis, »Large language models in patient education: A scoping review of applications in medicine,« *Frontiers in Medicine*, vol. 11, 2024, doi: 10.3389/fmed.2024.1477898.
- [21] M. Preciado, A. Montero, L. Lopes, and L. Hamel, »KFF Health Misinformation Tracking Poll: Artificial Intelligence and Health Information,« Kaiser Family Foundation (KFF), Aug. 15, 2024. [Spletni vir]. Available: <https://www.kff.org/public-opinion/kff-health-misinformation-tracking-poll-artificial-intelligence-and-health-information/>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [22] J. W. Ayers, A. Dredze, M. Leas, et al., »Comparing physician and artificial intelligence chatbot responses to patient questions posted to a public social media forum,« *JAMA Internal Medicine*, vol. 183, no. 6, pp. 589–596, 2023, doi: 10.1001/jamainternmed.2023.1838.
- [23] Y. Yanagita, D. Yokokawa, S. Uchida, J. Tawara, and M. Ikuoka, »Accuracy of ChatGPT on medical questions in the National Medical Licensing Examination in Japan: Evaluation study,« *JMIR Formative Research*, vol. 7, Art. no. e48023, 2023, doi: 10.2196/48023.
- [24] M. Gams, M. Zadobovšek, P. Kocuvan, J. Adamič, and A. Šmajdek, »Evaluating a nationally localized AI chatbot for personalized primary care guidance: Insights from the HomeDOCTOR deployment in Slovenia,« *Healthcare*, vol. 13, no. 15, Art. no. 1843, 2025, doi: 10.3390/healthcare13151843.
- [25] E. Goh, S. X. Chen, A. H. Y. Lim, et al., »Large language model influence on diagnostic reasoning,« *JAMA Network Open*, vol. 7, no. 10, Art. no. e2440969, 2024, doi: 10.1001/jamanetworkopen.2024.40969.
- [26] R. K. Arora, S. Chatterjee, A. B. Singh, et al., »HealthBench: Evaluating large language models towards improved human health,« *arXiv preprint*, arXiv:2505.08775, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2505.08775>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [27] M. Zadobovšek, P. Kocuvan, and M. Gams, »HomeDOCTOR App: Integrating medical knowledge into GPT for personal health counseling,« in *Proceedings of the Information Society 2024 Conference*, Ljubljana, Slovenia, Oct. 2024, pp. 26–31.
- [28] Future of Life Institute, »EU AI Act Compliance Checker.« [Spletni vir]. Available: <https://artificialintelligenceact.eu/assessment/eu-ai-act-compliance-checker/>. [Dostopano: Aug. 20, 2025].
- [29] H. Singh, A. N. D. Meyer, and E. J. Thomas, »The frequency of diagnostic errors in outpatient care: Estimations from three large observational studies involving US adult populations,« *BMJ Quality & Safety*, vol. 23, no. 9, pp. 727–731, 2014, doi: 10.1136/bmjqs-2013-002627.
- [30] Nacionalni inštitut za javno zdravje, »Zdravstveno varstvo na sekundarni in terciarni ravni: Specialistična ambulantna dejavnost,« 2022. [Spletni vir]. Available: https://nijz.si/wp-content/uploads/2024/03/6.1_Spec_amb_dej_2022_Z.pdf. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [31] Nacionalni inštitut za javno zdravje, »Zdravstveno varstvo na primarni ravni,« 2023. [Spletni vir]. Available: https://nijz.si/wp-content/uploads/2025/03/5.1_Primarna-raven_2023_Z-1.pdf. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [32] Zavod za zdravstveno zavarovanje Slovenije, »Pravice do zdravstvenih storitev: Cene zdravstvenih storitev.« [Spletni vir]. Available: <https://zavarovanec.zzs.si/pravice-do-zdravstvenih-storitev/cene-zdravstvenih-storitev/>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [33] Splošna bolnišnica Celje, »Cenik storitev v ambulantni Enoti za splošno nujno medicinsko pomoč,« Jul. 1, 2022. [Spletni vir]. Available: [https://www.sb-celje.si/oddelki-in-ambulate/medicinski-oddelki-skupnega-pomena/urgentni-center-celje/enota-splo%C5%A1ne-nujne-medicinske-pomo%C4%8Di-\(snmp\)/ambulantna-enote-snmp/cenik-storitev-v-ambulantni-enote-za-splo%C5%A1no-nujno-medicinsko-pomo%C4%8D](https://www.sb-celje.si/oddelki-in-ambulate/medicinski-oddelki-skupnega-pomena/urgentni-center-celje/enota-splo%C5%A1ne-nujne-medicinske-pomo%C4%8Di-(snmp)/ambulantna-enote-snmp/cenik-storitev-v-ambulantni-enote-za-splo%C5%A1no-nujno-medicinsko-pomo%C4%8D). [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [34] Statistični urad Republike Slovenije, »Zdravje in zdravstvo.« [Spletni vir]. Available: <https://www.stat.si/StatWeb/Field/Index/10/117>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [35] Y. A. Michel, E. Aas, L. A. Augestad, E. Burger, L. Thoresen, and G. M. W. Bjørnelv, »Healthcare use and costs in the last six months of life by level of care and cause of death,« *BMC Health Services Research*, vol. 24, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s12913-024-10877-5.
- [36] HomeDOCTOR, »Dobrodošli v HomeDOCTOR.« [Spletni vir]. Available: <https://home-doctor-info.ijs.si/templates/sl/index.html>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [37] Organisation for Economic Co-operation and Development, »GDP per hour worked,« OECD Data. [Spletni vir]. Available: <https://www.oecd.org/en/data/indicators/gdp-per-hour-worked.html>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].
- [38] Statistični urad Republike Slovenije, »Uporaba interneta v gospodinjstvih in pri posameznikih, 2024.« [Spletni vir]. Available: <https://www.stat.si/StatWeb/news/Index/13153>. [Dostopano: Aug. 19, 2025].

Rok Smodiš je diplomant psihologije in študent magistrskega programa Kognitivna znanost Univerze v Ljubljani. Njegovi raziskovalni interesi obsegajo preplet človeka in tehnologije.

■

Filip Ivanišević je študij končal na Medicinski fakulteti v Ljubljani in je trenutno kot doktor medicine zaposlen v Splošni bolnišnici Trbovlje. Raziskovalno je predvsem usmerjen na implementacijo umetne inteligence v radiologiji in diagnostiki.

■

Ivana Karasmanakis je študij končala na Medicinski fakulteti v Ljubljani in je trenutno kot doktorica medicine zaposlena v Splošni bolnišnici Izola. Raziskovalno je predvsem usmerjena na implementacijo umetne inteligence v ginekologiji in obravnavi žensk različnih starostnih skupin.

■

Primož Kocuvan je po izobrazbi računalničar in elektrotehnik. Dela kot raziskovalec na Institutu Jožef Stefan. Zanimajo ga LLMji in aplikativna uporaba AI na področju mehatronskih sistemov in zdravstva.

■

Tadej Horvat je raziskovalec umetne inteligence na Institutu Jožef Stefan.

■

Matjaž Gams je raziskovalec na Institutu Jožef Stefan in profesor na več slovenskih univerzah. Objavil je preko 150 objav v revijah z SCI, ima H-indeks 42 in okoli 10 izdelanih programskih sistemov na svetovnem nivoju. Ukvarja se z umetno inteligenco, superinteligenco, LLMji, kognitivno znanostjo.

Poenostavite upravljanje vašega IT-okolja z rešitvijo NIL Cloud Management Platform

Preoblikujte vaš podatkovni center v sodobno storitveno platformo. Zagotovite si preglednost stroškov in učinkovito dostavo storitev IT.

Prednosti NIL Cloud Management Platform



Ena platforma za celovito upravljanje okolja skozi storitveno tržnico



Izboljšanje odzivnosti in učinkovitosti IT-službe skozi avtomatizacijo in orkestracijo



Procesna in stroškovna preglednost vedno bolj kompleksnih IT-okolij z možnostjo integracije z zunanjimi sistemi (SIEM, XDR, EDR, ITSM...)

Kontaktirajte nas za demo:

consulting@conscia.com

www.nil.com



PRILOGA

Tabela 1: **Seznam izpolnjenih in neizpolnjenih regulatornih zahtev sistema HomeDOctor**

Zahteva	Ali je že izpolnjena?	Glavni člen, ki jo določa
Izpolnjene morajo biti vse zahteve iz sekcije 2 za visokorizične sisteme	☐	Člen 2
Na sistemu ali v priloženi dokumentaciji morajo biti navedeni ime oz. podjetje ponudnika ter naslov za stik	☒	Člen 6
Vzpostavljen in vzdrževan mora biti sistem vodenja kakovosti v skladu z 17. členom	☒	Člen 17
Tehnična dokumentacija se mora voditi in hraniti v skladu z 18. členom	☐	Člen 18
Samodejno ustvarjeni dnevniški zapisi AI-sistema morajo biti shranjeni, dokler je sistem pod nadzorom ponudnika.	☐	Člen 19
Izvesti je treba ustrezen postopek ocene skladnosti v skladu s 43. členom.	☐	Člen 43
Pripravljena mora biti EU-izjava o skladnosti skladno s 47. členom.	☐	Člen 47
Oznaka CE mora biti nameščena na sistem oziroma na njegovo embalažo ali dokumentacijo, kakor to zahteva 48. člen.	☐	Člen 48
Izpolniti je treba registracijske obveznosti po 49(1). členu.	☐	Člen 49
Če se ugotovi neskladnost sistema, morajo biti izvedeni popravni ukrepi in posredovane zahtevane informacije v skladu z 20. členom.	☐	Člen 20
Na zahtevo pristojnih organov mora biti zagotovljeno dokazilo o skladnosti z zahtevami iz 2. poglavja.	☐	Člen 2
Sistem mora izpolnjevati zahteve dostopnosti po direktivah (EU) 2016/2102 in 2019/882.	☐	Člen 16
Sistem mora uporabnika obvestiti, da komunicira z umetno inteligenco.	☒	Člen 50
Izhodni rezultati AI-sistema morajo biti označeni v strojno berljivi obliki, prepoznavni kot umetno ustvarjeni ali spremenjeni.	☐	Člen 50
Tehnične rešitve za označevanje morajo biti učinkovite, robustne in zanesljive, kolikor je to tehnično izvedljivo.	☒	Člen 50
Zaposleni in druge osebe, ki v imenu ponudnika upravljajo ali uporabljajo sisteme, morajo imeti ustrezno raven znanja o umetni inteligenci	☒	4. člen

SOPHOS

Cybersecurity delivered.



Sophos Managed Detections and Response

Sophos MDR je najbolj razširjena MDR storitev na svetu. Zaupa nam že več kot **18.000** podjetij!



Distributer: Sophos d.o.o., www.sophos.si, slovenija@sophos.si, T: 07/39 35 600

Iz Islovarja

Islovar je spletni terminološki slovar informatike, ki ga najdete na naslovu <http://www.islovar.org>. Vabimo vas, da v Islovar prispevate nove izraze

besedilno pólje -ega -a s (*angl. text box, textbox*) polje (1), v katero uporabnik vstavi besedilo ali ga v njem ureja; prim. **vnosno polje**

delílno pólje -ega -a s (*angl. split box*) element uporabniškega vmesnika, s katerim se razdeli okno dokumenta na dva dela za lažje urejanje večjih dokumentov; prim. **okno dokumenta**

kombinírano pólje -ega -a s (*angl. combo box, combobox*) polje (1), ki združuje besedilno polje in polje s seznamom

orodjárna -e ž (*angl. toolbox*) nabor pripomočkov za urejanje dokumenta

peskóvnik -a m (*angl. sandbox*) izolirano in varovano navidezno okolje za razvoj, preizkus in izvajanje programja

pólje nadzórnega meníja -a -- s (*angl. control-menu box*) majhno polje v zgornjem kotu programskega okna (1), v katerem so navadno ukazi za zapiranje, premikanje in spreminjanje velikosti okna

spústno kombinírano pólje -ega -ega -a s (*angl. drop-down combo box*) polje (1), ki vključuje lastnosti besedilnega in spustnega seznamskega polja; sin. padajoče kombinirano polje; prim. **kombinirano polje**

spústno pólje s seznamom -ega -a -- s (*angl. drop-down list box*) polje (1), v katerem se ob kliku prikaže seznam razpoložljivih elementov in trenutna izbira; sin. **spustno seznamsko polje**; prim. **kombinirano polje**

urejeválno pólje -ega -a s (*angl. edit box*) polje (1) za vnos ali urejanje vsebine; prim. **vnosno polje**

vnôsno pólje -ega -a s (*angl. input field*) polje (1) za vpisovanje besedila, podatkov; prim. **besedilno polje**



OPTIMIZIRAMO **PRIHODNOST** VAŠEGA PODJETJA



IZKUŠENA EKIPA

Nudimo sodelovanje z izkušeno ekipo strokovnjakov, ki je predana zagotavljanju individualiziranih rešitev za vsako stranko.



PRILAGOJENE REŠITVE

Ponujamo rešitve, ki so prilagojene potrebam vsake stranke.



PREVERJENI REZULTATI

Imamo dokazano uspešnost zaključenih projektov in zadovoljnih strank v različnih panogah in na različnih področjih.

REŠITVE ZA VAS

✓ **Rešitve za vzdrževanje in upravljanje premoženja podjetja**

✓ **AR rešitve za vizualizacijo GIS podatkov na terenu**

✓ **Upravljanje IT sredstev**

✓ **Upravljanje velepodatkov**



www.troia.eu

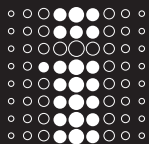


info@troia.si

Izpitni centri ECDL

ECDL (European Computer Driving License), ki ga v Sloveniji imenujemo evropsko računalniško spričevalo, je standardni program usposabljanja uporabnikov, ki da zaposlenim potrebno znanje za delo s standardnimi računalniškimi programi na informatiziranem delovnem mestu, delodajalcem pa pomeni dokazilo o usposobljenosti. V Evropi je za uvajanje, usposabljanje in nadzor izvajanja ECDL pooblaščen ustanova ECDL Foundation, v Sloveniji pa je kot član CEPIS (Council of European Professional Informatics) to pravico pridobilo Slovensko društvo INFORMATIKA. V državah Evropske unije so pri uvajanju ECDL močno angažirane srednje in visoke šole, aktivni pa so tudi različni vladni resorji. Posebno pomembno je, da velja spričevalo v 148 državah, ki so vključene v program ECDL. Doslej je bilo v svetu v program certificiranja ECDL vključenih že preko 16 milijonov oseb, ki so uspešno opravile preko 80 milijonov izpitov in pridobile ustrezne certificate. V Sloveniji je bilo doslej v program certificiranja ECDL vključenih več kot 18.000 oseb in opravljenih več kot 92.000 izpitov. V Sloveniji sta akreditirana dva izpitna centra ECDL, ki imata izpostave po vsej državi.





Znanstveni prispevki

Viktor Taneski, Marko Hölbl

**PREVERJANJE MOČI GESEL: PRIMERJAVA REŠITVE
NA OSNOVI PAMETNIH ALGORITMOV IN MARKOVSKIH
VERIG Z OBSTOJEČIMI SPLETNIMI MERILNIKI**

Maja Juntez, Alenka Baggia

**OKOLJSKI VPLIV IN UPORABNIŠKA IZKUŠNJA
UNIVERZITETNIH SPLETNIH STRANI**

Luka Lah

**DIGITALIZACIJA IN AVTOMATIZACIJA
LETNIH NAČRTOV TRENINGA**

Rok Smodiš, Filip Ivanišević, Ivana Karasmanakis,
Primož Kocuvan, Tadej Horvat, Matjaž Gams

**(R)EVOLUCIJA SLOVENSKEGA ZDRAVSTVA Z UPORABO
METOD UMETNE INTELIGENCE: OCENA FINANČNIH KORISTI
NA PRIMERU SISTEMA HOMEDOCTOR**

Informacije

IZ ISLOVARJA

ISSN 1318-1882



9 771318 188001