ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

RAZVOJ ULEŽAJENEGA ROTACIJSKEGA ENKODERJA S SKOZNJO LUKNJO

Mentor: mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž. stroj.
Lektorica: Milena Furek, prof. slov. in dipl. etn.

Kandidat: Aljoša Šček

Ljubljana, februar 2022

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za strokovno vodenje in pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Posebna zahvala mentorju v podjetju dr. Marku Pogačarju, uni. dipl. inž. str., za vso strokovno pomoč in spodbujanje pri pisanju diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Mileni Furek za jezikovni pregled naloge.

Prav tako se zahvaljujem svoji družini, dekletu ter vsem, ki so me v času študija v vseh pogledih spodbujali in podpirali.

IZJAVA

Študent Aljoša Šček izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom Slavka Božiča, univ. dipl. inž. stroj.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne 28. 2. 2022 Podpis: _____

POVZETEK

V okviru diplomske naloge smo raziskovali razvoj zasnove industrijskega enkoderja s skoznjo luknjo. V teoretičnem delu naloge smo preučili in predstavili razvojni cikel novega izdelka, metode generiranja in izbiranja idej, postopke hitrega prototipiranja in več različnih metod zagotavljanja kakovosti ter uokvirili potek dela v praktičnem delu naloge. V nadaljevanju smo vse pridobljeno znanje uporabili in predstavil na praktičnem primeru. Razvili smo zasnovo industrijskega enkoderja v podjetju RLS, skladno z internimi postopki razvoja. Razvoj vključuje generiranje in izbor idej, implementacijo izbranih idej v razvoj konceptnega izdelka s pomočjo postopkov tehnološkega razvijanja ter pripravo 3D-modelov. Na koncu smo koncept ovrednotili s pomočjo FMEA in DFM-analize.

KLJUČNE BESEDE:

- industrijski enkoder,
- razvoj novega produkta,
- generiranje in izbor idej,
- merilna tehnika,
- FMEA-analiza.

ABSTRACT

The main topic of this diploma is the process of developing a concept of an industrial through-hole encoder. In the theoretical part, we examined and presented the stages of product development, methods of generating and selecting ideas, rapid prototyping procedures, and several different quality assurance methods. With that, we framed the course of work in the practical part of the diploma. In the following, we used the knowledge gained in the theoretical part of the diploma on a practical example.

We have developed a concept of an industrial encoder for the company RLS merilna tehnika. Development of this product includes generation and selection of ideas, implementation of the selected ideas in the concept, and technological development following the company standards. We concluded the work with an evaluation of the concept using FMEA and DFM analysis.

KEYWORDS:

- Industrial encoder,
- Product development,
- Idea generation process,
- Motion sensors,
- FMEA analysis.

KAZALO

1 UVOD 1
1.1 Predstavitev problema 1
1.2 Cilji naloge 2
1.3 Predpostavke in omejitve 2
1.4 Metode dela 3
1.5 Predstavitev okolja 3
1.6 Analiza konkurence 7
2 OSNOVE POSTOPKOV 8
2.1 razvojni cikel novega izdelka 8
2.1.1 Predprojektne raziskave 8
2.1.2 Izvedljivost projekta 9
2.1.3 Razvoj vzorca alfa 9
2.1.4 Izvedba vzorca alfa 10
2.1.5 Razvoj in izvedba izdelka beta 10
2.1.6 Prenos v proizvodnjo 11
2.2 kreiranje in ocenjevanje idej 11
2.3 tehnološko razvijanje in hitri razvoj prototipov 13
2.4 fmea in dfm-analiza 15
2.4.1 FMEA 15
2.4.2 DFM (Design for manufacturing) 16
3 PROCES RAZVOJA 18
3.1 Zbiranje idej za novI produkt 18
3.2 Idejne zasnove 19
3.2.1 Sendvič sistem 19
3.2.2 Zaporedno uležajen sistem 20
3.3 Ocenjevanje idej 20
4 MODELIRANJE SISTEMA 22
4.1 Tehnološko razvijanje novega izdelka 22
4.1.1 Uležajenje enkoderja 22
4.1.2 Ohišje enkoderja 24
4.1.3 Modularni del ohišja 24
4.2 Rešitve 25
5 VREDNOTENJE SISTEMA 27
5.1 DFM 28
5.2 FMEA 29
6 ZAKLJUČEK 31
LITERATURA IN VIRI 32
PRILOGI 34

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz delovanja optičnega enkoderja 4
Slika 2: Prikaz delovanja magnetnega enkoderja 4
Slika 3: Primer inkrementalne in absolutne skale 5
Slika 4: Primer modularnega enkoderja 5
Slika 5: Primer uležajenega enkoderja 6
Slika 6: Primer industrijskega enkoderja z osjo in enkoderja s skoznjo luknjo 6
Slika 7: Proces razvoja novega izdelka 8
Slika 8: Tehnike kreiranja in ocenjevanja idej 13
Slika 9: Predstavitev treh različnih vrst prototipov 14
Slika 10: Razlika med prototipi (slika levo) in končnimi izdelki (slika desno) 15
Slika 11: Predstavitev koncepta »sendvič sistem« 19
Slika 12: Predstavitev vzporedno uležajenega sistema 20
Slika 13: Sredinski prerez enkoderja 23
Slika 14: Primer krožnikaste vzmeti za odpravljanje zračnosti ležajev 23
Slika 15: Spodnji del ohišja enkoderja 24
Slika 16: Industrijski enkoder, pogled z zgornje strani 25
Slika 17: Industrijski enkoder, pogled s strani 26
Slika 18: Industrijski enkoder, pogled s spodnje strani 26
Slika 19: Kosovnica 27

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava konkurenčnih enkoderjev 7
Tabela 2 Primerjava dveh konceptov 21

1 UVOD

Trgi se globalizirajo, postajajo vse bolj konkurenčni, med podjetji poteka boj za naklonjenost kupcev. Poleg usmeritve in popolne izrabe jedrnih programov je za podjetja ključna diverzifikacija poslovanja oziroma vstop na nove trge. V želji po vstopu na nove trge se je pojavila potreba po izvedbi zasnove industrijskega enkoderja. Cilj te aktivnosti je temeljita raziskava trga ter njegovih potreb, definiranje ključnih aktivnosti projekta ter ocena stroškov razvoja in proizvodnje takšnega produkta.

Podjetje RLS sicer ni zavezano tako hitrim spremembam trga in konstantnim zahtevam po novih boljših produktih v zelo kratkih časovnih obdobjih, kot je to praksa v panogi potrošniške elektronike, a kljub temu stremi k uporabi metod za čim hitrejši razvoj, prototipiranje in testiranje novih izdelkov. Za vodenje procesa razvoja novega izdelka je točno določen postopek, ki ima več faz. Vsaka faza ima definirane izhodne cilje. Z uporabo takih standardiziranih postopkov zagotovimo, da sam proces razvoja teče kar se da gladko in hitro. V začetnih fazah razvoja novega izdelka se za potrjevanje konceptov in faz uporabljajo tehnike hitrega prototipiranja, ki zagotavljajo kakovostne, otipljive približke končnih izdelkov, proizvedene v zelo kratkem času. S tem se zmanjšajo tako stroški kot čas razvoja.

V okviru diplomske naloge smo v skladu z zahtevami podjetja, uporabo tehnik hitrega razvoja produktov ter upoštevanjem najnovejših smernic s strokovnega področja razvili koncept industrijskega enkoderja.

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Podjetje RLS Merilna tehnika, d. o. o., se ukvarja z razvojem in izdelavo senzorjev rotacije in pomika. Vizija podjetja je postati vodilni proizvajalec inovativnih dajalnikov pomika in zasuka v svetovnem merilu. Za izpolnitev take drzne vizije podjetje potrebuje konstanten dotok inovativnih produktov, s katerimi prodira na nove trge.

Eden od še neosvojenih trgov podjetja v svetu senzorjev rotacije je trg industrijskih enkoderjev. Področje uležajenih, zaprtih visoko točnostnih rotacijskih enkoderjev je za podjetje še neraziskano. Senzorski del sistema je v podjetju že razvit in se lahko uporabi v aplikaciji, druga področja, na primer področje uležajenja, pa morajo še osvojiti. Dobra priložnost za pregled področja industrijskih enkoderjev, pridobitev novih znanj in informacij ter izvedbo študije izvedljivosti izdelkov, primernih za ta trg, je pričujoča diplomska naloga. Kot študent sem v podjetju prisoten še skoraj štiri leta. Sprva sem delal v pisarni projektnega inženirstva, zadnje leto pa se ukvarjam z industrijskim oblikovanjem in pripravo tehničnih listov v razvojnem oddelku Mehanike, v okviru katerega sem tudi dobil ta izziv.

Začetek koncepiranja predstavljajo osnovne tehnične zahteve produkta:

- bralna glava AksIM MB080SCB20MDNT0;
- ring MRA080BC055DSE00;
- zunanji premer manjši od 100 mm;
- primerno za namestitev na os premera 50,8 mm;
- maksimalna hitrost vrtenja 3000 obrat/minuta;
- začetni moment 2 N/m;
- tesnenje sistema skladno z standardom IP64.

Uležajen rotacijski enkoder s skoznjo luknjo odpira več zanimivih postavk, ki jih obravnavamo v diplomskem delu. To so: ohišje enkoderja, uležajenje in prednapetje sistema, zagotavljanje pravilne poravnave med bralno glavo in ringom, zagotavljanje tesnenja, čim nižja lastna cena, kompaktnost.

1.2 CILJI NALOGE

Cilj diplomske naloge je razviti in ovrednotiti zasnova visoko točnostnega uležajenega rotacijskega enkoderja s skoznjo luknjo. Zasnovo bomo razvijali z upoštevanjem osnovnih tehničnih zahtev izdelka in najnovejših smernic za njegov razvoj. Obravnavamo faze od generiranja in izbora idej, tehnološkega razvijanja izdelkov vključno z izdelavo 3D modelov do končnega vrednotenja sistema z uporabo FMEA in DFM-analize.

Rezultat naloge bo uspešno razvit in ovrednoten koncept konkurenčnega, tehnološko dovršenega in izvedljivega industrijskega enkoderja.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavljamo, da je diverzifikacija poslovanja ključna za nadaljnjo rast in širitev podjetja. Poleg tega predpostavljamo, da je razumevanje in upoštevanje najnovejših smernic s področja procesa razvoja izdelkov, vključno s postopki hitrega prototipiranja, kreiranja in ocenjevanja idej, ključno za konkurenčnost podjetji na današnjem hitro spreminjajočem se trgu.

V teoretičnem delu naloge večjih omejitev ne pričakujemo, ker je na voljo zadostno število strokovnih virov. Pri razvoju izdelka pa zaradi specifike strokovnega področja pričakujemo določene omejitve, kot so:

- pomanjkanje strokovnega gradiva s področja industrijskih enkoderjev;
- pomanjkanje znanja in izkušenj s področja uležajenja;
- nekateri podatki so obravnavani kot poslovna skrivnost in jih zato ni mogoče uporabiti in predstaviti v tej diplomski nalogi.

1.4 METODE DELA

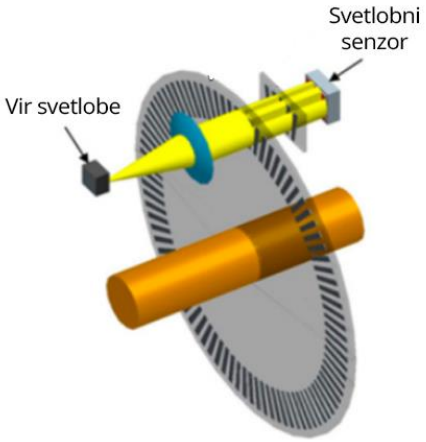
V teoretičnem delu smo predstavili teoretična izhodišča, potrebna za izvedbo same naloge, za kar smo uporabili metodo kompilacije, s katero smo združili izsledke raziskav različnih avtorjev, ter opisno metodo, s katero smo opisovali dejstva, pojave in procese z obravnavanega področja.

V praktičnem delu naloge smo najprej z uporabo analitične metode preučili trg. Z metodo kompilacije smo izsledke združili in pripravili listo zahtev, na podlagi katere smo pripravili dva različna koncepta. Uporabili smo primerjalno metodo in izbrali ustreznejšega ter ga na koncu ovrednotili z uporabo metode intervjuja. Z uporabo sintetične metode smo v zaključku naloge izhodišča praktičnega dela združili z izhodišči teoretičnega dela.

1.5 PREDSTAVITEV OKOLJA

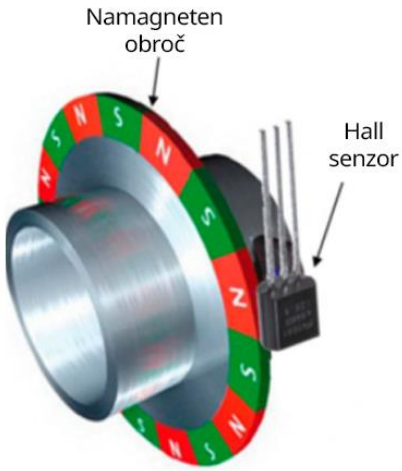
Kot navaja Pogačar (2020), merilni sistemi oziroma enkoderji uporabljajo različne principe merjenja. Med najbolj preproste in vsakodnevne štejemo človeško oko, kjer oko predstavlja bralno glavo oziroma senzor, nosilec informacije pa je merilna skala. Med zapletenejše, kakršne razvija in proizvaja podjetje RLS, spadajo sistemi, ki s pomočjo senzorjev zaznavajo položaj in to preko elektronskih signalov posredujejo drugim napravam. V osnovi rotacijski enkoderji pretvarjajo mehansko rotacijo v elektronski signal, ki ga je možno procesirati. Rotacijski enkoderji se pojavljajo v avtomatiziranih procesih kot dajalniki pozicije, kota, hitrosti ali pospeška. Po fizikalnem načinu zaznavanja se ločijo na optične, magnetne, induktivne, kapacitivne in mehanske enekoderje. Najbolj zastopani na trgu so visokotočni optični in robustni magnetni enkoderji.

Seybold in ostali (2019) navajajo, da optični enkoderji uporabljajo stekleno ali kovinsko ploščo z izmeničnimi prosojnimi – neprosojnimi polji, kar je prikazano na sliki 1. Na eni strani plošče je vir svetlobe, na drugi pa senzor. Ko se plošča vrti, se vir svetlobe izmenično blokira. Senzor zaznava pretok svetlobe in oddaja signal. Smer rotacije in absolutno pozicijo pridobimo z dodatno obdelavo signalov v procesni logiki na vezju.



Slika 1: Prikaz delovanja optičnega enkoderja
(Vir: Seybold et al., 2019)

Magnetni enkoderji, kakršne razvija in proizvaja podjetje RLS, delujejo na osnovi magnetnega principa. Kot prikazuje slika 2, za delovanje takšnega sistema potrebujemo namagneteni nosilec informacije in magnetni senzor. Kot razlaga Pogačar (2020), magnetni senzorji zaznavajo spremembe v magnetnem polju nosilca informacij oziroma amplitudno modulacijo. To lahko zaznavamo z magnetorezistivnimi senzorji, ki delujejo na osnovi magnetne upornosti, ali pa s Hallovimi senzorji, ki delujejo na osnovi Hallovega principa. V našem primeru je nosilec informacije izmenično namagneteni obroč.

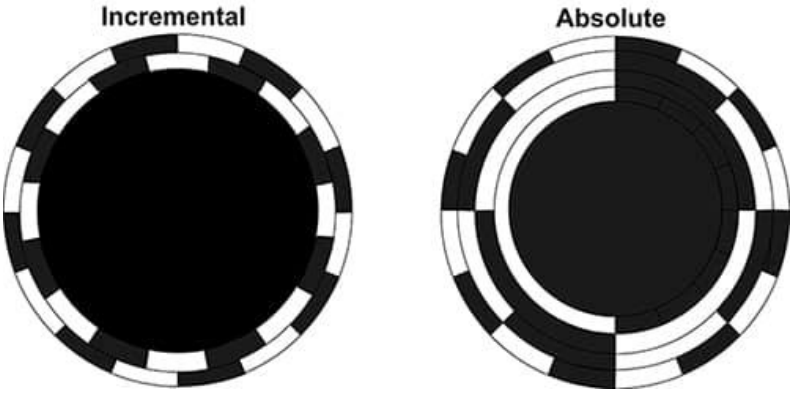


Slika 2: Prikaz delovanja magnetnega enkoderja
(Vir: Seybold et al., 2019)

Seybold in ostali (2019) razlagajo, da po načinu delovanja enkoderje ločimo na inkrementalne in absolutne (slika 3). Inkrementalni rotacijski enkoderji imajo enakomerno namagnetene izmenjujoče se pole, tako imajo določeno število enakih

pulzov za vsak obrat gredi. Ko dodamo referenčno značko, se imamo možnost absolutno orientirati vsaj enkrat na obrat. Z merjenjem določenega števila impulzov v določeni časovni enoti lahko merimo hitrost vrtenja.

Absolutni enkoderji so namagneteni z določeno spreminjajočo se unikatno kodo tako, da imamo za vsak položaj gredi točno določeno vrednost.

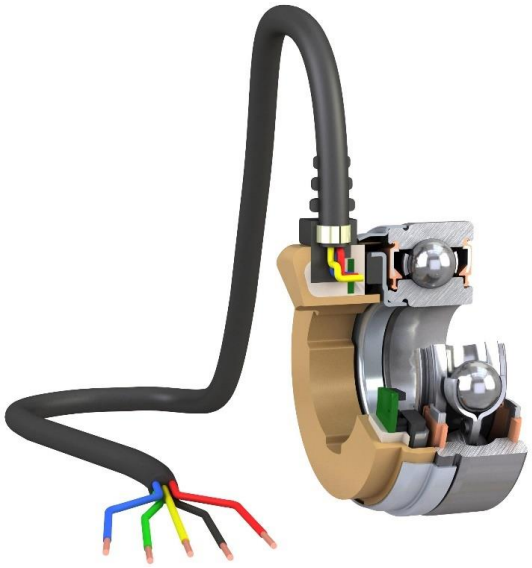


Slika 3: Primer inkrementalne in absolutne skale
Vir: Seybold, et al., 2019)

Po načinu namestitve v sistem poznamo modularne »kit« enkoderje in uležajene enkoderske sisteme. Modularni enkoderski sistem ni uležajen, kot je razvidno s slike 4. Ring in bralna glava se v sistem namestita posamično tako, da se za zagotavljanje montažnih toleranc, kot je soosnost med gredjo in montažno površino bralne glave, zanašamo na sestav, v katerega enkoderski sistem vgrajujemo. Ta sistem je cenejši in bolj kompakten od uležajenega, ampak lahko ob nepravilnem dimenzioniranju in montaži pride do motenj v delovanju, ki privedejo do prehitre odpovedi sistema.

Slika 4: Primer modularnega enkoderja
(RLS d.o.o., 2021)

Pri uležajenih sistemih, primer je predstavljen na sliki 5, celoten enkoder sestavimo v nadzorovanem okolju v proizvodnji, kjer zagotavljamo montažne tolerance in sistem kalibriramo glede na dejansko stanje. S tem zagotavljamo optimalno poravnavo med bralno glavo in ringom tako, da je sistem bolj natančen in ima daljšo življenjsko dobo.



Slika 5: Primer uležajenega enkoderja
(Vir: SKF, 2017)

Uležajene sisteme med sabo razlikujemo glede na način montaže. Poznamo uležajene enkoderje z osjo in uležajene enkoderje z osjo s skoznjo luknjo (slika 5). Pri enkoderjih z osjo potrebujemo še dodaten vezni element pri povezavi gredi in enkoderja, enkoder z votlo osjo pa preprosto namestimo in pritrdimo na os.

Slika 6: Primer industrijskega enkoderja z osjo in enkoderja s skoznjo luknjo
(Vir: Kuebler, 2021)

1.6 ANALIZA KONKURENCE

Pregled konkurence smo začeli s pregledom njihovih spletnih strani, podatkovnih listov in katalogov. Temeljito smo preučili pet izmed najbolj priznanih konkurenčnih podjetij v svetu. Vsako od njih ponuja velik nabor industrijskih enkoderjev, ampak kot smo ugotovili, je večina teh enkoderjev inkrementalnih in so po načinu delovanja svetlobni. Slednje pomeni, da je cena svetlobnega enkoderja v primerjavi z magnetnim, ob upoštevanju iste točnosti, vsaj trikrat večja. Ena od ugotovitev je, da je večina enkoderjev inkrementalnih in ne absolutnih.

V tabeli 1 smo prikazali primerjavo tehničnih zahtev za naš izdelek z dvema konkurenčnima enkoderjema. Primerjali smo jih na področjih velikosti, največje hitrosti, točnosti in resolucije ter komunikacijskih signalov. Naš izdelek bistveno izstopa, prvo zato, ker je absolutni enkoder, kar pomeni, da je njegova absolutna pozicija vedno poznana tudi ob izklopu in ponovnem vklopu sistema. Prav tako prevladuje na področju ločljivosti, kjer zaradi uporabe sistema AksIM omogoča ločljivost do 20 bitov. Ugotavljamo, da se je prednost pred konkurenčnimi produkti izkazala tudi na področju maksimalne hitrosti vrtenja, ki je za zdaj omejena na 3000 vrtljajev na minuto. V prihodnosti in ob nadaljnjem razvoju bi se lahko povečala do 5000 vrtljajev na minuto.

Vezano na dosedanje izkušnje predpostavljamo, da je ob upoštevanju celotne specifikacije obravnavanih enkoderjev lastna cena industrijskega enkoderja z uporabo magnetne tehnologije zaznavanja vsaj tretjino nižja od lastne cene konkurenčnih produktov, ki uporabljajo svetlobno tehnologijo zaznavanja.

	RLS industrijski enkoder	**Konkurenca 1**	**Konkurenca 2**
Tehnologija	Magnetni	Magnetni	Svetlobni
Način delovanja	Absolutni	Inkrementalni	Inkrementalni
Premer luknje osi [mm]	50.8	28	50
Maksimalna hitrost vrtenja [vrtljaj/minuta]	3000	2500	2000
Komunikacijski protokoli	BiSS, RS422, SPI	RS422, Push-pull	Line Driver, Sin/Cos
Ločljivost	do 20 Bit	12 Bit	do 13 Bit
Merilna točnost	±0,005	-	±0,005

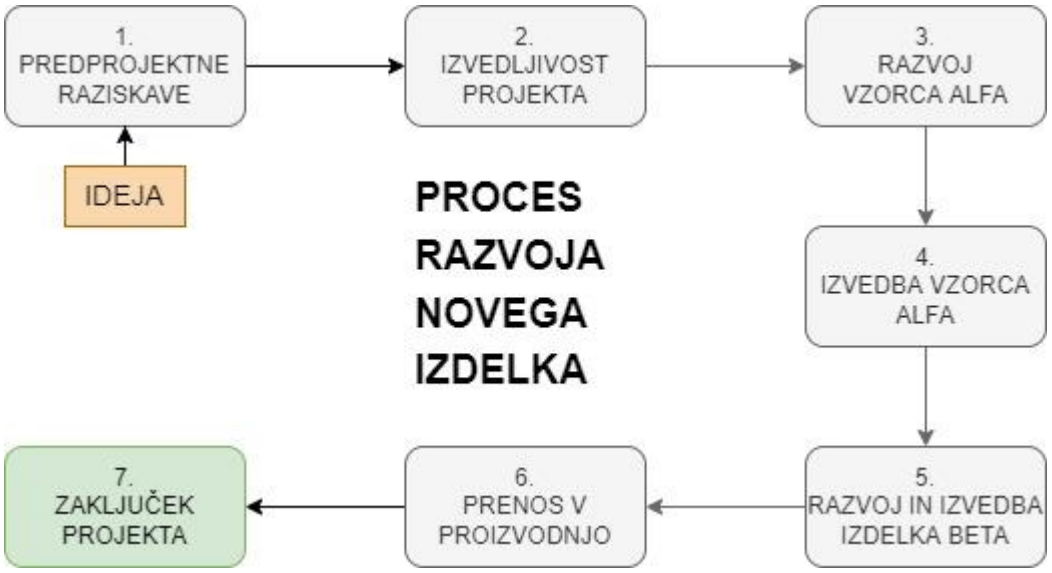
Tabela 1: Primerjava konkurenčnih enkoderjev
(Lastni vir)

2 OSNOVE POSTOPKOV

Poglavje smo namenili predstavitvi postopkov, ki se v podjetju uporabljajo pri zasnovi, razvoju ter potrjevanju novih izdelkov. V prvem delu smo predstavili postopek razvoja novega izdelka, kot je navedeno v organizacijskem predpisu podjetja z naslovom Razvoj novega izdelka (RLS, 2019). V nadaljevanju predstavljamo postopke zbiranja in ocenjevanja idej, postopke tehnološkega razvijanja ter metode hitrega razvoja prototipov, za zaključek pa postopke analize razvitega produkta oziroma procesa.

2.1 RAZVOJNI CIKEL NOVEGA IZDELKA

Postopek razvoja novega izdelka je razdeljen na več zaporednih korakov. V vsakem koraku so definirane naloge in aktivnosti, ki ta korak opredeljujejo, ter potrebni vhodi za njihovo izvedbo. Izhodi koraka pa določajo, katere aktivnosti morajo biti dokončane pred zaključkom faze. Koraki razvojnega cikla projekta so predstavljeni na diagramu na sliki 7.



Slika 7: Proces razvoja novega izdelka
(Lastni vir)

2.1.1 Predprojektne raziskave

Na osnovi opisa poslovne priložnosti pripravimo predlog za pripravo novega projekta. V okviru predprojektnih raziskav moramo oceniti potencialne količine, časovni okvir projekta, realno prodajno ceno izdelka in stroške proizvodnje in razvoja. Izdelek moramo kategorizirati glede na zahtevnost izdelka oziroma

zahtevnost njegove izdelave, glede na tip, kataloški ali naročniški, ter narediti načrt dodelitve virov, potrebnih za izvedbo razvoja.

Izhodi predprojektnih raziskav so:

- cilji razvoja tega projekta;
- cilji zanesljivosti in kakovosti izdelka;
- ocena stroškov izdelave izdelka:
  - ocena stroškov vgrajenih materialov;
  - ocena stroškov izdelave;
- predhodni seznam in kategorizacija posebnih karakteristik;
- ocena tveganj;
- poslovni načrt za ta razvoj;
- osnutek časovnega načrta;
- možne alternativne rešitve.

Izhode predprojektnih raziskav zapišemo v opis poslovne priložnosti. Ob tem naredimo še osnovno tržno raziskavo, samo krajšo oceno. Če je projekt potrjen, se v naslednji fazi podrobneje izdela.

2.1.2 Izvedljivost projekta

V tej fazi izvedemo podrobnejšo tržno raziskavo. Opravimo tudi študijo izvedljivosti in pregled več alternativnih rešitev. Za izbrano rešitev pripravimo oceno tveganja ter načrt dela z različnimi fazami in odgovornostmi. Pregledamo možnosti za prijavo patenta ali modelne zaščite in ocenimo tveganja za izvedbo projekta.

Izhod tega koraka je specifikacija izdelka, najpogosteje v obliki preliminarnega podatkovnega lista. Po potrebi izdelamo tudi 3D-model, da laže prikažemo funkcionalnost izbrane rešitve.

2.1.3 Razvoj vzorca alfa

V tej fazi razvijemo konstrukcijo izdelka, elektroniko, programsko opremo in vse ostale potrebne komponente. Pridobimo cenovne ponudbe za izdelavo in nabavo komponent, naredimo oceno proizvodne cene izdelka. V tej fazi v proces razvoja vključimo oddelek tehnologije, da čim bolje upoštevamo obstoječa znanja pri izdelavi sorodnih izdelkov ter uporabi sestavnih delov, operacij, naprav in priprav ter komponent.

Med razvojem vzorca alfa pripravimo analizo možnih napak in njihovih posledic dFMEA. Zatem na osnovi produktnih zahtev in FMEA-analize postavimo načrt testiranj za potrditev izdelka. Načrt testiranj lahko vsebuje poleg fizičnih preskusov tudi analitične in numerične analize.

Izhodi te faze so:

- 3D-modeli prihodnjega izdelka;
- sestavne in delavniške risbe;
- električne sheme, PCB-dokumentacija;
- alfa verzija FW-ja;
- DFMEA;
- opredeljene razvojne zahteve in načrt testiranja izpolnjevanja zahtev;
- lista novih dobaviteljev;
- kosovnica.

2.1.4 Izvedba vzorca alfa

V tej fazi pripravimo prototipe izdelkov in jih testiramo skladno z načrtom testiranj, izdelamo namenska orodja ter priprave za testiranje. Na osnovi rezultatov testiranja dopolnimo dFMEA-analizo in izvedemo potrebne spremembe na konstrukciji izdelka. Če se pokaže potreba po dodatnih testiranjih oziroma analizah, dopolnimo načrt testiranj in opravimo dodatne teste. Poleg tega opravimo DFM-analizo, da vidimo izvedljivost opravljenega razvoja.

Pripravimo analizo možnih napak in njihovih posledic proizvodnega procesa pFMEA. Začnemo pripravo zahtev za proizvodne naprave ter testne naprave, s katerimi bomo preverjali vmesno in končno kakovost izdelka. Poleg tega v tej fazi začnemo pripravljati marketinške aktivnosti in dokumentacije, kot sta preliminarni podatkovni list in preliminarni cenik.

V fazi vzora alfa pridobimo prve vzorce izdelka. S potrditvijo teh izdelkov in potrditvijo celotne faze zamrznemo trenutno stanje razvoja izdelka – design freeze. Od tega trenutka dalje spreminjamo in razvijamo samo še proizvodnje postopke.

2.1.5 Razvoj in izvedba izdelka beta

Glavni mejnik te faze je, da za izdelek, ki smo ga naredili s proizvodnimi viri, opravimo vse potrebne preizkuse, da zadovoljimo zakonske, okolijske in kupčeve zahteve. Zberemo in uredimo vso tehnično dokumentacijo, ki jo mora pregledati neodvisni pooblaščeni izvajalec. Pripravimo tudi poročila o izpolnjevanju zakonodajnih zahtev, da oddelek kakovosti pripravi izjavo o skladnosti ter druge potrebne izjave. Oznako CE postavimo na podatkovni list in na izdelke samo, kadar s tem ne zavajamo kupcev.

Določimo lastno in prodajno ceno. Izdelke teh prototipnih serij že tržimo in prodajamo, vendar moramo jasno označiti, da gre za beta proizvodnjo.

Izhodi iz beta faze so:

- diagram poteka proizvodnih procesov;
- analize pFMEA za proizvodne procese;
- plan obvladovanja preskusne proizvodnje z vključenimi metodami za preprečevanje napak;
- delovna navodila;
- načrt postavitve proizvodne linije;
- opredeljeni načini pakiranja in embaliranja izdelka.

2.1.6 Prenos v proizvodnjo

Ko potrdimo vse pretekle faze, sledi prenos v proizvodnjo. Pripraviti moramo vso potrebno dokumentacijo in izučiti odgovorne v proizvodnji, da lahko proizvodnja izdelka teče nemoteno brez pomoči razvoja. Poslovni načrt dopolnimo z realno oceno prodaje izdelkov, kalkulacijo lastne cene in izdelano cenovno politiko.

Obvezni izhodi te faze so:

- izvedene proizvodne serije v večjih količinah, s produkcijskimi orodji, opremo in proizvodnimi sodelavci;
- izvedene analize merilnih sistemov MSA;
- izdelana delovna navodila;
- izvedena verifikacija in validacija proizvodnega procesa;
- izveden pregled pakiranja izdelka vključno s potrebnimi testi;
- izvedena in zapisana potrditev proizvoda;
- proizvodni načrti obvladovanja.

Sledi samo še zaključek projekta, zbere se vsa dokumentacija, pripravijo se zaključno poročilo in podajo morebitne pripombe in predlogi za izboljšavo v prihodnje.

2.2 KREIRANJE IN OCENJEVANJE IDEJ

Ideje so ključ za inovacije. Brez inovacij ni napredka, tako da lahko rečemo, da so ideje ključ za napredek. Ideje so naše misli tako, da same ne ustvarjajo inovacij, ampak jih pomagajo razvijati. Ključno je, da si zgradimo dober sistematični proces za zbiranje in ocenjevanje idej.

Vsaka ideja predstavlja novo potencialno rešitev našega problema, zato so v postopku kreiranja dobrodošle prav vse, tudi tiste, ki se nam sprva zdijo nesmiselne in smešne. Velikokrat se izkaže, da se ravno te »nesmiselne« ideje pretvorijo v kreativno rešitev, ki našemu izdelku nudi dodatno vrednost na trgu.

Berdnik (2021) razlaga, da v osnovni tehnike kreiranja idej delimo glede na število

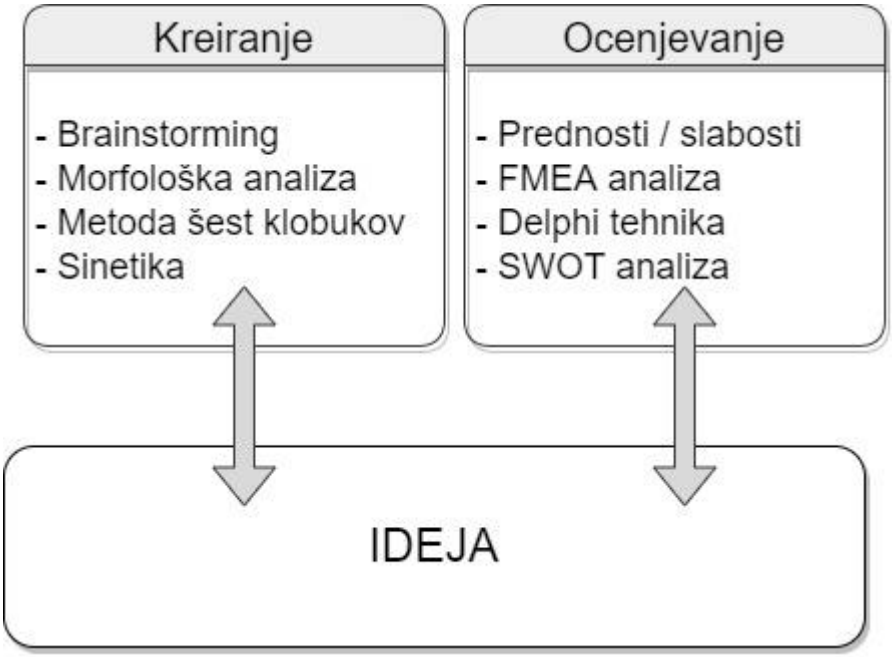
udeleženih v procesu na individualne ali skupinske. Prednosti individualne metode so v tem, da lahko posameznik razmišlja po svoje in se ne obremenjuje z mišljenjem drugih, obenem si lahko čas za kreiranje idej prilagodi in to počne, kadar mu ustreza. Slabost individualnega generiranja in iskanja idej je število generiranih idej, saj en član generira manj idej kakor celotna skupina, prav tako v individualni metodi ni nadaljevanja idej, ko ima član skupine neko idejo, drugi član pa to idejo nadgradi. Skupinske metode potrebujejo za svoj proces več članov, kar pomeni, da bodo prinesle več generiranih idej kot individualne metode. Se pa skupinske metode večinoma uporabljajo v podjetjih, saj je tako njihovo iskanje učinkovitejše za podjetje.

Poznamo več tehnik za kreiranje in ocenjevanje idej, predstavljene so na sliki 8. Med bolj poznanimi tehnikami kreiranja so zagotovo 'brainstorming', morfološka analiza, metoda šestih klobukov in sinektika, za zelo zahtevna, a tudi zelo uspešna metoda. Med bolj poznane tehnike ocenjevanje kreiranih idej spada tehnika prednosti in slabosti, FMEA-analiza, delphi tehnika in pa SWOT-analiza, namenjena ocenjevanju ideje z vidika podjetništva ter prodajne strategije.

Berdnik (2021) 'Brainstorming' ali prevedeno metoda možganske nevihte opredeli kot eno najbolj priljubljenih tehnik pridobivanja novih idej in reševanja problemov. Je orodje za maksimiranje ustvarjalnosti skupine pri reševanju problemov. Gre za skupinsko tehniko, s pomočjo katere skupina skuša najti rešitev za določen problem tako, da spontano zbere ideje vseh svojih članov.

Pri uporabi brainstorming metode sodeluje večje število članov. Zaželeno je, da vsak član skupine kreira čim večje število različnih idej. Zaželeno je, da so med naborom tudi take, ki se na prvi pogled zdijo nesmiselne, to omogoča vsem sodelujočim popolnoma svobodno razmišljanje. Način predstavitve idej je odvisen od skupine. Lahko se predstavijo na listu papirja kot miselni vzorec, lahko tudi kot skica.

Na koncu sledi proces zbiranja idej. Celotna skupina skupaj pregleda vse ideje in izbere najprimernejše. Vsako idejo, ki se pojavi, moramo pred začetkom razvoja ustrezno ovrednotiti, da preverimo njen potencial. Ovrednotiti moramo funkcionalnost ideje, možnost izdelave ter skladnost z zakonom. Poleg tega moramo čim prej narediti raziskavo trga in potrditi potrebo po našem produktu na trgu.



Slika 8: Tehnike kreiranja in ocenjevanja idej
(Lastni vir)

2.3 TEHNOLOŠKO RAZVIJANJE IN HITRI RAZVOJ PROTOTIPOV

Z izrazom hitro prototipiranje označujemo skupino tehnik, namenjenih izdelavi pomanjšanega modela fizičnega kosa, ali sestavo z uporabo računalniško podprtih tridimenzionalnih modelirnih programov. V kontekstu načrtovanja inženirskega izdelka je prototip predhodna različica končnega izdelka in se uporablja za vrednotenje zasnove, preizkušanje tehnologije ali analizo principa delovanja, ki posledično zagotavlja specifikacijo izdelka. Poznamo več različnih vrst prototipov:

- prototipi za dokazovanje koncepta;
- demonstracijski prototipi;
- funkcionalni prototipi;
- prototipi za prikaz industrijskega oblikovanja;
- končni vzorec pred proizvodnjo;
- prototipi za potrjevanje alfa in beta faze.

Na sliki 9 smo predstavili tri različne prototipe istega produkta. Prvi prototip (z leve proti desni) je tako imenovani prototip za dokazovanje zasnove. Namenjen je potrditvi zasnove produkta. Drugi prototip je vidno boljše kakovosti in vsebuje več detajlov, namenjen je testiranju funkcionalnosti produkta ter potrjevanju alfa faze razvoja. Tretji prototip pa že vsebuje vse funkcionalnosti in videz končnega produkta in je končni vzorec pred začetkom proizvodnje.

Slika 9: Predstavitev treh različnih vrst prototipov
(Vir: Manufactur 3D, 2018)

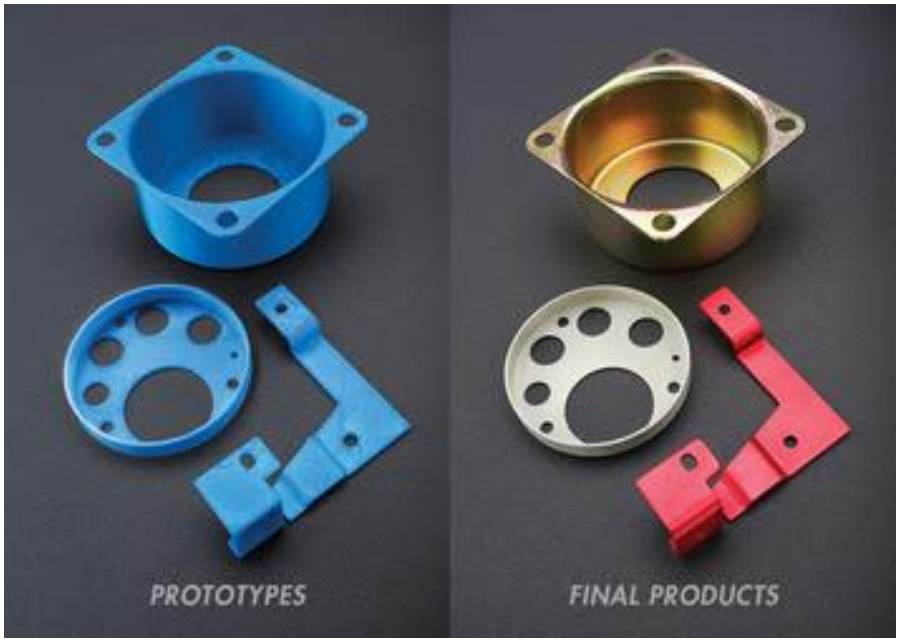
V tem hitro razvijajočem se potrošniškem svetu je ključno, da podjetja hitro razvijajo in uvajajo nove izdelke, da ostanejo konkurenčna. Ker sta hitrejši razvoj izdelkov in tehnološke inovacije ključnega pomena za uspeh podjetja, je postal hitri razvoj prototipov eden od ključnih elementov razvoja. Uporaba tehnik hitrega prototipiranja nam omogoča:

- hitrejši razvoj novih produktov – prototipi igrajo ključno vlogo v procesu ustvarjanja novih produktov;
- potrjevanje oblikovanja v zgodnjih fazah razvoja (form, fit and function);
- potrditev oblikovanja oblike, vezano na tehnične zahteve produkta;
- funkcijsko testiranje prototipov končnega produkta.

Za izdelavo hitrih prototipov imamo na voljo več različnih izdelovalnih tehnologij, posamezne lahko med sabo tudi združujemo. Ključno je, da izberemo pravo glede na karakteristike in funkcionalnost svojega izdelka. Najpogosteje uporabljene tehnologije izdelave so različne vrste 3D-tiskanja, na primer: stereolitografija (SLA), selektivno lasersko sintranje (SLS), kapljično nanašanje veziva (binder jetting). Poleg 3D-tiskanja se uporabljata še tehnologija izdelave prototipov s CNC obdelovalnimi stroji ter vakuumsko litje (Upcraft in Fletcher 2003).

Tehnologija hitrega razvoja prototipov ima ogromno prednosti: od skrajšanja časa oblikovanja in razvoja produkta, zmanjšanja cene procesa razvoja, zmanjšanja verjetnosti pojava napak v zgodnjih fazah razvoja do testiranja funkcionalnosti produkta, a ima tudi svoje slabosti. Hitri prototipi so manj natančni, predstavljajo kar velik dodatni strošek razvoja, izbira različnih materialov je omejena, lastnosti materialov se ne ujemajo s tistimi končnega izdelka. Velikokrat se tudi zgodi, da so brez kakšnih ključnih funkcij, ker te niso izvedljive z uporabo tehnik hitrega

prototipiranja. Slika 10 prikazuje razliko med prototipi in končnimi izdelki.



Slika 10: Razlika med prototipi (slika levo) in končnimi izdelki (slika desno)
(Vir: Parts Badger, 2020)

2.4 FMEA IN DFM-ANALIZA

V zadnjih nekaj desetletjih se z razvojem tehnologij in globalizacijo trgov pojavlja vse večja konkurenca v vseh panogah. Podjetja iz držav v razvoju trgu zaradi nižjih stroškov delovne sile ponujajo izdelke po vse nižjih cenah. Da bi ohranili poslovanje in konkurenčnost, morajo biti novi izdelki tržni in kakovostni, njihova lastna cena pa čim nižja. Metode za zagotavljanje kakovosti in odpravo možnih napak že v procesu razvoja omogočajo podjetjem, da razvijajo kakovostne izdelke v krajšem času in z nižjimi stroški. Te metode služijo tudi za izbor idej in potrjevanje zasnov. Predstavili bomo dve, za naš razvoj zasnove najbolj relevantni metodi; FMEA in DFM.

2.4.1 FMEA

Dulc (2020, str. 72) razlaga, da je analiza možnih napak in njihovih posledic strukturiran pristop odkrivanja možnih napak, ki se lahko pojavijo pri načrtovanju izdelka ali procesa. S pomočjo FMEA že v zgodnjih fazah razvoja predvidimo možne napake, ocenjujemo tveganje za njihov nastanek in odpravljamo vzroke, ki bi lahko te napake povzročili. S tem procesom napake odpravimo, še preden se pojavijo oziroma preprečimo možnost pojava. Z uporabo te metode naše izdelke izboljšamo, se izognemo morebitnim popravkom na izdelku, ko smo že v fazi proizvodnje in

zmanjšamo stroške slabe kakovosti.

Okvirni potek analize FMEA predstavljajo naslednje postavke (Dulc, 2020, str. 73):

- sestava strokovne, multidisciplinarne ekipe;
- definiranje obsega in ciljev FMEA-analize in zapis teh v glavo obrazca;
- prepoznava vseh funkcij obravnavanega sistema;
- določitev potencialnih odpovedi – za vsako funkcijo določimo možni način odpovedi (možne napake);
- za vsako odpoved identificiramo vse potencialne posledice napak;
- s pomočjo točkovalnega sistema določimo resnost posledice napake za vsako komponento, ocenimo tudi verjetnost odkritja vzroka te napake;
- za vsak vzrok za nastanek napake se določi ocena verjetnosti nastanka vzroka ali pa celo verjetnosti odkritja vzroka napake
- za vsak vzrok odpovedi se definira procesna kontrola, to so po navadi postopki oz. mehanizmi, s katerimi se prepreči, da napake pridejo do kupcev. Te kontrole lahko preprečijo vzrok ali pa nižajo verjetnost nastanka napake;
- izračunamo prioritetno število tveganja; RPN. To je zmnožek vseh treh ocen: *resnost napake* x *možnost pojava napake* x *verjetnost odkritja napake***.** Število RPN nam pove, katere možne odpovedi so najpomembnejše in katere moramo obravnavati prioritetno;
- določimo potrebne ukrepe za odpravo možnih napak. Ti ukrepi so lahko konstrukcijske ali procesne spremembe, lahko pa so tudi dodatni kontrolni ukrepi za izboljšanje detekcije; določimo odgovorne osebe ter roke, do katerih je treba aktivnosti izpeljati;
- ko so aktivnosti izvedene, se ponovno oceni faktor RPZ oz. prioritetno število tveganja RPN.

2.4.2 DFM (Design for manufacturing)

Oblikovanje za proizvodnjo je proces oblikovanja delov, komponent ali izdelkov za enostavno proizvodnjo. Končni cilj je izdelava boljšega izdelka po čim nižji ceni. To se naredi s poenostavitvijo, optimizacijo in izpopolnjevanjem zasnove izdelka.

Med procesom DFM temeljito pregledamo in preučimo pet področij:

- proces izdelave,
- dizajn izdelka,
- material izdelka,
- proizvodno okolje,
- skladnost z zahtevami.

DFM-analizo moramo izvesti zgodaj v procesu načrtovanja in mora vključevati vse zainteresirane strani: inženirje, oblikovalce, zunanje izvajalce, tehnologe, dobavitelje

materiala. Namen raznolike ekipe pri izvedbi DFM je, da se zasnova obravnava celostno in se zagotovi, da je dizajn res optimalen, da nimamo nepotrebnih naknadnih stroškov. Med pomikanjem skozi proces načrtovanja in življenjski cikel izdelka postajajo spremembe vse dražje in tudi teže izvedljive, tako da zgodnji DFM omogoča hitro spremembo dizajna z najmanj stroški.

Ključne aktivnosti DFM-analize so (Ulrich in Steven, 2016):

- pregled in razumevanje dizajna izdelka;
- izbor materialov, ki ustrezajo oblikovanju, ob upoštevanju vseh postopkov, ki nam povzročajo dodatne stroške;
- odločitev za končni proizvodni proces na podlagi geometrije izdelka in predvidene količine;
- oblikovanje delov tako, da imamo čim manj odpadnega materiala pri procesu izdelave;
- pregled toleranc, da zagotovimo pravilno prileganje, obliko in delovanje;
- pregled zahtevnosti izdelave enega dela v primerjavi z izdelavo in sestavo večdelnega sistema;
- pregled načrtov posameznih sklopov z osredotočanjem na vrstni red montaže, število delov in potreben čas sestavljanja;
- pregled in zmanjšanje potrebnega orodja za izdelavo izdelka;
- načrtovanje merilnih metod in zlatih kosov za preprostejše pregledovanje vhodnega materiala;
- pregled sledljivosti in pravilnega označevanja delov za zadostitev zakonskim in produktnim zahtevam.

3 PROCES RAZVOJA

Razvoj samega koncepta smo začeli z zbiranjem idej. Pred tem smo temeljito preučili konkurenčne produkte ter novosti v panogi s pregledom relevantne literature. Industrijski enkoderji na trgu že obstajajo, tako da smo razvijali nadgradnjo obstoječega produkta. S pridobljenim znanjem in z novimi, svežimi idejami smo pripravil dve različni idejni zasnovi eno bolj klasično in eno bolj inovativno. Oba koncepta smo ovrednotili, ocenili in izbrali boljšega.

3.1 ZBIRANJE IDEJ ZA NOVI PRODUKT

Industrijski enkoderji so na trgu že nekaj časa, tako da je konkurenčnih produktov veliko. Pobuda za razvoj lastnega industrijskega enkoderja je prišla preko prodajnega oddelka, kjer je bilo ob pregledu stanja na trgu ugotovljeno, da je povpraševanje za takšne produkte veliko ter da obstaja priložnost za umestitev podjetja na ta trg z lastnim produktom. Pripravljene so bile osnovne tehnične zahteve produkta, predstavljene v točki 2.1 tega diplomskega dela.

Sam proces zbiranja idej smo začeli s pregledom konkurenčnih produktov. Osnovne tehnične zahteve smo imeli podane, zato smo se tudi ob pregledu konkurence osredotočali predvsem na produkte, ki zadostujejo enakim tehničnim zahtevam. S pregledom konkurenčnih produktov smo dobili vpogled v najnovejše trende panoge s področja uležajenja, tehnoloških in sistemskih rešitev ter same oblike izdelkov ter njihove namestitve.

Kot metodo kreiranja idej smo uporabili 'brainstorming'. Razmišljali smo o materialu izdelka, tipih in številu potrebnih ležajev, načinih tesnjenja, različnih tipih osi, postavitvi elektronike, možnih izhodih. Ideje smo sproti filtrirali. Ugotovili smo, da je zanimivih idej veliko število, ampak večina njih ni izvedljiva oziroma bi njihova realizacija zahtevala preveč finančnih sredstev. Ostalo nam je kar nekaj dobrih idej, ki so se izkazale kot dobre rešitve. Ena izmed teh idej je uležajenje sistema z uporabo dveh ležajev, med katera umestimo enkoderski sistem. S takim uležajenjem je celoten sistem bolj kompakten, poleg tega pa sami ležaji služijo kot gredno tesnilo. Druga ideja, ki se je izkazala za perspektivno, je bila os iz dveh delov, združljiva s krčnim nasedom. S tem olajšamo in pocenimo izdelavo in pridobimo možnost lepljenja elastoferita neposredno na os.

Na ta način smo dobili kar nekaj dobrih idej, ki so nadgradnja obstoječih rešitev, s pomočjo katerih se bo naš izdelek razlikoval od drugih na trgu in odseval luč razvoja in napredka.

3.2 IDEJNE ZASNOVE

Z raznimi tehnikami za zbiranje idej, pregledom konkurenčnih produktov ter sodelovanjem s sodelavci smo prišli do dveh različnih konceptov. Koncepta sta si med seboj podobna, oba ustrezata produktnim zahtevam in si delita veliko večino sestavnih delov. Koncepta se med seboj razlikujeta v načinu uležajenja in posledično tesnjenja. Prvi izmed konceptov je podoben ostalim produktom na trgu, ima dva vzporedna ležaja, umeščena v spodnji del enkoderja, senzorski del je nad njima, za tesnjenje pa skrbijo gredna tesnila. Pri drugem konceptu, ki smo ga poimenovali sendvič sistem, pa za uležajenje skrbita dva ležaja na skrajnih legah gredi, senzorski del je med njima. V tem primeru ležaja služita tudi kot tesnilni element na gredi.

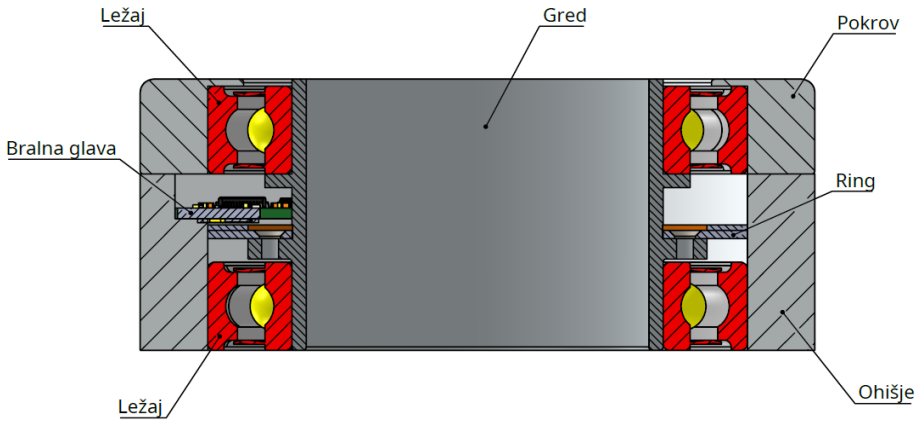
3.2.1 Sendvič sistem

Ohišje je sestavljeno iz dveh delov, sredinskega dela in pokrova.

Votla gred mora imeti izdelani dve podporni površini. Prva podporna površina služi kot naslon zgornjega ležaja, druga podporna površina služi z zgornje strani kot površina za pritrditev ringa, s spodnje pa kot naslon spodnjega ležaja.

Votla gred je uležajena z dvema ležajema. Prvi je nameščen nad senzorskim delom, drugi pa pod senzorskim delom. S takšno umestitvijo nam ležaji ne služijo le kot kotalni element, ampak tudi kot tesnilni element enkoderskega sistema.

Enkoder je zaradi novega koncepta uležajenja kompakten, sestavljen iz manjšega števila delov ter lažji za sestavo. Ampak ostaja še veliko izzivov, ki jih je treba rešiti tako na področju uležajenja in prednapetja sistema kot na področju pritrditve ringa.



Slika 11: Predstavitev koncepta »sendvič sistem«
(Lastni vir)

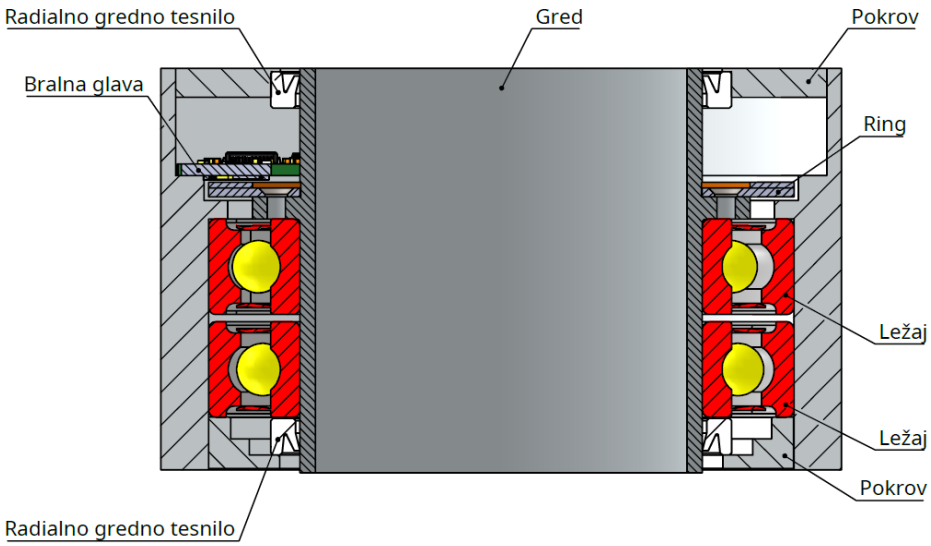
3.2.2 Zaporedno uležajen sistem

V tem primeru je ohišje sestavljeno iz treh delov, sredinskega in dveh pokrovov.

Na votli gredi imamo samo eno podporno površino, ki z ene strani služi kot montažna površina ringa, z druge pa kot naslon ležaja. Ležaja na gred namestimo s spodnje strani zaporedno, med njima je distančni obroč. Tako dosežemo obratovanje ležajev brez zračnosti oziroma silo prednapetja. Tak tip osi je preprostejši za izdelavo, prav tako je preprostejši sam proces sestavljanja.

Enkoderski sistem v tem primeru zatesnimo z radialnima grednima tesniloma. Nameščeni sta na obeh skrajnih legah gredi, sedež se naredi v pokrovih.

Ta tip enkoderja je večji, sestavljen je iz več delov, ki so kompleksnejši, zato je za izdelavo in sestavljanje težji. Je pa v primerjavi s prvim konceptom bolj preverjena rešitev, kar se tiče uležajenja ter zagotavlja boljše tesnjenje sistema.



Slika 12: Predstavitev vzporedno uležajenega sistema
(Lastni vir)

3.3 OCENJEVANJE IDEJ

V tej točki smo se odločali, kateri od dveh predstavljenih konceptov je primernejši za nadaljnji razvoj. S sodelavci smo določili merila za razvrščanje in ocenjevanje posameznih funkcij. Merila smo razdelili v tri glavne skupine in za vsako od teh določili utež (ponder).

Prve, najpomembnejše, so osnovne zahteve za izvedbo izdelka. V to skupino

spadajo tako osnovne tehnične zahteve produkta kot tudi lastna cena posameznega koncepta, ki igra veliko vlogo pri odločitvi za posamezen koncept. Merilom v tej skupini smo določili ponder 5 točk. Drugo skupino meril, ki smo jih ocenili s ponderjem 3 točke, smo poimenovali konkurenčnost. V to skupino spadaj funkcije, ki nas postavljajo v konkurenčno prednost, na primer modularnost, kompaktnost in izgled produkta. Zadnjo skupina, vredna 2 točki, predstavlja funkcije, ki spodbujajo inovativnost in odpirajo pot novim izzivom v podjetju.

Sledilo je ocenjevanje posameznih meril, za lažji pregled smo pripravili tabelo (tabela 2). Vsako funkcije smo ocenili s številko od 1 do 5, pri čemer 5 predstavlja najboljšo oceno in pomeni, da funkcija tega koncepta povsem ustreza kriteriju, ocena 1 pa, da funkcija kriteriju ne ustreza. Vsako oceno smo pomnožili z vrednostjo ponderja in zmnožke sešteli. Za najbolj perspektivnega se je izkazal tako imenovani »sendvič sistem«, ki je dosegel 187 toč, kar je 32 točk oziroma 19 % več kot vzporedno uležajen koncept.

		Sendvič sistem	**Vzporedno uležajen**
Osnovne zahteve	**Ponder**		
OD95/ID55	**5**	1	1
IP65 zaščita	**5**	5	5
3000 rpm	**5**	5	5
Lastna cena	**5**	3	4
Konkurenčnost			
Kompaktnost ohišja	**3**	4	2
Privlačnost	**3**	5	1
Modularnost	**3**	4	2
Preprosta izdelava	**3**	4	3
Preprosto sestavljanje	**3**	2	3
Čim manj sestavnih elementov	**3**	4	3
Uporaba standardnih sestavnih delov	**3**	4	4
Dobavljivost komponent	**3**	4	4
Inovacija			
Inovativnost	**2**	4	2
Potencial spodbujanja novih inovacij	**2**	4	2
Možnost nadgradnje	**2**	4	3
		187	155

Tabela 2 Primerjava dveh konceptov
(Lastni vir)

4 MODELIRANJE SISTEMA

4.1 TEHNOLOŠKO RAZVIJANJE NOVEGA IZDELKA

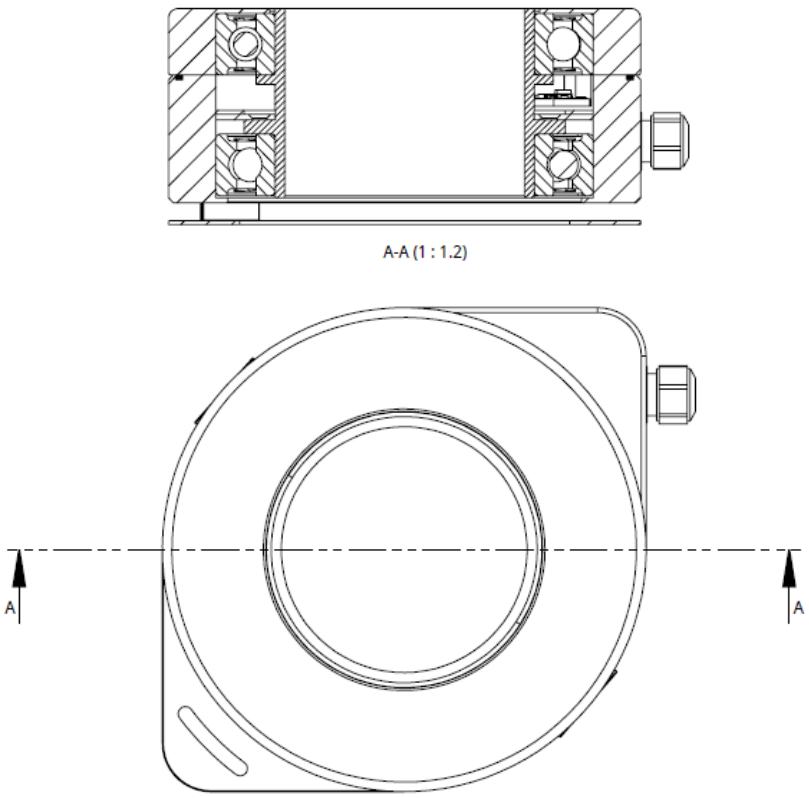
V tej fazi razvoja smo začeli s podrobnejšim razvojem detajlov in 3D-modeliranjem celotnega enkoderja. Enkoder je sestavljen iz več pomembnih, med seboj povezanih sklopov. Zaradi olajšanja dela ter popolne osredotočenosti na posamezen sklop ter njegove funkcije smo vsak sklop najprej posebej načrtovali ter modelirali, na koncu pa vse združili v celoten sistem.

Za 3D-modeliranje uporabljamo programsko opremo SolidWorks. SolidWorks je program za računalniško podprto oblikovanje (CAD) in računalniško podprto inženirstvo (CAE). Poleg kreiranja 3D-modelov ter tehnične dokumentacije omogoča tudi izvajanje enostavnejših simulacij in izvedbo inženirskih analiz.

4.1.1 Uležajenje enkoderja

Uležajenje enkoderja je eden njegovih najpomembnejših sklopov, saj mora zagotavljati tako tekoče delovanje kot tudi tesnjenje sistema. Ob neustreznem dimenzioniranju in neprimerno predpisanih tolerancah lahko pride do zdrsa ležajev ter posledično do poškodbe teh. Ob preveliki obremenitvi ležaja se lahko pojavi blokiranje ležaja in ne tekoče delovanje, kar vpliva na delovanje in točnost senzorskega dela enkoderja. Da povzamemo pogoj za točnost sistema, je pravokotnost ringa proti senzorju ter obratovanje ležajev brez zračnosti.

Ležaji morajo njihove primarne funkcije opravljati še funkcijo tesnjenja. Za naše potrebe smo izbrali ležaj proizvajalca NSK z oznako 6811DDU z notranjim premerom d = 55 mm, zunanjim premerom D = 72 mm in širino b = 9 mm. Ležaj je primerno zaščiten, da ob pravilni vgradnji nudi zaščito IP65. Ležaja sta umeščena na skrajni legi osi, senzorski del je umeščen med njiju, kar je prikazano s prerezom enkoderja na sliki 13. Ležaja sta na gred in na ohišje fiksirana z naslonom. Zračnost odpravimo z aksialnim prednapetjem ležajev s pomočjo vzmeti za odpravljanje zračnosti ležajev, tak primer je na sliki 14.

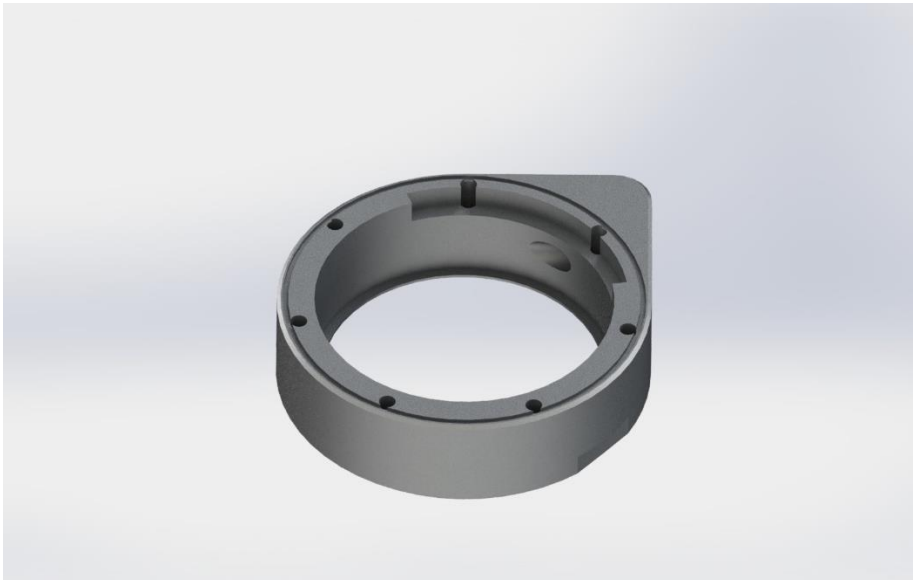


Slika 13: Sredinski prerez enkoderja
(Lastni vir)

Slika 14: Primer krožnikaste vzmeti za odpravljanje zračnosti ležajev
(Vir: Okorn et al., 2015)

4.1.2 Ohišje enkoderja

Ohišje je izdelano iz dveh delov. Spodnjega, osnovnega, in pokrova. Spodnji del ohišja, predstavljen na sliki 15, ima na zgornji strani utor za namestitev tesnila, na spodnji pa naslon za zunanji del ležaja oziroma vzmet. Spodnji del in pokrov se združita z uporabo vijakov M3. Vijaki segajo od spodnjega dela osnovnega ohišja skozi ohišje do pokrova. Oba dela ohišja sta prilagojena izdelavi na stružnici in se izdelata z enim vpetjem. Naknadno se izdelajo samo prečne izvrtine in vrežejo navoji. Ohišje služi kot sedež ležaja tako, da morajo biti izdelani v tolerancah.



Slika 15: Spodnji del ohišja enkoderja
(Lastni vir)

Material za izdelavo je aluminij z oznako W. nr. 3.3547. Za našo aplikacijo nudi aluminij najboljše tehnične in preoblikovalne lastnosti za svojo ceno. Lahko se preoblikuje, kar zmanjša ceno proizvodnje, s specifično težo 2,17 g/m^3 je izredno lahek, a vseeno dovolj trden in prožen material, kar nam olajša prenašanje in manevriranje med izdelavo, ima dobro električno in termalno prevodnost. Slednjo potrebujemo pri stiku med ohišjem in bralno glavo zaradi njenega ohlajanja.

Z zunanje strani mora biti ohišje zaščiteno pred zunanjim električnim tokom in raznimi kemikalijami, zato so vse zunanje površine eloksirane.

4.1.3 Modularni del ohišja

V svetu industrijskih enkoderjev poznamo več različnih vrst komunikacijskih protokolov. Trenutno v podjetju ponujamo BiSS C in SSI komunikacijska protokola,

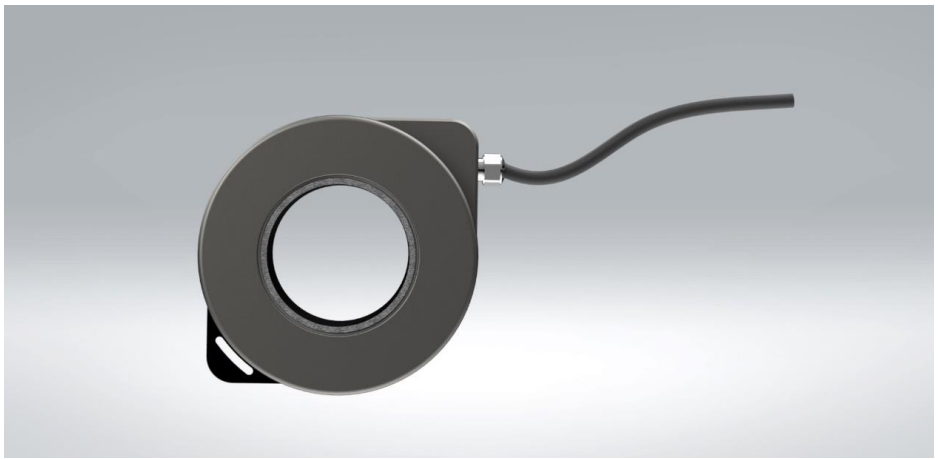
kar bi od začetka ponujali tudi pri liniji industrijskih enkoderjev. Zaradi konkurenčnosti bi morali sčasoma ponuditi industrijske protokole iz družine fieldbus komunikacijskih protokolov (SAE J1939, PROFIBUS DP in CANopen) ter iz družine industrijskih ethernet protokolov (EtherCAT, PROFINET IO, EtherNet/IP). Pri zagotavljanju teh komunikacijskih protokolov moramo na enkoder namestiti še dodatno elektroniko za procesiranje signala. Prav tako poleg različnih vrst komunikacijskih protokolov ponujamo različne vrste izhodov, za začetek bosta to konektorja M23, 12 pim in M8, 8 pin ter prosti izhodni kabel s kabelsko uvodnico, pri uvedbi drugih protokolov pa pridejo še drugi specifični konektorji.

Ohišje je pri izhodu kabla zasnovano modularno. Preko izhodne odprtine namestimo modularni konektorski del, na katerega lahko namestimo različne konektorje. Za začetek smo predvideli modularne dele za konektorja M23, M8 in kabelsko uvodnico. Ob uveljavi drugih industrijskih protokolov bo ta modularni del omogočal namestitev dodatnih modulov z vso potrebno elektroniko ter izhodnim konektorjem za posamezen protokol.

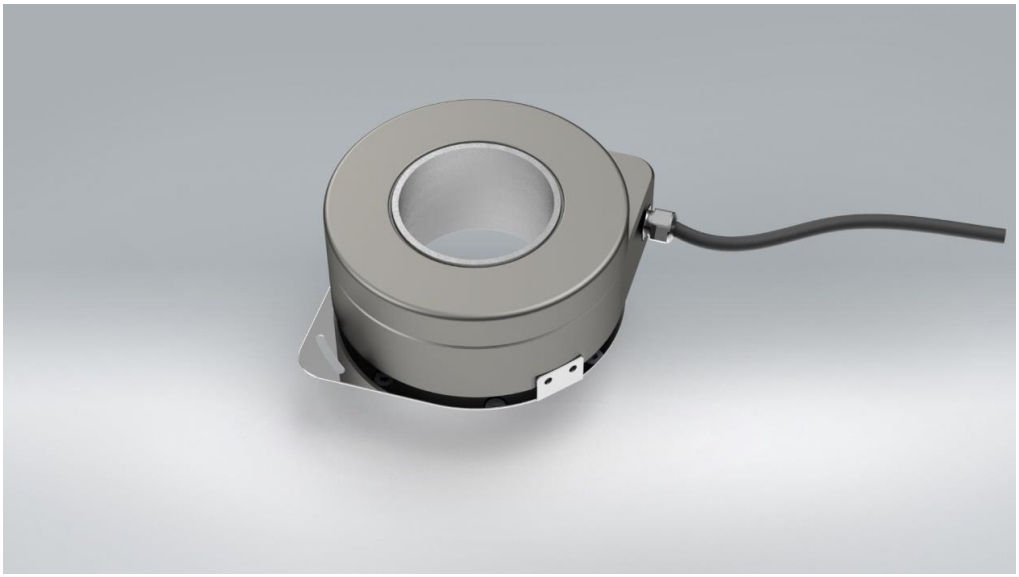
Prednost modularne rešitve je, da imamo samo eno vrsto ohišja ter različne modularne priključke, kar nam zmanjša število samih konfiguracij, zmanjša minimalno zalogo posameznih kosov ter ne nazadnje tudi ceno.

4.2 REŠITVE

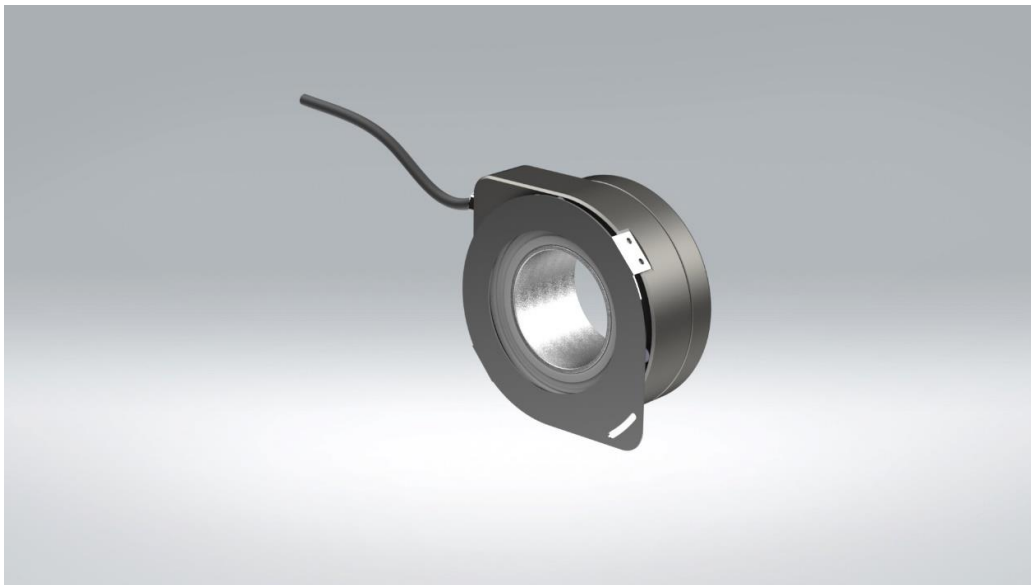
Posamezne sklope smo združili v sestav. Končni videz izdelka z različnih smeri pogleda je predstavljen na slikah 16, 17 in 18. Pripravili smo kosovnico, predstavljeno na sliki 19. Polega kosovnice je eksplodiran pogled industrijskega enkoderja za lažjo predstavo.



Slika 16: Industrijski enkoder, pogled z zgornje strani
(Lastni vir)



Slika 17: Industrijski enkoder, pogled s strani
(Lastni vir)

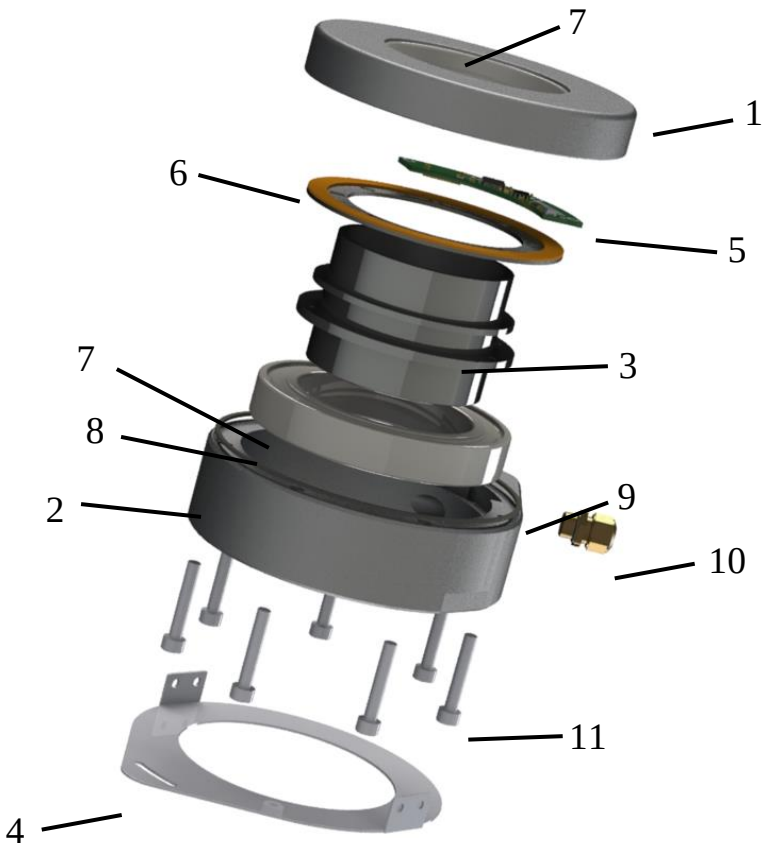


Slika 18: Industrijski enkoder, pogled s spodnje strani
(Lastni vir)

Sestav in komponente smo prilagodili tako, da so čim preprostejši za izdelavo in sestavo. Oba dela ohišja sta narejena tako, da je pri izdelavi potrebno čim manj manipulacije. Uležajen del enkoderja, os, ring in ležaja se lahko sestavijo že vnaprej, kar omogoča hitrejšo in preprostejšo proizvodnjo. Ob konstruiranju enkoderja smo upoštevali tudi morebitno avtomatizacijo proizvodnje, če bi se v

prihodnosti pojavila potreba.

Pod zaporedno številko štiri na sliki 19 je vzmetna pritrdilna plošča oziroma sklopka za pritrditev enkoderja. To je ena pomembnejših komponent, ki zagotavlja, da sistem deluje pravilno. Z razvojem sklopke se ukvarja sodelavec v okviru svoje magistrske naloge, zato je nismo obravnavali v tem diplomskem delu.



Št.	Naziv	Količina	Enota
1	Pokrov enkoderja	1	Kos
2	Ohišje enkoderja	1	Kos
3	Votla os	1	Kos
4	Vzmetna pritrdilna plošča	1	Kos
5	Bralna glava AksIM MB080SCB20MDNT0	1	Kos
6	Ring MRA080BC055DSE00	1	Kos
7	Ležaj NSK 6811DDU	2	Kos
8	Krožnikasta vzmet SCHNORR	1	Kos
9	Tesnilni obroč fi 98mm, d=6mm	1	Kos
10	Kabelska uvodnica M8	1	Kos
11	Vijak M3 x 35 DIN912	1	Kos
12	Kabel ELK001	1	m

Slika 19: Kosovnica
(Lastni vir)

5 VREDNOTENJE SISTEMA

Diplomsko nalogo smo zaključili z vrednotenjem pripravljenega koncepta. Pripravili smo DFM in FMEA-analizo ter povzeli glavne značilnosti. Obrazca, uporabljena v tej diplomski nalogi, se uporabljata tudi v podjetju, tako da sta prilagojena procesu in odražata dejansko stanje.

5.1 DFM

DFM je eden od procesov, ki jih v podjetju uporabljamo za zagotovitev kakovostnih izdelkov po čim nižji ceni. Z DFM preverimo, ali je naš izdelek oblikovan za proizvodnjo. Za ta proces imamo v podjetju pripravljen obrazec. Obrazec je sestavljeni iz petih različnih sklopov, ki obravnavajo izdelek, sestav, mehanske dele, embaliranje in varnost. Obrazec nas vodi skozi vprašalnik, na katerega odgovarjamo z da ali ne. Ko končamo, se vrnemo k posameznim točkam ter poskušamo naš izdelek izboljšati in s tem znižati ceno proizvodnje.

Obrazec za DFM smo izpolnili skupaj s sodelavci, priložili smo ga kot prilogo 1 tej diplomski nalogi. Sledili smo vprašalniku ter posebej definirali vsako točko. Glavni namen je, da je izdelek zasnovan tako, da je sestavljanje kar se da poenostavljeno. Kjer je možno, uporabljamo standardne elemente, uporabimo čim manjše število različnih delov in posamezne dele že predhodno sestavimo v sklope, če je to mogoče. Pomembno je tudi, da je proizvodni proces čim bolj poenostavljen in nedvoumen. V našem primeru se del vprašanj nanaša na elektronske komponente, na primer ali lahko zmanjšamo število ročno spajkanih komponent, ali je dizajn PCB prilagojen za vse proizvodne postopke in podobno. Pri obravnavanju sestava se pomembnejša vprašanja nanašajo na to, ali lahko samo sestavljanje vpliva na končni videz produkta in ali lahko tega na kakšen način zaščitimo, ali v sami proizvodnji že uporabljamo izdelke podobnih oblik in ali jih je možno med seboj zamešati.

Pomembno je tudi, da so za izdelavo predpisane ekonomsko upravičene metode izdelave, da so vse kakovosti površin pravilno definirane ter da smo izbrali najugodnejši material. Kar pa se tiče varnosti, se vprašanja nanašajo na področja previsokega hrupa, ali se lahko pojavijo reakcije med materiali in ali sumimo, da kateri od sestavnih delov ne bi preživel življenjske dobe izdelka.

V našem primeru, ko gre za koncept produkta, smo DFM-analizo naredili interno v našem oddelku. V primeru, da bi ta koncept prišel v fazo projekta, bi pri tem procesu sodelovali vsi udeleženi v procesu razvoja, proizvodnje in prodaje tega izdelka.

5.2 FMEA

V podjetju se pri razvoju novih izdelkov uporablja FMEA-analiza za odkrivanje in odpravljanje možnih napak in posledic in imamo temu namenjen interni obrazec TEM-000019-04. Za koncept industrijskega enkoderja smo izvedli dFMEA-analizo, ki je namenjena pregledu oblikovanja in tehničnih rešitev izdelka.

Analizo smo izvedli s pomočjo sodelavcev z oddelka mehanike. Potekala je v obliki sestanka. Dva dni pred samim sestankom jim je bila posredovana predstavitev koncepta z opisom in s skicami posameznih rešitev, kar je omogočilo, da so pred samim sestankom dokumentacijo preučili in se ustrezno pripravili. To je standardna praksa v podjetju, da se zagotovi bolj tekoč potek samega sestanka. Pri FMEA-analizi smo si pomagali z obrazcem TEM-000019-04, izpolnjenega smo priložili v prilogi 2.

Na začetku smo sistem razdelili na tri sklope, ohišje, os in ležaje, in vsak sklop posebej definirali. V nadaljevanju smo vsakega od sklopov posamično obravnavali in poskušali definirati vse možne napake ter njihove posledice. Glede na možno napako ter njen učinek na sistem smo ji določili stopnjo resnosti napake [R]. Stopnje resnosti so ocenjene s številkami od 1 do 10, kjer 1 predstavlja stanje brez posledic, številka 10 pa predstavlja nevarnost za ljudi ali okolje, kršenje zakonodaje brez opozorila o napaki.

Ko definiramo možno napako in stopnjo resnosti, se pomaknemo na možnost pojava napake [P]. Tu smo najprej definirali možne vzroke za nastanek napake, trenutne metode za preprečevanje nastanka vzroka napake ter pogostost pojava vzroka te napake ob upoštevanju ukrepov za preprečevanje. Tudi pogostost pojave vzroka ocenimo s številkami od 1 do 10, kjer številka 1 pomeni, da se napaka ne pojavi nikoli in da je metoda preprečevanja popolna, to je standardni dizajn, ki je bil večkrat uporabljen v sistemu. Številka 10 predstavlja verjetnost pojava vedno, kar pomeni, da je metoda ocenjevanja neučinkovita.

V zadnji fazi preverimo verjetnost odkritja napake, če se ta pojavi na izdelku [N]. Tu smo definirali, kako bi to napako zaznali in s kakšno verjetnostjo. Za ocenjevanje verjetnosti zaznave imamo ponovno lestvico od 1 do 10.

Dobimo prioritetno število tveganja oziroma RPN. Glede na posamezni primer se dogovorimo o maksimalni vrednosti RPN, pri kateri dodatni ukrepi še niso potrebni. V našem primeru je mejno število RPN 100. Pri večini naših možnih napak smo ugotovili, da je verjetnost nastanka pod kontrolo in dodatni ukrepi niso potrebni. Preveliko število RPN smo dosegli pri točkah 4, 5 in 8. Točki 4 in 8 se nanašata na možne težave pri tesnjenju sistema in smo kot priporočen ukrep predpisali izvajanje dodatnih testov ter poglobitev znanja na področju tesnjenja, tako z uporabo tesnil

kakor tudi z uporabo ležajev samih za zagotavljanje tesnjenja sistema. 5. točka se nanaša na področje krčnih nasedov, kjer smo kot ukrep predpisali poglobitev znanja s področja krčnih nasedov in izvedbo različnih testov z različnimi premeri cevi.

S pomočjo FMEA-analize smo odkrili področja, na katerih moramo svoje zanje še izboljšani, če želimo proizvesti kakovosten izdelek. Prav tako je iz tega FMEA razvidno, da je projekt izvedljiv.

6 ZAKLJUČEK

Namen raziskovalnega dela diplomske naloge je bil priprava koncepta industrijskega enkoderja za podjetje RLS. Med razvojem koncepta smo opravili raziskavo konkurence in trga. Izmed vseh produktov industrijskih enkoderjev na trgu smo jih izbrali pet in jih temeljito preučili, ovrednotili in ocenili. Na podlagi osnovnih tehničnih zahtev ter pridobljenega znanja smo začeli z generiranjem idej za naš koncept. Razvili smo dva različna koncepta, ju ovrednotil in izbrali perspektivnejšega. Pri izboru perspektivnejše ideje oziroma koncepta je pomembno, da pozornosti ne posvečamo samo funkcijam, ki imajo neposreden vpliv na sam produkt, ampak tudi tistim, ki imajo posredni vpliv. To so spodbujanje novih inovacij v podjetju in odpiranje novih izzivov.

Ena od ključnih aktivnosti razvoja koncepta je zagotovo 3D-modeliranje celotnega sistema. Ob modeliranju smo se posvetili vsakemu sklopu posebej, se v tematiko poglobili in definirali aktivnosti, ki jih bi morali obravnavati podrobneje, to so:

- razvoj in testiranje dvodelne osi, združljive s krčnim nasedom;
- uležajenje osi in prednapetje ležajev;
- tesnjenje sistema;
- razvoj in implementacija dodatnih komunikacijskih protokolov.

Te aktivnosti so ključne za razvoj takega produkta in glede na to, da se s temi področji podjetje srečuje prvič, predstavljajo velik del razvojnih stroškov.

Vezano na ta koncept se bo v okviru predprojekta pripravila še ocena stroškov razvoja in ocena stroškov izdelave izdelka, poslovni načrt za ta razvoj z oceno tveganja ter osnutek časovnega plana razvoja. Ko bodo vse te aktivnosti izpeljane in na voljo vsi podatki, se bo vodstvo odločilo, ali je nadaljnji razvoj industrijskega enkoderja v skladu s strategijo podjetja ali ne.

Menimo, da bi linija industrijskih enkoderjev lepo dopolnila trenutno ponudbo podjetja ter odprla pot na nove trge in v nove aplikacije. Največje povpraševanje po industrijskih enkoderjih prihaja iz naftne, livarske in gradbene industrije, v teh panogah je podjetje že prisotno, ampak le v manjši meri in z omejenimi aplikacijami. Poleg tega se mi zdi strokovno področje zelo zanimivo in zagotovo ponuja tako nove izzive kot tudi nove priložnosti.

LITERATURA IN VIRI

Berdnik, M. (2021). *Iskanje, zbiranje in ocenjevanje idej v povezavi s crowdsourcingom in odprtim inoviranjem* (magistrsko delo). Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.

Dulc, J. (2020). *Načrtovanje novega proizvoda*. Pridobljeno 4. 1. 2022 z naslova https://e-ucilnice.bb.si/pluginfile.php/925/course/summary/Dulc%2C %202020-Na%C4%8Drtovanje%20proizvodov-25.3.2020.pdf.

Kuebler. (2021). *„Kuebler." Encoders Incremental 2400*. Pridobljeno 5. 1. 2022 z https://www.kuebler.com/en/products/measurement/encoders/ product-finder/product-details/2400.

Manufactur 3D. (2018). *3D Printed Prototypes for a gaming mouse produced for testing purpose Image Credit 3D Hubs*. Pridobljeno 3. 1. 2022 z https://manufactur3dmag.com/advantages-3d-printing-startups/3d-printed-prototypes-for-a-gaming-mouse-produced-for-testing-purpose-image-credit-3d-hubs/.

Okorn, I., Bešter, T. in Nagode, M. (2015). *Vrednotenje elementov rotacijskega dajalnika REA 58* (interno gradivo). Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Katedra za strojne elemente in razvojno vrednotenje.

Parts Badger. (2020). *What is a prototype?* Pridobljeno 4. 1. 2022 z https://parts-badger.com/what-is-a-prototype/.

Pogačar, Marko. 2020. Adaptivni laserski zapis absolutne pozicijske oznake na jekleno merilno palico, Doktorsko delo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

RLS d.o.o. (2019). *S-RAZ1001D02_01 - Razvoj novega izdelka* (organizacijski predpis) Žeje pri Komendi: RLS d.o.o..

RLS d.o.o. (2021). *AksIM-2.* Pridobljeno 5. 1. 2022 z https://www.rls.si/eng/ fileuploader/download/download/?d=1&file=custom%2Fupload%2FMBD01_08_EN_ datasheet.pdf.

Seybold, J., Bülau, A., Fritz, K. P., Frank, A., Scherjon, C., Burghartz, J. in Zimmermann, A. (2019). Miniaturized Optical Encoder with Micro Structured Encoder Disc. *Applied Sciences, 9*(3) 452.

SKF. (2017). *Compact and reliable motor encoder technology.* Pridobljeno 5. 1. 2022 z https://evolution.skf.com/en/compact-and-reliable-motor-encoder-technology/.

Ulrich, K. T., in Eppinger, D. S. (2016). *Product design and development.* New York: McGraw-Hill Education.

Upcraft, S. in Fletcher, R. (2003). The rapid prototyping technologies. *Assembly Automation,* 23(4), 318–330.

PRILOGI

Priloga 1: Izpolnjen obrazec DFM analize

RLS

ZASNOVA ZA PROIZVODNJO
TEM-000023-00

DESIGN FOR MANUFACTURING
KONTROLNI SEZNAM - Splošno

Projekt	Razvoj uležajanega rotacijskega enkoderja s skoznjo luknjo
Izdelali	Aljoša 01/10/2021

DA	NE		Opombe
		1.1 IZDELEK - Splošno	
x		1.1.1 Ali lahko uporabimo standardne elemente (ISO, DIN, ...)?	Ležaji, vijaki, objemka, tesnila
x		1.1.2 Ali obstajajo deli/ kosi, ki jih bi lahko uporabili (RLS obstoječi identi)?	MB080SCB20MDNT0, MRA080BC055DSE00
x		1.1.3 Ali lahko združimo različne dele izdelka v en del, da zmanjšamo število kosov v sestavu?	Ležaj uporabimo tudi kot gredno tesnilo
x		1.1.4 Ali so proizvodni postopki zapleteni in jih lahko poenostavimo?	Možnost avtomatizacije, različna orodja za pomoč pri montaži
	x	1.1.5 Ali obstajajo deli izdelka, ki bi jih bilo potrebno ojačati?	
	x	1.1.6 Ali bomo uporabljali materiale, ki niso skladni z evropskimi direktivami?	
	x	1.1.7 Ali obstajajo materiali, ki niso primerni za predviden proces?	
	x	1.1.8 Ali lahko kos zamešamo s kosom podobne oblike, ki že obstaja?	
	x	1.1.9 Ali so deli majhni in zahtevajo dodatno orodje za manipulacijo z njimi?	
x		1.1.10 Ali lahko zmanjšamo proizvodnjo odpadnega materiala pri izdelavi oziroma ga izničimo?	Rezkano ohišje, ulitki
		1.2 IZDELEK - Elektronika	
x		1.2.1 Ali lahko zanjšamo število ročno spajkanih komponent kasneje v postopku izdelave?	Konektor na modulu
	x	1.2.2 Ali obstaja priložnost za cenovno ugodnejše komponente (tveganje slabše kakovosti se ne poveča)?	
x		1.2.3 Ali lahko zmanjšamo število operacij ročnega spajkanja?	
	x	1.2.4 Ali se bodo uporabili nestandardni elementi (izven RLS obsotječih identov)?	
x		1.2.5 Ali so uporabljeni novi kabelski sestavi?	Različne dolžine
x		1.2.6 Ali je design PCB-ja primeren za vse proizvodne postopke (lakiranje, spajkanje, zalivanje, ...)?	
x		1.2.7 Ali lahko testiranje automatiziramo, poenostavimo ali zmanjšamo število testiranj?	
		2. SESTAV	
x		2.1 Ali proces sestavljanja vpliva na izgled izdelka (poškodbe, ...)?	
	x	2.2 Ali lahko uporabimo drug material, da izboljšamo proces sestavljanja?	
x		2.3 Ali sestavni deli vplivajo na sposobnost poravnave sestavnih delov?	
	x	2.4 Ali se polizdelki ne ugnezdijo pravilno?	
	x	2.5 Ali obstajajo sestavni deli, ki niso načrtovani po Poke-Yoke principu?	
x		2.6 Ali lahko konstruiramo del izdelka za učinkovitejše gnezdenje in privijačenje?	
x		2.7 Ali obstajajo izdelki, ki bi jih lahko zamešali z ostalimi izdelki podobne oblike?	Modul, ring
	x	2.8 Ali obstajajo izdelki, ki so v medfaznem embaliranju pretežki?	
	x	2.9 Ali obstajajo izdelki, ki jih težko zgrabimo, poberemo ali držimo in zahtevajo dodatno orodje?	
	x	2.10 Ali obstajajo kosi, ki se lahko prepletejo med sestavo?	
	x	2.11 Ali obstajajo kosi, ki med sestavljanjem z lahkoto odpadejo?	
	x	2.12 Ali je potrebno med izdelavo polizdelek veliko premikati?	
x		2.13 Ali so vpletene operacije, ki zahtevajo soročno uporabo?	
x		2.14 Ali obstajao kosi, ki se jih združi v polizdelek, za lažjo kasnejšo vgradnjo?	Gred in ležaji, možnost lepljenja elastoferita na gred namesto montaža ringa.
	x	2.15 Ali obstajajo posebne zahteve čistoče izdelka?	
	x	2.16 Ali izdelki in sestavi zahtevajo posebno okolje med proizvodnjo? (čisti prostori, ozemljitev, ...)	
		3. MEHANSKI DELI	
x		3.1 Ali bomo uporabili ekonomsko upravičeno metodo izdelave (odlitki, struženje, ...)?	Glede na predvideno količino bomo izbrali optimalno
	x	3.2 Ali manjkajo kakšne definicije obdelave površine?	
x		3.3 Ali obstajajo deli, ki bi jih bilo potrebno bolje definirati?	Gred, sedeži ležajev
	x	3.4 Ali uporabljamo material, ki ni združljiv s procesom?	
x		3.5 Ali obstaja alternativni material, ki bi znižal stroške?	Zamak, plastika
	x	3.6 Ali obstajajo vliti kosi z napačno dimenzioniranimi koti (draft angle)?	
		4.1 EMBALIRANJE - Materiali, struktura	
x		4.1.1 Ali se za embaliranje uporabljajo materiali, ki niso strandardni?	
x		4.1.2 Ali je oblika embaliranja nestandardna?	Nadstandardna!
x		4.1.3 Ali nimamo natančno določenega načina embaliranja?	Še ne
x		4.1.4 Ali obstaja možnost, da zmanjšamo debelino embalaže?	
x		4.1.5 Ali tolerance konstrukcije dosegajo zmožnost procesa embaliranja?	
x		4.1.6 Ali lahko uporabimo obstoječa navodila za embaliranje?	
x		4.1.7 Ali lahko zmanjšamo število nepotrebnih vložkov v embalaži?	
	x	4.1.8 Ali embaliranje uporablja nove materiale ali proces tiskanja?	

1/2

RLS

ZASNOVA ZA PROIZVODNJO
TEM-000023-00

		4.2 EMBALIRANJE - Proces	
	x	4.2.1 Ali izdelek ni zavarovan s pomočjo standardnih metod embaliranja?	
	x	4.2.2 Ali je otežen dostop do izdelka med sestavljanjem (medfazna embalaža)?	
x		4.2.3 Ali se izdelek lahko zavaruje z lažjo operacijo pakiranja?	
x		4.2.4 Ali lahko embalažo naredimo enostavnejšo za sestavljanje?	
x		4.2.5 Ali obstaja možnost avtomatizacije pakiranja?	
	x	4.2.6 Ali lahko embalaža potencialno poškoduje izdelek?	
	x	4.2.7 Ali lahko kupec z lahkoto poškoduje dele izdelka?	
	x	4.2.8 Ali lahko izdelek umestimo v embalažo tako, da ga bo kupec enostavno odpakiral?	
x		4.2.9 Ali obstaja cenejši material za pakiranje?	
		4.3 EMBALIRANJE - Končni paket	
		4.3.1 Ali so v pošiljki posamezne embalaže razporejene optimalno (izogibanje vrzelim, ...)?	
		4.3.2 Ali se lahko izdelek poškoduje med transportom?	
		4.3.3 Ali je bilo storjeno dovolj, da se zaščiti izdelke in zagotovi "zero deffect " filozofijo?	
		5. VARNOST	
	x	5.1 Ali obstajajo območja z ostrimi robovi in špičastimi deli?	
	x	5.2 Ali obstajajo območja, kjer se lahko kaj zatakne?	
	x	5.3 Ali obstaja nevarnost električnega udara?	
	x	5.4 Ali je nivo hrupa med izdelavo nedopusten?	
	x	5.5 Ali je možno, da se pojavijo reakcije med materiali (prelivanje barve, galvanska korozije, ...)?	
	x	5.6 Ali so prisotni majhni koščki, ki predstavljajo varnostne zadržke?	
x		5.7 Ali obstajajo sestavni deli za katere sumimo, da ne bodo obstali skozi življenjsko dobo izdelka?	Ležaji
		6. DRUGO	

2/2

Priloga 2: Izpolnjen obrazec dFMEA analize

| | | |

Obrazec uporabljamo za analize možnih napak in njihovih posledic pri načrtovanju celotnega sistema (sFMEA), zasnovi izdelka (dFMEA) in proizvodnega procesa (pFMEA).
Novo revizijo dokumenta izdelamo: kadar dodajamo nove zapise, ocenjujemo implementacije ukrepov, delamo večje spremembe analize ali kadar smo v projekt uvedli spremembe, ki imajo FFF vpliv na končni izdelek. Manjše spremembe označimo s spremembo datuma v vrstici zapisa (stolpec B), brez nove revizije dokumenta. Ne glede na izvedene spremembe in aktivnosti pa obvezno naredimo novo revizijo dokumenta pred zaključkom posamezne razvojne faze.
Izvedene ukrepe beležimo sproti in tudi naredimo ocena uspešnosti novega stanja (novi RPN). Preverjanje in ponovno ocenjevanje izvedenih ukrepov celostno izvedemo tudi pred vsako novo revizijo dokumenta.
Razvojna faza, v kateri je zahtevna priprava tega dokumenta, ne more biti uspešno zaključena, če niso opredeljeni in ponovno ocenjeni ukrepi za vse kritične točke sistema.

			Izboljšano stanje						
Možnost zaznavanja napake	N	RPN	Priporočeni ukrepi	Odgovornost in rok izvedbe	Rezultati rešitve	R2	P2	Z2	RPN 2
Verjetnost zaznavanje vzroka oz. oblike napake? Ukrep za preprečevanje je lahko metoda zaznavanja.		= R*P*Z	*Ukrepi za zmanjšanje nastajanje vzrokov napak ali povečanje verjetnosti odkritja*		*Kateri ukrepi so bili izvedeni?*	*R2*	*P2*	*Z2*	*RPN 2*
2 Skoraj zanesljiv	2	**32**				8			**0**
3 Visoka	3	**96**				8			**0**
1 Zanesljiva	1	**16**				8			**0**
2 Skoraj zanesljiv	2	**112**	Testiranje različnih tesnil, dodatni IP testi.	Aljoša šček 10.2.2022		8			**0**
3 Visoka	3	**144**	Testiranje različnih spojev pri različnih dimenzijah in materialih cevi.	Aljoša šček 3.3.2022		8			**0**
1 Zanesljiva	1	**10**				5			**0**
2 Skoraj zanesljiv	2	**30**				5			**0**
3 Visoka	3	**120**	Poglobitev znanja s področja ležajev in tesnenja z ležaji, sodelovanje z proizvajalcem..			8			**0**

https://d.docs.live.net/cf7a67da3b990b82/Desktop/Diploma/TEM-000019-04_FMEA_Industrijski_enkoder

2/2