

INTERNETO SVETAINIŲ PRIEGLOBOS SKAITMENINIO CO₂ PĖDSAKO VERTINIMO METODOLOGINIS PAGRINDIMAS

Jokūbas Meištas, Vaida Bartkutė-Norkūnienė

Utenos kolegija, Verslo ir technologijų fakultetas

Maironio g. 18, Utena

Anotacija

Straipsnyje pateikiama interneto svetainių prieglobos staitmeninio CO₂ pėdsako vertinimo metodika, kuri leidžia apskaičiuoti pasirinktos svetainės CO₂ pėdsaką. Ši tema tampa vis aktualesnė ir tarptautinių mokslinių tyrimų srityje. Šio **tyrimo tikslas** yra sukurti metodologinį pagrindą interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako įvertinimui. **Darbo rezultatai** leis pritaikyti sukurtą metodiką ir įvertinti pasirinktų interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsaką, kas tolimesnėje perspektyvoje leistų pateikti rekomendacijas ir jas pritaikius, sumažinti skaitmeninio CO₂ pėdsako poveikį aplinkai.

Reikšminiai žodžiai: staitmeninis CO₂ pėdsakas, CO₂ pėdsako vertinimas, interneto svetainės.

Įvadas

Tvarus gyvenimo būdas dažniausiai siejamas su atliekų rūšiavimu, gamtos išsaugojimu, ekologiško kuro naudojimu, tačiau retai tai siejamas su naršymu internete. Norint puoselėti tvaresnį gyvenimo būdą, reikėtų atkreipti dėmesį ir į įpročius naudojant telefoną ar kompiuterį, ir kitas veiklas, kurios palieka skaitmeninį CO₂ pėdsaką ir taip prisideda prie klimato kaitos ir aplinkos taršos. Duomenims saugoti arba siųsti reikalingi didžiuliai energijos poreikiai, o tai sudaro didelę skaitmeninio CO₂ pėdsako dalį. Nors problema yra labai svarbi ir aktuali, tačiau duomenų apie skaitmeninį CO₂ pėdsaką pasaulyje nėra daug, apie šį pėdsaką kalbama pakankamai mažai. Veikla internete prisideda ir prie CO₂ išsiskyrimo, nes energijos, kuri reikalinga tinkamai interneto veiklai, gamyboje šios dujos yra šalutinis produktas. Kasmet visame pasaulyje išmetama 39,9 mlrd. tonų CO₂. Skaitmeninės technologijos, įskaitant internetą, sudaro 4 % šio skaičiaus. Kuo daugiau valandų praleidžiame naršydami internete, tuo daugiau į atmosferą yra išmetama CO₂. Pavyzdžiui, skaičiuoklės *Social Carbon Footprint Calculator* (19) duomenimis, 1 val. „Instagram“ platformoje sugeneruoja 63 g CO₂, „Facebook“ – 47 g CO₂. Jeigu kasdien socialiniame tinkle „Facebook“ praleidžiama, pvz., 2 val., tai per savaitę susidaro 0,6 kg CO₂, o per metus – 43 kg CO₂ kiekis (Greenspector). Interneto svetainių naršymas, taip pat įeina į šias veiklas, paliekančias skaitmeninį CO₂ pėdsaką ir daro poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, viena iš „nešvariausių“ svetainių yra idėjų ir įkvėpimo platforma „Pinterest“, kuri kiekvieną kartą apsilankius pagrindiniame puslapyje sugeneruoja 12,43 g CO₂. Turint maždaug 415 milijonų aktyvių vartotojų per mėnesį, vienas kiekvieno iš jų apsilankymas pagrindiniame puslapyje prilygtų maždaug 5157,5 tonos CO₂ išmetimo per mėnesį. Tuo pačiu „Wikipedia“, viena lankomiausių internetinių svetainių pasaulyje, pripažįstama kaip švariausia svetainė, kuri apsilankius vienam lankytojui išskiria 0,04 g CO₂. Supaprastintas svetainės dizainas daro teigiamą poveikį jos ekologiniam pėdsakui, o tai yra labai naudinga, atsižvelgiant į tai, kad svetainėje per metus apsilanko maždaug 5,83 mlrd. lankytojų (Cassells, 2021). Todėl šiuo tyrimu siekiama sudaryti metodologinį pagrindimą interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako įvertinimui. Ši tema tampa vis aktualesnė ir tarptautinių mokslinių tyrimų srityje. Informacinių ir ryšių technologijų energijos suvartojimas sparčiai auga, kaip ir pasaulinis energijos suvartojimas (Wu et al., 2022). Tai vis dažniau atkreipia mokslininkų ir tyrėjų dėmesį, kadangi energijos suvartojimas reiškia didelį CO₂ pėdsaką. Pastaruoju metu vienas iš šio energijos suvartojimo augimo veiksnių yra srautinių vaizdo įrašų

transliacija, kuris susidaro dėl didelio vaizdo įrašų failo dydžio ir fakto, kad milijardai vaizdo įrašų transliuojami visame pasaulyje tuo pačiu metu. Daugelis užsienio autorių (Batmunkh, 2022; Bouley, 2010; Li et al., 2015; Li et al., 2021; Makonin et al., 2022; Sprangers, 2011) pabrėžia interneto naudojimo CO₂ pėdsako poveikį aplinkai. Tai yra labai reikšminga, nes skaitmeniniame pasaulyje kaip matome energijos poreikis yra didžiulis. Neišvengiamai verslo ateitis neatsiejama nuo žaliosios energijos, žiedinės ekonomikos principų, mažiau taršių gamybos ir prekybos modelių, neigiamo poveikio aplinkai mažinimo. Todėl **tyrimo objektu** pasirinktas internetinių svetainių, tiesiogiai susijusių su internetinių duomenų perdavimu, skaitmeninio CO₂ vertinimas. Tarptautiniu mastu galima rasti nemažai publikacijų, susijusių su įvairių internetinių svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako skaičiavimo metodikų pristatymais (Batmunkh, 2022; Dubiszas et al., 2022; Patsavellas & Salonitisa, 2019 ir pan.), tačiau Lietuvoje mokslinių publikacijų, kuriose būtų aptariamasi internetinių svetainių išmetamas CO₂ kiekis, neteko rasti, jose problema pristatoma tik labai apibendrintai. Dauguma mokslininkų CO₂ išmetamo kiekio problemą nagrinėja kaip realios žmogaus veiklos rezultata, nors internetinėje spaudoje galima rasti įvairių publikacijų, pristatančių šios temos aktualumą ir būtinumą ieškoti sprendimo būdų.

Kai kurie tyrėjai (Bordes Caldas da Sylvia et al., 2023; Ehsanifar et al., 2023) diskutuoja apie internetinio tinklo efektyvumą sumažinant energijos suvartojimą. Efektyvumo padidėjimas galėtų kompensuoti šį energijos sunaudojimo augimą. Be to, ta atsinaujinanti energija gali būti naudojama viso tinklo maitinimui.

Kiti autoriai (Batmunkh, 2022; Makonin, 2022) pateikė interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako poveikio aplinkai įvertinimui skaičiavimus, kurie buvo naudojami apskaičiuoti elektros energijos poreikį. Jie teigė, kad energijos paklausa gali būti sumažinta iki 80% per energiją taupančias priemones. Daugelyje atliktų tyrimų nagrinėjamas kompiuterių ir kitokių įrenginių energijos suvartojimas, kur pagrindinis dėmesys skiriamas nešiojamiesiems įrenginiams.

Mokslinės diskusijos akcentuoja interneto CO₂ pėdsaką, tačiau pasigendama tyrimų apie internetinių svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako įvertinimą. Todėl šio darbo **mokslinė problema** keliami klausimu: kaip išmatuoti internetinių svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsaką?

Todėl šio **tyrimo tikslas** yra sukurti metodologinį pagrindą interneto svetainių skaitmeniniam CO₂ pėdsakui įvertinti.

Tyrimo objektas pasirinktas internetinių svetainių, tiesiogiai susijusių su internetinių duomenų perdavimu, skaitmeninio CO₂ vertinimas.

Tyrimo tikslui pasiekti iškelti **uždaviniai**:

1. Atlikti mokslinės literatūros analizę apie interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako vertinimą.
2. Sukurti skaičiavimo metodiką, įvertinančią interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako įvertinimą.

Darbo rezultatai leis pritaikyti sukurtą metodiką ir įvertinti pasirinktų interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsaką. O tai leistų suformuluoti rekomendacijas ir jas įgyvendinus, sumažinti skaitmeninio CO₂ pėdsako poveikį aplinkai. Šis tyrimas yra tęstinis, vėliau bus analizuojamos pasirinktos interneto svetainės, įvertinant jų skaitmeninio CO₂ pėdsako poveikį aplinkai ir tiriamos galimybės apie jo sumažinimą.

1. Interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako vertinimo teorinė analizė

Internetas – pasaulinis tinklas, jungiantis tūkstančius kompiuterių tinklų visame pasaulyje. Tai milžiniška informacijos saugykla, iš kurios gaunamos įvairios programos, dokumentai, knygos, žurnalų straipsniai, paveikslai, vaizdo ir garso įrašai (Baltrušaitis, 2011). Informacijos paieška internete, o tuo pačiu įvairiose internetinėse svetainėse, tampa neatsiejama mūsų kasdienybės dalimi. Nepaisant to, mažai kas susimąsto apie interneto naudojimo poveikį aplinkai. Daug diskutuojama apie automobilių ir pramonės veiklos išmetamas šiltnamio efektą sukeliančias dujas (Albitar, 2022), tačiau internetas taip pat turi savo skaitmeninį CO₂ pėdsaką, kuris daro neigiamą poveikį mūsų aplinkai. Tačiau ne visi CO₂

pėdsakai internete yra vienodi, kai kuriose populiariausiose pasaulio svetainėse išmetamų teršalų kiekis labai skiriasi. Todėl internetinių svetainių kūrėjams ir jų savininkams labai svarbu išsiaiškinti, kiek svetainės pagrindinis puslapis, o tuo pačiu ir kiti puslapiai, sunaudoja energijos įkėlimui. Interneto svetainių veikimas reikalauja didelio energijos kiekio. Su interneto svetaine susieto anglies dvideginio išmetimo mažinimas reiškia, kad reikia sumažinti elektros energijos kiekį, sunaudojamą svetainei įkelti, siųsti ir peržiūrėti, o tada užtikrinti, kad reikalinga elektros energija būtų iš atsinaujinančių energijos išteklių. Energija reikalinga, kad serveriai, duomenų centrai ir kitos infrastruktūros galėtų veikti. Šios energijos gamyba dažnai remiasi fosilinais kuro šaltiniais, tokiais kaip anglis, nafta ir gamtinius dujos, kurios išskiria didelį kiekį CO₂. Be to, energijos sunaudojimas didėja dėl serverių, kuriuose saugomi duomenys, naudojimo. Pavyzdžiui, nuo 2007 m. „Google“ yra neutrali anglies dioksido aplinka, o 2017 m. pasiekė anglies dioksido neutralumą visame versle, įskaitant duomenų centrus ir biurus. Bendrovė investavo į atsinaujinančią energiją ir nuo 2018 m. naudoja 100 % atsinaujinančią energiją savo duomenų centrams ir biurams maitinti. „Microsoft“ įsipareigojo iki 2030 m. tapti neutralia išmetamo anglies dioksido kiekio atžvilgiu, o iki 2050 m. pašalinti iš aplinkos visą anglį, kurią bendrovė išmetė tiesiogiai arba vartodama elektros energiją nuo pat jos įkūrimo 1975 metų (Dawling, 2023).

Viena iš didžiausių problemų - interneto svetainių skaičiaus didėjimas, o kartu su tuo didėja ir skaitmeninio CO₂ pėdsakas. Kiekviena svetainė turi savo serverį, kuris turi veikti 24 valandas per parą, kad būtų galima pasiekti svetainėje talpinamus duomenis. Serverių veikimo procesas nuolat reikalauja elektros energijos tiekimo ir šiluminės energijos, o tai lemia didelį energijos sąnaudų kiekį ir CO₂ išmetimą (Pan et al., 2023).

Norint sumažinti interneto skaitmeninį CO₂ pėdsaką, būtina taikyti keletą veikslių. (1) Pirma, būtina naudoti atsinaujinančios energijos šaltinius, tokius kaip saulės ar vėjo energija, siekiant mažinti energijos gamybos suvartojimą ir sumažinti CO₂ išmetimą. (2) Be to, reikėtų diegti efektyvesnius serverius ir duomenų centrų šaldymo sistemas, kad būtų sumažintas energijos suvartojimas. Tai gali būti pasiekta perduodant darbinę apkrovą tarp serverių, kad būtų išvengta perteklinio našumo ir sumažintas energijos suvartojimas. (3) Kitas žingsnis būtų skatinti interneto vartotojus naudoti sąmoningą interneto naudojimą. Daugelis žmonių palieka ne tik įjungtą kompiuterį ar mobilųjį įrenginį, bet ir prijungtą prie interneto, net jei jie jo ir nenaudoja. (4) Taip pat turėtų būti skatinama interneto svetainių ir programų kūrimo įmonės naudoti efektyvius kodavimo metodus, kurie užtikrintų mažesnę duomenų kiekį ir sumažintų duomenų perdavimo poreikį. Tai padėtų sumažinti serverių apkrovą, o tuo pačiu metu sumažintų energijos suvartojimą ir CO₂ išmetimą (Bordes Caldas da Sylvania, 2023).

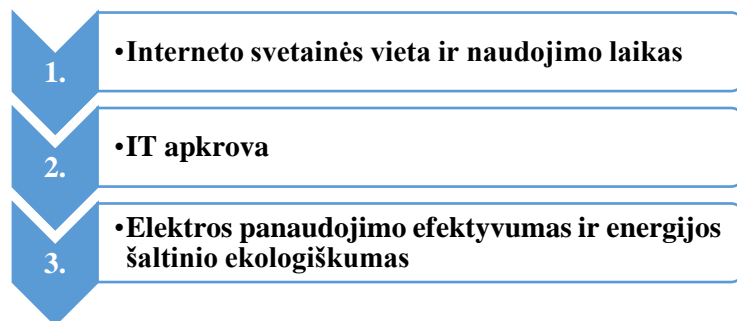
Atlikus literatūros analizę apie interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako vertinimą, galima teigti, kad tai yra rimta ir vis didėjanti problema, apie kurią vis dar mažai diskutuojama. Internetas turi savo skaitmeninį CO₂ pėdsaką, kuris daro neigiamą poveikį mūsų aplinkai. Siekiant sumažinti skaitmeninį CO₂ pėdsaką, svarbu, kad visi suinteresuotieji subjektai, įskaitant interneto vartotojus, įmones ir valdžios institucijas, būtų informuoti ir įtraukti į šią problemą. Atsakomybės supratimas yra pirmas žingsnis siekiant prasmingų veikslių klimato kaitos srityje. Tai gali būti pasiekama per švietimą, įvairias edukacines ir marketingo kampanijas ir taisykles dėl skaitmeninio atliekų valdymo. Visų šių veikslių tikslas yra sumažinti interneto svetainių skaitmeninį CO₂ pėdsaką ir prisidėti prie tvarios aplinkos išsaugojimo.

2. Interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako vertinimas

Interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako vertinimas yra svarbus aspektas, kurį reikia įvertinti ir įtraukti į įmonės veiklos strategijas. Skaitmeninio pėdsako įvertinimas apima du pagrindinius aspektus: pirmiausia, interneto infrastruktūros energijos naudojimo efektyvumą, ir antra, svetainių ir serverių energijos šaltinių ekologiškumą (Ehsanifar et al., 2023).

Mokslininkai (Li et al., 2021) savo darbuose išryškina tris pagrindinius veiksnius, turinčius įtakos interneto svetainės CO₂ pėdsakui:

1. Interneto svetainės vieta ir naudojimo laikas,
2. IT apkrova,
3. Elektros panaudojimo efektyvumas ir energijos šaltinio ekologiškumas (žr. 1 pav.).



1 pav. Pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos interneto svetainės CO₂ pėdsakui
Šaltinis: sudaryta autorių

1. Pirmas svarbus veiksnys: interneto svetainės vieta ir naudojimo laikas.

Oro kintamieji, tokie kaip lauko temperatūra ir drėgmės lygis, turi įtakos energijos suvartojimui. Geografinėje vietoje, kurioje yra ekstremalus temperatūros ir drėgmės lygi, bus sunaudojama daugiau energijos, nes interneto svetainės fizinė infrastruktūra dirba sunkiau, kad išlaikytų pastovų, vidutinį temperatūros ir drėgmės lygį. Taip pat duomenų centrai, kuriuose talpinami serveriai, esantys zonose, kur lengvai pasiekama vandens ar vėjo energija, turi mažesnę CO₂ pėdsaką nei duomenų centrai, esantys vietovėje, kuri labiau priklauso nuo anglies, naftos ar gamtinių dujų. Tipiškos piko valandos yra darbo dienų rytai ir vėlyvos popietės arba ankstyvi vakarai.

Šiame tyrime siekiama sukurti metodologiją, kuri leistų įvertinti interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako poveikį aplinkai: nuo momento, kai naršoma svetainėje, iki vaizdo išsaugojimo. Energijos suvartojimą galima apskaičiuoti pagal formulę (Makonin et al, 2022):

$$E = E_S + E_{SG} + E_T + E_I \tag{1}$$

kur: E_S - serveriai,
E_{SG} - saugojimas,
E_T - tinklas,
E_I - infrastruktūros įranga.

2. Antras svarbus veiksnys: IT apkrova.

IT apkrova atspindi, kiek energijos sunaudoja interneto svetainės IT įranga. IT apkrova susideda iš visų IT įrangos komponentų, sudarančių IT architektūrą: serveriai, maršrutizatoriai, kompiuteriai, saugojimo įrenginiai, telekomunikacijų įranga, taip pat apsaugos sistemos, jas saugančios priešgaisrinės ir stebėjimo sistemos. Kuo didesnė apkrova, tuo daugiau energijos reikės norint ją išlaikyti ir tuo didesnis lieka CO₂ pėdsakas (Makonin et al., 2022):

$$IS_{energija} = \frac{Paklausa * Laikas}{Srautai} \tag{2}$$

kur: IS - interneto svetainė,
Paklausa - energijos poreikis kilovatais (kW),
Laikas - transliuojamo vaizdo trukmė valandomis,
Srautai - srautų skaičius, kurį aptarnauja interneto svetainė (Makonin et al., 2022).

Kuo daugiau srautų aptarnauja interneto svetainė, tuo mažesnis bus kiekvieno srauto CO₂ pėdsakas. Tačiau Hintemann et al. (2023) pažymėjo, kad debesų kompiuterijoje tai apskaičiuoti sudėtingiau, nes neįmanoma nustatyti serverių vietos ir išmatuoti jų suvartojamos elektros energijos.

3. Trečias svarbus veiksnys: elektros panaudojimo efektyvumas ir energijos šaltinio ekologiškumas.

Energijos naudojimo efektyvumas yra susijęs su svetainių veiklos optimizavimu, galimybe valdyti resursus efektyviai ir sumažinti energijos švaistymą. Tai gali būti pasiekta perėjus prie efektyvesnių serverių, naudojant energijos taupymo technologijas, virtualizaciją ir efektyvesnį aušinimą. Be to, galima optimizuoti interneto tinklo maršrutizavimą ir didinti serverių apkrovą, kad būtų išvengta energijos nereikalingo sunaudojimo (Lichao, 2023).

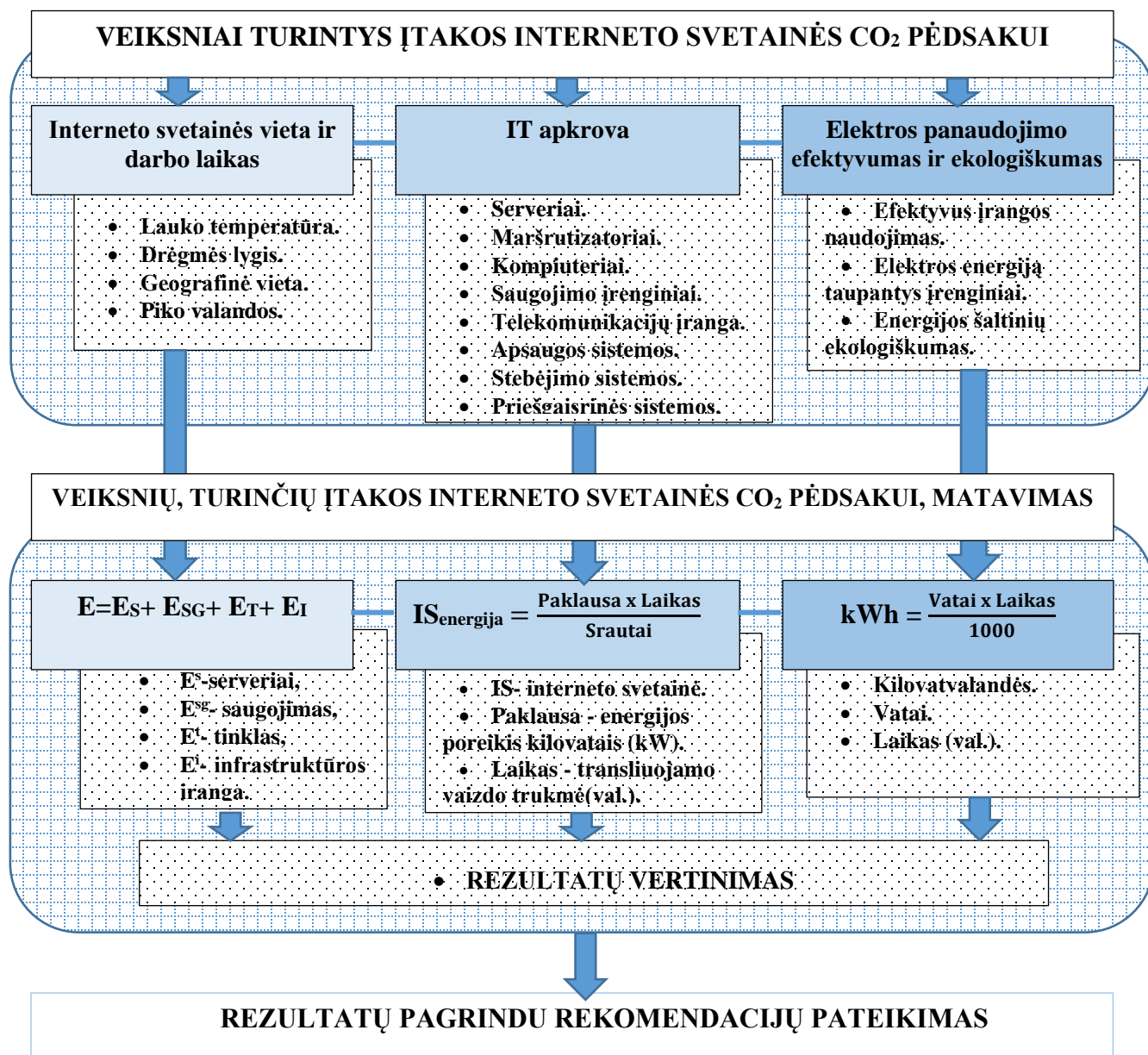
Tradicinė praktika interneto svetainėse didinti fizinę infrastruktūrą tam, kad palaikytų vis didėjančią IT apkrovą turi labai neigiamą poveikį bendram interneto svetainės efektyvumui ir todėl daro didelę įtaką CO₂ pėdsakui. Per didelę infrastruktūrą lemia neefektyvų įrangos išnaudojimą (pavyzdžiui, serveriai yra prijungti 24 valandas per parą, bet naudojami daug mažiau). Apie elektros energijos taupymą atlikta daug tyrimų (Bordes, 2023; Lichao, 2023). Įmonės noriai diegia įrangą, taupančią elektros energiją.

Kitas svarbus aspektas yra duomenų centrų energijos šaltinių ekologiškumas. Klasikinės svetainės dažnai naudoja didelės galios elektrinius šaltinius, kurie gali būti paremti anglies ar kitais neekologiškais energijos šaltiniais. Tačiau pastaruoju metu vis daugiau duomenų centrų perkelia savo veiklą į atsinaujinančios energijos šaltinius, tokius kaip saulės ar vėjo energija. Toks pereinamasis procesas padeda sumažinti CO₂ išmetimą ir neigiamą poveikį aplinkai (Ehsanifar, 2023).

Remiantis šiais trimis pagrindiniais veiksniais, turinčiais įtakos interneto svetainės CO₂ pėdsakui, buvo suformuotas interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako įvertinimo modelis (žr. 2 pav.). Modelis įvertina tris pagrindinius veiksnius, jų struktūrinės dalis. Kiekvienam veiksniai apskaičiuoti pateikiama formulė. Apskaičiavus visų veiksmų įtaką, gaunamas rezultatas, išryškinantis didžiausią skaitmeninį CO₂ pėdsaką, kuo remiantis galima pateikti rekomendacijas, kaip šį pėdsaką sumažinti.

Modelis gali būti taikomas įvairioms internetinėms svetainėms, kurios pasiruošusios vystyti socialiai atsakingą verslą ir prisidėti prie aplinkos saugojimo. Įmonės, kurios įtraukia aplinkosaugos veiksmus į savo veiklos strategiją, prisideda prie klimato kaitos mažinimo, išteklių taupymo ir darnios aplinkos išsaugojimo. Toks požiūris padeda sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir kuria ilgalaikę vertybę.

INTERNETO SVETAINIŲ SKAITMENINIO CO₂ PĖDSAKO ĮVERTINIMO MODELIS



2 pav. Interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako įvertinimo modelis

Šaltinis: sudaryta autorių

Apibendrinant interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsako vertinimą galima teigti, kad visų išanalizuotų veiksnių (interneto svetainės vieta ir naudojimo laikas, IT apkrova bei elektros panaudojimo efektyvumas ir energijos šaltinio ekologiškumas) vertinimas ir įtraukimas į įmonės veiklos strategijas yra būtinas siekiant sumažinti interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsaką. Tai gali būti pasiekama per inovatyvias technologijas, valdymo politiką ir sąmoningą vartotojų elgesį, kad būtų galima pasiekti tvarią interneto plėtrą, minimaliai sudarant poveikį aplinkai. Vis dėlto, tolesni tyrimai ir veiksmai yra

būtinai siekiant gilinti supratimą apie interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsaką ir tobulinti įgyvendinamus sprendimus. Tik taip galėsime siekti tvaraus ir aplinkai draugiško interneto vystymosi.

Išvados

1. Sparčiai didėjantis interneto naudojimas naršant po įvairias interneto svetaines prisideda prie didelio energijos suvartojimo ir CO₂ išmetimo. Šios problemos sprendimui esminis žingsnis yra skaitmeninio pėdsako vertinimas, leidžiantis įvertinti ir sumažinti neigiamą interneto veiklos poveikį aplinkai.
2. Pagrindinių interneto veiklos veiksnių įvertinimas yra kritiškai svarbus įmonių strategijų kūrimui. Išanalizavus veiksnius, tokius kaip svetainės vieta, naudojimo laikas, IT apkrova, elektros naudojimo efektyvumas ir energijos šaltinio ekologiskumas, galima sumažinti interneto svetainių skaitmeninio CO₂ pėdsaką. Įmonės turėtų įtraukti šį vertinimą į savo strategijas ir naudoti inovatyvias technologijas bei skatinimą efektyviam svetainių naudojimui.
3. Veiksmingas serverių valdymas, technologijų optimizavimas ir efektyvaus energijos naudojimo skatinimas yra svarbūs žingsniai siekiant sumažinti generuojamo skaitmeninio CO₂ kiekį.
4. Analizuoti ir sumažinti skaitmeninį CO₂ pėdsaką turėtų ne tik įmonės, įstaigos ar organizacijos, bet ir vartotojai. Įtraukimas į šį procesą ir sąmoningas vartotojų elgesys yra esminiai veiksniai siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir prisidėti prie darnaus vystymosi.

Literatūros sąrašas.

1. Albitar, K., Borgi, H., Khan, M., Zahra, A. (2022). Business environmental innovation and CO₂ emissions: The moderating role of environmental governance. *Business Strategy and Environment*, 32 (4). 1996-2007. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1002/bse.3232>.
2. Baltrušaitis, D. (2011). *Informacijos išteklių valdymas*. Prieiga per internetą: http://www.esparama.lt/documents/10157/490675/Informacijos_istekliu_valdymas.pdf/f982fdd4-e88a-48d4-8aad-d21119f81802
3. Batmunkh, A. (2022). Carbon Footprint of the Most Popular Social Media Platforms. *Sustainability*, 2022, 14(4), 2195. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/su14042195>.
4. Bordes Caldas da Sylvia, P. V., Taconet, C., Chabridon, S., Conan, D., Cavalcante, E., Batista, T. (2023). Energy awareness and energy efficiency in internet of things middleware: a systematic literature review. *Annals of Telecommunications*, 78(1), 115-131. Prieiga per internetą: DOI: 10.1007/s12243-022-00936-5.
5. Bouley, D. (2010). *Estimating a Data Center's Electrical Carbon Footprint*. White paper 66. APC Schneider Electric. Prieiga per internetą: https://www.insight.com/content/dam/insight/en_US/pdfs/apc/apc-estimating-data-centers-carbon-footprint.pdf.
6. Cassells, K. (2021). *Carbon Emissions of the Web's Most Popular Sites*. Prieiga per internetą: <https://www.uswitch.com/gas-electricity/worlds-dirtiest-websites/>
7. Dawling, L. (2023). *Take Climate Action: The Importance of Offsetting Your Company's Digital Carbon Footprint*. Prieiga per internetą: <https://pathmonk.com/offsetting-companys-digital-carbon-footprint/>
8. Dubiszas, D., Golinska-Dawson, P., Zawodny, P. (2022) Measuring CO₂ Emissions in E-Commerce Deliveries: From Empirical Studies to a New Calculation Approach. *Sustainability*, 14, 16085. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/su142316085>.
9. Ehsanifar, M., Dekamini, F., Spulbar, C., Birau, R., Khazaei, M., Barbacioru, C. (2023). A Sustainable Pattern of Waste Management and Energy Efficiency in Smart Homes Using the Internet of Things (IoT). *Sustainability*, 15(6). Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.3390/su15065081>.
10. Greenspector. Prieiga per internetą: <https://greenspector.com/en/social-media-2021/>
11. Hintemann, R., Bieser, J. C., Hilty, L. M., Beucker, S. (2023). A review of assessments of the greenhouse gas footprint and abatement potential of information and communication technology. *Environment Impact Assessment Review*, 99. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.107033>.

12. Li, X., Tan, H., Rakes, A. (2015). Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. *Journal of Cleaner Production*, 106, 97-108. Prieiga per internetą: DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.11.084](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.084)
13. Li, Z., Chen, Z., Yang, N., Wei, K., Ling, Z., Liu, Q., Chen, G., Ye, B. H. (2021). Trends in research on the carbon footprint of higher education: a bibliometric analysis (2010-2019). *Journal of Cleaner Production*, 289(14):125642. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125642>.
14. Makonin, S., Marks, L. U., Przedpelski, R., Rodriguez-Silva, A., ElMallah, R. (2022). Calculating the Carbon Footprint of Streaming Media: Beyond the Myth of Efficiency. *Eighth Workshop on Computing within Limits 2022*. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.21428/bf6fb269.7625cc76>.
15. Pan, M.; Zhao, X., Iv, K., Rosak-Szyrocka, J., Mentel, G., Truskolaski, T. (2023). Internet development and carbon emission-reduction in the era of digitalization: Where will resource-based cities go? *Resources Policy*, 81(C). Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103345>.
16. Patsavellas, J., Salontisa, K. (2019). The Carbon Footprint of Manufacturing Digitalization: critical literature review and future research agenda. *52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems, Procedia CIRP*. 81, 1354-1359. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.026>
17. Sprangers, S. (2011). *Calculating the carbon footprint of universities*. Master's Thesis Economics and Informatics. Erasmus Universiteit Rotterdam. Prieiga per internetą: <http://hdl.handle.net/2105/10488>.
18. Wu, L., Adebayo, T. S., Yue, X. G., Umut, A. (2023). The role of renewable energy consumption and financial development in environmental sustainability: implications for the Nordic Countries. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 30, 21-36. Prieiga per internetą: [10.1080/13504509.2022.2115577](https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2115577)
19. Social Carbon Footprint Calculator. Prieiga per internetą: <https://www.comparethemarket.com.au/energy/features/social-carbon-footprint-calculator/>

A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR ASSESSING THE DIGITAL CO₂ FOOTPRINT OF WEB HOSTING

Jokūbas Meištas, Vaida Bartkutė-Norkūnienė

*Utena University of Applied Sciences, Faculty of Business and Technology
Maironio str. 18, Utena*

Summary

This paper presents a methodology for estimating the digital CO₂ footprint of websites, which allows the calculation of the CO₂ footprint of a selected website. This topic is becoming increasingly relevant in international research. While the scientific debate focuses on the CO₂ footprint of the Internet, there is a lack of research on the environmental impact and assessment of the digital CO₂ footprint of websites. **The aim of this study** is to develop a methodological framework to assess the digital CO₂ footprint of websites. The results of the work will allow the application of the developed methodology to assess the digital CO₂ footprint of selected websites, which will eventually lead to the development of recommendations and, if applied, to the reduction of the environmental impact of the digital CO₂ footprint.

To achieve the aim of the study, the following objectives were set:

1. To carry out an analysis of the scientific literature on the assessment of the digital CO₂ footprint of websites.
2. To develop a calculation methodology to assess the digital CO₂ footprint of websites.

The results of the literature analysis show that the assessment of the digital CO₂ footprint is crucial for the sustainability of the online environment. The rapidly increasing use of the Internet for browsing various websites contributes to high energy consumption and CO₂ emissions. An important step in tackling this problem is the assessment of the digital footprint, which makes it possible to measure and reduce the negative environmental impact of Internet activities. Assessing the main drivers of online activity is essential for the development of corporate strategies. By analysing factors such as the location of the website, time of use, IT load, energy efficiency and the environmental friendliness of the energy source, it is possible to reduce the digital CO₂ footprint of websites. Companies should incorporate this assessment into their strategies and use innovative technologies and

incentives for efficient use of websites. Management, technology optimisation and the promotion of energy efficiency are important steps towards reducing the negative impact of the digital CO₂ footprint. A shift to renewable energy sources is essential to reduce the CO₂ footprint. Not only companies but also consumers should analyse and reduce their digital CO₂ footprint. Involvement in this process and conscious consumer behaviour are key factors in reducing negative environmental impacts and contributing to sustainable development.

This study will be continued by analysing selected websites to assess their CO₂ footprint.

Key words: digital CO₂ footprint, CO₂ footprint assessment, websites.