

UNIVERZITET U SARAJEVU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
AUTOMATIKA I ELEKTRONIKA
Predmet: Principi sistemskog inženjeringa

Konceptualni dizajn robotskog manipulatora za klasifikaciju predmeta po obliku

Seminarski rad I

Student: Emina Hasanović

Broj indeksa: 16907/1297

Sarajevo, Septembar 2019.

Sadržaj

1. Uvod.....	3
1.1. Robotika	3
1.2. Industrijski manipulatori	3
Pogon manipulatora	4
Glavni dijelovi i osnovne strukture manipulatora	5
Upravljanje.....	6
2. Identifikacija potreba i zahtjeva	7
2.1. Identifikacija potreba	7
3. Studij izvodljivosti.....	8
3.1. Različita rješenja problema - alternative	9
Life Cycle Cost	10
RB22	11
4. Analiza zahtjeva sistema	11
Distribucija i mjesta korištenja.....	13
Osnovne funkcionalnosti u skladu s potrebama	13
Kritični parametri postavljeni na efikasnost sistema	13
Korištenje sistema	14
Životni vijek i učinkovitost sistema.....	15
4.2. Zahtjevi za podršku i održavanje.....	15
5. Tehničke mjere performanse (TPMs).....	16
5.1. Lista TPMs.....	17
5.2. HoQ (House of Quality)	18
6. Funkcionalna analiza i alokacija	20
6.1. Funkcionalna alokacija	21
6.2. FMECA analiza	22
7. Sinteza, analiza, evaluacija	24
7.1. Mjere pouzdanosti i raspoloživosti sistema.....	26
7.2. Funkcija pouzdanosti sistema	26
7.3. Raspoloživost sistema	27
7.4. Detaljna ekonomska analiza.....	28
7.5. Analiza osjetljivosti i rizika	31
8. Zaključak.....	33
Literatura.....	34

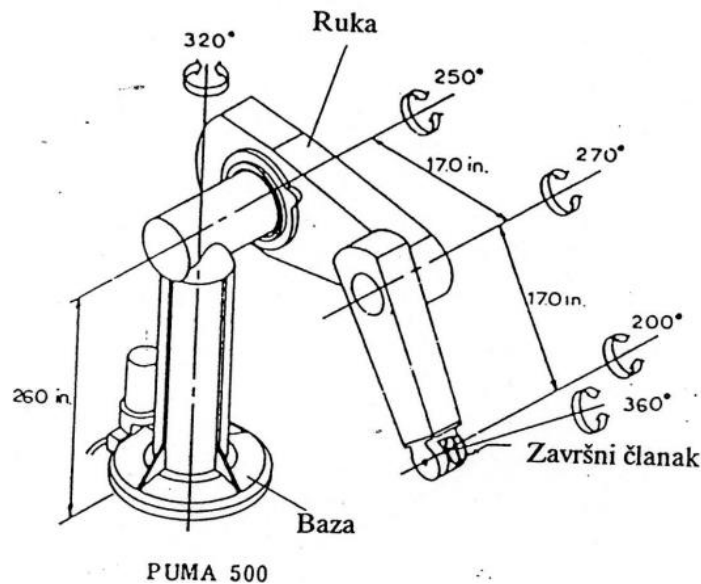
1. Uvod

1.1. Robotika

Robotika je tehnička znanost koja predstavlja spoj strojeva i računarske tehnike. Robotika uključuje različita područja kao što su projektiranje strojeva, mikroelektroniku, računarsko programiranje, teoriju upravljanja i regulacije, vještačku inteligenciju, teoriju proizvodnje i ljudski faktor. Ona je interdisciplinarna disciplina koja pokriva područja mehanike, informatike, elektronike i automatike. Bavi se prvenstveno proučavanjem različitih strojeva koji mogu zamijeniti čovjeka u izvršavanju različitih vrsta zadataka. Razvoj robotike je iniciran željom čovjeka da pronađe zamjenu za sebe koja bi imala mogućnosti izvršavanju raznih oblika fizičkih aktivnosti i donošenju odluka. U 20. stoljeću prvi se put susreće naziv robot: uveo ga je češki književnik K. Čapek 1920. g. u svojoj drami "RUR" (Rossumovi univerzalni roboti). Savremeni roboti nastali su 1950-ih u SAD-u, a 1980 godine Američki institut (Institute of America) robota je definirao kao višefunkcionalnog manipulatora s mogućnošću reprogramiranja, projektovanog da prenosi materijale, dijelove, alate i posebne naprave kroz različite programirane pokrete u svrhu obavljanje različitih zadataka. Ova definicija je prilično restriktivna, budući da isključuje mobilne robote, koji u današnje vrijeme doživljavaju ekspanziju. Općenitija definicija bi bila da je robot stroj koji posjeduje inteligentnu vezu između percepcije i akcije. S tim u vezi se može definirati pojam inteligentnog robota kao stroja sposobnog da prikuplja informacije iz okolnog svijeta i koristeći znanje o okolini uspijeva da se uspješno kreće u njoj. Računarsko upravljanje robotskim sistemima teži primjeni ekspertnih sistema i vještačke inteligencije u području automatskog upravljanja. Ako uporedimo proizvodnju koja se odvija ručno, automatima i robotom u ovisnosti od veličine serije, može se uočiti da je ljudski rad najekonomičniji u pojedinačnoj proizvodnji zbog visoke fleksibilnosti, pokretljivosti i niskih troškova proizvodnje. Kod ručnog upravljanja opremom imamo nisku proizvodnost. Automati imaju visoku proizvodnost, nisku fleksibilnost i pokretljivost. Roboti objedinjuju ručno upravljanje opremom i automate. Karakterizira ih visoka cijena, visoka fleksibilnost, te primjena koja je ekonomski opravdana kod srednjih i malih serija. Roboti na današnjem nivou razvoja pokazuju zapanjujuće osobine: neumornost, ponovljivost, fleksibilnost, nosivost, brzinu, povećanu produktivnost, povećanu i ujednačenu kvalitetu i dr. [1]

1.2. Industrijski manipulatori

Industrijski manipulatori (slika 1.1.) imaju za cilj da oslobode čovjeka nehumanog, monotonog i opasnog rada. Pored navedenog industrijski roboti povećavaju i profit. Pokazalo se da klasični oblici proizvodnje se nisu mogli porediti sa modernim robotizovanim sistemima proizvodnje. [2]



Slika 1.1. Industrijski manipulator

Roboti se općenito mogu podijeliti prema vrsti pogona, načinu upravljanja gibanjem i geometriji radnog prostora.

Pogon manipulatora

Pogonski sistem određuje područje primjene robotskog manipulatora. Pomicanje tijela, ruke i ručnog zgloba robotskog manipulatora omogućeno je upotrebom pogonskog sistema robota. Pogonski sistem određuje brzinu pomicanja ruke, jakost i dinamičke performanse manipulatora.

U upotrebi su najčešće tri slijedeća pogona: električni pogon, hidraulički pogon, pneumatski pogon.

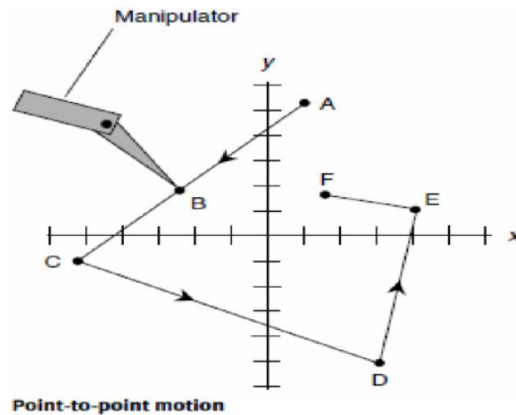
Današnji roboti koriste električne motore i to istosmjerne, izmjenične i koračne, jer su relativno jeftini, zauzimaju malo prostora, s velikom brzinom i točnosti te je kod njih moguća primjena složenijih algoritama upravljanja. Kada se zahtijeva manipulacija velikim teretima, češće se koriste roboti s hidrauličnim motorom. Hidraulički motor osim velike brzine i snage, omogućuju mirno održavanje pozicije zbog nestlačivosti ulja. Koriste se kod robota većih dimenzija. Nedostaci ovih motora su njihove visoke cijene i zagađivanje okoline zbog buke i mogućeg istjecanja ulja. Pneumatski motori primjenjuju se kod malih robota. Prednost im je relativno niska cijena, velika brzina rada i nezagađivanje okoline. Takvi motori nisu pogodni za rad s velikim teretima, jer je zbog stlačivosti zraka nemoguće mirno održavati željenu poziciju. Uz to je prisutna buka te je potrebno dodatno filtriranje i sušenje zraka zbog nepoželjne prašine i vlage. [1]

Kretanje manipulatora

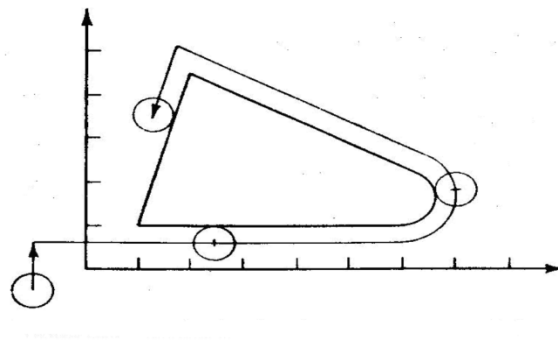
Važna karakteristika svakog robota je broj njegovih osi za rotacijsko ili translacijsko kretanje. Današnji industrijski roboti imaju obično 6 osi. Da bi robot mogao obavljati neki posao nužno je moći upravljati položajem i orijentacijom alata. To se postiže određivanjem veze između varijabli zglobova robota te položaja i orijentacije alata tj. rješava se direktni kinematički problem. Da bi se definirao zadatak kojeg robot treba obaviti, potrebno je zadati tačke u prostoru kroz koje alat mora proći, a to znači da je potrebno naći koordinate zglobova iz poznatih koordinata alata. To se rješava inverznim kinematičkim problemom. Kretanje robotske ruke zadaje se tako da se definiraju pozicije i orijentacije kroz koje mora proći njegov vrh (alat) tijekom kretanja kroz prostor. [1]

Postoje dva načina upravljanja kretanjem:

- Od tačke do tačke (nije bitna putanja nego tačnost pozicioniranja) - slika 1.2.
- Kontinuirano kretanje po putanji (bitna i putanja i tačnost pozicioniranja) - slika 1.3.



Slika 1.2. Prikaz kretanja robota od tačke do tačke

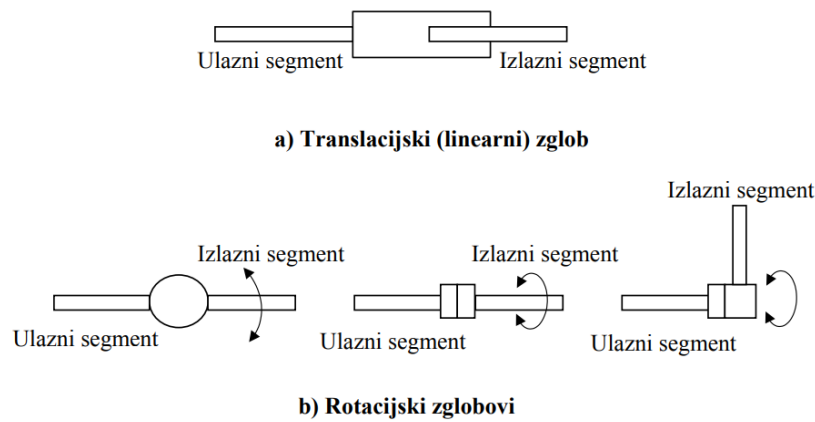


Slika 1.3. Prikaz kontinuiranog kretanja robota

Glavni dijelovi industrijskog robota su: niz krutih segmenata povezanih pomoću zglobova, aktuatori (pogoni) postavljaju manipulator u određeno kretanje pomicanjem zglobova, senzori koji detektuju status manipulatora (proprioceptivni senzori) i ako je potrebno, status okoline (heteroceptivni senzori), računar ili sistem upravljanja i nadzor kretanja manipulatora. [1]

Glavni dijelovi i osnovne strukture manipulatora

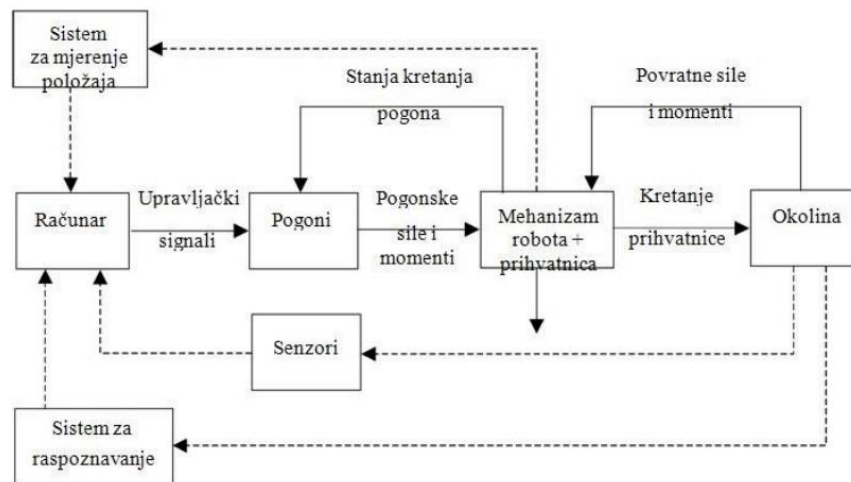
Manipulator se sastoji od *tijela, ruke i ručnog zgloba*. Najčešće je robotski manipulator pričvršćen za podlogu. Na kraju ruke nalazi se ručni zglob sastavljen od više komponenti koje mu omogućavaju orijentaciju u različitim položajima. Relativna kretanja među različitim komponentama tijela, ruke i ručnog zgloba ostvaruju se pomoću niza zglobova. Kod industrijskih robota koriste se dva osnovna zgloba: *rotacijski i translacijski* (slika 1.4.). Rotacijski zglob vrši rotaciju oko osi, a translacijski (linearni) linijsko kretanje po osi. Dva susjedna zgloba spojena su pomoću krutih segmenata. Na ručni zglob pričvršćena je šaka koja se u tehničkom žargonu naziva vrh manipulatora, alat i hvataljka. Vrh manipulatora se ne smatra dijelom robota, već služi za obavljanje određenih zadataka koji se traže od robota. [1]



Slika 1.4. Translacijski i rotacijski zglob manipulatora

Upravljanje

Funkcionalna shema industrijskog robota je prikazana na slici 1.5.



Slika 1.5. Funkcionalna shema industrijskog manipulatora

Uzimajući u obzir da tržište zahtijeva brz odziv proizvođača i raznolikost proizvoda robot mora biti u stanju da se prilagodi novim zadacima, odnosno od robota se zahtijeva fleksibilnost. Ovaj zahtjev se može zadovoljiti zahvaljujući upravljanju sa računarom jer se program relativno lako može promijeniti.

Postoji mnoštvo upravljačkih strategija koje se primjenjuju ovisno o stupnju složenosti zadatka koje robot obavlja. Sa aspekta kompleksnosti upravljačkih tehnika, u robotici se razmatraju dva pristupa upravljanju i to: *slobodno kretanje robota u operacijskom prostoru* i *kretanje robota u operacijskom prostoru uz postavljena ograničenja*.

U prvom slučaju se definira kretanje prihvatnice. Izvođenjem planiranog kretanja robot će izvršiti i planirani zadatak, dok se u drugom slučaju, osim definiranja kretanja koje robot izvodi, postavljaju zahtjevi o iznosu kontaktne sile kojom prihvatnica djeluje na okolinu. Drugim riječima, nastoji se upravljati interakcijom između robota i okoline.

Sve više se za upravljanje koristi PLC (eng. Programabilni logički kontroler). Programabilno logički kontroler je uređaj kojega u osnovi sačinjavaju: središnji mikroprocesor (CPU - Central Processor Unit), memorija, i ulazno-izlazne jedinice. Princip rada temelji se na prikupljanju ulaznih logičkih signala, njihovoj obradi u skladu s upravljačkim programom, i definiranju odgovarajućih izlaznih logičkih signala. Uz logičke i ulazno-izlazne funkcije, PLC može izvoditi i različite operacije brojanja, mjerenja vremena i jednostavne aritmetičke operacije. O kinematičkoj strukturi i načinu upravljanja uzmi-stavi manipulatora, ovisi mogućnost pozicioniranja hvataljke s obzirom na proizvoljnu tačku unutar radnoga prostora, a to znači i mogućnost prilagođavanja promjenama u pogledu razmještaja okolne opreme. U mnogim zadacima uzmi-stavi manipulatori mogu izvoditi operacije jednako uspješno kao i industrijski roboti, a da pri tome zauzimaju manje prostora, i imaju pet do deset puta nižu cijenu. Međutim, zbog jednostavnog upravljačkoga i regulacijskoga sistema, kretanjem hvataljke između dvije radne pozicije ne može se precizno upravljati, odnosno slijediti unaprijed zadanu trajektoriju, što priječi složeno umetanje ugradbenih elemenata. [3]

2. Identifikacija potreba i zahtjeva

Roboti imaju za cilj da zamijene čovjeka u nehumanim, monotonim i opasnim uslovima rada. Roboti se razvijaju s ciljem poboljšanja efikasnosti rada čovjeka, samim tim i povećanja profita. Ovaj rad nastoji staviti akcenat na robotskog manipulatora koji će obavljati posao koji je inače dosadan i monoton za čovjeka. Radi se o robotu koji klasificira predmete na osnovu njihovog oblika. Predmeti mogu biti različitih dimenzija i to će direktno utjecati na dimenzije robota koji se treba koristiti. S obzirom na to mi ćemo se bazirati na konceptualni dizajn manipulatora koji klasificira predmete malih dimenzija, male težine i veličine. Ti predmeti mogu biti šahovske figure, dječije plastične igračke i slično. Ovakvi roboti već postoje na tržištu, ali su glomazni samim tim zauzimaju puno prostora. Pored toga su i skupi te teški za održavanje. Na osnovu toga se javila potreba za robotskim manipulatorom čiji je konceptualni dizajn izložen u nastavku rada. Da bi se napravio takav robot potrebno je prije svega definisati zahtjeve koje sistem mora zadovoljiti.

2.1. Identifikacija potreba

Potrebno je postaviti zahtjeve na sistem. Zahtjevi na sistem predstavljaju skup pravila i principa koje određeni sistem treba da ispuni. Za naš predhodni navedeni problem, zahtjevi su sljedeći:

- Male dimenzije
- Mali utrošak energije
- Niska cijena
- Fleksibilnost
- Preciznost
- Visoka pokretljivost zglobova
- Lagano korištenje
- Jednostavno održavanje
- Zaštita od oštećenja
- Dug vijek trajanja

Na osnovu zahtjeva koji su definisani potrebno je razviti sistem koji će najbolje odgovarati potrebama kupca, s tim da će ispunjavati osnovni zahtjev za razvojem sistema u dogovoreno vrijeme sa dogovorenim cijenama troškova. Ukoliko se uzima već gotov sistem, isti treba da zadovolji sve osobine koje se od njega zahtijevaju i to po cijeni koja odgovara kupcu.

Nakon definisanih zahtjeva na sistem potrebno je definisati i dijelove sistema koji će zadovoljiti nametnute zahtjeve. Uzima se u obzir o kojem sistemu se radi i u koje se svrhe koristi i u skladu sa tim se pronalazi sistem koji će najbolje zadovoljiti nametnute zahtjeve. Dijelovi predloženog sistema:

- Hvataljka
- Ležajevi
- Motori robota
- Kablovi
- Segmenti robota
- Postolje
- Kamera
- Adapter za napajanje
- Upravljačka jedinica
- Prateći softver
- Prateća dokumentacija

Da bi se znala ukupna cijena proizvoda potrebno je razmotriti cijenu svakog od dijelova sistema. Nakon što su definisani zahtjevi i dijelovi sistema može se preći na predstavljanje alternativa istog proizvoda od kojih će na kraju biti odabrana najbolja.

3. Studij izvodljivosti

Studij izvodljivosti (engl. Accomplishment of feasibility analysis) je drugi važan korak konceptualnog dizajna. Unutar studije izvodljivosti potrebno je između ponuđenih alternativa odabrati onu koja predstavlja optimalno rješenje datog problema u odnosu na definisane zahtjeve i ograničenja. U ovom poglavlju je urađena studija izvodljivosti za definisani problem.

Jednom kada su definisani zahtjevi i potrebe, neophodno je identifikovati alternative koje mogu odgovoriti na te zahtjeve, evaluirati iste u odnosu na performansu, efektivnost, održavanje i logističku podršku, te ekonomski kriterij i odabrati onu alternativu koja predstavlja optimalno rješenje u odnosu na navedeno. Konceptualni dizajn predstavlja ranu fazu životnog ciklusa sistema u kojoj se donose glavne odluke. Jedan od važnijih koraka u tom kontekstu je studij izvodljivosti u sklopu kojeg se bira konkretan pristup dizajnu, a čiji odabir može imati, ili ima, veliki utjecaj na karakteristike i cijenu životnog ciklusa sistema. Ulazi u studij izvodljivosti su identificirani zahtjevi na sistem, a kao rezultat ovog koraka se dobivaju karakteristike sistema, npr. produktivnost, sposobnost podrške, raspoloživost, itd. Odabir moguće tehnologije ima svoju pouzdanost koja može utjecati na realizaciju sistema u okviru definiranih zahtjeva, prije svega na odabir opreme i rezervne dijelove, a svakako i na cijenu životnog ciklusa sistema. Da bi se odabralo optimalno rješenje, odnosno najbolja alternativa, treba imati odgovarajuće definirani kriterij, odnosno način njihovog poređenja. U literaturi su navedena dva pristupa za poređenje alternativa i to na osnovu : cijene životnog ciklusa (engl. Life Cycle Cost, LCC) i različitih disciplina sistemskog inženjeringa koje se razmatraju u okviru dizajna sistema.

Sada se može pristupiti odabiru sistema koji će najbolje zadovoljiti nametnute zahtjeve. Potrebno je iskoristiti konceptualnu analizu te pronaći optimalno rješenje za problem, uzimajući u obzir da je u današnjem vremenu sve više različitih rješenja jednog te istog problema. Kriteriji koji se koriste za odabir optimalnog rješenja uključuju, pored već navedenih zahtjeva na sistem uključuju i kriterije tipa troškova sistema, vremena koje je

potrebno za dizajn, proizvodnju i distribuciju na tržište. Ono što će izdvojiti jedan proizvod u odnosu na ostale je omjer cijene i funkcionalnosti, tako da je postupak konceptualne analize jako bitan jer će biti analizirana financijska isplativost pojedinog rješenja.

U nastavku će biti navedeno više rješenja koja će biti razmatrana, nakon čega će biti donešena odluka o izboru optimalnog rješenja. Kako bi se neko rješenje uzelo u razmatranje, potrebno je da ispunjava navedene zahtjeve na sistem. Pri samom donošenju odluke, potrebno je držati se i zahtjeva kupca.

3.1. Različita rješenja problema - alternative

Kao glavni konkurenti se nameću sljedeći robotski manipulatori, s obzirom na prethodne zahtjeve:

1. **KUKA KR 5 sixx R650- robotski manipulator kompanije KUKA**
2. **IRB 360-1/800- robotski manipulator kompanije ABB**
3. **RB22- robotski manipulator čija proizvodnja se analizira u ovom radu.**

Kako bismo odredili koje je od rješenja najbolje navest ćemo neke zahtjeve postavljene na dizajn i svakom od mogućih rješenja ćemo dodijeliti ocjenu od 1 do 5 (5 predstavlja najbolje rješenje) i na kraju sabrati sve ocjene kako bismo mogli odrediti koje je rješenje najbolje (tabela 3.1.).

Tabela 3.1. Karakteristike svih mogućih rješenja

Karakteristike	KUKA KR 5 sixx R650	IRB 360-1/800	RB22
Brzina zglobova:			
Zglob 1	(5) 375°/s	(3) 350°/s	(4) 360°/s
Zglob 2	(4) 300°/s	(5) 310°/s	(5) 310°/s
Zglob 3	(5) 375°/s	(4) 350°/s	(3) 340°/s
Zglob 4	(4) 410°/s	(3) 400°/s	(5) 430°/s
Zglob 5	(4) 410°/s	(3) 400°/s	(5) 430°/s
Zglob 6	(4) 660°/s	(3) 640°/s	(5) 680°/s
Ugao kretanja:			
Zglob 1	(4)±170°	(3)±160°	(5)±175°
Zglob 2	(3)±45°	(4)±50°	(5)±70°
Zglob 3	(5)±165°	(3)±150°	(4)±160°
Zglob 4	(5)±190°	(4)±180°	(5)±190°
Zglob 5	(5)±120°	(5)±120°	(5)±120°
Zglob 6	(5)±358°	(3)±355°	(4)±356°
Broj osa	(4) 6	(5) 4	(4) 6
Nosivost	(5) 5 kg	(4) 1 kg	(1) 0.1 kg
Radni dijametar	(4) 650 mm	(5) 800 mm	(3) 500 mm
Ponovljivost	(5) ± 0.02 mm	(3) ± 0.1 mm	(4) ± 0.05 mm
Masa robota	(1) 127 kg	(1) 120 kg	(5) 5.45 kg
Montaža	(5) Podna / Krovna	(4) Krovna	(5) Podna / Krovna
Snaga	(1) 8 kVA	(1) 7.2 kVA	(5) 0.1 kVA
Cijena	(1) 35.730,00 KM	(1) 29.030,00 KM	(5) 1.434,00 KM
Zbir	(79)	(67)	(87)

Na osnovu razmatranja tabele 3.1. možemo da zaključimo da je najisplativije i najbolje rješenje RB22. Osnovna karakteristika koja ga izdvaja u odnosu na druga dva rješenja je cijena koja je znatno niža. Također, snaga RB22 robotskog manipulatora je višestruko manja, što znači da je potrošnja električne energije izrazito mala.

Uzimajući u obzir da se u ovom radu analizira proizvodnja robotskog manipulatora, te da se RB22 robotski manipulator proizvodi tako da ispunjava nametnute zahtjeve na sistem, onda se može reći i da RB22 predstavlja optimalno rješenje.

Life Cycle Cost

Razmotrimo još jednu metodu poređenja alternativa, i to na osnovu procijenjenih troškova životnog ciklusa (eng. Life Cycle Cost). Cilj metode je procjena cijene troškova životnog ciklusa proizvoda kroz pet osnovnih kategorija :

- Troškovi istraživanja i razvoja
- Troškovi proizvodnje
- Troškovi u toku korištenja sistema
- Troškovi održavanja
- Troškovi otpisa sistema i njegovog povlačenja iz upotrebe

U troškove razvoja i istraživanja se ubrajaju troškovi analize tržišta, upošljavanje radnika za dizajn, nabavka dijelova za proizvodnju prototipa, tj. troškovi prije samog puštanja u proizvodnju. Također, u istu kategoriju se ubrajaju i troškovi dobijanja dozvola te izrada određenog dijela dokumentacija (dio koji se može pisati u početnom stadiju - do proizvodnje). Treba napomenuti da se ovi troškovi računaju samo jednom, te se ne ponavljaju u toku životnog ciklusa proizvoda koji se proizvodi.

U troškove proizvodnje se ubrajaju troškovi koji se pojavljuju u samom procesu proizvodnje proizvoda. Dobijanjem svih potrebnih dozvola, te odlukom kompanije da je prototip zadovoljio potrebne uslove, sve je spremno za početak proizvodnje proizvoda. Treba naglasiti da se povećanjem obima proizvodnje, sami troškovi proizvodnje umanjuju, što treba uzeti u obzir pri daljnjoj analizi.

U kategoriju troškova rada sistema spadaju svi troškovi plaćanja partnerskim firmama koje omogućavaju osposobljavanje sistema za rad. Pored toga, tu se ubrajaju i mjesečne naknade koje kupac plaća kompaniji koja proizvodi sistem, ali se naknade uzimaju sa negativnim predznakom što znači da se računaju kao prihodi.

U kategoriju troškova održavanja sistema se ubrajaju troškovi održavanja i opravke sistema, ako je sa kupcem potpisan ugovor za održavanje sistema u periodu važenja garancije. Naravno, tu se ubrajaju eventualni troškovi plaćanja drugim, partnerskim kompanijama koje vrše servisiranje i održavanje sistema koje nije u domenu kompanije. Za ovu kategoriju je specifično da uzima u obzir troškove plaćanja osoba za redovno održavanje sistema, ali se isti troškovi mogu posmatrati kao prihodi u situacijama kada se desi vanredni kvar na sistemu koji nije pokriven ugovorom, ili je period važenja garancije prošao.

U troškove otpisa sistema se ubrajaju troškovi pri povlačenju sistema iz upotrebe, kao što su troškovi prevoza radnika, demontaže, transporta te skladištenja.

U tabeli 3.2 su razmotreni troškovi životnog ciklusa tri alternative koje su ponuđene kao moguća rješenja problema.

Tabela 3.2. Troškovi životnog ciklusa

Troškovi	KUKA KR 5 sixx R650	IRB 360-1/800-	RB22
Istraživanja i dizajna	250.000 KM	250.000 KM	15.000 KM
Proizvodnje	28.000 KM (procjena na osnovu cijene proizvoda)	20.000 KM (procjena na osnovu cijene proizvoda)	1.434 KM
Rada sistema	3.000 KM	3.000 KM	1.000 KM
Održavanja	1.400 KM	1.700 KM	250 KM
Otpisa	750 KM	900 KM	100 KM
UKUPNI TROŠAK	283.150 KM	275.600 KM	17.784 KM

Kao što se može vidjeti iz tabele 3.2, ponovo se RB22 nameće kao optimalno rješenje. Ono što izdvaja RB22 od drugih rješenja je materijal od kojeg se proizvodi, što se oslikava na sve troškove koji su analizirani u tabeli 3.2. Naravno, uzimajući u obzir da se ovdje radi o namjenski proizvedenom robotskom manipulatoru, očekivano je da RB22 ima najbolje karakteristike.

RB22

Robotski manipulator čija analiza se vrši u ovom radu, je osmišljen i dizajniran sa idejom da služi za klasifikaciju predmeta čija masa ne prelazi 100 grama. Kao osnova koja će razlikovati ovaj proizvod od ostalih proizvoda na tržištu, uzeta je ideja da se robotski manipulator proizvodi od plastike, što ga čini posebno interesantnim, sa aspekta cijene proizvodnje, kao i održavanja (redovno tekuće održavanje - potrošnja električne energije, kao i zamjena dotrajalih ili pokvarenih dijelova) - slika 3.1. [4]



Slika 3.1. RB22 robotski manipulator

4. Analiza zahtjeva sistema

Nakon identifikacije zahtjeva korisnika i analize mogućih alternativa, potrebno je izvršiti analizu svih zahtjeva kako bi se dobili parametri sistema koji su od ključne važnosti za dizajn, odnosno za naredne korake konceptualnog dizajna.

Analiza zahtjeva - (engl. Requirements analysis) se koristi kako bi se odredili funkcionalni zahtjevi i zahtjevi na performansu sistema. Odnosno, zahtjevi korisnika se prevode u set parametara koji opisuju šta sistem treba da radi i koliko dobro. Sistemski inženjer treba voditi računa o tome da zahtjevi budu dostizivi, verifikabilni, nedvosmisleni, kompletni i konzistentni.

Analiza zahtjeva je najčešće iterativan proces. Prvo se definišu krovni zahtjevi koji se u narednom koraku propagiraju na niže nivoe, sve do gradivnih elemenata sistema. Zahtjevi trebaju biti u potpunosti definirani korisničkim potrebama, objektivni, prihvatljivi za dati sistem, mjerljivi i demonstrativni kako bi dizajn sistema bio uspješan.

U ovom poglavlju prethodni zahtjevi će biti detaljnije obrađeni. To podrazumijeva da se za svaki dio sistema navede šta treba da ispunjava. Treba obratiti pažnju na sve dijelove sistema, da bi konačno rješenje u potpunosti zadovoljilo zahtjeve korisnika. Ovo poglavlje je važan dio konceptualnog dizajna jer je spisak zahtjeva koji dobijemo ustvari osnova za dizajn sistema. Pored analize zahtjeva bitno je razmotriti i pojave koje mogu uticati na realizaciju sistema. U nastavku su date te pojave:

- Rad hvataljke - hvataljka ne uhvati ili ispusti predmet
- Problem u softveru - može se desiti pogrešna klasifikacija predmeta
- Akumuliranje greške - može se desiti da vremenom izgubi na preciznosti
- Planiranje putanje - potrebno je voditi računa da putanja bude dobro isplanirana da ne bi došlo do kočenja robota (singularna konfiguracija)
- Motor - prestanak rada motora
- Napajanje sistema - prestanak napajanja iz mreže što rezultira prestankom rada sistema
- Kamera - ukoliko dođe do gubitka signala sa kamere dolazi do prestanka rada sistema
- Komunikacija - gubitak komunikacije predstavlja problem
- Dozvole - potrebno je dobiti sve potrebne papire za izgradnju sistema, njegovo puštanje u upotrebu i druge svrhe
- Osoblje - koje je zaduženo za izgradnju, dostavljanje, osposobljavanje ili uklanjanje sistema iz upotrebe može da da otkaz ili da bude spriječeno da obavi svoj posao, što može da bude veliki problem, također nestručno rukovanje sa sistemom može da ošteti
- Investitor - ukoliko postoji takav vid sredstava koja pristižu od investitora i ukoliko on u jednom momentu prekine investiranje, to može biti problem za daljnu proizvodnju sistema.

U nastavku će se obratiti pažnja na sljedeće dvije kategorije: **operacijske zahtjeve i na zahtjeve za podršku i održavanje.**

4.1. Operacijski zahtjevi

Ovi zahtjevi se postavljaju na cijeli sistem, njegov životni ciklus, izgradnju i otpis. Bitno je naglasiti da svi zahtjevi koje je potrebno postaviti treba da budu verifikabilni, konzistentni, kompletni i nedvosmisleni. Svi zahtjevi se formiraju na osnovu korisničkih potreba. Poželjno je da se konačni spisak zahtjeva formira što ranije kako bi se jednostavnije pronašlo optimalno rješenje. Kada su zahtjevi definisani potrebno je na osnovu nekog kriterijuma kvantitativno odrediti performansu odabrane alternative u odnosu na ključne zahtjeve postavljene na sistem.

Radni zahtjevi i njihova analiza su veoma važni, kako bi se izvođač radova ogradio od promjene radnih uslova, neprilagođenosti opreme promijenjenim radnim uslovima, rasprostranjenosti i dostupnosti opreme u slučaju promjena, te dužeg radnog vijeka od predviđenog. Jednom kada se dogovore radni zahtjevi, izvođač ne odgovara za one segmente koji nisu u skladu sa dogovorenim zahtjevima.

Distribucija i mjesta korištenja

Sistemi se distribuiraju do mjesta koje je korisnik naveo. Sistem se može implementirati u bilo kojem zatvorenom prostoru, zavisi od korisnika. Sistem je planiran za klasifikaciju predmeta po obliku.

Osnovne funkcionalnosti u skladu s potrebama

Osnovna funkcionalnost je klasifikacija predmeta. Predmeti se klasifikuju po obliku. Klasifikacija se vrši pomoću kamere koja se nalazi iznad pokretne trake na kojoj se nalaze predmeti malih dimenzija. Kamera šalje odgovarajuće signale upravljačkoj jedinici, gdje se odgovarajućim softverom odlučuje o kojem predmetu je riječ. Nakon toga robotski manipulator hvata predmet i stavlja u odgovarajuću kutiju.




Kritični parametri postavljeni na efikasnost sistema

U nastavku će biti navedeni kritični parametri koji se postavljaju na sistem:

Motori

Od robotskog manipulatora se zahtijeva pokretljivost segmenata, stoga su potrebni odgovarajući motori. Motori moraju posjedovati karakteristike takve da će zadovoljiti predviđenu pokretljivost manipulatora. Motori koji će se koristiti dati su u tabeli 4.1. [5]

Tabela 4.1. Motori

Karakteristike	Motor Nema 23	Motor Nema 17	Motor Nema 8
Izgled			
Serijski broj	ST5909M2008-A	ST4118L1804-A	ST2018M0804-A
Ugao zakreta	0.9°	1.8°	1.8 °
Tačnost zakreta	5%	5%	5%
Jakost struje	2A	1.8A	1.8A
Fazni otpor	1.8 Ω	1.75 Ω	5.4 Ω
Napon	3.6 V	3.15 V	4.3 V
Indukcija	4.5mH±20% (1kHz)	3.3mH±20% (1kHz)	1.5mH±20% (1kHz)
Masa	0.7 kg	0.34 kg	a 0.08 kg

Napajanje - potrebno je da bude neprekidno u toku rada.

- Transformator 220/12 V
- Filterski krug
- Buck konvertor za istosmjerne napone
- Velika efikasnost ovih konvertora

Težina - 5.45 kg

Dimenzije - 35 cm x 35 cm x 70 cm

Komunikacija - zahtijeva se konstantna komunikacija sa upravljačkom jedinicom.

Robusnost manipulatora - otpornost manipulatora na udarce.

Kamera

- Rezolucija - 4872 x 3248 (std.), 4904 x 3280 (max.)
- Senzor - KAI-16000, CCD




- Težina - CLB 330g, GEV 378g, PoE 511g, CXP 366g
- Dužina - CLB 45.1mm (L), GEV 63.2mm (L), PoE 76.8mm (L)

Kabal

- *Kabal AWG 22 za motor Nema 23* - To je kabal kojem je promjer 0,6438 milimetara. Motor Nema 23 bi trebao koristiti i konektor tipa JST XHP-8.- tabela 4.2a
- *Kabal AWG 26 za motore Nema 17 i Nema 8* - To je kabal kojem je promjer 0.4049 milimetara. - tabela 4.2b


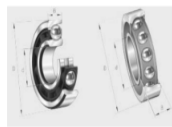
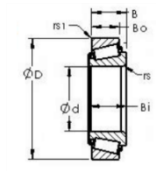
Konektor - Motori koriste iste konektore a to su JST XHP-4. - tabela 4.2c

Tabela 4.2.

		
(a) AWG 22	(b) AWG 26	(c) Konektori JST

Ležajevi - tabela 4.3. [6][7]

Tabela 4.3. Ležajevi

Karakteristike	Ležaj GB/T 292-2007 Tip IN B7012 C:1	Ležaj AST_Bearings _30303:1	Ležaj AST_Bearings _SMR104:1	Ležaj AST_Bearings _32011:1	Ležaj AST_Bearings _623H:1
<i>Izgled</i>					
<i>Dimenzije</i>					
<i>D</i>	90 mm	47 mm	10 mm	90 mm	19 mm
<i>d</i>	60 mm	17 mm	4 mm	55 mm	5 mm
<i>B</i>	18 mm	15.25 mm	3 mm	23 mm	6 mm
<i>Bo</i>		12 mm		17.5 mm	
<i>Bi</i>		14 mm		23 mm	
<i>rs</i>		1 mm	1 mm	1.5 mm	0.3 mm
<i>Li</i>			6.2 mm		10.1 mm
<i>Lo</i>			8.4 mm		15 mm
<i>Težina</i>	0.4 kg				

Korištenje sistema

Odabrani robotski manipulator koristi se za klasifikaciju predmeta po obliku, male težine. Potrebno je da u svakom trenutku rada kamera ima komunikaciju sa upravljačkom jedinicom. U slučaju da kamera ne radi ispravno robotski manipulator će izvršiti pogrešnu klasifikaciju. Prilikom korištenja sistema ne smije doći do

prestanka napajanja. U slučaju da dođe do prestanka napajanja sistem prestaje raditi. Sistem treba koristiti onako kako stoji u uputstvu za korištenje da ne bi došlo do nepravilnog rada ili čak oštećenja sistema.

Životni vijek i učinkovitost sistema

Garancija rada sistema se postavlja na određeni vremenski period. Odabrani manipulator ima garanciju 2 godine. U toku te dvije godine proizvođač je dužan biti na raspolaganju kupcu za sva moguća pitanja. Ukoliko se desi kvar koji nije fizičke prirode proizvođač snosi sam odgovornost. Proizvođač garantuje frekvenciju kvarova manje od četiri kvara u toku dvije godine garancije. Proizvođač također garantuje da je srednja vrijednost između dva kvara 6 mjeseci.

To znači da je pouzdanost sistema sa stopom kvara (eng. Failure rate) od:

$$\lambda = 1 / ((30+30+30+31+31+31) \cdot 24) h = 0.000227.$$

U slučaju da se desi neki fizički kvar koji ne pokriva garancija ili ukoliko je garancija istekla, a kupac želi obaviti neku popravku sve troškove snosi sam kupac. Iako je garantni rok dvije godine sistem može trajati i do deset godina i to zavisi od načina na koji se koristi te pod kojim uslovima radi.

4.2. Zahtjevi za podršku i održavanje

Elementi sistema, kao što su oprema, izvodači radova, softver, podaci i slično, moraju biti dizajnirani i projektovani tako da se mogu održavati tokom planiranog životnog ciklusa. Sa tim ciljem se definišu zahtjevi za podršku i održavanje, pomoću osnovnih smjernica koje se na njih odnose.

Potrebno je definisati nivoe održavanja za pojedine dijelove sistema i to prema sljedećim stavkama:

- *Mjesto obavljanja*
- *Ko obavlja radnje*
- *Kojom opremom*
- *Koji tip posla je potrebno obaviti*

Na osnovu navedenog moguće je definisati dva nivoa održavanja i to *nivo izvođača i dobavljača*. Za slučaj nivoa izvođača definišu se sljedeći kriteriji:

- *Mjesto obavljanja - na licu mjesta*
- *Obavlja - inženjer*
- *Tip posla - zamjena neispravnih dijelova sistema ili popravka već postojećih. Rješavanje softverskih problema. Ukoliko postoje greške bilo koje druge prirode potrebno ih je otkloniti.*
- *Oprema - rezervni dijelovi*

Za slučaj nivoa dobavljača definišu se sljedeći kriteriji:

- *Mjesto obavljanja – dvosmjerno - od mjesta kvara do mjesta popravke i nazad*
- *Obavlja - vozač, dobavljač*
- *Tip posla - Dostava dijelova i prijevoz osoblja*
- *Oprema - kombi ili automobil*

Također, potrebno je odrediti i odgovornosti korisnika i proizvođača kada se pojavi kvar. Obje strane su podložne pravilima u takvim situacijama, koja se unaprijed trebaju odrediti da bi se u budućnosti izbjegle neugodne situacije. Zato se u nastavku definišu vremena za izvođenje određenih aktivnosti. U slučaju kršenja ovih pravila, oštećena strana može poduzeti pravne i zakonske akcije.

Kako bi sistem bio što manje u kvaru, izvođač je obavezan imati ključne dijelove sistema na stanju. Zamjenu dijelova sistema vrši majstor obučen za to, a testiranje ispravnosti odgovorni inženjer koji poznaje sve karakteristike opreme i samog sistema. Također, eventualne promjene na sistemu poput uređivanja baze podataka ili nadgradnje sistema, vrši odgovorni inženjer.

Dijelovi sistema se ne mijenjaju ako je došlo do fizičkog oštećenja, nego samo ako je kvar koji se desio izazvan fabričkom greškom, a ne greškom korisnika. Ako je kvar takav da sistem nije moguće popraviti, a proizvođač snosi odgovornost onda se kupljeni sistem mora zamijeniti novim ispravnim sistemom.

U nastavku će biti navedeni vremenski periodi koji prođu između dvije aktivnosti vezane za popravku sistema.

- Identifikacija kvara – 40 - 50 minuta do dolaska na mjesto kvara
- Lista potrebnih dijelova - 30 minuta od identifikacije kvara
- Nabavka potrebnih dijelova - zavisi koliko je udaljeno mjesto gdje se desio kvar (1h - 2h)
- Zamjena dijelova - 1h od nabavke potrebnih dijelova

Na osnovu prethodnog može se definisati srednje vrijeme popravke kvara (MTTR), koje treba da iznosi 3.5 do 4 h.

Prilikom analize vođeno je računa o tome da zahtjevi budu dostizivi, nedvosmisleni i isplativi. Svi zahtjevi su formirani na osnovu potreba korisnika i proizvođača. Do konflikta ne smije doći u bilo kojem trenutku i zato je vrlo bitno uraditi ovu analizu na ispravan način. Analizom zahtjeva se dobiva opsežan skup svih zahtjeva na: sistem, radno okruženje, performansu, efikasnost, održivost i podršku. Proizvođaču je bitno da postavi zahtjeve koji se uklapaju u njihove vremenske okvire, dok korisnik ima u cilju da se svaka aktivnost što kraće izvršava i vrlo je bitno naći balans između toga. Proizvođač diktira cijene tako da ima određenu godišnju zaradu, a pritom ne smije postaviti cijene tako da bude previše skuplji ili jeftiniji od drugih sličnih proizvoda na tržištu.

U narednim koracima ovaj rad će se baviti konceptualnim dizajnom. U slučaju pojave kontradiktornih zahtjeva potrebno se vratiti na prethodna poglavlja i napraviti kompromis. Zato je jako bitno ove korake uraditi prije proizvodnje sistema, tako da bi se izbjegle kontradiktornosti i mogući propusti u sistemu.

5. Tehničke mjere performanse (TPMs)

Analizom zahtjeva korisnika je dobivena lista svih zahtjeva koje sistem treba da zadovoljava. Da bi se odredilo u kojoj mjeri sistem zadovoljava nametnute zahtjeve, potrebno je na adekvatan način kvalitativno i kvantitativno ocijeniti sistem u odnosu na zahtjeve i ograničenja.

Tehničke mjere performanse (eng. technical performance measures - TPMs) predstavljaju sredstva koja pokazuju koliko dobro sistem zadovoljava nametnute zahtjeve, odnosno koliko dobro sistem ispunjava postavljene ciljeve. Na osnovu liste TPMs je moguće kreirati skup parametara ključnih za dizajn sistema i željene karakteristike. TPMs obezbjeđuju procjenu proizvoda i procesa kroz dizajn, implementaciju i testiranje. TPMs se koriste za:

- prognozu vrijednosti koje će se postići kroz planirana tehnička ulaganja
- obezbjeđenje vidljivosti stvarne u odnosu na planirane performanse
- rano otkrivanje/predviđanje problema koji zahtijevaju posebnu pažnju
- procjenu uticaja predloženih promjena

TPMs se formiraju na osnovu korisničkih zahtjeva i ograničenja na sistem, a čine ih one veličine koje na adekvatan način reflektuju zahtjeve i/ili ograničenja. Na osnovu liste TPMs moguće je kreirati skup parametara

ključnih za dizajn sistema i željene karakteristike. Vrlo je važno da se ustanove tačni faktori pomoću kojih je moguće kvalitativno i kvantitativno opisati sistem, te njihovi prioriteti i stepeni važnosti u odnosu na korisničke zahtjeve. Prioritizirani faktori se potom prevode u odgovarajući kriterij koji reflektuje zahtjeve za dizajn sistema na pogodan način. Kvalitet mora biti dizajniran zajedno sa sistemom, a ne očekivan od njega. Kvalitet sistema se najčešće definira kroz korisničke zahtjeve i cijenu sistema. Da bi se ispitao kvalitet sistema, potrebno je imati sistematičan pristup istom. Jedan od načina za to je Quality Functional Deployment - QFD. Ovaj način olakšava komunikaciju sa korisnikom i osigurava da se njegove potrebe ugrade u konačni dizajn sistema na najbolji mogući način, odnosno da svaki atribut, koji je korisniku od interesa, bude zadovoljen tehničkim rješenjem. Također, QFD doprinosi boljem razumijevanju potreba korisnika, te prisiljava korisnika da prioritizira svoje potrebe i zahtjeve. Na taj način se omogućava usporedba jedne alternative dizajna sa drugom.

QFD se provodi pomoću House of Quality - HoQ, unutar koje se definišu korisnički zahtjevi, TPMs, te njihova međusobna ovisnost. Pored toga, HoQ omogućava prioritiziranje zahtjeva i daje uvid u to koliko dobro neko rješenje zadovoljava tražene zahtjeve i u kojoj mjeri. Formira se u vidu tabele koja je vrlo ilustrativna i daje brz i jednostavan uvid u navedeno. Da bi se mogla provesti dalja analiza kvaliteta sistema, odnosno alternativa, potrebno je definirati TPMs. U narednom potpoglavlju su definirane i pobrojane sve TPMs na osnovu kojih je moguće izvršiti procjenu kvalitete proizvoda. [8]

5.1. Lista TPMs

TPMs se definiraju na osnovu korisničkih zahtjeva na sistem. Zahtjevi i želje kupaca su kategorizirani kao atributi kojima se dodjeljuju odgovarajuće težine prema stepenu važnosti istih. Prilikom konceptualnog dizajna robotskog manipulatora za klasifikaciju predmeta malih dimenzija po obliku identificirani su sljedeći zahtjevi korisnika (whats):

- ✓ Neprekidno napajanje sistema u toku rada
- ✓ Radni vijek trajanja sistema 7 godina
- ✓ Pokretljivost segmenata robot
- ✓ Malo zauzimanje prostora
- ✓ Jednostavno upravljanje
- ✓ Povoljna cijena
- ✓ Zaštita korisnika od strujnog udara
- ✓ Preciznost
- ✓ Oporavak sistema od kvara
- ✓ Brzina rada - broj predmet koji se mogu klasifikovati u minuti
- ✓ Broj kategorija predmeta koje može raspoznati
- ✓ Mali utrošak energije
- ✓ Lahko održavanje
- ✓ Vjerovatnoća kvara ispod 10%

Formiranje liste TPM-ova olakšava projektantu da odabere onaj set parametara koji su od najvećeg interesa za zadovoljenje zahtjeva korisnika. Na osnovu liste zahtjeva kupca u nastavku će biti definirane tehničke mjere performansi (TPM-ovi) s obzirom na zahtjeve koji su prethodno definisani:

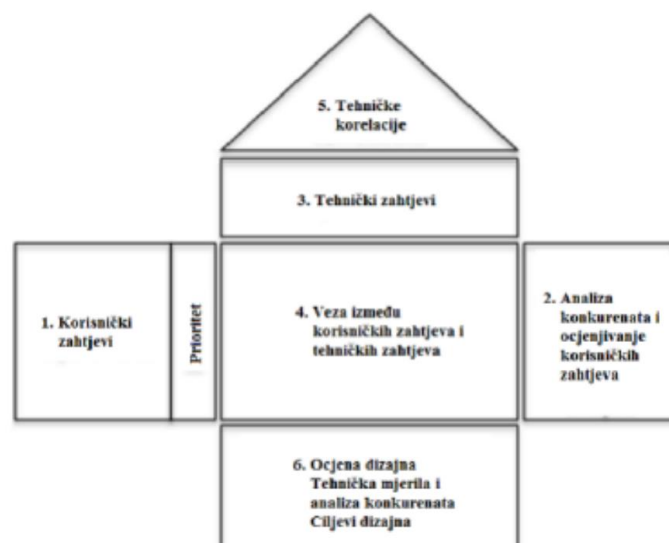
- ✓ Brzina 1 predmet/s do 2 predmet/s
- ✓ Kašnjenje u sistemu od 0.009 s do 0.016 s
- ✓ MTBF od 5 do 8 mjeseci
- ✓ MTTR od 3.5 do 4 h
- ✓ Napajanje od 120 V do 230 V AC
- ✓ Broj komponenti sistema od 15 do 20
- ✓ Konstrukcija sistema
- ✓ Težina sistema od 4 do 150 kg
- ✓ Dužina sistema od 35 cm do 1.5 m
- ✓ Širina sistema od 35 cm do 1.5 m
- ✓ Visina sistema od 70 cm do 1.5m
- ✓ Temperatura skladištenja od 5 do 60 stepeni
- ✓ Operativna temperatura -5 do 30 stepeni

5.2. HoQ (House of Quality)

HoQ se konstruira prema sljedećim koracima:

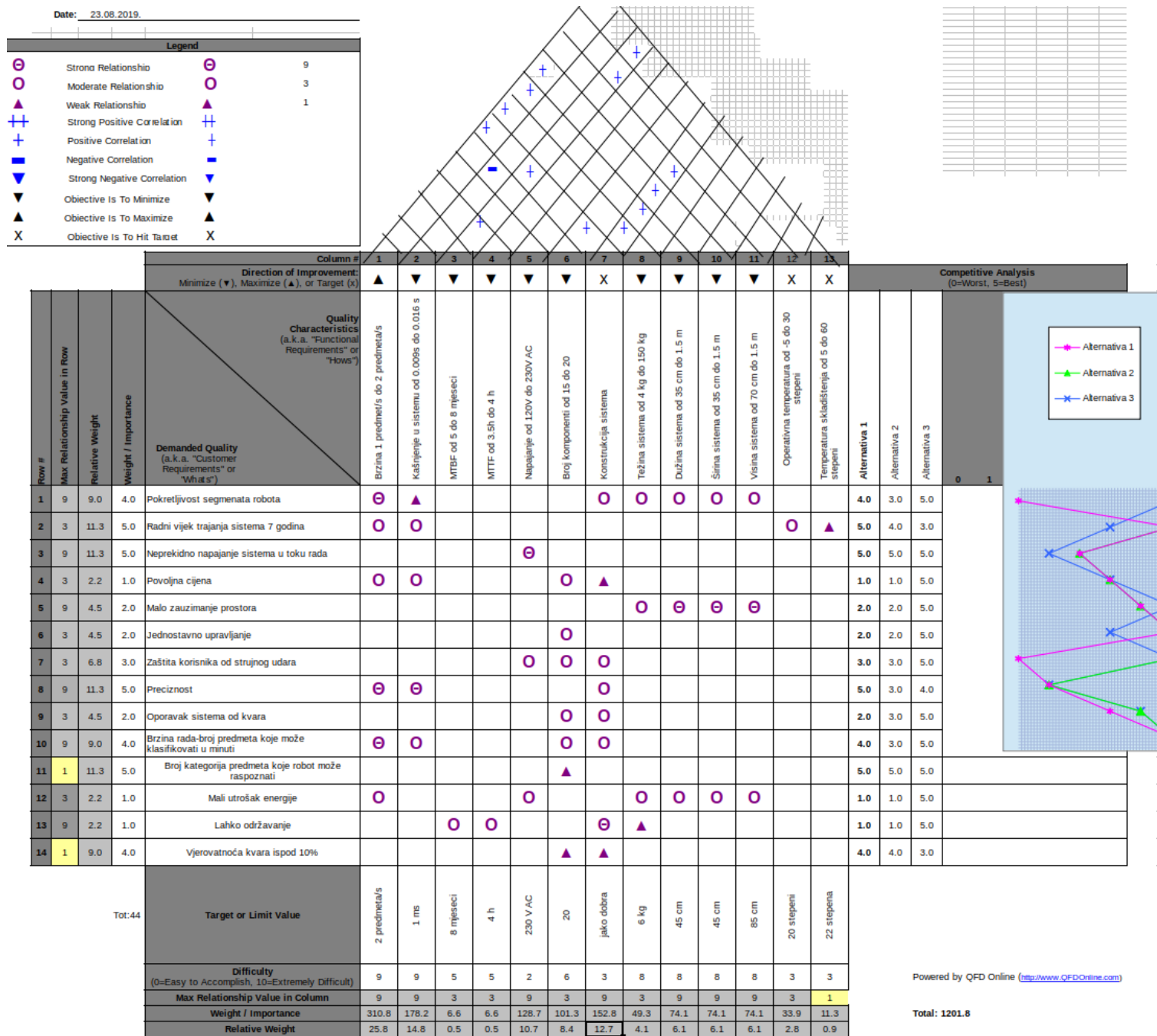
- i. **Korisnički zahtjevi** - matrica koja predstavlja šta korisnici trebaju i žele.
- ii. **Planiranje kvalitete i evaluacije konkurencije** - dio gdje korisnici ocjenjuju vaš proizvod i proizvode konkurencije. Ocjenjuje se koliko dobro trenutni proizvodi zadovoljavaju nametnute korisničke zahtjeve, kao i performansa i mjesta prodaje koji mogu dovesti do poboljšanja prodaje.
- iii. **Tehnički zahtjevi** - matrica koja sa različitim tehničkim varijablama oslikava korisničke zahtjeve.
- iv. **Matrica međusobnih odnosa** - oslikava veze koje postoje između korisničkih i tehničkih zahtjeva.
- v. **Matrica korelacije** - daje vezu između tehničkih zahtjeva, i predstavlja krov HoQ,
- vi. **Matrica ciljeva** - sadrži ocjenu i važnost tehničkih stavki. Rezultati evaluacije se koriste kako bi se utvrdili prioriteti svakog od tehničkih zahtjeva.

Opći oblik HoQ je prikazan na slici 5.1.



Slika 5.1. Opći oblik HoQ

Na osnovu slike 5.1 je formirana HoQ. HoQ je formirana na osnovu korisničkih zahtjeva i TPM-ova. U sklopu rada će biti priložen file u kojem se nalazi HoQ. Na slici 5.2 je prikazan HoQ od RB22. Razmotrene su tri alternative robotskog manipulatora u zavisnosti od toga kako se mijenjaju pojedini parametri. Bilo je bitno da promjena parametara bude data u navedenom opsegu svakog zahtjeva i da ne odstupa. Promjene parametara su se tražile kako bi se moglo vidjeti koji je uticaj promjene pojedinog parametra na ukupnu cijenu sistema. Krov HoQ predstavlja korelaciju između pojedinih zahtjeva klijenta.



Slika 5.2. HoQ za RB22

Analizom HoQ matrice, zaključujemo da su najbitnije raditi na:

- Brzina rada - broj predmeta koji se mogu klasifikovati u minuti
- Kašnjenje sistema
- Konstrukcija sistema

▪ Napajanje sistema

Najvažnije mjere sistema su one koje su u direktnoj vezi sa performansama i pouzdanošću sistema, pa se na njih treba obratiti posebna pažnja. Poboljšanje ovih mjera direktno doprinosi povećanju pouzdanosti sistema. Na slici 5.3. se može vidjeti lista mjera koje treba poboljšati, kao i smjer u kojem se promjena vrijednosti smatra kao poboljšanje. [9]

Column #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)	▲	▼	▼	▼	▼	▼	X	▼	▼	▼	▼	X	X
Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Brzina 1 predmet/s do 2 predmeta/s	Kašnjenje u sistemu od 0.009s do 0.016 s	MTBF od 5 do 8 mjeseci	MTTF od 3.5h do 4 h	Napajanje od 120V do 230V AC	Broj komponenti od 15 do 20	Konstrukcija sistema	Težina sistema od 4 kg do 150 kg	Dužina sistema od 35 cm do 1.5 m	Širina sistema od 35 cm do 1.5 m	Visina sistema od 70 cm do 1.5 m	Operativna temperatura od -5 do 30 stepeni	Temperatura skladištenja od 5 do 60 stepeni
Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")													

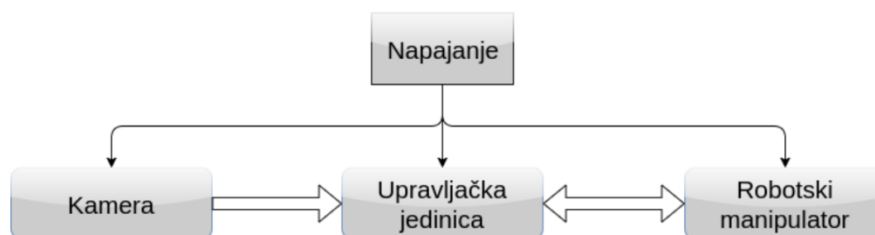
Slika 5.3. Mjere koje je potrebno poboljšati

6. Funkcionalna analiza i alokacija

U ovom dijelu konceptualnog dizajna se vrši dekompozicija sistema po pitanju funkcionalnosti i komponenti potrebnih za njihovu realizaciju. Vrš se i propagiranje korisničkih zahtjeva na dekomponovane nivoe i elemente sistema. Također, u ovom koraku je moguće izvršiti identifikaciju i analizu mogućih kvarova sistema.

Funkcionalna analiza (engl. Functional analysis) je proces prevođenja zahtjeva na sistem u detaljan kriterij dizajna, te identifikacije i specifikacije potrebne opreme na podsistemskom nivou i niže. Proces počinje apstrakcijom korisničkih zahtjeva i potreba, a rezultira identifikacijom potrebnog hardvera, softvera, ljudi, opreme i drugih elemenata potrebnih za ostvarivanje traženih funkcionalnosti i performansi. Da bi se provela funkcionalna analiza, potrebno je prije svega definirati osnovne funkcionalnosti koje sistem treba da izvršava. Definirane osnovne funkcije potom ukazuju na specifične ili diskretne akcije koje je potrebno ostvariti kako bi se zadovoljila tražena funkcionalnost sistema u konačnici. Ovo se najčešće ostvaruje pomoću funkcionalnog dijagrama sistema.

Funkcionalna analiza obuhvata i dekompoziciju zahtjeva sa sistemskog nivoa, na niže podsistemske nivoe i dalje sve do tačke u kojoj je moguće definirati potrebnu opremu i komponente sistema. Dekompozicija sistema do najnižih hijerarhijskih nivoa se obavlja u sklopu funkcionalne alokacije. Nakon toga je moguće provesti i analizu mogućih kvarova, njihovih uzroka i stepena ozbiljnosti. U ove svrhe se najčešće koristi FMECA - Failure Modes, Effects and Criticality Analysis. Prvi korak funkcionalne analize je kreiranje funkcionalnog dijagrama sistema. Svi ostali koraci ovog procesa konceptualnog dizajna se u određenoj mjeri naslanjaju na ovaj dijagram. U nastavku je opisan način formiranja funkcionalnog dijagrama sistema - (slika 6.1.). [9]

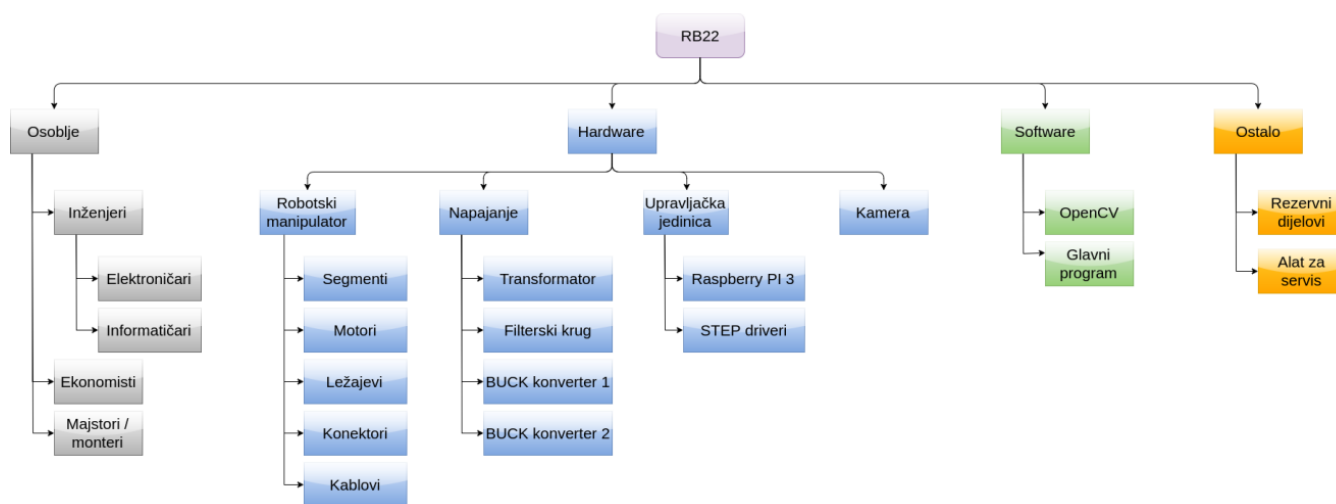


Slika 6.1. Funkcionalni dijagram sistema

Zahtjevi na funkcionalnost sistema su temelj za dizajn sistema. Bez obzira na performansu sistema i njenu vrijednost, funkcionalni zahtjevi moraju biti zadovoljeni. Zbog toga je funkcionalna analiza nezaobilazan korak. Funkcionalni dijagram sistema služi kao uvid u strukturu i elemente sistema u kontekstu funkcionalnih zahtjeva. Koristi se za ilustraciju organizacije sistema i za identifikaciju glavnih funkcijskih interfejsa. Najčešće se formira pomoću dijagrama toka koji osim samih funkcija sistema, pruža uvid i u njihovu povezanost. Svaki blok u funkcionalnom dijagramu sistema se može razviti i posmatrati u pogledu ulaza, izlaza, zahtjeva i ograničenja, te mehanizma za njihovo izvršavanje. Pod mehanizmom za izvršavanje se podrazumijeva identifikacija resursa potrebnih za postizanje određenih funkcionalnosti, opreme, softvera, ljudi i sl. Funkcionalni dijagram sistema se formira na osnovu korisničkih zahtjeva na funkcionalnost sistema. Kao takav, ovaj dijagram je vrlo koristan za dalje procese, kako konceptualnog dizajna, tako i drugih dizajna životnog ciklusa sistema. [8]

6.1. Funkcionalna alokacija

U prethodnom koraku smo rasčlanili sistem na osnovne funkcije, a unutar funkcionalne alokacije ćemo slične funkcije grupirati u logičke grupe i identificirati osnovne podsisteme i najniže komponente sistema.



Slika 6.2. Dijagram funkcionalne alokacije

Nakon što je odrađena funkcionalna alokacija funkcionalnosti sistema, u nastavku će biti navedene sve komponente sistema, očekivano vrijeme trajanja (MTBF) i cijena- tabela 6.1.

Tabela 6.1. Potrebne komponente cijene i MTBF

Komponente hardvera	MTBF	Cijena
Robotski manipulator		
Segmenti	1 godina	70 KM
Motori	6 mjeseci	440 KM
Ležajevi	6 mjeseci	90 KM
Konektori	8 mjeseci	20 KM
Kablovi	8 mjeseci	40 KM
Ukupno za robotski manipulator		660 KM
Napajanje		
Transformator	2 godine	90 KM
Filterski krug	2 godine	30 KM
Buck konvertor 1	1 godina	30 KM
Buck konvertor 2	1 godina	30 KM
Ukupno za napajanje		180 KM
Upravljačka jedinica		
Raspberry PI 3	3 godine	70 KM
Step driver	1 godina	110 KM
Ukupno za upravljačku jedinicu		180 KM
Kamera	3 godine	280 KM
Ukupno za kameru		280 KM
Ukupno	6 mjeseci	1300 KM

MTBF je vrijeme koje je izračunato kao srednje vrijeme koje proizvođač daje kao garanciju da se u toku od pola godine neće pokvariti neka od značajnijih komponenti sistema. U konačnici MTBF cijelog sistema iznosi pola godine.

6.2. FMECA analiza

FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) je metod analize sistema sa stanovišta potencijalnih kvarova sistema koji mogu utjecati na korisnikova očekivanja i zahtjeve na kvalitet sistema i njegovu performansu. FMECA uključuje neophodne korake za ispitivanje svih načina na koje sistem može biti u kvaru, potencijalne efekte kvara na performansu sistema i sigurnost, te ozbiljnost istih. FMECA analiza je u pravilu dugotrajan proces. Koristi se za identifikaciju kvarova koji imaju bilo kakve neželjene efekte na sistem, te za određivanje modova tih kvarova koji mogu ozbiljno utjecati na očekivani ili zahtijevani kvalitet sistema. FMECA analiza omogućava i identifikaciju opasnosti po sigurnost i pouzdanost ili neispunjavanje zahtjeva, u skladu sa nametnutim zahtjevima na sistem i njihovim prioritetima. Ukoliko se područje tehničkih rizika povezanih sa sistemom ili njegovom funkcionalnošću poznaje i razumije u ranoj fazi životnog ciklusa, onda se na njih može i utjecati tako što se fokus pri razvoju stavi na područja sa najviše potreba. FMECA analiza pruža sistemsko i rigorozno izučavanje procesa i njegovog okruženja što uzrokuje poboljšanje razumijevanja i uviđanja načina na koje se sistem može ugroziti. Također, osim samih komponenti sistema koje mogu dovesti do kvarova, FMECA analiza identifikuje i nedostatke u obuci potrebnog osoblja. [8]

Prilikom provođenja FMECA, za svaki od identificiranih kvarova se definiraju i procjenjuju određeni parametri, i to:

- a. **Identifikacije kvara** - način na koji sistem ne ispunjava svoju funkciju
- b. **Uzrok kvara** - stvarni uzrok pojave kvara
- c. **Efekti kvara** - kako sistem doživljava neki od kvarova
- d. **Detekcija kvara** - način otkrivanja kvara
- e. **Stepen ozbiljnosti kvara** - u kojoj mjeri je kvar štetan za sistem
- f. **Učestalost kvara** - broj pojava kvara u nekom zadanom periodu
- g. **Vjerovatnoća detekcije kvara** - vjerovatnoća da se kvar detektuje na vrijeme
- h. **Stepen kritičnosti kvara (RPN)** - funkcija koraka e, f, i g koja ima za cilj da ukaže na eventualne slabe tačke sistema u pogledu kvarova.
- i. **Preporuke za poboljšanje**

Tabela 6.2. FMECA analiza komponenti

<u>Elementi kvara</u>	<u>Naziv kvara</u>	<u>Uzrok kvara</u>	<u>Posljedica kvara</u>	<u>Detekcija kvara</u>	<u>Moguće rješenje</u>	<u>Stepen ozbiljnosti</u>	<u>Učestalost kvara</u>	<u>Vjerovatnoća otkrivanja</u>	<u>RPN (Risk Priority Number)</u>
<u>Vanjska konstrukcija</u>	Lomljenje/oštećenje	Nepravilno korištenje	Prestanak rada sistema	Prestanak rada sistema	Poboljšati konstrukciju sistema	10	5	0.2	10
<u>Kamera</u>	Pregaranje kamere	Oštećenje usljed nekih faktora	Pregorena kamera	Nestanak slike na uređaju za upravljanje	Povećati zaštitu kamere	7	4	0.8	22.4
<u>Kabal</u>	Prekid kabla za komunikaciju	Oštećenje pod velikim opterećenjem	Gubitak komunikacije sa upravljačkom jedinicom	Nemogućnost upravljanja robotom	Ojačati komunikacioni kabal	10	5	0.8	40
<u>Motor</u>	Pregaranje motora	Preopterećenost i pogrešno rukovanje	Pregoren motor	Nemogućnost kretanja segmenata robota	Povećati zaštitu motora	10	5	0.7	35
<u>Transformator</u>	Pregaranje transformatora	Preopterećenost	Pregoren transformator	Nemogućnost upravljanja robotom	Povećati zaštitu transformatora	9	2	0.6	10.8
<u>Raspberry Pi</u>	Pregaranje	Preopterećenost	Pregoren Raspberry Pi	Prestanak napajanja	Povećati zaštitu	7	4	0.9	25.2
<u>Ležajevi</u>	Istrošenost	Vrijeme, loši uslovi rada, preopterećenost	Nemogućnost kretanja segmenta robota	Nemogućnost kretanja robota	Kvalitetniji ležajevi	3	6	0.7	12.6
<u>Buck konvertori</u>	Pregaranje	Preopterećenje	Pregoren konvertor	Povećan napon	Povećati zaštitu	6	4	0.6	14.4

Tabela 6.2. prikazuje FMECA analizu sistema na osnovu koje se može zaključiti koji su sve kvarovi mogući, stepen njihove ozbiljnosti, posljedice koje taj kvar izaziva i kako je moguće otkriti kvar. Data je skala od 1 do 10 koja predstavlja ozbiljnost kvara, gdje 10 predstavlja nepovratan kvar. Frekvencija pojavljivanja je također data u numeričkom opsegu kako bi se omogućilo izračunavanje važnosti kvara, pri tome se za svaku komponentu posmatrao pojedinačni opseg koji je za nju karakterističan, npr. na osnovu maksimalno dozvoljenog broja on-off ciklusa. Vjerovatnoća detekcije ukazuje na sposobnost i spremnost sistema da detektuje kvar i kreće se u opsegu od 0 do 1. Veća vrijednost vjerovatnoće detekcije kvara je svakako bolja.

RPN (Risk Priority Number) je broj koji u ukazuje na relativnu važnost pojedinog kvara. RPN se računa na osnovu relacije 6.1.

$$RPN = (\text{stepen ozbiljnosti}) * (\text{frekvencija}) * (\text{vjerovatnoća detekcije}) \quad (6.1)$$

Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da su najozbiljniji kvarovi oštećenje konstrukcije, prestanak napajanja i pregaranje motora. Također bitno je naglasiti da stepen ozbiljnosti kvara i frekvencija njegovog pojavljivanja moraju imati istu funkciju, što znači da ukoliko je stepen ozbiljnosti najveći sa oznakom 10, onda i frekvencija pojavljivanja mora biti najveća sa 5.

Funkcionalna analiza i alokacija je veoma važan korak sa stanovišta razumijevanja samog sistema i uvida u njegove glavne komponente. Na osnovu funkcionalnog dijagrama, jasno se vidi funkcionalnost sistema, njihove međuveze i potrebni ulazi za generisanje odgovarajućih izlaza. To daje izvođaču/proizvođaču osnovne smjernice za potrebne komponente sistema i ukazuje na moguće kvarove koje je potrebno predvidjeti. Nakon što su definisane sve funkcionalnosti i određen način njihovog izvršavanja, moguće je odrediti i komponente sistema potrebne za izvršavanje prikazanih funkcija. U sklopu funkcionalne alokacije je sistem raščlanjen do najnižih elemenata. Funkcionalna analiza omogućava korisniku da okvirno shvati samu arhitekturu sistema i potrebne komponente, te predvidi kvarove na hardverskom nivou. Funkcionalna alokacija je dobar temelj i za propagaciju osnovnih TPMs sistema na najniže nivoe i provjeru njihovog zadovoljavanja. U ovom slučaju su propagirane vrijednosti MTBF i troškova koji, iako nisu TPMs, predstavljaju veoma važne parametre sistema. [9]

7. Sinteza, analiza, evaluacija

Zbog detaljnije analize u ovom poglavlju se vraćamo na tri tehnološka rješenja koja su ponuđena kao alternative. Rješenja su formirana na osnovu vrijednosti TPM-ova iz HoQ.

Tabela 7.1. Tehnička rješenja alternative

	RB22	IRB60-1/800	KUKA KR 5 sixxR650
Brzina 1 predmet/s do 2 predmeta/s	5	3	4
Kašnjenje u sistemu od 0.009s do 0.016 s	3	4	5
MTBF od 5 do 8 mjeseci	5	5	5
MTTF od 3.5 do 4 h	4	5	5
Napajanje od 120 V do 230 V AC	4	5	5
Broj komponenti od 15 do 20	4	5	5
Konstrukcija sistema	4	5	5
Težina sistema od 4 do 150 kg	3	4	5
Dužina sistema od 35 cm do 150 cm	3	5	4

Širina sistema od 35 cm do 150 cm	3	5	4
Visina sistema od 70 cm do 150 cm	3	5	4
Operativna temperatura od –5 do 30 stepeni	5	5	5
Temperatura skladištenja od 5 do 60 stepeni	5	5	5
UKUPNO	51	61	61

Tabela 7.1 se dobije na osnovu HoQ. Svaku navedenu karakteristiku u tabeli smo ocijenili u skladu sa odabranim kriterijem. Kriterij koji je odabran u ovom slučaju je troškovni. Ocjena 1 predstavlja najjeftinije rješenje, a 5 najskuplje. Na osnovu provedene analize dolazi se do zaključka da je najisplativije rješenje RB22.

U nastavku će biti sprovedena analiza tehničkih rješenja na osnovu kategorije LCC. U obzir su uzeta tri rješenja robotskog manipulatora i kako izmjena određenih komponenti utiče na ukupnu cijenu projekta.

Tabela 7.2. Life Cycle Cost analiza sistema

Troškovi	KUKA KR 5 sixx R650	IRB 360-1/800-	RB22
Istraživanja i dizajna	250.000 KM	250.000 KM	15.000 KM
Proizvodnje	28.000 KM (procjena na osnovu cijene proizvoda)	20.000 KM (procjena na osnovu cijene proizvoda)	1.434 KM
Rada sistema	3.000 KM	3.000 KM	1.000 KM
Održavanja	1.400 KM	1.700 KM	250 KM
Otpisa	750 KM	900 KM	100 KM
UKUPNI TROŠAK	283.150 KM	275.600 KM	17.784 KM

Predložene alternative predstavljaju rješenje problema klasifikacije predmeta po obliku robotskim manipulatorom. Kriterij za odabir rješenja je omjer cijene i kvaliteta sistema. To znači da ako želimo bolju konstrukciju, bolje motore, kvalitetniju kameru cijena sistema će rasti. Troškovi rastu sa složnošću sistema. Kriterij koji ovdje korišten prilikom odabira rješenja je cjenovni kriterij. Na osnovu tabele 7.2 se vidi da je RB22 optimalno rješenje.

Međutim, izbor rješenja na ovaj način izgleda previše subjektivan. Najbolje bi bilo kada bi se pretražio problemski prostor svih TPM-ova, međutim postavlja se pitanje šta je funkcija kriterija.

Dosta logičnije bi bilo da kriterij na neki način ima veze sa ukupnom cijenom projekta. Npr. za svaki TPM bi se moglo odrediti koliko utiče na cijenu projekta, odnosno za svaki bi se mogla kreirati zavisnost cijene projekta od posmatranog TPM-a. Međutim, neke druge zavisnosti, poput cijena kvalitet materijala i dijelova uopšte nisu kontinualne funkcije, jer je skup materijala diskretan. Zbog toga bi bilo najpogodnije da se cijeli problemski prostor diskretizira, pri čemu diskretne varijable ostaju takve. Nakon toga se može sistematično pretražiti cijeli prostor i pronaći optimalna vrijednost kriterija (minimum). Međutim, za ovakav način optimizacije bi se uzela pretpostavka da su sve varijable (svi TPM-ovi) međusobno nekorelisane, što u praksi nije tačno. Određivanje oblika funkcije kriterija u praksi nije nimalo jednostavan zadatak, jer je česta situacija da je korelisano više

varijabli. Kada je optimalno rješenje usvojeno, potrebno je provjeriti još neke od parametara sistema, poput MTBF.

7.1. Mjere pouzdanosti i raspoloživosti sistema

Na osnovu mjera pouzdanosti sistema moguće je utvrditi kvalitet sistema i njegovu sigurnost u toku korištenja.

Mjere kvaliteta sistema:

- Srednje vrijeme između dva kvara - **MTBF** - 6 mjeseci
- Srednje vrijeme popravke kvara - **MTTR** - 3.5 do 4 sata
- Srednje vrijeme između održavanja - **MTBM** - 8 mjeseci
- Srednje vrijeme aktivnog održavanja - 3 h
- Srednje ukupno vrijeme zastoja sistema - **MDT** - 7 h
- Učestalost kvara λ je obrnuto proporcionalna MTBF - $\lambda = 1/6$ mjeseci = 0.000227

7.2. Funkcija pouzdanosti sistema

Funkcija pouzdanosti se određuje na osnovu vjerovatnoće da će sistem biti uspješan barem neko vrijeme t .

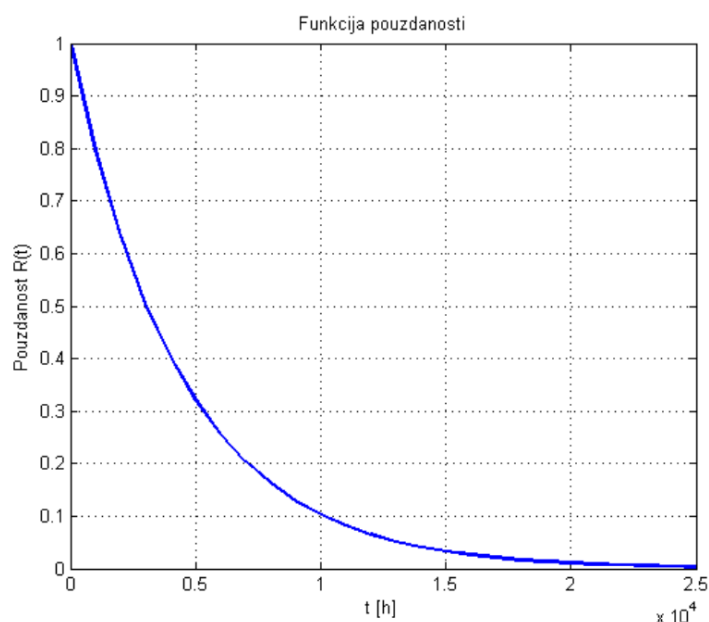
Funkcija pouzdanosti sistema se izražava relacijom 7.1 :

$$R(t) = e^{\frac{-t}{M}} = e^{-\lambda * t} \quad (7.1)$$

gdje je λ - trenutna učestalost kvara, a M - MTBF. Obzirom da je MTBF 6 mjeseci učestalost kvara iznosi :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{(30 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31) * 24} = 0.000227 \frac{Kvar}{h} \quad (7.2)$$

Funkcija pouzdanosti sistema je prikazana na sljedećem grafiku.

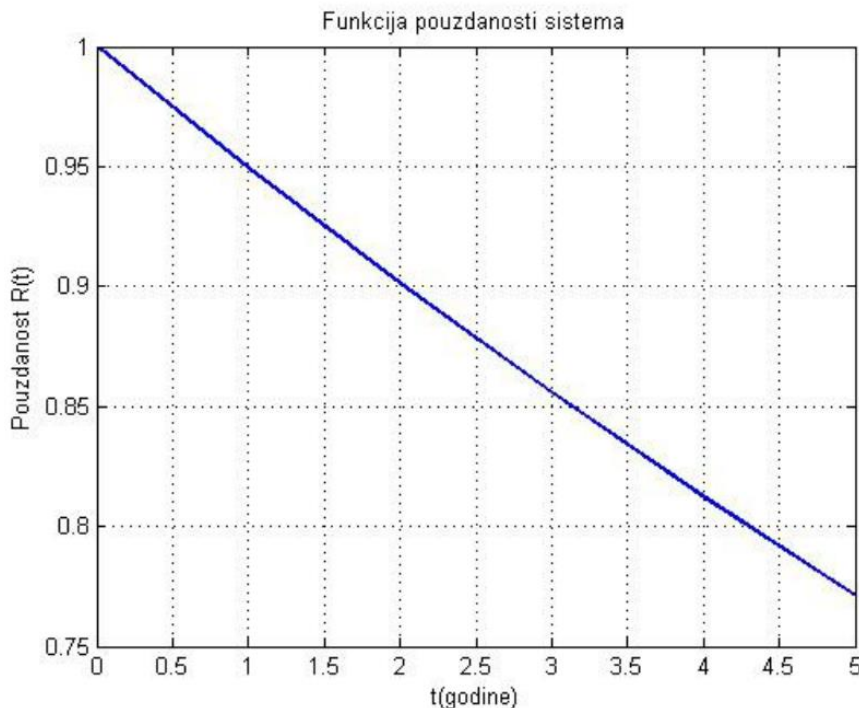


Slika 7.1. Funkcija pouzdanosti sistema

Na osnovu slike 7.1. može se zaključiti da je pouzdanost do 2000 h veća od 70%. Također pouzdanost tokom vremena opada, te nakon 6 mjeseci može doći do kvara. Ovo ne znači da se kvar ne može desiti prije, ali proizvođač garantuje malu vjerovatnoću da će se to desiti.

U prethodnom pristupu je vrijednost trenutne učestalosti kvara λ određena na osnovu poznate vrijednosti MTBF, a potom je određena i vrijednost funkcije pouzdanosti sistema. Drugi pristup je da se polazi od vrijednosti funkcije pouzdanosti, pri čemu se određuje vrijeme garantnog perioda.

Uz parametre $t = 24$ mjeseca i $R(t) = 0.9$, $\lambda = 0,004390021$, što znači da je $MTBF = 227,8$ mjeseci, tj. 19 godina.



Slika 7.2. Funkcija pouzdanosti sistema

7.3. Raspoloživost sistema

Raspoloživost sistema je moguće definisati na tri načina i to:

- **Inherentna raspoloživost** - predstavlja vjerovatnoću da će sistem u idealnim uslovima raditi ispravno u bilo kojem vremenskom trenutku. Za proračun ove vjerovatnoće potrebno je poznavati MTBF - srednje vrijeme između dva kvara koje u ovom slučaju iznosi 6 mjeseci i srednje vrijeme za popravku koje iznosi 3.5 h. Dakle, inherentna raspoloživost iznosi:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + M_{ct}} = \frac{183 * 24}{183 * 24 + 3.5} = 0.9992 \quad (7.3)$$

- **Postignuta raspoloživost A_a** - predstavlja vjerovatnoću da će sistem ili oprema, kada se koristi u idealnim uslovima, zadovoljavajuće raditi u bilo kom trenutku vremena. Postignuta raspoloživost iznosi:

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + M_{sr}} = \frac{8 * 24}{8 * 24 + 3} = 0.98462 \quad (7.4)$$

- **Operativna raspoloživost A_o** - predstavlja vjerovatnoću da će sistem ili oprema, kada se koriste pod navedenim uslovima u stvarnom operativnom okruženju, raditi na zadovoljavajućem nivou. Operativna raspoloživost iznosi:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} = \frac{8 * 24}{8 * 24 + 7} = 0.96482 \quad (7.5)$$

Pri tome je MTBM srednje vrijeme između održavanja, a MDT je srednje ukupno vrijeme zastoja sistema koje se sastoji od :

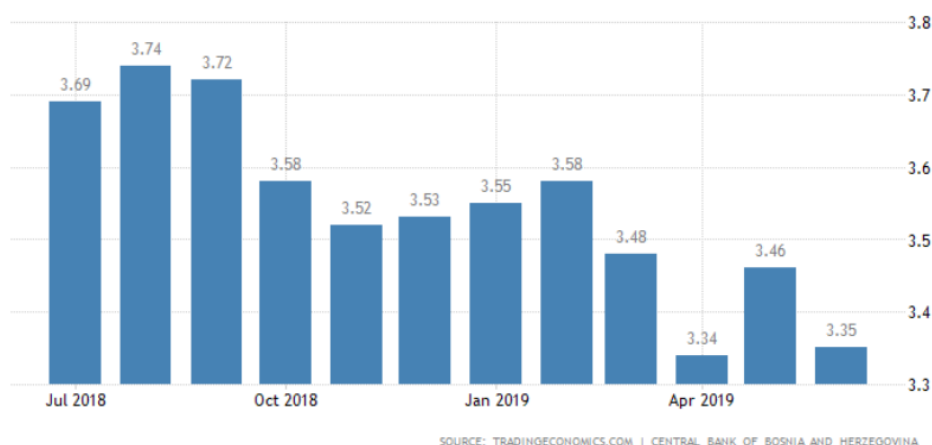
- **M (Mean Active Maintenance Time)** - srednje vremena koje je potrebno za izvođenje popravki na sistemu .
- **LDT (Logistic Delay Time)** - vrijeme koje je potrebno da protekne u nabavci dijelova, njihovom dostavljanju
- **ADT (Administrative Delay Time)** - vrijeme koje je potrebno da se okupi osoblje i da se srede svi potrebni preduslovi kako bi se moglo početi sa popravkom.

7.4. Detaljna ekonomska analiza

U prethodnim poglavljima su analizirani troškovi sistema sa više aspekata, pa tako i LCC. Međutim, LCC analiza nije uključivala razne promjene, poput diskontnog faktora i promjenljivih vrijednosti pojedinih parametara. Da bi se ispitala isplativost sistema, i to odabranog rješenja, potrebno je izvršiti detaljnu troškovnu analizu koja uzima u obzir navedeno. U tom smislu je potrebno definirati prihode i rashode sistema, te očekivanu proizvodnju. Diskontni faktor se računa po formuli:

$$\text{diskontni faktor} = \frac{1}{(1 + \text{diskontna stopa})^{\text{broj godine}}}$$

To je faktor sa kojim se množi budući novac (FV – future value) da bi se dobio sadašnji novac (PV – present value). PV je trenutna vrijednost novca i taj trenutak se obilježava sa brojem nula. Sve naredne godine se redom obilježavaju 1, 2, 3, ... i to su FV. Kod diskontovanja se podrazumijeva da novac dolazi na kraju godine (EOY – end of year). Diskontna stopa za BiH trenutno iznosi 3.35% i na osnovu te brojke će se vršiti proračuni za FV. Više informacija o promjeni diskontne stope je prikazano na slici 7.3.



Slika 7.3. Promjene diskontne stope u BiH

U ovom poglavlju se analizira ekonomska isplativost sistema. Na osnovu analize je zaključeno da je optimalno rješenje RB22. U sljedećim tabelama će biti prikazani rashodi i prihodi na godišnjem nivou.

Tabela 7.3. Rashodi na godišnjem nivou za jedan robotski manipulator

Naziv	Cijena
Projektovanje robotskog manipulatora	2000 KM
Proizvodnja sistema	1500 KM
Isporučivanje sistema	100 KM
Održavanje sistema	300 KM
Održavanje softverske podrške	1000 KM
Plaćanje osoblja	18 000 KM
Troškovi otpisa	100 KM
UKUPNI TROŠAK	23 000 KM

Tabela 7.4. prikazuje troškove i to za prvu godinu. Razlika u odnosu na druge godine je što se ne mijenja cijena projektovanja.

Tabela 7.4. Ukupni rashodi na godišnjem nivou za 1000 robotskih manipulatora

Naziv	Cijena
Projektovanje robotskog manipulatora	2000 KM
Proizvodnja sistema	1 500 000 KM
Isporučivanje sistema	100 000 KM
Održavanje sistema	300 000 KM
Održavanje softverske podrške	1000 KM
Plaćanje osoblja	18 000 KM
Troškovi otpisa	100 KM
UKUPNI TROŠAK	1 921 100 KM

Tabela 7.5. Prihodi na godišnjem nivou

Naziv	Cijena
Prodaja robotskih manipulatora	2 148 100 KM
Iznenadni kvarovi fizičke prirode	30 000 KM
UKUPNI PRIHODI	2 178 100 KM

Tabela 7.5. prikazuje prihode na godišnjem nivou sa pretpostavkom da je prodato 1000 komada robotskih manipulatora.

Ispitivanje isplativosti projekta

Analizirajući tablice iz prethodnih poglavlja, potrebno je odrediti isplativost projekta. Konkretna proračun za određivanje isplativosti se vrši računajući NPV (eng. Net Present Value), koji je dat sljedećim izrazom:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + K_d)^i} \quad (7.6)$$

gdje su:

- **B_i** - prihodi u i-toj godini
- **C_i** - troškovi u i-toj godini
- **k_d** – diskontna stopa

- **n** - životni vijek

Izraz $CF = B_i - C_i$ predstavlja godišnji priliv novca. Pri proračunu stvarnog priliva novca treba poznavati diskontnu stopu i diskontni faktor, kao što je prikazano na početku poglavlja.

Sada se može odrediti stvarni godišnji priliv novca, koji se dobije kao proizvod godišnjeg priliva novca (CF) i diskontnog faktora (DF).

Potrebno je naglasiti da se u analizi mora uzeti u obzir razlika između prve i ostalih godina. Tako se troškovi razvoja i projektovanja uzimaju samo u nultoj godini, dok u ostalim godinama ti troškovi ne postoje. Također, troškovi i drugih rashoda u prvoj godini ne postoje, jer se smatra da neće biti kvarova na proizvodu u toku prve godine te da neće biti potrebe za održavanjem prodanih uređaja.

U nastavku je analizirana dinamika prodaje, gdje se u početku postepeno povećava broj prodanih robotskih manipulatora, što odgovara periodu upoznavanja tržišta sa novim proizvodom. Nakon dostizanja vrhunca, broj prodanih uređaja opada, jer se očekuje pojava novih rješenja koja će biti konkurentnija, svojim performansama i cijenom.

U sljedećoj tabeli je prikazana troškovna analiza projekta za period od 10 godina, pri čemu je pretpostavljena sljedeća dinamika prodaje po godinama:

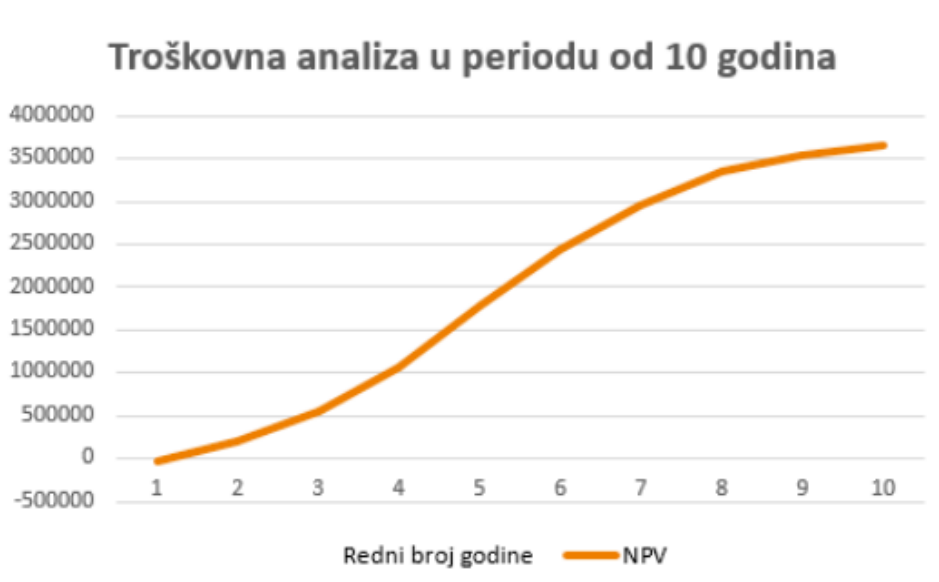
1. 0 manipulatora
2. 100 manipulatora
3. 170 manipulatora
4. 270 manipulatora
5. 400 manipulatora
6. 400 manipulatora
7. 340 manipulatora
8. 270 manipulatora
9. 150 manipulatora
10. 90 manipulatora

Napomena : Kao prva godina se smatra godina u kojoj su vršene pripreme, kao što su osnivanje kompanije, okupljanje timova, projektovanje i dizajn te priprema za proizvodnju.

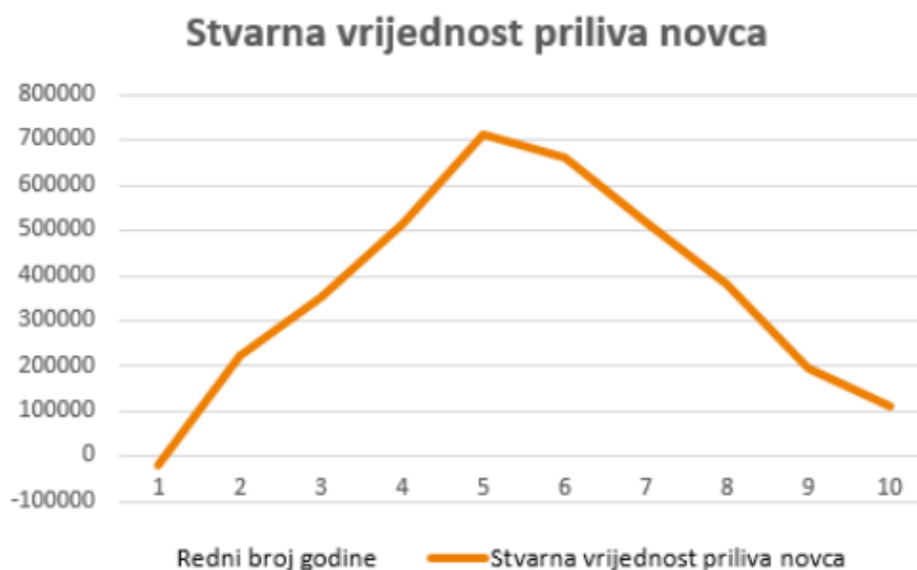
Tabela 7.6. Troškovna analiza projekta

Redni broj godine	Prihodi	Rashodi	Priliv novca	Diskontni faktor	Stvarna vrijednost priliva novca	NPV
0	0	20000	-20000	1	-20000	-20000
1	560000	318000	242000	0.925925926	224074.0741	204074.1
2	952000	540600	411400	0.85733882	352709.1907	556783.3
3	1512000	858600	653400	0.793832241	518689.9863	1075473
4	2240000	1272000	968000	0.735029853	711508.8975	1786982
5	2240000	1272000	968000	0.680583197	658804.5347	2445787
6	1904000	1081200	822800	0.630169627	518503.569	2964290
7	1512000	858600	653400	0.583490395	381252.6243	3345543
8	840000	477000	363000	0.540268885	196117.6051	3541660
9	504000	286200	217800	0.500248967	108954.225	3650615

Kao što se može vidjeti iz tabele 7.6., isplativost je uočena odmah po početku prodaje u prvoj godini, a konačna isplativost nakon 10 godina iznosi 3.650.615 KM.



Slika 7.3. Grafički prikaz NVP-a



Slika 7.4. Stvarna vrijednost priliva novca

Na slikama 7.3. I 7.4. su prikazani grafici stvarnog priliva novca i NPV-a tokom životnog vijeka sistema. Vidi se da NPV ima trend porasta, što u budućnosti donosi veću zaradu.

7.5. Analiza osjetljivosti i rizika

U sklopu analize osjetljivosti i rizika se vrši analiza osjetljivosti projekta na promjene određenih parametara te uočavanje slabih tačaka projekta.

Za ovakav sistem od presudnog značaja jesu cijene komponenti i visina plate radnika. Vrlo je vjerovatno da će svi navedeni resursi vremenom postati skuplji, a obzirom da će standardi i proizvodnja sa godinama rasti, te

radnici sticati iskustvo i ekspertizu, potrebno je u obzir uzeti i faktor rizika povećanja plata radnika svake godine.

Tabela 7.7. Troškovna analiza pri povećanju plate 18%

Redni broj godine	Prihodi	Rashodi	Priliv novca	Diskontni faktor	Stvarna vrijednost priliva novca	NPV
0	0	23240	-23240	1	-23240	-23240
1	560000	375300	184700	0.925925926	171018.5185	147778.5
2	952000	638010	313990	0.85733882	269195.8162	416974.3
3	1512000	1013310	498690	0.793832241	395876.2003	812850.5
4	2240000	1501200	738800	0.735029853	543040.0552	1355891
5	2240000	1501200	738800	0.680583197	502814.866	1858705
6	1904000	1276020	627980	0.630169627	395733.9223	2254439
7	1512000	1013310	498690	0.583490395	290980.8252	2545420
8	840000	562950	277050	0.540268885	149681.4945	2695102
9	504000	337770	166230	0.500248967	83156.38581	2778258

U prethodnoj tabeli je analiza troškova sistema pri povećanju plate radnicima u iznosu od 18%, dok je u tabeli ispod predstavljena analiza troškova sistema pri povećanju cijena dijelova za proizvodnju za 21%.

Tabela 7.8. Troškovna analiza pri povećanju troškova 21%

Redni broj godine	Prihodi	Rashodi	Priliv novca	Diskontni faktor	Stvarna vrijednost priliva novca	NPV
0	0	24200	-24200	1	-24200	-24200
1	560000	384800	175200	0.925925926	162222.2222	138022.2
2	952000	654160	297840	0.85733882	255349.7942	393372
3	1512000	1038960	473040	0.793832241	375514.4033	768886.4
4	2240000	1539200	700800	0.735029853	515108.9208	1283995
5	2240000	1539200	700800	0.680583197	476952.7045	1760948
6	1904000	1308320	595680	0.630169627	375379.4433	2136327
7	1512000	1038960	473040	0.583490395	276014.2966	2412342
8	840000	577200	262800	0.540268885	141982.6628	2554324
9	504000	346320	157680	0.500248967	78879.25714	2633204

Na osnovu tabela 7.7. i 7.8, može se ustanoviti da projekat nije previše osjetljiv na promjene troškova, bilo da su nastali usred povećanja plata ili povećanja cijena dijelova potrebnih za proizvodnju. Kako se vrijednost NPV-a nije značajno umanjila, i ostala je pozitivna u drugoj godini poslovanja u oba slučaja, može se reći da je isplativost sistema i dalje zadovoljavajuća.

8. Zaključak

U ovom radu je izvršena detaljna analiza konceptualnog dizajna robotskog manipulatora RB22. Ideja vodilja je bila mogućnost da se na tržištu ponudi nova vrsta robotskog manipulatora, koji bi se svojom cijenom i brzinom proizvodnje nametnuo na tržištu kao konkurentan proizvod.

Kao što je moguće vidjeti iz priloženog rada, proces izrade konceptualnog dizajna proizvoda je složen i dugotrajan. Uzimajući u obzir da se na osnovu ove analize donosi bitna odluka, da li početi sa proizvodnjom ili ne, veoma je važno da analiza bude sprovedena detaljno i ispravno, pokušavajući što bolje predvidjeti sve faze života proizvoda.

Sam početak analize predstavlja najbitniji korak, gdje se donosi odluka o nastavku analize, ovisno o pokazateljima kao što su alternative sa svojim rješenjima. Izbor optimalnog rješenja nije jednostavan, te je potrebno što podrobnije i realnije pristupiti ispitivanju, kako vlastitog sistema, tako i alternativnih rješenja.

Pored izbora optimalnog rješenja, ono što je također bitno jeste, da analiza konceptualnog dizajna nudi predikciju finansijskog uspjeha projekta. To znači da je potrebno obratiti posebnu pažnju i pri analizi poglavlja 7, jer se životni ciklus kompanije oslanja na finansijske predikcije poslovanja.

Literatura

1. **Velagić, Jasmin.** *Analiza i kontrola robotskih manipulatora.* Mostar, BiH : Sveučilište u Mostaru, 2008.
2. **Vlatko Dolček, Isak Karabegović.** *Robotika.* Bihać : Tehnički fakultet Bihać, 2002.
3. PLC sustavi. *Falcon Eletronic d.o.o.* [Online] Falcon Eletronic d.o.o., 05 22, 2016.
<http://www.falcon.hr/index.php/hr/industry1/plc-systems>.
4. **Lovrić, Ivan.** *Konstrukcijska izvedba 6-osnog robotskog manipulatora.* Slavonski Brod : s.n., 2015.
5. **Nanotec Electronic GmbH & Co. KG.** Motori i upravljački sustavi. *Nanotec Electronic GmbH & Co. KG.,* [Online] Nanotec Electronic GmbH & Co. KG., 06 01, 2016. <http://en.nanotec.com/>.
6. **LLC, AST Bearings.** Ležajevi AST. *AST Bearings LLC.,* [Online] AST Bearings LLC., 06 05, 2016.
<http://www.astbearings.com>.
7. **IN, Ležaj GB/T 292-2007 Tip.** *Schaeffler KG, Schweinfurt.,* [Online] Schaeffler KG, Schweinfurt., 06 05, 2016. http://www.tehnokomerc.com/upload/pdf/FAG-Katalog_lezaja.pdf.
8. **Čuturić, Majda.** *Konceptualni dizajn sistema za video nadzor i sigurnost.* Sarajevo : s.n., 2016.
9. **Ibrašimović, Belma.** *Konceptualni dizajn podvodnog vozila sa manualnim upravljanjem.* Sarajevo : s.n., 2017.