

ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET U SARAJEVU

PRINCIPI SISTEMSKOG INŽENJERINGA

Seminarski rad

Student:

Eldar Kurtić

Suad Krilašević

Indeks:

1150/16575

1151/16743

Juni, 2018

Sadržaj

1	Motivacija	2
2	Konceptualni dizajn	3
2.1	Identifikacija potreba	4
2.2	Analiza izvodljivosti	4
2.2.1	Mehanizma za pomjeranje vrha za printanje	5
2.2.2	Vrh za printanje	5
2.2.3	Tinta za printanje	5
2.3	Analiza zahtjeva za sistem	6
2.3.1	Operativni zahtjevi	6
2.4	Zahtjevi za održavanje i podršku	7
2.5	Dodatni zahtjevi	7
2.6	Tehničke mjere performanse	8
2.7	Funkcionalna analiza i alokacija	14
2.7.1	Funkcionalna analiza	14
2.7.2	Funkcionalna alokacija	14
2.8	FMECA analiza	17
2.9	Predložena rješenja i alokacija zahtjeva	24
2.10	Dizajn za održivost	27
2.10.1	Analiza popravke i zamjene komponenti	27
2.10.2	Broj dijelova u skladištu	36
2.11	Life-cycle cost analiza	40
2.12	Analiza profitabilnosti	47
3	Zaključak	51

1 Motivacija

U decembru 2017. godine, u Londonskom kafiću *Tea Terrace*, otvoren je prvi kafić u Evropi sa veoma neobičnim napitkom pod nazivom *selfieccino*. Naime, riječ je o potpuno novom pristupu pripreme kafe koji je oduševio mnoge pripadnike nove generacije. Ova neobična kreacija omogućava da se gostima posluži kafa sa njihovim vlastitim portretom. Ideja je veoma jednostavna, na pjenu šoljice kafe koju gost naruči printa se njegov portret. Primjer jednog *selfieccina* je prikazan na slici 1.



Slika 1: *Selfieccino* kafa

Gosti putem aplikacije šalju svoju sliku ili neki tekst osoblju kafića koji onda za njih pripremaju ovaj neobični napitak. Procedura izrade napitka traje četiri minute, a cijena koju gosti trebaju platiti za ovo neobično piće je 5.75 funti. Iako je cijena *selfieccina* malo veća od prosječne cijene kafe, osoblje kafića je izjavilo da su prvi dan imali preko 400 gostiju koji su tu došli samo zbog ove inovacije.

Ideja za ovakav pristup pripremi kafe, prema riječima vlasnika kafića, je bila želja da se spoje dvije itekako popularne stvari u životu mladih - kafa i *selfie*. Slično grčkom mitu o Narcissusu, čovjeku koji je bio tako uznemiren kada je vidio svoj odraz u jezeru da se odmah zaljubio, *selfieccino* gostima omogućava da gledaju svoje lice dok ispijaju svoj omiljeni topli napitak [1]. Vlasnik kafića, Ehab Salem Shouly, je izjavio za Reuters: "Nije dovoljno samo pružiti sjajnu hranu i odličnu uslugu - to mora biti vrijedno Instagrama". Ova izjava je autore ovog rada motivisala da probaju istu ideju implementirati na svoj način i u svom gradu.

2 Konceptualni dizajn

Konceptualni dizajn predstavlja prvi korak u procesu dizajna i razvoja sistema. U ovoj fazi se vrši identifikacija potreba, definišu se zahtjevi za potencijalno rješenje, zatim se potencijalna rješenja ocjenjuju i na osnovu toga se razvija specifikacija sistema. Specifikacija sistema predstavlja tehničke zahtjeve koji u potpunosti utiču na daljnji tok dizajna sistema. Kako ovaj dokument određuje cjelokupni budući razvoj, navedena faza ne može biti završena sve dok se ne utvrdi da specifikacije sistema adekvatno adresiraju identifikovane potrebe.

Ključni koraci u procesu konceptualnog dizajna su:

- identifikacija potreba,
- analiza izvodljivosti,
- analiza zahtjeva za sistem,
- specifikacija sistema,
- pregled idejnog rješenja. [2]

Neka od pitanja koja mogu biti korisna u fazi konceptualnog dizajna su:

- Koliko truda treba uložiti u idejno rješenje?
- Koji koncept treba da bude osnova dizajna?
- Koju tehnologiju za dati podsistem treba odabrati?
- Koji postojeći hardver i softver treba koristiti?
- Da li je predviđeni koncept tehnički izvodi na osnovu troškova, rasporeda i performanse?
- Da li su potrebna dodatna istraživanja prije nego se donese konačna odluka? [3]

Za potrebe izrade seminarskog rada odabran je printer *selfieccina*. U narednim poglavljima će biti opisane detaljne faze u okviru konceptualnog dizajna za predloženi sistem.

2.1 Identifikacija potreba

Prema definiciji Oxfordovog rječnika engleskog jezika, selfie je fotografija gdje mi uslikamo samog sebe, najčešće koristeći pametni telefon ili web kameru kako bi podijelili tu fotografiju na društvenim medijima. Mada je sada rano praviti prognoze, selfie će ostaviti veliki trag na kulturu ljudi 21. vijeka i bit će zapamćen kao kulturološki fenomen našeg doba.

Velikoj većini omladine, selfiji su postali svakodnevnica, te mnogo branše industrije to gledaju da iskoriste. Npr. postojanje prednje kamere na pametnim telefonima i njen kvalitet je direktno uslovljeno kulturom selfija, tj. selfiji su imali ogroman uticaj na razvoj današnjih pametnih telefona. Također mnoge kompanije gledaju da iskoriste selfije u svojim reklamnim kampanjama kako bi svoje proizvode približili omladini.

Jedan od uređaja koji želi da iskoristi popularnost selfija jeste "Selfie Coffee Printer" koji trenutno proizvodi kompanije Cino iz Kine. Uređaj može da isprinta bilo koju fotografiju na površinu kafe (pa time i selfije). Na taj način nastaje takozvani "Selfieccino".

Prateći novinske članke, što se tiče Europe, jedino je kafić u Londonu kupio tu mašinu, te prema tvrdnjama vlasnika prvi dan je kafić posjetilo 400 mušterija samo kako bi probali selfieccino i podijelili svoje selfie sa selficcinom na društvenim mrežama. Očigledno, jedna takva mašina, osim što daje besplatnu promociju kafiću, povećava mu i profit, barem u prvom periodu dok je taj proizvod još svjež.

Tu mi vidimo priliku za mogući profit. Smatramo da bi bilo moguće napraviti "Selfie Coffee Printer" (u nastavku SCP) jeftiniji od trenutnog na tržištu, te ga uspješno prodati kafićima u našem regionu.

2.2 Analiza izvodljivosti

SCP se sastoji iz dva dijela:

1. Mehanizma za pomjeranje vrha za printanje
2. Vrh za printanje
3. Tinta za printanje

2.2.1 Mehanizma za pomjeranje vrha za printanje

Zadatak mehanizma jeste da pozicionira vrh za printanje na potrebnu poziciju kod površine kafe. Mehanizam mora biti dovoljno precizan da može isprintati svaki piksel slike na kafi za zadatu rezoluciju. Jedino rješenje koje se nameće jeste pravljenje mehanizma na isti način kao što 3D printeri imaju mehanizam za printanje, tj. korištenje 3 steper motora za svaku dimenziju prostora. Mada treća dimenzija možda izgleda suvišno, dodavanjem treće dimenzije moguće bi bilo printati za razne profile čaša za kafu.

2.2.2 Vrh za printanje

Kod vrha za printanje postoji nekoliko mogućih alternativa:

- šprice,
- inkjet tehnologija,
- airbrush.

Prva alternativa jeste korištenje šprica sličnih kao što se koriste u medicini za ispuštanje boje na površinu kafe. Intuicijom, a i testiranjem te metode je pokazano da su početne kapljice prevelike da budu korisne u printanju.

Druga alternativa jeste korištenje postojećih inkjet tehnologija uz jestivu tintu za printanje po površini kafe. Međutim, programiranje inkjet tonera kada da ispuštaju tintu ili rastavljanje postojećih printera kako bi se koristila njihova tehnologija ne predstavlja dobru opciju zbog velikih troškova kupovine printera i velike ovisnosti od softvera proizvođača printera.

Zadnja alternativa izgleda najisplativija, tj. korištenje airbrush tehnologije za ispuštanje malih količina tinte.

2.2.3 Tinta za printanje

Glavni uslov za tintu jeste da mora biti jestiva. Pošto će se koristiti airbrush tehnologija, potencijalno se može koristiti i suha tinta, tj. recimo sitno samljevena zrna kafe. Na taj način korisnici ne bi morali kupovati dodatnu tintu nakon kupovine proizvoda što je veliki plus za ukupni proizvod. Odluka o tome koja vrsta tinte će se koristiti će biti donesena u sljedećim fazama razvoja proizvoda, kada se analiziraju obje vrste tinte.

2.3 Analiza zahtjeva za sistem

2.3.1 Operativni zahtjevi

Gdje će se sistem koristiti?

Sistem će se koristiti u ugostiteljskim objektima.

Šta sistem treba da ostvari i koje funkcije da primjeni kako bi zadovoljio potrebe?

Kako bi ostvario već ranije definisane potrebe, sistem treba biti jeftiniji od već postojećih sistema.

Koji su to kritični sistemski parametri potrebni za ostvarenje misije?

Kritični parametri koji definišu SCP su:

- Vrijeme printanja
- Rezolucija
- Preciznost

U kojoj mjeri će sistem biti korišten?

Kako bi se sistem koristio u kafićima treba biti sposoban da radi svih 7 dana u sedmici, sa prosječnim brojem od 100 isprintanih kafa po danu.

Koliko efikasan sistem mora biti?

Najbitniji parametri vezani za efikasnost su srednje vrijeme između kvarova (MTBF), srednje vrijeme perioda dok je sistem izvan funkcije (MDT) i srednje vrijeme između održavanja (MTBM). U nastavku će ovi parametri biti bolje definisani.

Koliko dugo će korisnik koristiti sistem?

Kako bi sistem bio primamljiv za kupovinu, potrebno je da se može koristiti barem godinu dana (tj. da garancija traje godinu dana).

Koji su zahtjevi na okolinu u kojoj će sistem operisati?

Pošto će se ovaj sistem koristiti u ugostiteljskim objektima gdje se temperatura održava u ugodnom opsegu od 15°C do 25°C, to je također i temperaturni opseg u kojem treba da funkcioniše i sistem.

2.4 Zahtjevi za održavanje i podršku

Gdje će se raditi, na koji način i ko će biti odgovaran za održavanje i popravka sistema?

Sistem će se popravljati i održavati na mjestu gdje se i koristi, te će proizvođač biti odgovoran za popravku.

Kakve usluge popravke i podrške će pružati proizvođač?

U slučaju kvarova, proizvođač će ili popravljati pokvarene komponente ili ih potpuno mijenjati.

2.5 Dodatni zahtjevi

Pored prethodno pomenutih zahtijeva u ovom poglavlju će biti opisani dodatni zahtjevi koji će biti smjernice prilikom dizajna sistema printera *selfieccina*. Koliko god obraćali pažnju na performanse sistema, implementaciju efikasnih algoritama za pretvaranje slike u koordinate za printanje kontura lica, optimizaciju kretanja vrha printera potrebno je obratiti pažnju na zahtjeve koji su veoma bitni krajnjim korisnicima proizvoda, tj. onima koji ne znaju i koje ne zanima šta se to dešava unutar printera i mikrokontrolera koji njime upravlja već ono što je vidljivo ljudskom oku i što čini kupce zadovoljnim.

Neki od tih zahtijeva su:

- lijep i modernistički dizajn printera,
- brzina izrade napitka,
- preciznost u printanju slike,
- niska cijena.

Koliko god dobar algoritam bio u pozadini printera, ono što u konačnici predstavlja jedan od najbitnijih faktora za prodaju proizvoda je lijep i modernistički dizajn. Vlasnici kafića, koji su potencijalni kupci printera, moraju steći dojam da je printer adekvatan za prostoriju u kojoj ga planiraju koristiti. Printer treba imati takav dizajn da se uklapa u interijer svih objekata u kojima bi se trebao koristiti, jer i pored toga što je proces pripremanja ovog neobičnog napitka itekako zanimljiv bitan je vanjski izgled koji će dodatno uticati na faktor oduševljenja.

Vrijeme je novac, izreka je koja je motivacija za postizanje što veće brzine izrade napitka. Ovo je veoma bitan faktor ovog sistema, jer u današnjem veoma dinamičnom načinu života vlasnik kafića ne želi da korisnici moraju potrošiti puno vremena čekajući svoj *selfieccino* jer i pored svega to je ipak samo obična kafa.

Preciznost u printanju slike predstavlja jedan od najbitnijih zahtijeva u dizajnu ovog sistema. Ciljno tržište ovog sistema su korisnici koji će namjenski dolaziti u kafić sa *selfieccino* printerom i baš zbog toga treba se potruditi da dobiju ono zbog čega su i došli, kvalitetno isprintan *selfie* na pjeni njihovog toplog napitka.

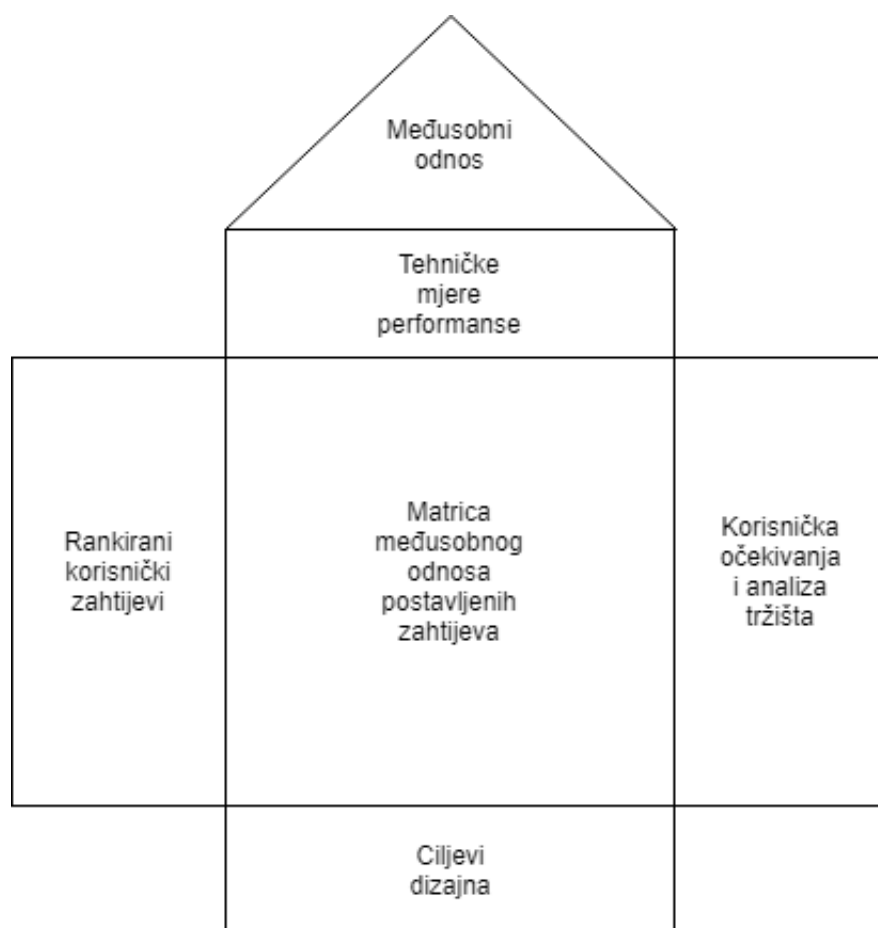
Cijena, kao i u svakom drugom segmentu poslovnog života, predstavlja jedan od bitnih faktora u dizajnu sistema. Niska cijena printera ali i samog procesa izrade *selfieccina* je faktor koji će znatno olakšati proces komercijalizacije sistema, te zbog toga će ovaj zahtijev biti jedna od glavnih vodilja prilikom procesa dizajna i izrade printera.

2.6 Tehničke mjere performanse

Prilikom dizajna proizvoda, veoma bitan korak predstavlja i odgovarajuća metrika koja opisuje sistem koji se dizajnira. Ovu metriku možemo zamisliti kao kvantitativni faktor koji dodjeljuje odgovarajuću ocjenu određenom dizajnu sistema, te se na osnovu njega mogu porediti različiti dizajni. Prethodno pomenute metrike se još nazivaju i *tehničke mjere performanse* (**eng** Technical performance measures (TPMs)). Njihova primjena vodi do identifikacije parametara neophodnih za dizajn sistema i realizaciju željenih funkcionalnosti. Kako bi se prilikom dizajna sistema vodili ovim metrikama, potrebno ih je definisati na početku samog procesa.

Veoma bitan faktor prilikom dizajna metrike koja će dati ocjenu za dizajnirani sistem je određivanje težinskih koeficijenata za pojedinačne zahtjeve. To će omogućiti lakšu komunikaciju između krajnjeg korisnika i onoga ko dizajnira dati sistem. Veoma popularna tehnika koja omogućava uvažavanje korisničkih zahtjeva pri dizajnu sistema je QFD (**eng** Quality Function Deployment) tehnika. Ideja QFD tehnike je identificirati neophodne zahtjeve i prevesti ih u tehnička rješenja. Korisničkim zahtijevima se dodijeljuju težinski faktori na osnovu stepena prioriteta svakog od njih. QFD metoda omogućava dizajneru da bolje razumije korisničke zahtjeve, ali isto tako forsira korisnika da klasificira svoje zahtjeve prema njihovoj važnosti. Klasifikacija zahtijeva prema njihovoj važnosti omogućava dizajneru i korisniku da poredi različite dizajne sistema. Svaki od korisničkih zahtijeva se mora realizirati određenim tehničkim rješenjem.

QFD proces podrazumijeva formiranje jedne ili više matrica koje povezuju različite potrebe i zahtjeve koje je potrebno uvažiti prilikom dizajna. Jedna od prethodno pomenutih matrica je i *House of Quality* (HOQ) matrica, koja je prikazana na slici 2.



Slika 2: *House of quality*

Kako bi se konstruisala uspješna *House of Quality*, koja bi olakšala proceduru dizajna sistema veoma je bitno dobro definisati zahtjeve i njihove prioritete u početnoj fazi. Na ovaj način se dobija i veoma dobar pregled svih zahtijeva i njihovih tehničkih rješenja. Tehničke mjere performanse predstavljaju jedan od najbitnijih faktora. One predstavljaju odgovarajuću metriku koja ocjenjuje stepen važnosti pojedinačnih zahtijeva i na taj način predstavlja vodič za dizajnera sistema. Izgled House of Quality-a, kao rankirane tehničke mjere performanse za sistem *Selfeiccino* su prikazani na sljedećim tabelama.

U tabeli 5 se mogu vidjeti ponuđena tehnička rješenja koja su dobivena kao rezultat

	Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8
Row Number	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Volumen	Prosječno vrijeme printa	Srednje vrijeme između dva kvara	Srednje vrijeme popravke	Minimalan pomjeraj vrha za printanje	Cijena proizvodnje uređaja	Intenzitet zvuka	Potrošnja
1	Volumen								
2	Prosječno vrijeme printa								
3	Srednje vrijeme između dva kvara								
4	Srednje vrijeme popravke	-							
5	Minimalan pomjeraj vrha za printanje			+					
6	Cijena proizvodnje uređaja	-	-	-	-	-			
7	Intenzitet zvuka		-			-			
8	Potrošnja		-			-	-	+	

Tablica 1: Tabela tehničke korelacije

HoQ analize te FMECA analize iz narednog poglavlja. Nakon što se uradi analiza dizajna za pouzdanost, održivost i Life-cycle cost, bit će moguće odabrati koje od ponuđenih rješenja je najisplativije, te time i rješenje koje treba odabrati.

Row Number	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Weight / Importance	Relative Weight	Competition (0-100)	
				Our Current Product	Competitor 1
1	Dizajn	9	18.00		5
2	Brzina printa	7	14.00		3
3	Pouzdanost	9	18.00		3
4	Preciznost	10	20.00		4
5	Mala cijena	6	12.00		5
6	Glasnoća	5	10.00		4
7	Energetska efikasnost	4	8.00		2

Tablica 2: Tabela zahtjeva korisnika

			Relationship Between Requirements: 9 - Strong 3 - Moderate 1 - Weak								
			Column Number	1	2	3	4	5	6	7	8
			Max Relationship Value in Column	9	9	9	3	9	9	9	9
			Requirement Weight	162	126	162	54	180	222	144	72
			Relative Weight	14.44	11.23	14.44	4.81	16.04	19.79	12.83	6.42
			Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)	7	9	8	4	6	7	8	5
			Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
			Target or Limit Value	15 L	1 min	6 mj	1 h	0.1 mm	400 KM	50 dB	200 W
Row Number	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats") Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Volumen	Prosječno vrijeme printa	Srednje vrijeme između dva kvara	Srednje vrijeme popravke	Minimalan pomjeraj vrha za printanje	Cijena proizvodnje uređaja	Intenzitet zvuka	Potrošnja
1	9	18.00	Dizajn	9					3	1	
2	9	14.00	Brzina printa		9						
3	9	18.00	Pouzdanost			9	3				
4	9	20.00	Preciznost					9	3		
5	9	12.00	Mala cijena						9	3	
6	9	10.00	Glasnoća							9	
7	9	8.00	Energetska efikasnost								9

Tablica 3: Tabela veze između korisničkih i tehničkih zahtjeva

Row Number	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	Target or Limit Value	Max Relationship Value	Requirement Weight	Relative Weight (Relative Importance)
1	Volumen	▼	15 L	9	162.00	14.44%
2	Prosječno vrijeme printa	▼	1 min	9	126.00	11.23%
3	Srednje vrijeme između dva kvara	▼	6 mj	9	162.00	14.44%
4	Srednje vrijeme popravke	▼	1 h	3	54.00	4.81%
5	Minimalan pomjeraj vrha za printanje	▼	0.1 mm	9	180.00	16.04%
6	Cijena proizvodnje uređaja	▼	400 KM	9	222.00	19.79%
7	Intenzitet zvuka	▼	50 dB	9	144.00	12.83%
8	Potrošnja	▼	200 W	9	72.00	6.42%

Tablica 4: Tabela ocjene dizajna tehničkih mjerila

	Volumen	Prosječno vrijeme printa	Srednje vrijeme između dva kvara	Srednje vrijeme popravke	Minimalan pomjeraj vrha za printanje	Cijena proizvodnje uređaja	Intenzitet zvuka	Potrošnja
Relativna težina	14.44%	11.23%	14.44%	4.81%	16.04%	19.79%	12.83%	6.42%
CNO Selfie Coffee printer QN1	37 L	20 sec	4 mj	2h	0.5 mm	2000 KM	60 dB	200 W
Rješenje 1	15 L	30 sec	1.5 mj	0.5h	0.1 mm	2500 KM	60 db	183 W
Rješenje 2	15 L	30 sec	1.5 mj	0.3h	0.1 mm	2500 KM	60 db	183 W
Rješenje 3	25 L	60 sec	1 mj	0.45h	0.2 mm	2500 KM	65 db	153 W

Tablica 5: Tabela ponuđenih tehničkih rješenja

2.7 Funkcionalna analiza i alokacija

2.7.1 Funkcionalna analiza

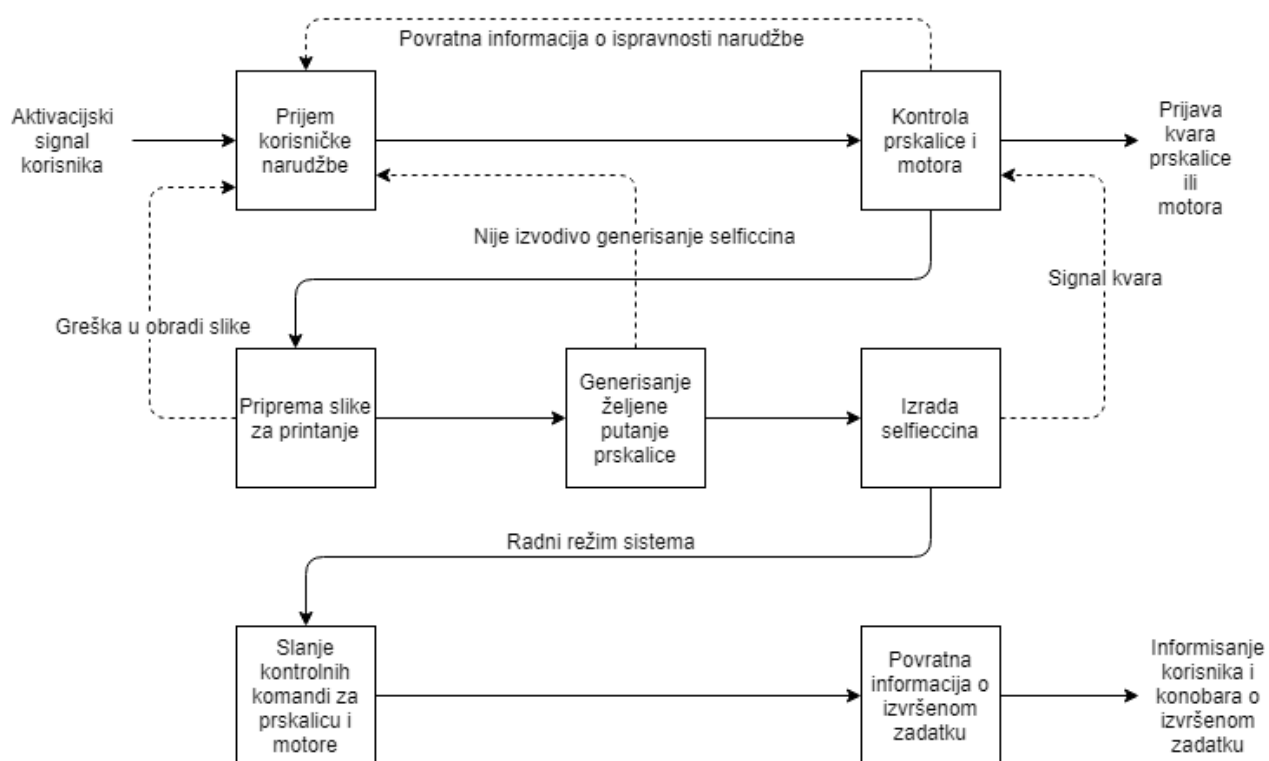
Funkcionalna analiza predstavlja proces prevođenja zahtijeva u kriterij za dizajn sistema uz identifikaciju specifičnih zahtijeva za potrebnim resursima. Analiza započinje sa korisničkim zahtijevima a završava sa identificiranim zahtijevima za hardver, softver i sve ostale neophodne resurse.

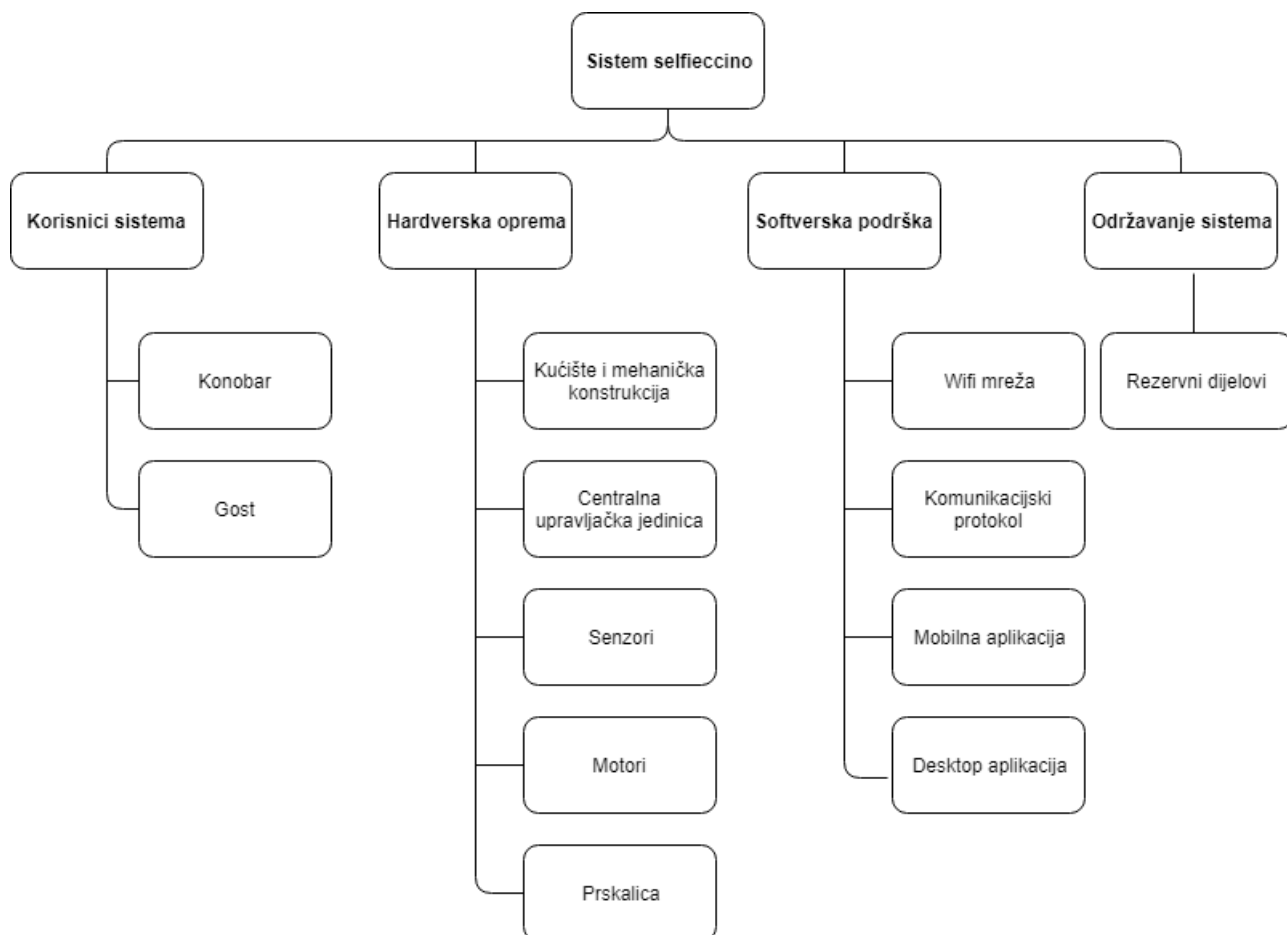
Funkcionalna analiza započinje definisanjem funkcionalnosti koje sistem treba da ispunjava. Ideja je da se tačno definiše **šta** se treba uraditi, a ne **kako** to treba uraditi. Nijedan dio opreme, hardvera, softvera, ljudstva i bilo kojeg drugog resursa ne bi trebao biti kupljen ili planiran sve dok se funkcionalna analiza sistema ne provede do kraja. Funkcionalna analiza je iterativna procedura tokom koje se veći zahtijevi razbijaju na manje. Ova dekompozicija se obavlja sve dok se ne dođe do najnižeg nivoa na kojem je moguće identificirati resurse potrebne za ispunjavanje date funkcionalnosti. Za ove potrebe se koriste funkcionalni dijagrami. Oni omogućavaju razbijanje funkcionalnosti sistema na manje dijelove i dobru vizuelnu reprezentaciju istih.

Funkcionalni dijagram sistema *Selfieccino* je prikazan na slici 3.

2.7.2 Funkcionalna alokacija

Nakon definisanja funkcionalnog dijagrama *selfieccina*, sljedeći korak je grupisanje malih funkcionalnosti u logičke blokove. Na ovaj način će se izvršiti identifikacija svih podsistema koje je potrebno implementirati u sklopu cijelog sistema. U ovom koraku se dekompozicija iz prethodnog poglavlja, koja se bavila pitanjem *šta* treba implementirati, prevodi u formu *kako* to treba implementirati. Ovakva dekompozicija sistema *selfieccina* je prikazana na slici 4.

Slika 3: Funkcionalni dijagram *selfieccina*



Slika 4: Funkcionalna alokacija *selfieccino*

2.8 FMECA analiza

FMECA (**eng** Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) predstavlja tehniku analize koja se koristi za istraživanje i identifikaciju potencijalnih slabosti sistema [4]. Primjena ove tehnike omogućava da se provede analiza koja će ispitati sve moguće kvarove sistema, uticaj tih kvarova na rad, sigurnost i performanse sistema.

Kako se sistem *selfieccina* može konceptualno razdvojiti na fizički i funkcionalni dio, FMECA analiza će biti provedena na oba dijela sistema. FMECA analiza se sastoji od 12 ključnih koraka (detaljno opisano u radu [4]). U sljedećim tabelama će biti detaljno provedena FMECA analiza fizičkog i funkcionalnog dijela sistema.

Fizička komponenta	Potencijalni kvar	Potencijalni uzrok kvara	Potencijalni uticaj kvara na proizvođača	Potencijalni uticaj kvara na korisnika
Kućište i mehanička konstrukcija	Fizička oštećenja	Udarci ostrim predmetima	Narušavanje estetike	Narušavanje estetike
Upravljačka jedinica	Kvar električnih komponenti	Prekid napajanja	Dodatni troškovi	Nezadovoljstvo pruženom uslugom
Senzor udaljenosti	Pogrešna očitavanja senzora	Loša kalibracija senzora	Loš kvalitet proizvoda	Nezadovoljstvo pruženom uslugom
Motori	Prestanak rada, pogrešna veličina koraka	Prestanak napajanja, loša kalibracija, loše generisana putanja kretanja	Loš kvalitet proizvoda	Nezadovoljstvo pruženom uslugom
Prskalice	Prestanak rada, greška u količini materije koja se izbacuje	Prestanak napajanja, fizičko oštećenje komponenti prskalice	Loš kvalitet proizvoda	Nezadovoljstvo pruženom uslugom

Tablica 6: FMECA analiza fizičkih komponenti (prvi dio tabele)

Metod detekcije kvara	Ozbiljnost kvara	Učestalost kvara	Vjero- vatnoća otkrivanja kvara	Prioritet opasnosti RPN
Vizuelno	3	2	9	54
Mjerenje struje, napona i temperature i vizuelna analiza funkcionalnosti sistema	10	4	8	320
Mjerenje struje, napona i analiza povratnih informacija sa senzora	10	3	7	210
Vizuelno	9	3	10	270
Vizuelno	9	4	8	288

Tablica 7: FMECA analiza fizičkih komponenti (drugi dio tabele)

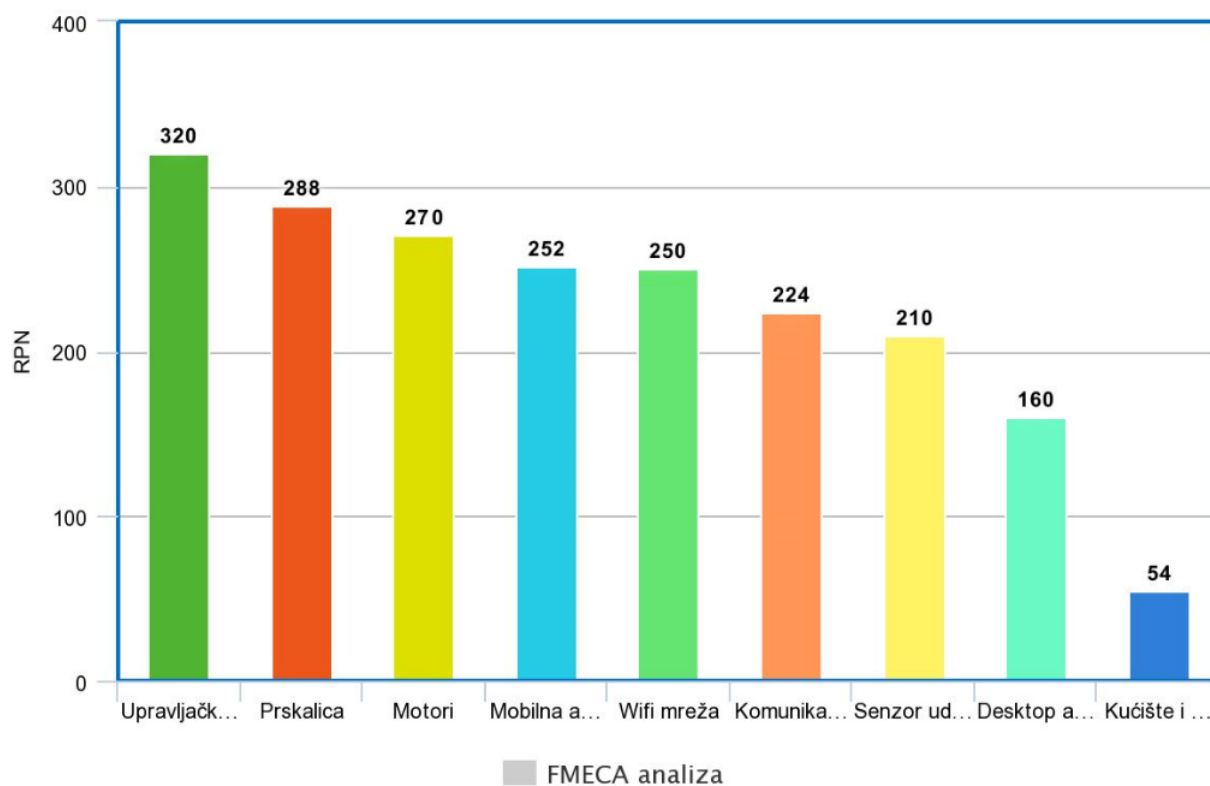
Funkcionalna komponenta	Potencijalni kvar	Potencijalni uzrok kvara	Potencijalni uticaj kvara na proizvođača	Potencijalni uticaj kvara na korisnika
Wifi mreža	Nestanak konekcije	Greška na strani internet provajera, preopterećenje mreže	Kašnjenje u proizvodnji	Nezadovoljstvo pruženom uslugom
Komunikac. protokol	Zagušenje komunikacionog kanala	Loša kontrola pristupa uređaju	Kašnjenje u proizvodnji	Nezadovoljstvo pruženom uslugom
Mobilna aplikacija	Prestanak rada aplikacije	Neotkrivene greške u implementaciji aplikacije	Loš kvalitet pružanja usluga	Nezadovoljstvo pruženom uslugom
Desktop aplikacija	Prestanak rada aplikacije	Neotkrivene greške u implementaciji aplikacije	Loš kvalitet pružanja usluga	Nezadovoljstvo pruženom uslugom

Tablica 8: FMECA analiza funkcionalnih komponenti (prvi dio tabele)

Metod detekcije kvara	Ozbiljnost kvara	Učestalost kvara	Vjero- vatnoća otkrivanja kvara	Prioritet opasnosti RPN
Gubitak konekcije uređaja	5	5	10	250
Pogrešan for- mat primlje- nih podataka	7	4	8	224
Prijava od strane koris- nika	7	4	9	252
Prijava od strane kono- bara	8	2	10	160

Tablica 9: FMECA analiza funkcionalnih komponenti (drugi dio tabele)

Na slici 5 je prikazan RPN za funkcionalne i fizičke komponente sistema.



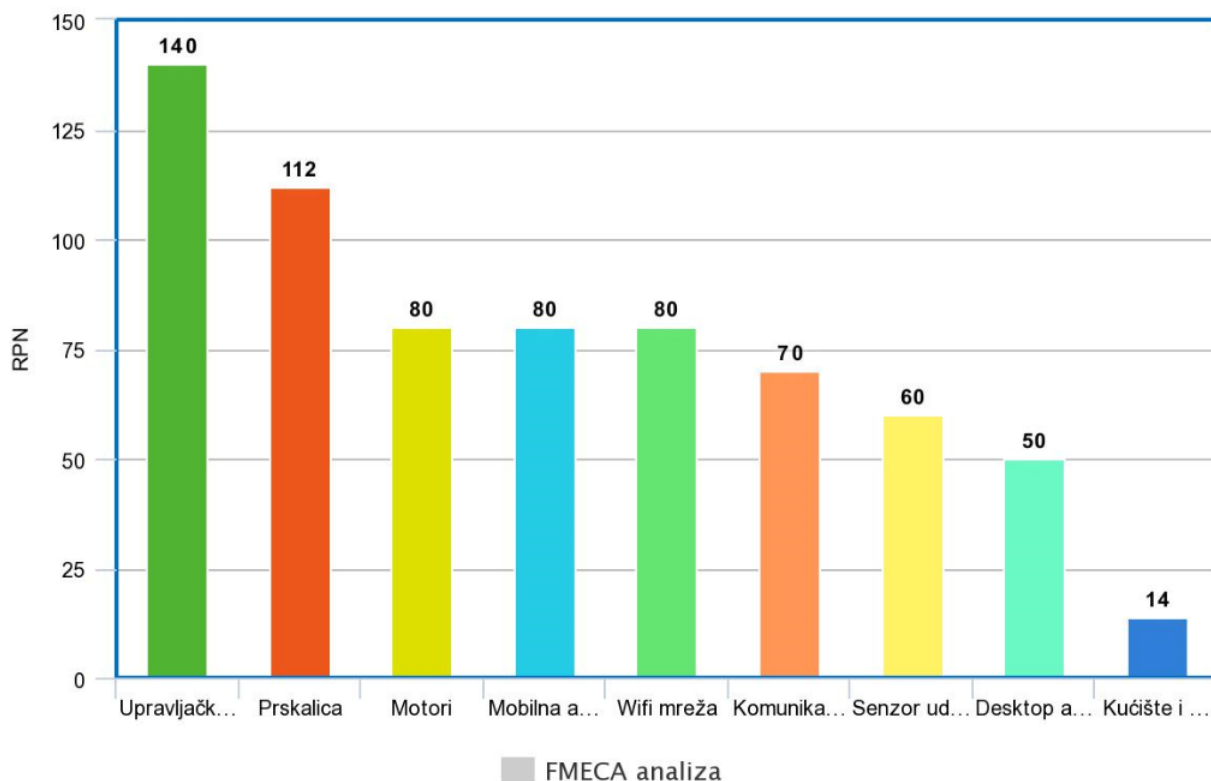
Slika 5: Grafički prikaz RPN-a

Kako bi se smanjile vrijednosti RPN-a, moguće je uvesti neke dodatne preporuke koje su prikazane u sljedećoj tabeli.

Komponenta	Preporuka za poboljšanje	Ozbiljnost kvara	Učestalost kvara	Vjerovatnoća otkrivanja kvara	Prioritet opasnosti RPN
Kućište i mehanička konstrukcija	Kvalitetniji materijal	2	1	7	14
Upravljačka jedinica	Bolji mikrokontroler	10	2	7	140
Senzor udaljenosti	Dodatni senzori udaljenosti, laserski senzori	10	1	6	60
Motori	Kvalitetniji motori sa zasebnim drajverima	8	2	5	80
Prskalice	Profesionalno izrađena prskalice	8	2	7	112
Wifi mreža	Skalabilna mreža i dobar internet provajder	5	2	8	80
Komunikac. protokol	Sigurniji i pouzdaniji implementirani protokol	5	2	7	70
Mobilna aplikacija	Profesionalni developeri za razvoj aplikacije	5	2	8	80
Desktop aplikacija	Profesionalni developeri za razvoj aplikacije	5	2	5	50

Tablica 10: Preporuke za poboljšanje RPN-a

Na slici 6 je prikazana poboljšana verzija RPN-a za funkcionalne i fizičke komponente sistema.



Slika 6: Grafički prikaz RPN-a sa preporučenim akcijama za poboljšanje

2.9 Predložena rješenja i alokacija zahtjeva

Na osnovu zahtjeva, HoQ i FMECA analiza, predložena su tri moguća rješenja koja se vide na tabelama 11, 12 i 13. Prvo rješenje predstavlja mali i brzi printer koji bi bio idealan proizvod za kupce. Drugi proizvod ima slične karakteristike kao prvi. Jedina razlika je u tome što ima veći volumen koji smanjuje vrijeme popravke jer je pristup komponentama olakšan. Treće rješenje je slično kao drugo, ali je razlika u korištenju jeftinijih motora kako bi se smanjila cijena proizvodnje. To zauzvrat ima posljedicu smanjenje srednjeg vremena između dva kvara.

Kao što se može vidjeti u tabelama je urađena također i alokacija zahtjeva za srednje vrijeme između dva kvara kao i srednjeg vremena popravke koje predstavljaju dijelove dizajna za pouzdanost i održivost.

Tablica 11: Alokacija zahtjeva: Rješenje 1 (Mal volumen, precizan, brz i tih print)

Cjelina	Komponente	Broj jedinica	MTBF(h)	Doprinosi kvarovima	Mct(h)	Cijena(KM)	Potrošnja (W)	Intenzitet zvuka (db)
Upravljačka jedinica	Driver za motore	1	2500	11.48%	0.3	20	5	5
	Mikrokontroler	1	2500	11.48%	0.3	10	1	1
Mehanizam printanja	Motori	3	4000	7.18%	2	250	170	50
	Okvir	1	10000	2.87%	3	100		
	Prskalice	1	2000	14.35%	0.7	20		60
	Spremnik pritiska	1	3000	9.57%	1	25	5	40
Komunikacija	Wifi modul za komunikaciju	1	2000	14.35%	0.3	5	1	
	USB modul za komunikaciju	1	2000	14.35%	0.3	5	1	
	Ukupno:		287.0813	100%	0.580861	435	183	60
Dobiveno: Volumen 15 L, Prosječno vrijeme printa 30 sec, minimalan pomjeraj prskalice 0.1 mm								

Tablica 12: Alokacija zahtjeva: Rješenje 2 (Srednji volumen, precizan, brz i tih print)

Cjelina	Komponente	Broj jedinica	MTBF(h)	Doprinosi kvarovima	Mct(h)	Cijena(KM)	Potrošnja (W)	Intenzitet zvuka (db)
Upravljačka jedinica	Driver za motore	1	2500	11.48%	0.1	20	5	
	Mikrokontroler	1	2500	11.48%	0.1	10	1	
Mehanizam printanja	Motori	3	4000	7.18%	1	250	170	50
	Okvir	1	10000	2.87%	2	50		
	Prskalice	1	2000	14.35%	0.5	20		60
	Spremnik pritiska	1	3000	9.57%	0.5	25	5	40
Komunikacija	Wifi modul za komunikaciju	1	2000	14.35%	0.1	5	1	
	USB modul za komunikaciju	1	2000	14.35%	0.1	5	1	
	Ukupno:		287.0813	100%	0.300478	385	183	60
Dobiveno: Volumen 25 L, Prosječno vrijeme printa 30 sec, minimalan pomjeraj prskalice 0.1 mm								

Tablica 13: Alokacija zahtjeva: Rješenje 3 (Srednji volumen, srednje precizan, brz i tih print)

Cjelina	Komponente	Broj jedinica	MTBF(h)	Doprinosa kvarovima	Mct(h)	Cijena(KM)	Potrošnja (W)	Intenzitet zvuka (db)
Upravljačka jedinica	Driver za motore	1	2500	11.48%	0.1	20	5	
	Mikrokontroler	1	2500	11.48%	0.1	10	1	
Mehanizam printanja	Motori	3	2000	14.35%	1	150	140	65
	Okvir	1	10000	2.87%	2	100		
	Prskalice	1	1000	28.71%	0.5	20		60
	Spremnik pritiska	1	3000	9.57%	0.5	25	5	40
Komunikacija	Wifi modul za komunikaciju	1	2000	14.35%	0.1	5	1	
	USB modul za komunikaciju	1	2000	14.35%	0.1	5	1	
	Ukupno:		211.2676	100%	0.444019	335	153	65
Dobiveno: Volumen 25 L, Prosječno vrijeme printa 1 min, minimalan pomjeraj prskalice 0.2 mm								

2.10 Dizajn za održivost

2.10.1 Analiza popravke i zamjene komponenti

Pošto je jedan od zahtjeva dizajna da se pruža garancije od jedne godine, potrebno je odrediti politiku popravke pokvarenih komponenti. U slučaju kvara potrebno je uračunati:

- Vrijeme popravke i zamjene komponente
- Cijena nove komponente i njenih zamjenskih dijelova
- Cijena radnika

Za vrijeme zamjene komponente korišten je Mct parametar iz tabela 11, 12 i 13 na koji je dodan jedan sat koji predstavlja vrijeme dolaska i povratka radnika na lokaciju. Iz tih komponenta je također uzeta i cijena novih komponenti. Za platu radnika je uzeta cifra od 15KM/h. Za cijena zamjenskih komponenti kao i vremena popravke je rađena estimacija na osnovu kompleksnosti same komponente. Pošto vrijeme popravke komponenti nije isto za svako od ponuđenih rješenja, svaka komponenta koja je imala više različitih vremena je dobila više zasebnih analiza. Rezultate analiza mogu se vidjeti na tabelama 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26.

Na kraju je nađena optimalna politika popravke i zamjene komponenti. Tabela sa rezultatom te analize se može vidjeti na 27. Ispostavlja se da je najisplativije popravljati skupe komponente (motor i okvir), a ostale samo zamjenjivati.

Tablica 14: Popravka vs zamjena cijena: Driver za motore, rješenje 1, 2 i 3

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	20	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	54	19	U slučaju popravke vrijeme se povećava 10 puta.
Ukupno:	54	39	

Tablica 15: Popravka vs zamjena cijena: Mikrokontroler, rješenje 1, 2 i 3

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	10	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	54	19	U slučaju popravke vrijeme se povećava 10 puta.
Rezervni dijelovi	5	-	
Ukupno:	59	29	

Tablica 16: Popravka vs zamjena cijena: Motori, rješenje 1

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	250	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	48	32	U slučaju popravke vrijeme se povećava 2 puta.
Rezrvni dijelovi	50	-	
Ukupno:	98	282	

Tablica 17: Popravka vs zamjena cijena: Motori, rješenje 2

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	250	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	40	23	U slučaju popravke vrijeme se povećava 3 puta.
Rezrvni dijelovi	50	-	
Ukupno:	90	273	

Tablica 18: Popravka vs zamjena cijena: Motori, rješenje 3

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	250	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	65	32	U slučaju popravke vrijeme se povećava 3 puta.
Rezrvni dijelovi	50	-	
Ukupno:	115	282	

Tablica 19: Popravka vs zamjena cijena: Okvir, rješenje 1

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	100	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	22	22	U slučaju popravke vrijeme ostaje isto.
Rezrvni dijelovi	50	-	
Ukupno:	72	122	

Tablica 20: Popravka vs zamjena cijena: Okvir, rješenje 2, 3

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	50	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	22	22	U slučaju popravke vrijeme ostaje isto.
Rezrvni dijelovi	20	-	
Ukupno:	42	72	

Tablica 21: Popravka vs zamjena cijena: Prskalica, rješenje 1

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	20	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	48	26	U slučaju popravke vrijeme se povećava 3 puta.
Rezrvni dijelovi	10	-	
Ukupno:	58	46	

Tablica 22: Popravka vs zamjena cijena: Prskalica, rješenje 2

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	20	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	48	23	U slučaju popravke vrijeme se povećava 3 puta.
Rezrvni dijelovi	10	-	
Ukupno:	58	43	

Tablica 23: Popravka vs zamjena cijena: Prskalica, rješenje 3

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	20	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	80	31	U slučaju popravke vrijeme se povećava 3 puta.
Rezrvni dijelovi	10	-	
Ukupno:	90	51	

Tablica 24: Popravka vs zamjena cijena: Spremnik pritiska, rješenje 1, 2, 3

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	25	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	31	20	U slučaju popravke vrijeme se povećava 3 puta.
Rezervni dijelovi	15	-	
Ukupno:	46	45	

Tablica 25: Popravka vs zamjena cijena: WIFI/USB modul, rješenje 1

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	5	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	31	20	U slučaju popravke vrijeme se povećava 10 puta.
Rezrvni dijelovi	15	-	
Ukupno:	46	25	

Tablica 26: Popravka vs zamjena cijena: WIFI/USB modul, rješenje 2, 3

Kriterij evaluacije	Popravka	Zamjena (KM)	Opis
Cijena nove komponente	-	5	Standardna cijena komponente
Rad ljudi koji popravljaju	31	17	U slučaju popravke vrijeme se povećava 10 puta.
Rezrvni dijelovi	15	-	
Ukupno:	46	22	

Tablica 27: Rješenja za održavanje

Komponenta	Rješenje 1				Rješenje 2			
	Status održavanja				Status održavanja			
	Popravka (KM)	Zamjena (KM)	Odabir		Popravka (KM)	Zamjena (KM)	Odabir	
Driver za motore Mikrokontroler	54	39	Zamjena		54	39	Zamjena	
	59	29	Zamjena		59	29	Zamjena	
Motori Okvir Prskalica Spremnik pritiska	98	282	Popravka		90	273	Popravka	
	72	122	Popravka		42	72	Popravka	
	58	46	Zamjena		58	43	Zamjena	
	46	45	Zamjena		46	45	Zamjena	
Wifi modul za komunikaciju USB modul za komunikaciju	46	25	Zamjena		46	22	Zamjena	
	46	25	Zamjena		46	22	Zamjena	
Cijena odabrane metode (KM):				379	332			

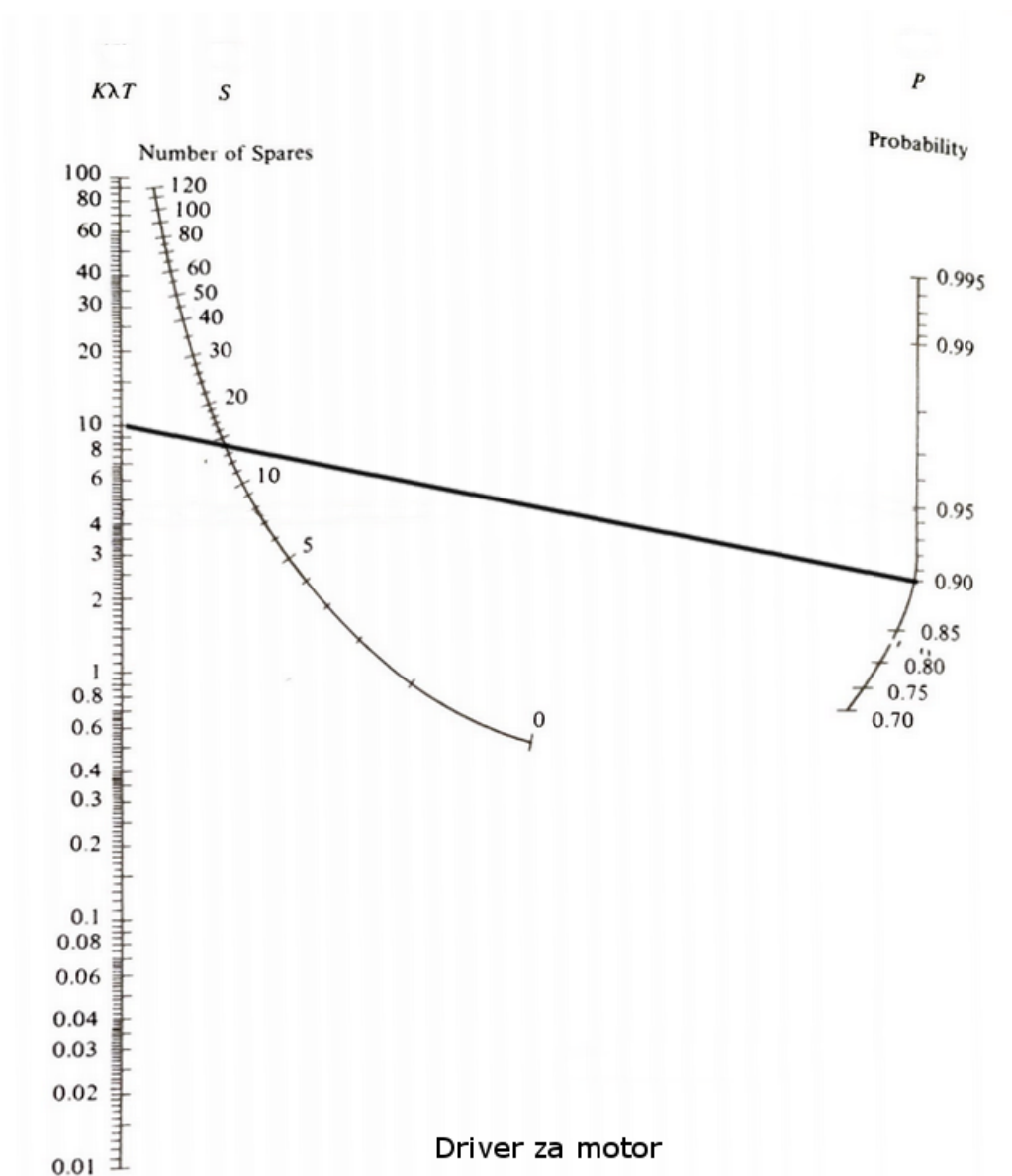
Komponenta	Rješenje 3			
	Status održavanja			
	Popravka (KM)	Zamjena (KM)	Odabir	
Driver za motore Mikrokontroler	54	39	Zamjena	
	59	29	Zamjena	
Motori Okvir Prskalica Spremnik pritiska	115	282	Popravka	
	42	72	Popravka	
	90	51	Zamjena	
	46	45	Zamjena	
Wifi modul za komunikaciju USB modul za komunikaciju	46	22	Zamjena	
	46	22	Zamjena	
Cijena odabrane metode (KM):		365		

2.10.2 Broj dijelova u skladištu

Kako bi bilo moguće raditi popravku uređaja, potrebno je imati određeni broj komponenti u skladištu spreman za korištenje. Za određivanje tog broja korištena je grafička analiza objašnjena u [5]. Primjer analize se može vidjeti na slici 7. Za svaku komponentu je određen $K\lambda T$, gdje je K broj dijelova koji se treba servisirati, $\lambda = \frac{1}{MTBF}$, a T period koji će uređaji raditi između dva trenutka ponovnog nabavka komponenti za skladište. U našem slučaju, uzeto je da je $K = 50$ ili $K = 100$, a kako bi se izračunalo T , pretpostavljeno je da uređaji rade 6h dnevno, 7 dana u sedmici, a da je period između nabavke komponenti za skladište 3 mjeseca. Tako da se dobije $T = 6h \cdot 90$. Kao što je moguće vidjeti na slici 7, spominje se i vjerovatnoća da će biti dovoljno komponenti u slučaju potrebe. Za tu vjerovatnoću u proračunu je uzeto 90%.

Analiza se radi tako što se napravi linija između $K\lambda T$ ose i ose vjerovatnoće. Tačka u kojoj ta linija presiječe osu broja dijelova predstavlja potreban broj rezervnih dijelova. Ova analiza je rađena za svako od ponuđenih rješenja. Rezultat analize ustvari predstavlja cijenu punog skladišta sa potrebnim dijelovima. Tražene tabele se mogu vidjeti na 28 i 29. Za cijenu su uzimane vrijednosti kupovine novih komponenti za motore i okvir, mada je dobiveno da je njih jeftinije popravljati iz dva razloga:

- Neće uvijek biti moguće popraviti motore i okvir
- Razlika u novcu nije toliko velika, a dobiva se kao rezultat analiza najgoreg slučaja



Slika 7: Grafički način određivanja broja potrebnog broja rezervnih komponenti

Tablica 28: Potreban broj rezervnih dijelova za rješenja 1 i 2

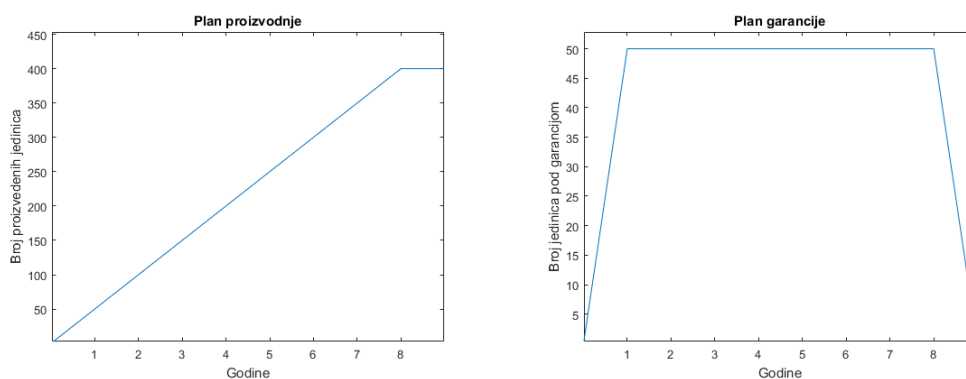
Rješenje 1				
Cjelina	Komponente	Broj rezervnih dijelova, 50 jedinica godišnje	Broj rezervnih dijelova, 100 jedinica godišnje	Cijena (KM)
Upravljačka jedinica	Driver za motore	14	28	20
	Mikrokontroler	14	28	10
Mehanizam printanja	Motori	28	55	250
	Okvir	5	8	100
	Prskalica	18	35	20
	Spremnik pritiska	12	24	25
Komunikacija	Wifi modul za komunikaciju	17	35	5
	USB modul za komunikaciju	17	35	5
Cijena prve nabavke (KM):		8750	17040	
Rješenje 2				
Upravljačka jedinica	Driver za motore	14	28	20
	Mikrokontroler	14	28	10
Mehanizam printanja	Motori	28	55	250
	Okvir	5	8	50
	Prskalica	18	35	20
	Spremnik pritiska	12	24	25
Komunikacija	Wifi modul za komunikaciju	17	35	5
	USB modul za komunikaciju	17	35	5
Cijena prve nabavke (KM):		8500	16640	

Tablica 29: Potreban broj rezervnih dijelova za rješenje 3

Cjelina	Komponente	Broj rezervnih dijelova, 50 jedinica godišnje	Broj rezervnih dijelova, 100 jedinica godišnje	Cijena (KM)
Upravljačka jedinica	Driver za motore	14	28	20
	Mikrokontroler	14	28	10
Mehanizam printanja	Motori	50	80	150
	Okvir	5	8	100
	Prskalica	35	55	20
	Spremnik pritiska	12	24	25
Komunikacija	Wifi modul za komunikaciju	17	35	5
	USB modul za komunikaciju	17	35	5
Cijena prve nabavke (KM):		9590	15690	

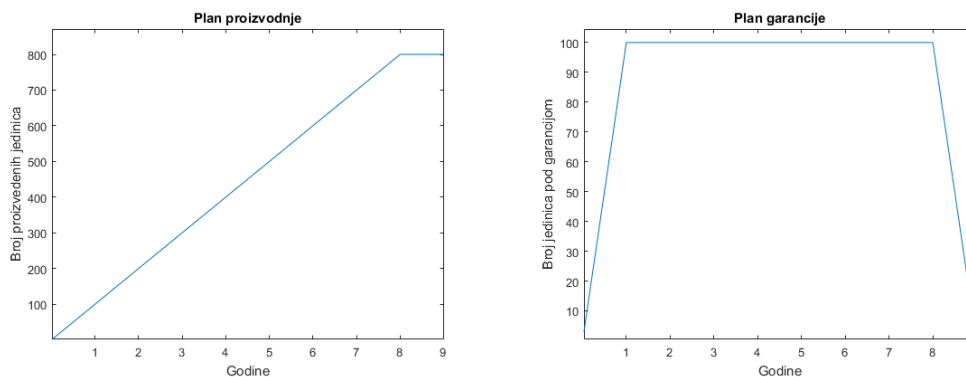
2.11 Life-cycle cost analiza

Kako bi se odredila profitabilnost projekta potrebno je utvrditi sve troškove i prihode. LCC analiza upravo služi za određivanje troškova tokom čitavog perioda proizvodnje i podrške. Uzeta su dva slučaja. U prvom slučaju se proizvodi 50 uređaja godišnje (slika 8), a u drugom 100 (slika 9). Proizvodnja traje 8 godina. Povećan broj uređaja znači i veći prihodi, međutim to povlači za sobom i veći broj jedinica za održavanje, tako da je moguće da će manji broj proizvedenih jedinica povećati profitabilnost. Rezultat analize se može vidjeti na tabelama 30, 31, 32, 33, 34, 35.



(a) Ukupan broj proizvedenih jedinica kod proizvodnje 50 jedinica godišnje (b) Ukupan broj jedinica pod garancijom kod proizvodnje 50 jedinica godišnje

Slika 8: Plan proizvodnje i plan garancije za 50 jedinica proizvedenih godišnje



(a) Ukupan broj proizvedenih jedinica kod proizvodnje 100 jedinica godišnje (b) Ukupan broj jedinica pod garancijom kod proizvodnje 100 jedinica godišnje

Slika 9: Plan proizvodnje i plan garancije za 100 jedinica proizvedenih godišnje

Tablica 30: Troškovi za rješenje 1, 50 jedinica proizvedeno godišnje

Aktivnost	Cijena programa po godini									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Istraživanje i razvoj										0
1.1. Dizajn za održivost	500	500								1000
1.2. Dizajn za pouzdanost	500	500								1000
1.3 Komponente za prvi prototip	1000									1000
1.4 Software	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	18000
Ukupno po kategoriji:	4000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	21000
2. Proizvodnja/konstrukcija										0
2.1 Iznajmljivanje prostora	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	54000
2.2 Kupovina komponenti za proizvodnju	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	21750	0	174000
2.3 Kupovina opreme	500	250								750
2.4 Slanje proizvoda	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	0	20000
Ukupno po kategoriji:	30750	30500	30250	30250	30250	30250	30250	30250	6000	248750
3. Rad i podrška										0
3.1 Plate uposlenicima	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	734400
3.2 Prva kupovina rezervnih komponenti	8750									8750
3.3 Održavanje broja komponenti	25500	25500	25500	25500	25500	25500	25500	25500	25500	229500
3.4. Održavanje vozila	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	21600
Ukupno po kategoriji:	118250	109500	109500	109500	109500	109500	109500	109500	109500	994250
Ukupno:	153000	143000	141750	141750	141750	141750	141750	141750	117500	1264000

Tablica 31: Troškovi za rješenje 1, 100 jedinica proizvedeno godišnje

Aktivnost	Cijena programa po godini									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Istraživanje i razvoj										0
1.1. Dizajn za održivost	500	500								1000
1.2. Dizajn za pouzdanost	500	500								1000
1.3 Komponente za prvi prototip	1000									1000
1.4 Software	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	18000
Ukupno po kategoriji:	4000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	21000
2. Proizvodnja/konstrukcija										0
2.1 Iznajmljivanje prostora	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	54000
2.2 Kupovina komponenti za proizvodnju	43500	43500	43500	43500	43500	43500	43500	43500	0	348000
2.3 Kupovina opreme	500	250								750
2.4 Slanje proizvoda	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	0	40000
Ukupno po kategoriji:	55000	54750	54500	54500	54500	54500	54500	54500	6000	442750
3. Rad i podrška										0
3.1 Plate uposlenicima	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	734400
3.2 Prva kupovina rezervnih komponenti	17040									17040
3.3 Održavanje broja komponenti	51000	51000	51000	51000	51000	51000	51000	51000	51000	459000
3.4. Održavanje vozila	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	21600
Ukupno po kategoriji:	152040	135000	135000	135000	135000	135000	135000	135000	135000	1232040
Ukupno:	211040	192750	191500	191500	191500	191500	191500	191500	143000	1695790

Tablica 32: Troškovi za rješenje 2, 50 jedinica proizvedeno godišnje

Aktivnost	Cijena programa po godini									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Istraživanje i razvoj										0
1.1. Dizajn za održivost	500	500								1000
1.2. Dizajn za pouzdanost	500	500								1000
1.3 Komponente za prvi prototip	1000									1000
1.4 Software	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	18000
Ukupno po kategoriji:	4000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	21000
2. Proizvodnja/konstrukcija										0
2.1 Iznajmljivanje prostora	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	54000
2.2 Kupovina komponenti za proizvodnju	19250	19250	19250	19250	19250	19250	19250	19250	0	154000
2.3 Kupovina opreme	500	250								750
2.4 Slanje proizvoda	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	0	20000
Ukupno po kategoriji:	28250	28000	27750	27750	27750	27750	27750	27750	6000	228750
3. Rad i podrška										0
3.1 Plate uposlenicima	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	734400
3.2 Prva kupovina rezervnih komponenti	8500									8500
3.3 Održavanje broja komponenti	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	225000
3.4. Održavanje vozila	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	21600
Ukupno po kategoriji:	117500	109000	109000	109000	109000	109000	109000	109000	109000	989500
Ukupno:	149750	140000	138750	138750	138750	138750	138750	138750	117000	1239250

Tablica 33: Troškovi za rješenje 2, 100 jedinica proizvedeno godišnje

Aktivnost	Cijena programa po godini									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Istraživanje i razvoj										0
1.1. Dizajn za održivost	500	500								1000
1.2. Dizajn za pouzdanost	500	500								1000
1.3 Komponente za prvi prototip	1000									1000
1.4 Software	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	18000
Ukupno po kategoriji:	4000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	21000
2. Proizvodnja/konstrukcija										0
2.1 Iznajmljivanje prostora	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	54000
2.2 Kupovina komponenti za proizvodnju	38500	19250	19250	19250	19250	19250	19250	19250	0	173250
2.3 Kupovina opreme	500	250								750
2.4 Slanje proizvoda	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	45000
Ukupno po kategoriji:	50000	30500	30250	30250	30250	30250	30250	30250	11000	273000
3. Rad i podrška										0
3.1 Plate uposlenicima	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	734400
3.2 Prva kupovina rezervnih komponenti	16640									16640
3.3 Održavanje broja komponenti	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	450000
3.4. Održavanje vozila	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	21600
Ukupno po kategoriji:	150640	134000	134000	134000	134000	134000	134000	134000	134000	1222640
Ukupno:	204640	167500	166250	166250	166250	166250	166250	166250	147000	1516640

Tablica 34: Troškovi za rješenje 3, 50 jedinica proizvedeno godišnje

Aktivnost	Cijena programa po godini									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Istraživanje i razvoj										0
1.1. Dizajn za održivost	500	500								1000
1.2. Dizajn za pouzdanost	500	500								1000
1.3 Komponente za prvi prototip	1000									1000
1.4 Software	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	18000
Ukupno po kategoriji:	4000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	21000
2. Proizvodnja/konstrukcija										0
2.1 Iznajmljivanje prostora	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	54000
2.2 Kupovina komponenti za proizvodnju	16750	16750	16750	16750	16750	16750	16750	16750	0	134000
2.3 Kupovina opreme	500	250								750
2.4 Slanje proizvoda	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	0	20000
Ukupno po kategoriji:	25750	25500	25250	25250	25250	25250	25250	25250	6000	208750
3. Rad i podrška										0
3.1 Plate uposlenicima	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	734400
3.2 Prva kupovina rezervnih komponenti	9590									9590
3.3 Održavanje broja komponenti	30700	30700	30700	30700	30700	30700	30700	30700	30700	276300
3.4. Održavanje vozila	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	21600
Ukupno po kategoriji:	124290	114700	114700	114700	114700	114700	114700	114700	114700	1041890
Ukupno:	154040	143200	141950	141950	141950	141950	141950	141950	122700	1271640

Tablica 35: Troškovi za rješenje 3, 100 jedinica proizvedeno godišnje

Aktivnost	Cijena programa po godini									Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Istraživanje i razvoj										0
1.1. Dizajn za održivost	500	500								1000
1.2. Dizajn za pouzdanost	500	500								1000
1.3 Komponente za prvi prototip	1000									1000
1.4 Software	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	18000
Ukupno po kategoriji:	4000	3000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	21000
2. Proizvodnja/konstrukcija										0
2.1 Iznajmljivanje prostora	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	54000
2.2 Kupovina komponenti za proizvodnju	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	33500	0	268000
2.3 Kupovina opreme	500	250								750
2.4 Slanje proizvoda	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	0	40000
Ukupno po kategoriji:	45000	44750	44500	44500	44500	44500	44500	44500	6000	362750
3. Rad i podrška										0
3.1 Plate uposlenicima	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	81600	734400
3.2 Prva kupovina rezervnih komponenti	15690									15690
3.3 Održavanje broja komponenti	61400	61400	61400	61400	61400	61400	61400	61400	61400	552600
3.4. Održavanje vozila	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	21600
Ukupno po kategoriji:	161090	145400	145400	145400	145400	145400	145400	145400	145400	1324290
Ukupno:	210090	193150	191900	191900	191900	191900	191900	191900	153400	1708040

2.12 Analiza profitabilnosti

Na osnovu svih prijašnjih analiza na kraju je moguće ustanoviti profitabilnost projekta. Kao što je viđeno u prijašnjim poglavljima, za svako rješenje je rađena analiza za slučaj proizvodnje 50 i za slučaj proizvodnje 100 jedinica godišnje.

U analizi profitabilnosti je korištena vrijednost diskontnog faktora od 7%. Jedina nepoznanica ostaje određivanje cijene konačnog proizvoda. Pošto je minimalna cijena također jedan od zahtjeva, za svaki od 6 različitih slučajeva je cijena iterativno povećavana za 500 KM sve dok na krajnjem rasponu od 9 godina ne bi ostvarili profit. Rezultat te analize se može vidjeti na tabelama 36, 37 i 38.

Mogu se donijeti sljedeći zaključci

- Cijena uređaja za slučaj proizvodnje 50 jedinica je 3500 KM kod svakog rješenja
- Cijena uređaja za slučaj proizvodnje 100 jedinica je 2500 KM kod svakog rješenja
- Proizvodnja većeg broja uređaja je u svakom slučaju profitabilnija
- Rješenje 2 je najprofitabilnije od svih rješenja.
- Mada je rješenje 3 jeftinije za proizvodnju od rješenja 2, cijena vezana za pouzdanost i održavanje manje pouzdanih komponenti je više nego nadoknadila razliku
- Ni jedno rješenje nije jeftinije od konkurentskog rješenja

Tablica 36: Rješenje 1 - cashflow

Godina	Prihodi	Troškovi	Priliv novca	Diskontni faktor	Stvarna vrijednost priliva novca	NPV
	Investicija:	100000	Broj proizvedenih:	50	Cijena:	3000
0	0	-100000	-100000	1	-100000	-100000
1	175000	-153000	22000	0.934579439	20560.74766	-79439.3
2	175000	-143000	32000	0.873438728	27950.0393	-51489.2
3	175000	-141750	33250	0.816297877	27141.90441	-24347.3
4	175000	-141750	33250	0.762895212	25366.2658	1018.957
5	175000	-141750	33250	0.712986179	23706.79047	24725.75
6	175000	-141750	33250	0.666342224	22155.87894	46881.63
7	175000	-141750	33250	0.622749742	20706.42892	67588.06
8	175000	-141750	33250	0.582009105	19351.80273	86939.86
9	0	-117500	-117500	0.543933743	-63912.21475	23027.64
	Investicija:	100000	Broj proizvedenih:	100	Cijena:	2500
0	0	-100000	-100000	1	-100000	-100000
1	250000	-211040	38960	0.934579439	36411.21495	-63588.8
2	250000	-192750	57250	0.873438728	50004.36719	-13584.4
3	250000	-191500	58500	0.816297877	47753.4258	34169.01
4	250000	-191500	58500	0.762895212	44629.3699	78798.38
5	250000	-191500	58500	0.712986179	41709.6915	120508.1
6	250000	-191500	58500	0.666342224	38981.02009	159489.1
7	250000	-191500	58500	0.622749742	36430.8599	195919.9
8	250000	-191500	58500	0.582009105	34047.53262	229967.5
9	0	-143000	-143000	0.543933743	-77782.52519	152185

Tablica 37: Rješenje 2 - cashflow

Godina	Prihodi	Troškovi	Priliv novca	Diskontni faktor	Stvarna vrijednost priliva novca	NPV
	Investicija:	100000	Broj proizvedenih:	50	Cijena:	3500
0	0	-100000	-100000	1	-100000	-100000
1	175000	-149750	25250	0.934579439	23598.13084	-76401.9
2	175000	-140000	35000	0.873438728	30570.35549	-45831.5
3	175000	-138750	36250	0.816297877	29590.79804	-16240.7
4	175000	-138750	36250	0.762895212	27654.95144	11414.24
5	175000	-138750	36250	0.712986179	25845.74901	37259.98
6	175000	-138750	36250	0.666342224	24154.90561	61414.89
7	175000	-138750	36250	0.622749742	22574.67814	83989.57
8	175000	-138750	36250	0.582009105	21097.83004	105087.4
9	0	-117000	-117000	0.543933743	-63640.24788	41447.15
	Investicija:	100000	Broj proizvedenih:	100	Cijena:	2500
0	0	-100000	-100000	1	-100000	-100000
1	250000	-204640	45360	0.934579439	42392.52336	-57607.5
2	250000	-167500	82500	0.873438728	72058.69508	14451.22
3	250000	-166250	83750	0.816297877	68364.94719	82816.17
4	250000	-166250	83750	0.762895212	63892.47401	146708.6
5	250000	-166250	83750	0.712986179	59712.59253	206421.2
6	250000	-166250	83750	0.666342224	55806.16124	262227.4
7	250000	-166250	83750	0.622749742	52155.29088	314382.7
8	250000	-166250	83750	0.582009105	48743.26251	363125.9
9	0	-147000	-147000	0.543933743	-79958.26016	283167.7

Tablica 38: Rješenje 3 - cashflow

Godina	Prihodi	Troškovi	Priliv novca	Diskontni faktor	Stvarna vrijednost priliva novca	NPV
	Investicija:	100000	Broj proizvedenih:	50	Cijena:	3500
0	0	-100000	-100000	1	-100000	-100000
1	175000	-154040	20960	0.934579439	19588.78505	-80411.2
2	175000	-143200	31800	0.873438728	27775.35156	-52635.9
3	175000	-141950	33050	0.816297877	26978.64483	-25657.2
4	175000	-141950	33050	0.762895212	25213.68676	-443.532
5	175000	-141950	33050	0.712986179	23564.19323	23120.66
6	175000	-141950	33050	0.666342224	22022.6105	45143.27
7	175000	-141950	33050	0.622749742	20581.87897	65725.15
8	175000	-141950	33050	0.582009105	19235.40091	84960.55
9	0	-122700	-122700	0.543933743	-66740.67022	18219.88
	Investicija:	100000	Broj proizvedenih:	100	Cijena:	2500
0	0	-100000	-100000	1	-100000	-100000
1	250000	-210090	39910	0.934579439	37299.06542	-62700.9
2	250000	-193150	56850	0.873438728	49654.9917	-13045.9
3	250000	-191900	58100	0.816297877	47426.90665	34380.96
4	250000	-191900	58100	0.762895212	44324.21182	78705.18
5	250000	-191900	58100	0.712986179	41424.49703	120129.7
6	250000	-191900	58100	0.666342224	38714.4832	158844.2
7	250000	-191900	58100	0.622749742	36181.76	195025.9
8	250000	-191900	58100	0.582009105	33814.72898	228840.6
9	0	-153400	-153400	0.543933743	-83439.43611	145401.2

3 Zaključak

Literatura

- [1] Brandi Neal. What Is A Selfieccino? You Can Order A Drink With Your Face On It At This London Cafe. <https://www.bustle.com/p/what-is-a-selfieccino-you-can-order-a-drink-with-your-face-on-it-at-this-london> 2017. [Online; posjećeno 31. 05. 2018].
- [2] Wikipedia contributors. System lifecycle — Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=System_lifecycle&oldid=828537183, 2018. [Online; posjećeno 31. 05. 2018].
- [3] Dennis M Buede and William D Miller. *The engineering design of systems: models and methods*. John Wiley & Sons, 2016.
- [4] James Oakes, Rick Botta, and A Terry Bahill. Technical performance measures. In *Proceedings of 16th Annual International Symposium of INCOSE*, pages 9–13, 2006.
- [5] Benjamin S Blanchard, Wolter J Fabrycky, and Walter J Fabrycky. *Systems engineering and analysis*, volume 4. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, 1990.