

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

KONSTRUIRANJE PREMIČNEGA DELA OGRODJA PREŠE ZA SPAJANJE LESA

Kandidat: Marjan Marksl

Vrsta študija: Študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: Dragan Gogić, mag. inž. metal. in mater.

Mentor v podjetju: mag. Jurij Urh, uni. dipl. inž. str.

Lektor: Nikita Jaklič, mag. prof. slov. jez. in knjiž.

Maribor, 2021

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Marjan Marksl sem avtor diplomskega dela z naslovom Konstruiranje premičnega dela ogrodja preše za spajanje lesa, ki sem ga napisal pod mentorstvom Dragan Gogić, mag. inž. metal. in mater.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, september 2021

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, g. Draganu Gogiću, mag. inž. metal. in mater., za vso strokovno pomoč, korektnost in čas, ki ste mi ga namenili pri izdelavi diplomskega dela.

Posebna zahvala gre tudi mojemu mentorju v podjetju mag. Juriju Urhu, uni. dipl. inž. str., in podjetju Ledinek Engineering d.o.o.

In nenazadnje hvala mojim najdražjim, ki so mi ves čas študija stali ob strani in me podpirali.

POVZETEK

Diplomsko delo vključuje opis podjetja, opis področja, za katero se sam stroj uporablja, opis programov, ki so uporabljeni za preučitev nastalih napak in analizo na novem oziroma izboljšanem ogrodju ter za spremembe, narejene na sami konstrukciji.

V diplomskem delu bom analiziral nastalo poškodbo na ogrodju za spajanje lesa, ki je bilo v obratovanju 15 let. Po dolgoletnem obratovanju so nastale razpoke in s tem deformacije same konstrukcije. Sama analiza bo pokazala tudi, ali je smiselno spreminjati ogrodje, saj je 15 letno delovanje ogrodja samo po sebi dolgo obdobje za ogrodje in tudi stroj.

Z detekcijo napak sem začel iskati možne rešitve, ki bi pripomogle rešiti nastalo napako ali pa vsaj izboljšati novo ogrodje. Pri tem sem si pomagal s programom Dassault systemes Abaqus, programom Autodesk Inventor in internetom. Prvi korak je bil, s programom Dassault systemes Abaqus ugotoviti, kako in zakaj je prišlo do loma ogrodja. V programu je bilo tudi razvidno, kateri deli ogrodja so neobremenjeni in ali so morda odveč. Na internetu sem zasledil nekaj člankov, kjer so bile opisane podobne težave in kako so jih rešili. Da bi samo ogrodje postalo čim bolj vzdržljivo kot celota, je bilo treba preveriti vsak posamezen del konstrukcije posebej in tako ugotoviti, ali pustiti določen nosilec, tako kot je, ali spremenit ali pa odvzeti, če se izkaže, da kak nosilec ne prispeva k zmanjšanju obremenitve. Ves čas je bilo treba upoštevati, da ne bi novo ogrodje povzročalo kakšnih novih zapletov pri sestavi in sami varnosti pri delu. Postopno spreminjanje ogrodja se je izvajalo v Autodesk Inventor in nato preverjalo v programu Dassault Systemes Abaqus. Tako se je izkazalo, da je bilo možno zasnovati novo izboljšano in hkrati tudi lažje ogrodje.

Po končani zasnovi novega ogrodja je bil naslednji korak ogled tehnološkega postopka izdelave prvotnega ogrodja in nato preučiti, kakšne možnosti imamo danes za izdelavo, glede na to, da je bila izvedba prvotnega ogrodja dolgo nazaj. Danes imamo večjo izbiro za obdelavo, izdelavo in tudi cenovno so bolj dostopne.

Z nekaterimi spremembami v obliki in izdelavi ogrodja se je na koncu izkazalo, da je iz več vidikov pozitivno vplivalo na sam končni izdelek. Tako bo novo in lažje ogrodje prispevalo k daljši življenjski dobi tudi drugih delov, ki so pritrjeni na samo ogrodje.

Ključne besede: ogrodje, analiza izdelka, konstrukcijska zasnova, postopek izdelave, razpoka.

ZUSAMMENFASSUNG

KONSTRUKTION DES BEWEGLICHEN TEILS DES HOLZFUGENPRESSRAHMENS

Die Diplomarbeit beinhaltet eine Beschreibung des Unternehmens, eine Beschreibung des Einsatzgebietes der Maschine, eine Beschreibung der Programme zur Fehleranalyse und Analyse des neuen oder verbesserten Rahmen sowie der vorgenommenen Änderungen an der Struktur selbst. In meiner Diplomarbeit werde ich die Schäden an dem seit 15 Jahren in Betrieb befindlichen Holzverbindungsrahmen analysieren. Nach vielen Betriebsjahren sind Risse und damit Verformungen der Struktur selbst gebildet.

Mit der Fehlererkennung begann ich, nach möglichen Lösungen zu suchen, die helfen würden, den resultierenden Fehler zu beheben oder zumindest das neue Rahmen zu verbessern. Ich habe mir mit dem Abaqus-Programm, dem Autodesk Inventor-Programm und dem Internet geholfen. Der erste Schritt bestand darin, das Abaqus-Programm von Dassault Systems zu verwenden, um herauszufinden, wie und warum der Rahmen gebrochen ist. Das Programm zeigte auch, welche Teile des Rahmen sind unbelastet und damit auch möglicherweise überflüssig sind. Ich bin im Internet auf einige Artikel gestoßen, in denen sie mit ähnlichen Problemen beschrieben wurden und auch wie sie gelöst wurden. Um den Rahmen selbst so langlebig wie möglich zu gestalten, war es notwendig, jedes einzelne Teil der Konstruktion separat zu prüfen und so zu entscheiden, ob es belassen oder geändert werden sollte. Es musste jederzeit berücksichtigt werden, damit das neue Gerüst keine neuen Komplikationen bei der Montage und Arbeitssicherheit mit sich bringt. Die schrittweise Änderung des Rahmen wurde in Autodesk Inventor vorgenommen und dann in Abaqus überprüft, sodass es möglich war, ein neues verbessertes und gleichzeitig leichteres Framework zu entwerfen.

Nachdem das Design des neuen Rahmen abgeschlossen war, bestand der nächste Schritt darin, den technologischen Prozess der Herstellung des ursprünglichen Rahmen zu betrachten und dann zu untersuchen, welche Optionen wir heute für die Herstellung haben, da die Implementierung des ursprünglichen Rahmens lange her ist. Mit einigen Änderungen in Form und Konstruktion des Rahmens stellte sich am Ende heraus, dass sich dies in mehrfacher Hinsicht positiv auf das Endprodukt selbst auswirkte. Somit trägt der neue und leichtere Rahmen zu einer längeren Lebensdauer anderer Arbeiten bei, die am Rahmen selbst angebracht sind.

Stichwort: Rahmen, Produktanalyse, Tragwerksplanung, Herstellungsprozess, Riss.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	6
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	6
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	6
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	7
2	PREDSTAVITEV PODJETJA LEDINEK ENGINEERING.....	8
2.1	LEPLJENCI ZGODOVINSKI RAZVOJ IN EKOLOGIJA	10
2.1.1	<i>Lepljenci zgodovinski razvoj.....</i>	<i>10</i>
2.1.2	<i>Ekologija.....</i>	<i>12</i>
3	OPREMA ZA SPAJANJE IZDELKOV IZ LESA.....	14
3.1	PREŠA ZA SPAJANJE LESA EUROZINK	14
3.2	ANALIZA, VPLIV IN PREDSTAVITEV PRISOTNE PROBLEMATIKE	18
4	RAČUNALNIŠKA ORODJA ZA IZVEDBO KONSTRUKCIJSKE ZASNOVE... 	19
4.1	OPIS PROGRAMA AUTODESK INVENTOR IN DASSAULT SYSTEMES ABAQUS	19
4.2	MODELIRANJE OGRODJA	20
4.3	TOPOLOŠKA ANALIZA IN TOPOLOŠKA OPTIMIZACIJA.....	23
4.4	KONSTRUKCIJSKA DOKUMENTACIJA.....	25
4.5	RAČUNALNIŠKA ORODJA ZA IZVEDBO POTREBNIH ANALIZ	29
4.6	PREDSTAVITEV PRERAČUNOV OBREMENITEV IN PRISOTNIH DEFORMACIJ	29
4.7	PREDSTAVITEV REZULTATOV PRERAČUNA NA NOvem OGRODJU	32
5	OPIS TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA IZDELAVE OGRODJA STISKALNICE PO NOVI ZASNOVI.....	33
5.1	POSTOPEK PRIPRAVE.....	33
5.2	IZBIRA MATERIALA	34
5.3	DINAMIČNA TRDNOST KONSTRUKCIJE	35
5.4	POSTOPEK IZDELAVE	37
5.5	VARJENJE	45
5.6	ANALIZA IZDELKA	49
6	PREDLAGANE SPREMEMBE	50
6.1	PRIMERJAVA PRVOTNE Z NOVO KONSTRUKCIJSKO ZASNOVO	50
6.2	PREDSTAVITEV IDEJNIH REŠITEV	51
6.3	VPLIV NOVE ZASNOVE OGRODJA NA ČAS IZDELAVE, UPORABNOST, ŽIVLJENJSKO DOBO, VARNOST IN STROŠEK IZDELAVE	
	52	

7	SKLEP	54
8	VIRI IN LITERATURA	56
9	PRILOGA	57

KAZALO SLIK

SLIKA 1: MEDNARODNEM SEJMU V MILANU	8
SLIKA 2: PROSTORI LEDINEK ENGINEERING NA LOKACIJI NEKDANJE TOVARNE ŽERJAVOV ATMOS	9
SLIKA 3: KORTIZINK-M.....	9
SLIKA 4: A) S POŠEVNIM ČELOM STENE, B) S KONIČNIM ČELOM STENE, C) Z LASTAVIČJIM ČEPOM.	14
SLIKA 5: Z RAVNIMI ROGLJI.....	14
SLIKA 6: ZOBATA VEZ	15
SLIKA 7: ELEMENTI KLINASTEGA ČEPA	15
SLIKA 8: VEZI PO DEBELINI ALI ŠIRINI.....	15
SLIKA 9: PERESNA VEZ.....	16
SLIKA 10: PRSTNI SPOJ.....	16
SLIKA 11: LINIJA EUROZINK	17
SLIKA 12: ZLOM LADJE SCHENECTADYJA.....	22
SLIKA 13: RAZPOKE NA LETALU HAVILLAND COMET.....	23
SLIKA 14: PRVOTNI IZDELEK	24
SLIKA 15: OPTIMIZIRAN IZDELEK	24
SLIKA 16: NASTANEK LOMA NA STAREM OGRODJU	29
SLIKA 17: RADIJUSA NA STRANSKEM NOSILCU	30
SLIKA 18: RAZLIČNI POMIKI NA STARI KONSTRUKCIJI.....	30
SLIKA 19: ZDRUŽENE NAPETOSTI	31
SLIKA 20: PRIKAZANE ZDRUŽENE NAPETOSTI.....	32
SLIKA 21: RAZLIČNI POMIKI NA NOVI KONSTRUKCIJI.....	32
SLIKA 22: PRIKAZ DINAMIČNIH OBREMENITEV NA OGRODJE	33
SLIKA 23: MESTA KJER JE OGRODJE PODPRTO.....	34
SLIKA 24: NOVA RAZLAGA TRAJNE DINAMIČNE TRDNOSTI	36
SLIKA 25: STARI IN NOVI NOSILEC POZ. 2	38
SLIKA 26: STARI IN NOVI NOSILEC POZ. 1	38
SLIKA 27: PRIMERJAVA MED PRVOTNO IN NOVO DELOVNO POVRŠINO.....	39
SLIKA 28: NOVI PREČNI NOSILEC	40
SLIKA 29: ODSTRANJENI NOSILEC IN PODPORI	40
SLIKA 30: ROKA ZA PRITRDITEV CILINDRA.....	41
SLIKA 31: SPREDNJI VMESNI PLOŠČI	42

SLIKA 32: ZADNJA STRAN.....	43
SLIKA 33: POZICIJE KI SO SPREMENJENE ALI ODSTRANJENE.....	44
SLIKA 34: POVRŠINA KJER JE POTREBNA VEČJA POZORNOST	45
SLIKA 35: PARAMETRI, KI VPLIVAJO NA VARIVOST	46
SLIKA 36: NA OZNAČENIH MESTIH JE VARJENJE PREPOVEDANO.....	48
SLIKA 37: RAZLIKE MED STARIM IN NOVIM OGRODJEM	49
SLIKA 38: PRVOTNA IN NOVA KONSTRUKCIJA	50
SLIKA 39 STARO OGRODJE KRITIČNO MESTO IN IZRAČUN V ABAQUS.....	51
SLIKA 40: STARO OGRODJE LOM NA IZDELKU	51
SLIKA 41: PRIKAZ HORIZONTALNEGA CILINDRA.....	52

KAZALO TABEL

TABELA 1: ŽBIR MATERIAL PRVOTNEGA OGRODJA.....	25
TABELA 2: TEHNOLOŠKE OPERACIJE PRVOTNEGA OGRODJA	25
TABELA 3: ŽBIR MATERIAL NOVEGA OGRODJA	26
TABELA 4: TEHNOLOŠKE OPERACIJE NOVEGA OGRODJA	27
TABELA 5: TABELA NATEZNE TRDNOSTI MED MATERIALAMA	35
TABELA 6: DELEŽ UPORABLJENIH SREDSTEV MED STARIM IN NOVIM OGRODJEM	53

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Pri diplomskem delu bom analiziral nastanek in poskušal odpraviti razpoke pri premičnem delu ogrodja preše za spajanje lesa s pomočjo sodobnih programov. Pri izdelavi diplomskega dela bom uporabil moderna orodja za CAD modeliranje in program za izračun obremenitev, ki bo omogočil ustrezen preračun, kar bo tudi podprto s simulacijami. To bo hkrati ustrezna podlaga, da bom prišel do ustreznih rezultatov. Na ta način bo uporabna vrednost izdelka v praksi pomenila višji nivo vrednosti. Hkrati z doseženim bom v oddelku, kjer sem zaposlen prispeval k izboljšanju proizvodnih zmogljivosti, kjer sta cena, čas in kakovost bistvenega pomena.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen raziskave je rešiti nastali problem in po možnosti tudi poskusiti ogrodje preše izboljšati, s pomočjo računalniških programov.

Cilji:

- odkriti vzrok nastanka razpok,
- izdelek po možnosti izboljšati,
- obdržati funkcionalnost in varnost ogrodja,
- stroške izdelave zmanjšati,
- preučiti, ali je danes kak boljši postopek za izdelavo,
- po možnosti zmanjšati maso.

Preučil bom, kakšni je bil postopek za izdelavo prvotnega ogrodja in kje so možnosti, da spremenim postopek izdelave in s tem dosežem eden ali več postavljenih ciljev.

1.3 Predpostavke in omejitve

Z diplomsko nalogo bom prikazal oziroma poskusil prikazati način, kako rešiti nastali problem, ki je nastal med dolgoročnim obratovanjem. Predpostavljam, da so razpoke nastale zaradi konstrukcije, izbire materiala, izdelave in obdelave ogrodja preše. Skozi diplomsko delo bom

obravnaval predvidene hipoteze, ki bodo pokazale, ali so zastavljeni cilji bili doseženi ali ovrženi. Hipoteze oz. trditve diplomskega dela, ki jih bom v diplomskem delu potrdil ali ovrgel so:

- H1: Maso konstrukcije je možno zmanjšati.
- H2: Funkcionalni in varnostni učinek ne bo imel negativnih odklonov.
- H3: Izdelek je možno konstrukcijsko izboljšati tako, da so deformacije manjše.
- H4: stroški izdelave po novi zasnovi občutno manjši.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bom uporabil računalniška programa Autodesk Inventor za izris 3D modela in Dassault systemes Abaqus za preračune obremenitev in prisotnih deformacij. Preveril bom, ali obstajajo danes nove oziroma drugačne metode za obdelavo oziroma izdelavo ogrodja, ki pripomore k boljši, lažji in s tem tudi k hitrejši izdelavi ogrodja.

2 PREDSTAVITEV PODJETJA LEDINEK ENGINEERING

Sodarstvo – obrt več generacij družine Ledinek je svojo pot pričelo leta 1875 vse do leta 1966. Naslednje leto, 1967, je Pavel Ledinek ustanovil tovarno in pričel z izdelavo mizarskih in sodarskih lesnoobdelovalnih strojev za slovenski, avstrijski in hrvaški trg. Leta 1976 se podjetje Ledinek predstavilo na mednarodnem sejmu gozdarstva in lesne industrije INTERBIMAL v Milanu ter naslednje leto na LIGNI v Hannovru. Od tedaj redno razstavlja na svetovnih sejmi, kar je razvidno iz reklamnega panoja na sliki 1.



Slika 1: Na mednarodnem sejmu v Milanu

Vir: <https://www.ledinek.com/pricetek-industrijske-proizvodnje>

1978 se je v Hočah otvoril nov obrat za razrez in varjenje, današnji Obrat 3 in hitro zatem, 2 leti kasneje, so izdelavo mizarskih strojev zamenjali stroji za industrijsko obdelavo masivnega lesa, predvsem štiristranski skobeljniki ter parketne linije. Razvoj in kakovost Ledinekovih strojev sta zahtevala širitev obrtniške delavnice, ki je prešla v industrijo leta 1986. Prišlo je tudi do selitev in otvoritve novih proizvodnih prostorov v Hočah pri Mariboru, kjer Pavel Ledinek ustanovi prvo privatno tovarno v tedanji Jugoslaviji, današnji obrat 1.

Ustanovitev zasebne zadruga s kar 100 zaposlenimi je bila le redka izjema v takratnem sistemu in veliko priznanje izdelkom znamke Ledinek. Leta 1989 se je razvil ter patentiral sistem za čelno skobljanje lesa ROTOLES, tri leta kasneje, 1992, pa je Gregor Ledinek ustanovi podjetje Ledinek Engineering, ki je počasi pričelo prevzemati celoten razvoj in prodajo. Omenjen razvoj je zajemal nove hitre industrijske stroje in kompletne linije, s katerimi je samo podjetje prodiralo na svetovne trge. Pričelo se je širjenje proizvodnih prostorov na lokacijo bivše tovarne Atmos (slika 2), današnji Obrat 2 ter ustanovitev podjetja LMA v avstrijskem Pliberku.



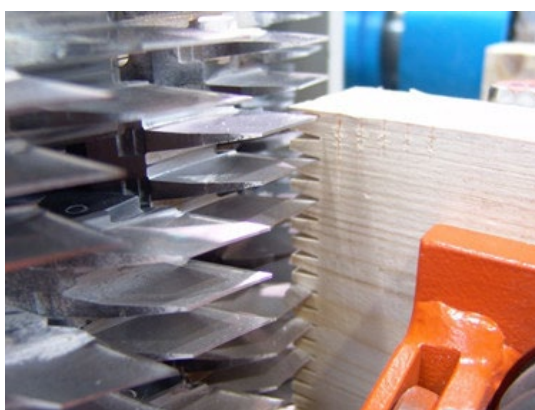
Slika 2: Prostor Ledinek Engineering na lokaciji nekdanje tovarne žerjavov Atmos

Vir: <https://www.ledinek.com/svetovni-proizvajalec>

Leta 1994 je podjetje že drugič bilo udeleženo na sejmu IWF v Atlanti, ZDA, kjer prejmemo najvišje priznanje za inovacijo na področju obdelave lesa za sistem ROTOLES.

Na osnovi sistema Rotoles je l. 1995 nastal tudi stroj za obdelavo plastike, Rotoplast.

V Nemčiji je leta 1996 za distribucijo opreme bilo ustanovljeno podjetje Ledinek-Tec, leta 2000 razvoj v smeri kompletnih linij za spajanje in lepljenje lesa - BSH linij, kjer je bil razvit patentiran sistem spajanja KONTIZINK. Osem let kasneje je bilo otvorjeno predstavništvo Ledinek Engineering v Moskvi ter izgradnja nove montažne hale v Obratu 2. Kasneje je prišlo tudi do širitve razvoja in prodaje novih tehnologij za izdelavo lepljenih CLT elementov, predvsem patentirane stiskalnice za CLT elemente. Leta 2014 se je razvil nov patentiran stroj Kontizink-M, ki ga prikazuje slika 3 visoke zmogljivosti do 150 kos/min.



Slika 3: Kontizink-M

Vir: <https://www.ledinek.com/svetovni-proizvajalec>

Leto kasneje, 2015, so razvili CNC iz kompletnih linij za profilirano skobljanje visokih zmogljivosti. (Ledinek, 2019)

"Naš cilj je biti inovator in sooblikovati trende sodobne lesno obdelovalne stroke. Utiramo si svojo smer do vrha. Hodite z nami in presegli boste svojo konkurenco."

Gregor Ledinek, direktor Ledinek Engineering

(Ledinek, 2020)

Delam v družinskem podjetju, ki ima pod znamko Ledinek dve podjetji v Sloveniji: Ledinek Engineering in Lestro Ledinek. V podjetju Lesro Ledinek imamo proizvodnjo in v Ledinek Engineering načrtovanje, razvoj in montažo.

2.1 Lepljenci zgodovinski razvoj in ekologija

2.1.1 Lepljenci zgodovinski razvoj

Zborna dvorana univerze King Edward College v Southamptonu iz leta 1860 je prva konstrukcija iz lepljenega lameliranega lesa, ta dvorana stoji še danes. Leta 1906 je Otto Hetzer pridobil patent DRP št. 197773 za ukrivljene lepljene lamelirane tramove iz dveh ali več lamel, ki so med seboj neločljivo povezane tudi pod vlago.

S Hetzovo konstrukcijsko metodo oblika, dolžina in prerez komponente niso bili več vezani na premer hloda, ki ga narekuje narava. Šibkejše kose lesa je mogoče izdelati v nosilne konstrukcije širokega razpona v obliki, ki je potrebna glede na statične in oblikovne vidike. Otto Hetzer te prednosti dosledno izkorišča. Nosilne konstrukcije so bile dimenzionirane glede na statično obremenitev in so skoraj vedno imele višine nosilcev, ki ustrezajo statični napetosti, z doslednimi prerezi pasov. Prerez je bil vedno I-prerez.

Metoda Hetzer gradnje, izumljena v začetku našega stoletja, je revolucionirala leseno gradnjo in odprla novo dobo gradnje z lesom. Proizvodnja širokih lesenih konstrukcij do štirideset metrov je bila zato ekonomsko izvedljiva v primerjavi s tradicionalnimi mizarskimi konstrukcijami.

V leseni konstrukciji dolgo ni bilo težkih in hkrati togih pritrdilnih elementov. Hetzer je težavo rešil takole: zlepil je več posameznih prerezov, s katerimi je bilo mogoče preprečiti zvijanje in trganje tankostenskih lesenih prerezov, ter razvil lepilo, ki je bilo močnejše od lesa samega.

Pomembne zgradbe iz laminiranega lesa:

- nemška železniška dvorana za svetovno razstavo v Bruslju leta 1910,
- Elephant House Köln,
- most čez kanal Majna-Donava pri Essingu,
- bazen Enschede,
- simulator zemeljskega magnetnega polja za Nemce,
- marine pri Rendsburgu,
- Expo streha na hannovrskem sejmu.

Hetzerjeva tehnologija se je v drugi polovici 20. stoletja nadalje razvila v današnji lepljen lameliran les, za katerega se uporablja predvsem evropski smrekov les. Plošče se najprej tehnično sušijo v velikih sušilnih komorah v lepljeni leseni strukturi tri do štiri dni pri temperaturi okoli 70 stopinj Celzija. Ker je vlaga lesa v stavbah okoli 11 %, se plošče posušijo do te vrednosti, da se pozneje med uporabo izognejo večjim spremembam vlage.

Sodoben lepljen lameliran les, tehnično zelo prefinjen izdelek, se je uveljavil kot gradbeni material, zlasti za hale z velikim razponom do 100 m. Vse oblike je mogoče izvesti z lepljenim lameliranim lesom, na primer bazen s slano vodo v Bad Schartau, notranji bazen v AquaFun Soest ali hiša slonov v Kölnu. Omogoča strešno kritino velikih športnih objektov, kot je arena SAP 60 m x 120 m v Mannheimu. Številni mostovi se gradijo iz lepljenega lameliranega lesa, od katerih je 200 m dolg in nad 73 m konzolni most za pešce čez kanal Majna-Donava v Essingu izjemen primer. Tehnologija pri gradnji lepljenega lameliranega lesa nenehno napreduje. Nove tehnologije povezav omogočajo prenos velike moči v filigranskih povezavah, na primer z novo vijčno tehnologijo ali lepljenjem z visoko trdno plastiko.

Pritrdilni elementi iz jekla ali visoko trdne plastike se lahko zlepijo in omogočajo prenos večjih sil, kot je bilo mogoče s konvencionalnimi pritrdilnimi elementi. Popolnoma avtomatsko vodeni stroji za obdelavo stavbnega in mizarskega materiala zagotavljajo milimetrsko natančne reze v kakršni koli obliki s prej nedosegljivo natančnostjo. Ta razvoj daje visokotehnološkemu izdelku

lepljenega lameliranega lesa razširjena področja uporabe s skoraj neomejenimi možnostmi. (Huttemann, 2018)

2.1.2 Ekologija

Izdelki iz lepljenega lameliranega lesa imajo naravno mesto v družbi ekociklov. Izdelani les je obnovljiv in ga je mogoče reciklirati, medtem ko njegova proizvodnja v veliki meri temelji na bioenergiji.

Analiza življenjskega cikla je orodje za oceno celotnega vpliva različnih proizvodov z isto funkcijo na okolje.

Navsezadnje ni mogoče zagotovo vedeti v okoljski deklaraciji, za kaj se bo uporabljal izdelek.

Okoljski profil je kvantitativni izračun vpliva izdelka na okolje v obliki emisij na:

- zrak,
- vodo,
- zemljišča,

plus informacije o:

- pridobivanje primarnih virov - viri, ki so bili vzeti iz zemeljske skorje,
- raba energije - del pridobivanja primarnih virov, ki se uporablja za energijo in se pretvori v emisije,
- vhodni materiali - materiali, katerih vpliv na okolje ni bil upoštevan pri izračunu okoljskega profila proizvoda iz lepila.

Proizvajalčeve okoljske izjave o izdelkih določajo okoljski profil izdelka.

Na splošno velja, da lahko proizvajalec za svoj izdelek poda le količinske in objektivne podatke od začetka do konca. Za pridobitev količinskih podatkov za celoten življenjski cikel je treba delati z verodostojnimi scenariji - saj je treba upoštevati tudi morebitno usodo izdelka, kar je lahko čez 5, 50 ali 500 let, saj nihče dejansko ne ve, kaj se bo zgodilo z izdelkom.

Za izvedbo popolne analize življenjskega cikla je treba v enačbo dodati tudi fazo uporabe in fazo izteka življenjske dobe. Te podatke hrani stranka, ki ve, kje bo izdelek uporabljen.

Tudi lepljenje ne sme biti odpadni problem, saj se lahko po pridobivanju energije pepel sčasoma vrne v gozd, iz katerega izvirajo lesne surovine.

Primerjava lepila, jekla in betona

Spodaj je primerjava preprosto podprtih nosilcev iz lepljenega lameliranega lesa, jekla in betona. Primerjavo je izvedel švedski inštitut za okoljske raziskave IVL v imenu švedskih proizvajalcev lepljenega lameliranega lesa.

Ključni korak pri analizi življenjskega cikla je analiza zalog. V tem primeru predpostavljamo, da imamo pred seboj tri okoljske izjave o izdelkih za:

- lepljen lameliran les,
- jeklo,
- beton.

K temu je dodan prevoz do gradbišča, ki je 150 km od vsakega dobavitelja materiala. Ker gre za poenostavljeno študijo, se šteje, da je okoljski vpliv namestitve grede itd. In njene odstranitve, ko je stavba porušena, zanemarljivega pomena. Predpostavlja se tudi, da se vsi nosilci na neki način reciklirajo. V tej analizi uporabljamo koncept analize življenjskega cikla, specifičen za izdelek, imenovan ocena življenjske dobe. Preprosto povedano, to pomeni preučevanje življenjske dobe izdelka in ne življenjskega cikla virov, kot v analizi življenjskega cikla.

Analiza življenjskega cikla vključuje izdelavo ocene. To je potrebno, če primerjamo različne alternative in njihov različni vpliv na okolje. Seveda je mogoče oceniti različne elemente v profilu okoljske izjave o izdelkih, na primer vpliv različnih sestavnih materialov na okolje, da bi poudarili, katera komponenta itd. na tem mestu izstopa.

Težava je v tem, da ne obstaja splošno sprejet indeks okoljske ocene, zato se taka stvar ne uporablja v deklaraciji o okoljskih izdelkih.

Lepljen lameliran les ima najmanjši vpliv na okolje. Spodnja tabela predstavlja nekaj vrst vplivov na okolje za tri alternativne nosilce. (Fridholm, 2018)

Tabela 1: Vpliv lepilnih tramov na okolje v primerjavi z jeklenimi in betonskimi nosilci

	Lepljen lameliran les	Jeklo	Beton
Učinek tople grede	1	13	8
Zakisljevanje	1	3	3
Evtrofikacija	1	2	1

<https://www.swedishwood.com/building-with-wood>

3 OPREMA ZA SPAJANJE IZDELKOV IZ LESA

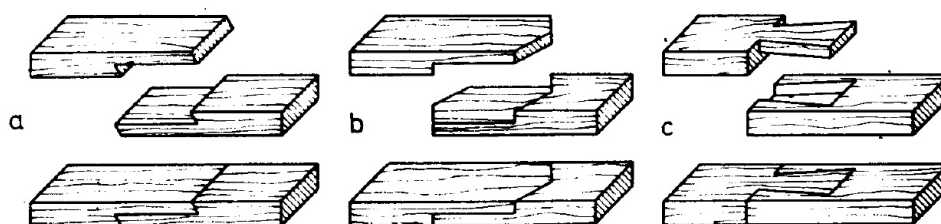
3.1 Preša za spajanje lesa Eurozink

Ekološko sprejemljive rešitve so iz dneva v dan pomembnejše. Les kot material, človeštvo uporablja že od vsega začetka človeške civilizacije. Vedno bolj pomembno postaja, da zavržemo čim manj lesa. V ta namen so se razvile standardizirane rešitve za lepljenje lesa.

Z dolžinskimi vezmi spajamo les po njegovi dolžini, torej ga podaljšujemo.

I. Neposredne dolžinske vezi:

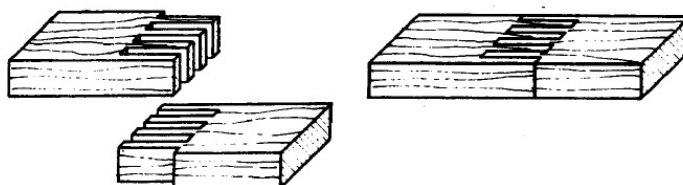
▪ Preploščitvene vezi:



Slika 4: a) s poševnim čelom stene, b) s koničnim čelom stene, c) z lastovičjim čepom.

Vir: Vladimir, S. (2009)

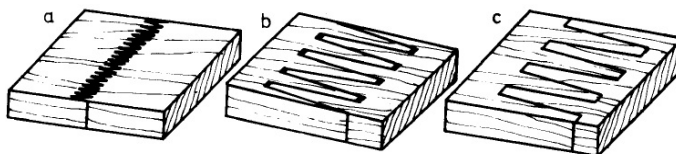
- Preploščitvene vezi povzročajo velike izgube lesa.
- Čepne vezi:
 - Dolžinska vez z ravnimi roglji:



Slika 5: z ravnimi roglji

Vir: Vladimir, S. (2009)

- Zobata vez:

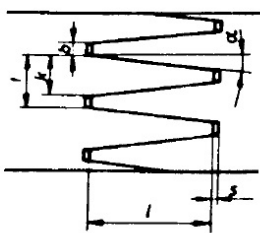


Slika 6: Zobata vez

Vir: Vladimir, S. (2009)

Elementi klinastega čepa:

	l	t	o
I in II	60	15,0	2,7
	50	12,0	2,0
	40	10,0	2,0
	20	6,2	1,0
	10	3,7	0,6
	7,5	2,5	0,2
II	30	10,0	2,0
	15	7,0	1,7
	4	1,6	0,4



5.16. Elementi klinastega čepa

l – dolžina čepa
 t – korak čepa
 k – spodnja širina čepa
 b – zgornja širina čepa
 s – razmik med čepi
 α – kot stranice čepa

Slika 7: Elementi klinastega čepa

Vir: Vladimir, S. (2009)

- s čepnimi vezmi se izognemo preveliki izgubi lesa zaradi spajanja,
- način s klinastimi vezmi omogoča avtomatizacijo lepljenja (linija),
- trdnost lepljenega spoja ne sme biti manjša od trdnosti nesestavljenega lesa.

Dolžinske vezi so lahko oblikovane po debelini ali po širini:

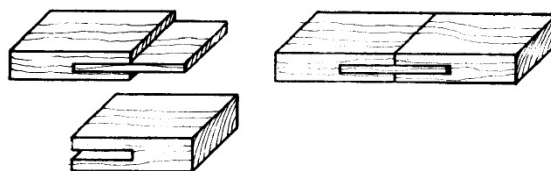


Slika 8: vezi po debelini ali širini

Vir: Vladimir, S. (2009)

II. Posredne dolžinske vezi

- Vstavljena peresna vez: (Stegne, 2009)



Slika 9: Peresna vez

Vir: Vladimir, S. (2009)

Študija primera iz leta 2002, v kateri so primerjali porabo energije, emisije toplogrednih plinov in stroške strešnih nosilcev, je pokazala, da je za izdelavo jeklenih nosilcev potrebnih dva do trikrat več energije in šest do dvanajstkrat več fosilnih goriv kot za izdelavo lepljenih trakov. Primerjala je dve možnosti za strešno konstrukcijo novega letališča v Oslu na Norveškem: jeklene tramove in lesene grede iz smrekovega lesa. Emisije toplogrednih plinov v življenjskem ciklusu so nižje za lepljen les.

Ena izmed rešitev spajanja lesa, prikazana na sliki 10., je tudi zobati spoj (finger joint).



Slika 10: zobati spoj

Vir: <https://differentwoodjointspdf.blogspot.com/2017/05/wood-joints-finger-joint.html>

Uporaba zobatih spojev z lepljenjem lesa je omogočila veliko proizvodnjo lepljenih tramov in stebrov. Zglobi zob iz lepljenega lesa so razviti tako, da zagotavljajo široko površino za lepljenje. Avtomatski stroji za spajanje zob pomagajo pri rezanju sklepov zob, jih med pritiskom povežejo in zlepijo, kar omogoča močan, trpežen spoj, ki lahko nosi velike obremenitve, primerljive z naravnim lesom z enakim prerezom. (Wikipedia, 2021)

Les, ki bi se zaradi prekratke dolžine zavrnil, se spoji in tako se izdelajo neskončne dolžine desk, ki jih nato razrežemo na željeno dolžino. Za spajanje večjih presekov desk je podjetje Ledinek Engineering d.o.o. razvilo prešo, prikazano na sliki 11, ki spoji deske s pomočjo hidravličnih cilindrov. Ta stroj je poimenovan Eurozink in je sposoben narediti 12 spojev na minuto, desk dimenzije 75 do 320 mm širine, ter 20 do 160 mm debeline. Minimalna dolžina deske, ki pride v prešo, je lahko 650 mm, maksimalna pa 6000 mm. Po izhodu iz preše les razrežemo na željeno dolžino.



Slika 11: linija Eurozink

Vir: <https://www.ledinek.com/eurozink-1700>

3.2 Analiza, vpliv in predstavitev prisotne problematike

Prva linija Eurozink je bila prodana podjetju KLH v Avstriji. Po nekaj letih so se zaradi velike dinamike obratovanja začele pojavljati prve težave na premičnem ogrodju preše. Težave so bile vidne predvsem v obliki razpok, ki so se začele pojavljati na premičnem ogrodju. V letih 2005, ko se je preša razvijala v podjetju Ledinek Engineering, še ni bilo programskega orodja, s katerim bi lahko preverili dinamično trdnost ogrodja. Težave na nadaljnjih projektih so se odpravljale predvsem zaradi pridobljenih izkušenj. V skladu z mehaniko loma je možno odpraviti oziroma izboljšati preseke, kjer so prehodi na posamičnih pozicijah kritični. Prehode je možno zamenjati s prehodi v radije, ter še naknadno obdelati. Težavo je možno odpraviti, vendar postane vprašanje, ali obstaja rešitev, ki je boljša iz vidika dinamične vzdržljivosti ogrodja. Pomemben faktor je tudi masa ogrodja, saj s hidravličnim cilindrom potiskamo ogrodje in posledično spajamo les. Poskusil bom izboljšati tudi proces varjenja, saj se je pokazalo, da so največje težave tam, kjer so spoji med pozicijami ogrodja neprimerni.

Z novjšimi orodji želim izdelati ogrodje, ki bi imelo daljšo življenjsko dobo in bi bilo hkrati lažje in cenejše.

4 RAČUNALNIŠKA ORODJA ZA IZVEDBO KONSTRUKCIJSKE ZASNOVE

4.1 Opis programa Autodesk Inventor in Dassault systemes Abaqus

Računalniško podprto inženirstvo uporablja predvsem programsko opremo za računalniško podprto oblikovanje (CAD), ki se včasih imenujejo tudi orodja CAE. Orodja CAE se na primer uporabljajo za analizo robustnosti in učinkovitosti komponent in sklopov. Izraz zajema simulacijo, validacijo in optimizacijo izdelkov in proizvodnih orodij. Sistemi CAE želijo biti glavni ponudniki informacij, ki pomagajo oblikovalskim skupinam pri odločanju. Računalniško podprto inženirstvo se uporablja na številnih področjih, kot so avtomobilska, letalska, vesoljska in ladjedelniška industrija. (Wikipedia, 2019)

Programska oprema CAD se uporablja za povečanje produktivnosti oblikovalca, izboljšanje kakovosti zasnove, izboljšanje komunikacije z dokumentacijo in ustvarjanje baze podatkov za izdelavo. Izpis CAD je pogosto v obliki elektronskih datotek za tiskanje, obdelavo ali druge proizvodne postopke. Tridimenzionalni (3D) modeli predstavljajo fizično telo, ki uporablja zbirko točk v 3D prostoru, ki jih povezujejo različne geometrijske celote, kot so trikotniki, črte, ukrivljene površine itd. Kot zbirka podatkov (točke in druge informacije) 3D modeli je mogoče ustvariti ročno, algoritmično (postopkovno modeliranje) ali s skeniranjem. Njihove površine lahko dodatno določimo s preslikavo texture. Inženirska skupnost jih uporablja kot zasnovo novih naprav, vozil in konstrukcij ter številne druge namene. V ta namen je bila izumljena programska oprema CAD. Ti programi omogočajo oblikovalcem, da s pomočjo vizualnega vmesnika ustvarijo skladne dimenzije in zasnove. Program skrbi za vse izračune in ustvari datoteko z vsemi koordinatami, zato mora oblikovalec skrbeti le za oblike in velikosti. (Cgs plus, 2021)

Autodesk Inventor je program namenjen za mehanske 3D konstrukcije, modeliranje in projektiranje v strojništvu. Omogoča izdelavo 3D digitalnih prototipov, njihove vizualizacije, in izdelavo analiz in simulacij izdelkov. Vsebuje tudi knjižnico standardnih strojnih elementov. Modeliranje s parametri – kotami, omogoča preprosto načrtovanje in kasnejše urejanje geometrije izdelka.

Metoda končnih elementov (FEM) je najpogostejše uporabljena metoda za reševanje inženirskih in matematičnih modelov. Tipična problematična področja so tradicionalna področja strukturne

analize, prenosa toplote, pretoka tekočine, prenosa mase in elektromagnetnega potenciala. FEM je posebna numerična metoda za reševanje delnih diferencialnih enačb v dveh ali treh prostorskih spremenljivkah (tj. Nekaj problemov z mejnimi vrednostmi). Da bi rešili težavo, MKE razdeli velik sistem na manjše, enostavnejše dele, ki se imenujejo končni elementi. To dosežemo s posebno diskretizacijo prostora v dimenzijah prostora, ki jo izvedemo z gradnjo mreže predmeta: številske domene za rešitev, ki ima končno število točk. Formulacija metode končnih elementov problema mejne vrednosti končno privede do sistema algebrskih enačb. Metoda približuje neznano funkcijo v domeni. Preproste enačbe, ki modelirajo te končne elemente, se nato sestavijo v večji sistem enačb, ki modelira celoten problem. Nato FEM uporablja variacijske metode z variacijskega računa za približevanje rešitve z zmanjšanjem povezane funkcije napak. Preučevanje ali analiziranje pojava s FEM se pogosto imenuje **finite element analysis** (FEA).

Program Abaqus FEA zagotavlja dokazane, zanesljive, visoko zmogljive simulacijske rešitve FEA za kompleksne nelinearne težave, obsežno analizo linearne dinamike in rutinske naloge. S poenoteno FEA obleko Abaqus si lahko ogledamo celotne obremenitve vozil, dinamične vibracije, trčenje, večdelni sistemi, nelinearno statiko, toplotno spajanje in akustično-strukturno spajanje s samo eno podatkovno strukturo modeliranja in integrirano tehnologijo reševalca. Abaqus je bil prvotno zasnovan za obravnavanje nelinearnega fizičnega vedenja. Posledično ima paket širok nabor modelov materialov, kot so elastomerne (gumijaste) in hiperelastične (mehka tkiva) materialne zmožnosti. (Tecnica Addnode Group, 2019)

4.2 Modeliranje ogrodja

Odločitve, sprejete v razvojnem postopku izdelka, bistveno vplivajo na končno ceno, zmogljivost, zanesljivost, varnost in vpliv izdelka na okolico. Ker je poznavanje konstrukcijskih zahtev in omejitev v zgodnjih fazah proizvodnega postopka izdelka pogosto omejeno, je sprejemanje vsakršnih odločitev za konstrukterja zelo zahtevno. Soočeni s tako zapletenostjo so se posamezni konstrukterji omejili na ozke in dobro opredeljene podnaloge, kar ima za posledico neenotnost napredka na tem področju. V mnogih primerih je bil razvojni postopek izboljššan z računalniško podprtim konstruiranjem in tehnikami numeričnih vrednotenj, kakor je metoda končnih elementov (MKE). Združitev obeh postopkov omogoča izračun napetostno-deformacijskih stanj izdelka in njegovo obnašanje pri različnih oblikovnih variantah. Podatke o napetostno-deformacijskih stanjih lahko pridobimo tudi z eksperimentalno

analizo fizičnih preizkušancev, toda prednost postopka računalniško podprtim konstruiranjem in metoda končnih elementov je možnost spreminjanja oblikovnih in materialnih parametrov izdelka ter takojšnja numerična vrednotenja pred izdelavo fizičnih prototipov. Ker so računalniški modeli zgrajeni na podlagi mnogih predpostavk in omejitev, tudi rezultati analiz z metodo končnih elementov brez ustrezne razlage nimajo prave vrednosti. V prispevku je zato predlagana metoda za pridobitev referenčne baze podatkov, na podlagi katere poteka vrednotenje rezultatov numeričnih izračunov.

Postopek konstruiranja se običajno prične z razpoznavanjem in analizo naloge, ki jima sledi zaporedje dejavnosti, s katerimi iščemo optimalno rešitev problema, in konča s podrobnim opisom izdelka. Posamezne faze konstrukcijskega postopka so pri različnih avtorjih modelov opredeljene različno. V splošnem je konstrukcijski postopek razdeljen na štiri glavne faze. Prva faza je specifikacija naloge, pri kateri se natančno zberejo in določijo informacije o izdelku. Zasnova je druga faza konstrukcijskega postopka, katerega osnovni namen je iskanje idejnih rešitev, ki izpolnijo dano nalogo. Fazi zasnove sledi faza snovanja. V tej fazi se izdelava natančen osnutek z določenimi osnovnimi merami in končno obliko. Zadnja faza je dodelava, ki vključuje optimiranje podrobnosti in izdelavo vse potrebne dokumentacije za izdelavo prototipov. S to fazo se konča konstrukcijski postopek v ožjem pomenu, ki mu sledijo še izdelava in preizkusi prototipov. Računalniško podprta orodja so uveljavljena predvsem v končnih fazah konstruiranja, ki obsega določanje oblike in izmer. Razširitev računalniške podpore na zgodnje faze konstruiranja je v zadnjih letih glavni cilj raziskav na tem področju. Običajno je končna oblika izdelka potrjena šele po intenzivnih in uspešnih eksperimentalnih vrednotenjih dragih fizičnih prototipov. Če testiranja niso uspešna, je treba izdelek na podlagi povratnih informacij večkrat popravljati, kar pomeni dodatne razvojne stroške in je lahko časovno precej zamudno. Da se izognemo nepotrebnemu izdelovanju dragih fizičnih prototipov, se razvoj računalniške podpore konstruiranju vedno bolj usmerja tudi na uporabo numeričnih vrednotenj in računalniških prototipov. Uporaba tehnik numeričnih analiz omogoča sprotno in učinkovito vrednotenje izdelkov brez izdelave fizičnih prototipov. Namen tega prispevka je prikazati trdnostno analizo z metodo končnih elementov kot eno od tehnik numeričnih vrednotenj, ki bo uporabna v zgodnjih fazah konstrukcijskega postopka. Ker tovrstne numerične analize temeljijo na poenostavljenih matematičnih modelih, je treba imeti za vrednotenje rezultatov na voljo primerjalno bazo podatkov. Glavni cilj raziskovalnega dela je zato razviti ustrezno metodo, ki bo ob najmanjšem dodatnem delu in stroških omogočala gradnjo kakovostne baze primerjalnih podatkov. (Bučar, 2004)

Ko se je razvijala preša in samo ogrodje so bili na podjetju Ledinek Engineering zelo omejeni kar se tiče računalniških programov za risanje in modeliranje v 2D in 3D formatu.

Ko sem videl, kje in kako so nastale napake na ogrodju, sem poskusil najti na internetu kakšen podoben primer, ki bi mi prišel prav, da bi bolje razumel, zakaj je prišlo do same napake pri ogrodju. Našel sem dva primera, zlom ladje Schenectady prikazan na sliki 12 in razpoke na letalu Havilland Comet prikazane na sliki 13.

Natančen pregled ladje trupa ni odkril nobenega zvara, ki bi lahko odpovedal. Razpoka se je razcepila ravno skozi jeklene plošče. Poročilo je na koncu opozorilo na pretirano togo zasnovo, že obstoječe napetosti, ki so bile nekako zaklenjene v trup, in razmeroma ekstremne temperature, ki so se širile med ledenim zrakom in zmerno vodo. V tem času je bilo že dobro znano, da so varjene ladje bolj dovzetne za tovrstne stvari kot staromodne kovičene vrste, kajti ko se v varjeni ladji sproži razpoka, se lahko razširi vse naokrog, na primer razpoka na vetrobranskem steklu avtomobila; v kovičeni ladji gre razpoka do konca plošče in se ustavi.

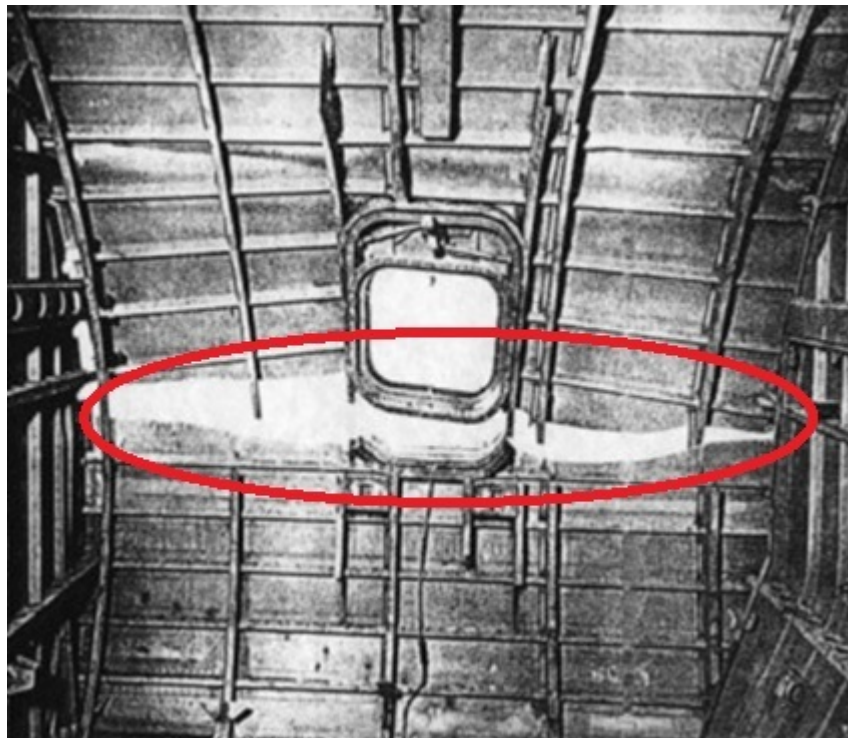
(J.D. John, 2016)



Slika 12: zlom ladje Schenectadyja

<https://offbeatoregon.com/1606c.schenectady-cracked-ship-396/schenechtady-1200.jpg>

Britanski de Havilland Comet je najslavnejši primer okvare letala, povezane z razpokami. Trije usodni padci kometa-1 v 12 mesecih med leti 1953 in 1954 so privedli do prizemljanja celotne flote kometa. Ugotovljeno je bilo, da so nesreče povzročile razpoke, ki so rasle z vogalov kvadratnih oken trupa. Kvadratni vogali so služili kot nosilci napetosti, ki so pospeševali nastanek razpok in rast trupa, ki je bil pod pritiskom med letom na visoki nadmorski višini. (Historical Background, 2015)



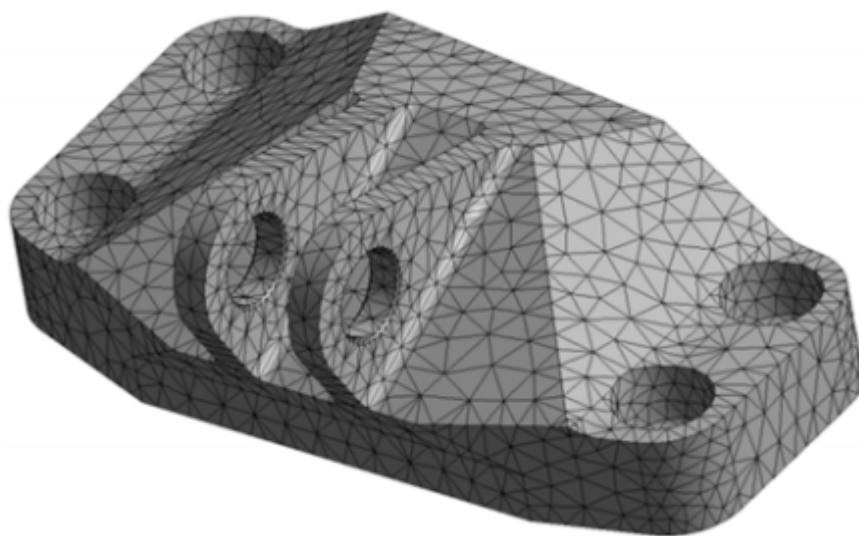
Slika 13: razpoke na letalu Havilland Comet

<https://www.fracturemechanics.org/images/history/failed-comet-window.jpg>

4.3 Topološka analiza in topološka optimizacija

V industriji je zelo zaželeno, da večina izdelkov obdrži svoje trdnostne lastnosti, hkrati pa naj bi se zmanjšala masa izdelka. Strukturna trdnost in življenjska doba sta pomembni lastnosti vsake moderne konstrukcije. Topološka optimizacija se uporablja, odkar so napredovala računalniška orodja, ki uporabljajo 3D model kot osnovo za izračun z metodo končnih elementov. Zmanjšanje mase našega izdelka je zelo pomembno, saj gre za dinamični sistem, kjer se material utruja, hkrati pa želimo maso zmanjšati, saj zelo vpliva na dinamiko celotne preše.

Topološka analiza in optimizacija potekata koračno. Najprej izračunamo napetosti in pomike v prvotnem ogrodju. V naslednjem koraku v modelirniku odvezujemo material, naredimo izreze, kjer napetosti in pomiki niso kritični. To ponavljamo tako dolgo, da odvezujemo iz modela ves odvečni material, zadržimo pa trdnost izdelka in zmanjšamo maso. Na spodnjem primeru je prikazano, kako se je masa izdelka bistveno zmanjšala.(slika 14 in 15). (Gülbahçe, Sezgen, & Çakan, 2019)



Slika 14: prvotni izdelek



Slika 15: optimizirani izdelek

4.4 Konstrukcijska dokumentacija

Prikaz razlik med prvotno konstrukcijo ogrodja in novo konstrukcijo z opisom tehnoloških operacij izdelave je razviden iz tabel 1 do 4. Razvidno je, da je bila ponekod zamenjava materiala za bolj kakovostnega in nekatere spremembe pri obdelavi ter izdelavi ogrodja. Konstrukcijska dokumentacija, ki se nanaša na izvedene spremembe, je sestavni del diplomskega dela in je priložena na koncu v obliki prilog.

Tabela 1: Zbir material prvotnega ogrodja

Poz.	Ident	Naziv materiala	Količina	EM	Material	Standard
01	137372	PLOČEVINA 80	1572.000	KG	ST 52-3	DIN 1543
02	180536	PLOČEVINA 70	66.000	KG	ST 37	DIN 1017
03	146596	PLOČEVINA 60	380.000	KG	ST 37	DIN 1017
04	146569	PLOČEVINA 50	686.300	KG	ST 52-3	DIN 1543
05	137373	PLOČEVINA 30	289.000	KG	ST 37	DIN 1017
07	130767	PLOČEVINA 25	5.500	KG	ST 37	DIN 1017
08	118788	PLOČEVINA 20	111.000	KG	ST 37	DIN 1017
10	106314	PALICA PLOŠČATA 30X12	0.300	KG	ST 37	DIN 1017
11	120206	PLOČEVINA 10	2.300	KG	ST 37	DIN 1017
Bruto teža			=3112.400 KG			

Vir: (arhiv podjetja)

Tabela 2: Tehnološke operacije prvotnega ogrodja

Štev oper	Del. mes. SM	Opis operacije	Tk	Tpz Tplan
--------------	--------------------	----------------	----	--------------

05	1120	ŽAGATI PLOŠČ. 30x12 NA L = 50 - 2x	4	5
10	1165	ODREZ POZ. 1 DO 20 PO KOSOVNICI IN NAČRTU, POBRUSITI	1140	30
15	1650	FREZATI NAGIBE POZ. 6, 8, 10, 15, 16	120	20
20	1330	REZKATI POZ. 11 IN 12	35	10
25	1560	VRTATI IZVRTINE, REZATI NAVOJE POZ. 21	10	5
30	1650	VRTATI, GREZITI IZVRTINE POZ. 1, 2, 3, 6, 8, 11, 12, 13, REZKATI SPROSTITVI POZ. 1 IN 2, REZKATI - POČISTITI IZREZ POZ. 1 IN 2	430	30
35	1815	POSNETI OSTRE ROBOVE NA OBDELANIH ELEMENTIH 5	50	10
40	1810	POSNETI OSTRE ROBOVE, FAZE ZA VAR, SESTAVITI ZA VARENJE, GLEJ MERE, T IN //, priprava varov glej ustrezni wpr - postopek varjenja; BREZ POZ. 21	1200	20
45	1820	VARITI IN VARE POČISTITI, varjenje glej ustrezni wpr - navodilo; POZ. 21 NE VARITI	1030	20
50	1830	PORAVNATI, POČISTITI PO VARENJU	30	10
55	1625	STROJNO OBDELATI KOMPLET, REZATI NAVOJE M16, M20 IN M30 (LUKNJE NA PREREZU F-F VRTATI PRI MONTAŽI)	2400	60
60	1815	POSNETI OSTRE ROBOVE, REZATI NAVOJE, ZAVARITI POZ. 21	300	10
65	0910	KONČNA KONTROLA (LUKNJE NA PREREZU F-F VRTATI PRI MONTAŽI)	0	0

Vir: (arhiv podjetja)

Tabela 3: Zbir material novega ogrodja

Poz.	Ident	Naziv materiala	Količina	EM	Material	Standard
01	137372	PLOČEVINA 80	1350.000	KG	ST 52-3	DIN 1543
02	146569	PLOČEVINA 50	770.000	KG	ST 52-3	DIN 1543
03	137373	PLOČEVINA 40	150.000	KG	ST 52-3	DIN 1543
04	137383	PLOČEVINA 30	145.000	KG	ST 52-3	DIN 1543
05	118788	PLOČEVINA 20	270.000	KG	ST 52-3	DIN 1543
06	120206	PLOČEVINA 10	1.400	KG	ST 52-3	DIN 1543
08	279088	PALICA PLOŠČATA 90X20	11.000	KG	ST 52-3	DIN 1543
09	302497	PALICA PLOŠČATA 80X20	3.600	KG	ST 52-3	DIN 1543
10	259403	PROFIL L 200X100X16	3.100	KG	ST 37	DIN 1029
Bruto teža			= 2704.100 KG			

Vir: (lasten vir)

Tabela 4: Tehnološke operacije novega ogrodja

Štev oper	Del. mes. SM	Opis operacije	Tk	Tpz Tpla n
03	1905	ODREZATI POZ.1 IN 2 NA PLAZMI, Z DODATKOM 4mm NA POVRŠINI PRI 0.8	400	0
05	1165	05 1165 ODREZATI POZ.10 DO 16 PO KOSOVNICI IN NAČRTU 35.0 10	35	10
07	1830	POBRUSITI PO RAZREZU	20	5
10	1155	ODREZATI POZ.3 DO 9 PO ŠABLONI, POBRUSITI	260	30
12	1125	ŽAGATI POZ.20, 21, 22, 23 IN 25 PO KOSOVNICI	35	10
15	1650	FREZATI NAGIBE IN FAZE NA POZ.5, 6, 7, 9, 10 IN 11, VRTATI d25 NA POZ.25	400	40
17	1590	REZKATI OBLIKO PRI 0.8 NA POZ.1 IN 2	90	40

20	1330	REZKATI POZ.13, 21, 22 IN 25	70	15
30	1310	REZKATI POGLOBITEV IN NAGIBE NA POZ.3 IN 4	120	15
35	1815	POSNETI OSTRE ROBOVE NA OBDELANIH ELEMENTIH, ROČNO POLIRATI POZ.1 IN 2 PRI OZNAČENEM DELU 0.8	60	10
40	1810	POSNETI OSTRE ROBOVE, FAZE ZA VAR, SESTAVITI ZA VARENJE, GLEJ MERE, T IN //, priprava varov glej ustrezni wpr - postopek varjenja; BREZ POZ. 21	1020	20
45	1820	VARITI IN VARE POČISTITI, varjenje glej ustrezni wpr - navodilo; – POZ.21 NE VARITI, – OZNAČENA MESTA NA NAČRTU NE VARITI !!	1050	20
50	1830	PORAVNATI, POČISTITI PO VARENJU	40	10
55	1625	STROJNO OBDELATI KOMPLET, REZATI NAVOJE (LUKNJE NA PREREZU P-P VRTATI PRI MONTAŽI)	2170	90
60	1815	POSNETI OSTRE ROBOVE, REZATI NAVOJE, ZAVARITI POZ. 21	300	10
65	0910	KONČNA KONTROLA (LUKNJE NA PREREZU P-P VRTATI PRI MONTAŽI)	0	0

Vir: (lasten vir)

Opis stolpcev v tabelah:

Del. Mes. SM = delovno mesto predvideno za določeno operacijo

Tk = delovni čas določen za dokončanje same operacije v minutah

Tpz Tplan = čas za nastavitev stroja za določeno operacijo v minutah

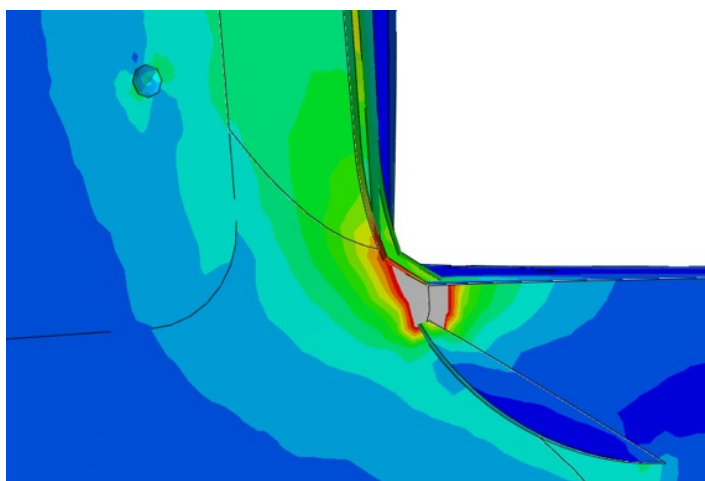
Iz primerjave bruto kosovnic materiala je razvidno, da bo za novo ogrodje potrebnih 408,3 kilograma pločevine manj.

4.5 Računalniška orodja za izvedbo potrebnih analiz

Kot prvo smo naredili 3D model prvotne konstrukcije v programu Inventor, ki smo nato prenesli v program Abaqus in tako analizirali, kje se skrivajo šibkosti ogrodja. V programu Abaqus lahko izvedemo vse analize na primer združene napetosti, različni pomiki ... in to v kratkem času.

4.6 Predstavitev preračunov obremenitev in prisotnih deformacij

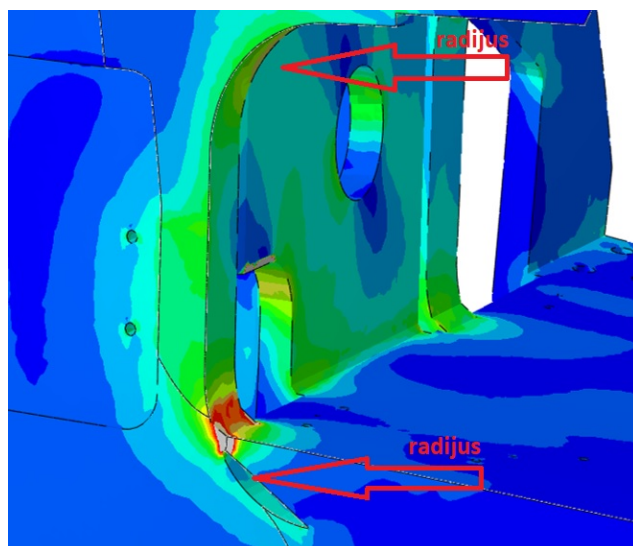
V programu Abaqus smo naredili preračune pod različnimi obremenitvami in tako prišli do končnih ugotovitev, kje so šibke točke na starem ogrodju in s kolikšno silo nastanejo obremenitve na teh mestih. Ti izračuni nam bodo pomagali, da bomo lažje in hitreje odpravili te pomanjkljivosti, ki so bile na starem ogrodju. Na sliki 16 je dobro prikazan izračun, kje je nastal lom na starem ogrodju. Zelo razločno se vidi, da je bila napaka zvariti delovno površino (Poz. 10) s stranskim nosilcem (Poz. 2).



Slika 16: nastanek loma na starem ogrodju

Vir: (lasten vir)

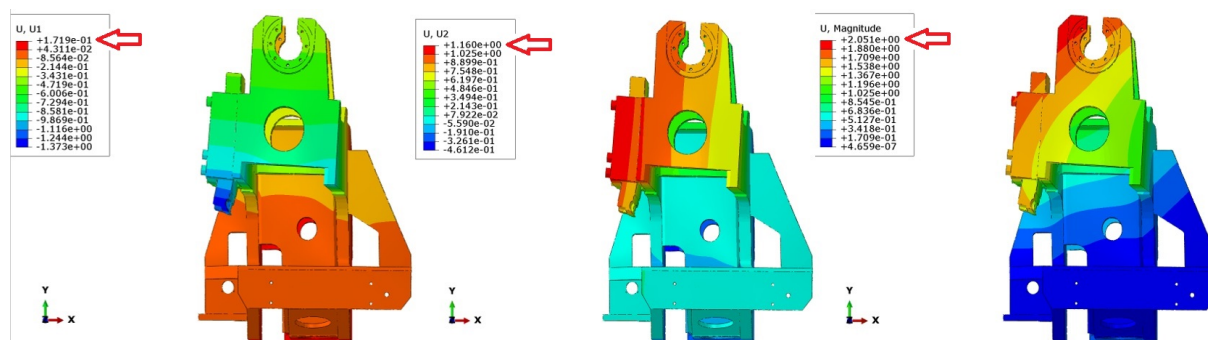
Zaradi zvara sta bila stranski nosilec in delovna površina preveč toga povezana in tako se niso nastale sile enakomerno porazdelile po stranskem nosilcu, čeprav so naredili radiusa na notranjem delu (slika 17) ni pomagalo in pri dolgoročnih velikih obremenitvah je prišlo do razpoke, ki je povzročila lom na tem mestu.



Slika 17: radijusa na stranskem nosilcu

Vir: (lasten vir)

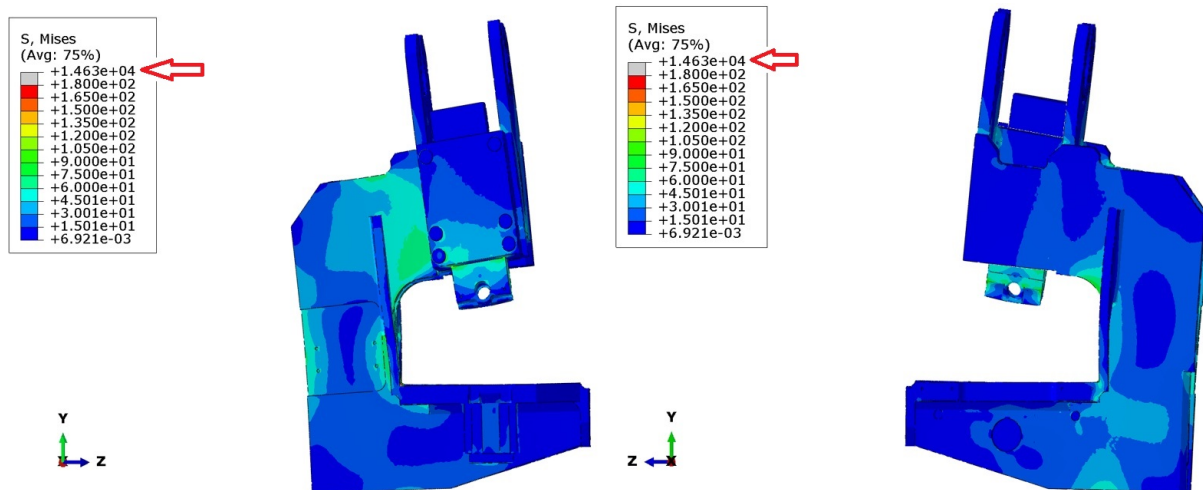
Slika18 nam prikazuje področja obremenitev pod različnimi pomiki na stari konstrukciji.



Slika 18: različni pomiki na stari konstrukciji

Vir: (lasten vir)

Slika 19 nam prikazuje združene napetosti na stari konstrukciji.

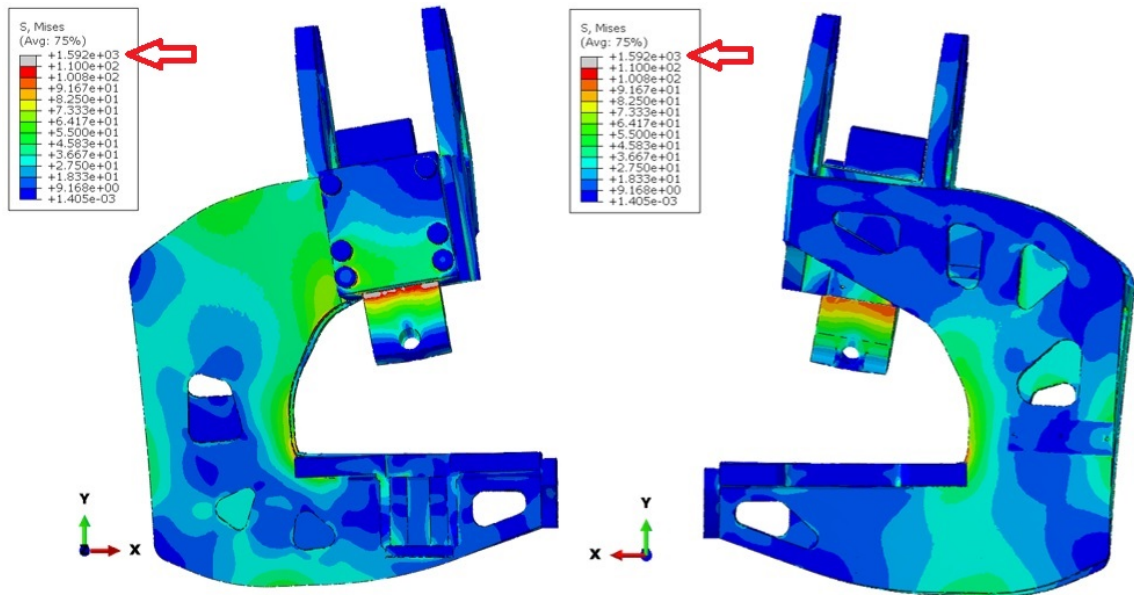


Slika 19: združene napetosti

Vir: (lasten vir)

4.7 Predstavitev rezultatov preračuna na novem ogrodju

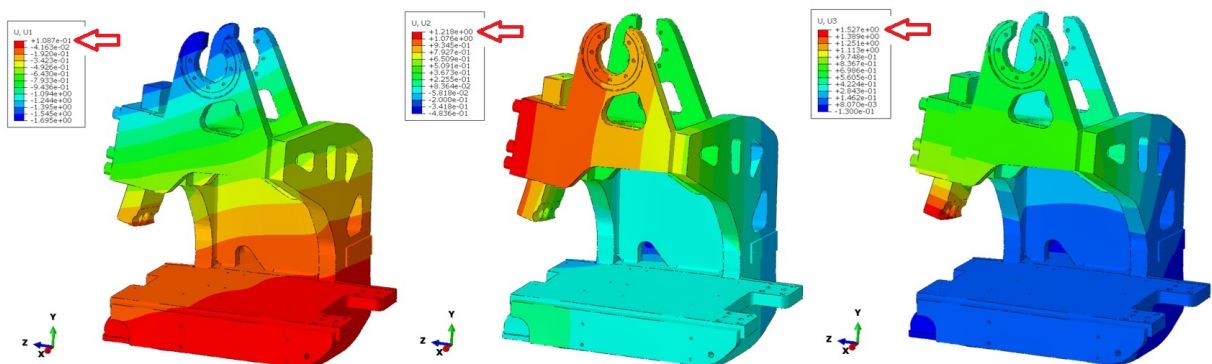
Simulacija obremenitev na novem orodju kaže jasne razlike, da ni pričakovati večjih izpostavljenosti fizičnim obremenitvam v fazi produkcije, kar je razvidno iz področij, ki so obarvana, in tudi v sami tabeli (slika 20).



Slika 20: prikazane združene napetosti

Vir: (lasten vir)

Slika 21 nam prikazuje področja obremenitev pod različnimi pomiki na novi konstrukciji.



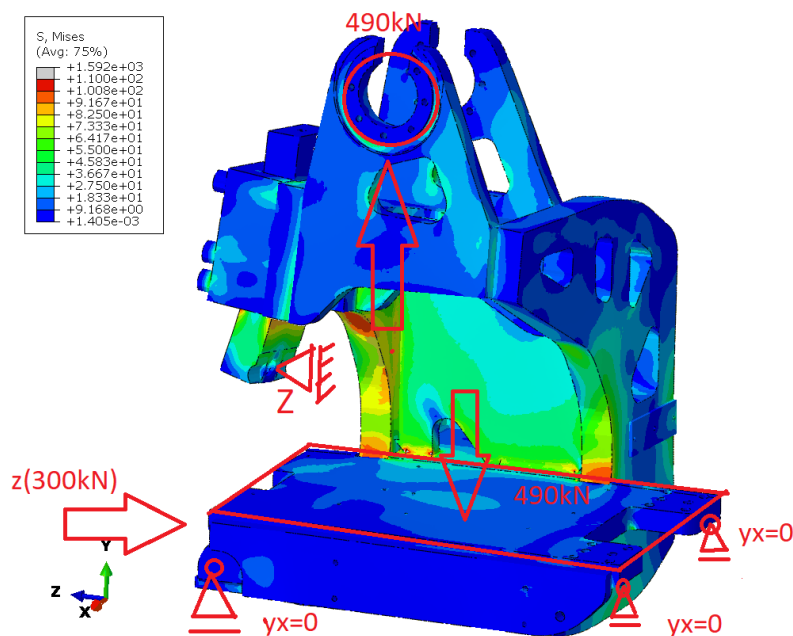
Slika 21: različni pomiki na novi konstrukciji

Vir: (lasten vir)

5 OPIS TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA IZDELAVE OGRODJA STISKALNICE PO NOVI ZASNOVI

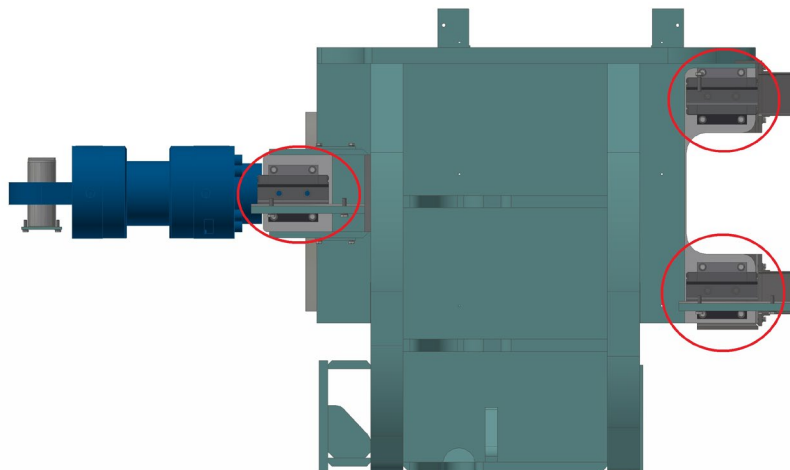
5.1 Postopek priprave

Ogrodje se v procesu spajanje lesa horizontalno premakne, hkrati pa vertikalni cilinder desko zadrži. Sila spajanja, ki jo daje horizontalni cilinder, je 300 kN. Sila pridržanja vertikalnega cilindra pa je 490 kN (slika 22). Hkrati je treba paziti, da ne dobimo prevelikih pomikov na mestih, kjer so nameščeni valjčni vozički. Premično ogrodje je podprto s tremi valjčnimi vozički (slika 23). Ogrodje mora biti dovolj togo in mora prenašati velike dinamične obremenitve.



Slika 22: prikaz dinamičnih obremenitev na ogrodje

Vir: (lasten vir)



Slika 23: mesta, kjer je ogrodje podprto

Vir: (lasten vir)

Na mestih, kjer je ogrodje podprto želimo čim manjše napetosti in čim manjše deformacije v okolici le teh. Na prvih konstrukcijah so bili nameščeni štirje ležaji. Tam, kjer je vpet cilinder sta bila dva. Predvidevalo se je, da bodo sile v teh ležajih približno enake, vendar se je že takrat praktično pokazalo, da domneva ne drži. Zgornji ležaj je venomer v roku meseca dni odpovedal. Že takrat se je z obstoječimi orodji izvršila analiza in ugotovilo se je, da je na zgornjem mestu pri cilindru nastopala velika reakcijska sila, zato so ležajna mesta tako le tri.

5.2 Izbira materiala

Znano je, da je življenjska doba struktur močno odvisna od kakovosti površine. Zato je velika pozornost namenjena specifikaciji in izvedbi površin obdelanih delov, kadar jih je treba pri utrujenosti dimenzionirati.

Za opis površinskega stanja se običajno predlagajo trije parametri:

- geometrijski parameter: hrapavost površine;
- mehanski parameter: zaostala napetost;
- metalurški parameter: mikrostruktura.

Ti parametri se lahko razlikujejo ločeno glede na pogoje obdelave. Pri inženirskem načrtovanju se učinki teh parametrov običajno upoštevajo z uporabo empiričnih faktorjev zmanjšanja, ki spreminjajo mejo vzdržljivosti materiala. (Chieragatti, Limido, Mabru, & Suraratchai, 2019)

Preskus trdnosti na upogibanje se uporablja za določanje upogibnih ali upogibnih lastnosti materiala. Ta primer se včasih imenuje preskus s prečnimi žarki in vključuje namestitev vzorca med dvema točkama ali nosilcema in sprožitev obremenitve s pomočjo tretje točke ali dveh točk, imenovanih preskus upogiba v treh točkah oziroma preskus v štirih točkah. (Laboratuar, 2020)

V podjetju LEDINEK nismo našli druge možnosti kot varjeno ogrodje, ker se stroji izdelujejo v manjših količinah in po potrebi kupca se stroji vedno znova prilagodijo. Zaradi varjenja so materiali, ki so lahko varljivi, edina izbira, ki nam je na voljo. Na nekaterih pozicijah sem zamenjal material za kakovostnejšega ST 52-3, ker ima material v primerjavi z materialom ST 37 večjo natezno trdnost, kar je razvidno v tabeli 5.

Tabela 5: tabela natezne trdnosti med materialoma

Natezna Trdnost konstrukcijskega jekla		
Konstrukcijska jekla	Po dimenzijah v poboljšanem stanju (mm)	Rm - Natezna Trdnost (MPa) (+QT)
ST 37	do 100	340
ST 52-3	3–100	470–630

Vir: (<http://www.belta.si/s355j2g3-1-0570>)

5.3 Dinamična trdnost konstrukcije

Konstrukcija ogrodka preše je dinamično obremenjena, kar seboj prenese dosti neznank pri življenjskem ciklu. Že v drugi polovici 19. stoletja je nemški inženir August Wöhler začel proučevati dinamično trdnost konstrukcij. Lotil se je treh najpogostejših primerov, ki nastopajo v praksi:

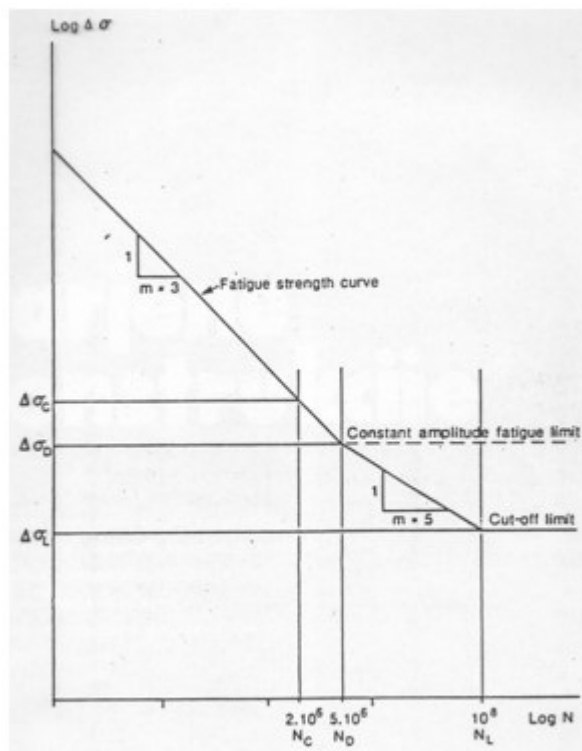
- Gladke in kasneje tudi z zarezo izdelane ravne konzole obremenjene s spremenljivimi harmonskimi obremenitvami.

- Harmonske obremenitve dosežene z vrtenjem v vertikalni ravnini ležeči konzolno vpeti preizkušanci okrog osi, ki je pravokotna na ravnino.
- Kombinacija stalne lastne teže mase in njene centrifugalne sile (ta je odvisna od hitrosti vrtenja), ki omogoča spreminjanje obremenjevanja.

Wöhler je spremljal največjo napetost in je ugotovil, da jeklo zdrži tem nižjo obremenitev, če je čim večkrat obremenjena. Hkrati pa je ugotovil, da trdnost gradiva z naraščanjem števila obremenjevanj pada vse počasneje, dokler se skoraj ne zaustavi. Ugotovil je, da jeklo zdrži 10.6 oziroma kasneje 2×10.6 ciklov.

Današnja jekla zdržijo približno 100x več ciklov, kot so jih v drugi polovici 19. stoletja.

Iz podatkov obratovanja stroja pri stranki je stroj pred porušitvijo naredil 43.000.000 ciklov. Po najnovejših dognanjih vemo, da tudi pri modernih jeklih ne dosežemo trajne dinamične trdnosti.



Slika 24: nova razlaga trajne dinamične trdnosti

http://lab.fs.uni-lj.si/lasok/index.html/gradivo_jerman_LASOK/ONK_09__P.pdf

Pri vsaki konstrukciji obstajajo parametri, ki vplivajo na potek utrujanja le te.

Ti so:

- vpliv gradiva samega (vrsta gradiva);
- vpliv zarezne učinka, kamor štejemo napake v gradivu in slabo oblikovane konstrukcijske dele (premajhni radiji, napačna obdelava);
- vpliv zaostalih napetosti, ki so posledica varjenja;
- vpliv korozije;
- vpliv srednje napetosti;
- spekter obremenjevanj in obratovalni razredi.

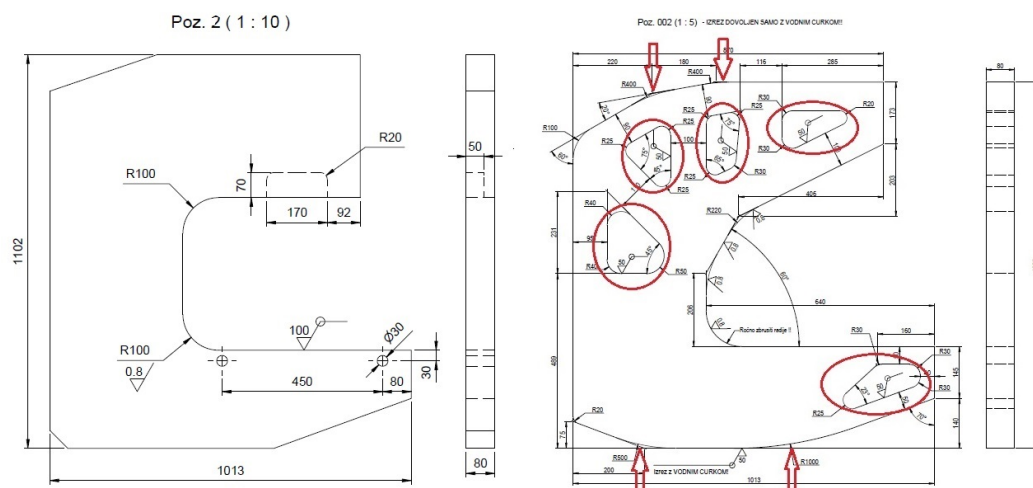
Vse te parametre smo želeli spraviti na stopnjo minimalnega vpliva.

- Gradivo, ki smo ga izbrali, ima večjo natezno trdnost prav tako je žilavost konstrukcijskih jekel zadovoljiva.
- Zarezne učinke smo poizkušali izničiti s pravilno obliko posameznih plošč, radije na najbolj izpostavljenih območjih smo povečali, prav tako smo preprečili varjenje povesod, kjer bi se lahko pojavil močan zarezni učinek, s poliranjem radijev smo želeli preprečiti nastajanje razpok zaradi grobih površin.
- Zaostale napetosti smo poskušali izničiti s pravilnim postopkom varjenja in napetostnim žarjenjem na koncu le tega.
- Barve, ki jih uporabljamo, so proti korozijske.
- Srednje napetosti, ki nastopajo, poskušamo čim bolj zmanjšati s pravilnim krmiljenjem hidravličnih cilindrov.

5.4 Postopek izdelave

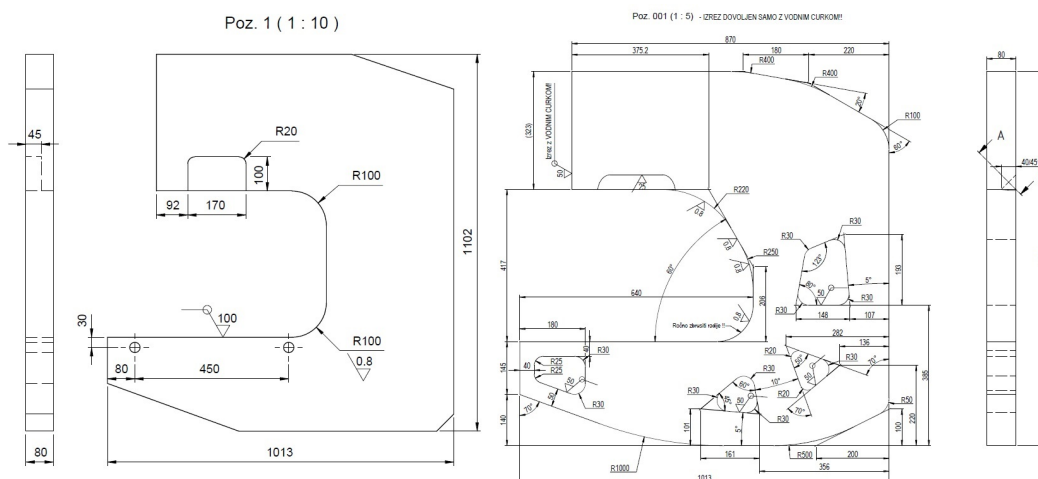
Na sami konstrukciji je prišlo do kar nekaj sprememb v obliki, pri čemer pa je bilo treba paziti, da se nova konstrukcija ne spremeni, kjer je ogrodje pritrjeno in podprto. Kjer je bilo razvidno oziroma prikazano, da ni nikakršnih obremenitev ali prevelike obremenitve na posameznih pozicijah. Prikazal bom dele ogrodja, kjer je prišlo do večjih sprememb.

Tako na primer stranska nosilca Poz. 2 in Poz. 1 prikazano na sliki 25 in 26 imata sedaj sprostitev sredi materiala in po višini sta nova za 77 mm krajša, s tem se je masa zmanjšala in ostri robovi so odstranjeni, kjer bi lahko prišlo do loma materiala. Po novem tudi nista nosilca več istih dimenzij, saj ni bilo potrebe po tem. Dodane so sprostitev, s čimer se zmanjša masa pozicije, radiji so povečani in polirani, da bi s tem pridobili na dinamični trdnosti ter da se izognemo nezaželenim notranjim napetostim sta oba nosilca izrezana z vodnim curkom in ne avtogeno. Masa se je tako zmanjšala na novih nosilcih za 204 kilograme.



Slika 25: stari in novi nosilec Poz. 2

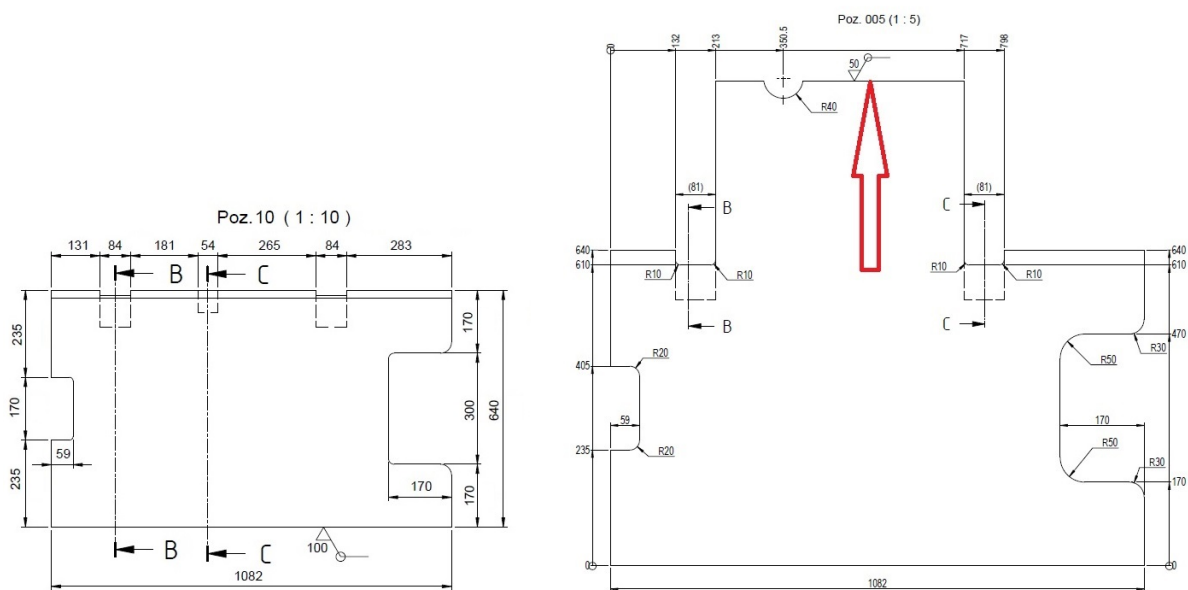
Vir: (lasten vir)



Slika 26: stari in novi nosilec Poz. 1

Vir: (lasten vir)

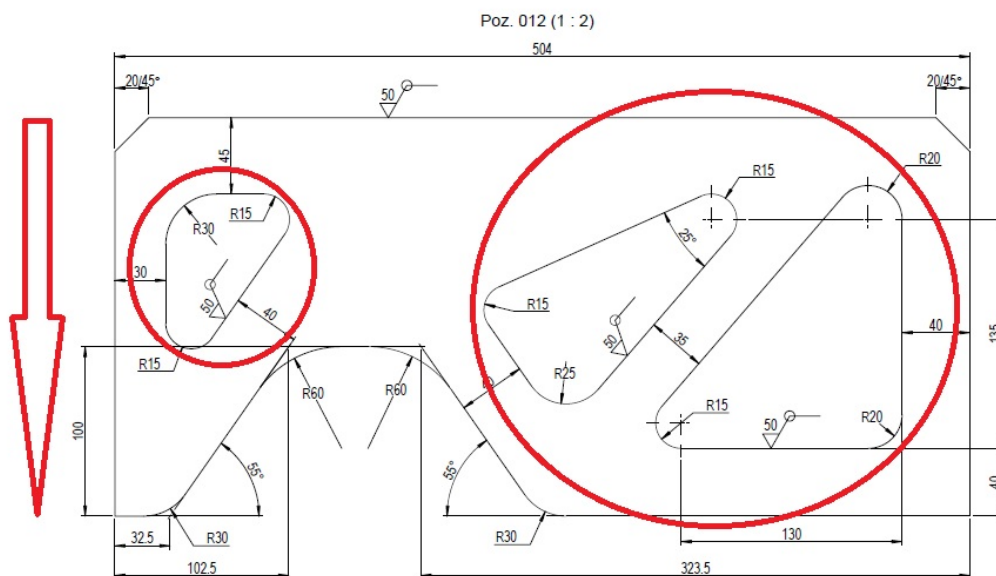
Delovna površina se je podaljšala v notranjost med stranskima nosilcema Poz. 1 in Poz. 2 prikazano na sliki 27, tako se je postopoma stopnjevala stabilnost in togost samega ogrodja. Prav tako je oblika prilagojena za boljše varjenje. Med Poz. 10 in Poz. 5 je prišlo do zamenjave materiala iz pločevine St37 na pločevino St 52-3 in pri novi delovni površini Poz.5 je sedaj tanjša pločevina, tako je namesto 60 mm sedaj 50 mm pločevina. Masa se je nekoliko spremenila, saj je nova delovna površina tudi malenkost večja v notranjost ogrodja, tako se je malenkost masa povečala iz 291 kilogramov na 311 kilogramov.



Slika 27: primerjava med prvotno in novo delovno površino

Vir: (lasten vir)

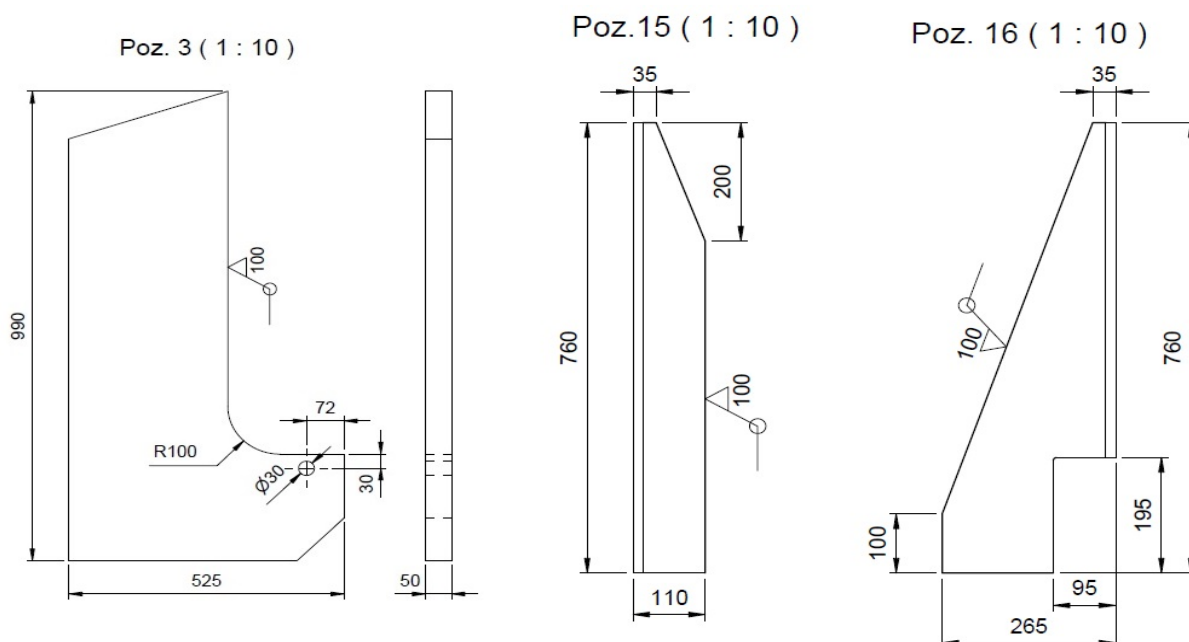
Prvotna prečna nosilca Poz. 12 sta bila prvotno pravokotna dimenzije 135 x 504 x 50 mm debeline, zadnja stran in povezan vmesni nosilec Poz. 3, kar ni bila najboljša rešitev (vidno na sliki 33). Na novem ogrodju sta sedaj zadnja stran in samo dva nosilca Poz. 12 prikazana na sliki 28, ki sta tanjša (30 mm). Podaljšala pa se je po višini ter s sprostitevami in tako se sama masa nosilca ni bistveno spremenila. Povečala se je za malenkost iz 28 kilogramov na 35 kilogramov.



Slika 28: novi prečni nosilec

Vir: (lasten vir)

Iz izračunov se je izkazalo, da desna Poz. 15 in leva Poz. 16-stranska podpora ter srednji notranji nosilec poz. 3 ne prispevajo k boljši nosilnosti oziroma podpori samega ogrodja, zato so bili tudi odstranjeni (prikazano na sliki 29). Samo s tem, da se je izkazalo, da več niso potrebne te tri pozicije je samo ogrodje izgubilo na masi za 118 kilogramov.



Slika 29: odstranjeni nosilec in podpori

Vir: (lasten vir)

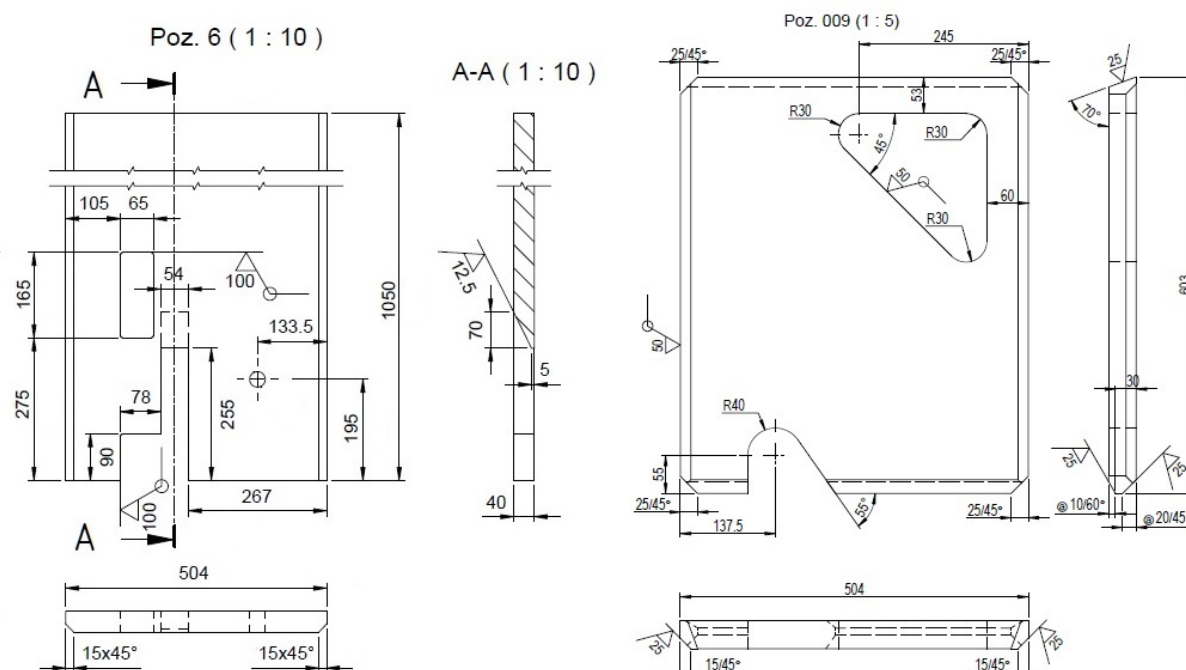
Poz. 4 (1 : 10)

Poz. 006 (1 : 5)

Poz. 007 (1 : 5)

Vir: (lasten vir)

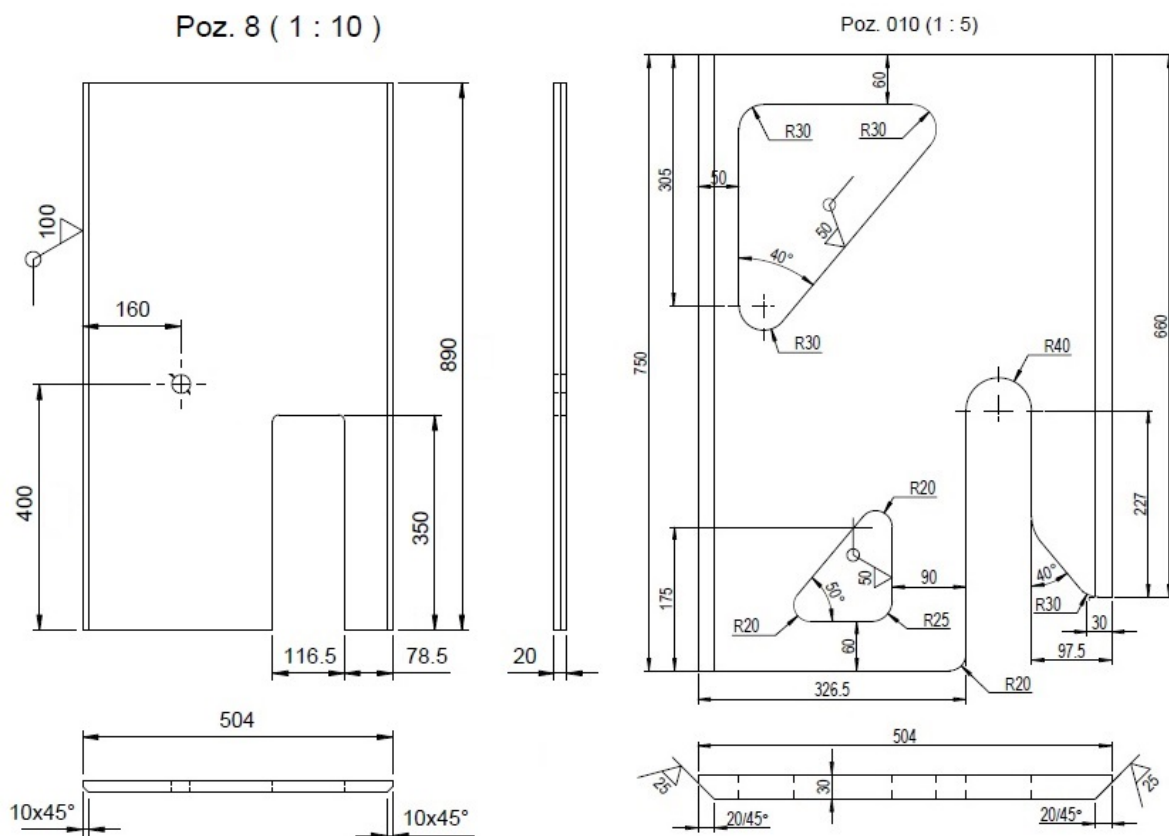
Na sliki 31 je sprednja vmesna plošča pri delovni površini, je bila po višini 1050 mm (Poz. 6). Sedaj je krajša za nekje 40 % kot ostale s sprostitevami in s tem kar nekaj lažja (Poz. 9) in aterial je zmenjan za St 52-3. Pri vseh pozicijah kor tudi pri teh je bilo pomembno, da se vsi robovi naredijo z velikim radijusom, za zmanjšanje tveganja loma.



Slika 31: sprednji vmesni plošči

Vir: (lasten vir)

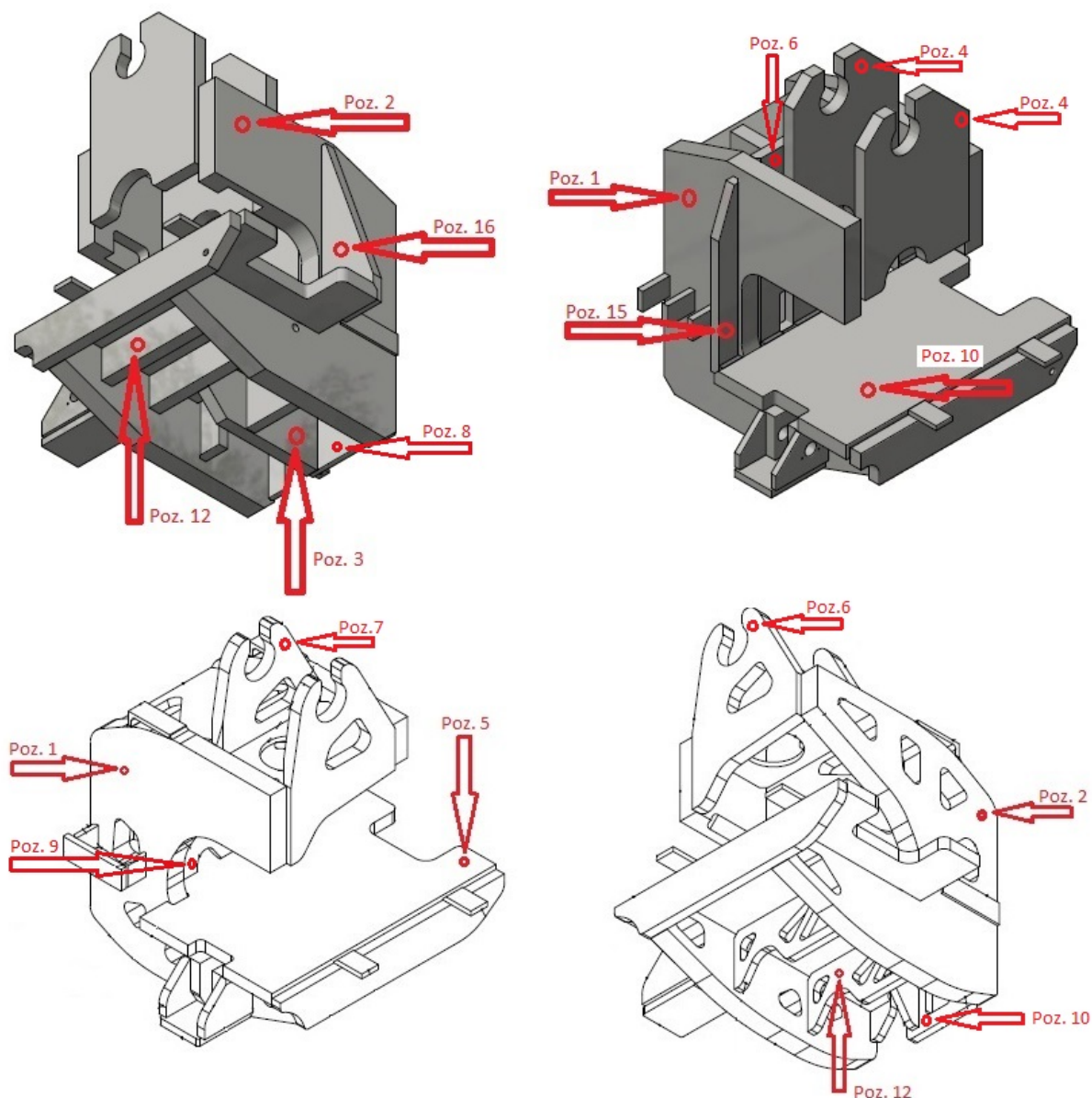
Zadnja stranica prvotnega ogrodja Poz. 8 je bila debeline 20 mm in po višini 890 mm. Na novem ogrodju je sedaj debelina 30 mm, a se je višina stranice zmanjšala zaradi spremenjene oblike stranskih stranic (Poz. 1 in 2) in je tako sedaj 750 mm. Širina odprtine za napeljavo se je zmanjšala, je pa tako kot drugod poudarek na radijused prikazano na sliki 32. v skladu s teorijo topološke analize smo na teh dveh pozicijah odstranili material, ki je bil nepotreben, saj so na teh mestih napetosti zanemarljive. Prav tako so dodatne odprtine dobrodošle zaradi možnosti napeljav za mazanje valjčnih ležajev in namestitev senzorjev. Material se je zamenjal iz pločevine St 37 za kvalitetnejšo pločevino St 52-3. Za malenkost se je povečala tudi masa za 2 kilograma iz 63 kilogramov na 65 kilogramov.



Slika 32: zadnja stran

Vir: (lasten vir)

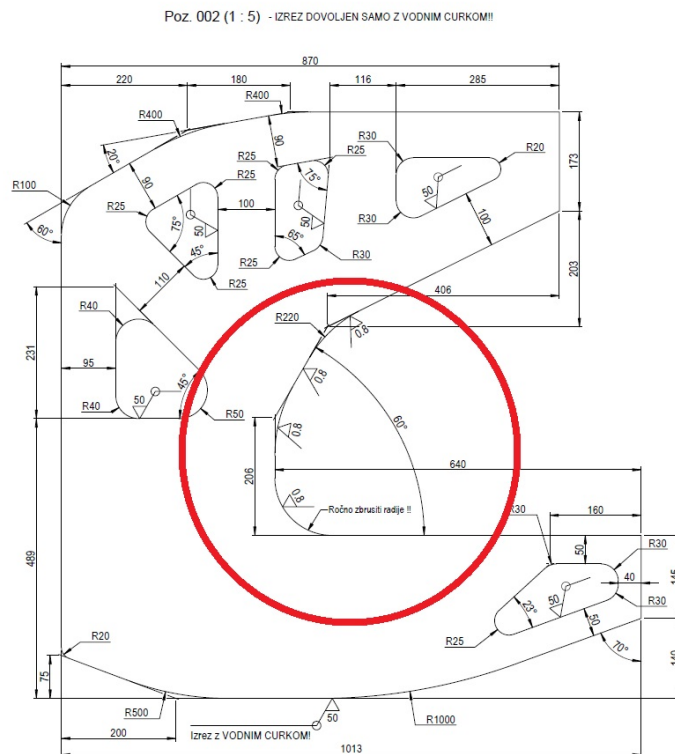
Še 3D prikaz na sliki 33. naštetih pozicij, ki sem jih opisal zgoraj, da so bile spremenjene ali odvzete iz prvotnega ogrodja, tako da je končno ogrodje pridobilo večjo togost. Nekatere sprostitev pa pripomorejo tudi k lažji izdelavi in montaži ogrodja.



Slika 33: pozicije, ki so spremenjene ali odstranjene

Vir: (lasten vir)

Pozicije 1. in 2. smo odrezali z vodnim curkom, saj bi pri avtogenem razrezu lahko poškodovali strukturo materiala. Po varjenju 5.4 se izdelek odžari in mehansko obdela. Vse neobdelane površine se pobarvajo. Posebno pozornost velja nameniti prehodom na posamičnih pozicijah, ki morajo imeti dovoljšen radij. Posebna pozornost je veljala radiju, kjer so se na predhodnih ogrojdih pojavljale razpoke. Nekateri predeli so sedaj tudi polirani, saj bolj fina površina pomeni manjša možnost nastanka razpok.



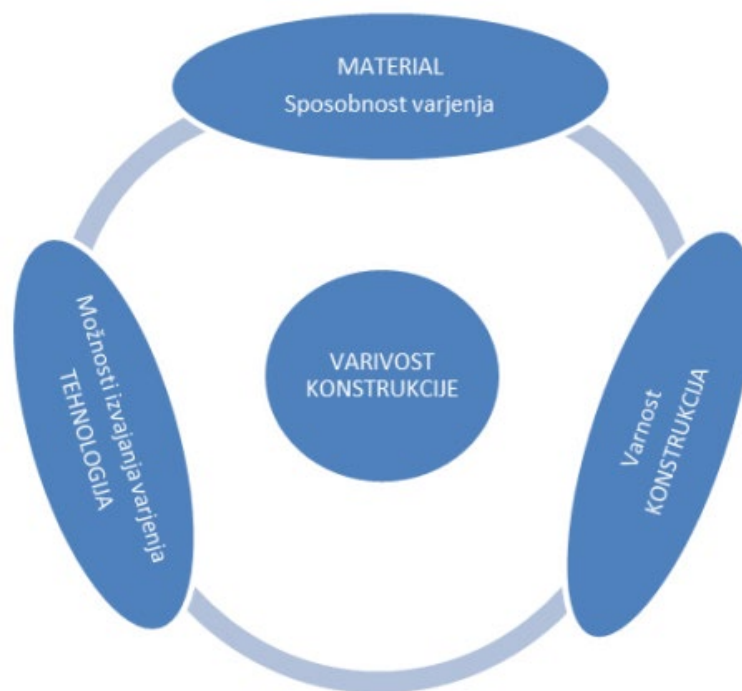
Slika 34: površina, kjer je potrebna večja pozornost

Vir: (lasten vir)

Iz slike 34 je razvidno povečanje radija, ki je sedaj raztegnjen od zgornje do spodnje površine. Prav tako je razvidno, da je radij ročno poliran. Oblika se je približala zahtevam mehanike loma, čim večji radiji pri dinamično obremenjenih konstrukcijah in čim večja kvaliteta površine, zaradi odpravljanja možnosti za nastanek utrujenosti.

5.5 Varjenje

Na varivost vpliva več dejavnikov, kar prikazuje slika 34. Varivostna lastnost je odvisna od kemijske sestave materiala, metalurških lastnosti, ki jih določa postopek pridobivanja materiala, in fizikalnih lastnosti, kot so razteznost, toplotna prevodnost, tališče, modul elastičnosti ... Možnost izvajanja varjenja je odvisna od priprave, izvedbe in obdelave po varjenju. Varnost varjene konstrukcije je zagotovljena, če konstrukcija v svoji življenjski dobi pri normalni uporabi ne spremeni predvidenih lastnosti. Odvisna je od konstrukcijske zasnove, stanja in vrste obremenitve, debeline materiala, obratovalne temperature in podobno.



Slika 35: Parametri, ki vplivajo na varivost

Vir: <http://razvoj-upd.si/wp-content/uploads/2017/07/10.-MIG-MAG-VARJENJE.pdf>

Kljub dokazani sposobnosti za varjenje se lahko zgodi, da se konstrukcija ob obratovanju poruši. Vzrok za to so razpoke ali lomi. Temu se izognemo tako, da se preprečijo ostri prehodi pri spajanju različnih debelin (zware lahko konkavno zaoblamo), izogibamo pa se tudi konstrukcijskim koncentracijam napetosti. Nepravilnosti se lahko pojavijo tako v zvaru kot v toplotno vplivanem področju. Zato moramo ločiti med nepravilnostmi in napakami. Nepravilnosti so odstopanja od idealnega stanja, ki so običajno še sprejemljiva, napake pa presegajo nivo sprejemljivosti nepravilnosti v zvaru. Tako kot smo v prejšnjem poglavju govorili, da je varivost odvisna od mnogih dejavnikov, je tudi pri napakah zelo podobno. Pojavijo se lahko zaradi slabo izbranega postopka varjenja glede na osnovni in dodajni material, neustrezne toplotne obdelave pred in po varjenju, slabe priprave varjencev ... Pogosto se napake pojavijo zaradi neupoštevanja predpisanega postopka varjenja. Nepravilnosti v zvarih podaja standard SIST EN ISO 6250. V tem standardu je vsaka napaka označena s štiri številčno oznako. Prva številka pomeni skupino napake, ostale tri pa klasifikacijo napake znotraj skupine. Napake so v osnovi razdeljene v šest skupin.

V prvo skupino spadajo razpoke, ki jih štejemo med najbolj nevarne napake v zvaru ali v toplotno vplivanem področju. Pojavijo se pri hitrem ohlajevanju zvarjenca. Pogoste so pri

materialu z večjo vsebnostjo ogljika, lahko pa nastanejo tudi nekaj dni po varjenju, če je v zvaru večja količina vodika.

V drugi skupini se nahajajo tako imenovane votlinice. Te se pojavljajo v zvaru zaradi ujetega plina, ki ni uspel priti na površje pred strditvijo taline. Navadno so črvaste oblike, pri dinamični obremenitvi obstaja nevarnost pojava razpoke.

V tretji skupini se nahajajo trdni vključki, ki se v zvaru lahko pojavijo kot ostanki žlindre ali pa so posledica odtaljevanja volframove elektrode oziroma bakrene podložke.

Zelo pogosta napaka je pomanjkljivost zvarnega spoja, ki jo uvrščamo v četrto skupino napak. Med najbolj pogoste napake te skupine štejemo slabo prevarjen koren tako na sočelnem kot na kotnem zvaru. Pomanjkljivost se lahko pojavlja med samimi varki ali med varkom in osnovnim materialom. Tej napaki z drugo besedo rečemo tudi zlepi in jo štejemo med zelo nevarne varilske napake. Vzrok je pogosto nepravilna drža gorilnika ali elektrode, lahko tudi nezadostna jakost varilnega toka pri obločnih postopkih varjenja.

Peto skupino varilskih napak imenujemo oblikovne napake, ki so v veliki meri odvisne od varilca samega. Pojavijo se zaradi nepravilnega naklona gorilnika ali elektrode, slabe priprave varjenja in varilnega aparata ipd. Mednje uvrščamo previsoko ali prenizko teme, nesimetričnost zvara, zajede ob zvaru na osnovnem materialu, zamik varjenja, slabo nadaljevanje zvara in podobno.

V šesti skupini se nahajajo varilske napake, ki jih še nismo omenili. Zelo pogosta napaka je čezmerno brizganje, vžig obloka izven zvarnega žleba, oksidirana površina zvara, napake zaradi prevelikih spenjalnih zvarkov, zabrusi in zaseki ter podobno. Dober konstruktor se mora s svojo konstrukcijo znati izogniti prevelikim notranjim napetostim, ki bi porušile zavarjeno konstrukcijo. Osnovni pogoj za kakovostno varjenje je kakovosten material, kar mora proizvajalec zagotavljati s potrdili, certifikati ali atesti.

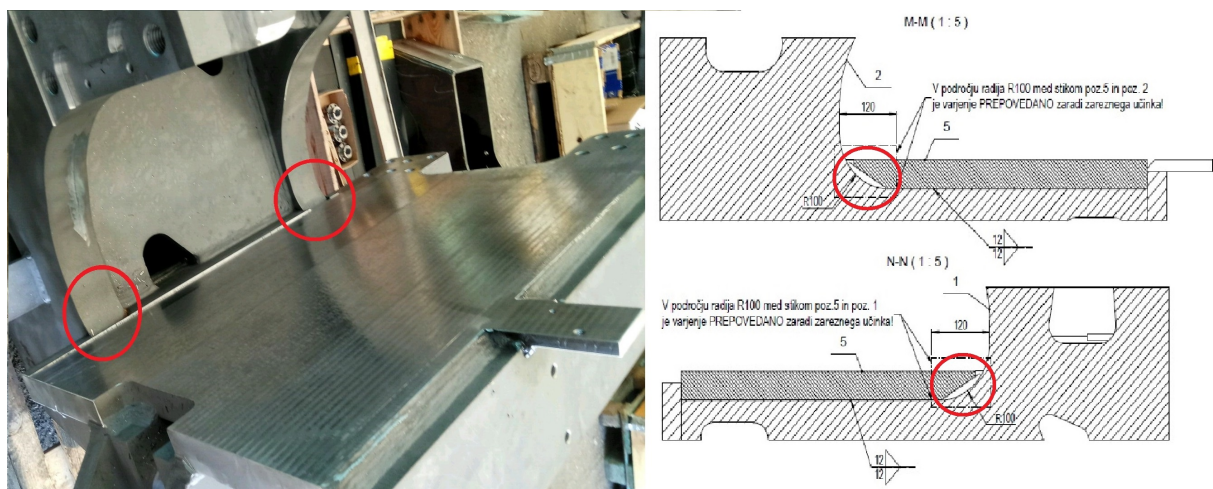
Za kakovost opravljenih varilskih del je treba upoštevati več dejavnikov. Zavedati se je treba, da so slabo opravljena dela lahko zelo draga in velikokrat tudi življenjsko nevarna. Na končno kakovost imajo zagotovo velik vpliv že sama izbira ustreznega varilskega postopka, izbira osnovnega in dodatnega materiala ter ustrezna tehnologija dela.

Zagotavljanje kakovosti se začne že pri načrtovanju izdelka in se nadaljuje do končne kontrole.

V pomoč nam je standard ISO 9001, ki temelji na načelih vodenja kakovosti nenehnih izboljšav

in s tem povečanja zadovoljstva strank. Zahteve po kakovosti pri varjenju pa določa standard SIST EN 729. (Keše, 2017)

Za novo ogrodje se je izdelal nov varilni načrt, kjer so zvari določeni. Na starem ogrodju je bilo posebej problematično mesto tam, kjer se poziciji 1 in 2 dotikata s pozicijo 10. Na novem ogrodju je na teh mestih varjenje prepovedano. Pred petnajstimi leti, ko se je izdelovalo prvotno ogrodje, niso predvidevali, da bi lahko zvara povzročala takšno škodo. Takrat so hoteli, da je delovna površina čim bolj toga, a se je izkazalo, da sta bila ta zvara v veliki meri kriva za nastanek poškodbe. Na sliki 36 je označeno, kjer smo varjenje pri novem ogrodju prepovedali, saj je računalniška simulacija potrdila problematičnost tega spoja.

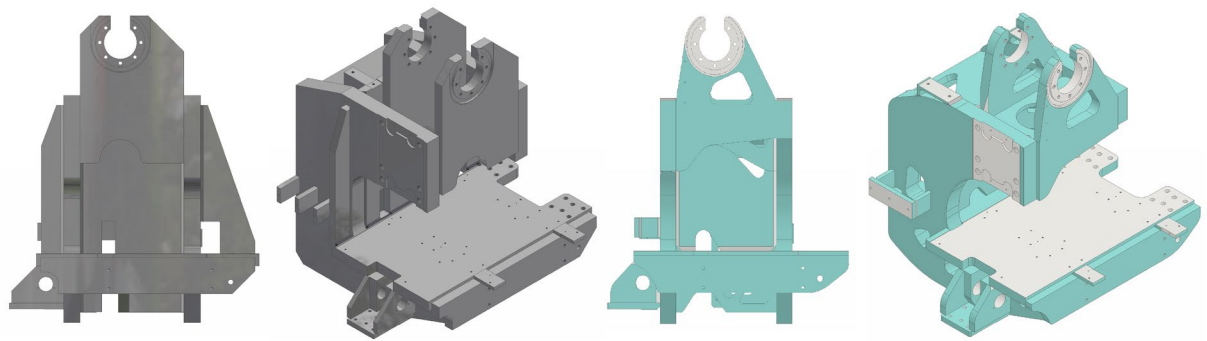


Slika 36: na označenih mestih je varjenje prepovedano

Vir: (lasten vir)

5.6 Analiza izdelka

Izdelek je bilo možno izboljšati iz več vidikov, na sliki 37. se na prvi pogled vidijo razlike v konstrukciji med starim in novim ogrodjem. V primerjavi s prejšnjo izdelavo se je masa izdelka zmanjšala, prav tako je sedaj dinamična trdnost in togost izdelka boljša. Ponovno je bil izmerjen čas potreben za izdelavo izdelka. Pokazalo se je, da je sedaj celoten čas za izdelavo krajši, s tem pa je posledično cenejša izdelava samega izdelka. Več je predstavljeno v poglavju 6.1

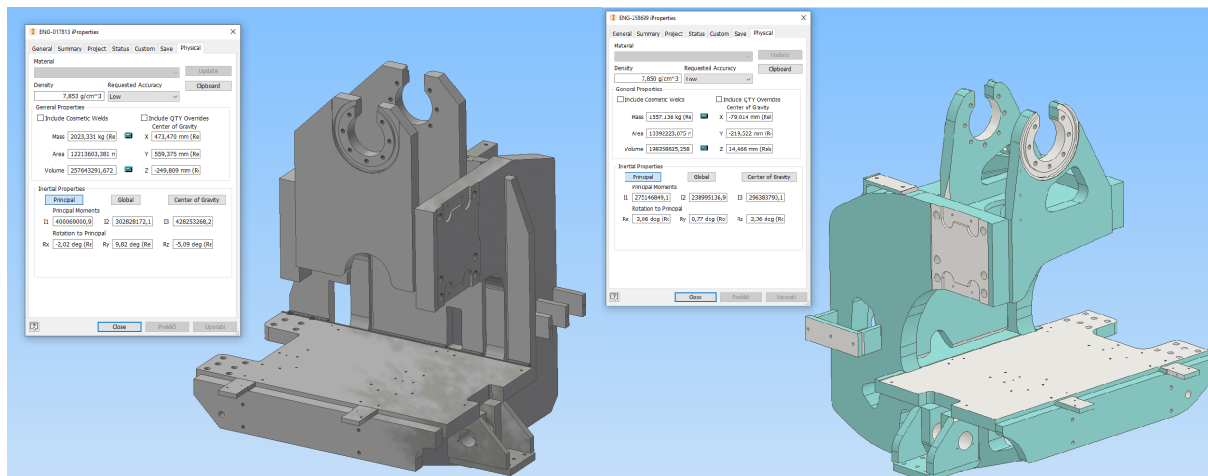


Slika 37: razlike med starim in novim ogrodjem

Vir: (lasten vir)

6 PREDLAGANE SPREMEMBE

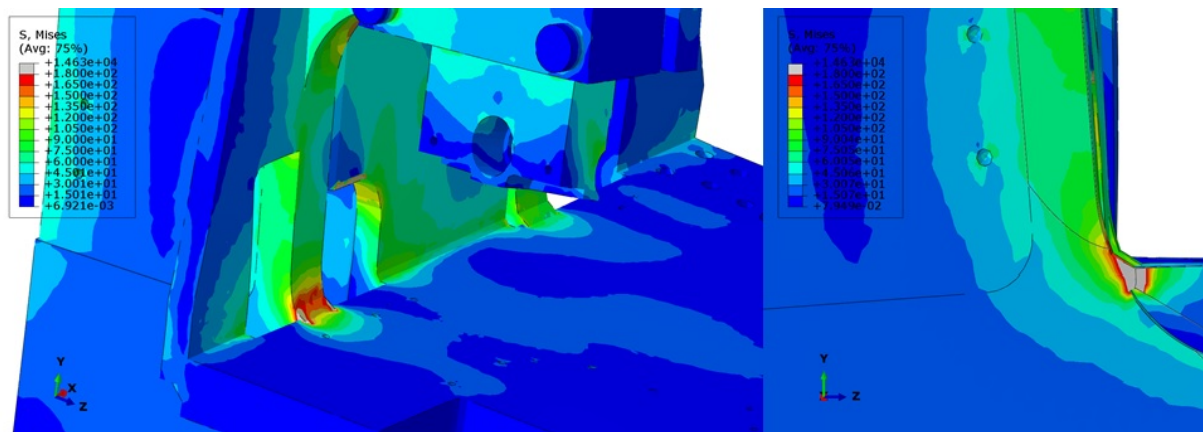
6.1 Primerjava prvotne z novo konstrukcijsko zasnovo



Slika 38: prvotna in nova konstrukcija

Vir: (lasten vir)

V roku 15 let so računalniška orodja za konstruiranje in predračune močno napredovala. S programom Dassault Systemes Abaqus se je lahko z metodo končnih elementov preverilo trdnost ogrodja prikazano na sliki 39. Pozicije za prvo ogrodje so bile izrezane avtogeno, sedaj obstaja možnost odreza pozicij ogrodja z vodnim curkom, ta možnost je sedaj ekonomsko dostopna. S takšnim odrezom pozicij že v začetku dosežemo boljše površine in ta odrez ne vpliva na material v smislu vnosa toplote, kar pomeni, da material ni že pred varjenjem strukturno deformiran. Zaradi možnosti programa Dassault Systemes Abaqus smo lahko v določene pozicije vnesli izreze, kar pomeni manjšo maso, kar je prikazano na sliki 38. Manjša masa izdelka je smiselna saj ta izdelek premika hidravlični cilinder, vztrajnostna masa celotnega dinamičnega sistema je zmanjšana. Manjša vztrajnostna masa ugodno vpliva na življenjsko dobo celotne preše. Prav tako je izračun pokazal, da se kritična mesta ujemajo s tistimi v praksi. Teoretično sedaj obstaja možnost, da lahko še za malenkost povečamo hitrost delovanja. Tole bi pomenil velik plus, če bi se sposobnost izdelave spojev povečala iz 12 na 13 spojev na minuto.



Slika 39 staro ogrodje kritično mesto in izračun v Abaqus

Vir: (lasten vir)



Slika 40: staro ogrodje lom na izdelku

Vir: (lasten vir)

Na sliki 40 je vidna razpoka, ki se je širila. Vzrok je bil var na napačnem mestu. S tehnologijo varjenja smo to napako na novi konstrukciji odpravili.

6.2 Predstavitev idejnih rešitev

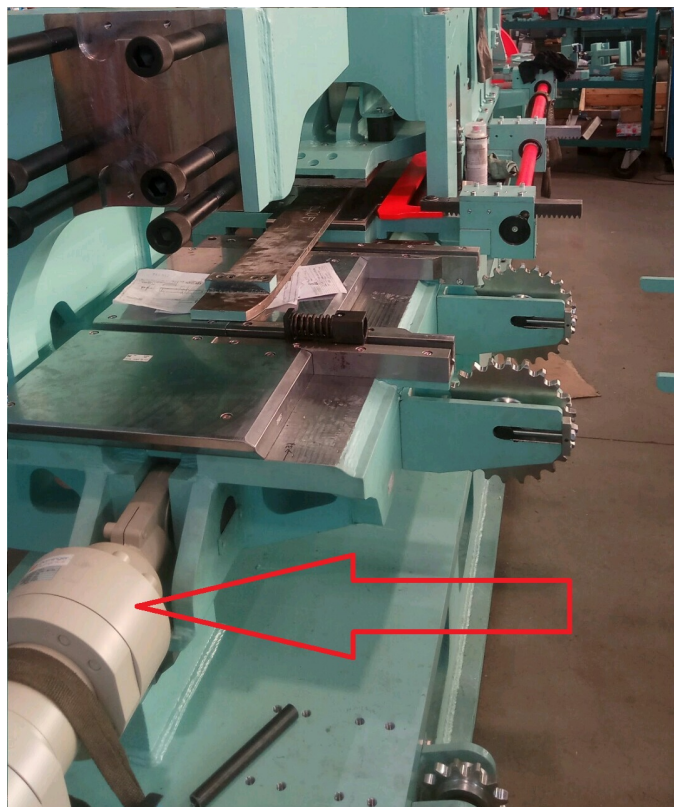
Za izdelek bomo na potrebnih pozicijah uporabili boljši material in sicer St 52-3. S programom Dassault Systemes Abaqus zaženemo izračun (podpore in sile glej slika 39) glede na rezultate smo ogrodje geometrijsko spreminjali, dokler nismo odpravili rdečih – kritičnih con. Material, ki je na posamičnih pozicijah odvečen (velike modre cone) smo izrezali in pri tem pazili, da ne

bi nastopile kakšne dodatne kritične cone. Zaradi ekonomske dostopnosti smo se odločili, da kritične pozicije izrežemo z vodnim curkom. Po varjenju je izdelek šel na žarjenje, s tem smo odpravili vse morebitne zaostale napetosti, ki bi lahko vplivale na samo dinamično trdnost ogrodja.

6.3 Vpliv nove zasnove ogrodja na čas izdelave, uporabnost, življenjsko dobo, varnost in strošek izdelave

Odločili smo se, da bo ogrodje sestavljeno tako, da bo lahko varljivo, če se le da, so pozicije zložene tako, da je možno izdelati kotne zware. V praksi se je pokazalo, da je bilo za sestavo in varjenje ogrodja porabljenega manj časa. Pri varjenju in sestavi smo pridobili 60 min., ostale operacije so ostale časovno enake.

Uporabnost izdelka je ostala enaka, vendar je zaradi manjše mase povečana življenjska doba vodilnih ležajev in vodil. Manjša masa (408,3 kg manj) ugodno vpliva na horizontalni cilinder (prikazan na sliki 41), saj premika približno 20 % manjšo maso, kot je bila prvotna.



Slika 41: prikaz horizontalnega cilindra

Vir: (lasten vir)

Dodatne izvrtine na ogrodju pomenijo, da lahko na lažji način speljemo vode za mazanje linearnih vodil. Z dobrim izračunom so odpravljena kritična mesta, to so mesta, ki so občutljiva na dinamični lom. Z metodo razreza z vodnim curkom pa smo odpravili možnosti iniciacije razpok zaradi grobe površine. Kritični radij na poziciji 1. in 2. so se zaradi tega tudi ročno spolirali.

Čas izdelave izdelka je bil v obeh primerih praktično določen, opazovali smo proizvodni cikel in merili čas.

Boljša dinamična trdnost pomeni tudi večjo varnost, saj bo težje prišlo do stroje loma. Pri stroje lomu lahko pride do poškodbe hidravličnih vodov, kar bi pomenilo, da so ogroženi tudi ljudje na delovnem mestu.

S stališča stroškovnega dela je bil delež uporabljenih sredstev minimalen, kar je razvidno iz tabele 6.

Tabela 6: delež uporabljenih sredstev med starim in novim ogrodjem

Specifikacija:	Enota	Prvotno ogrodje:	Novo ogrodje:	Δ (privarčevani delež)
Porabljen čas za analizo in izris	[ur]	/	0,66	/
Stroški izrisa ogrodja	[€]	/	400	/
Stroški postopka izdelave	[€]	1502,85	1202,46	-300,39
Čas porabljen za izdelavo	[min]	116,32	106,58	-9,74
Vrednost izdelka	[€]	10.493,15	8.332,23	-2.160,92
Bruto masa izdelka	[kg]	3112,400	2704,100	-408,3

Vir: (lasten vir)

7 SKLEP

Namen diplomske naloge je bil prikazati, ali je možno popraviti oziroma izboljšati nastalo škodo na ogrodju preše za spajanje lesa. Ker je linija Eurozink v obratovanju že 15 let, je obstajala možnost, da lahko z današnjim znanjem in izdelavo, ki nam je danes na razpolago, morda ogrodje izboljšamo. Tako je bil prvi korak, analizirati nastalo poškodbo. Z vnosom starih načrtov v program Dassault systemes Abaqus se je prikazalo, kako je prišlo do napake in kje se prekomerno koncentrirajo obremenitve, ki privedejo do same poškodbe pri materialu. Na spletu sem zasledil stara članka, kjer so pisali, da so se v ladjedelstvu in letalstvu soočili za takrat nenavadnimi problemi razpok in po daljšem preučevanju ugotovili vzrok ter rešili nastalo poškodbo. Ta članka sta mi pomagala boljše razumeti, kaj se zgodi oziroma zakaj pride do razpok. Izkazalo se je, da robustna konstrukcija še ne pomeni avtomatsko boljša konstrukcija. Naslednji korak je bil razčleniti celo konstrukcijo in preveriti vsak posamezni del ogrodja, ali je pravilno pozicioniran ali morda odveč. Tako je sama konstrukcija postopoma dobila nekoliko spremenjeno obliko. Nekateri deli so po novem tudi z manjšimi luknjami, tako se je še dodatno zmanjšala masa. Z zamenjavo materiala za bolj kakovostnega pri bolj obremenjenih delih, je vzdržljivost ogrodja še malenkost narastla. Tudi pri konstrukcijski dokumentaciji je prišlo do sprememb. Prehodi so po novem prehodi z radijem, tako se je zmanjšala možnost razpok in kjer je večja možnost loma, je odslej še dodatno poliran radijus. Zvari pri delovni površini so odpravljeni, ker se je izkazalo, da je prevelika togost povzročala lom na stranskih nosilcih. Posebej obremenjeni deli so odrezani z vodnim curkom, da se ne poškoduje struktura materiala. Na koncu je vsaka sprememba pripomogla do zmanjšanja napetosti v sami konstrukciji in tako pripomogla do še daljše življenjske dobe ogrodja.

V diplomskem delu so bile zastavljene hipoteze, ki so hkrati predstavljale vodilo k doseganju želenega učinka, sprememb in optimizacije izdelka.

S hipotezo H1 je bila postavljena trditev, ki se nanaša na možnost zmanjšanja konstrukcije. Ta je bila do določenega obsega dosežena, saj so spremembe bile podvržene simulacijskim preračunom, ki so nato opredelili možnost dovoljenih sprememb. Učinek sprememb vzporedno z doseženo funkcionalnostjo izdelka na račun redukcije mase je tako bil dosežen.

S hipotezo H2 je bila postavljena trditev, da se po izvedenih spremembah ne smejo kazati negativni odkloni glede funkcionalnega in varnostnega vidika. Po izvedenih spremembah je ta

trditev bila dosežena, saj je izdelek dosegel vse potrebne oporne točke, ki se pri uporabi zahtevajo. S tem je tudi ta hipoteza bila potrjena.

S hipotezo H3 je bila postavljena trditev, da se s konstrukcijskimi spremembami ne bo negativno vplivalo na zmanjšanje deformacij. Z uporabo modernih računalniških orodij in izvedenih simulacij, ki so v današnjem obdobju neizogiben pripomoček pri zasnovi še tako kompleksnih sistemov, je bilo potrjeno, da je stabilnost obremenitev dosežena in s tem potrđitev zastavljene hipoteze.

S hipotezo H4 je bila postavljena trditev, da se pri izvedenih spremembah kljub visoko zastavljenim ciljem ne presežejo stroški sprememb oziroma da bodo ti čim manjši. Analiza predvidenih in nastalih stroškov je pokazala, da so izvedene spremembe na račun doseženih rezultatov v okviru zastavljenega, kar pomeni, da je učinek sprememb bil smiseln in ne presega stroškov, ki bi lahko nastali na račun nabave nove opreme. Tudi s to hipotezo je bila potrjena zastavljena trditev.

Skozi celo diplomsko nalogo sem se dosti naučil, na začetku, ali je smiselno spreminjati na primer ogrodje, ki v bistvu ni slabo zasnovano, saj je obratovalo 15 let. Spoznal sem, kako danes s programi na računalniku v kratkem času opraviš izračune na samih konstrukcijah in tako bistveno skrajšaš čas, ki bi ga drugače potreboval. Mislim, da je pomembno, da podjetje dopušča možnost izboljšati že obstoječe stroje ali določene dele, saj tako tudi naši kupci opazijo in znajo ceniti, da se trudimo vedno znova biti najboljši in konkurenčni na trgu.

8 VIRI IN LITERATURA

- Bučar, J. P. (2004). Pridobljeno iz Digitalna knjižnica Slovenje: <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-3AAAR0EV?ty=2004>
- Cgs plus. (2021). Pridobljeno iz Cgs plus: <https://www.cgsplus.si/tecaji/osnove-programa-autodesk-inventor/>
- Chieragatti, Limido, Mabru, & Suraratchai. (2019). *Modelling the influence of machined surface roughness on the fatigue life of*. Pridobljeno iz oatao.univ-toulouse: https://oatao.univ-toulouse.fr/977/1/mabru_977.pdf
- Fridholm, M. (2018). *Building with wood*. Pridobljeno iz Swedishwood: <https://www.swedishwood.com/building-with-wood>
- Gülbahçe, E., Sezgen, Ç., & Çakan, A. (2019). *TOPOLOGY DESIGN AND MODAL ANALYSIS OF A BRACKET VIA FEA*. Pridobljeno iz aeletters: <https://www.aeletters.com/wp-content/uploads/2019/10/AEL00164.pdf#:~:text=Topology%C2%A0%20optimization%C2%A0%20is%C2%A0%20effective%C2%A0%20method%C2%A0%20for%C2%A0the%C2%A0%20mechanical%C2%A0%20design%C2%A0,mass%C2%A0%20reduction%C2%A0that%C2%A0the%C2%A>
- Historical Background*. (2015). Pridobljeno iz fracturemechanics: <https://www.fracturemechanics.org/history.html>
- Huttemann. (2018). *The story of glulam's success*. Pridobljeno iz Huttemann: <https://www.huettemann-holz.de/index.php/en/glulam/history>
- J.D. John, f. (19. junij 2016). *Ship, moored at dock, suddenly cracked in half*. Pridobljeno iz offbeatoregon: <https://offbeatoregon.com/1606c.schenectady-cracked-ship-396.html>
- Keše, D. (oktober 2017). *MIG/MAG VARJENJE*. Pridobljeno iz razvoj-upd: <http://razvoj-upd.si/wp-content/uploads/2017/07/10.-MIG-MAG-VARJENJE.pdf>
- Laboratuar. (2020). *Test upogibne trdnosti*. Pridobljeno iz laboratuar: <https://www.laboratuar.com/sl/testler/mekanik-testleri/bukulme-mukavemeti-testi/>
- Ledinek. (2019). *Zacetki*. Pridobljeno iz Ledinek: <https://www.ledinek.com/zacetki>
- Ledinek, G. (2020). *SVETOVNI PROIZVAJALEC*. Pridobljeno iz Ledinek: <https://www.ledinek.com/svetovni-proizvajalec>

Stegne, V. (oktober 2009). *TEHNOLOGIJA ROČNE OBDELAVE LESA*. Pridobljeno iz študentski.net: https://studentski.net/gradivo/vis_lsm_les_tro_sno_skripta_01

Tecnia Addnode Group. (2019). Pridobljeno iz <https://www.technia.de/software/simulia/simulia-abaqus/>

Wikipedia. (Oktober 2019). *Computer-aided engineering*. Pridobljeno iz Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_engineering.

Wikipedia. (1. junij 2021). *Glued laminated timber*. Pridobljeno iz Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Glued_laminated_timber

9 PRILOGA

Priloga 1: Sestavna risba ogrodja

