

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
FAKULTET INFORMATIKE

Tin Pritišanac

Strategije iscrtavanja web aplikacija kroz različite programske okvire

ZAVRŠNI RAD

Pula, rujan, 2025. godine

SVEUČILIŠTE JURJA DOBRILE U PULI
FAKULTET INFORMATIKE

Tin Pritišanac

Strategije iscrtavanja web aplikacija kroz različite programske okvire

ZAVRŠNI RAD

JMBAG: 0171256219, izvanredni student
Studijski smjer: Informatika

Kolegij: Web aplikacije
Znanstveno područje : Društvene znanosti
Znanstveno polje : Informacijske znanosti
Znanstvena grana : Informacijski sustavi i informatologija

Mentor: doc. dr. sc. Nikola Tanković

Pula, rujan, 2025. godine



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani _____ Pritišanac Tin _____, kandidat za prvostupnika _____ informatike _____ ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, _____ rujan _____, 2025. _____ godine



IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Prišanac Tin dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom Strategije iscrtavanja web aplikacija kroz različite programske okvire koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama. Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, rujan, 2025. (datum)

Potpis

Sažetak

Odabir optimalne strategije iscrtavanja web aplikacije ključan je za postizanje dobrih performansi i korisničkog iskustva. Ovaj rad usporedno analizira četiri strategije iscrtavanja (CSR, SSR, SSG, ISR) u tri popularna programska okvira za izradu web aplikacija (Next.js, Nuxt.js i SvelteKit). U svakom od programskih okvira implementirana je identična demo aplikacija sa stranicama statičnog i dinamičnog sadržaja, te su na njima vršeni testovi ključnih metrika performansi prikupljeni Lighthouse CLI alatom u kontroliranim mrežnim uvjetima. Analiza rezultata otkriva prednosti i mane svake strategije iscrtavanja ovisno o tipu stranice, te koji programski okviri postižu najbolje performanse u kojim strategijama iscrtavanja.

Ključne riječi : CSR, SSR, SSG, ISR, Next.js, Nuxt.js, SvelteKit, performanse

Abstract

Selecting the optimal rendering strategy for a web application is crucial for achieving good performance and user experience. This paper provides a comparative analysis of four rendering strategies (CSR, SSR, SSG, ISR) across three popular web application frameworks (Next.js, Nuxt.js, and SvelteKit). An identical demo application containing both static and dynamic content pages was implemented in each framework, and key performance metrics were tested using the Lighthouse CLI tool under controlled network conditions. The results highlight the advantages and disadvantages of each rendering strategy depending on the page type, as well as which frameworks achieve the best performance under specific rendering strategies.

Keywords : CSR, SSR, SSG, ISR, Next.js, Nuxt.js, SvelteKit, performance

Sadržaj

1	Strategije iscrtavanja	1
1.1	Iscrtavanje na strani klijenta (CSR)	2
1.2	Iscrtavanje na strani poslužitelja (SSR)	5
1.3	Generiranje statičkih stranica (SSG)	7
1.4	Inkrementalna statička regeneracija (ISR)	9
2	Metodologija	12
2.1	Opis referentne aplikacije	12
2.2	Mjerene metrike Performansi	13
2.3	Iscrtavanje najvećeg sadržaja (LCP)	13
2.4	Ukupno vrijeme blokiranja (TBT)	13
2.5	Kumulativna promjena rasporeda (CLS)	13
2.6	Vrijeme do interaktivnosti (TTI)	14
2.7	Vrijeme do prvog bajta (TTFB)	14
2.8	Dodatne metrike	14
2.9	Lighthouse	14
2.10	Chrome DevTools	14
2.11	Lighthouse reporter	15
2.12	Struktura i prikaz podataka	16
2.13	Testno okruženje	17
3	Rezultati testiranja	19
3.1	Rezultati testiranja stranice O nama	20
3.2	Sažetak rezultata - stranica O nama	24
3.3	Rezultati testiranja stranice Blog	25
3.4	Sažetak rezultata - stranica Blog	29
3.5	Rezultati testiranja stranice pojedinog blog posta	30
3.6	Sažetak rezultata - stranica pojedinog blog posta	34
3.7	Ukupni rezultati	35
3.8	Dodatne metrike	37
4	Analiza rezultata	41
4.1	Analiza ocjena radnih značajki programskih okvira	41
4.2	Analiza ocjena strategija iscrtavanja	41
4.3	Analiza rezultata pojedinih metrika - Web Vitals	42
4.4	Analiza utjecaja tipa stranice na ocjene	43
4.5	Analiza rezultata dodatnih metrika	44
4.6	Pouzdanost izmjerenih podataka	45
4.7	Ključna opažanja	46
5	Zaključak	48
5.1	Glavni nalazi istraživanja	48
5.2	Praktične implikacije za razvoj	49
5.3	Ograničenja istraživanja	49
5.4	Smjernice za buduća istraživanja	49

5.5	Završne napomene	49
	Literatura	51
	Popis slika	53
	Popis tablica	54

1 Strategije iscertavanja

U današnjoj industriji razvoja web aplikacija, više nego ikada prije, izražena je težnja za postizanjem sve većih performansi, skalabilnosti i boljeg korisničkog iskustva. Ta potreba potaknula je istraživanje i razvoj novih rješenja kao odgovor na pitanje kako najoptimalnije i najbrže dostaviti web sadržaj korisniku. Važni čimbenici u odgovoru na ovo pitanje su upravo odabir odgovarajuće strategije iscertavanja web aplikacije s obzirom na vrstu sadržaja, te programski okvir na kojem se temelji aplikacija. Web aplikacije uvelike su evoluirale od starog pristupa serviranja statičnih stranica do današnjih vrlo interaktivnih dinamičnih aplikacija koje zahtijevaju sofisticirane pristupe dostavljanja i prikazivanja sadržaja krajnjem korisniku [1]. Tradicionalne metode iscertavanja poput iscertavanja na serveru (SSR) i generiranja statičnih stranica (SSG) već duže vrijeme čine temelj i osnovni standard u razvoju web aplikacija. Povećanje kompleksnosti aplikacija i potreba za sve višim performansama rezultirali su i nastankom novih hibridnih metoda iscertavanja poput inkrementalne statičke regeneracije (ISR).

Svaka od ovih metoda ima specifične prednosti i nedostatke koji se odražavaju na metrike poput početnog vremena učitavanja sadržaja, razine interaktivnosti, optimizacije za tražilice (SEO) i dr. Odabir strategije iscertavanja uvelike utječe na percepciju krajnjeg korisnika, troškove infrastrukture te kompleksnost u razvoju i arhitekturi aplikacije.

Popularni programski okviri za razvoj web aplikacija kao što su Next.js, Nuxt i SvelteKit podržavaju većinu novih strategija iscertavanja čime otvaraju programerima mnoge mogućnosti za optimiziranje procesa dostave sadržaja korisniku.

Pri odabiru programskog okvira uzimaju se u obzir mnogi faktori, a jedan od njih su i performanse, koje direktno utječu na korisničko iskustvo pogotovo u ograničenim mrežnim uvjetima. U ovom radu provedena je usporedna analiza performansi sva tri programska okvira u svakoj od četiri odabrane strategije iscertavanja (CSR, SSR, SSG i ISR). Postavljeni ciljevi su:

1. Izrada i implementacija funkcionalno i stilski identične web aplikacije s podstranicama dinamičnog i statičnog sadržaja (blog).
2. Sustavno mjerenje i usporedba odabranih metrika performansi što uključuje: vrijeme do prvog bajta (TTFB), prvo iscertavanje sadržaja (FCP), iscertavanje najvećeg sadržaja (LCP), ukupno vrijeme blokiranja (TBT), vrijeme do interaktivnosti (TTI), veličinu paketa (engl. bundle size) i vrijeme izgradnje (engl. build time) za svaku kombinaciju programskog okvira i strategije iscertavanja.
3. Utvrđivanje prednosti i nedostataka svake strategije iscertavanja unutar svakog programskog okvira analizom prikupljenih podataka.
4. Na temelju rezultata analize donijeti zaključke o tome koji programski okvir nudi najbolje performanse s obzirom na odabranu strategiju iscertavanja.

Kako bi rezultati bili reprezentativni i usporedivi sa svakodnevnim korisničkim iskustvom, sva mjerenja izmjerena su u stvarnim uvjetima na aplikacijama postavljenima na platformu Vercel, koja u trenutku pisanja ovog rada jedina nudi mogućnost postavljanja sve četiri strategije iscertavanja u svim navedenim programskim okvirima. Za testiranje je osigurana stabilna i brza internetska veza, no sami testovi provedeni su uz postavljena ograničenja kako bi se jasnije istaknule razlike u performansama. Odabrano je ograničenje veze koje simulira sporu 4G vezu te dvostruko smanjenje brzine procesora.

Ovo istraživanje nastoji pružiti bolji uvid u trenutne mogućnosti iscertavanja koje su dostupne web developerima, te im time pomoći u donošenju boljih odluka pri odabiru programskog okvira i strategije iscertavanja za svoju web aplikaciju. Prvi dio rada baviti će se pregledom najpopularnijih strategija iscertavanja i programskih okvira, a drugi dio prezentacijom i analizom dobivenih rezultata, raspravom te zaključnim razmatranjima.

Pojam strategije iscertavanja odnosi se na proces pretvaranja koda u vizualni sadržaj koji korisnik može vidjeti i s kojim može vršiti interakciju kroz web preglednik [1]. Ovaj proces utječe na korisničko iskustvo određujući koliko brzo će se sadržaj prikazati korisniku i koliko će aplikacija biti prilagodljiva i dinamična. Odabir strategije iscertavanja također bitno utječe i na SEO tj. vidljivost kod pretraživanja internetskim tražilicama [2].

Moderne SPA aplikacije najčešće podržavaju različite strategije iscertavanja, a određene platforme poput Vercela i Netlifyja pružaju dodatnu podršku popularnim programskim okvirima, olakšavajući njihovu konfiguraciju i integraciju. Slijedi kratak pregled strategija iscertavanja obrađenih u ovom radu.

1.1 Iscertavanje na strani klijenta (CSR)

Ova metoda iscertavanja nastala je još početkom 21. stoljeća razvojem programskih okvira poput AngularJS-a, Reacta i Vuea kada je nastao veliki prijelaz u industriji sa monolitne web arhitekture na tzv. jednostranične aplikacije (SPA) koje se za ažuriranje sučelja, navigaciju i dohvaćanje podataka oslanjaju na JavaScript kod koji se izvršava u pregledniku.

Kod ove strategije iscertavanja, na klijent se šalje jedan prazan HTML dokument, zajedno sa svim drugim resursima (CSS i JavaScript paketi). Umjesto da je sav sadržaj već unesen u HTML dokument i odmah spreman za prikazivanje u pregledniku, preglednik najprije mora pričekati da se preuzme sav potreban JavaScript kod, te se njegovim izvršavanjem HTML dokument ispunjava elementima koji će se prikazati. Kod navigacije između stranica, ne dolazi do dohvaćanja novog HTML dokumenta, već JavaScript ažurira postojeći HTML novim sadržajem oslanjajući se na AJAX i XML. Time se izbjegavaju ponovna učitavanja koja usporavaju rad aplikacije i štede mrežne resurse [3].

Prednosti ove strategije su:

- Responzivnost i interaktivnost – promjene na stranici vidljive su odmah, nema potrebe za dohvaćanjem nove stranice prilikom navigacije.
- Ušteda resursa poslužitelja – umjesto dohvaćanja cijelog novog HTML dokumenta za svaku stranicu, dohvaća se samo onaj dio podataka koji je potreban (najčešće u JSON formatu)
- Mogućnost korištenja aplikacije kada mrežna veza nije dostupna (offline) – ovakva funkcionalnost postiže se pametnim predmemoriranjem (engl. caching).
- Uvijek svježiji podaci – budući da stranice nisu prethodno statički generirane, osigurava se svježina prikazanih podataka.

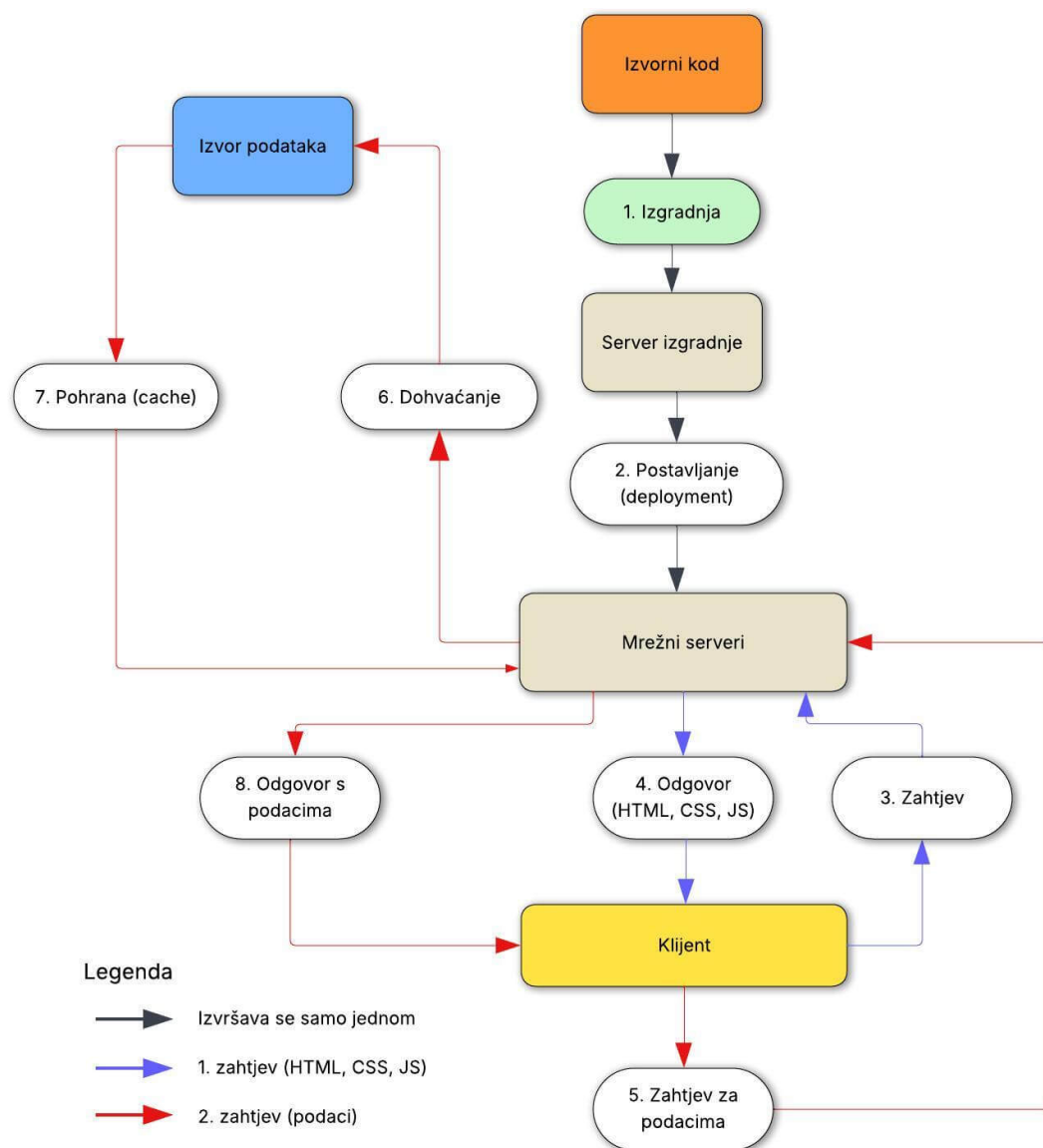
Nedostaci ove strategije su:

- Početna brzina učitavanja – iako je aplikacija generalno brža nakon početnog učitavanja JavaScripta, prvo učitavanje kada korisnik posjeti stranicu može biti znatno sporije zbog potrebe da se učita i izvrši sav potreban JavaScript kod prije iscertavanja sadržaja. Ovo ograničenje posebno dolazi do izražaja prilikom učitavanja na sporijim mrežama.
- Lošiji SEO – iako današnji pretraživači¹ mogu očitati i stranice iscertane ovom strategijom, primarno su optimizirani su za čitanje statičnog HTML-a. Zbog ovog nedostatka, ova se strategija se sve manje koristi za web aplikacije kod kojih je važan dobar SEO.
- Lošije performanse na slabijim uređajima – zbog činjenice da je potrebno najprije izvršiti JavaScript kod na strani klijenta, kod slabijih i starijih uređaja može doći do usporavanja učitavanja i pada performansi.
- Manjak podrške za korisnike koji nisu omogućili JavaScript u pregledniku – bez JavaScripta sadržaj stranice se ne može iscertati.

S obzirom na navedene prednosti i nedostatke ova strategija iscertavanja najbolja je za tipove aplikacija koje imaju slijedeća obilježja:

- potreba za visokom razinom interaktivnosti (dashboards)
- SEO nije bitan čimbenik (admin i korisničke stranice)
- progresivne web aplikacije
- potreba za smanjenjem opterećenja poslužitelja

¹Eng. crawler – automatizirani robot koji tražilica koristi za istraživanje, pronalazak i indeksiranje web stranica [4]



Slika 1: Dijagram iscrtavanja na strani klijenta (CSR)

1.2 Iscrtavanje na strani poslužitelja (SSR)

Kako bi se uklonili nedostaci koje sa sobom nosi iscrtavanje na strani klijenta, razvila se nova popularna strategija iscrtavanja – iscrtavanje na strani poslužitelja (engl. server). Ova strategija se naizgled vraća korak prema dobro poznatom i prvobitnom načinu iscrtavanja – iscrtavanju na poslužitelju i višestraničnoj web aplikaciji (MPA) kakve su postojale od početaka Interneta.

No moderni programski okviri poput Nuxta i SvelteKite spajaju SSR i CSR na način da se prilikom prvobitnog posjeta stranici ona iscrtava na poslužitelju, te se korisniku šalje već popunjen HTML dokument koji preglednik može odmah prikazati, a u pozadini se događa proces zvan hidracija. Ovo je proces u kojem se učitava sav potreban JavaScript kod koji se izvršava i povezuje sa HTML elementima stranice te čini stranicu interaktivnom, slično kao kod CSR strategije. Svaki slijedeći zahtjev za navigaciju između stranica ili ažuriranje podataka događa se na strani klijenta i funkcionira kao CSR aplikacija.

Next.js programski okvir u novijim verzijama koristi tzv. iscrtavanje na strani poslužitelja u stvarnom vremenu (Streaming SSR). U ovom načinu rada, na serveru se postupno iscrtavaju zasebni dijelovi HTML dokumenta po redoslijedu kako podaci postaju dostupni i takav dokument se odmah šalje pregledniku na prikaz. Ovime se nastoji izbjeći nedostatak klasičnog SSR-a a to je čekanje na poslužitelj da generira cijeli HTML dokument prije nego ga pošalje klijentu [5].

Kako bi SSR strategija mogla funkcionirati, na poslužitelju je potrebno odgovarajuće okruženje koje podržava izvođenje JavaScript koda i generiranje HTML stranica. To je najčešće Node.js [6].

Prednosti ove strategije su:

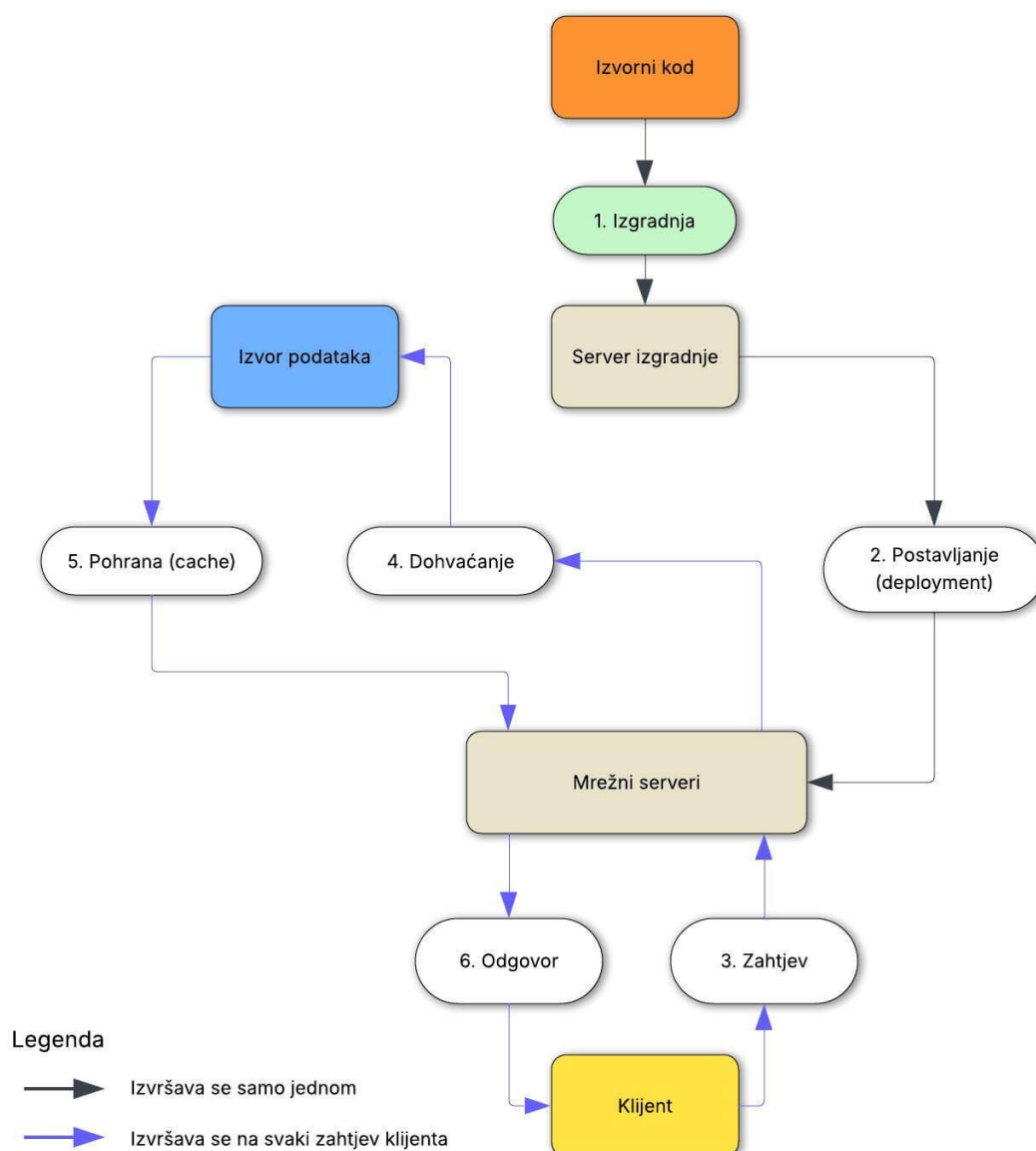
- Nema čekanja na učitavanje JavaScripta – budući da se na zahtjev klijenta na poslužitelju iscrtava HTML datoteka koja mu se odmah dostavlja spremna za prikaz, nema potrebe za čekanjem na preuzimanje i izvršavanje JavaScript koda.
- Bolji SEO – statičke HTML datoteke popunjene sadržajem mnogo su bolje za mrežne pretraživače, koji iz njih brže i lakše dolaze do relevantnih podataka o stranici.
- HTML datoteke mogu se spremiti u pričuvenu memoriju preglednika, što omogućava pregled stranice i kada nema pristupa internetu.
- Svježina podataka – na svaki zahtjev klijenta generira se novi HTML dokument sa ažuriranim podacima.

Nedostaci ove strategije su:

- Čekanje na poslužitelju – iako nema čekanja na izvršavanje JavaScript koda (prije prikaza sadržaja) na strani klijenta, prilikom prve posjete stranici potrebno je pričekati na poslužitelja da iscrta HTML dokument koji nije prethodno generiran. Prethodno spomenuti streaming SSR pokušava ublažiti i ovaj nedostatak.
- Čekanje do interaktivnosti – unatoč brzom prikazu početnog sadržaja stranice, ipak je potrebno pričekati na proces hidracije kako bi stranica postala interaktivna. To uključuje preuzimanje JavaScript paketa i izvršavanje koda što može blokirati glavnu procesorsku nit i time povećati vrijeme do interaktivnosti (TTI).
- Povećano korištenje resursa poslužitelja – generiranje HTML dokumenata na svaki zahtjev korisnika rezultira i većom potrošnjom računalnih resursa poput memorije i procesorske snage, što je kod CSR-a prebačeno na uređaj klijenta.
- Složeniji proces razvoja – zbog činjenice da se određeni dijelovi koda mogu izvršavati samo na klijentu ili samo na poslužitelju, raste i kompleksnost u razvoju aplikacije [3].

S obzirom na navedene prednosti i nedostatke ova strategija iscrtavanja najbolja je za tipove aplikacija koje imaju slijedeća obilježja [1]:

- stalna potreba za svježim i ažuriranim podacima
- visoka razina personalizacije (custom dashboards)
- vizualizacija podataka u realnom vremenu
- dobar SEO



Slika 2: Dijagram iscrtavanja na strani poslužitelja (SSR)

1.3 Generiranje statičkih stranica (SSG)

Kod ove strategije iscrtavanja stranice se unaprijed iscrtavaju na poslužitelju prilikom izgradnje aplikacije, te se zatim poslužuju klijentu na zahtjev, bez potrebe za ponovnim iscrtavanjem pri svakom zahtjevu kao kod SSR-a. Ovakve stranice se mogu i spremiti u priručnu memoriju (engl. cache) koristeći CDN radi brže distribucije korisnicima [7], [8].

Glavne prednosti ove strategije su [1]:

- Najbrže moguće učitavanje stranice – budući da su stranice statični HTML, nije potrebno čekati na njihovo iscrtavanje na poslužitelju ili na preuzimanje i izvršavanje JavaScript koda.

- Odlične su za SEO – budući da se brzo učitavanju i sadrže sav potreban sadržaj idealne su za pregled od strane pretraživača.
- Nisko opterećenje poslužitelja – nema potrebe za obradom ili iscrtavanjem HTML-a, već je spreman za slanje klijentu.
- Najniži troškovi infrastrukture - manjak potrebe za velikim računalnim resursima.

Nedostatci ove strategije su:

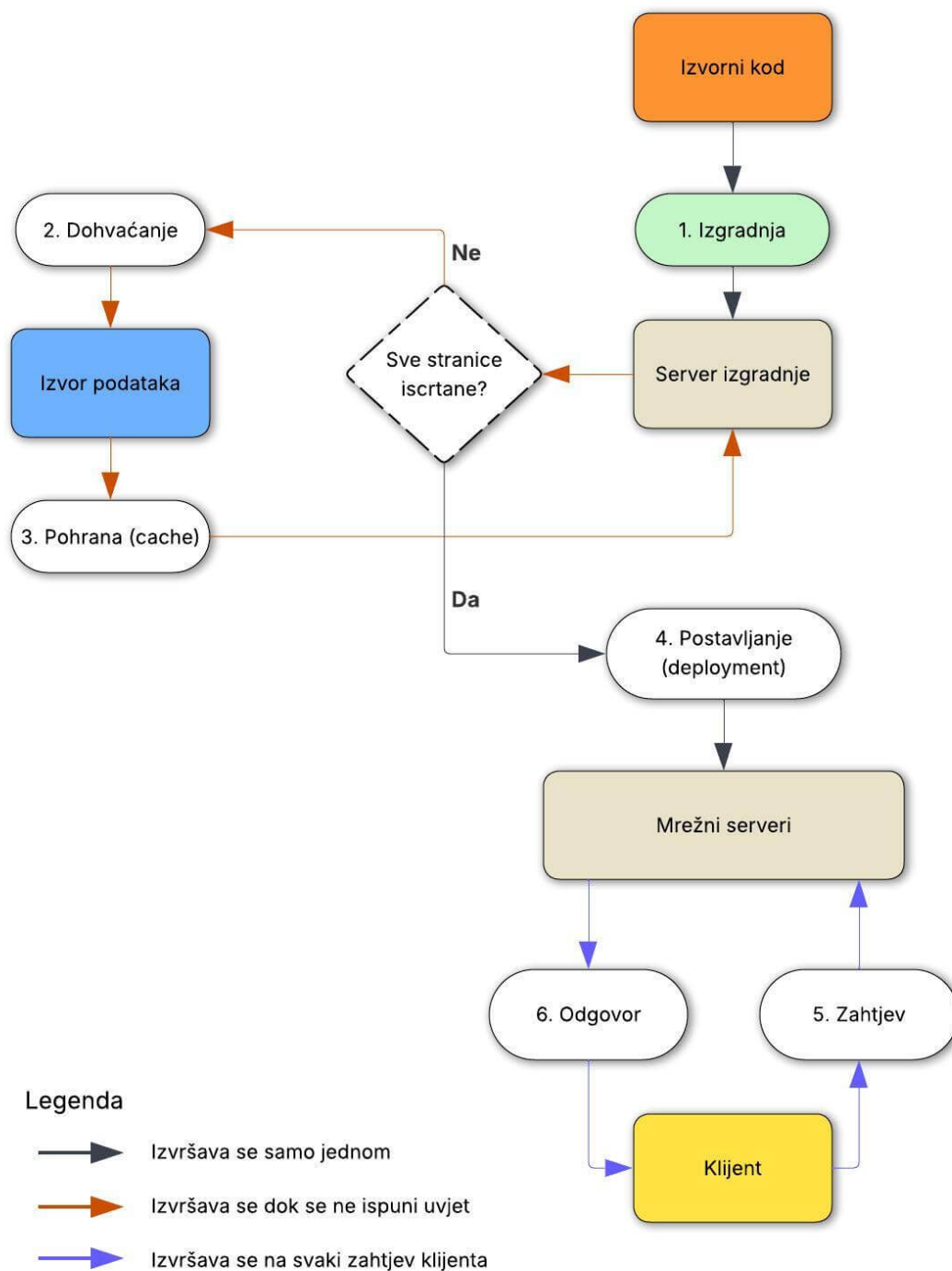
- Duže vrijeme izgradnje ako postoji veliki broj stranica.
- Za ažuriranje sadržaja potrebno je ponovno inicirati izgradnju i postavljanje (engl. build and deploy).
- Nije pogodno za stranice sa dinamičnim i često promjenjivim sadržajem.

S obzirom na navedene prednosti i nedostatke ova strategija iscrtavanja najbolja je za stranice kod kojih se sadržaj gotovo nikada ili vrlo rijetko mijenja poput:

- marketinških stranica
- blog postova
- e-commerce proizvoda
- dokumentacije i pomoći

Generalno pravilo je postaviti pitanje: može li se stranica iscrtati unaprijed, prije korisničkog zahtjeva? Ako je odgovor potvrđan, SSG se nameće kao logičan izbor [7].

Postoji mogućnost kombiniranja SSG-a i CSR-a gdje se stranica servira sa prethodno iscrtanim statičnim dijelom koji se ne mijenja, a po učitavanju JavaScripta na klijentu se ispunjavaju dinamični dijelovi stranice svježim podacima. Ovo je alternativa korištenju SSR strategije, koja također ima svoje prednosti i nedostatke [7].



Slika 3: Dijagram generiranja statičkih stranica (SSG)

1.4 Inkrementalna statička regeneracija (ISR)

Ovu strategiju iscrtavanja neki nazivaju i hibridnim web razvojem jer kombinira generiranje statičnih stranica (SSG) sa iscrtavanjem na strani poslužitelja (SSR).

Funkcionira na način da se najprije iscrtava statična stranica kojoj se odredi

vrijeme revalidacije, tj. vrijeme nakon kojega će se ona smatrati zastarjelom i biti će ju potrebno ponovno iscrtati. No okidač za novo iscrtavanje biti će zahtjev prvog posjetitelja nakon vremena isteka revalidacije. Tom prvom posjetitelju će se odmah isporučiti stara verzija stranice bez obzira koliko je dugo prekoračeno njeno vrijeme validacije, te će se nakon uspješnog ponovnog iscrtavanja u pozadini, nova verzija stranice poslužiti prvom slijedećem korisniku. Na ovaj način novo generirana stranica se dodaje u web aplikaciju.

Uobičajeni način postavljanja na poslužitelj (engl. deployment) jest atomsko postavljanje, tj. kada se cjelokupni kod, resursi i konfiguracija ažuriraju u isto vrijeme. Ovaj način postavljanja čuva integritet stranice i omogućava jednostavan opoziv i povratak na prijašnju verziju u slučaju potrebe (engl. rollback). Svako pojedinačno postavljanje je jedna cjelovita verzija web aplikacije. ISR strategija narušava ovaj integritet budući da stalno nadodaje novo generirane stranice u web aplikaciju, odvojeno od početno izgrađenog koda. Zbog ovog spremanja u pričuvnu memoriju (engl. caching) je vrlo teško učiniti povratak na prethodnu verziju, a pri tome osigurati da svi korisnici dobiju istu verziju stranice [9].

Potrebno je naglasiti da se ova strategija oslanja na mrežu za isporuku sadržaja (CDN) koju pruža platforma na koju je postavljena web aplikacija. Platforma poput Vercela također olakšava cijeli proces konfiguracije i postavljanja aplikacije. Ovu metodu moguće je implementirati i neovisno o platformi, ali to podiže kompleksnost.

Implementacija ove strategije uvelike se razlikuje među programskim okvirima. Npr. Next.js generira statične stranice za dinamične rute prilikom vremena izgradnje aplikacije (build time) te ih obnavlja na prvu posjetu korisnika nakon isteka vremena revalidacije. Nuxt pak generira traženu stranicu tek na prvi zahtjev korisnika a ne prilikom izgradnje aplikacije [10].

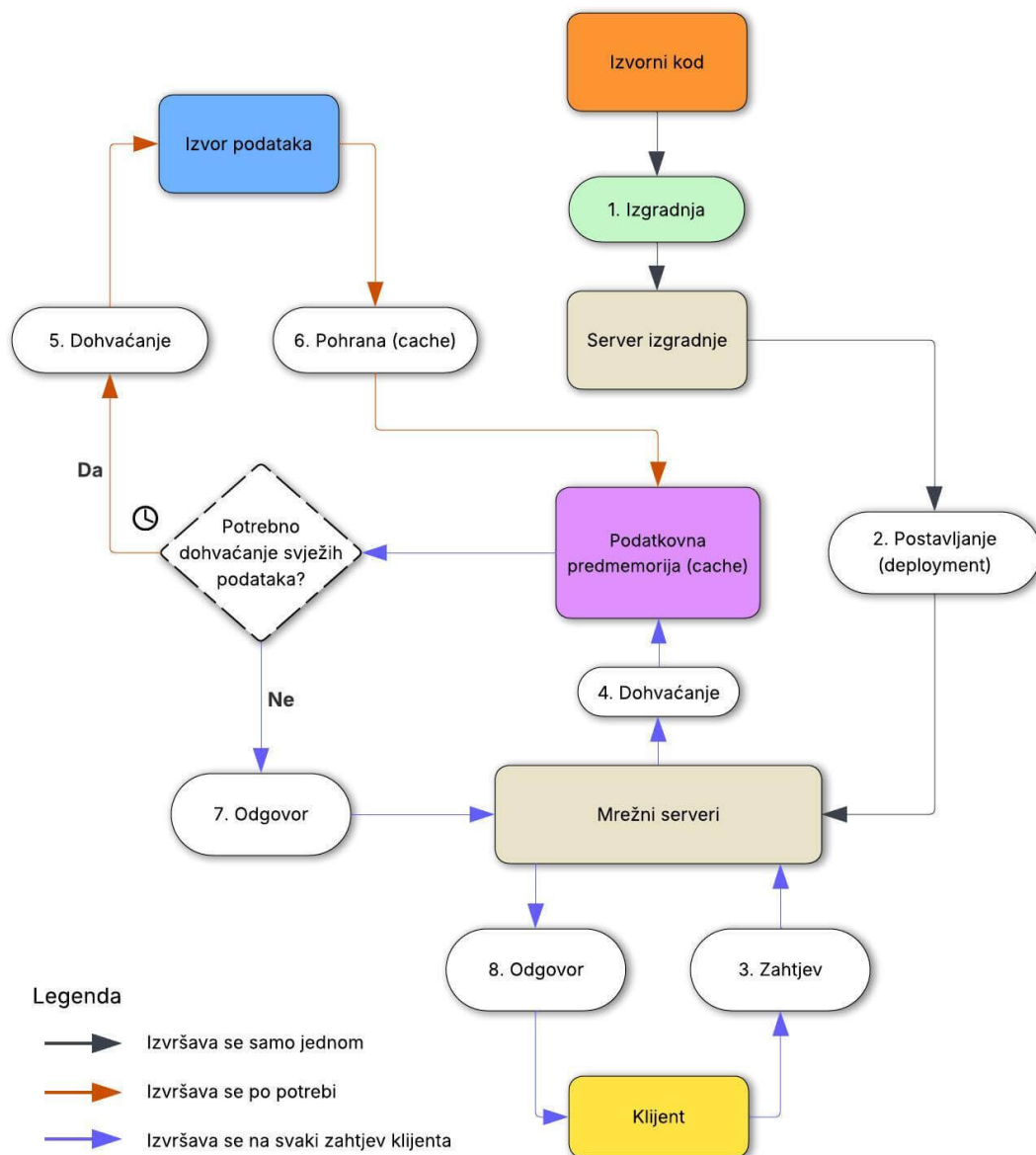
Prednosti ove strategije su:

- visoke performanse slične SSG strategiji – za većinu korisnika koji dobiju prethodno spremljenu stranicu putem CDN-a
- mogućnost periodičnog ažuriranja stranica novim sadržajem bez potrebe za ponovnom izgradnjom čitave aplikacije
- niži trošak od SSR-a
- efektivno skaliranje do velikog broja stranica
- odličan SEO

Nedostatci ove strategije su [9]:

- korisnici koji prvi posjete stranicu nakon isteka perioda revalidacije dobivaju zastarjelu verziju stranice

- potrebna veća razina konfiguriranja – postavljanje optimalnog vremena revalidacije na svaki tip stranice posebno
- složenije debugiranje – teže razumjevanje problema koji nastanu zbog spremanja u priručnu memoriju



Slika 4: Dijagram inkrementalne statičke regeneracije (ISR)

2 Metodologija

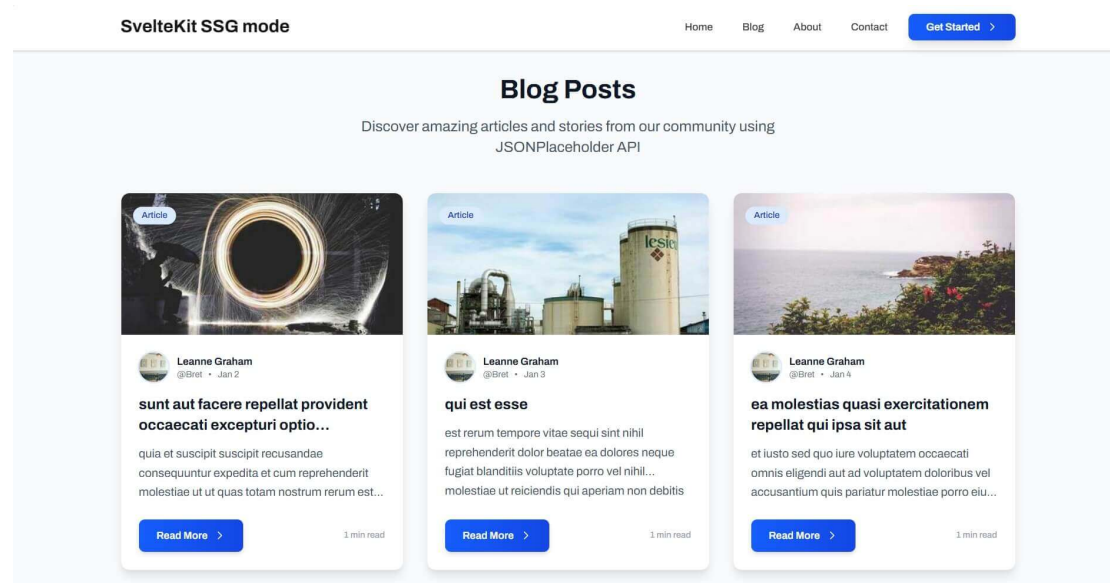
2.1 Opis referentne aplikacije

Za potrebe testiranja performansi različitih programskih okvira kroz različite strategije iscertavanja bilo je potrebno napraviti demo aplikaciju koja bi bila reprezentativna, ali ne presložena, te bi uključivala stranice sa statičnim i dinamičnim sadržajem.

Predstavnik statične stranice je stranica „O nama“. Ovakve stranice najčešće koriste statičan sadržaj koji se vrlo rijetko mijenja, te često čine dio web aplikacija raznih tvrtki. Dinamični dio predstavljaju stranice bloga, također popularnog sadržaja na webu.

Kako bi se održala konzistentnost implementacije u svim programskim okvirima navedene stranice imaju istu strukturu (HTML) i za stiliziranje koriste Tailwind CSS okvir koji je vrlo popularan i raširen zbog svoje jednostavnosti korištenja i integracije sa modernim programskim okvirima.

Za font je korišten Google font obitelji Archivo. Sve slike osim open graph sike poslužuju se kroz servis Lorem Picsum prema id-ju ili seedu kako bi se izbjeglo učitavanje nasumičnih slika pri svakoj posjeti stranice. Za dohvaćanje sadržaja bloga korišten je popularni servis za posluživanje testnih podataka JSONPlaceholder.



Slika 5: Prikaz blog podstranice

Izvorni kod svake aplikacije uz URL poveznice dostupan je na sljedećim repozitorijima:

- [Aplikacije CSR](#)
- [Aplikacije SSR, ISR, SSG](#)

2.2 Mjerene metrike Performansi

Za mjerenje performansi aplikacije odabrane su standardne metrike poznate pod nazivom Web vitals nastale na Googleovu inicijativu kako bi se standardiziralo mjerenje performansi i dobio bolji uvid u korisničko iskustvo. Osim glavnih metrika u istraživanje su uključene i dodatne metrike poput vremena izgradnje, vremena skriptiranja i veličine JavaScript paketa koji se dostavlja klijentu. Slijedi kratak pregled svih korištenih metrika.

2.3 Iscrtavanje najvećeg sadržaja (LCP)

LCP, odnosno „Largest Contentful Paint“, mjeri koliko je vremena potrebno da se na stranici prikaže njen najveći vidljivi element. Proteklo vrijeme do 2,5 sekunde smatra se dobrim pokazateljem performansi. U obzir se uzima samo onaj dio elementa koji korisnik može vidjeti – dijelovi koji su odrezani ili nisu vidljivi se zanemaruju. Tijekom učitavanja stranice, koje se često odvija u nekoliko koraka, taj najveći element može se promijeniti. Prvo se zabilježi vrijeme učitavanja tada najvećeg elementa, a ako se kasnije pojavi još veći, mjeri se vrijeme učitavanja novog elementa. Kada korisnik počne koristiti stranicu, preglednik prestaje pratiti nove elemente jer interakcije mogu promijeniti ono što je vidljivo. LCP se zato koristi kao pokazatelj trenutka kada je glavni sadržaj stranice postao dostupan korisniku [11].

2.4 Ukupno vrijeme blokiranja (TBT)

TBT (engl. Total Blocking Time) predstavlja ukupan vremenski period koji protekne od otvaranja stranice do trenutka kada korisnik može normalno stupiti u interakciju s njom. Pod interakcijom se podrazumijevaju radnje poput klika mišem, dodira zaslona ili unosa putem tipkovnice. Vrijeme se računa tako da se zbroje svi dijelovi dugih zadataka (onih koji traju više od 50 milisekundi), a koji sprječavaju preglednik da odmah odgovori na korisničke radnje. Ovi se zadaci bilježe u razdoblju između početnog prikaza sadržaja (FCP) i trenutka kada stranica postane potpuno funkcionalna. Sve što prelazi granicu od 50 ms kod pojedinog zadatka ulazi u ukupnu vrijednost TBT-a [11].

2.5 Kumulativna promjena rasporeda (CLS)

Pomicanje sadržaja na web stranici tijekom njenog učitavanja naziva se pomak izgleda (engl. layout shift). Do toga najčešće dolazi zbog asinkronog učitavanja sadržaja ili dodavanja novih DOM elemenata preko postojećih komponenti. CLS prati najveći niz takvih pomaka koji se dogode unutar jednog vremenskog okvira od maksimalno 5 sekundi, pri čemu između pojedinih pomaka ne smije proći više od jedne sekunde. Ova metrika je važna jer pokazuje stabilnost stranice, a poželjno je da rezultat bude što niži – vrijednost 0.1 smatra se dobrim rezultatom [11].

2.6 Vrijeme do interaktivnosti (TTI)

Ova metrika označava koliko je vremena potrebno da web stranica postane potpuno interaktivna. To znači da se prvo prikaže koristan sadržaj (što mjeri FCP), zatim da stranica reagira na korisničke radnje u roku kraćem od 50 milisekundi te da je većina upravljača događaja (engl. event handler) učitana i spremna. Vrijeme kraće od 3,8 sekundi smatra se dobrim rezultatom. Spor TTI često je uzrokovan loše optimiziranim JavaScript kodom. [11]

2.7 Vrijeme do prvog bajta (TTFB)

Vrijeme do prvog bajta označava koliko vremena prođe od trenutka kada preglednik pošalje zahtjev prema serveru do trenutka kada primi prvi bajt povratnog odgovora. Ova metrika prikazuje koliko brzo se uspostavlja veza i koliko brzo server reagira, uključujući sve faze poput preusmjerenja, DNS rezolucije, TLS dogovora i slanja zahtjeva. Niža vrijednost TTFB-a znači da se stranica učitava brže, što pozitivno utječe i na ostale važne metrike poput FCP-a. Idealno bi bilo da TTFB ostane ispod 0,8 sekundi radi optimalnog korisničkog iskustva [12].

2.8 Dodatne metrike

- Veličina paketa (engl. bundle size) predstavlja ukupnu veličinu svih JavaScript datoteka koje se preuzimaju prilikom početnog učitavanja stranice – uključujući sve JS dijelove potrebne za prikaz početne stranice.
- Vrijeme izgradnje (engl. build time) odnosi se na trajanje procesa generiranja statičkih stranica prilikom pretvaranja izvornog koda u izvršni kod. Vrijeme izgradnje može se očitati iz terminala prilikom lokalne izgradnje ili pak iz Vercelovih zapisa izgradnje (eng. build logs).
- Ukupno trajanje izvršavanja skripti (engl. total scripting time) predstavlja zbroj vremena izvršavanja svih JavaScript skripti na stranici. Ova metrika pomaže pri identifikaciji potencijalnih uskih grla u performansama aplikacije.

2.9 Lighthouse

Glavni i de facto standard za testiranje performansi web aplikacija je Googleov alat otvorenog koda imena Lighthouse. Ovaj alat integriran je u Chrome preglednik, ali i dostupan kao zasebna CLI aplikacija. Pruža sve što je potrebno za provođenje testova performansi i SEO-a i generiranje izvještaja u različitim formatima, što ga čini vrlo funkcionalnim i korisnim u unapređivanju tehničke strane web aplikacija i korisničkog iskustva [13].

2.10 Chrome DevTools

Chrome DevTools je set alata unutar Chrome preglednika koji između ostalog omogućuju analizu performansi web stranice. U kontekstu ovog rada najvažniji su

paneli Performance i Network koji prikazuju brzinu učitavanja stranice i resursa. Ključna funkcionalnost je Performance Insights, koja snima korisničku sesiju i bilježi metrike poput FCP i LCP. Ovaj alat korišten je u analizi veličine JavaScript paketa koje klijent preuzima i izvršava [11].

2.11 Lighthouse reporter

Za potrebe ovog rada bilo je potrebno izvesti 360 Lighthouse testova² te prikupljene podatke obraditi, grupirati i sažeti (izraditi master tablice sa prosječnim vrijednostima). Zbog opsežnosti testiranja jedini praktični način bilo je napraviti Node.js skriptu koja će na temelju definiranih parametara koristeći Lighthouse CLI alat izvršiti sve testove i generirati datoteke s rezultatima u CSV formatu za daljnju analizu podataka. Aplikacija za testiranje sastoji se od 3 ključna dijela:

1. konfiguracijske JSON datoteke u kojoj su definirani svi parametri testiranja
2. datoteke LightHouseTestRunner.js koja izvozi istoimenu klasu sa svim metodama važnim za različite načine testiranja
3. datoteke cli.js koja upravlja testovima i pokreće ih kroz terminal sa odgovarajućim argumentima

Aplikacija za testiranje stavlja korisniku na raspolaganje raznovrstan set testova (prema programskom okviru, prema strategiji iscrtavanja itd.), no za potrebe ovoga rada korištena je naredba koja pokreće testiranje svih aplikacija po određenoj podstranici.

Primjer naredbe u bash terminalu: `node cli.js all slow4g blog`

Ova naredba pokreće cli.js skriptu koja testira blog podstranicu u svim aplikacijama u konfiguraciji slow4g.

Skripta će ovom naredbom kreirati sljedeće datoteke za podstranicu blog:

- 12 datoteka sa podacima svih 10 mjerenja po programskom okviru i strategiji iscrtavanja
- 4 datoteke prosječnih vrijednosti za svaku strategiju iscrtavanja
- 1 datoteku sa ukupnim rezultatima za odabranu podstranicu (konačne prosječne vrijednosti svih 12 kombinacija)

Ova naredba ponovljena je za svaku podstranicu čime je generirana 51 datoteka³. Za daljnju analizu korištene su 3 datoteke glavnih sažetaka za svaku stranicu. Svaka od tih datoteka sadrži prosječne vrijednosti testova za svaku od 12 kombinacija strategija i programskih okvira.

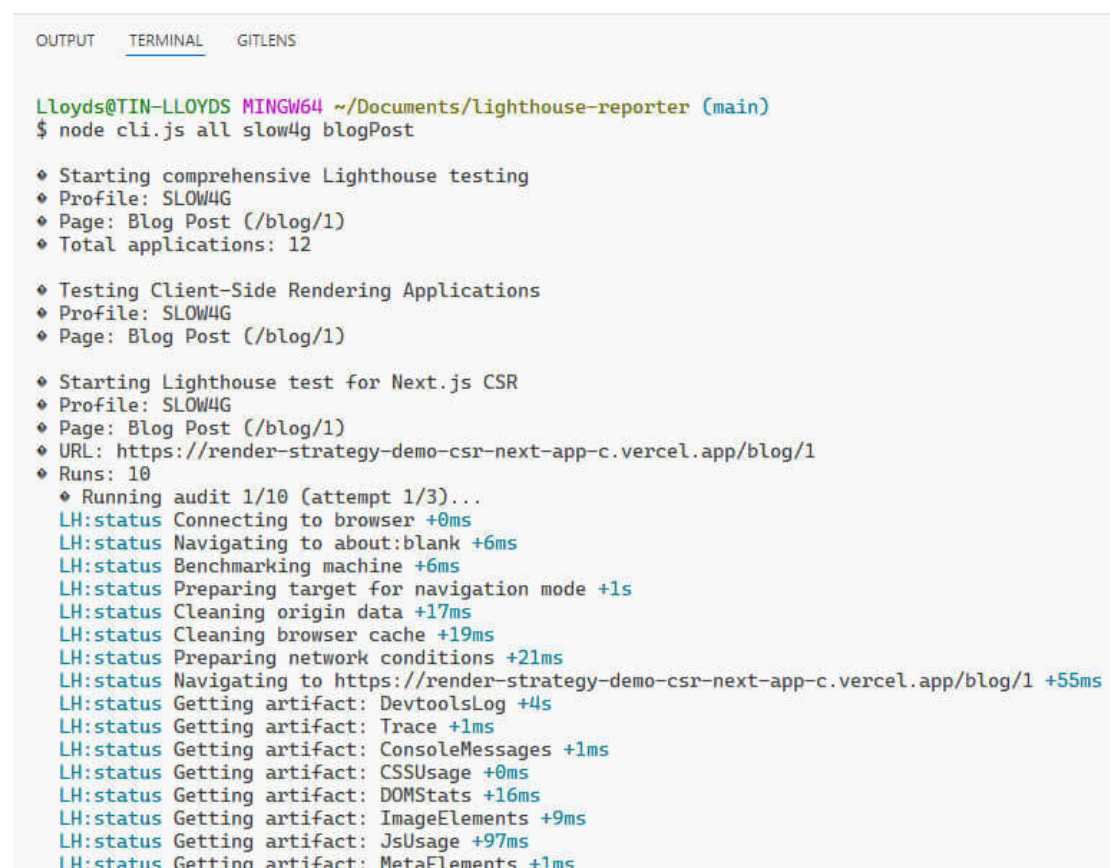
²3 aplikacije * 4 strategije iscrtavanja * 10 testova po kombinaciji * 3 podstranice (about, blog, blog detalji)

³3 podstranice * 3 programska okvira * 4 strategije iscrtavanja + 12 sažetaka + 3 glavna sažetka

Zbog velikog broja provedenih testova, bilo je nužno osigurati njihovu potpunu uspješnost i cjelovitost podataka. Za tu svrhu u skriptu je ugrađen i mehanizam provjere uspješnosti testiranja, koji će u slučaju neuspješnog testa pokušati ponoviti test još dva puta, te ako ni tada ne uspije, naznačiti će gdje je došlo do greške i pokušati nastaviti s testiranjem. Po završetku izvršavanja test skripte moguće je ponovno inicirati izvođenje neuspješnih testova.

Prilikom testiranja skripte ovim mehanizmom otkrivene su greške u dvije web-aplikacije, koje su uzrokovale nedostatak određenih metrika. Zbog neispravne konfiguracije, pojedine podstranice su u produkcijskoj okolini vraćale grešku 404, što je rezultiralo nepotpunim rezultatima testiranja. Nakon ispravka konfiguracije, svi testovi su uspješno provedeni već pri prvom pokretanju.

Izvorni kod skripte, zajedno sa dobivenim rezultatima dostupan je na autorovom Git repozitoriju.⁴



```
OUTPUT  TERMINAL  GITLENS

Llloyd@TIN-LLOYDS MINGW64 ~/Documents/lighthouse-reporter (main)
$ node cli.js all slow4g blogPost

♦ Starting comprehensive Lighthouse testing
♦ Profile: SLOW4G
♦ Page: Blog Post (/blog/1)
♦ Total applications: 12

♦ Testing Client-Side Rendering Applications
♦ Profile: SLOW4G
♦ Page: Blog Post (/blog/1)

♦ Starting Lighthouse test for Next.js CSR
♦ Profile: SLOW4G
♦ Page: Blog Post (/blog/1)
♦ URL: https://render-strategy-demo-csr-next-app-c.vercel.app/blog/1
♦ Runs: 10
♦ Running audit 1/10 (attempt 1/3)...
LH:status Connecting to browser +0ms
LH:status Navigating to about:blank +6ms
LH:status Benchmarking machine +6ms
LH:status Preparing target for navigation mode +1s
LH:status Cleaning origin data +17ms
LH:status Cleaning browser cache +19ms
LH:status Preparing network conditions +21ms
LH:status Navigating to https://render-strategy-demo-csr-next-app-c.vercel.app/blog/1 +55ms
LH:status Getting artifact: DevtoolsLog +4s
LH:status Getting artifact: Trace +1ms
LH:status Getting artifact: ConsoleMessages +1ms
LH:status Getting artifact: CSSUsage +0ms
LH:status Getting artifact: DOMStats +16ms
LH:status Getting artifact: ImageElements +9ms
LH:status Getting artifact: JsUsage +97ms
LH:status Getting artifact: MetaElements +1ms
```

Slika 6: Testiranje stranice pojedinog bloga kroz terminal

2.12 Struktura i prikaz podataka

Prikupljeni podaci svake metrike dobivene CLI alatom Lighthouse pretvoreni su u mjerne jedinice prigodne za daljnju analizu i bolju interpretaciju rezultata. Npr.

⁴<https://github.com/AlphaActual/lighthouse-reporter>

milisekunde su najprije pretvorene u sekunde, vrijednosti CLS (raspon od 0 do 1) su normalizirane i zaokružene na 3 decimale tako da se lakše uspoređuju između različitih testova. Uz izvorne vrijednosti u CSV datoteke s rezultatima pohranjene su i vrijednosti ocjene koju je tom rezultatu dodijelio Lighthouse.

Lighthouse svaki sirovi podatak pretvara u ocjenu od 0 do 100, gdje je 100 najbolja ocjena. Ovu ocjenu Lighthouse dodjeljuje na temelju krivulje distribucije izvedene iz stvarnih podataka o performansama web-stranica prikupljenih na HTTP Archiveu [14].

Budući da se prikaz rezultata oslanja na ovu ocjenu Googleovog alata koja se prigodno izražava kao postotak, na većini grafova u ovom radu prikazane su ocjene učinka i postignuti rezultati u obliku postotka. Uz određene rezultate prikazana je i standardna devijacija.

2.13 Testno okruženje

Kako bi se osigurali konzistentni uvjeti testiranja koji odgovaraju stvarnom korisničkom iskustvu, te omogućila podrška za specifične strategije iscertavanja (kao što je ISR), odabran je sljedeći pristup.

Sve aplikacije postavljene su na platformu Vercel koja u trenutku pisanja ovog rada jedina podržava sve odabrane strategije iscertavanja za svaki od prethodno navedenih programskih okvira. Ovo osigurava maksimalnu kompatibilnost i integraciju bez kompliciranih konfiguracija [15].

Vercel platforma također omogućava globalnu distribuciju putem CDN-a, što znači da se sadržaji serviraju iz čvorova najbližih korisniku. Zbog ovoga i činjenice da su sve aplikacije i njihov izvorni kod javno dostupni na Internetu, moguće je provođenje dodatnih istraživanja i proširivanja ovog rada, te osiguravanje relevantnosti podataka, bez obzira na geografsku lokaciju računala na kojem bi se potencijalno radila nova testiranja. Testiranja provedena u ovom radu izvršena su na sljedećoj računalnoj konfiguraciji:

- Model: Lenovo IdeaPad Slim 5 16ABR8
- Procesor: AMD Ryzen 5 7530U sa Radeon grafikom - 2.00 GHz
- Radna memorija: 16.0 GB (13.9 GB iskoristivo)
- Tip sustava: 64-bitni operacijski sustav, procesor baziran na arhitekturi x64
- Verzija operacijskog sustava: Windows 11 Home (24H2)
- Instalirana Node.js verzija: v22.14.0

Prije izvođenja testiranja zabilježeni su sljedeći mrežni uvjeti korištenjem Speedtest web alata:

- Server: Tehnoline Telekom 45.142.9.180
- Ping: 15ms
- Jitter: 2ms
- Download: 291.6 Mbps
- Upload: 102.0 Mbps

3 Rezultati testiranja

Rezultati testiranja podjeljeni su prema stranicama koje predstavljaju određeni tip web sadržaja:

1. **Stranica O nama** - statični sadržaj
2. **Stranica Blog** - dinamički sadržaj s listom blog postova
3. **Stranica pojedinog blog posta** - dinamički sadržaj s detaljima pojedinog blog posta

Za prikaz rezultata pojedine stranice odabrani su slijedeći grafovi i tablice:

- Ukupna ocjena radnih značajki programskog okvira
- Ukupna ocjena radnih značajki programskog okvira po metrici
- Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici (postotak)
- Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici (vrijednosti)
- Ocjene strategije iscrtavanja po programskom okviru
- Sažetak rezultata po kategorijama - tablica

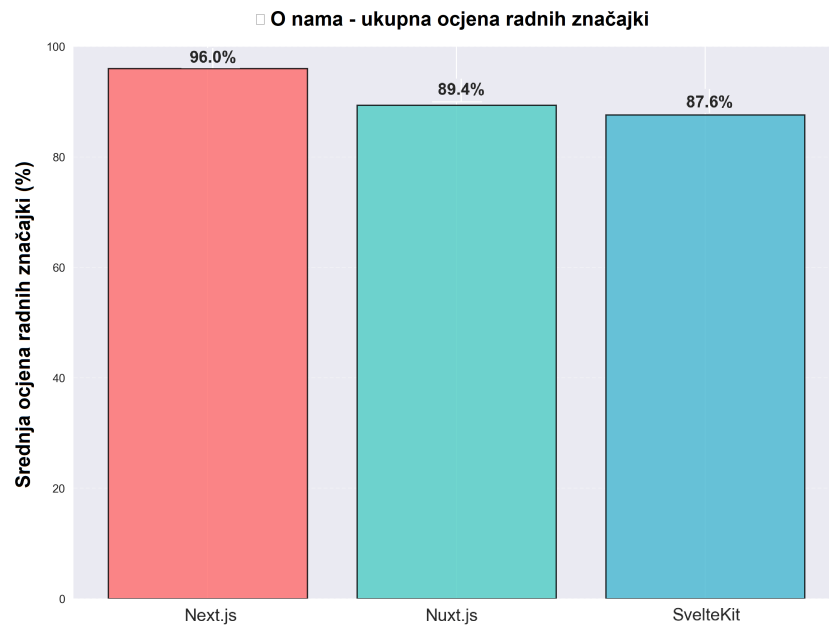
Ukupni rezultati cijelokupne aplikacije:

- Ukupne ocjene radnih značajki programskih okvira po tipu stranice
- Ocjene strategija iscrtavanja po tipu stranice
- Usporedba metrika po tipu stranice - tablica

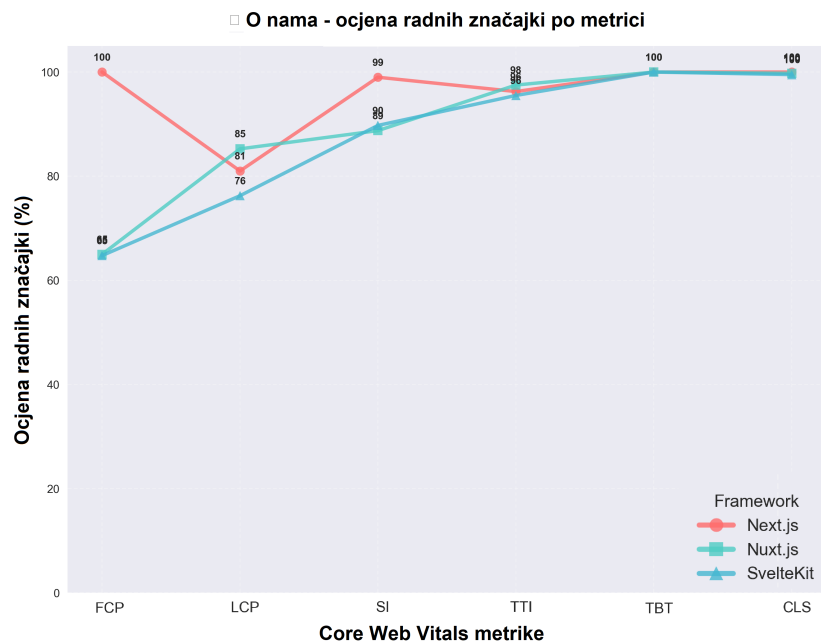
Za prikaz dodatnih metrika odabrani su slijedeći grafovi i tablice:

- Srednje vrijednosti vremena izgradnje po strategiji iscrtavanja
- Srednja veličina JS paketa po strategiji iscrtavanja
- Srednja vremena skriptiranja po strategiji iscrtavanja
- Mapa topline vremena izgradnje po strategiji iscrtavanja
- Raspodjela veličine JS paketa po programskom okviru
- Odnos između veličine JS paketa i vremena izgradnje
- Srednja vrijednost vremena izgradnje po programskom okviru
- Kompromis između vremena skriptiranja i veličine JS paketa

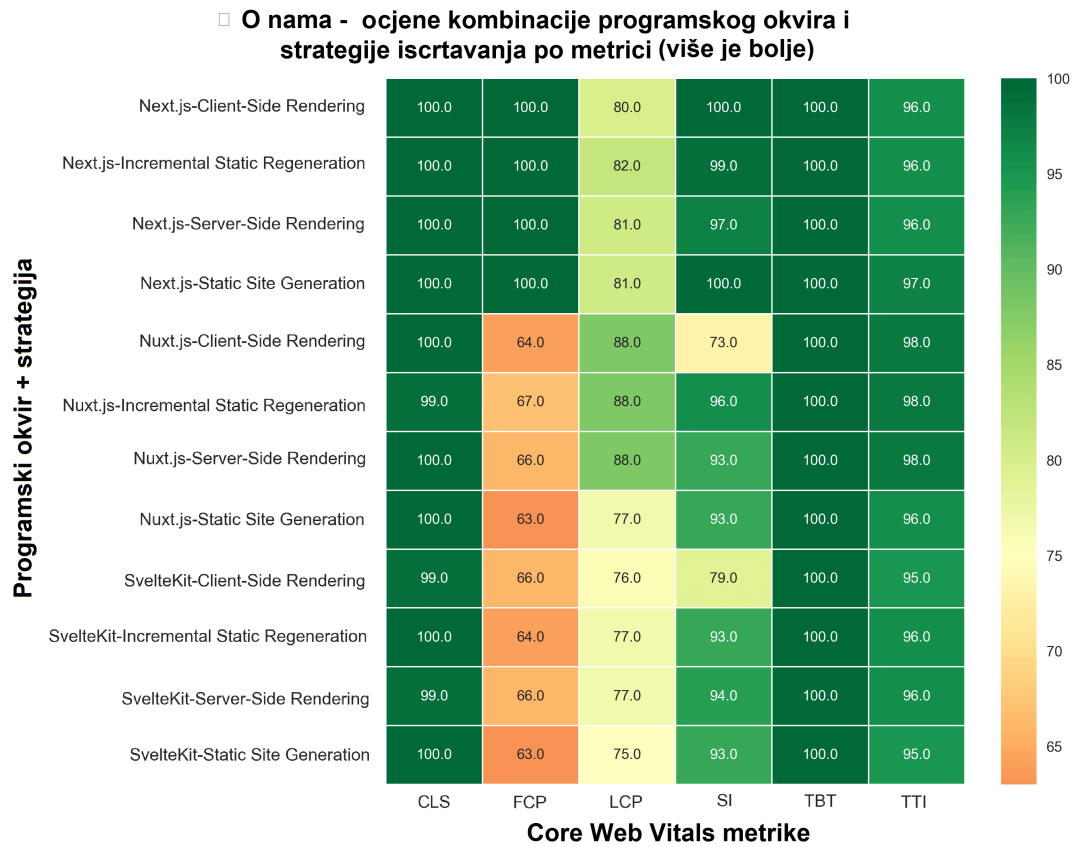
3.1 Rezultati testiranja stranice O nama



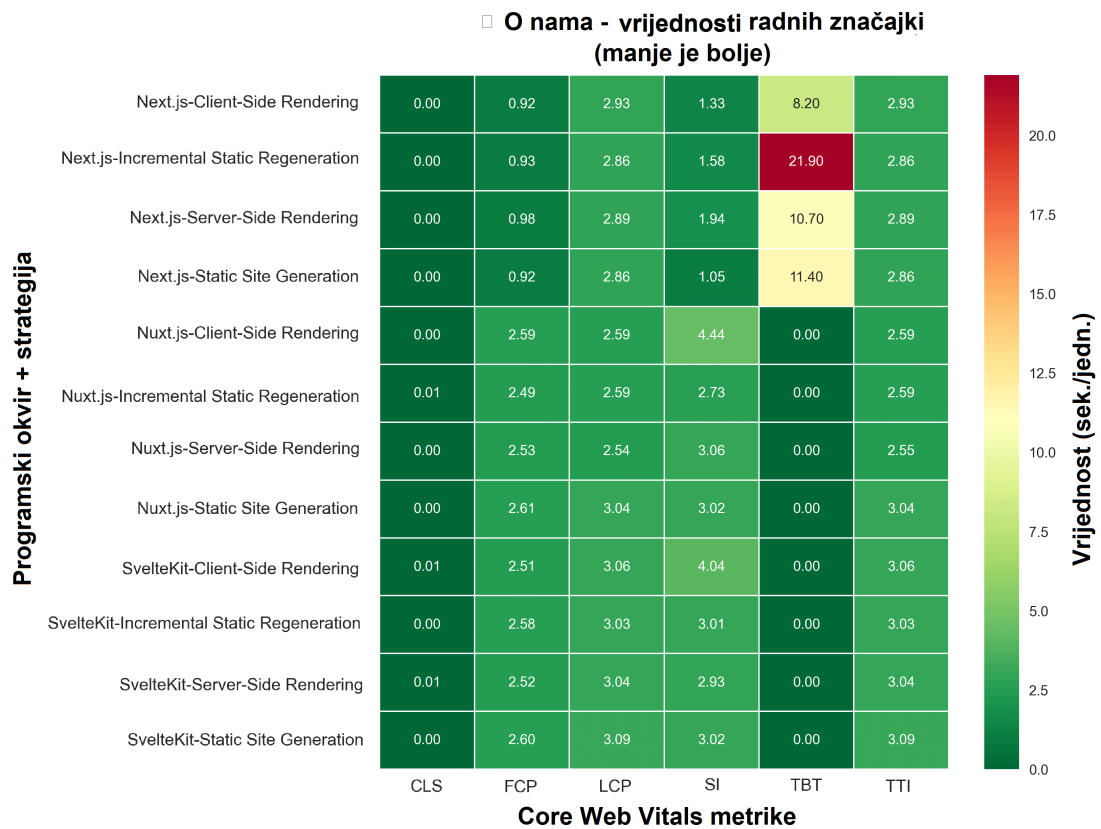
Slika 7: Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira (stranica O nama)



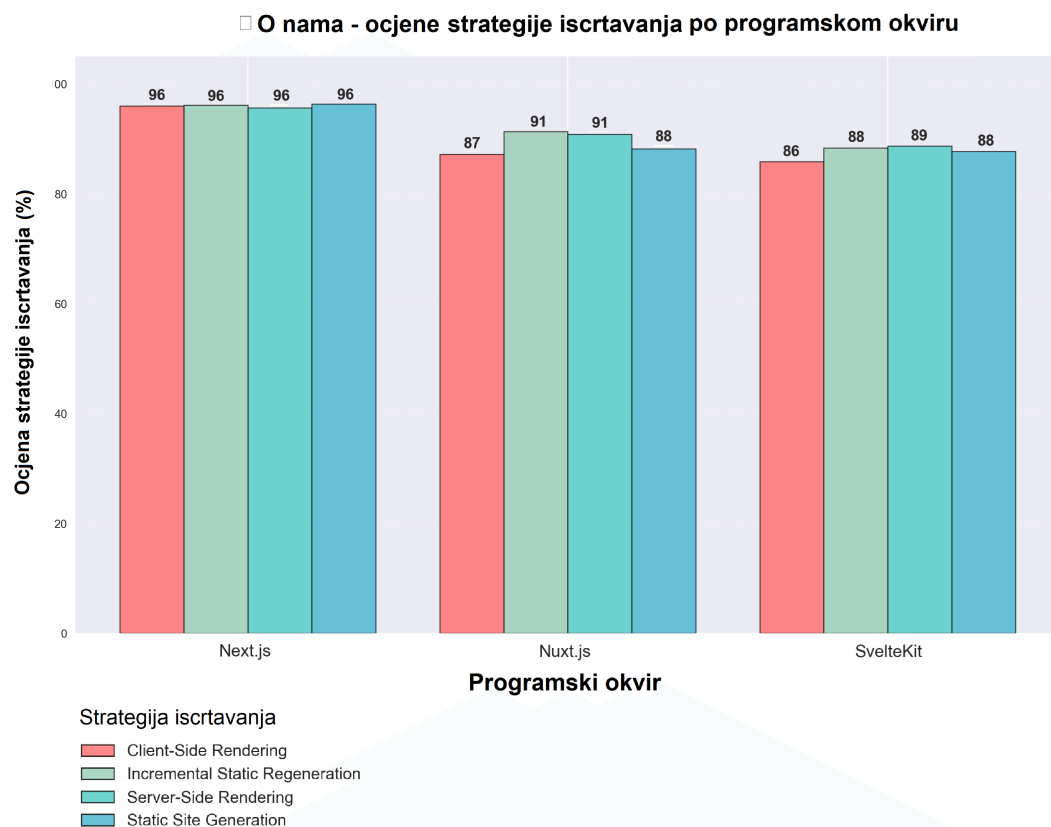
Slika 8: Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira po metrici (stranica O nama)



Slika 9: Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici - postotak (stranica O nama)



Slika 10: Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici - vrijednosti (stranica O nama)



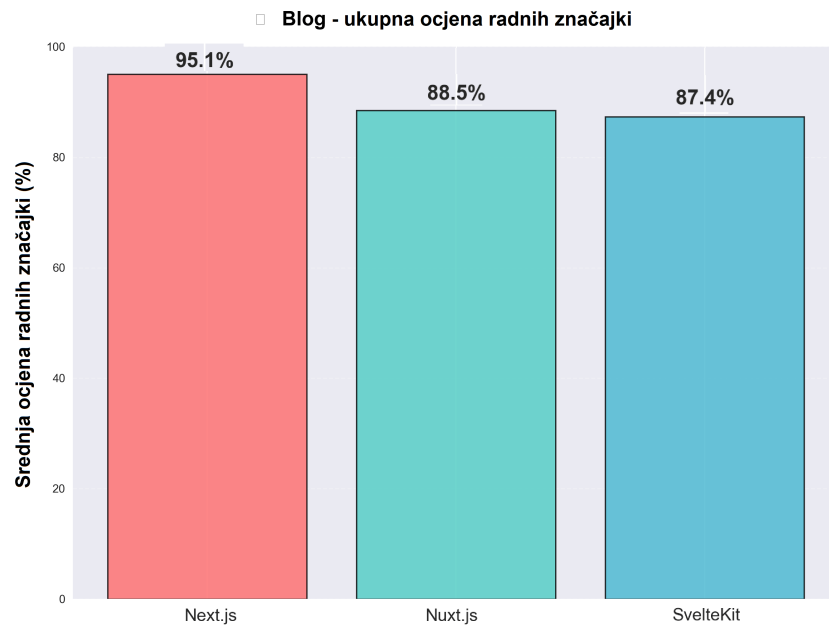
Slika 11: Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica O nama)

3.2 Sažetak rezultata - stranica O nama

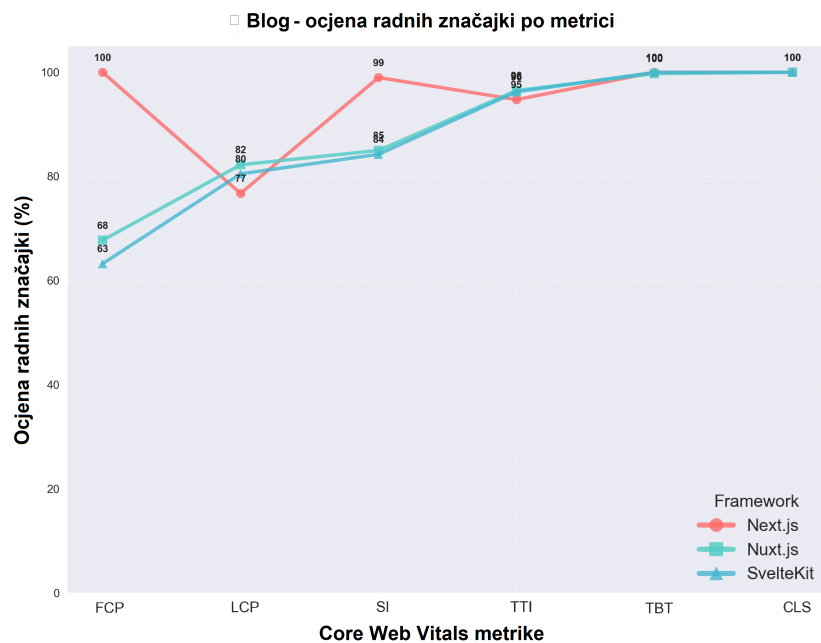
Kategorija	Element	Ocjena
Programski okviri	1. Next.js	96.0% ($\pm 7.0\%$)
	2. Nuxt.js	89.4% ($\pm 13.2\%$)
	3. SvelteKit	87.6% ($\pm 13.5\%$)
Strategije iscrtavanja	1. Incremental Static Regeneration	91.9% ($\pm 11.7\%$)
	2. Server-Side Rendering	91.7% ($\pm 11.5\%$)
	3. Static Site Generation	90.7% ($\pm 13.0\%$)
	4. Client-Side Rendering	89.7% ($\pm 13.0\%$)
Najbolje kombinacije	1. Next.js + Static Site Generation	96.3% ($\pm 7.6\%$)
	2. Next.js + Incremental Static Regeneration	96.2% ($\pm 7.1\%$)
	3. Next.js + Client-Side Rendering	96.0% ($\pm 8.0\%$)
	4. Next.js + Server-Side Rendering	95.7% ($\pm 7.4\%$)
	5. Nuxt.js + Incremental Static Regeneration	91.3% ($\pm 12.7\%$)
Vodeći po metrici	FCP: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (0.920s)
	LCP: Nuxt.js + Client-Side Rendering	88.0% (2.590s)
	SI: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (1.330s)
	TTI: Nuxt.js + Client-Side Rendering	98.0% (2.590s)
	TBT: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (8.200ms)
	CLS: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (0.000)

Tablica 1: Sažetak rezultata testiranja stranice O nama

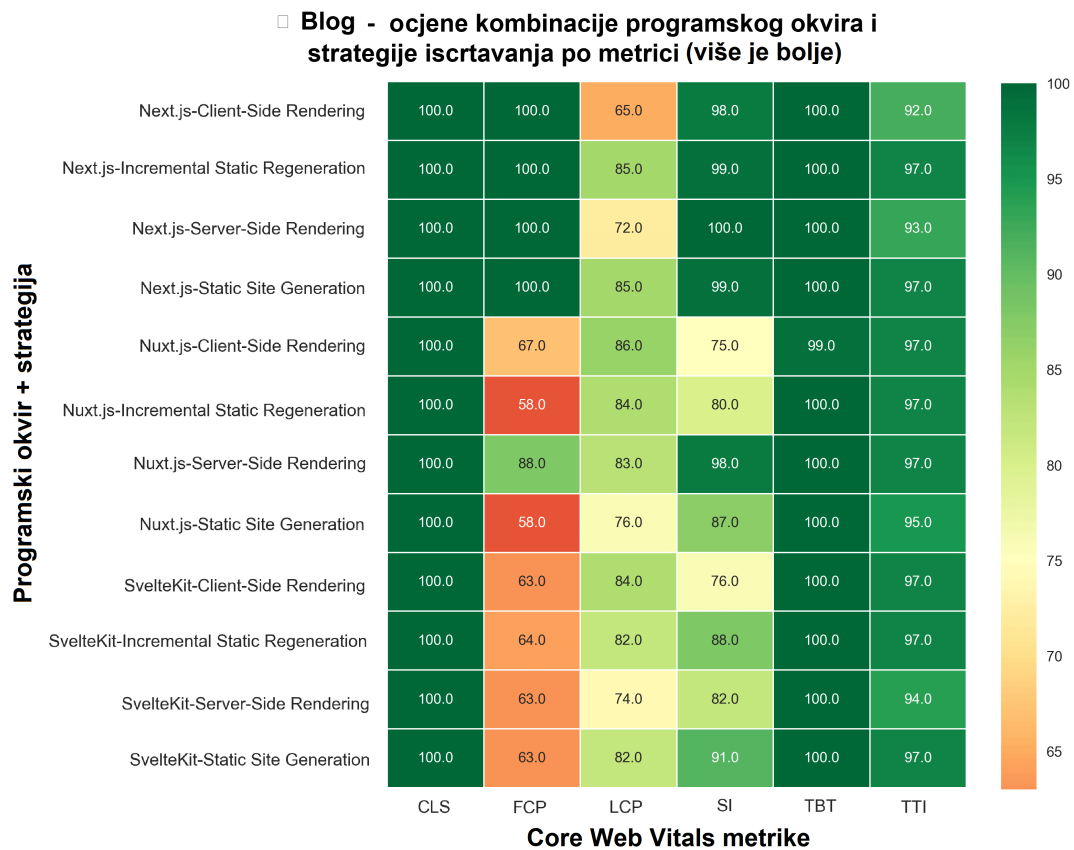
3.3 Rezultati testiranja stranice Blog



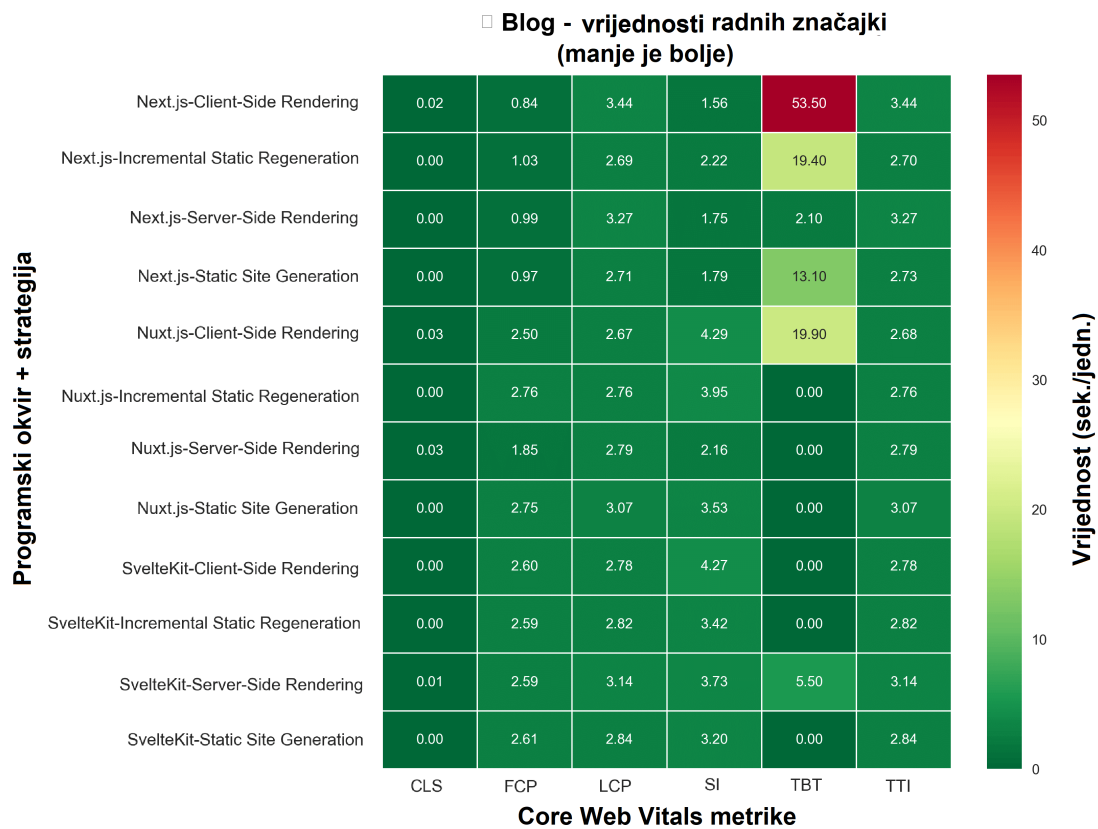
Slika 12: Ukupne ocjene radnih značajki (stranica Blog)



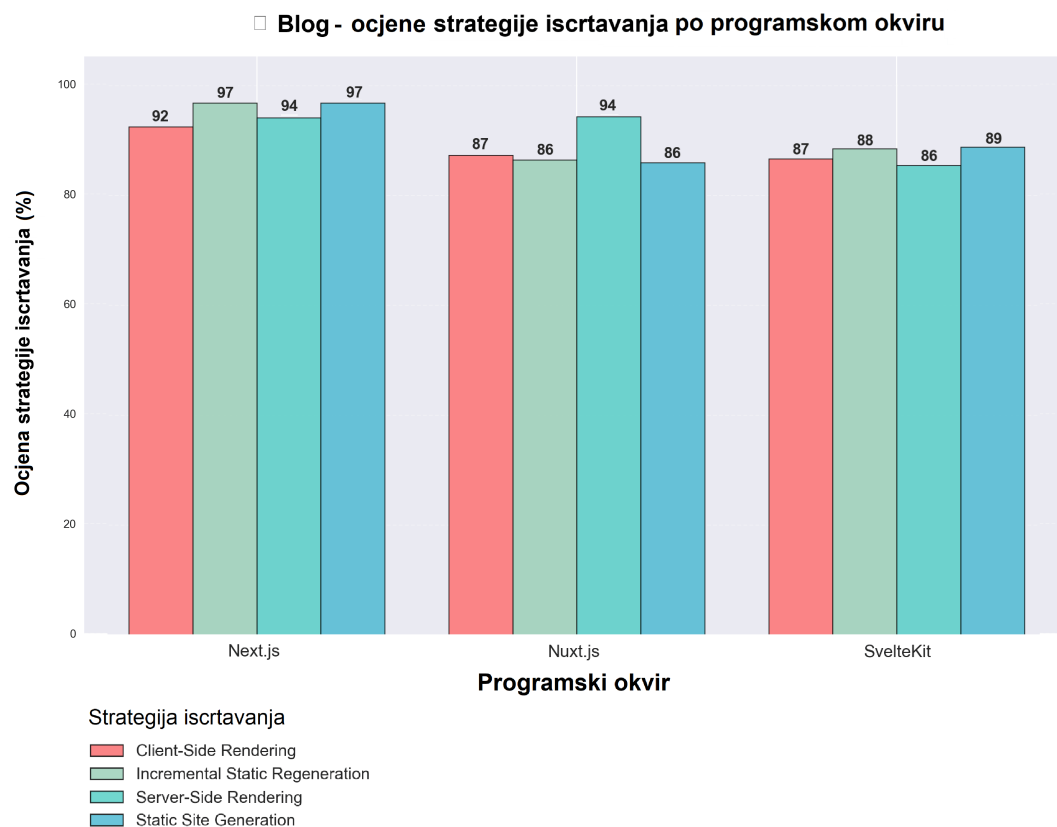
Slika 13: Ukupne ocjene radnih značajki po metrici (stranica Blog)



Slika 14: Ocjene radnih značajki - postotak (stranica Blog)



Slika 15: Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica Blog)



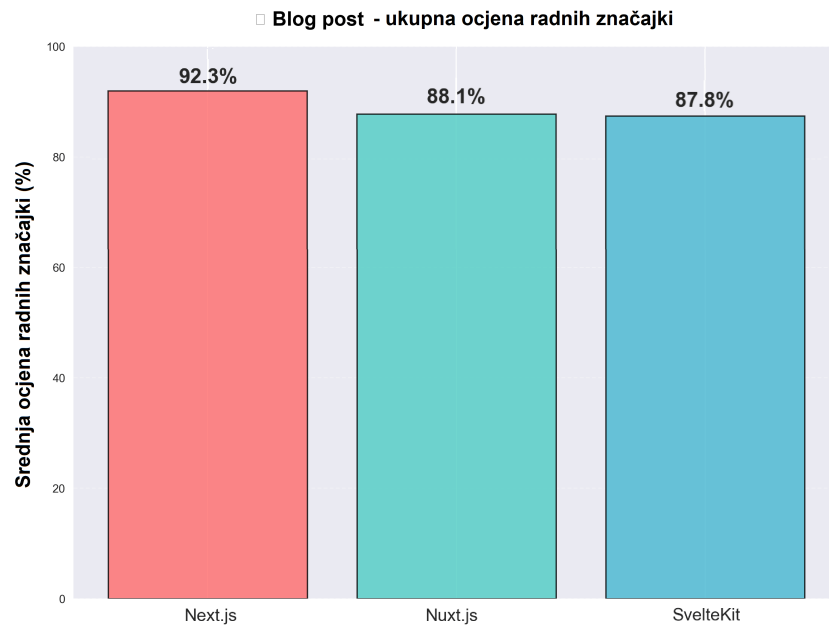
Slika 16: Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica Blog)

3.4 Sažetak rezultata - stranica Blog

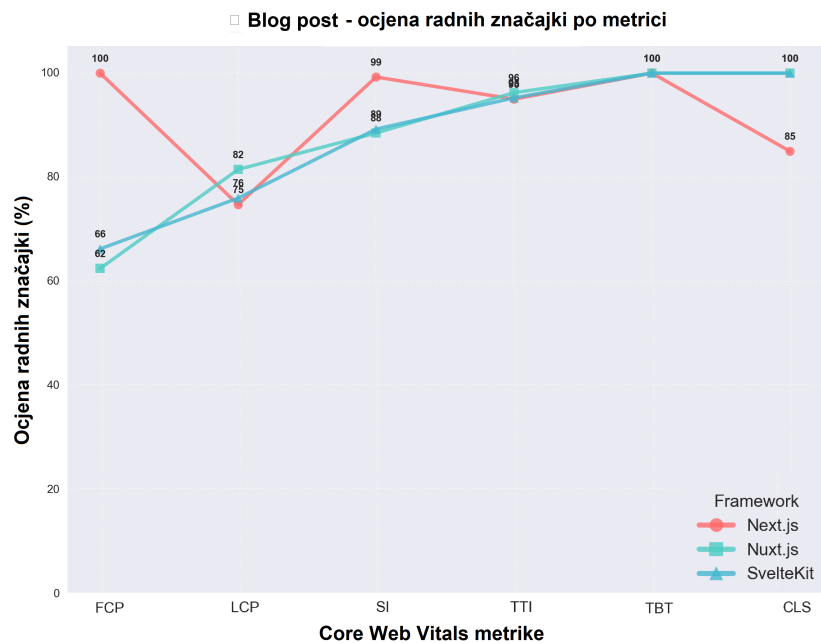
Tablica 2: Sažetak rezultata testiranja stranice Blog

Kategorija	Element	Ocjena
Programski okviri	1. Next.js	95.1% ($\pm 9.4\%$)
	2. Nuxt.js	88.5% ($\pm 13.5\%$)
	3. SvelteKit	87.4% ($\pm 13.7\%$)
Strategije iscrtavanja	1. Server-Side Rendering	91.3% ($\pm 11.7\%$)
	2. Incremental Static Regeneration	90.6% ($\pm 12.9\%$)
	3. Static Site Generation	90.6% ($\pm 13.2\%$)
	4. Client-Side Rendering	88.8% ($\pm 13.7\%$)
Najbolje kombinacije	1. Next.js + Incremental Static Regeneration	96.8% ($\pm 5.9\%$)
	2. Next.js + Static Site Generation	96.8% ($\pm 5.9\%$)
	3. Nuxt.js + Server-Side Rendering	94.3% ($\pm 7.1\%$)
	4. Next.js + Server-Side Rendering	94.2% ($\pm 11.2\%$)
	5. Next.js + Client-Side Rendering	92.5% ($\pm 13.8\%$)
Vodeći po metrici	FCP: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (0.840s)
	LCP: Nuxt.js + Client-Side Rendering	86.0% (2.670s)
	SI: Next.js + Server-Side Rendering	100.0% (1.750s)
	TTI: Nuxt.js + Client-Side Rendering	97.0% (2.680s)
	TBT: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (53.500ms)
	CLS: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (0.020)

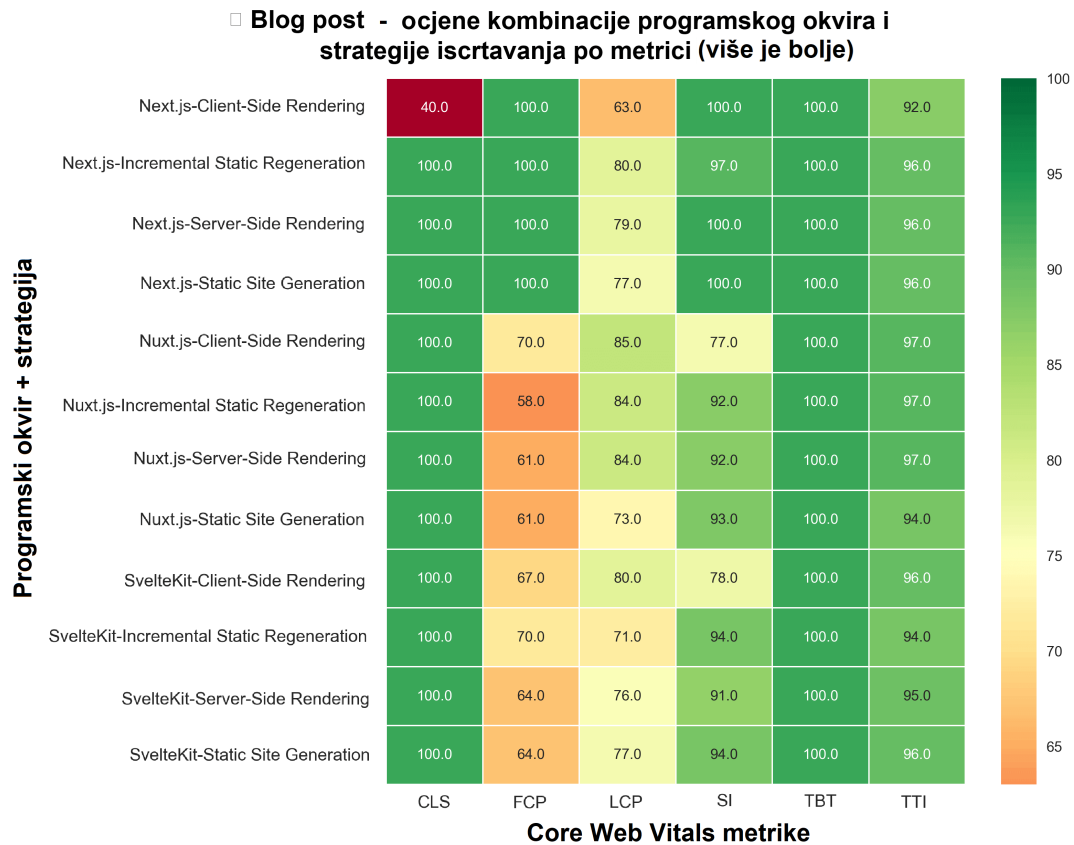
3.5 Rezultati testiranja stranice pojedinog blog posta



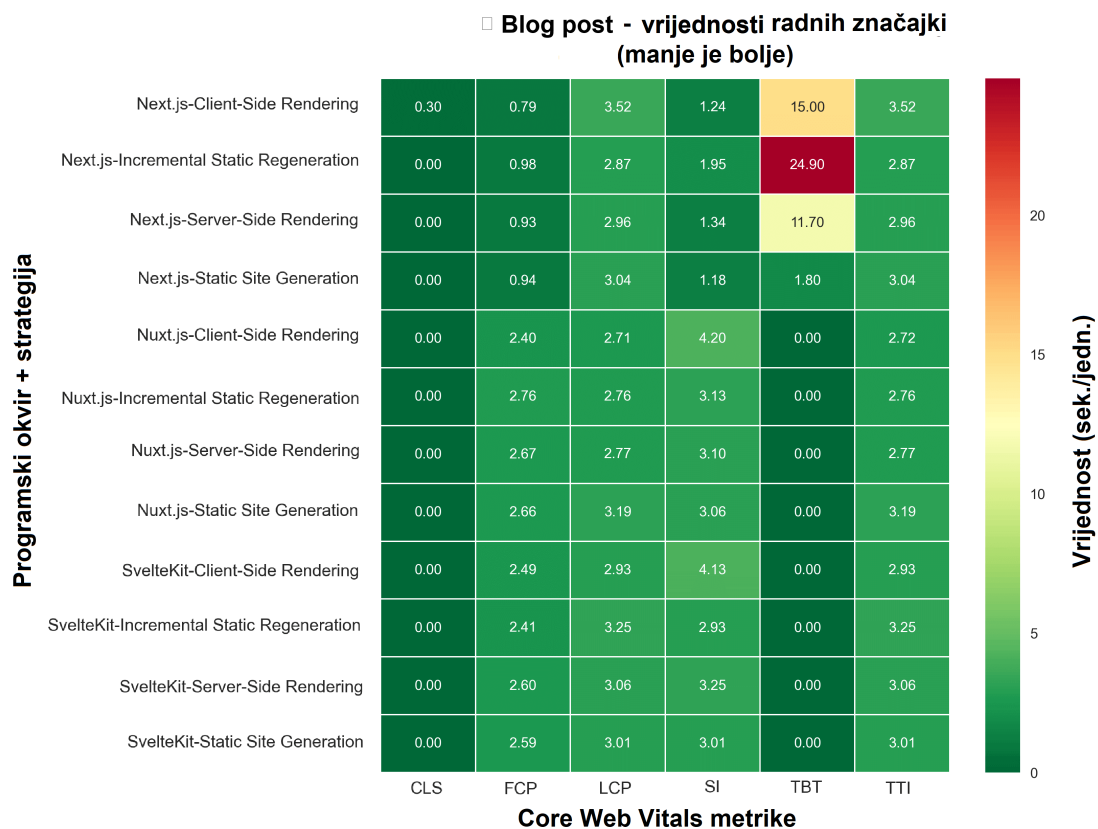
Slika 17: Ukupne ocjene radnih značajki (stranica pojedinog bloga)



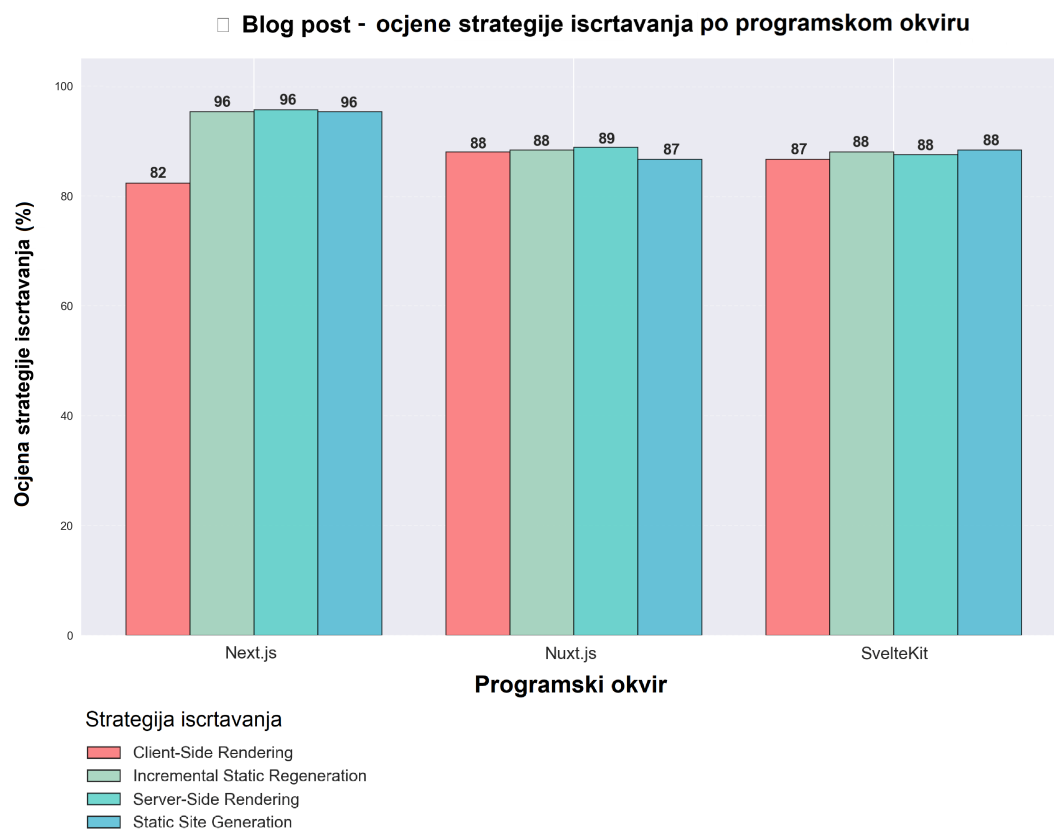
Slika 18: Ukupne ocjene radnih značajki po metrici (stranica pojedinog bloga)



Slika 19: Ocjene radnih značajki - postotak (stranica pojedinog bloga)



Slika 20: Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica pojedinog bloga)



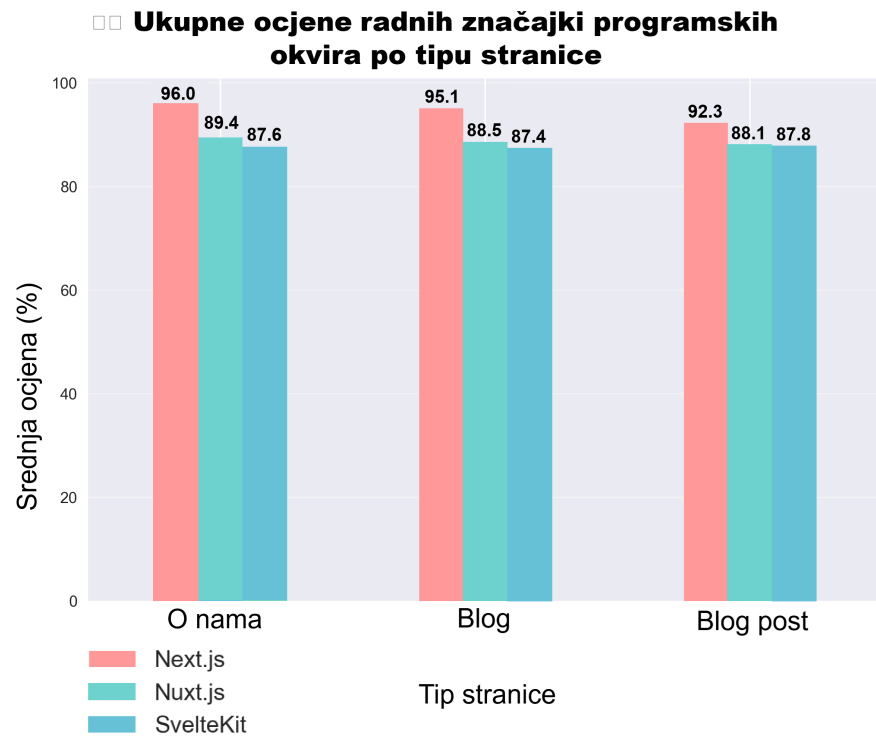
Slika 21: Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica pojedinog bloga)

3.6 Sažetak rezultata - stranica pojedinog blog posta

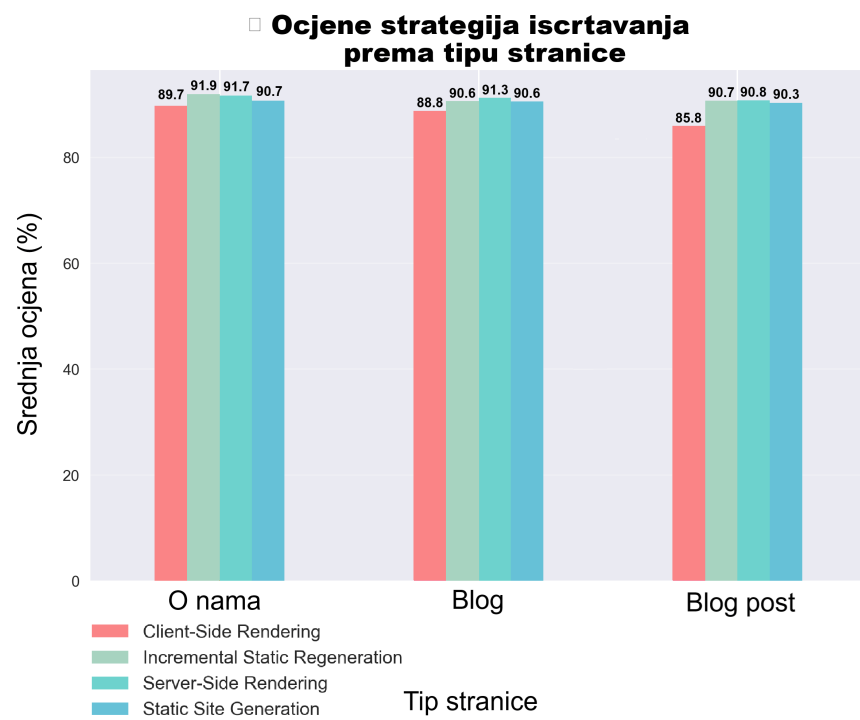
Tablica 3: Sažetak rezultata testiranja stranice pojedinog bloga

Kategorija	Element	Ocjena
Programski okviri	1. Next.js	92.3% ($\pm 14.8\%$)
	2. Nuxt.js	88.1% ($\pm 14.1\%$)
	3. SvelteKit	87.8% ($\pm 13.3\%$)
Strategije iscrtavanja	1. Server-Side Rendering	90.8% ($\pm 12.8\%$)
	2. Incremental Static Regeneration	90.7% ($\pm 12.8\%$)
	3. Static Site Generation	90.3% ($\pm 13.4\%$)
	4. Client-Side Rendering	85.8% ($\pm 17.3\%$)
Najbolje kombinacije	1. Next.js + Server-Side Rendering	95.8% ($\pm 8.4\%$)
	2. Next.js + Incremental Static Regeneration	95.5% ($\pm 7.8\%$)
	3. Next.js + Static Site Generation	95.5% ($\pm 9.2\%$)
	4. Nuxt.js + Server-Side Rendering	89.0% ($\pm 15.0\%$)
	5. SvelteKit + Static Site Generation	88.5% ($\pm 14.7\%$)
Vodeći po metrici	FCP: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (0.790s)
	LCP: Nuxt.js + Client-Side Rendering	85.0% (2.710s)
	SI: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (1.240s)
	TTI: Nuxt.js + Client-Side Rendering	97.0% (2.720s)
	TBT: Next.js + Client-Side Rendering	100.0% (15.000ms)
	CLS: Nuxt.js + Client-Side Rendering	100.0% (0.000)

3.7 Ukupni rezultati



Slika 22: Ukupne ocjene radnih značajki programskih okvira po tipu stranice

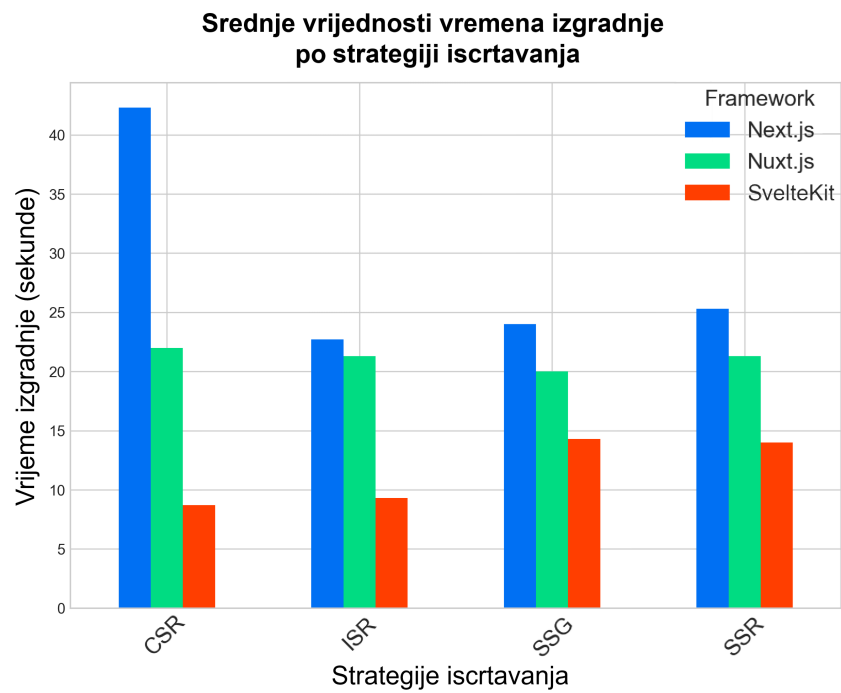


Slika 23: Ocjene strategija iscertavanja po tipu stranice

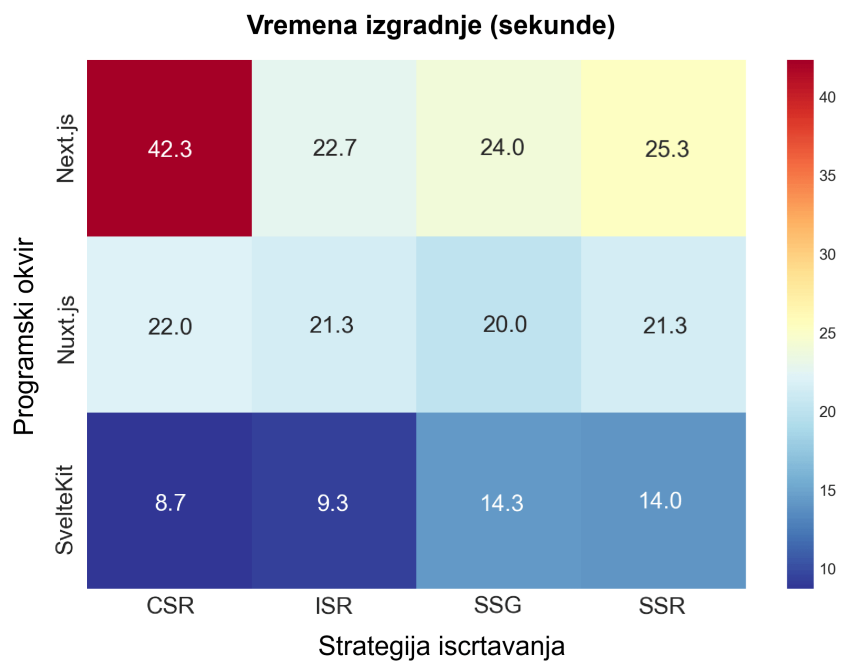
Tablica 4: Usporedba metrika po tipu stranice

Tip stranice	CLS	FCP	LCP	SI	TBT	TTI
O nama	99.8	76.6	80.8	92.5	100.0	96.4
Blog	100.0	77.0	79.8	89.4	99.9	95.8
Blog post	95.0	76.2	77.4	92.3	100.0	95.5

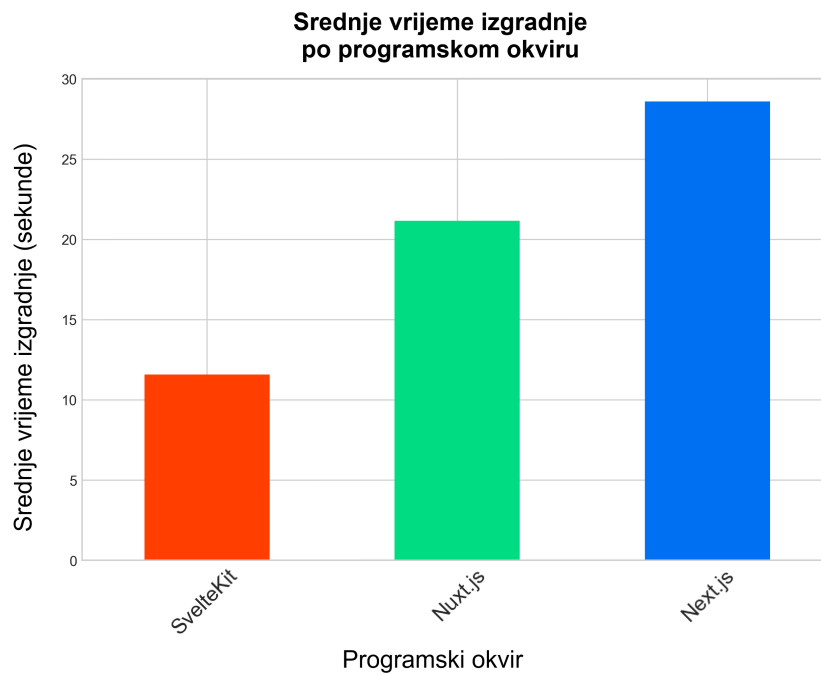
3.8 Dodatne metrike



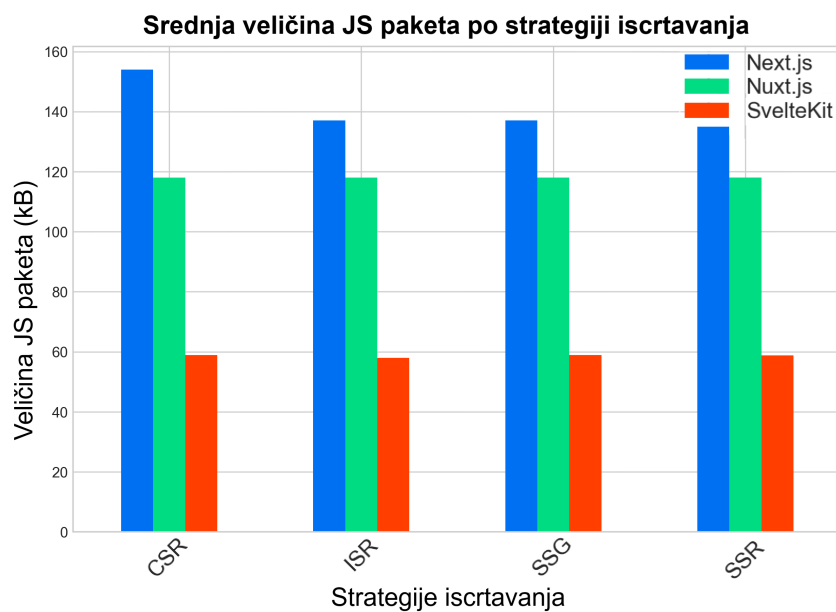
Slika 24: Prosječna vremena izgradnje po okviru i strategiji



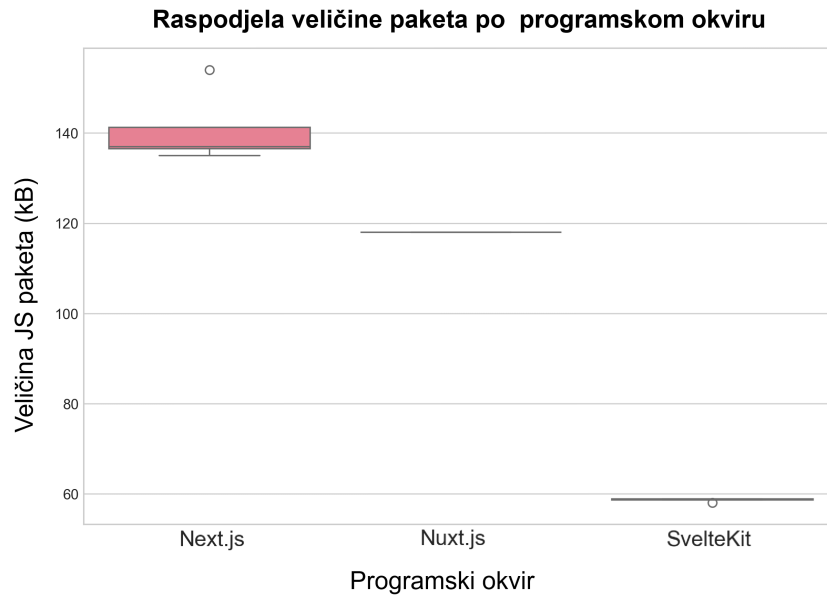
Slika 25: Mapa topline vremena izgradnje



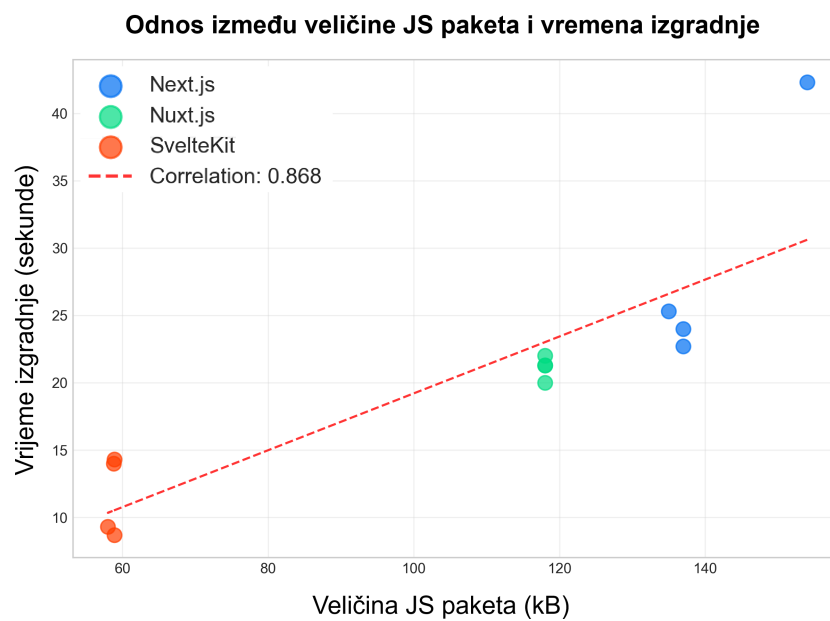
Slika 26: Ukupne ocjene radnih značajki izgradnje okvira



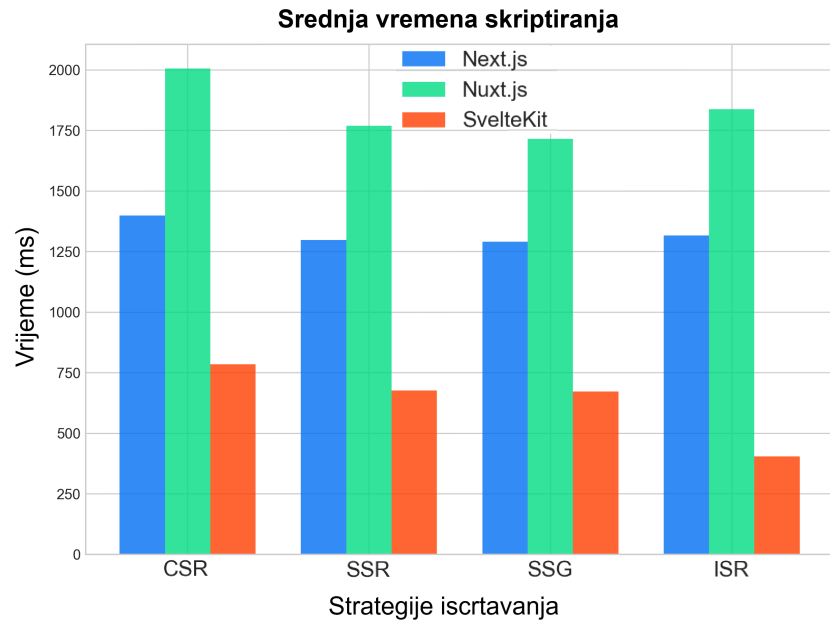
Slika 27: Prosječna veličina paketa po strategiji



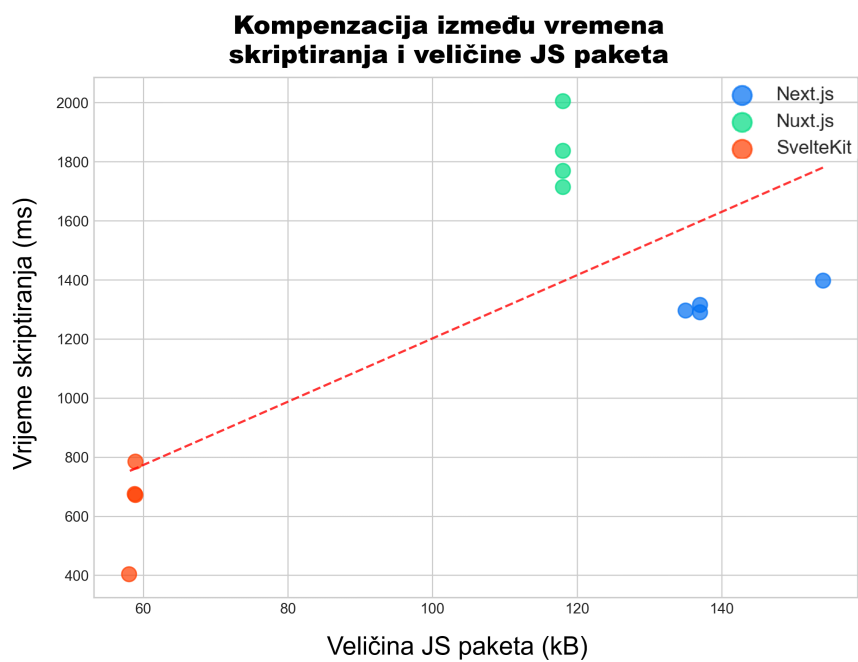
Slika 28: Distribucija veličine paketa po okviru



Slika 29: Odnos između veličine paketa i vremena izgradnje



Slika 30: Prosječna vremena skriptiranja



Slika 31: Odnos između vremena skriptiranja i veličine paketa

4 Analiza rezultata

U ovom poglavlju slijedi detaljna analiza rezultata testiranja radnih značajki tri programska okvira (Next.js, Nuxt.js i SvelteKit) uz četiri strategije iscrtavanja (SSG, SSR, CSR i ISR) na 3 različita tipa stranica. Analiza se temelji na ocjenama Web Vitals metrika dobivenih mjerenjem Lighthouse CLI alatom: First Contentful Paint (FCP), Largest Contentful Paint (LCP), Speed Index (SI), Time to Interactive (TTI), Total Blocking Time (TBT) i Cumulative Layout Shift (CLS) te dodatnih metrika: vremena izgradnje aplikacije, veličine JS paketa i vremena izvršavanja skripti.

4.1 Analiza ocjena radnih značajki programskih okvira

Evaluacija ukupnih rezultata radnih karakteristika programskih okvira otkriva jasnu hijerarhiju pri svim vrstama stranica.

Next.js se dosljedno pokazao kao najbolji programski okvir s ocjenama između 92,3% i 96,0% ovisno o tipu stranice. Okvir demonstrira najbolje rezultate na statičnom sadržaju (stranica O nama - 96,0%), što sugerira optimizaciju za statične stranice. Blagi pad u ocjenama kod dinamičkog sadržaja (Blog - 95,1%, Blog post - 92,3%) sugerira određeno opterećenje povezano s obradom dinamičkih podataka, no Next.js i dalje zadržava prednost od oko 6-8% u odnosu na konkurenciju.

Nuxt.js zauzima drugu poziciju s ocjenama između 88,1% i 89,4%. Iz rezultata vidljivo je da Nuxt.js pokazuje relativno stabilne performanse kroz različite tipove stranica, s najmanjom varijacijom između statičnog (89,4%) i dinamičkog sadržaja (88,1% - 88,5%). Ova konzistentnost ukazuje na dobro uravnoteženu arhitekturu koja se jednako dobro nosi s različitim tipovima sadržaja.

SvelteKit na testovima bilježi neznatno niži rezultat od Nuxt.js-a (87,4% - 87,8%). Baš kao i Nuxt.js, SvelteKit održava konstantne performanse neovisno o vrsti stranice. Manje ocjene mogu se objasniti time da je SvelteKit mlađi programski okvir koji je još uvijek u razvoju i procesu optimizacije.

Kad su u pitanju standardne devijacije, Next.js demonstrira najbolje ocjene dosljednosti ($\pm 7,0\%$ do $\pm 14,8\%$), dok su preostali okviri podložniji većim varijacijama ($\pm 13,2\%$ do $\pm 14,1\%$). To ukazuje na zrelost Next.js-a kao stabilnijeg i pouzdanijeg programskog okvira.

4.2 Analiza ocjena strategija iscrtavanja

Analiza strategija iscrtavanja otkriva zanimljive obrasce koji se razlikuju ovisno o tipu stranice i prirodi sadržaja.

Incremental Static Regeneration (ISR) ostvaruje najbolje rezultate na statičnoj stranici O nama (91,9%), što i nije iznenađujuće s obzirom na prednosti statičke regeneracije uz mogućnost povremenog osvježavanja sadržaja. Na dinamičnim stranicama ISR se drži vrlo stabilno, s rezultatima između 90,6% i 90,7%, što potvrđuje njegovu fleksibilnost.

Server-Side Rendering (SSR) pokazao je odlične rezultate, osobito kod prikaza dinamičkog sadržaja na stranicama Blog (91,3%) i Blog post (90,8%).

Zanimljivo, upravo na statičnoj stranici O nama SSR je ostvario gotovo najbolji rezultat (91,7%), što govori da mu tip sadržaja ne predstavlja značajnu prepreku.

Static Site Generation (SSG) zadržava dobre ocjene na svim testiranim stranicama, pri čemu se najbolje pokazao na Blogu i O nama (oko 90,6%–90,7%). Ta ujednačenost ukazuje na glavnu prednost SSG-a: sadržaj je u potpunosti pripremljen tijekom izgradnje stranice, što rezultira predvidljivim performansama, bez obzira na složenost same stranice.

Client-Side Rendering (CSR) s druge strane, pokazuje znatno veće varijacije. Na O nama stranici postiže solidnih 89,7%, dok na složenijim dinamičkim stranicama, poput pojedinačnih blog postova, padne i na 85,8%. Štoviše, zabilježena je i najniža pojedinačna ocjena u cijelom testiranju — samo 40 bodova na blog post stranici (Next.js). Iz grafova na slici 18 i slici 19 vidljivo je da Next.js programski okvir postiže vrlo loš rezultat metrike CLS specifično na blog post stranici. Ova loša ocjena utječe na cjelokupni rezultat učinkovitosti ove strategije. S obzirom da se na stranici Blog koja je također dinamičnog sadržaja ne pojavljuje ova anomalija, da se zaključiti da arhitektura koda ove stranice nije optimalno strukturirana za ovu kombinaciju programskog okvira i strategije iscrtavanja.

Kad se promatraju standardne devijacije, SSR i ISR imaju najmanje varijacije (oko $\pm 11,5\%$ do $\pm 12,9\%$), dok CSR pokazuje najveće ($\pm 13,0\%$ do $\pm 17,3\%$). To potvrđuje da su server-side strategije u prosjeku predvidljivije i stabilnije.

4.3 Analiza rezultata pojedinih metrika - Web Vitals

Detaljnom analizom pojedinačnih Web Vitals metrika možemo identificirati specifične snage i slabosti različitih kombinacija okvira i strategija.

Cumulative Layout Shift (CLS) postiže visoke ukupne rezultate s ocjenama od 95,0% do 100,0%, a blog stranica postiže savršenu ocjenu (100,0%). Drastično veliki pad ocjene ove metrike bilježi Next.js s CSR strategijom na blog post stranici, gdje je zabilježena vrijednost od 0,3 (40 bodova). Ovaj pad ukazuje na značajan problem s pomakom rasporeda elemenata na stranici, što može negativno utjecati na korisničko iskustvo.

Total Blocking Time (TBT) - odlični rezultati (99,9% - 100,0%) pri svim kombinacijama demonstriraju dobru optimizaciju programskih okvira. Pogledom na grafove sa vrijednostima ove metrike (slika 10, slika 15 i slika 20) uočavamo da Next.js programski okvir ima povišeno vrijeme blokiranja u odnosu na druge programske okvire, no pogled na grafove sa ukupnom ocjenom (slika 9, slika 14 i slika 19) otkriva da se ova odstupanja i dalje smatraju odličnim rezultatom [16], te je Lighthouse ovdje ipak dodjelio visoku ocjenu od 100.

Time to Interactive (TTI) metrika bilježi učestalo visoke ocjene kod svih programskih okvira i strategija iscrtavanja (95,5% - 96,4%), s najboljim rezultatima na statičnoj stranici O nama (96,4%) što je razumljivo budući da na statičnim stranicama ima najmanje izvršavanja JS koda čije bi izvršavanje produžilo ovo vrijeme.

Speed Index (SI) pokazuje veće varijacije ovisno o tipu stranice, s najboljim rezultatima na stranici O nama (92,5%) i Blog post (92,3%), dok Blog stranica zaostaje sa 89,4%. Iz grafova kombinacija programskih okvira i strategija po metrici

(slika 9, slika 14 i slika 19) vidljivo je da Next.js ima prednost u odnosu na druge programske okvire i postiže bolje rezultate.

First Contentful Paint (FCP) - pogledom na ovu metriku (tablica 4) vidljivi su srednje dobri rezultati (76,2% - 77,0%). Detaljnijim pogledom na grafove (slika 8, slika 13 i slika 18), vidimo da Next.js, kao i kod prethodne metrike postiže bolje rezultate pri svim strategijama iscrtavanja, što pozitivno utječe na korisničko iskustvo i pokazuje bolju optimizaciju u odnosu na konkurenciju.

Largest Contentful Paint (LCP) poput FCP-a pokazuje niže ocjene od drugih metrika (77,4% - 80,8%), pri čemu Blog post stranica pokazuje najslabije ocjene (77,4%). Za razliku od FCP-a ovdje su rezultati programskih okvira podjednako osrednji, što pokazuje da kod svih postoji prostor za poboljšanje, ali i da možda razlog leži u brzini poslužitelja Lorem Picsum servisa čija slika čini najveći vidljivi sadržaj stranice.

4.4 Analiza utjecaja tipa stranice na ocjene

Tip stranice značajno utječe na performanse različitih kombinacija okvira i strategija, što otkriva važne obrasce za praktičnu primjenu.

Statična stranica **O nama** postiže najbolje ukupne performanse s prosjekom od 91,01% ($\pm 12,07\%$), dok Blog stranica bilježi 90,33% ($\pm 12,65\%$), a stranica pojedinog blog posta najniže rezultate s 89,42% ($\pm 14,04\%$). Trend opadanja performansi (91,01% \rightarrow 90,33% \rightarrow 89,42%) jasno ilustrira troškove povećane složenosti sadržaja od statičnog prema dinamičnom.

Raspon rezultata također se povećava s složenošću stranice - od 63-100 bodova na statičnoj stranici, preko 58-100 na blog stranici, do 40-100 na stranici blog posta. Ova povećana varijabilnost (standardne devijacije od 12,07% do 14,04%) sugerira da složeniji sadržaj čini performanse manje predvidljivima.

Statična stranica O nama pokazuje najbolje ukupne performanse (87,6% - 96,0%) jer ne zahtijeva dinamičko dohvaćanje podataka. Next.js postiže vrhunske rezultate (96,0%) na ovom tipu stranice, što potvrđuje optimizaciju za statični sadržaj. ISR strategija pokazuje najbolje rezultate (91,9%) jer može u potpunosti iskoristiti statičku prirodu sadržaja.

Stranica Blog s listom postova predstavlja umjereno složen dinamički sadržaj. Next.js zadržava vodeću poziciju (95,1%), ali s blago nižim ocjenama u odnosu na statičnu stranicu. SSR strategija pokazuje najbolje rezultate (91,3%) jer omogućava efikasno server-side generiranje liste postova.

Stranica pojedinog blog posta predstavlja najsloženiji scenarij s najnižim ukupnim ocjenama (85,8% - 92,3%). Next.js i dalje vodi (92,3%), ali s najvećim padom performansi. SSR ponovno pokazuje najbolje rezultate (90,8%) jer omogućava dinamičko učitavanje specifičnog sadržaja posta.

Ova analiza sugerira da je izbor strategije iscrtavanja kritičan za optimizaciju performansi ovisno o prirodi sadržaja, no vrlo je i važan odabir programskog okvira kada su u pitanju sirove performanse.

4.5 Analiza rezultata dodatnih metrika

Dodatne metrike pružaju uvid u razvojne aspekte performansi koji nisu obuhvaćeni Web Vitals metrikama. Analizom vremena izgradnje, veličine JS paketa i vremena izvršavanja skripti dobivamo potpuniju sliku o efikasnosti pojedinih okvira i strategija.

Vremena izgradnje pokazuju značajne razlike među okvirima (slika 25 i slika 26). SvelteKit se ističe kao najbrži u svim strategijama, s prosječnim vremenima od 8,7 do 14,3 sekunde. Nuxt.js je drugi s konzistentnim vremenima oko 20-22 sekunde. Next.js pokazuje najveće varijacije; dok su SSR, SSG i ISR strategije usporedive s Nuxt.js, CSR strategija drastično odskaka s vremenom od 42,3 sekunde, što ga čini najsporijim u toj kategoriji. Suprotno očekivanjima, CSR strategija nije uvijek najbrža za izgradnju, što je vidljivo kod Next.js i Nuxt.js gdje je ona najsporija. Vrijednosti se temelje na prosjeku 3 mjerenja izgradnje prilikom postavljanja aplikacija na Vercel platformu.

Veličina JS paketa ključna je za performanse učitavanja stranice. SvelteKit se izdvaja s najmanjim paketima (oko 58-59 kB), što potvrđuje njegovu reputaciju okvira koji proizvodi visoko optimiziran kod. Nuxt.js slijedi s paketima od 118 kB za sve strategije. Next.js ima najveće pakete, koji variraju od 135 kB do 154 kB, pri čemu CSR strategija generira najveći paket (slika 28 i slika 27). Ovi podaci potvrđuju da SvelteKit ima značajnu prednost u pogledu veličine paketa. Podaci o veličini paketa dobiveni su i potvrđeni uvidom u ukupno preuzeti JS kod prilikom učitavanja stranice kroz Chrome DevTools.

Vrijeme izvršavanja skripti (Scripting time) direktno utječe na interaktivnost stranice. SvelteKit konzistentno pokazuje najkraća vremena izvršavanja, što ga čini najefikasnijim u pogledu klijentske obrade (slika 30). Next.js i Nuxt.js imaju značajno duža vremena izvršavanja, posebno pri korištenju CSR strategije, gdje Nuxt.js bilježi najduža vremena. Činjenica da CSR strategija ima najduže vrijeme izvršavanja skripti je očekivana budući da programski okvir mora ispuniti cijeli html dokument koji je u trenutku učitavanja stranice prazan, dohvatiti vanjske podatke i iscrtaati dokument. Jednostavno rečeno kod CSR strategije JS kod ima više posla kojeg treba obaviti u odnosu na druge strategije gdje se jedan dio tog posla događa na poslužitelju. Što se tiče samih programskih okvira, SvelteKit je brži od konkurencije jer ne koristi virtualni DOM, već generira optimizirani JavaScript kod koji direktno manipulira DOM-om, čime se smanjuje složenost i povećava efikasnost izvršavanja skripti [17].

Odnos između veličine paketa i vremena izgradnje pokazuje snažnu pozitivnu korelaciju ($r=0.868$), što ukazuje na to da veći paketi općenito zahtijevaju duža vremena izgradnje (slika 29). Analiza otkriva jasnu hijerarhiju programskih okvira: SvelteKit ostvaruje najmanju veličinu paketa (58-58.9 kB) s najkraćim vremenom izgradnje (8.7-14 sekundi), Nuxt.js zauzima srednju poziciju (118 kB, 20-22 sekunde), dok Next.js, usprkos najvećim paketima (135-154 kB) i najduljim vremenima izgradnje (22.7-42.3 sekunde), ostvaruje najviše performanse. Zaključak koji se nameće je da rastom veličine JS paketa raste i vrijeme izgradnje, no i da je za postizanje većih performansi potrebno prihvatiti ovaj kompromis. Next.js ide u tom smjeru, dok SvelteKit i Nuxt.js nude brža vremena izgradnje s manjim

paketima, ali s nešto nižim performansama.

Odnos između vremena skriptiranja i veličine JS paketa prikazan je na grafu na slici 31. Ovaj graf pokazuje da veći JS paketi ne rezultiraju nužno dužim vremenima izvršavanja skripti, što Next.js lijepo demonstrira te sugerira da optimizacija koda može kompenzirati povećanje veličine paketa. SvelteKit uvjerljivo nadmašuje konkurenciju kako u veličini JS paketa, tako i u vrlo niskom vremenu skriptiranja. Nuxt ovdje malo zaostaje, no i dalje je unutar vrlo prihvatljivog vremena skriptiranja.

4.6 Pouzdanost izmjerenih podataka

Analiza pouzdanosti podataka temelji se na statističkim pokazateljima varijabilnosti i konzistentnosti mjerenja te je u skladu s nalazima iz izvještaja "Lighthouse Metric Variability and Accuracy" (javno dostupan Google Doc [18]) koji identificira mrežu, hardver, poslužitelj i nondeterminističko ponašanje preglednika kao glavne izvore varijabilnosti.

Opažene varijacije - U našim skupovima podataka standardne devijacije kreću se od $\pm 5,9\%$ do $\pm 17,3\%$, što ukazuje na umjerenu do povišenu varijabilnost ovisno o kombinaciji okvira/strategije. Manje varijacije kod Next.js ($\pm 5,9\%$ - $\pm 14,8\%$) potvrđuju njegovu veću stabilnost, dok veće varijacije kod CSR kombinacija i nekih Nuxt/SvelteKit scenarija odražavaju osjetljivost na implementacijske razlike i testne uvjete (kao što je mrežno kašnjenje ili različito ponašanje klijentskog JS koda).

Nalazi u spomenutom dokumentu potvrđuju da pojedine metrike (npr. LCP, TTI) mogu imati znatnu varijabilnost između mjerenja te da za robustnu procjenu treba koristiti više ponavljanja i kontrolirano okruženje.

Preporučeni protokol mjerenja - Googleov dokument [18] preporučuje sljedeće korake za pouzdano mjerenje performansi: - Izvršiti najmanje 3 mjerenja po konfiguraciji; za metrike ili konfiguracije s visokom varijabilnošću (LCP, anomalije u CSR) preporučljivo je 5 ili više mjerenja. - Pri izvještavanju prikazati: broj mjerenja (n), srednju vrijednost (mean), medijan, standardnu devijaciju, te minimalnu i maksimalnu vrijednost. - Koristiti dosljedno, kontrolirano okruženje: isto hardversko okruženje, isključen/umjeren promet u pozadini, stabilna mrežna veza (po mogućnosti žičana ili lokalno simulirana), i fiksno throttling podešenje pri korištenju Lighthouse/DevTools.

Testiranja na kojima se temelji ovaj rad provedena su u skladu s navedenim Googleovim smjernicama. Za svaki testni scenarij urađeno je 10 mjerenja, na vrlo stabilnoj internetskoj vezi, uz fiksno throttling podešenje. Uz standardnu devijaciju, u izvještajima su zabilježene i minimalne i maksimalne vrijednosti podataka⁵.

⁵Svi izvještaji i izmjereni podaci kao i testna Node.js skripta lighthouse-reporter dostupni su na repozitoriju : <https://github.com/AlphaActual/lighthouse-reporter>

4.7 Ključna opažanja

Analiza rezultata otkriva nekoliko ključnih opažanja koja imaju praktičnu vrijednost za razvojne timove i arhitekte web aplikacija.

Next.js se izdvaja kao najstabilniji i najbolji okvir kroz sve testirane scenarije, s konzistentnim performansama i najmanjom varijabilnošću rezultata. Ova prednost posebno je izražena na statičnom sadržaju, ali se održava i kroz dinamičke scenarije.

Strategija iscertavanja mora biti usklađena s prirodom sadržaja. SSR strategija pokazuje najbolje rezultate za dinamički sadržaj, ISR za hibridne scenarije, a SSG za statični sadržaj. CSR strategija ima specifične prednosti za FCP i TBT metrike, ali pokazuje najveću nestabilnost i varijabilnost.

Kvantitativno pogoršanje performansi prema složenosti sadržaja je sistematsko i mjerljivo - ukupne performanse opadaju za 0,68 postotnih bodova od statične na blog stranicu, a dodatnih 0,91 postotnih bodova na blog post stranicu. Ovo predstavlja ukupno smanjenje od 1,59 postotnih bodova (1,7% relativno smanjenje) između najjednostavnije i najsloženije stranice.

LCP metrika predstavlja najveći izazov za sve testirane kombinacije, što ukazuje na potrebu za specifičnim optimizacijama. Ni jedna kombinacija nije dosljedno postizala izvrsne LCP rezultate, što sugerira da je ova metrika područje za buduće poboljšanje.

Postoji jasni kompromis između performansi i razvojne složenosti. Strategije koje postižu najbolje ocjene (SSG, ISR) često zahtijevaju duža vremena izgradnje i složeniju konfiguraciju.

Konzistentnost performansi jednako je važna kao i vrhunski rezultati. Next.js pokazuje da stabilnost i predvidljivost mogu biti jednako vrijedne kao i maksimalne performanse, posebno u produkcijskim okruženjima.

Tip stranice značajno utječe na izbor optimalne kombinacije. Analiza pokazuje da ne postoji univerzalno najbolje rješenje - optimalni izbor ovisi o specifičnostima aplikacije i prirodi sadržaja.

Dodatne metrike otkrivaju važne razvojne kompromise. SvelteKit se ističe dramatičnom prednošću u veličini JS paketa (58kB vs 118-154kB konkurenta) i najkraćim vremenima izgradnje, što ga čini idealnim za projekte gdje su brzina razvoja i mala veličina paketa prioritet. Snažna korelacija između veličine paketa i vremena izgradnje ($r=0.868$) potvrđuje da performanse dolaze uz cijenu razvojne složenosti.

Identificirani su specifični ograničavajući faktori. Next.js CSR kombinacija na blog post stranici pokazuje anomalno ponašanje ($CLS = 0.3$), što ukazuje na važnost temeljitog testiranja specifičnih kombinacija i prilagodbu arhitekture koda određenoj strategiji iscertavanja. Vanjski faktori poput brzine Lorem Picsum servisa mogu ograničiti LCP performanse neovisno o arhitekturnim odlukama.

Razlika između teorijskih i praktičnih performansi je značajna. Dok Next.js teorijski ima najveće JS pakete i najdulja vremena izgradnje, u praksi postiže najbolje ukupne performanse, što naglašava važnost empirijskog testiranja nad spekulativnim optimizacijama.

Ova opažanja pružaju praktične smjernice za arhitekturne odluke i omogu-

ćavaju razvojnim timovima da donesu informirane izbore na temelju empirijskih dokaza umjesto samo teorijskih razmatranja.

5 Zaključak

Ovaj rad predstavlja sveobuhvatnu empirijsku analizu performansi tri vodeća programska okvira za razvoj web aplikacija (Next.js, Nuxt.js i SvelteKit) kroz četiri različite strategije iscertavanja (CSR, SSR, SSG i ISR). Kroz sustavno testiranje 360 kombinacija i analizu 12 ključnih metrika performansi, istraživanje pruža konkretne dokaze koji mogu usmjeriti arhitekturne odluke u modernom web razvoju.

5.1 Glavni nalazi istraživanja

U hijerarhiji programskih okvira Next.js nedvosmisleno je pozicioniran kao vodeći programski okvir s ukupnim ocjenama između 92,3% i 96,0% ovisno o tipu stranice. Ova prednost nije samo kvantitativna već i kvalitativna - Next.js demonstrira najveću stabilnost s najmanjim standardnim devijacijama ($\pm 7,0\%$ do $\pm 14,8\%$) što ga uz odličnu dokumentaciju i široku podršku čini najboljim i najpouzdanijim izborom za produkcijske aplikacije. Nuxt.js zauzima drugu poziciju s konzistentnim ocjenama između 88.1 i 89.4%, dok SvelteKit ne zaostaje mnogo sa vrlo respektabilnim rezultatima od 87,4% do 87,8% (slika 22).

Optimalne strategije iscertavanja prema vrsti sadržaja - Analiza otkriva jasne obrasce u pogledu optimalnih strategija za različite tipove sadržaja. Inkrementalna statička regeneracija (ISR) pokazuje se kao najbolja strategija za statični sadržaj (91,9% na stranici O nama), kombinirajući prednosti statičke generacije s fleksibilnošću dinamičkog ažuriranja. Za dinamički sadržaj, SSR strategija ostvaruje najbolje rezultate (91,3% na blog stranicama), dok SSG zadržava solidne performanse kroz sve tipove stranica zahvaljujući predvidljivosti unaprijed pripremljenog sadržaja. CSR strategija, unatoč svojim teoretskim prednostima, pokazuje najveću varijabilnost i najniže ukupne performanse, osobito na složenijim stranicama.

Sistematsko pogoršanje performansi prema složenosti - Istraživanje kvantificira troškove povećane složenosti sadržaja: ukupne performanse opadaju s 91,01% na statičnoj stranici preko 90,33% na blog stranici do 89,42% na stranicu pojedinog blog posta. Ovo predstavlja ukupno smanjenje od 1,59 postotnih bodova ili 1,7% relativno smanjenje, što je statistički značajno i praktički relevantno za korisničko iskustvo.

Specifične slabosti postojećih rješenja - Largest Contentful Paint (LCP) metrika identificirana je kao najveći izazov za sve testirane kombinacije, s ocjenama od 77,4% do 80,8%. Ova konzistentna slabost ukazuje na sistemske probleme koji nadilaze izbor okvira ili strategije, možda vezane uz optimizaciju slika ili vanjskih resursa. Dodatno, identificirana je specifična anomalija u Next.js CSR kombinaciji na blog post stranici gdje je Cumulative Layout Shift dosegao problematičnu vrijednost od 0,3, što rezultira ocjenom od samo 40 bodova. Ova anomalija naglašava važnost temeljitog testiranja specifičnih kombinacija i prilagodbu arhitekture koda određenoj strategiji iscertavanja.

5.2 Praktične implikacije za razvoj

Za projekte gdje su performanse kritičan faktor, Next.js se nameće kao jasni izbor zbog svoje stabilnosti i vrhunskih rezultata. Nuxt.js predstavlja solidnu alternativu za Vue.js ekosustav s predvidljivim performansama. SvelteKit, unatoč mladosti, pokazuje značajan potencijal, osobito za projekte gdje su veličina JS paketa (58kB vs 118-154kB konkurenata) i brzina razvoja prioritet.

Optimizacija prema vrsti sadržaja - Statični sadržaj poput marketing stranica i dokumentacije trebao bi koristiti ISR ili SSG strategije za maksimalne performanse. Dinamički sadržaj kao što su forumi, dashboards ili real-time aplikacije trebaju SSR pristup. CSR strategiju treba rezervirati za specifične slučajeve gdje je visoka interaktivnost važnija od početnih performansi učitavanja.

Razvojni kompromisi. Istraživanje otkriva snažnu korelaciju između veličine JS paketa i vremena izgradnje ($r=0.868$), te nadalje sugerira da performanse dolaze uz cijenu razvojne složenosti. SvelteKit nudi najbrža vremena izgradnje (8,7-14,3 sekunde) i najmanje JS pakete, što ga čini idealnim za iterativni razvoj, dok Next.js zahtijeva duža vremena izgradnje (do 42,3 sekunde za CSR) i pruža superiorne performanse unatoč najvećim veličinama JS paketa na testovima.

5.3 Ograničenja istraživanja

Rezultati ovog istraživanja trebaju se interpretirati u kontekstu određenih ograničenja. Testiranje je provedeno na demo aplikaciji relativno jednostavne arhitekture, što možda ne odražava u potpunosti složenost realnih produkcijskih aplikacija. Korištenje vanjskih servisa poput Lorem Picsum i JSONPlaceholder moglo je utjecati na određene metrike, osobito LCP. Testiranje je također ograničeno na Vercel platformu, što je bilo nužno za podršku svih strategija iscrtavanja, ali može utjecati na generalizaciju rezultata za druge hosting platforme.

5.4 Smjernice za buduća istraživanja

Ovo istraživanje otvara nekoliko pravaca za buduće studije. Potrebna su testiranja na složenijim aplikacijama s različitim arhitekturnim obrascima kako bi se validirali nalazi u realnim scenarijima. Analiza performansi na različitim hosting platformama bila bi vrijedna za razumijevanje utjecaja infrastrukture na rezultate. Dodatno, longitudinalna studija koja prati evoluciju performansi kroz verzije okvira mogla bi pružiti uvid u trendove optimizacije.

Posebno područje interesa predstavlja dublja analiza LCP optimizacije budući da je identificirana kao univerzalni problem. Istraživanje različitih pristupa optimizaciji slika, lazy loading strategija i CDN konfiguracija moglo bi pružiti praktične smjernice za poboljšanje ove kritične metrike.

5.5 Završne napomene

Rezultati ovog istraživanja potvrđuju da ne postoji univerzalno najbolje rješenje u modernom web razvoju. Optimalne kombinacije programskih okvira i strategija iscrtavanja ovise o specifičnostima aplikacije, prirodi sadržaja i prioritetima

razvoja. Međutim, empirijski podaci jasno pokazuju hijerarhiju opcija i pružaju konkretne smjernice za donošenje informiranih odluka.

Next.js se izdvaja kao najzreliji i najstabilniji izbor za kritične aplikacije, dok SvelteKit nudi inovativni pristup s obećavajućim rezultatima za buduće projekte. Strategije iscertavanja moraju biti pažljivo odabrane prema prirodi sadržaja, pri čemu SSR dominira kod dinamičkog sadržaja, a ISR/SSG kod statičnog.

Važnost empirijskog testiranja ne može se dovoljno naglasiti. Dok teorijske prednosti određenih pristupa mogu zvučati uvjerljivo, stvarne performanse ponekad odstupaju od očekivanja. Ovaj rad demonstrira vrijednost sustavnog mjerenja i analize u procesu donošenja arhitekturnih odluka.

Konačno, dinamična priroda web tehnologija zahtijeva kontinuirano preispitivanje i ažuriranje spoznaja. Kako programski okviri evoluiraju i nove strategije iscertavanja nastaju, buduća istraživanja trebaju nastaviti pružati empirijske temelje za evoluciju web razvoja i najboljih praksi.

Literatura

- [1] A. A. Moore. "How to choose the best rendering strategy for your app". Vercel, srpanj 2024. [Na internetu]. Dostupno: <https://vercel.com/blog/how-to-choose-the-best-rendering-strategy-for-your-app> [pristupano 12. lipnja 2025.].
- [2] P. Bratslavsky. "What Is Website Rendering: CSR, SSR, and SSG Explained". strapi, svibanj 2025. [Na internetu]. Dostupno: <https://strapi.io/blog/what-is-website-rendering> [pristupano 13. lipnja 2025.].
- [3] I. Beran. "Usporedba metoda renderiranja web aplikacija". Prirodoslovno-matematički fakultet u Splitu, Sveučilište u Splitu, siječanj 2023. [Na internetu]. Dostupno: <https://repozitorij.pmfst.unist.hr/islandora/object/pmfst:1621> [pristupano 13. lipnja 2025.].
- [4] Google. "In-depth guide to how Google Search works". [Na internetu]. Dostupno: <https://developers.google.com/search/docs/fundamentals/how-search-works?hl=en> [pristupano 14. lipnja 2025.].
- [5] Next.js. "Loading UI and Streaming". [Na internetu]. Dostupno: <https://nextjs.org/docs/14/app/building-your-application/routing/loading-ui-and-streaming> [pristupano 14. lipnja 2025.].
- [6] Vue.js. "Server-Side Rendering (SSR)". [Na internetu]. Dostupno: <https://vuejs.org/guide/scaling-up/ssr.html> [pristupano 14. lipnja 2025.].
- [7] Next.js. "Static Site Generation (SSG)". [Na internetu]. Dostupno: <https://nextjs.org/docs/pages/building-your-application/rendering/static-site-generation> [pristupano 14. lipnja 2025.].
- [8] Sanity. "Static Site Generation (SSG) definition". [Na internetu]. Dostupno: <https://www.sanity.io/glossary/static-site-generation> [pristupano 14. lipnja 2025.].
- [9] Netlify. "Incremental Static Regeneration: Its Benefits and Its Flaws", ožujak 2021. [Na internetu]. Dostupno: <https://www.netlify.com/blog/2021/03/08/incremental-static-regeneration-its-benefits-and-its-flaws> [pristupano 15. lipnja 2025.].
- [10] O. Troyan. "Comparing Nuxt 3 Rendering Modes: SWR, ISR, SSR, SSG, SPA". RisingStack, svibanj 2024. [Na internetu]. Dostupno: <https://blog.risingstack.com/nuxt-3-rendering-modes/#isr> [pristupano 15. lipnja 2025.].
- [11] Carl Nordström and A. Danielsson. "Comparisons of Server-side Rendering and Client-side Rendering for Web Pages", rujan 2023. [Na internetu]. Dostupno: <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1797261/FULLTEXT02.pdf> [pristupano 13. lipnja 2025.].

- [12] W. J. Pollard Barry. "Time to First Byte (TTFB)". web.dev. [Na internetu]. Dostupno: <https://web.dev/articles/ttfb> [pristupano 19. lipnja 2025.].
- [13] Google. "Introduction to Lighthouse". [Na internetu]. Dostupno: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview> [pristupano 19. lipnja 2025.].
- [14] Google Chrome Developers. "performance scoring in lighthouse". Chrome Developer Documentation, 2025. [Na internetu]. Dostupno: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/performance-scoring> [pristupano 13. kolovoza 2025.].
- [15] Vercel. "Frameworks on Vercel". [Na internetu]. Dostupno: <https://vercel.com/docs/frameworks> [pristupano 19. lipnja 2025.].
- [16] Google Chrome Developers. "lighthouse total blocking time". Chrome Developer Documentation, 2025. [Na internetu]. Dostupno: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/lighthouse-total-blocking-time> [pristupano 15. kolovoza 2025.].
- [17] Svelte. "Svelte 3: Rethinking Reactivity", 2019. [Na internetu]. Dostupno: <https://svelte.dev/blog/svelte-3-rethinking-reactivity> [pristupano 15. kolovoza 2025.].
- [18] Google Lighthouse Community. "Lighthouse Metric Variability and Accuracy", 2025. [Na internetu]. Dostupno: https://docs.google.com/document/d/1BqtL-nG53rxW0I5R00pItSRPowZVnYJ_gBEQJCJ5EeUE/edit [pristupano 16. kolovoza 2025.].

Popis slika

1	Dijagram iscrtavanja na strani klijenta (CSR)	4
2	Dijagram iscrtavanja na strani poslužitelja (SSR)	7
3	Dijagram generiranja statičkih stranica (SSG)	9
4	Dijagram inkrementalne statičke regeneracije (ISR)	11
5	Prikaz blog podstranice	12
6	Testiranje stranice pojedinog bloga kroz terminal	16
7	Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira (stranica O nama)	20
8	Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira po metrici (stranica O nama)	20
9	Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici - postotak (stranica O nama)	21
10	Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici - vrijednosti (stranica O nama)	22
11	Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica O nama)	23
12	Ukupne ocjene radnih značajki (stranica Blog)	25
13	Ukupne ocjene radnih značajki po metrici (stranica Blog)	25
14	Ocjene radnih značajki - postotak (stranica Blog)	26
15	Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica Blog)	27
16	Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica Blog)	28
17	Ukupne ocjene radnih značajki (stranica pojedinog bloga)	30
18	Ukupne ocjene radnih značajki po metrici (stranica pojedinog bloga)	30
19	Ocjene radnih značajki - postotak (stranica pojedinog bloga)	31
20	Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica pojedinog bloga)	32
21	Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica pojedinog bloga)	33
22	Ukupne ocjene radnih značajki programskih okvira po tipu stranice	35
23	Ocjene strategija iscrtavanja po tipu stranice	35
24	Prosječna vremena izgradnje po okviru i strategiji	37
25	Mapa topline vremena izgradnje	37
26	Ukupne ocjene radnih značajki izgradnje okvira	38
27	Prosječna veličina paketa po strategiji	38
28	Distribucija veličine paketa po okviru	39
29	Odnos između veličine paketa i vremena izgradnje	39
30	Prosječna vremena skriptiranja	40
31	Odnos između vremena skriptiranja i veličine paketa	40

Popis tablica

1	Sažetak rezultata testiranja stranice O nama	24
2	Sažetak rezultata testiranja stranice Blog	29
3	Sažetak rezultata testiranja stranice pojedinog bloga	34
4	Usporedba metrika po tipu stranice	36