

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
STROJNIŠTVO

Patrik SABANOVIĆ

**KONSTRUIRANJE IN SESTAVA MOBILNE
TRANSFORMATORSKE POSTAJE V PODJETJU
ELPRO KRIŽNIČ D.O.O.**

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

Maribor, 2025

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
STROJNIŠTVO

Patrik SABANOVIĆ

**KONSTRUIRANJE IN SESTAVA MOBILNE
TRANSFORMATORSKE POSTAJE V PODJETJU ELPRO
KRIŽNIČ D.O.O.**

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

**DESIGN AND ASSEMBLY OF A MOBILE TRANSFORMER STATION AT
THE COMPANY ELPRO KRIŽNIČ D.O.O.**

GRADUATION THESIS

Higher vocational studies

Maribor, 2025

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem podjetju Elpro Križnič d.o.o., ki mi je omogočilo sodelovanje in nudilo podporo pri projektu mobilne transformatorske postaje. Za usmerjenje pri pisanju diplomskega dela se zahvaljujem tudi mentorju, mag. Samu Čretniku. Zahvaljujem se tudi staršema, ki sta mi omogočila pot do študija in me pri tem nenehno podpirala.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Patrik Sabanović, rojen 30. 8. 2003 v Mariboru, študent Tehniškega šolskega centra Maribor, Višje strokovne šole, programa strojništvo Izjavljam, da je diplomsko delo z naslovom *Konstruiranje in sestava mobilne transformatorske postaje v podjetju Elpro Križnič d.o.o.* avtorsko delo.

V diplomskem delu so vsi uporabljeni viri in literatura konkretno navedeni; teksti niso prepisani brez navedbe avtorjev.

Diplomsko delo je lektorirala Anka Jemenšek, prof. slov. in ang. j., ključno dokumentacijsko informacijo sem prevedel Patrik Sabanović.

Kraj in datum: _____

Lastnoročni podpis študenta/-ke: _____

MENTORSTVO

Diplomsko delo je zaključek Višješolskega strokovnega študija, smer strojništvo, opravljeno je bilo na Tehniškem šolskem centru Maribor, Višji strokovni šoli.

Študijska komisija Tehniškega šolskega centra Maribor, Višje strokovne šole je za mentorja diplomskega dela imenovala mag. Sama Čretnika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: _____

Član/mentor: _____

Član: _____

Član/somentor: _____

Datum diplomskega izpita: _____

POVZETEK

Diplomska naloga obravnava konstruiranje in sestavo mobilne transformatorske postaje v podjetju Elpro Križnič d.o.o.. Naloga je razdeljena na dva dela: teoretični in praktični.

V teoretičnem delu je najprej predstavljen pregled stanja, kjer so opisani podjetje Elpro Križnič d.o.o., razlogi za odločitev za mobilno transformatorsko postajo ter pomen certifikatov kakovosti (ISO 9001, ISO 14001) in standardov (SIST). Sledi podrobnejši opis razvoja mobilne transformatorske postaje, vključno s fazo konstruiranja, pripravo delavniških risb ter z uporabo programske opreme SolidWorks. Predstavljen je tudi opis uporabljene strojne opreme in tehnologije, med drugim lasersko rezanje, vtiskovanje vijačnega materiala, CNC prebijanje, krivljenje in varjenje pločevine ter površinska obdelava.

Praktični del naloge prikazuje dejanski proces konstruiranja mobilne transformatorske postaje. Poudarek je na konstruiranju transformatorske postaje in končni sestavi postaje. S tem so zajeti vsi ključni koraki od idejne zasnove do izvedbe prototipa, ki omogoča učinkovito in varno uporabo v industrijski praksi.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dd
DK	621(043.2)
KG	konstruiranje, transformatorska postaja, sestava, statika
AV	SABANOVIČ, Patrik
SA	ČRETNIK, Samo (mentor); KOTNIK, Rok (somentor)
KZ	SI-2000 Maribor, Zolajeva 12
ZA	Tehniški šolski center Maribor, Višja strokovna šola
LI	2025
IN	KONSTRUIRANJE IN SESTAVA MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE V PODJETJU ELPRO KRIŽNIČ D.O.O.
TD	Diplomsko delo (višješolski strokovni študij)
OP	XII, 41 str., 5 tab., 33 sl., 4 pril., 15 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<i>Diplomska naloga obravnava konstruiranje in sestavo mobilne transformatorske postaje v podjetju Elpro Križnič d.o.o.. V teoretičnem delu so predstavljeni razlogi za razvoj postaje, pomen certifikatov kakovosti ter uporaba standardov in uporabljenih tehnologij obdelave. Praktični del prikazuje proces konstruiranja in izdelave prototipa z uporabo programske opreme SolidWorks ter sestavo mobilne transformatorske postaje.</i>

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd

DC 621(043.2)

CX design, transformer station, assembly, structural analysis

AU SABANOVIĆ, Patrik

AA ČRETNIK, Samo (mentor); KOTNIK, Rok (co-mentor)

PP SI-2000 Maribor, Zolajeva 12

PB Technical School Centre Maribor, Higher Vocational College

PY 2025

TI DESIGN AND ASSEMBLY OF A MOBILE TRANSFORMER STATION AT THE COMPANY ELPRO KRIŽNIČ d.o.o.

DT Graduation Thesis (Higher vocational studies)

NO XII, 41 p., 5 tab., 33 fig., 4 ann., 15 ref.

LA sl

AL sl/en

AB *The diploma thesis addresses the design and assembly of a mobile transformer station at the company Elpro Križnič d.o.o.. The theoretical part presents the reasons for the development of the station, the importance of quality certificates, as well as the application of standards and processing technologies used. The practical part demonstrates the process of designing and manufacturing a prototype using SolidWorks software and the assembly of the mobile transformer station.*

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA.....	II
IZJAVA O AVTORSTVU.....	III
MENTORSTVO.....	IV
POVZETEK.....	V
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	VI
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	VII
KAZALO VSEBINE.....	VIII
KAZALO SLIK.....	X
KAZALO TABEL.....	XI
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA.....	1
2 PREGLED STANJA.....	2
2.1 OPIS PODJETJA ELPRO KRIŽNIČ D.O.O.....	2
2.1.1 Odločitev za mobilno transformatorsko postajo.....	3
2.2 CERTIFIKATI.....	3
2.2.1 ISO 9001.....	3
2.2.2 ISO 14001.....	3
2.3 STANDARDI.....	4
2.3.1 SIST standardi.....	4
2.4 DOKUMENTACIJA.....	4
2.4.1 MSA – Statična kontrola kakovosti.....	5
2.4.2 RZ – Reklamacijski zapisnik.....	5
2.5 RAZVOJ MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE.....	5
2.5.1 Konstruiranje.....	5
2.5.1.1 Delavniška risba.....	6
2.5.2 DS SolidWorks.....	6
2.6 OPIS UPORABLJENE STROJNE OPREME IN TEHNOLOGIJE.....	7
2.6.1 Laserski rezalni stroj.....	8
2.6.2 Vtiskovanje vijačnega materiala.....	9
2.6.3 CNC prebijalni stroj.....	10
2.6.4 Krivljenje pločevine.....	11
2.6.5 Varjenje pločevine.....	12
2.6.6 Površinska obdelava.....	13
3 TEHNOLOGIJA MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE.....	14
3.1 MOBILNA TRANSFORMATORSKA POSTAJA.....	14
3.2 ZAČETEK KONSTRUIRANJA.....	14

3.3 KONSTRUIRANJE POSTAJE V PROGRAMU SOLIDWORKS.....	14
3.3.1 Konstrukcija ohišja.....	15
3.3.1.1 Konstrukcija vrat in podpornih prečk.....	16
3.3.1.2 Zapiranje vrat.....	17
3.3.1.3 Konstruiranje prezračevanja ohišja in vrat.....	18
3.3.1.4 Konstruiranje NN strani.....	19
3.3.1.5 Konstruiranje SN strani.....	20
3.3.1.6 Končano ohišje.....	22
3.3.2 Konstruiranje strehe.....	23
3.3.2.1 Konstrukcija okvira strehe.....	23
3.3.2.2 Konstruiranje zgornjega dela strehe.....	24
3.3.3 Konstruiranje podnožja.....	27
3.3.4 Končna konstrukcija.....	28
3.4 RAZVIJANJE POSAMEZNIH KOSOV.....	29
3.5 STATIKA VERTIKALNEGA NOSILCA DVIGA PODNOŽJA.....	30
3.5.1 Kontrola glavnih spojev.....	30
3.6 SESTAVA MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE.....	34
4 ZAKLJUČEK.....	40
5 VIRI.....	41
PRILOGE	

KAZALO SLIK

Slika 1: Podjetje Elpro Križnič d.o.o.	2
Slika 2: Program SolidWorks	7
Slika 3: Stroj TRUMPF TruLaser 5030	8
Slika 4: Stroj HAEGER One Touch 4e LITE	9
Slika 5: Stroj TRUMPF TruMatic 7000	10
Slika 6: Stroj TRUMPF TruBend 5230	12
Slika 7: Prečke in stranski deli ohišja mobilne transformatorske postaje	15
Slika 8: Vrata in podporne prečke	16
Slika 9: Primer zapiranja vrat na 90°	17
Slika 10: Prezračevanje na ohišju (levo) in na vratih NN in SN dela (desno)	18
Slika 11: NN stran transformatorske postaje	19
Slika 12: SN blok SIEMENS ENERGY	20
Slika 13: Zaščite na SN strani	21
Slika 14: Dokončano ohišje mobilne transformatorske postaje	22
Slika 15: Okvir strehe	23
Slika 16: Mehanizem za zapiranje vrat	24
Slika 17: Skelet strehe	24
Slika 18: Zaprt mehanizem	25
Slika 19: Spodnji del končane strehe	25
Slika 20: Zgornja stran končane strehe	26
Slika 21: Podnožje mobilne transformatorske postaje	27
Slika 22: Dokončana mobilna transformatorska postaje v programu SolidWorks	28
Slika 23: Začetek razvijanja panela v programu TruTops Boost	29
Slika 24: Konec razvijanja panela v programu TruTops Boost	29
Slika 25: Zvar na vertikalnem nosilcu	33
Slika 26: Vijačenje stranskega dela ohišja na podnožje	34
Slika 27: Vrata za dostop do transformatorja	35
Slika 28: Vrata na SN delu	36
Slika 29: Postaja pred dvigom strehe	37
Slika 30: Postaja po dvigu strehe	38
Slika 31: Mehanizem za odpiranje in zapiranje strehe	38
Slika 32: Vgrajen NN panel v postaji	39
Slika 33: Dokončana sestava mobilne transformatorske postaje	39

KAZALO TABEL

Tabela 1: Specifikacije stroja TRUMPF TruLaser 5030	8
Tabela 2: Specifikacije stroja HAEGER One Touch 4e LITE	9
Tabela 3: Specifikacije stroja TRUMPF TruMatic 7000	10
Tabela 4: Specifikacije stroja TRUMPF TruBend 5230.....	11
Tabela 5: Potrebne količine za izračun zvara vertikalnega nosilca na podnožju.....	30

KAZALO PRILOG

- PRILOGA A: Zunanje mere mobilne transformatorske postaje
- PRILOGA B: Zunanje mere podnožja
- PRILOGA C: Zunanje mere ohišja
- PRILOGA D: Zunanje mere strehe

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

V sodobnem svetu se pojavlja vse večja potreba po prilagodljivih, hitro postavljenih in zanesljivih rešitvah za zagotavljanje napajanja z električno energijo v različnih situacijah. Med takšne rešitve sodijo tudi mobilne transformatorske postaje, ki omogočajo hitro zamenjavo oziroma dopolnitev obstoječih fiksnih postaj, predvsem v primeru izpadov, vzdrževalnih del, naravnih nesreč ali začasnih aktivnosti na terenu. Podjetje Elpro Križnič d.o.o., ki je eno izmed vodilnih slovenskih podjetij na področju elektrotehnike in proizvodnje elektro omar, se je odločilo za razvoj lastne mobilne transformatorske postaje, ki bo izpolnjevala sodobne tehnične zahteve in standarde. Zaradi tega sem moral razviti takšen izdelek, ki je funkcionalen, zanesljiv in varen za uporabo. Zraven konstrukcije sem moral narediti tudi načrte za varjenje in sestavo, ter preveriti, če zadostuje aktualnim standardom in jo sestaviti.

1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomskega dela je zasnova in konstruiranje mobilne transformatorske postaje, ki bo izdelana v skladu z veljavnimi standardi in smernicami s področja elektroenergetskih naprav. Pri tem je poudarek na optimizaciji konstrukcije glede na funkcionalnost, varnost in enostavnost uporabe, ob upoštevanju tehničnih zahtev stranke.

Cilji diplomskega dela:

- Postajo konstruirati tako, da bo sestava enostavna.
- Omogočiti hitro montažo in demontažo na terenu.
- Zagotoviti, da vsi uporabljeni materiali, dimenzije, zaščitni ukrepi in varnostne rešitve ustrezajo veljavnim tehničnim in varnostnim standardom.
- Izvesti in preveriti statične preračune, da konstrukcija izpolnjuje zahteve glede vetrne cone in stabilnosti
- Zagotoviti hitro in varno premikanje po različnih terenih, ter uporabo standardnih transportnih sredstev.

2 PREGLED STANJA

2.1 OPIS PODJETJA ELPRO KRIŽNIČ D.O.O.

Podjetje Elpro Križnič d.o.o. je bilo ustanovljeno leta 1987. Podjetje je dokaj veliko, saj zaposluje več kot 100 ljudi. Podjetje je leta 2010 postalo tehnološki partner SIEMENS S8 SIVACON, ki ponuja modularnost, varnost, visoko zmogljivost in najpomembneje kakovost. Do sedaj je še vedno edino podjetje v Sloveniji, ki je tehnološki partner s podjetjem Siemens. V podjetju deluje več različnih sektorjev, med katerimi so ključni nabava, prodaja, tehnologija in kakovost ter proizvodnja. Podjetje ima v proizvodnem sektorju varilce, vezalce elektro omar, CNC operaterje, operaterje laserskih rezalnih strojev, operaterje prebijalke pločevine itd. Vsak sektor ima jasno opredeljene naloge in odgovornosti, ki skupaj prispevajo k uspešnemu poslovanju podjetja. Podjetje se ukvarja s konstruiranjem in z izdelavo elektro omar (NN omare), izdelovanjem ohišij za agregate in izdelovanjem raznih izdelkov po naročilu, sedaj tudi z izdelovanjem ohišij za mobilne transformatorske postaje (Elpro, 2020).

Slika 1: Podjetje Elpro Križnič d.o.o.



Vir: (Elpro, 2020)

2.1.1 Odločitev za mobilno transformatorsko postajo

Na trgu trenutno opažamo pomanjkanje mobilnih transformatorskih postaj, saj se večinoma izdelujejo fiksne postaje, ki so namenjene trajni namestitvi na eni lokaciji. Takšne postaje niso primerne za hitro premikanje ali uporabo na različnih mestih, kar predstavlja omejitev v primerih, ko je potrebna začasna elektroenergetska oskrba ali kakšno testiranje. Zato smo se odločili razviti mobilno transformatorsko postajo, ki bo omogočala hitro in enostavno premikanje iz ene lokacije na drugo. Takšna postaja bo primerna za uporabo v različnih situacijah, kjer je potrebna začasna ali hitra preskrba z električno energijo, na primer pri vzdrževalnih delih, izrednih dogodkih ali začasnih projektih. Mobilna postaja bo zasnovana tako, da se lahko prepelje z vgrajenim transformatorjem ali brez njega. Z razvojem te mobilne transformatorske postaje želimo zapolniti nišo na trgu in ponuditi inovativno rešitev, ki bo povečala fleksibilnost elektroenergetskih sistemov ter prispevala k hitrejši in učinkovitejši preskrbi z energijo tam, kjer je to najbolj potrebno.

2.2 CERTIFIKATI

Podjetje ima pridobljena dva certifikata ISO 9001 in ISO 14001, katera predstavljata pomembno osnovo za zagotavljanje kakovosti pri konstruiranju in načrtovanju mobilne transformatorske postaje. Certifikata sta v podjetju prispevala k upoštevanju standardiziranih postopkov v vseh fazah razvoja, ter zagotavljata skladnost s predpisi in standardi.

2.2.1 ISO 9001

Certifikat ISO 9001 določa zahteve za vzpostavitev in vzdrževanje sistema vodenja kakovosti. Osredotoča se na organizacijo delovnih procesov, dokumentiranje in sledljivost vseh korakov v proizvodnji, stalno izboljševanje kakovosti izdelkov in storitev, spremljanje zadovoljstva kupcev ter obvladovanje tveganj in preprečevanje napak. V okviru konstruiranja mobilne transformatorske postaje je ISO 9001 zagotovil, da so bile vse faze projekta od idejne zasnove do končne izdelave izvedene po preverjenih in učinkovitih metodah, kar je prispevalo k zanesljivosti in varnosti končnega izdelka (Jontez, 2025).

2.2.2 ISO 14001

Certifikat ISO 14001 določa zahteve za sistem ravnanja z okoljem in spodbuja trajnostno poslovanje podjetja. Poudarek je na zmanjševanju negativnih vplivov na okolje, učinkoviti rabi energije in surovin, preprečevanju onesnaževanja, pravilnem ravnanju z odpadki in nevarnimi snovmi ter skladnosti z okoljskimi predpisi. Pri razvoju mobilne transformatorske postaje je ISO 14001 usmerjal izbiro materialov, ki so okolju prijaznejši, ter optimizacijo procesov, da se zmanjša poraba energije in nastajanje odpadkov. S tem je bila zagotovljena trajnostna in odgovorna izdelava, skladna z najvišjimi okoljskimi standardi (SVO, 2016).

2.3 STANDARDI

Standardi v strojništvu so dogovorjena pravila in tehnične zahteve, ki jih uporabljamo pri načrtovanju, izdelavi, preskušanju in uporabi strojev, naprav ter njihovih delov. Njihov glavni namen je zagotoviti, da so izdelki in procesi med seboj združljivi, varni za uporabo, enake kakovosti in primerljivi ne glede na to, kje so bili izdelani. V praksi standardi zmanjšujejo možnost napak, saj jasno določajo tehnične zahteve in postopke. Poleg tega zagotavljajo večjo varnost delavcev in uporabnikov, saj vključujejo smernice za zaščito pred mehanskimi, električnimi in drugimi nevarnostmi. Pomembno je tudi, da upoštevanje standardov pogosto pomeni skladnost z zakonodajo in s predpisi, kar podjetjem omogoča prodajo izdelkov na domačem in mednarodnem trgu (Wikipedia, 2024).

V diplomskem delu sem moral upoštevati veliko standardov, nekateri izmed njih so: SIST EN IEC 61439-1:2021, SIST EN IEC 61439-2:2021, SIST EN IEC 61439-5:2023, SIST EN 61439-6:2012, SIST EN IEC 61936-1:2021, SIST EN IEC 62271-200:2021, SIST EN IEC 62271-202:2022, SIST EN IEC 60947-1:2021, SIST EN 60947-2:2017, SIST EN IEC 60947-3:2021, SIST EN 60076-1:2012, SIST EN 61643-11:2012, SIST HD 60364-4-41:2017, SIST EN 60529:1997, SIST EN 62262:2007, SIST EN 14598-2:2005, SIST EN IEC 61000-3-2:2019, SIST EN 61000-3-3:2014, SIST EN IEC 61000-6-2:2019, SIST EN IEC 61000-6-3:2021.

Ti standardi omenjajo posebne zahteve za razdelilnike za gradbišča, stikalne in krmilne omare za javna omrežja (npr. razdelilne omare na prostem), posebne zahteve za stikalne in krmilne omare za distribucijo električne energije, splošna pravila za nizkonapetostne stikalne in krmilne sestave, ustrezno kovinsko ohišena stikala za napetosti nad 1 kV, projektiranje in varnost elektroenergetskih inštalacij nad 1 kV AC, konstruiranje transformatorske postaje v kovinskih ali betonskih ohišjih in prenapetostne zaščite naprave.

2.3.1 SIST standardi

Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST) predstavlja temelj slovenskega standardizacijskega sistema. Deluje kot nacionalni organ za standardizacijo in prevzema evropske in mednarodne standarde, ki jih objavlja kot uradne slovenske standarde (SIST EN, SIST EN IEC), kar zagotavlja njihovo strokovno uporabo v Sloveniji. To omogoča varnost ljudi, naprav in okolja in zagotavlja, da celotna Slovenija sledi enakim tehničnim zahtevam (Wikipedia, 2024).

2.4 DOKUMENTACIJA

Za zagotavljanje kakovosti v proizvodnih procesih se uporabljajo različni obrazci in protokoli, ki omogočajo sistematično obvladovanje procesov, ter shranjevanje rezultatov. Med najpogosteje uporabljenimi dokumenti so MSA, PPAP, OKL in RZ, ki vsak na svoj način prispevajo k večji preglednosti procesa. V diplomskem delu bom podrobneje opisal MSA in RZ, saj sem jih moral uporabiti pri projektu.

2.4.1 MSA – Statična kontrola kakovosti

MSA je nabor tehnik, ki nam omogoča oceniti, kakšne so napake, ki jih doprinese merilni sistem. Razumevanje obsega teh napak omogoča preverjanje meril ter zanesljivosti rezultatov. Na podlagi analize se lahko odločimo, katero merilo je najprimernejše za določen proces, ter ugotovimo, ali je napaka dovolj majhna, da omogoča pravilno razvrščanje izdelkov kot skladnih ali neskladnih. Pri konstruiranju transformatorske postaje sem uporabil MSA pri dokazilu, da uporabljeni merilni instrumenti izpolnjujejo zahteve standarda SIST EN 61869 in pri analiziranju zaščitnih naprav (Objekta, 2009).

2.4.2 RZ – Reklamacijski zapisnik

Pri reklamacijskem zapisniku poudarimo pomen na zagotavljanje sledljivosti komponent. Čeprav RZ vsebuje tehnične podatke o opremi, lahko vključuje tudi osebne podatke zaposlenih ali strank, ki so vpleteni v montažo, vzdrževanje ali prevzem opreme. V tem kontekstu nadzor nad obdelavo osebnih podatkov zagotavlja informacijski pooblaščenec republike Slovenije (IP-RS), ki določa, da morajo biti osebni podatki obdelani zakonito in omejeni na namen reklamacije. Pri transformatorskih postajah je pomembno, da se za obravnavo reklamacije zbirajo le podatki, ki so nujni za identifikacijo komponente ali za dokazilo o prevzemu (Prelesnik, 2019).

2.5 RAZVOJ MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE

2.5.1 Konstruiranje

Konstruiranje je proces načrtovanja, razvijanja in oblikovanja tehničnih rešitev, ki ustrezajo določenim funkcionalnim zahtevam. V inženirstvu predstavlja povezavo med teoretičnim znanjem in praktično izvedbo, saj omogoča, da ideja preide v izdelek. Pri konstruiranju je ključnega pomena upoštevanje več vidikov: tehnične zahteve, zanesljivost, varnost, ergonomija, stroški, ter skladnost z mednarodnimi standardi. Proces poteka iterativno, kar pomeni, da se zasnova večkrat izboljšuje in prilagaja, dokler ni dosežena optimalna rešitev. Pri razvoju transformatorske postaje konstruiranje omogoča usklajevanje različnih disciplin, kot so elektrotehnika, strojništvo in gradbeništvo. Pomembno je, da so vsi sestavni deli postaje medsebojno kompatibilni, enostavni za montažo in hkrati dovolj robustni za delovanje v zahtevnih okolijskih pogojih. Uporaba računalniško podprtih orodij (CAD) bistveno olajša proces, saj omogoča tridimenzionalno modeliranje, simulacijo obremenitev, preverjanje prostorskih razmer in izdelavo tehnične dokumentacije. Konstruiranje je torej temeljni korak, ki določa kakovost končnega izdelka, saj že v fazi načrtovanja preprečuje napake in varno delovanje transformatorske postaje (Pehan, 2021).

2.5.1.1 Delavniška risba

Delavniška risba je tehnični dokument, ki natančno prikazuje obliko, mere in lastnosti posameznega izdelka ali sestavnega dela. Njena osnovna naloga je, da posreduje vse potrebne informacije za pravilno izdelavo, obdelavo in kontrolo izdelka v proizvodnem procesu. Predstavlja prehod med fazo konstruiranja in fazo izdelave, saj omogoča, da proizvajalec razume zahteve konstruktorja in izdela izdelek skladno z določenimi specifikacijami. Risba mora biti izdelana v skladu z mednarodnimi in nacionalnimi standardi, ki zagotavljajo, da so enotne. Format risbe določa standard SIST ISO 5457. Definirani sta oblika in velikost papirja. Standard oblike kategorizira v skupine, ki jih označujemo z velikimi tiskanimi črkami (Jovan, 2011).

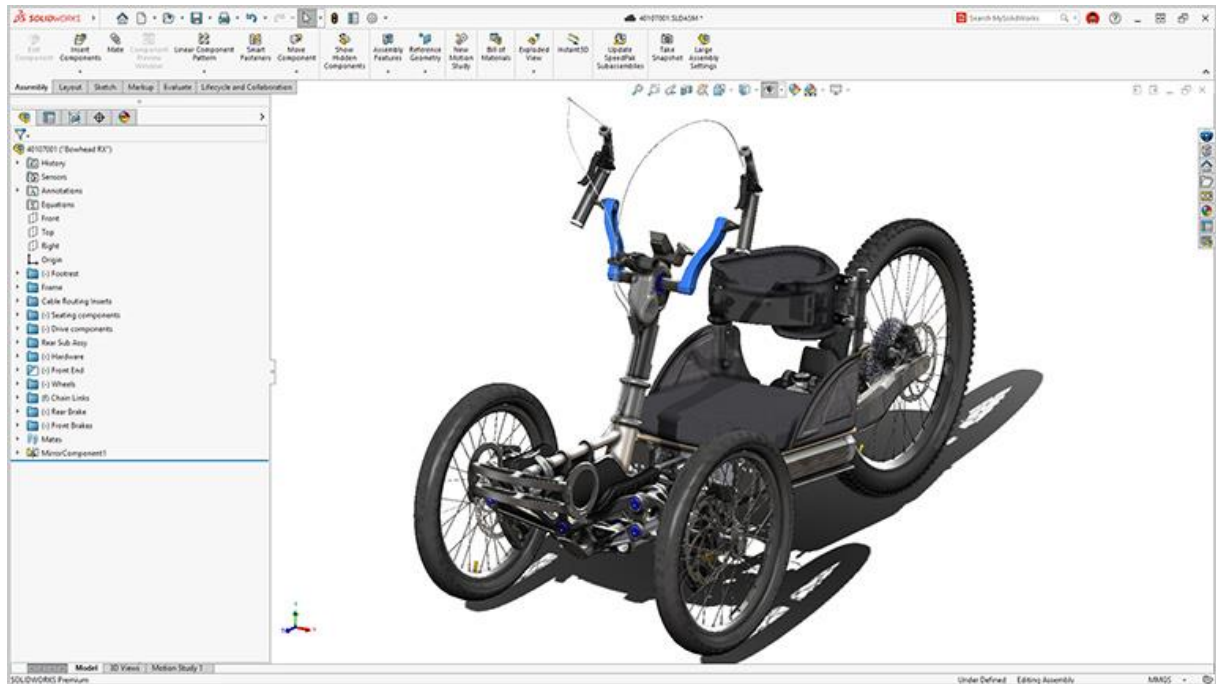
Z delavniške risbe lahko torej razberemo:

- natančno obliko izdelka,
- dimenzije in tolerance,
- materiale in površinsko obdelavo,
- zahteve za montažo in spajanje,
- tehnične opombe in standarde, ki jih je treba upoštevati.

2.5.2 DS SolidWorks

Za konstruiranje elementov mobilne transformatorske postaje bom uporabil CAD program SolidWorks podjetja Dassault Systèmes, ki je eden izmed vodilnih programov za tridimenzionalno modeliranje in inženirsko načrtovanje. SolidWorks omogoča parametrično modeliranje, kar pomeni, da so dimenzije in geometrija posameznih komponent medsebojno povezane, tako da sprememba ene dimenzije samodejno vpliva na druge povezane elemente. Program omogoča ustvarjanje natančnih 3D modelov posameznih delov, sestavov in celotnih sistemov, kar olajša vizualizacijo in preverjanje funkcionalnosti konstrukcije. Poleg tega SolidWorks omogoča simulacijo mehanskih in termičnih obremenitev ter analizo gibanja, kar omogoča preverjanje stabilnosti postaje. Program generira tudi tehnično dokumentacijo, kot so risbe, sestavni načrti in seznam materialov, kar poenostavi proizvodni proces in zagotavlja sledljivost. Uporaba SolidWorks bo omogočila natančno oblikovanje transformatorske postaje, zmanjšala možnost napak ter optimizirala razvojni proces (CAD, 2019).

Slika 2: Program SolidWorks



Vir: (CAD, 2019)

2.6 OPIS UPORABLJENE STROJNE OPREME IN TEHNOLOGIJE

Kot sem že zapisal v uvodu, je v podjetju zaposlenih veliko ljudi, ki so operaterji na različnih strojih. V nadaljevanju bom opisal, katere stroje oziroma tehnologije uporabljamo v podjetju pri izdelavi mobilne transformatorske postaje.

2.6.1 Laserski rezalni stroj

Z zmogljivima strojema Trumpf TruLaser 3030 in Trumpf TruLaser 5030, ki ga vidimo na sliki 3, poteka natančno, kakovostno in stroškovno učinkovito rezanje pločevine. Prednost laserskega razreza je v hitrosti, prilagodljivi obdelavi in visoki stopnji svobode oblikovanja. Oprema tovarne omogoča proizvodnjo srednjih in velikih serij s stalnim nadzorom ter z izvajanjem meritev kakovosti. Stroj smo uporabili predvsem zato, saj lahko z njim režemo precej velike in debele kose pločevine (Elpro, 2020).

Tabela 1: Specifikacije stroja TRUMPF TruLaser 5030

Dimenzije oblikovanja in specifikacije TruLaser 5030	
Dimenzija obdelovalne mize	1500 x 3000 mm
Moč	6 kW in 8kW
Natančnost ponovitev	+/-0,03 mm
Natančnost pozicioniranja	+/-0,01 mm
Materiali	Debeline
Konstruktivno jeklo	do 25 mm
Nerjavna pločevina	do 20 mm
Aluminij	do 20 mm
Medenina	do 10 mm
Baker	do 10 mm

Vir: (TRUMPF, 2025)

Slika 3: Stroj TRUMPF TruLaser 5030



Vir: (TRUMPF, 2025)

2.6.2 Vtiskovanje vijalnega materiala

Podjetje uporablja stroj HAEGER 824 One Touch 4e LITE za vtiskovanje vijalnih materialov v pločevino. S strojem lahko izdelujemo vtisne puše, vtisne matice, vtisne vijake iz jekla, nerjavečega jekla ali aluminija, od velikosti M3 do M8 (Elpro, 2020).

Tabela 2: Specifikacije stroja HAEGER One Touch 4e LITE

Specifikacije HAEGER One Touch 4e LITE	
Vtisna sila stroja	72 kN
Hitrost vtiskovanja	Do 1400 vtiskov na uro

Vir: (Haeger, 2025)

Slika 4: Stroj HAEGER One Touch 4e LITE



Vir: (Haeger, 2025)

2.6.3 CNC prebijalni stroj

Podjetje ima dva CNC prebijalna stroja TruMatic 7000 in TruPunch 5000, ki zagotavljata cenovno ugoden in tehnološko popoln izsek pločevin. Stroj TruMatic 7000 je prikazan na sliki 5. V tovarni obdelujejo različne vrste materialov (konstrukcijsko jeklo, aluminij, baker, medenina ipd.) brez toplotnega vpliva pa lahko na prebijalki izdelujejo kompleksne izdelke, ki vsebujejo navoje, upogibe in vleke (Elpro, 2020).

Tabela 3: Specifikacije stroja TRUMPF TruMatic 7000

Dimenzije oblikovanja in specifikacije TruMatic 7000	
Dimenzija obdelovalne mize	3000 x 1500 mm
Moč priključnega laserja	2,7 kW
Preoblikovanje pločevine	do največ 3,0 mm debeline
Materiali	Debeline
Konstrukcijsko jeklo	do 8 mm
Nerjavna pločevina	do 6 mm
Aluminij	do 4 mm

Vir: (TRUMPF, 2025)

Slika 5: Stroj TRUMPF TruMatic 7000



Vir: (TRUMPF, 2025)

2.6.4 Krivljenje pločevine

Podjetje ima za krivljenje pločevine na razpolago stroje TruBend-Cell 5000, TruBend 5230, TruBend 7050 in TruBend7036. Vsi stroji za krivljenje pločevine so močni in zmogljivi, kar je prišlo prav pri izdelovanju mobilne transformatorske postaje. Stroji imajo precej veliko obdelovalno površino, kar je prišlo prav za izdelovanje kosov za postajo, ki imajo dolžino upogiba več kot 3 m (TRUMPF, 2020).

Tabela 4: Specifikacije stroja TRUMPF TruBend 5230

Dimenzije in teža stroja za krivljenje pločevine TruBend 5230	
Dolžina	4150 mm
Širina	2055 mm
Višina	3000 mm
Teža	17.2000 kg
Specifikacije stroja za krivljenje pločevine TruBend 5230	
Moč stiskanja	2300 kN
Največja hitrost delovanja	25 mm/s
Dolžina upogiba	3230 mm
Razdalja med stebri	2690 mm
Globina grla	420 mm
Največja delovna odprtina	615 mm

Vir: (TRUMPF, 2020)

Slika 6: Stroj TRUMPF TruBend 5230



Vir: (TRUMPF, 2020)

2.6.5 Varjenje pločevine

Podjetje ima certificirane varilce, ki s pomočjo sodobnih varilnih strojev izvajajo dve obliki varjenja pločevine po postopkih TIG in MIG/MAG:

- ročno varjenje (še vedno nepogrešljivo v kovinski industriji),
- robotsko varjenje (varjenje z robotom je hitro, natančno, ponovljivo, prilagodljivo, produktivno in varno).

Storitve varjenja vključujejo tudi punktiranje vijakov in točkovno varjenje. Za mobilno transformatorsko postajo se je uporabljalo ročno varjenje, saj so deli preveliki za robota (Elpro, 2020).

2.6.6 Površinska obdelava

S površinsko obdelavo zagotovimo izdelkom najboljšo površinsko zaščito. V podjetju se izvaja več različnih tehnik za kakovostno končno obdelavo pločevine:

- Prašno in mokro barvanje pločevine:
Barvo izberemo po lestvici RAL. Standardna debelina nanosa je od 60 do 120 mikronov. Barvane površine so lahko sijaj, mat ali polmat, z grobo, s fino ali z gladko teksturo.
- Galvansko in vroče cinkanje:
Kakovostnejša in trajnejša antikorozijska zaščita v primerjavi z barvanjem, ter okolju najbolj prijazna.
- Bajcanje, pasiviranje in elektropoliranje:
Gre za kemične postopke, s katerim odstranimo železove okside s površin, da zagotovimo boljše nerjavne lastnosti jekla. Z elektropoliranjem dobimo izdelek z izjemno gladko in s sijočo površino (Elpro, 2020).

Za mobilno transformatorsko postajo smo izbrali prašno in mokro barvanje pločevine.

3 TEHNOLOGIJA MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE

V praktičnem delu diplomske naloge bom predstavil konstruiranje, statiko, izdelavo, in sestavo mobilne transformatorske postaje v podjetju Elpro Križnič d.o.o..

3.1 MOBILNA TRANSFORMATORSKA POSTAJA

V podjetju smo dobili naročilo za izdelavo ohišja mobilne transformatorske postaje. Po pregledu trga in drugih postaj smo izvedeli, da imajo le-te veliko pomanjkljivosti. Na primer, da se postaja ne sme dvigovati z naloženim transformatorjem in s SN celicami, saj konstrukcija ne dovoljuje tako velike obremenitve. Zato smo se odločili za mobilno transformatorsko postajo, katera se lahko postavi z že vgrajenim transformatorjem in ima snemljivo streho. Snemljiva streha omogoča zelo preprosto menjavo transformatorja iz ohišja, če se kadarkoli pokvari, saj ne rabimo vijačiti celotno ohišje.

3.2 ZAČETEK KONSTRUIRANJA

Konstruiranje mobilne transformatorske postaje se je začelo po pregledu drugih postaj na trgu in po sestanku, kako bi jo lahko izboljšali. Odločili smo se, da konstruiranje razdelimo v tri kategorije; to so ohišje, streha in podnožje. Podnožje mora biti konstruiran tako, da prenaša ogromno težo, ker se bo postaja dvigala s pomočjo dvižnih ušes, ki so pritrjena na podnožje. Na začetku smo morali izbrati material za konstrukcijo. Izbrali smo AL EN AW 6060/T6. Ta material smo izbrali zaradi tega, ker je standarden material za izdelavo tovrstnih postaj. Material je odporen proti koroziji in ima dobro toplotno prevodnost, zato se na površini naredi manj kondenzacije, posledično pride redkeje do okvare zaradi vodne poškodbe.

Odločiti smo se morali tudi, kako bomo poimenovali posamezne dele postaje in smo se odločili, da bo šifra »EK-KTP«. Šifra se bo uporabljala pri poimenovanju kosa tako, da bo vsak kos imel na začetku to šifro, ki ji bo sledila zaporedna številka in nato mere kosa po V-Š-G (višini-širina-globina). Če je kos zrcaljen, to pomeni, da je kos enak, le v programu SolidWorks je simetrično preslikan in se po merah napiše oznaka »ZRC«.

Primer šifre dela: EK-KTP-001-50-2000-60_Spodnja prečka vrat NN in SN strani. Primer šifre zrcaljenega dela: EK-KTP-001-50-2000-60-ZRC_Spodnja prečka vrat NN in SN strani.

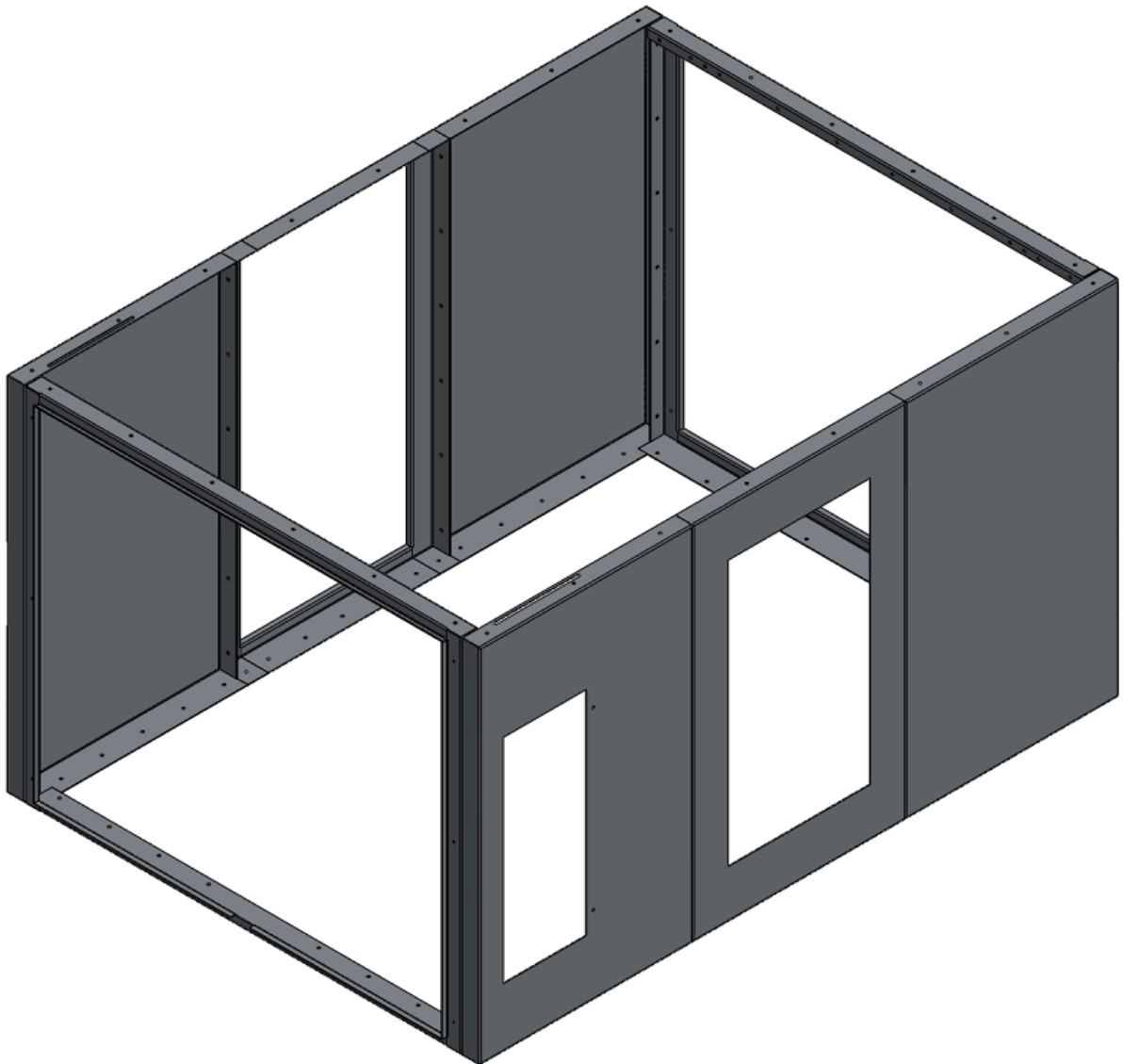
3.3 KONSTRUIRANJE POSTAJE V PROGRAMU SOLIDWORKS

Konstruiranje v programu SolidWorks se je začelo z ohišjem, saj je stranka zahtevala transformatorsko postajo, ki ima mere vidnega ohišja nad zemljo 2020×2700×2000 mm (višinska mera 2020 mm je izmerjena od spodnjega dela ohišja do najvišjega dela strehe). Odločil sem se za aluminij, debeline 3 mm po celotnem ohišju in 4 do 5 mm za posebne dele, ki ojačujejo konstrukcijo. Ti deli bodo na primer ojačitvene prečke, ki bodo privarjene na notranji del ohišja, da zagotavljajo varno in neporušljivo konstrukcijo. V nadaljevanju bom prikazal postopek konstrukcije po posameznih stopnjah.

3.3.1 Konstrukcija ohišja

Pričel sem s potrebnimi prečkami za vrata na NN in SN strani postaje, nato pa s stranskim delom ohišja (prikazano na sliki 7). To je zagotovilo, da bom imel konstantno širino in globino 2700 x 2000 mm. Od te točke naprej sem konstruiral ostale dele postaje. Luknje so narejene na premer $\varnothing 11$ mm za M10 vijake, ki bodo pri sestavi priviti z momentom 40 Nm.

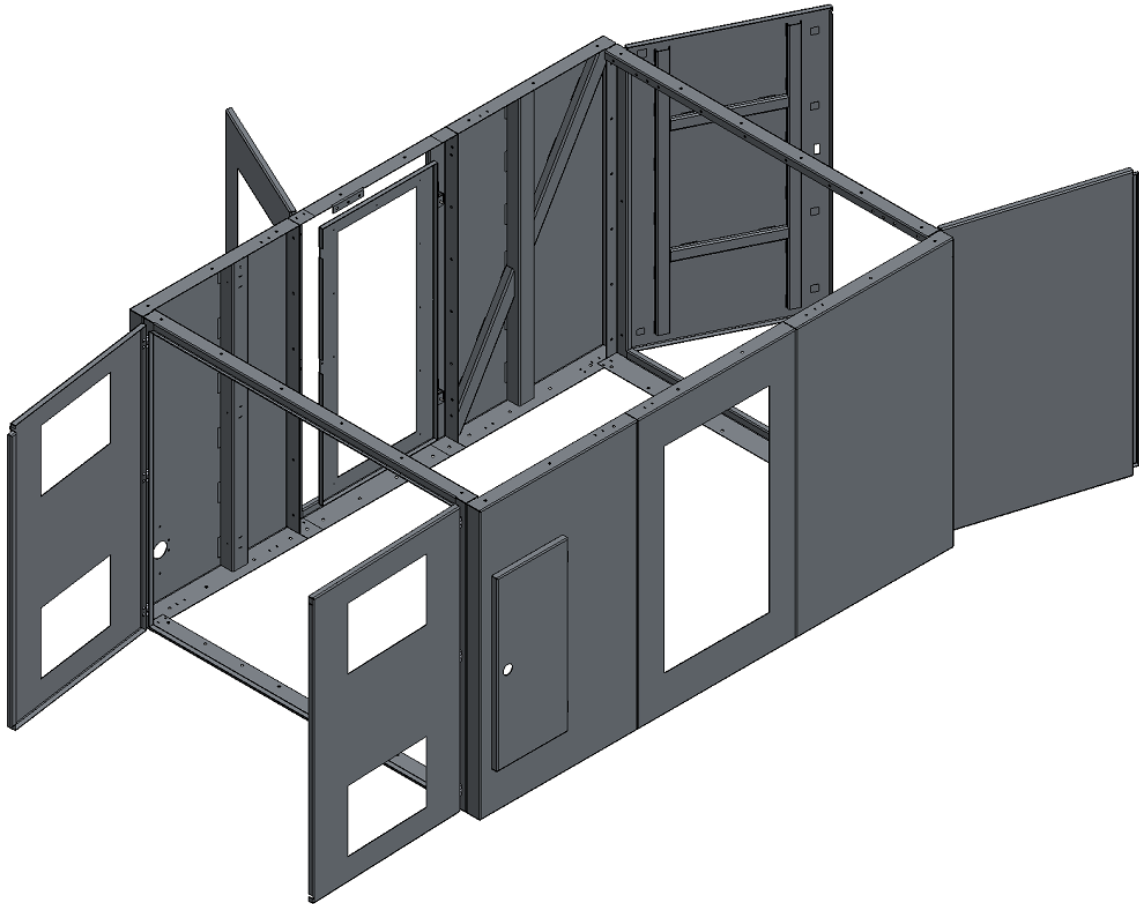
Slika 7: Prečke in stranski deli ohišja mobilne transformatorske postaje



3.3.1.1 Konstrukcija vrat in podpornih prečk

Ko so bili stranski deli in prečke dokončani, sem nadaljeval s konstruiranjem vrat, s podpornimi prečkami na vratih in podpornimi prečkami na ohišju. To vidimo na sliki 8. Prečke bodo privarjene na vrata in ohišje, vrata bodo pritrjena z nerjavečimi tečajji, ki se odpirajo do 180°. Signiral sem tudi, kje bodo podporne prečke segmentno privarjene.

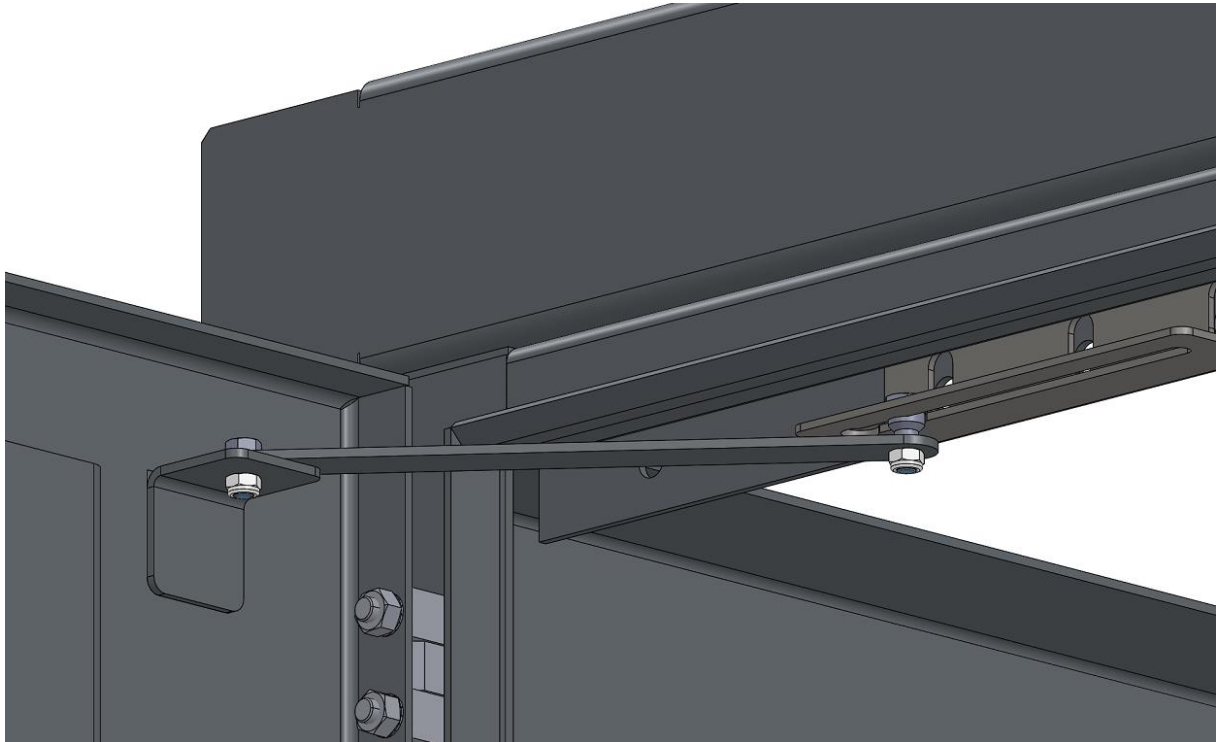
Slika 8: Vrata in podporne prečke



3.3.1.2 Zapiranje vrat

Vrata sem konstruiral tako, da imajo možnost odpiranja 90° ali 120° . Pri vsakih vratih sem dodal palico, ki je ohlapno vijačena na privarjen nosilec na vratih in na ohišju postaje. Ta palica ima na strani ohišja poseben vijak, ki pade v namensko luknjo pri 90° in 120° odprtja. Če se vrata zapirajo, se palica samo dvigne in vijak skoči iz luknje. To nam omogoča, da se vrata ne premikajo med vetrom na terenu. Na sliki 9 vidimo zapiranje vrat na 90° , če pa bi premaknili vrata, da se bi vijak usedel v levo luknjo nosilca, bi bila vrata odprta na 120° .

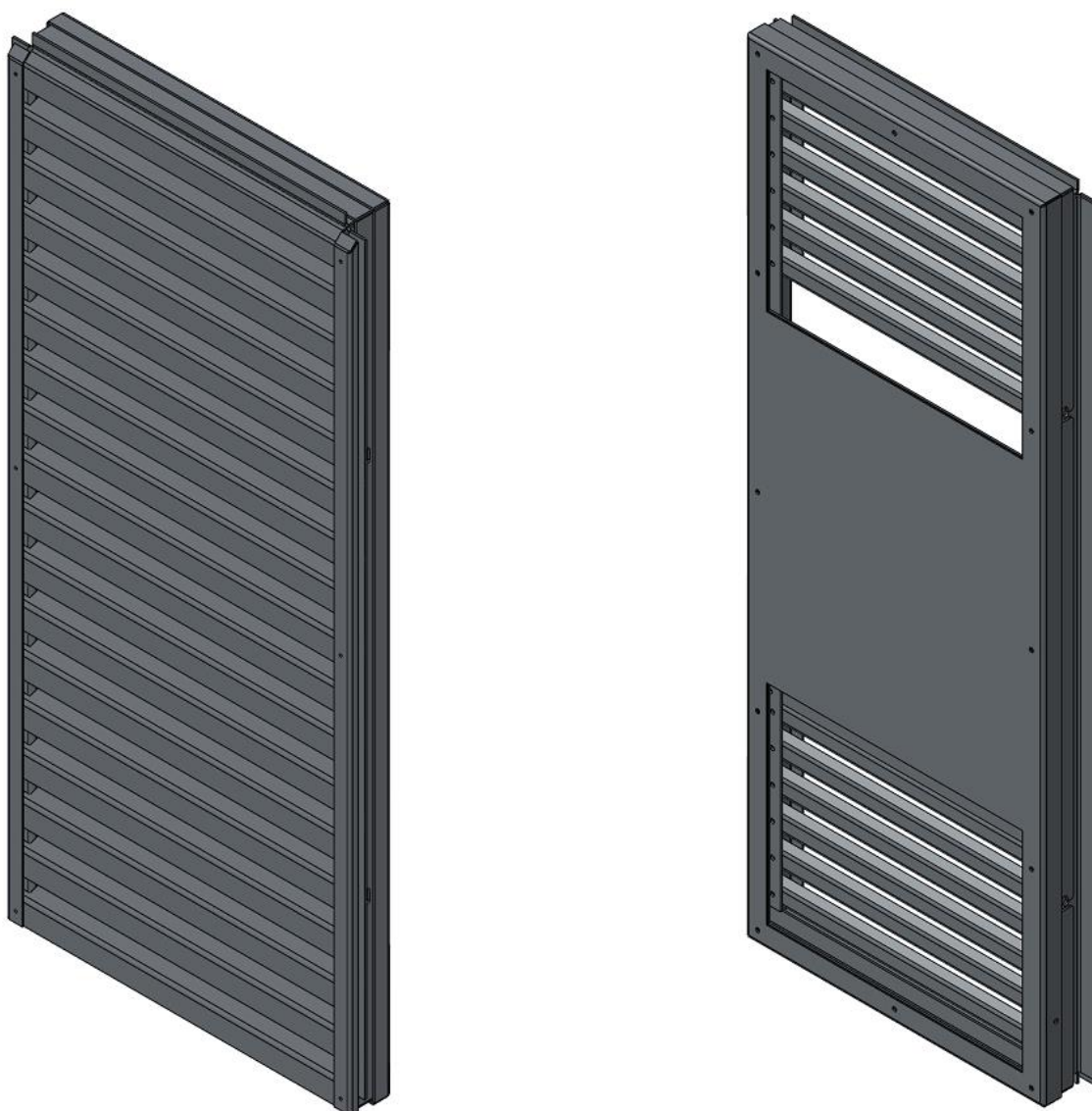
Slika 9: Primer zapiranja vrat na 90°



3.3.1.3 Konstruiranje prezračevanja ohišja in vrat

Konstruiranje prezračevanja je bilo bistveno težje, saj sem moral narediti prezračevanje, ki bo omogočilo hlajenje transformatorske postaje brez ventilatorja. Prezračevalne reže morajo biti izvedene tako, da v postajo ne morejo vstopiti žuželke, zato reže na notranjosti pokriva mreža iz aluminija. Ta mreža omogoča dober pretok zraka, vendar prepreči večjim delcem nesnage in žuželkam dostop do transformatorja. Prezračevanje lahko vidimo na slikah 10 in 11. Izvedeno bo tako, da bodo vertikalne in horizontalne prečke privarjene na ohišje omare, reže pa bodo na vsaki strani vijačene z M6x10 samoreznimi vijaki. Za notranjo mrežo bom v primeru, če pride do zamenjav, sem izdelal snemljiv okvir, ki omogoča hitro zamenjavo. Okvir je pritrjen s krilnimi maticami.

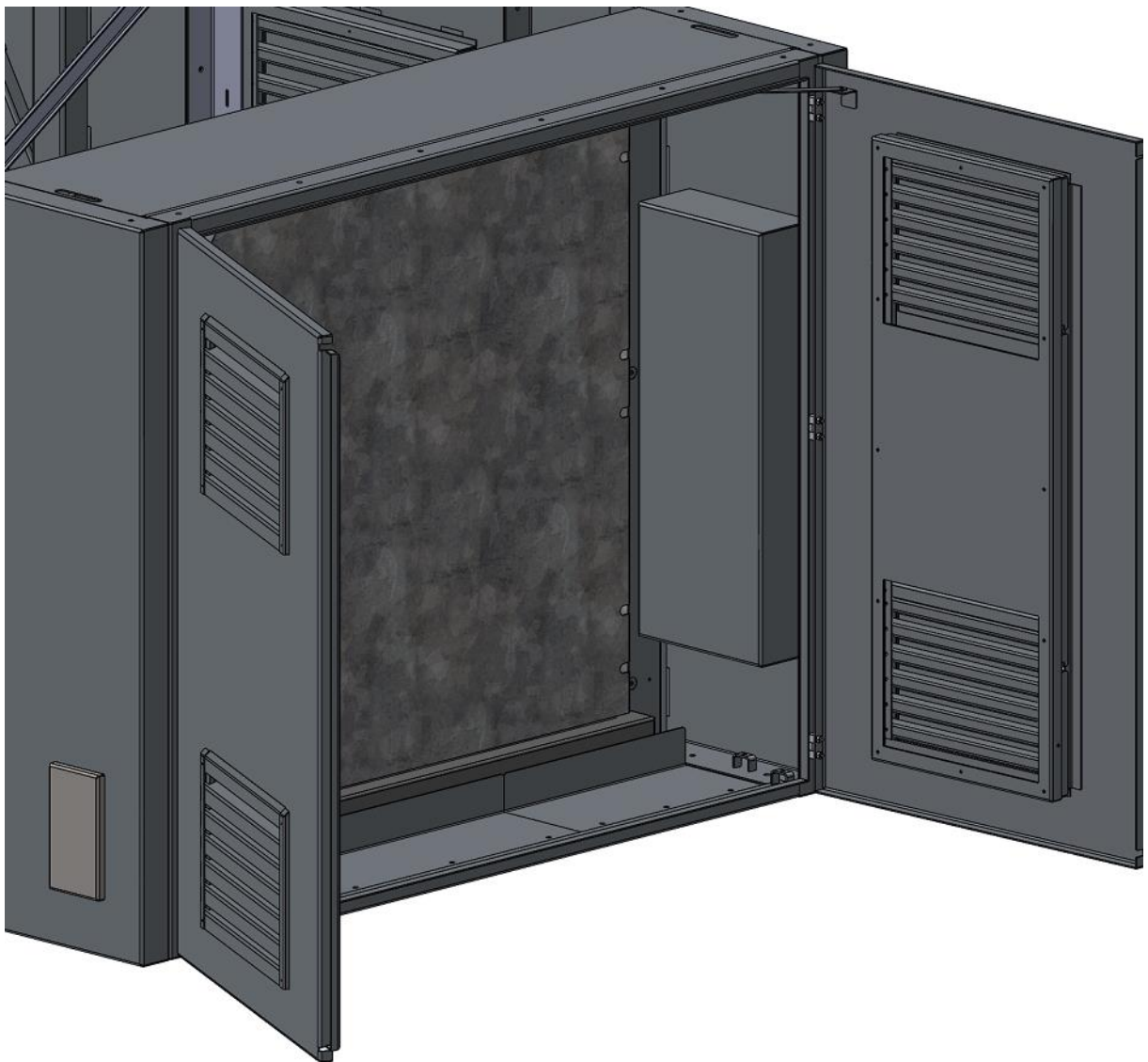
Slika 10: Prezračevanje na ohišju (levo) in na vratih NN in SN dela (desno)



3.3.1.4 Konstruiranje NN strani

Na NN strani transformatorske postaje sem izdelal panel iz pocinkanega železa DX51D+Z275 1.0226 z debelino 2 mm. Na sliki 11 vidimo panel, vijachen na vertikalne prečke, ki so varjene na stranski del ohišja. Vijachen je tudi na horizontalne prečke, katere so varjene na vertikalne prečke in to omogoča še dodatno ojačitev celotne transformatorske postaje, saj onemogoča nihanje. Na NN strani sem moral še zagotoviti zaščito na dnu in stropu ohišja ter izdelati posebej ohišje za stranski panel. V levem spodnjem kotu NN strani pa sem naredil priključek za kable. Dodal sem še majhne U-profile, ki se bodo privarili na potrebne dele, kjer bo potrebna ozemljitev.

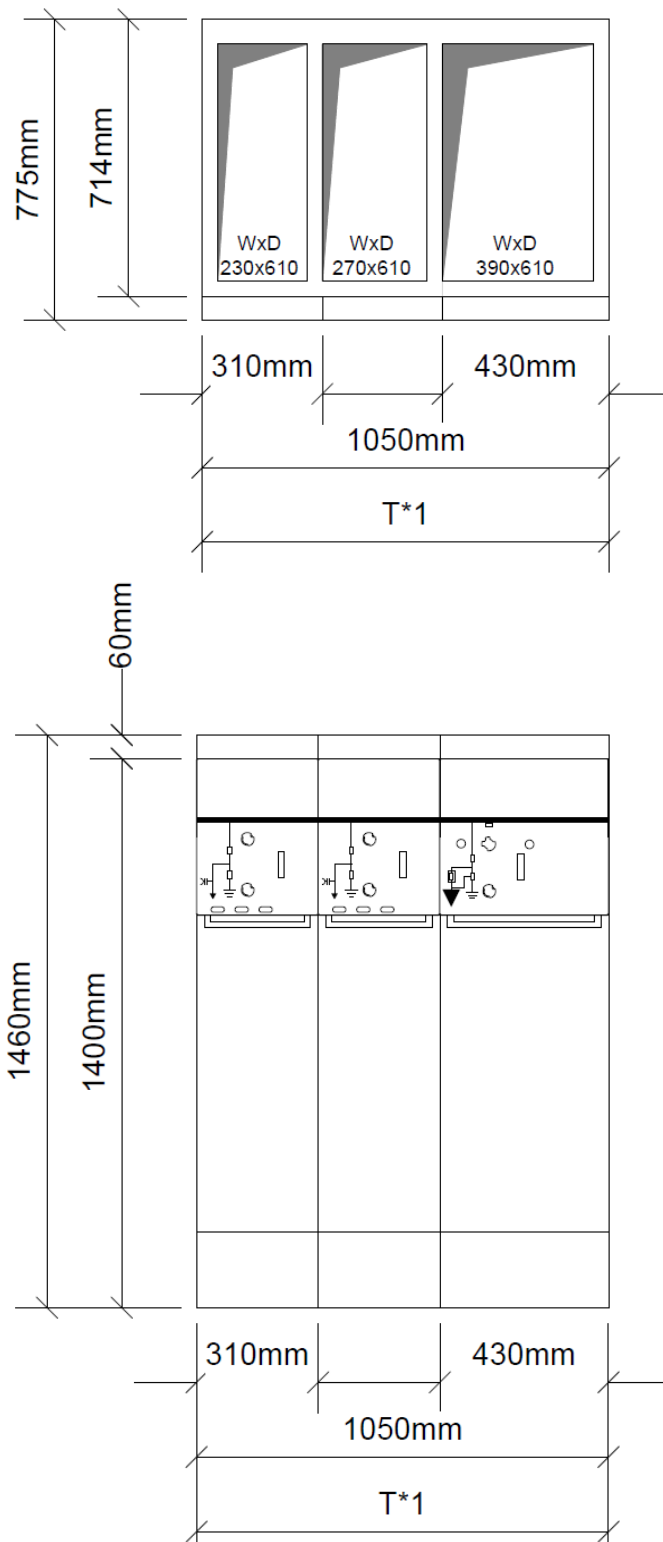
Slika 11: NN stran transformatorske postaje



3.3.1.5 Konstruiranje SN strani

Pri konstruiranju SN strani sem moral upoštevati načrt za SN blok, ki je na sliki 12. Na podlagi te sheme sem naredil potrebno dno in strop SN strani.

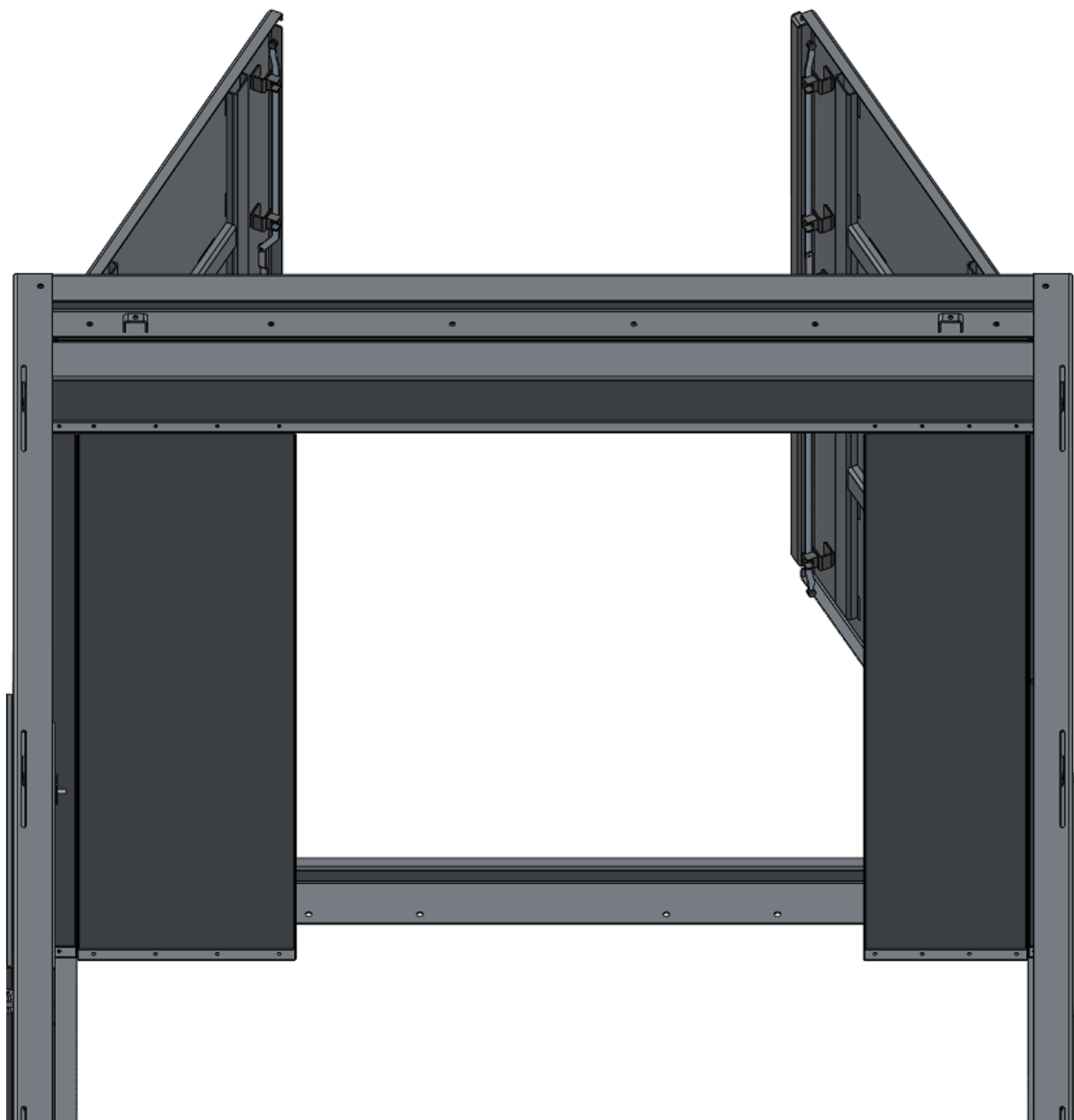
Slika 12: SN blok SIEMENS ENERGY



Vir: (SIEMENS, 2025)

Na sliki 13 vidimo zaščite na SN strani, ki sem jih naredil na osnovi sheme od SIEMENS ENERGY.

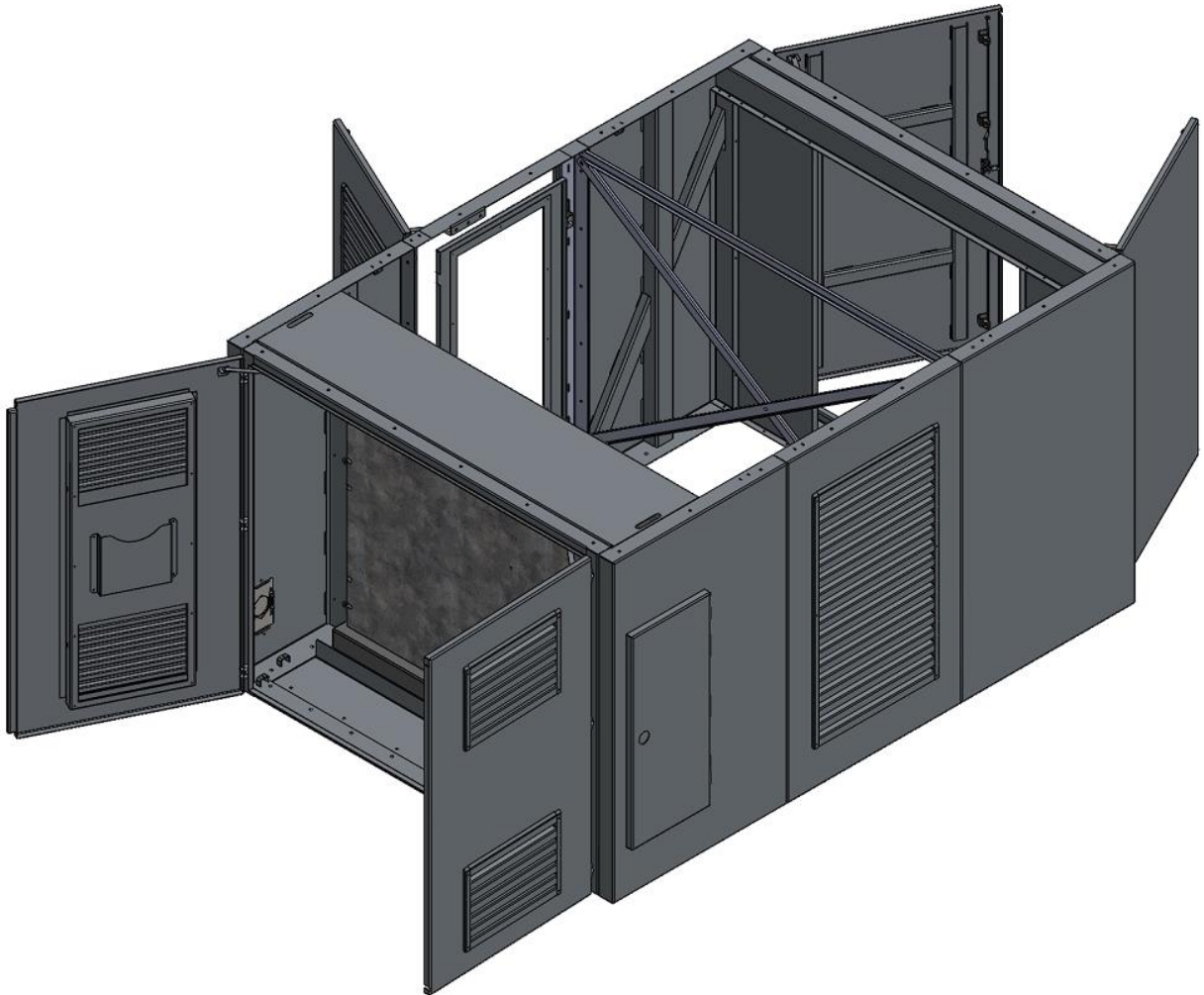
Slika 13: Zaščite na SN strani



3.3.1.6 Končano ohišje

Na sliki 14 vidimo končni produkt ohišja transformatorske postaje. Dodal sem še U-profile na vse dele, ki so jih zahtevali zaradi ozemljitve. Dodal sem ojačitvene palice v obliki X, ki pripomorejo pri sestavi. Te ojačitvene palice držijo skupaj levo in desno stran ohišja, preden se pritrdi streha. Če teh palic ne bi bilo, obstaja možnost padca ohišja. Na sliki 14 vidimo celotno in dokončano ohišje.

Slika 14: Dokončano ohišje mobilne transformatorske postaje



3.3.2 Konstruiranje strehe

Streho sem si zamislil tako, da bo lahko snemljiva pri potrebi menjave transformatorja ali SN bloka. To bom zagotovil tako, da bom streho postavil na centrirne oziroma pozicijske vijake. Streho bom pritrdil z ročicami na NN strani, ki bodo streho stisnile. Premik ročice nazaj povzroči odmik povezane palice, kar prekine tesnjenje strehe. Premik ročice naprej palico zaskoči v streho in blokira njen premik. Streha mora biti tudi konstruirana tako, da se ne bo porušila od snega. Omogočiti moram tudi dvig strehe z ustreznimi ušesi. Streha mora imeti tudi ustrezne izreze za hlajenje.

3.3.2.1 Konstrukcija okvira strehe

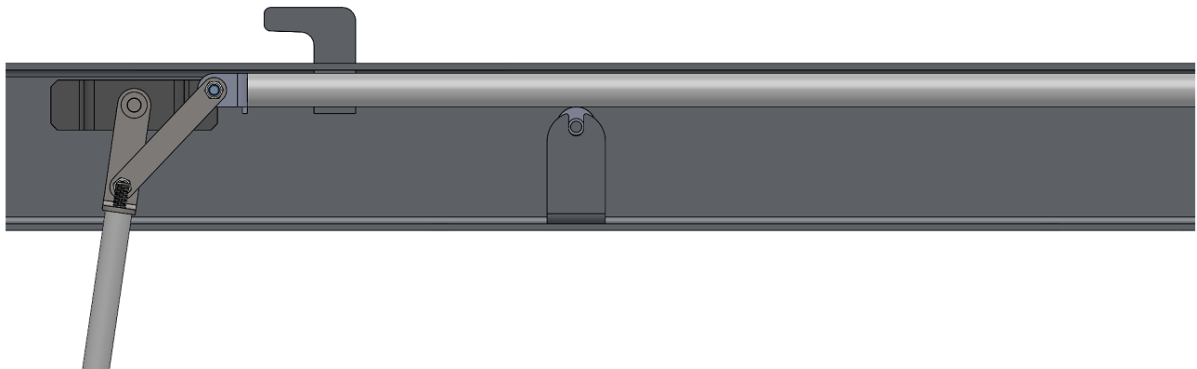
Okvir strehe sem sprva naredil na določeno mero, ki je enaka ohišju, to je 2700 x 2000 mm, to vidimo na sliki 15. Na njega sem še namestil ustrezne U-profile za ozemljitve.

Slika 15: Okvir strehe



Dodal sem tudi mehanizem za zapiranje strehe, kar je vidno na sliki 16.

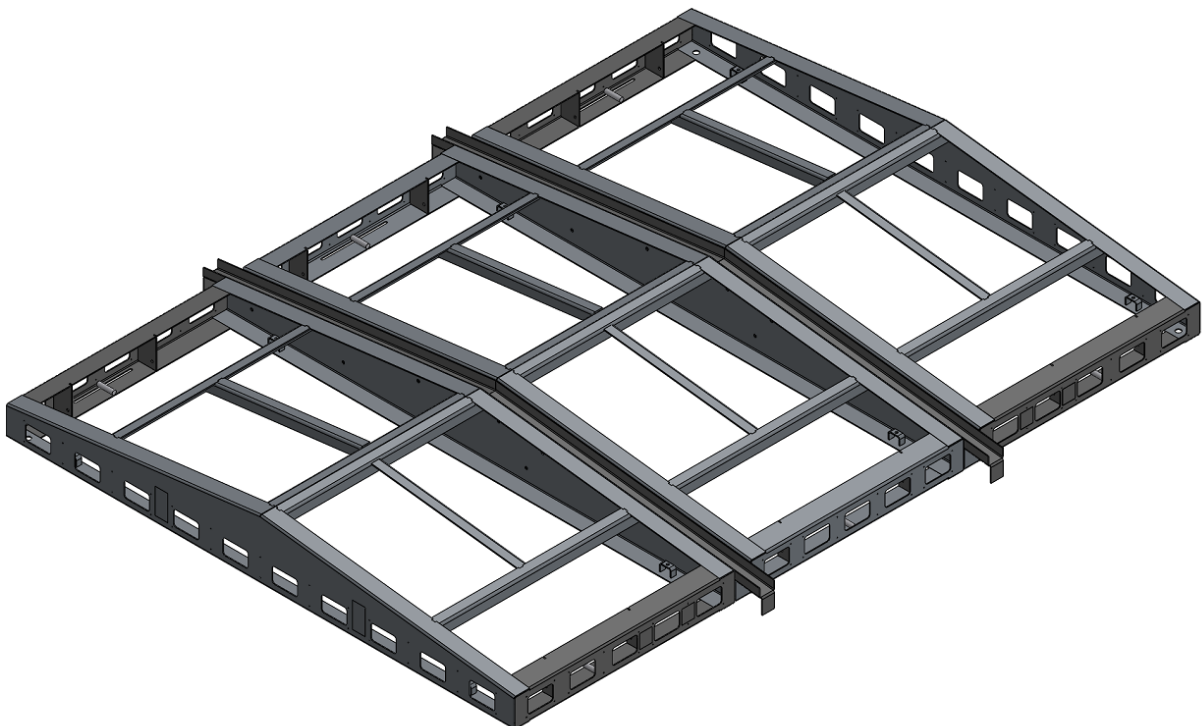
Slika 16: Mehanizem za zapiranje vrat



3.3.2.2 Konstruiranje zgornjega dela strehe

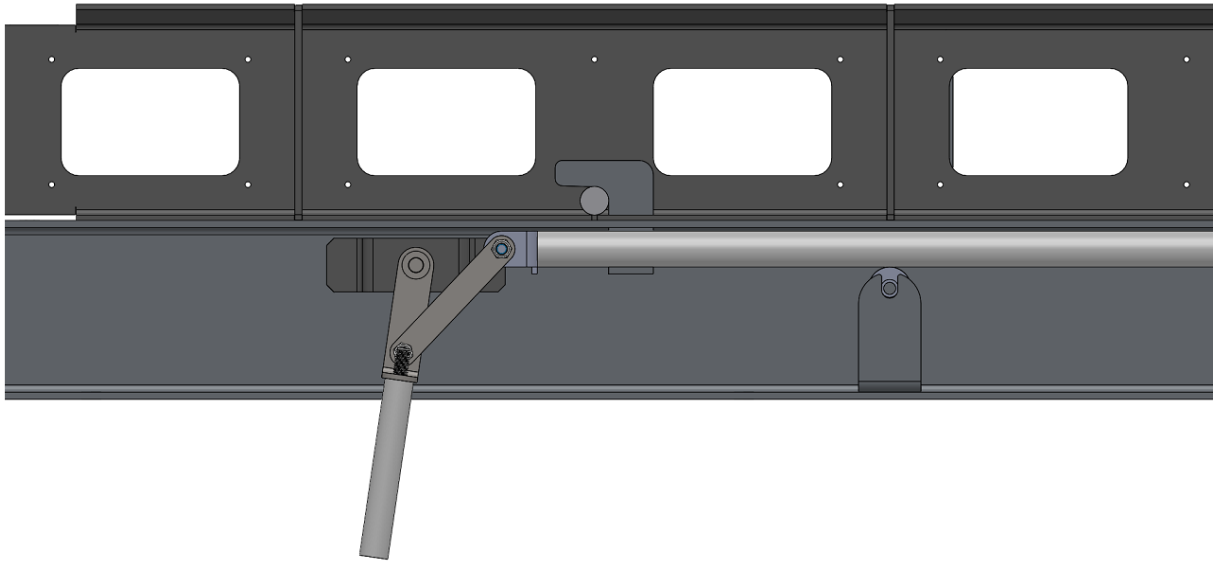
To je glavni del strehe in celotne konstrukcije. Konstruiran more biti tako, da voda ne more imeti dostopa v ohišje. Na sliki 17 vidimo potrebne izreze. Na teh izrezih bo nameščena mreža, ki bo pritrjena na notranji strani strehe s kovicami. Konstruiral sem tudi žlebe, ki vodijo vodo s strehe.

Slika 17: Skelet strehe



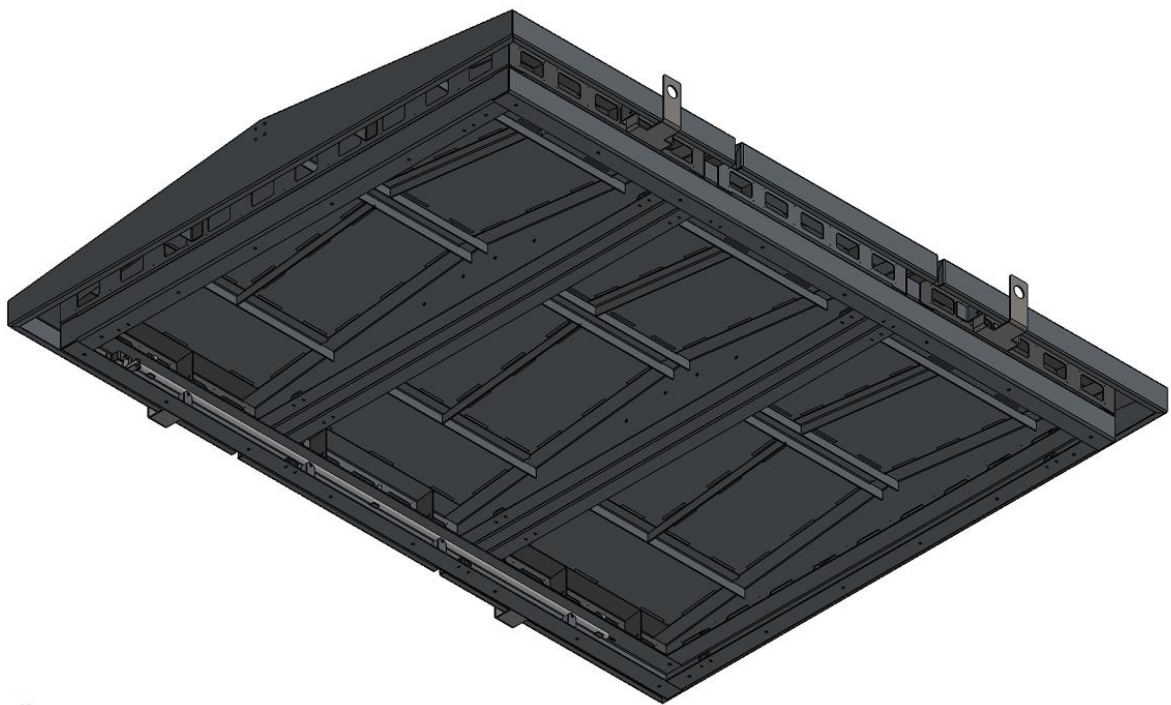
Na sliki 18 vidimo, kako mehanizem zapre streho in jo stisne k okvirju.

Slika 18: Zaprt mehanizem



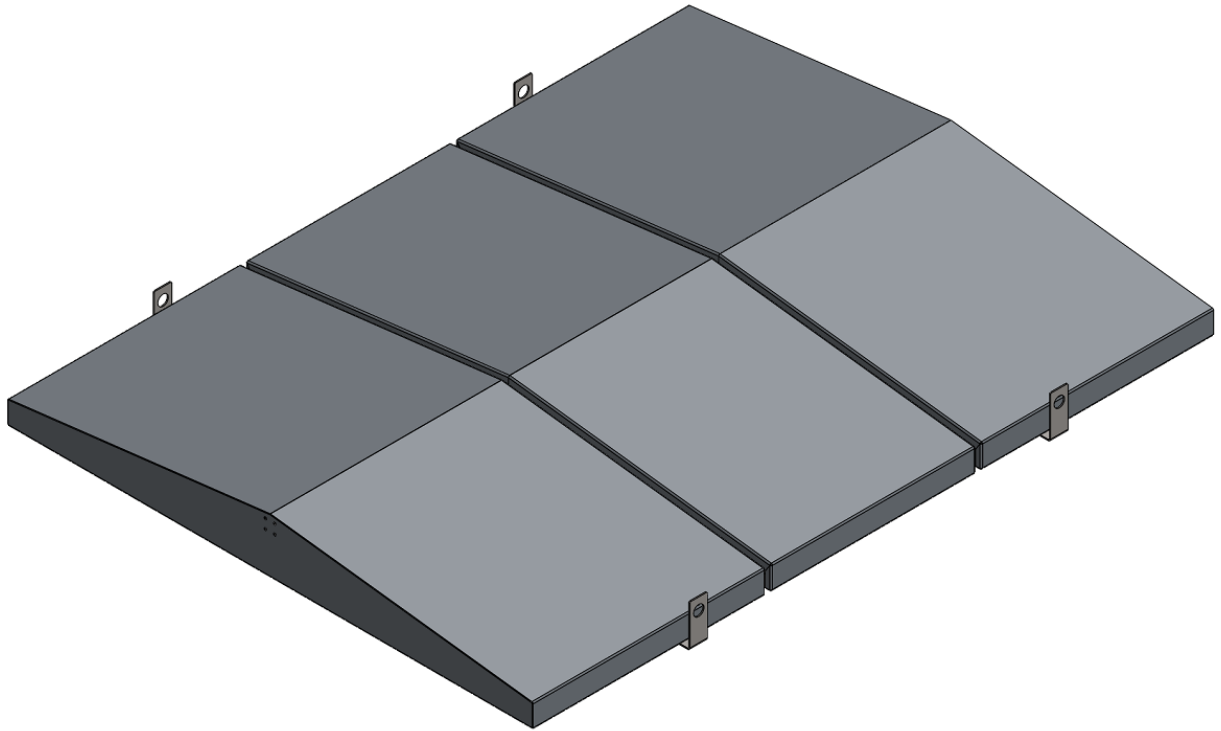
Na slikah 19 in 20 vidimo končan produkt strehe z ustreznimi ušesi za dvig. Ušesa so narejena iz materiala INOX debeline 5 mm. Celoten zgornji del strehe ima 160 kg in če se teža razporedi po vseh ušesih, bo vsako uho moralo prenesti 40 kg. Signiral sem tudi prečke, ki se privarijo na notranji del zgornje plasti.

Slika 19: Spodnji del končane strehe



Y

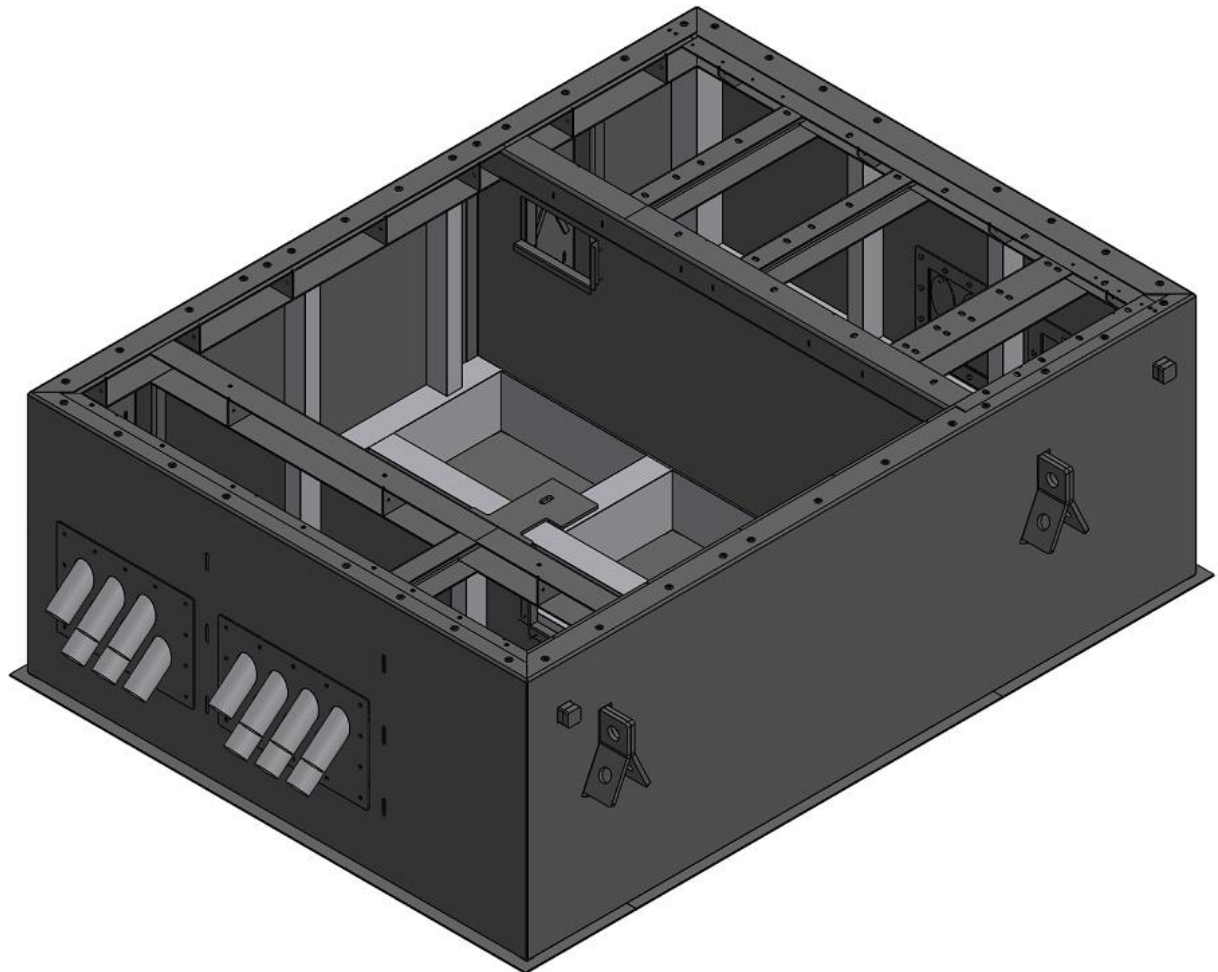
Slika 20: Zgornja stran končane strehe



3.3.3 Konstruiranje podnožja

Na sliki 21 vidimo podnožje, ki je bilo konstruirano tako, da prenese težo celotne transformatorske postaje in to brez (750 kg) ali s transformatorjem in SN bloki (2700 kg). Podnožje ima na podu namenski nastavek, na katerega se pritrdi transformator. Celoten prostor, kjer stoji transformator, omogoča iztek celotnega olja iz transformatorja. Na NN in SN straneh so pritrjene cevi za odvodnice. Na stranicah so privarjena dvižna ušesa. Privarjena so odzunaj in odznotraj podnožja za maksimalno nosilnost in stabilnost.

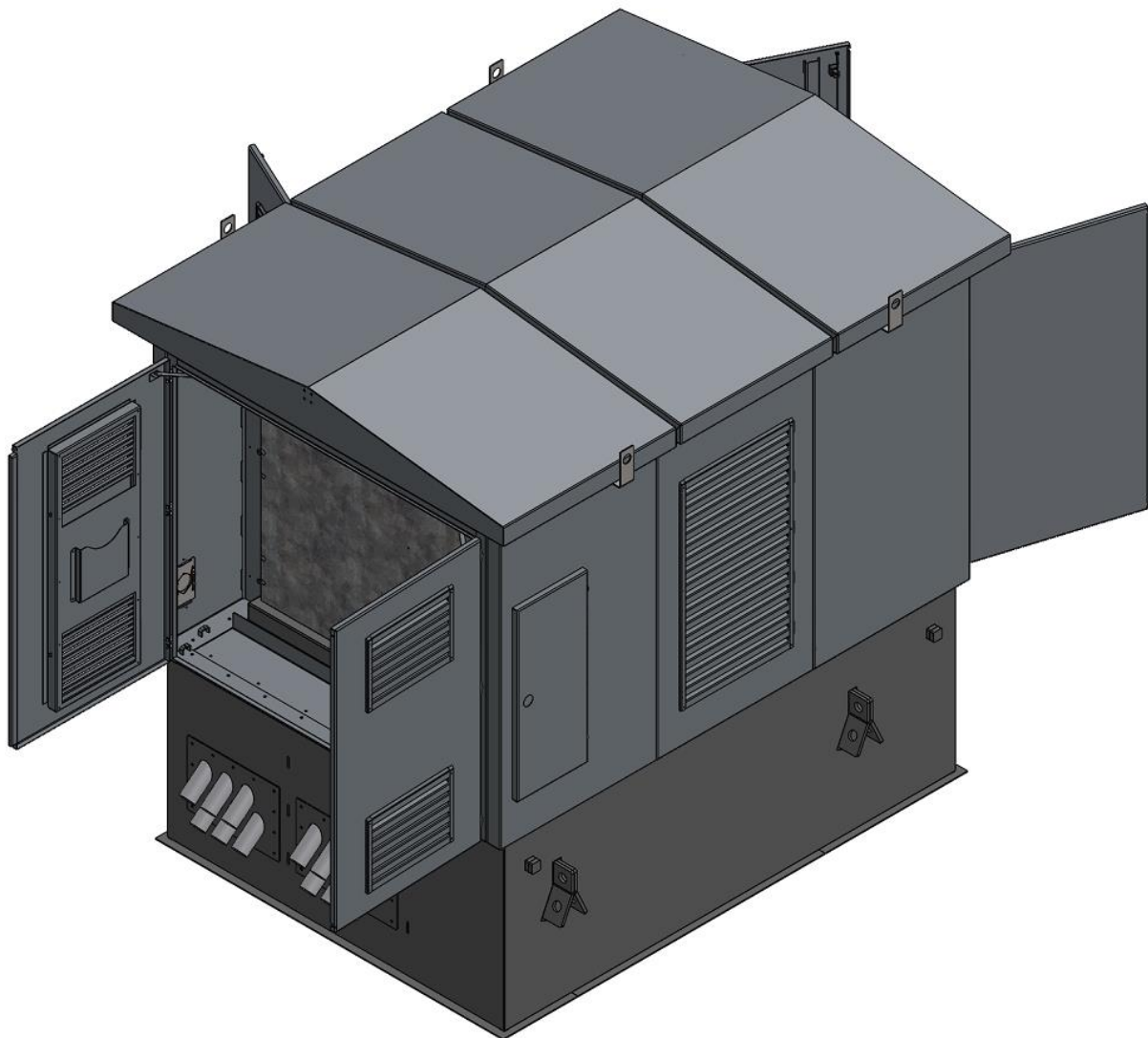
Slika 21: Podnožje mobilne transformatorske postaje



3.3.4 Končna konstrukcija

Na sliki 22 vidimo končano konstrukcijo mobilno transformatorske postaje.

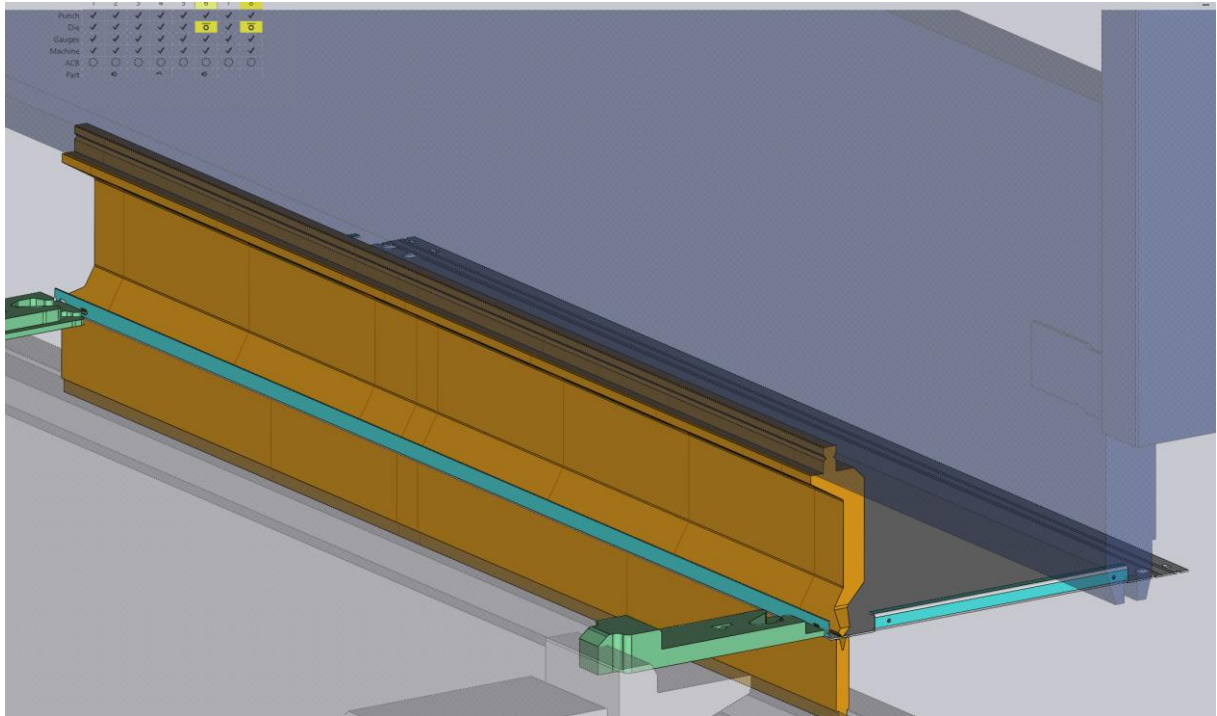
Slika 22: Dokončana mobilna transformatorska postaje v programu SolidWorks



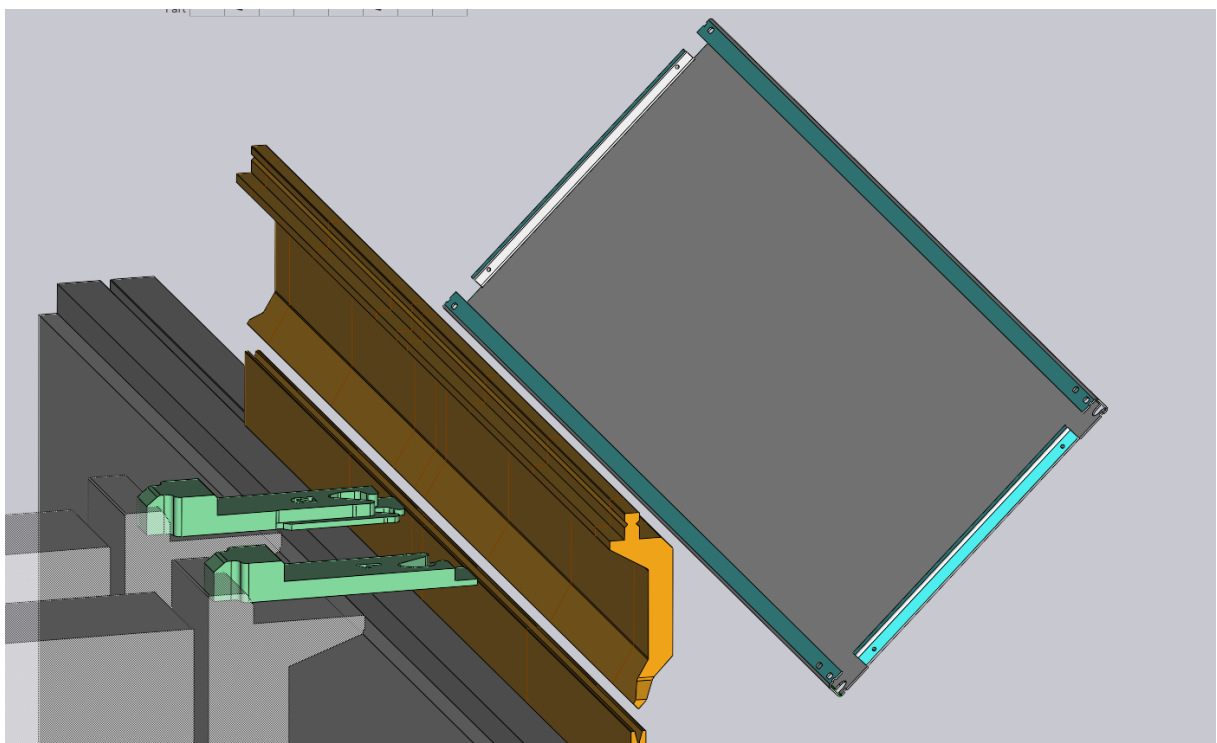
3.4 RAZVIJANJE POSAMEZNIH KOSOV

Posamezni deli mobilne transformatorske postaje so se morali razviti v programu TruTops Boost. V programu so bila določena ustrezna orodja za upogibanje in natančna pozicija delov za obdelavo na prebijalki. Na sliki 23 in 24 vidimo razvitje panela na strani NN dela.

Slika 23: Začetek razvijanja panela v programu TruTops Boost



Slika 24: Konec razvijanja panela v programu TruTops Boost



3.5 STATIKA VERTIKALNEGA NOSILCA DVIGA PODNOŽJA

3.5.1 Kontrola glavnih spojev

Prikazal bom izračun statike spoja vertikalnih nosilcev; ta spoj je kritičen za nosilnost mobilne transformatorske postaje. Sile kot so F_x , F_z in M_y so pridobljeni iz SolidWorks simulacije.

Tabela 5: Potrebne količine za izračun zvara vertikalnega nosilca na podnožju

Ime:	Oznaka:	Količina:	Enota:
Zvar: (Minimalno potrebni)	a	3	mm
Dolžina zvara:	l_w	378	mm
Širina efektivnega grla zvara:	β_w	0,85	mm
Varnostni faktor za varjenje spojev:	γ_{M2}	1,25	
Število varov:	n	2	
Kot med priključenima pločevinama:	α	90	°
Meja plastičnosti: EN AW 6060/T6	$R_{p0,2}$	160	MPa
Natezna trdnost materiala:	f_u	160	N/mm ²
Sila:	F_z	1910	N
Sila:	F_x	4720	N
Moment:	M_y	360000	Nmm

σ_{wv} = primerjalna napetost (N/mm²)

σ_{\perp} = normalna napetost, pravokotna na referenčno površino (N/mm²)

τ_{\perp} = strižna napetost pravokotna na referenčno površino (N/mm²)

τ_{\parallel} = strižna napetost vzporedna z referenčno površino (N/mm²)

F_x = sila pravokotna na težišče površine korena (N)

F_z = sila vzporedna s površino korena (N)

M_y = moment prečno na površino korena (Nmm)

a = debelina zvara (mm)

l_w = dolžina zvara (mm)

α = kot med priključenimi pločevinami (Stopinja)

S = težišče območja, omejenega z korenem zvara ($l_w * t$)

Pri naslednjih enačbah končno vsoto delimo z dva. To naredimo zato, ker imamo dva vara, eden na zgornji in eden na spodnji strani podnožja. Ta informacija je tudi vidna na zgornji tabeli 5 in sliki 25.

Normalna pravokotna napetost sile:

$$\sigma_{\perp}^F = \frac{\left(\frac{F_x * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sum a * l_w} \right)}{2}$$

$$\sigma_{\perp}^F = \frac{\left(\frac{4720 \text{ N} * \sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{3 \text{ mm} * 378 \text{ mm}} \right)}{2}$$

$$\sigma_{\perp}^F = \frac{3,541 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\sigma_{\perp}^F = 1,770 \text{ N/mm}^2$$

Pravokotna strižna napetost sile:

$$\tau_{\perp}^F = \frac{\left(\frac{F_x * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sum a * l_w} \right)}{2}$$

$$\tau_{\perp}^F = \frac{\left(\frac{4720 \text{ N} * \cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{3 \text{ mm} * 378 \text{ mm}} \right)}{2}$$

$$\tau_{\perp}^F = \frac{2,186 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\tau_{\perp}^F = 1,093 \text{ N/mm}^2$$

Vzporedna strižna napetost sile:

$$\tau_{\parallel}^F = \frac{\left(\frac{F_z}{\sum a * l_w} \right)}{2}$$

$$\tau_{\parallel}^F = \frac{\left(\frac{1910 \text{ N}}{3 \text{ mm} * 378 \text{ mm}} \right)}{2}$$

$$\tau_{\parallel}^F = \frac{1,684 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\tau_{\parallel}^F = 0,842 \text{ N/mm}^2$$

Normalna pravokotna napetost momenta:

$$\sigma_{\perp}^M = \frac{\left(\frac{M_y * \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sum a * \frac{l_w^2}{6}} \right)}{2}$$

$$\sigma_{\perp}^M = \frac{\left(\frac{360000 \text{ Nmm} * \sin\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{3\text{mm} * \frac{(378 \text{ mm})^2}{6}} \right)}{2}$$

$$\sigma_{\perp}^M = \frac{4,287 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\sigma_{\perp}^M = 2,143 \text{ N/mm}^2$$

Pravokotna strižna napetost momenta:

$$\tau_{\perp}^M = \frac{\left(\frac{M_y * \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sum a * \frac{l_w^2}{6}} \right)}{2}$$

$$\tau_{\perp}^M = \frac{\left(\frac{360000 \text{ Nmm} * \cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right)}{3\text{mm} * \frac{(378 \text{ mm})^2}{6}} \right)}{2}$$

$$\tau_{\perp}^M = \frac{2,647 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\tau_{\perp}^M = 1,323 \text{ N/mm}^2$$

Primerjalna napetost:

$$\sigma_{wv,Ed} = \sqrt{(\sigma_{\perp}^F{}^2 + \sigma_{\perp}^M{}^2) + 3 * (\tau_{\parallel}^F{}^2 + \tau_{\perp}^F{}^2 + \tau_{\perp}^M{}^2)}$$

$$\sigma_{wv,Ed} = \sqrt{(3,541^2 + 4,287^2) + 3 * (1,684^2 + 2,186^2 + 2,647^2)}$$

$$\sigma_{wv,Ed} = \sqrt{139,903 \text{ N}^2/\text{mm}^4}$$

$$\sigma_{wv,Ed} = 11,828 \text{ N/mm}^2$$

Mejna primerjalna napetost:

$$\sigma_{wv,Rd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

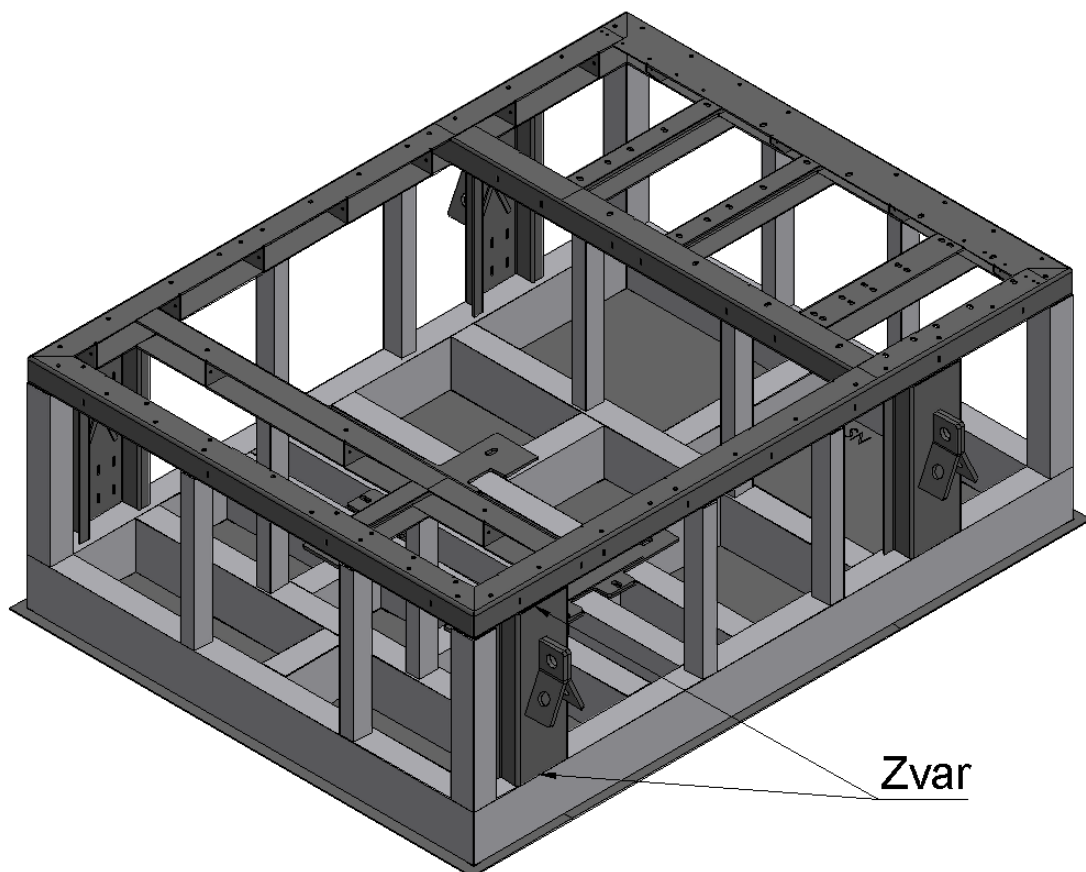
$$\sigma_{wv,Rd} = \frac{160 \text{ MPa}}{0,85 * 1,25}$$

$$\sigma_{wv,Rd} = 150,588 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz zvarov na vertikalnih nosilcih:

$$\sigma_{wv,Ed} = 11,828 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{wv,Rd} = 150,588 \text{ N/mm}^2$$

Slika 25: Zvar na vertikalnem nosilcu



3.6 SESTAVA MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE

Sestava mobilne transformatorske postaje se je pričela, ko smo imeli zvarjeno podnožje. Vse slike, ki si sledijo, so po zaporednem redu sestave postaje. Sprva so prečke in stranski deli ohišja bili vijačeni na podnožje. Na ohišje smo pritrdili vsa vrata (NN del, SN del, stranska vrata in vrata za dostop do transformatorja). Ohišje sem zavaroval z M10 vijaki, ki so bili priviti na predpisani navor 40 Nm. Nato smo na ohišje pritrdili podstavek za streho, kamor smo dodali mehanizem za odpiranje in zapiranje strehe. Nato smo v treh segmentih dvignili streho s pomočjo viličarja. Najprej smo pritrdili levo in desno stran strehe, nato še sredinsko.

Slika 26: Vijačenje stranskega dela ohišja na podnožje



Slika 27: Vrata za dostop do transformatorja



Slika 28: Vrata na SN delu



Slika 29: Postaja pred dvigom strehe



Slika 30: Postaja po dvigu strehe



Slika 31: Mehanizem za odpiranje in zapiranje strehe



Slika 32: Vgrajen NN panel v postaji



Slika 33: Dokončana sestava mobilne transformatorske postaje



4 ZAKLJUČEK

Na začetku tega projekta in ob pisanju diplomskega dela sem se soočal z različnimi težavami, ki pa sem jih uspešno rešil. Na primer, primanjkovalo mi je znanja za konstruiranje mobilne transformatorske postaje, saj je poleg strojništva bilo potrebno tudi znanje iz elektrotehnike. Vso to znanje sem pridobil med konstruiranjem in v prostem času doma. Na začetku prav tako nisem znal uporabljati nekatere potrebne funkcije v programu SolidWorks, na primer funkcijo, ki simulira statiko. Naučil sem se jo uporabljati za preračun zvarov, kar mi je olajšalo delo pri izračunih

Na podlagi opravljenega dela lahko zaključim, da sem s pomočjo diplomske naloge bistveno izboljšal svoje znanje konstruiranja v programu SolidWorks. Prav tako sem boljše spoznal, kako se razvija posamezen kos v programu BOOST. To znanje mi bo služilo kot trdna osnova za delo na področju strojništva. Diplomska naloga zame ne predstavlja zgolj zaključek študijskega obdobja, temveč tudi pomemben korak k profesionalnemu razvoju in osebni rasti.

Pomembno je poudariti, da sem z izdelavo diplomske naloge uspešno dosegel vse zastavljene cilje in projekt zaključil v predvidenem časovnem okviru, kot je bilo načrtovano. To potrjuje, da sem znal učinkovito organizirati svoje delo in si pravilno zastaviti prioritete.

5 VIRI

CAD, Solidwoks. 2019. Solidowrks. [Elektronski] 16. 10 2019. <https://www.solidworks.com/>.

Elpro. 2020. Elpro Križnič d.o.o. [Elektronski] 2020. <https://www.elpro-kriznic.si/>.

Haeger. 2025. One Touch 4e LITE. [Elektronski] 2025. <https://www.haeger.com/>.

Jontez, Tadej. 2025. Standardi.si. [Elektronski] 7. 8 2025. [Navedeno: 16. 8 2025.] <https://standardi.si/sest-kljucnih-prednosti-izvajanja-iso-9001/>.

Jovan, Ivan. 2011. *Tehnično risanje in dokumentacija*. Ljubljana : Zavod IRC, Ljubljana., 2011.

Kraut, Bojan in Puhar, Jože. 2007. *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana : Littera picta, 2007.

Objekta, 2000. 2009. Izobraževanje kakovost. *Izobraževanje kakovost*. [Elektronski] 9. 9 2009. [Navedeno: 17. 8 2025.] <https://kakovosteu.wordpress.com/2013/09/09/izobrazevanje-msa/>.

Pehan, Stanislav. 2021. *Osnove konstruiranja*. Maribor : Univerza v Mariboru, 2021.

Prelesnik, Mojca. 2019. Informacijski pooblaščenec. [Elektronski] 5. 3 2019. <https://www.ip-rs.si/mnenja-gdpr/60489fb8ecdec>.

SIEMENS. 2025. [Elektronski] 2025. <https://www.siemens-energy.com/global/en/home.html>.

SVO. 2016. Gospodarska zbornica slovenije. [Elektronski] 2016. [Navedeno: 16. 8 2025.] https://www.gzs.si/skupne_naloge/varstvo_okolja/vsebina/odpadki-in-snovni-tokovi/sistemi-in-orodja/iso14001.

TRUMPF. 2020. TrueBend Series 5000. [Elektronski] 2020. https://www.trumpf.com/en_US/products/machines-systems/bending-machines/trubend-series-5000/.

TRUMPF. 2025. TruLaser 5030. [Elektronski] 2025. https://www.trumpf.com/en_US/products/machines-systems/2d-laser-cutting-machines/trulaser-5030-fiber-5040-fiber-5060-fiber/.

TRUMPF. 2025. TruMatic 7000. [Elektronski] 2025. https://www.trumpf.com/en_US/products/machines-systems/punch-laser-machines/trumatic-7000/.

Wikipedia. 2024. Wikipedia. [Elektronski] 10. 12 2024. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Standardizacija>.

PRILOGE

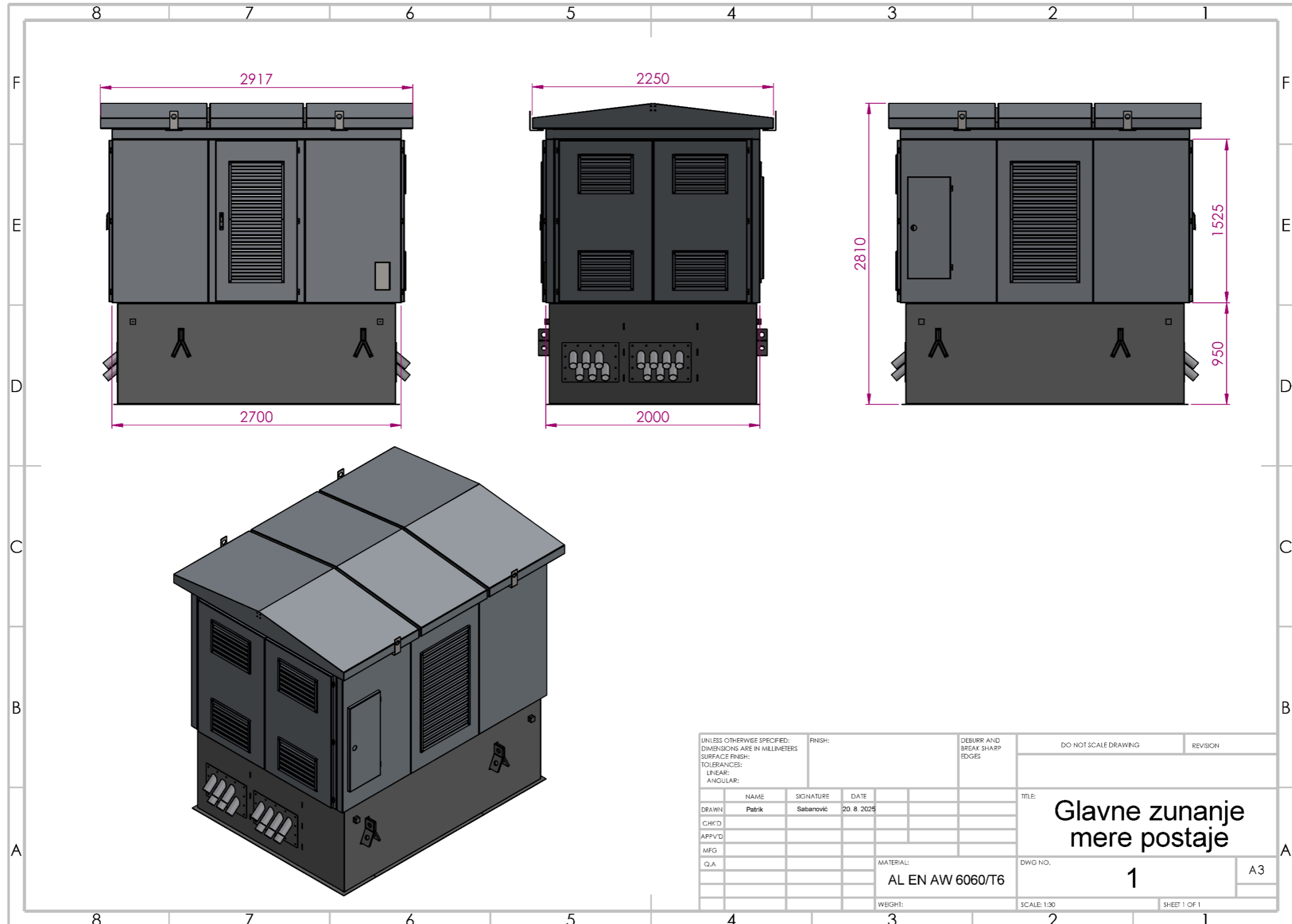
PRILOGA A: Zunanje mere mobilne transformatorske postaje

PRILOGA B: Zunanje mere podnožja

PRILOGA C: Zunanje mere ohišja

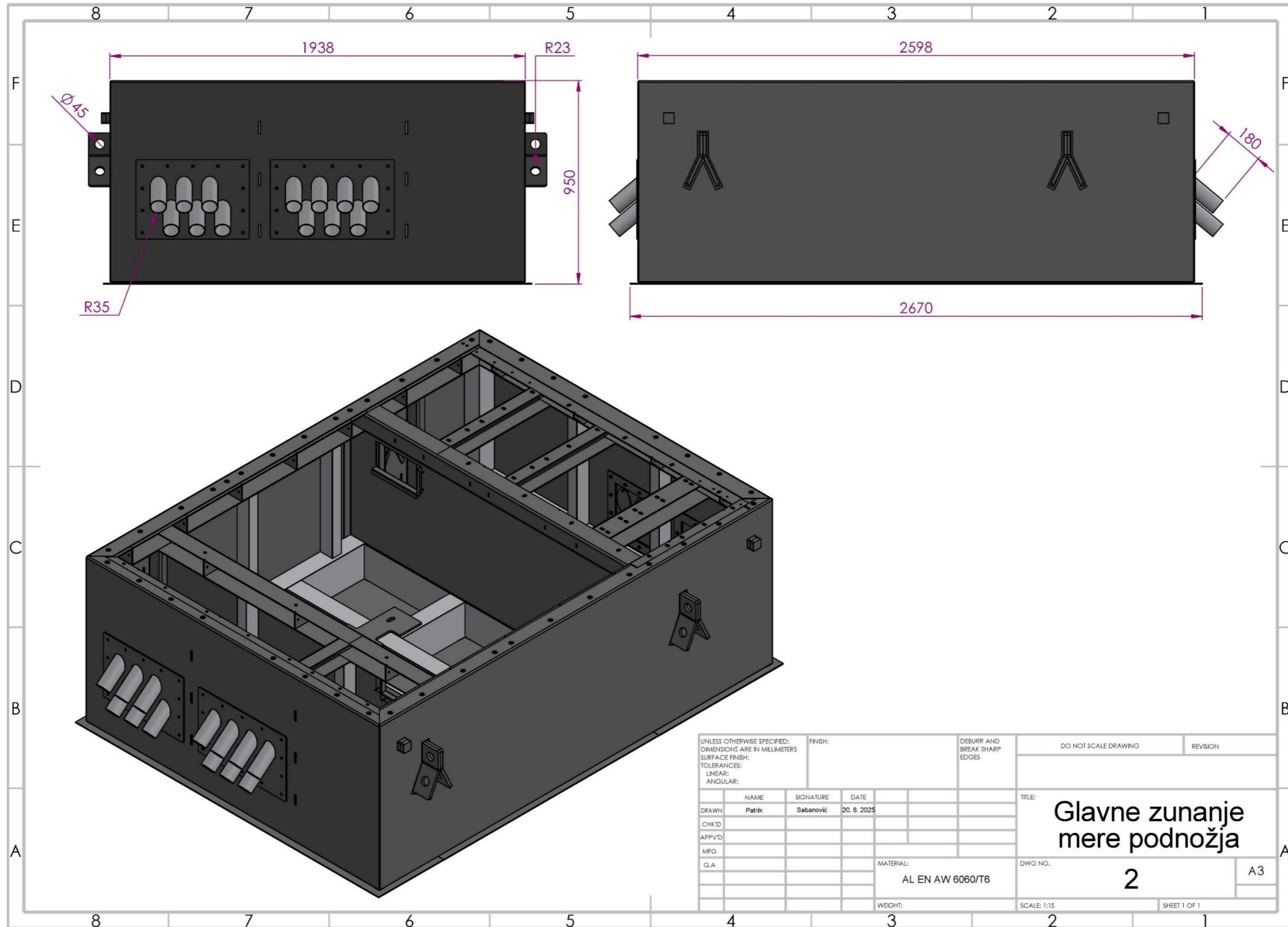
PRILOGA D: Zunanje mere strehe

PRILOGA A: ZUNANJE MERE MOBILNE TRANSFORMATORSKE POSTAJE

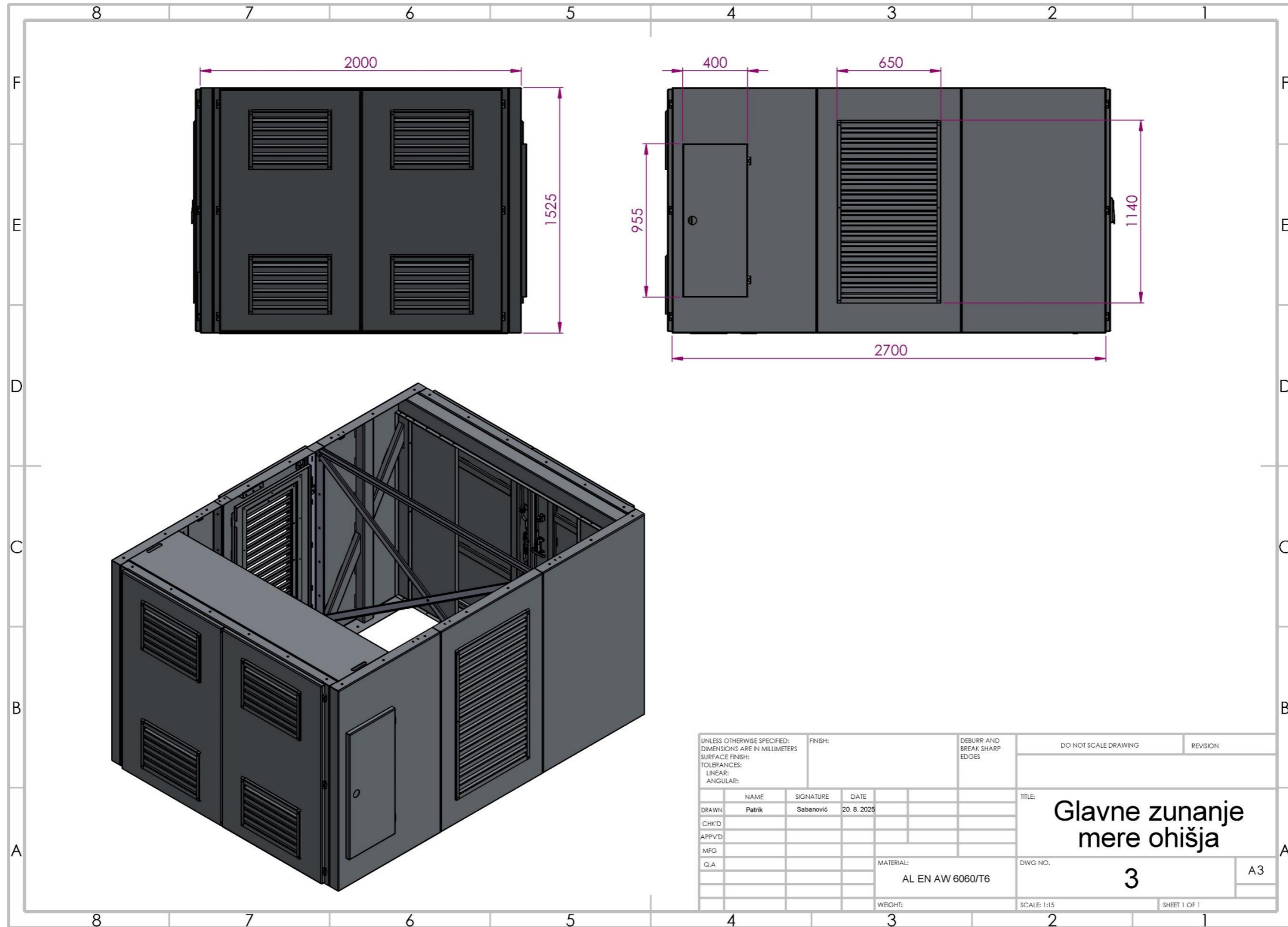


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
CHK'D	Patrik	Sabanović	20. 8. 2025			Glavne zunanje mere postaje			
APP'VD						DWG NO.		A3	
MFG						1			
Q.A				MATERIAL:		SCALE: 1:30		SHEET 1 OF 1	
				AL EN AW 6060/T6					
				WEIGHT:					

PRILOGA B: ZUNANJE MERE PODNOŽJA

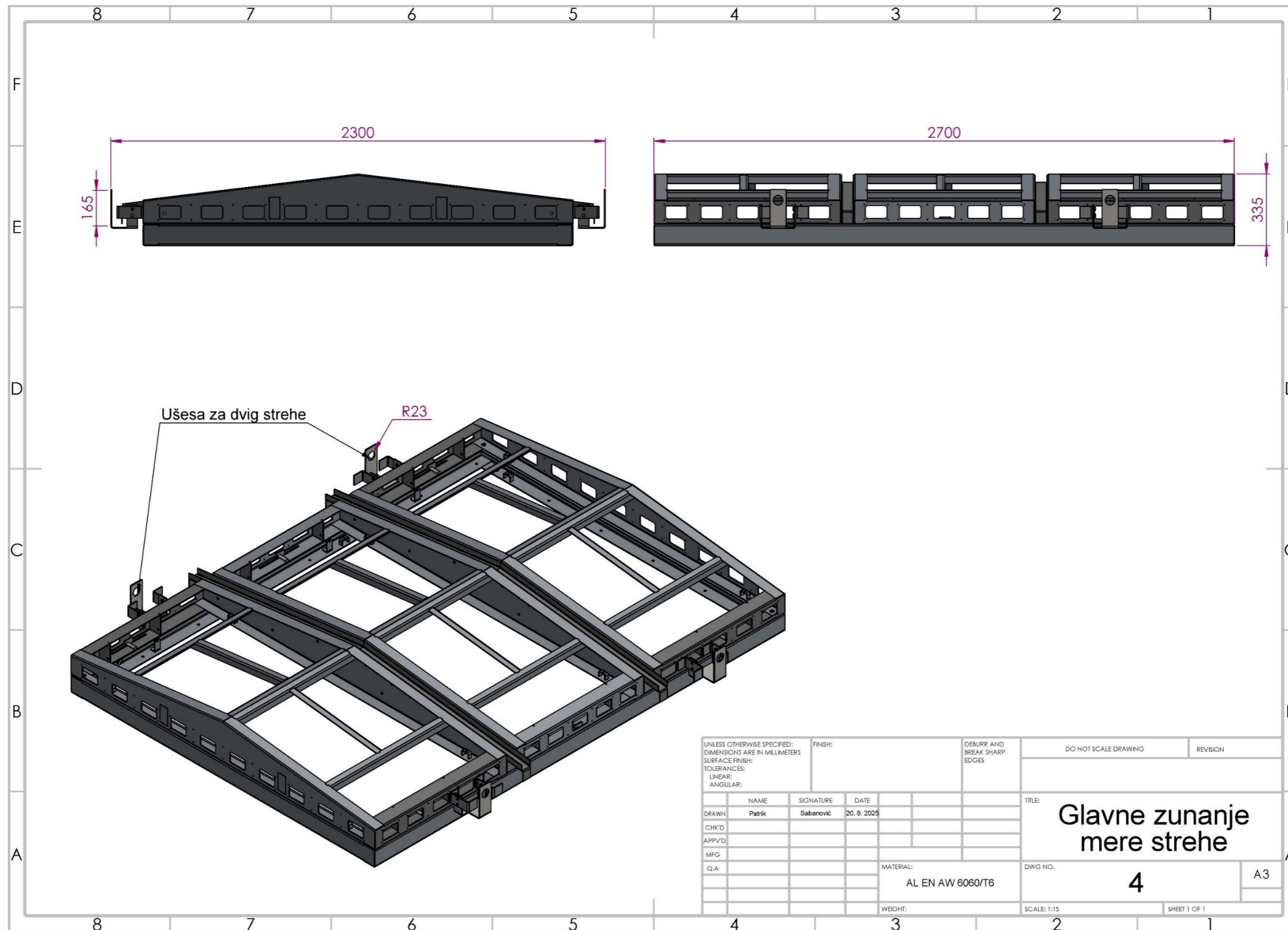


RILOGA C: ZUNANJE MERE OHIŠJA



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE: Glavne zunanje mere ohišja	
CHK'D	Patrik	Sabanović	20. 8. 2025		DWG NO.	3
APPVD						A3
MFG				MATERIAL:		
Q.A				AL EN AW 6060/T6	SCALE: 1:15	SHEET 1 OF 1
				WEIGHT:		

PRILOGA D: ZUNANJE MERE STREHE



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:					
DRAWN	Patrik	Sabanović	20. 8. 2025			Glavne zunanje mere strehe					
CHK'D											
APP'VD											
MFG											
Q.A											
					MATERIAL:	DWG. NO.					
					AL EN AW 6060/T6	4				A3	
					WEIGHT:	SCALE: 1:15				SHEET 1 OF 1	