

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 the digitalisation, the environmental impact of services also grows. Therefore, understanding and monitoring the environmental sustainability of websites is becoming important. This paper examines the environmental sustainability of websites through 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-komunikacijskih 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 energetske 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 dosegajo 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

energetsko 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 spremljati 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 zasnovo 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 energetsko 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 trajnosti.

3 METODOLOGIJA

V okviru raziskave smo želeli oceniti in primerjati ogljični odtis spletnih strani šestih slovenskih univerz, raziskati vpliv števila obiskov strani, ter ovrednotiti 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 oceni 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), oceni 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 oceni 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. Orodji 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 uporabe 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 zameglijo oceno interaktivnosti. Najslabše rezultate ima stran UM, ki jo bremenita počasno nalaganje in nestabilna postavitvev.

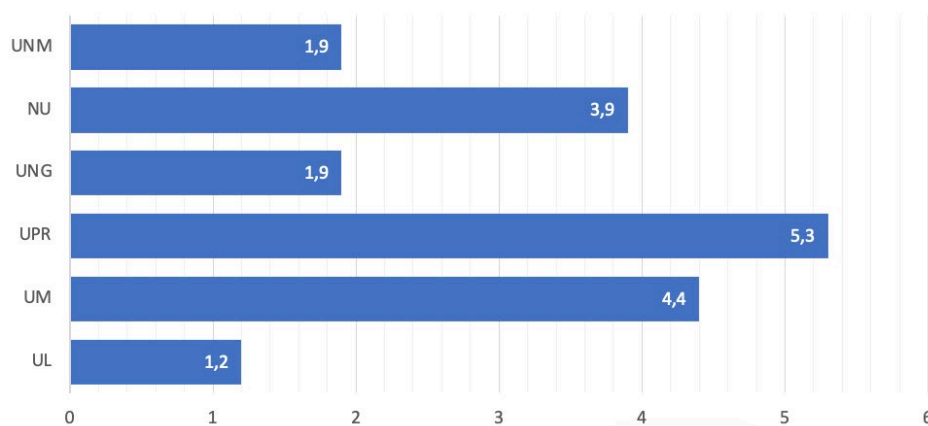
Tabela 2: Rezultati Core Web Vitals.

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

Spletni strani UL in UNG sta sistematično najhitrejši in najstabilnejši, medtem ko spletni strani UM in NU potrebujejo 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 zasnovano strani. Sledita ji strani UNG in UNM, najmanj varčni pa sta strani UM in UPR.



Slika 1: Ocena velikosti spletne strani (MB).

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 ogljični odtis. Na osnovi ocene velikosti posamezne kategorije in skupne velikosti strani smo izračunali prispevek vsake kategorije elementov (tabela 3).

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

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.

4.2 Okoljska trajnost spletnih strani

Orodja, ki smo jih uporabili za oceno okoljske trajnosti spletne strani uporabljajo različne ocenjevalne lestvice. Večina najboljšo 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.

Tabela 4: Ocene okoljske trajnosti slovenskih univerz.

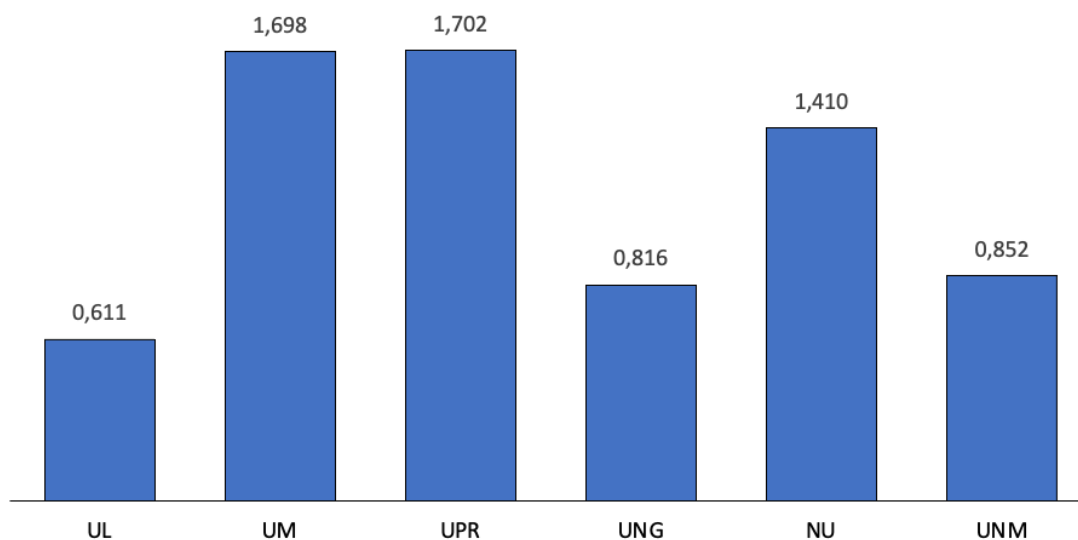
Orodje	UL	UM	UPR	UNG	NU	UNM
Globemallow	A	C-	C+	B-	C+	B-
Website Footprint	B	F	F	D	F	C
GreenIT-Analysis	C	D	C	B	C	C

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

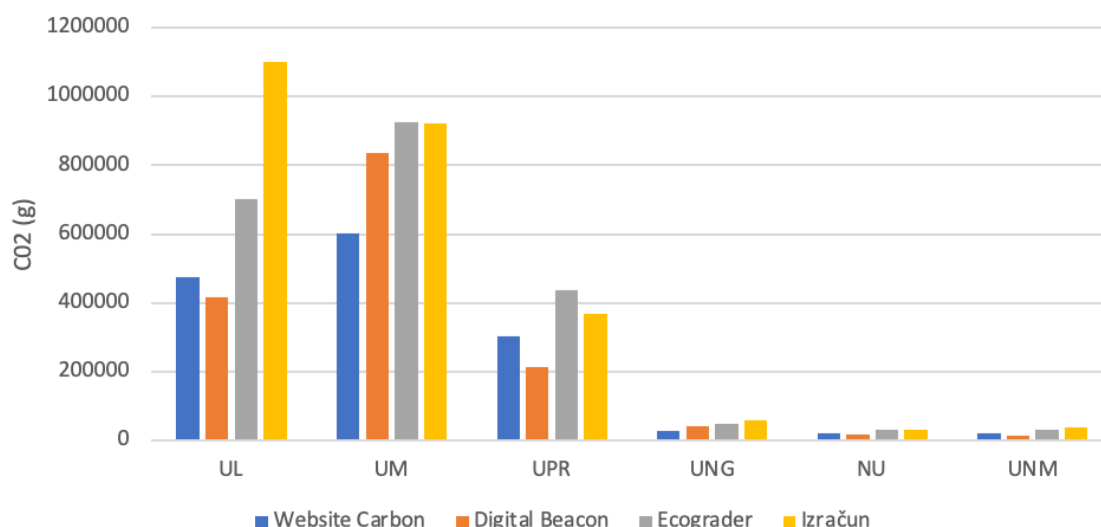
Kot je razvidno iz tabele 3, se ocene, pridobljene z različnimi orodji, v nekaterih primerih pomembno razlikujejo. V tem primeru izstopa orodje GreenIT-Analysis, ki je za razliko od ostalih orodij najvišjo oceno dodelilo spletni strani UNG. Ne glede na metodološke razlike med orodji, se spletna stran 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.



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

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



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

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.

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

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.

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

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).

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

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 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.

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 zakasnenim 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

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 zakasnjene 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 kazalniki UX in ogljičnim 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 našteje 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 ogljičnega odtisa. Ugotovitve o izrazitih razlikah med bolj 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 ogljični 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 ogljičnega 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 podstrani 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 ogljičnega odtisa verodostojnejše pri orodjih, pri katerih je metodologija izračuna jasno in pregledno dokumentirana. Tretjič, uporabljena orodja za izračun ogljičnega odtisa temeljijo na različnih modelih in predpostavkah, kar povzroča razlike v rezultatih. Zaradi odsotnosti enotnega standarda za merjenje ogljičnega 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. Četrto, 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. Malmödin, 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://mitsloan.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 cnumr/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] Advency, *Website Footprint*. (15. april 2022). [Na spletu]. Dostopno na: <https://chromewebstore.google.com/detail/website-footprint/jlpnojjijmliogpegigblncpckflnk>
- [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.wholegraindigital.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.