

# Web aplikacija za procjenu ugljičnog otiska

---

Šupljika, Tihana

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:168:109981>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 370

# WEB APLIKACIJA ZA PROCJENU UGLJIČNOG OTISKA

Tihana Šupljika

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 370

# WEB APLIKACIJA ZA PROCJENU UGLJIČNOG OTISKA

Tihana Šupljika

Zagreb, lipanj 2024.

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 370

Pristupnica: **Tihana Šupljika (0036518280)**  
Studij: Računarstvo  
Profil: Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi  
Mentor: doc. dr. sc. Goran Grdenić

Zadatak: **Web aplikacija za procjenu ugljičnog otiska**

### Opis zadatka:

Zadatak diplomskog rada je izrada web aplikacije pomoću koje će korisnici, odnosno građani, moći okvirno procijeniti svoj ugljični otisak. U suvremenom svijetu, odgovornost je svakog pojedinca klimatski savjesno ponašanje. Stoga je glavna svrha ovakvih aplikacija prije svega podizanje svijesti i edukacija građana s korisnim savjetima o smanjenju ugljičnog otiska. Prvo je potrebno provesti analizu postojećih aplikacija kako bi se odredila vlastita specifikacija zahtjeva. Zatim je potrebno definirati tehničke značajke i arhitekturu sustava, uključujući i konceptualni model baze podataka. Naposljetku, implementiranu aplikaciju potrebno je testirati kako bi se ostvarilo dobro korisničko iskustvo.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Goranu Grdeniću na pruženoj pomoći i razumijevanju tijekom izrade projekta i seminara na diplomskom studiju, a osobito tijekom izrade Diplomskog rada.

Posebice se zahvaljujem svojoj obitelji i najbližim prijateljima na podršci tijekom cijelog studija. Bili ste uz mene u mojim najtežim i najsretnijim trenucima te bez vas ne bih bila ovdje gdje jesam. Dodatno se zahvaljujem svojim psima Lari, koja me uvijek usrećila sa svojim glasanjem i rijetkim, ali posebnim, zagrljajima, i Lu, koja mi se razveseli svako jutro i koja je često provodila vrijeme u mom krilu dok sam odrađivala fakultetske obaveze.

Ponajviše se zahvaljujem samoj sebi, na ustrajnost i snazi koje su mi bile potrebne za završetak studija. Posljednjih 6 godina bile su najizazovnije u mom životu, s puno uspona i padova, ali nisam dopustila ničemu da me spriječi u završetku fakulteta i pokazala sam sama sebi da sam sposobna učiniti što god želim. Ovo je kraj jednog velikog poglavlja mog života te se veselim vidjeti što sljedeće poglavlje donosi sa sobom.

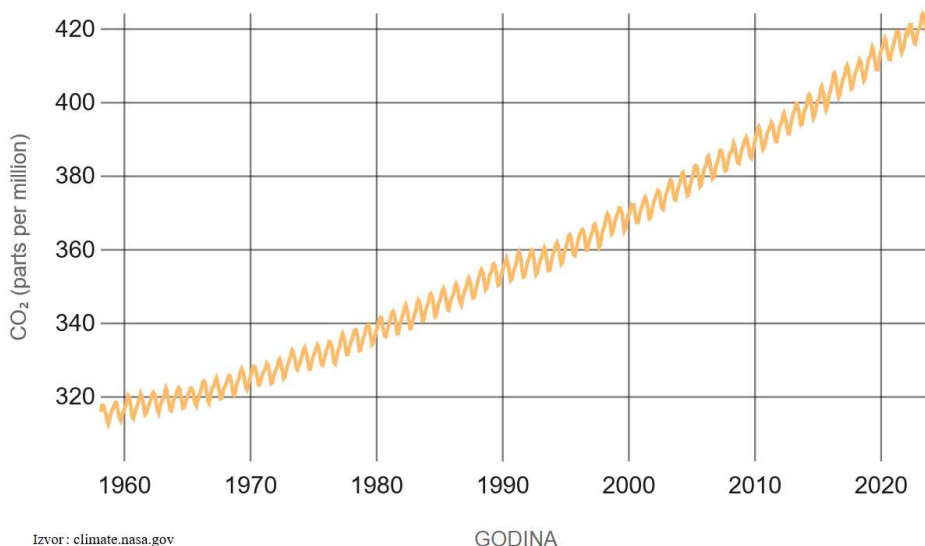
## Sadržaj

Uvod .....	1
1. Ugljični otisak .....	3
1.1. Definicija, izvor i cilj .....	3
1.2. Parametri mjerenja .....	4
1.3. GHG Protokol .....	5
1.4. Računanje ugljičnog otiska .....	7
2. Kalkulatori ugljičnog otiska .....	8
2.1. Analiza postojećih kalkulatora .....	9
2.2. Odabir parametara kalkulatora .....	12
3. Implementacija kalkulatora ugljičnog otiska .....	17
3.1. Korištene tehnologije .....	17
3.2. Pohrana podataka .....	19
3.3. Opis programskog rješenja .....	21
3.3.1. Web API .....	22
3.3.2. Domenska knjižnica klasa .....	23
3.3.3. Web aplikacija .....	25
3.4. Daljnji rad .....	31
Zaključak .....	33
Sažetak .....	37
Summary .....	38
Skraćenice .....	39
Privitak .....	40

# Uvod

2023. godina najtoplija je godina od predindustrijskog razdoblja [1]. Konkretno, Zemljina je površina za 1,36 °C toplija od prosjeka krajem 19. stoljeća i za 1,18 °C toplija od prosjeka u drugoj polovici 20. stoljeća, a posljednje desetljeće najtoplije je zabilježeno. Trendovi ne pokazuju znakove usporavanja rasta temperatura.

Takvom porastu temperatura doprinijele su upravo ljudske aktivnosti, odnosno izgaranje fosilnih goriva i emisije ugljikovog dioksida. Iako postoje prirodni procesi kojima također dolazi do emisija CO<sub>2</sub>, kao što su vulkanske erupcije, razine tih emisija su zanemarive. Dodatno, dio ugljikovog dioksida prirodno se apsorbira u Zemlju, ali se količina koja se može apsorbirati s vremenom smanjuje. Rast u razinama CO<sub>2</sub> u atmosferi kao posljedica antropološkog djelovanja od druge polovice 18. stoljeća iznosi 50 %. Na temelju podataka iz ledenjačkih jezgri, izmjereno je da je prije 20,500 godina razina CO<sub>2</sub> iznosila 185 ppm (*parts per million*), a 1850. 280 ppm, rast od samo 95 ppm u periodu od skoro 20,000 godina. Moderna mjerenja (slika 0.1.) pokazuju rast od više od 100 ppm od 1958. godine do danas, u periodu od manje od 100 godina [2,3].



Slika 0.1. Količina CO<sub>2</sub> od 1958. do danas [3]

Pregledom danih statistika postalo je jasno da je od velike važnosti ograničiti, odnosno smanjiti emisije ugljikovog dioksida, ali i drugih stakleničkih plinova koji doprinose porastu temperatura te tako ublažiti klimatske promjene. U tu svrhu, razvio se pojam ugljičnog otiska koji služi za mjerenje emisija stakleničkih plinova kako bi se identificirala područja ljudskih djelovanja koja pridonose emisijama i kako bi se te emisije univerzalno mogle mjeriti. Pojavu i porast učestalosti uporabe ugljičnog otiska pratile su različite definicije, načini mjerenja i načini prijavljivanja. Kako bi se mjerenja mogla usuglasiti i međusobno uspoređivati, razvijeni su standardi koji definiraju opsege mjerenja i parametre računanja. Dok ti standardi daju detaljne upute za računanje ugljičnih otisaka organizacija, ugljični otisak pojedinaca, odnosno kućanstva, nema te smjernice i pojedinci su prepušteni sami sebi. Kao posljedica toga, razvijeni su alati za računanje otiska, zvani kalkulatori ugljičnog otiska, koji omogućuju pojedincima da na jednostavan način saznaju koliko oni doprinose emisijama.

Cilj ovog rada jest predstaviti pojam ugljičnog otiska, tj. što označava, na koje se točno plinove odnosi, što se i kako se mjeri tijekom postupka računanja, zatim prikazati prednosti i nedostatke kalkulatora ugljičnog otiska te analizirati nekoliko postojećih kako bi se utvrdili zajednički parametri mjerenja i njihovi faktori emisija. Na kraju, objašnjeno je kako su odabrani parametri iskorišteni u vlastitoj implementaciji kalkulatora u obliku web aplikacije za procjenu ugljičnog otiska detaljnim prikazom cjelokupnog sustava, objašnjenjima dvojbi i odabira smjera razvoja te opisom reprezentativnih dijelova koda.



# 1. Ugljični otisak

## 1.1. Definicija, izvor i cilj

Ugljični otisak predstavlja količinu emisija ugljikovog dioksida emitiranog tijekom aktivnosti ljudi ili drugih entiteta, poput država, gradova i organizacija, mjeren u tonama CO<sub>2</sub> ili CO<sub>2</sub> ekvivalenta. Mjerenja uključuju direktne emisije CO<sub>2</sub> nastale izgaranjem fosilnih goriva tijekom proizvodnje dobara, grijanja i prijevoza, ali i emisije nastale tijekom proizvodnje i potrošnje električne energije, dobara i usluga. Osim CO<sub>2</sub>, mjerenja mogu uključivati i emisije drugih stakleničkih plinova, specifično onih definiranih Kyoto protokolom – metana, dušikovog oksida, fluoriranih ugljikovodika, perfluoriranih ugljikovodika i heksafluorida. Drugi staklenički plinovi mjereni su u CO<sub>2</sub> ekvivalentima za olakšanu usporedbu aktivnosti, događaja, industrija, itd. [4,5,6].

Mnogi su se susreli s pojmom ugljičnog otiska pošto je on globalno prepoznat, ali uglavnom s različitim definicijama. Pojam su često koristili mediji, organizacije i industrije s ciljem skupljanja interesa, svaki sa svojom definicijom. Zbog toga, dugo nije bilo usuglašeno kako se točno mjeri, koji plinovi se uzimaju u obzir i slično, ali je jasno da su se sve definicije više-manje odnosile na emisije stakleničkih plinova [4].

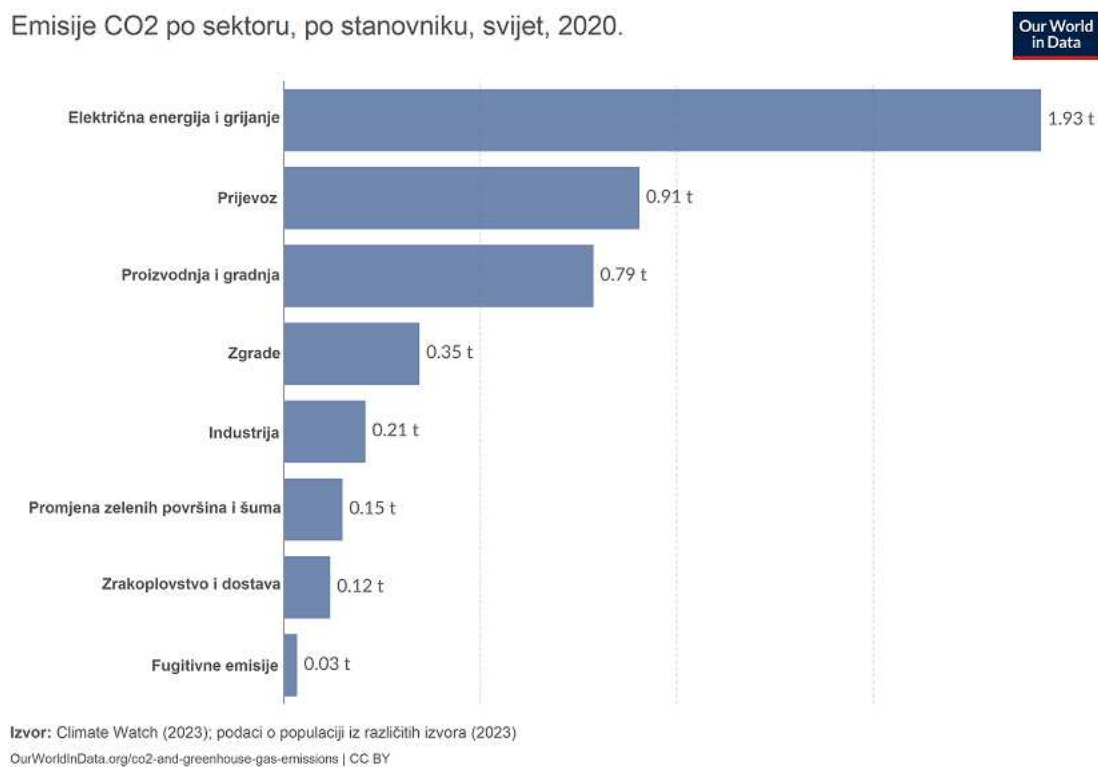
Možemo reći da je korijen ugljičnog otiska potekao iz ekološkog otiska, koncepta nastalog u ranim 90-ima koji označava potrošnju dobara i usluga te brigu potrebnu za otpad nastao spomenutom potrošnjom u mjeri površine zemlje potrebne za pružanje potrebne količine vode, hrane, skloništa, dobara i energije. Kao podskup ekološkog otiska, ugljični preuzima stavke skalabilnosti (individualna, državna, kontinentalna, itd. razina), usporedivost i strategije odmaka, odnosno neutraliziranja. Glavna razlika leži u fokusu pojma: dok se ekološki fokusira na sveukupni utjecaj potrošnje, ugljični se fokusira na utjecaj nastao izgaranjem fosilnih goriva tijekom proizvodnje i potrošnje [7].

Kao što je već spomenuto u uvodu, cilj mjerenja ugljičnog otiska jest smanjiti globalne emisije, odnosno ciljno djelovati kako bi se postiglo *net zero* stanje – pad razina emisija na razinu koja može biti održiva prirodnim procesima apsorpcije – i time izbjeći najgore posljedice klimatskih promjena. U svrhu toga, potrebno je ograničiti rast temperature na 1,5 °C iznad one prije

industrijske revolucije, cilj dogovoren Pariškim sporazumom 2015. godine. Kako bi se to postiglo, emisije je potrebno smanjiti za 45 % do 2030. i *net zero* ciljeve postići do 2050. Trenutačni napori nacionalnih planova pokazuju neuspjeh – do 2030. razine emisija porast će za skoro 9 % u odnosu na 2010. godinu [8].

## 1.2. Parametri mjerenja

Glavno pitanje ugljičnog otiska jest koje aspekte, tj. izvore emisija mjeriti. Analizom ljudskih aktivnosti, pokazano je da su glavni antropogeni izvori emisija CO<sub>2</sub>, plin na koji se mjerenja ugljičnog otiska poglavito fokusiraju, grijanje, prijevoz, proizvodnja i izgradnja (prikazano na slici 1.1.) [9].



Slika 1.1. Emisije CO<sub>2</sub> po sektorima [9]

Konkretno, kod grijanja u obzir se, osim količine goriva, uzima vrsta goriva korištena za grijanje (plin, drvo, el. energija, ...), kao i njihov izvor (vlastite peći, toplane, kotlovnice, ...). Kod prijevoza, glavni su čimbenici tip prijevoza (osobni ili javni prijevoz), vrsta vozila

(automobil, motocikl, vlak, autobus, zrakoplov, ...), tip goriva koje vozilo koristi (dizel, benzin, el. energija, ...) i prijeđeni put.

Aspekt koji je teže izmjeriti su korištene usluge, kao što su odlasci u restorane i kina, te potrošena dobra, kao što su papir, hrana, odjeća i obuća. Naime, korištenjem tih usluga, pojedinac također pridonosi emisijama. Uključivanjem tih parametara u izračun, osigurava se odgovornost osobe, ali i organizacija, za aktivnosti koje dovode do emisija, a time i do osvještavanja o potrebi za odgovornom i održivom potrošnjom.

Dodatno, ako se računa otisak kućanstva, bitno je u obzir uzeti veličinu kućanstva, tj. broj osoba koji ga čine. Ista vrijednost dobivena izračunom lošija je u slučaju kada kućanstvo čini jedna osoba, nego kada ga čini više od jedne osobe.

### **1.3. GHG Protokol**

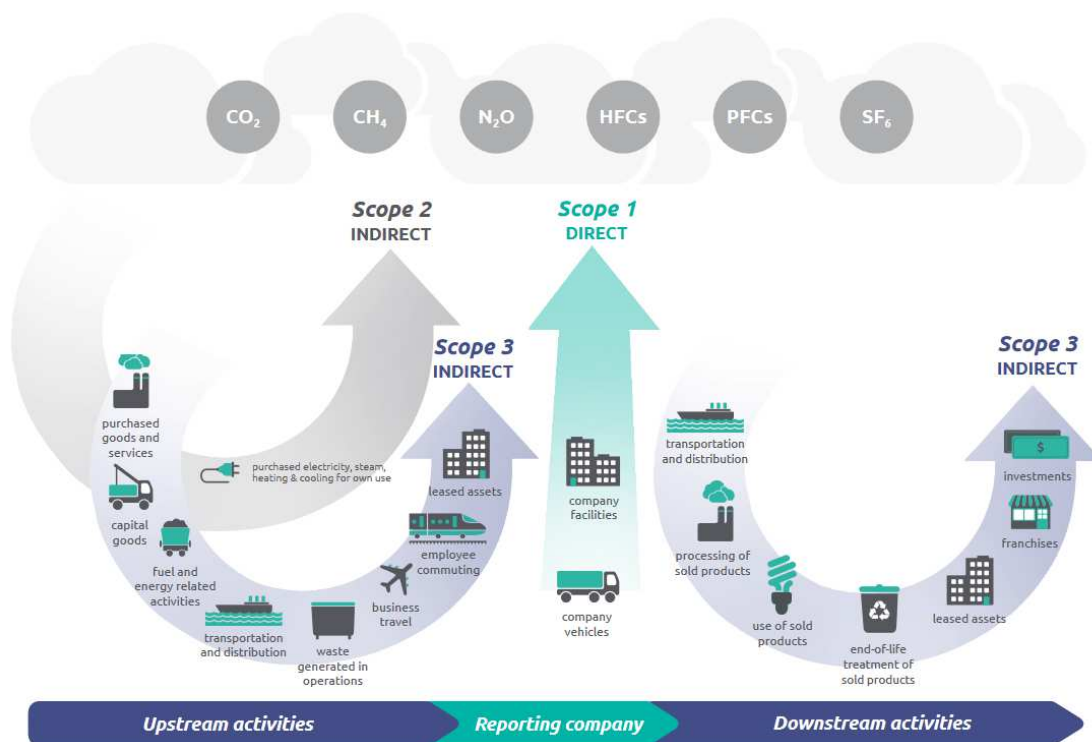
Velika prepreka u mjerenjima, odnosno u njihovim bilježenjima i promatranjima kroz godine, jest upravo postojanje i korištenje različitih definicija i parametara. Zbog toga je postojala potreba za stvaranjem univerzalnog standarda koji bi na sebe preuzeo definiranje, a time olakšao mjerenje različitim entitetima koji bi se pridržavali tog standarda.

Jedan takav standard, tj. niz povezanih standarda, jest GHG protokol. Ovim protokolom definirani su globalni okviri za mjerenje i upravljanje emisijama stakleničkih plinova koji koriste i privatni i javni sektor [10]. Protokol je nastao u kasnim 90-ima kada je prepoznata spomenuta potreba za međunarodnim standardom – 1988. objavljen je izvještaj „*Safe Climate, Sound Business*“ kojim su identificirani koraci za oslovljavanje klimatskih promjena, a s time i već spomenuta potreba za standardiziranim mjerenjima emisija. Prvo izdanje standarda objavljeno je 2001. godine kojim su dane smjernice za mjerenje emisija nastalih tijekom potrošnje energije i uzimanje u obzir emisija nastalih tijekom čitavog vrijednosnog lanca (od kupovine dobara do odlaganja otpada).

#### **Opsezi emisija**

Kako bi se mogli razlikovati direktni i indirektni izvori emisija, poboljšati transparentnost i pružiti se alati za različite tipove organizacija i različitih klimatskih smjernica i ciljeva,

definirana su tri opsega protokola koji su grafički prikazani na slici 1.2. Od organizacija se očekuje da prijavljuju barem opseg 1 i 2 [11].



Slika 1.2. Pregled opsega i emisija kroz vrijednosni lanac [12]

Direktne emisije definirane su kao emisije iz izvora koji su u vlasništvu ili koje kontrolira organizacija koja prijavljuje emisije. Indirektne emisije su emisije koje su posljedica aktivnosti organizacije koja prijavljuje emisije, ali koje dolaze iz izvora koji su u vlasništvu ili pod kontrolom druge organizacije.

Opseg 1 odnosi se na direktne emisije stakleničkih plinova: proizvodnja el. energije, topline ili pare, fizičko ili kemijsko procesiranje, transport materijala, proizvoda, otpada i zaposlenika, te fugitivne (nepostojane) emisije. Dodatno, opseg ne uključuje emisije od izgaranja biomase i emisija plinova definiranih Kyoto protokolom, ali se one mogu prijavljivati zasebno.

Opseg 2 uključuje indirektne emisije od kupljene el. energije (proizvedena izvan organizacije, ali koju je organizacija kupila za vlastite potrebe). Za mnoge je organizacije kupljena el. energija najveći izvor emisija stakleničkih plinova i najveća mogućnost za njihovo smanjenje. Smanjenje emisija iz ovih izvora može se ostvariti ulaganjem u energetske efikasne tehnologije, štednju energije, korištenje obnovljivih izvora i slično.

Opseg 3 proizvoljna je kategorija koja omogućuje mjerenje i prijavljivanje indirektnih emisija aktivnosti koje su važne za poslovanje i ostvarenje ciljeva: ekstrakcija i proizvodnja kupljenih materijala i goriva, aktivnosti vezane uz transport, aktivnosti vezane uz potrošnju el. energije koja se ne uključuje u opseg 2, iznajmljena dobra i delegiranje aktivnosti vanjskim dobavljačima, korištenje proizvoda i usluga te odlaganje otpada. Problem može nastati kada se neke aktivnosti mogu uključiti unutar opsega 1 i opsega 3 te je u tom slučaju potrebno slijediti organizacijske smjernice za određivanje opsega.

## 1.4. Računanje ugljičnog otiska

Računanje ugljičnog otiska može se definirati dvjema formulama [13]:

$$\text{GHG emisija} = \text{podatak o aktivnosti} \times \text{faktor emisije aktivnosti} \quad (1)$$

$$\text{Ugljični otisak} = \text{GHG emisija}_1 + \text{GHG emisija}_2 + \dots \quad (2)$$

U formuli (1), faktor emisije vrijednost je koja pridružuje količinu emitiranog plina aktivnosti koja emitira taj plin, odnosno koja kvantificira taj odnos [14]. Za potrebe praćenja emisija, postoje javno dostupni faktori emisija, ali su neke državne organizacije definirale faktore za vlastite države kako bi se osigurala dosljednost i usporedivost na državnoj razini. Na razini Republike Hrvatske, faktore emisija definiralo je i objavilo Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, te će se ti faktori koristiti kasnije u definiranju kalkulatora ugljičnog otiska.

Kao što je definirano formulom (2), ugljični otisak, tj. ukupna emisija stakleničkih plinova entiteta (organizacije, države, pojedinca, ...) zbroj je pojedinačnih emisija.

## 2. Kalkulatori ugljičnog otiska

Države koje su potpisale Pariški sporazum obavezne su prijavljivati vlastite emisije s ciljem praćenja i smanjenja emisija i globalnog zatopljenja [15]. S druge strane, ugljični otisak svakog pojedinca pretežito je nepoznat, odnosno njegovo mjerenje ovisi o interesu pojedinca o zelenim temama. Pošto većina stanovništva nije zainteresirana za takve teme, tj. uglavnom se bave svojim svakodnevnim životom, takvog interesa nema.

S obzirom na povećanje svijesti stanovništva o globalnom zatopljenju, također počinje vladati mišljenje da pojedinci trebaju biti odgovorni za vlastiti otisak, odnosno da i oni trebaju sudjelovati u aktivnostima koji su dio postizanja cilja smanjenja emisija [16]. Sam interes generalne javnosti za mjerenjem otiska počeo je rasti u drugoj polovici prvog desetljeća 21. stoljeća, te je dosegao vrhunac pojavom kalkulatora koji omogućuju olakšan izračun osobnog otiska [7]. Prvi kalkulatori nastali su početkom 2000-tih te, iako nekima od njih cilj razvoja nije bio društveno koristan, nedvojbeno je da je pojava tih alata pridonijela osvještavanju pojedinaca o globalnom zatopljenju [16].

Postoje dva problema s korištenjem kalkulatora. Prvo, pojedinac mora biti upoznat s vlastitom potrošnjom ili imati potrebne vrijednosti pri ruci. To je nešto što mnogima može predstavljati određenu razinu napora i može ih odvratiti od izračuna, pogotovo ako su imali dojam da mogu vrlo brzo dobiti vlastiti izračun. Naravno, postoje kalkulatori koji ne zahtijevaju unos preciznih vrijednosti, ali zbog toga ne mogu pružiti detaljan uvid u ugljični otisak. Povezano s time, drugi problem jest upravo preciznost kalkulatora. Vrijednosti koje se unose, osim onih koji su vidljivi na uređajima ili računima, potpuno ovise o procjeni pojedinca. Vrlo je vjerojatno da osobe ne znaju koliko su točno vremena, odnosno koliki su put prešli osobnim ili javnim prijevozom u svojoj svakodnevici, koliko su potrošili na hranu, proizvode i aktivnosti, i slično. Zbog toga, kao i kod ostalih samoprocjena, postoji mogućnost velikog raspona pogrešaka, ovisno o tome koja pitanja kalkulator postavlja i koju metodologiju izračuna koristi [4].

Ipak, iako izračun nije u potpunosti točan, nego je samo procjena, dovoljno je dobar da svakome pruži uvid u vlastite emisije, odnosno kojim dijelovima svoje svakodnevice treba pružiti posebnu pažnju kako bi smanjio svoj otisak (naravno, ako je pojedinac zainteresiran i ima volje raditi na smanjenju). Tako netko može značajno utjecati na svoj otisak, na primjer prelaskom

na korištenje električnog vozila i/ili korištenjem alternativnih načina prijevoza kao što su javni prijevoz i vožnja bicikla [16].

## 2.1. Analiza postojećih kalkulatora

Jedan od ciljeva rada bila je analiza postojećih kalkulatora kako bi se pronašle sličnosti, tj. parametri koji su najnužniji za izračun otiska. U svrhu toga, analizirana su četiri kalkulatora od sljedećih organizacija: *Carbon Footprint* [17], *World Wildlife Fund (WWF)* [18], *Conservation* [19] i *The Nature Conservancy* [20]. Promatrana su samo spomenuta četiri pošto je nakon analize četvrtog postalo jasno da sadrže vrlo slične parametre, odnosno one najbitnije poput potrošnje energije uključuju svi. Analiza je provedena upotrebom kalkulatora i bilježenjem parametara koje koriste za izračun, tj. koja pitanja i u kojem obliku ih postavljaju korisniku, te pronalaskom podataka koje koriste za izračun, odnosno koje emisije uzimaju u obzir. U nastavku je općenito opisano koje parametre odabrani kalkulatori koriste, dok je detaljna analiza, tj. popis svih pitanja/parametara dan u tablici 2.1.

Kao prvo, najbitnija stavka kalkulatora su podaci o emisijama koje koriste za izračun. Pod tim se smatraju faktori emisija s kojima se množi korisnikova potrošnja. *Carbon Footprint*, WWF i *Conservation* kalkulatori naveli su točne podatke koje koriste: smjernice vlade Ujedinjenog Kraljevstva za bilježenje emisija i nacionalne statistike, *Eora MRIO* baza podataka, NHS i *Shrink That Footprint*, smjernice Agencije za zaštitu okoliša SAD-a i razne studije. Kalkulator organizacije *The Nature Conservancy* ne navodi specifičan izvor podataka, nego samo naglašava da su izračuni temeljeni na podacima iz Sjedinjenih Američkih Država (SAD).

Dodatno, svi kalkulatori osim *The Nature Conservancy* kalkulatora navode emisije kojih plinova uzimaju u obzir: svih stakleničkih plinova izraženih u CO<sub>2</sub> ekvivalentima. Također, kalkulatori traže unos nekoliko osnovnih parametara kao što su država korisnika, tip i veličina objekta u kojem se živi, broj ukućana i godišnji prihod. Važno je napomenuti da ne sadrže svi kalkulatori spomenute osnovne parametre, ali svi sadrže podatak o broju ukućana.

Za analizu parametara, kalkulatora je prvo najbolje podijeliti u tri skupine s obzirom na oblik pitanja: one koji od korisnika traže unos vrijednosti, one koji traže procjene, odnosno više su upitnik nego kalkulator, i one koji su kombinacija prethodnih skupina. U prvu skupinu smještamo *Carbon Footprint* i *The Nature Conservancy*, u drugu WWF, a u treću *Conservation*.

*Carbon Footprint* kalkulator korisnicima prvo omogućuje unos potrošene električne energije te grijanja kod kojeg nudi raščlambu na tip goriva koji se koristi za grijanje (plin, loživo ulje, ugljen, ...), a *The Nature Conservancy* unos el. energije, s mogućnošću unosa postotka el. energije koja potječe iz obnovljivih izvora, te grijanje s raspodjelom na plin te ulje i ostalo. *The Nature Conservancy* također nudi unos potrošnje vode. Zatim slijedi unos vrijednosti vezanih uz prijevoz: prijeđeni put zrakoplovom, osobnim vozilima i javnim prijevozom. *Carbon Footprint* nudi raščlambe na klase zrakoplovnog sjedala, tipove osobnog vozila i gorivo koje vozilo koristi te tipove javnog prijevoza. *The Nature Conservancy* jedino nudi unos goriva koje vozilo koristi i potrošnju goriva po prijeđenoj jedinici puta. Na kraju, traži se unos parametara vezanih uz potrošnju na prehranu (*The Nature Conservancy* nudi raščlambu na vrstu hrane) te ostale proizvode i usluge (s raščlambama na specifične tipove).

Kad je riječ o WWF kalkulatoru, od korisnika se zahtijevaju procjene kategorija u obliku pitanja i ponuđenih odgovora (tipovi, rasponi, više/manje, ...). Kad je riječ o el. energiji, korisnika se pita o primarnom izvoru, dolazi li iz održivih izvora, pazi li korisnik na gašenje svjetala kada nije u prostoriji, na kojoj se temperaturi grije tijekom zime i slično. U kategoriji prijevoza postavlja se pitanje tipa vozila koje se najčešće koristi, procjene vremena provedenog u različitim tipovima vozila te količine letova u zadnjih godinu dana. U kategoriji ostalih aktivnosti, traže se procjene potrošnje vezane uz prehranu (količina mesa, koliko se hrane baca, koliko često se kupuje lokalno proizvedena hrana), proizvode (hrana za ljubimce, higijenske potrepštine, uređaji, odjeća, ...) i aktivnosti (zabava, hobiji). Dodatno se pita koji tipovi materijala se recikliraju.

*Conservation* kalkulator najmanje je opširan. Korisnika se pita koliki je izvor energije iz obnovljivih izvora, tip prehrane (vegetarijanski, veganski, ...) i unos prosječnog prijeđenog puta različitim tipovima vozila (raščlambe javnih i osobnih tipova prijevoza).



Tablica 2.1. Rezultat analize kalkulatora

	<i><b>CARBON FOOTPRINT</b></i>	<i><b>WWF</b></i>	<i><b>CONSERVATION</b></i>	<i><b>THE NATURE CONSERVANCY</b></i>
<b>IZVOR PODATAKA</b>	Podaci ministarstva Ujedinjenog Kraljevstva	Podaci iz Ureda za nacionalnu statistiku (UK), <i>Eora MRIO</i> baze podataka, NHS-a i <i>Shrink That Footprinta</i>	Agencija za zaštitu okoliša SAD-a, podaci ministarstva Ujedinjenog Kraljevstva, razne studije	Podaci iz SAD-a (izvori nisu navedeni)
<b>PLINOVİ</b>	Svi staklenički plinovi	Svi staklenički plinovi	Svi staklenički plinovi	Nije navedeno
<b>ODABIR DRŽAVE</b>	Država	Unutar/izvan Ujedinjenog Kraljevstva	Ne	Država, regija, grad, poštanski broj
<b>PERIOD</b>	Proizvoljan	Varijabilan (navedeno uz parametre)	Varijabilan (navedeno uz parametre)	Varijabilan (navedeno uz parametre)
<b>OPĆENITO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Broj ukućana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tip objekta</li> <li>• Broj spavaćih soba</li> <li>• Broj ukućana iznad 17 godina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tip objekta</li> <li>• Veličina objekta</li> <li>• Broj ukućana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veličina objekta</li> <li>• Broj ukućana</li> <li>• Godišnji prihod</li> </ul>
<b>ENERGIJA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potrošnja energije (plin, loživo ulje, ugljen, LPG, propan, palete)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primarni izvor grijanja</li> <li>• Dolazi li energija iz obnovljivih izvora?</li> <li>• Pazi li se na gašenje svjetala/elektronike?</li> <li>• Na koju temperaturu je podešeno grijanje tijekom zime?</li> <li>• Koriste li se rješenja za povećanje energetske učinkovitosti?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Postotak energije iz obnovljivih izvora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potrošnja električne energije</li> <li>• Postotak energije iz održivih izvora</li> <li>• Potrošnja prirodnog plina/loživog ulja i ostalih goriva</li> <li>• Godišnja potrošnja vode</li> </ul>

	<i><b>CARBON FOOTPRINT</b></i>	<i><b>WWF</b></i>	<i><b>CONSERVATION</b></i>	<i><b>THE NATURE CONSERVANCY</b></i>
<b>TRANSPORT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Put prijeđen zrakoplovnom klasom</li> <li>• Put prijeđen osobnim vozilom (tip vozila, gorivo, godina proizvodnje)</li> <li>• Put prijeđen javnim prijevozom (autobus, vlak, tramvaj, taksi)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koji se tip prijevoza najčešće koristi?</li> <li>• Tjedno vrijeme provedeno u osobnom vozilu</li> <li>• Vrijeme provedeno u javnom prijevozu (vlak, autobus)</li> <li>• Broja letova zrakoplovom u posljednjih godinu dana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tjedni prijeđeni put javnim prijevozom (vlak, autobus)</li> <li>• Tjedni prijeđeni put osobnim vozilom i prosječna potrošnja na gorivo</li> <li>• Godišnji prijeđeni put zrakoplovom</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prijedeđeni put osobnim vozilom i potrošnja goriva po km/milji</li> <li>• Prijedeđeni put javnim prijevozom</li> <li>• Prijedeđeni put zrakoplovom</li> </ul>
<b>SEKUNDARNI PARAMETRI</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potrošnja na hranu i piće, lijekove, odjeću, obuću, papirne proizvode, elektroničku opremu, motorna vozila, gostoprimstvo, telefone, bankarstvo, edukaciju, rekreacijske aktivnosti i osiguranje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Količina mesa u prehrani</li> <li>• Tjedna potrošnja na restorane</li> <li>• Koliko hrane se baca?</li> <li>• Koliko često se kupuje lokalno proizvedena hrana?</li> <li>• Kupovina namještaja/elektronike u posljednjih godinu dana</li> <li>• Mjesečna potrošnja na odjeću, obuću, hranu za ljubimce, zdravstvene/higijenske proizvode, internet/telefon/televiziju i rekreaciju</li> <li>• Koji tipovi materijala se recikliraju?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tip prehrane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dnevno unesene kalorije za pojedine vrste hrane po osobi</li> <li>• Mjesečna potrošnja na proizvode i usluge</li> </ul>

## 2.2. Odabir parametara kalkulatora

Izrada kalkulatora svodi se na tri stavke: odabir parametara koji će se uključiti u izračun, istraživanje, prikupljanje i odabir faktora emisija, te programsku implementaciju. U ovome poglavlju definirat će se odabrani parametri, opisat će se način odabira faktora emisija te će se prikazati odabrani faktori emisija za svaki parametar izračuna.

U prethodnom poglavlju, analizirani su kalkulatori kako bi se vidjelo koji parametri su im zajednički. Cilj je bio iskoristiti analizu za odabir parametara za vlastitu implementaciju. Na temelju proučenog odabrani su sljedeći parametri: broj ukućana, potrošnja električne energije, potrošnja na grijanje, ukupan prijeđen put osobnim vozilom, javnim prijevozom i zrakoplovom

te potrošnja na proizvode i usluge. Broj ukućana odabran je kako bi se mogao pružiti uvid u 'veličinu' izračunatog otiska, tj. koliko je otisak loš s obzirom na veličinu kućanstva. Dodatno, kako bi se pružio uvid u demografske značajke korisnika kalkulatora, uključeni su parametri dobi, spola, najvećeg stupnja obrazovanja i županije u kojoj korisnik prebiva. Cilj uključivanja ovih parametara je mogućnost uvida u statistiku korisnika kalkulatora, konkretno koje skupine više koriste kalkulator, tj. koje skupine više zanima tema ugljičnog otiska te koliko vrijednost ugljičnog otiska ovisi o pripadnosti demografskoj skupini.

Ključna stavka istraživanja bio je odabir faktora emisija. Kako je prikazano formulom (1) definiranom u poglavlju 1.4., faktor emisije bitan je za izračun ukupnog otiska. Za potrebe implementacije kalkulatora, čiji je fokus područje, tj. stanovništvo Republike Hrvatske, korištena je baza faktora emisija koju je objavilo Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja [21]. U njenim popratnim materijalima detaljno je objašnjena metodologija korištena za izračun faktora emisija te na što se pojedini faktori odnose. Proučavanjem tih materijala, iz baze su uzeti faktori emisija izgaranja stakleničkih plinova za svaki prethodno određeni parametar. Za parametre koji nemaju navedene faktore u bazi, Ministarstvo je predložilo baze drugih organizacija iz kojih su preuzeti faktori za putovanje zrakoplovom i tramvajem te faktori za proizvode i aktivnosti. Konkretno, faktori su preuzeti iz baze, odnosno izvještaja Ministarstva Ujedinjenog Kraljevstva za okoliš, hranu i poljoprivredu određeni istraživanjem u suradnji sa Sveučilištem u Leedsu [22,23].

Tablica 2.2. Faktori emisija po parametrima

Parametar	Izvor/gorivo/klasa/tip	Faktor emisije (kgCO <sub>2</sub> e/MWh, km, €)			
		Mini	Malo	Srednje	Veliko
Električna energija (MWh)	Elektrana	131.031029			
	Obnovljivi izvori	0.0			
Grijanje (MWh)	Javna toplana	211.856532			
	Prirodni plin	235.073721			
	Ogrjevno drvo	6.840000			
	Električna energija	-			
	Dizalica topline	-			
Osobna vozila (km)	Benzin	0.149015	0.180405	0.213151	0.278872
	Benzin hibrid	0.125653	0.128636	0.129059	0.124711
	Dizel	0.114227	0.167670	0.168308	0.227491

Parametar	Izvor/gorivo/klasa/tip	Faktor emisije (kgCO <sub>2</sub> e/MWh, km, €)			
	UNP (LPG) <sup>1</sup>	0.175605	0.194954	0.175025	0.173578
	SPP (CNG) <sup>2</sup>	-	0.190381	0.187878	0.171177
	Električno vozilo	-	-	-	-
Javni prijevoz (km)	Autobus	0.092880			
	Vlak	0.035463			
	Tramvaj	0.028603			
Klase sjedala zrakoplova (km)	Ekonomska klasa	0.07947			
	Premium ekonomska klasa	0.12716			
	Poslovna klasa	0.23047			
	Prva klasa	0.31789			
Proizvodi i usluge (€)	Prehrana i piće	<b>Životinjski bazirana</b>		<b>Biljno bazirana</b>	
		0.742649		0.204253	
	Piće	0.141798			
	Odjeća, obuća, ...	0.564121			
	Lijekovi	1.223999			
	Sport i rekreacija	1.263056			
	Potrepštine za kućne ljubimce	1.244392			
	Restorani, kafići, ...	1.139391			

U tablici 2.2., svaki od parametara raščlanjen je na dodatne opcije ovisno o dostupnim faktorima emisija. Potrošnja na grijanje ima dva specifična slučaja kod kojih faktor emisije zanemarujemo: faktor emisije dizalica topline smatramo zanemarivim u odnosu na prethodne izvore grijanja (0.5333 kgCO<sub>2</sub>e/kWh [24]), a faktor grijanja na el. energiju zanemarujemo jer se potrošnja računa u ukupnu potrošnju el. energije. Dodatno, kako bi se olakšao unos potrošnje u slučaju korištenja ogrjevnog drva, odnosno kako korisnik ne bi trebao sam preračunavati mjerne jedinice, unos mjeren kubičnim metrima množi se s faktorom 2.446 MWh/m<sup>3</sup> kako bi se dobio iznos u megavat-satima [25]<sup>3</sup>. Svi ostali iznosi potrošnje el. energije i goriva za grijanje unose se u kilovat-satima te se kasnije pretvaraju u megavat-sate.

<sup>1</sup> Ukapljeni naftni plin

<sup>2</sup> Stlačeni prirodni plin

<sup>3</sup>  $14,311 \text{ MJ/t} / 1.626 \text{ m}^3/\text{t} = 8,801 \text{ MJ/m}^3 * 0.278 \text{ kWh/MJ} = 2,446 \text{ kWh/m}^3 = 2.446 \text{ MWh/m}^3$

U kategoriji prijevoza osobnim vozilom, osim što se parametar raščlanjuje na vrstu goriva vozila, dodatno se raščlanjuje na veličinu vozila: mini (svi osim SPP-a), malo, srednje i veliko. U bazi faktora emisija, vozila su također bila kategorizirana po standardima i godini proizvodnje, no kako bi se olakšalo korištenje kalkulatora, za svaku kombinaciju goriva i veličine vozila uzet je prosjek faktora po standardima. Faktor emisija prijevoza električnim vozilom zanemaren je pošto se potrošnja uračunava u potrošnju el. energije (u slučaju kada se vozilo puni kod kuće) ili se uopće ne uračunava (u slučaju kada se vozilo puni iz javnih stanica za punjenje).

Najteži parametar za izračunati jest potrošnja na proizvode i usluge, tzv. sekundarni otisak, pošto su emisije nastale korištenjem usluga i dobara teže za izračunati, odnosno pretežito se ne uzimaju u obzir u službenim smjernicama koje su namijenjene organizacijama, a ne pojedincima. Faktori emisija ove kategorije preuzeti su iz istraživanja Sveučilišta u Leedsu u suradnji s Ministarstvom Ujedinjenog Kraljevstva koje je podijelilo proizvode i usluge na više vrsta (npr. hrana je podijeljena na meso, ribu, kruh/žitarice i druge) [22]. Tijekom odabira faktora u obzir je uzeta pretpostavka da pojedinac ne poznaje svoju potrošnju do te razine da može odrediti koliko je točno potrošio na pojedinu vrstu proizvoda/usluge, stoga je za svaku kategoriju potrošnje na proizvode i usluge definiranu u tablici 2.2. uzet prosjek faktora povezanih vrsta (npr. odjeća i obuća).

U mnogim istraživanjima sekundarnog otiska, fokus emisija jest prehrana pojedinca, tj. u kojoj mjeri se prehranjuje hranom životinjskog podrijetla. Stoga, kod prehrane korisnicima će se nuditi četiri izbora s pripadnim postocima mesa u prehrani: pretežito životinjski bazirana (75%), ujednačena (50%), pretežito biljno bazirana (25%), potpuno biljno bazirana (0%). Zatim, faktor emisije prehrane izračunat će se na temelju sljedeće formule, gdje postotak biljno bazirane prehrane iznosi 100% umanjeno za postotak životinjski bazirane:

$$\begin{aligned} \text{Faktor emisije prehrane} = & \%_{\text{životinjski bazirana}} \times FE_{\text{životinjski bazirana}} \\ & + \%_{\text{biljno bazirana}} \times FE_{\text{biljno bazirana}} \end{aligned} \quad (3)$$

Kako bi se izračunali faktori svake od stavki formule, tipovi hrane iz baze skupljeni su u dvije glavne skupine: hrana životinjskog podrijetla i hrana biljnog podrijetla. Konačno, faktori

emisija skupina izračunati su kao prosjeci tipova koje pripadaju tim skupinama. Dodatno, odvojeno računamo emisije nastale potrošnjom na piće (alkoholno, bezalkoholno).

Kod ostalih parametara unutar parametra kućanskih potrepština i aktivnosti, u obzir su uzeti oni s najvećim faktorom emisija (iznad 1), te odjeća i obuća pošto su to jedni od nužnih proizvoda u svakodnevnom životu. Faktor emisije za odjeću i obuću izračunat je kao prosjek faktora emisija kategorija odjeće, ostalih odjevnih predmeta (npr. nakit) i obuće.

S obzirom na neprecizan odabir faktora emisija, važno je napomenuti da svrha kalkulatora nije dati točnu vrijednost ugljičnog otiska, pogotovo zbog ranije spomenutih razloga nepreciznosti kalkulatora, već da je cilj pojedincu dati uvid u vlastitu potrošnju kako bi se osvijestio u kojoj mjeri doprinosi klimatskim promjenama.

### **3. Implementacija kalkulatora ugljičnog otiska**

Kao što je objašnjeno u prethodnim poglavljima, ručno računanje ugljičnog otiska za pojedince može biti kompliciran proces. Kalkulatori ugljičnog otiska, implementirani kao web ili mobilne aplikacije olakšavaju taj proces tako da na sebe preuzimaju definiranje parametara i faktora računanja te samo računanje. Jedino što pojedinac mora napraviti jest unijeti vlastitu potrošnju po parametrima.

Motivacija implementiranja web aplikacije za računanje ugljičnog otiska jest činjenica da na hrvatskom tržištu tijekom istraživanja nije pronađena niti jedna takva. Postoje strane web aplikacije, ali implementacija domaće ima više potencijala približiti tematiku ugljičnog otiska hrvatskoj javnosti.

Ideja aplikacije jest pružiti jednostavan način računanja ugljičnog otiska, ali i informirati korisnike o tematici davanjem informacija o ugljičnom otisku, stanju u svijetu i samom kalkulatoru. Tijekom razvoja, odlučeno je također implementirati mogućnost uvida u statistiku korisnika kalkulatora i njihove ugljične otiska vizualnim prikazom.

U nastavku bit će objašnjene korištene tehnologije, koji podaci su korišteni za implementaciju i kako se oni pohranjuju te kako je aplikacija implementirana opisom korištenih obrazaca, dijelova sustava i koda. Pojedinsti implementacije, tj. klase dijagrama dane su u prilogu zajedno s uputama za instalaciju i korištenje.

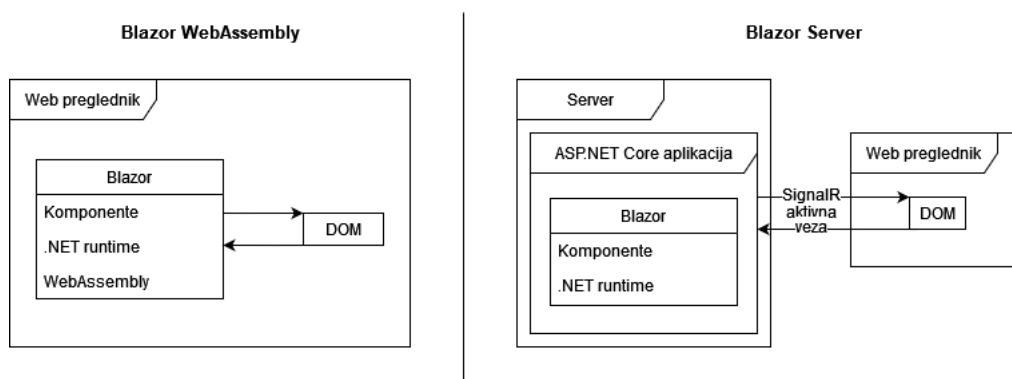
#### **3.1. Korištene tehnologije**

Za pohranu podataka korišten je PostgreSQL sustav za upravljanje bazama podataka, dok je za implementaciju web aplikacije korišten programski jezik C#, odnosno razvojni okviri Blazor WebAssembly za razvoj korisničke aplikacije i ASP.NET Core API baziran na kontrolerima za razvoj pristupnog sučelja [26,27,28]. Oba radna okvira koriste .NET 8 verziju razvojne platforme. Kako bi se iz koda moglo pristupiti bazi podataka, tj. kako bi se podaci mogli dohvaćati i pohranjivati, upotrebljena je EntityFrameworkCore tehnologija. Za implementaciju dijagrama, korišten je D3.js razvojni okvir [29]. Pomoćne funkcije za manipulaciju sučeljem pisane su Javascript programskim jezikom, a samo sučelje definirano je HTML-om i

korištenjem Bootstrap CSS okvira [30]. Svi dijagrami prikazani u radu napravljeni su alatom diagrams.net [31].

## Blazor WebAssembly

Za razliku od većine razvojnih okvira za web aplikacije kojima se razvijaju aplikacije postavljene na serverima, Blazor razvojni okvir također nudi i način posluživanja koji se zove WebAssembly (WASM). Dok se aplikacije postavljene na serveru izvode na serveru i zahtijevaju aktivnu vezu s klijentom tijekom korištenja, WebAssembly aplikacije poslužene su direktno na klijentu, tj. izvode se u web pregledniku klijenta [32]. Kada korisnik pristupi takvoj aplikaciji, čitav kod (komponente, ovisnosti, .NET runtime) preuzima se u korisnikov preglednik koji ga potom izvodi. Na slici 3.1. usporedno su prikazana oba pristupa, gdje DOM (*Domain Object Model*) označava sučelje aplikacije s kojim je korisnik u interakciji, a koje se mijenja na temelju izvođenja koda tijekom korištenja aplikacije.



Slika 3.1. Načini izvođenja Blazor WASM i Blazor Server aplikacija [32]

Dok WASM pristup ima nekoliko nedostataka, za korisnika najveći je taj da početno učitavanje aplikacije kojim se kod preuzima može potencijalno dulje trajati, ali ovaj se problem primarno rješava automatskim keširanjem (*caching*) preuzetog koda, pa svako sljedeće pristupanje traje kraće od prvoga. Dodatno se umanjuje veličina preuzetog koda automatskim uklanjanjem neupotrebljenog koda prilikom objavljivanja aplikacije te kompresijom HTTP odgovora. Drugi veliki nedostatak jest sigurnost i privatnost koda, pošto se on izvodi direktno u pregledniku, dakle korisniku su vidljivi čitav kod i korišteni podaci. Ovaj se nedostatak rješava korištenjem API-ja na serveru kojim se može osigurati da korisnik ne može pristupiti podacima kojima ne bi trebao. Prednosti WebAssembly tehnologije su potencijalno velika brzina izvođenja, mogućnost pokretanja aplikacije bez povezivanja na Internet, posluživanje statičkih stranica,



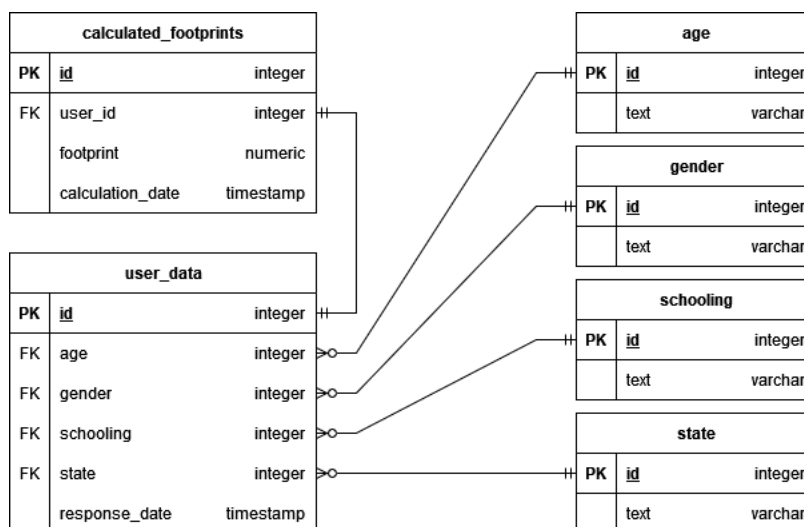
prebacivanje procesiranja resursa na klijenta i web baziran razvoj (aplikacija se ažurira odmah prilikom osvježavanja).

## 3.2. Pohrana podataka

Baza podataka korištena je za pohranu podataka potrebnih za implementaciju kalkulatora, odnosno za pohranu demografskih podataka o korisnicima i izračunatih ugljičnih otisaka.

Entiteti *age*, *gender*, *schooling* i *state* (prikazani na slici 3.2.) u sebi sadrže opcije padajućih izbornika za demografske parametre najvećeg stupnja školovanja, županije, dobne skupine i spola. Podaci unutar ovih entiteta uneseni su prilikom stvaranja entiteta pošto će se iz njih samo čitati, odnosno ti podaci ne trebaju biti izmjenjivi. Razlog zašto su ti podaci pohranjeni u bazi podataka umjesto da su izravno zapisani u programskom kodu jest sljedeći: parametar županije sadrži veliki broj opcija te bi zbog toga popisivanje svih tih opcija unutar koda rezultiralo nepreglednim kodom. Kako bi se održala dosljednost pohrane podataka, tj. kako bi svi podaci korišteni u iste svrhe imali isti način pohrane, odlučeno je da će opcije za sve parametre biti pohranjene u bazi podataka. Ovaj način također omogućava povezivanje s drugim entitetima preko primarnih, odnosno stranih ključeva (postojećim i naknadno dodanim), čime se osigurava dosljednost podataka, tj. u drugim entitetima moguće je unijeti samo već definirane vrijednosti, odnosno sprječava se unos nepostojećih, nešto što bi potencijalno moglo prouzročiti štetu. Također, time se ostavlja mogućnost za ostvarenje kompleksnije baze podataka i implementacije dodatnih funkcionalnosti aplikacije. U trenutnoj implementaciji, navedeni entiteti povezani su preko *one-to-many* veze s entitetom *user\_data*.

Entitet *user\_data* u sebi pohranjuje opcije koje je korisnik odabrao prilikom ispunjavanja kalkulatora. S pripadnim entitetima demografskih parametara povezan je preko stranih ključeva. Također se zapisuje vrijeme ispunjavanja kalkulatora za potencijalne implementacije statističkog, tj. vremenskog pregleda podataka. Za svakog korisnika bilježi se izračunati ugljični otisak unutar entiteta *calculated\_footprints* zajedno s vremenom računanja. Ova dva entiteta povezana su preko *one-to-one* veze. U oba entiteta svaki zapis mora imati ispunjene sve attribute.



Slika 3.2. Dijagram entiteta baze podataka

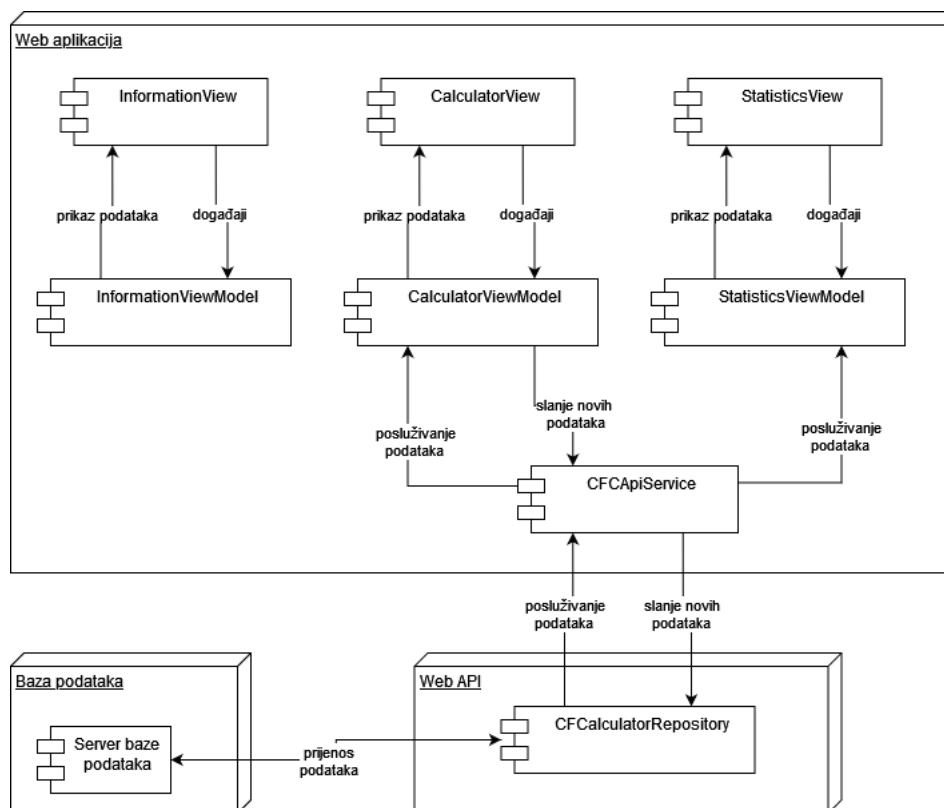
Nadalje, dio aplikacije sadrži podatke korištene u svrhu informiranja korisnika, tj. potrebno je pohraniti tekstualne i vizualne podatke kako bi se ta svrha ostvarila. Dok bi se tekstualni i vizualni sadržaji sami po sebi mogli pohraniti u relacijskoj bazi podataka, što PostgreSQL jest, implementacija aplikacije zahtijeva stilski uređenu kombinaciju teksta i slika. U tom slučaju, odvojeno pohranjivanje dijelova teksta i slika predstavljalo bi kompleksan problem, u vidu koda, ali i u vidu definiranja entiteta i atributa u bazi podataka, te bi se svakako u određenoj mjeri trebalo definirati gdje koji sadržaj pripada. Dodatno, pohrana već stilski oblikovanog sadržaja unutar baze podataka, npr. cijelog HTML koda, nije najbolje rješenje zbog mogućih daljnjih izmjena tijekom razvoja koje bi bile otežane za ostvariti unutar programa za upravljanje sustavom baza podataka pošto ti programi nisu namijenjeni za pisanje koda i pošto bi svaku izmjenu trebalo prethodno testirati. U tom slučaju, svaka nova izmjena ili dodavanje podataka zahtijevali bi definiranje HTML koda u za to prikladnom programu te u tom slučaju pohrana u bazu predstavlja dodatan, nepotreban korak jer je taj kod tada već spremljen unutar datoteke. Konačno, zbog tematike sadržaja i aplikacije, nakon završetka razvoja ne predviđa se potreba za redovitom izmjenom podataka. Da ta potreba postoji, pohrana u bazu bila bi najlogičniji izbor zato što bi se time omogućila korisnicima prilagođena funkcionalnost uređivanja kroz korisničko sučelje.

Zbog navedenih razloga, odlučeno je da će se tekstualni i vizualni podaci pohraniti, tj. povezati, kao sadržajno i stilski oblikovane HTML datoteke unutar koda. Svaka kategorija informacije definirana je kao zasebna datoteka s tekстом i poveznicama na slike, ako ih ima, koje su

pohranjene zajedno s drugim statičkim resursima koda. U podnožju svake kategorije također su navedeni izvori iz kojih su tekstualan i vizualan sadržaj te kategorije preuzeti.

### 3.3. Opis programskog rješenja

Implementacija web aplikacije ostvarena je korištenjem troslojne arhitekture na način prikazan na slici 3.3. Prvi sloj, baza podataka, objašnjena je u prethodnom poglavlju te je ostvarena u prvom koraku implementacije, tj. korišten je *database-first* pristup. Drugi sloj, Web API ostvaren je tako da se u produkciji može smjestiti na zaseban server te se koristi za pristup bazi podataka na temelju HTTP poziva s trećeg sloja, web aplikacije koja je smještena na klijentu, unutar web preglednika korisnika (sukladno funkcionalnosti WebAssembly tehnologije). Slojevi API-ja i aplikacije koriste knjižnicu domenske/poslovne logike u kojoj su definirani modeli, objekti za prijenos podataka (*Data Transfer Object, DTO*), konstante, enumeracije i metode potrebne za ostvarenje funkcionalnosti kalkulatora, odnosno za prijenos podataka između ta dva sloja.



Slika 3.3. Dijagram sustava

### 3.3.1. Web API

Kao što je rečeno u poglavlju s opisom korištenih tehnologija, API je baziran na kontrolerima, pristupu koji je objektno orijentiran za razliku od minimalnog API-ja koji je baziran na lambda izrazima i funkcijama [33]. Korišten API pristup omogućuje jednostavniju implementaciju s pomoću već definiranih atributa i metoda za upravljanje HTTP zahtjevima i odgovorima [34]. U implementiranom kontroleru definirane su metode, odnosno krajnje točke za dohvaćanje opcija demografskih parametara, prosječnog ugljičnog otiska korisnika aplikacije i podataka o korisnicima i njihovim otiscima te točke za unos novog korisnika zajedno s izračunatim otiskom. Svaka od navedenih metoda pristupa bazi podataka kroz pripadne metode definirane unutar repozitorija koji je pak povezan s bazom preko konteksta implementiranog s pomoću EntityFrameworkCore tehnologije za pristup bazama podataka. Za prijenos podataka iz, odnosno u bazu, kontroler koristi objekte za prijenos podataka, klase čija je jedina namjena skupiti sve podatke koje je potrebno prenijeti i koje ne sadrže bilo kakvu drugu logiku. Pošto se često razlikuju od modela entiteta koji su potrebni za unos u i dohvaćanje iz baze, što je slučaj u programskom rješenju, kontroler prije slanja podataka u aplikaciju i bazu pretvara te objekte u odgovarajuće klase.

Kod 3.1. prikazuje krajnju točku API-ja preko koje se primaju demografski podaci o korisniku i izračunati ugljični otisak. Prije nego što se kroz repozitorij pohranjuje u bazu, primljeni objekt za prijenos podataka u kontroleru se pretvara u model entiteta *user\_data* i izvlači se izračunati otisak. Kod 3.2. prikazuje implementaciju metode sučelja *ICFCalculatorRepository* u kojoj se pretvoreni podaci pohranjuju u bazu podataka. Ostale metode kontrolera i repozitorija implementirane su na isti način.

```

[HttpPost]
[Route("recordResponse")]
public bool RecordResponse(ResponseDTO response)
{
    var userData = new UserData()
    {
        Age = response.UserData.Age,
        Gender = response.UserData.Gender,
        Schooling = response.UserData.Schooling,
        State = response.UserData.State,
        ResponseDate = DateTime.Now
    };

    return _db.RecordResponse(userData, response.CalculatedFootprint);
}

```

Kod 3.1. Krajnja točka za pohranu izračunatog otiska

```

public bool RecordResponse(UserData userData, double
calculatedFootprint)
{
    try
    {
        _db.UserData.Add(userData);
        _db.SaveChanges();

        _db.CalculatedFootprints.Add(new CalculatedFootprint() {
            UserId = userData.Id,
            Footprint = (decimal)calculatedFootprint,
            CalculationDate = userData.ResponseDate,
        });

        _db.SaveChanges();
        return true;
    } catch (Exception)
    {
        return false;
    }
}

```

Kod 3.2. Metoda repozitorija za pohranu izračunatog otiska

### 3.3.2. Domenska knjižnica klasa

Spomenuti objekti definirani su unutar domenske knjižnice klasa. Osim njih, knjižnica sadrži servis za računanje ugljičnog otiska i sve klase koje se koriste za definiranje podataka koji su servisu potrebni. Servis je implementiran kao zasebna klasa u kojoj su definirane metode koje odgovaraju prethodno definiranoj formuli za izračun ugljičnog otiska. Glavna metoda, `CalculateFootprint` (kod 3.3.), koja je jedina javna i kojoj se pristupa kada se pristupa

servisu, u sebi pribraja sve otiske pojedinačnih kategorija (definirane u poglavlju 2.2.) koji su izračunati unutar privatnih metoda.

```
public double CalculateFootprint(CalculationData userInput)
{
    double result = 0;

    result += ElectricityFootprint(userInput.ElectricitySource,
        userInput.Electricity);
    result += HeatingFootprint(userInput.HeatingSource,
        userInput.Heating);

    if (userInput.PersonalTransportation is not null)
        result += PersonalTransportationFootprint(
            userInput.PersonalTransportation
        );

    result += PublicTransportationFootprint(
        userInput.BusTransportationMileage,
        userInput.TrainTransportationMileage,
        userInput.TramTransportationMileage
    );

    if (userInput.Flights is not null)
        result += FlightFootprint(userInput.Flights);

    if (userInput.DietConsumption is not null)
        result += DietFootprint(userInput.DietConsumption);

    result += HouseholdConsumptionFootprint(
        userInput.HouseholdConsumption
    );

    return result;
}
```

### Kod 3.3. Glavna metoda za izračun ugljičnog otiska

Metode za izračun pojedinačnih otisaka primaju vrijednost/i potrošnje i enumeracije tipova potrošnje te na temelju tih tipova određuju s kojim će faktorom emisija predanu potrošnju množiti, a koji su definirani unutar klase `CalculatorConstants`. Predani parametri u nekim metodama predani su kao odvojene varijable, dok su u drugima predani sjedinjeni u zasebnu klasu ili u obliku rječnika. Odabir između dva načina predaje ovisio je isključivo o količini opcija koje korisnik može odabrati za tu kategoriju. Tako se, npr. za potrošnju električne energije odvojeno predaju tip izvora i potrošnja jer korisnik može odabrati samo jedan izvor, dok je za informacije o prijađenom putu osobnim vozilom definirana posebna klasa `PersonalVehicle` čije se instance stavljaju unutar liste vozila pošto korisnik može imati više vozila i za svako vozilo definirana su tri atributa, a za prijevoz zrakoplovom korišten je

rječnik pošto korisnik može odabrati više klasa sjedala zrakoplova, ali svaki samo jednom kojem se pridružuje ukupan put prijeđen tijekom putovanja unutar te klase.

Za razliku od demografskih parametara koji se pohranjuju unutar baze podataka, za tipove potrošnje odlučeno je koristiti enumeracije pošto one omogućuju programski efikasnije i čitljivije određivanje tipova potrošnje koje je korisnik odabrao tijekom ispunjavanja kalkulatora (npr. tip goriva). Naime, kroz razmatranje opcija tijekom razvoja zaključeno je da bi pohrana u bazu tijekom računanja otiska zahtijevala uspoređivanje identifikacijske varijable entiteta ili s brojevima navedenima izravno u kodu za koje potencijalno ne bi odmah bilo jasno koji tip naznačuju (npr. `FuelType.Id == 0`) ili s enumeracijama koje bi trebale odgovarati tipovima pohranjenima u bazi u kojem slučaju bi isti podaci bili definirani na dva različita mjesta.

Kod 3.4. prikazuje opisan način implementacije računanja otiska za pojedine kategorije. Konkretno, riječ je o metodi koja prima podatke o izvoru el. energije u kućanstvu i pripadnu potrošnju te na temelju tih parametara računa otisak potrošnje el. energije. Sve ostale metode implementirane su na isti način, odnosno razlikuju se jedino u načinu na koji primaju parametre.

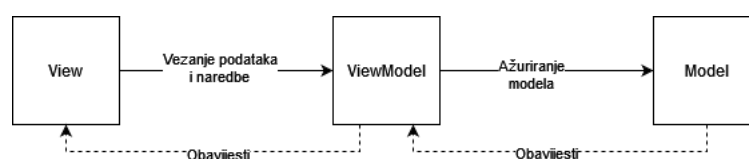
```
private double ElectricityFootprint(ElectricitySource source, double
value)
{
    // kWh to MWh
    value /= 1000;
    switch(source)
    {
        case ElectricitySource.PowerPlant:
            return value * CalculatorFactors.Electricity.PowerPlant;
        case ElectricitySource.Green:
            return value * CalculatorFactors.Electricity.Green;
        default:
            return 0;
    }
}
```

Kod 3.4. Metoda za računanje otiska potrošnje električne energije

### 3.3.3. Web aplikacija

Web aplikacija implementirana je kroz MVVM (*Model-View-ViewModel*) arhitekturni obrazac koji omogućuje daljnje razdvajanje aplikacijske/poslovne logike od prezentacijske logike [35]. *Model* mogu biti bilo koje klase koje služe za predstavljanje podataka aplikacije. *View* definira strukturu i način prikaza podataka korisniku (prezentacijska logika) te ne obavlja nikakvu drugu

funkcionalnost, pogotovo manipulaciju podacima, osim što na *ViewModel* šalje događaje/naredbe pokrenute nad elementima prikaza. *ViewModel* sadrži sve parametre i metode (aplikacijska logika) potrebne za pripremanje podataka spremljenih unutar modela za prikaz korisniku, uključujući dohvaćanje podataka, te sve metode koje se koriste za manipulaciju podacima koje je korisnik zatražio preko *View*-a. Sva tri dijela potpuno su razdvojiva i minimalno svjesna o postojanju drugih (samo onoliko koliko je potrebno da se ostvari prethodno opisan način rada), što omogućuje ponovnu iskoristivost zasebnih dijelova (slika 3.4.).



Slika 3.4. MVVM obrazac [35]

U programskom rješenju, *Model* čine objekti za prijenos podataka, klase potrebne za korištenje servisa i pohranu korisnikova unosa. Ti se podaci dohvaćaju unutar *ViewModel*-a korištenjem sučelja `ICFCApiService` čija implementacija preko HTTP zahtjeva i odgovora komunicira s API-jem. Dohvaćeni se podaci dodatno pretvaraju u oblik za valjani prikaz na sučelju, ako je to potrebno (pojedini podaci upotrebljivi su u izvornom obliku), npr. skupljanjem u liste za popisivanje u tablicama ili padajućim izbornicima te definiranjem karakternih nizova (*string*) za bolju čitljivost sučelja. Osim dohvaćenih podataka, definirani su i parametri za upravljanje *View*-om, tj. parametri koji prikazuju/sakrivaju i omogućuju/onemogućuju elemente ovisno o podacima. Korisnik kroz sučelje pregledava te odabire i upisuje podatke o svojoj potrošnji. Na temelju njegove interakcije sa sučeljem, *ViewModel* mijenja postojeće podatke, odnosno stvara nove koje zatim šalje servisu za računanje otiska i/ili servisu za komunikaciju s API-jem te mijenja sučelje u skladu s unesenim/izračunatim podacima i obavještava korisnika o ishodima pokrenutih naredbi.

S obzirom na funkcionalnosti, web aplikaciju možemo podijeliti na tri dijela: onaj namijenjen informiranju korisnika o ugljičnom otisku i samoj aplikaciji, onaj namijenjen računanju ugljičnog otiska, tj. kalkulator, i onaj koji prikazuje statistike o korisnicima kalkulatora.



## Dio za informiranje korisnika

Za razliku od ostala dva dijela, dio za informiranje korisnika ne slijedi u potpunosti MVVM obrazac. Naime, ovdje nije bilo potrebe za korištenjem modela pošto su podaci koji se prikazuju na sučelju pohranjeni kao statički resursi (objašnjeno u poglavlju 3.2.), tj. kao HTML datoteke/komponente, te u biti čine dio *View*-a. Svrha klase `InformationViewModel` u ovom je dijelu upravljanje sučeljem odabirom komponente koju treba prikazati na temelju korisnikovog odabira na sučelju. Ta je funkcionalnost mogla biti ostvarena isključivo na *View*-u, ali zbog dosljednosti koda i omogućavanja ponovne iskoristivosti koda, odnosno dodavanja novih funkcionalnosti u budućnosti koje bi potencijalno zahtijevale korištenje svih dijelova MVVM obrasca, odlučeno je ipak koristiti *ViewModel*.

## Dio za računanje ugljičnog otiska

Skraćeno zvan kalkulator, ovaj dio glavni je dio web aplikacije koji ispunjava njenu svrhu – olakšano računanje ugljičnog otiska. Za funkcionalnost kalkulatora odgovorna je klasa `CalculatorViewModel`. Tijekom inicijalizacije klase, kroz sučelje `ICFCApiService` dohvaćaju se opcije demografskih parametara iz baze podataka te se inicijaliziraju varijable i modeli potrebni za upravljanje sučeljem i pohranu unosa. Klasa definira nekoliko metoda za dodavanje/uklanjanje unosa potrošnji za parametre leta zrakoplovom i prijevoza osobnim vozilom za koje je potrebno detaljnije provjeriti ispravnost unesenih podataka, dok se za ostale parametre podaci o potrošnji izravno unose u varijable modela.

Kod 3.5. ključna je metoda klase `CalculatorViewModel` koja se pokreće nakon što je korisnik unio podatke u formu na sučelju i odabrao opciju računanja otiska. U metodi se provjerava je li korisnik završio unos parametara putovanja zrakoplovom i osobnog prijevoza te jesu li popunjeni demografski podaci. Ako korisnik nije dovršio unos ili ispunio obavezna polja, javlja mu se odgovarajuća obavijest. Nakon što su svi uvjeti zadovoljeni, podaci o potrošnji spremaju se u objekt za prijenos podataka te se poziva implementacija sučelja `IFootprintCalculationService` unutar metode `PrepareData`:

```
...
response.CalculatedFootprint =
_footprintCalculationService.CalculateFootprint(calculatorInput);
...
```

Zatim se dobiveni rezultat preko API poziva šalje u bazu podataka pozivom odgovarajuće metode sučelja `ICFCApiService`. Metoda prima prethodno popunjen objekt za prijenos podataka te poziva odgovarajuću krajnju točku API-ja i vraća ishod poziva:

```
public async Task<bool> RecordResponse(ResponseDTO userResponse)
{
    var response = await _httpClient.PostAsJsonAsync(
        "api/Calculator/recordResponse",
        userResponse
    );
    return response.IsSuccessStatusCode;
}
```

Ako je ishod uspješan, na temelju izračunatog otiska računa se otisak pojedinca (izračunati se odnosi na cijelo kućanstvo) te se uspoređuje otisak kućanstva s prosječnim otiskom svih korisnika web aplikacije i s prosjekom države. Dobiveni rezultati prikazuju se korisniku. Ako je ishod neuspješan, korisnika se o tome obavještava.

```
public void CalculateFootprint()
{
    UserWarnings.Clear();
    if (AddingNewFlight)
    {
        UserWarnings.Add("Flights", "Potrebno je dovršiti ili
            poništiti unos.");
        return;
    }
    if (AddingNewVehicle)
    {
        UserWarnings.Add("Vehicles", "Potrebno je dovršiti ili
            poništiti unos.");
        return;
    }

    UserWarnings.Remove("General");
    if (Model.UserData.Gender == -1 || Model.UserData.Age == -1 ||
        Model.UserData.State == -1 || Model.UserData.Schooling == -1)
    {
        UserWarnings.Add("General", "Općenite podatke je potrebno
            popuniti");
        return;
    }

    var response = PrepareData();
    UserWarnings.Remove("General");
}
```

```

try
{
    var result = _api.RecordResponse(response);
    FormCompleted = true;
    if (result != null)
    {
        Model.HouseholdFootprint =
            response.CalculatedFootprint.ToString("0.00");
        Model.IndividualFootprint =
            GetIndividualFootprint(response.CalculatedFootprint
            ).ToString("0.00");
        Model.FootprintComparison =
            CompareFootprints(response.CalculatedFootprint);
    }
    else
    {
        UserWarnings.Add("Calculation", "Došlo je do greške
            prilikom računanja otiska. Molimo pokušajte
            ponovno.");
    }
}
catch (Exception)
{
    UserWarnings.Add("Calculation", "Došlo je do greške prilikom
        računanja otiska. Molimo pokušajte ponovno.");
}
}

```

Kod 3.5. Metoda za upravljanje računanjem otiska

## Dio za prikaz statistike

Cilj dijela za prikaz statistike je kroz vizualne grafove dati korisnicima uvid u demografiju korisnika web aplikacije, odnosno prikazati ugljične otiske svake od demografskih skupina.

Tijekom inicijalizacije klase `StatisticsViewModel`, preko sučelja `ICFCApiService` dohvaćaju se podaci o korisnicima i njihovi izračunati otisci. Ti se podaci zatim koriste za popunjavanje padajućih izbornika na sučelju aplikacije. Konkretno, korisnicima se nudi izbor demografskog parametra (dob, spol, najveći stupanj obrazovanja, županija) i podatak koji se prikazuje (broj korisnika unutar svake skupine demografskog parametra, najmanji/prosječan/najveći ugljični otisak svake skupine). Korisnikovim odabirom neke od vrijednosti iz padajućeg izbornika pokreće se crtanje grafa.

Kod 3.6. prikazuje metodu koja priprema prostor za crtanje grafa i izvlači skupine demografskog parametra iz rječnika svih skupina, zatim poziva metode za oblikovanje podataka o korisnicima na temelju odabranog tipa podataka za prikaz (metode

UserNumberData i FootprintData) te poziva Javascript funkcije za crtanje grafova. Javascript funkcije implementirane su u zasebnim datotekama smještenim unutar direktorija za statičke resurse, a za samu implementaciju korišten je D3.js razvojni okvir. Početne definicije, tj. implementacije vrsta grafova (stupčasti i grupirani stupčasti), preuzete su iz javno dostupnih izvora te su potom prilagođene zahtjevima aplikacije, tj. podacima koji se prikazuju na grafovima [36,37].

```
public async Task ShapeDataAsync()
{
    ChartLoaded = false;
    var options = Options[(Params)SelectedParameter].ToList();
    _values.Clear();
    ChartData.Clear();

    ChartLoaded = true;
    try
    {
        _jsObjectReference = await
            _js.InvokeAsync<IJSObjectReference>("import",
                "/js/app.js");
        if (SelectedValueType == 0)
        {
            UserNumberData(options);
            await _jsObjectReference.InvokeVoidAsync("user_data",
                ChartData);
        }
        else if (SelectedValueType == 1)
        {
            FootprintData(options);
            await _jsObjectReference.InvokeVoidAsync(
                "footprint_data", ChartData);
        }
    } catch (Exception)
    {
        ChartLoaded = false;
        UserWarnings.Add("Došlo je do pogreške prilikom prikaza
            podataka. Pokušajte ponovno.");
    }
}
```

### Kod 3.6. Metoda za crtanje grafa

Metoda UserNumberData prebrojava broj korisnika koji pripadaju demografskim skupinama. Kod 3.7. dio je te metode i prikazuje kako su korisnici prebrojani za parametar dob, odnosno kako se dodaju na listu podataka za prikaz. Na isti su način određeni podaci za ostale parametre.

```

if ((Params)SelectedParameter == Params.Age)
{
    foreach (var option in options)
        ChartData.Add(new ChartData() {
            Label = option.Body,
            Count = UserData.Where(x => x.Age == option.Id).Count()
        });
}

```

Kod 3.7. Dio koda za prebrojavanje korisnika

Metoda `FootprintData` traži najmanji i najveći te računa prosječni ugljični otisak iz baze podataka za svaku skupinu demografskog parametra. Kod 3.8. prikazuje izračune za parametar `dob`, a za ostale parametre napravljeno je isto. Za svaku se skupinu prikupljaju ugljični otisci korisnika koji pripadaju toj skupini te se zatim određuju najmanji, prosječan i najveći otisak i dodaju se na listu podataka za prikaz.

```

if ((Params)SelectedParameter == Params.Age)
{
    foreach (var option in options)
    {
        var values = UserData.Where(x => x.Age == option.Id)
            .Select(x => Footprints[x.Id])
            .DefaultIfEmpty();
        var average = values.Average();
        var min = values.Min();
        var max = values.Max();
        ChartData.Add(new ChartData() {
            Label = option.Body,
            Avg = average,
            Min = min == average ? 0 : min,
            Max = max == average ? 0 : max,
        });
    }
}

```

Kod 3.8. Dio koda za izračun podatak o ugljičnom otisku

### 3.4. Daljnji rad

Jedan od ciljeva rada bio je implementirati web aplikaciju za procjenu ugljičnog otiska. U prethodnom je poglavlju opisana ostvarena implementacija, ali kao i svaka druga aplikacija, i ova ima mjesta za unaprjeđenje i implementacije novih značajki.

Prva mogućnost poboljšanja jest implementacija skalabilnosti. Pošto se tijekom implementacije nije predviđao veliki broj korisnika aplikacije, nisu implementirani nikakvi mehanizmi skalabilnosti, tj. osiguravanja neometanog rada prilikom pristupanja velikog broja korisnika.

Primarna točka na koju bi se rješavanje ovog problema fokusiralo jest pristup bazi podataka zbog mogućnosti preopterećenja servera baze podataka. Kako bi se to spriječilo, može se implementirati keširanje demografskih parametara na serveru API-ja kako bi se izbjegao pristup bazi podataka, pogotovo zato što se ne predviđa redovita izmjena tih podataka. Druga mogućnost poboljšanja jest prilagodba aplikacije za mobilne uređaje pošto je aplikacija rađena s namjerom korištenja na računalima. Iako su korišteni elementi koji bi trebali osigurati dosljednost kod promjena veličine ekrana, to nije dovoljno jer bi za neometano korištenje na mobilnim uređajima sučelje trebalo biti potpuno drugačije definirano.

Kada je riječ o implementaciji novih značajki, odnosno o proširenju sustava, prva stavka bila bi implementacija autorizacije i autentifikacije korisnika. Dodavanjem tih funkcionalnosti omogućio bi se cijeli niz novih opcija. Tako bi se moglo implementirati uređivanje informacija o ugljičnom otisku (zahtijevalo bi dodatnu promjenu načina pohrane podataka sukladno opisanome u poglavlju 3.2). Zatim, korisnicima bi se moglo omogućiti praćenje vlastitih izračunatih ugljičnih otisaka kroz vrijeme, ako to žele. Dodatno, pohranom otisaka individualnih parametara, a ne samo ukupnog otiska, te implementacijom dodatnih usporedbi s prosjecima svakog parametra, korisnicima bi se mogao pružiti uvid u područja svakodnevnog života koja najviše doprinose emisijama i kako ih mogu umanjiti.

## Zaključak

Klimatske promjene problem su cijelog svijeta. Rast globalnih temperatura posljedica je ljudskog djelovanja koje počinje imati vrlo značajne i vidljive utjecaje u svakodnevnom životu, a mnogi se s time još nisu spremni suočiti. Kako bi se taj utjecaj smanjio i u konačnici potpuno uklonio, potrebno je ciljno djelovati prema smanjenju emisija stakleničkih plinova. U tu svrhu, definirani su protokoli i standardi koji zahtijevaju prijavljivanje emisija organizacijama odgovornima za praćenje emisija i njihova utjecaja.

Kao rezultat i odgovor na potrebe prijavljivanja emisija, nastao je pojam ugljičnog otiska, mjere emisija stakleničkih plinova u CO<sub>2</sub> ekvivalentima. Za olakšano računanje otiska, pogotovo kada je riječ o otisku pojedinca i kućanstva, stvoreni su kalkulatori koji ujedinjuju metodologije izračuna i faktore emisija u jedan alat. Ipak, kalkulatori imaju veliki problem nepreciznosti zbog različitih metodologija i izvora podataka korištenih za računanje te zbog ovisnosti pojedinca o poznavanju vlastite potrošnje. Upravo se zbog toga oni ne mogu koristiti kao precizan alat, već im najveća korist leži u osvještavanju javnosti o problemu globalnog zatopljenja i područjima u kojima pojedinac najviše doprinosi emisijama.

Analiza nekoliko kalkulatora pokazala je da su najčešći parametri mjerenja emisija unutar kućanstva potrošnja električne energije, potrošnja na grijanje, putovanja osobnim/javnim prijevozom i zrakoplovom te potrošnja na proizvode i usluge potrebne u svakodnevnom životu. Ti su parametri, zajedno s nekoliko dodatnih za opis demografije korisnika, odabrani za vlastitu implementaciju kalkulatora te su za njih skupljeni faktori emisija iz baza službenih državnih organizacija. Kalkulator je implementiran kao web aplikacija koja korisnicima omogućuje informiranje o ugljičnom otisku, računanje vlastitog otiska i uvid u statistiku korisnika aplikacije vizualnim prikazom broja korisnika i njihovih ugljičnih otisaka za svaku demografsku skupinu.

## Literatura

- [1] NASA, *Global Temperature*. Poveznica: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature>; pristupljeno 24. travnja 2024.
- [2] NASA, *How might Earth's atmosphere, land, and ocean systems respond to changes in carbon dioxide over time?*. Poveznica: <https://climate.nasa.gov/faq/55/how-might-earths-atmosphere-land-and-ocean-systems-respond-to-changes-in-carbon-dioxide-over-time/>; pristupljeno 24. travnja 2024.
- [3] NASA, *Carbon Dioxide*. Poveznica: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide>; pristupljeno 24. travnja 2024.
- [4] Wright L. A., Kemp S. i Williams I., '*Carbon footprinting*': towards a universally accepted definition. *Carbon Management*, svez. 2, br. 1, pp. 61-72, (2011).
- [5] Selin N. E., *Carbon footprint*. (2023, studeni). Poveznica: <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint>; pristupljeno 20. prosinca 2023.
- [6] United Nations, *Kyoto Protocol - Targets for the first commitment period*. Poveznica: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-kyoto-protocol/what-is-the-kyoto-protocol/kyoto-protocol-targets-for-the-first-commitment-period>; pristupljeno 10. svibnja 2024.
- [7] Turner J. M., *Counting Carbon: The Politics of Carbon Footprints and Climate Governance from the Individual to the Global*. *Global Environmental Politics*, svez. 14, br. 1, pp. 59-78, (2014, veljača).
- [8] United Nations, *For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action*. Poveznica: <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>; pristupljeno 22. prosinca 2023.
- [9] Ritchie H., Rosado P. i Roser M., *Emissions by sector: where do greenhouse gases come from?*. (2024, siječanj). Poveznica: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>; pristupljeno 9. siječnja 2024.
- [10] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, *GHG Protocol*. Poveznica: <https://ghgprotocol.org/about-us>; pristupljeno 25. travnja 2024.
- [11] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, *GHG Protocol - A Corporate Accounting and Reporting Standard*. (2015). Poveznica: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>; pristupljeno 25. travnja 2024.
- [12] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development, *GHG Protocol - Diagram of scopes and emissions across the value chain*. (2011). Poveznica: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards\\_supporting/Diagram%20of%20scopes%20and%20emissions%20across%20the%20value%20chain.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards_supporting/Diagram%20of%20scopes%20and%20emissions%20across%20the%20value%20chain.pdf); pristupljeno 25. travnja 2024.



- [13] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Upute za korištenje baze podataka s nacionalnim faktorima za emisije i uklanjanja stakleničkih plinova, 2022.
- [14] Agencija za zaštitu okoliša SAD-a, *Basic Information of Air Emissions Factors and Quantification*. (2024, svibanj). Poveznica: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/basic-information-air-emissions-factors-and-quantification>; pristupljeno 24. travnja 2024.
- [15] United Nations, *Key aspects of the Paris agreement*. Poveznica: <https://unfccc.int/most-requested/key-aspects-of-the-paris-agreement>; pristupljeno 10. svibnja 2024.
- [16] Mulvaney K., *What is a carbon footprint—and how to measure yours*. (2022, lipanj). Poveznica: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/what-is-a-carbon-footprint-how-to-measure-yours>; pristupljeno 24. travnja 2024.
- [17] Carbon Footprint, *Carbon Footprint Calculator*. Poveznica: <https://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>; pristupljeno 4. travnja 2024.
- [18] WWF, *How big is your environmental footprint?*. Poveznica: <https://footprint.wwf.org.uk/>; pristupljeno 4. travnja 2024.
- [19] Conservation International, *Carbon footprint calculator*. Poveznica: <https://footprint.conservation.org/en-us/>; pristupljeno 4. travnja 2024.
- [20] The Nature Conservancy, *Calculate your carbon footprint*. Poveznica: <https://www.nature.org/en-us/get-involved/how-to-help/carbon-footprint-calculator/>; pristupljeno 4. travnja 2024.
- [21] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, *Ugljični otisak*. (2022, listopad). Poveznica: <https://mingor.gov.hr/o-ministarstvu-1065/djelokrug/uprava-za-klimatske-aktivnosti-1879/ugljicni-otisak/8960>; pristupljeno 16. travnja 2024.
- [22] Ministarstvo UK-a za okoliš, hranu i poljoprivredu, *UK and England's carbon footprint to 2020*. (2024, svibanj). Poveznica: <https://www.gov.uk/government/statistics/uks-carbon-footprint>; pristupljeno 9. svibnja 2024.
- [23] Ministarstvo UK-a za okoliš, hranu i poljoprivredu, *Greenhouse gas reporting: conversion factors 2023*. (2023, lipanj). Poveznica: <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023>; pristupljeno 16. travnja 2024.
- [24] Zhang Y., He Q., Zhou Y., Zhang Z. i Wang X., *Exploring the Impact of a District Sharing Strategy on Application Capacity and Carbon Emissions for Heating and Cooling with GSHP Systems*. Applied Sciences, svez. 10, (2020).
- [25] Bittermann W., Austrijski državni zavod za statistiku, Austria Mojca Suvorov i Statistički ured Republike Slovenije, *Quality standard for statistics on wood fuel*. (2012, svibanj). Poveznica: [https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956233/Quality\\_standard\\_statistics\\_wood\\_fuel\\_consumption\\_households\\_CA-RES\\_2012.pdf](https://ec.europa.eu/eurostat/documents/38154/4956233/Quality_standard_statistics_wood_fuel_consumption_households_CA-RES_2012.pdf); pristupljeno 7. lipnja 2024.
- [26] PostgreSQL Global Development Group, *PostgreSQL*. Poveznica: <https://www.postgresql.org/>.

- [27] Microsoft, *Blazor*. Poveznica: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet/web-apps/blazor>.
- [28] Microsoft, *ASP.NET Core APIs*. Poveznica: <https://dotnet.microsoft.com/en-us/apps/aspnet/apis>.
- [29] Observable, *D3.js*. Poveznica: <https://d3js.org/>.
- [30] Bootstrap, *Bootstrap*. Poveznica: <https://getbootstrap.com/>.
- [31] JGraph Ltd, *diagrams.net*. Poveznica: <https://app.diagrams.net/>.
- [32] Microsoft, *ASP.NET Core Blazor hosting models*. (2024, veljača). Poveznica: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/blazor/hosting-models?view=aspnetcore-8.0>; pristupljeno 21. lipnja 2024.
- [33] Microsoft, *Choose between controller-based APIs and minimal APIs*. (2023, travanj). Poveznica: <https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/fundamentals/apis?view=aspnetcore-8.0>; pristupljeno 19. svibnja 2024.
- [34] Microsoft, *Create web APIs with ASP.NET Core*. (2024, svibanj). Poveznica: [https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/web-api/?view=aspnetcore-8.0&WT.mc\\_id=dotnet-35129-website](https://learn.microsoft.com/en-us/aspnet/core/web-api/?view=aspnetcore-8.0&WT.mc_id=dotnet-35129-website); pristupljeno 19. lipnja 2024.
- [35] Microsoft, *Model-View-ViewModel (MVVM)*. (2024, svibanj). Poveznica: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/maui/mvvm>; pristupljeno 20. lipnja 2024.
- [36] Holtz Y., *Most basic barplot in d3.js*. Poveznica: [https://d3-graph-gallery.com/graph/barplot\\_basic.html](https://d3-graph-gallery.com/graph/barplot_basic.html); pristupljeno 10. svibnja 2024.
- [37] Holtz Y., *Most basic grouped barplot in d3.js*. Poveznica: [https://d3-graph-gallery.com/graph/barplot\\_grouped\\_basicWide.html](https://d3-graph-gallery.com/graph/barplot_grouped_basicWide.html); pristupljeno 10. svibnja 2024.

# Sažetak

## Web aplikacija za procjenu ugljičnog otiska

Cilj rada bio je dati pregled teme ugljičnog otiska, kako se on računa i opisati vlastitu implementaciju kalkulatora ugljičnog otiska. U uvodu, prikazano je globalno zatopljenje kao motivacija za praćenje emisija i izračun ugljičnog otiska. Prvo poglavlje objasnilo je pojam ugljičnog otiska, njegovu povijest, standarde mjerenja i način izračuna. Zatim, u sljedećem poglavlju opisana je svrha postojanja kalkulatora, zajedno s najvećim nedostacima i zašto ti nedostaci ne predstavljaju veliki problem. Analizirana su postojeća četiri kalkulatora kako bi se odredili zajednički parametri. Na temelju analize odabrani su parametri i za njih su navedeni faktori emisija. U posljednjem poglavlju opisana je implementacija web aplikacije za procjenu ugljičnog otiska. Prikazane su korištene tehnologije, arhitektura sustava i svi njegovi dijelovi kroz opise obrazaca, načine implementacije i reprezentativne dijelove koda.

**Ključne riječi:** ugljični otisak, kalkulator, emisije stakleničkih plinova, web aplikacija

# Summary

## **Web application for carbon footprint assessment**

The aim of this thesis was to give an overview of the carbon footprint topic, how it's calculated and to describe an implementation of carbon footprint calculator. In the introduction, global warming is presented as a motivation for tracking emissions and calculating the carbon footprint. The first chapter explained carbon footprint, its history, measuring standards and calculation method. Then, the next chapter describes the purpose of calculators, together with their biggest drawbacks and why those drawbacks are not a significant obstacle. Four calculators were analysed to determine common parameters. Based on the analysis, parameters were selected and their emission factors were specified. The final chapter describes the implementation of a web application for carbon footprint assessment. The technologies used, system architecture and all parts of the system are presented through descriptions of patterns, methods of implementation and representative parts of the code.

**Keywords:** carbon footprint, calculator, greenhouse gas emissions, web application

## Skraćenice

GHG	<i>Greenhouse Gas</i>	Staklenički plin
MRIO	<i>Multi-Regional Input Output Modeling</i>	Multiregijski input output model
NHS	<i>National Health Service</i>	Nacionalna zdravstvena služba
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>	Ukapljeni naftni plin
CNG	<i>Compressed Natural Gas</i>	Stlačeni prirodni plin
FE	<i>Emission Factor</i>	Faktor emisije
API	<i>Application Programming Interface</i>	Aplikacijsko programsko sučelje
HTML	<i>Hypertext Markup Language</i>	Jezik za označavanje hiperteksta
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>	Stilski jezik za oblikovanje
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>	Protokol za prijenos hiperteksta

# Privitak

## Upute za instalaciju

Programsko rješenje namijenjeno je lokalnom pristupu. To znači da nije objavljeno na serveru dostupnom preko Interneta. Za pokretanje aplikacije potrebno je instalirati Visual Studio 2022 i .NET 8 standard, osigurati dostupnost koda i baze podataka. Programsko rješenje sastoji se od tri projekta i jedne SQL skripte:

- CarbonFootprint.Api,
- CarbonFootprint.Domain,
- CarbonFootprint.Web
- create\_insert\_script.sql

Kako biste osigurali dostupnost baze podataka, treba preuzeti program pgAdmin i PostgreSQL. Nakon instalacije i početnog postavljanja, učinite sljedeće:

1. Unutar kreiranog servera, desnim klikom na stavku **Databases** odaberite opciju **Create** → **Database**.
2. U otvorenom prozoru upišite naziv baze podataka po želji.
3. Zatim, desnim klikom na ime kreirane baze odaberite opciju **Query tool**.
4. Kad vam se desno od popisa baza otvori novi prozor, u korisničkoj traci prozora odaberite opciju s oznakom datoteke („Open file“).
5. U otvorenom prozoru, odaberite SQL datoteku priložene uz projekte te ju pokrenite odabirom gumba ►.
6. Uspješno izvršenom skriptom, baza je u potpunosti kreirana i spremna za korištenje.

Kada su navedeni uvjeti ispunjeni, za pokretanje aplikacije potrebno je napraviti sljedeće korake:

1. Pokrenuti program Visual Studio 2022
2. Odaberite opciju **Open a project or solution** i unutar projekta CarbonFootprint.Web odaberite datoteku CarbonFootprintCalculator.sln.
3. Osigurajte pokretanje potrebnih projekata: u korisničkoj traci na vrhu, odaberite opciju **Project** → **Configure startup project**.

- a. U otvorenom prozoru, osigurajte da je odabrana opciju **Multiple startup projects** i da je za projekte CarbonFootprint.Api i CarbonFootprint.Web iz padajućeg izbornika odabrano „Start“. Promjene, ako ih ima, potvrdite klikom na gumb „Apply“ i potom „OK“.
4. Osigurajte pristup bazi podataka
  - a. Unutar projekta **CarbonFootprint.Api** u datoteci *appsettings.json* kod varijable „DbConnection“, umjesto „ime\_baze“ upišite naziv baze koju ste kreirali, umjesto „korisnicko\_ime“ upišite korisničko ime koje ste odabrali prilikom početnog postavljanja pgAdmin-a i umjesto „lozinka“ upišite lozinku s kojom pristupate serveru i bazi podataka. Port najčešće ostaje isti, ali svoj možete provjeriti u postavkama baze podataka unutar pgAdmin-a.
5. Za pokretanje programa, u traci ispod korisničke kliknite na gumb „▶ Start“. Pričekajte da se program u potpunosti učita i otvore se dva prozora preglednika.
6. Za gašenje aplikacije, u istoj traci odaberite gumb ■.

Ako se prilikom postavljanja projekta pojavi greška „namespace not found“:

1. Odaberite opciju **Project** → **Project dependencies**.
2. U otvorenom prozoru, za projekte CarbonFootprint.Api i CarbonFootprint.Web uključite ovisnost o projektu CarbonFootprint.Domain.
3. Zatim, u prozoru *Solution Explorer* desnim klikom na stavku **Dependencies** unutar projekata CarbonFootprint.Api i CarbonFootprint.Web odaberite opciju **Add project reference**.
4. U otvorenom prozoru, osigurajte uključenost projekta CarbonFootprint.Domain.

## Upute za korištenje

Kada se aplikacija učita, pred vama će biti vidljiv početni ekran na kojem su navedeni, kratko opisani i povezani dijelovi aplikacije (slika 1.). Odabirom gumba u svakom odjeljku, bit ćete prebačeni na stranicu tog dijela aplikacije. Do pojedinih dijelova stranice također možete doći odabirom iz korisničke trake na vrhu stranice.

# Kalkulator ugljičnog otiska



Slika 1. Početna stranica

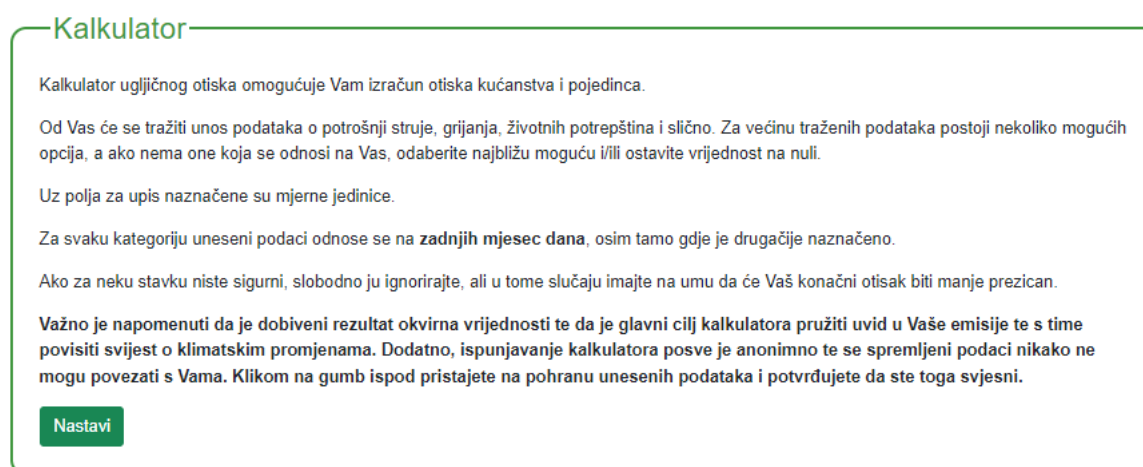
Na stranici „Informacije“ opisane su klimatske promjene, ugljični otisak, stanje u svijetu i kalkulator implementiran na drugoj stranici (slika 2.). Klikom na svaki od odjeljaka, prikazat će vam se pripadni tekst.





Slika 2. Informacije – odjeljak „Opis kalkulatora“

Na stranici „Kalkulator“ možete izračunati vlastiti ugljični otisak. Kada se stranica prvo učita, bit će vam prikazan odjeljak s informacijama o korištenju kalkulatora (slika 3.). Molimo da pročitate te informacije kako biste ispravno mogli ispunjavati kalkulator. Gumb „Nastavi“ u početku će biti onemogućen, dok se kalkulator učitava. Kada se učita, klikom na gumb možete nastaviti na kalkulator.



Slika 3. Kalkulator – početni odjeljak

Tijekom ispunjavanja kalkulatora držite se uputa danih u uvodu i opisima kategorija kalkulatora. Aplikacija će vam javiti ako neki podatak ne ispunite ispravno ili ga ne ispunite, a potreban je. Kada ste gotovi, kliknite na gumb „Izračunaj“. Kategorije kalkulatora prikazane su na slikama 4. - 7.

## Kalkulator

### Općenito

Za početak, unosite općenite podatke o Vama za statističku obradu korisnika kalkulatora. Bitno je da ovaj dio ne ispunjavate na temelju prosjeka ili većine u kućanstvu, nego da odabirete opcije koje se odnose na Vas kao osobu koja ispunjava kalkulator. Ako otisak želite izračunati samo za sebe, za veličinu kućanstva stavite vrijednost 1.

Dob:	<input type="text" value="---"/>
Spol:	<input type="text" value="---"/>
Najviši stupanj obrazovanja:	<input type="text" value="---"/>
Županija:	<input type="text" value="---"/>
Broj ukućana	<input type="text" value="1"/>

Slika 4. Kalkulator – demografska kategorija

### Potrošnja električne energije i grijanja

Među opcijama niže izaberite izvore energije i grijanja u Vašem kućanstvu te pripadnu potrošnju. Ovisno o izvoru, iznos potrošnje možete pronaći na kućnim brojićima/bojlerima i računima.

Potrošnja električne energije (kWh)	<input type="text" value="Elektrana"/>	<input type="text" value="0"/>
Grijanje (kWh, m3)	<input type="text" value="Toplana (kWh)"/>	<input type="text" value="0"/>

Slika 5. Kalkulator – kategorija potrošnje električne energije i grijanja

### Osobni prijevoz

Klikom na gumb "Dodaj vozilo" otvaraju se polja za unos goriva, veličine vozila i put prijeđen tim vozilom. Nakon što se unijeli tražene podatke, klikom na "+" vozilo se dodaje na Vaš popis vozila. Možete dodavati više vozila i brisati već dodana.

### Javni prijevoz

U poljima niže unosite put prijeđen javnim prijevozom - autobusom, vlakom i tramvajem. Ukoliko ne koristite ponuđene oblike prijevoza, ostavite prazno.

Autobus (km):	<input type="text" value="0"/>
Vlak (km):	<input type="text" value="0"/>
Tramvaj (km):	<input type="text" value="0"/>

### Putovanje zrakoplovom

Ovdje unosite podatke o prijevozu zrakoplovom u zadnjih godinu dana. Klikom na gumb "Dodaj let" otvaraju se polja za unos letova. Za svaki let kojim ste putovali, odabirete klasu sjedala i unesite prijeđeni put tijekom leta. Nakon što se unijeli tražene podatke, klikom na "+" let se dodaje na Vaš popis letova. Ako ste već dodali let s istom klasom, prijeđeni putevi će se zbrojiti. Ako niste letjeli zrakoplovom, ostavite prazno. Dodane letove možete ukloniti.

Slika 6. Kalkulator – kategorija prijevoza

### Sekundarni otisak

U poljima niže unosite svoju potrošnju u eurima za životne potrepeštine. Kod tipa prehrane, procjenjujete koliko postotak Vaše prehrane čine proizvodi životinjskog izvora (meso, jaja, mlijeko, ...). Za stavke za koje ne znate potrošnju, polja ostavite prazna.

Tip prehrane  Potrošnja (€)

Pića (alkoholno, bezalkoholno) (€)

Odjeća/obuća (€)

Lijekovi (€)

Kućni ljubimci (€)

Rekreacija, hobi, ... (€)

Restorani, kafići, ... (€)

Slika 7. Kalkulator – kategorija sekundarnog otiska i gumb „Izračunaj“

Kada se vaš otisak izračuna, formu kalkulatora zamijenit će ispis vašeg rezultata zajedno s usporedbama s prosjekom korisnika aplikacije i hrvatskog prosjeka (slika 9.8.).

### Kalkulator

Otisak kućanstva: **215.93 kgCO<sub>2</sub>e**

Otisak pojedinca: **107.97 kgCO<sub>2</sub>e**

---

Vaš je otisak lošiji od prosjeka korisnika i bolji od prosjeka Hrvatske!

Prosjek korisnika: 136.96 kgCO<sub>2</sub>e

Prosjek Hrvatske: 358 kgCO<sub>2</sub>e

Slika 8. Kalkulator – rezultat

Na stranici „Statistika“, omogućen vam je uvid u statistiku korisnika aplikacije. Odabirom kategorije birate tip demografskog podatka, a odabirom parametra birate želite li vidjeti broj korisnika ili podatke o ugljičnom otisku (slika 9.). Možete vidjeti broj korisnika svake demografske skupine te najmanji, prosječan i najveći ugljični otisak po skupini (slike 9. - 11.).

### Statistika korisnika kalkulatora

Odabirom parametara ispod, moguće je pregledati statistiku korisnika kalkulatora. Konkretno, nakon što se odabere kategorija (dob, spol, školovanje, županija), odabirom broja korisnika prikazuje se učestalost pojedinih kategorija. Odabirom ugljičnog otiska, prikazuju se najmanje, srednje i najveće vrijednosti otiska po kategorijama. Ukoliko je prikazan samo jedan stupac, to znači da odabrana kategorija ima samo jedan zapis te se s toga prikazuje samo "prosječan" otisak.

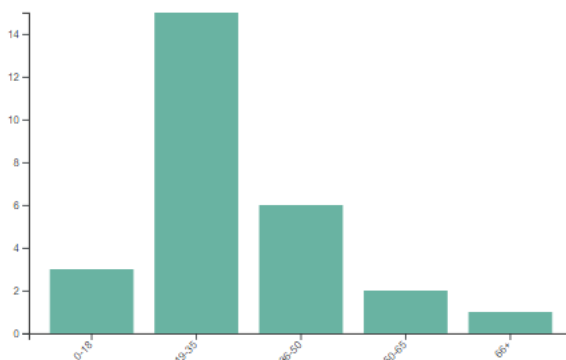
Kategorija: --- Parametar: ---

Slika 9. Statistika – početno stanje

### Statistika korisnika kalkulatora

Odabirom parametara ispod, moguće je pregledati statistiku korisnika kalkulatora. Konkretno, nakon što se odabere kategorija (dob, spol, školovanje, županija), odabirom broja korisnika prikazuje se učestalost pojedinih kategorija. Odabirom ugljičnog otiska, prikazuju se najmanje, srednje i najveće vrijednosti otiska po kategorijama. Ukoliko je prikazan samo jedan stupac, to znači da odabrana kategorija ima samo jedan zapis te se s toga prikazuje samo "prosječan" otisak.

Kategorija: Dob Parametar: Broj korisnika

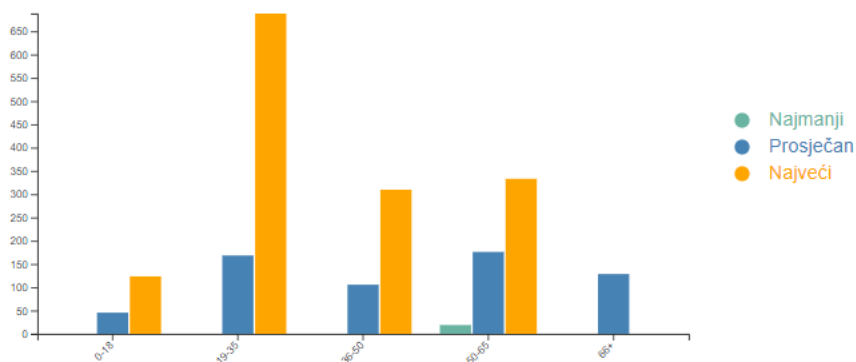


Slika 10. Statistika – kategorija „Dob“ i parametar „Broj korisnika“

## Statistika korisnika kalkulatora

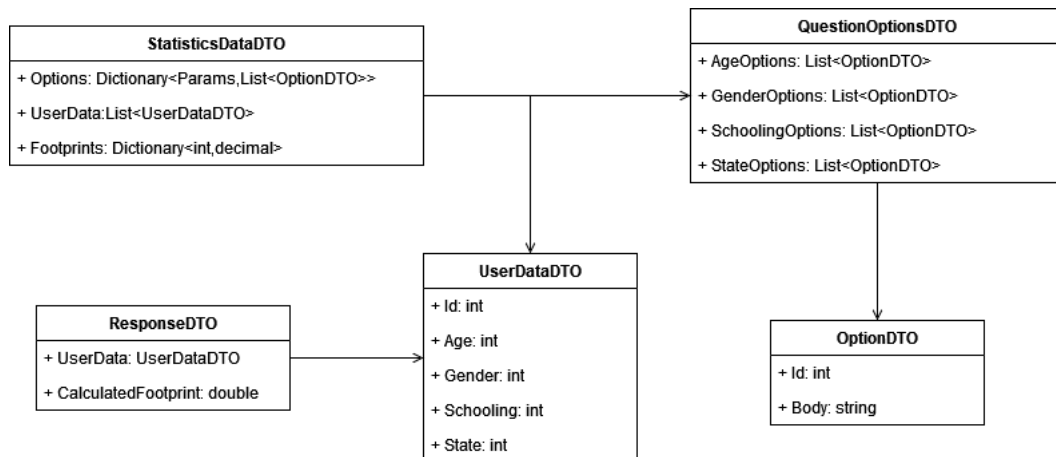
Odabirom parametara ispod, moguće je pregledati statistiku korisnika kalkulatora. Konkretno, nakon što se odabere kategorija (dob, spol, školovanje, županija), odabirom broja korisnika prikazuje se učestalost pojedinih kategorija. Odabirom ugljičnog otiska, prikazuju se najmanje, srednje i najveće vrijednosti otiska po kategorijama. Ukoliko je prikazan samo jedan stupac, to znači da odabrana kategorija ima samo jedan zapis te se s toga prikazuje samo "prosječan" otisak.

Kategorija: Dob Parametar: Ugljični otisak

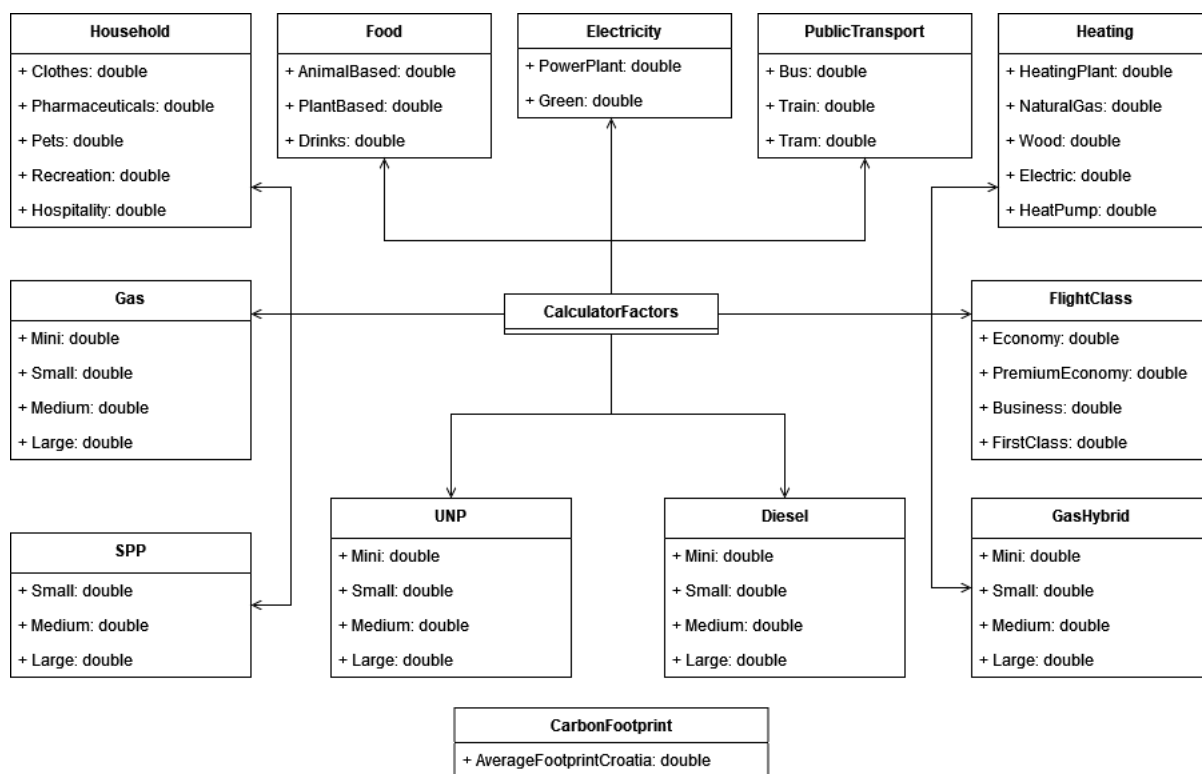


Slika 11. Statistika – kategorija „Najviši stupanj obrazovanja“ i parametar „Ugljični otisak“

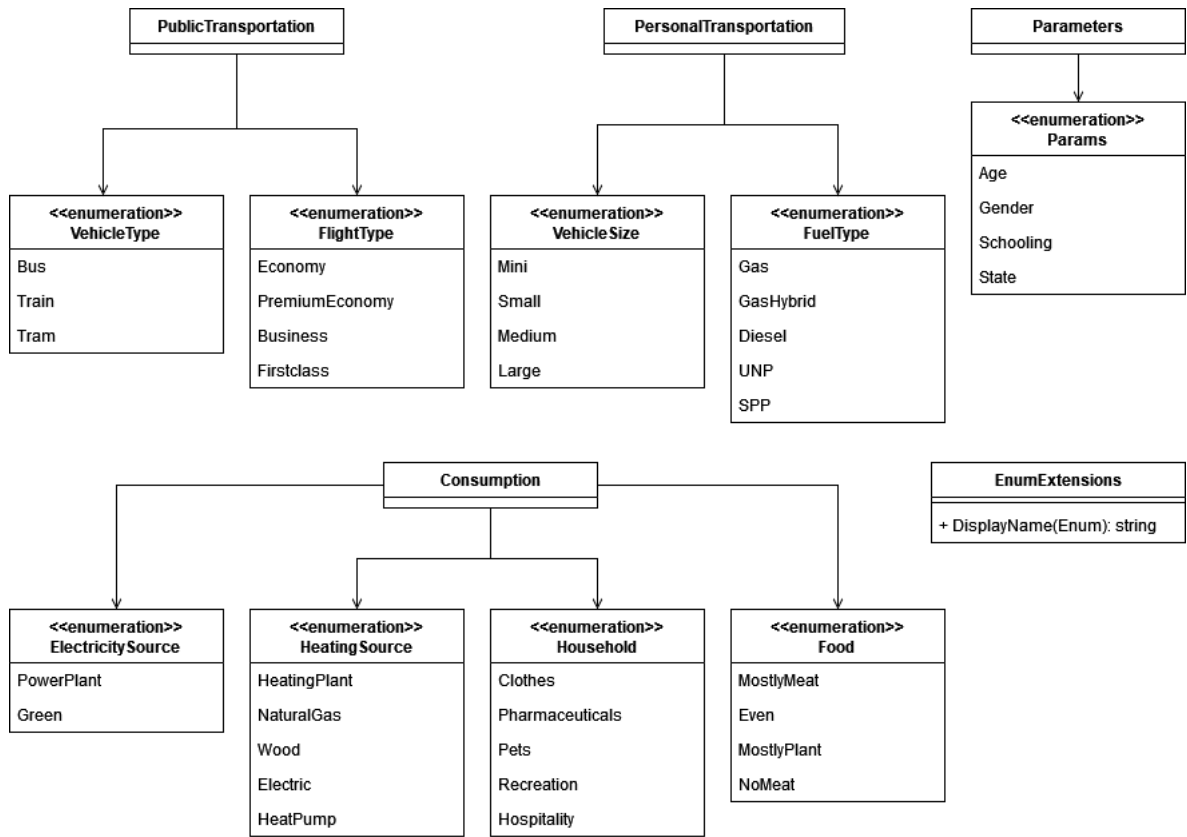
## Dijagrami klasa



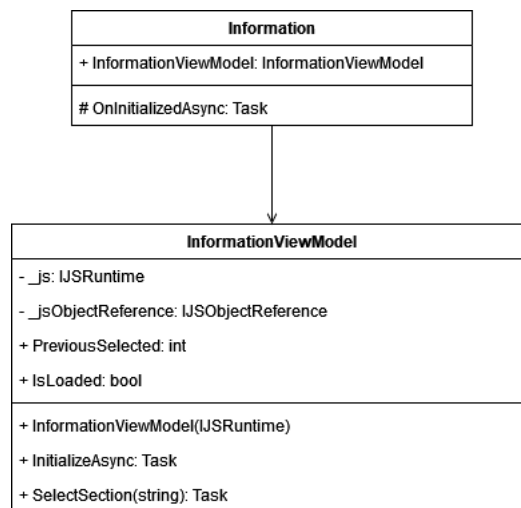
Slika 12. Klase objekata za prijenos podataka



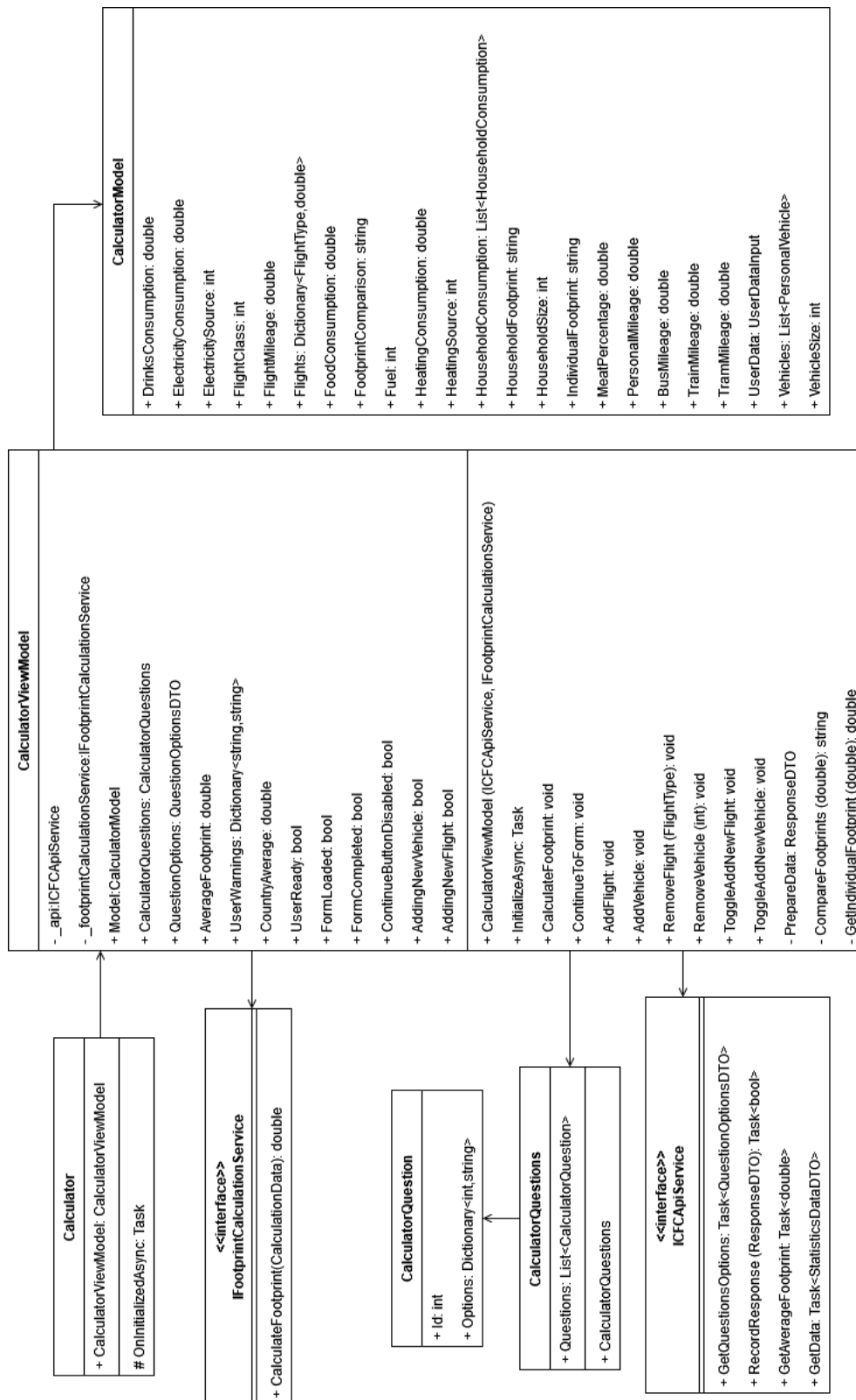
Slika 13. Klase s konstantama



Slika 14. Klase s enumeracijama

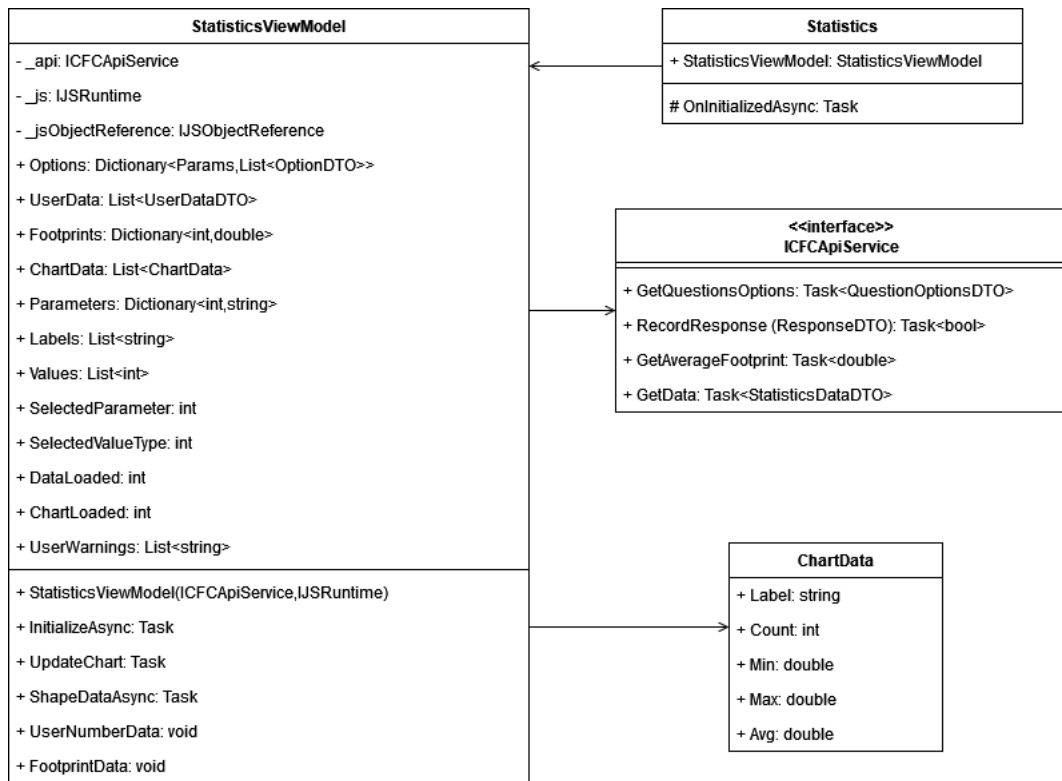


Slika 15. Klase dijela za informiranje

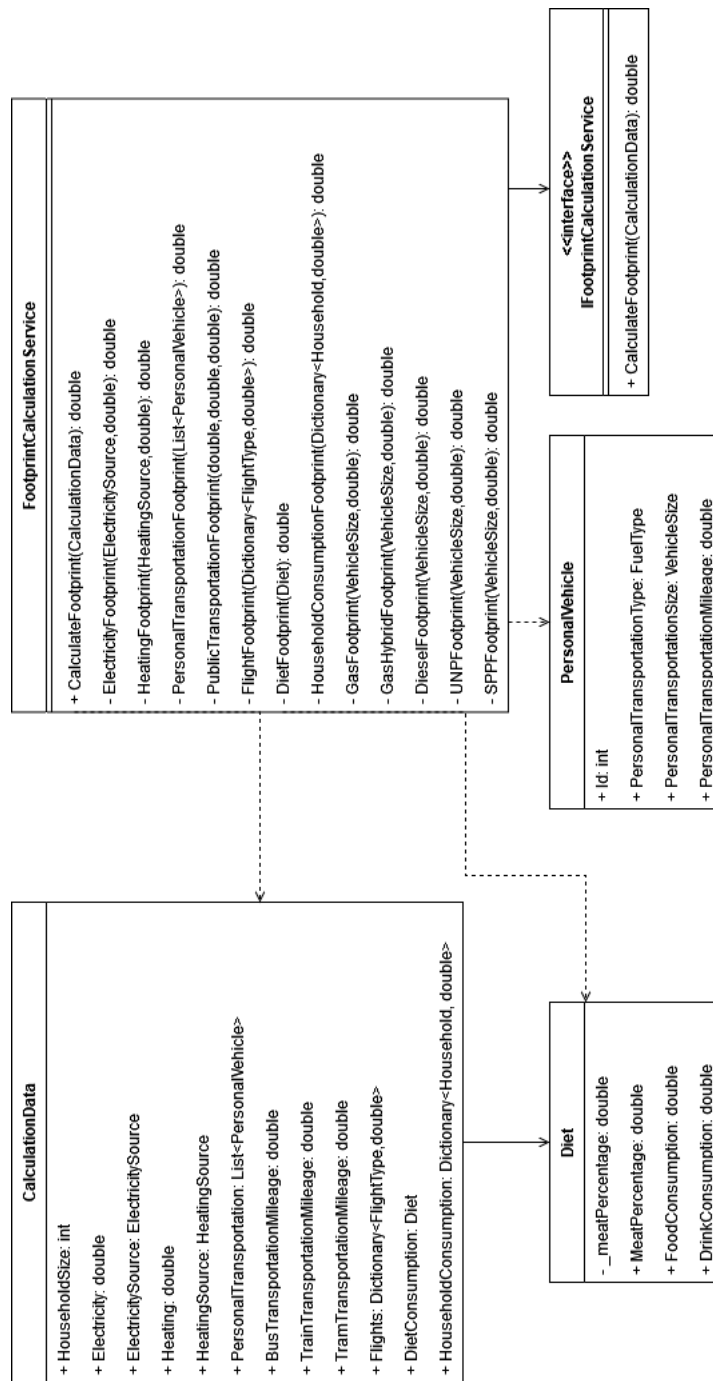


Slika 16. Klase dijela za računanje otiska

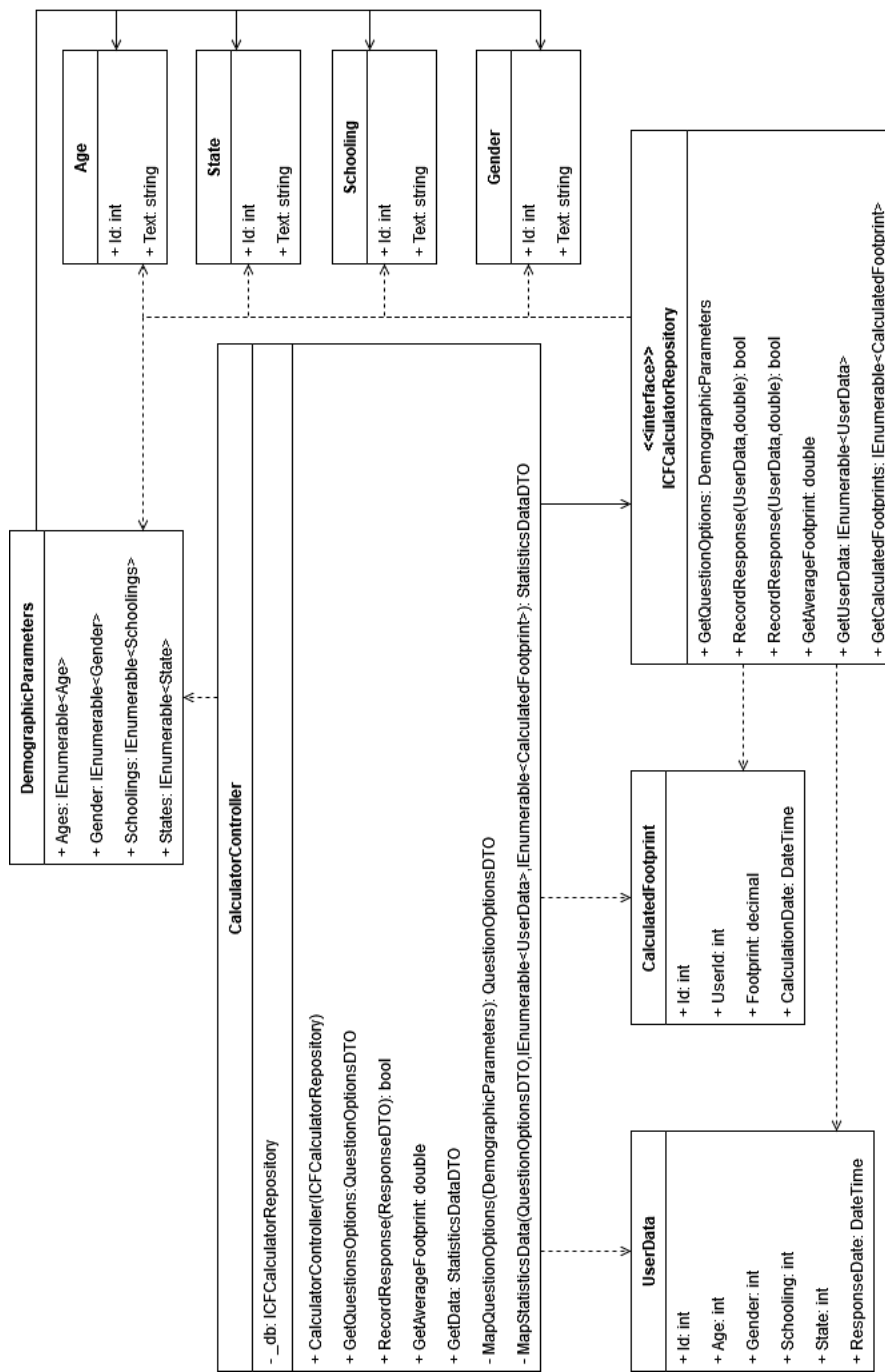




Slika 17. Klase dijela za statistički pregled



Slika 18. Klase servisa za računanje otiska



Slika 19. Klase API-ja