



FAKULTETA ZA MATEMATIKO, NARAVOSLOVJE
IN INFORMACIJSKE TEHNOLOGIJE

RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

PROJEKTNI SEMINAR

Vizualizacija sestave izdelka, podprta z vdelavo jezikovnega modela

TEHNIČNA DOKUMENTACIJA

Avtorji:
Andrej Erjavec

Mentor:
doc. dr. Aleksandar Tošić

16. junij 2025

Kazalo

1	Opis problema	2
2	Analiza in načrtovanje sistema	2
3	Definicija zahtev	4
4	Implementacija	4
4.1	Indeksiranje	4
4.2	Iskanje	5
4.3	Uporabniški vmesnik	6
5	Nadaljnje delo	9

1 Opis problema

Sledljivost izdelkov predstavlja enega od ključnih faktorjev pri zagotavljanju kakovosti produktov v industriji. Formalno s tem pojmom opišemo spremljanje življenjskega cikla izdelka po vseh fazah izdelave - od surovin preko procesa izdelave do končnega izdelka. Dodatno je lahko v proces zajeto tudi skladiščenje ter ostale faze pred predajo končnemu uporabniku. Sledljivost omogoča ugotavljanje izvora sestavnih delov na podlagi podatkov kot so dobavitelj in serija, spremlja operacije na izdelku ter parametre, in beleži rezultate testiranj ter kontrol kakovosti. Pri tem nismo omejeni le na fizične produkte, saj sledljivost dobiva vse večji pomen tudi pri izdelavi programskih produktov.

Problem, s katerim se soočamo v tej nalogi, je vezan na konkretno podjetje, ki izdeluje izdelke za avtomobilsko industrijo. Podjetje uporablja proizvodni proces na linijah, sestavljen iz zaporednih operacij na različnih strojih. Proizvodni proces je sestavljen iz faz oziroma operacij, pri čemer vsaka operacija teče na določenem stroju na liniji. V začetek proizvodnega procesa vstopajo surovi materiali, ki se preko operacij preoblikujejo do polproduktov, ti pa nato skupaj z ostalimi materiali vstopajo v naslednje operacije dokler ni pri zadnji operaciji proizveden končni produkt. Zaradi tehničnih ali človeških napak lahko med tem procesom pride do napak na izdelku, ki na koncu pomenijo slabšo kakovost ali v najslabšem primeru neuporabnost končnega izdelka. Zbiranje in ustrezna predstavitev podatkov parametrov ter meritev senzorjev na proizvodni liniji omogoča ugotavljanje vzrokov za morebitne napake na izdelkih ter na njihovi podlagi izvajanje ustreznih ukrepov. V našem primeru končni izdelek opišemo s tremi vrstami objektov - surovi materiali, operacije in polprodukti. Ti objekti so med seboj povezani tako, da tvorijo drevesno strukturo, imenovano tudi *Bill of Materials (BOM)*. Za ugotavljanje pravilnosti proizvodnega procesa so ključni podatki parametri izdelave, ki predstavljajo nastavitvene parametre stroja ali senzorске meritve med izdelavo. Parametri so poleg tega tudi najbolj številčen tip podatka o izdelku in pogosto najbolj zahtevan podatek.

V nadaljevanju predstavimo zasnovo rešitve za interaktivno vizualizacijo sestave izdelka, ki omogoča učinkovit nadzor nad sledljivostjo izdelka.

2 Analiza in načrtovanje sistema

Pri načrtovanju sistema se opiramo na že obstoječo strukturo podatkov o sledljivosti ter pri tem upoštevamo želje in potrebe uporabnikov v podjetju. V nadaljevanju najprej na kratko opišemo proces generiranja podatkov, ki jih uporabljamo za izdelavo vizualizacije. Proces se začne z zbiranjem podatkov na proizvodni liniji, pri čemer stroji zapisujejo meritve ter svoje nastavitvene parametre v relacijsko podatkovno bazo. Beleženje poteka pri vsaki operaciji za vsak produkt, pri čemer spremljamo operacije na izdelku preko identifikatorja končnega izdelka. Zaradi razpršenosti podatkov po več tabelah je agregacija vseh podatkov izdelave za en izdelek precej zahtevna. Težava je rešena s pretvorbo relevantnih podatkov o izdelku v enotnen objekt, zapisan v JSON obliki. Ta se shrani v dokumentno podatkovno bazo MongoDB. Posamezen dokument v bazi je zgrajen tako, da zajema vse podatke, potrebne za sledljivost, za en izdelek - metapodatke, podatke o operacijah, polizdelkih ter surovih materialih. Prednost predstavitve v JSON formatu je ta, da sestavo izdelka enostavno zapišemo v obliki drevesne strukture. Na podlagi zapisa o izdelku nato izdelamo vizualizacijo njegove sestave. Naš projekt se ukvarja z zadnjim korakom - vizualizacijo in ga podrobneje opišemo v nadaljevanju.

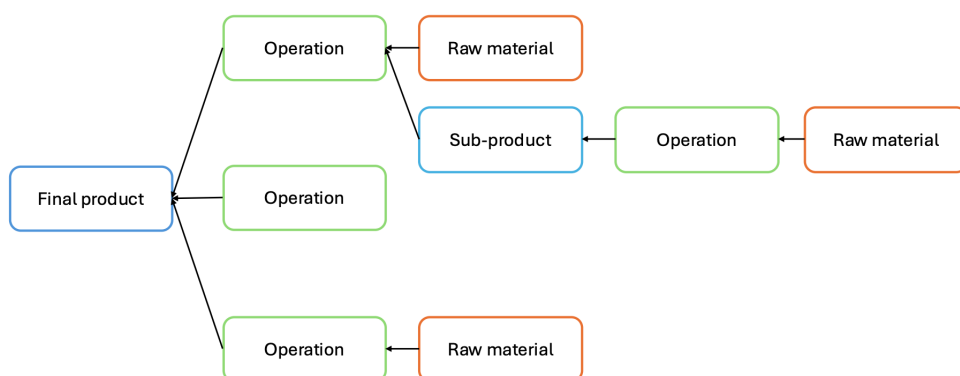
Pri izdelavi vizualizacij proizvodnih podatkov se podjetje v veliki meri že opira na programsko okolje Ignition SCADA. Z analizo funkcionalnosti, ponujenih znotraj tega programa, je bilo ugotovljeno, da program ne vsebuje zahtevanih orodij za izdelavo vizualizacij drevesnih struktur po meri in s tega vidika ni primeren za uporabo pri implementaciji rešitve.

```

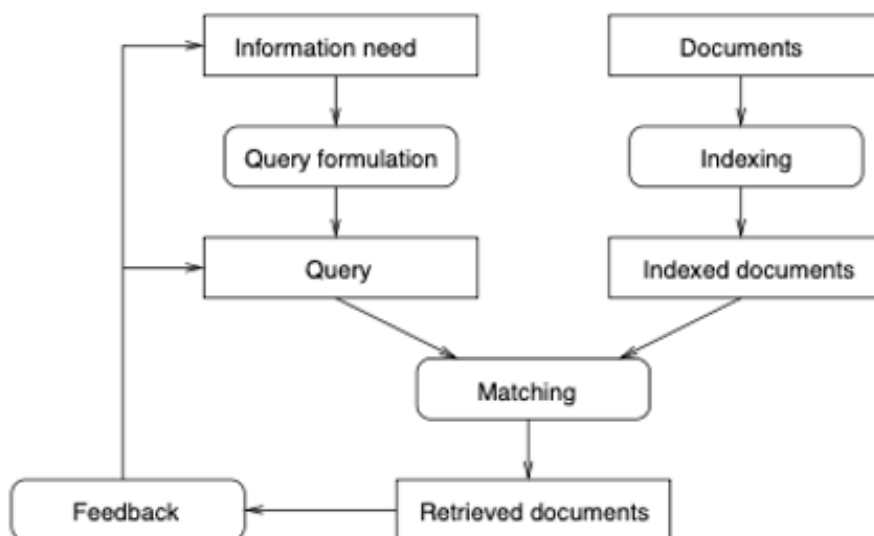
{
  "value": 0,
  "parameterName": "",
  "limitLow": 0,
  "limitHigh": 0,
  "parameterDescription": "",
  "machineId": "",
  "unit": "",
  "scope": "",
  "dataType": ""
}

```

Slika 1: Struktura parametra pri operaciji



Slika 2: Struktura izdekla



Slika 3: Proces iskanja informacij (angl. Information retrieval process)

3 Definicija zahtev

Cilj projekta je izdelava interaktivne vizualizacije, ki omogoča pregled strukture sestave izdelka (BOM drevo) ter pregled vseh metapodatkov, vezanih na materiale in polprodukte, ter parametrov izdelave posameznih operacij. Ena izmed ključnih omejitev pri izdelavi pregledne vizualizacije je veliko število parametrov, ki pri največjem drevesu izdelka presega 2000 parametrov. To težavo rešimo z implementacijo iskanja po parametrih preko poizvedb v naravnem jeziku. Definiramo naslednje zahteve:

1. **Iskanje izdelkov** Uporabniku mora biti omogočeno, da za poljuben izdelek pridobi njegovo vizualizacijo na podlagi številke izdelka.
2. **Intuitivna vizualizacija** Vizualizacija mora biti enostavna za razumevanje. Predstavljati mora drevesno strukturo sestave izdelka, pri čemer morajo biti različni tipi objektov enostavno razločljivi. Omogočena mora biti navigacija s premikanjem pogleda (angl. panning) in povečavo na želene odseke vizualizacije (angl. zooming). Vizualizacija mora omogočati prikaz podatkov na zahtevo - v začetnem pogledu so vidni le najpomembnejši podatki za prikaz strukture, metapodatki ter parametri pa se prikazujejo na željo uporabnika.
3. **Iskanje parametrov v naravnem jeziku in prikaz rezultatov** Sistem mora podpirati učinkovito iskanje informacij (angl. Information Retrieval) po parametrih. Implementiran mora biti način iskanja preko poizvedb v naravnem jeziku. Primer takšne poizvedbe je sledeč: Uporabnika zanima čas operacije varjenja in sistemu poda poizvedbo "Kdaj je bilo opravljeno varjenje na polizdelku?". Sistem mora prepoznati, da gre za operacijo varjenja in vrniti ustrezen parameter, ki vsebuje iskano vrednost za to operacijo. Rezultat se odraža na vizualizaciji, ki je interaktivna za poizvedbe in prikaže le odseke, ki vsebujejo zahtevan podatek.
4. **Integracija z Ignition SCADA** Ker je program Ignition SCADA že možno integriran v procese podjetja, mora aplikacija omogočati enostavno integracijo v okolje Ignition Perspective preko HTML elementa `iframe`.

4 Implementacija

Predlagana rešitev je izdelava spletne aplikacije z uporabo naprednih tehnologij. Aplikacija je zgrajena iz več delov - uporabniškega vmesnika (angl. frontend), zalednega dela (angl. backend), generatorja vgnezditev ter vektorske podatkovne baze. Aplikacija uporablja klasično arhitekturo odjemalec-strežnik. Uporabniški vmesnik komunicira z zalednim delom preko HTTP protokola z uporabo knjižnice React Query. Zaledni del uporablja za komunikacijo s podatkovnima bazama mongoDB in Qdrant ustrezna gonilnika, za komunikacijo z embedder API-jem pa HTTP protokol. Zaledni del v Javi na strežniku teče z uporabo spletnega strežnika Apache Tomcat, mongoDB in Qdrant sta v obliki Docker vsebnikov, prav tako tudi strežnik za uporabniški vmesnik.

V nadaljevanju predstavimo arhitekturo aplikacije, ki podpira iskanje informacij. Proces lahko razdelimo na dva dela - del v katerega uporabnik ni vključen (indeksiranje dokumentov), ter del, v katerega je uporabnik vključen (iskanje).

4.1 Indeksiranje

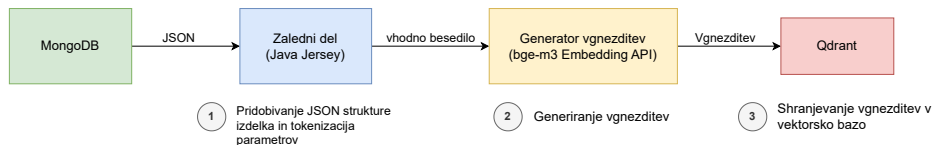
Za iskanje po parametrih uporabljamo vektorsko predstavitev parametrov s pomočjo vgnezditev (angl. embeddings). Kot generator vgnezditev uporabljamo embedding API, vgrajen v jezikovni model bge-m3 [`<empty citation>`]. V prvem delu za vsak izdelek v bazi generiramo vektorske predstavitve njegovih parametrov in jih shranimo v vektorsko podatkovno bazo. Temu postopku rečemo indeksiranje (angl. indexing). Za ta namen uporabljamo vektorsko podatkovno bazo Qdrant, ki omogoča shranjevanje, iskanje in primerjavo visokodimenzionalnih vektorskih podatkov. Pri tem vsak

vektor predstavlja en parameter v procesu izdelave. Vhod v generator vgnezditev je JSON objekt, ki vsebuje podatke o operaciji - ime parametra (`parameterName`), ime operacije, ki ji parameter pripada (`operationName`), ime končnega produkta (`productName`) ter opis parametra, ki mu je dodan na stroju (`parameterDescription`).

Pri vektorski predstavitvi besedil velja, da so v prostoru vektorji, ki predstavljajo kontekstualno podobna besedila, bližje skupaj. Izziv s katerim se je potrebno soočiti pri tem je, da generator vgnezditev v osnovi ne razume konteksta svojega vhoda. Besede, ki imajo različen pomen glede na kontekst se zato lahko napačno preslikajo v vektorski prostor, kar oteži kasnejše iskanje in primerjavo. Za ta namen vходу v generator vgnezditev dodatno pripnemo še besedilo s kontekstom. Tu povemo, da gre za proizvodni proces, kjer se izdeluje končni izdelek.

```
{
  "productName": "",
  "operationName": "",
  "parameterName": "",
  "parameterDescription": "",
  "context": ""
}
```

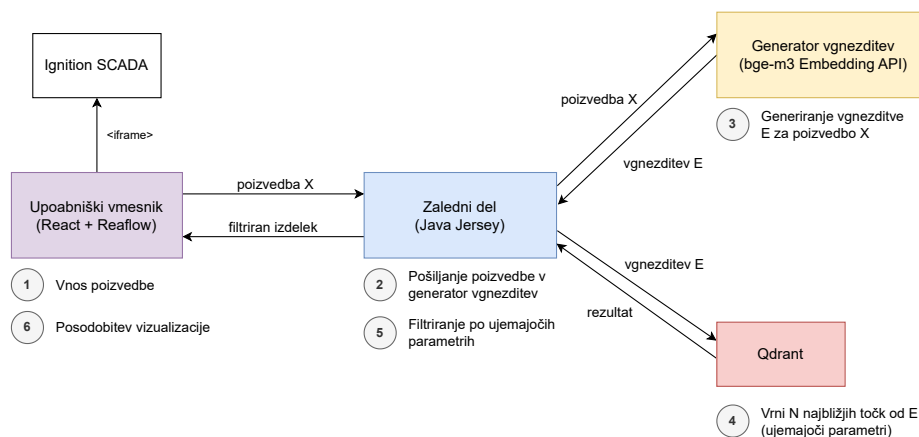
Slika 4: Vhod v generator vgnezditev - podatki parametra v JSON obliki



Slika 5: Proces indeksiranja

4.2 Iskanje

V drugem delu postopka iskanja informacij vključimo uporabniški vmesnik, ki omogoča vizualizacijo sestavne strukture izdelka in iskanje parametrov prek vnosnega iskalnega polja. Uporabnik v iskalno polje vnese poizvedbo v naravnem jeziku, na podlagi katere zaledni sistem najprej ustvari vektorsko predstavitev (vgnezditev) poizvedbe. Ta vektor se nato primerja z vektorji vseh parametrov v podatkovni bazi z uporabo kosinusne razdalje. Sistem vrne podmnožico parametrov, ki so semantično najbolj sorodni poizvedbi. Na podlagi ujemaajočih se parametrov se nadalje izvede filtracija celotne strukture izdelka, pri čemer se ohranijo zgolj tiste operacije, ki vsebujejo ustrezne parametre. Končni rezultat je prikaz okrnjene drevesne strukture izdelka, ki vključuje zgolj relevantne veje oziroma odseke poti do ujemaajočih se parametrov. Tak pristop omogoča interaktivno, kontekstualno odvisno iskanje, kjer uporabnikova poizvedba neposredno vpliva na obseg in podrobnost prikazanih podatkov.



Slika 6: Proces iskanja po parametrih

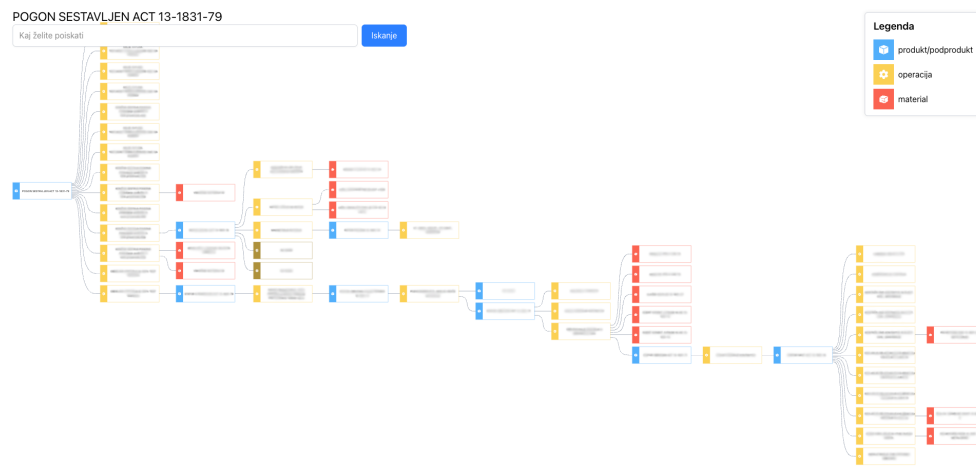
4.3 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesnik implementiran v brskalniku in je razdeljen na tri strani.

- **Prva stran** omogoča iskanje izdelka po njegovi identifikacijski številki. Sestavlja jo le preprosto vnosno polje in gumb za iskanje.
- **Glavna stran vizualizacije** skrbi za prikaz in interakcijo z vizualizacijo izdelka. Ob prvem prikazu je uporabniku viden drevesni prikaz, kjer posamezna vozlišča vsebujejo le imena izdelkov, operacij oziroma materialov. Na zaslonu je vidna celotna struktura, pogled pa je mogoče preko navigacije z miško prilagajati - spreminjati pozicijo ter faktor povečave. S klikom na vozlišče se iz njega odpre spustni seznam s podrobnostmi. Ta stran vsebuje še iskalno polje za vnos poizvedbe.
- **Stran z rezultati** je prikazana ko zaledni del vrne s poizvedbo filtriran izdelek. Prikazano drevo vsebuje le veje, ki vodijo do operacij z iskanimi parametri. Spustni seznam teh operacij se v načinu iskanja samodejno odprejo tako, da so parametri rezultata vidni takoj.

Vizualizacija sestave izdelkov

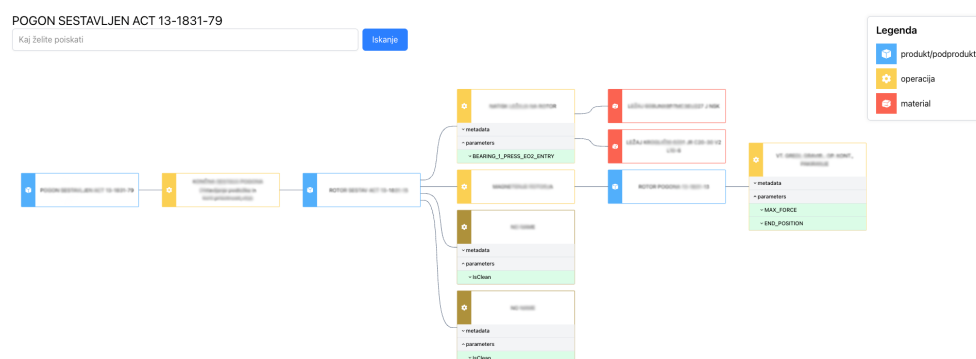
Slika 7: Prva stran - iskanje izdelka po številki



Slika 8: Prikaz celotne strukture izdelka



Slika 9: Povečava pri prikazu izdelka



Slika 10: Prikaz rezultata poizvedbe pri iskanju po parametrih

	KONČNA SESTAVA POGONA (Vstavljanje podložke in kont.prisotnosti,vtisk
	▼ metadata
	^ parameters
	▼ PALLET NR.
	▼ RECIPE NR.
	^ CAMERA STATUS
	dataType: INTEGER limitHigh: 1 limitLow: -1 machineId: 12067062400 parameterDescription: CAMERA STATUS parameterName: CAMERA STATUS scope: PRODUCT unit: / value: 1
	▼ STATUS
	▼ DMC STATOR
	▼ DMC ROTOR
	▼ TIME STAMP

Slika 11: Prikaz podrobnosti operacije v spustnem seznamu

5 Nadaljnje delo

Aplikacija omogoča interaktiven prikaz sestave izdelka in metapodatkov ter parametrov izdelave. Iskanje informacij je implementirano z namenom skrajšati čas iskanja zelenih podatkov izmed množice parametrov. Kot nadaljnje delo sledi izvedba uporabniškega testiranja ter izdelave ogrodja za testiranje, namen katerega bo oceniti uspešnost implementacije ter odgovoriti na vprašanje v kolikšni meri iskanje informacij prispeva k hitrosti pridobivanja zelenih informacij. Aplikacija bo testirana v podjetju, pri čemer bodo zajeti ekspertni uporabniki (inženirji, ki dnevno delajo s podobnimi podatki ter poznajo strukturo izdelkov) ter laiki. Pri obeh skupinah bo izvedeno testiranje brez ter ob uporabi funkcije iskanja. Pri tem bomo merili čas, porabljen za iskanje določenega parametra, število klikov na napačen objekt ter pot miške. Ti podatki nam bodo koristili pri razumevanju uporabnikovega dojemanja aplikacije ter služili kot osnova za nadaljnje izboljšave.