

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

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)	4
1.3	Generiranje statičkih stranica (SSG)	5
1.4	Inkrementalna statička generacija (ISR)	6
2	Metodologija	9
2.1	Opis referentne aplikacije	9
2.2	Implementacija u programskim okvirima	9
2.3	Mjerene metrike Performansi	10
2.4	Iscrtavanje najvećeg sadržaja (LCP)	10
2.5	Ukupno vrijeme blokiranja (TBT)	10
2.6	Kumulativna promjena rasporeda (CLS)	10
2.7	Vrijeme do interaktivnosti (TTI)	11
2.8	Vrijeme do prvog bajta (TTFB)	11
2.9	Dodatne metrike	11
2.10	Lighthouse	11
2.11	Chrome DevTools	11
2.12	Lighthouse reporter	12
2.13	Struktura i prikaz podataka	13
2.14	Testno okruženje	14
3	Rezultati testiranja	16
3.1	Rezultati testiranja stranice "O nama"	17
3.2	Sažetak rezultata - stranica "O nama"	21
3.3	Rezultati testiranja stranice Blog	22
3.4	Sažetak rezultata - stranica Blog	26
3.5	Rezultati testiranja stranice pojedinog blog posta	27
3.6	Sažetak rezultata - stranica pojedinog blog posta	31
3.7	Ukupni rezultati	32
3.8	Dodatne metrike	33
4	Analiza rezultata	38
4.1	Analiza ocjena radnih značajki programskih okvira	38
4.2	Analiza ocjena strategija iscrtavanja	38
4.3	Analiza rezultata pojedinih metrika - Web Vitals	39
4.4	Analiza utjecaja tipa stranice na ocjene	40
4.5	Analiza rezultata dodatnih metrika	41
4.6	Pouzdanost izmјerenih podataka	41
4.7	Ključna opažanja	42
5	Zaključak	43
Literatura		44

Popis slika **46**

Popis tablica **47**

1 Strategije iscrtavanja

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 iscrtavanja 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 iscrtavanja poput iscrtavanja 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 iscrtavanja poput inkrementalne statičke generacije (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 iscrtavanja 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 iscrtavanja 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 iscrtavanja (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 mjerjenje i usporedba odabralih metrika performansi što uključuje: vrijeme do prvog bajta (TTFB), prvo iscrtavanje sadržaja (FCP), iscrtavanje 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 iscrtavanja.
3. Utvrđivanje prednosti i nedostataka svake strategije iscrtavanja 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 iscrtavanja.

Kako bi rezultati bili reprezentativni i usporedivi sa svakodnevnim korisničkim iskustvom, sva mjerena izmjerenja su u stvarnim uvjetima na aplikacijama postavljenima na platformu Vercel, koja u trenutku pisanja ovog rada jedina nudi mogućnost postavljanja sve četiri strategije iscrtavanja 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. Odabранo je ograničenje veze koje simulira sporu 4G vezu te dvostruko smanjenje brzine procesora.

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

Pojam strategije iscrtavanja 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 iscrtavanja također bitno utječe i na SEO tj. vidljivost kod pretraživanja internetskim tražilicama [2].

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

1.1 Iscrtavanje na strani klijenta (CSR)

Ova metoda iscrtavanja 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 iscrtavanja, 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 svježi 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 iscrtavanja sadržaja. Ovo ograničenje posebno dolazi do izražaja prilikom učitavanja na sporijim mrežama.
- Lošiji SEO – iako današnji pretraživači¹ mogu očitati i stranice iscrtane 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 iscrtati.

S obzirom na navedene prednosti i nedostatke ova strategija iscrtavanja 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]

1.2 IsCRTavanje na strani poslužitelja (SSR)

Kako bi se uklonili nedostatci 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 začetaka Interneta.

No moderni programski okviri poput Nuxta i SvelteKita spajaju SSR i CSR na način da se prilikom prvobitnog posjeta stranici ona iscrtava na poslužitelju, te se korisniku šalje već popunjena 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 elemenima 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 funkcioniра 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 izbjegći 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 funkcioniрати, 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 pričuvnu 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

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 učitavaju 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].

1.4 Inkrementalna statička generacija (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 cijelokupni 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 cijelovita 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 posjeti 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 1: Pregled strategija iscrtavanja u Next.js programskom okviru [11]

2 Metodologija

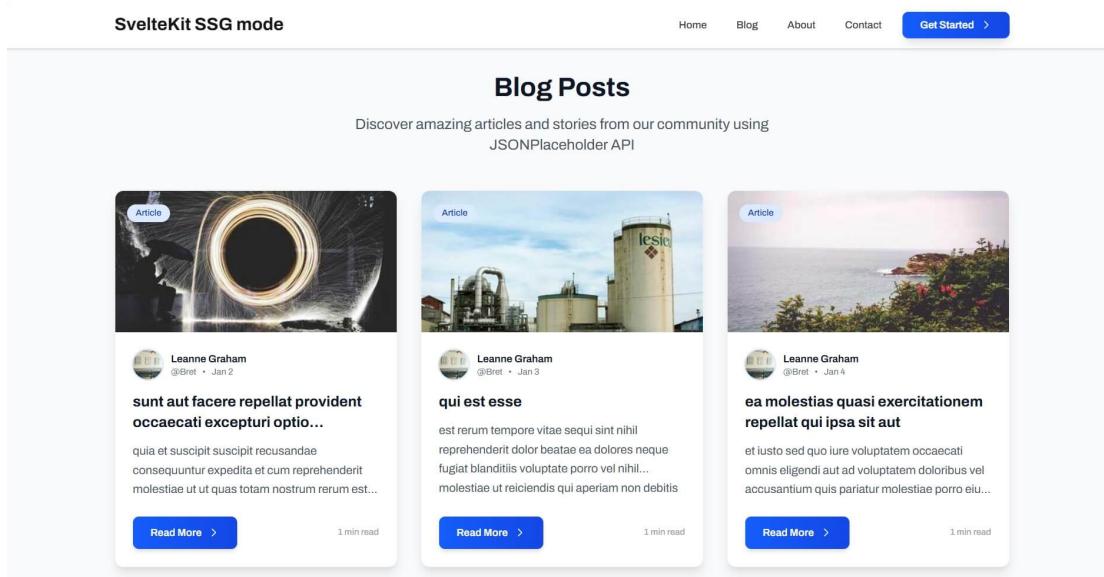
2.1 Opis referentne aplikacije

Za potrebe testiranja performansi različitih programskih okvira kroz različite strategije iscrtavanja 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 slike poslužuju se kroz servis Lorem Ipsum 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 2: Prikaz blog podstranice

2.2 Implementacija u programskim okvirima

Work in progress

2.3 Mjerene metrike Performansi

Za mjerjenje performansi aplikacije odabrane su standardne metrike poznate pod nazivom Web vitals nastale na Googleovu inicijativu kako bi se standardiziralo mjerjenje 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.

2.4 Isrtavanje 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 dobrom 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 [12].

2.5 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 zadatka (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 [12].

2.6 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 metrike je važna jer pokazuje stabilnost stranice, a poželjno je da rezultat bude što niži – vrijednost 0.1 smatra se dobrom rezultatom [12].

2.7 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 uzrokovani loše optimiziranim JavaScript kodom. [12]

2.8 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 preusmjeravanja, 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 [13].

2.9 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 grola u performansama aplikacije.

2.10 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 [14].

2.11 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 [12].

2.12 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 programske okvire.

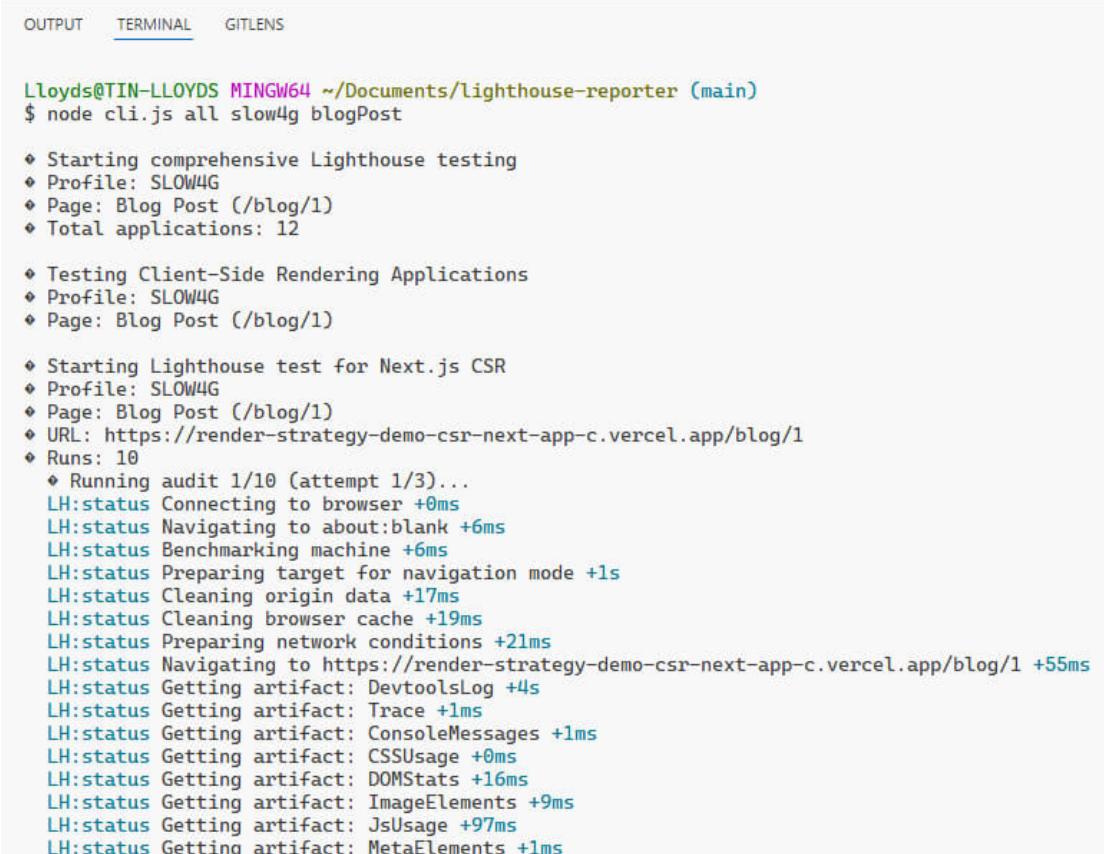
²3 aplikacije * 4 strategije iscrtavanja * 10 testova po kombinaciji * 3 podstranice (about, blog, blog detalji)

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 cijelovitost 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 proizvodnjoj 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 autoričkom Git repozitoriju.⁴



The screenshot shows a terminal window with three tabs at the top: OUTPUT, TERMINAL (which is selected), and GITLENS. The terminal output displays the command \$ node cli.js all slow4g blogPost followed by the Lighthouse test results. The results show a comprehensive test starting with a profile of SLOW4G, testing a single page of type Blog Post, and involving 12 total applications. It then details the Next.js CSR test, including navigating to the URL https://render-strategy-demo-csr-next-app-c.vercel.app/blog/1, performing 10 runs, and running an audit. The log is filled with numerous status messages from LH:status indicating the progress of the browser connection, navigation, benchmarking, and artifact retrieval. The overall process takes approximately 55ms.

```
Lloyds@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 3: Testiranje stranice pojedinog bloga kroz terminal

2.13 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 [15].

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 rezulatati u obliku postotka. Uz određene rezultate prikazana je i standardna devijacija.

2.14 Testno okruženje

Kako bi se osigurali konzistentni uvjeti testiranja koji odgovaraju stvarnom korisničkom iskustvu, te omogućila podrška za specifične strategije iscrtavanja (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 iscrtavanja za svaki od prethodno navedenih programskih okvira. Ovo osigurava maksimalnu kompatibilnost i integraciju bez komplikiranih konfiguracija [16].

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:

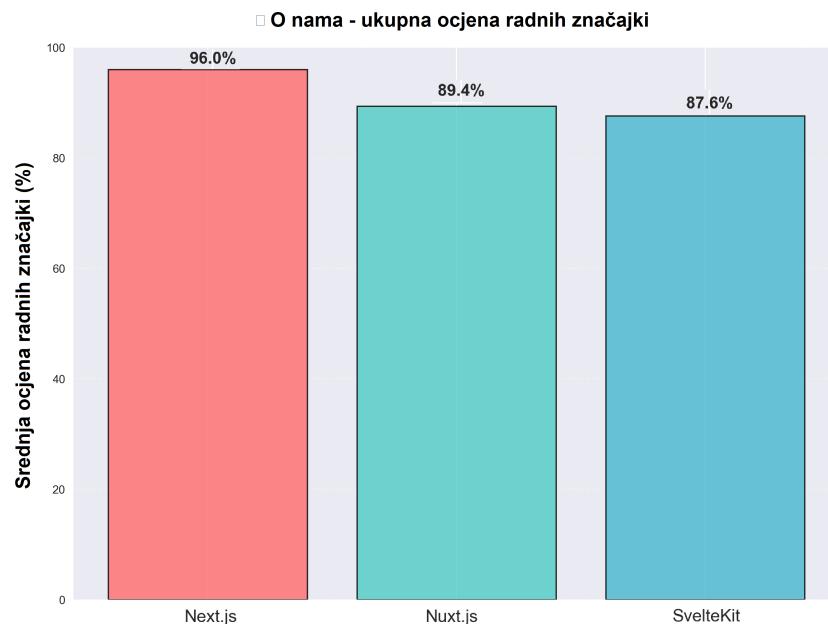
- **Ukupna ocjena radnih značajki programskog okvira**
- **Ukupna ocjena radnih značajki programskog okvira po metriци**
- **Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metriци (postotak)**
- **Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metriци (vrijednosti)**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

Ukupni rezultati cijelokupne aplikacije:

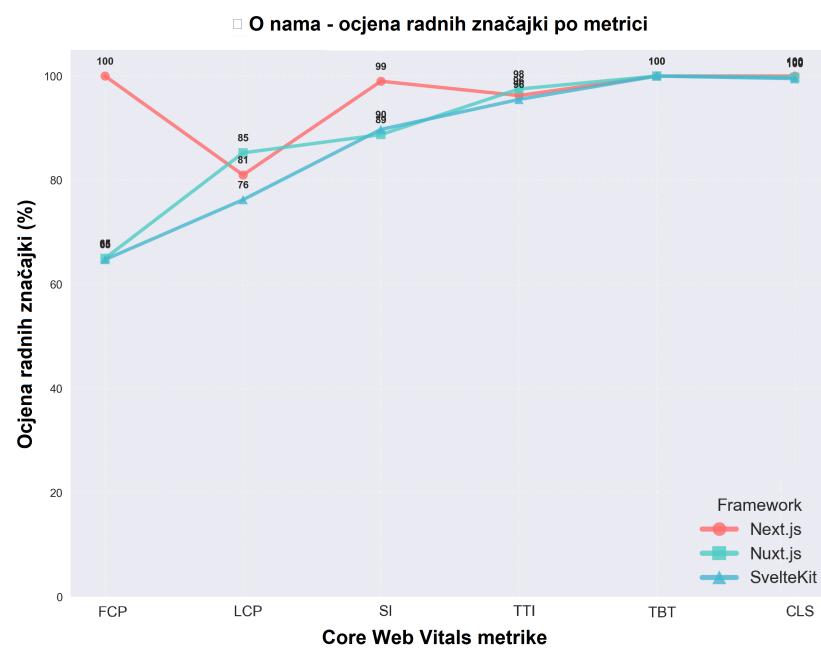
Za prikaz dodatnih metrika odabrani su slijedeći grafovi i tablice:

- **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**
- **Konzistentnost vremena izgradnje po strategiji iscrtavanja**
- **Raspodjela veličine JS paketa po programskom okviru**
- **Odnos između veličine JS paketa i vremena izgradnje**
- **Mapa topline učinkovitosti programskog okvira po strategiji iscrtavanja**
- **Srednja vrijednost vremena izgradnje po programskom okviru**
- **Kompromis između vremena skriptiranja i veličine JS paketa**

3.1 Rezultati testiranja stranice "O nama"

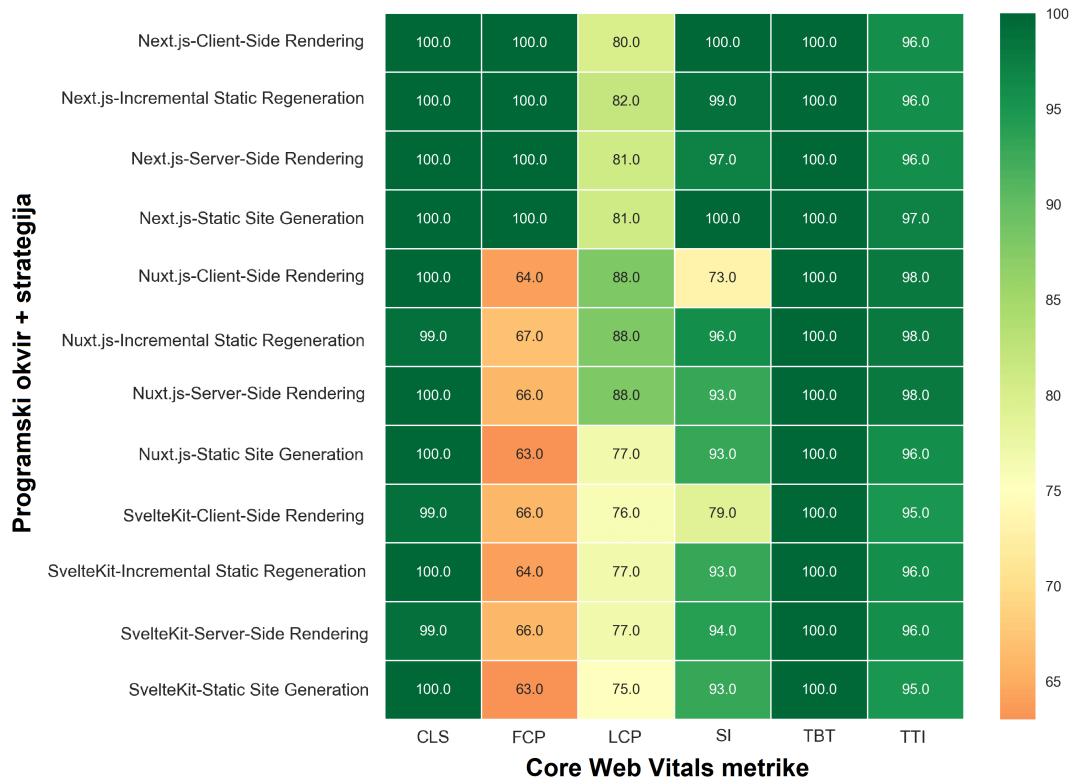


Slika 4: Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira (stranica O nama)

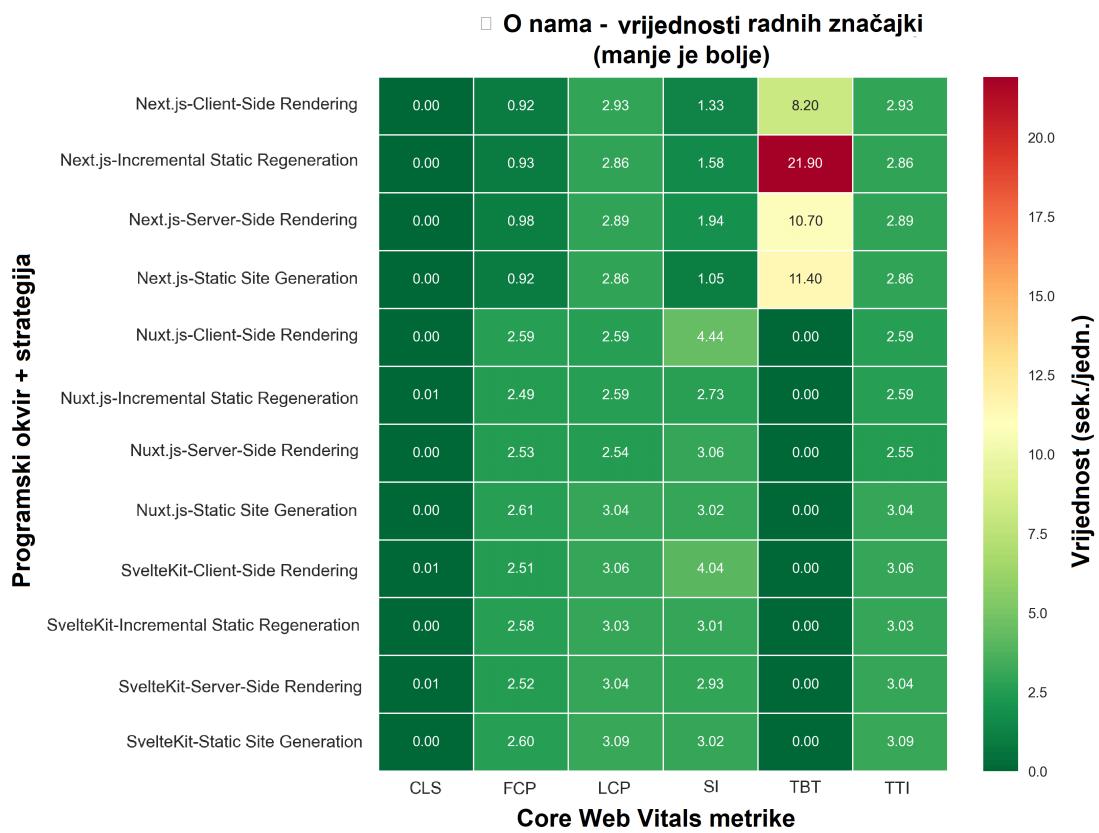


Slika 5: Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira po metrići (stranica O nama)

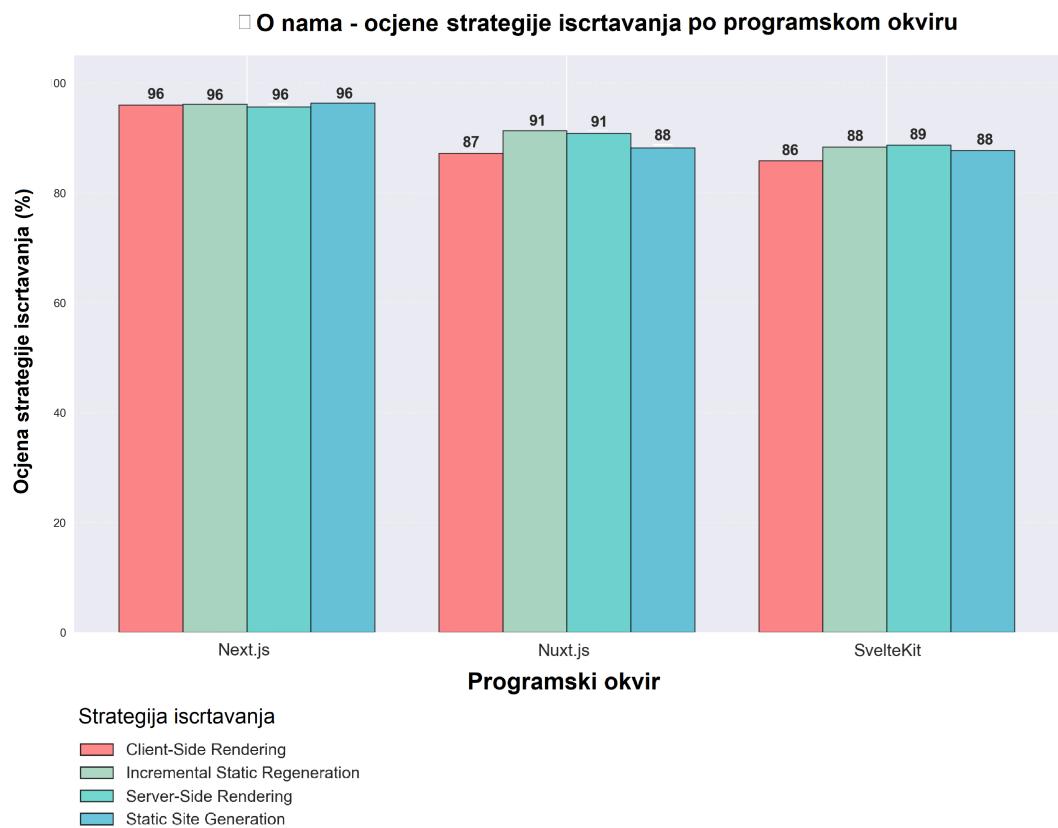
□ O nama - ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrići (više je bolje)



Slika 6: Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrići - postotak (stranica O nama)



Slika 7: Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrići - vrijednosti (stranica O nama)



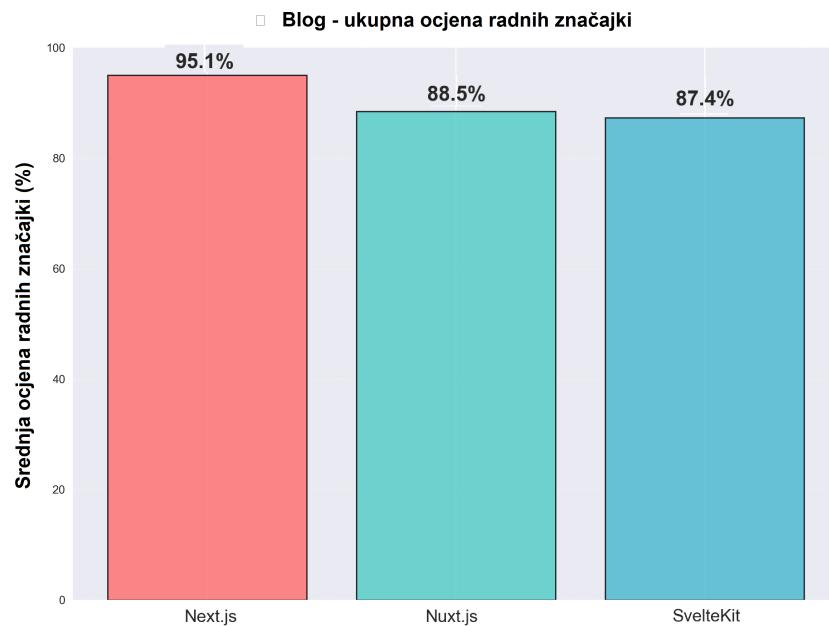
Slika 8: Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica O nama)

3.2 Sažetak rezultata - stranica "O nama"

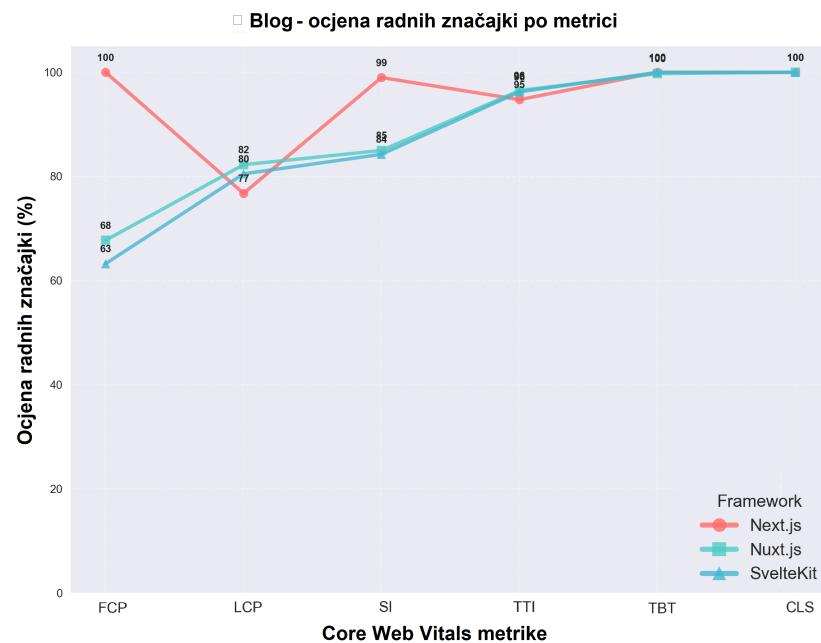
Kategorija	Element	Ocjena
Programski okviri	1. Next.js	96.0% ($\pm 7.0\%$)
	2. Nuxt.js	89.4% ($\pm 13.2\%$)
	3. SvelteKit	87.6% ($\pm 13.5\%$)
Strategije iscrtavanja	1. Incremental Static Regeneration	91.9% ($\pm 11.7\%$)
	2. Server-Side Rendering	91.7% ($\pm 11.5\%$)
	3. Static Site Generation	90.7% ($\pm 13.0\%$)
	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 metriци	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

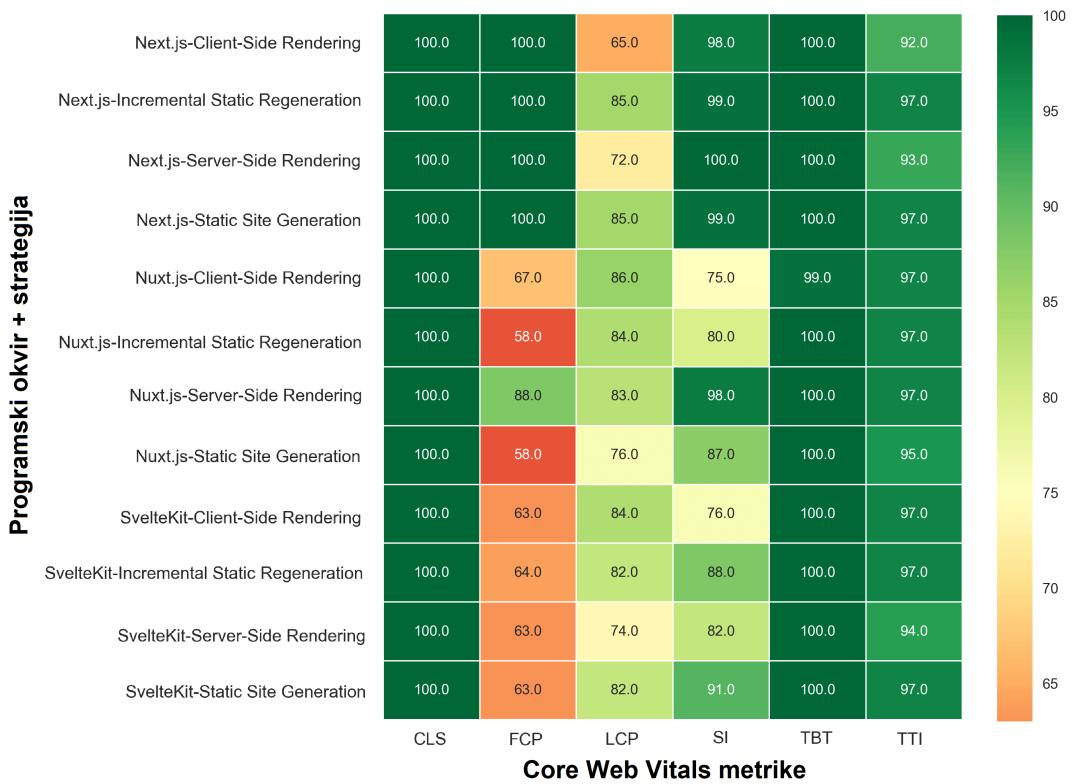


Slika 9: Ukupne ocjene radnih značajki (stranica Blog)

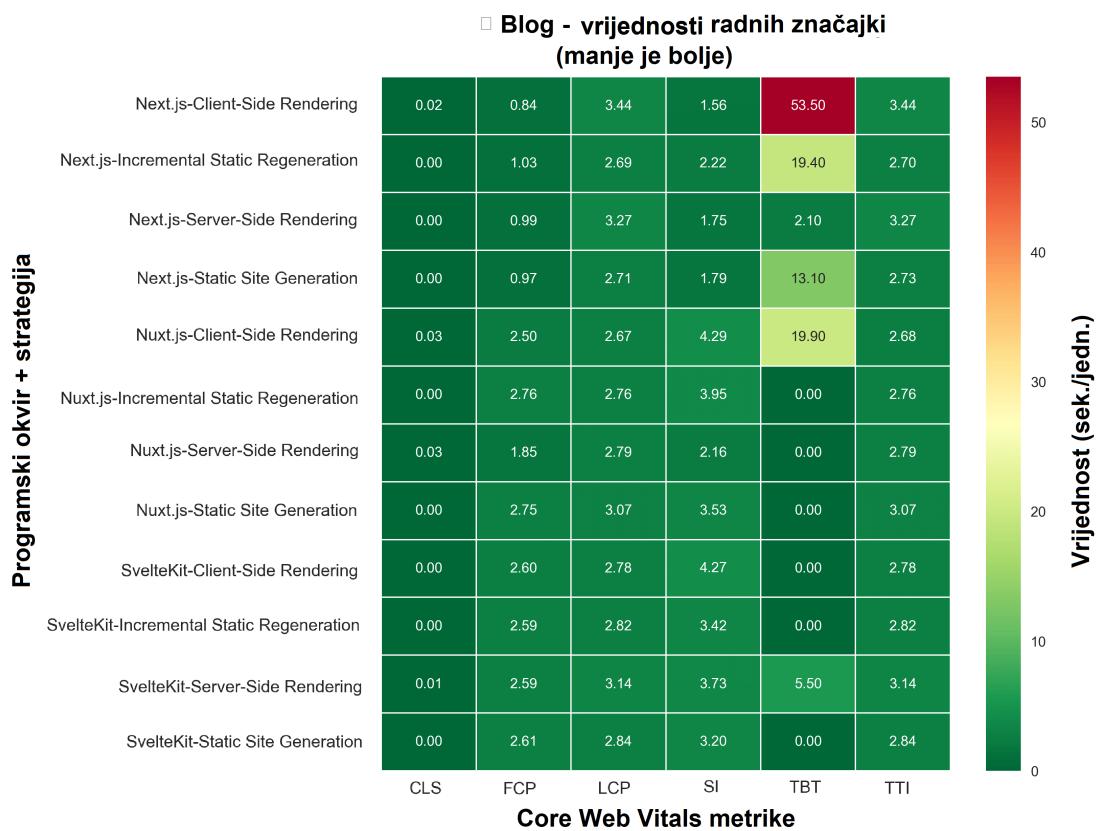


Slika 10: Ukupne ocjene radnih značajki po metrići (stranica Blog)

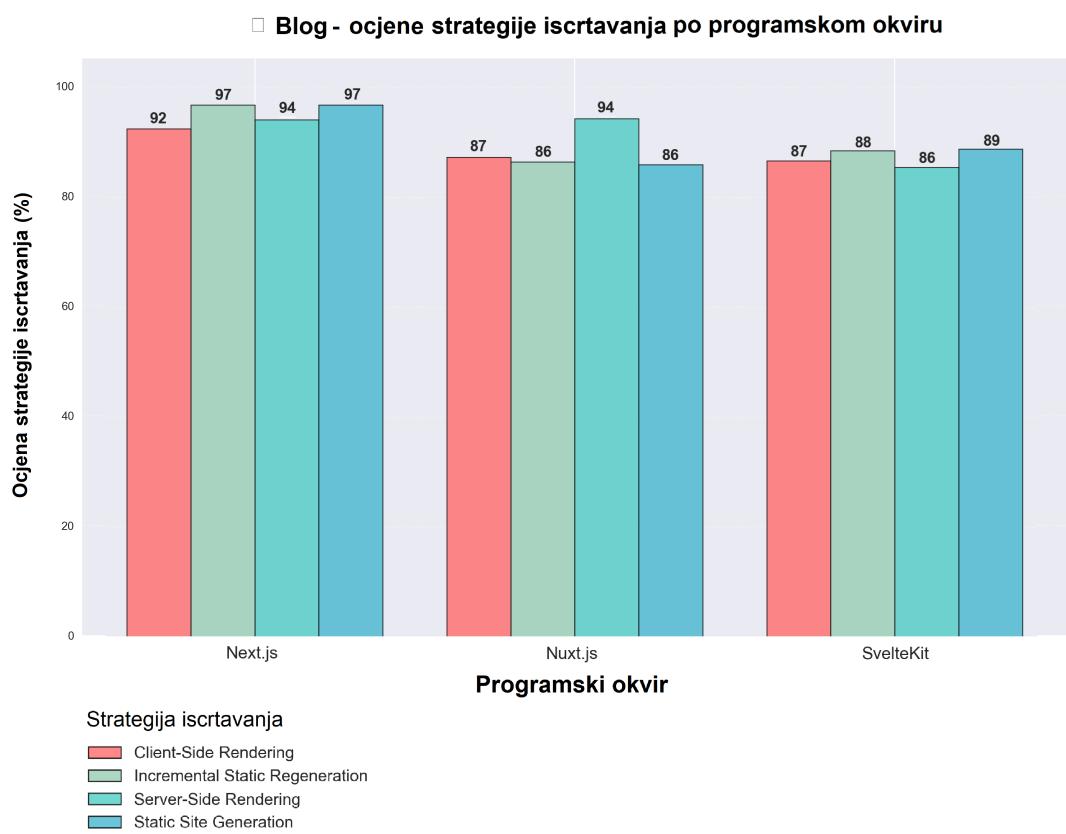
□ **Blog - ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrići (više je bolje)**



Slika 11: Ocjene radnih značajki - postotak (stranica Blog)



Slika 12: Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica Blog)



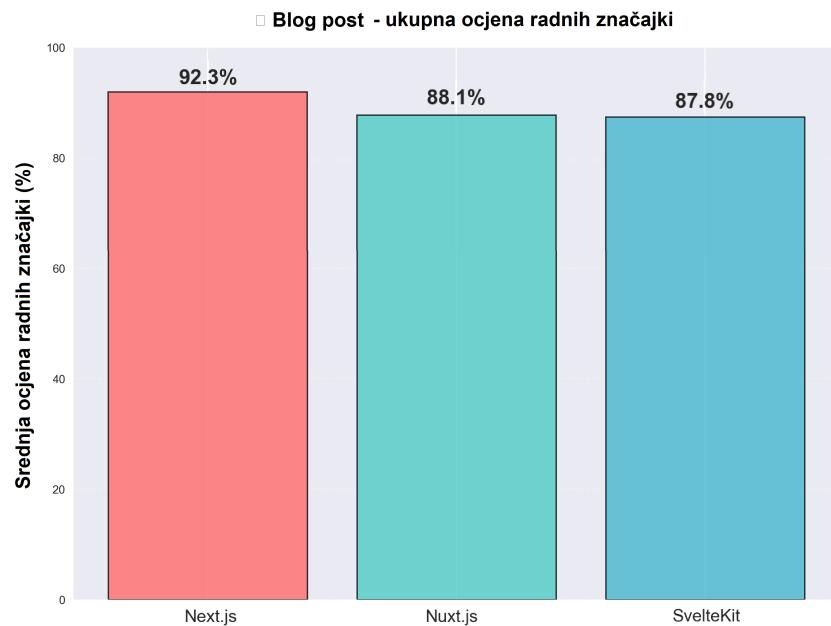
Slika 13: Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica Blog)

3.4 Sažetak rezultata - stranica Blog

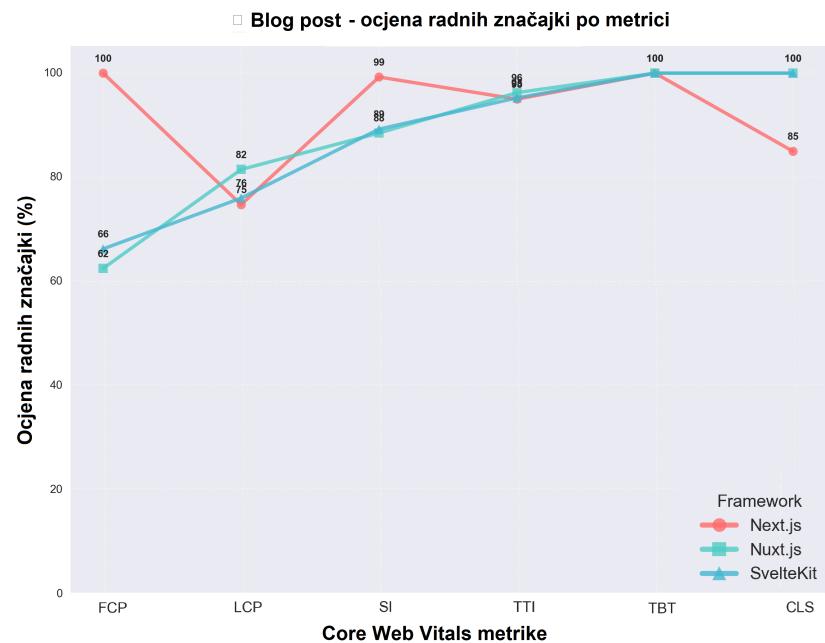
Tablica 2: Sažetak rezultata testiranja stranice Blog

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

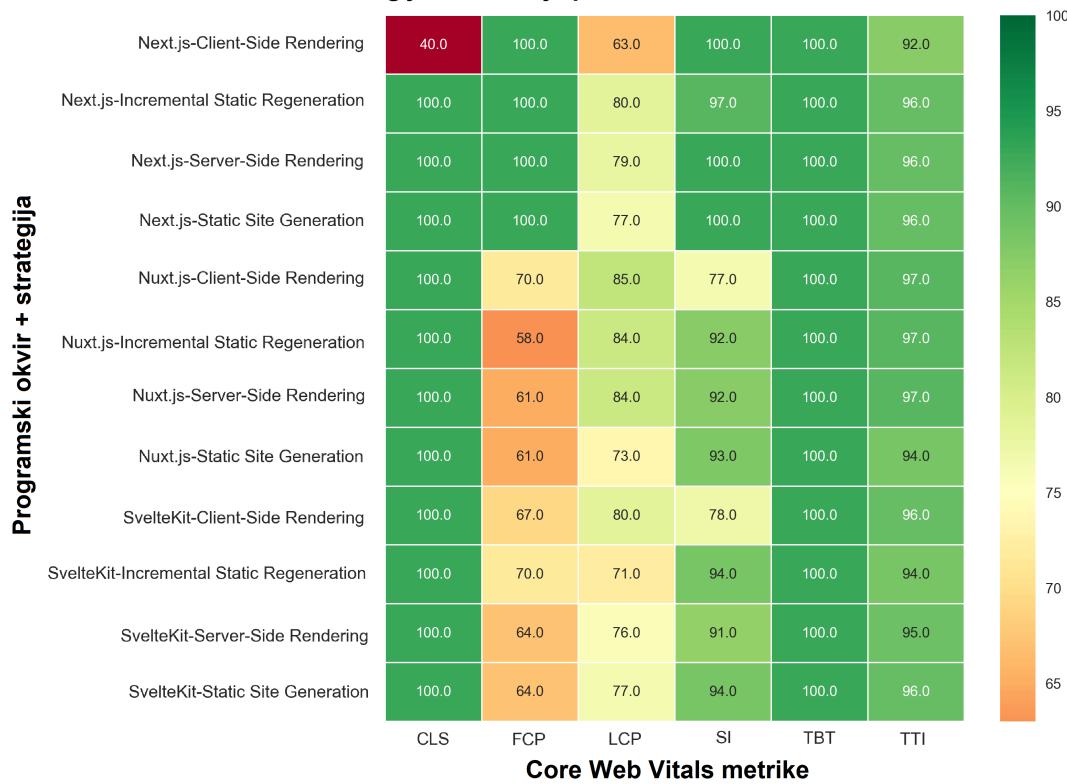


Slika 14: Ukupne ocjene radnih značajki (stranica pojedinog bloga)

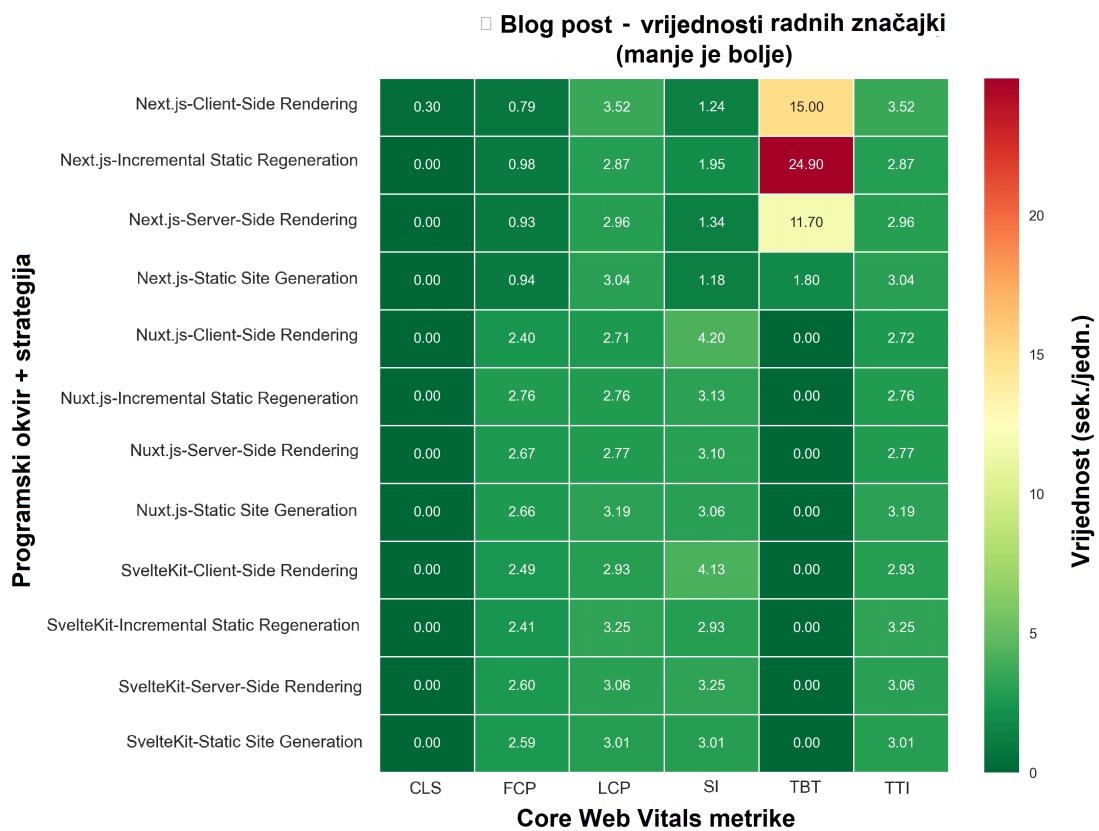


Slika 15: Ukupne ocjene radnih značajki po metrići (stranica pojedinog bloga)

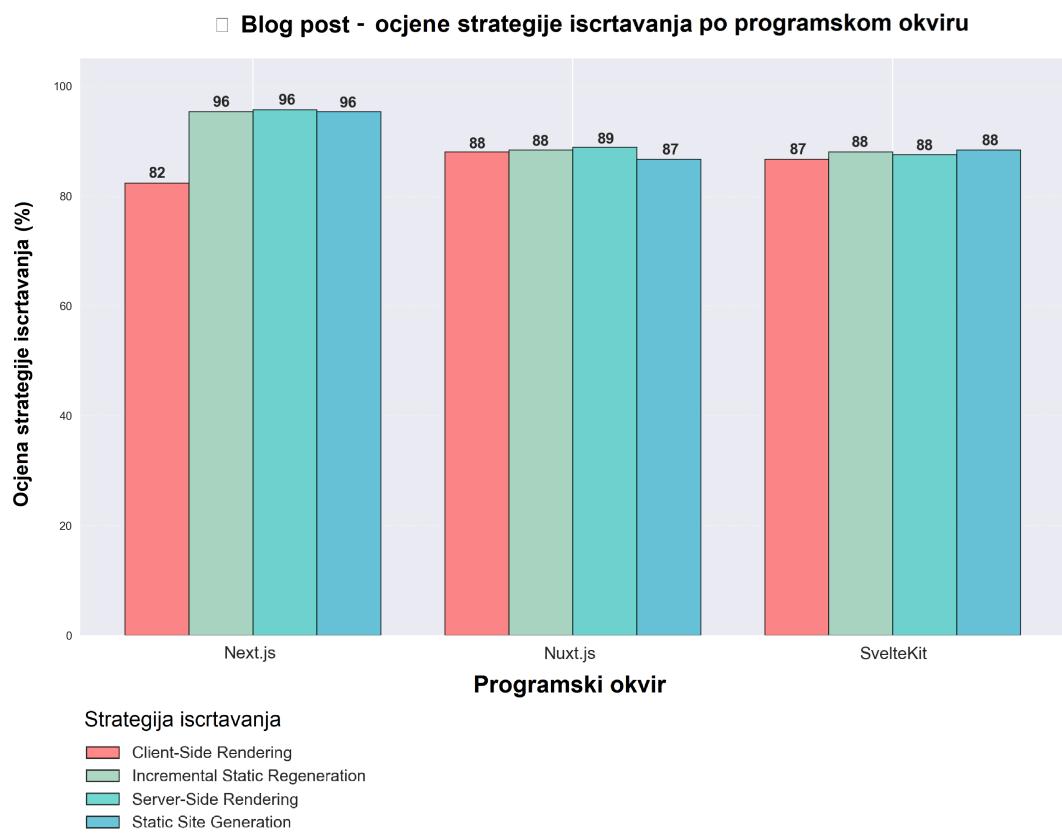
□ **Blog post - ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrići (više je bolje)**



Slika 16: Ocjene radnih značajki - postotak (stranica pojedinog bloga)



Slika 17: Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica pojedinog bloga)



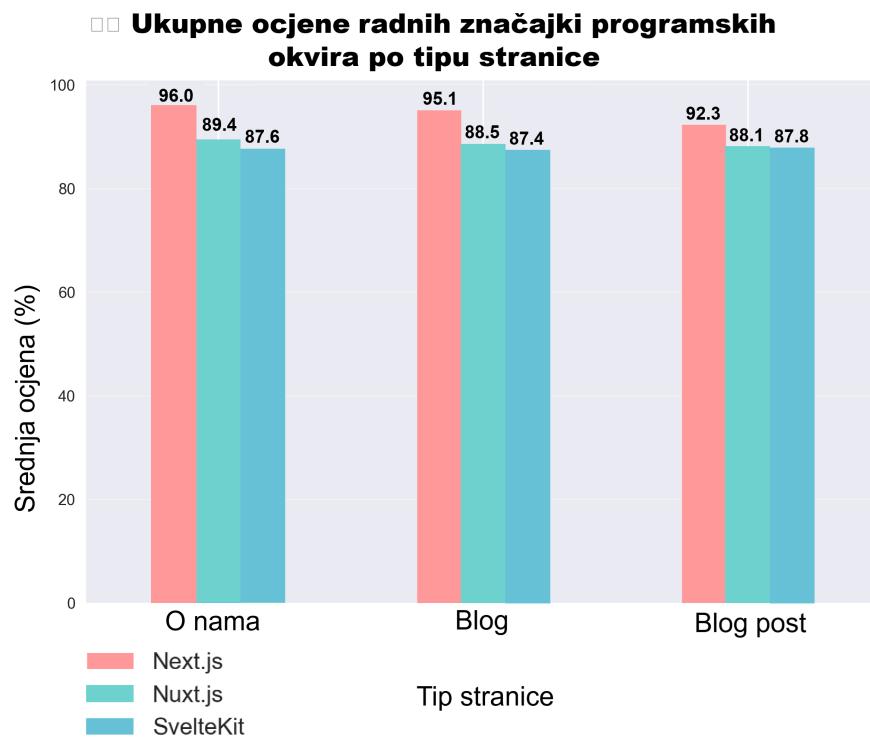
Slika 18: Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica pojedinog bloga)

3.6 Sažetak rezultata - stranica pojedinog blog posta

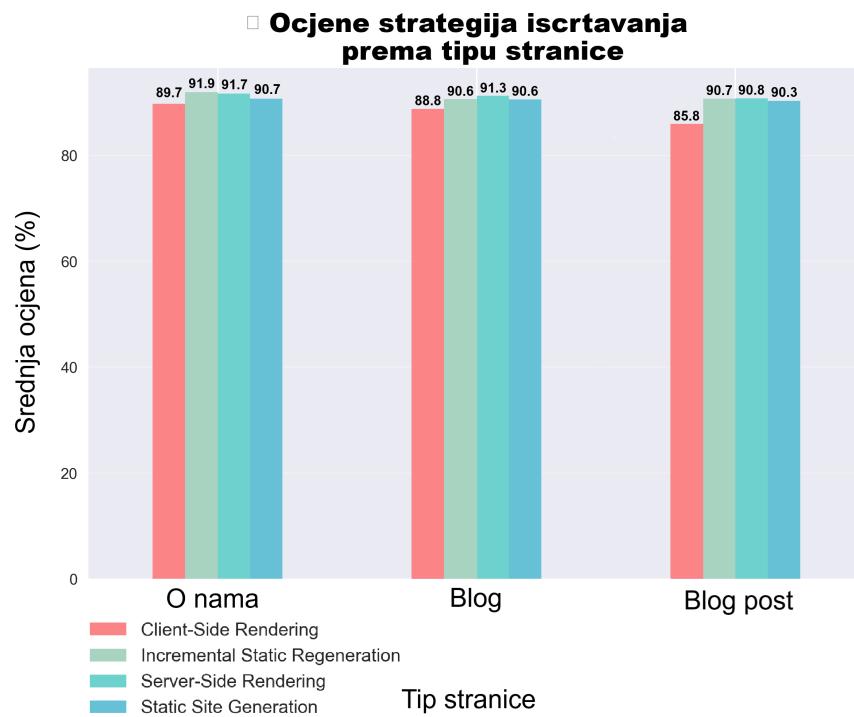
Tablica 3: Sažetak rezultata testiranja stranice pojedinog bloga

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 metrički	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

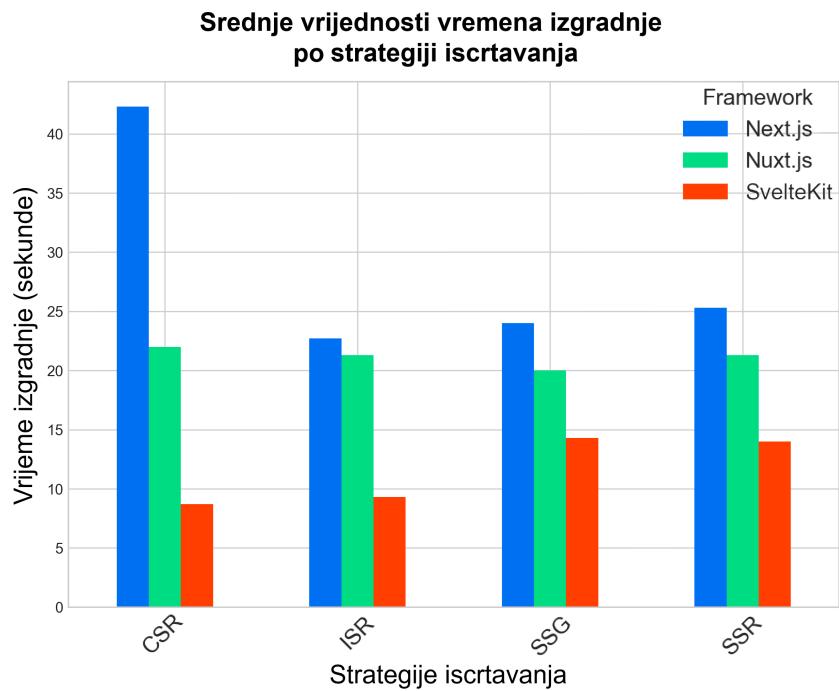


Slika 19: Ukupne ocjene radnih značajki programskih okvira po tipu stranice

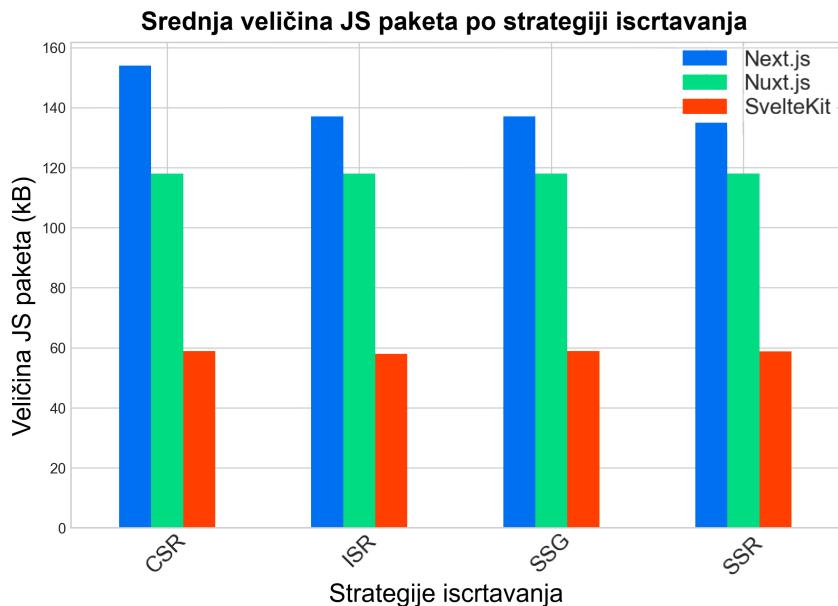


Slika 20: Ocjene strategija iscrtavanja po tipu stranice

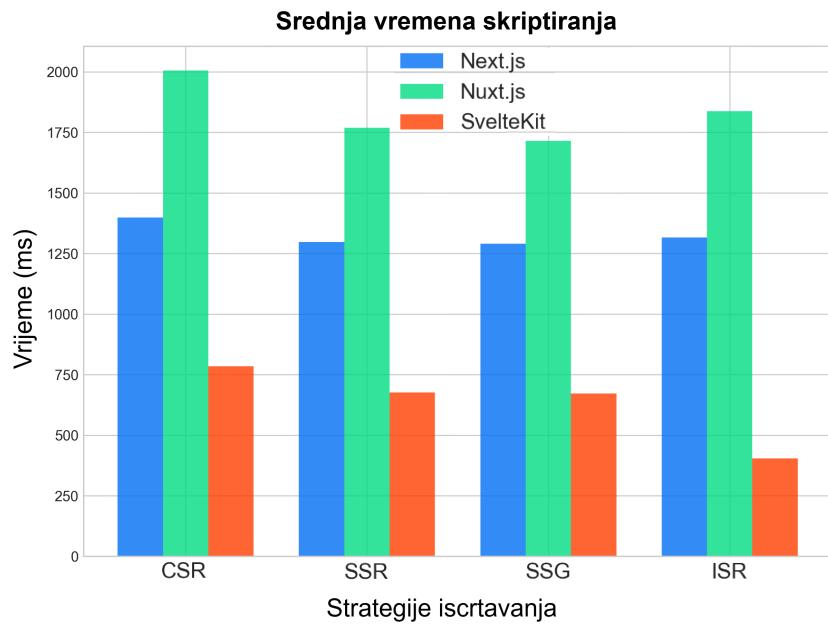
3.8 Dodatne metrike



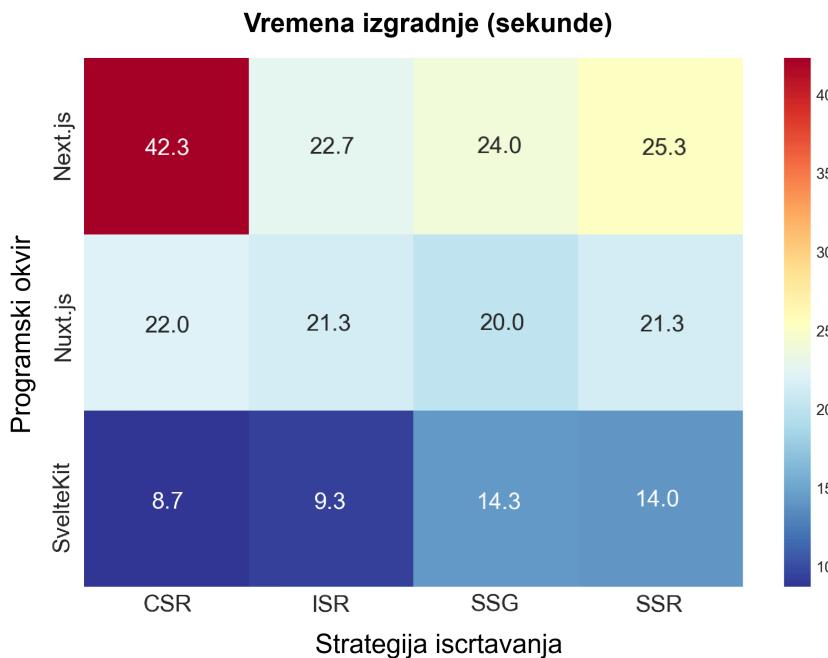
Slika 21: Prosječna vremena izgradnje po okviru i strategiji



Slika 22: Prosječna veličina paketa po strategiji

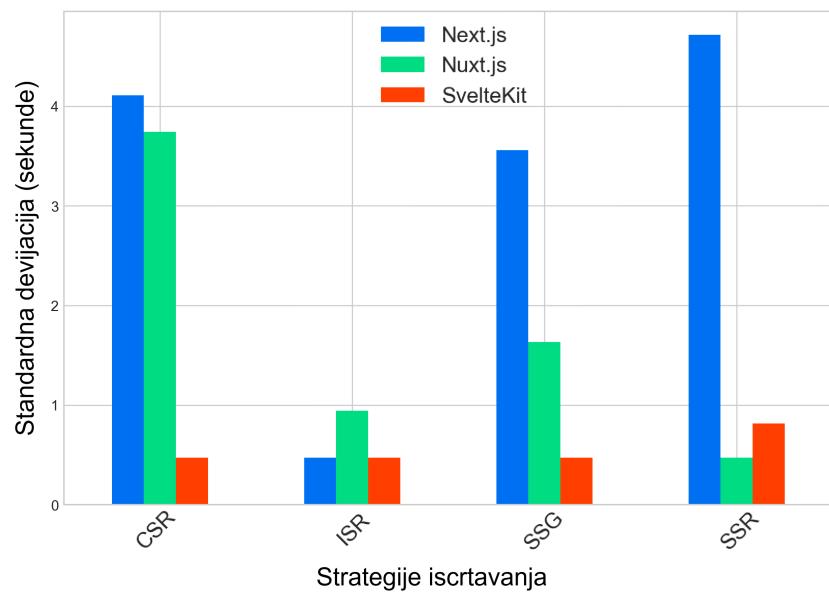


Slika 23: Prosječna vremena skriptiranja



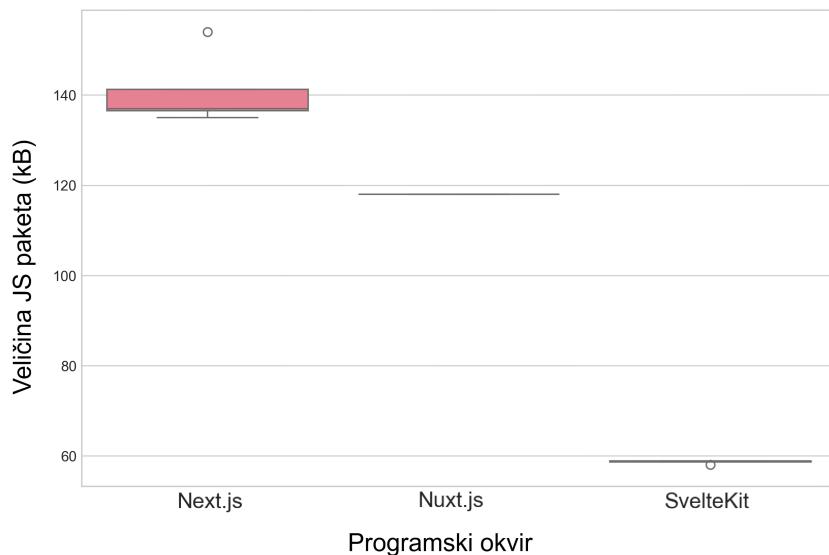
Slika 24: Mapa topline vremena izgradnje

Konzistentnost vremena izgradnje (manje je bolje)

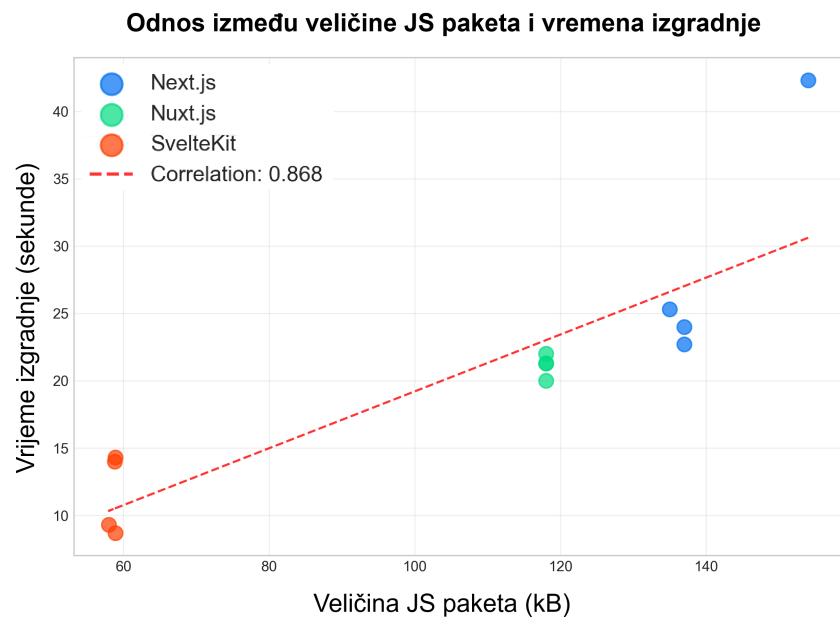


Slika 25: Konzistentnost vremena izgradnje

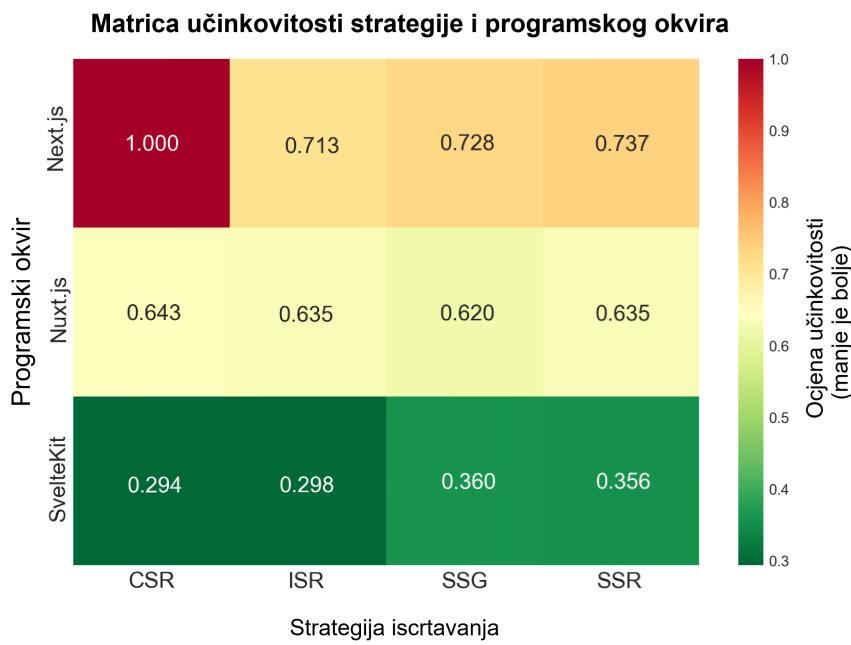
Raspodjela veličine paketa po programskom okviru



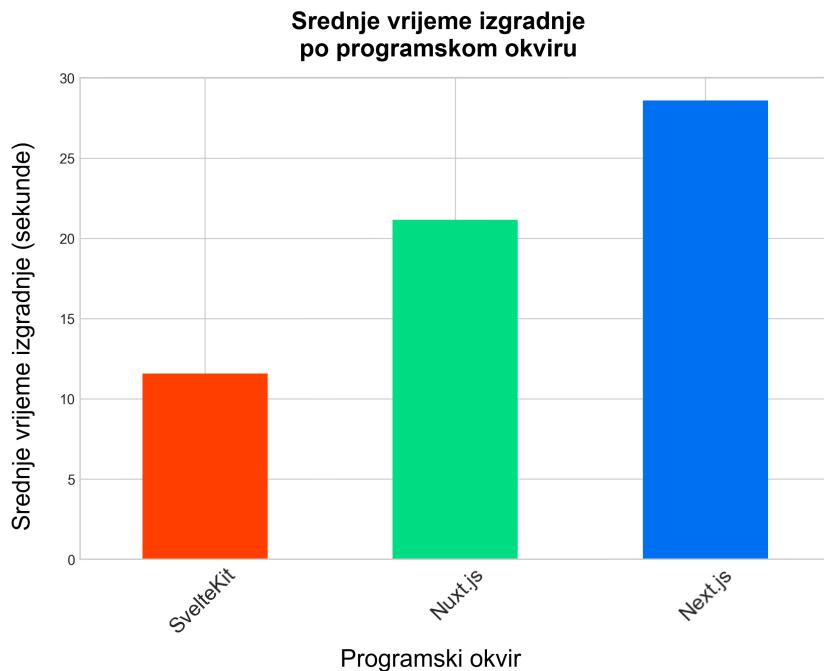
Slika 26: Distribucija veličine paketa po okviru



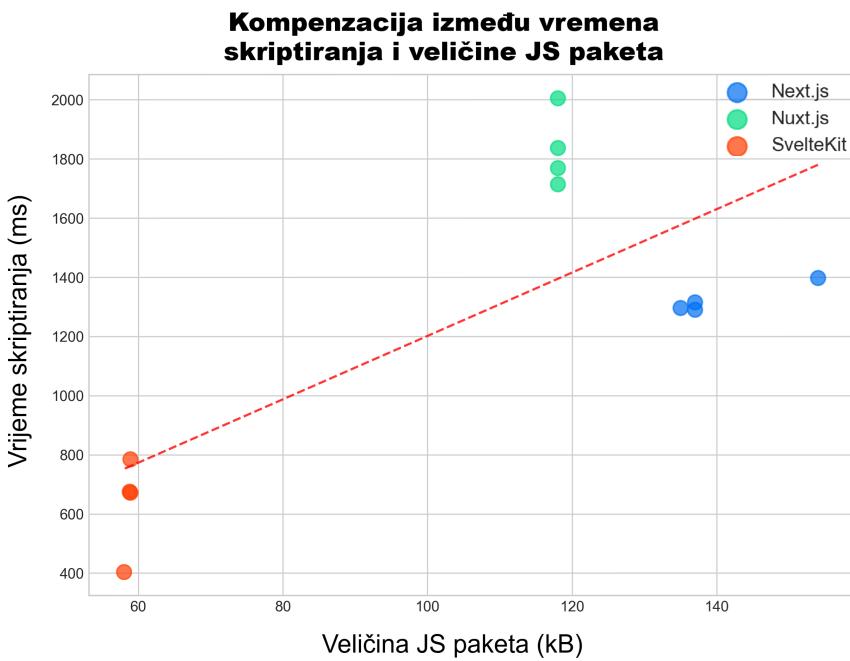
Slika 27: Korelacija između veličine paketa i vremena izgradnje



Slika 28: Matrica efikasnosti okvira i strategije



Slika 29: Ukupne ocjene radnih značajki izgradnje okvira



Slika 30: Kompromis između performansi 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 mjerjenjem 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).

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 konkurenčiju.

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 jednakom 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 pouzdajnijeg 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) pokazuje najbolje rezultate na statičnoj stranici "O nama" (91,9%), što je očekivano zbog kombinacije prednosti statičke generacije s mogućnošću osvježavanja sadržaja. Na dinamičnim stranicama ISR zadržava kompetentnih 90,6% do 90,7%, čime se potvrđuje njegova fleksibilnost i prilagodljivost.

Server-Side Rendering (SSR) ostvaruje odlične rezultate kod prikaza dinamičkog sadržaja, posebice na stranicama Blog (91,3%) i Blog post (90,8%). Iako se često smatra idealnom za dinamički sadržaj, u ovom je testiranju strategija

zabilježila najbolje rezultate na statičnoj stranici "O nama" (91,7%), što ukazuje na njenu visoku efikasnost neovisno o tipu sadržaja.

Static Site Generation (SSG) bilježi konzistentno dobre ocjene na svim testiranim stranicama (90,3% - 90,7%), s najboljim rezultatima na stranicama Blog i "O nama" (90,6% - 90,7%). Konzistentnost rezultata odražava osnovnu prednost SSG strategije - potpunu pripremu sadržaja tijekom izgradnje, što omogućava predvidljive performanse neovisno o složenosti sadržaja.

Client-Side Rendering (CSR) pokazuje najveće varijacije u performansama ovisno o tipu stranice. Na statičnoj stranici "O nama" CSR postiže solidne rezultate (89,7%), ali značajno opada na složenijim dinamičkim stranicama (Blog post - 85,8%). Ova strategija također pokazuje najnižu minimalnu ocjenu u cijelom testiranju (40 bodova na blog post stranici), što ukazuje na potencijalne probleme s konzistentnošću. Ovo ponašanje odražava inherentnu karakteristiku CSR-a gdje se složenost obrade prebacuje na klijentsku stranu.

Standardne devijacije pokazuju da SSR i ISR imaju najmanje varijacije ($\pm 11,5\%$ do $\pm 12,9\%$), dok CSR pokazuje najveće varijacije ($\pm 13,0\%$ do $\pm 17,3\%$), što sugerira da su server-side strategije predvidljivije u performansama.

4.3 Analiza rezultata pojedinih metrika - Web Vitals

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

Analiza agregiranih metrika po tipovima stranica pokazuje jasne obrasce performansi kroz različite Web Vitals metrike. Cumulative Layout Shift (CLS) postiže najbolje ukupne rezultate s ocjenama od 95,0% do 100,0%, pri čemu blog stranica postiže savršenu ocjenu (100,0%). Total Blocking Time (TBT) također pokazuje izvrsne rezultate (99,9% - 100,0%), što ukazuje na dobру optimizaciju blokadnog vremena kroz sve testirane kombinacije.

Time to Interactive (TTI) metrika bilježi konzistentno visoke ocjene (95,5% - 96,4%), s najboljim rezultatima na statičnoj stranici "O nama" (96,4%). Speed Index (SI) pokazuje veće varijacije ovisno o tipu stranice, s najboljih rezultatima na stranici "O nama" (92,5%) i Blog post (92,3%), dok Blog stranica zaostaje (89,4%).

First Contentful Paint (FCP) metrika pokazuje umjerene rezultate kroz sve tipove stranica (76,2% - 77,0%), što ukazuje na prostor za poboljšanje brzine inicijalizacije sadržaja. **Largest Contentful Paint (LCP)** predstavlja najveći izazov s najnižim ocjenama (77,4% - 80,8%), pri čemu blog post stranica pokazuje najslabije performanse (77,4%).

Specifične kombinacije okvira i strategija pokazuju sljedeće obrasce: Next.js s CSR strategijom dosljedno postiže najbolje FCP rezultate na svim tipovima stranica (100% ocjena, vrijednosti od 0,79s do 0,92s). Ovo je očekivano jer CSR omogućava vrlo brzu inicijalizaciju osnovnih elemenata stranice prije učitanja sadržaja.

Najbolje LCP rezultate postiže Nuxt.js s CSR strategijom (85% - 88%), ali vrijednosti od 2,59s do 2,71s još uvijek prelaze preporučeni prag od 2,5s. Ovo ukazuje na općeniti izazov optimizacije LCP metrike u modernim web aplikacijama.

Speed Index (SI) pokazuje najbolje rezultate kod Next.js kombinacija, posebno s CSR strategijom koja postiže 100% ocjene. Vrijednosti od 1,24s do 1,75s nalaze se unutar prihvatljivih granica, što ukazuje na dobru optimizaciju progresivnog učitavanja sadržaja.

Time to Interactive (TTI) najbolje rezultate postiže kod Nuxt.js s CSR strategijom (97% - 98%), što sugerira da Nuxt.js ima bolje optimiziranu interaktivnost nakon inicijalizacije aplikacije.

Total Blocking Time (TBT) pokazuje izvrsne rezultate kod Next.js s CSR strategijom (100% ocjene, vrijednosti od 8,2ms do 53,5ms), što je daleko ispod kritičnog praga od 300ms.

Cumulative Layout Shift (CLS) postiže savršene rezultate (100% ocjene, vrijednost 0,000 - 0,020) kod većine kombinacija, što ukazuje na dobru stabilnost layouta kroz sve testirane okvire i strategije. Iznimka je Next.js s CSR strategijom na blog post stranici koji bilježi CLS vrijednost od 0,3 (40 bodova), što predstavlja jedini slučaj značajnog layoutnog pomaka u cijelom testiranju i ukazuje na potrebu za specifičnim optimizacijama ove kombinacije.

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.

Kvantitativna analiza ukupnih performansi pokazuje jasnu hijerarhiju složenosti sadržaja. 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.

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 umjereni 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.

Trend opadanja performansi od statičnog prema dinamičkom sadržaju (Next.js: 96,0% \rightarrow 95,1% \rightarrow 92,3%) jasno ilustrira troškove dinamičke obrade sadržaja.

Ova analiza sugerira da je izbor strategije iscrtavanja kritičan za optimizaciju performansi ovisno o prirodi sadržaja.

4.5 Analiza rezultata dodatnih metrika

Dodatne metrike pružaju uvid u razvojne aspekte performansi koji nisu obuhvaćeni Web Vitals metrikama.

Vremena izgradnje pokazuju značajne razlike među okvirima i strategijama. SSG strategija općenito zahtijeva najduža vremena izgradnje jer mora pripremiti sve stranice unaprijed, dok CSR ima najkraća vremena jer prebacuje složenost na izvršno vrijeme. Next.js demonstrira najbolju optimizaciju procesa izgradnje kroz sve strategije.

Veličina JS paketa varira značajno ovisno o strategiji. CSR strategija rezultira najvećim paketima jer mora uključiti svu logiku za client-side obradu, dok SSG omogućava manje pakete s optimiziranim kodom. SvelteKit pokazuje prednost u veličini paketa zbog svoje arhitekture koja eliminira nepotrebni kod.

Konzistentnost vremena izgradnje ključna je za razvojno iskustvo. Next.js pokazuje najveću konzistentnost, što je važno za predvidljivost razvojnog procesa. Veće varijacije kod drugih okvira mogu utjecati na produktivnost razvojnog tima.

Korelacija između veličine paketa i vremena izgradnje otkriva kompromise u optimizaciji. Strategije koje rezultiraju manjim paketima često zahtijevaju duža vremena izgradnje zbog dodatnih optimizacija, što predstavlja klasični trade-off između razvoja i proizvodnji performansi.

Matrica efikasnosti kombinira runtime performanse s razvojnim metrikama, pružajući holistički pogled na efikasnost. Next.js s ISR strategijom pokazuje najbolju ukupnu efikasnost, balansirajući performanse s praktičnošću razvoja.

4.6 Pouzdanost izmijerenih podataka

Analiza pouzdanosti podataka temelji se na statističkim pokazateljima varijabilnosti i konzistentnosti mjerjenja.

Standardne devijacije kreću se od $\pm 5,9\%$ do $\pm 17,3\%$, što ukazuje na umjerenu varijabilnost rezultata. Manje varijacije kod Next.js ($\pm 5,9\% - \pm 14,8\%$) sugeriraju stabilniju i predvidljiviju platformu, dok veće varijacije kod drugih okvira mogu odražavati manje zrele optimizacije ili veću osjetljivost na testne uvjete.

Konzistentnost preko tipova stranica pokazuje da svi okviri održavaju relativno stabilne performanse, što ukazuje na robušnost testnih rezultata. Sistematski obrasci (npr., opadanje performansi od statičnog prema dinamičkom sadržaju) potvrđuju valjanost izmijerenih trendova.

Reproducibilnost rezultata kroz različite kombinacije okvira i strategija pokazuje logičke obrasci koji su u skladu s teoretskim očekivanjima. Na primjer, CSR strategija dosljedno pokazuje bolje FCP rezultate, dok SSR pokazuje prednosti kod dinamičkih stranica.

Ukupno, podaci pokazuju dovoljnu pouzdanost za izvođenje valjanih zaključaka, iako varijabilnost sugerira potrebu za kontinuiranim testiranjem u različitim uvjetima za potpunu validaciju rezultata.

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 iscrtavanja 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 s ekstremnim vrijednostima (40-100 bodova na blog post stranici).

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 trade-off između runtime performansi i razvojne složenosti. Strategije koje postižu najbolje runtime performanse (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.

Ova opažanja pružaju praktične smjernice za arhitekturalne odluke i omogućavaju razvojnim timovima da donešu informirane izvore na temelju empirijskih dokaza umjesto samo teorijskih razmatranja.

5 Zaključak

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat.

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] G. Dumais. "Next.js: The Ultimate Cheat Sheet To Page Rendering". Jams-tack, srpanj 2021. [Na internetu]. Dostupno: <https://guydumais.digital/blog/next-js-the-ultimate-cheat-sheet-to-page-rendering/> [pristupano 14. lipnja 2025.].

- [12] 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.].
- [13] W. J. Pollard Barry. "Time to First Byte (TTFB)". web.dev. [Na internetu]. Dostupno: <https://web.dev/articles/ttfb> [pristupano 19. lipnja 2025.].
- [14] Google. "Introduction to Lighthouse". [Na internetu]. Dostupno: <https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/overview> [pristupano 19. lipnja 2025.].
- [15] 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.].
- [16] Vercel. "Frameworks on Vercel". [Na internetu]. Dostupno: <https://vercel.com/docs/frameworks> [pristupano 19. lipnja 2025.].

Popis slika

1	Pregled strategija iscrtavanja u Next.js programskom okviru [11]	8
2	Prikaz blog podstranice	9
3	Testiranje stranice pojedinog bloga kroz terminal	13
4	Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira (stranica O nama)	17
5	Ukupna ocjena radnih značajki programskih okvira po metrici (stranica O nama)	17
6	Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici - postotak (stranica O nama)	18
7	Ocjene kombinacije programskog okvira i strategije iscrtavanja po metrici - vrijednosti (stranica O nama)	19
8	Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica O nama)	20
9	Ukupne ocjene radnih značajki (stranica Blog)	22
10	Ukupne ocjene radnih značajki po metrici (stranica Blog)	22
11	Ocjene radnih značajki - postotak (stranica Blog)	23
12	Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica Blog)	24
13	Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica Blog)	25
14	Ukupne ocjene radnih značajki (stranica pojedinog bloga)	27
15	Ukupne ocjene radnih značajki po metrici (stranica pojedinog bloga)	
16	27
17	Ocjene radnih značajki - postotak (stranica pojedinog bloga)	28
18	Ocjene radnih značajki - vrijednosti (stranica pojedinog bloga)	29
19	Ocjene radnih značajki - usporedba strategija (stranica pojedinog bloga)	30
20	Ukupne ocjene radnih značajki programskih okvira po tipu stranice	32
21	Ocjene strategija iscrtavanja po tipu stranice	32
22	Prosječna vremena izgradnje po okviru i strategiji	33
23	Prosječna veličina paketa po strategiji	33
24	Prosječna vremena skriptiranja	34
25	Mapa topline vremena izgradnje	34
26	Konzistentnost vremena izgradnje	35
27	Distribucija veličine paketa po okviru	35
28	Korelacija između veličine paketa i vremena izgradnje	36
29	Matrica efikasnosti okvira i strategije	36
30	Ukupne ocjene radnih značajki izgradnje okvira	37
	Kompromis između performansi i veličine paketa	37

Popis tablica

1	Sažetak rezultata testiranja stranice O nama	21
2	Sažetak rezultata testiranja stranice Blog	26
3	Sažetak rezultata testiranja stranice pojedinog bloga	31