



B&B  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija  
Program: Strojništvo  
Modul: Orodjarstvo

# **RAZVOJ KOMPAKTNE PRENAPETOSTNE ZAŠČITE PV STICK ZA FOTOVOLTAIČNE SISTEME**

Mentor: mag. Slavko Božič, univ. dipl. inž. str.  
Lektorica: Maja Horvat, univ. dipl. slov.

Kandidat: Dario Raiić

Ljubljana, oktober 2024

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju Slavku Božiču za vso strokovno pomoč, usmerjanje in podporo pri izdelavi diplomskega dela.

Hvala gospodu Roku Žuniču iz podjetja Raycap za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Maji Horvat, ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebna zahvala gre moji družini za vso podporo, potrpežljivost in razumevanje skozi celoten proces.

## **IZJAVA**

Študent Dario Raić izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča, univ. dipl. inž. str.

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

Dne \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

V diplomskem delu smo se osredotočili na razvoj samostojne prenapetostne zaščitne naprave za fotovoltaične sisteme, s ciljem izboljšanja varnosti in zanesljivosti teh sistemov. Kljub številnim prednostim fotovoltaičnih sistemov kot obnovljivega vira energije so ti sistemi še posebej dovzetni za prenapetosti, ki lahko povzročijo resne poškodbe komponent, kot so solarni paneli in razsmerniki, ter ogrozijo varnost in delovanje celotnega sistema.

Naša rešitev vključuje uporabo naprednih metod 3D modeliranja in prototipiranja za oblikovanje in implementacijo zaščitne naprave, ki učinkovito ščiti fotovoltaične sisteme pred prenapetostmi. S tem zmanjšujemo tveganje poškodb in podaljšujemo življenjsko dobo sistema.

V okviru diplomskega dela smo pridobili dragoceno inženirsko znanje ter praktične izkušnje, kar nam je omogočilo razvoj in testiranje lastnega prototipa. Rezultati testiranja so potrdili, da naš prototip učinkovito varuje fotovoltaične sisteme pred prenapetostmi, kar pomeni pomemben korak naprej v zagotavljanju večje varnosti in zanesljivosti teh sistemov.

Z razvojem te naprave smo prispevali k večji varnosti in zanesljivosti fotovoltaičnih sistemov, kar je pomenilo pomemben napredek pri zagotavljanju trajnostnega in varnega delovanja teh sistemov.

## **KLJUČNE BESEDE**

- Prenapetostna zaščita
- Fotovoltaični sistem
- Konstruiranje
- 3D modeliranje
- CAD

## **ABSTRACT**

This diploma thesis focuses on developing an independent surge protection device for photovoltaic systems, aiming to improve safety and reliability. Despite the numerous advantages of photovoltaic systems as a renewable energy source, these systems are particularly susceptible to surges, which can cause serious damage to components such as solar panels and inverters, jeopardizing the safety and operation of the entire system.

The proposed solution utilizes advanced 3D modelling and prototyping methods to design and implement a protective device that effectively shields photovoltaic systems from surges. This reduces the risk of damage and extends the system's lifespan.

The diploma thesis provided an opportunity to gain valuable engineering knowledge and practical experience, enabling the authors to develop and test the proposed prototype. The testing results confirmed that the prototype effectively protects photovoltaic systems from surges, representing a significant step forward in ensuring greater safety and reliability for such systems.

With the device's development, the researchers contributed significantly to the increased safety and reliability of photovoltaic systems, marking an important advancement in ensuring sustainable and safe operations.

## **KEYWORDS**

- Surge protection
- Photovoltaic system
- Constructing
- 3D modelling
- CAD

## KAZALO

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	1
1.3	Predstavitev okolja .....	2
1.4	Predpostavke in omejitve .....	2
1.5	Metode dela .....	3
<b>2</b>	<b>TEORETIČNE OSNOVE</b> .....	<b>5</b>
2.1	Fotovoltaični sistemi.....	5
2.2	Prenapetostne zaščite .....	7
2.2.1	Vzroki za prenapetosti.....	8
2.2.2	Delovanje prenapetostne zaščitne naprave .....	8
2.2.3	Klasifikacija prenapetostnih zaščit.....	9
2.2.4	Pomen prenapetostnih zaščit v fotovoltaičnem sistemu .....	10
<b>3</b>	<b>ANALIZA POTREB IN ZAHTEV</b> .....	<b>11</b>
3.1	Zaznavanje potreb.....	11
3.2	Opredelitev zahtev .....	11
<b>4</b>	<b>RAZVOJ NAPRAVE</b> .....	<b>14</b>
4.1	Konceptualna zasnova .....	14
4.2	Izbira komponent .....	14
4.3	Shematika.....	16
4.4	Opis delovanja naprave .....	18
<b>5</b>	<b>POSTOPEK RAZVOJA NAPRAVE</b> .....	<b>20</b>
5.1	Prva različica naprave PV stick.....	20
5.1.1	Razvoj in vizualizacija modela v programu Creo .....	20
5.1.2	Izdelava prototipa.....	31
5.1.3	Testiranje prototipa in analiza pomnljivosti .....	34
5.2	Druga različica naprave PV stick .....	35
5.2.1	Razvoj in vizualizacija modela v programu Creo .....	38
5.2.2	Izdelava prototipa.....	49
5.2.3	Testiranje prototipa in analiza pomnljivosti .....	51
5.3	Tretja različica naprave PV stick.....	52
5.3.1	Razvoj in vizualizacija modela v programu Creo .....	55
5.3.2	Izdelava prototipa.....	72
5.3.3	Testiranje prototipa in analiza pomnljivosti .....	74
5.4	Končna različica naprave PV stick.....	76
5.4.1	Razvoj in vizualizacija končnega modela v programu Creo .....	76
5.4.2	Izdelava končnega prototipa .....	82
5.4.3	Testiranje končnega prototipa .....	84
<b>6</b>	<b>NAROČILO ORODIJ ZA PROIZVODNJO</b> .....	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>88</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA IN VIRI</b> .....	<b>89</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz delovanja fotovoltaičnega sistema .....	6
Slika 2: Sistem zaščite pred prenapetostjo .....	9
Slika 3: Shema električnih povezav prenapetostne zaščite PV stick .....	16
Slika 4: Konceptni prikaz prenapetostne zaščite PV stick .....	17
Slika 5: Končni 3D model sestave prve različice naprave PV stick .....	21
Slika 6: Eksplozijski prikaz 3D modela prve različice naprave PV stick .....	22
Slika 7: Prikaz končne oblike ohišja prve različice naprave PV stick v prerezu .....	23
Slika 8: Pokrov prve različice naprave PV stick .....	24
Slika 9: Varistor S40 .....	25
Slika 10: Stranski varistorski sestav prve različice naprave PV stick .....	26
Slika 11: Srednji varistorski sestav prve različice naprave PV stick .....	27
Slika 12: Termični odklopnik v obeh položajih: prekinjen in sklenjen električni tok ..	28
Slika 13: Indikator v obeh položajih: sklenjen in prekinjen električni tok .....	29
Slika 14: Vizualni prikaz signalizacije prekinitve električnega toka .....	29
Slika 15: Eksplozijski pogled MC4 konektorjev, kabelske uvodnice in kablov .....	30
Slika 16: Notranjost prve različice naprave PV stick, prikazana v prerezu .....	31
Slika 17: Primer tehnične risbe kabelske elektrode .....	32
Slika 18: Dizajn nalepke prve različice naprave PV stick .....	33
Slika 19: Prototip prve različice naprave PV stick brez pokrova .....	34
Slika 20: Prototipni vzorec nosilcev za montažo naprave v kabelskem kanalu .....	36
Slika 21: Prototip prve različice naprave, nameščen na steno .....	37
Slika 22: Prototip prve različice naprave, nameščen v kabelskem kanalu .....	37
Slika 23: Končni 3D model druge različice naprave PV stick .....	39
Slika 24: Eksplozijski pogled ohišja naprave z nosilci in vijaki .....	40
Slika 25: Poglobitev v ohišju za stenski nosilec .....	42
Slika 26: Stenski nosilec .....	43
Slika 27: Kanalski nosilec .....	43
Slika 28: Vodilni zatič za vzmet .....	44
Slika 29: Rešitev za izboljšanje vodenja indikatorja .....	45
Slika 30: Vodenje indikatorja s pomočjo dodanih reber na pokrovu .....	46
Slika 31: Pokrov druge različice naprave PV stick .....	47
Slika 32: Steber za odmik kablov od indikatorja .....	48
Slika 33: Notranjost druge različice naprave PV stick, prikazana v prerezu .....	49
Slika 34: Prototip druge različice naprave PV stick brez pokrova .....	50
Slika 35: Končna oblika prototipa druge različice naprave PV stick .....	50
Slika 36: Električna shema naprave PV stick – različica 3Y .....	53
Slika 37: Električna shema naprave PV stick – različica 5Y .....	54
Slika 38: Končni 3D model tretje različice naprave PV stick v različici 5Y .....	57
Slika 39: Eksplozijski prikaz 3D modela druge različice naprave PV stick 5Y .....	58
Slika 40: Notranjost tretje različice naprave PV stick 5Y .....	60
Slika 41: Notranjost tretje različice naprave PV stick 3Y .....	60
Slika 42: Srednji varistorski sestav tretje različice naprave PV stick .....	61
Slika 43: Stranski varistorski sestav tretje različice naprave PV stick .....	62
Slika 44: Prikaz točke stika med kabelsko elektrodo in PV kablom .....	63
Slika 45: Nova zasnova indikatorja in termičnega odklopnika .....	66
Slika 46: Pokrov tretje različice naprave PV stick .....	67
Slika 47: Prikaz tesnjenja naprave z novo obliko tesnila .....	68
Slika 48: Prerez gumijaste tesnile tesnilne plošče za kable .....	69
Slika 49: Gumijasta tesnilna plošča na izhodu naprave PV stick različice 5Y .....	70

Slika 50: Kabelska objemka 5Y tretje različice naprave PV stick .....	71
Slika 51: Kabelska objemka 3Y tretje različice naprave PV stick .....	71
Slika 52: Prikaz pritrdjevanja kablov s kabelsko objemko .....	72
Slika 53: Prototip tretje različice naprave PV stick brez pokrova.....	73
Slika 54: Prototip gumijaste tesnilne plošče za tesnjenje kablov.....	74
Slika 55: Končna oblika ohišja naprave PV stick .....	77
Slika 56: Končni stranski varistorski sestav .....	78
Slika 57: Končna zasnova obeh kabelskih objemk .....	78
Slika 58: Končna zasnova tesnilne plošče na izhodni strani naprave 5Y .....	79
Slika 59: Končna zasnova mehanizma za signalizacijo stanja naprave .....	80
Slika 60: Končna oblika pokrova naprave PV stick .....	81
Slika 61: Notranjost končne različice naprave PV stick.....	81
Slika 62: Končni 3D model prenapetostne zaščitne naprave PV stick .....	82
Slika 63: Končni prototip prenapetostne zaščitne naprave PV stick.....	84
Slika 64: Primer tehnične risbe za kovino – kabelska elektroda.....	86
Slika 65: Primer tehnične risbe za plastiko – ohišje .....	86



## KRATICE IN AKRONIMI

SPD:	Prenapetostna zaščitna naprava (Surge Protective Device)
3D:	Tridimenzionalno
CAD:	Računalniško podprto načrtovanje (Computer-aided design)
AC:	Izmenični tok (alternating current)
DC:	Dvosmerni tok (Direct current)
MOV:	Metal-oksidni varistor (Metal-Oxide Varistor)
SLS:	Selektivno lasersko sintranje (Selective Laser Sintering)
SLA:	Stereolitografija (Stereolithography)
STEP:	Standard for the Exchange of Product model data

# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

V današnjem visokotehnološkem svetu, kjer so elektronske naprave nepogrešljiv del našega vsakdana, se srečujemo s stalno rastjo potreb po zanesljivem varovanju teh naprav pred poškodbami zaradi prenapetosti v električnem omrežju. Sodobni življenjski slog je močno odvisen od tehnologije, zato je ključnega pomena zagotoviti ustrezne zaščitne ukrepe. Preobremenitev lahko trajno poškoduje občutljive elektronske komponente, kar lahko privede do finančnih izgub ali prenehanja delovanja naprav. Zanesljivo varovanje pred temi tveganji je nujno za vsakogar, ki si želi ohraniti nemoteno delovanje elektronskih naprav.

Fotovoltaični sistemi so postali ključni vir obnovljive energije, ki bistveno prispeva k trajnostni energetski prihodnosti. Kljub njihovim številnim prednostim se srečujemo z izzivi glede varnosti in zanesljivosti delovanja teh sistemov. Eden od najpogostejših problemov, s katerimi se soočajo lastniki fotovoltaičnih sistemov, je prenapetost, ki lahko nastane zaradi različnih dejavnikov, kot so strele, kratkostični izpadi ali celo nihanje v omrežju.

Prenapetost lahko povzroči resno škodo na komponentah fotovoltaičnega sistema, vključno z moduli, inverterji ter drugimi elektronskimi napravami, ki so del celotnega sistema. Poleg tega lahko privede do nevarnih situacij, kot so požari ali poškodbe ljudi. Zato je nujno razviti učinkovite mehanizme za zaščito fotovoltaičnih sistemov pred prekomerno napetostjo.

V okviru diplomskega dela se bomo osredotočili na razvoj in implementacijo samostojne prenapetostne zaščitne naprave za fotovoltaične sisteme. Cilj je oblikovati napravo, ki je zanesljiva, učinkovita in dostopna ter omogoča optimalno zaščito pred škodljivimi učinki prenapetosti. Zanesli se bomo na raziskavo obstoječih rešitev, inženirsko znanje ter praktične izkušnje za razvoj in preizkus lastne rešitve, ki bo lahko nadgradila varnost in zanesljivost fotovoltaičnih sistemov.

## 1.2 Cilji naloge

Cilji diplomskega dela zajemajo celovito razumevanje in reševanje problematike prenapetostnih zaščit v fotovoltaičnih sistemih. Delo bo prispevalo k poglobljenemu poznavanju prenapetostnih zaščit in fotovoltaičnih sistemov. Ključni cilj diplomskega dela je lasten razvoj prenapetostne zaščite za fotovoltaične sisteme s pomočjo 3D modeliranja, ki bo zmanjšala tveganje poškodb zaradi prenapetosti v omrežju. Hkrati bo delo poudarilo uporabo 3D modeliranja pri razvoju in oblikovanju novih izdelkov.

Predvideni rezultati diplomskega dela vključujejo temeljit pregled in analizo prenapetostnih zaščit in fotovoltaičnih sistemov. S pomočjo 3D modeliranja bo samostojno razvita prenapetostna zaščita za fotovoltaične sisteme. Delo bo prineslo konkretno prototipno rešitev za prenapetostno zaščito v fotovoltaičnih sistemih, ki bo zagotavljala višjo stopnjo varnosti in učinkovitosti.

### **1.3 Predstavitev okolja**

Raycap je globalni proizvajalec rešitev za električno zaščito in povezljivost, ki dobavlja rešitve za industrijsko prenapetostno zaščito, povezljivost in upravljanje porabe energije za telekomunikacijske, energetske, transportne in druge industrijske trge ter rešitve za prikrivanje brezžičnih omrežij. (Raycap, 2024a)

Raycap je bil ustanovljen leta 1987 v Grčiji z namenom razvijanja in spodbujanja inovativnih rešitev za industrijske in telekomunikacijske stranke, ki bi podprle njihove poslovne cilje. Ob hitrem razvoju telekomunikacijske in industrijske infrastrukture je podjetje ostalo korak pred konkurenco, z zagotavljanjem napredne tehnologije in preseganjem pričakovanj strank z neprimerljivo predanostjo storitvam. (Raycap, 2024b)

Danes ni univerzalne rešitve, ki bi zadostila visokim zahtevam globalnih infrastrukturnih izzivov. Raycap spodbuja inovacije s prilagojenimi izdelki, ki zagotavljajo zanesljive rešitve za telekomunikacije, obnovljivo energijo, transport, obrambo in druge aplikacije. (Raycap, 2024b)

S svojim globalnim inženiringom, poudarkom na inovacijah, intelektualno lastnino in naprednimi zmogljivostmi proizvodnje lahko Raycap izpolni potrebe po velikih ali majhnih serijah izdelkov ter ohranja vrhunsko storitev za stranke, estetiko in preprostost namestitve. (Raycap, 2024b)

Z bogatim naborom prilagojenih rešitev je Raycap izbira na enem mestu za zaščito, povezovanje in prikrivanje telekomunikacijskih, energetskih in transportnih infrastrukturnih potreb. (Raycap, 2024b)

Leta 2015 je Raycap v Sloveniji pridobil tri podjetja. Prevezel je Iskro zaščite, s čimer je razširil svoje dejavnosti na področje splošne zaščite. Poleg tega je prevzel tudi podjetji Varsi in Gasstar, ki sta ključna proizvajalca komponent, uporabljenih v prenapetostnih zaščitah.

### **1.4 Predpostavke in omejitve**

Diplomsko delo se osredotoča na problem varnosti in zanesljivosti fotovoltaičnih sistemov, kjer je glavni izziv zaščita pred prenapetostjo. Prenapetostne zaščite so

bistvenega pomena za ohranjanje delovanja fotovoltaičnih sistemov in preprečevanje škode na električnih napravah. Poleg tega se problem izteka v potrebo po optimizaciji oblikovnih rešitev za prenapetostne zaščite, ki jih je mogoče doseči s pomočjo 3D modeliranja. Raziskava se bo torej ukvarjala z razumevanjem, načrtovanjem in razvojem učinkovite prenapetostne zaščite, ki bo izboljšala varnost in delovanje fotovoltaičnih sistemov, s poudarkom na uporabi 3D modeliranja. Skozi diplomsko delo bo cilj tudi izdelati lastno prenapetostno zaščito s pomočjo 3D modeliranja, kar bo prispevalo k reševanju konkretnega tehničnega problema v tej industriji.

Temeljna predpostavka je, da obstajajo prenapetostne grožnje v fotovoltaičnih sistemih, ki lahko povzročijo okvare in poškodbe električnih naprav. To je izhodišče za raziskovanje potrebe po učinkovitih prenapetostnih zaščitah. Predpostavljamo tudi, da obstaja potreba po optimizaciji oblikovnih rešitev prenapetostnih zaščit za izboljšanje njihove učinkovitosti in zanesljivosti ter da je 3D modeliranje pomembno orodje pri razvoju izdelkov, vključno s prenapetostnimi zaščitami.

Omejitve nam bodo predvsem predstavljali standardi o prenapetostnih zaščitah, ki poleg električnih lastnosti opredeljujejo tudi mehanske lastnosti, kot so materialne lastnosti, gabariti izdelka in druge dimenzijske omejitve, ki bodo močno vplivale na končno obliko izdelka.

## **1.5 Metode dela**

Za doseganje ciljev diplomskega dela bodo uporabljene različne metode, ki bodo prispevale k uspešnemu in kakovostnemu razvoju inovativne rešitve za prenapetostno zaščito fotovoltaičnih sistemov.

### **Sintetična metoda**

Sintetična metoda združuje različne elemente in koncepte v celoto, kar je ključno pri razvoju prenapetostne zaščite za fotovoltaične sisteme. Združevanje znanja s področja elektrotehnike, fotovoltaike, zaščite pred prenapetostmi ter 3D modeliranja omogoča oblikovanje inovativne rešitve, ki bo učinkovito rešila zaznane izzive.

### **Analitična metoda**

Uporaba analitične metode je ključna pri podrobni analizi zahtev, specifikacij ter obstoječih rešitev na področju prenapetostne zaščite. Temeljito razčlenjevanje električnih, mehanskih in materialnih lastnosti bo omogočilo prepoznavo ključnih elementov, ki vplivajo na uspešen razvoj in implementacijo inovativne zaščite.

### **Metoda združevanja**

Pri raziskavi in razvoju prenapetostne zaščite bomo uporabili metodo združevanja, ki vključuje pregled in analizo obstoječih raziskav ter tehnoloških rešitev na področju

fotovoltaike in zaščite pred prenapetostmi. Integracija teh izsledkov bo prispevala k celovitemu razumevanju problematike ter omogočila izvedbo inovativnega pristopa.

### **Opisna metoda**

Opisna metoda bo služila kot teoretično izhodišče za razumevanje osnovnih konceptov fotovoltaike, prenapetostne zaščite in principov 3D modeliranja. Podrobna opredelitev in razlaga ključnih pojmov bosta zagotovili trdno teoretično podlago za razvoj inovativne rešitve.

### **3D modeliranje**

Pri razvoju prenapetostne zaščite bomo uporabili metodo 3D modeliranja, ki omogoča vizualizacijo zaščitne naprave. Z uporabo računalniške programske opreme Creo bomo oblikovali tridimenzionalni model, ki bo temeljil na analizi zahtev in specifikacij. Ta model nam bo omogočal realističen prikaz oblike zaščitne naprave ter nam pomagal pri načrtovanju in optimizaciji njenih funkcij.

### **Prototipiranje**

Prototipiranje bo ključni korak v razvoju prenapetostne zaščite. Na osnovi 3D modela bomo izdelali fizični prototip prenapetostne zaščite, ki bo omogočil praktično preizkušanje in ocenjevanje delovanja. Rezultati prototipiranja bodo služili kot osnova za morebitne izboljšave in nadaljnji razvoj rešitve.

## **2 TEORETIČNE OSNOVE**

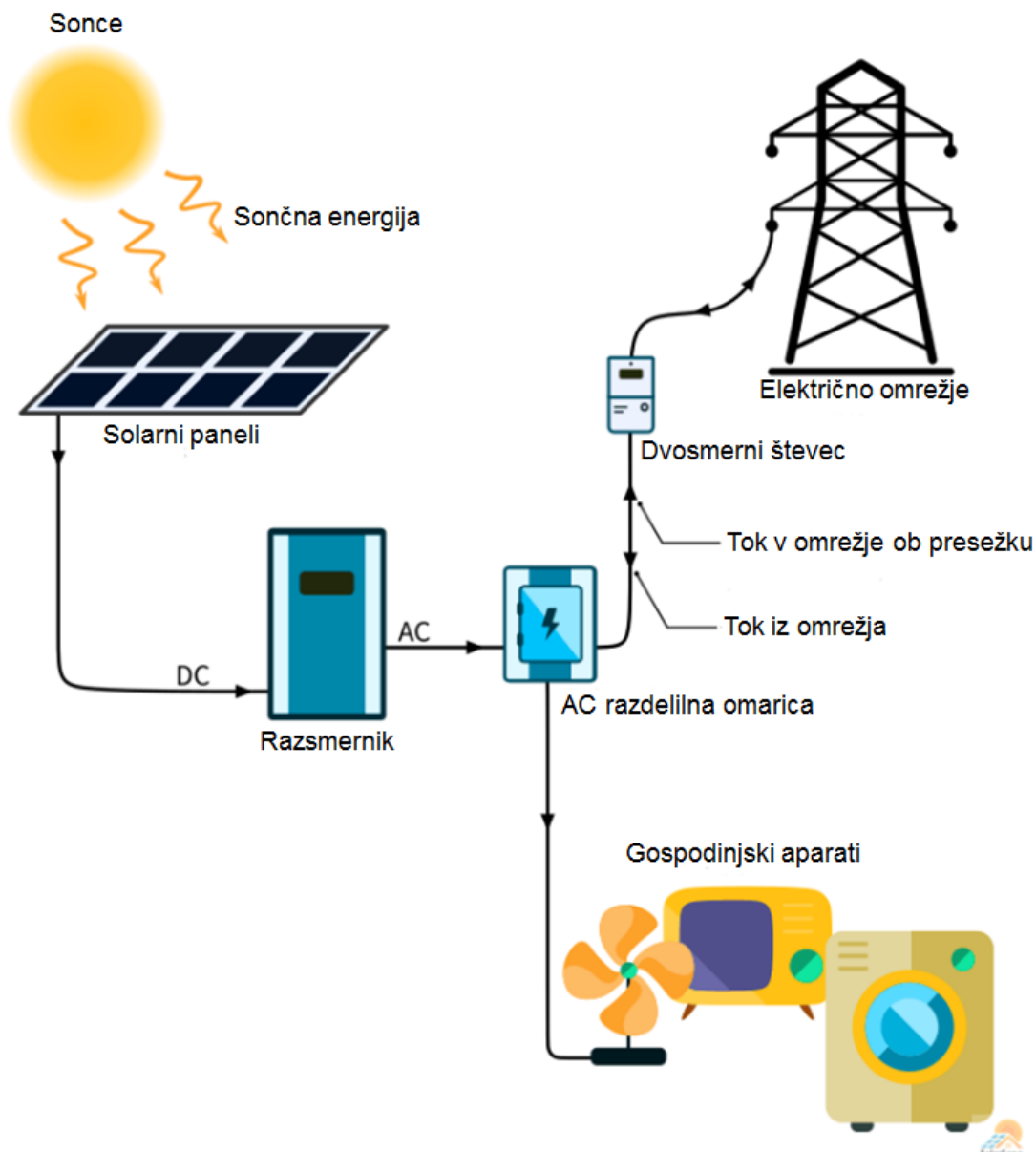
### **2.1 Fotovoltaični sistemi**

Sončna energija predstavlja eno najbolj obetavnih tehnologij na področju obnovljivih virov energije zaradi njenih številnih prednosti v primerjavi z uporabo fosilnih goriv. Metode, kot je kurjenje fosilnih goriv za proizvodnjo električne energije, so zastarele in povzročajo veliko onesnaževanja. Ta način oskrbe z energijo temelji na omejenih virih, kot so premog, nafta in les, ter ustvarja škodljive emisije, ki negativno vplivajo na okolje in zdravje ljudi po celem svetu. Fosilnih goriv je sicer dovolj, vendar niso neskončna. To pomeni, da bo v prihodnosti prišel čas, ko bodo fosilna goriva pošla. Zaradi omejenosti fosilnih goriv je nujno razviti alternative za proizvodnjo energije. (Raycap, 2023)

Solarna tehnologija je odlična alternativa, saj izrablja obnovljiv vir energije – sončno svetlobo. Sistemi solarnih panelov pretvarjajo sončno svetlobo v električno energijo brez emisij in brez izgube vira goriva. Ta tehnologija je zanesljiva, varna ter obnovljiva, kar pomeni, da ima potencial za masovno proizvodnjo električne energije. (Raycap, 2023)

#### **Delovanje fotovoltaičnega sistema**

Fotovoltaični sistemi temeljijo na principu pretvarjanja sončne energije neposredno v električno energijo s pomočjo fotovoltaičnih celic.



Slika 1: Prikaz delovanja fotovoltaičnega sistema  
(Vir: Solar Sena, 2021)

Pretvorba sončne energije v električno se začne, ko sončna svetloba zadane površino solarnega panela. Ta je sestavljen iz številnih sončnih celic, ki so ključne za delovanje fotovoltaičnega sistema. Te celice pretvarjajo sončno energijo v električno. Moč, ki jo proizvede posamezna celica, se seštevava v skupno moč panela. Sončne celice so narejene iz fotovoltaičnega materiala, predvsem kristalnega silicija, ki ima posebne lastnosti polprevodnika. Sonce oddaja sončno svetlobo, ki vsebuje energijo v obliki fotonov. Ko sončna svetloba zadane fotovoltaične celice, fotoni v svetlobi vzburijo elektrone v silicijevih atomih, kar povzroči, da se ti elektroni premaknejo in ustvarijo električni tok. Ta proces imenujemo fotovoltaični učinek. (Solar Sena, 2021)

Električna energija, ki jo proizvajajo solarni paneli, je enosmerni tok (DC), medtem ko je električna energija v omrežju, ki je primerna za uporabo v gospodinjskih aparatih, izmenični tok (AC). Zato je treba enosmerni tok poslati v pretvornik toka (razsmernik), ki pretvarja neenakomeren DC tok iz solarnih panelov v AC tok, ki je združljiv z omrežjem. (Solar Sena, 2021)

Izmenični tok (AC) iz razsmernika potuje naprej v AC razdelilno omarico. Ta elektro omarica ima ključno vlogo pri distribuciji izmeničnega toka po hiši in pri zagotavljanju zaščite pred preobremenitvami in kratkimi stiki. Iz AC razdelilne omarice se izmenični tok pošilja do različnih gospodinjskih aparatov, kot so hladilnik, pečica, luči in druge električne naprave, ki za svoje delovanje potrebujejo izmenični tok. (Solar Sena, 2021)

Poleg tega je sistem povezan tudi z električnim omrežjem. Dvosmerni števec meri pretok električne energije v obe smeri – tako iz omrežja v hišo kot iz hiše v omrežje. Ko fotovoltaični sistem proizvede več električne energije, kot jo gospodinjski aparati porabijo, presežek električne energije teče iz AC razdelilne omarice skozi dvosmerni števec in naprej v električno omrežje. Ko proizvodnja sončnih celic ni dovolj za pokritje porabe v gospodinjstvu, se manjkajoča električna energija črpa iz omrežja nazaj skozi dvosmerni števec do AC razdelilne omarice in nato do gospodinjskih aparatov. (Solar Sena, 2021)

Na sliki 1 niso prikazane nobene baterije. Baterije so lahko del sistema, vendar niso nujne, zlasti pri stanovanjskih projektih. Te shranjujejo presežno energijo, ki je na voljo v primeru izpada električne energije. Vendar so baterije drage in pogosto niso vključene v osnovni sistem. Nekateri izvajalci sončnih sistemov ponujajo baterijske rešitve kot dodatno opremo. (Solar Sena, 2021)

Tako fotovoltaični sistem omogoča učinkovito izrabo sončne energije za proizvodnjo električne energije, njeno distribucijo v gospodinjstvu ter izmenjavo presežne energije z električnim omrežjem. (Solar Sena, 2021)

## **2.2 Prenapetostne zaščite**

Prenapetostna zaščitna naprava (angl. Surge Protective Device – SPD) ščiti občutljivo elektronsko opremo pred poškodbami, ki jih povzročajo električne prenapetosti. Električna prenapetost je nenaden in močan dvig napetosti v električnem omrežju, ki lahko doseže takšno moč, da poškoduje ali uniči naprave, priključene na električno omrežje. Tudi če naprave po prenapetosti še naprej delujejo, se lahko njihova življenjska doba zaradi tega občutno skrajša. (Schneider Electric Blog – Keith Willey, 2022)



SPD torej igrajo ključno vlogo pri zaščiti občutljivih električnih naprav in sistemov pred poškodbami, ki jih lahko povzročijo nenadne in močne električne prenapetosti. (Schneider Electric Blog – Keith Willey, 2022)

### 2.2.1 Vzroki za prenapetosti

Prenapetosti v električnem sistemu lahko povzročijo različni dejavniki. Med najpogostejšimi vzroki so:

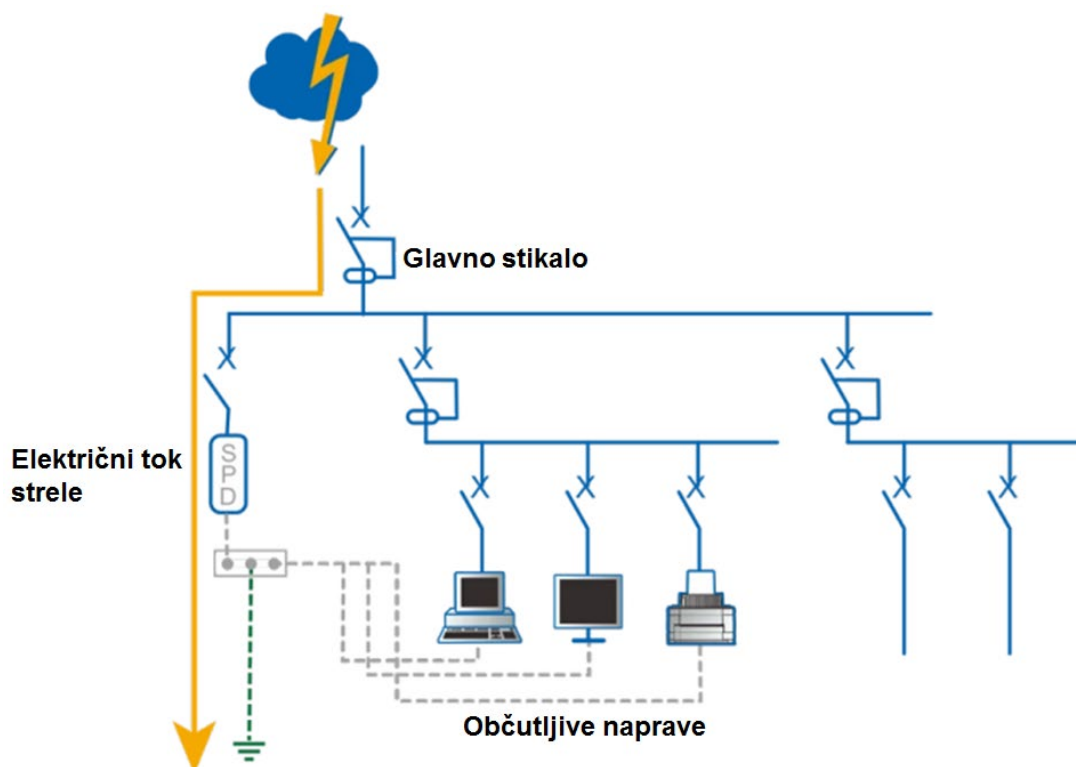
- **Električna preobremenitev:** Do preobremenitve pride, ko poskušamo iz ene električne napeljave črpati preveč energije oziroma ko električni sistem poskuša zagotoviti več energije, kot jo lahko varno prenese. To se zgodi, če hkrati priključimo preveč naprav ali uporabimo napravo z visoko porabo energije. Posledica je povečan tok, ki vodi do prenapetosti.
- **Poškodovana napeljava:** Napeljava je ključna za prenos električne energije. Če je električna napeljava poškodovana, lahko to povzroči zmanjšanje električnega upora v sistemu. To pomeni, da lahko tudi majhna napaka, kot je izpostavljena žica, povzroči nevarno povečanje toka, kar vodi do prenapetosti.
- **Udari strele:** Električni sistemi so zasnovani za obvladovanje običajnih tokov. Ko strela udari v električno omrežje, mora ta sprejeti izredno velik tok, kar povzroči velik porast in s tem nenadno ter močno prenapetost.
- **Izpad elektrike:** Ob izpadu elektrike, na primer med nevihto ali zaradi okvare v omrežju, lahko ob ponovnem vklopu sistema pride do nenadnega skoka v toku. Ta skok lahko povzroči prenapetost, ki lahko poškoduje naprave, priključene na električno omrežje. (Roman homeservices – Roman Admin, 2018)

### 2.2.2 Delovanje prenapetostne zaščitne naprave

Prenapetostne zaščitne naprave (SPD) so nameščene med virom napajanja in opremo, ki jo ščitijo. Delujejo tako, da nenehno spremljajo električni tok in ga preusmerjajo ali omejujejo, če preseže določeno mejno vrednost. S tem preprečujejo, da bi presežena električna energija dosegla opremo in povzročila poškodbe, ter tako ščitijo povezano elektronsko opremo. (Raycap, 2016)

Prenapetosti se pojavijo izjemno hitro in lahko preidejo skozi glavno stikalo oziroma električne odklopnike, preden lahko ti prekinejo tok. To se zgodi zato, ker so odklopniki zasnovani za zaščito pred preobremenitvami, ne pred prenapetostmi. Prenapetostne zaščitne naprave so zasnovane tako, da ostanejo pasivne in ne vplivajo na delovanje sistema, dokler napetost v omrežju ne preseže njihove vklopne napetosti. Ko se to zgodi, komponente SPD preidejo iz stanja visoke upornosti v stanje nizke upornosti, kar pomeni, da postanejo prevodne in preusmerijo presežni

tok stran od omrežja, običajno do ozemljitvenega vodnika. Preostala napetost se nato prenese naprej po omrežju. Ti prehodni prenapetostni dogodki trajajo le mikrosekunde. Po preusmeritvi prehodne napetosti se SPD samodejno ponastavi nazaj v prvotno stanje visoke upornosti. (Schneider Electric Blog – Keith Willey, 2022)



Slika 2: Sistem zaščite pred prenapetostjo  
(Vir: LSP – Glen Zhu, 2022)

- **Prenapetostna zaščitna naprava (SPD):** Ščiti električne naprave pred prenapetostmi tako, da ob nenadnem povečanju napetosti prenese presežek toka v zemljo.
- **Glavno stikalo:** Pogosto nameščeno pred SPD, izklopi električni sistem v primeru kratkega stika ali preobremenitve, da zaščiti celoten sistem.
- **Občutljive naprave:** Električne naprave, ki so posebej občutljive na napetostne spremembe. SPD zmanjšuje napetost, ki doseže te naprave, in prepreči poškodbe.
- **Električni tok strele:** Tok, ki ga povzroči udar strele in ga SPD preusmeri, da zaščiti naprave. (LSP – Glen Zhu, 2022)

### 2.2.3 Klasifikacija prenapetostnih zaščit

Prenapetostne zaščitne naprave (SPD) se klasificirajo glede na njihovo funkcionalnost in mesto namestitve v električnem sistemu. Ta razvrstitev je pomembna za zagotavljanje ustrezne zaščite različnih vrst električnih sistemov pred prenapetostmi. Po standardih, kot je IEC 61643-11, so SPD razdeljeni na tri glavne tipe:

- **Tip 1 SPD:** Uporabljajo se za zaščito pred neposrednimi udari strele in visokimi tokovi. Običajno se nameščajo na vhodu v stavbo in nudijo osnovno zaščito celotnega električnega omrežja.
- **Tip 2 SPD:** Uporabljajo se za zaščito pred posrednimi učinki strel in prenapetostmi, ki jih povzročajo preklopne operacije. Nameščajo se v razdelilnih omaricah in ščitijo glavni električni sistem pred manj intenzivnimi prenapetostmi.
- **Tip 3 SPD:** Uporabljajo se za zaščito končnih naprav. Nameščajo se neposredno blizu zaščitenih naprav in zagotavljajo dodatno zaščito pred prenapetostmi, ki lahko preidejo skozi prejšnje zaščitne stopnje. (Hermi – Janez Podlipnik 2021)

#### 2.2.4 Pomen prenapetostnih zaščit v fotovoltaičnem sistemu

Zaščita pred prenapetostjo je v fotovoltaičnem sistemu ključna za varovanje opreme, ki se uporablja za proizvodnjo energije iz sončne svetlobe. Solarna proizvodnja energije vključuje izpostavljene solarne panele, ki so povezani s krmilno opremo preko kablov. Ker morajo povezave uporabljati kable, ki zlahka prevajajo elektriko, to opremo izpostavljajo električnim sunkom, če v sistem ni vgrajena ustrezna zaščita pred prenapetostjo. Brez ustreznih naprav za zaščito pred prenapetostjo lahko strele povzročijo električne sunke, ki bi poškodovali občutljivo opremo. Naprave za zaščito pred prenapetostjo omogočajo normalen pretok elektrike ter hkrati preprečujejo nevarne prenose električne energije. S tem se omejuje škoda na opremi po strelnem udaru le na panel oziroma bolj omejeno območje, pri čemer se lahko poškodovani paneli relativno preprosto zamenjajo, kar omogoča hitrejšo obnovo sistema. Zaščita pred prenapetostjo tudi omogoča, da sistemi ostanejo funkcionalni tudi po bližnjih udarih strele, kar je ključno za neprekinjeno proizvodnjo sončne energije. Sistematična uporaba zaščite pred prenapetostjo pomaga optimizirati proizvodnjo sončne energije in ohranjati sisteme delujoče čim dlje. (Raycap, 2024c)

Vlaganje v kakovostno prenapetostno zaščito je tako ključnega pomena za dolgoročno uspešnost in zanesljivost fotovoltaičnih sistemov.

## **3 ANALIZA POTREB IN ZAHTEV**

### **3.1 Zaznavanje potreb**

Za uspešno oblikovanje in razvoj prenapetostne zaščitne naprave za fotovoltaične sisteme je bila najprej ključna prepoznava potreb, ki so se pojavile v začetnih fazah projekta. Projekt se je začel na pobudo nemškega podjetja, specializiranega za industrijske električne komponente, avtomatizacijo in povezljivost. Njihova želja je bila razširiti svojo produktno linijo z novo zaščitno napravo, kar je pripeljalo do sodelovanja z Raycapom, ki je prevzel nalogo razvoja in proizvodnje v svojem oddelku v Komendi. Ta projekt je prejel ime PV stick.

Na začetnem sestanku z naročnikom so bili natančno opredeljeni cilji in specifične zahteve za razvoj naprave. Ključni izziv je bil oblikovati napravo, ki bo učinkovito zaščitila fotovoltaične sisteme pred prenapetostmi, ki lahko nastanejo zaradi nenadnih napetostnih sunkov, kot so strele. To pomeni, da mora naprava zaščititi električno opremo, zagotoviti dolgotrajno zanesljivost in zmanjšati tveganje za poškodbe. Poleg tega mora biti naprava tudi preprosta za namestitev in uporabo.

Rezultat uvodnega sestanka je bil seznam zahtev, znan kot LoR (List of Requirements), ki jasno določa vse tehnične in funkcionalne specifikacije, ki jih mora izpolnjevati končni izdelek. LoR je ključni dokument, ki usklajuje pričakovanja naročnika z dejansko zasnovano napravo in zagotavlja, da bo izdelek v celoti ustrezal predpisanim standardom.

Po potrditvi LoR so bili izvedeni nadaljnji notranji sestanki, na katerih sem bil imenovan za konstrukterja projekta. Na teh sestankih smo skupaj pregledali in analizirali ključne parametre, ki bodo vodili razvoj naprave.

Natančno prepoznavanje potreb in zahtevanih specifikacij je bistvenega pomena za uspešno izvedbo projekta. Poglobljeno razumevanje potreb omogoča, da se izognemo težavam, kot so nepričakovani stroški, zamude pri izvedbi in nezadovoljstvo strank. Z upoštevanjem teh informacij bomo razvili napravo, ki bo dolgoročno zagotavljala zanesljivo zaščito fotovoltaičnih sistemov ter prispevala k njihovemu optimalnemu delovanju in daljši življenjski dobi.

### **3.2 Opredelitev zahtev**

Za uspešen razvoj prenapetostne zaščitne naprave za fotovoltaične sisteme je nujno, da natančno opredelimo in razumemo vse zahteve, ki jih mora izdelek izpolnjevati. Te zahteve izhajajo iz dokumenta LoR (List of Requirements), ki je bil oblikovan v

sodelovanju z naročnikom in zajema tako tehnične kot tudi okoljske in konstrukcijske specifikacije.

**Tehnične zahteve:** Osnovni cilj naprave je zagotoviti učinkovito zaščito fotovoltaičnih sistemov pred prenapetostmi. Naprava mora združevati zaščito tipa I in tipa II, kar pomeni, da mora biti zmožna zaščititi pred neposrednimi udari strel in tudi pred posrednimi prenapetostmi. Zahtevana nazivna prebojna napetost ( $U_p$ ) je 4200 V, medtem ko je nazivna delovna napetost ( $U_{cpv}$ ) 1100 V DC, kar zagotavlja, da bo naprava učinkovita v različnih obratovalnih pogojih. Poleg tega mora naprava prenesti impulzni tok ( $I_{imp}$ ) 5 kA in maksimalni prenapetostni tok ( $I_{max}$ ) 40 kA, kar zagotavlja zanesljivo delovanje tudi v ekstremnih situacijah. Maksimalna celotna prenapetostna kapaciteta naprave ( $I_{total}$ ) znaša 10 kA, kar povečuje njeno zanesljivost v različnih obratovalnih pogojih. Prav tako mora naprava prenesti največji stalni tok ( $I_L$ ) 20 A, kar omogoča stabilno in varno delovanje brez preobremenitve.

Poleg električnih specifikacij mora naprava izpolnjevati tudi tehnične zahteve glede zaščite. Zaščitni razred IP66 zagotavlja visoko stopnjo zaščite pred vdorom prahu in vode, medtem ko zaščitni razred IK06 zagotavlja odpornost na mehanske udarce. Ta kombinacija zaščitnih standardov zagotavlja, da bo naprava zanesljivo delovala tudi v zahtevnih okoljskih pogojih.

**Konstrukcijske zahteve:** Naprava mora biti zasnovana tako, da omogoča preprosto namestitvev in uporabo, pri čemer mora biti čim bolj kompaktna in ploščata, kar omogoča montažo v omejenih prostorih blizu inventerja. Poudarek je na nizkih proizvodnih stroških, kar pomeni, da mora biti konstrukcija čim bolj preprosta, vendar brez kompromisov glede učinkovitosti. Maksimalni zunanji gabariti naprave so določeni na 200 mm dolžine, 60 mm višine in 60 mm širine, brez upoštevanja konektorjev.

Pri razvoju naprave za prenapetostno zaščito fotovoltaičnih sistemov je bistvena tudi skrbna izbira materialov. S tem bomo zagotovili, da bo naprava učinkovita, zanesljiva in dolgotrajna v vseh predvidenih delovnih in okoljskih pogojih. Naprava mora biti narejena iz materialov, ki so odporni na UV sevanje, vlago in visoke temperature, kar zagotavlja odpornost na vremenske vplive. Ohišje mora biti v barvi RAL7035 (svetlo siva) za skladnost z vizualnimi zahtevami. Poleg tega morajo imeti materiali visoko mehansko trdnost, da prenesejo udarce in mehanske obremenitve, ter dobro električno izolacijo za preprečevanje neželenih tokov.

Vizualni prikaz stanja delovanja mora biti jasno viden, da lahko uporabnik hitro diagnosticira morebitne težave, pri čemer ni potrebe po daljinskem stiku. Vse komponente, ki ščitijo pred prenapetostjo, morajo biti nedostopne uporabniku, s čimer se zagotavljata varnost in zanesljivost naprave. Naprava je opremljena tudi z 0,5 m

dolgim ozemljitvenim kablom premera 16 mm<sup>2</sup>, kar zagotavlja zanesljivo ozemljitev naprave in s tem varnost uporabnikov.

**Okoljske zahteve:** Naprava mora biti zasnovana tako, da deluje zanesljivo v različnih okoljskih pogojih. Nameščena mora biti na lokaciji, kjer ne bo izpostavljena neposredni sončni svetlobi. Temperaturno območje delovanja sega od -40 °C do +50 °C, z maksimalno delovno višino do 2000 metrov nadmorske višine. Zaščitni razred IP66 zagotavlja visoko stopnjo zaščite pred vdorom prahu in vode, medtem ko zaščitni razred IK06 zagotavlja odpornost na mehanske udarce. Naprava mora biti izdelana iz materialov, ki so odporni proti UV sevanju in drugim vremenskim vplivom, barva ohišja pa mora biti RAL7035 (svetlo siva), kar omogoča skladnost z vizualnimi zahtevami.

**Dodatne zahteve:** Naprava je opremljena z MC4 konektorji za preprosto povezovanje s fotovoltaičnim sistemom. Pokrov naprave je prozoren in pritrjen s torx vijaki, kar zagotavlja dodatno varnost in omogoča vizualni pregled brez potrebe po odpiranju naprave. Oznake in druge vizualne specifikacije morajo biti jasno označene na napravi.

Naprava je certificirana in skladna z mednarodnimi standardi, kot so IEC61439-2:2021-10 (standard za nizkonapetostne stikalne in krmilne naprave), EN 61643-31 in EN 50539-11 (standardi za prenapetostne zaščitne naprave v fotovoltaičnih sistemih), UL 1449 Ed. 5 (ameriški standard za prenapetostno zaščito) ter RoHS in REACH (standarda, ki urejata omejevanje nevarnih snovi in registracijo kemikalij). Skladnost s temi standardi zagotavlja, da naprava izpolnjuje stroge tržne zahteve ter ponuja visoko stopnjo varnosti in zanesljivosti.

Pri razvoju izdelka bomo sodelovali s strokovnjaki na področju elektrotehnike, ki bodo zagotovili, da bodo vse električne komponente pravilno izbrane in ustrezno nameščene, s čimer bomo dosegli visoko raven zanesljivosti in učinkovitosti naprave. Sproten pregled in morebitne prilagoditve zahtev bodo omogočili, da bo končni izdelek ustrezal vsem specifikacijam in pričakovanjem naročnika.

## 4 RAZVOJ NAPRAVE

### 4.1 Konceptualna zasnova

Konceptualna zasnova naprave za prenapetostno zaščito fotovoltaičnih sistemov temelji na ključnih zahtevah po zanesljivosti, učinkovitosti in preprosti namestitvi.

Osnovni cilj naprave je zagotoviti učinkovito zaščito pred prenapetostmi, ki lahko nastanejo zaradi neposrednih udarov strele ali drugih virov prenapetosti v sistemu. V skladu s tem je naprava zasnovana tako, da združuje zaščito tipa I in tipa II, kar omogoča celovito zaščito pred različnimi vrstami prenapetostnih nevarnosti.

Pri snovanju naprave je poseben poudarek namenjen kompaktni obliki, ki omogoča namestitvev v omejenih prostorih blizu inverterja. Maksimalni zunanji gabariti naprave so omejeni na dolžino 200 mm, višino 60 mm in širino 60 mm, kar omogoča optimalno izrabo prostora brez kompromisov glede učinkovitosti. Naprava mora prav tako zagotavljati jasno vizualno spremljanje stanja delovanja, kar uporabniku omogoča hitro diagnosticiranje morebitnih težav.

Za zagotovitev dolgotrajnega delovanja naprave v različnih okoljskih pogojih, je bila posebna pozornost posvečena izbiri materialov, ki so odporni na UV sevanje, vlago in visoke temperature. Ohišje naprave mora biti izdelano iz materialov z visoko mehansko trdnostjo in dobro električno izolacijo, kar preprečuje mehanske poškodbe ter zagotavlja varno delovanje brez neželenih tokov.

Poleg tega je naprava opremljena z ozemljitvenim kablom dolžine 0,5 m in premera 16 mm<sup>2</sup>, ki zagotavlja zanesljivo ozemljitev in dodatno varnost uporabnikom. S preprosto konstrukcijo in jasnimi specifikacijami materialov naprava izpolnjuje vse predvidene funkcionalne zahteve ter obenem ostaja cenovno dostopna.

### 4.2 Izbira komponent

Pri razvoju naprave za prenapetostno zaščito fotovoltaičnih sistemov je izbira komponent ključnega pomena za zagotovitev zanesljivega in učinkovitega delovanja.

**Ohišje** in **pokrov** predstavljata osnovno zaščito naprave pred zunanjimi vplivi, medtem ko ohišje hkrati služi tudi kot strukturalna podpora za vse notranje komponente naprave. Med ohišjem in pokrovom je **tesnilo**, ki preprečuje vdor prahu in vode ter zagotavlja ustrezno zaščito notranjosti naprave.

SPD mora vsebovati vsaj eno nelinearno komponento, ki spreminja svojo upornost glede na napetost in prehaja med stanjem visoke ter nizke upornosti. Ena takšnih komponent je **MOV (Metal-Oxide Varistor)**. MOV je ključna električna komponenta

in služi kot glavna zaščita pred prenapetostjo. MOV deluje tako, da ob normalnih pogojih ohranja visoko upornost, medtem ko se takrat, ko napetost preseže določeno mejo, njegova upornost drastično zmanjša. To povzroči prevajanje in preusmeritev presežne napetosti, s čimer prepreči, da bi prenapetost poškodovala občutljive elektronske komponente. MOV se lahko sčasoma obrabi, kar zmanjša njegovo učinkovitost, zato ga je treba redno preverjati in po potrebi zamenjati. (Nema Surge Protection Institute, 2024)

**Termični odklopnik** deluje kot varnostni mehanizem, ki prekine električni tok v primeru pregrevanja varistorja zaradi previsoke napetosti, kar preprečuje poškodbe naprave.

Naprava vključuje tudi **PV (fotovoltaične) kable**, ki so namenjeni prenosu električne energije v sistemu, in **ozemljitveni kabel**, ki zagotavlja zanesljivo ozemljitev. Za pritrditev ozemljitvenega kabla v notranjosti ohišja se uporablja **kabelski čevelj**.

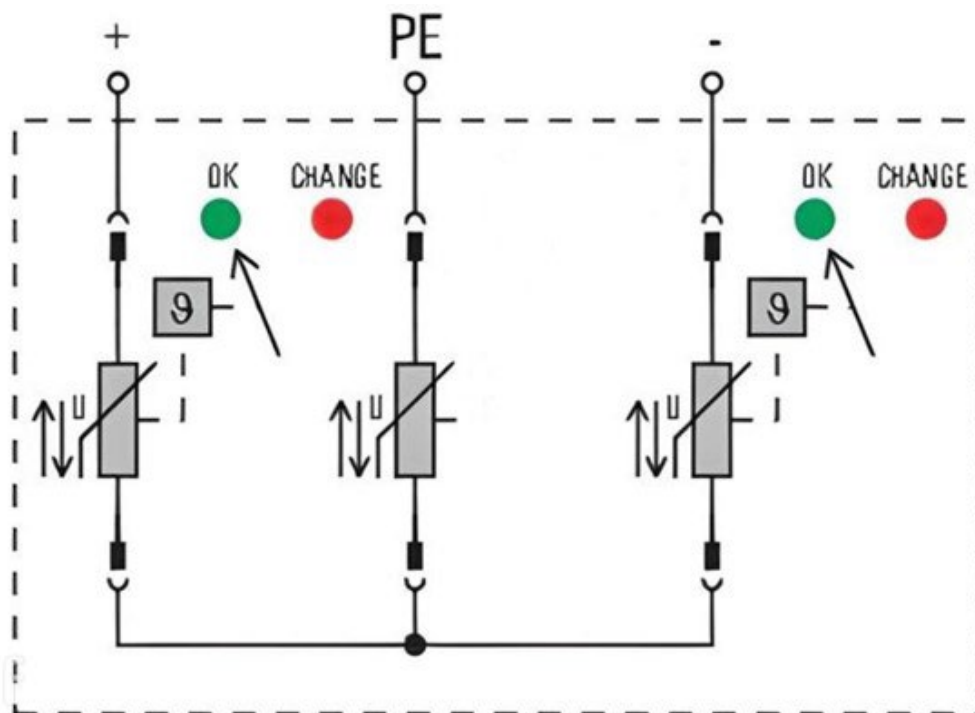
Za vizualno prikazovanje delovanja naprave je nameščena **indikacija**, ki se premakne, ko termični odklopnik prekine tok, kar omogoča takojšnje zaznavanje prekinitve. Premik indikacije je omogočen z **vzmetjo**, ki je pritrjena nanjo.

Za pritrditev pokrova in komponent znotraj SPD se uporabljajo **vijaki**. Naprava je opremljena tudi z **MC4 konektorji** za povezavo s fotovoltaičnim sistemom.

**Nalepka z informacijami** na pokrovu naprave vsebuje vse pomembne podatke, vključno s tehničnimi specifikacijami in varnostnimi opozorili, kar olajša zaznavanje in uporabo naprave.



### 4.3 Shematika



Slika 3: Shema električnih povezav prenapetostne zaščite PV stick  
(Lastni vir)

Shema prikazuje električni diagram naprave za prenapetostno zaščito PV stick. Diagram vključuje tri Metal-Oxide Varistorje (MOV) za zaščito pred prenapetostmi, dva termična odklopnika, ki delujeta kot varnostni mehanizem pri pregrevanju, ter dve indikaciji za vizualni prikaz stanja delovanja naprave.

Diagram natančno prikazuje povezave med posameznimi komponentami ter njihov položaj v sistemu, kar omogoča jasno razumevanje osnovne strukture naprave in njenega delovanja.

#### Razlaga sheme:

Na levi strani sheme je prikazan Metal-Oxide Varistor (MOV), povezan s pozitivnim polom (+) naprave ter z MOV na sredini in s termičnim odklopnikom. Ta konfiguracija omogoča učinkovito zaščito pred prenapetostmi na pozitivni strani naprave, saj MOV odvaja presežne napetosti, kar preprečuje škodljive učinke na preostale komponente.

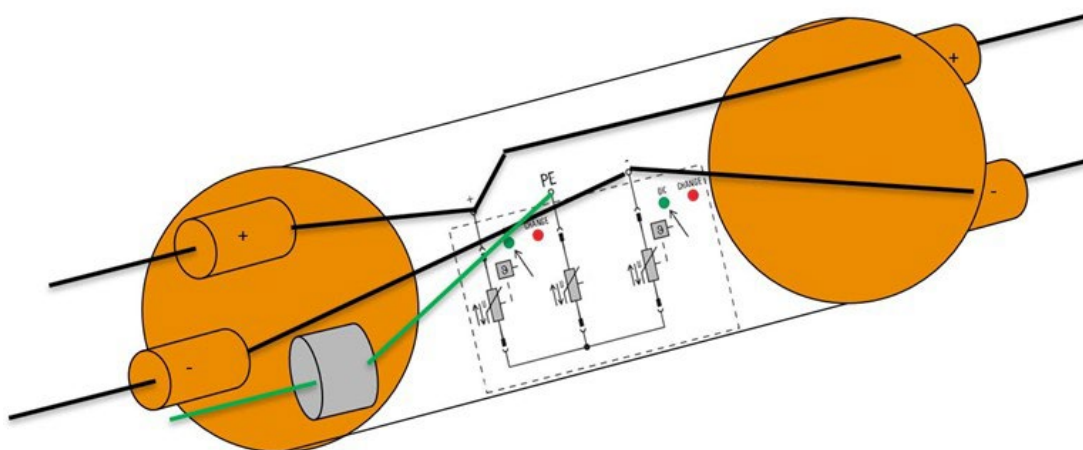
Termični odklopnik je povezan z indikatorjem, ki omogoča vizualno spremljanje statusa delovanja naprave. Nad indikatorjem sta prikazana dva kroga: zeleni krog označuje, da naprava deluje pravilno in je v normalnem stanju, medtem ko rdeči krog

signalizira, da naprava ni v ustreznem stanju in da je prišlo do prekinitve električnega toka.

Na desni strani sheme je drugi MOV, povezan z negativnim polom (–) naprave, MOV na sredini in drugim termičnim odklopnikom. Ta povezava zagotavlja zaščito pred prenapetostmi na negativni strani naprave.

Drugi termični odklopnik je prav tako povezan z indikatorjem, ki je enak in deluje na enak način kot prvi. Omogoča natančno prikazovanje stanja naprave.

MOV na sredini povezuje MOV (levo) in MOV (desno) ter je povezan z ozemljitvenim vodnikom (PE). Ta povezava zagotavlja ustrezno ozemljitev sistema in dodatno zaščito pred prenapetostmi, kar omogoča stabilno in zanesljivo delovanje naprave.



*Slika 4: Konceptni prikaz prenapetostne zaščite PV stick  
(Lastni vir)*

Konceptni prikaz naprave za prenapetostno zaščito ponuja poenostavljeno vizualizacijo strukture naprave, za lažje razumevanje njenega delovanja in postavitve komponent. Na tej sliki so prikazane vse glavne komponente v preprosti obliki. Ta prikaz temelji na električni shemi naprave (slika 1)

Na sredini prikaza je vidna električna shema naprave, ki prikazuje povezave in funkcije ključnih komponent. Okoli sheme je narisano ohišje naprave, kar jasno prikazuje, da so vse komponente zaščitene in nameščene znotraj tega ohišja.

#### **Razlaga konceptnega prikaza:**

- **Ohišje:** Ohišje obkroža shemo in predstavlja fizično strukturo naprave, ki zagotavlja zaščito in nosi vse notranje komponente. Ohišje je prikazano z dodanimi štirimi konektorji in kabelsko uvodnico.
- **Konektorji:** Na zunanji strani ohišja so štirje konektorji, ki omogočajo električne povezave naprave z različnimi deli sistema. Vsaka stran ohišja ima en konektor za pozitivni (+) pol in en konektor za negativni (–) pol. Ena stran ohišja je preko teh konektorjev povezana z nizom fotovoltaičnih panelov, medtem ko je druga stran preko konektorjev povezana z inverterjem. Ta stran je dodatno opremljena s kabelsko uvodnico.
- **Kabelska uvodnica:** Na eni strani ohišja je prikazana kabelska uvodnica, ki omogoča prehod ozemljitvenega kabla (PE) skozi ohišje. Ta komponenta zagotavlja pravilno ozemljitev in zaščito sistema.
- **Povezave:** V konceptnem prikazu je jasno vidno, da je pozitivni (+) pol povezan z enim konektorjem na eni strani ohišja in z drugim konektorjem na nasprotni strani. Enako velja za negativni (–) pol, ki je povezan z ustreznima konektorjema na obeh straneh ohišja.

Konceptni prikaz jasno prikaže, kako so komponente naprave organizirane znotraj ohišja in kako so povezane z zunanjimi priključki.

#### 4.4 Opis delovanja naprave

Naprava za prenapetostno zaščito PV stick je zasnovana za zaščito fotovoltaičnih sistemov pred škodljivimi učinki prenapetosti, ki lahko nastanejo zaradi različnih dejavnikov, kot so strele, motnje v električnem omrežju ali nenadni sunki napetosti. Njeno delovanje kot celota vključuje več ključnih korakov in komponent, ki sodelujejo za zagotavljanje celovite zaščite sistema.

1. **Normalno delovanje:** V običajnih, stabilnih pogojih, ko napetost v sistemu ne presega varnih ravni, MOV delujejo v svojem normalnem stanju z visoko odpornostjo in ne prevzamejo presežnih napetosti. V tem stanju naprava omogoča normalen pretok električne energije brez posredovanja, indikatorji pa kažejo zeleno, kar pomeni, da naprava deluje pravilno in brez napak.
2. **Zaznavanje prenapetosti:** Metal-Oxide Varistorji (MOV) so glavni zaščitni elementi te naprave. Ko naprava zazna povečanje napetosti nad določeno mejo, se MOV odzovejo tako, da prevzamejo presežno napetost. MOV delujejo na principu, da pri dosegu kritične napetosti spremenijo svojo odpornost in omogočijo odvod presežne energije v ozemljitveni sistem.
3. **Sprožitev termičnega odklopnika:** Ko naprava za prenapetostno zaščito zazna presežno napetost, se MOV začnejo segrevati, saj prevzamejo odvečno energijo. Če segrevanje MOV preseže varno mejo, se aktivirajo

termični odklopniki. Ti odklopniki so narejeni iz pločevine in so z metodo spajkanja povezani z MOV. Vgrajeni so tako, da so konstantno napeti. Ko temperatura doseže kritično vrednost, se spajka stopi in omogoči, da se odklopnik odmakne od MOV. Ta mehanizem prekine električni tok, kar prepreči nadaljnje segrevanje MOV in zaščiti napravo pred poškodbami.

4. **Vizualni prikaz stanja:** Naprava je opremljena z dvema indikatorjema, ki omogočata vizualno spremljanje njenega stanja. Ko termični odklopnik prekine tok, s tem sproži premik indikatorja, ki nato namesto zelene barve pokaže rdečo in s tem signalizira, da je prišlo do prekinitve električnega toka. S tem uporabnik hitro prepozna stanje naprave in lahko sprejme ustrezne ukrepe.
5. **Ozemljitev:** Ozemljitveni vodnik (PE) zagotavlja, da je presežna napetost, ki jo MOV odvodijo, pravilno usmerjena v zemljo. Kabelska uvodnica omogoča, da ozemljitveni kabel prehaja skozi ohišje naprave.
6. **Povezave z drugimi sistemi:** Na eni strani naprave so konektorji, ki povezujejo sistem z nizom fotovoltaičnih panelov, medtem ko je druga stran povezana z inverterjem. Ta konfiguracija omogoča, da naprava natančno zaščiti tako vhodne kot izhodne povezave v sistemu, kar prispeva k celoviti zaščiti pred prenapetostmi.

Na splošno naprava za prenapetostno zaščito PV stick deluje kot celovit sistem za zaščito fotovoltaičnih sistemov. Z uporabo MOV za zaznavanje prenapetosti, termičnih odklopnikov za zaščito pred pregrevanjem, vizualnih indikatorjev za spremljanje stanja in ustrezno ozemljitev naprava zagotavlja zanesljivo zaščito pred različnimi vrstami prenapetostnih dogodkov. Ta celostni pristop prispeva k dolgotrajni zanesljivosti in varnosti fotovoltaičnih sistemov.

## 5 POSTOPEK RAZVOJA NAPRAVE

V tej točki bomo podrobno proučili celoten postopek razvoja naprave za prenapetostno zaščito PV stick. Razvoj naprave je potekal skozi več faz, pri čemer smo ustvarili in preizkusili več različic, vsako z izboljšavami na osnovi rezultatov prejšnjih ponovitev.

Postopek razvoja je vključeval naslednje ključne korake:

**Modeliranje in vizualizacija:** V prvi fazi smo v programu Creo ustvarili začetni 3D model naprave. Ta faza je vključila oblikovanje osnovne geometrijske zasnove ter definicijo ključnih komponent, kot so ohišje, MOV, termični odklopniki, indikatorji itd. Model je bil natančno vizualiziran, da smo lahko preverili osnovne funkcionalnosti in kompatibilnost komponent.

**Izdelava prototipov:** Na osnovi začetnega modela smo izdelali prototipe, ki so omogočili fizično preizkušanje zasnove. Vsak prototip je bil ustvarjen z uporabo različnih proizvodnih tehnik, kar je vključevalo 3D tiskanje in druge metode izdelave. Prototipi so nam omogočili, da smo pridobili konkretne podatke o fizičnem delovanju naprave in njeni funkcionalnosti.

**Testiranje in analiza:** Po izdelavi prototipov smo izvedli testiranje, da bi ocenili delovanje naprave v različnih pogojih. Testi so zajemali preverjanje funkcionalnosti naprave, izvajanje električnih testov, preizkušanje mehanskih lastnosti ter analizo morebitnih težav ali pomanjkljivosti. Na osnovi rezultatov teh testov smo ugotovili, katere izboljšave so potrebne za optimizacijo zasnove.

**Izboljšave in razvoj naslednjih različic:** Na osnovi rezultatov testiranja smo uvedli izboljšave in prilagoditve, ki so se odražale v naslednjih različicah naprave. Ta proces je vključil spreminjanje modelov in prilagajanje komponent.

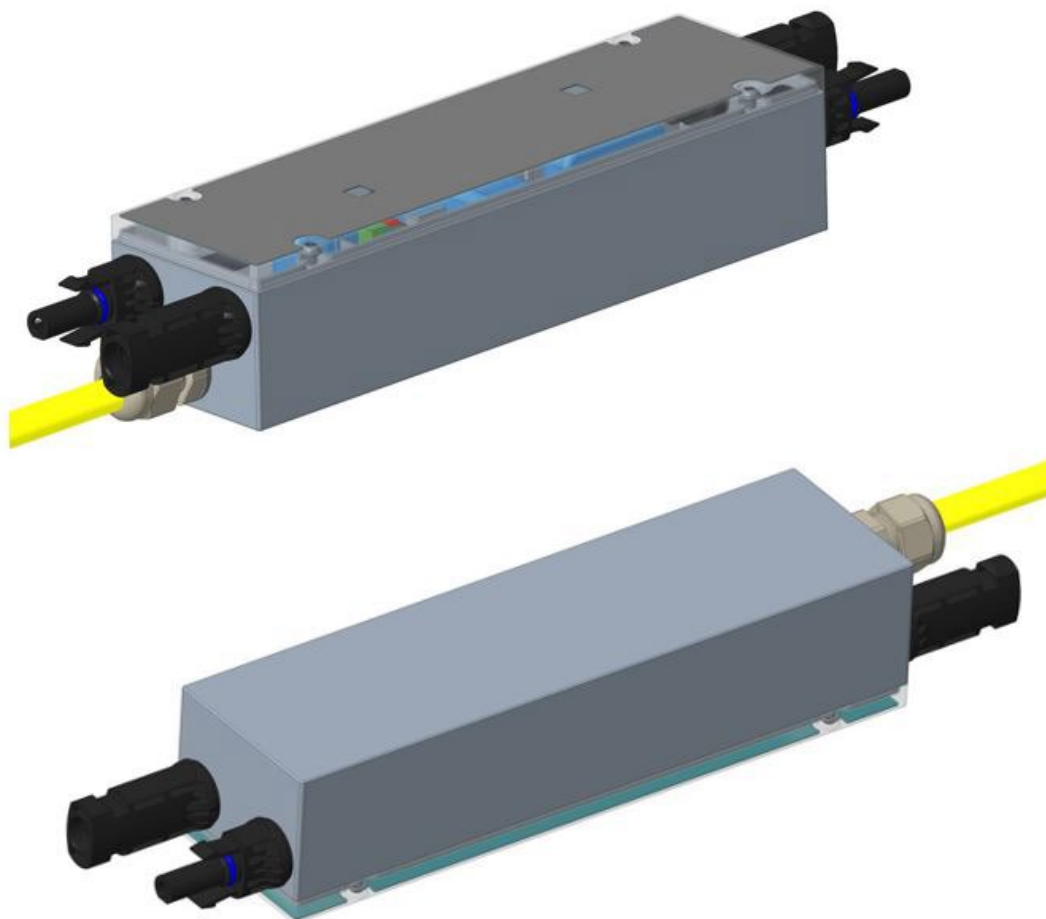
V nadaljevanju bomo podrobno proučili razvoj vsake posamezne različice naprave, vključno z opisom ključnih sprememb, postopki izdelave prototipov in rezultati testiranja. Ta analiza nam omogoča natančno prikazovanje razvoja naprave čez čas ter obrazložitev odločitev in izboljšav, ki so pripeljale do končne različice.

### 5.1 Prva različica naprave PV stick

#### 5.1.1 Razvoj in vizualizacija modela v programu Creo

Razvoj naprave se je začel z modeliranjem posameznih komponent v programu Creo, pri čemer smo se osredotočili na natančnost in funkcionalnost vsake komponente.

Med tem postopkom smo komponente sproti integrirali in prilagajali, da smo ustvarili celoten 3D model naprave ter zagotovili, da vsi sestavni deli usklajeno delujejo kot celota.



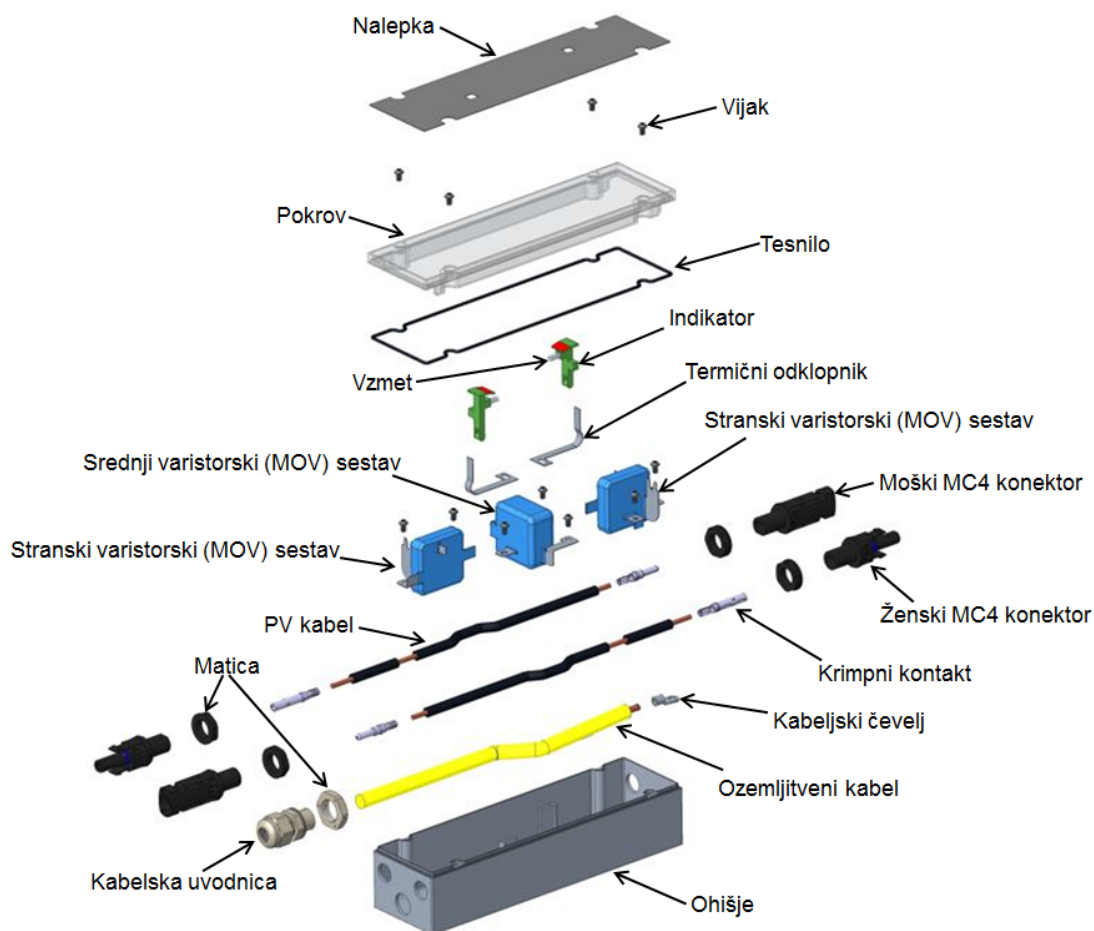
*Slika 5: Končni 3D model sestave prve različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Na sliki 5 je prikazan celoten 3D model prve različice SPD PV stick. Model prikazuje napravo v njeni končni zunanji obliki, kar omogoča vizualizacijo njenega končnega in splošnega videza.

Ustvarjanje 3D modela celotne naprave omogoča celovit pregled nad končno zasnovo naprave, kar je bistveno za preverjanje njene funkcionalnosti in estetskega videza. S 3D modelom vizualiziramo, kako se bodo posamezne komponente združile v celoto, kar pomaga pri odkrivanju morebitnih napak ali neskladnosti že v zgodnjih fazah razvoja.

Poleg tega je 3D model nepogrešljiv pri komunikaciji z deležniki, kot so naročniki, investitorji in proizvodni partnerji. Jasna vizualizacija omogoča boljše razumevanje projektnih ciljev in zahtev, kar olajša sprejemanje odločitev in usklajevanje projektnih aktivnosti.

Za boljše razumevanje notranje strukture naprave in njenih sestavnih delov smo pripravili tudi eksplozijski pogled, ki prikazuje vse posamezne komponente naprave in njihovo medsebojno povezavo. Eksplozijski pogled omogoča jasn vpogled v vse sestavne dele, ki sestavljajo SPD PV stick.

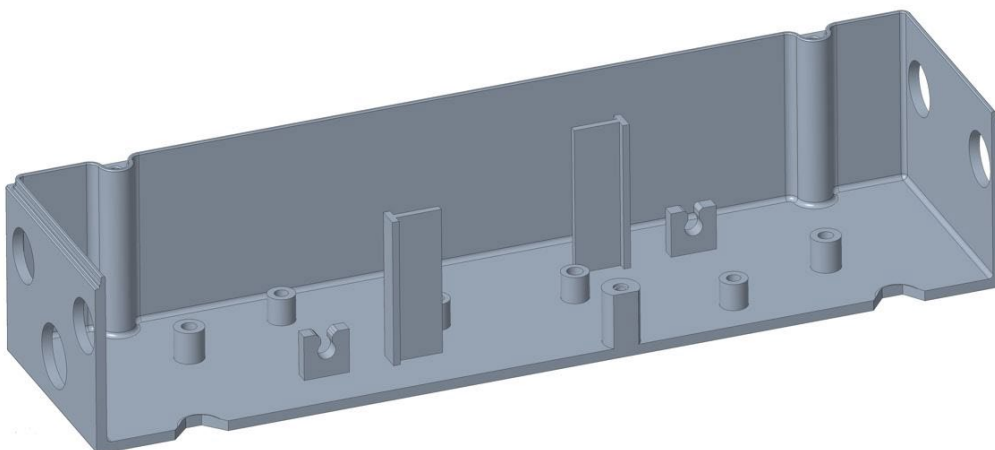


Slika 6: Eksplozijski prikaz 3D modela prve različice naprave PV stick  
(Lastni vir)

Modeliranje smo začeli tako, da smo se najprej lotili modeliranja osnovne strukture naprave, kar je vključevalo ohišje in pokrov. Ker so bile maksimalne zunanje dimenzije naprave že vnaprej določene, smo se odločili za ustvarjanje pravokotne oblike, ki bo ustrezala tem zahtevam. Pri modeliranju ohišja in pokrova smo upoštevali dimenzije, ki so bile za en milimeter manjše od predpisanih maksimalnih vrednosti v vseh treh smereh – višini, širini in dolžini. Ta odločitev je bila sprejeta zaradi možnosti

raztezanja plastike med postopkom brizganja. Zmanjšanje dimenzij za en milimeter je zagotavljalo, da naprava ostane znotraj predpisanih gabaritov.

Med modeliranjem notranjih komponent smo nenehno prilagajali in preoblikovali ohišje, da bi zagotovili ustrezno namestitev vseh komponent. To je vključevalo prilagoditve v obliki stebričkov za vijačenje varistorskih sestavov, odprtih za konektorje, kabelske uvodnice in točk za vpenjanje indikatorjev ter vzmeti. Stalno usklajevanje ohišja z notranjimi komponentami je pripeljalo do njegove končne oblike.

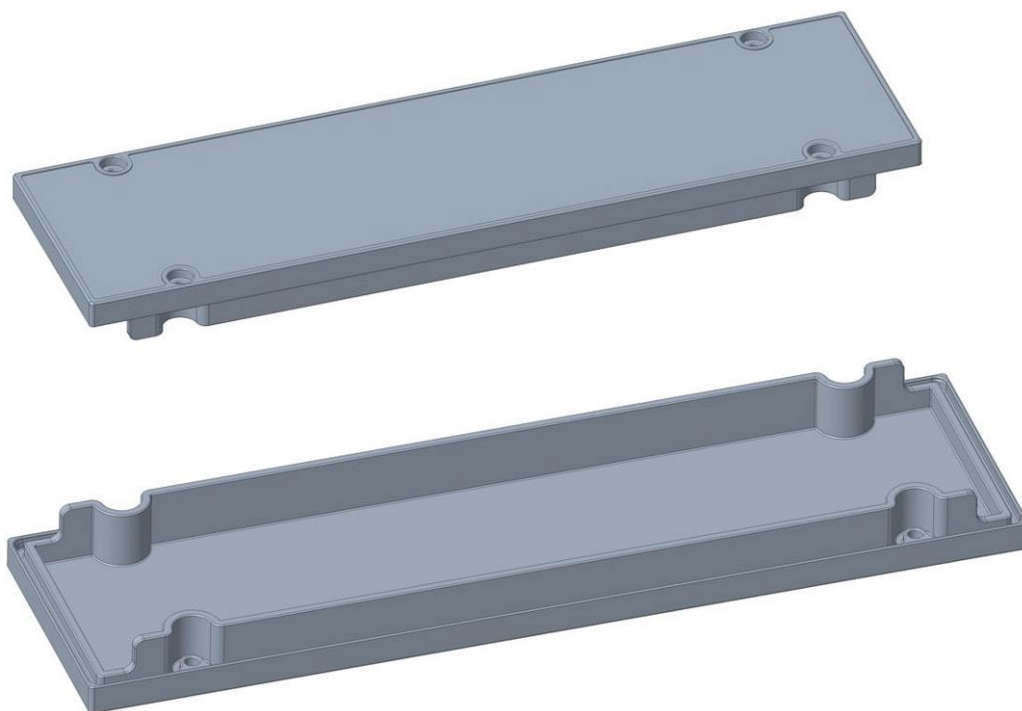


*Slika 7: Prikaz končne oblike ohišja prve različice naprave PV stick v prerezu (Lastni vir)*

Pokrov smo oblikovali tako, da se natančno prilega ohišju. Na zgornjem robu stranic ohišja smo dodali tanjšo steno, medtem ko smo na pokrovu naredili utor, kar omogoča stabilno namestitev pokrova na ohišje. Na spodnji strani pokrova smo ob straneh po skoraj celotni dolžini dodali 15 mm visoka rebra, ki pokrovu zagotavljajo podporo in preprečujejo upogibanje pri privijanju pokrova na ohišje.

Za pritrdjevanje pokrova smo na zgornji strani oblikovali luknje, usklajene z izbranimi M3x10 samoreznimi vijaki za plastiko, ki omogočajo preprosto in varno pritrditev. Poleg tega smo na zgornji strani pokrova oblikovali poglobitev, namenjeno nalepki, ki omogoča preprosto in estetsko namestitev nalepke.





*Slika 8: Pokrov prve različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Med vrhom stene na robu stranic ohišja in utorom na pokrovu smo pustili prostor za tesnilo. Za tesnilo smo izbrali 2 mm debelo gumijasto vrvico, ki se namesti v prostor med pokrovom in ohišjem. Tesnilo se ob privijanju pokrova stisne, s čimer preprečuje vdor vode v napravo.

Ko smo uspešno zmodelirali ohišje in pokrov, smo pridobili osnovno strukturo naprave, kar nam je omogočilo začetek modeliranja notranjih komponent. V sodelovanju z elektrotehničnim inženirjem smo na osnovi predhodno opredeljenih tehničnih zahtev določili varistorje in vrste kablov, ki jih bomo uporabili. Odločili smo se za uporabo 6 mm<sup>2</sup> fotovoltaičnih kablov in 16 mm<sup>2</sup> ozemljitvenega kabla. Na osnovi predpisanih električnih specifikacij smo izbrali S40 varistorje, katerih dimenzije so 33,5 mm x 33,5 mm x 8,2 mm.



*Slika 9: Varistor S40*  
(Lastni vir)

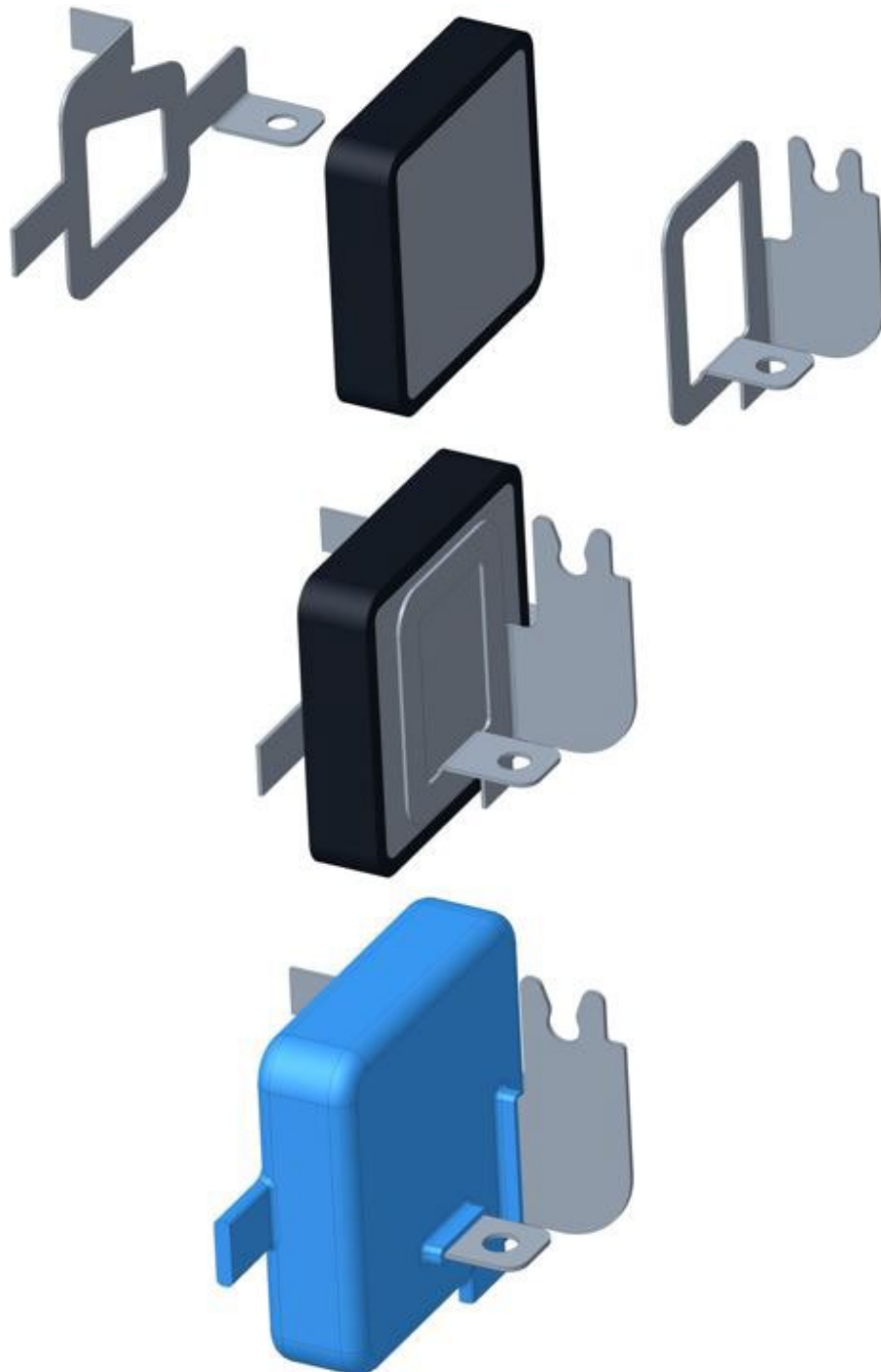
Po izbiri kablov in varistorjev smo nadaljevali z modeliranjem varistorskih sestavov. Ti sestavi v našem primeru vključujejo enega ali dva varistorja ter elektrode, pritrjene na varistorje. Elektrode so ključne za pravilno delovanje varistorjev, saj služijo kot vodniki za električne impulze, ki se prenesejo na varistorje in tako omogočajo zaščito naprave pred prenapetostjo.

V našem modelu smo vključili tri varistorske sestave: dva stranska in enega srednjega. Stranska varistorska sestava sta identična in vsebujeta po en varistor ter dve elektrodi – odklopno elektrodo, namenjeno povezavi s termičnim odklopnikom, in kabelsko elektrodo, na katero se prispajka kabel.

Srednji varistorski sestav je bolj kompleksno zasnovan, saj vsebuje dva varistorja in tri elektrode. Dve elektrodi sta namenjeni povezavi s termičnima odklopnikoma, medtem ko je tretja elektroda nameščena v sredini sestava in služi za povezavo z ozemljitvenim kablom. Poleg tega elektrode omogočajo tudi pritrjevanje varistorskih sestavov znotraj ohišja s pomočjo vijakov. Na osnovi dosedanjih izkušenj z ostalimi produkti smo izbrali debelino elektrod 0,5 mm. Njihova oblika je bila optimizirana za natančno prileganje varistorjem, kar je omogočilo učinkovito pritrditev varistorskih sestavov na ohišje ter ustrezno povezavo z vodniki in termičnim odklopnikom.

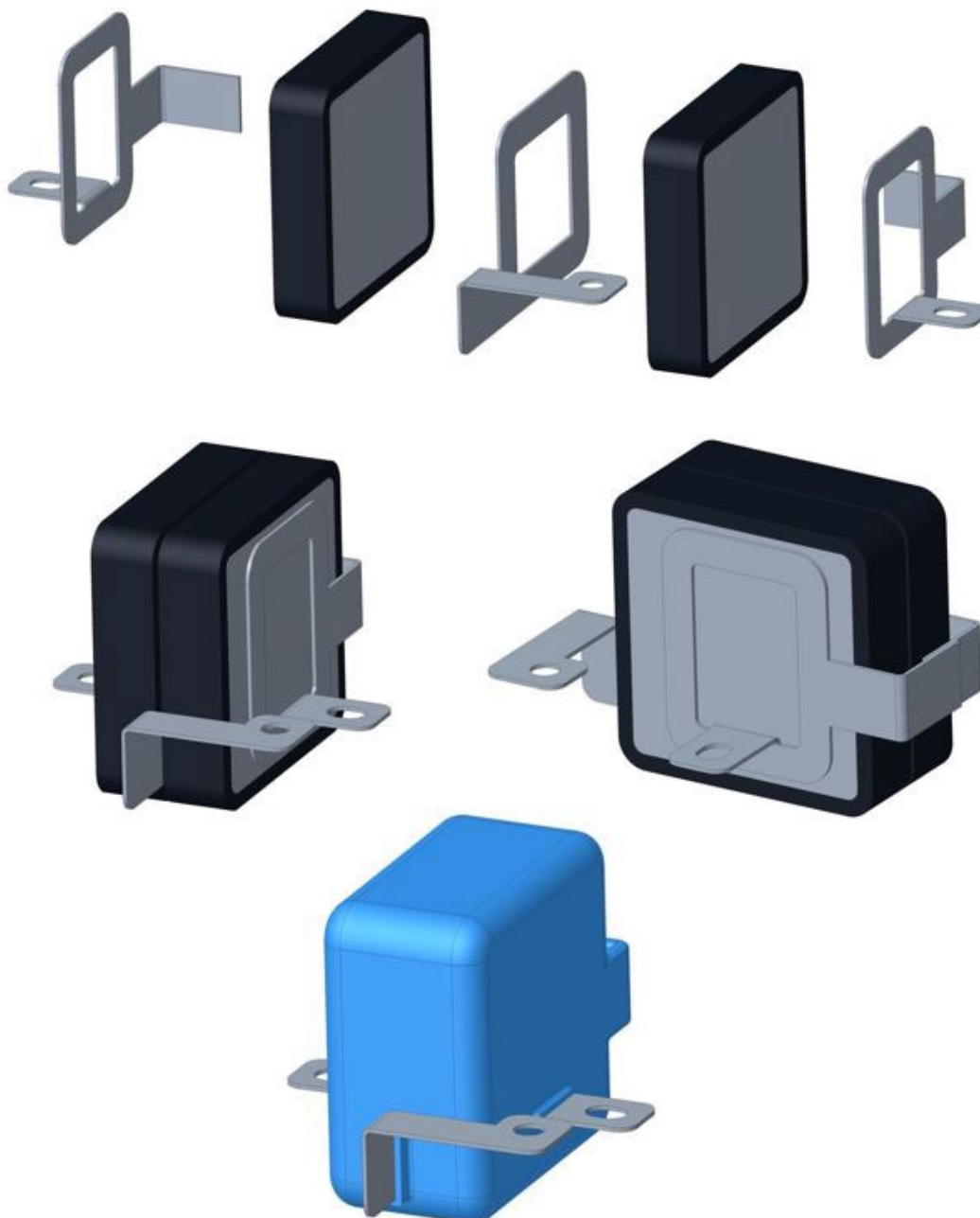
Zadnji korak pri modeliranju varistorskih sestavov je bilo dodajanje sloja epoksija. Epoksi je vrsta sintetične smole, ki se uporablja za zaščito varistorskih sestavov pred električnimi preboji in kratkimi stiki med komponentami. Ta zaščitni sloj zagotavlja

izolacijo in preprečuje neželene električne stike. S tem dodatkom smo pridobili realno predstavo o končnih dimenzijah varistorskih sestavov, kar je omogočilo natančno preverjanje njihovega prileganja znotraj ohišja.



*Slika 10: Stranski varistorski sestav prve različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Slika 10 prikazuje stranski varistorski sestav; zgoraj eksplozijski pogled varistorskega sestava brez epoksija, na sredini sestavljen varistorski sestav brez epoksija in na dnu sestavljen varistorski sestav z epoksijem. S slike je razvidno, kako je sestavljen varistorski sestav in kakšna je oblika elektrod.

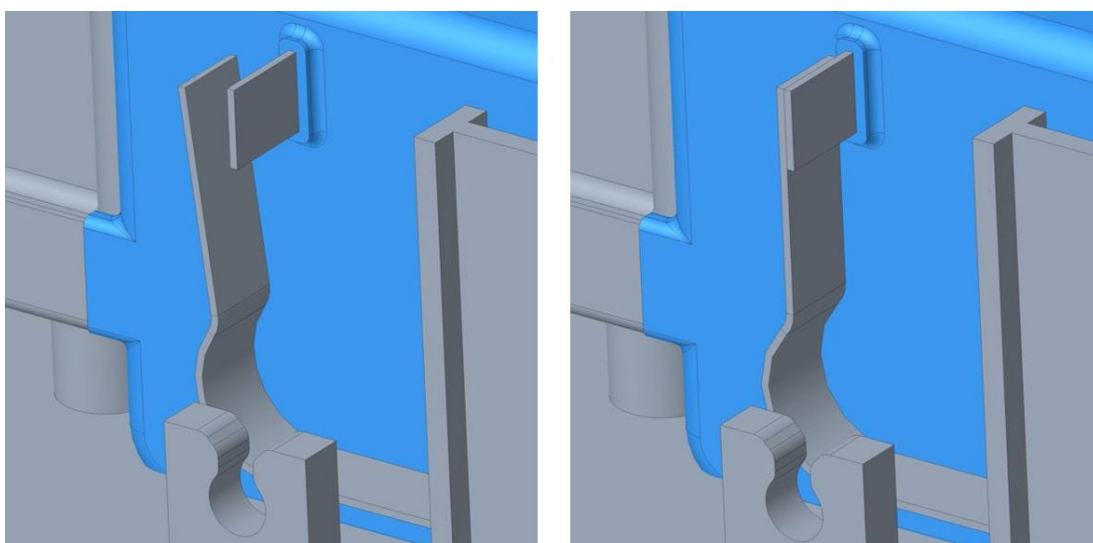


*Slika 11: Srednji varistorski sestav prve različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Slika 11 prikazuje srednji varistorski sestav; zgoraj eksplozijski pogled varistorskega sestava brez epoksija, na sredini sestavljen varistorski sestav brez epoksija in na dnu sestavljen varistorski sestav z epoksijem.

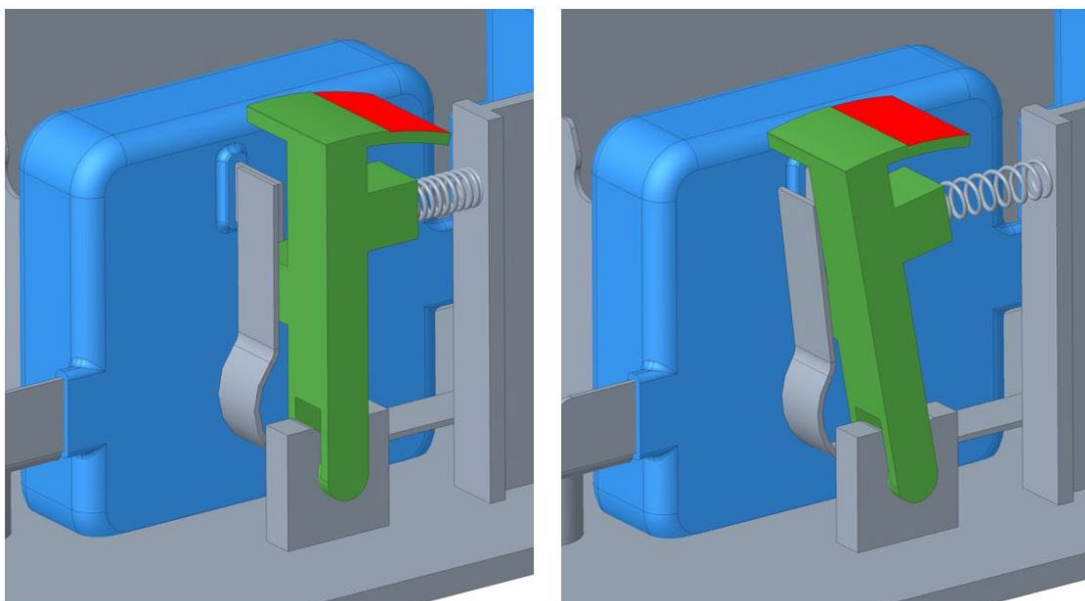
sestavljen varistorški sestav z epoksijem. S slike je razvidno, kako je sestavljen varistorški sestav in kakšna je oblika elektrod.

Naslednja faza v procesu modeliranja je bila zasnova termičnega odklopnika. Ta komponenta je bila oblikovana za natančno prileganje na odklopno elektrodo stranskih varistorških sestavov in za privijačenje v notranjost ohišja. Termični odklopnik je spajkan na odklopno elektrodo, kar omogoča njegovo varno delovanje in prekinitev električnega toka ob prekomernem segrevanju. Zasnovan je tako, da je pod stalno mehansko napetostjo, kar omogoča, da "odskoči" in prekine tok, ko se zaradi pregrevanja stali spajka med njim in odklopno elektrodo.



*Slika 12: Termični odklopnik v obeh položajih: prekinjen in sklenjen električni tok (Lastni vir)*

Po oblikovanju termičnega odklopnika smo se posvetili zasnovi indikatorja, ki je bil oblikovan za preprosto vstavljanje v ohišje "na klik". Za to funkcijo je bilo v ohišje zmodelirano vodilo v obliki črke omega, ki omogoča pritrditev indikatorja ter njegovo prosto gibanje naprej in nazaj. Preprečuje tudi, da se indikator iztakne. Oblika indikatorja je bila posebej optimizirana za pritrditev tlačne vzmeti, ki je zasnovana tako, da zagotavlja zadostno silo za premik indikatorja ob delovanju odklopnika. Poleg tega indikator natančno nalega na termični odklopnik. V napravi sta vključena dva indikatorja, saj sta v sistemu prisotna dva odklopnika.



*Slika 13: Indikator v obeh položajih: sklenjen in prekinjen električni tok  
(Lastni vir)*

Indikator je zasnovan za signalizacijo prekinjenega električnega toka v napravi. Ko pride do prekinitve toka zaradi pregrevanja varistorja, indikator vizualno signalizira stanje. To omogoča hitro zaznavanje težave in ustrezno ukrepanje.

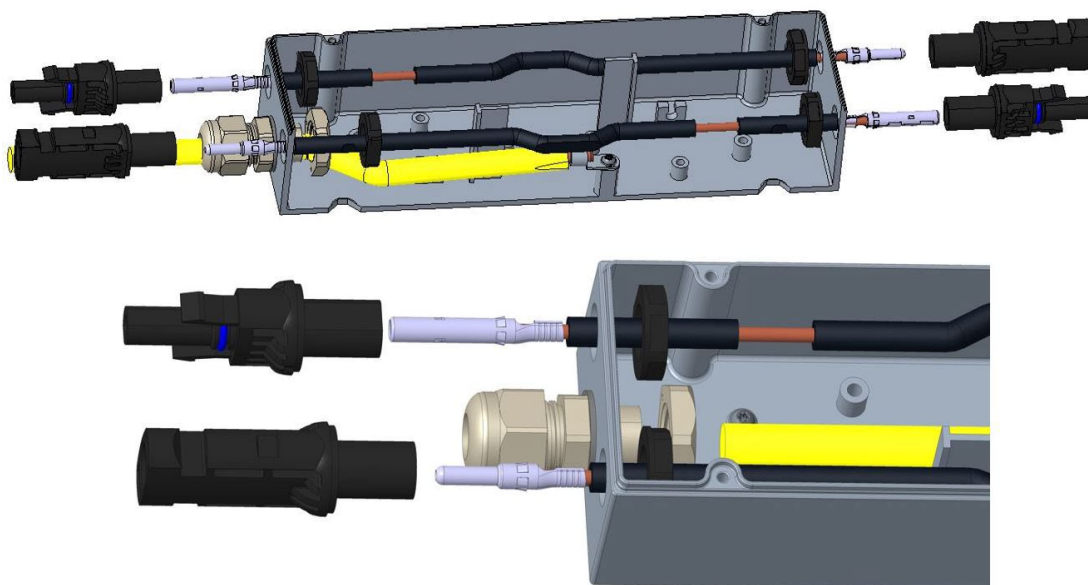


*Slika 14: Vizualni prikaz signalizacije prekinitve električnega toka  
(Lastni vir)*

Na sliki 14 je prikazana signalizacija prekinitve električnega toka. Ko skozi okno na vrhu naprave vidimo zeleno pozicijo, to pomeni, da je električni tok sklenjen in naprava deluje pravilno. Rdeča pozicija označuje, da je prišlo do prekinitve toka, kar pomeni, da je treba ukrepati in napravo zamenjavo.

Na koncu smo dodali še kabelsko uvodnico za ozemljitveni kabel in MC4 konektorje. Za te komponente smo pridobili STEP modele s spletnih strani proizvajalcev. STEP modeli so standardizirani 3D formati, ki omogočajo natančno modeliranje in

integracijo komponent brez potrebe po dodatnih prilagoditvah. Potem smo zmodelirali še kable in vse komponente ustrezno povezali med seboj. Za pritrditev ozemljitvenega kabla smo zmodelirali še kabelski čevelj. Poiskali smo ustrezen kabelski čevelj, ki je bil primeren za dimenzije našega ohišja. Fizični kos smo izmerili in ga natančno zmodelirali v 3D.



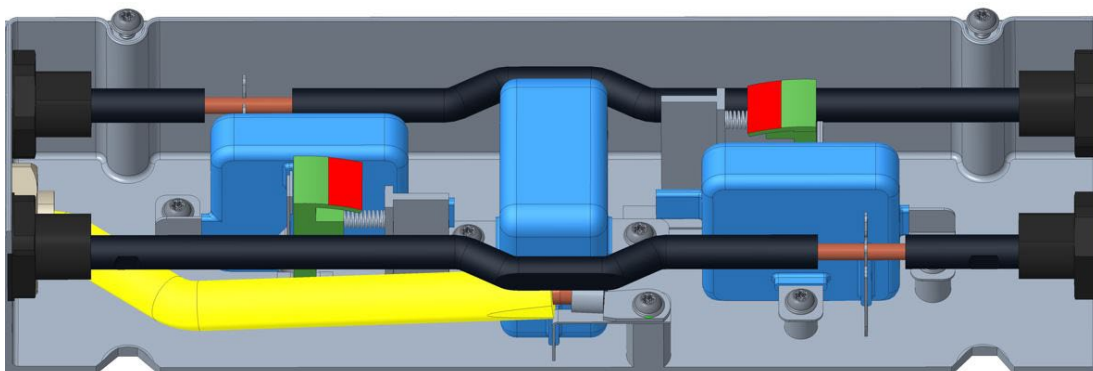
*Slika 15: Eksplozijski pogled MC4 konektorjev, kabelske uvodnice in kablov  
(Lastni vir)*

Slika 15 prikazuje eksplozijski pogled, ki ponuja jasen vpogled v pritrditev MC4 konektorjev, kabelske uvodnice ter kablov v napravi.

Kabelska uvodnica za ozemljitveni kabel se najprej pritrdi v ohišje. Ozemljitveni kabel, ki ima že pritrjen kabelski čevelj in je z vijakom predhodno pritrjen na ohišje, se nato potisne skozi uvodnico.

MC4 konektorji so sestavljeni iz plastičnih in kovinskih delov. Kovinski del vsebuje stike, medtem ko plastični del zagotavlja zaščito in stabilnost povezave. Fotovoltaični kabli so opremljeni s kovinskimi stiki, ki se vstavijo v plastične dele MC4 konektorjev. Ti konektorji so nato z maticami pritrjeni na ohišje. Imamo dve vrsti MC4 konektorjev, in sicer moški ter ženski konektor. Moški konektor ima izbočene kontakte, ki se prilegajo v ženske konektorje, ki imajo vdolane reže za sprejem kontaktov. Ta zasnova omogoča varno in zanesljivo električno povezavo ter preprečuje napačno povezovanje komponent.

Pri oblikovanju naprave je bilo pomembno upoštevati simetrijo pri pozicioniranju komponent, kar je zmanjšalo število različnih komponent in poenostavilo proizvodni postopek.



*Slika 16: Notranjost prve različice naprave PV stick, prikazana v prerezu*  
(Lastni vir)

Slika 16 prikazuje notranjost naprave, kjer lahko vidimo, kako so nameščene posamezne komponente znotraj naprave in kako so med seboj povezane. S funkcijo "cross-section" smo omogočili vpogled v notranjost, za boljše razumevanje funkcionalnosti celotne naprave.

Ko smo uspešno zmodelirali vse komponente in prilagodili ohišje, smo vse elemente združili v celovit 3D sestav. Ta je predstavljal celotno napravo v prvi različici in nam je omogočil pregled končnega videza in funkcionalnosti naprave.

### 5.1.2 Izdelava prototipa

Ko je bil 3D model prve različice naprave dokončan, smo se lotili izdelave prototipa. Ključni korak pri tem je bil pridobitev vseh potrebnih komponent za sestavo vzorca.

Izdelava plastičnih delov, kot so ohišje, pokrov ter indikator, je bila izvedena s 3D tiskom. Za to smo pripravili dokumentacijo v obliki STL datotek, ki smo jih izvozili iz programa Creo. STL datoteka je standardiziran 3D format, ki shrani podatke o geometriji tridimenzionalnih objektov in je pogosto uporabljena za 3D tiskanje. Te datoteke so omogočile natančno tiskanje plastičnih delov. Za material smo izbrali SLS PA2200, ki je primeren zaradi svojih odličnih mehanskih lastnosti, kot sta trdnost in vzdržljivost. SLS (Selective Laser Sintering) je tehnologija, ki uporablja lasersko sintranje prahu za izdelavo trdnih 3D objektov, kar omogoča visoko natančnost in kompleksne oblike.

Kovinske dele oziroma pločevino, kot so elektrode in odklopnik, smo naročili za laserski izrez in upogibanje, pri čemer smo pripravili tehniške risbe za vsak kos





Naročili smo tudi nalepke za napravo. Ta postopek je vključeval pošiljanje tehnične risbe z obrisom nalepke oblikovalskemu oddelku. Na osnovi te risbe so pripravili predlog dizajna, ki je bil izdelan v skladu z željami kupca. Po potrditvi dizajna smo nalepke naročili pri obstoječem dobavitelju nalepk.

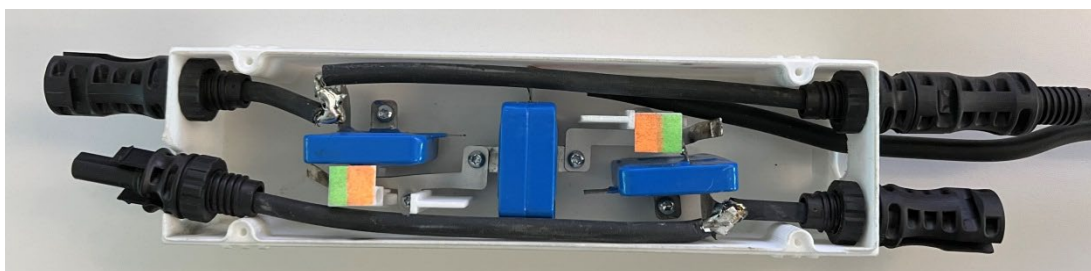


Slika 18: Dizajn nalepke prve različice naprave PV stick  
(Lastni vir)

Ko smo prejeli elektrode od dobavitelja kovinskih delov, smo jih skupaj z varistorji nesli v proizvodni oddelek, kjer so strokovnjaki sestavili varistorske sestave. V procesu so elektrode zaspajkali na varistorje ter nato celotne sestave obdelali z epoksi smolo za dodatno zaščito.

Za to nalogo smo pripravili natančne sestavne risbe, ki so eksplozijsko prikazovale vse komponente in njihovo sestavo ter označevale mesta spajkanja. Risbe so vsebovale tudi specifikacije vrste spajke in epoksija, ki smo jih izbrali na osnovi preteklih izkušenj z drugimi produkti. S pomočjo teh risb so nam pripravili ustrezne priprave oziroma jige, ki omogočajo natančno sestavo varistorskih sestavov. Te priprave so specializirani pripomočki, zasnovani tako, da držijo komponente v točno določenih položajih med sestavljanjem, kar zagotavlja natančnost in ponovljivost pri montaži.

S tem smo zaključili pripravo vseh potrebnih komponent za sestavo prototipa. Ko smo prejeli vse komponente, smo nadaljevali s sestavo in testiranjem vzorcev.



*Slika 19: Prototip prve različice naprave PV stick brez pokrova  
(Lastni vir)*

### 5.1.3 Testiranje prototipa in analiza pomnljivosti

#### **Testiranje prototipov:**

Namen testiranja prototipa je zagotoviti, da končni izdelek ustreza načrtovanim specifikacijam in deluje brez napak. Testiranje prototipa omogoča odkrivanje morebitnih težav pri sestavljanju naprave, zagotavlja, da so vse komponente pravilno integrirane ter potrjuje, da naprava izpolnjuje vse tehnične zahteve. Pomembnost testiranja je v prepoznavanju in odpravljanju napak v zgodnji fazi razvoja, kar pripomore k izboljšanju končnega izdelka ter zagotavljanju njegove zanesljivosti in učinkovitosti.

Pri testiranju smo najprej preverili, kako preprosto se prototip sestavi. Pomembno je bilo, da smo ugotovili, ali se pri sestavi pojavijo kakršne koli težave, kot so zatikanje komponent ali težave s prileganjem, kar je pomembno za zagotavljanje brezskrbnega sestavljanja v proizvodnji.

Poleg tega smo izvedli vrsto električnih testov, da bi preverili delovanje naprave v skladu z zahtevami. Preverili smo, ali naprava prenese nazivno prebojno napetost do 4200 V, kar je bistveno za zaščito pred prenapetostmi. Prav tako smo testirali delovanje naprave pri nazivni delovni napetosti 1100 V DC, da zagotovimo stabilnost pri različnih obratovalnih pogojih. Pomembno je bilo preveriti, ali naprava prenese impulzni tok do 5 kA ter največji prenapetostni tok do 40 kA, kar zagotavlja njeno zanesljivost tudi v ekstremnih situacijah. Ugotovili smo tudi, ali naprava prenese skupno prenapetostno kapaciteto 10 kA in največji stalni tok do 20 A, kar zagotavlja stabilno in varno delovanje brez preobremenitve.

S temi testi smo pridobili informacije o delovanju naprave v različnih pogojih, kar nam je omogočalo nadaljnjo analizo rezultatov in iskanje možnosti za izboljšave.

#### **Analiza pomanjkljivosti:**

Po zaključku testiranja prototipa smo zbrali podatke o uspešnosti naprave v različnih preizkusih. Pri pregledu rezultatov smo ugotovili, da so se pojavile nekatere težave,

ki vplivajo na delovanje naprave. Testiranje sestavljanja naprave je pokazalo, da se večina komponent preprosto sestavi. Vendar smo opazili, da se indikator premika preveč levo in desno, kar vpliva na natančnost prikazovanja stanja naprave. To nakazuje na potrebo po izboljšanju vodenja indikatorja, da bo prikaz bolj zanesljiv.

Električni testi so pokazali, da naprava izpolnjuje vse tehnične zahteve. Preizkušeni so bili nazivna prebojna napetost, delovna napetost, impulzni tok, prenapetostni tok, skupna prenapetostna kapaciteta in stalni tok. Vse meritve so ustrezale specifikacijam, kar potrjuje zanesljivost naprave v različnih obratovalnih pogojih.

Analiza pomanjkljivosti je razkrila nekaj ključnih težav. Indikator se namreč ne premika le v zelenih smereh, ampak tudi levo in desno, kar je povezano s slabim vodenjem. PV kabli se dotikajo indikatorja in tako ovirajo njegov premik, kar je treba odpraviti z ustreznim odmikanjem kablov. Poleg tega smo ugotovili, da bi bilo možno zmanjšati dolžino ozemljitvenega kabla, kar bi privedlo do nižjih stroškov; predlagana rešitev je sprememba mesta vijačenja ozemljitvenega kabla. Vzmet, ki se uporablja v napravi, ni dovolj fiksirana in se zlahka iztakne iz svojega mesta, kar zahteva izboljšanje vpetja vzmeti.

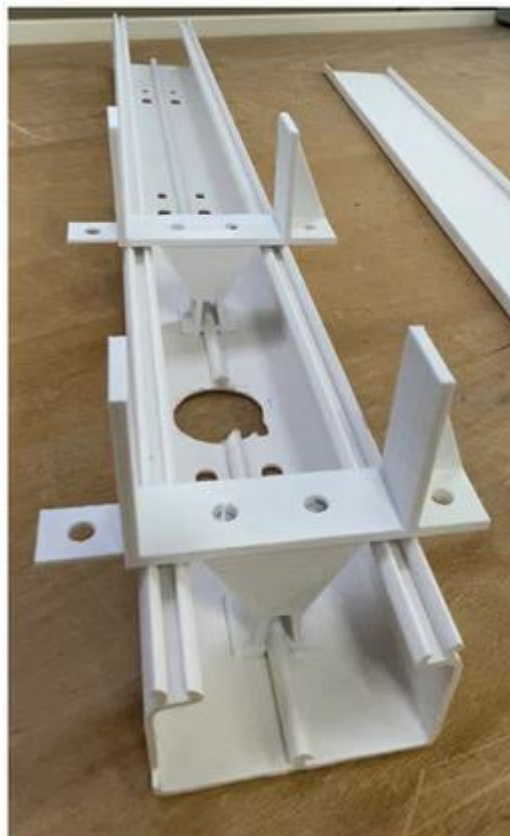
Na osnovi teh ugotovitev smo razvili predloge za izboljšave. Izboljšanje vodenja indikatorja bo omogočilo natančnejše prikazovanje stanja naprave. Prav tako bomo prilagodili položaj PV kablov, da preprečimo njihovo stikanje z indikatorjem. Sprememba mesta vijačenja ozemljitvenega kabla bo omogočila krajši kabel in zmanjšala stroške. Za vzmet bomo razvili boljši način vpetja, da se zagotovi njena stabilnost.

Testiranje prototipov in analiza pomanjkljivosti sta ključna za izboljšanje izdelka. S tem smo identificirali in razumeli težave, kar nam omogoča, da pri naslednji različici naredimo potrebne prilagoditve in optimiziramo napravo za boljšo zanesljivost in učinkovitost.

## **5.2 Druga različica naprave PV stick**

Po uspešnem zaključku prve različice prototipa smo model predstavili tudi našemu kupcu in poslali sestavljen prototipni vzorec. Po pregledu vzorca je kupec izrazil dve dodatni želji. Prva želja je bila, da nalepka na pokrovu naprave prekriva vijake. Ta sprememba bi pripomogla k estetsko bolj dovršenemu videzu.

Druga želja kupca je bila, da bi naprava vsebovala nosilce, ki bi omogočali montažo naprave na steno ali v kabelski kanal. Kupec nam je posredoval tudi prototipni vzorec zasnove nosilcev, ki so si jo zamislili. Na osnovi tega vzorca smo prilagodili naš model, da smo vključili ustrezne nosilce, ki omogočajo preprosto montažo naprave na različne površine.



*Slika 20: Prototipni vzorec nosilcev za montažo naprave v kabelskem kanalu  
(Lastni vir)*

Na sliki 20 so prikazani nosilci za montažo naprave v kabelskem kanalu. Po želji kupca je naprava opremljena z dvema stenskima in dvema kanalskima nosilcema. Če želimo napravo namestiti neposredno na steno, potrebujemo samo stenska nosilca, ki ju neposredno privijamo na steno. Nato napravo preprosto natakemo na nosilca, ki napravo držita na steni. Če želimo napravo namestiti v kabelski kanal, uporabimo stenska nosilca, ki ju v tem primeru privijamo na kanalska nosilca. Celoten sestav nato preprosto natakemo v kabelski kanal, kar omogoča hitro in učinkovito montažo.



*Slika 21: Prototip prve različice naprave, nameščen na steno  
(Lastni vir)*

Slika 21 prikazuje prototip naprave, nameščen neposredno na steno z uporabo stenskih nosilcev.



*Slika 22: Prototip prve različice naprave, nameščen v kabelskem kanalu  
(Lastni vir)*

Slika 22 prikazuje prototip naprave, nameščen v kabelskem kanalu z uporabo kombinacije stenskih in kanalskih nosilcev.

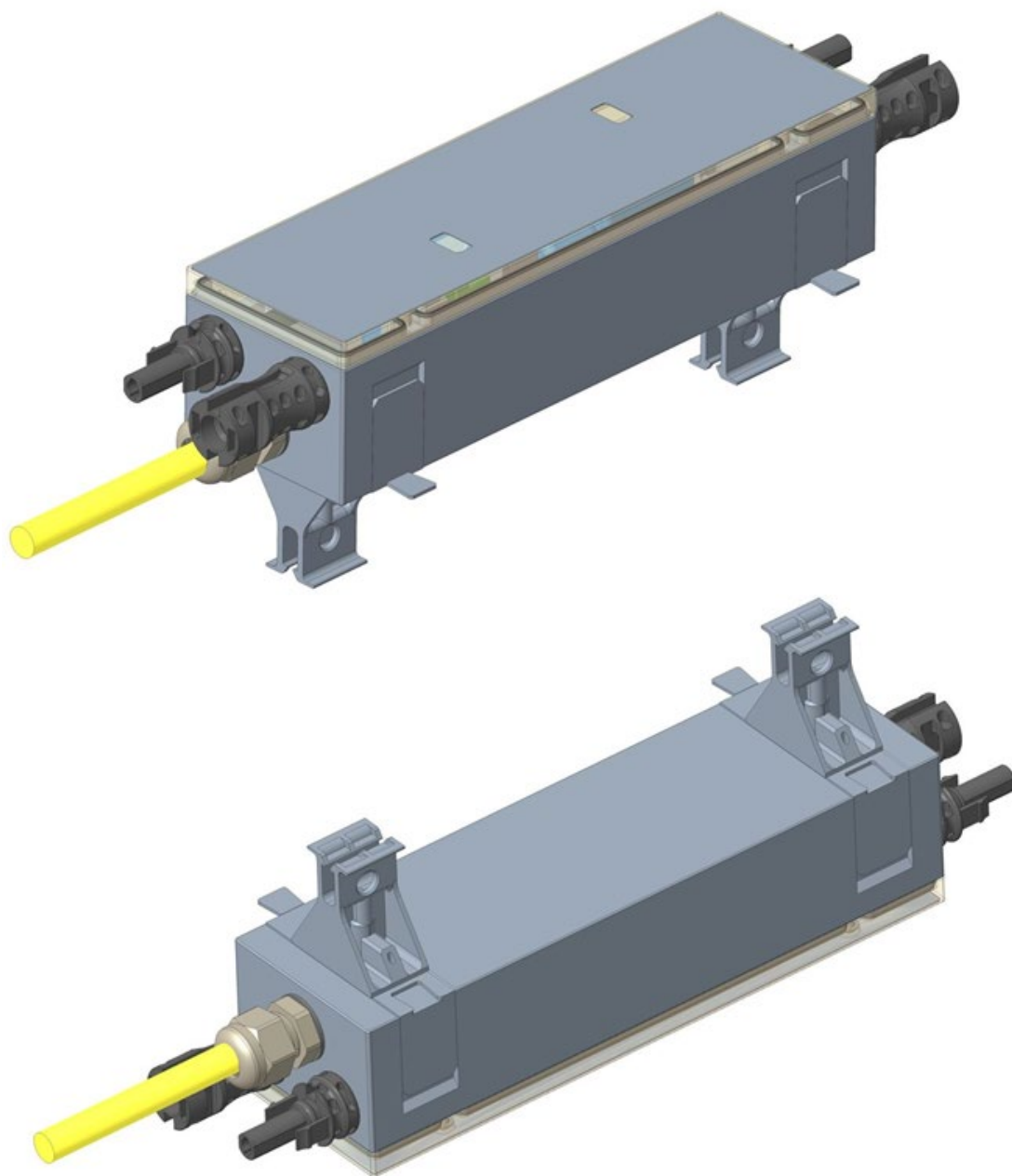
### **5.2.1 Razvoj in vizualizacija modela v programu Creo**

V tej fazi smo se osredotočili na izboljšave in prilagoditve naprave na osnovi povratnih informacij in analiz prve različice prototipa ter novih zahtev naročnika. Spremembe so bile izvedene v programu Creo, kjer smo posodobili 3D modele, da bi odpravili zaznane pomanjkljivosti in vključili dodatne zahteve.

Ključne prilagoditve so vključevale izboljšano vodenje indikatorjev, premik PV kablov za preprečitev stika z indikatorjem, krajši ozemljitveni kabel ter izboljšano vpetje vzmeti.

Glede na povratne informacije kupca smo model naprave prilagodili tako, da smo integrirali njihove predloge. Osredotočili smo se na razvoj in implementacijo modelov nosilcev za montažo naprave na steno ali v kabelski kanal. Ti nosilci so bili oblikovani v skladu z naročnikovimi specifikacijami in so bili integrirani v posodobljen model naprave.

Na osnovi vzorcev nosilcev, ki so jih predlagali naročniki, smo oblikovali svoje modele nosilcev. Nosilci so bili integrirani v celoten model naprave in vključeni v posodobljeno 3D zasnovu.



*Slika 23: Končni 3D model druge različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Na sliki 23 je prikazan končni 3D model druge različice naprave, ki vključuje integrirane modele nosilcev. Slika prikazuje, kako so bili nosilci vgrajeni v napravo. Poleg tega na sliki vidimo tudi spremembo oblike nalepke, ki zdaj prekriva vijake, kar prispeva k estetsko bolj dovršenemu videzu naprave.

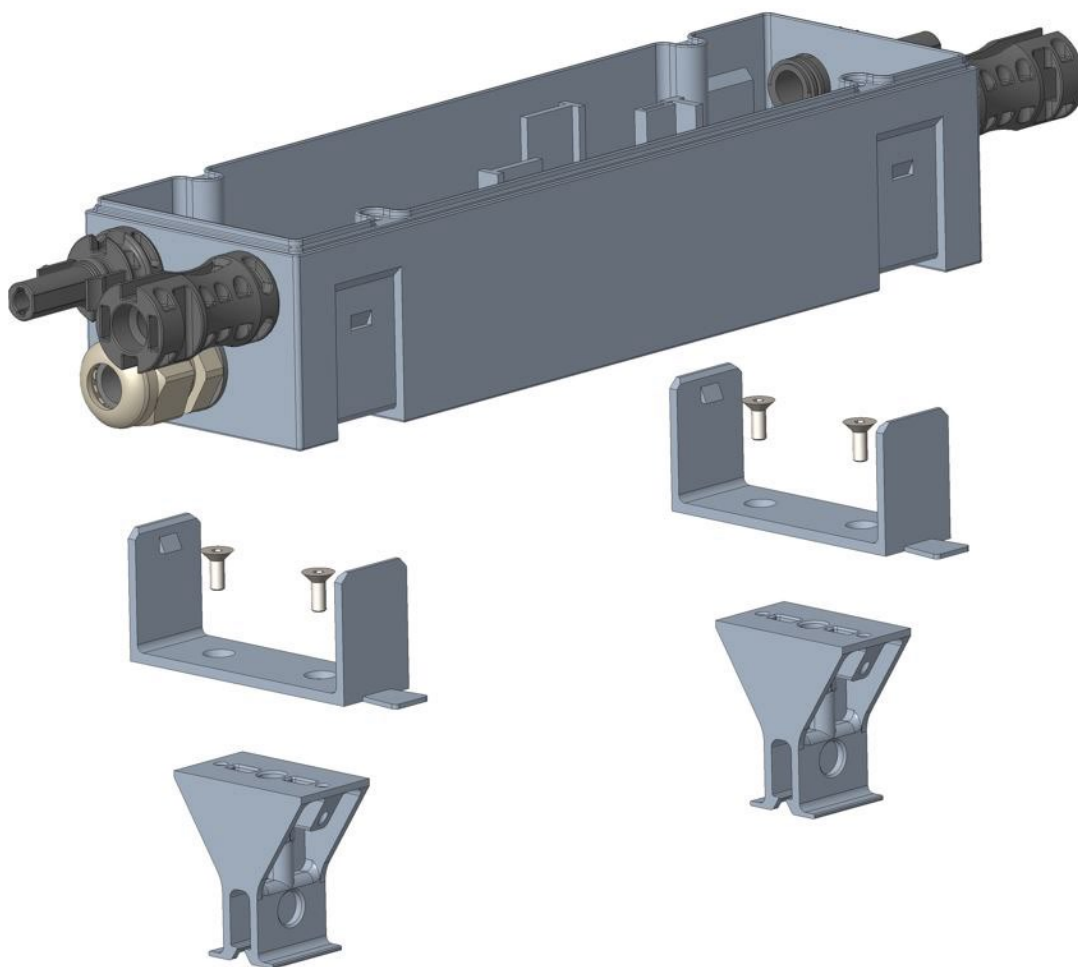
Nosilci za montažo naprave so bili zasnovani tako, da omogočajo preprosto in natančno pritrditev. Stenski nosilec smo zmodelirali tako, da se pritrdi z zaklepom na



klik, kar pomeni, da se na ohišje pritrdi preprosto s pritiskom, brez potrebe po dodatnih orodjih. Za zagotovitev pravilne namestitve in estetske usklajenosti smo na ohišju naredili poglobitev, ki omogoča, da se nosilec poravnava s stranskimi stenami ohišja. S tem je dosežena enakomerna površina brez izstopajočih delov.

Poleg tega smo za vijačenje stenskih nosilcev dodali še samorezne vijake za plastiko z ravno glavo, kar omogoča, da se vijak pravilno "usede" in je poravnana z nosilcem, kar prispeva k njegovemu brezhibnemu prileganju na ohišje.

Pod stenskim nosilcem je kanalski nosilec, ki omogoča namestitev naprave v kabelski kanal. Ta zasnova zagotavlja fleksibilnost pri montaži naprave na različne površine.



*Slika 24: Eksplozijski pogled ohišja naprave z nosilci in vijaki  
(Lastni vir)*

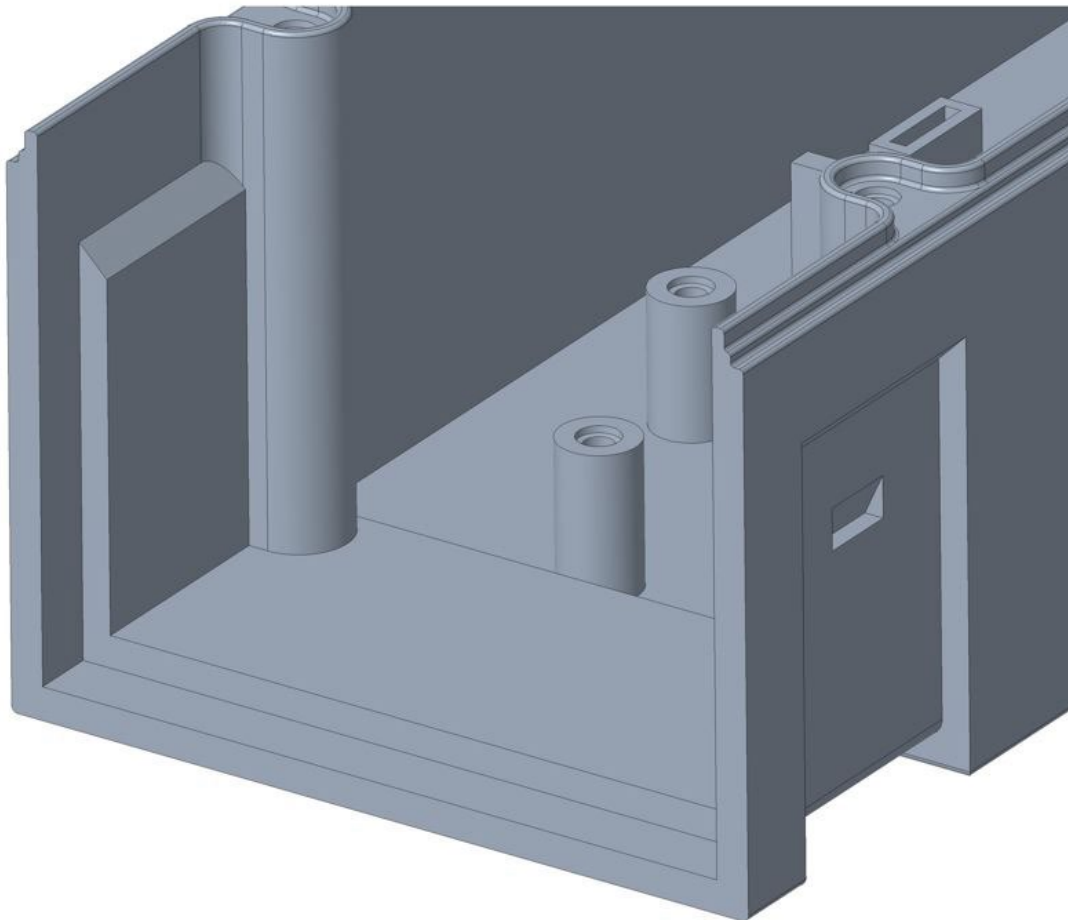
Po zaključku razvoja in vizualizacije modela smo pristopili k izdelavi prototipa druge različice. Plastične komponente smo ponovno 3D tiskali, upoštevajoč nove specifikacije in spremembe. Kovinske dele smo obdelali z laserjem in pripravili za

sestavo. Pri tem smo uporabili posodobljene tehnične risbe za zagotavljanje natančne izdelave. Prav tako smo vključili vse nove komponente, kot so izboljšane vzmeti in prilagojen ozemljitveni kabel, v končni prototip. S tem smo zagotovili, da so vse spremembe pravilno integrirane in pripravljene za naslednje testiranje.

Pri razvoju stenskega nosilca in njegove integracije v ohišje naprave smo se osredotočili na natančno prilagoditev obeh komponent. Stenski nosilec in poglobitev v ohišju sta bila modelirana usklajeno, saj se med seboj prilagajata, kar omogoča brezhibno povezovanje. Poglobitev v ohišju je bila oblikovana kot negativ stenskega nosilca, kar pomeni, da ima natančno obliko, ki ustreza obliki nosilca. Ta prilagoditev zagotavlja, da se nosilec popolnoma prilega v poglobitev, brez kakršnih koli neskladij.

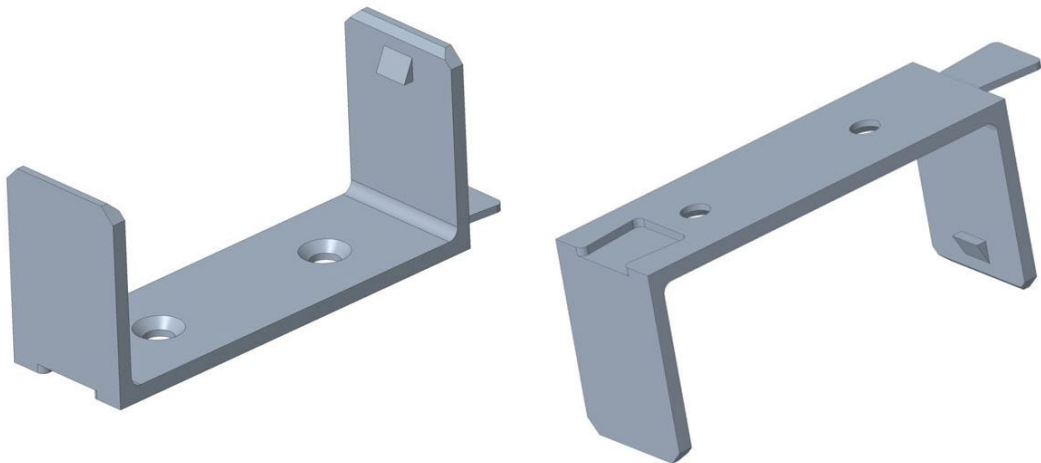
Za mehanizem na klik smo na stenskem nosilcu oblikovali zavihek trikotne oblike, ki omogoča preprosto pritrditev in zaklepanje. Na ohišju smo izdelali poglobitev, ki ustreza obliki tega zavihka. Zavihek je zasnovan tako, da zagotavlja trdno držanje in stabilnost, ko se nosilec pritrdi v ohišje. Poglobitev je zasnovana tako, da omogoča, da se zavihek natančno prilega in zaklene vanjo s preprostim pritiskom.

Da bi ohranili enakomerno debelino sten ohišja kljub poglobitvi, smo na notranji strani ohišja naredili izboklino, ki ustreza globini poglobitve. To zagotavlja, da so stene ohišja enakomerne debeline in da ohišje ostane stabilno.



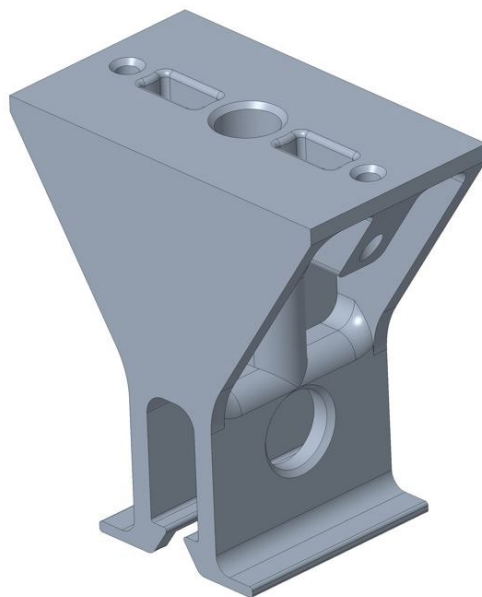
*Slika 25: Poglobitev v ohišju za stenski nosilec  
(Lastni vir)*

Stenski nosilec je zasnovan z jezičkom na eni strani in poglobitvijo na drugi strani. Poglobitev na nasprotni strani nosilca je natančno oblikovana v skladu z geometrijo jezička, kar omogoča preprosto prileganje in montiranje več naprav eno zraven druge. Ta zasnova zagotavlja stabilno pritrjevanje in omogoča, da se naprave tesno prilegajo med seboj, kar pripomore k učinkovitemu izkoriščanju prostora in estetsko dovršenemu videzu celotne instalacije.



*Slika 26: Stenski nosilec*  
(Lastni vir)

Kanalski nosilec je bil oblikovan na osnovi prototipnega vzorca, ki smo ga prejeli od naročnika. Zasnova kanalskega nosilca je bila skrbno prilagojena standardnim dimenzijam kablanskega kanala ter stensku nosilcu. Obliko vzorca smo optimizirali in prilagodili našemu dizajnu, da bi zagotovili boljše prileganje.

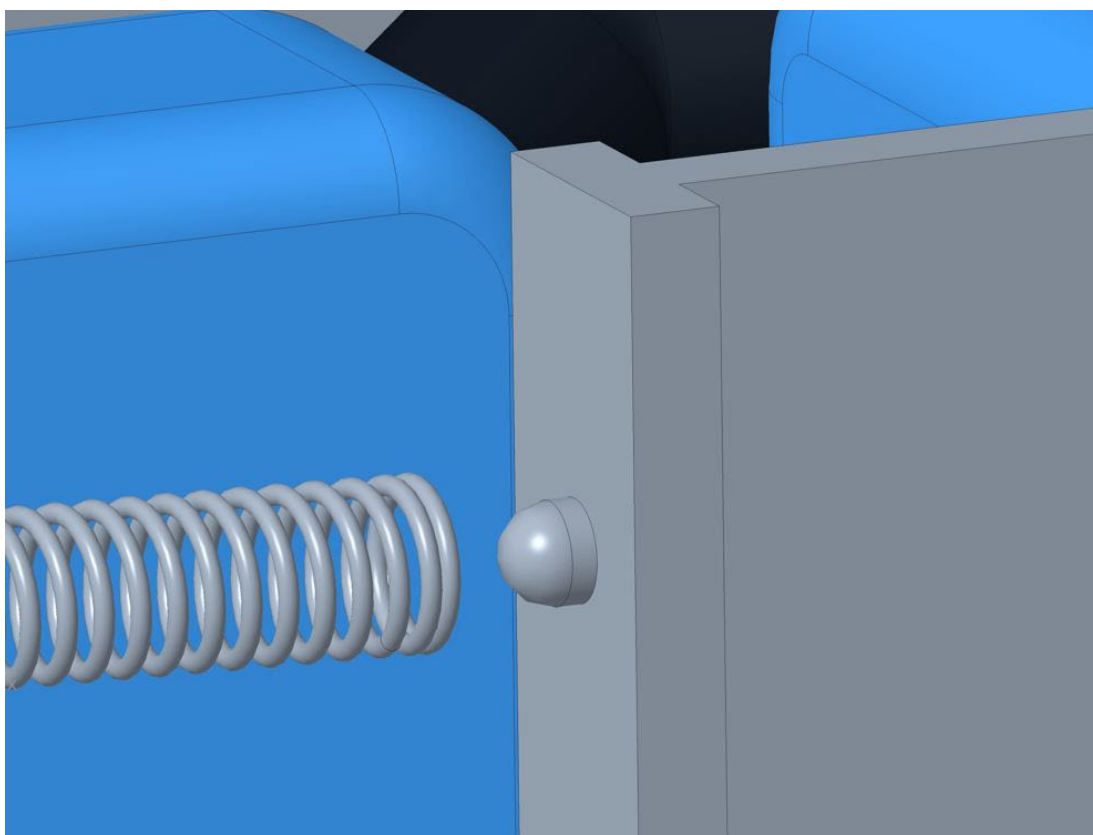


*Slika 27: Kanalski nosilec*  
(Lastni vir)

V naslednji fazi razvoja smo se osredotočili na izboljšave in prilagoditve naprave na osnovi povratnih informacij in analiz prve različice prototipa.

Prejšnja različica prototipa je imela težave z varnim vpetjem vzmeti, saj se je vzmet lahko preprosto iztaknila iz svojega mesta na stebru ohišja. V tej fazi smo uvedli izboljšano rešitev za vpetje vzmeti, ki zagotavlja, da vzmet ostane trdno na svojem mestu in preprečuje morebitne težave z delovanjem naprave.

Da bi izboljšali stabilnost vzmeti, smo na stebru, na katerega se vzmet naslanja, dodali poseben vodilni zatič. Ta zatič je oblikovan tako, da se ena stran vzmeti namesti okoli njega, s čimer preprečuje premikanje vzmeti iz svojega predvidenega položaja. Vodilni zatič zagotavlja, da vzmet ostane pravilno poravnana in pritrjena, kar preprečuje njeno iztaknitev in morebitne težave pri premiku indikatorja. S tem smo povečali zanesljivost delovanja naprave.

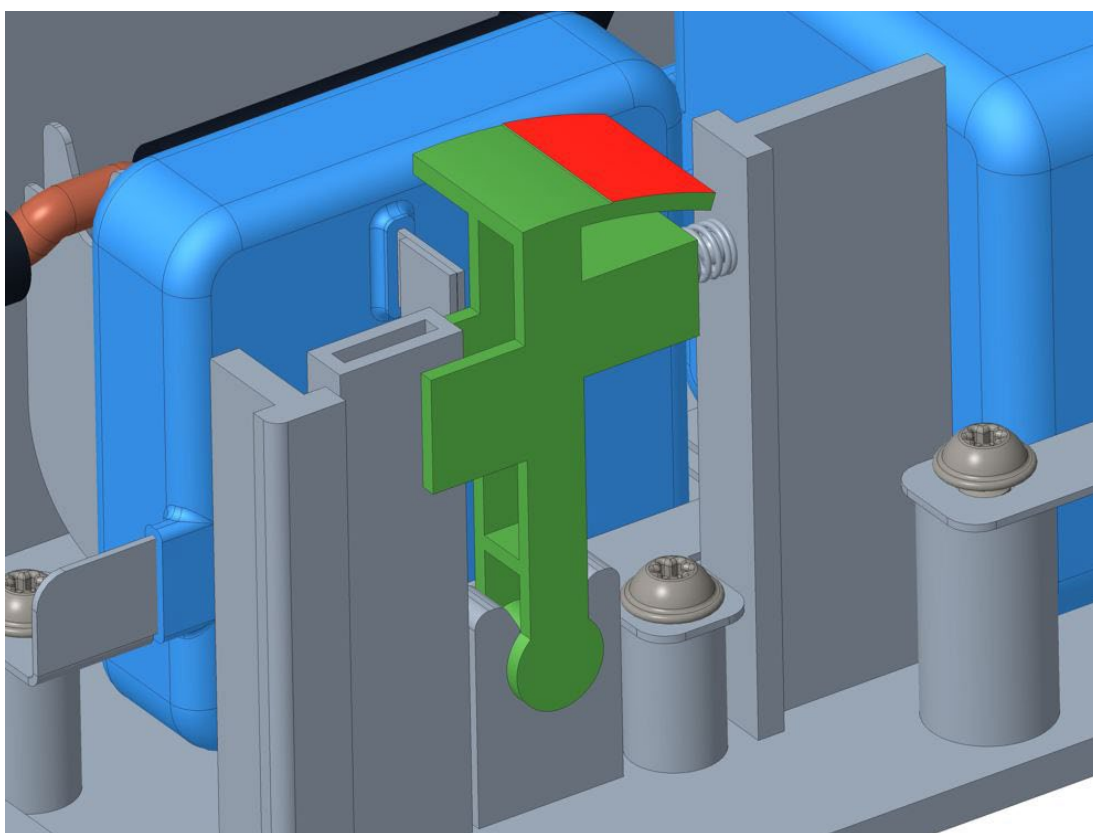


*Slika 28: Vodilni zatič za vzmet  
(Lastni vir)*

Prejšnja različica prototipa je imela težave z natančnostjo prikaza stanja naprave, zaradi indikatorjev, ki so se premikali levo in desno, kar je motilo in onemogočalo natančen prikaz. V tej fazi smo uvedli izboljšano vodenje indikatorjev, ki omogoča njihovo stabilno in natančno delovanje.

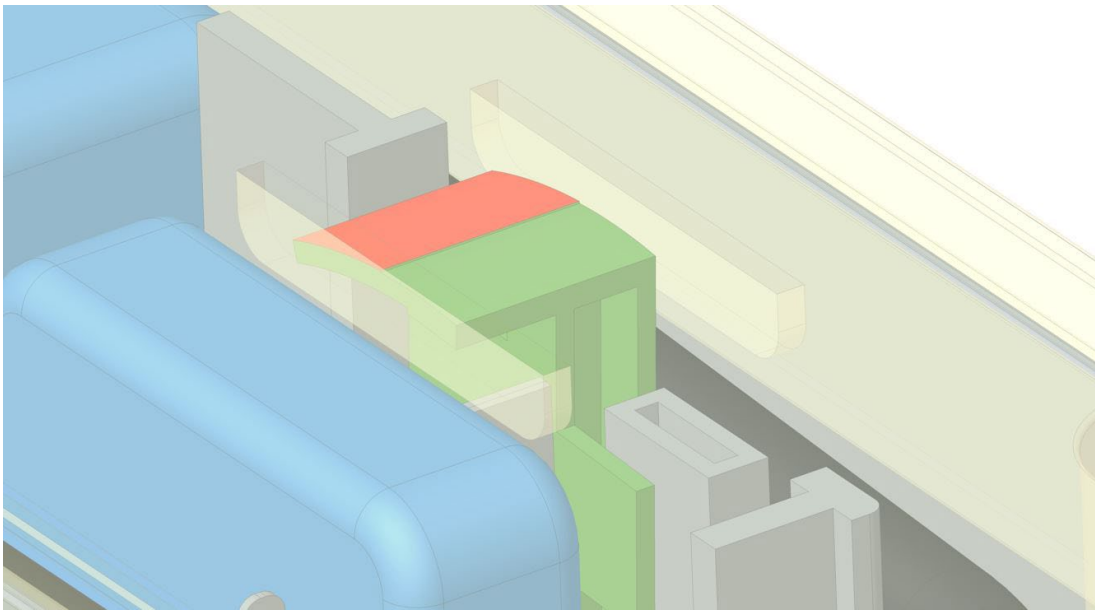
Težave, kjer so indikatorji nihali levo in desno, smo odpravili z uvedbo izboljšav v konstrukciji ohišja in indikatorja. Na ohišju smo naredili steber poleg indikatorja, na indikatorju pa smo oblikovali dva jezika, ki se ob namestitvi indikatorja ujameta s stebrom na ohišju. Ti jeziki omejujejo premik indikatorja levo in desno, kar omogoča, da se indikator premika samo naprej in nazaj. Ta rešitev zagotavlja stabilnost in natančnost prikaza stanja naprave.

Steber je na sredini votel, kar je ključno za ohranjanje tankih sten pri brizganju plastičnih delov. Ta zasnova preprečuje težave s sesedanjem materiala, ki bi lahko negativno vplivale na obliko stebra in njegovo funkcionalnost.



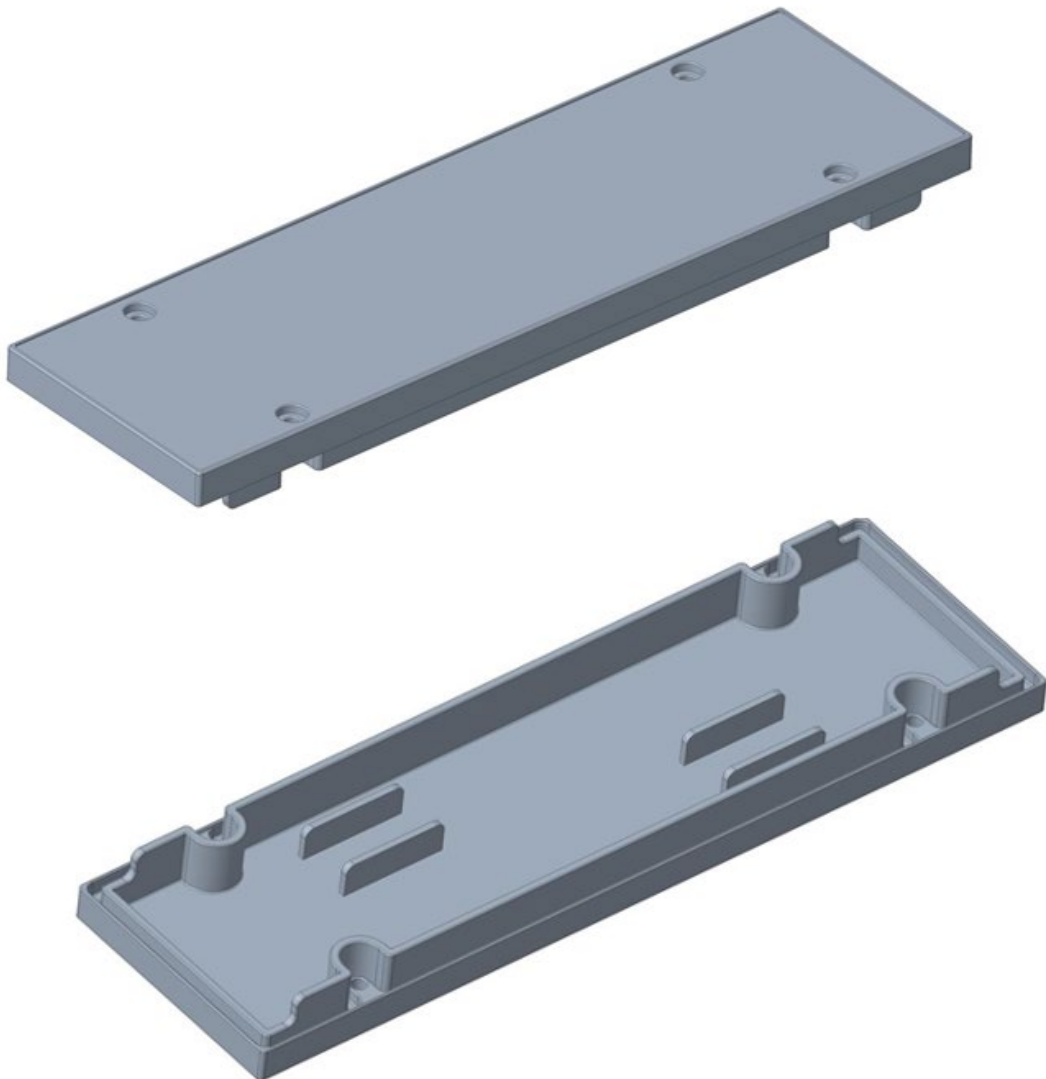
*Slika 29: Rešitev za izboljšanje vodenja indikatorja  
(Lastni vir)*

Za dodatno izboljšanje stabilnosti in natančnosti vodenja indikatorjev smo prav tako izvedli prilagoditve na pokrovu naprave. Na pokrovu smo dodali rebra, ki služijo kot vodila za indikator. Ta rebra so oblikovana tako, da indikator med premikanjem vodi in tako preprečujejo njegovo gibanje levo in desno. S tem smo dosegli še večjo stabilnost in natančnost delovanja indikatorjev ter zagotovili, da so pravilno poravnani in zanesljivo delujejo v vseh delovnih pogojih.



*Slika 30: Vodenje indikatorja s pomočjo dodanih reber na pokrovu  
(Lastni vir)*

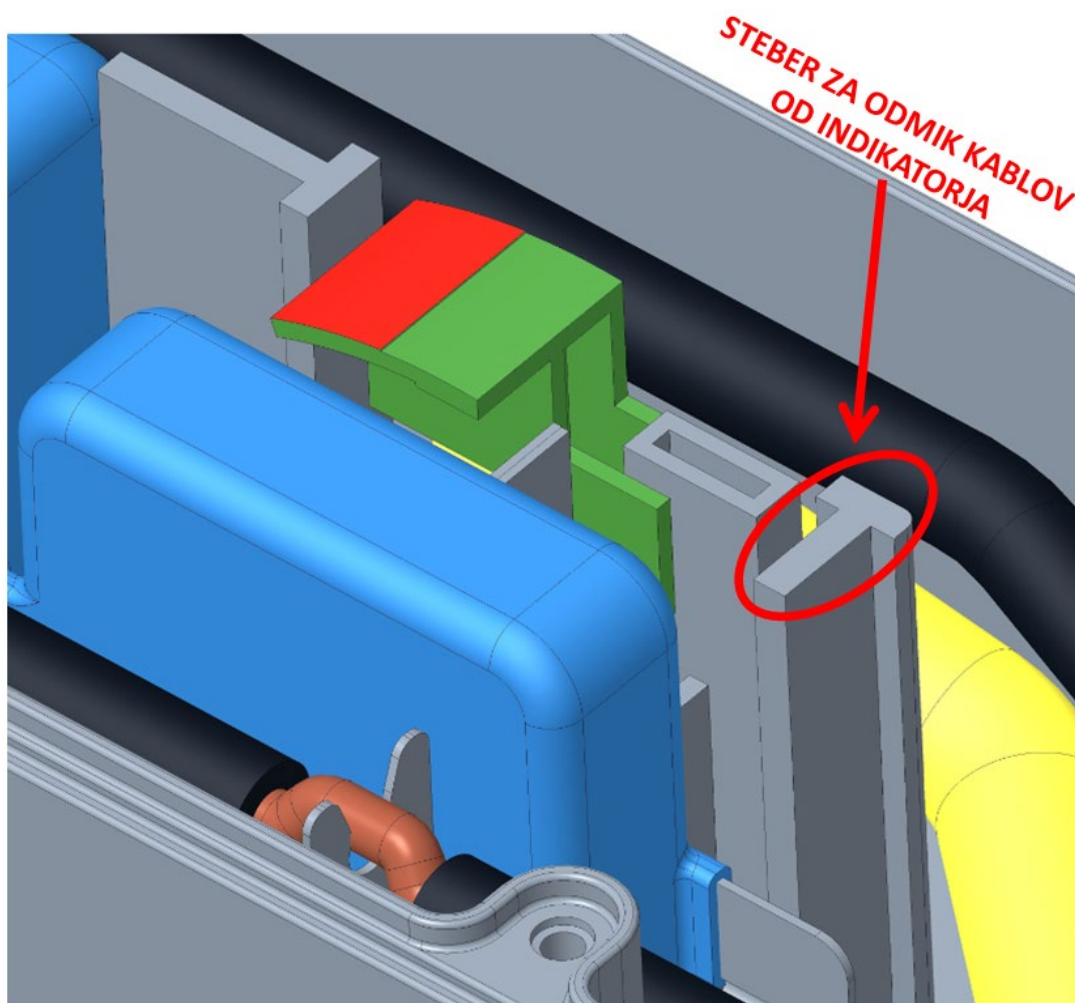
Poleg tega, da smo na spodnji strani pokrova dodali rebra za izboljšanje vodenja indikatorjev, smo na zgornji strani pokrova izvedli dodatno spremembo. Poglobitev za nalepko smo prilagodili tako, da nalepka zdaj prekriva vijake, kar prispeva k estetsko bolj dovršenemu videzu naprave. Ta prilagoditev omogoča, da je pokrov naprave enotno in estetsko zaprt, brez vidnih vijakov, za večjo privlačnost končnega izdelka.



*Slika 31: Pokrov druge različice naprave PV stick*  
(Lastni vir)

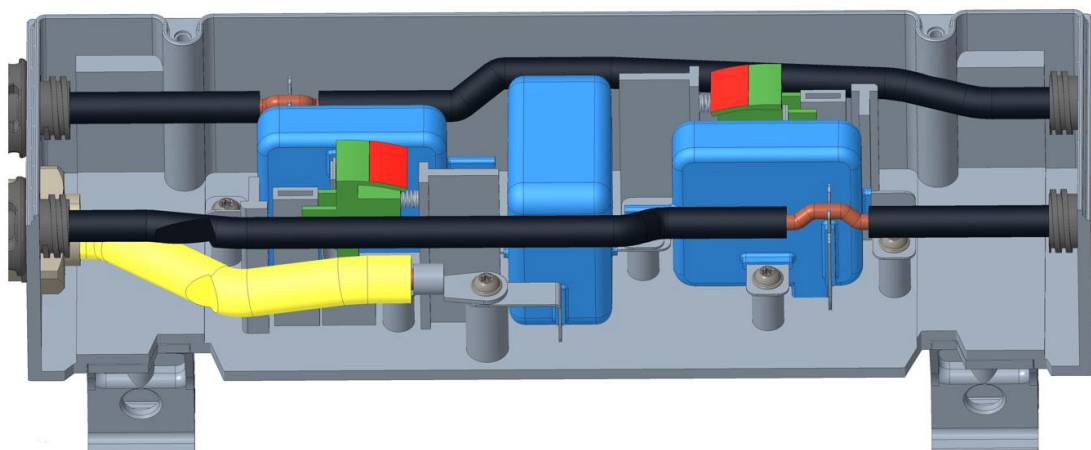
V prejšnji različici prototipa smo opazili težavo, da so se PV kablji stikali z indikatorji, kar je oviralo njihov nemoten premik. Da bi rešili to težavo, smo na ohišju uvedli steber, ki deluje kot ovira za kable in jih usmerja stran od indikatorjev. Steber je postavljen tako, da morajo kablji obiti njegov rob, kar preprečuje njihov stik z indikatorjem. Ta izboljšava zagotavlja nemoteno delovanje indikatorjev in prispeva k boljši funkcionalnosti naprave.





*Slika 32: Steber za odmik kablov od indikatorja  
(Lastni vir)*

Na koncu smo izvedli še optimizacijo ozemljitvenega kabla z namenom zmanjšanja njegove dolžine. S krajšo dolžino kabla smo dosegli znižanje stroškov materiala ter hkrati tudi poenostavitev montaže, pri čemer smo ohranili vse potrebne funkcionalnosti ozemljitvene povezave. Ta izboljšava je bila izvedena tako, da smo jezik srednje elektrode na srednjem varistorskem sestavu, na katerega se pritrdi ozemljitveni kabel, upognili za 180 stopinj. S tem smo skrajšali pot, ki jo mora prehoditi ozemljitveni kabel, kar prispeva k večji učinkovitosti in preprostosti montaže.



*Slika 33: Notranjost druge različice naprave PV stick, prikazana v prerezu  
(Lastni vir)*

Ko smo uspešno integrirali vse spremembe in izboljšave v 3D modelu, smo pridobili celovit pregled nad notranjostjo naprave. Slika 33 prikazuje, kako so posamezne komponente nameščene znotraj naprave in kako so med seboj povezane.

### **5.2.2 Izdelava prototipa**

Ko je bil 3D model druge različice naprave dokončan, smo se lotili izdelave prototipa. Ključni korak pri tem je bil ponovno pridobitev vseh potrebnih komponent za sestavo vzorca.

Izdelava plastičnih delov je bila izvedena enako kot pri prvi različici, s 3D tiskom. Dokumentacijo smo pripravili v obliki STL datotek, ki smo jih izvozili iz programa Creo. Tudi tokrat smo kot material izbrali SLS PA2200, ki je primeren zaradi svojih odličnih mehanskih lastnosti, z izjemo, da smo tokrat pokrov natisnili iz SLA WATERSHED XC11122 – transparent (lakirano). SLA (Stereolitografija) je tehnologija 3D tiskanja, ki uporablja laser za utrjevanje tekoče smole. Material SLA WATERSHED XC11122 je bil izbran zaradi svoje visoke prozornosti, ker s tem imitira pokrov, kot ga bomo dejansko uporabili za proizvodnjo.

Kovinske dele oziroma pločevino smo tudi tokrat naročili za laserski izrez in upogibanje, pri čemer smo morali zaradi spremembe srednje elektrode na srednjem varistorskem sestavu za ta kos posodobiti in poslati novo tehnično risbo. Ostali kosi so ostali nespremenjeni, zato nam ni bilo treba pripravljati novih risb. Za kovinske komponente smo zopet izbrali material CuSn6 s površinsko zaščito Sn 6-8  $\mu\text{m}$ , saj se je izbira tega materiala izkazala za učinkovito pri električnih testih prve različice izdelka.

Vzmeti in vijaki so nam ostali še od prejšnje različice, tokrat smo naročili le dodatne vijake za vijačenje nosilcev (M3x8 samorezni vijaki za plastiko z ravno glavo).

MC4 konektorje, kable, kabske uvodnice, varistorje in kabske čevlje smo zopet pridobili iz skladišča, saj se uporabljajo tudi v drugih produktih.

Naročili smo tudi nove posodobljene nalepke za napravo, saj smo spremenili geometrijo nalepke. Oblikovalski oddelek je pripravil nov dizajn na osnovi novega obrisa, ki smo jim ga podali na tehniški risbi.

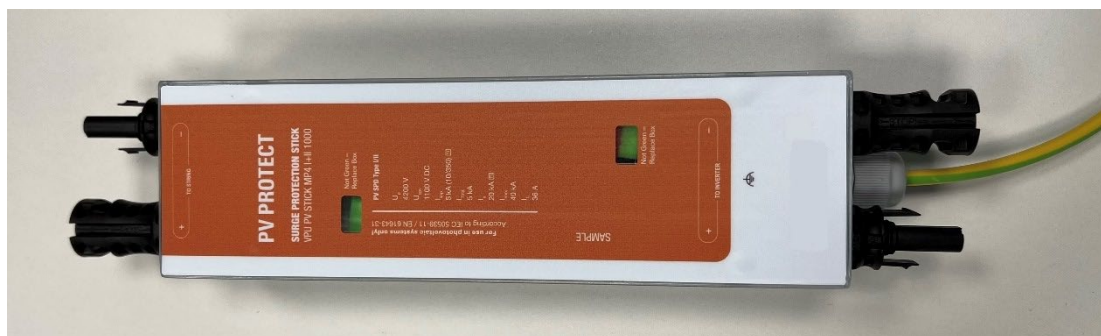
Ko smo prejeli elektrode od dobavitelja kovinskih delov, smo jih skupaj z varistorji nesli v proizvodni oddelek, kjer so strokovnjaki sestavili varistorske sestave.

S tem smo zaključili pripravo vseh potrebnih komponent za sestavo prototipa. Ko smo prejeli vse komponente, smo nadaljevali s sestavo in testiranjem vzorcev.



*Slika 34: Prototip druge različice naprave PV stick brez pokrova  
(Lastni vir)*

Na sliki 34 je prikazan notranji del prototipa druge različice naprave PV stick brez pokrova, kjer so vidne vse notranje komponente.



*Slika 35: Končna oblika prototipa druge različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Na sliki 35 je prikazana končna oblika druge različice prototipa naprave PV stick z nameščenim pokrovom in nalepko, v stanju kot bi bila naprava pripravljena za uporabo.

### 5.2.3 Testiranje prototipa in analiza pomnljivosti

Testiranje prototipa druge različice je bilo usmerjeno na preverjanje učinkovitosti vseh izvedenih sprememb. Osredotočili smo se na preizkušanje izboljšanih komponent in funkcionalnosti naprave, vključno z novim vodenjem indikatorja, izboljšanim vpetjem vzmeti ter prilagojenim ozemljitvenim kablom. Izvedli smo mehanske in električne teste, da smo zagotovili, da naprava še vedno izpolnjuje vse tehnične zahteve, kot so nazivna prebojna napetost, impulzni tok in maksimalni prenapetostni tok. Analizirali smo rezultate testiranja ter prepoznali morebitne preostale težave.

Ponovno smo uspešno prestali električne teste, s katerimi smo pokazali, da naprava izpolnjuje vse tehnične zahteve. Preizkušeni so bili nazivna prebojna napetost, delovna napetost, impulzni tok, prenapetostni tok, skupna prenapetostna kapaciteta in stalni tok. Vse meritve so ustrezale specifikacijam, kar potrjuje zanesljivost naprave v različnih obratovalnih pogojih.

Nov sistem vodenja indikatorja je pokazal izboljšano stabilnost in natančnost prikaza, kar je odpravilo prejšnje težave z nenatančnim delovanjem. Prav tako je izboljšano vpetje vzmeti prispevalo k zanesljivejšemu delovanju naprave, saj se vzmeti niso več iztikale iz svojih mest.

Krajši ozemljitveni kabel je bil uspešno implementiran brez negativnih vplivov na funkcionalnost naprave. Ta sprememba pripomogla k zmanjšanju stroškov materiala in poenostavitve montaže.

Med sestavljanjem smo opazili, da so se vse komponente pravilno prilegale in da ni bilo težav s sestavljanjem. Pokrov naprave z dodanimi rebri za vodenje indikatorjev je omogočil dodatno stabilnost, medtem ko so bile nalepke pravilno nameščene čez vijake.

Celovita analiza rezultatov testiranja je pokazala, da so bile ključne spremembe uspešne. Prodajni oddelek je o tem obvestil naročnika in ponovno smo jim v pregled poslali prototipni vzorec.

Med sestavljanjem stenskih in kanalskih nosilcev na ohišje smo ugotovili, da obstoječi nosilci popolnoma izpolnjujejo pričakovanja glede svoje funkcionalnosti in da so stabilno pritrjeni na ohišje. Poleg tega se zelo preprosto sestavijo ter se ohišju odlično prilegajo. Zaradi njihovega uspešnega delovanja in preproste namestitve ni bilo treba uvajati dodatnih sprememb.

S tem smo zaključili fazo testiranja prototipa druge različice in se pripravili na odziv naročnika na izvedbo.

### **5.3 Tretja različica naprave PV stick**

Po uspešnem zaključku testiranja druge različice in pregledu prototipnega vzorca je naročnik izrazil nove želje glede naprave. Na osnovi teh povratnih informacij smo pristopili k razvoju tretje različice, ki bo vključevala dodatne prilagoditve za izpolnitev novih zahtev.

Naročnik je želel razširiti ponudbo z dvema različicama naprave, ki bi omogočali različne konfiguracije zmogljivosti. Prva različica bo ohranila obstoječo zasnovo z enim vhodom, enim izhodom in enim ozemljitvenim kablom. Druga različica bo vključila dva vhoda, dva izhoda in en ozemljitveni kabel.

Specifične tehnične zahteve za te različice vključujejo za prvo različico tri varistorje, dva PV kabla in en ozemljitveni kabel, medtem ko bo druga različica vsebovala pet varistorjev, štiri PV kabla in en ozemljitveni kabel.

S tem pristopom želimo doseči širši spekter uporabe, saj bo ena različica zadostila potrebam manj zahtevnih aplikacij, medtem ko bo druga različica namenjena zahtevnejšim aplikacijam, kjer je potrebna večja zaščita pred prenapetostmi. Poleg tega bomo z uporabo večine skupnih komponent za obe različici omogočili preprostejšo in stroškovno učinkovitejšo proizvodnjo. To pomeni zmanjšanje zalog in optimizacijo proizvodnega procesa, saj bomo imeli večjo fleksibilnost pri sestavljanju obeh različic z uporabo enakih osnovnih komponent.

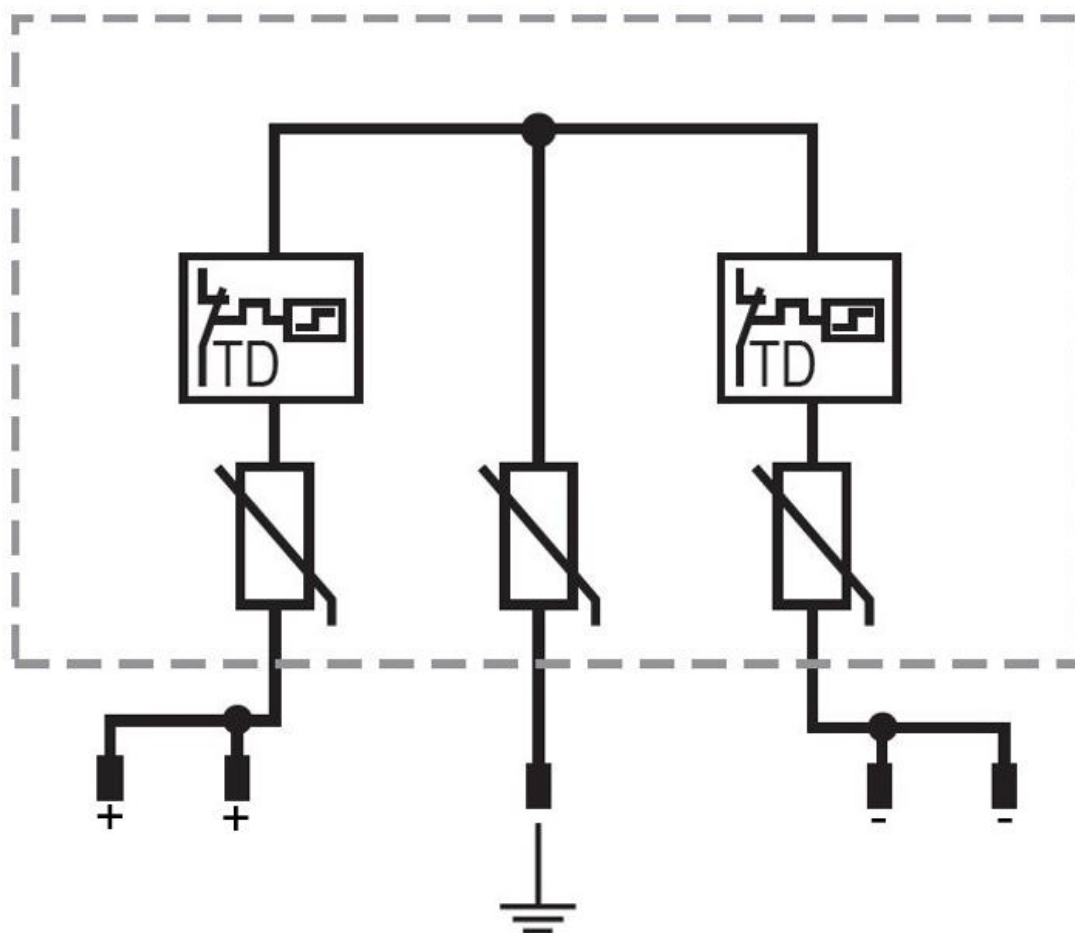
Ta prilagoditev bo omogočila boljšo zadostitev potrebam različnih uporabnikov ter obenem ohranila učinkovitost proizvodnje in zmanjšala stroške. Z vključitvijo teh sprememb bomo nadaljevali z razvojem tretje različice naprave, ki bo vključevala vse potrebne izboljšave in novosti, ki so jih izrazili naročniki.

Ena različica naprave bo tako primerna za manj zahtevne aplikacije, kjer je zaščita pred prenapetostmi potrebna na osnovni ravni. Ta različica z enim vhodom, enim izhodom in enim ozemljitvenim kablom ter tremi varistorji je idealna za standardne PV sisteme, kjer ni pričakovati ekstremnih prenapetostnih pogojev. Takšna konfiguracija zagotavlja zadostno zaščito za večino manjših do srednje velikih solarnih instalacij, kjer so obremenitve znotraj običajnih meja.

Druga različica, z dvema vhodom, dvema izhodom, petimi varistorji in enim ozemljitvenim kablom, je zasnovana za zahtevnejše aplikacije. Ta izvedba je primerna za velike in kompleksne PV sisteme, kjer je potrebna višja stopnja zaščite pred prenapetostmi zaradi večjih obremenitev ali ekstremnejših vremenskih pogojev.

Več varistorjev in dodatni PV kablji omogočajo boljšo distribucijo zaščite in višjo zmogljivost pri obvladovanju prenapetostnih valov, kar je ključnega pomena za ohranjanje varnosti in zanesljivosti v zahtevnih okoljih.

S tem pristopom omogočamo prilagodljivost glede na specifične potrebe uporabnikov, saj lahko izbirajo med osnovno in napredno različico glede na svoje zahteve in pogoje delovanja. Tako zagotavljamo optimalno zaščito in zanesljivost v različnih scenarijih uporabe, od manjših stanovanjskih sistemov do velikih komercialnih in industrijskih solarnih instalacij.



Slika 36: Električna shema naprave PV stick – različica 3Y  
(Lastni vir)

Shema 3Y prikazuje konfiguracijo naprave s tremi varistorji in dvema termičnima odklopnikoma. Na shemi so označene tudi povezave za pozitiven (+) in negativen (-) vhod ter izhod ter ozemljitev.

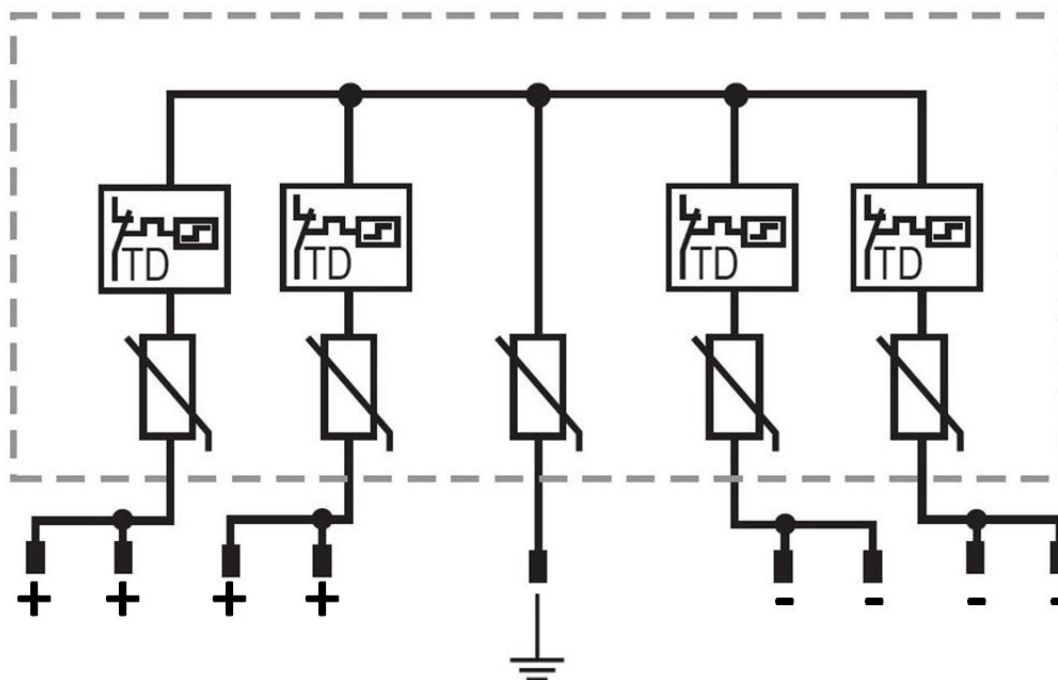
Na levi strani sheme je varistor, ki je povezan z dvema plusoma, kar pomeni, da je en priključek namenjen pozitivnemu vhodu (IN+), in drugi pozitivnemu izhodu (OUT+).

Ta varistor je povezan s termičnim odklopnikom, ki naprej vodi do srednjega varistorja. Srednji varistor je povezan z ozemljitvijo, kar omogoča varno prevajanje prenapetostnih tokov v zemljo.

Na desni strani sheme je varistor, ki je povezan z dvema minusoma, kar pomeni, da je en priključek namenjen negativnemu vhodu (IN-), in drugi negativnemu izhodu (OUT-). Tudi ta varistor je povezan s termičnim odklopnikom, ki naprej vodi do sredinskega varistorja. Tako kot na levi strani je sredinski varistor povezan z ozemljitvijo, kar zagotavlja simetrično zaščito za obe polariteti (pozitivno in negativno).

Termična odklopnika sta ključna za varnost naprave, saj zagotavljata prekinitev povezave v primeru pregrevanja varistorjev, kar preprečuje morebitne poškodbe ali okvare sistema.

Ta konfiguracija je bila uporabljena že pri prvih dveh različicah naprave.



Slika 37: Električna shema naprave PV stick – različica 5Y  
(Lastni vir)

Shema 5Y prikazuje različico naprave, zasnovano za večjo zmogljivost. Ta shema je v osnovi enaka prvi, vendar z dodatkom dveh varistorjev.

Na shemi 5Y sta na levi strani dva varistorja, ki sta povezana na vhodni pozitivni priključek (IN+) in izhodni pozitivni priključek (OUT+). Podobno sta na desni strani dva

varistorja povezana na negativne priključke, na vhodni negativni priključek (IN-) in izhodni negativni priključek (OUT-). Srednji varistor je povezan na ozemljitev.

Ta konfiguracija omogoča napravi, da prenese večje obremenitve, saj razširjena povezava varistorjev zagotavlja boljšo zaščito pred prenapetostmi in povečuje skupno zmogljivost naprave. S tem je naprava primerna za zahtevnejše aplikacije, kjer so pričakovane višje napetosti in večje prenapetostne obremenitve.

Poleg želje po razširitvi ponudbe z dvema različicama naprave je naročnik izrazil tudi željo po spremembi načina priključevanja na napravi, in sicer z opustitvijo MC4 konektorjev v korist kablov, ki segajo izven naprave. Novi pristop predvideva, da se konektorji ne bodo več nameščali neposredno na ohišje naprave, temveč bodo kabli izstopali iz naprave brez konektorjev. Ta sprememba je bila predlagana z namenom večje fleksibilnosti pri montaži in prilagoditvi sistema. S tem pristopom se omogoča, da se konektorji namestijo ločeno in po potrebi, kar poenostavi namestitev in omogoča namestitev različnih konektorjev glede na specifične zahteve.

### **5.3.1 Razvoj in vizualizacija modela v programu Creo**

Ko so bile določene nove zahteve za tretjo različico naprave, smo pristopili k razvoju in vizualizaciji modela v programu Creo.

Zaradi novih zahtev smo se odločili za skoraj povsem novo zasnovo naprave, pri čemer je bil glavni cilj razviti rešitev, ki omogoča izdelavo dveh različic naprave s čim manjšim številom različnih komponent. Namen je bil maksimirati skupno rabo komponent med obema različicama in tako optimizirati proizvodnjo ter zmanjšati stroške.

Za doseg tega cilja smo napravo zasnovali tako, da lahko v istem ohišju sestavimo obe različici, pri čemer smo se trudili ohraniti čim več skupnih komponent. Ključna ideja je bila, da se izognemo nepotrebnim razlikam v komponentah med različicama, kar pomeni, da smo zasnovo prilagodili tako, da omogoča preprosto prilagoditev konfiguracije naprave brez potrebe po večjem številu specifičnih delov.

V programu Creo smo natančno zmodelirali vse potrebne dele ter napravo zasnovali tako, da lahko v istem ohišju brez večjih sprememb sestavimo različico z enim vhodom in enim izhodom ter različico z dvema vhodoma in dvema izhodoma, pri čemer se večina komponent med obema različicama ohrani enaka.

Ta pristop nam omogoči preprosto proizvodnjo ter hkrati zagotavlja, da obe različici naprave izpolnjujeta vse tehnične zahteve in zagotavljata optimalno delovanje v različnih obratovalnih pogojih.



V procesu razvoja tretje različice naprave smo izvedli celovito prenovno zasnovo, ki je temeljila na prejšnji zasnovi z nekaj ključnimi spremembami.

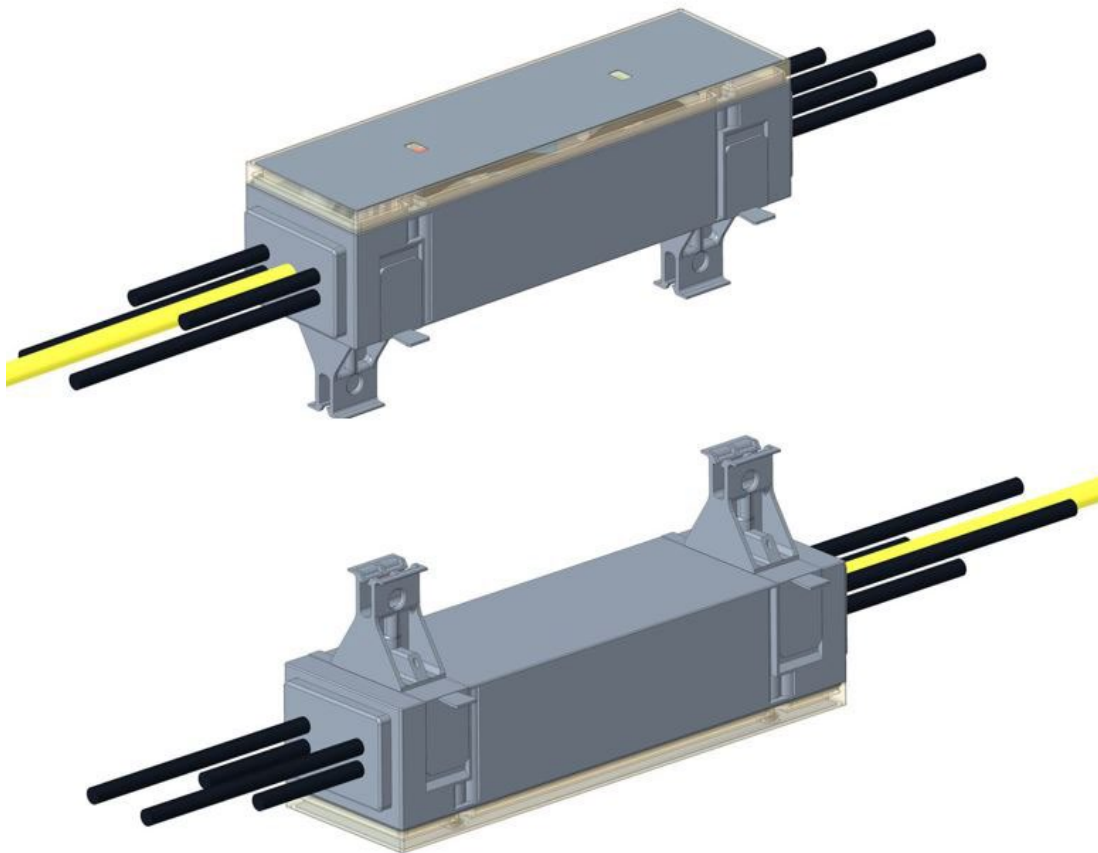
Zaradi večje prenapetostne zmogljivosti, ki jo zahteva nova različica 5Y, smo morali izbrati ustrezne varistorje, sposobne prenesti predpisane obremenitve. Na osnovi dosedanjih izkušenj z drugimi produkti smo se ponovno odločili za varistorje tipa S40. Za štiri stranske varistorje, ki so neposredno povezani s pozitivnim (+) ali negativnim (-) polom, smo izbrali varistorje S40 z debelino 7,6 mm. Srednji varistor, povezan z ozemljitvijo, smo izbrali v večji izvedbi z debelino 8,2 mm. Ta izbira temelji na izračunih, ki potrjujejo, da bodo ti varistorji lahko prenesli potrebne prenapetosti, pri čemer njihova kvadratna oblika optimalno ustreza našemu dizajnu.

Prehod na konfiguracijo z dvema vhodoma (IN) in dvema izhodoma (OUT) pri različici 5Y je zahteval dodajanje dveh novih kablov, tako da imamo zdaj skupaj štiri kable, v primerjavi s prejšnjima različicama, ki sta imeli le dva. Zaradi uvedbe dodatnih komponent smo se soočili z večjo kompleksnostjo zasnove, kar je zahtevalo prilagoditev dimenzij ohišja. Ohišje smo morali dvigniti za 3 mm, pri čemer smo ohranili osnovno pravokotno obliko ter nespremenjeni dolžino in širino.

Prej so bili MC4 konektorji za fotovoltaične povezave nameščeni neposredno na ohišju, kar je omogočalo pritrditev kablov prek konektorjev. Z odstranitvijo teh konektorjev in podaljšanjem kablov izven ohišja smo se morali prilagoditi novemu načinu pritrditve kablov. Zato smo uvedli nov element – kabelsko objemko, ki zagotavlja stabilno fiksacijo kablov. Dobra fiksacija kablov je ključnega pomena, saj preprečuje, da bi se kabli po nesreči povlekli, kar bi lahko poškodovalo mesta, kjer so spajkani z elektrodami. Če bi se to zgodilo, bi lahko povzročili okvaro naprave, kar bi vodilo do izgube funkcionalnosti in zmanjšanja zanesljivosti celotnega sistema.

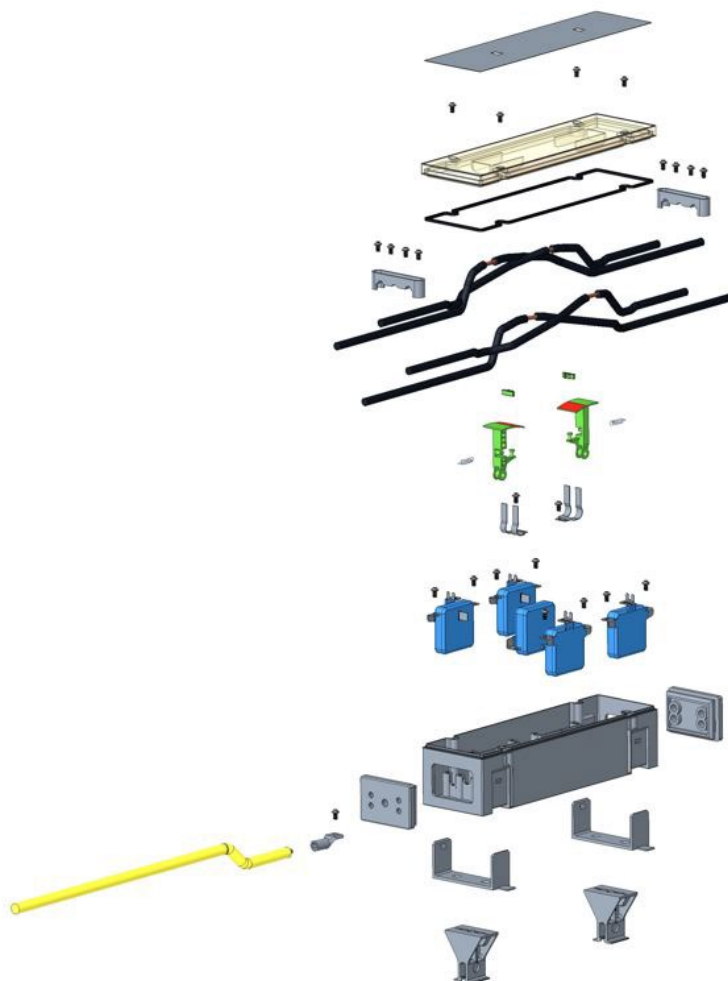
Poleg tega smo razvili po meri izdelano gumijasto tesnilno ploščo za vhod in izhod kablov, kar omogoča učinkovito tesnjenje in zagotavlja vodoodpornost naprave. Gumijasta plošča je bila prilagojena specifični geometriji naših kablov in ohišja, kar zagotavlja pravilno namestitvev in zaščito.

Ker kabli pri novi različici naprave segajo izven ohišja, smo morali za zagotavljanje skladnosti s standardi izbrati nove PV kable, prilagojene za zunanjo uporabo. Odločili smo se za 6 mm<sup>2</sup> PV kable z dvojno izolacijo, ki so znatno trši in manj fleksibilni v primerjavi s kabli, uporabljenimi v prejšnjih dveh različicah izdelka. Zaradi njihove trdnosti in omejene fleksibilnosti smo morali pri načrtovanju upoštevati manjše radije upogibanja, kar je bil velik izziv.



*Slika 38: Končni 3D model tretje različice naprave PV stick v različici 5Y  
(Lastni vir)*

Na sliki 38 je prikazan celoten 3D modela tretje različice naprave, ki ponazarja vse implementirane spremembe in izboljšave. Na modelu je viden nov način izvedbe naprave brez MC4 konektorjev, s kablji, ki segajo izven ohišja. Prav tako sta na vhodni in izhodni strani naprave vidni gumijasti tesnilni plošči, ki zagotavljata ustrezno tesnjenje ter zaščito pred vdorom vode.



Slika 39: Eksplozijski prikaz 3D modela druge različice naprave PV stick 5Y  
(Lastni vir)

Slika 39 prikazuje eksplozijski prikaz 3D modela druge različice naprave PV stick. Na sliki so jasno vidne vse implementirane spremembe, ki so bile uvedene v novi zasnovi.

Opazimo lahko, da ima naprava pet varistorjev, kar je prilagoditev za izboljšano prenapetostno zaščito. Prav tako je vidno, da sta na vhodni in izhodni strani naprave nameščeni gumijasti plošči, ki zagotavljata tesnjenje kablov in s tem zaščito pred vdorom vode in prahu.

Na sliki lahko vidimo tudi štiri kable, kar je sprememba v primerjavi s prejšnjimi različicami, kjer sta bila prisotna le dva kabla. Poleg tega lahko vidimo kabelske objemke na vsaki strani, ki trdno fiksirajo kable in zagotavljajo njihovo stabilnost.

V eksplozijskem prikazu je razvidno, da je zasnova naprave sicer precej podobna zasnovi prejšnjih dveh različic. Naprava prav tako kot v prejšnjih dveh različicah vsebuje dva termična odklopnika ter dva indikatorja, ter deluje na enakem principu kot pri prejšnjih različicah. Vendar smo morali zaradi nove zasnove preoblikovati in prilagoditi vse komponente, razen nosilcev, ki so se že v prototipnem testiranju druge različice naprave izkazali za zelo učinkovite in stabilne.

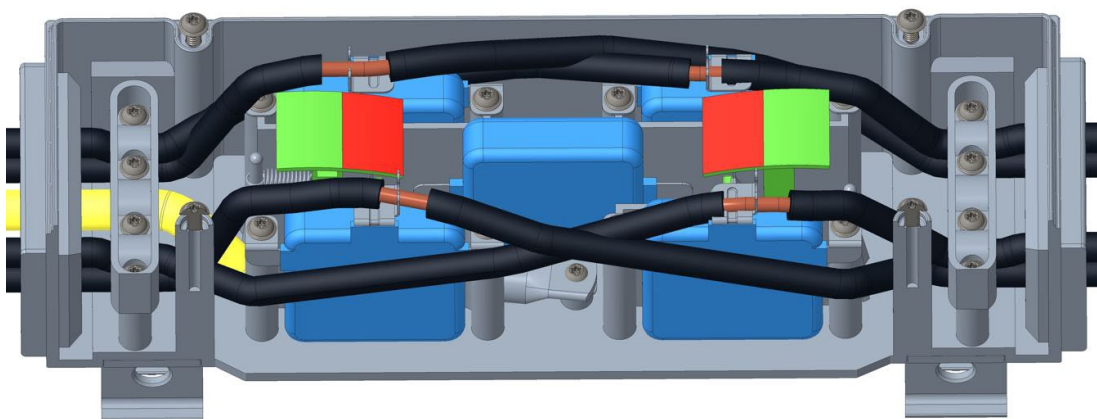
Da bi zagotovili čim večjo enotnost med obema različicama naprave, smo se najprej osredotočili na razvoj in modeliranje različice 5Y, ki ima kompleksnejšo zasnovo in več sestavnih delov. Ko smo dokončali modeliranje različice 5Y, smo na osnovi te zasnove razvili tudi različico 3Y. Zaradi tega se izvedbi razlikujeta predvsem po številu komponent, kar pomeni, da je med njima zelo malo različnih delov.

Komponente, kot so ohišje, pokrov, varistorski sestavi, indikatorji in termični odklopniki, so pri obeh izvedbah enake, razlikujejo se le po številu. Različica 3Y ima en termični odklopnik, en indikator in dva varistorska sestava manj kot različica 5Y.

Razlike med izvedbama 3Y in 5Y so v gumijastih tesnilnih ploščah za kable. Naprava 5Y ima pet kablov – štiri PV kable in en ozemljitveni kabel. Zato ima gumijasta tesnilna plošča na vhodni strani štiri luknje in na izhodni strani pet lukenj, od katerih so štiri namenjene PV kablom in ena ozemljitvenemu kablu. Različica 3Y ima dva kabla manj, zato ima gumijasta tesnilna plošča na vhodni strani dve luknji ter na izhodni tri, dve za PV kable in eno za ozemljitveni kabel.

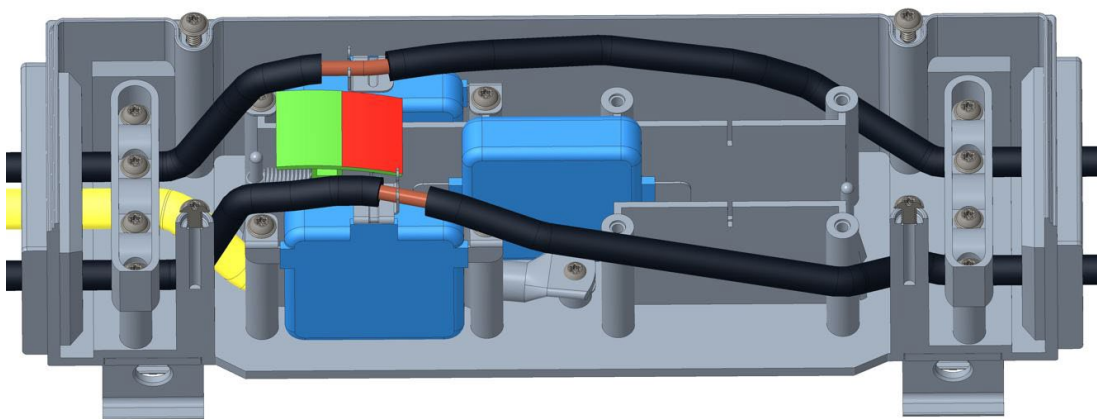
Poleg tega imata izvedbi različne kabelske objemke. Različica 5Y ima kabelsko objemko, zasnovano za fiksacijo štirih PV kablov in enega ozemljitvenega kabla. Pri različici 3Y kabelska objemka omogoča fiksacijo dveh PV kablov in enega ozemljitvenega kabla. Ta razlika je ključna za zagotovitev stabilnosti kablov pri obeh izvedbah.

Različici 3Y in 5Y se razlikujeta tudi po nalepkah. Naprava 5Y ima nalepko z dvema izrezoma za signalizacijo, saj ima dva indikatorja. Naprava 3Y ima nalepko z enim izrezom za signalizacijo, ker ima le en indikator.



*Slika 40: Notranjost tretje različice naprave PV stick 5Y  
(Lastni vir)*

Slika 40 prikazuje notranjost naprave različice 5Y, kjer so vidne vse implementirane komponente in njihove konfiguracije.



*Slika 41: Notranjost tretje različice naprave PV stick 3Y  
(Lastni vir)*

Slika 41 prikazuje notranjost naprave različice 3Y, kjer lahko vidimo, da je oblikovana po zasnovi 5Y izvedbe in da vsebuje manj komponent. Na sliki vidimo, da ima dva kabla, dva varistorska sestava, en termični odklopnik ter en indikator manj, kar odraža poenostavljeno zasnovo v primerjavi z različico 5Y.

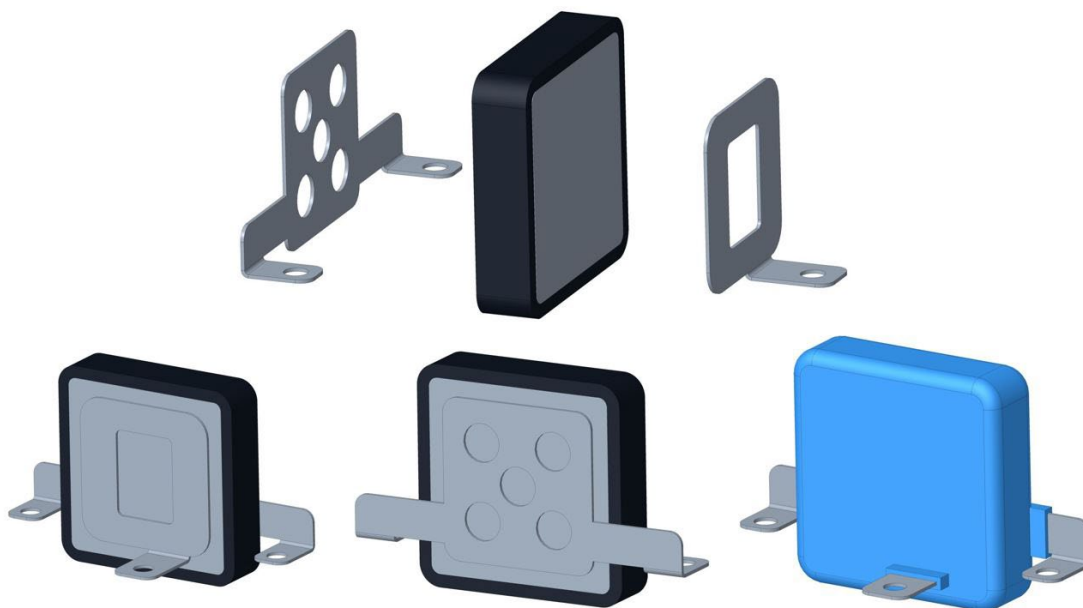
Pri modeliranju nove zasnove smo se najprej lotili modeliranja varistorjskih sestavov (varistorji plus elektrode), saj ti sestavi zavzamejo največ prostora v napravi. Zaradi njihove velikosti in pomembnosti je bilo ključno, da jih pravilno razporedimo že v začetni fazi modeliranja, da bi omogočili optimalno postavitev preostalih komponent.

Najprej smo zmodelirali obliko varistorjev S40 in jih simetrično razporedili znotraj ohišja. Razporedili smo jih tako, da so bili med seboj optimalno razmaknjeni, kar nam

je omogočilo dovolj prostora za namestitev drugih komponent. Pri tem smo morali upoštevati, da bo v ohišju dovolj prostora za vse kable, indikatorje ter termični odklopnik.

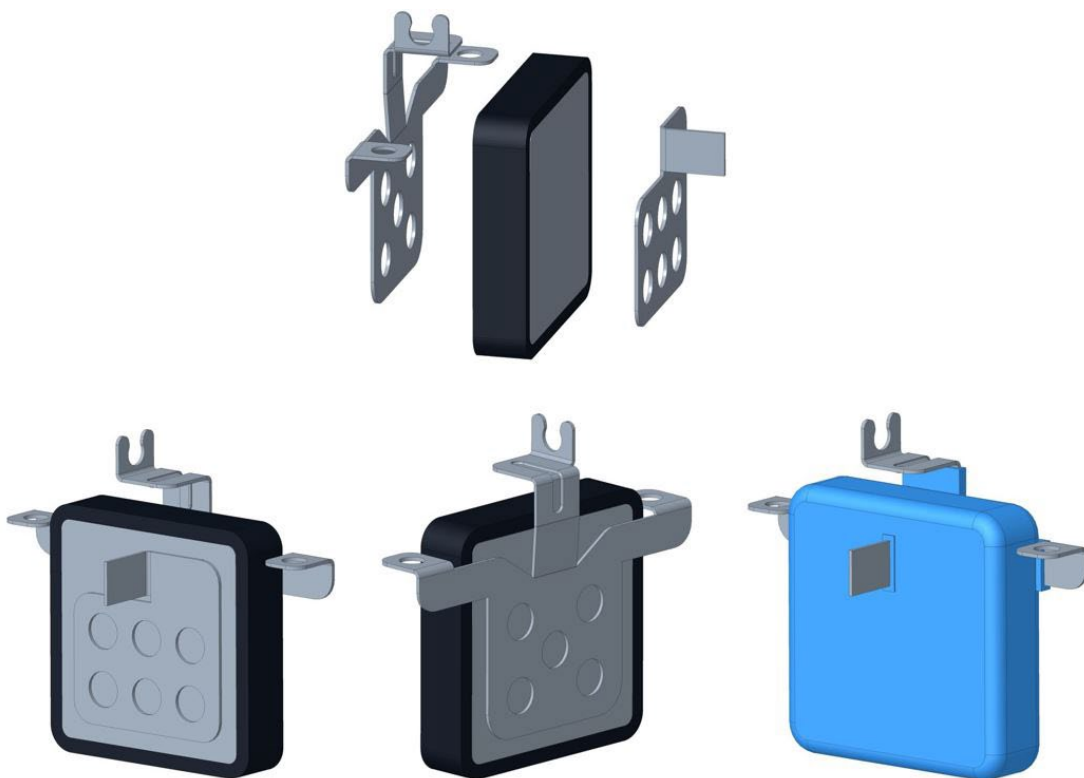
Ko smo varistorje smiselno razporedili znotraj ohišja, smo se lotili modeliranja elektrod. Obliko elektrod smo oblikovali tako, da se bodo varistorski sestavi lahko preprosto privijačili v ohišje ter bodo hkrati zagotavljali dobro povezavo s kabli in termičnimi odklopniki. S tem smo omogočili preprosto montažo.

Pri tem smo morali paziti na zadostne razdalje plazenja in zračnosti (creepage and clearance). Te razdalje so ključne za preprečevanje električnih prebojev in zagotavljanje varnosti naprave. Če so razdalje premajhne, lahko pride do neželenih električnih preskokov, ki lahko poškodujejo napravo ali predstavljajo varnostno tveganje. Obstajajo posebne formule, s pomočjo katerih lahko te razdalje izračunamo. Te formule upoštevajo parametre, kot so nazivna napetost, onesnaženost okolja in izolacijski material.



*Slika 42: Srednji varistorski sestav tretje različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Slika 42 prikazuje srednji varistorski sestav in ponazarja razporeditev posameznih komponent, vključno z varistorjem ter dvema elektrodama. Zgoraj je prikazan eksplozijski pogled, ki ponuja vpogled v videz posameznih komponent. Spodaj je prikazan sestavljen varistorski sestav pred in po epoksiranju.

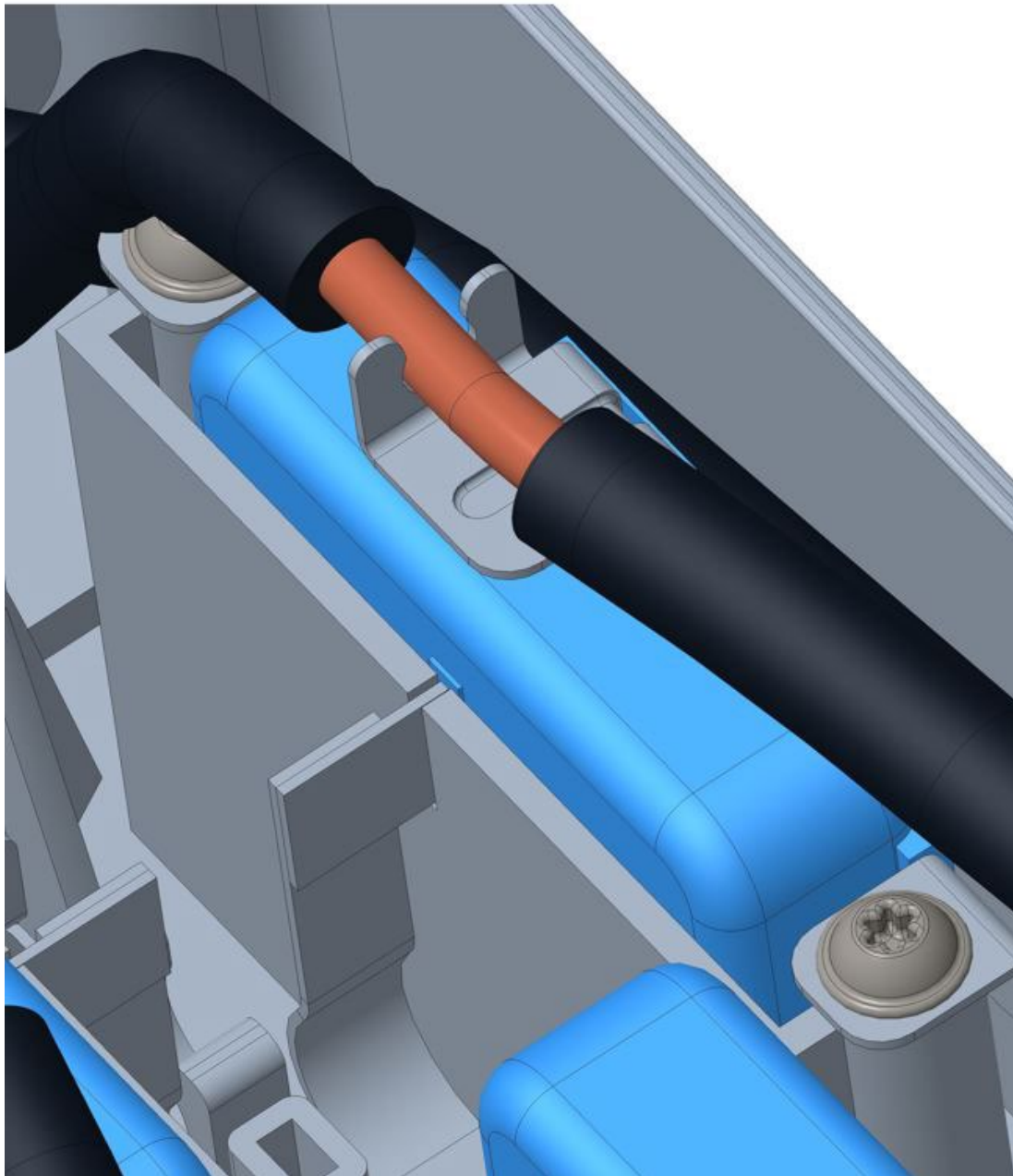


*Slika 43: Stranski varistorski sestav tretje različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Na sliki 43 je eksplozijski prikaz stranskega varistorskega sestava, ki prikazuje posamezne komponente, vključno z varistorjem, kabelsko elektrodo za povezavo varistorja s kablom ter odklopno elektrodo, ki povezuje varistor s termičnim odklopnikom. Prikazan je tudi sestavljen varistorski sestav pred in po epoksiranju.

Kabelska elektroda je oblikovana tako, da ima kontaktni del, kjer se prispajka kabel, natančno nad varistorjem. Zaradi večjega števila kablov in omejenega prostora je en kabel na vsaki strani speljan čez varistor, medtem ko drugi kabel poteka mimo varistorja, med varistorjem in ohišjem. Za ta namen smo pustili dovolj prostora.

Kabelska elektroda prav tako služi kot struktura za pritrnitev varistorskega sestava na ohišje. Na vsaki strani ima jeziček z luknjo, skozi katero gre vijak, ki elektrodo privijači v namensko narejene stebričke v ohišju. Jezički so zasnovani tako, da so čim višji, kar omogoča lažje vijačenje brez potrebe po seganju globoko v ohišje. Stebrički za vpetje varistorjev so prikazani na slikah 40 in 41.



*Slika 44: Prikaz točke stika med kabelsko elektrodo in PV kablom  
(Lastni vir)*

Na sliki 44 je vrh kabelske elektrode, ki je zasnovan v obliki črke omega, kar omogoča stabilno in zanesljivo namestitev kabla. Na upognjenem delu stika smo dodali vtis, ki povečuje trdnost upogiba in preprečuje čezmerno zvijanje strukture pod visokimi prenapetostnimi obremenitvami.

Ko smo uspešno zmodelirali in pravilno razporedili vse varistorske sestave znotraj ohišja ter oblikovali vse elektrode, smo se osredotočili na zasnovo njihove podporne



strukture v ohišju. Ta faza je vključevala oblikovanje podpornih stebrov oziroma pritrtilnih mest za varistorske sestave. Podporna struktura zagotavlja stabilno namestitve varistorskih sestavov ter omogoča preprosto montažo.

Na sliki 44 lahko vidimo tudi steno, ki povezuje stebrička za vpetje stranskega varistorskega sestava. Ta stena je postavljena med varistorskim sestavom in termičnim odklopnikom ter prekriva celoten varistorski sestav, razen reže, kjer je prispajkan jeziček odklopne elektrode.

Med razvojem smo razmišljali o alternativnem sistemu zaščite varistorjev brez epoksija. Ta možnost vključuje uporabo varistorjev, ki so le stekleno pasivirani. Gre za proces, pri katerem se varistorji obložijo z zaščitno stekleno plastjo, ki povečuje njihovo odpornost na okoljske vplive, vendar ne nudi popolne zaščite pred prebojem toka. Ta tehnologija bi omogočila nižje proizvodne stroške zaradi cenejših materialov.

Kljub temu ta tehnologija zahteva dodatno zaščito pred prebojem toka med odklopno elektrodo in odklopnikom, ob pregrevanju, ko med njima ne sme biti več stika. Zato smo zasnovali omenjeno steno, ki preprečuje morebitne težave.

Ker še nismo popolnoma raziskali možnosti brez epoksija, smo za zdaj nadaljevali z uporabo epoksi zaščite. Epoksi ponuja ustrezno zaščito, zaradi česar stene niso nujno potrebne. Kljub temu smo jih ohranili v načrtu, da bi omogočili preprost prehod na sistem glass passivated v prihodnosti, če se bo to izkazalo za potrebno.

Ko smo zaključili modeliranje in imeli končno postavitev varistorskih sestavov, smo prešli na oblikovanje indikatorjev in termičnih odklopnikov. V prejšnjih različicah naprave smo imeli na vsakem stranskem varistorskem sestavu en odklopnik in en indikator. V novi različici smo zasnovali en odklopnik in en indikator za zaščito dveh varistorskih sestavov, kar je zahtevalo večjo kompleksnost in novo zasnovo.

Začeli smo z oblikovanjem termičnega odklopnika. Njegova zasnova je bila podobna kot v prejšnjih različicah, na istem principu delovanja, zato je pod stalno mehansko napetostjo, vendar z razliko, da je imel namesto enega zavihka za stik z odklopno elektrodo varistorskega sestava dva taka zavihka, vsakega za en varistorski sestav. Oblika termičnega odklopnika je bila natančno usklajena z razpoložljivim prostorom in pozicijo varistorskih sestavov znotraj ohišja.

Termični odklopnik je z vijakom pritrjen na podporne stebričke na obeh straneh srednjega varistorskega sestava. Ta pritrditev zagotavlja trden stik med odklopnikom in srednjim varistorskim sestavom ter omogoča prenos toka nanj, kar zagotavlja pravilno ozemljitev naprave. S tem smo dosegli stabilno delovanje vseh komponent in zagotovili njihovo dolgotrajno zanesljivost.

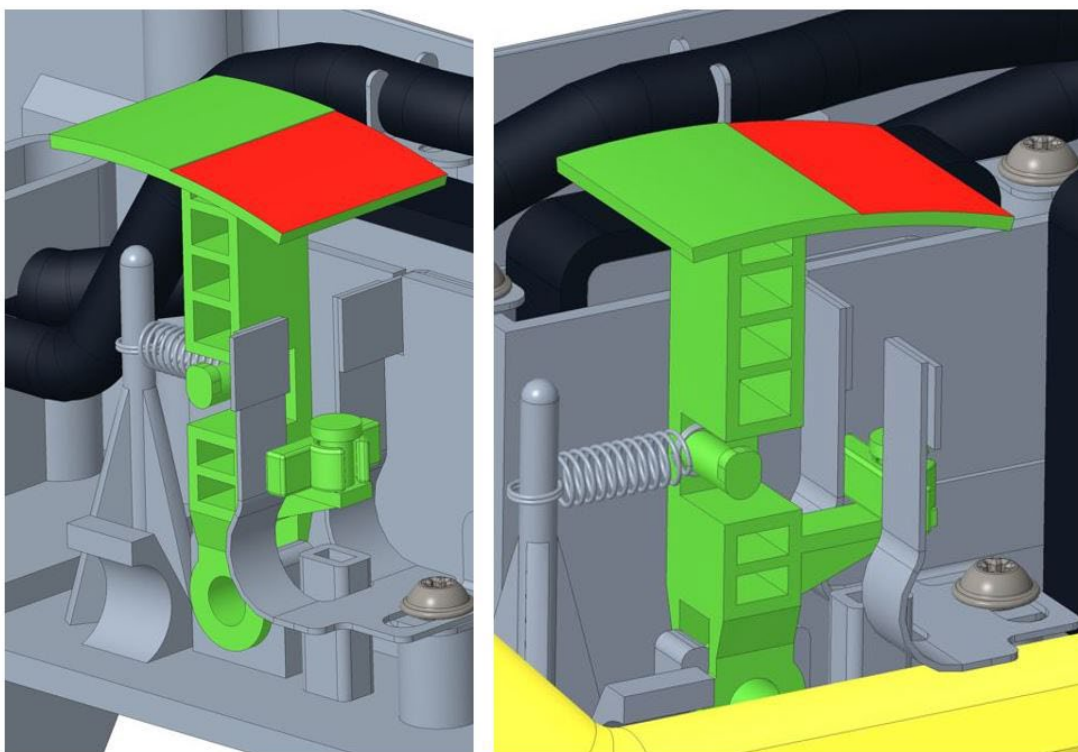
Oblikovanje indikatorja je predstavljalo poseben izziv, saj je bilo treba ustvariti en sam indikator, ki bi lahko učinkovito signaliziral prenehanje delovanja naprave ob prekinitvi toka dveh varistorških sestavov oziroma termičnih odklopnikov. To pomeni, da mora indikator delovati, če se zaradi prenapetosti pojavi pregrevanje enega ali obeh varistorjev hkrati. Za doseg tega cilja smo razvili zasnovo, ki omogoča vizualni prikaz stanja naprave ob odklopu toka enega ali drugega. Indikator smo zasnovali tako, da je hkrati slonel na obeh zavihkih odklopnika. Ko eden od zavihkov prekine stik z odklopno elektrodo in se premakne, se indikator s pomočjo natezne vzmeti premakne in signalizira prekinitve toka z rdečo barvo, ki se prikaže skozi okence na pokrovu naprave.

Indikator smo pritrdili na ohišje na enak način kot v prejšnjih različicah naprave, saj se je ta metoda pri testiranjih pokazala kot dobra in zanesljiva rešitev vpetja. Za premik indikatorja smo uporabili natezno vzmet, ki je na eni strani pritrjena na indikator ter na drugi na stebriček za vpetje vzmeti na ohišju. Med delovanjem naprave je vzmet pod napetostjo; ko termični odklopnik prekine tok in indikator izgubi podporo, vzmet potegne indikator, kar povzroči premik in vidno signalizacijo prekinitve toka. Ta zasnova zagotavlja zanesljiv vizualni prikaz stanja naprave in omogoča hitro zaznavanje morebitnih težav.

Za omogočanje učinkovitega delovanja indikatorja smo uvedli novo komponento: nihajno ploščico, ki se namesti na indikator. Ta ploščica, pravokotne oblike, služi kot podpora indikatorju pri stiku z odklopnikom.

Nihajna ploščica se pritrdi na okrogel stebriček oziroma os na indikatorju, ki deluje kot točka vrtilišča. Ploščica se namesti tako, da objame ta stebriček s preprostim pritiskom, saj je zasnovana tako, da se na stebriček pritrdi s klikom.

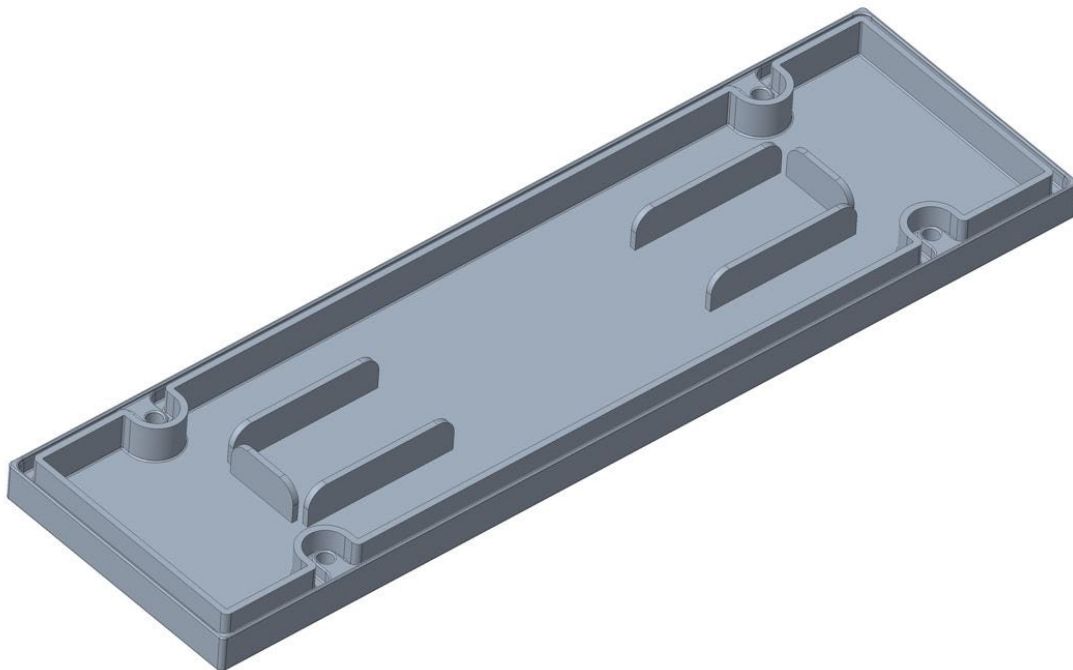
Celotna zasnova omogoča, da se nihajna ploščica prosto vrtili okoli točke vrtilišča na indikatorju. Ko eden od odklopnikov prekine tok, se ploščica lahko zasuče, kar povzroči, da indikator izgubi podporo. Ta premik indikatorja omogoča vizualno signalizacijo prekinitve toka, kar zagotavlja jasen in učinkovit prikaz stanja naprave.



*Slika 45: Nova zasnova indikatorja in termičnega odklopnika  
(Lastni vir)*

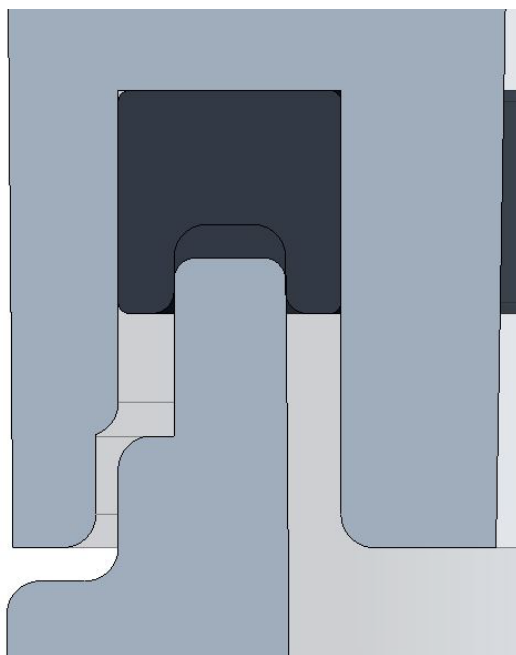
Ko smo pristopili k modeliranju pokrova, smo osnovno geometrijo pokrova ohranili enako kot pri prejšnjih dveh različicah. Zgornji del pokrova, ki nosi nalepko, je ostal nespremenjen.

Spremembe so bile osredotočene na spodnji del pokrova. Zaradi prostorske stiske znotraj ohišja, kjer so kabli nameščeni skoraj povsem na vrhu in ob robovih ohišja, smo morali odstraniti stranska rebra. Ta rebra so prvotno služila kot ojačitev, ki je preprečevala čezmerno upogibanje pokrova ob pritrditvi na ohišje. Ker stranska rebra zdaj manjkajo, obstaja večja verjetnost, da se bo pokrov med vijachenjem nekoliko upognil. Kljub temu smo se odločili, da bomo ta dizajn zaenkrat obdržali in ga preizkusili v praksi. Poleg tega smo na spodnji strani pokrova dodali dodatne stene, ki služijo kot vodila za indikator. Te stene so oblikovane tako, da vodijo indikator med premikanjem in preprečujejo njegovo nihanje levo in desno. Pokrov poleg dveh vodilnih sten vključuje tudi tretjo steno, ki deluje kot mehanska ovira. Ta dodatna stena natančno pozicionira indikator in ga zadrži na točno določenem mestu, kar omogoča zanesljivo in natančno signalizacijo.



*Slika 46: Pokrov tretje različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Pri nadaljnjem razvoju smo se odločili za spremembo oblike tesnila. Namesto prejšnje okrogle gumijaste vrvice smo izbrali prilagojeno tesnilo, ki ustreza obliki kanala v pokrovu ter steni ohišja, ki pritisne tesnilo ob pokrov. Nova zasnova tesnila se je že dobro obnesla na enem od naših drugih izdelkov, zato smo se odločili, da jo implementiramo tudi v to napravo.

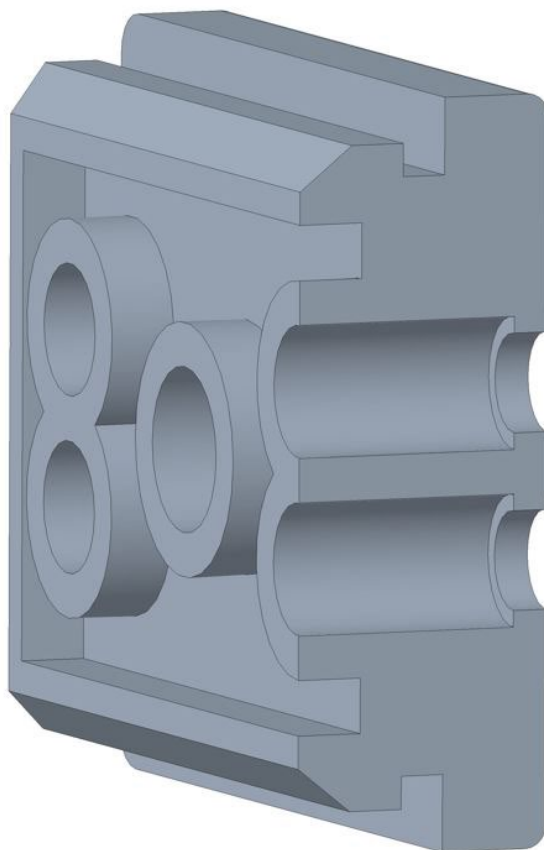


*Slika 47: Prikaz tesnjenja naprave z novo obliko tesnila  
(Lastni vir)*

Modeliranje smo nadaljevali z oblikovanjem gumijastih tesnilnih plošč, skozi katere potekajo kablji. Najprej smo proučili tesnilo priznanega proizvajalca, ki je namenjeno enakemu cilju – namestitvi na ohišje za učinkovito tesnjenje kablov. Po natančni analizi geometrije in načina izdelave tega tesnila smo začeli z oblikovanjem lastnih, po meri oblikovanih tesnilnih plošč.

Gumijaste tesnilne plošče so pravokotne oblike in zasnovane tako, da so na sredini nekoliko ožje. Ko je tesnilna plošča nameščena, en del ostane znotraj ohišja in drugi del zunaj. Na mestu, kjer je plošča najožja, se tesno prilega steni ohišja, kar zagotavlja učinkovito tesnjenje. Da bi omogočili pritrditev tesnila, smo na ohišju oblikovali ustrezno odprtino, ki ustreza obliki plošče. S to zasnovno smo dosegli, da tesnilne plošče zadržujejo vlago in prah iz naprave.

Ko smo dokončno oblikovali osnovno obliko plošče, smo dodali še luknje za kable. Luknje so zasnovane tako, da so skozi večji del dolžine plošče nekoliko večje od največjega premera kabla, kar pomeni, da imajo širši premer. Na koncu zadnjih 1,6 mm smo luknje zožili, da so manjše od najmanjšega premera kabla. Ta zasnova omogoča, da se tesnilo tesno prilega okoli kabla, ko ga potisnemo skozi, kar zagotavlja učinkovito tesnjenje.

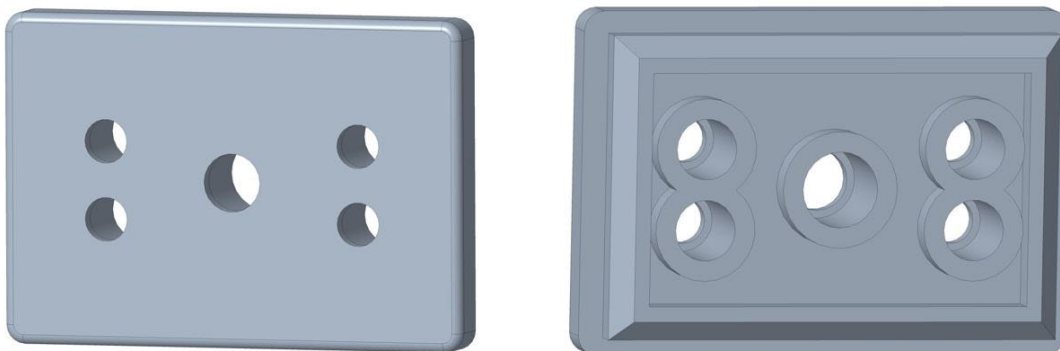


*Slika 48: Prerez gumijaste tesnile tesnilne plošče za kable  
(Lastni vir)*

Na sliki 48 je prikazan prerez gumijaste tesnilne plošče, kjer sta vidni geometrija lukenj za kable ter celotna oblika plošče, ki omogoča stabilno namestitev v ohišje in zagotavlja zanesljivo delovanje.

Vse skupaj imamo štiri različne tesnilne plošče, ki se razlikujejo po številu lukenj. Ker obstajata dve različici naprave PV stick, 5Y in 3Y, vsaka z različnim številom kablov, potrebujemo različne tesnilne plošče. Tesnilna plošča na vhodu različice 5Y ima štiri luknje za PV kable in na izhodni strani pet lukenj, eno več še za ozemljitveni kabel. Tesnilna plošča za vhod različice 3Y ima dve luknji za PV kable ter na izhodni strani tri luknje, prav tako eno več za ozemljitveni kabel.

Vse tesnilne plošče imajo enako osnovno obliko, razlika je le v številu lukenj. Ta enotna oblika poenostavlja izdelavo orodij za brizganje, kar znižuje proizvodne stroške. Prav tako omogoča standardizacijo proizvodnega procesa, kar zmanjšuje možnost napak in povečuje učinkovitost.

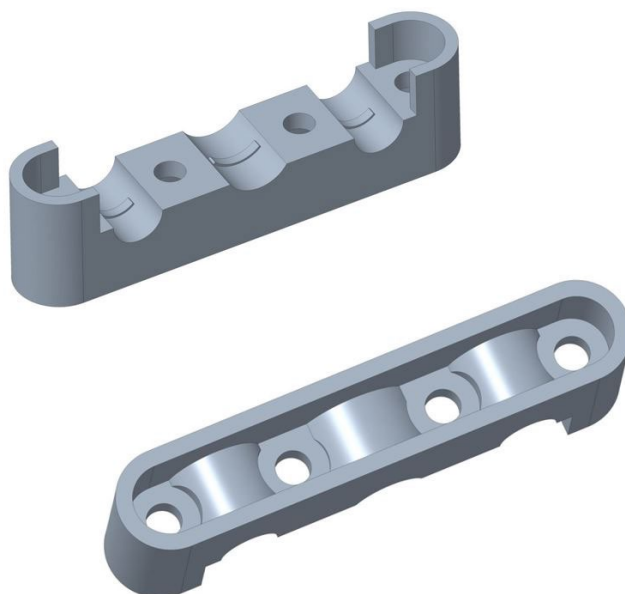


*Slika 49: Gumijasta tesnilna plošča na izhodu naprave PV stick različice 5Y  
(Lastni vir)*

Na sliki 49 je prikazana gumijasta tesnilna plošča s petimi luknjami. Štiri ožje luknje so namenjene PV kablom in peta, širša luknja na sredini ozemljitvenemu kablu. Ta plošča ima največ lukenj in je nameščena na izhodu naprave različice 5Y.

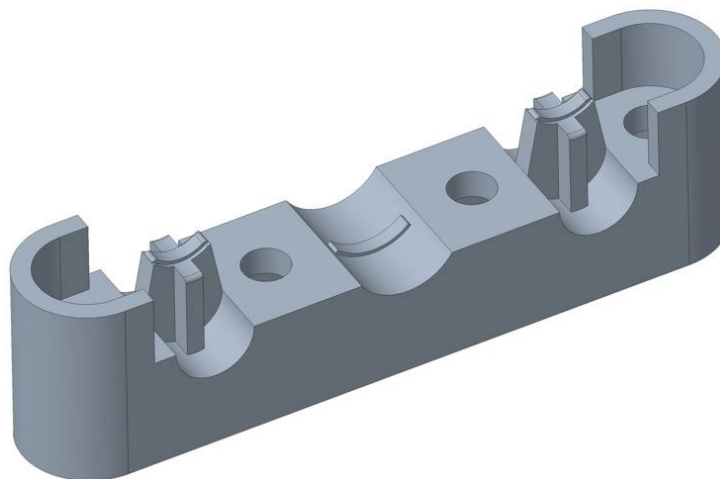
Zadnji korak je bil oblikovanje kabelskih objemk in reševanje izzivov fiksiranja kablov. Oblikovali smo dve različni kabelski objemki, eno za različico 5Y in drugo za različico 3Y, pri čemer je bila osnovna zasnova obeh enaka, vendar prilagojena specifičnim potrebam glede števila kablov.

Obe objemki sta zasnovani tako, da tvorita polovico kanala, skozi katerega potekajo kabli, medtem ko drugo polovico kanala zagotavlja za to oblikovana struktura na ohišju naprave. Na vsaki strani kanala je en vijak, ki se privijači v stebriček na ohišju, s čimer se objemka trdno pritrdi. Ta zasnova omogoča, da objemka kable močno pritisne ob ohišje, kar preprečuje njihovo premikanje in zmanjšuje tveganje poškodb naprave zaradi nenamernega vleka kablov.



*Slika 50: Kabelska objemka 5Y tretje različice naprave PV stick*  
(Lastni vir)

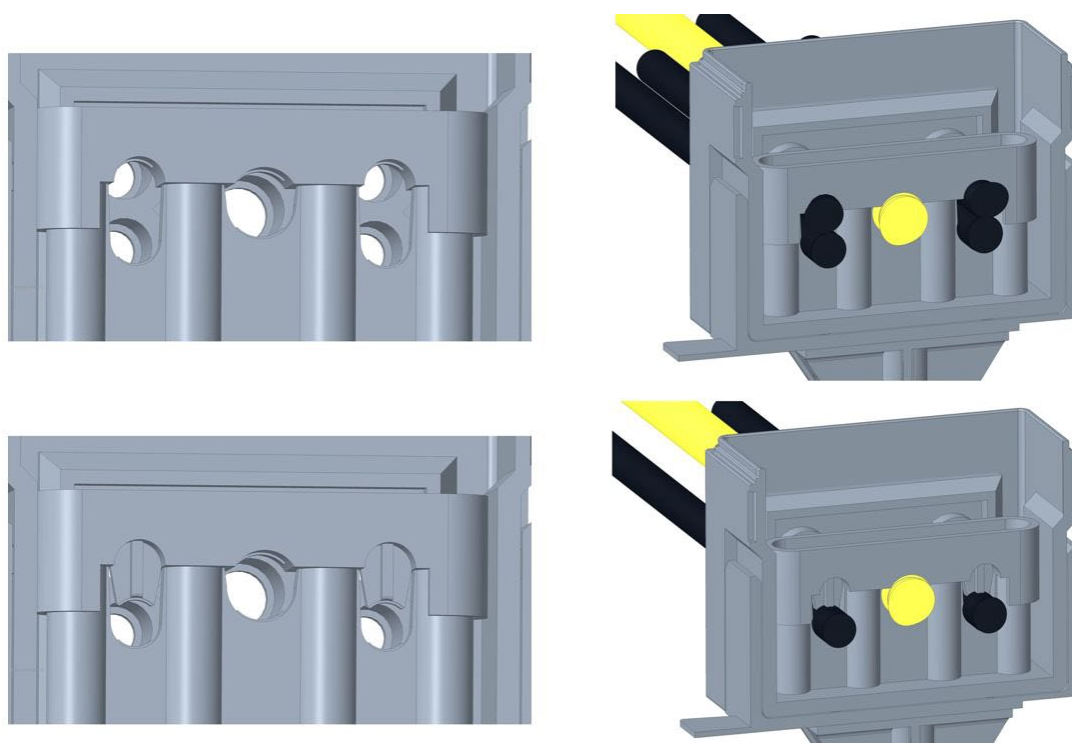
Na sliki 50 vidimo kabelsko objemko za napravo 5Y. Zgoraj vidimo spodnjo stran objemke, kjer so trije kanali za kable, spodaj vidimo zgornjo stran objemke, kamor se namestijo vijaki.



*Slika 51: Kabelska objemka 3Y tretje različice naprave PV stick*  
(Lastni vir)

Na sliki 51 vidimo kabelsko objemko naprave 3Y. Kabelska objemka ima podaljšane kanale za PV kable, saj mora stisniti dva kabla manj, enega na vsaki strani. Zato smo morali za razliko debeline enega kabla podaljšati stranska kanala.





*Slika 52: Prikaz pritrjevanja kablov s kabelsko objemko  
(Lastni vir)*

Slika 52 prikazuje način pritrjevanja kablov s pomočjo kabelske objemke. Na levi strani je prikazana nameščena kabelska objemka brez kablov, kar omogoča boljši vpogled v obliko kanalov za kable, pri čemer je zgoraj različica naprave 5Y in spodaj 3Y. Na desni strani lahko vidimo končen videz pritrjenih kablov, zgoraj za napravo 5Y in spodaj za 3Y.

S tem smo uspešno oblikovali novo zasnovo naprave PV stick, ki omogoča izvedbo v različicah 5Y in 3Y.

### 5.3.2 Izdelava prototipa

Ko smo dokončno zmodelirali tretjo različico naprave PV stick, smo nadaljevali z izdelavo prototipa. Pridobiti smo morali vse potrebne komponente za sestavo vzorca.

Plastični deli so bili ponovno izdelani z uporabo 3D tiska. Za vsak plastični kos smo pripravili dokumentacijo v obliki STL datotek, izvoženih iz programa Creo. Ohišje, indikatorje, indikacijske nihajne ploščice, kabelske objemke in nosilce smo naročili iz materiala PA2200, izdelane s tehnologijo 3D tiskanja SLS. Prozoren pokrov smo ponovno naročili z uporabo tehnologije SLA in materiala WATERSHED XC11122.

Za izdelavo vzorcev gumijastih tesnilnih plošč za kable smo morali zagotoviti vzorce, ki čim bolj posnemajo dejanske kose, ki bodo kasneje brizgani iz orodja. Odločili smo

se za tiskanje s tehnologijo SLA, saj omogoča uporabo materiala, podobnega gumi. Dejanski kosi bodo imeli trdoto ShA 50. (Shore trdota je merilo za trdoto materialov, zlasti elastomerov in polimerov). Ker dobavitelj ni imel na voljo materiala ShA 50, smo za testiranje naročili vzorce s trdoto ShA 80.

Kovinske dele smo naročili za laserski izrez in upogibanje. Zaradi povsem nove zasnove naprave smo morali spremeniti vse kovinske dele, zato smo pripravili nove tehnične risbe. Material za kovinske kose smo ponovno izbrali CuSn6 s površinsko zaščito Sn 6-8  $\mu\text{m}$ , saj se je ta izbira izkazala za optimalno pri električnih testih že pri prvi različici izdelka.

Ker smo oblikovali povsem novo vzmet, smo pripravili tudi novo tehnično risbo vzmeti. Material za vzmet je bil ponovno music wire, visokoogljčna jeklena žica.

Vijaki so ostali enaki kot pri prejšnji različici, zato jih nismo ponovno naročali, saj smo jih imeli še dovolj na zalogi. Varistorje in kabselske čevlje smo pridobili iz skladišča.

Posodobili smo tudi nalepke za napravo, saj smo spremenili dizajn tiska in mesta izreza okenc za prikaz stanja indikatorjev. Oblikovalski oddelek je pripravil nov dizajn, ki smo ga posredovali dobaviteljem.

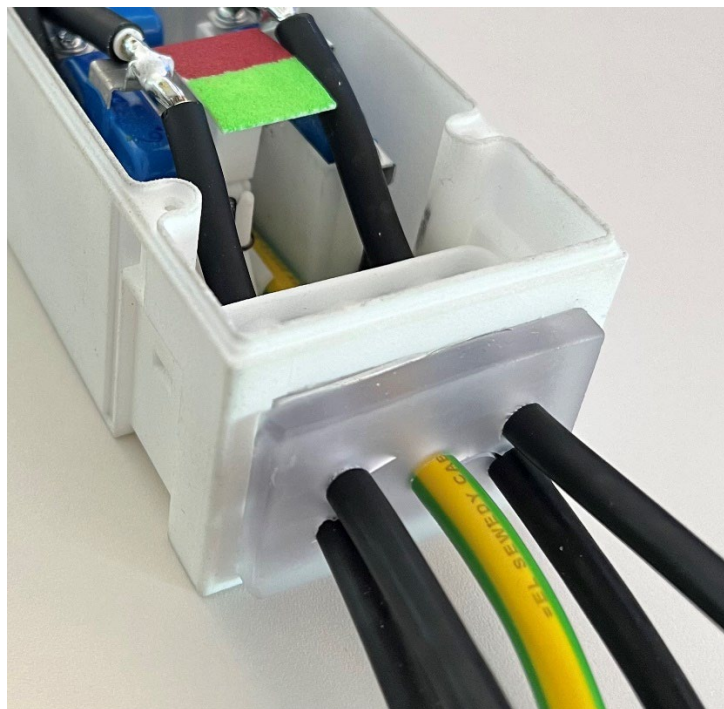
Ko smo od dobavitelja prejeli elektrode in druge kovinske dele, smo jih prenesli v proizvodni oddelek, kjer so strokovnjaki sestavili varistorske sestave. Za natančno sestavo varistorskih sestavov smo jim posredovali tudi nove tehnične risbe s pozicijami elektrod na varistorju, da so lahko pripravili ustrezne pripomočke za izdelavo.

S tem smo zaključili pripravo vseh potrebnih komponent za sestavo prototipa in nadaljevali s sestavljanjem in testiranjem vzorcev.



*Slika 53: Prototip tretje različice naprave PV stick brez pokrova  
(Lastni vir)*

Na sliki 53 je prikazan notranji del prototipa tretje različice naprave PV stick brez pokrova, kjer so vidne vse notranje komponente in integrirane spremembe.



*Slika 54: Prototip gumijaste tesnilne plošče za tesnjenje kablov  
(Lastni vir)*

### **5.3.3 Testiranje prototipa in analiza pomnljivosti**

Po sestavi prototipa smo nadaljevali s testiranjem, da bi preverili delovanje naprave in zaznali morebitne pomanjkljivosti. Testiranje je potekalo v več fazah, pri čemer se je vsaka faza osredotočila na specifične vidike naprave.

Najprej smo izvedli mehansko testiranje, kjer smo preverjali strukturno integriteto naprave. Preizkusili smo, kako dobro se posamezni deli med seboj prilegajo ter kako učinkovito se namestijo novi trši kabli, objemke ter tesnilne plošče.

Naslednja faza je vključevala električno testiranje, da bi zagotovili pravilno delovanje celotne naprave. Testirali smo tudi odklop termičnih odklopnikov in delovanje signalizacije.

Po izvedbi testiranj smo analizirali rezultate in zaznali kar nekaj pomanjkljivosti. Opazili smo težave pri namestitvi kablov zaradi stebričkov za vijačenje pokrova na ohišju, ki otežujejo usmerjanje kablov med stebričke in varistorske sestave. Poleg tega je treba kable ob vstopu in izstopu iz ohišja preveč upogniti, zaradi česar ne nalebajo dobro v kanal za fiksacijo kablov. Morali smo jih močno prisiliti v kanal in potem pritrditi s kabelsko objemko, ki jo je bilo potem zelo težko privijačiti, saj smo morali pri tem kable ves čas siliti v kanal. Ko je bila objemka pritrjena, je bila nameščena postrani, saj jo kabli močno silijo v ta položaj. Tudi vijačenje objemk je bilo težavno, saj so vijaki pregloboko in so težko dostopni. Težave je predstavljal tudi ozemljitveni kabel, saj je bil izpeljan preveč po sredini naprave in pritrjen čisto pri dnu. Zaradi tega je bil težko upogljiv. Težave smo imeli tudi s tesnilnimi ploščami, predvsem na račun slabega 3D tiska, saj je material hitro razpadal ob sestavljanju, pri čemer je bil ShA 80 res trd in se je težko namestil v ohišje. Ker so bili kabli pod stalno mehansko napetostjo, zaradi svoje prisiljene poti, smo imeli tudi veliko težav z vstavljanjem tesnilnih plošč. Kabli so jo ves čas poskušali izriniti iz svojega mesta. Zaradi tega plošče niso bile ustrezno pritrjene in niso zagotavljale ustreznega tesnjenja.

Težave smo imeli tudi z indikatorjem. Na vrhu je bil preširok in se je dotikal kablov, kar otežuje njegov premik. Prav tako se ob odklopu termičnega odklopnika indikatorji niso dovolj premaknili in izdelek ni signaliziral napake. To se je zgodilo zaradi zatikanja nihajne ploščice, ki je bila nameščena zelo nizko, kjer je kot odklopa odklopnika zelo majhen. Zaradi tega se ni mogla dovolj zasukati, da bi se indikator lahko premaknil.

Tudi pokrov je imel nekaj pomanjkljivosti. Ker je bil indikator preširok, ni bilo dovolj prostora za rebra za vodenje indikatorja, zato smo morali pokrov močno prisiliti, da smo ga dobili na svoje mesto. Ko smo pokrov privijačili na ohišje, je bila težava v tem, da se je na sredini upognil in ni dovolj močno pritiskal na tesnilo, da bi lahko zagotavljal ustrezno tesnjenje. To se je zgodilo, ker smo odstranili stranska rebra na pokrovu, ki so v predhodnih različicah ojačevala pokrov.

Električni testi so bili izvedeni skladno z zahtevami, vključno z merjenjem nazivnih prebojnih napetosti, delovnih napetosti, impulznega toka, prenapetostnega toka, skupne prenapetostne kapacitete in stalnega toka. Vse meritve so ustrezale specifikacijam. Dodatno smo izvedli test simulacije načina odpovedi (Failure Mode Simulation, FMS), ki je pokazal, da odklopnik prepočasi prekine tok, kar pomeni, da naprava ne zagotavlja ustrezne zaščite pred prenapetostmi.

Na osnovi testiranja prototipa smo prepoznali več področij, kjer so potrebne izboljšave za optimizacijo delovanja naprave. Najprej smo opazili težave pri namestitvi trših kablov, saj so zaradi obstoječe zasnove ohišja in kanalov kabli težko speljani med stebrički in varistorskimi sestavi. To povzroča mehanske napetosti in otežuje pravilno

namestitvev kablov. Zato je treba prilagoditi obliko notranjih kanalov in stebričkov ohišja, da se olajša usmerjanje kablov in zmanjšajo upogibi, kar bo pripomoglo k lažji namestitvi.

Drugo področje izboljšav vključuje kabelske objemke, kjer smo naleteli na težave z vijaki in dostopnostjo. Zasnova objemk je takšna, da vijaki segajo pregloboko in so težko dostopni. Izboljšati je treba dostopnosti za preprostejše vijačenje in spremeniti zasnove objemk, da se izboljšata njihova funkcionalnost in preprostost namestitve.

Tretje področje se nanaša na tesnilne plošče, kjer smo opazili težave zaradi slabega 3D tiska. Materiali, ki smo jih uporabili, so med sestavljanjem razpadali, zaradi česar tesnilne plošče niso bile ustrezno pritrjene in niso zagotavljale tesnjenja. Treba bo najti drugačen postopek tiskanja z uporabo materialov, ki so bližje dejanski trdoti (ShA 50).

Indikator in nihajna ploščica sta predstavljal naslednje področje za izboljšave. Zaradi preširokega indikatorja in zatikajoče se nihajne ploščice se indikatorji niso dovolj premaknili ob odklopu termičnega odklopnika. Ponovno bo treba proučiti zasnovo teh komponent in omogočiti nemoteno gibanje indikatorja.

Pokrov naprave je bil prav tako problematičen, saj se je upognil in ni zagotavljal ustreznega tesnjenja. Načrtujemo ojačitev na dnu pokrova, ki bo zagotovila ustrezno trdnost pokrova in omogočila pravilno pritrditev tesnila.

Nazadnje smo pri testiranju zaščitnih komponent ugotovili, da odklopnik deluje prepočasi, kar pomeni, da naprava ne ponuja ustrezne zaščite pred prenapetostmi. Treba je bo povečati spajkalno površino in izbrati bolj toplotno prevoden material odklopne elektrode, da se toplota od varistorja hitreje prenese na spajko in s tem omogoča hitrejši odklop termičnega odklopnika.

Načrt za odpravo teh težav vključuje revizijo zasnove naprave na osnovi ugotovljenih težav. Po izvedbi sprememb bomo ponovno testirali prototipe, da se zagotovi odprava težav in doseže želeno delovanje naprave.

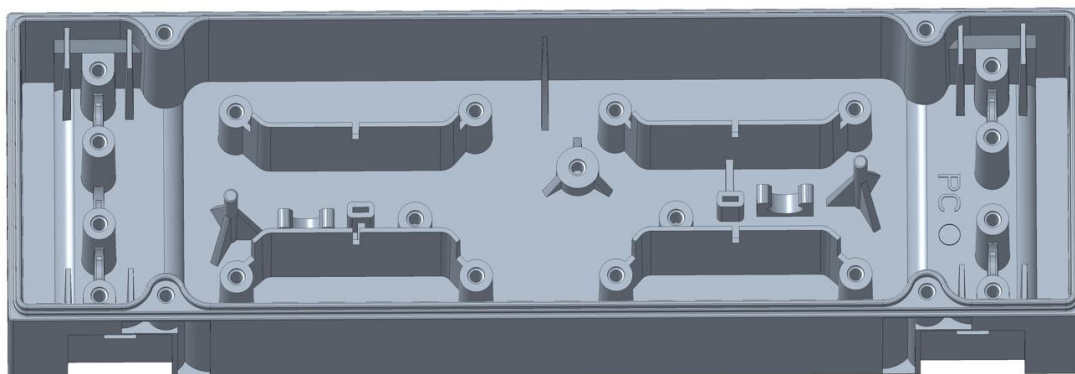
## **5.4 Končna različica naprave PV stick**

### **5.4.1 Razvoj in vizualizacija končnega modela v programu Creo**

Razvoj končne različice naprave PV stick se je začel z oblikovanjem in vizualizacijo modela v programu Creo. Cilj te faze je bil natančno načrtovati vse izboljšave in spremembe, ki smo jih ugotovili med testiranjem prejšnje različice, ter ustvariti celovit 3D model naprave.

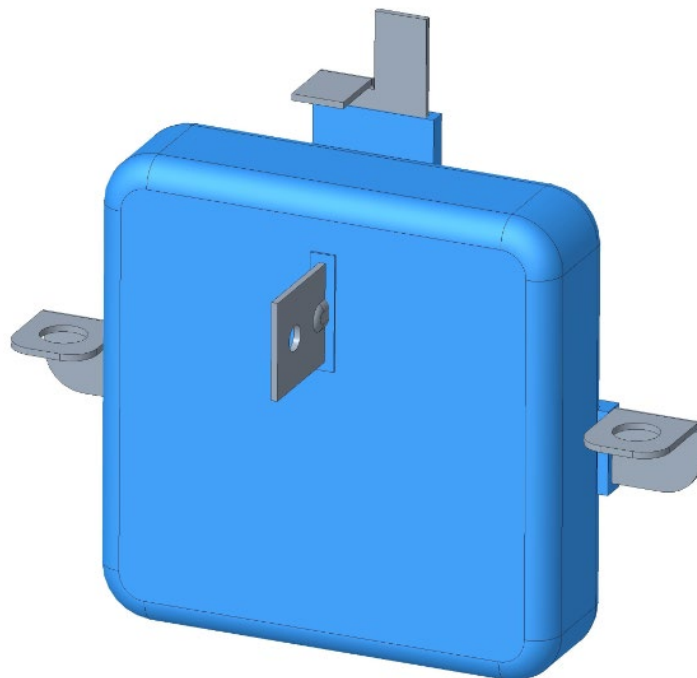
Najprej smo pregledali vse povratne informacije in rezultate testiranj tretje različice. Na osnovi teh podatkov smo pripravili seznam izboljšav, ki jih je bilo treba implementirati. S poudarkom na izboljšanju mehanskih in električnih lastnosti naprave smo začeli z modeliranjem v programu Creo.

Ena izmed ključnih prilagoditev je bila sprememba notranje geometrije ohišja. Zasnovali smo nove notranje kanale in stebričke, ki omogočajo lažjo namestitev trših PV kablov. Notranje kanale in stebričke smo prilagodili tako, da zmanjšujejo mehanske napetosti in omogočajo preprosto speljevanje kablov skozi napravo. Dodali smo tudi stranske stene ob mestih za namestitev kabelskih objemk, kar omogoča, da se bolj stabilno namestijo v ohišje. Poleg tega smo ohišju na sredini dodali dodatna rebra za večjo trdnost in stabilnost celotne konstrukcije. Da bi zmanjšali napetosti na kablích z znižanjem stebričkov, smo morali prilagoditi tudi kabelske elektrode na stranskih varistorskih sestavih, tako da smo mesto vpetja na elektrodi premaknili nekoliko nižje na sredino elektrode. Pri prenovi odklopne elektrode smo preoblikovali tudi mesto, kjer se pritrdi kabel. Novo zasnovo smo poenostavili in jo naredili bolj simetrično, tako da nismo potrebovali različnih kablov oziroma so bili lahko vsi štirje kabli v napravi enaki. Prav tako sta bila lahko kabla v različici naprave 3Y enaka. Ta sprememba je omogočila tudi manjše stroške zaradi poenostavljene izdelave.



*Slika 55: Končna oblika ohišja naprave PV stick  
(Lastni vir)*

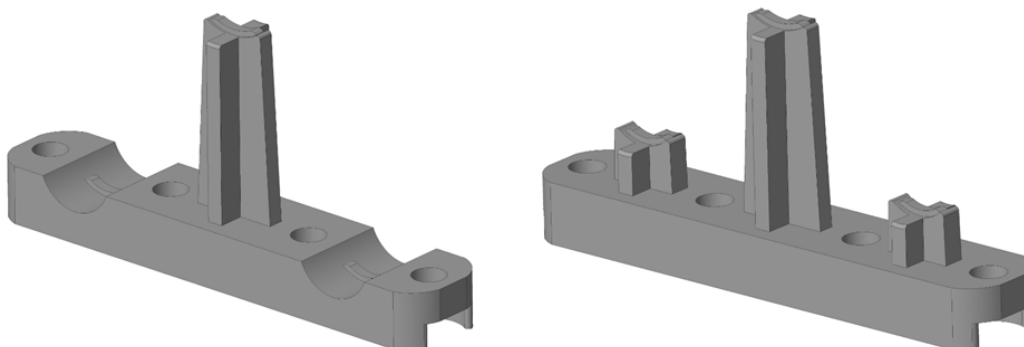
Na sliki 55 je prikazana končna oblika ohišja, ki prikazuje vse integrirane spremembe in izboljšave, ki smo jih vnesli v zadnji fazi razvoja. Na sliki so jasno vidne prilagoditve, vključno z optimizirano notranjo geometrijo, prilagojenimi kanali za kable ter izboljšanimi fiksirnimi in podpornimi strukturami.



*Slika 56: Končni stranski varistorski sestav  
(Lastni vir)*

Na sliki 56 je prikazan končni stranski varistorski sestav, kjer lahko vidimo spremenjene elektrode. Na odklopni elektrodi lahko vidimo narejeno izboljšano spajkalno površino, kamor se namesti odklopnik, medtem ko na kabelski elektrodi vidimo, da ima znižani mesti za vpetje in poenostavljeno mesto za spajkanje kabla.

Naslednja pomembna sprememba je bila optimizacija kabelskih objemk. Novo zasnovane objemke so bile oblikovane tako, da omogočajo lažjo namestitev in trdnejše pritrjevanje kablov.

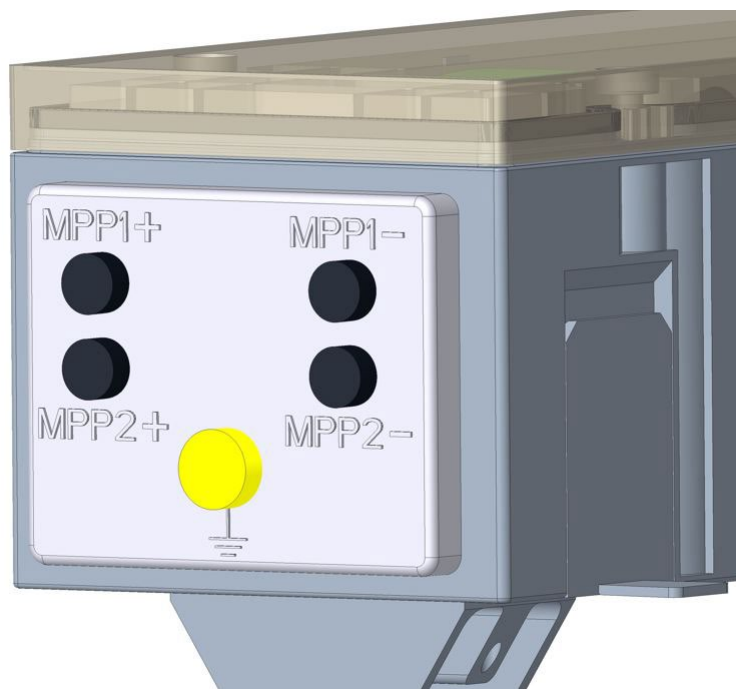


*Slika 57: Končna zasnova obeh kabelskih objemk*

(Lastni vir)

Na sliki 57 je na levi strani prikazana kabelska objemka za različico naprave 5Y in na desni strani objemka različice 3Y.

Za izboljšanje tesnilnih plošč smo v programu Creo prilagodili model, da zagotavljajo boljše tesnjenje in večjo stabilnost v ohišju. Poleg tega je naročnik izrazil željo, da na tesnilnih ploščah jasno označimo mesta za posamezne kable.

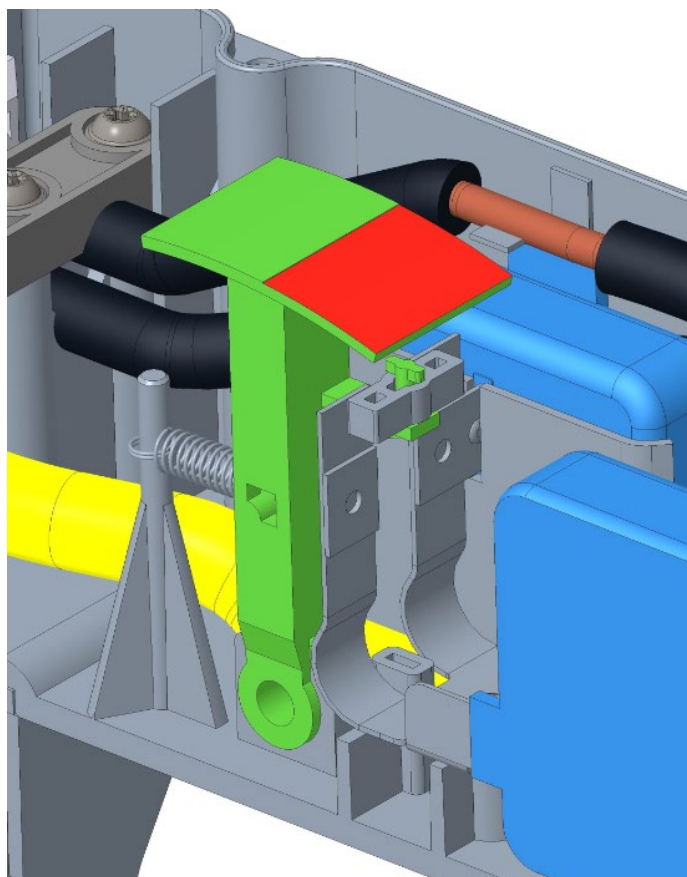


*Slika 58: Končna zasnova tesnilne plošče na izhodni strani naprave 5Y*  
(Lastni vir)

Zasnovali smo novo obliko indikatorja. Zgornji del, ki služi prikazovanju stanja, smo zasnovali ožje, da se ne dotika več kablov. Prav tako smo mesto vpetja nihajne ploščice premaknili višje. Preoblikovali smo tudi nihajno ploščico in način vpetja, da smo dobili bolj simetrično obliko ploščice, saj smo s tem zmanjšali možnost, da bi se v proizvodnji ploščica obrnila narobe. Vse te spremembe indikatorja in nihajne ploščice nam omogočajo pravilno delovanje indikatorja ob odklopu termičnega odklopnika.

Poleg tega smo optimizirali spajkalno površino odklopnika in kabelske elektrode, kar omogoča hitrejše delovanje in izboljšano zaščito pred prenapetostmi. Podaljšali smo tudi zavihke odklopnika, na katere nalega nihajna ploščica. S tem smo lahko nihajno ploščico indikatorja namestili višje, kar nam omogoča izkoristek celotnega kota odklopa odklopnika. To zagotavlja večji premik odklopnika in preprečuje, da bi se nihajna ploščica zatikala.

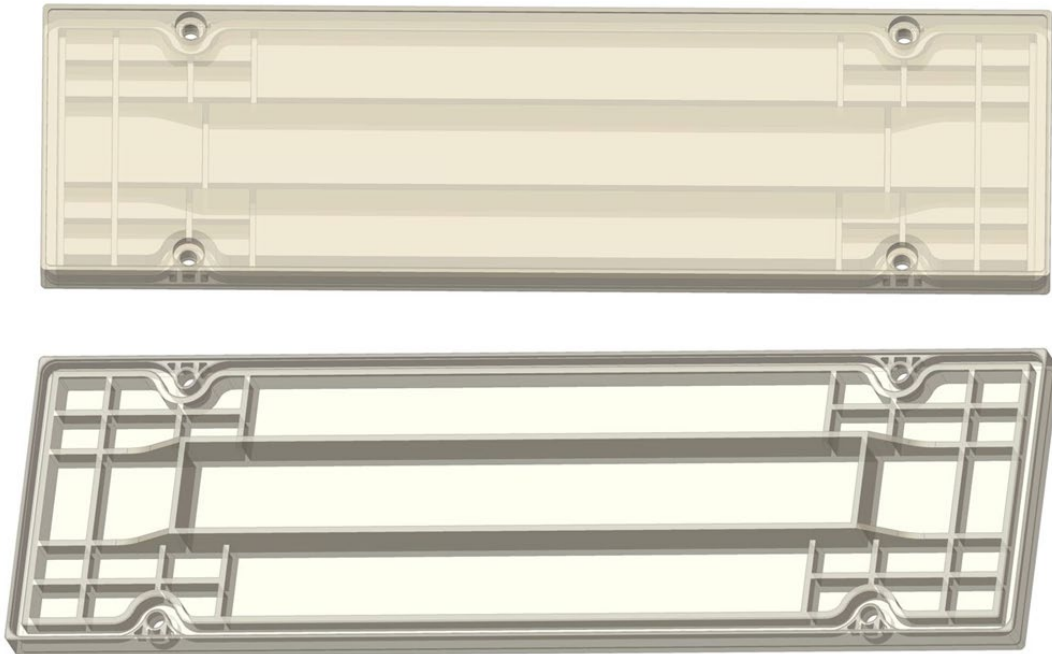




*Slika 59: Končna zasnova mehanizma za signalizacijo stanja naprave  
(Lastni vir)*

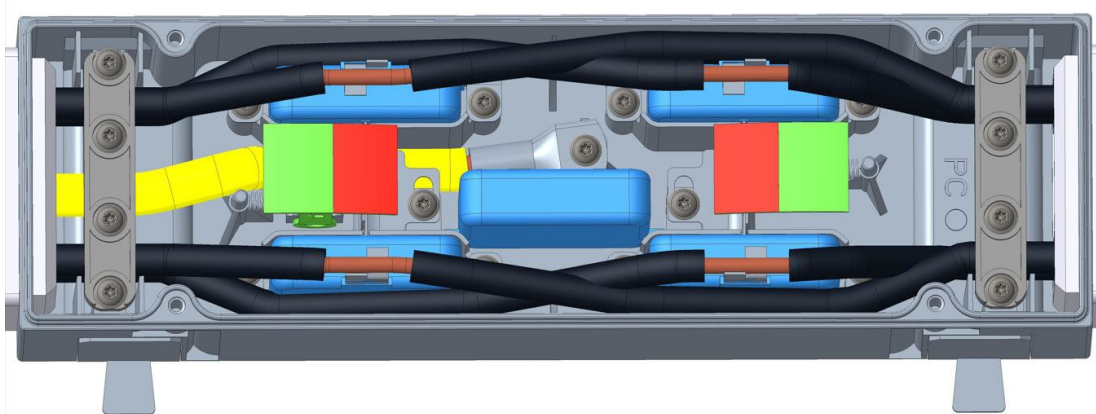
Na sliki 59 je prikazana končna zasnova mehanizma za signalizacijo stanja naprave. Vidimo, kako so bile izvedene vse prilagoditve indikatorja in nihajne ploščice, vključno z ozkim zgornjim delom indikatorja, višjim mestom vpetja nihajne ploščice ter optimizirano spajkalno površino in zavihki odklopnika. Te spremembe zagotavljajo pravilno delovanje mehanizma in izboljšano zaščito pred prenapetostmi.

Na spodnji strani pokrova smo dodali obsežna rebra, da bi povečali njegovo trdnost in omogočili trdno pritrditev tesnila. Ta prilagoditev preprečuje upogibanje pokrova in izboljšuje tesnjenje naprave. Poleg tega smo stene za usmerjanje indikatorja podaljšali čez celotno dolžino pokrova, kar ne zagotavlja le natančnega vodenja indikatorja, temveč tudi dodatno ojačuje pokrov.



*Slika 60: Končna oblika pokrova naprave PV stick  
(Lastni vir)*

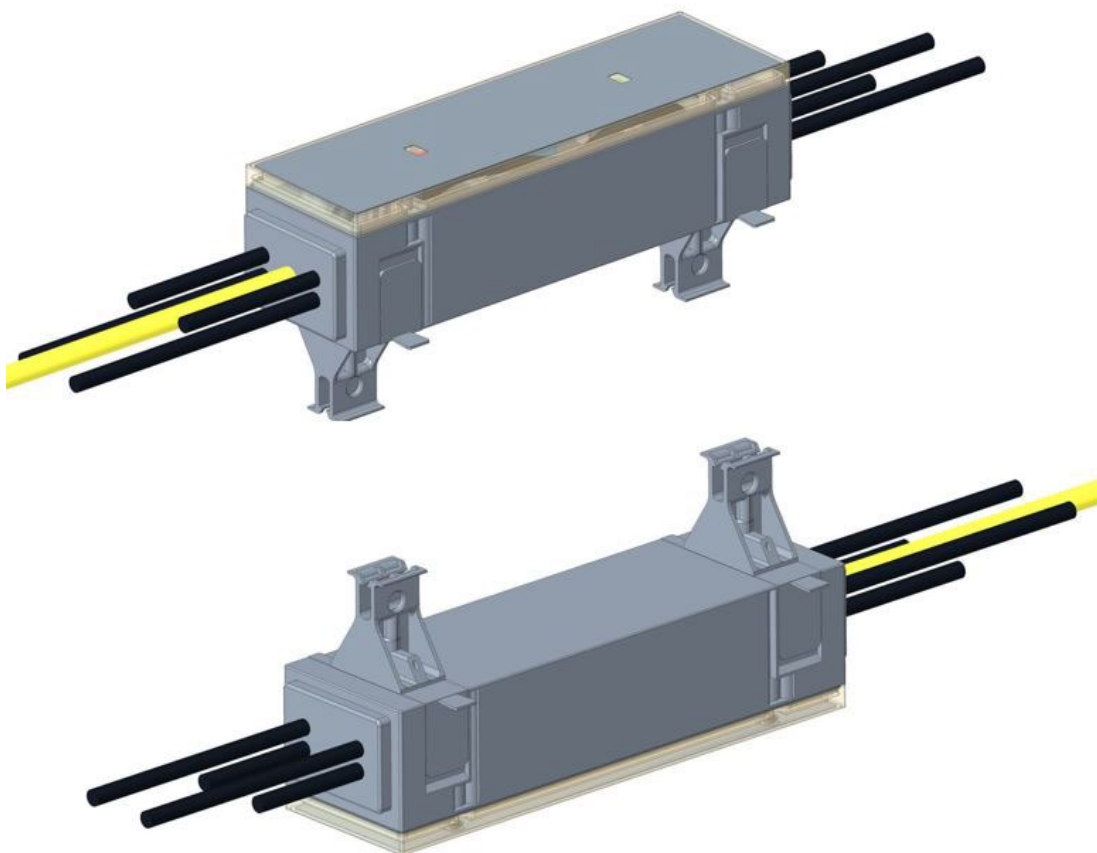
Ko smo dokončali vse prilagoditve in izboljšave, smo v programu Creo ustvarili končni 3D model prenapetostne zaščitne naprave PV stick. Ta model predstavlja zaključek razvoja in vizualizacije končne različice naprave PV stick v programu Creo.



*Slika 61: Notranjost končne različice naprave PV stick  
(Lastni vir)*

Na sliki 61 so prikazani končna razporeditev in notranji sestavni deli naprave PV stick v različici 5Y. Slika prikazuje vse ključne komponente in njihovo umestitev znotraj

ohišja, kar omogoča celovit pregled nad zasnovo in funkcionalnostjo naprave v njenem zaključnem stanju.



*Slika 62: Končni 3D model prenapetostne zaščitne naprave PV stick  
(Lastni vir)*

#### **5.4.2 Izdelava končnega prototipa**

Ko je bil 3D model končne različice naprave PV stick dokončan in potrjen, smo prešli na fazo izdelave končnega prototipa. Ta korak je bil ključnega pomena za preverjanje izvedljivosti načrtovanih izboljšav in potrjevanje funkcionalnosti naprave v praktični uporabi.

Za izdelavo prototipa smo uporabili napredne tehnike proizvodnje, da smo zagotovili natančnost in kakovost končnega izdelka. Plastične dele smo ponovno izdelali s pomočjo 3D tiskanja. Dokumentacijo smo pripravili v obliki STL datotek, ki smo jih izvozili iz programa Creo. Z uporabo tehnologije SLS smo natisnili dele iz materiala PA2200, kar nam je omogočilo doseg visoke mehanske trdnosti in natančnosti. Transparenten pokrov smo izdelali z uporabo SLA tehnologije in materiala WATERSHED XC11122, da smo dosegli zahtevano prozornost in estetski videz.

Tesnilne plošče smo tokrat izdelali iz silikonskih ulitkov s trdoto 50ShA. Postopek izdelave vključuje najprej 3D tiskanje kalupa, v katerega nato vlijemo silikonski material. Ta postopek omogoča ustvarjanje struktur, ki so podobne gumi, kar zagotavlja, da so ulitki natančno prilagojeni dejanskim brizganim delom. Tako smo pridobili tesnilne plošče, ki se po lastnostih in obliki enakovredno ujemajo s tistimi, ki bodo uporabljeni v serijski proizvodnji.

Kovinske dele smo naročili za laserski izrez in upogibanje. Naredili smo tudi nove tehnične risbe. Material za kovinske komponente je bil ponovno CuSn6 s površinsko zaščito Sn 6-8  $\mu\text{m}$ , saj je že prej izkazal odlične rezultate pri električnih testih. Edina sprememba je bila pri izdelavi odklopne elektrode, ki smo jo tokrat izdelali iz Cu ETP R290, ki je posebna vrsta bakra tipa ETP (Electrolytic Tough Pitch) z oznako trdote R290, znana po svoji izjemni toplotni prevodnosti in dobrih električnih lastnostih.

Naročili smo še nove nalepke, ki jih je po željah naročnika oblikoval oblikovalski oddelek. Vse ostale sestavne dele, kot so vijaki, vzmeti in varistorji, smo imeli že pripravljene, saj so nam ostali še od prejšnje različice.

Elektrode in varistorje smo nato odnesli strokovnjakom v proizvodnji, ki so sestavili in epoksirali varistorske sestave.

Ko smo prejeli vse potrebne komponente, smo sestavili končni prototip prenapetostne zaščitne naprave PV stick.



*Slika 63: Končni prototip prenapetostne zaščitne naprave PV stick  
(Lastni vir)*

### 5.4.3 Testiranje končnega prototipa

Ko smo zaključili z izdelavo končnega prototipa naprave PV stick, smo pristopili k obsežnemu testiranju, da bi preverili njeno delovanje. V tej fazi smo izvedli vse predvidene teste, vključno z mehanskimi, električnimi in funkcionalnimi preskusi, da bi se prepričali o ustreznosti in zanesljivosti naprave.

Testiranje je potrdilo, da končna zasnova naprave ustreza vsem zahtevam in specifikacijam ter deluje brez napak. Rezultati so bili zadovoljivi in so potrjevali, da so bile vse načrtovane izboljšave uspešno implementirane. S tem smo potrdili, da naprava izpolnjuje vse potrebne standarde kakovosti in zmogljivosti.

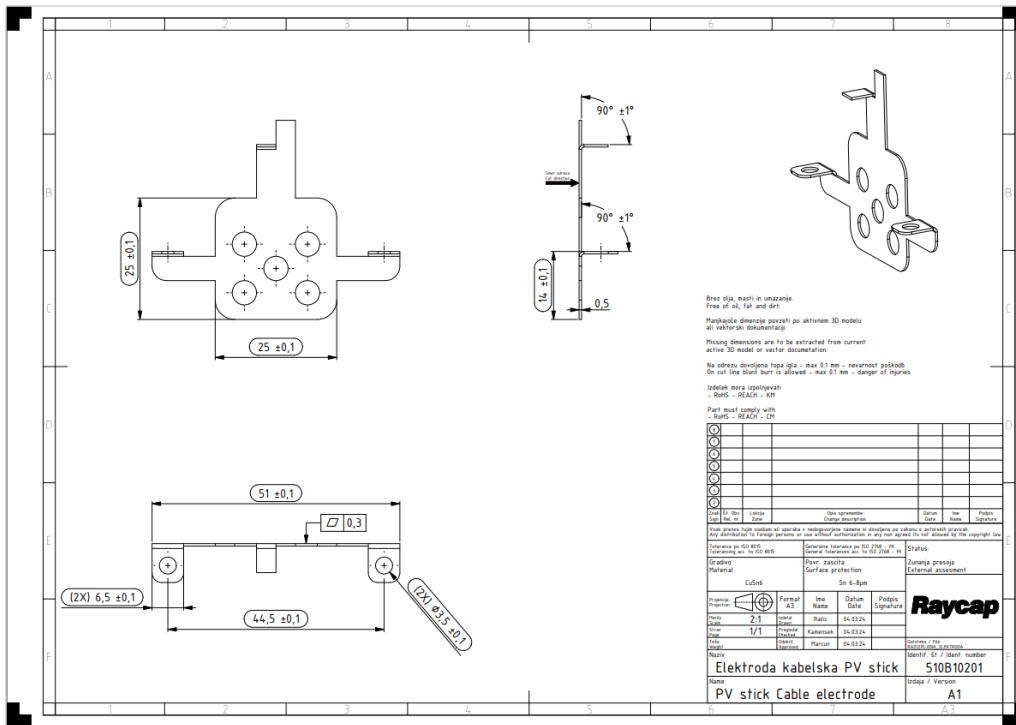
S končanim uspešnim testiranjem smo se pripravili na naslednji korak – prehod v proizvodnjo. Zasnova je zdaj pripravljena za serijsko proizvodnjo, kar pomeni, da lahko začnemo z izdelavo naprav v večjih količinah in pripravo za distribucijo.

## 6 NAROČILO ORODIJ ZA PROIZVODNJO

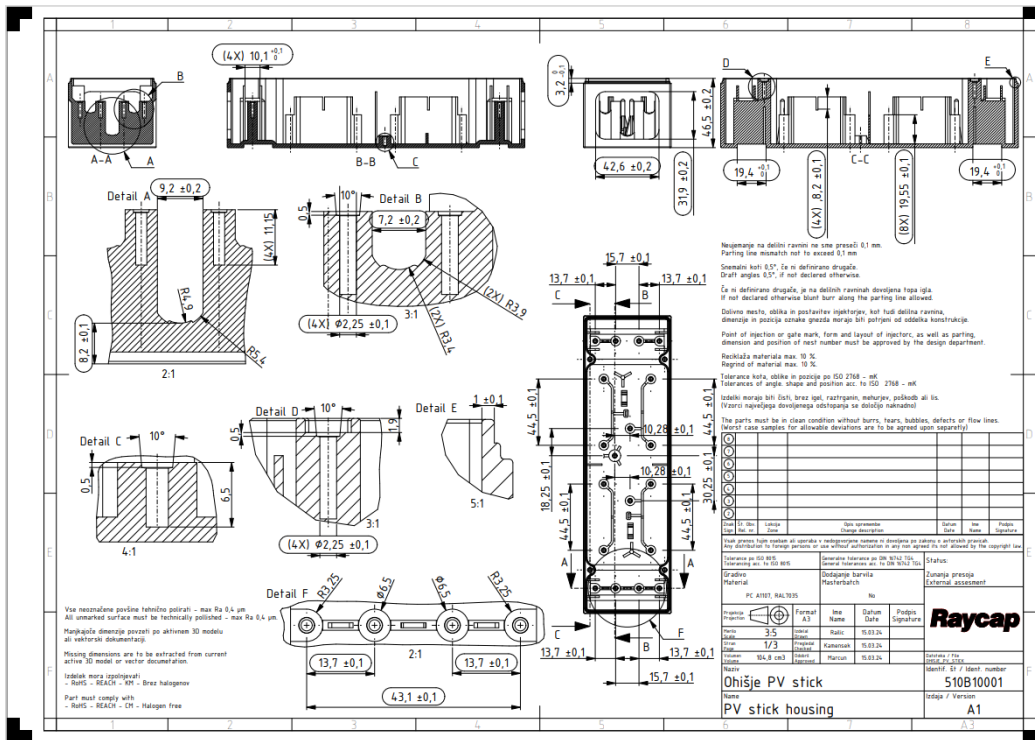
Po uspešnem testiranju končnega prototipa in potrditvi njegove ustreznosti smo se lotili priprave za serijsko proizvodnjo. Ključni korak v tem procesu je bilo naročilo potrebnih orodij za proizvodnjo, kar je omogočilo prehod iz faze prototipiranja v fazo masovne izdelave.

Preden smo naročili orodja, smo kose še dokončno prilagodili za brizganje. To je vključevalo izdelavo nagibov na potrebnih straneh, kar pomeni, da smo dodali rahle nagibe na notranje stene delov, da smo omogočili preprostejše odstranjevanje kosov iz orodja ter zmanjšali tveganje poškodb. Ta postopek je pomemben za optimizacijo oblikovalskih elementov, saj zagotavlja, da so kosi orodja pripravljene za učinkovito brizganje plastike brez težav, kar je ključno za doseg visokokakovostnih končnih izdelkov.

Ko so bili vsi modeli dokončno pripravljene na brizganje, smo natančno identificirali in specifikirali vsa orodja, ki jih bomo potrebovali za proizvodnjo naprave PV stick. Sem spadajo orodja za brizganje plastike in orodja za kovinsko obdelavo. Za vsak kos orodja smo pripravili podrobno dokumentacijo, ki je vključevala tehnično risbo in STEP model (Standard for the Exchange of Product model data). Gre za standardiziran 3D digitalni model, ki omogoča izmenjavo in shranjevanje podatkov o izdelku med različnimi CAD sistemi in programsko opremo. Tehnična risba je vsebovala ključne informacije, kot so materiali, dimenzije, tolerance, postopki obdelave in posebne zahteve za vsak kos. Ta dokumentacija je bila ključna za zagotavljanje natančnosti in skladnosti z načrtovanimi specifikacijami.



Slika 64: Primer tehnične risbe za kovino – kabelska elektroda (Lastni vir)



Slika 65: Primer tehnične risbe za plastiko – hišje (Lastni vir)

Ko so bile specifikacije potrjene, smo oddali naročilo pri preverjenih dobaviteljih, ki so specializirani za proizvodnjo orodij.

Poleg tega smo naročili tudi ostale potrebne komponente, kot so vijaki, nalepke in kabli. Za kable smo pripravili tehnične risbe, ki so vključevale vse specifikacije in zahteve za pravilno izbiro in obdelavo kablov.

Ko bodo orodja dokončana in dobavljena, bomo izvedli testno proizvodnjo, da preverimo njihovo delovanje in natančnost. To bo zadnji korak pred začetkom redne proizvodnje, ki bo omogočil, da dostavimo napravo PV stick.



## 7 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo se osredotočili na razvoj in implementacijo samostojne prenapetostne zaščitne naprave za fotovoltaične sisteme. Glavni cilj diplomskega dela je bil oblikovati napravo, ki bo zanesljivo in učinkovito zaščitila fotovoltaične sisteme pred prenapetostmi ter izboljšala njihovo zanesljivost in varnost. Ta cilj smo uspešno dosegli z uporabo naprednih metod 3D modeliranja in prototipiranja, kar nam je omogočilo razvoj visokokakovostne zaščitne naprave.

V uvodu smo trdili, da bo razvoj te naprave prispeval k zmanjšanju tveganja poškodb zaradi prenapetosti ter povečal varnost fotovoltaičnih sistemov. Na osnovi izvedenih testiranj smo ugotovili, da so te trditve pravilne, saj so rezultati testiranja končnega prototipa potrdili njegovo zanesljivost in učinkovitost pri zaščiti pred prenapetostmi.

Med razvojem naprave smo se soočili z različnimi izzivi, vendar smo jih uspešno rešili z nenehnimi izboljšavami in optimizacijo naprave.

Dolgoročno bo ta rešitev izboljšala zaščito in zanesljivost fotovoltaičnih sistemov, kar bo zmanjšalo tveganje poškodb ter povečalo njihovo življenjsko dobo.

Zaključimo lahko, da smo z diplomskim delom uspešno razvili rešitev za učinkovito zaščito fotovoltaičnih sistemov pred prenapetostmi. Ta rešitev predstavlja pomemben napredek v zaščiti fotovoltaičnih sistemov, kar je ključno za njihovo dolgoročno in varno delovanje.

## 8 LITERATURA IN VIRI

Hermi – Janez Podlipnik, 2021 Prenapetostna zaščita. Pridobljeno 19. 5. 2024 z naslova <https://hermi.si/aktualno/aktualni-zapisi/prenapetostna-zascita-hermi>

LSP – Glen Zhu, 2022 How Does Surge Protection Work. Pridobljeno 19. 5. 2024 z naslova <https://lsp.global/how-does-surge-protection-work/>

Nema Surge Protection Institute, 2024 How SPDs work. Pridobljeno 8. 6. 2024 z naslova <https://www.nemasurge.org/how-spd-s-work/>

Raycap, 2016 Surge Protective Device. Pridobljeno 19. 5. 2024 z naslova <https://www.raycap.com/surge-protective-device/>

Raycap, 2023 PV Protection Against Lightning. Pridobljeno 11. 5. 2024 z naslova <https://www.raycap.com/pv-protection-against-power-surges/>

Raycap, 2024a Creating Inovative Solutions Worldwide. Pridobljeno 4. 5. 2024 z naslova <https://www.raycap.com/>

Raycap, 2024b Performance. Innovation. Trust. Pridobljeno 4. 5. 2024 z naslova <https://www.raycap.com/company/>

Raycap, 2024c Photovlotaic Surge Protection Explained. Pridobljeno 25. 5. 2024 z naslova <https://www.raycap.com/photovoltaic-surge-protection-explained/>

Roman homeservices – Roman Admin, 2018 5 Causes Of Power Surges. Pridobljeno 18. 5. 2024 z naslova <https://romanelectrichome.com/blog/causes-of-power-surges/>

Schneider Electric Blog – Keith Willey, 2022 How Surge Protectors Work? Pridobljeno 17. 5. 2024 z naslova <https://blog.se.com/energy-management-energy-efficiency/electrical-safety/2022/02/21/how-surge-protectors-works/>

Solar Sena, 2021 How do Solar Panels Work? – Working of Photovoltaic (PV) Systems. Pridobljeno 12. 5. 2024 z naslova <https://solarsena.com/how-do-solar-panel-work/>