

Platforma za predviđanje proizvodnje solarnih elektrana u Hrvatskoj

Juričić, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2025

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:279025>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 474

**PLATFORMA ZA PREDVIĐANJE PROIZVODNJE SOLARNIH
ELEKTRANA U HRVATSKOJ**

Antonio Juričić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 474

**PLATFORMA ZA PREDVIĐANJE PROIZVODNJE SOLARNIH
ELEKTRANA U HRVATSKOJ**

Antonio Juričić

Zagreb, lipanj 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 474

Pristupnik: **Antonio Juričić (0069088108)**
Studij: Računarstvo
Profil: Programsko inženjerstvo i informacijski sustavi
Mentor: izv. prof. dr. sc. Božidar Filipović-Grčić
Komentor: dr. sc. Bojan Franc

Zadatak: **Platforma za predviđanje proizvodnje solarnih elektrana u Hrvatskoj**

Opis zadatka:

Solarne elektrane, poput ostalih obnovljivih izvora energije, podliježu problemu neizvjesnosti njihove proizvodnje u vremenu. Neizvjesnost nastaje kao posljedica promjenjivosti vremenskih uvjeta kao što su intenzitet zračenja, naoblaka, temperatura zraka i slično. Kako bi se maksimizirao potencijal solarnih elektrana te osigurao nesmetan rad energetske mreže, poželjno je predvidjeti njihovu buduću proizvodnju. Platforma za predviđanje proizvodnje solarnih elektrana pruža mogućnost interakcije s modelima strojnog učenja treniranih nad povijesnim podacima proizvodnje solarne elektrane i meteorološkim podacima u istom razdoblju. Platforma omogućuje pregled generiranih prognoza za podržane solarne elektrane, njihovu vizualizaciju i usporedbu, te kontrolu samih modela. U okviru diplomskog rada potrebno je realizirati grafičko korisničko sučelje web platforme. Potrebno je istražiti pristupne točke koje će omogućavati pristup podacima. Potrebno je omogućiti autentifikaciju i upravljanje računima korisnika. Potom je potrebno omogućiti prikaz velike količine podataka prognoza različitih modela u stvarnom vremenu kroz grafove i tablice te omogućiti njihovu usporedbu, filtriranje i izvoz. Za same modele potrebno je omogućiti usporedbu njihovih performansi pomoću prikladnih vizualizacija i metrika.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

Sadržaj

Uvod.....	1
1. Solarne elektrane.....	2
1.1. Energija Sunca	2
1.2. Varijabilnost proizvodnje solarnih elektrana	4
1.3. Solarne elektrane u Hrvatskoj	5
2. Prognoziranje proizvodnje solarnih elektrana.....	7
2.1. Metode prognožiranja proizvodnje	7
2.1.1. Unutar dnevne prognoze.....	9
2.1.2. Višednevne prognoze.....	9
2.2. Pобоljšanje točnosti prognoza.....	10
3. Analiza poslovnih procesa i zahtjeva.....	11
3.1. Poslovni procesi i scenariji	11
3.2. Specifikacija zahtjeva	12
3.2.1. Funkcionalni zahtjevi	12
3.2.2. Poslovna pravila	13
3.2.3. Nefunkcionalni zahtjevi.....	14
3.3. Specifikacija uloga i dopuštenja	15
3.3.1. Administrator	15
3.3.2. Tehničar	15
3.3.3. Analitičar.....	15
3.3.4. Anonimni korisnik	16
3.4. Hodogram aplikacije	16
4. Korištene tehnologije	18
4.1. React	18

4.2.	Refine	19
4.3.	Ant Design	20
4.4.	Flask	21
4.5.	Auth0	21
4.6.	PostgreSQL	23
5.	Pristup razvoju	24
5.1.	Arhitektura sustava	24
5.2.	Metodologija razvoja	26
6.	Implementacija korisničkog sučelja	27
6.1.	Struktura projekta	27
6.2.	Integracija s API-jem	29
6.3.	Komponente sučelja	31
6.4.	Autentifikacija i autorizacija	32
6.5.	Internacionalizacija	32
7.	Implementacija pozadinskih usluga	34
7.1.	API specifikacija	34
7.1.1.	Solarne elektrane	34
7.1.2.	Modeli	35
7.1.3.	Prognoze	36
7.1.4.	Metrike	36
7.1.5.	Nadzorna ploča	37
7.1.6.	Korisnici	37
7.1.7.	Događaji	37
7.2.	Vanjske usluge	38
8.	Pregled aplikacije	39
8.1.	Solarne elektrane	42

8.2. Modeli	48
8.3. Korisnici	54
Zaključak	57
Literatura	58
Sažetak	60
Summary	61

Popis tablica

Tablica 1 HEP-ove neintegrirane sunčane elektrane [8].....	6
Tablica 2 URL dizajn <i>providera</i> podataka [14]	30

Popis slika

Slika 1 Godišnja suma ozračenosti za područje Republike Hrvatske [4]	3
Slika 2 Proizvodnja fotonaponske elektrane za sunčan i oblačan dan [5]	4
Slika 3 Raspoloživa električna energija u HR u 2023. godini [7].....	5
Slika 4 Hodogram aplikacije.....	17
Slika 5 Ažuriranje virtualnog DOM-a u React-u [10]	19
Slika 6 Ant Design komponente [11].....	20
Slika 7 Shema procesa autentifikacije putem platforme Auth0 [12].....	22
Slika 8 Dijagram arhitekture sustava	24
Slika 9 Struktura projekta	28
Slika 10 Inicijalizacija Refine komponente	28
Slika 11 Dijagram toka podataka kroz Refine [13]	29
Slika 12 Metoda za dohvaćanje metrika modela	30
Slika 13 Isječak koda za definiranje rasporeda elemenata.....	31
Slika 14 Isječak datoteke s prijevodima	33
Slika 15 Stranica za autentifikaciju	39
Slika 16 Nadzorna ploča aplikacije	40
Slika 17 Grafikon s prikazom proizvodnje i prognoza svih elektrana.....	41
Slika 18 Interaktivna karta solarnih elektrana	41
Slika 19 Pregled događaja svih modela.....	42
Slika 20 Stranica s popisom elektrana.....	43
Slika 21 Stranica s prikazom elektrana na karti	43
Slika 22 Stranica s detaljima elektrane	44
Slika 23 Grafikon s prikazom odabranih prognoza	45
Slika 24 Prikaz prognoza u tabličnom obliku	45
Slika 25 Sekcije s dodatnim detaljima o elektrani	46

Slika 26 Opcija za dijeljenje prognoze	46
Slika 27 Stranica dijeljene prognoze.....	47
Slika 28 Stranica za uređivanje parametara elektrane	47
Slika 29 Stranica s popisom prognostičkih modela.....	48
Slika 30 Stranica s detaljima modela	49
Slika 31 Grafikon povijesne točnosti modela	50
Slika 32 Komponenta s trenutnim vrijednostima metrika	50
Slika 33 Opcije za pokretanje modela.....	51
Slika 34 Modalni prozor za prijenos prognoze	51
Slika 35 Stranica za uređivanje osnovnih informacija modela	52
Slika 36 Stranica za uređivanje parametara modela	53
Slika 37 Stranica za uređivanje vremena pokretanja modela	53
Slika 38 Stranica s listom korisnika.....	54
Slika 39 Komponenta za prikaz detalja korisnika.....	55
Slika 40 Forma za unos novog korisnika	55
Slika 41 Stranica za uređivanje korisnika	56

Uvod

Sunce, odnosno Sunčevo zračenje, izvor je gotovo svih oblika energije i jedno od uvjeta postojanja života na Zemlji. Međudjelovanje Sunčevog zračenja sa zrakom i vodom jedno je od razloga za nastanak vjetra i morskih struja, a procesom fotosinteze biljke iskorištavaju Sunčevo zračenje za stvaranje biomase. Posebnim procesima kroz milijune godina biljke i životinje koje su se njima hranile pretvaraju se u fosilna goriva. Budući da su fosilna goriva neobnovljivi izvori energije te njihovo korištenje negativno utječe na okoliš, sve veća pažnja posvećuje se iskorištavanju alternativnih izvora energije, među njima i samog Sunčevog zračenja kao neiscrpnog i čistog oblika energije. Sunčeva energija pretvara se u električnu kroz korištenje fotonaponskih ćelija. One koriste fotonaponski efekt za apsorpciju Sunčevog zračenja koje na njenim krajevima stvaraju elektromotornu silu.

Jedan od izazova s kojim se suočava većina obnovljivih izvora energije, među kojima je i Sunčeva energija, jest nepredvidivost njihove proizvodnje u određenom trenutku. Neizvjesnost proizlazi iz utjecaja vanjskih čimbenika u prirodi na koje se ne može utjecati. Kada je riječ o solarnim elektranama, na proizvodnju mogu utjecati faktori poput intenziteta zračenja, naoblake, količine padalina, vanjske temperature i slično. Ciklične oscilacije poput izmjene dana i noći te promjene godišnjih doba također doprinose varijabilnosti proizvodnje.

Kako bi se solarna energija optimalno integrirala u postojeće energetske mreže, važno je pronaći odgovarajuće rješenje za minimiziranje problema nepredvidivosti. Sve većim interesom za obnovljivim izvorima energije raste važnost pronalaska rješenja ovom problemu. Prognožiranje buduće proizvodnje omogućuje mrežnim operaterima pravovremenu reakciju na fluktuacije i upravljanje neravnotežom ponude i potražnje energije kako bi se osigurala stabilnost energetskeg sustava u svakom trenutku. Prognoze proizvodnje omogućuju im da predvide promjene i donesu informirane i pravovremene odluke i strategije o korištenju rezervnih izvora energije. [1]

Kako bi se ovaj problem ublažio, sve je aktualnije korištenje naprednih tehnologija poput modela strojnog učenja, koji na temelju povijesnih podataka o proizvodnji elektrana i vremenskih prognoza omogućuju preciznije i pouzdanije prognoziranje buduće proizvodnje. Strojno učenje pruža priliku za modeliranje složenih obrazaca u podacima, što omogućuje operatorima energetske mreže donošenje informiranih odluka, pravovremeno planiranje te optimizaciju korištenja resursa.

Cilj ovog diplomskog rada jest razviti intuitivno sučelje web aplikacije koja će objединiti te podatke i omogućiti krajnjim korisnicima jednostavan pregled i analizu prognoza proizvodnje solarnih elektrana na području Republike Hrvatske. Aplikacija će integrirati napredne prognostičke modele temeljene na strojnom učenju te omogućiti intuitivnu vizualizaciju i usporedbu podataka, kao i upravljanje modelima i podacima, čime će se korisnicima aplikacije osigurati učinkovitije upravljanje i povećanje transparentnosti.

1. Solarne elektrane

Solarne elektrane koriste fotonaponske ćelije za pretvaranje sunčevog zračenja u električnu energiju. Fotonaponske ćelije su poluvodički uređaji koji koriste fotoelektrični efekt, proces u kojem fotoni iz sunčevog svjetla oslobađaju elektrone iz materijala, stvarajući električnu struju. Efikasnost ovih ćelija varira ovisno o materijalu i tehnologiji izrade. Najjednostavnije ćelije od amornog silicija imaju efikasnost od oko 5%, dok monokristalne silicijske ćelije mogu postići efikasnost do 25%. [2]

Tehnologije za proizvodnju fotonaponskih ćelija kontinuirano se razvijaju kako bi se poboljšala njihova efikasnost i smanjili troškovi. Postoji nekoliko vrsta fotonaponskih ćelija, uključujući monokristalne, polikristalne i amorfne silicijske ćelije te ćelije napravljene od drugih poluvodičkih materijala poput kadmij-telurida (CdTe) i bakar-indij-diselenida (CIS). Svaka tehnologija ima svoje prednosti i mane u smislu efikasnosti, troškova proizvodnje i dugovječnosti.

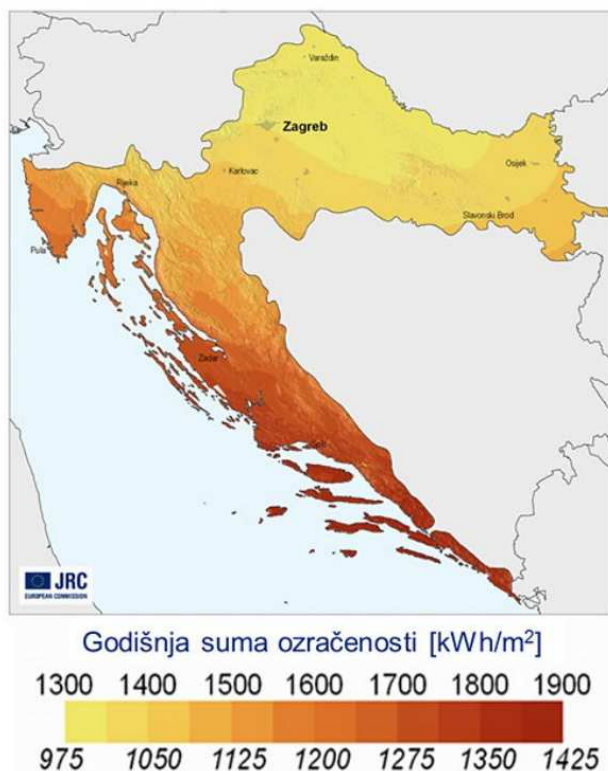
Za dugoročno povećanje korištenja solarne energije i smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima, fotonaponske elektrane predstavljaju ključni dio rješenja, unatoč izazovima koji još uvijek postoje u smislu navedenih troškova i efikasnosti.

1.1. Energija Sunca

Sunce se nalazi u središtu Sunčevog sustava i promjer mu iznosi približno 1.392 milijuna km. Sastavljeno je od vodika i helija, a vodik se unutar Sunčeve jezgre nuklearnim procesom fuzije pretvara u helij uz oslobađanje vrlo velike količine toplinske energije, što uzrokuje podizanje temperature jezgre na preko 15 milijuna Kelvina. Ipak, površina Sunca se zagrijava samo do otprilike 6000 K zbog sloja negativnih iona koji apsorbiraju dio energije.

Kada govorimo o Zemlji kao cjelini, do njene površine stiže ukupno 920 W/m^2 . Zemljina površina iznosi 127,73 milijuna km^2 , što rezultira ukupnim dotokom energije od otprilike 117,512 TW. Zbog Zemljine rotacije, ova energija se ravnomjerno raspoređuje po cijeloj površini, što dovodi do prosječnog dotoka energije od 239 W/m^2 . U jednom danu, ukupna dnevna vrijednost dotoka energije iznosi $5,52 \text{ kWh/m}^2$. [3]

Na području Republike Hrvatske, na godišnjoj razini, prosječna insolacija, odnosno zračenje na horizontalnu plohu, iznosi od 1200 do 1600 kWh/m^2 . Na slici 1 vidljiva je godišnja suma ozračenosti, iz čega se može zaključiti da ona uvelike ovisi i razlikuje se ovisno o lokaciji. Priobalni dio zemlje prima značajno više energije od kontinentalnog dijela, a od prikazane količine gotovo 75% dobiveno je između travnja i rujna.



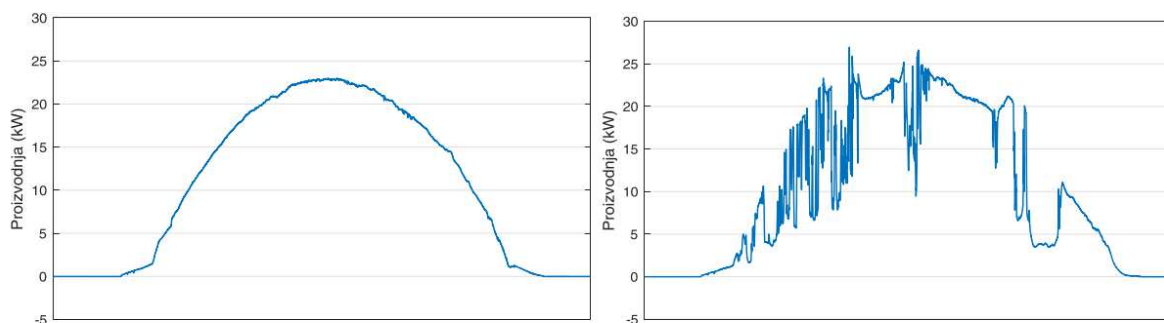
Slika 1 Godišnja suma ozračenosti za područje Republike Hrvatske [4]

1.2. Varijabilnost proizvodnje solarnih elektrana

Proizvodnja solarnih elektrana je varijabilna i ovisi o promjenama intenziteta sunčeva zračenja na površini fotonaponskih modula. Velikim dijelom na intenzitet utječe naoblaka, a ostale atmosferske prilike poput vjetrova, temperature ili tlaka zraka utječu u manjoj mjeri. Postoji linearan odnos između promjene intenziteta zračenja i zabilježene proizvodnje. Relativnim smanjenjem intenziteta zračenja smanjuje se i proizvodnja.

Varijabilnost se može podijeliti na dvije glavne kategorije: dnevne i sezonske varijacije te atmosferske varijacije. Dnevne i sezonske varijacije nastaju zbog međusobnog položaja Zemlje i Sunca u određenom trenutku na određenoj lokaciji. Rotacijom Zemlje oko vlastite osi dolazi do dnevne varijacije pri izmjeni dana i noći. Položaj Zemlje u odnosu na Sunce i nagib njezine osi naspram Sunca stvara sezonske varijacije, odnosno izmjenu godišnjih doba. Ove varijacije mogu se vrlo dobro predvidjeti i opisati matematičkim izrazima. Međutim, atmosferske varijacije su teško predvidive i one uključuju sve promjene u atmosferi koje mogu utjecati na proizvodnju solarne elektrane, od kojih je najznačajnija naoblaka.

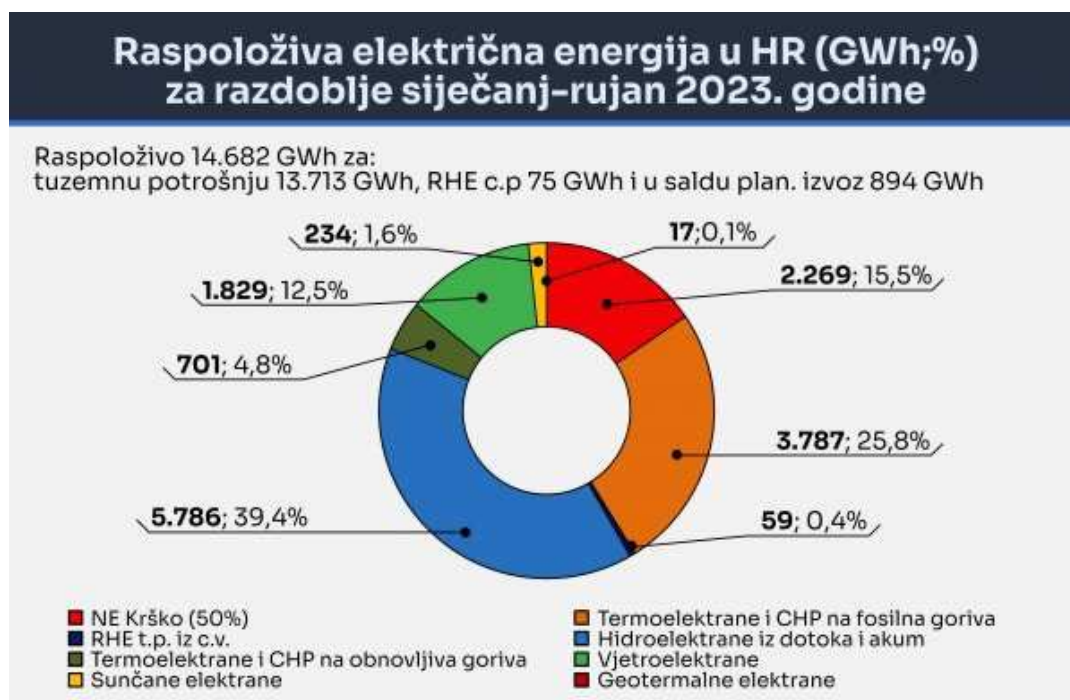
Prognoziranje atmosferskih varijacija je značajno kompleksnije i većina radova na temu prognoziranja proizvodnje iz obnovljivih izvora energije se bavi upravo tom temom. Na slici 2 prikazana su usporedna mjerenja proizvodnje solarne elektrane snage 31 kWp u rezoluciji 1s za jedan sunčan i izrazito oblačan dan. Vidljivo je da postoje značajne oscilacije u proizvodnji kod nepovoljnih atmosferskih uvjeta, što značajno otežava njihovo prognoziranje.



Slika 2 Proizvodnja fotonaponske elektrane za sunčan i oblačan dan [5]

1.3. Solarne elektrane u Hrvatskoj

Prema podacima iz 2023., Republika Hrvatska čak 58,3 posto električne energije dobiva iz obnovljivih izvora energije, 26,2 posto iz neobnovljivih te 15,5 posto iz Nuklearne elektrane Krško. Iako su hidroelektrane zaslužne za većinu energije dobivene iz obnovljivih izvora, bilježi se sve veći rast proizvodnje i iz ostalih obnovljivih izvora. U pogledu solarnih elektrana, one i dalje čine relativno mali udio od ukupno 2,7 posto u obnovljivim izvorima, no posljednjih godina zabilježen je značajan rast. U 2023. godini udvostručen je njihov ukupan kapacitet, a do 2030. godine Hrvatska cilja dostići ukupan kapacitet solarne energije od 0,77 GW. [6]



Slika 3 Raspoloživa električna energija u HR u 2023. godini [7]

Hrvatska elektroprivreda (HEP) drži najveći udio u segmentu iskorištavanja solarne energije u Hrvatskoj. U 2025. godini HEP u funkciji ima 9 neintegriranih solarnih elektrana, a 7 je u izgradnji ili u planu. Trenutno je najveća SE Donja Dubrava dovršena 2023. godine, priključne snage 9,9 MW. U tablici 1 prikazane su sve izgrađene i planirane solarne elektrane u vlasništvu HEP-a.

Tablica 1 HEP-ove neintegrirane sunčane elektrane [8]

Naziv	Snaga (MW)	Godina izgradnje
SE Kaštelir	1	2019.
SE Kaštelir 2	2	2021.
SE Vis	3,5	2020.
SE Marići	1	2021.
SE Kosore Jug	2,1	2021.
SE Stankovci	2,5	2022.
SE Obrovac	7,35	2022.
SE Donja Dubrava	9,9	2023.
SE Jambrek	4,99	2024.
SE Radosavci	9,99	<i>u izgradnji</i>
SE Črnkovci	8,5	<i>u izgradnji</i>
SE Dugopolje	10	<i>u izgradnji</i>
SE Lipik	5	<i>u izgradnji</i>
SE Čakovec	11,024	<i>u izgradnji</i>
SE Unije	1	<i>planirano</i>
SE Korlat	75	<i>planirano</i>

2. Prognostiranje proizvodnje solarnih elektrana

Uz sve veći rast udjela proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, sve su očigledniji određeni inherentni nedostaci koji ih prate. Glavni izazovi ovih oblika izvora energije leže u njihovoj već spomenutoj promjenjivosti i nepredvidivosti u proizvodnji. Za pouzdan i učinkovit rad elektroenergetskog sustava ključno je pažljivo planiranje te što točnije prognozirane svih parametara sustava kako bi se unaprijed mogao napraviti plan rada cjelokupnog sustava i kako bi se mogla predvidjeti potreba za kupnjom, odnosno prodajom električne energije u određenom trenutku. Kod obnovljivih izvora energije to predstavlja izazov budući da njihova proizvodnja često ovisi o promjenjivim i teško predvidivim prirodnim uvjetima.

2.1. Metode prognožiranja proizvodnje

Za siguran i pouzdan rad solarnih elektroenergetskih sustava, kao i za optimizaciju resursa i povećanje učinkovitosti, ključno je koristiti dostupne podatke za modeliranje i prognožiranje proizvodnje električne energije u određenim vremenskim razdobljima. S obzirom na sve veći značaj ovakvih izvora energije, u posljednje vrijeme provode se razna istraživanja i razvijaju brojne metode za prognožiranje njihove proizvodnje. Ovisno o specifičnoj primjeni, vrsti solarne elektrane i dostupnim podacima, metode prognožiranja mogu se klasificirati na različite načine.

Glavna podjela metoda prognožiranja jest ona na fizikalne i statističke. Kod fizikalnih metoda koriste se parametarski matematički modeli koji koristeći tehničke parametre elektrane u kombinaciji s podacima numeričkih vremenskih prognoza generiraju složene simulacije koje se oslanjaju na precizna mjerenja i fizikalne zakone za generiranje prognoza proizvodnje. Primjeri fizikalnih metoda uključuju modele temeljene na radiativnom prijenosu, modele atmosferskog raspršenja i apsorpcije te termodinamičke modele. Fizikalne metode su često preciznije, ali složenije i zahtijevaju detaljne podatke i resurse za modeliranje.

Statističke metode temelje se na analizi povijesnih podataka proizvodnje i vremenskih prognoza kako bi se predvidjela buduća proizvodnja. Statističke metode mogu se podijeliti na metode baziranje na vremenskim nizovima i metode bazirane na strojnom učenju. Metode koje se oslanjaju na vremenske nizove analiziraju uzorke u povijesnim podacima i pridaju im različite težine. Njihova prednost je otpornost na nagle promjene vanjskih uvjeta, ali su osjetljive na nestabilnost samih ulaznih podataka. S druge strane, metode temeljene na strojnom učenju koriste umjetnu inteligenciju za modeliranje podataka. Neki od modela koji se koriste su umjetne neuronske mreže (ANN), dugoročne memorijske mreže (LSTM), Random Forest (RF) i druge. [9]

Eksperimenti su pokazali da statistički pristup često pruža nešto bolje performanse u usporedbi s fizikalnim pristupom, iako su granice između ta dva pristupa nejasno definirane. U praksi se oni često kombiniraju kako bi se postigli optimalni rezultati u prognoziranju izlazne snage.

Prema vremenskom okviru, prognoze se mogu podijeliti u tri kategorije:

1. Vrlo kratkoročne prognoze (*super-short-term*): Obuhvaćaju sljedećih nekoliko minuta do nekoliko sati unutar dnevnog vremenskog okvira, ili prognoza u stvarnom vremenu.
2. Kratkoročne prognoze (*short-term*): Obuhvaćaju vremenski okvir do tri dana i važne su za planiranje proizvodnje za naredne dane.
3. Dugoročne prognoze (*long-term*): Obuhvaćaju tjedne, mjesečne pa čak i godišnje vremenske okvire; koriste se za dugoročno planiranje i razvoj sustava.

Prve dvije kategorije posebno su važne za vođenje elektroenergetskog sustava, gdje je potrebno planirati trenutnu proizvodnju i osigurati potrebne rezerve. Dugoročne prognoze se koriste za strateško planiranje i razvoj sustava na duži vremenski period.

2.1.1. Unutar dnevne prognoze

Unutar dnevne prognoze, koje su vrlo kratkoročne, važne su za integraciju obnovljivih izvora energije u energetska mreža. Za kreiranje unutar dnevnih prognoza koriste se tri glavne metode.

Metode stohastičkog učenja analiziraju povijesne podatke kako bi identificirale uzorke u promjenama jedne ili više varijabli te na temelju toga predviđaju buduće stanje. Iako je metoda vrlo pouzdana na kratkim vremenskim razdobljima, njezina se pouzdanost smanjuje s povećanjem vremenskog okvira, ali se može kombinirati s drugim metodama za poboljšanje točnosti.

Nadalje, metoda snimanja neba koristi analizu fotografija neba za vrlo kratke prognoze, obično do 30 minuta. Analizom slika se identificiraju i prate kretanja oblaka, čime se može predvidjeti budući položaj i količina naoblake, što naposljetku utječe na količinu Sunčevog zračenja i izlaznu snagu sustava.

Satelitsko snimanje, slično snimanju neba, koristi refleksiju zraka od oblaka kako bi se detektirala njihova prozirnost i obrisi. Satelitsko snimanje pokriva veće područje i koristi se za prognoze do pet sati unaprijed, ali zbog niže prostorne i vremenske razlučivosti nije prikladno za vrlo kratke prognoze.

2.1.2. Višednevne prognoze

Za prognoziranje na duljim vremenskim razdobljima koriste se numerički prognostički modeli koji u obzir uzimaju meteorološke parametre u kombinaciji s povijesnim podacima. NWP (engl. numerical weather prediction) modeli kreiraju prognoze stanja atmosfere na temelju podataka iz meteoroloških izvora kao što su vremenske stanice, sateliti i radari.

NWP modeli dijele se na globalne i lokalne modele. Globalni modeli pokrivaju cijelu Zemljinu atmosferu, što uključuje kopno i oceane. Zbog obrade velike količine

podataka ovakvi modeli imaju nižu rezoluciju, a udaljenost između točaka na mreži iznosi od nekoliko desetaka do nekoliko stotina kilometara.

Lokalni modeli pokrivaju određeno geografsko područje s većom rezolucijom i više detalja o lokalnim uvjetima, primjerice uzimaju u obzir reljef i mikroklimatske faktore. Primjer lokalnog modela u Hrvatskoj je ALADIN, kojeg koristi Državni hidrometeorološki zavod.

2.2. Poboljšanje točnosti prognoza

Za poboljšanje točnosti prognoza koristeći NWP modele, primjenjuju se statističke tehnike poznate kao *Model Output Statistics* (MOS). Služe za post procesiranje podataka, ispravljanje pristranosti i poboljšanje preciznosti prognoza. MOS se najefikasnije primjenjuje kada se prognoze ispravljaju rekurzivno, čime se prilagođavaju specifičnim vremenskim uvjetima i drugim faktorima poput doba dana ili godine.

Jedna od ključnih MOS tehnika je korekcija sistematskih grešaka, gdje se pristranosti, poput grešaka uzrokovanih naoblakom, umanjuju pomoću algoritama poput Kalmanovog filtra. Također, za primjenu prognoza na određenoj lokaciji često je potrebna interpolacija i zaglađivanje podataka, posebno kada vremenski intervali između prognoza nisu usklađeni. Kombiniranje više različitih NWP modela može dodatno poboljšati točnost prognoza jer prosjek prognoza različitih modela obično pruža precizniji rezultat.

3. Analiza poslovnih procesa i zahtjeva

3.1. Poslovni procesi i scenariji

Platforma za predviđanje proizvodnje solarnih elektrana u RH osmišljena je kako bi podržala ključne poslovne procese u energetske sektoru, s ciljem optimizacije proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, povećanja učinkovitosti te omogućavanja analize i donošenja odluka temeljenih na prognoziranim podacima.

Jedan od osnovnih poslovnih procesa koje platforma podržava je planiranje i stvaranje prognoza proizvodnje energije određene solarne elektrane. Operatori solarnih elektrana trebaju točne i pravovremene prognoze kako bi uskladili proizvodnju s potražnjom i planirali distribuciju energije u elektroenergetsku mrežu. Platforma omogućuje generiranje detaljnih prognoza u predefiniranim intervalima za vremensko razdoblje do 72 sata unaprijed, što omogućuje kvalitetnije operativno planiranje i smanjuje rizik povezan s nepredvidivim promjenama u proizvodnji.

Korištenje naprednih modela strojnog učenja za generiranje prognoza zahtjeva njihovo kontinuirano praćenje i ugađanje. Osobe zadužene za konfiguraciju modela trebaju platformu koja nudi sveobuhvatan pregled i usporedbu ključnih metrika i statističkih podataka o točnosti modela. Također, na temelju povijesnih podataka aplikacija mora preporučivati najpouzdaniji model, što olakšava donošenje odluka o njegovom korištenju.

Analiza podataka i njihovo izvještavanje predstavljaju značajan dio rada tehničara i analitičara, koji trebaju osigurati relevantne informacije, primjerice za upravu i druge dionike. Platforma olakšava pristup podacima kroz pregled kako u tabličnom, tako i grafičkom obliku te omogućuje izvoz podataka u .csv formatu za daljnju obradu i prezentaciju.

Transparentnost i suradnja mora biti omogućena kroz dijeljenje prognoza putem javnih poveznica, na temelju čega se olakšava međusobno i pravovremeno informiranje o trenutnim prognozama elektrane.

Organizacije mogu posjedovati više elektrana specifičnih tehničkih karakteristika na različitim lokacijama te im mora biti omogućeno samostalno dodavanje i upravljanje elektranama unutar platforme. Svaka elektrana može imati više prognostičkih modela koji joj pripadaju. Stoga je unutar platforme omogućeno dodavanje novih elektrana, prognostičkih modela i prilagođenih parametara kako bi sustav bio usklađen s njihovim specifičnim zahtjevima. Fleksibilna arhitektura omogućuje integraciju novih funkcionalnosti i prilagodbu drugim izvorima energije, čime se osigurava dugoročna održivost i relevantnost aplikacije u različitim segmentima obnovljivih izvora energije.

3.2. Specifikacija zahtjeva

Na temelju prethodno opisanih poslovnih procesa i scenarija definirani su ključni zahtjevi koje platforma mora zadovoljiti kako bi uspješno podržala sve operativne i analitičke potrebe korisnika.

3.2.1. Funkcionalni zahtjevi

FZ1. Platforma će omogućiti izradu prognoze proizvodnje električne energije solarnih elektrana za trenutni dan i sljedeća 72 sata u 15-minutnoj ili satnoj rezoluciji.

FZ2. Prognoza će se kreirati na razini pojedinačne solarne elektrane i pojedinačnog prognostičkog modela.

FZ3. Podatci prognoza će unutar platforme biti prikazani grafički i tablično.

FZ4. Platforma će omogućiti izvoz podataka o proizvodnji u .csv formatu.

FZ5. Platforma će podržavati različite prognostičke modele, uključujući modele iz vlastitih i vanjskih izvora.

FZ6. Prognostički modeli će biti zasebne programske komponente koje će se prema potrebi moći mijenjati kroz sučelje aplikacije.

FZ7. Korisnici će moći birati između prognoza različitih modela unutar platforme, uz mogućnost istovremenog odabira prognoza više različitih modela.

FZ8. Korisnici će moći pristupiti statističkim podacima o točnosti modela unutar platforme, koji će biti prikazani prikladnim vizualizacijama i metrikama.

FZ9. U platformi će na jasan način biti označen preporučeni model, koji se prema dostupnim metrikama smatra najboljim.

FZ10. Korisnik može dodavati i uređivati solarne elektrane unutar sustava.

FZ11. Tehničar može dodavati nove elektrane i modele te dodijeliti korisnike s ulogom analitičara koji imaju pristup njegovim elektranama i modelima.

FZ12. Administrator može upravljati cjelokupnim sustavom, uključujući korisnicima, modelima i elektranama.

FZ13. Prognoze se mogu dijeliti anonimnim korisnicima putem javnih poveznica koje generiraju prijavljeni korisnici.

FZ14. Korisnici mogu pokretati prognostičke modele prema potrebi putem aplikacije.

FZ15. Korisnici mogu pokretati modele koristeći vlastite vremenske prognoze.

FZ16. Korisnici mogu dodavati proizvoljne parametre solarnim elektranama i prognostičkim modelima.

FZ17. Platforma će omogućiti praćenje trenutnog stanja svih prognostičkih modela u stvarnom vremenu.

3.2.2. Poslovna pravila

PP1. Prognoza će se generirati pri dohvaćanju novih vremenskih prognoza ili prema korisnički definiranom rasporedu, uz mogućnost ručnog pokretanja od strane korisnika.

PP2. Cjelokupna prognoza, tj. prognoza za sve vremenske odsječke, će biti redovito ažurirana do završetka perioda za tu prognozu.

PP3. Podatci koji će se trajno pohranjivati u platformi su najažurniji podaci za dnevnu prognozu, tj. podaci zadnje prognoze napravljene za taj vremenski interval.

PP4. Prognostički modeli moraju se evaluirati u unaprijed definiranim vremenskim intervalima kako bi se procijenila njihova učinkovitost i ažurnost u odnosu na stvarne podatke.

3.2.3. Nefunkcionalni zahtjevi

NF1. Korisničko sučelje bit će intuitivno i napravljeno tako da se može koristiti bez dodatnih uputa ili prethodne edukacije korisnika.

NF2. Platforma će biti responzivna.

NF3. Prognoze modela neće kasniti u odnosu na vremena specificirana poslovnim pravilima.

NF4. Sustav će biti skalabilan i proširiv, tj. omogućit će se dodavanje novih modela i izmjene na starim modelima.

NF5. Sustav će imati prostor za pohranu podataka kapaciteta dovoljnog za 5 godina nesmetanog korištenja.

NF6. Platforma mora biti proširiva, odnosno treba omogućavati naknadno ugrađivanje drugih obnovljivih izvora energije.

NF7. Sustav mora podržavati višejezičnost, s naglaskom na hrvatski i engleski jezik.

NF8. Sustav mora podržavati granularnu kontrolu pristupa i upravljanje ulogama korisnika.

NF9. Sustav mora imati sigurnosne mjere koje uključuju enkripciju podataka i pouzdanu autentifikaciju korisnika.

3.3. Specifikacija uloga i dopuštenja

U sljedećim sekcijama opisane su specifične odgovornosti i mogućnosti koje imaju različite vrste korisnika unutar platforme. Svaka uloga ima jasno definirana prava pristupa i zadatke na temelju postavljenih poslovnih pravila. Osnovne uloge unutar platforme su: administrator, tehničar (uređivač), analitičar (promatrač) te anonimni korisnik.

3.3.1. Administrator

Administrator je uloga s najvišom razinom dopuštenja koja ima pristup svim elektranama, modelima i korisnicima unutar sustava. Njegova odgovornost je nadgledanje sustava i upravljanje nižim ulogama. Administrator može kreirati, uređivati i brisati korisničke račune, dodjeljivati prava pristupa te konfigurirati parametre postojećih modela i elektrana ili dodavati nove. Administratoru su dostupne sve informacije o prognozama i statusima modela.

3.3.2. Tehničar

Tehničar ima ograničeniji pristup koji se odnosi na elektrane i modele kojima upravlja. Može dodavati nove elektrane i modele, uređivati postojeće te ih po potrebi brisati. Međutim, ima pristup isključivo vlastitim elektranama i modelima. Tehničar također ima ovlasti za dodjelu analitičara koji će moći pregledavati samo one elektrane i modele kojima taj tehničar upravlja. Korisnici s ulogom tehničara imaju odgovornost za održavanje točnosti podataka kroz unos i ažuriranje potrebnih tehničkih informacija o modelima i elektranama.

3.3.3. Analitičar

Korisnik analitičar ima isključivo mogućnost pregleda elektrana i modela koji su mu dodijeljeni od strane tehničara. Analitičar koristi ove podatke za analizu proizvodnje, generiranje prognoza i pripremu izvještaja. Iako analitičar nema ovlasti za izmjene u sustavu, njegova uloga je važna za donošenje odluka temeljenih na podacima. Analitičar koristi vizualizacije i analitičke alate unutar sustava kako bi procijenio učinkovitost i predložio preporuke za optimizaciju proizvodnje.

3.3.4. Anonimni korisnik

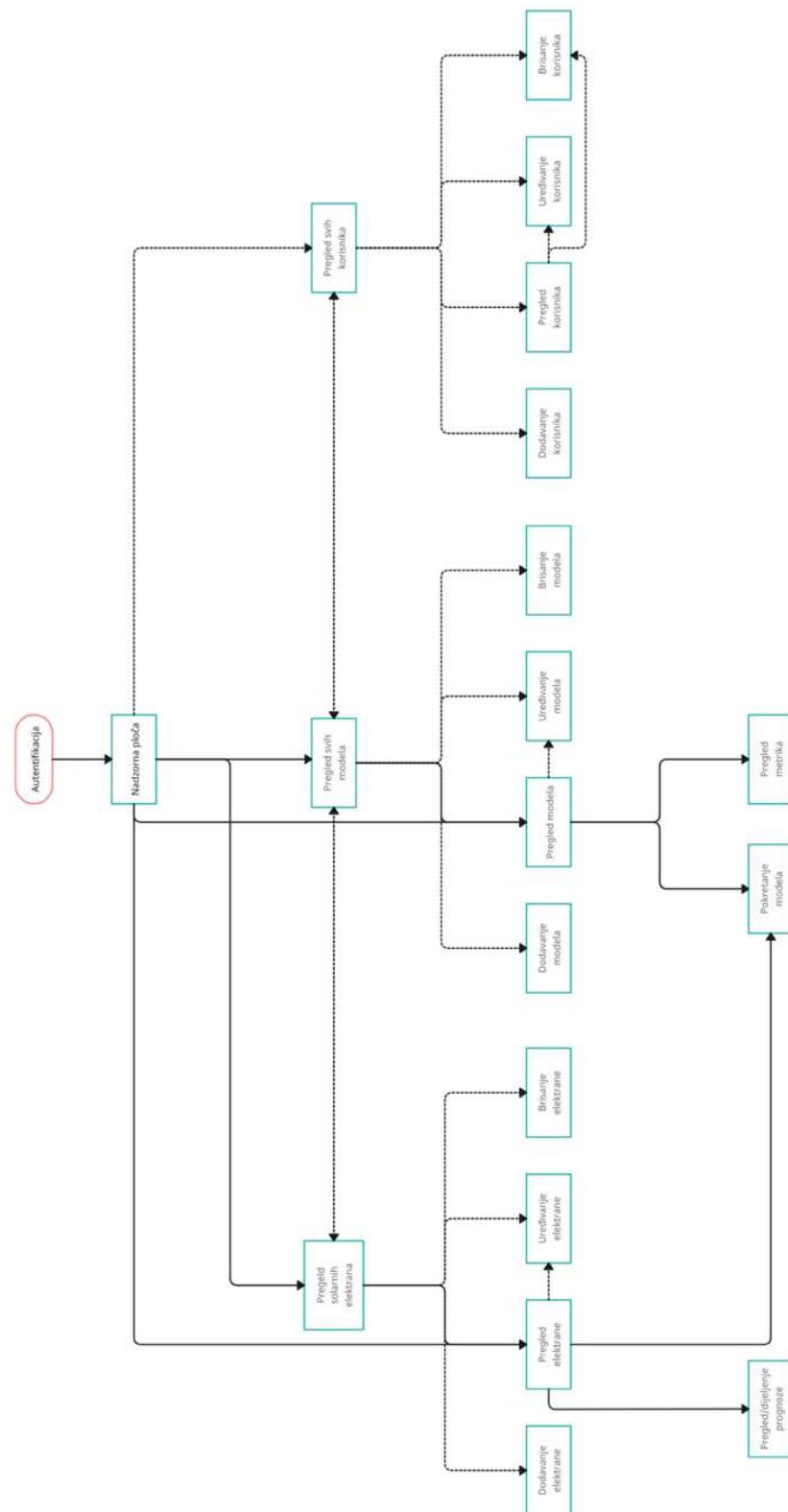
Vanjski anonimni korisnici posjeduju najnižu razinu pristupa. Oni mogu pregledavati isključivo prognoze koje su podijeljene putem javnih linkova od strane prijavljenih korisnika. Nemaju mogućnost uređivanja podataka niti pristup zaštićenim informacijama. Njihova interakcija ograničena je na pregled i filtriranje osnovnih informacija o proizvodnji i prognozama proizvodnje solarnih elektrana, uz opciju preuzimanja tih podataka u CSV formatu.

3.4. Hodogram aplikacije

Na slici 4 prikazan je hodogram platforme koji prikazuje logički slijed aktivnosti i funkcionalnosti unutar sučelja. Pune linije označavaju putanje kojima svi korisnici imaju pristup, dok su isprekidane dostupne isključivo administratorima, odnosno tehničarima.

Početna točka je autentifikacija, nakon čega se korisnik preusmjerava na nadzornu ploču. Iz nadzorne ploče, korisnik može pregledati sažetak svih informacija ili otići na pregled elektrana, modela, odnosno korisnika. Nadzorna ploča također nudi direktni pristup detaljima pojedinih modela i elektrana.

Stranice s popisom elektrana, modela i korisnika nude mogućnosti za dodavanje novih, odnosno uređivanje ili brisanje postojećih zapisa. Detalji elektrana nude pristup prognozama elektrane, pristup njenim modelima, kao i mogućnost uređivanja parametara. Modeli sadrže kontrole za pokretanje prognoziranja i komponente za prikaz metrika. Ondje se također nalazi gumb za njihovo uređivanje. Stranica s pregledom korisnika omogućuje jednostavan odlazak na uređivanje korisnika te prečac za brisanje.



Slika 4 Hodogram aplikacije

4. Korištene tehnologije

4.1. React

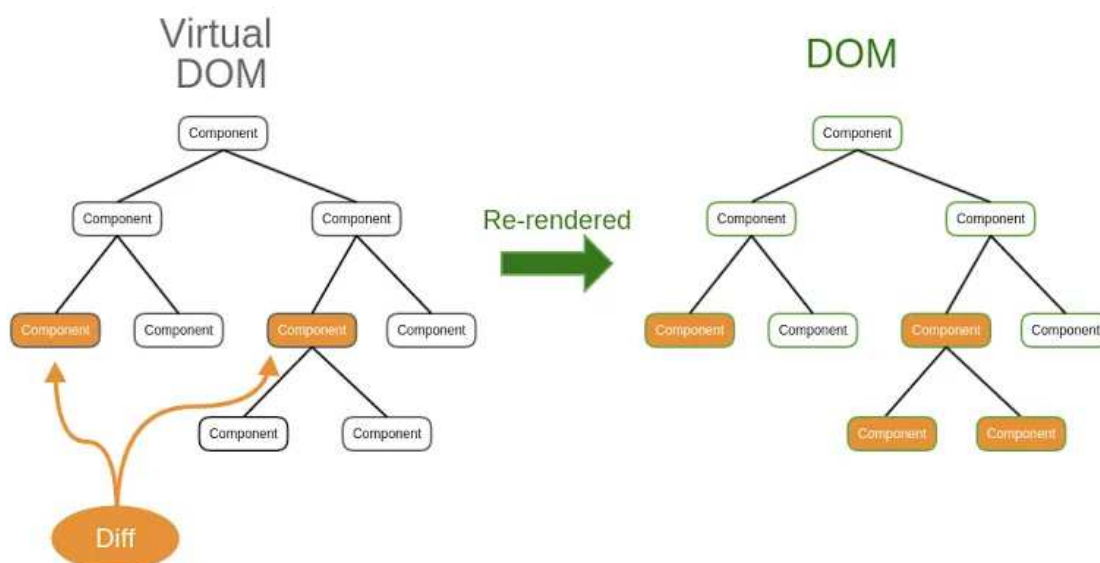
React je JavaScript knjižnica otvorenog koda razvijena od strane Facebooka 2013. godine. Koristi se za izgradnju dinamičkih korisničkih sučelja i njihovih komponenti. Od svog nastanka do danas postala je jedna od najpopularnijih JavaScript knjižnica za razvoj korisničkih sučelja.

Glavni razlog njene popularnosti su čisti i efektivni pristup izradi korisničkih sučelja kroz korištenje nezavisnih i višekratno upotrebljivih komponenti koje kompozicijom mogu tvoriti složene komponente, a sama aplikacija također je kompozicija svih svojih komponenti. Komponente su osnovne građevne jedinice unutar svake React aplikacije. Postoje dvije vrste komponenti: klasne i funkcijske.

Klasne komponente bile su standard u Reactu prije uvođenja React kuka (engl. hooks). Definiraju se kao ES6 klase koje se nasljeđuju iz `React.Component` klase. Klasne komponente imaju mogućnost upravljanja stanjem (engl. state) i koriste tzv. lifecycle metode za upravljanje različitim fazama životnog ciklusa komponente.

Funkcijske komponente su jednostavnije i lakše za korištenje. One su definirane kao JavaScript funkcije te ne koriste lifecycle metode direktno, nego uz uvođenje React kuka koje imaju sve mogućnosti koje su prije bile dostupne samo klasnim komponentama. Funkcijske komponente se preferiraju zbog svoje jednostavnosti i boljih performansi.

React koristi tzv. virtualni objektni model dokumenta, odnosno virtualni DOM kako bi optimizirao performanse aplikacije. Putem virtualnog DOM-a React prema strukturu elemenata u memoriju te nakon promjene nekog elementa učinkovito uspoređuje razlike sa stvarnim DOM-om, nakon čega ažurira samo potrebne dijelove prikaza. Na slici 5 je vidljiv način na koji virtualni DOM ažurira stvarni. Ovim pristupom značajno se poboljšavaju performanse aplikacije jer se minimiziraju često skupe operacije manipulacije stvarnim DOM-om.



Slika 5 Ažuriranje virtualnog DOM-a u React-u [10]

4.2. Refine

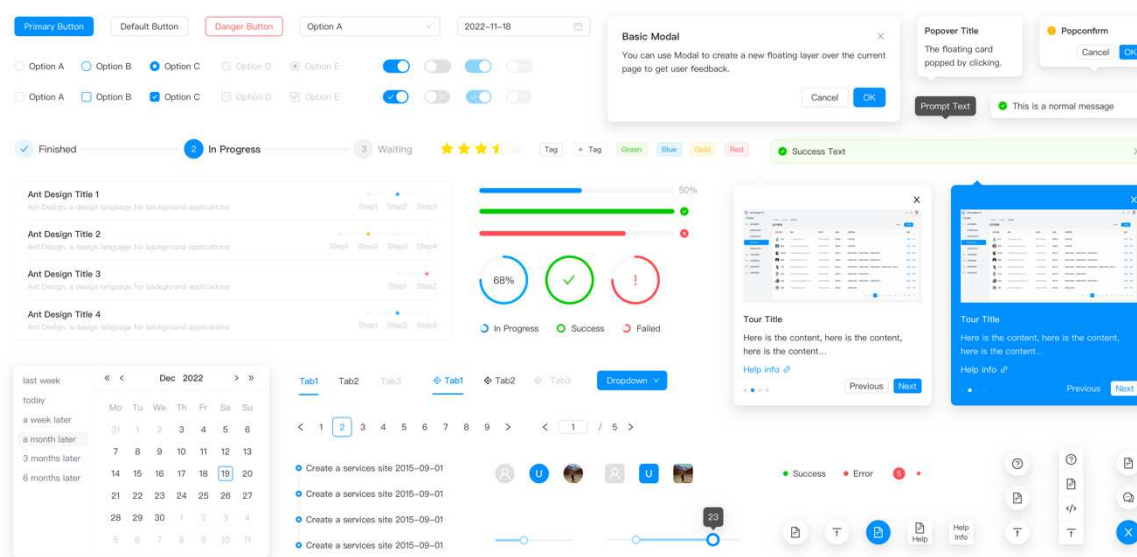
Refine je napredni razvojni okvir otvorenog koda temeljen na Reactu, dizajniran za izradu složenih aplikacija koje zahtijevaju upravljanje podacima, autentifikaciju, autorizaciju i upravljanje stanjima. Njegova modularna i prilagodljiva arhitektura omogućuje jednostavnu integraciju s različitim korisničkim sučeljima, razvojnim alatima i platformama, čime se značajno ubrzava razvoj aplikacija i poboljšava produktivnost.

Refine dolazi s bogatom knjižnicom unaprijed definiranih komponenti i funkcionalnosti. One omogućuju brzu implementaciju složenih funkcionalnosti, čime se skraćuje vrijeme razvoja i povećava učinkovitost. Jedna od ključnih prednosti Refine-a je njegova *headless* arhitektura, koja odvaja poslovnu logiku od korisničkog sučelja. Na taj način pruža visoku razinu prilagodljivosti i omogućuje integraciju s različitim razvojnim okvirima korisničkog sučelja poput Antd, Material UI ili Chakra UI te platformama kao što su Next.js, Electron i React Native. Za dohvaćanje podataka podržava korištenje REST i GraphQL API-ja, a za autentifikaciju usluge kao što su Auth0 ili Firebase.

4.3. Ant Design

Ant Design, poznat i kao Antd, visoko je prilagodljiv i robustan razvojni okvir za React, dizajniran za izradu modernih i intuitivnih korisničkih sučelja. Sadrži sustav dizajna koji uključuje širok izbor unaprijed izrađenih komponenti koje omogućuju brzu i jednostavnu izradu estetskih i dosljednih sučelja.

Antd je izgrađen na temeljima dizajnerskih principa koji naglašavaju funkcionalnost, efikasnost i jednostavnost korištenja. Antd komponente pokrivaju sve ključne aspekte korisničkog sučelja, kao što je unos podataka, navigacija, pružanje povratnih informacija i raspored elemenata. Omogućuje jednostavnu implementaciju složenih elemenata poput obrazaca, izbornika, dijaloga, tablica i kartica. Komponente su prikazane na slici 6.



Slika 6 Ant Design komponente [11]

4.4. Flask

Flask je jednostavan, ali izrazito snažan razvojni okvir za izradu web aplikacija, implementiran u programskom jeziku Python. Iako se često definira kao "mikro" okvir, njegova fleksibilnost i prilagodljivost omogućuju razvoj aplikacija koje mogu obuhvaćati širok spektar složenosti, od jednostavnih web stranica do naprednih i kompleksnih sustava. Njegov minimalistički pristup očituje se u odsutnosti nametnutih pravila ili ovisnosti o specifičnim knjižnicama, što pruža slobodu izbora komponenti u skladu s potrebama projekta.

Flask je razvijen u okviru zajednice Python entuzijasta poznate kao POCOO, a njegova implementacija temelji se na WSGI (Web Server Gateway Interface) specifikaciji i Jinja2 sustavu za predloške.

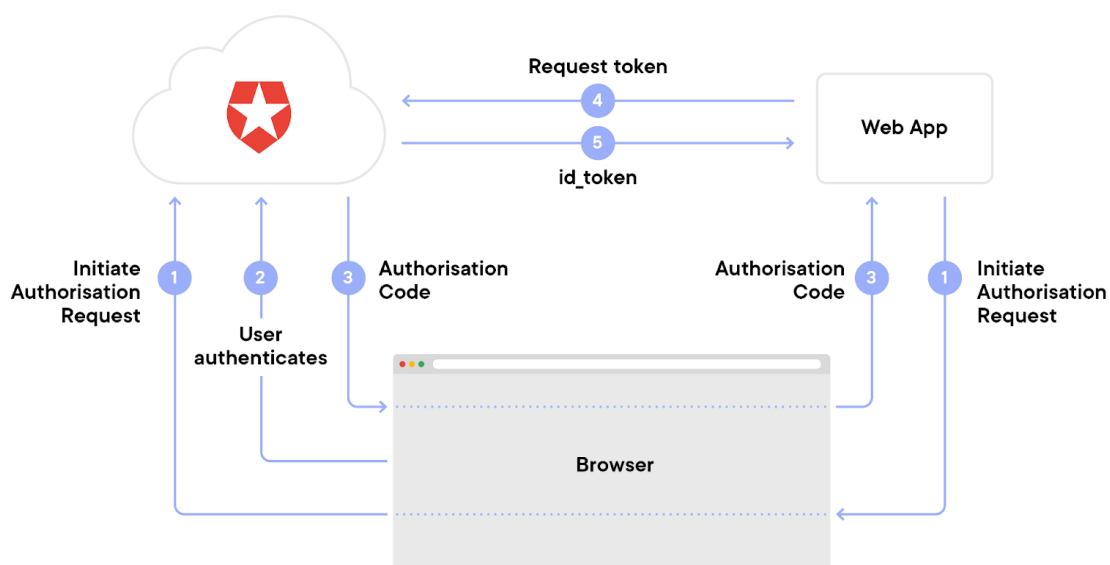
Jedna od ključnih prednosti Flaska leži u njegovoj modularnoj arhitekturi, koja omogućava jednostavno proširivanje funkcionalnosti korištenjem dostupnih ekstenzija. Ekstenzije pokrivaju širok raspon potreba, uključujući autentifikaciju, upravljanje bazama podataka, validaciju formi i mnoge druge aspekte razvoja. Njegova modularnost omogućuje skaliranje aplikacija prema potrebama, bez nepotrebnog povećanja složenosti ili uvođenja neiskorištenih funkcionalnosti.

4.5. Auth0

Auth0 je platforma koja pruža fleksibilno i jednostavno rješenje za autentifikaciju i autorizaciju web i mobilnih aplikacija. Koristi *plug-and-play* pristup kojim se ostvaruje jednostavna integracija naprednih sigurnosnih funkcija bez potrebe za pisanjem vlastitog koda za autentifikaciju. Auth0 nudi širok raspon usluga i alata, jedinstvenu prijavu (SSO), višefaktorsku autentifikaciju (MFA), upravljanje korisnicima i njihovim ulogama, kao i zaštitu API-ja.

Platforma podržava različite tehnologije i popularne razvojne okvire poput React-a, Angular-a, Vue.js-a, Node.js-a i mnogih drugih. Zahvaljujući podršci za OAuth 2.0 i OpenID Connect autorizacijske protokole, osigurava siguran i standardiziran proces autentifikacije i autorizacije korisnika.

Auth0 omogućuje jednostavno upravljanje korisnicima, s mogućnostima poput centraliziranog upravljanja korisničkim profilima, prilagodljivih pravila za prijavu te detaljnih izvještaja i analiza o korisničkoj aktivnosti. Platforma također podržava otkrivanje i prevenciju prijetnji, kao i integraciju s drugim sigurnosnim alatima i uslugama. Slika 7 prikazuje korake pri autentifikaciji korisnika kroz Auth0 platformu.



Slika 7 Shema procesa autentifikacije putem platforme Auth0 [12]

4.6. PostgreSQL

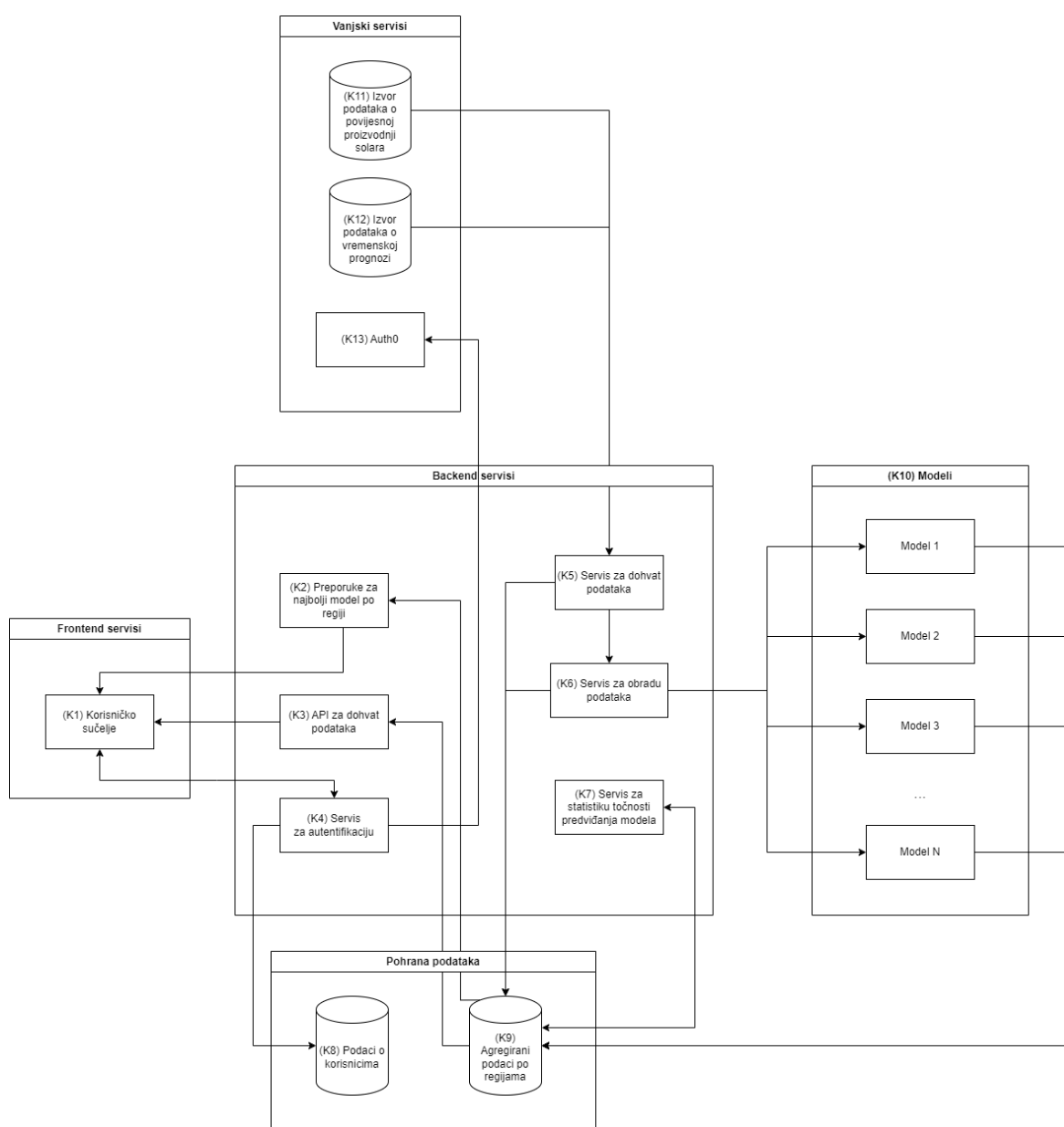
PostgreSQL je napredni sustav za upravljanje bazama podataka otvorenog koda (eng. object-relational database management system). Razvijen je s naglaskom na skalabilnost, fleksibilnost i usklađenost sa standardima SQL-a. PostgreSQL podržava različite tipove podataka i složene podatkovne strukture te omogućuje rad s velikim količinama podataka putem svojih naprednih mogućnosti poput replikacije indeksiranja i optimizacije upita.

Jedna od ključnih karakteristika PostgreSQL-a je njegova ekstenzibilnost. Korisnici mogu definirati vlastite tipove podataka, operatore i funkcije, što ga čini idealnim za kompleksne aplikacije. Također, PostgreSQL podržava transakcije i integritet podataka pomoću ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability) principa, čime osigurava pouzdanost i konzistentnost podataka.

5. Pristup razvoju

5.1. Arhitektura sustava

Na slici 8 prikazana je planirana arhitektura sustava. Sastoji se od međusobno povezanih i integriranih komponenti koje korisnicima omogućuju intuitivan i učinkovit pristup podacima o prognozama i proizvodnji.



Slika 8 Dijagram arhitekture sustava

Sustav se sastoji od usluge za korisničko sučelje (engl. frontend), pozadinske usluge (engl. backend), modela strojnog učenja, pohrane podataka i vanjskih usluga. U središtu sustava nalazi se korisničko sučelje (K1), koje predstavlja glavnu točku interakcije s korisnicima. Na samom sučelju prikazuju se prognoze proizvodnje solara temeljena na analitičkim podacima dobivenim od strane modela. Sučelje se oslanja na API (engl. Application Programming Interface) za dohvat podataka, koji priprema i dostavlja podatke u odgovarajućem formatu kako bi ih logika korisničkog sučelja mogla prikazati.

Usluga za dohvat podataka (K5) odgovorna je za prikupljanje podataka iz različitih vanjskih izvora, na temelju kojih dobiva povijesne podatke o proizvodnji i aktualne vremenske prognoze. Ovi podaci se pohranjuju u bazu podataka (K9) kako bi se omogućila analiza povijesnih trendova i stvaranje novih prognoza. Za obradu podataka zadužena je usluga za obradu podataka (K6), koja agregira sve relevantne informacije, priprema ih i prosljeđuje različitim prognostičkim modelima. Ona igra ključnu ulogu u optimizaciji prognoza jer kombinira različite izvore podataka kako bi se stvorio što precizniji ulaz za modele.

Sustav može koristiti više različitih prognostičkih modela (K10), od jednostavnih model linearne regresije do naprednih LSTM model dubokog učenja. Svaki model prima agregirane podatke, obrađuje ih i generira prognoze koja se spremaju u bazu podataka. Modeli se kontinuirano evaluiraju i optimiziraju prema specifičnim kriterijima točnosti kako bi se osigurala maksimalna preciznost prognoza.

Usluga za statistiku točnosti prognoza modela (K7) analizira uspješnost svakog modela uspoređujući stvarne povijesne podatke s prognozama. Statistike služe kao osnova usluge za preporuke (K3), koja na temelju tih analiza korisnicima sugerira najprikladnije modele za svaku elektranu.

Kako bi se osigurala sigurnost i privatnost korisničkih podataka sustav uključuje uslugu za autentifikaciju (K4), koja upravlja autentifikacijom i autorizacijom korisnika u suradnji s vanjskom uslugom Auth0 (K13). Podaci o korisnicima pohranjuju se u zasebnu bazu podataka (K8), odvojenu od podataka o proizvodnji i vremenskoj prognozi.

5.2. Metodologija razvoja

Razvoj sustava proveden je koristeći tzv. *top-down* metodologiju, gdje je kao prvi korak u izradi platforme kreirano njeno korisničko sučelje. Na ovaj način omogućeno je da se na početku razvoja usmjeri pažnja na korisničko sučelje i interakciju s korisnicima, čime se osigurava veća usklađenost funkcionalnosti s poslovnim zahtjevima i očekivanjima krajnjih korisnika.

Proces je započeo definiranjem arhitekture sustava i osnovnih funkcionalnosti, nakon čega je implementacija započela razvojem korisničkog sučelja. Razvoj korisničkog sučelja uključivao je izradu vizualnih elemenata, navigacijskih struktura i osnovnih funkcionalnosti prikaza podataka. Fokus je bio na kreiranju sučelja koje omogućuje prikaz podataka o proizvodnji solarnih elektrana i prognozama modela, uz jednostavno filtriranje i interaktivne vizualizacije.

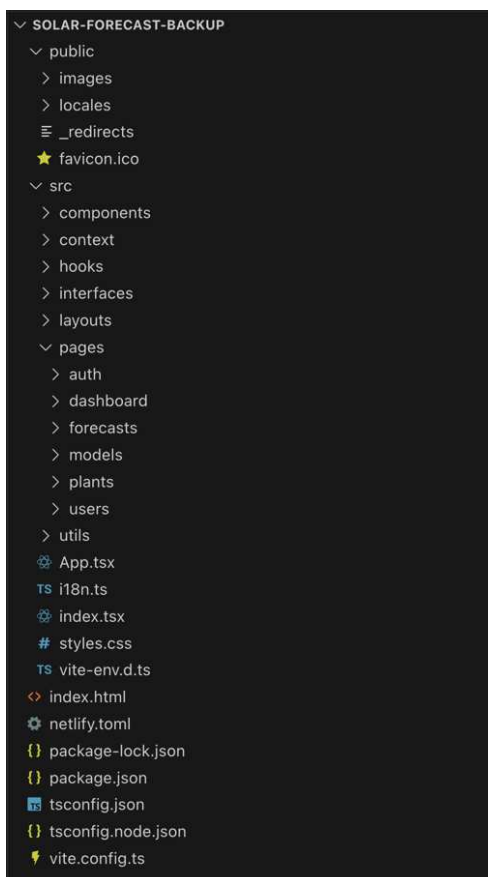
Razvijeno korisničko sučelje će zatim poslužiti kao osnova za definiranje zahtjeva prema komponenti za pozadinske usluge, čime je omogućena implementacija API-ja u skladu s potrebama sučelja.

6. Implementacija korisničkog sučelja

Razvoj korisničkog sučelja proveden je koristeći React kao glavnu knjižnicu za upravljanje korisničkim sučeljem te Refine za implementaciju složenih funkcionalnosti i jednostavniju integraciju s pozadinskim uslugama. Ant Design korišten je kao knjižnica vizualnih komponenti kako bi se osigurao moderan i responzivan dizajn. Također je korištena Ant Design Charts knjižnica za grafički prikaz podataka na grafikonima. Za prikaz karte i vremenskih uvjeta na karti korištene su OpenStreetMap i OpenWeatherMap usluge.

6.1. Struktura projekta

Slika 9 prikazuje strukturu datoteka u projektu. Projekt je organiziran u dvije glavne mape: *public* i *src*. Mapa *public* sadrži statičke resurse poput slika, prijevoda i konfiguracijskih datoteka za preusmjeravanje, a u mapi *src* nalazi se sav izvorni kod aplikacije. U *src* mapi nalaze se više poddirektorija. Mapa *components* sadrži sve ponovo upotrebljive komponente, a *hooks* i *utils* zajedničke funkcije. U mapi *pages* nalaze se sve stranice aplikacije organizirane prema funkcionalnostima, a *layouts* sadrži logiku za zajedničke rasporede. Datoteke *App.tsx*, *index.tsx* i *vite.config.ts* služe za inicijalizaciju, konfiguraciju i postavljanje glavnih funkcionalnosti aplikacije.



Slika 9 Struktura projekta

Refine pruža integrirani okvir za upravljanje podacima i povezivanje s API-jem aplikacije. Sustav je konfiguriran pomoću tzv. *providera* koji definiraju ključne funkcionalnosti. Prikaz osnovne konfiguracije Refine-a dan je na slici 10.

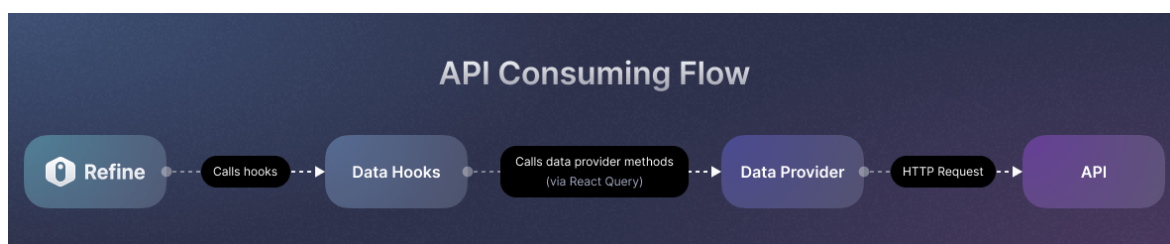
```
<Refine
  routerProvider={routerProvider}
  dataProvider={dataProvider(apiUrl)}
  authProvider={authProvider}
  i18nProvider={i18nProvider}
  accessControlProvider={accessControlProvider}
  notificationProvider={useNotificationProvider}
  /* ... */
>
  /* ... */
</Refine>
```

Slika 10 Inicijalizacija Refine komponente

Svaki *provider* ima specifičnu funkciju čime se osigurava fleksibilnost i jednostavno proširivanje. *RouterProvider* upravlja navigacijom unutar aplikacije te nudi sve potrebne metode za kretanje između različitih stranica. *DataProvider* osigurava komunikaciju s pozadinskim uslugama te omogućuje dohvaćanje, ažuriranje i brisanje podataka putem API-ja. Autentifikacijom i autorizacijom korisnika upravlja *authProvider* koji je integriran s Auth0 platformom. Internacionalizacija aplikacije omogućena je putem *i18nProvider* providera. Pomoću njega je implementirana podrška za korištenje engleskog i hrvatskog jezika kroz sučelje. Nadalje, *accessControlProvider* omogućuje preciznu kontrolu pristupa resursima i funkcionalnostima aplikacije ovisno o roli i dopuštenjima trenutnog korisnika. Posljednji je *notificationProvider* koji nudi sustav za prikaz obavijesti korisnicima o različitim događajima u aplikaciji.

6.2. Integracija s API-jem

Data provider zaslužan je za komunikaciju s API-jem. Djeluje kao podatkovni sloj – postavlja HTTP zahtjeve i enkapsulira dohvaćanja podataka. Slika 11 prikazuje tok podataka i proces konzumacije API-ja kroz Refine.



Slika 11 Dijagram toka podataka kroz Refine [13]

Za integraciju s API-jem korišten je Refine *Simple REST provider* koji nudi implementaciju za rad s REST API-jima koji su u skladu sa standardnim API dizajnom. Nudi metode za sve CRUD operacije, kao i podršku za sortiranje i filtriranje podataka. Podržano je i straničenje postavljanjem `_start` i `_end` parametara u zahtjevu. U tablici 2 prikazane su sve dostupne metode u *provideru*.

Metoda	URL	Parametar zahtjeva	Tijelo	HTTP metoda
getList	apiUrl / resource	pagination, sorters, filters		GET
getOne	apiUrl / resource / id			GET
getMany	apiUrl / resource	id		GET
create	apiUrl / resource		variables	POST
update	apiUrl / resource / id		variables	PATCH
deleteOne	apiUrl / resource / id		data: variables	DELETE

Tablica 2 URL dizajn *provider*a podataka [14]

Metode ovih zahtjeva *Refine* zatim koristi putem podatkovnih kuka (engl. *hooks*). Neke od kuka za manipulaciju podacima su primjerice *useList*, *useCreate*, *useDelete*, *useUpdate* i druge. Na slici 12 prikazana je implementacija *useCustom* kuke za dohvaćanje i filtriranje podataka o metrikama modela. Dobiveni podaci se koriste za prikaz na grafikonu koji prikazuje povijesne vrijednosti metrika. Kuka u zahtjev postavlja parametre poput identifikatora modela, vremenskog raspona za prikaz, identifikatore drugih modela za usporedbu te metrike koja je odabrana za prikaz. Podaci se dohvaćaju kod promjene parametara pozivanjem metode *refetch*.

```
const {
  data: metricsData,
  isLoading: isMetricsDataLoading,
  isFetching: isMetricsDataFetching,
  refetch,
} = useCustom<IMetricsData[]>({
  url: `${API_URL}/metrics/${id}`,
  method: "get",
  config: {
    query: Object.fromEntries(
      Object.entries({
        start: dateRange ? dateRange[0] : null,
        end: dateRange ? dateRange[1] : null,
        other_models: otherModels.length > 0 ? otherModels : null,
        metric: metric ? metric : null,
      }).filter(([, value]) => value !== null && value !== undefined)
    ),
  },
});
```

Slika 12 Metoda za dohvaćanje metrika modela

6.3. Komponente sučelja

Komponente korisničkog sučelja aplikacije osmišljene su kako bi korisnicima pružile intuitivnu i vizualno privlačnu interakciju sa sustavom. Korištena je popularna knjižnica unaprijed izrađenih komponenti Ant Design-a kako bi se osigurala konzistentnost, responzivnost i učinkovitost dizajna.

Sučelje je strukturirano unutar *ThemedLayoutV2* komponente te se elementi *Card*, *Flex* i *Space* koriste za stvaranje organizirane vizualne hijerarhije. Na slici 13 je prikazana implementacija putanje za globalni raspored aplikacije.

```
<Route
  element={
    <Authenticated key="catch-all">
      <ThemedLayoutV2 Header={Header} Title={Title}>
        <Outlet />
      </ThemedLayoutV2>
    </Authenticated>
  }
>
  <Route path="*" element={<ErrorComponent />} />
</Route>
```

Slika 13 Isječak koda za definiranje rasporeda elemenata

Najčešće korištene komponente unutar aplikacije su interaktivne tablice za upravljanje i prikaz podataka, forme za unos i konfiguraciju podataka te elementi za prikaz detalja putem lista. Tablice su implementirane s podrškom za straničenje, čime je osiguran prikaz velikih skupova podataka na pristupačan i pregledan način. Forme se koriste za unos i uređivanje podataka, pri čemu su primijenjena pravila validacije na klijentskoj strani kako bi se osigurala ispravnost unosa.

Napredne vizualizacije implementirane su korištenjem *Ant Design Charts* knjižnice. Linijski grafikoni i složeni površinski grafikoni koriste se za prikaz povijesnih podataka i prognoza, što korisnicima nudi interaktivan način pregleda podataka. Grafikoni sadrže animacije, oznake osi i legende te *tooltipove* za detaljniju analizu podataka.

Modalni prozori, bočni izbornici i *Popover* komponente koriste se za jednostavnije interakcije poput dodavanja novih unosa ili pregleda detalja.

6.4. Autentifikacija i autorizacija

Autentifikacija i autorizacija izvedene su kroz Refineovu integraciju s Auth0 putem *authProvider* komponente. Auth0 upravlja procesima prijave i registracije te nudi podršku za Google prijavu, autentifikaciju putem e-pošte i lozinke te upravljanje sesijama na temelju tokena kroz JSON Web Tokens (JWT).

Nakon uspješne autentifikacije, aplikacija od Auth0 prima pristupni token koji se zatim koristi za provjeru i odobravanje pristupa resursima. Token se zatim proslijeđuje i pridružuje svim zahtjevima prema API-ju kako bi se prikazali podaci relevantni i dostupni samo trenutnom korisniku.

AccessControlProvider komponenta zatim primjenjuje kontrolu pristupa temeljenu na ulogama kroz mapiranje korisničke uloge i dopuštenja na određene resurse i radnje u sučelju.

6.5. Internacionalizacija

Internationalizacija u aplikaciji implementirana je korištenjem Refine okvira, točnije korištenjem njegove *useTranslate* kuke. Prijevodima se upravlja putem JSON datoteka. Svaki jezik strukturiran je unutar jedne datoteke. Svaka JSON datoteka sadrži strukturirane parove ključ-vrijednost za različite dijelove aplikacije. Isječak datoteke s prijevodima za komponente vezane uz elektrane vidljiv je na slici 14.

```
"plants": {  
  "plants": "Plants",  
  "titles": {  
    "create": "Create plant",  
    "edit": "Edit Plant",  
    "list": "Plants",  
    "show": "Show Plant",  
    "location": "Location",  
    "forecast": "Forecasts"  
  }  
  // ...  
}
```

Slika 14 Isječak datoteke s prijevodima

7. Implementacija pozadinskih usluga

Pozadinske usluge aplikacije su u svrhu razvoja i testiranja korisničkog sučelja implementirane kao sustav za simulaciju API odgovora. Razvijene su korištenjem Flask okvira i PostgreSQL baze podataka u kombinaciji s prethodno formiranim API odgovorima.

API je strukturiran tako da uključuje RESTful putanje za upravljanje solarnim elektranama, modelima predikcije, korisničkim računima i ostalim povezanim funkcionalnostima. API nudi sve potrebne putanje, parametre i odgovore za jednostavniju buduću implementaciju stvarnog API-ja.

7.1. API specifikacija

U sljedećim potpoglavljima opisane su sve dostupne putanje unutar razvijenog API sustava. API slijedi RESTful principe i koristi osnovne HTTP metode za manipulaciju podacima: GET, POST, PATCH i DELETE. Putanje su napisane *snake case* konvencijom.

7.1.1. Solarne elektrane

Putanja `/power_plants` omogućuje upravljanje podacima o solarnim elektranama te njihovo dodavanje, ažuriranje, brisanje i detaljan pregled.

Pristupne točke:

- **GET /power_plants:** Dohvaća popis svih solarnih elektrana zajedno s detaljnim informacijama poput naziva, lokacije, kapaciteta i trenutne proizvodnje.
- **GET /power_plants/<int:plant_id>:** Dohvaća detalje specifične solarne elektrane prema jedinstvenom identifikatoru *plant_id*.
- **POST /power_plants:** Dodaje novu solarnu elektranu u sustav. Potrebno je navesti obvezne podatke poput naziva, kapaciteta i lokacije elektrane.

- **PATCH /power_plants/<int:plant_id>**: Ažurira pojedine informacije o solarnoj elektrani.
- **DELETE /power_plants/<int:plant_id>**: Briše određenu solarnu elektranu iz sustava.

7.1.2. Modeli

Putanja */models* omogućuje upravljanje prognostičkim modelima. Omogućuje dodavanje novih modela, ažuriranje parametara postojećih i brisanje neaktivnih modela.

Pristupne točke:

- **GET /models**: Dohvaća popis svih modela i njihove informacije, uz opcionalno filtriranje:
 - *plant_id*: Identifikator elektrane.
- **GET /models/<string:model_id>**: Dohvaća detalje specifičnog modela prema njegovom jedinstvenom identifikatoru *model_id*.
- **GET /models/weather_params**: Dohvaća dostupne vremenske varijable za odabir u postavkama modela.
- **POST /models**: Dodaje novi model u sustav. Potrebno je navesti naziv, opis, pripadnost solarnoj elektrani i priložiti datoteku modela.
- **POST /models/run**: Pokreće odabrani model za generiranje prognoza. Moguće je pridružiti datoteku vlastite vremenske prognoze u tijelo zahtjeva.
- **PATCH /models/<string:model_id>**: Ažurira pojedine attribute modela, primjerice postavke ili vremenske parametre.
- **DELETE /models/<string:model_id>**: Briše određeni model iz sustava.

7.1.3. Prognoze

Putanja */forecasts* omogućuje dohvat prognoza proizvodnje solarnih elektrana u određenom vremenskom periodu.

Pristupne točke:

- **GET */forecasts/<int:plant_id>***: Dohvaća prognoze za solarnu elektranu s identifikatorom *plant_id*.

Parametri:

- start: Početni datum
- end: Završni datum

Ako parametri nisu navedeni, prikazuju se prognoze za današnji dan i narednih 72 sata.

7.1.4. Metrike

Putanja omogućuje pregled povijesnih performansi modela na temelju različitih metrika.

Pristupne točke:

- **GET */metrics/<int:model_id>***: Dohvaća metrike za određeni model.

Parametri:

- start: Početni datum
- end: Završni datum
- metric: Specifikacija vrste metrike
- other_models: Lista identifikatora drugih modela za usporedbu

- **GET */metrics/available***: Dohvaća popis svih dostupnih metrika

7.1.5. Nadzorna ploča

Putanja vraća podatke za vizualizacije na nadzornoj ploči.

Pristupne točke:

- **GET /dashboard/production_data:** Dohvaća povijesne podatke o proizvodnji solarnih elektrana za prethodni dan te prognoze za naredna tri dana.
- **GET /dashboard/plant_overview:** Vraća listu solarnih elektrana za prikaz na karti, uz njihovu trenutnu proizvodnju, iskorištenost te agregiranih prognoza za trenutni dan.

7.1.6. Korisnici

Putanja /users omogućuje prikaz i upravljanje podacima o korisnicima i njihovim ulogama u sustavu.

- **GET /users:** Dohvaća popis svih korisnika.
- **GET /users/<int:user_id>:** Dohvaća detalje o specifičnom korisniku na temelju njegovog jedinstvenog identifikatora.
- **GET /users/roles:** Dohvaća popis svih dostupnih korisničkih uloga koje omogućuju definiranje razina pristupa u sustavu.

7.1.7. Događaji

Služi za praćenje događaja zabilježenih od strane prognostičkih modela.

Pristupne točke:

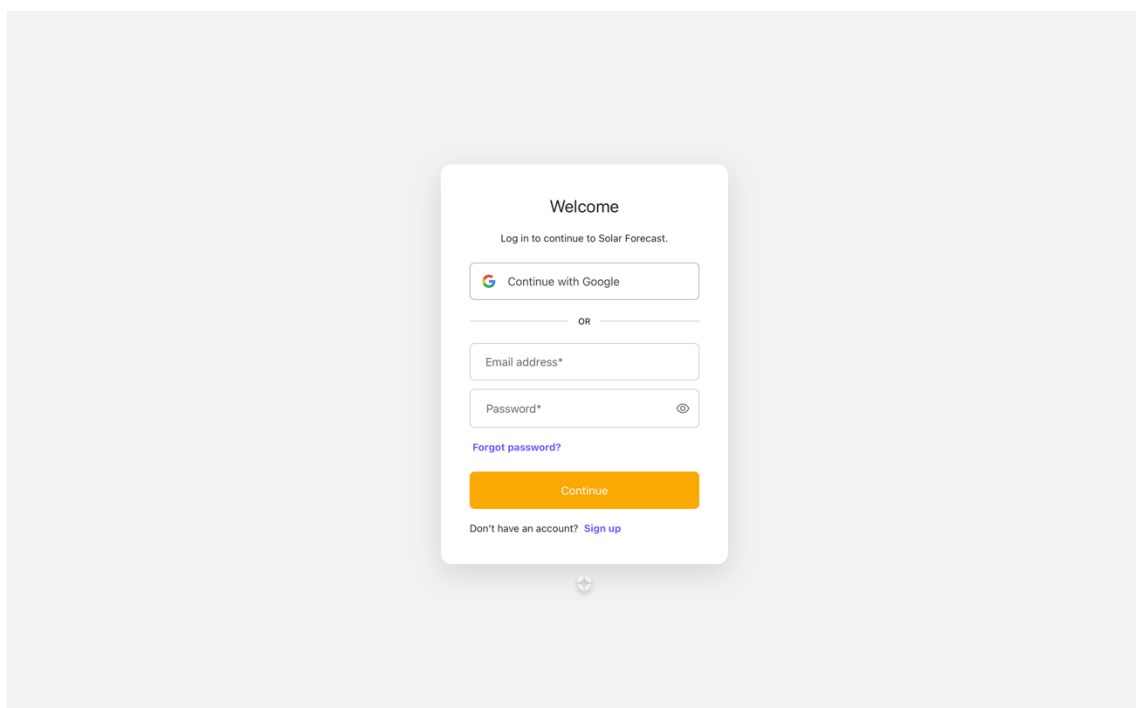
- **GET /events:** Dohvaća popis svih događaja sortiranih od najnovijeg.
 - **model_id:** Filtriranje događaja vezanih za određeni model.
- **GET /events/<int:event_id>:** Dohvaća detalje specifičnog događaja prema njegovom identifikatoru.

7.2. Vanjske usluge

Aplikacija koristi nekoliko vanjskih usluga za prikaz kartografskih podataka. Za geografski prikaz lokacija solarnih elektrana na interaktivnoj karti koristi se *OpenStreetMap* API, otvorena i kolaborativna platforma za stvaranje i održavanje karata. Dodatno se uz njega koristi *OpenWeatherMap* API koji omogućuje dohvat raznih informacijama o vremenskim uvjetima. U platformi se konkretno koristi *clouds* putanja za dohvat podataka o trenutnoj pokrivenosti oblacima. Na taj način korisnici mogu jednostavno vidjeti razinu naoblake na lokacijama njihovih elektrana. API-ji se konzumiraju kroz *react-leaflet* knjižnicu i na kartu postavljaju tzv. slojeve pločica (engl. *tile layers*), odnosno fotografije isječaka karte i naoblake za taj položaj. Za osiguravanje sigurnog i jednostavnog postupka autentifikacije korisnika koristi se prethodno opisan *Auth0* kao vanjska usluga za autentifikaciju.

8. Pregled aplikacije

Kod prvog otvaranja aplikacije, korisnika dočekuje početna stranica koja ga vodi na prijavu u sustav. Proces autentifikacije odvija se preusmjeravanjem na Auth0 platformu, koja pruža siguran i standardiziran način autentifikacije korisnika. Prozor za autentifikaciju, vidljiv na slici 15, prilagođen je temi aplikacije. Omogućuje prijavu adresom e-pošte i lozinkom ili prijavu Google računom. Novi korisnik ovdje može kreirati novi račun, ili obnoviti lozinku ukoliko je zaboravljena.



Slika 15 Stranica za autentifikaciju

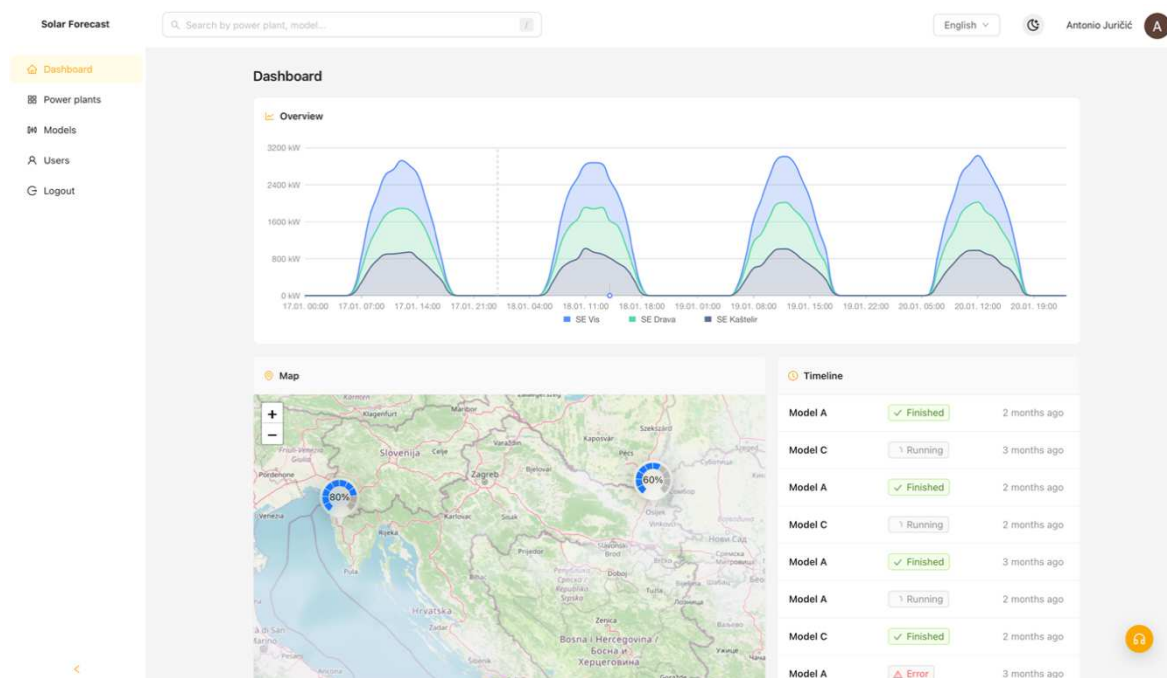
Nakon što korisnik uspješno završi prijavu ili registraciju, preusmjerava se na nadzornu ploču aplikacije prikazanu na slici 16.

Sučelje same aplikacije strukturirano je u tri glavna dijela: bočnu traku, zaglavlje i središnji dio. Bočna traka smještena lijevoj strani služi za navigaciju unutar aplikacije. Prva stavka jest nadzorna ploča, zatim slijedi prikaz podataka o solarnim

elektranama i prognozama, upravljanje modelima strojnog učenja te administracija korisnika. Na dnu bočne trake nalazi se opcija za odjavu iz sustava.

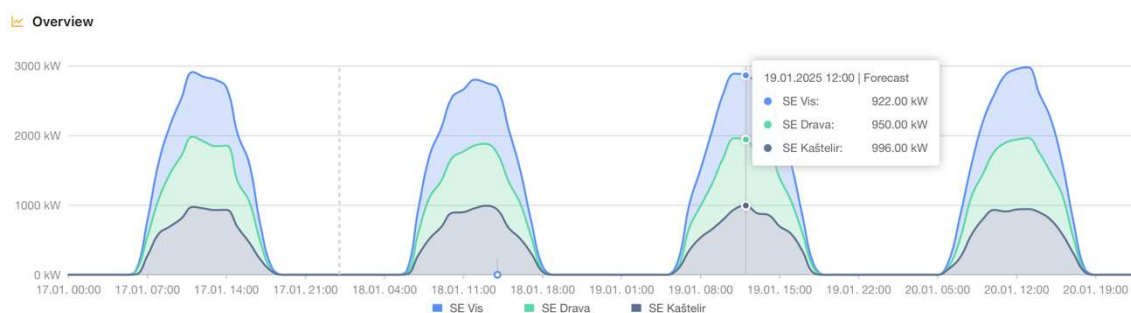
Zaglavlje se sastoji od globalne tražilice, selektora za odabir jezika aplikacije, gumba za promjenu između svijetle i tamne teme te prikaza imena i avatara trenutno prijavljenog korisnika.

Nadzorna ploča dizajnirana je s ciljem intuitivnog i preglednog prikaza ključnih informacija povezanih s trenutnom proizvodnjom, prognozama i statusima modela.



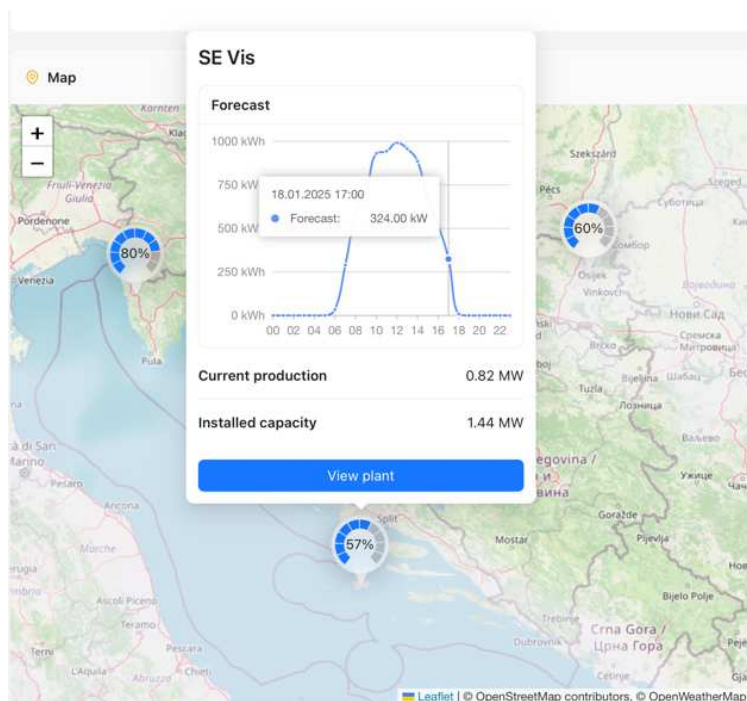
Slika 16 Nadzorna ploča aplikacije

Pri vrhu se nalazi složeni površinski graf koji kombinira stvarnu proizvodnju solarnih elektrana za prethodni dan te prognoze za 72 sata unaprijed. Grafikon prikazuje podatke za više elektrana istovremeno, koristeći različite boje kako bi se jasno razlikovale pojedine lokacije. Isprekidana vertikalna crta odvaja podatke stvarne proizvodnje od prognoziranih vrijednosti, a točka na vodoravnoj osi označava trenutno vrijeme. Korisnik pokazivačem može prijeći preko točaka na grafikonu kako bi dobio detalje o predviđenim vrijednostima za određeno vrijeme, što je prikazano na slici 17.



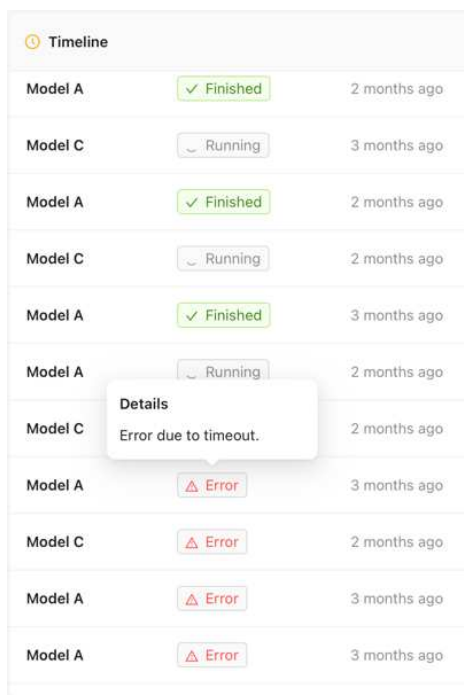
Slika 17 Grafikon s prikazom proizvodnje i prognoza svih elektrana

Ispod grafikona nalazi se interaktivna karta (slika 18) koja prikazuje geografske lokacije solarnih elektrana korisnika, kao i pokrivenost oblacima u stvarnom vremenu. Elektrane su označene kružnim indikatorima s postotkom koji pokazuje njihovu trenutnu proizvodnju u odnosu na maksimalni kapacitet. Klikom na određenu lokaciju otvara se dodatni prozor s detaljnim informacijama o odabranoj elektrani, uključujući današnju prognozu, trenutnu proizvodnju, instalirani kapacitet te gumb za navigaciju na detalje o elektrani.



Slika 18 Interaktivna karta solarnih elektrana

S desne strane nalazi se popis posljednjih zabilježenih aktivnosti postojećih modela. Korisnici ovdje mogu vidjeti zabilježene događaje, status modela u tom trenutku te vrijeme kreiranja događaja. Postavljanjem pokazivača iznad statusa otvara se prozor s detaljima o događaju. Sekcija je prikazana na slici 19.



Timeline		
Model A	✓ Finished	2 months ago
Model C	Running	3 months ago
Model A	✓ Finished	2 months ago
Model C	Running	2 months ago
Model A	✓ Finished	3 months ago
Model A	Running	2 months ago
Model C	Error due to timeout.	2 months ago
Model A	△ Error	3 months ago
Model C	△ Error	2 months ago
Model A	△ Error	3 months ago
Model A	△ Error	3 months ago

Slika 19 Pregled događaja svih modela

8.1. Solarne elektrane

Prikaz liste solarnih elektrana u aplikaciji moguć je u tabličnom obliku ili u obliku karte. Tablični prikaz, vidljiv na slici 20, pruža strukturirani uvid u osnovne karakteristike solarnih elektrana: naziv, instalirani kapacitet, trenutnu proizvodnju, razinu iskorištenosti, status rada elektrane te broj povezanih prognostičkih modela. S desne strane za svaku elektranu prikazane su dostupne akcije koje uključuju pregled, izmjenu ili brisanje elektrane iz sustava.

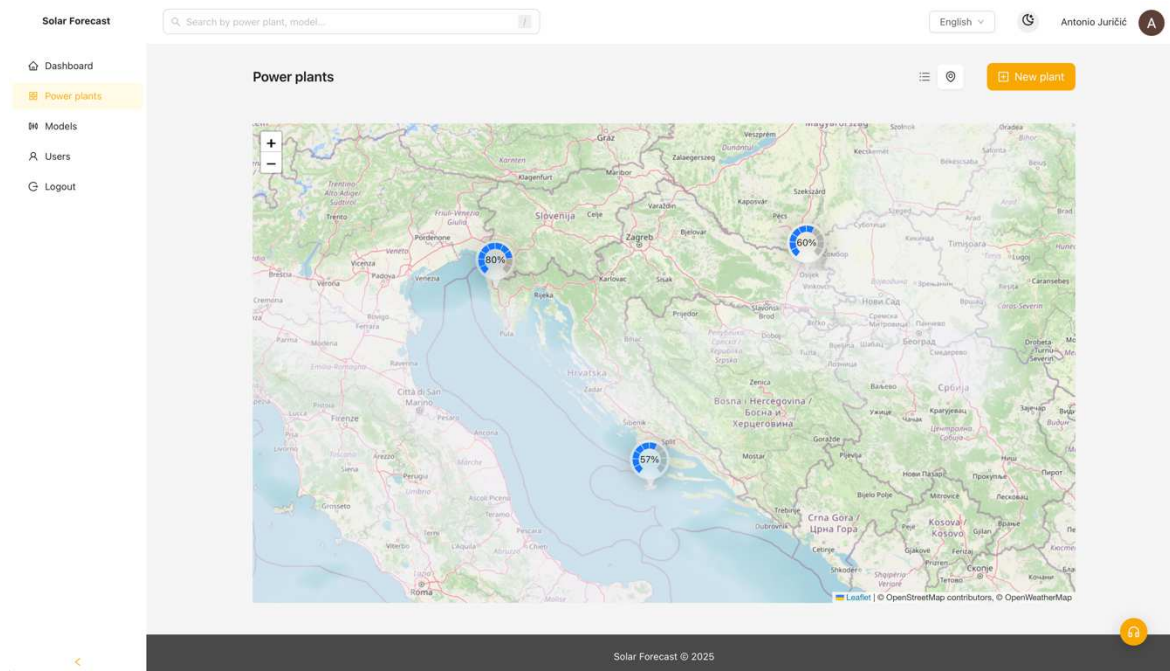
The screenshot displays the 'Power plants' section of the Solar Forecast application. The interface includes a sidebar with navigation links (Dashboard, Power plants, Models, Users, Logout) and a top navigation bar with a search bar, language selector (English), and user profile (Antonio Jurić). The main content area shows a table of power plants with columns for ID, Name, Capacity, Current production, Utilization, Models, Status, and Actions. Three plants are listed: SE Vis (1.44 MW, 0.82 MW, 57%, 2 models, Operational), SE Drava (0.98 MW, 0.58 MW, 60%, 1 model, Not operational), and SE Kaštelir (1 MW, 0.49 MW, 49%, 3 models, Operational). Each row has a corresponding utilization bar and status indicator. A 'New plant' button is located in the top right corner of the table area. The footer shows 'Solar Forecast © 2025'.

ID	Name	Capacity	Current production	Utilization	Models	Status	Actions
1	SE Vis	1.44 MW	0.82 MW	57%	2	Operational	
2	SE Drava	0.98 MW	0.58 MW	60%	1	Not operational	
3	SE Kaštelir	1 MW	0.49 MW	49%	3	Operational	

3 Power plants in total

Slika 20 Stranica s popisom elektrana

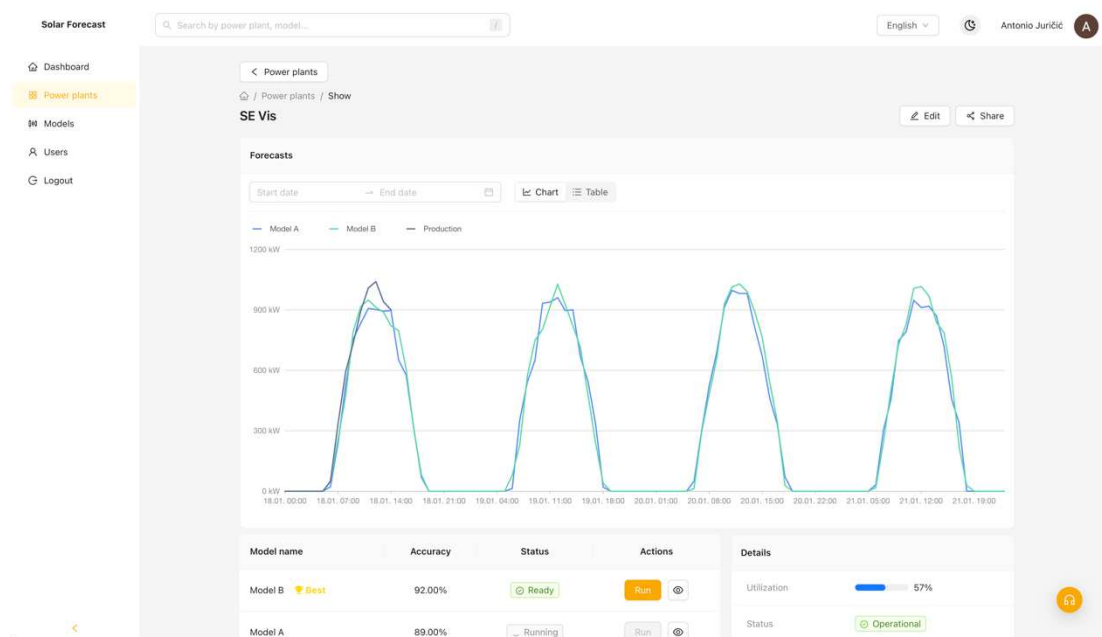
Kartografski prikaz (slika 21) dostupan je za bolju vizualizaciju geografskih lokacija solarnih elektrana. Svaka elektrana, kao i na nadzornoj ploči, označena je postotkom trenutne iskorištenosti, a interakcija s oznakama pruža dodatne informacije o odabranoj lokaciji.



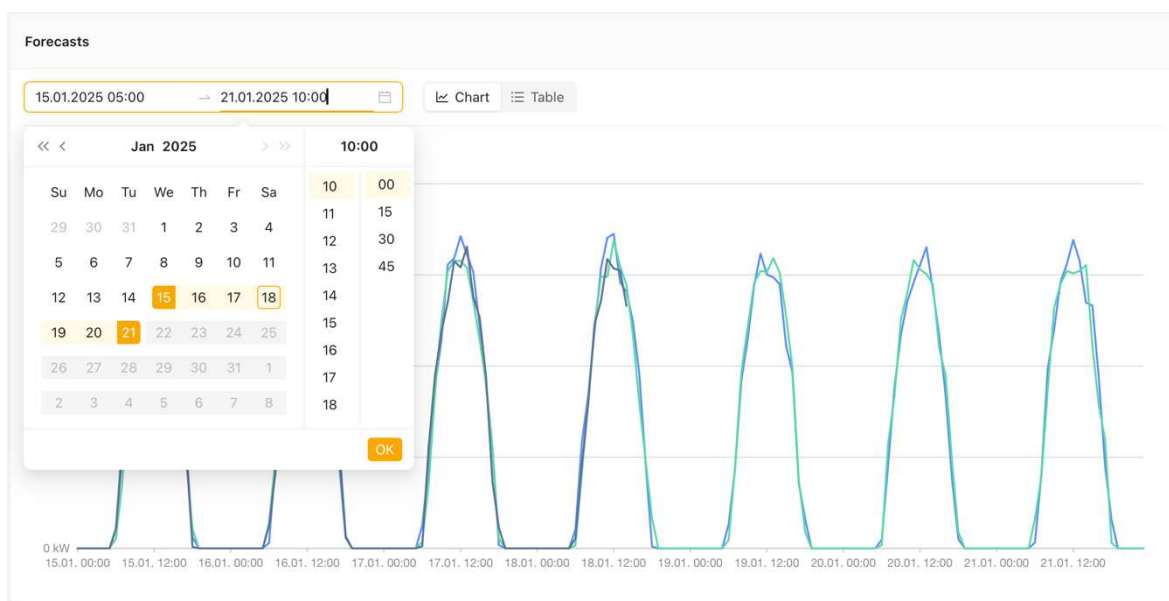
Slika 21 Stranica s prikazom elektrana na karti

Odabirom solarne elektrane otvara se stranica o detaljima elektrane (slika 22). Prikaz korisnicima pruža cjelovit pregled podataka o odabranoj elektrani. Na vrhu se nalazi navigacija, trenutna putanja i naziv elektrane. S desne strane su opcije za uređivanje elektrane i dijeljenje podataka.

Glavni dio stranice zauzima sekcija s podacima o prognozama i proizvodnji u kojoj se na linijskom grafu ili u tabličnom obliku prikazuje usporedba proizvodnje solarne elektrane i prognoza dobivenih njezinim prognostičkim modelima. Korisnici mogu odabrati vremenski interval analize pomoću funkcionalnosti kalendara (slika 23). Kalendar dopušta pregled povijesnih podataka o prognozama i stvarnoj proizvodnji te podataka o prognozama za 72 sata unaprijed. Graf prikazuje dostupne podatke proizvodnje i prognoze za sve dostupne modele. Modele je moguće dodavati, uklanjati i izolirati s prikaza klikom na naziv modela u legendi grafa.



Slika 22 Stranica s detaljima elektrane



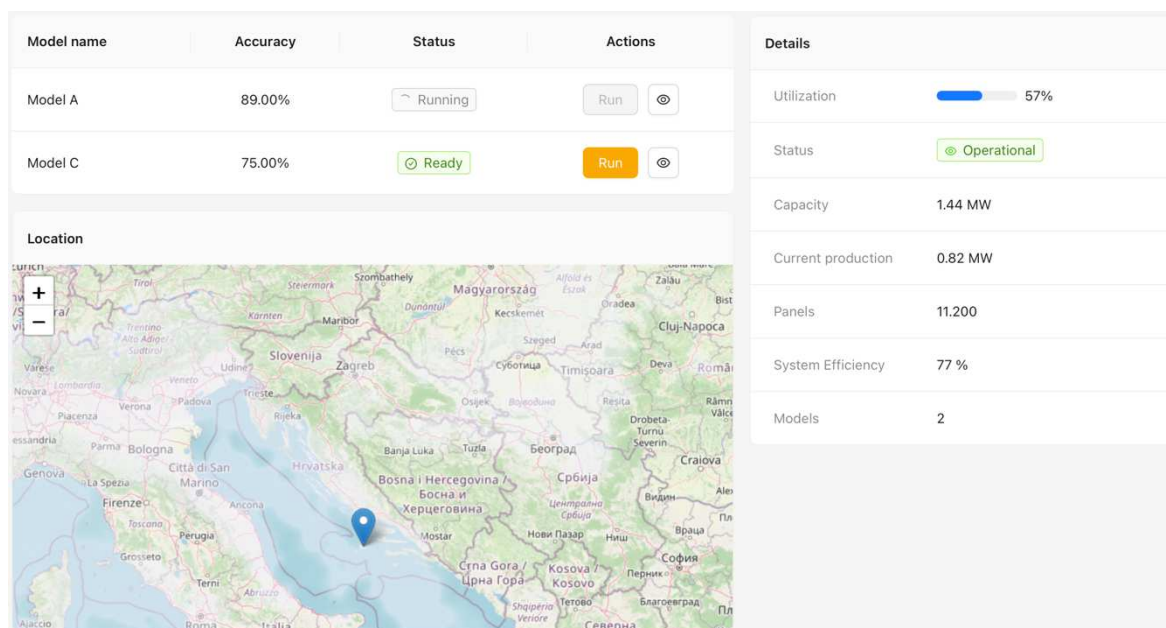
Slika 23 Grafikon s prikazom odabranih prognoza

Na slici 24 vidljiv je tablični prikaz prognoza koji omogućuje precizniji uvid u podatke i njihovu usporedbu. Korištenjem potvrdnih okvira s nazivima modela omogućen je prikaz podataka po želji korisnika. Odabirom vremenskog raspona u tablici filtriraju se podaci za taj raspon. Pokraj tablice nalazi se gumb za izvoz trenutno prikazanih informacija u CSV formatu.

Forecasts			
15.01.2025 05:00 → 21.01.2025 10:00		Chart	Table
☒ Model A ☒ Model B ☒ Production Export CSV			
Date	Model A	Model B	Production
15.01.2025 00:00	0 kW	0 kW	0 kW
15.01.2025 01:00	0 kW	0 kW	0 kW
15.01.2025 02:00	0 kW	0 kW	0 kW
15.01.2025 03:00	0 kW	0 kW	0 kW
15.01.2025 04:00	0 kW	0 kW	0 kW
15.01.2025 05:00	0 kW	0 kW	0 kW
15.01.2025 06:00	62 kW	32 kW	65 kW
15.01.2025 07:00	355 kW	218 kW	316 kW
15.01.2025 08:00	506 kW	545 kW	468 kW
15.01.2025 09:00	664 kW	746 kW	749 kW

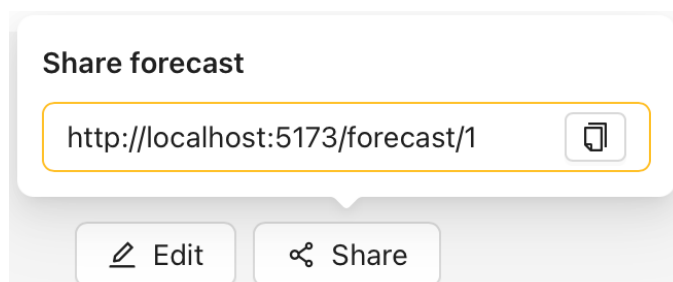
Slika 24 Prikaz prognoza u tabličnom obliku

U sljedećim sekcijama korisniku su prikazani neki od tehničkih podataka o solarnoj elektrani, pregled dostupnih prognostičkih modela te lokacija same elektrane. Tehnički podaci uključuju instalirani kapacitet, trenutnu proizvodnju, razinu iskorištenosti, broj solarnih panela te učinkovitost sustava. Geografska lokacija solarne elektrane prikazana je na interaktivnoj karti koja omogućuje analizu prostornog konteksta. Lista modela prikazuje sažetak performansi, trenutni status te akcije za pokretanje modela i njihov pregled. Sekcije su prikazane na slici 25.

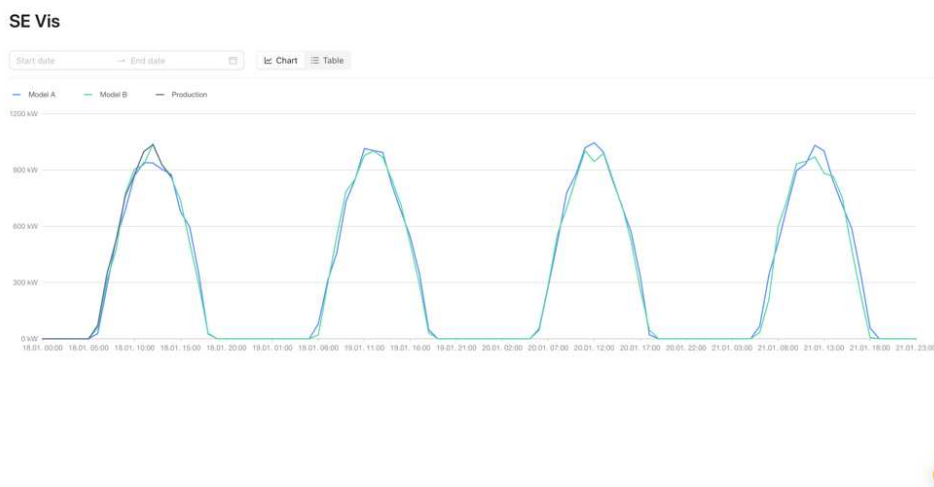


Slika 25 Sekcije s dodatnim detaljima o elektrani

Opcija dijeljenja prognoza solarne elektrane (slika 26) putem URL-a olakšava suradnju s drugim korisnicima i integraciju prognoze na drugim mjestima. Korisnici koji posjeduju poveznicu na prognozu ne moraju proći proces autentifikacije kako bi ju pregledali. Stranica dijeljene prognoze (slika 27) sadrži isključivo pregled modela u tabličnom i grafičkom prikazu, bez mogućnosti uređivanja.



Slika 26 Opcija za dijeljenje prognoze



Slika 27 Stranica dijeljene prognoze

Stranice za kreiranje i uređivanje elektrana omogućuju korisnicima unos i prilagodbu ključnih informacija i parametara svake elektrane. Prikazana je na slici 28.

Forma sadrži polja za osnovne obvezne podatke o elektrani te nekoliko dodatnih parametara. Također je omogućen unos prilagođenih parametara. Korisnici mogu dodavati proizvoljan broj prilagođenih parametara za koje se unosi naziv parametra, vrsta vrijednosti i sama vrijednost parametra.

Slika 28 Stranica za uređivanje parametara elektrane

8.2. Modeli

Aplikacija pruža niz funkcionalnosti za upravljanje modelima kako bi korisnici mogli kreirati, konfigurirati, pokretati i evaluirati prognostičke modele.

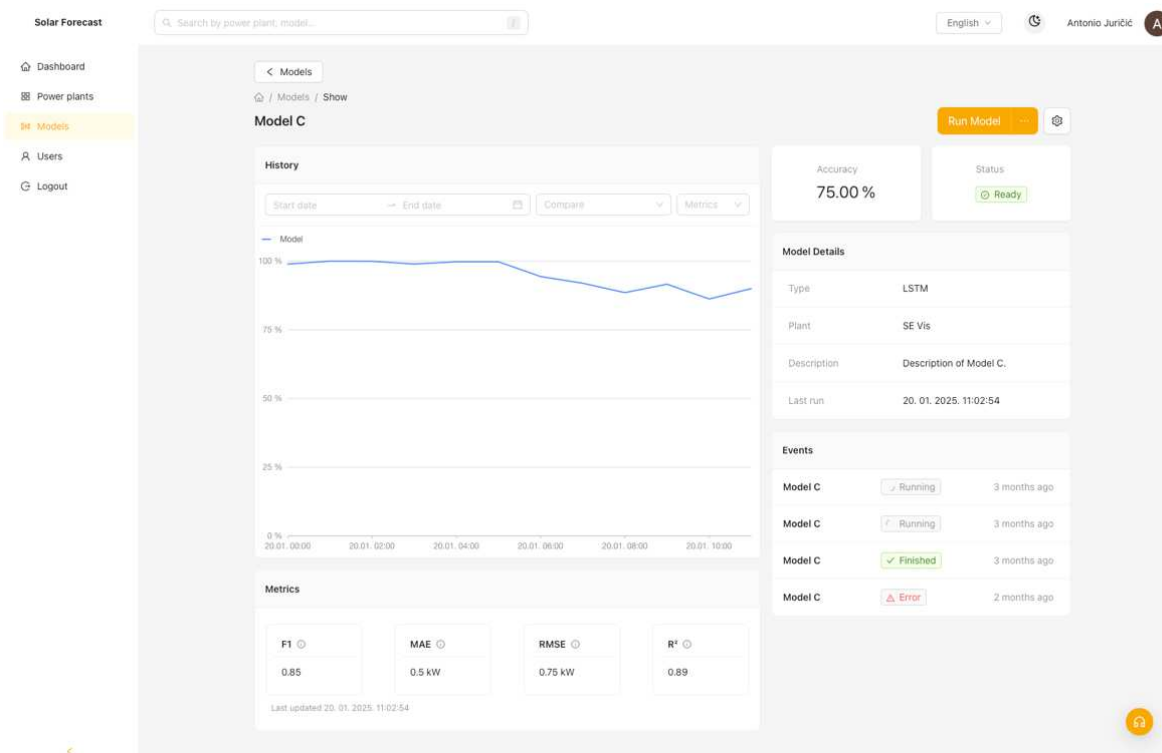
Stranica s popisom prognostičkih modela (slika 29) pruža pregled svih prognostičkih modela organiziranih u tabličnom formatu. Svaki red tablice prikazuje pojedini model sa sljedećim informacijama: ID modela, naziv, pripadajuća elektrana, vrsta modela, trenutna točnost prikazana zvjezdicama te trenutni status. Korisnicima su ovisno o dopuštenjima dostupne akcije za pregled, uređivanje i brisanje modela te gumb za kreiranje novih modela. Paginacija osigurava preglednost pri većem broju modela.

ID	Name	Plant	Type	Accuracy	Status	Actions
1	Model A	SE Vis	Linear Regression	★★★★★	Running	View Edit Delete
2	Model B	SE Drava	Mathematical	★★★★★	Ready	View Edit Delete
3	Model C	SE Vis	LSTM	★★★★★	Ready	View Edit Delete

3 Models in total

Slika 29 Stranica s popisom prognostičkih modela

Stranica za pregled pojedinog modela (slika 30) pruža detaljne informacije o njegovim performansama, tehničkim karakteristikama i povijesti pokretanja.



Slika 30 Stranica s detaljima modela

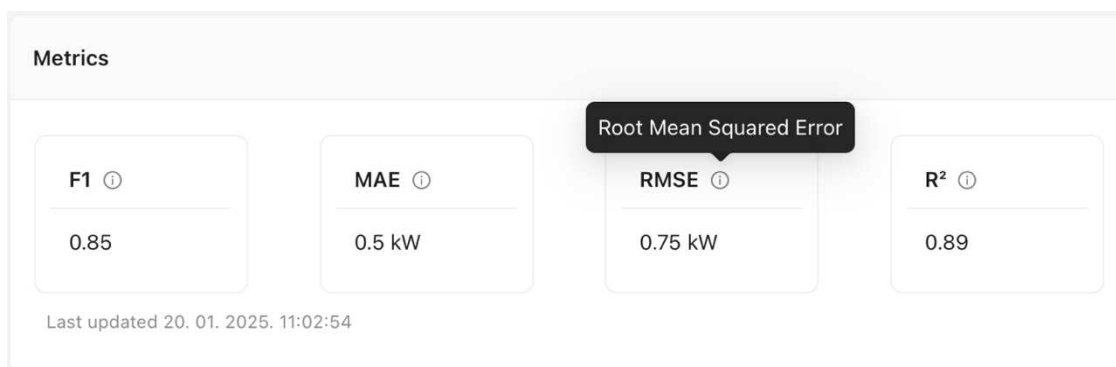
Glavna komponenta na stranici sadrži grafički prikaz povijesnih podataka koji omogućuje analizu promjena točnosti modela tijekom određenog vremenskog perioda. Korisnici mogu odabrati vremenski interval te uspoređivati rezultate na temelju različitih metrika. Na grafu je moguće prikazati ostale dostupne modele za istu elektranu kako bi se mogla napraviti usporedba točnosti među različitim modelima. Grafikon s usporedbom točnosti modela vidljiv je na slici 31.



Slika 31 Grafikon povijesne točnosti modela

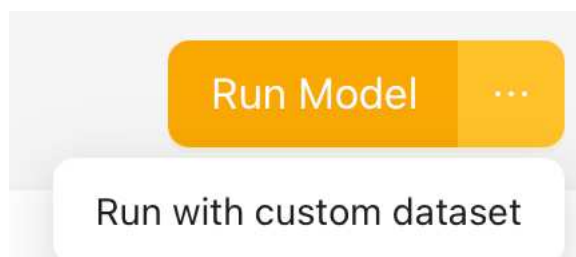
Desno od grafikona nalaze se ključni podaci o modelu, poput trenutne točnosti, statusa, tipa modela, pripadajuće elektrane, opisa i vremena posljednjeg pokretanja. Ovdje se također nalazi povijest događaja povezanih s modelom, poput pokretanja, završetka ili eventualnih grešaka tijekom izvršavanja.

Ispod grafa za prikaz povijesnih podataka o točnosti nalazi se lista trenutnih vrijednosti za različite metrike modela (slika 32). Dostupne metrike se mogu razlikovati za svaki model. Imena metrika prikazana su skraćenicama, a postavljanjem pokazivača iznad ikone informacija prikazuje se pun naziv metrike. Na dnu kartice ispisan je datum posljednjeg ažuriranja metrika.

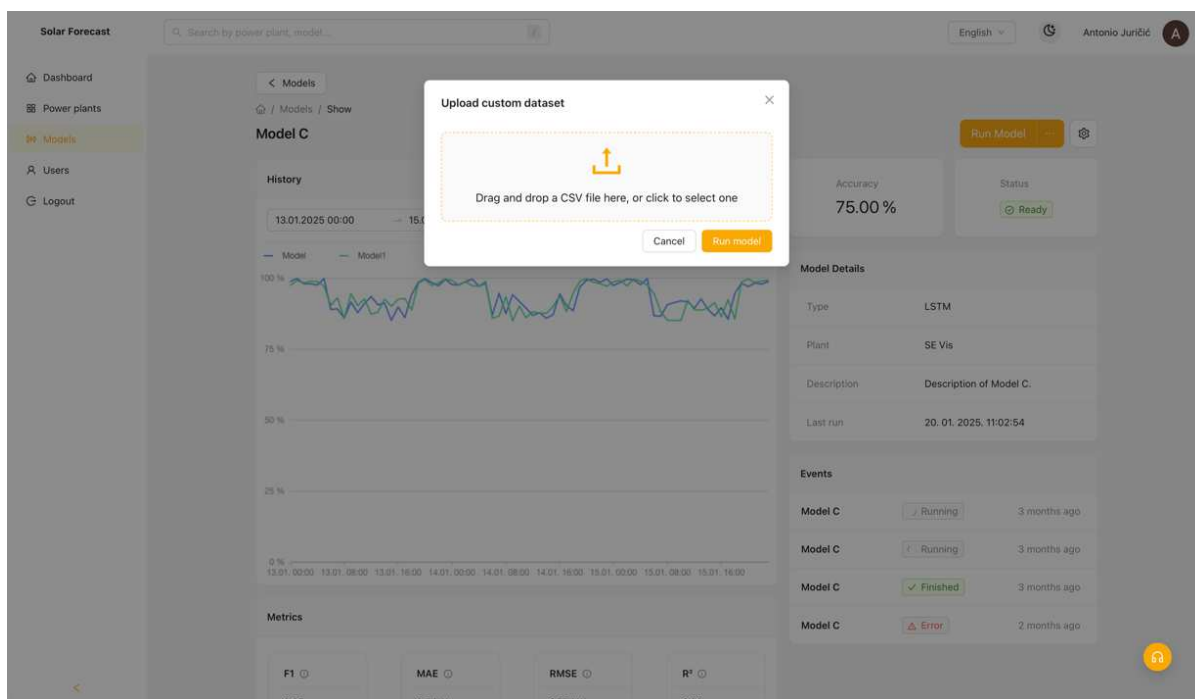


Slika 32 Komponenta s trenutnim vrijednostima metrika

Gumb za pokretanje modela smješten je u gornjem desnom kutu stranice s detaljima. Omogućeno je standardno pokretanje na temelju trenutno dostupnih prognoza ili korištenje prilagođenog skupa podataka prognoza. Postavljanjem pokazivača iznad gumba za pokretanje pojavljuje se dodatna opcija za prijenos prognoze, prikazano na slici 33. Učitavanje prilagođenih podataka ostvareno je kroz modalni prozor s formom za prijenos CSV datoteka (slika 34).



Slika 33 Opcije za pokretanje modela



Slika 34 Modalni prozor za prijenos prognoze

Funkcionalnosti za kreiranje i uređivanje modela integrirane su u sustav kako bi korisnici mogli jednostavno definirati ili prilagoditi prognostičke modele prema specifičnim zahtjevima. Oba procesa sličnog su izgleda i slijede strukturiran pristup podijeljen u nekoliko koraka.

Prvi korak, na slici 35, uključuje unos osnovnih informacija o modelu. Korisnici unose naziv modela, njegov tip te mogu dodati opis koji dodatno objašnjava svrhu ili specifičnosti modela. Model se pomoću padajućeg izbornika povezuje s odgovarajućom solarnom elektranom. Na dnu se nalazi polje za unos same datoteke modela.

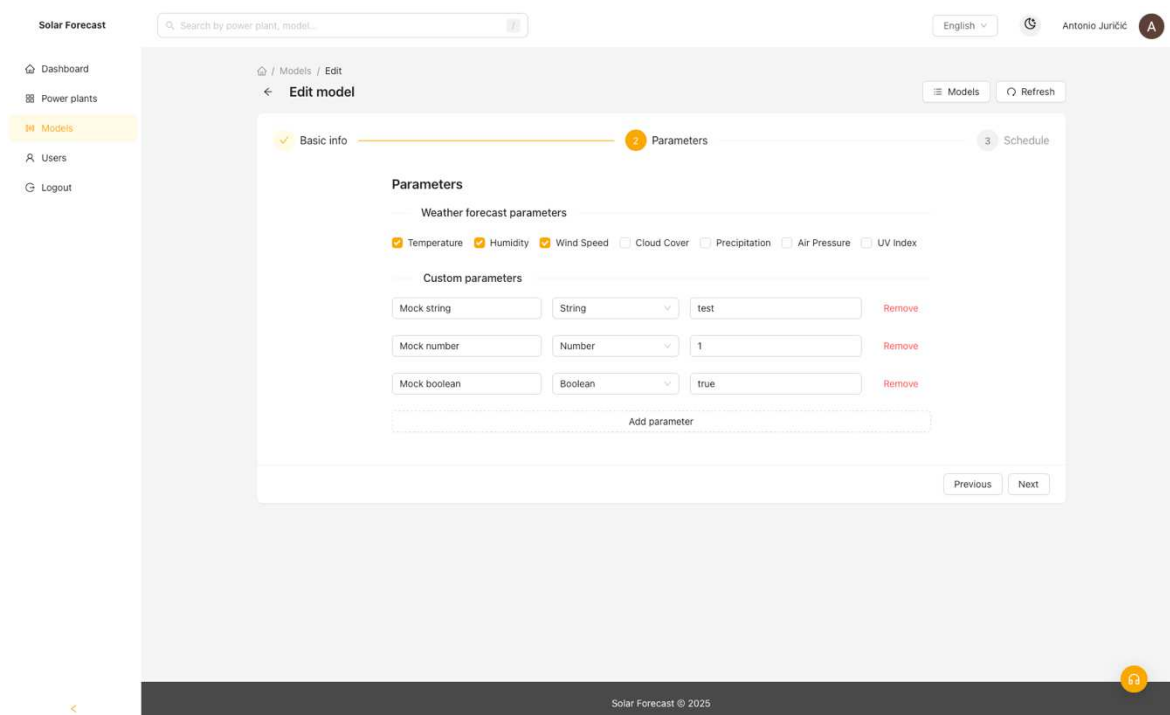
The screenshot displays the 'Edit model' interface. At the top, there's a search bar and user information. The main content area is titled 'Edit model' and contains a form with the following sections:

- Basic info**: Includes a 'Name' field with 'Model C', a 'Type' dropdown menu set to 'LSTM', a 'Description' text area with 'Description of Model C.', and a 'Power plant' dropdown menu set to 'SE Vis'.
- Model file**: A section for uploading the model file, featuring a file icon and the text 'Upload model file. Drag and drop the model file here or click to upload.'

Navigation tabs at the top of the form indicate the current step is '1 Basic info', with '2 Parameters' and '3 Schedule' as subsequent steps. A 'Next' button is located at the bottom right of the form.

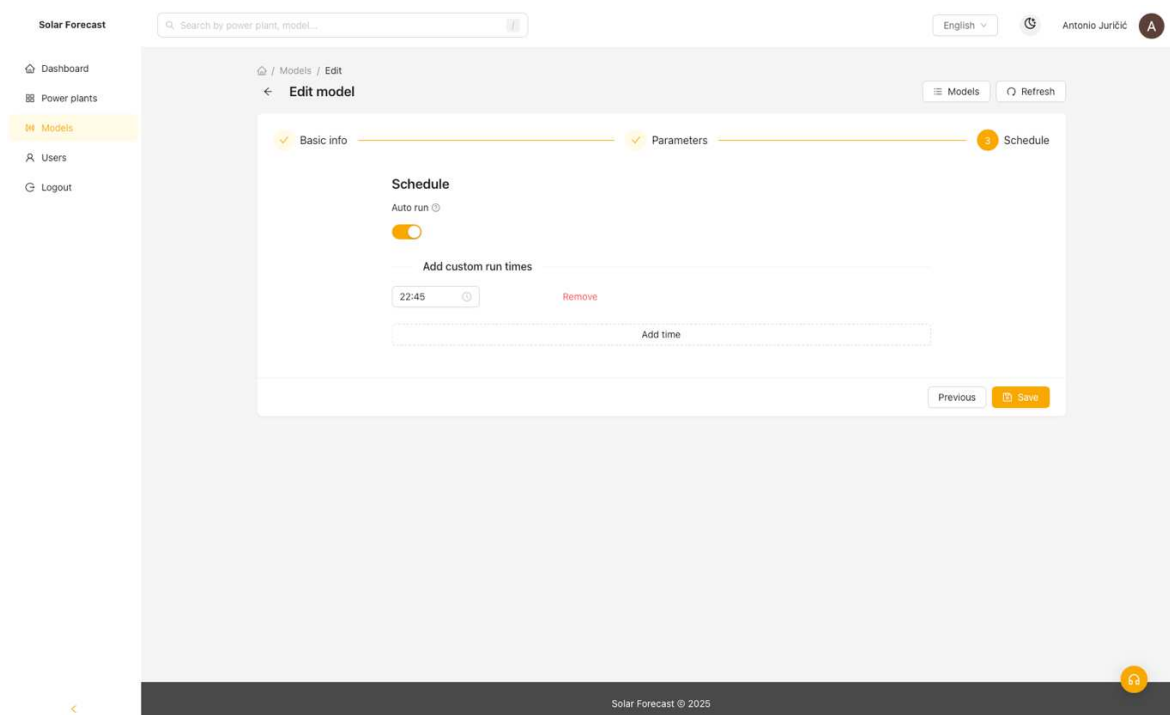
Slika 35 Stranica za uređivanje osnovnih informacija modela

Drugi korak služi definiranju parametara modela. Kroz potvrdne okvire omogućen je odabir trenutno dostupnih vremenskih parametara. Dodatno se mogu unijeti prilagođeni parametri različitih tipova, poput tekstualnih, numeričkih ili logičkih vrijednosti, čime je omogućena veću fleksibilnost i prilagodba modela specifičnim potrebama. Prikazan je na slici 36.



Slika 36 Stranica za uređivanje parametara modela

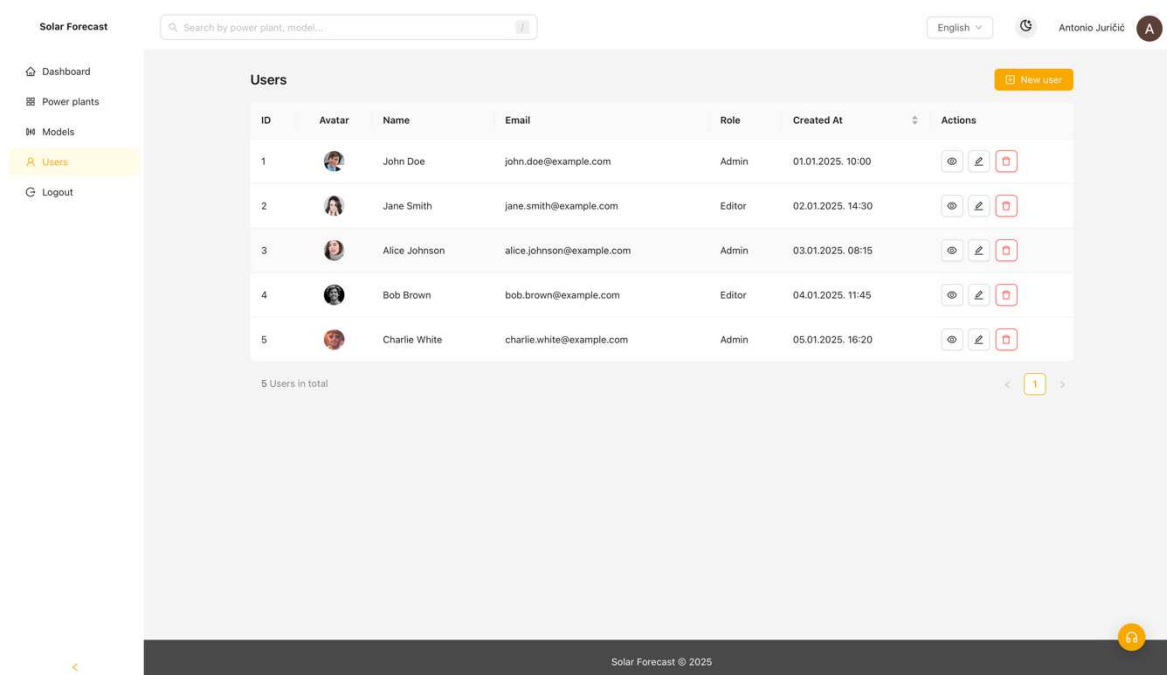
Posljednji korak omogućuje postavljanje rasporeda za pokretanje modela (slika 37). Korisnici mogu aktivirati opciju automatskog pokretanja modela čime se model pokreće čim zaprimi nove podatke prognoza. Dodatno je moguće definirati proizvoljan broj prilagođenih termina pokretanja.



Slika 37 Stranica za uređivanje vremena pokretanja modela

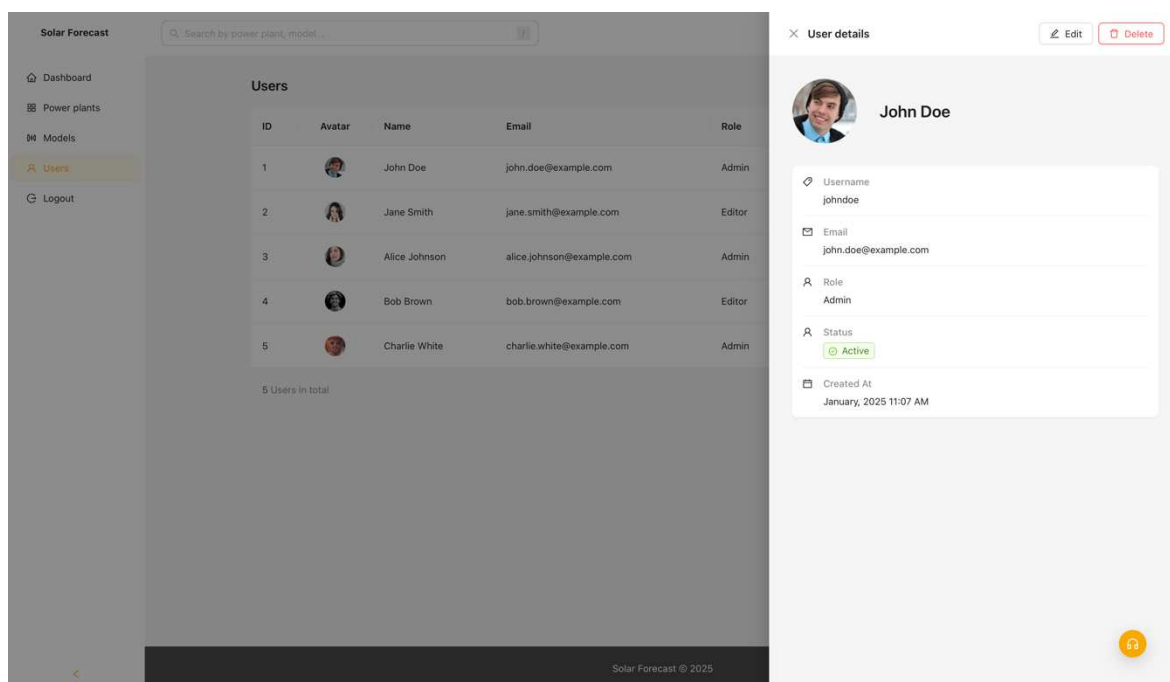
8.3. Korisnici

Sekcija za upravljanje korisnicima ostvaruje pregled i administraciju svih korisnika aplikacije te njihovih uloga. Organizirana je u obliku tabličnog prikaza, gdje su za svakog korisnika prikazani ID, avatar, ime, e-mail adresa, uloga te vrijeme kreiranja korisničkog računa. S desne strane nalaze se ikone za akcije pregleda, uređivanja i brisanja računa. Administratorima i uređivačima dostupan je i gumb za kreiranje novih računa. Stranica s listom korisnika vidljiva je na slici 38.



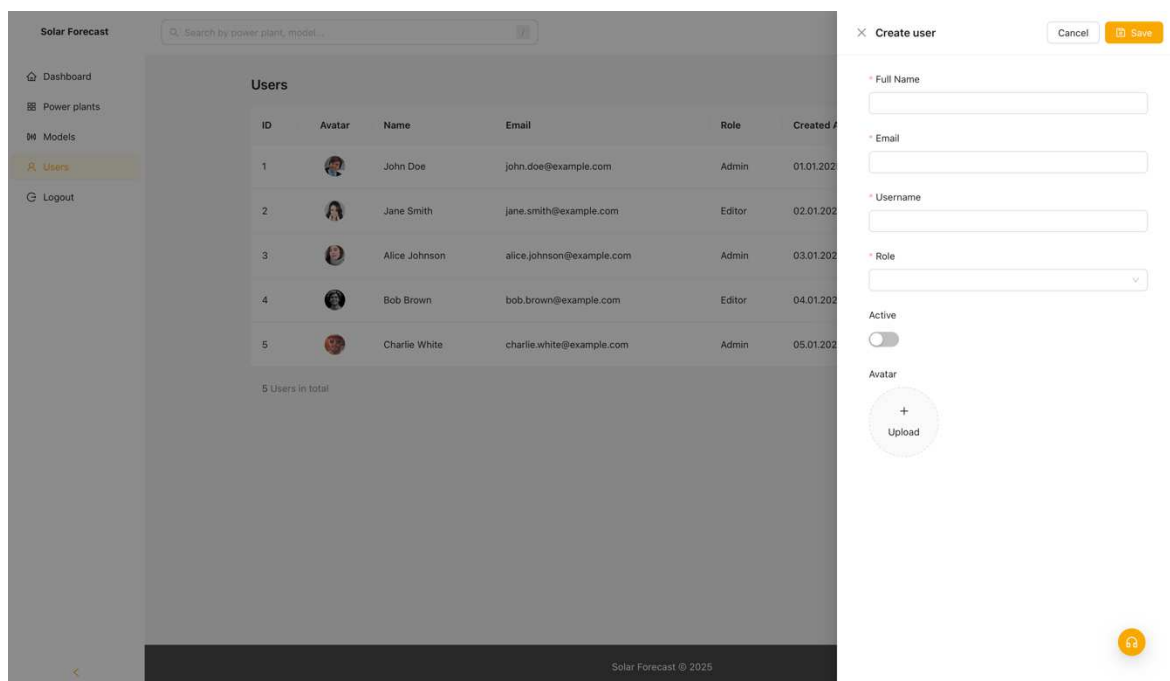
Slika 38 Stranica s listom korisnika

Klikom na ikonu za pregled otvara se bočni prozor s detaljnijim informacijama o korisniku (slika 39), koji uz osnovne informacije prikazuje i trenutni status korisničkog računa. Na vrhu bočnog prozora nalaze se opcije za uređivanje i uklanjanje trenutno prikazanog korisnika.



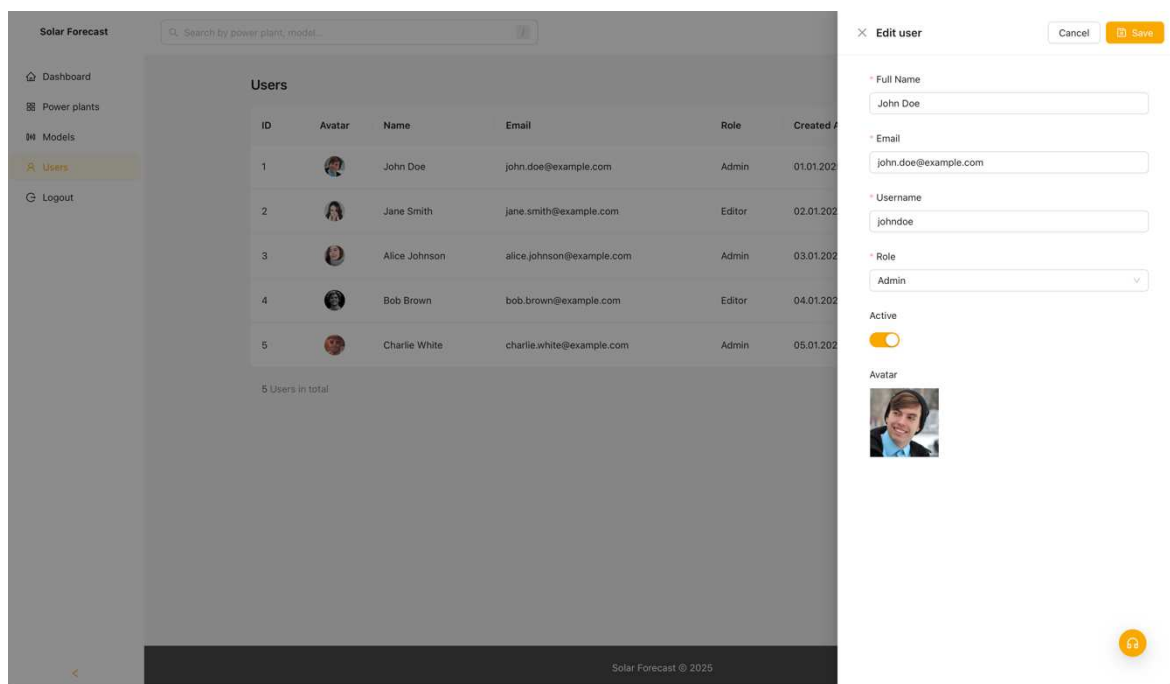
Slika 39 Komponenta za prikaz detalja korisnika

Kreiranje i uređivanje korisnika izvedeni su kroz bočni prozor s formom s nekoliko polja za unos. Prilikom kreiranja novog korisnika, korisnik unosi ime i prezime, e-mail adresu, korisničko ime, dodjeljuje ulogu, određuje status korisnika i postavlja njegov avatar. Na slici 40 nalazi se forma za kreiranje korisnika.



Slika 40 Forma za unos novog korisnika

Kod uređivanja postojećih korisnika, otvara se sličan bočni prozor kao i pri kreiranju. Dostupna su polja za uređivanje osnovnih informacija, statusa, uloge, kao i polje za prijenos avatara. Proces uređivanja korisnika vidljiv je na slici 41.



Slika 41 Stranica za uređivanje korisnika

Zaključak

Porast udjela solarnih elektrana u energetske mreži Republike Hrvatske posljednjih godina, kao i globalno, doprinosi smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima i smanjenju emisija stakleničkih plinova. Međutim, proizvodnja solarnih elektrana inherentno je varijabilna, što predstavlja izazov za stabilnost elektroenergetskog sustava u kojem se koriste u značajnijoj mjeri. Što preciznije prognoziranje proizvodnje ključno je za optimalno planiranje i stabilnost mreže jer omogućuje bolje upravljanje rezervnim kapacitetima i poboljšava ekonomsku isplativost obnovljivih izvora. Iz tog razloga, poslovni procesi vezani uz energetske upravljanje zahtijevaju tehnološka rješenja koja omogućuju što točnije i ažurnije prognoze proizvodnje.

Na temelju tih poslovnih procesa, u sklopu ovog diplomskog rada napravljeno je korisničko sučelje platforme za predviđanje proizvodnje solarnih elektrana u Hrvatskoj te su uspješno ostvareni zadani ciljevi. U sklopu projekta korištene su napredne tehnologije poput Reacta, Refine-a i Ant Designa te je kreiran privremeni API temeljen na Flasku.

Korisničko sučelje zadovoljava postavljene zahtjeve i ostvaruje učinkovitu manipulaciju modelima, elektranama i korisnicima. Što je najvažnije, omogućuje intuitivan pregled prognoza proizvodnje, čime potvrđuje svoju ulogu u podržavanju procesa donošenja odluka u energetske upravljanju.

U daljnjem razvoju planirano je proširenje platforme omogućavanjem podrške za druge obnovljive izvore energije, poput vjetrova ili hidroenergije. Također, potpuna implementacija pozadinskih usluga s robusnim sustavom za pohranu podataka i integracijom API-ja omogućit će primjenu platforme u stvarnim okolnostima i demonstrirati njenu primjenu u praksi.

Literatura

- [1] Sankhe, R., "Solar Energy Prediction and Forecasting", 31. ožujka 2023., <https://nhsjs.com/2023/solar-energy-prediction-and-forecasting/>, 10. siječnja 2025.
- [2] Dada M., Popoola, P. "Recent advances in solar photovoltaic materials and systems for energy storage applications: a review". *Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci*, svez. 12, br. 1, 2023.
- [3] Bagić, B. "Predviđanje proizvodnje sunčane elektrane upotrebom PVGIS sustava". Diplomski rad. Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2018.
- [4] Jurković, M. "Proračun solarnog zračenja u funkciji vremena i nagiba". Završni rad. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2009.
- [5] Vodopija, S. "Prognoziranje proizvodnje iz OIE i upravljanje distribuiranim sustavima za skladištenje električne energije u elektroenergetskoj mreži u tržišnim uvjetima". Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2017.
- [6] Bellanger, A., "Country series: Sun rising for Croatia", <https://www.statkraft.com/newsroom/explained/country-series-sun-rising-for-croatia>, 10. siječnja 2025.
- [7] "OIEH analiza elektroenergetskih kretanja u rujnu 2023.", <https://oie.hr/elektoenergetska-kretanja-u-rujnu-2023/>, 12. siječnja 2025.
- [8] "Neintegrirane sunčane elektrane", <https://www.hep.hr/projekti/obnovljivi-izvori-energije/neintegrirane-suncane-elektrane/3422>, 12. siječnja 2025.

- [9] Ye, H., Yang, B., Han, Y., Chen, N. "State-Of-The-Art Solar Energy Forecasting Approaches: Critical Potentials and Challenges". *Frontiers in Energy Research*. svez. 10, 2022.
- [10] "Virtual DOM", <https://medium.com/naukri-engineering/naukriengineering-virtual-dom-fa8019c626b>, 15. siječnja 2025.
- [11] "Ant Design", <https://www.npmjs.com/package/antd>, 14. siječnja 2025.
- [12] Pagel, G., "Auth0: Technical overview and key benefits", <https://www.weareplanet.com/blog/what-is-auth0>, 14. siječnja 2025.
- [13] "Data Provider", <https://refine.dev/docs/data/data-provider/>, 15. siječnja 2025.
- [14] "Simple REST", <https://refine.dev/docs/data/packages/simple-rest/>, 15. siječnja 2025.

Sažetak

Platforma za predviđanje proizvodnje solarnih elektrana u Hrvatskoj

Ovaj diplomski rad bavi se razvojem platforme za predviđanje proizvodnje solarnih elektrana u Hrvatskoj s ciljem poboljšanja učinkovitosti i optimizacije upravljanja solarnim elektranama. Platforma je razvijena koristeći moderne web tehnologije, a fokus rada je korisničko sučelje implementirano u Reactu. Korisnicima se omogućuje upravljanje solarnim elektranama i prognostičkim modelima te vizualizacija i usporedba generiranih prognoza proizvodnje i informacija o modelima. Sastoji se od web aplikacije na klijentskoj strani, API usluge na serverskoj strani, prognostičkih modela te baze podataka za pregled i pohranu podataka. U radu je opisana motivacija za izradu sučelja platforme, korištene tehnologije, specifikacija zahtjeva i funkcijska specifikacija, dizajn arhitekture te pregled korištenja sučelja platforme.

Ključne riječi: web platforma; react; solarne elektrane; korisničko sučelje; oie; modeli strojnog učenja

Summary

Platform for predicting the production of solar power plants in Croatia

This master's thesis focuses on the development of a platform for forecasting the production of solar power plants in Croatia, with the aim of improving efficiency and optimizing the management of solar power plants. The platform is developed using modern web technologies, with the main focus on the user interface implemented in React. It enables users to manage solar power plants and forecasting models, as well as to visualize and compare generated forecasts and model information. The platform consists of a web application on the client side, an API service on the server side, forecasting models and a database for data review and storage. The thesis describes the motivation for developing the platform's interface, the technologies used, the requirements specification and functional specification, the architecture design and an overview of the platform's interface.

Keywords: web platform; react; solar power plants; frontend; renewable energy; machine learning models