



Aškerčeva 1, 1000 Ljubljana

RAZISKOVALNA NALOGA

DINAMIČNA ANALIZA MOTORNE OJNICE

MENTOR: Robert Jamnik
ŠOLSKO LETO: 2022/2023

AVTOR: Andrej Albreht
PODROČJE: Strojništvo

Borovnica, 23.2.2023

Vsebina

1. Povzetek	4
Ključne besede:	4
2. Uvod	5
3. Teoretični del	6
4. Metoda dela	8
4.1 Izhodiščni podatki	9
4.2 Izračun obremenitev	10
4.2.1 Izračun kompresijske sile	10
4.2.2 Izračun inercialne sile	11
4.2.3 Izračun sil v vmesnem položaju	12
4.3 Modeliranje vzorčnega 3D modela ojnice	14
4.3.1 MKE numerični model	14
4.3.2 FEM analiza napetosti v ZMT	15
4.3.3 FEM analiza v vmesnem položaju	16
4.3.4 FEM analiza ojnice v SMT	18
4.4 Model ojnice z okroglimi izvrtinami	20
4.4.1 FEM analiza ojnice z okroglimi izvrtinami v ZMT	20
4.4.2 FEM analiza ojnice z okroglimi izvrtinami v SMT	23
4.4.3 FEM analiza ojnice v SMT	24
4.5 Model ojnice z kvadratnimi luknjami	26
4.5.1 FEM analiza ojnice z kvadratnimi luknjami v ZMT	26
4.5.2 FEM analiza ojnice s kvadratnimi luknjami v vmesnem položaju	30
4.5.3 FEM analiza ojnice s kvadratnimi luknjami v SMT	32
4.6 Modeliranje ojnice z novo geometrijo	34
4.6.1 FEM analiza ojnice z kvadratnimi luknjami v ZMT	35
4.6.2 FEM analiza ojnice s spremenjeno geometrijo v vmesnem položaju	37
4.6.3 FEM analiza ojnice v SMT	39
4.7 Preračun primerjalnih vztrajnostnih sil modelov ojnice	41
5. Rezultati	42
5.1 Rezultati analize obremenitve v ZMT	42
5.2 Rezultati analize obremenitve v vmesnem položaju	43
5.3 Rezultati analize obremenitve v SMT	46
5.4 Primerjava mase ojnice	47
5.5 Primerjava obremenitve spodnjega ležaja v SMT	48

6.	Analiza rezultatov	48
7.	Zaključek.....	49
8.	Literatura	50
9.	Kazalo slik	51
10.	Priloga.....	Napaka! Zaznamek ni definiran.

1. Povzetek

Naslov naloge: Dinamična analiza motorne ojnice

Raziskovalec: Andrej Albreht, 4.letnik

Področje: strojništvo

Šola: Srednja strojna in kemijska šola, Šolski center Ljubljana

Mentor: Robert Jamnik – Srednja strojna in kemijska šola, Šolski center Ljubljana

Ojnica je ključen del motorja z notranjim izgorevanjem, saj služi prenosu linearne gibanja bata v rotacijsko gibanje gredi. Ojnica mora biti dovolj močna da prenese silo s katero eksplozija potisne bat pri izgorevanju. V svojem življenjskem ciklu ojnica prenaša različne obremenitve, ki pa so odvisne od vrste motorja. V tej raziskovalni nalogi sem se posvetil optimizaciji ojnice v Tomosovem motorju modela BT50, ki je moped s prostornino motorja 50cm³. Ker je tovarniška oz. standardna ojnica močno predimenzionirana sem se odločil, da raziščem kako bi bilo možno ojnico predelati (olajšati), da bi dosegli boljši izkoristek. Lažja ojnica manj bremeni ležaje na gredi ter omogoča boljše pospeške motorja saj s tem zlažšamo maso vrtečih se delov in posledično njihovo vztrajnost. Posledično je potreben manjši navor za doseg zahtevane vrtilne hitrosti, kar pomeni da je motor veliko bolj odziven. Cilj te raziskovalne naloge je modificirati ojnico in spremeniti njeno obliko, da bi s tem zmanjšali težo. V začetni fazi je bilo potrebno preučiti obremenitve, ki jih prenaša ojnica v dvotaktnem motorju ter glede na tehnične lastnosti motorja preračunati obremenitve, ki jih mora prenesti ojnica. V nadaljevanju sem se lotil modeliranja tovarniške ojnice v programu INVENTOR Professional 2022 ter s pomočjo integriranega programa za statične analize analiziral kako obstoječi model prenaša obremenitve. Na podlagi rezultatov sem nato zmodeliral dva 2 modela ojnice s predelavami in sicer en model z okroglimi izvrtinami in model z kvadratnimi odprtini ter tretji model s popolnoma spremenjeno prilagojeno obliko. Za vsak model sem nato simuliral tri različne obremenitve v treh različnih pozicijah gredi glede dobljene rezultate sem spreminjal obliko modela dokler niso bili le ti zadovoljivi. Končne rezultate sem na koncu primerjal in najbolje se je izkazala ojnica s popolnoma spremenjeno obliko, ki je od originalne lažja za skoraj 44% in sledi ojnica z okroglimi izvrtinami, ki je lažja za 16,9% , na zadnjem mestu pa je ojnica z kvadratnimi izvrtinami, ki je lažja le za 14,3%. V vseh treh ojnica pa se pojavljajo primerljive napetosti. V prihodnje bi bilo morda smiselno posvetiti več pozornosti različnim materialom kot so npr. aluminij, titan ter karbonska vlakna.

Ključne besede:

Motor z notranjim izgorevanjem, ojnica, strojništvo, optimizacija, Inventor

2.Uvod

Večina tovarniških delov v motorjih se množično proizvaja za uporabo v več različnih modelih motorjev istočasno s čimer se poenostavi zasnova motorja. Vendar pri tem nastane težava, to je, da takšen motor ni optimiziran za svoje delovanje, kar je tudi raziskovalni problem, ki je naslovljen v tej nalogi. Ker se tudi sam v prostem času ukvarjam s predelavami manjših dvotaktnih motorjev, vem, da je, ko gre za motorje z visoko zmogljivostjo pomemben vsak detajl, in je potrebno vsak del optimizirati za delovanje. Ojnica predstavlja ključen sestavni del motorja, ki pa pri predelavah večkrat ostane pozabljen, zato sem se odločil da raziščem do kakšne mere je mogoče tovarniško ojnico prilagoditi za delovanje motorja in ali je to sploh smiselno. Pojavilo se je tudi vprašanje ali je mogoče z relativno preprosto spremembo oblike možno oblikovati novo, lažjo, boljšo ojnico. V svetu predelav motorjev predvsem pri visokozmogljivih motorjev za dirkalnike (MotoGP, Formula 1, drag race,...) je bilo opravljenih že veliko raziskav in testov glede različnih oblik in materialov ter tudi uporabljenih postopkov proizvodnje. Potreba po vseh teh raziskavah pa je prišla prav zaradi tega ker so ti motorji visoko optimizirani za svoje delovanje. Sam sem se odločil, da analiziram in optimiziram ojnico v Tomosovem motorju BT50, ki sicer ni najbolj zmogljiv vendar vseeno problem ostaja enak, hkrati pa mi je to olajšalo dostop do vseh potrebnih podatkov ter dimenzij potrebnih za opravilo analize.

Glavna hipoteza te raziskovalne naloge je, da je tovarniška ojnica močno predimenzionirana in posledično težja kot potrebno, kar pomeni, da motor ni optimalno izkoriščen in da po nepotrebnem dodatno bremenimo ležaje in gred motorja. Naslednja hipoteza je, da je z manjšimi posegi v ojnico le to mogoče olajšati brez da bi z tem kritično zmanjšali nosilnost. Ter slednja hipoteza je, da je z preprosto spremembo oblike ojnice možno le to močno olajšati brez večje spremembe nosilnosti v primerjavi s posegom v tovarniško ojnico. Cilj te raziskovalne naloge je prikazati povezavo med obliko in nosilnostjo ojnice ter prikazati kako oblika vpliva na optimizacijo motorja.

3. Teoretični del

Z področja optimiziranja in zasnove je bilo opravljenih že precej raziskav iz različnih področji. Glavni razlogi za optimizacijo in zmanjševanje teže ojnice sta, da to pomaga izboljšati učinkovitost motorja, povečati moč motorja ter zmanjšati obrabo motornih komponent. Po pregledu predhodnih raziskav in obstoječe literature se ojnice optimizira glede na slednje kriterije:

1. Izbor materialov: Izbor materialov je ključnega pomena za optimizacijo mase brez kompromisov pri trdnosti in trajnosti. Najpogostejše uporabljeni materiali za ojnice v komercialnih motorjih so jeklene zlitine in aluminijeve zlitine. Jeklene zlitine kot so AISI4340 oz. 36CrNiMo (1.6511) in AISI4142 oz. 42CrMo4 (1.7225) so priljubljene za svoje trdnosti in vzdržljivosti. Aluminijeve zlitine, kot so 7075 in 2024 pa so lažje od jeklenih zlitin in imajo dobro razmerje med trdnostjo in težo, kar jih naredi primerne za uporabo v motorjih kjer je zmanjšanje teže prioriteta. Čedalje bolj pa na trg prihajajo sintrane ojnice iz različnih zmesi kovinskih prahov, ki ponujajo odlično trdnost in vzdržljivost po nižji ceni v primerjavi s tradicionalnimi postopki kovanja. Medtem pa se v sodobnih dirkalnih motorjih, kjer sta visoka zmogljivost in minimalna masa ključnega pomena, vse bolj uporabljajo materiali, kot so titan in zlitine titana, ter napredni kompoziti za povezave. Titan in njegove zlitine imajo odlično razmerje med trdnostjo in težo, kar jih naredi idealne za uporabo v visokozmogljivih motorjih. Napredni kompoziti, kot so ogljikova vlakna, ponujajo še večje zmanjšanje teže in visoko trdnost v primerjavi s tradicionalnimi kovinskimi zlitinami, vendar je izdelava veliko bolj zahtevna in dražja. Vendar je uporaba teh materialov običajno omejena zaradi stroškov, rapoložljivosti in regulatornih zahtev.
2. Optimizacija oblike: optimiziranje oblike ojnice predstavlja iskanje ravnovesja med trdnostjo, težo in vzdržljivostjo pri upoštevanju namena uporabe in zahtev zmogljivosti motorja. Pri zasnovi oblike ojnice je potrebno upoštevati naslednje dejavnike:
 1. Izbor materiala: Izbor pravega materiala je ključen pri doseganju optimalnega oblikovanja ojnice. Različni materiali imajo različne lastnosti, ki vplivajo na trdnost, težo in vzdržljivost. Izbor materiala naj bo izbran namenu uporabe in zahtevah zmogljivosti motorja.
 2. Oblika prečnega prereza: prečni prerez lahko zelo vpliva na njeno trdnost in togost. Ojnice s prečnim prerezom H ali I nudijo boljšo trdnost in togost v primerjavi s krožnimi ali pravokotnimi prečnimi prerezi.
 3. Dolžina in širina: Dolžina in širina ojnice prav tako vplivata na njeno trdnost in togost. Daljše in širše ojnice nudijo boljšo trdnost in togost, vendar povečajo tudi težo motorja. Dolžina in širina ojnice morata biti optimizirani za doseg želenega ravnovesja med trdnostjo in težo.
 4. Oblika velikega in malega konca: oblika velikega in malega konca ojnice prav tako vpliva na njeno trdnost in vzdržljivost. Dobro oblikovan velik in mali konec lahko izboljšata trdnost in vzdržljivost ter zmanjšata težo.
 5. Oblikovanje ležaja: oblikovanje ležaja ojnice je treba optimizirati da se zmanjša trenje in obraba. Zagotoviti je treba ustrezno mazanje in odmik, da se zagotovi največja zmogljivost in vzdržljivost.
 6. Postopek proizvodnje: proizvodni postopek uporabljen za izdelavo ojnice prav tako vpliva na njeno trdnost, težo in vzdržljivost. Postopek je treba optimizirati za doseg želenega ravnovesja med stroški kakovostjo in zmogljivostjo skupaj gledano optimizacija oblikovanja ojnice zahteva skrbno ravnovesje med trdnostjo težo in vzdržljivostjo ter upoštevanjem namena uporabe in zahtev

zmogljivosti motorja zahteva razumevanje načel strojništva, materialov in poznavanje proizvodnih metod.

3. Metoda končnih elementov (FEM-Finite Element Method): FEM Analiza je močna orodje, ki se lahko uporabi za optimizacijo oblikovanja različnih strojnih elementov. FEM Analiza omogoča inženirjem simuliranje obnašanja strojnih elementov pod različnimi obremenitvami in pogoji. S tem lahko inženirji ugotovijo območja strojnega elementa, ki so izpostavljena visokim napetostim in prilagodijo obliko, tako da zmanjšajo koncentracije napetosti in izboljšajo trdnost in vzdržljivost komponente.

Ena od prednosti FEM analize je da omogoča inženirjem hitro in stroškovno učinkovito raziskovanje širokega spektra oblikovanja. S 3D modeliranjem ojnice in simuliranjem obremenitev in mejnih pogojev, lahko preizkusimo različne materiale, geometrije in postopke izdelave, da najdemo optimalno obliko za določeno aplikacijo.

v primeru oblikovanja ojnice se FEM analiza uporablja z simuliranje napetosti ki nastanejo v ojnici zaradi obremenitev, ki jih prenaša. s tem lahko določimo tudi maksimalne obremenitve ki jih bo ojnica še prenesla, prikaže nam tudi faktor varnosti in deformacije, ki nastanejo kot posledica obremenitve. na splošno je FEM analiza dragoceno orodje, ki lahko pomaga inženirjem optimizirati oblikovanje strojnih delov za izboljšano trdnost, vzdržljivost in učinkovitost. Omogoča bolj podroben vpogled v obnašanje komponente pod različnimi obremenitvami, kar lahko privede do učinkovitejšega oblikovanja.

4. Postopki izdelave in obdelave : Najpogostejša postopka izdelave ojníc sta kovanje in litje, manj pogosti pa so sintranje, 3D SLM tiskanje ter CNC obdelava iz surovega kosa materiala.

Pri kovanju s pomočjo kovaških matric s stiskanjem pod visokim tlakom oblikujemo surovce, pri litju pa z litjem v kalupe. Kljub temu, da oba načina proizvedeta močne in vzdržljive izdelke se kovanje šteje za boljšo metodo saj imajo kovani izdelki boljše mehanske lastnosti ter bolj homogeno strukturo kot liti izdelki.

Obdelave površin ojníc vključujejo, premaze, prevleke in druge postopke površinske obdelave, ki izboljšajo zmogljivost in trajnost. Te obdelave lahko zmanjšajo trenje, preprečujejo obrabo, korozijo, ter izboljšujejo skupno zmogljivost motorja. Najpogostejše površinske obdelave predstavljajo: peskanje, nitridiranje, cementiranje, kaljenje, eloksiranje, in poliranje.

3.1 Material 42CrMo4

AISI4142 oz. 42CrMo4 (1.7225) je vrsta legiranega jekla z visoko trdnostjo, žilavostjo, ki se najpogosteje uporablja za statično in dinamično obremenjene komponente v vozilih, motorjih in strojih. Uporablja se za dele kot so zobniki, gredi, ojnice in ostale komponente, ki prenašajo visoke obremenitve. Ima visoko mejo utrujenosti in dobro odpornost na udarce. Material je tudi v knjižnici materialov programa Autodesk Inventor 2022, kar olajša potek statičnih analiz. V našem primeru predpostavimo, da je ojnica iz kovana in, da je material poboljšan na površinsko trdnost 380HB (trdota po Brinellu).

Enakovredni standardi:

JIS	AISI	GB	BS	GOCT	ISO
JIS SCM4	4140/4142	GB 3077 42CrMo	708M40 / 708A42 / 709M40	38XM	683/1 3

Kemična sestava

C	Si	Mn	Ni	Kr	Mo	P	S
0,38-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	≤0,3	0,9-1,2	0,15-0,25	≤ 0,035	≤ 0,035

Mehanske lastnosti

Natezno trdnost (MPa)	Moč donosa 0,2% (MPa)	Raztezanje -% v 50 mm (min.)	Trdota, HB
≥1080 (110)	≥930 (95)	12	≤217

Slika 1: Lastnosti materiala 42CrMo4

4. Metoda dela

Po temeljitem pregledu literature je nastopil čas, da izberem svoj vzorčni model ojnice iz katerega bom izhajal. Za vzorec sem izbral tovarniško ojnico iz motorja Tomos BT50, za dotično ojnico sem se odločil zato, ker sem imel dostop do gredi z ojnico iz tega motorja, kar je olajšalo dostop do potrebnih dimenzij za modeliranje in kasneje FEM analize. Sam potek izvedbe raziskovalne naloge je potekal sistematično v vrstnem redu po katerem si sledijo naslednja podpoglavja.

4.1 Izhodiščni podatki

Za izračun obremenitev ojnice so potrebni podatki o motorju v katerem je ojnica uporabljena oz. v katerem deluje. V mojem primeru je to motor iz mopeda Tomos BT 50. Za preračun sil, ki delujejo na ojnico je bilo najprej potrebno pridobiti tehnične lastnosti motorja. Večino tehničnih lastnosti je pridobljenih iz raznih spletnih strani in forumov in so prikazane v spodnji preglednici. V tej fazi so bili tudi pridobljene vse potrebne dimenzije ojnice, ki so ključne za izračune in modeliranje vzorčne ojnice.

Preglednica 1: tehnične lastnosti motorja

Tomos BT50	
Tip motorja	2-taktni zračno hlajen
Premier bata	38mm
Hod bata	43mm
Max.moč	4,5kW (8000min ⁻¹)
Max.navor	5Nm (7500min ⁻¹)
Prostornina valja	48,77cm ³
Kompresijsko razmerje	11:1
Masa bata s sornikom	74g

Preglednica 2: dimezije potrebne za modeliranje

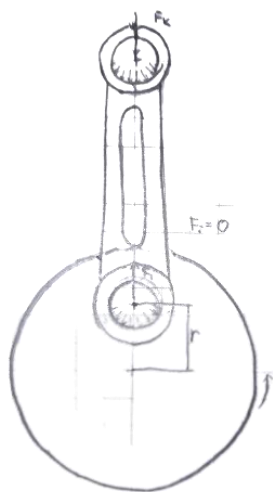
Tovarniška ojnica Tomos BT50	
Razdalja med ležajema	90mm
Premier velikega ležišča	20mm
Premier manjšega ležišča	15mm
Širina ležišča	10mm
Debelina ročice	6mm
Širina utora	5mm
Globina utora	2mm

4.2 Izračun obremenitev

Pri izračunu obremenitev je pomembno, pravilno predpostavimo delovne pogoje ter prijemališča sil. V našem primeru ojnico bremeniti dve glavni sili, kompresijska sila F_k , ki nastane ob eksploziji goriva v zgorevalnem prostoru in inercialna sila F_i , ki nastane zaradi mase vrtečih se delov. Ker v našem primeru obravnavamo 2-taktni motor je ojnica vedno obremenjena na tlak za razliko od ojníc v 4-taktnih motorjih. Kljub temu pa se v ojnici pojavljajo tako tlačne kot natezne napetosti. Glede na delovanje motorja predpostavimo, da bo kompresijska sila največja, ko je bat v zgornji mrtvi točki (ZMT), inercialna sila pa bo največja v spodnji mrtvi točki (SMT), ko je pospešek gredi največji. To sta glavni obremenitvi, ki jih prenaša ojnica aksialno saj je v ZMT in SMT ojnica vzporedna z osjo valja, v vseh vmesnih položajih pa je ojnica obremenjena tudi radialno. Zato sem se odločil, da izračunam še obremenitev na ojnico v položaju med ZMT in SMT, ko je kot med osjo ojnice in valja največji.

4.2.1 Izračun kompresijske sile

Kompresijska sila F_k nastane, ko eksplozija v zgorevalnem prostoru pritiska na površino bata. Predpostavimo, da motor obratuje pri temperaturi 22°C ter pri okoljskem tlaku 1bar. Upoštevamo kompresijsko razmerje 11:1, da jestiskanje mešanice je izentropo in da mešanica izgoreva z temperaturo 1850°C ter da je izgorevanje izohoro.



Slika 2: Obremenitev ojnice v ZMT.

K.....razmerje specifičnih toplot
 P_1atmosferski tlak
 T_1temperatura okolice
 0,001134
 T_2temperatura stisnjene mešanice
 T_3temperatura zgorevanja
 Dpremer bata
 P_2tlak stisnjene mešanice
 P_3tlak izgorevanja
 Apovršina bata

$$T_1 = 296,15\text{K}$$

$$D = 38\text{mm}$$

$$k = V_1/V_2 = 11$$

$$T_3 = 2124,15\text{K}$$

$$K = 1.40$$

$$P_3 = ?$$

$$P_2 = ?$$

$$T_2 = ?$$

$$A = ?$$

$$F_k = ?$$

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0,038^2}{4}$$

$$A = 0,001134\text{m}^2$$

$$p_2 = p_1 \times (V_1/V_2)^K$$

$$p_2 = 1 \times 11^{1,4}$$

$$p_2 = 28,7 \text{ bar}$$

$$T_2 = T_1 \times (V_1/V_2)^{(K-1)}$$

$$T_2 = 296,15 \times 11^{1,4-1}$$

$$T_2 = 772,8\text{K}$$

$$p_3 = \frac{p_2 \times T_2}{T_1}$$

$$p_3 = \frac{28,7 \times 2124,15}{772,8}$$

$$p_3 = 78,9 \text{ bar}$$

$$F_k = p_3 \times A$$

$$F_k = 78,9 \times 10^5 \times$$

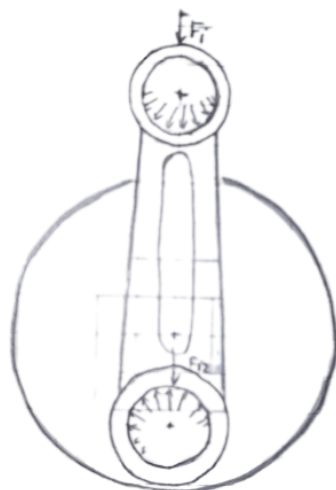
$$F_k = 8947.26\text{N}$$

F_Kkompresijska sila

kkompresijsko razmerje

4.2.2 Izračun inercijske sile

Inercijska ali vztrajnostna sila nasatne zaradi pospeška premikajočih se delov znotraj motorja. V našem primeru bomo računali inercijsko silo batnega sestava (bat in sornik) ter inercijsko silo ojnice. Inercijska sila ojnice ima prijemališče v sredini zgornjega ležišča in obremenjuje spodnjo polovico ležšča na tlak. Med tem, ko inercijska sila obremenjuje zgornjo polovico spodnjega ležišča. Inercijsko silo zapišemo kot zmnožek pospeška in mase.



$$h = 43 \text{ mm}$$

$$m_b = 74 \text{ g}$$

$$m_o = 65 \text{ g}$$

$$n = 8000 \text{ min}^{-1}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$F_{ib} = ?$$

$$\omega = ?$$

$$r = ?$$

$$F_{io} = ?$$

$$r = \frac{h}{2} = \frac{43}{2} = 21,5 \text{ mm}$$

$$\omega = (2\pi \times n) : 60$$

$$\omega = (2\pi \times 8000) : 60$$

$$\omega = 837,75 \text{ rad/sec}$$

$$F_{ib} = m_b \times r \times \omega^2 \times \sin \alpha$$

$$F_{ib} = 0,074 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times 1$$

$$F_{ib} = 1116,60 \text{ N}$$

Slika 3: Obremenitev ojnice v SMT.

$$F_{io} = m_o \times r \times \omega^2 \times \sin \alpha$$

$$F_{io} = 0,065 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times 1$$

$$F_{io} = 980,8 \text{ N}$$

hhod bata

m_bmasa batnega sestava

m_omasa ojnice

nvrtilna hitrost motorja

αkot osi ojnice

F_{ib}inercijska sila batnega sklopa

ωkotna hitrost

rradij gredi

F_{io}inercijska sila ojnice

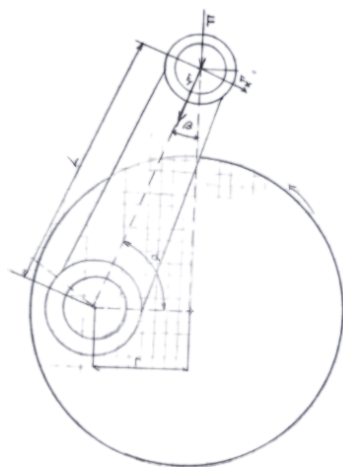
4.2.3 Izračun sil v vmesnem položaju

Vmesni položaj predstavlja pozicijo gredi v točki 45° po ZMT, ko je kot med sjo ojnice in valja največji. V tej poziciji ojnico bremeni rezultanta sil, inercialne sile batnega sklopa in kompresijske sile, le ta bremeni spodnjo polovico zgornjega ležišča.

Rezultanto sil nato razdelimo na x in y vektorja za lažjo simulacijo obremenitve v FEM analizi.

V tej poziciji je ojnica obremenjena tako aksialno kot radialno za raziko od obremenitev v ZMT IN SMT. Predpostavimo, da je sprememba tlaka izohora, predhodni pogoji pa so enaki kot pri izgorevanju. Pri vztrajnostni sili pa moramo upoštevati, da bo pospešek manjši kot v SMT.

$P_1 = 78,9 \text{ bar}$
 $V_1 = 4,43 \text{ cm}^3$
 $m_b = 0,074 \text{ kg}$
 $m_o = 0,065 \text{ kg}$
 $d = 38 \text{ mm}$
 $h = 43 \text{ mm}$
 $\kappa = 1,4$
 $A = 0,001134 \text{ m}^2$
 $r = 21,5 \text{ mm}$
 $L = 90 \text{ mm}$
 $V_2 = ?$
 $p_2 = ?$
 $\alpha = ?$
 $\beta = ?$
 $F_k = ?$
 $F_{ib} = ?$
 $F_{io} = ?$
 $F_r = ?$



Slika 4: Obremenitev ojnice v vmesnem stanju.

p_1tlak izgorevanja
 P_2tlak v vmesnem položaju
 V_1izgorevalni volumen
 V_2volumen vmesnega položaja
 m_bmasa batnega sestava
 m_omasa ojnice
 dpremer bata
 hhod bata
 rradij gredi
 Apovršina bata
 Lrazdalja med ležiščema
 κrazmerje specifičnih toplot
 αkot med x osjo in osjo ojnice
 βkot med osjo ojnice in osjo valja

$$V_2 = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times \frac{h}{2}$$

$$V_2 = \frac{38^2 \times \pi}{4} \times \frac{43}{2}$$

$$V_2 = 24383 \text{ mm}^3 = 24,38 \text{ cm}^3$$

$$p_2 = p_1 \times (V_1/V_2)^{1,4}$$

$$p_2 = 78,9 \times (4,43/24,38)^{1,4}$$

$$p_2 = 7,24 \text{ bar}$$

$$F_K = p_2 \times A$$

$$F_K = 78,9 \times 10^5 \times 0,001134$$

$$F_K = 821 \text{ N}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{r}{L}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{21,5}{90}$$

$$\alpha = 76,17^\circ$$

$$F_{ib} = m_b \times r \times \omega^2 \times \sin \alpha$$

$$F_{ib} = 0,074 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times \sin 76,17^\circ$$

$$F_{ib} = 1084,23 \text{ N}$$

$$F_y = F_r \times \cos \alpha$$

$$F_y = 1905,23 \times \sin 76,17^\circ$$

$$F_y = 1850 \text{ N}$$

$$F_{io} = m_o \times r \times \omega^2 \times \sin \alpha$$

$$F_{io} = 0,065 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times \sin 76,17^\circ$$

$$F_{io} = 952,37 \text{ N}$$

$$F_x = F_r \times \sin \alpha$$

$$F_x = 1905,23 \times \cos 76,17^\circ$$

$$F_x = 455,43 \text{ N}$$

$$F_r = F_k + F_{ib}$$

$$F_r = 821 + 1084,23$$

$$F_r = 1905,23 \text{ N}$$

F_kkompresijska sila
 F_{ib}inercialna sila batnega sestava
 F_{io}inercialna sila ojnice

sestava F_rrezultanta kompresijske sile in inercialne sile batnega

F_x in F_y vektorja rezultante sil v X in Y smereh

4.3 Modeliranje vzorčnega 3D modela ojnice.

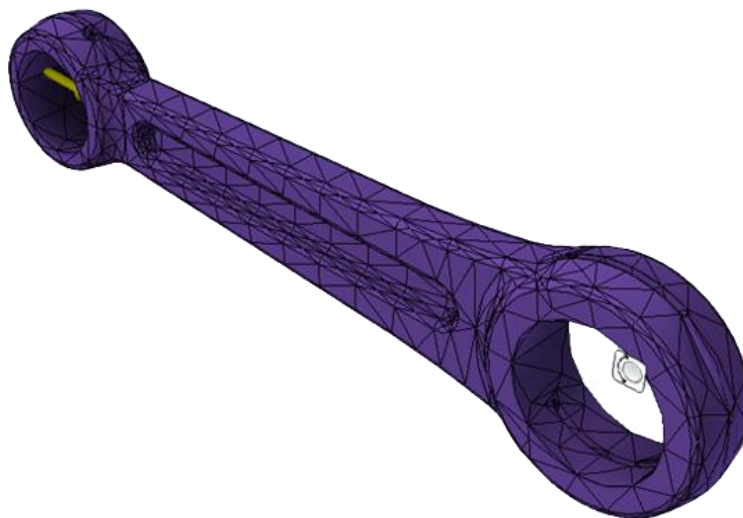
3D model je bil zmodeliran po zgledu tovarniške ojnice iz Tomosovega motorja BT50. Vse potrebne dimenzije so bile pridobljene direktno iz ojnice. Sledilo je modeliranje v CAD programu Autodesk Inventor Professional 2022. Osnovne dimenzije so predhodno že predstavljene. 3Dmodel je bil osnova iz katere sem izhajal, na podlagi statične analize napetosti pa so bili nato izvedene spremembe. Predhodno smo že predstavili tri različne obremenitvene primere, ki so služili kot izhodišče za FEM analizo.



Slika 5: numerični model vzorčne ojnice.

4.3.1 MKE numerični model

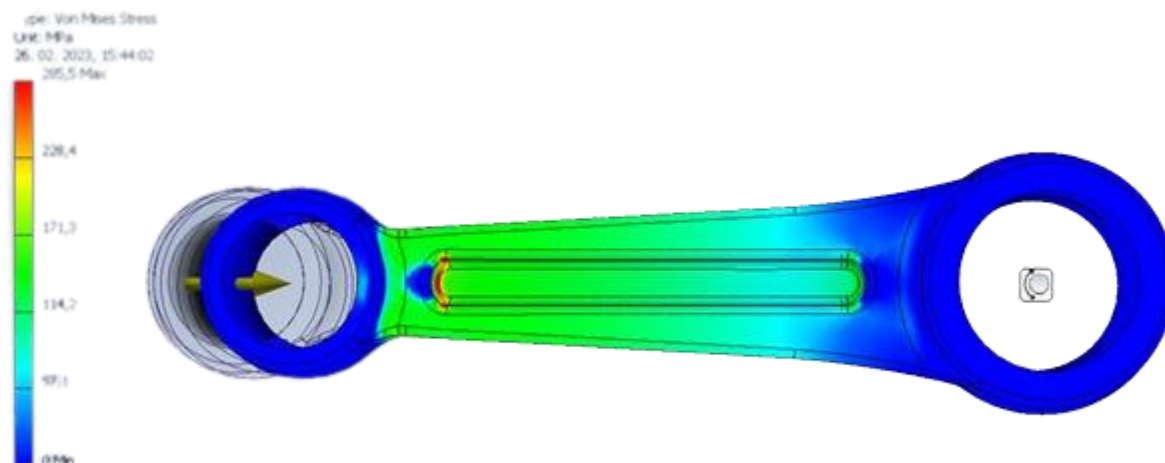
Za FEM analizo potrebujemo tudi MKE (model končnih elementov) numerični model, ki predstavlja izhodišče preko katerega program simulira napetosti v posameznem območju mreže elementa. Program znotraj Inventorja 3D model samodejno pretvori v mrežo končnih elementov.



Slika 6: model končnih elementov.

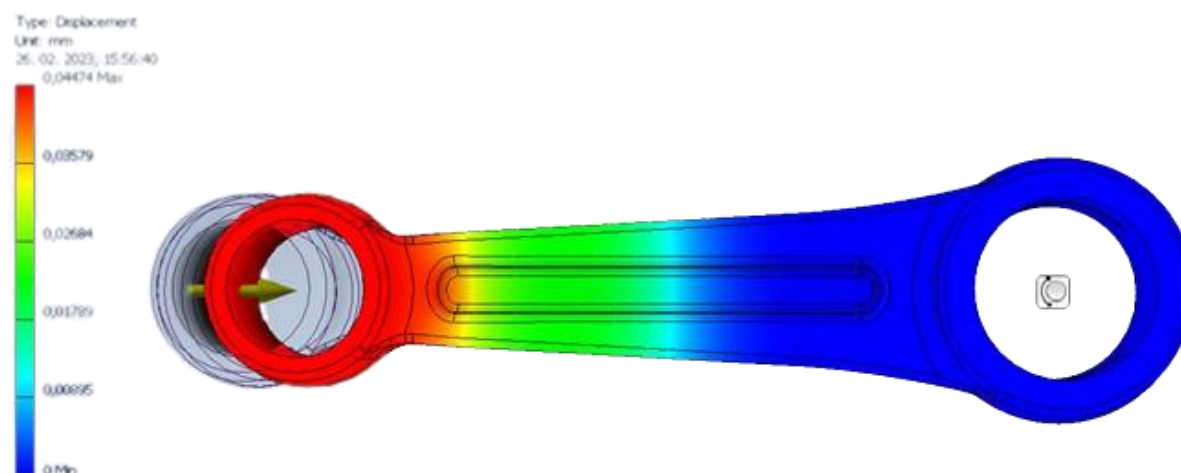
4.3.2 FEM analiza napetosti v ZMT

V ZMT je obremenitev ojnice največja. Pri analizi z končnimi elementi je zelo pomembno, da pravilno predpostavimo omejitve in prijemališča sil. Obremenitev smo predhodno že izračunali, predpostavimo, da je prijemališče sile v središču sornika, obremenitev simuliramo tako, da spodnje ležišče fiksno vpnemo s funkcijo zatiča (pin constraint), zgornje ležišče pa obremenimo z izračunano silo (8959N) s funkcijo ležaja (bearing load). Po opravljeni simulaciji dobimo rezultate, zanimajo nas predvsem napetosti po Misesu, deformacija in pa faktor varnosti.



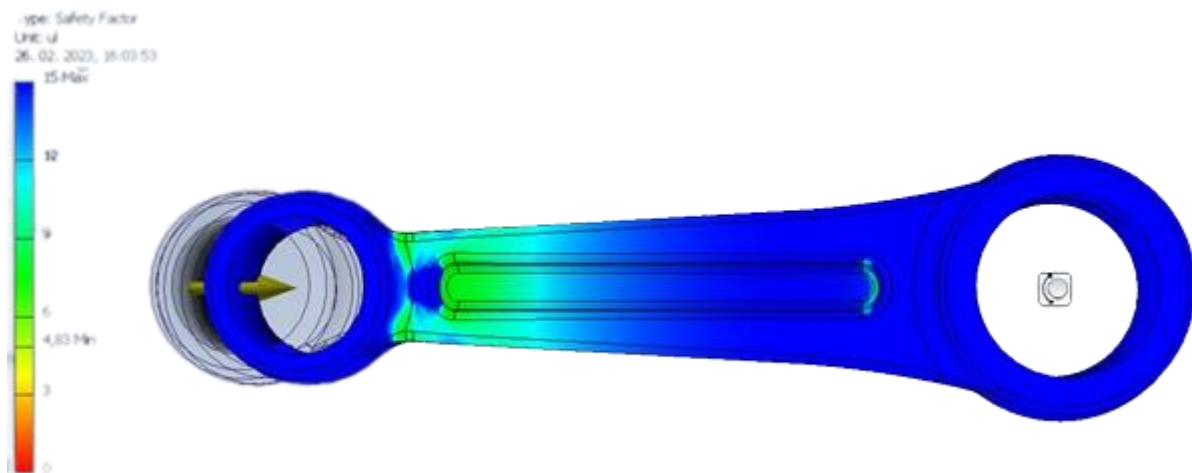
Slika 7: napetosti v ojnici po Misesu.

Iz slike 6 so razvidne koncentracije napetosti v ojnici, le te se pojavijo pod zgornjim ležiščem v radiju utora, v tej regiji napetosti dosežejo največjo vrednost 285,5Mpa. Drugod pa so napetosti sorazmerno dobro porazdeljene, razvidno je, da sta obe ležišči močno predimenzionirani saj so tam najmanjše napetosti.



Slika 8:deformacije ojnice.

Iz slike 7 so razvidne deformacije v ojnici, najbolj se deformira ojnica v zgornjem delu, kjer je največja deformacija 0,045mm. Od sredine naprej pa vidimo da deformacije praktično ni več. Iz prejšnje slike napetosti lahko sklepamo, da so deformacije elastične saj nismo presegli dopustne napetosti materiala.

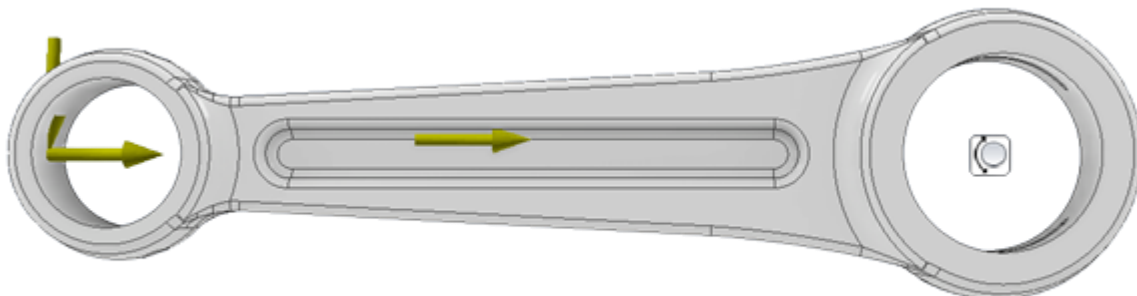


Slika 9: faktor varnosti glede na napetosti v ojnici.

Iz slike 8 lahko vidimo kako se faktor varnosti spreminja glede na napetosti, ki nastanejo v ojnici glede na obremenitev. V našem primeru je minimalni faktor varnosti 4,83 to pomeni da je ojnica za več kot 4-krat predimenzionirana.

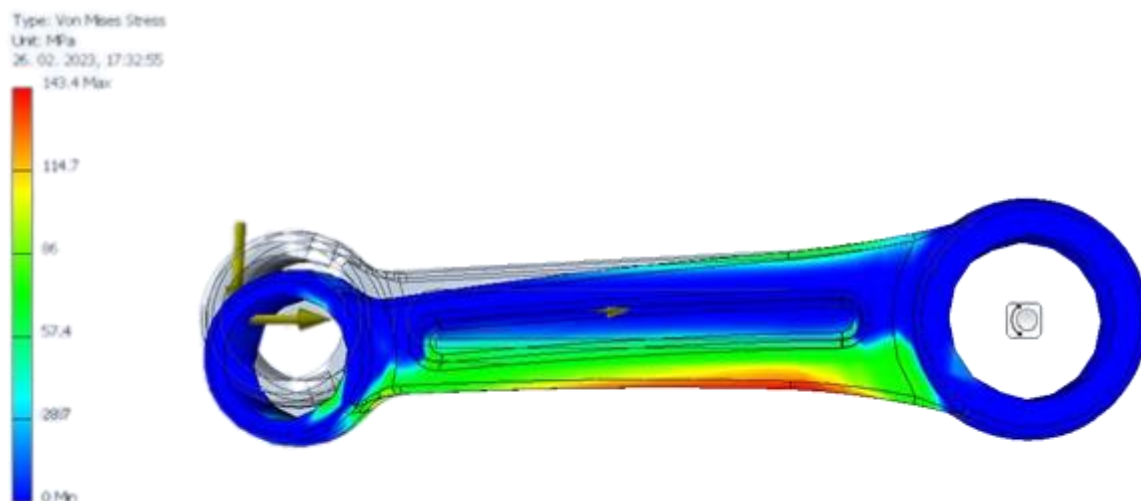
4.3.3 FEM analiza v vmesnem položaju

V vmesnem položaju je ojnica obremenjena nekoliko drugače kot v ZMT. Ker je ojnica pod kotom ni obremenjena samo v aksialni smeri vendar tudi v radialni smeri. Sile obremenitve smo predhodno že izračunali vektor sile F_x je 455,43N in vektor F_y je 1850N. V FEM analizi ponovno predpostavimo, da je ojnica fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) obremenitev pa simuliramo tako da s pomočjo funkcije ležajne obremenitve (bearing load) zgornje ležišče obremenimo aksialno z silo F_y in radialno s silo F_x , inercialno silo pa simuliramo s funkcijo gravitacije (gravity load) tako, da predpostavimo glede na inercialno silo iz enačbe $F = ma$, da je pospešek 14646 m/s^2 . Prijemališče sil v simulaciji je v središču ležišča vendar jih Inventor prikaže drugače.



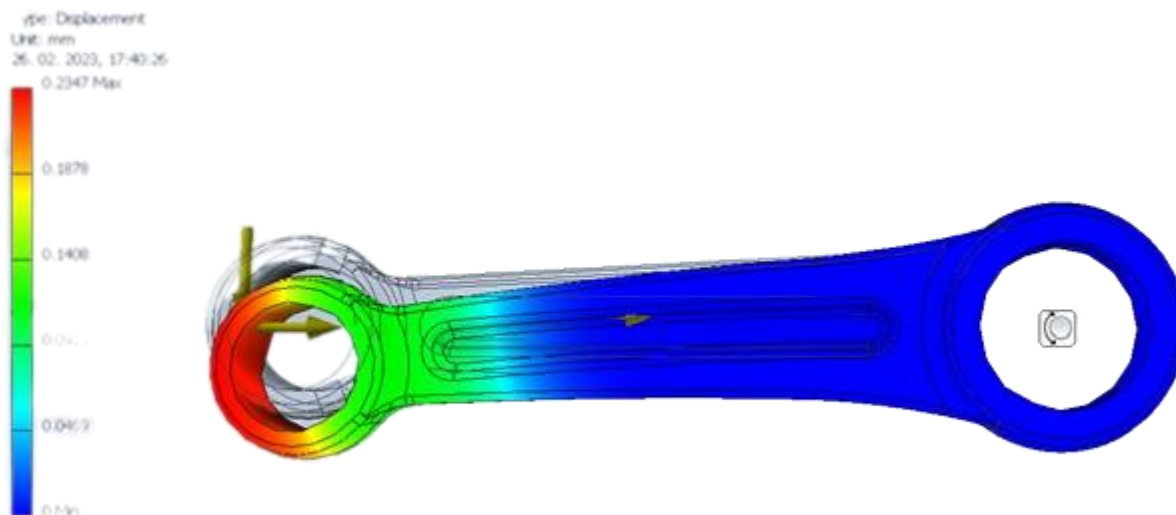
Slika 10: prikaz obremenitev na ojnico.

Na sliki 10 so razvidne napetosti v ojnici, ki nastanejo zaradi obremenitev, ki jih prenaša v vmesnem položaju 45° po ZMT. Največja napetost je 143,4 MPa, kar je v primerjavi z napetostmi v ZMT skoraj pol manj. Najvišja napetosti se pojavljajo na spodnjem delu in naraščajo proti točki vpetja. V tem primeru je ojnica obremenjena na upogib.



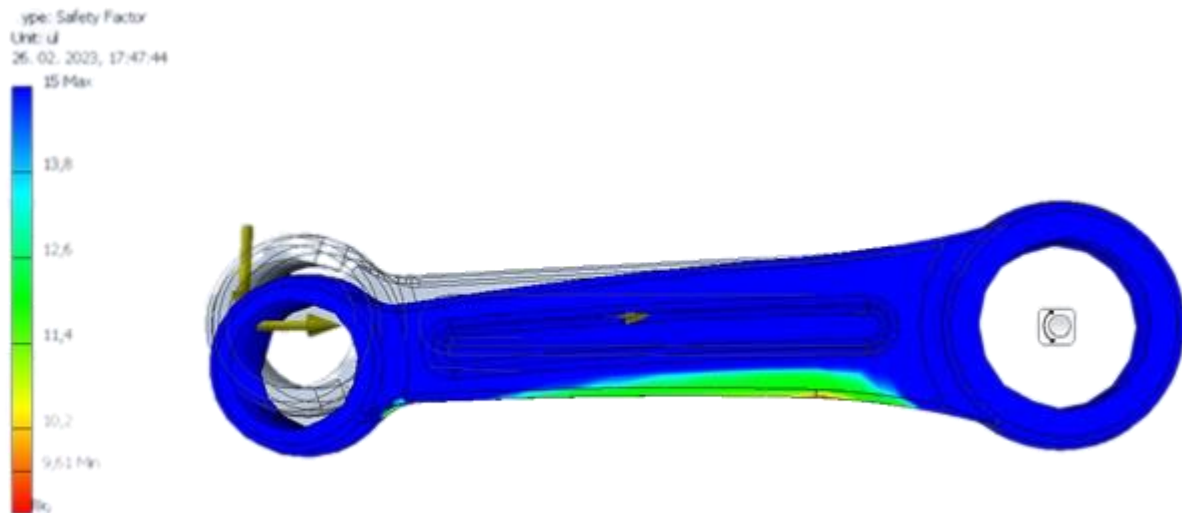
Slika 11: napetosti po Misesu v vmesnem položaju ojnice.

Na spodnji sliki je prikazana deformacija ojnice v vmesnem položaju, iz slike je razvidno, da je povprečje največji na koncu ojnice kjer je prijemališče sil. Maksimalna deformacija je 0,234 mm. Deformacija ni plastična.



Slika 12: prikaz deformacije ojnice v vmesnem položaju.

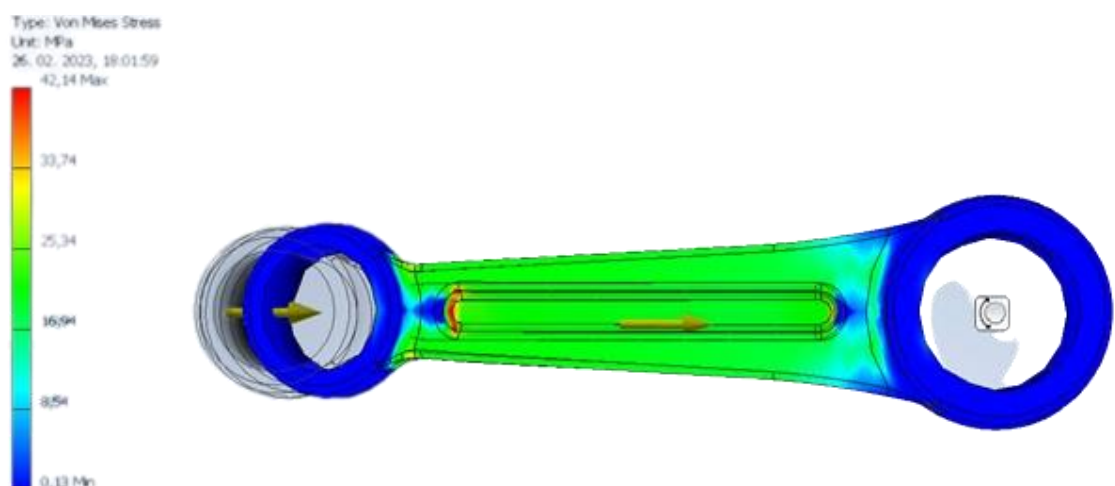
Na spodnji sliki je prikazana vrednost faktorja varnosti glede na napetosti v ojnici v vmesnem položaju. Minimalni faktor varnosti v tem stanju je 9,61 kar pomeni da ojnica več kot z lahkoto prenese to obremenitev.



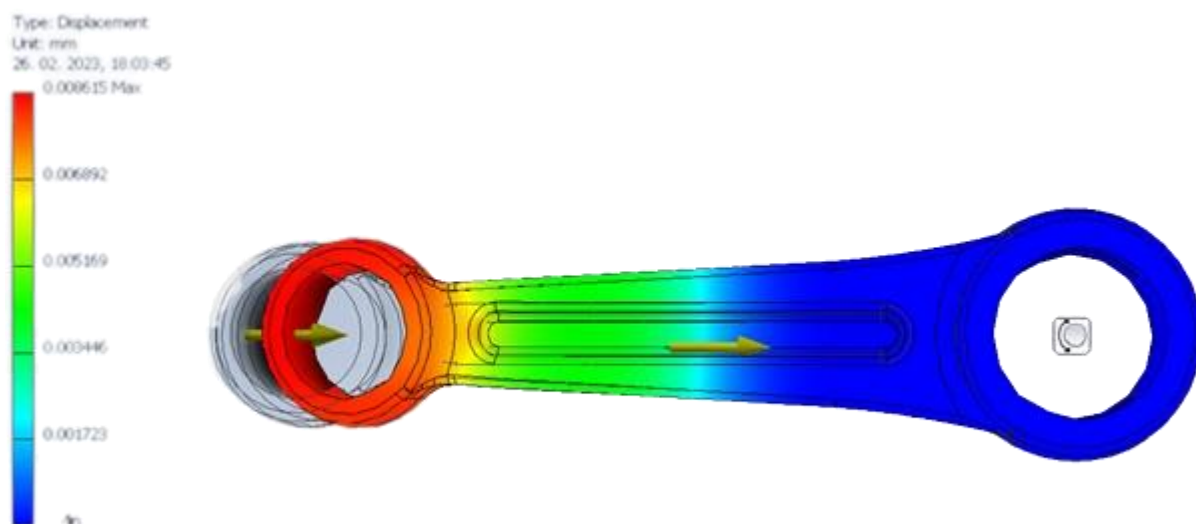
Slika 13: faktor varnosti glede na napetosti v vmesnem položaju.

4.3.4 FEM analiza ojnice v SMT

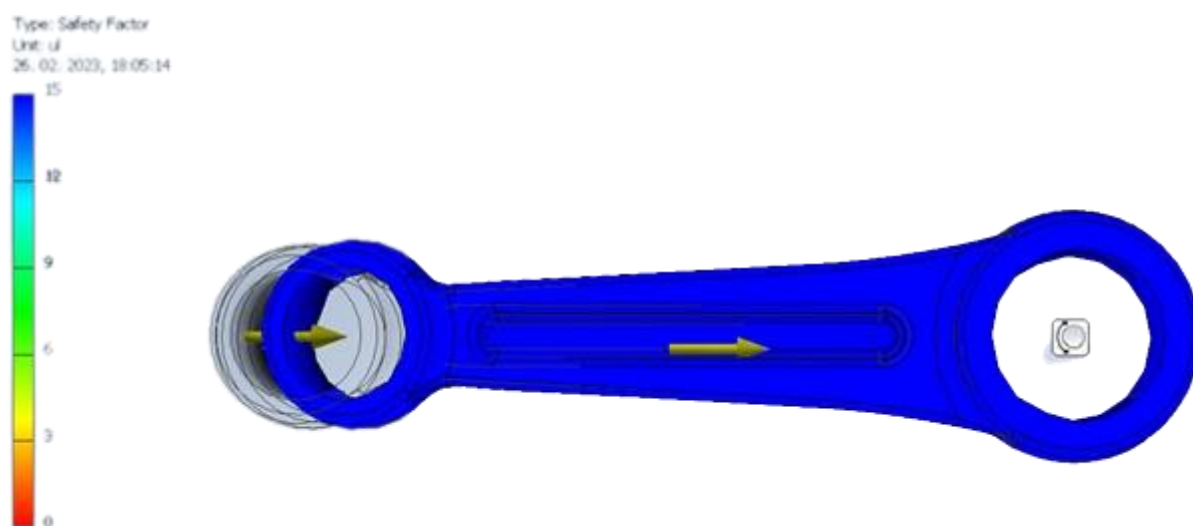
Ojnica je v SMT obremenjena zgolj z inercialno silo batnega sestava in inercialno silo ojnice. Tako kot v položaju ojnice v ZMT tudi tokrat predpostavimo, da je ojnica v spodnjem ležišču fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) in ojnico v zgornjem ležišču obremenimo z funkcijo ležaja na inercialno silo batnega sestava 1116,60N, inercialno silo ojnice pa prikažemo z funkcijo gravitacije in uporabimo pospešek v tokratnem primeru 15089 m/s^2 . Obnašanje ojnice pod to obremenitvijo bo zelo podobno, kot v ZMT le da bodo napetosti in deformacija manjše faktor varnosti pa večji. Ta položaj prikažemo zgolj za lažjo predstavo obremenitev, ki jih ojnica prenaša v ciklu delovanja. Iz slik je razvidno, da je maksimalna napetost po Misesu 42,14MPa, največja deformacija je 0,0086mm, in faktor varnosti ni nikjer manjši od 15.



Slika 14: napetosti v ojnici v SMT po Misesu.



Slika 15: Deformacija ojnice v SMT.



Slika 16: Faktor varnosti glede na napetosti v SMT.

4.4 Model ojnice z okroglimi izvrtinami

Glede na FEM analizo tovarniške ojnice je razvidno, da je konkretno predimenzionirana in, da je še veliko prostora za izboljšave. Naslednji korak torej predstavlja modificiranje ojnice, da zmanjšamo težo in tako optimiziramo geometrijo. Najlažja metoda lajšanja je vrtanje okroglih lukenj, zato sem vzorčni model ojnice nekoliko spremenil in sicer tako, da sem izvrtal 8 izvrtin velikosti 5-11mm, ostalo pa je ostalo nespremenjeno. Masa nove ojnice je 0,065kg v primerjavi z maso vzorčne 0,078kg. Tudi za to ojnico sem izvedel tri statične analize v enakih položajih z enakimi pogoji, upoštevati pa moramo, da je nova ojnica lažja in posledično je manjša tudi inercialna sila ojnice.



Slika 17: Model ojnice z okroglimi izvrtinami.

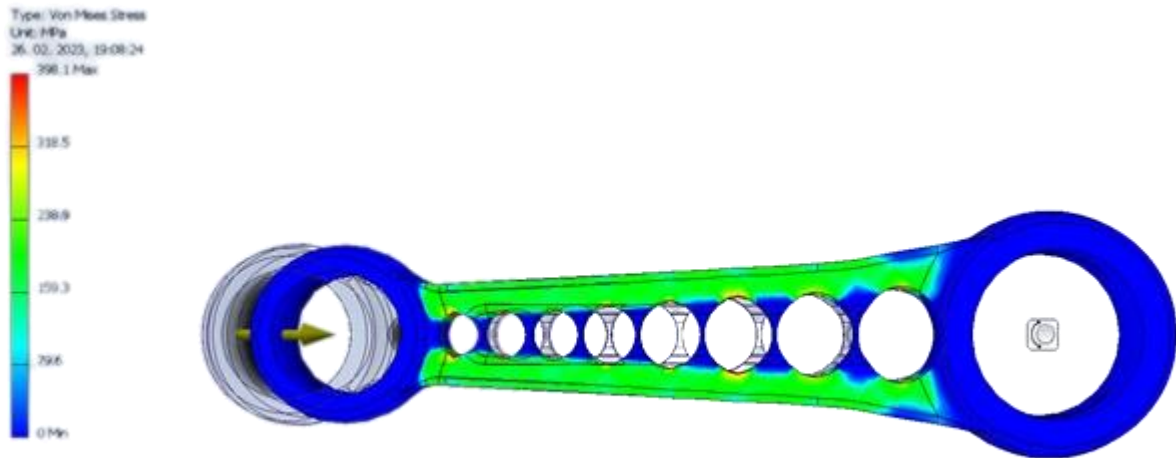
4.4.1 FEM analiza ojnice z okroglimi izvrtinami v ZMT.

V ZMT je obremenitev ojnice največja. Pri analizi z končnimi elementi je zelo pomembno, da pravilno predpostavimo omejitve in prijemališča sil. Obremenitev smo predhodno že izračunali, predpostavimo, da je prijemališče sile v središču sornika, obremenitev simuliramo tako, da spodnje ležišče fiksno vpnemo s funkcijo zatiča (pin constraint), zgornje ležišče pa obremenimo z izračunano silo (8950N) s funkcijo ležaja (bearing load). Po opravljeni simulaciji dobimo rezultate, zanimajo nas predvsem napetosti po Misesu, deformacija in pa faktor varnosti. Tudi tokrat moramo pred tem 3D model pretvoriti v model končnih elementov.

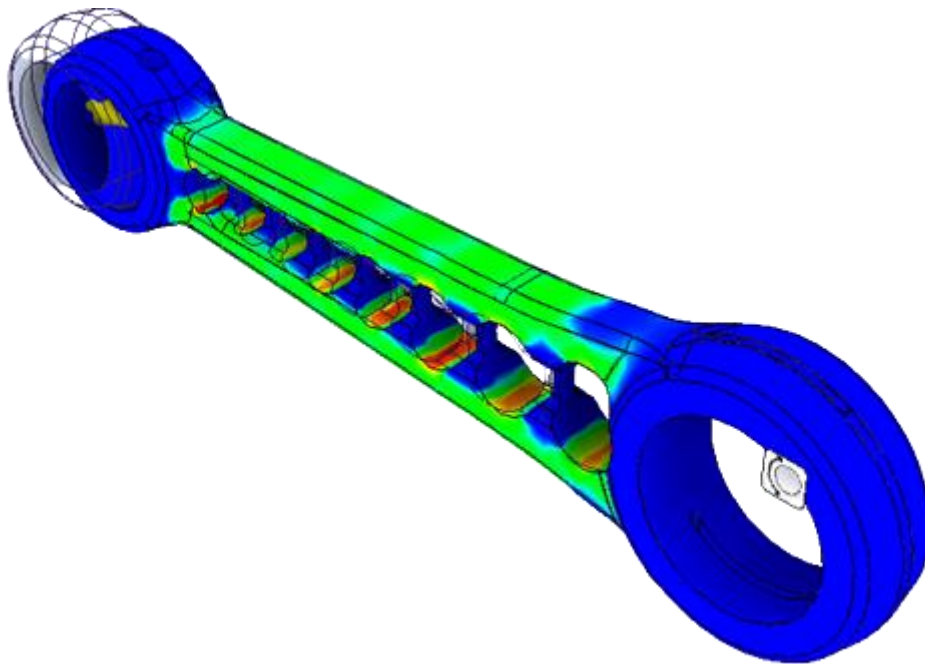


Slika 18: MEK model ojnice z okroglimi izvrtinami.

Iz spodnje slike lahko razberemo napetosti v posameznih delih ojnice, opazimo lahko, da se je v primerjavi z vzorčno maksimalna napetost povečala in sicer na 398,1MPa. Opazimo, da je koncentracija napetosti na bokih izvrtin, na sliki 19 lahko bolj opazimo pojav zarezne učinka.

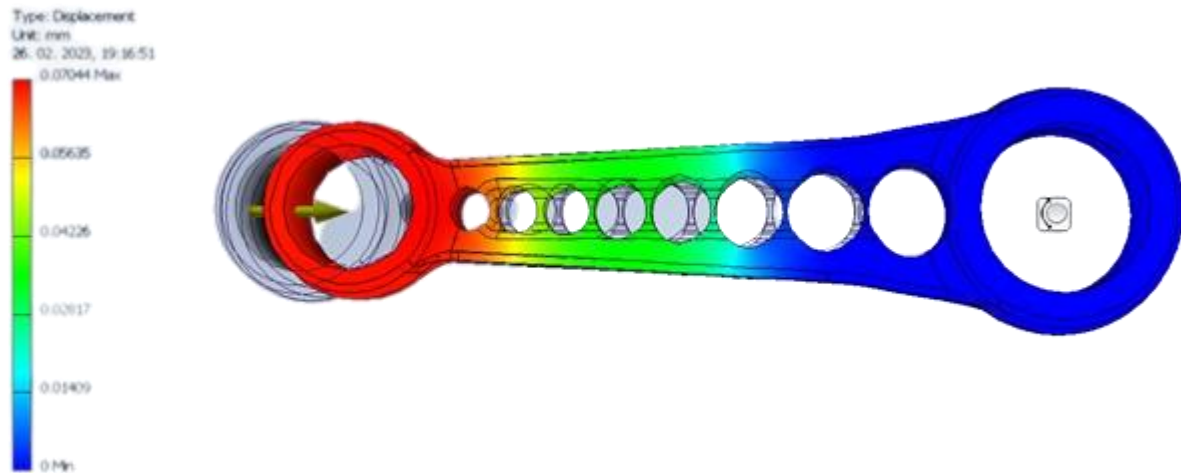


Slika 19: Napetosti v ojnici z luknjami po Misesu v ZMT.



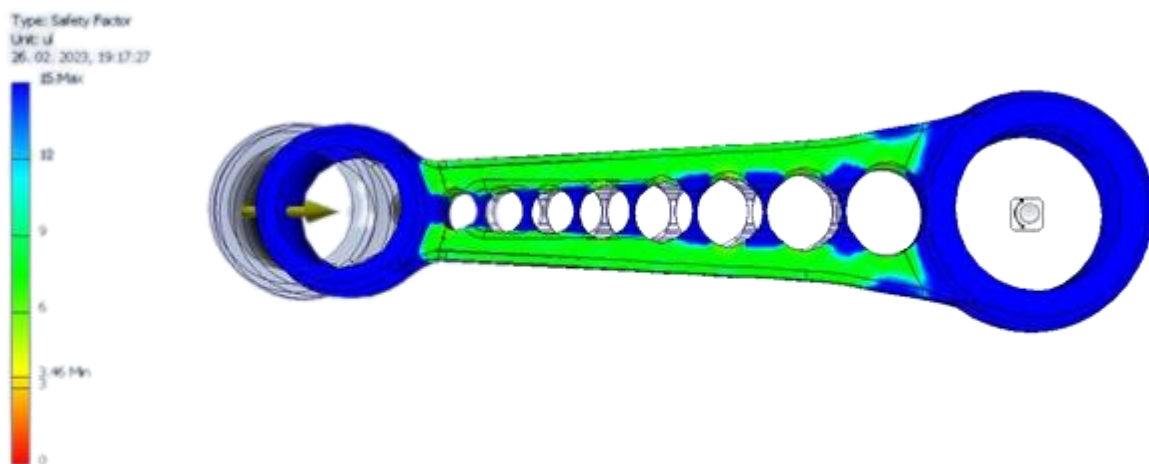
Slika 20: pojav zarezne učinka v izvrtinah

Iz slike 20 so razvidne deformacije v ojnici, najbolj se deformira ojnica v zgornjem delu, kjer je največja deformacija 0,07mm . Tudi tu opazimo, da je deformacija večja kot prej oz. se je skoraj podvojila, vendar je še vedno elastična.



Slika 21: deformacija ojnice z okroglimi izvrtinami v ZMT

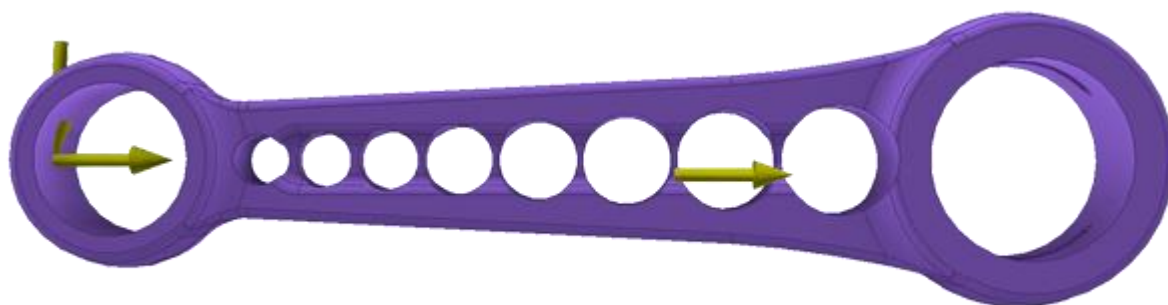
Iz slike 21 lahko vidimo kako se faktor varnosti spreminja glede na napetosti, ki nastanejo v ojnici glede na obremenitev. V našem primeru je minimalni faktor varnosti 3,46 kar, pomeni da je ojnica še vedno varna.



Slika 22: faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v ojnici z okroglimi izvrtinami v ZMT.

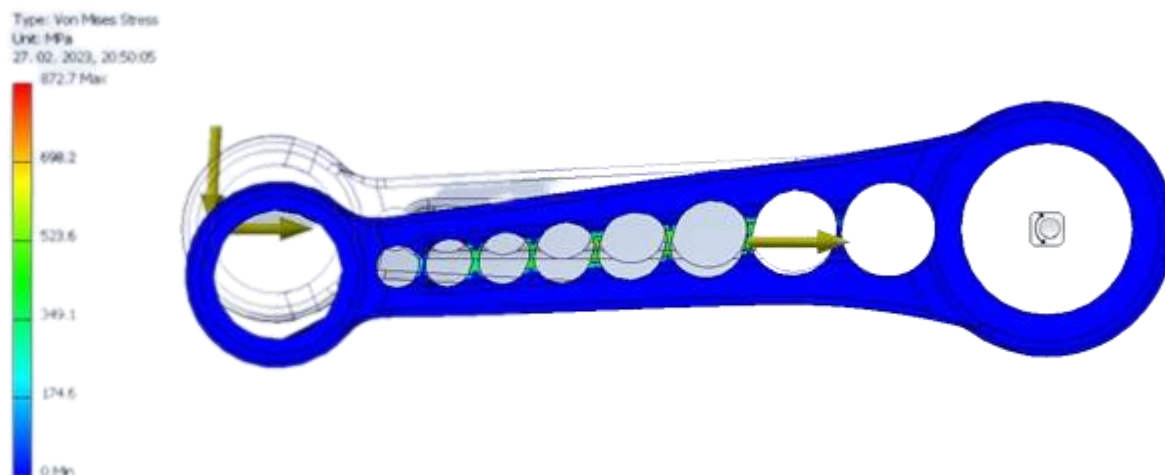
4.4.2 FEM analiza ojnice z okroglimi izvrtinami v SMT

Tudi pri modificirani ojnici izhodiščni podatki niso nič drugačni. V vmesnem položaju je ojnica obremenjena nekoliko drugače kot v ZMT. Ker je ojnica pod kotom ni obremenjena samo v aksialni smeri vendar tudi v radialni smeri. Sile obremenitve smo predhodno že izračunali vektor sile F_x je 455,43N in vektor F_y je 1850N. V FEM analizi ponovno predpostavimo, da je ojnica fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) obremenitev pa simuliramo tako da s pomočjo funkcije ležajne obremenitve (bearing load) zgornje ležišče obremenimo aksialno z silo F_y in radialno s silo F_x , inercialno silo pa simuliramo s funkcijo gravitacije (gravity load) tako, da predpostavimo glede na inercialno silo iz enačbe $F = ma$, da je pospešek 14646 m/s². Prijemališče sil v simulaciji je v središču ležišča vendar jih Inventor prikaže drugače. V primerjavi s vzorčno ojnico lahko sklepamo, da bodo napetosti in deformacija večje, faktor varnosti pa manjši.



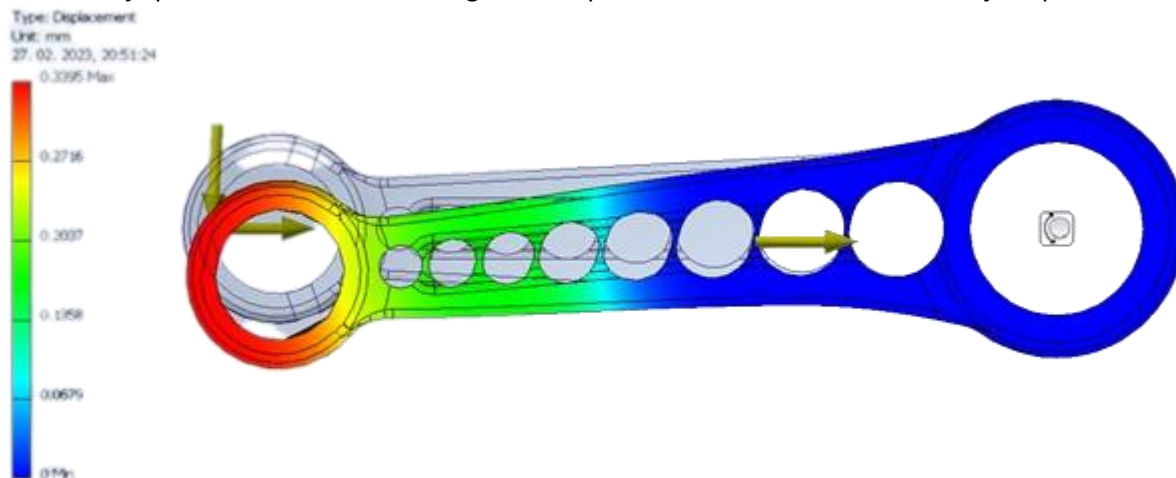
Slika 23: razporeditev sil v vmesnem položaju

Na sliki 23 so razvidne napetosti v ojnici, ki nastanejo zaradi obremenitev, ki jih prenaša v vmesnem položaju 45° po ZMT. Največja napetost je 872,7 MPa kar je že zelo blizu najvišje dopustne napetosti. opazimo lahko da je profil upogiba nekoliko drugačen prav tako tudi koncentracija napetosti se pojavlja na stenah izvrtin, opazimo lahko pojav zarezne učinka.



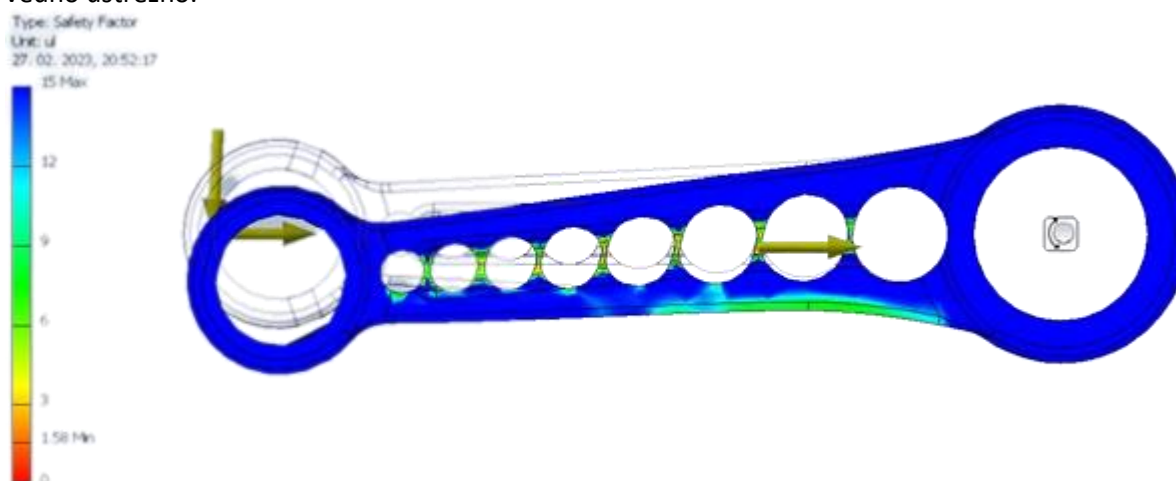
Slika 24: napetosti v ojnici z luknjami v vmesnem položaju.

Na spodnji sliki je prikazana deformacija ojnice v vmesnem položaju, iz slike je razvidno, da je povprečje največji na koncu ojnice kjer je prijemališče sil. Maksimalna deformacija je 0,34 mm, kar je kar precej več kot pri vzorčnem modelu kar je presenetljivo opazimo pa lahko, da je oblika deformacije predvsem okoli izvrtin drugačna kot pri vzorčnem modelu. Deformacija ni plastična.



Slika 25: deformacija ojnice z okroglimi izvrtinami v vmesnem položaju.

Na spodnji sliki je prikazana vrednost faktorja varnosti glede na napetosti v ojnici v vmesnem položaju. Minimalni faktor varnosti v tem stanju je 1,58 kar je precej manj kot prej vendar še vedno ustrezno.

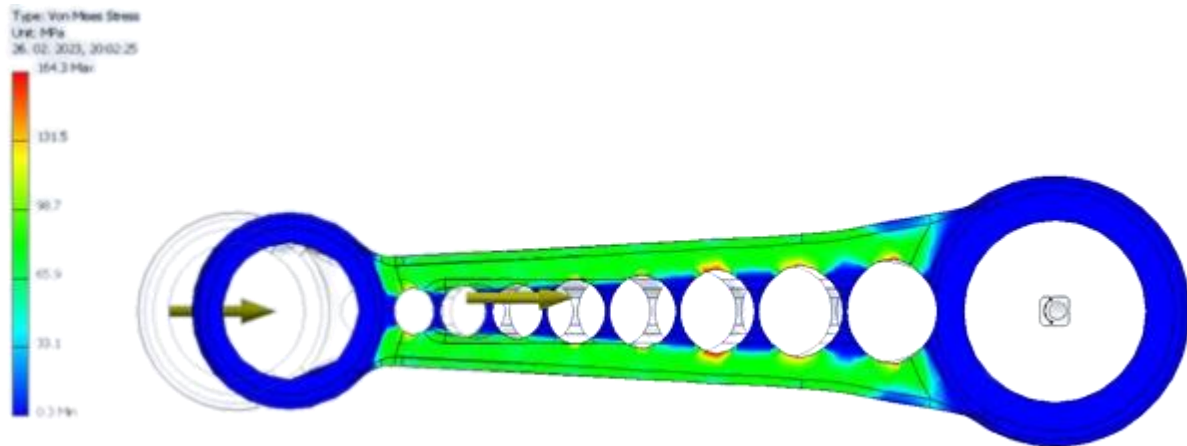


Slika 26: faktor varnosti ojnice glede na napetosti v vmesnem položaju

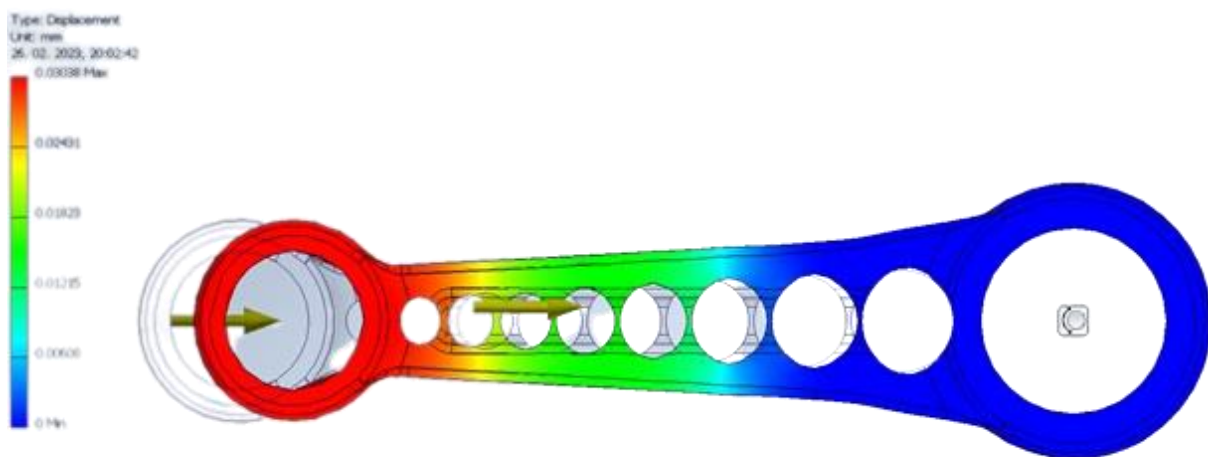
4.4.3 FEM analiza ojnice v SMT

Ojnica je v SMT obremenjena zgolj z inercijsko silo batnega sestava in inercijsko silo ojnice. Tako kot v položaju ojnice v ZMT tudi tokrat predpostavimo, da je ojnica v spodnjem ležišču fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) in ojnico v zgornjem ležišču obremenimo z funkcijo ležaja na inercijsko silo batnega sestava 1116,60N, inercijsko silo ojnice pa prikažemo z funkcijo gravitacije in uporabimo pospešek v tokratnem primeru 15089 m/s². Obnašanje ojnice pod to obremenitvijo bo zelo podobno, kot v ZMT le da bodo napetosti in deformacija manjše faktor varnosti pa večji. Ta položaj prikažemo zgolj za lažjo predstavo obremenitev, ki jih ojnica prenaša v ciklu delovanja. Iz slik je razvidno, da je maksimalna napetost po Misesu 164,3MPa,

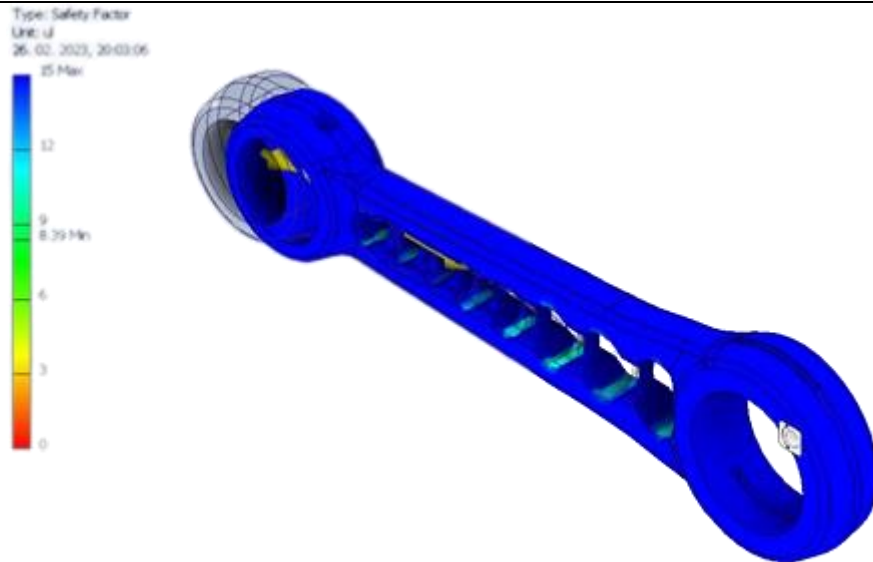
največja deformacija je 0,03mm, in najnižji faktor varnosti 8,39. Kot lahko vidimo so v tem primeru v ojnici v SMT napetosti veliko večje.



Slika 27: napetosti po Misesu v ojnici z okroglimi izvrtinami v SMT



Slika 28: deformacija ojnice z okroglimi luknjami v SMT



Slika 29 Faktor varnosti ojnice z okroglimi luknjami v odvisnosti od napetosti v položaju SMT

4.5 Model ojnice z kvadratnimi luknjami

Podobno kot v prejšnjem koraku, sem tudi v tem koraku posegel v geometrijo vzorčne ojnice. Med seboj sem hotel primerjati vpliv geometrije lukenj, zato sem izdelal še 3D model ojnice z 7 kvadratnimi luknjami s stranicami 3-10mm. Izdelava kvadratnih lukenj je nekoliko bolj zahtevna zato so bile statične analize za to ojnico izdelane zgolj v namen prikaza kako oblika luknje vpliva na nosilnost ojnice. Tudi v tem primeru so bili izvedene tri različne FEM analize v enakih položajih kot za predhodna modela. Masa modificirane ojnice je 0,067kg, masa tovarniške ojnice pa je 0,0782kg.

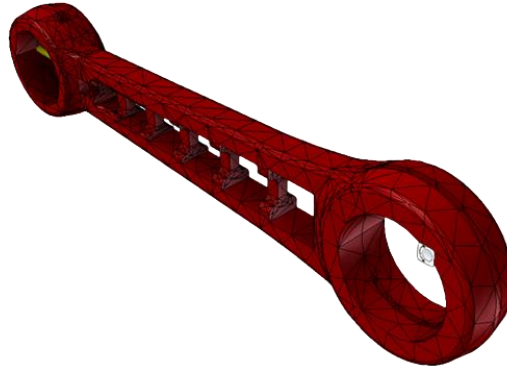


Slika 30. 3D model ojnice z kvadratnimi luknjami

4.5.1 FEM analiza ojnice z kvadratnimi luknjami v ZMT.

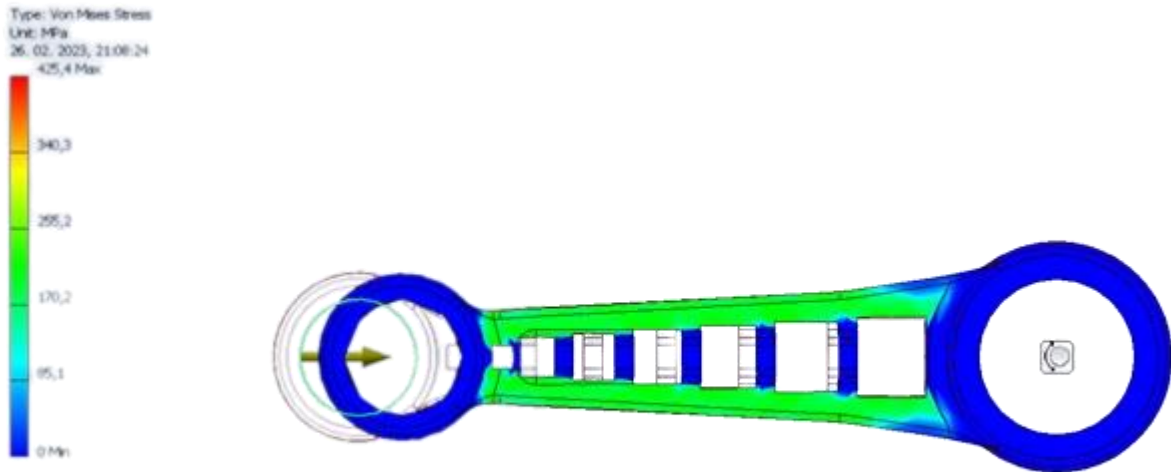
V ZMT je obremenitev ojnice največja. Pri analizi z končnimi elementi je zelo pomembno, da pravilno predpostavimo omejitve in prijemališča sil. Obremenitev smo

predhodno že izračunali, predpostavimo, da je prijemališče sile v središču sornika, obremenitev simuliramo tako, da spodnje ležišče fiksno vpnemo s funkcijo zatiča (pin constraint), zgornje ležišče pa obremenimo z izračunano silo (8950N) s funkcijo ležaja (bearing load). Po opravljeni simulaciji dobimo rezultate, zanimajo nas predvsem napetosti po Misesu, deformacija in pa faktor varnosti. Tudi tokrat moramo pred tem 3D model pretvoriti v model končnih elementov.

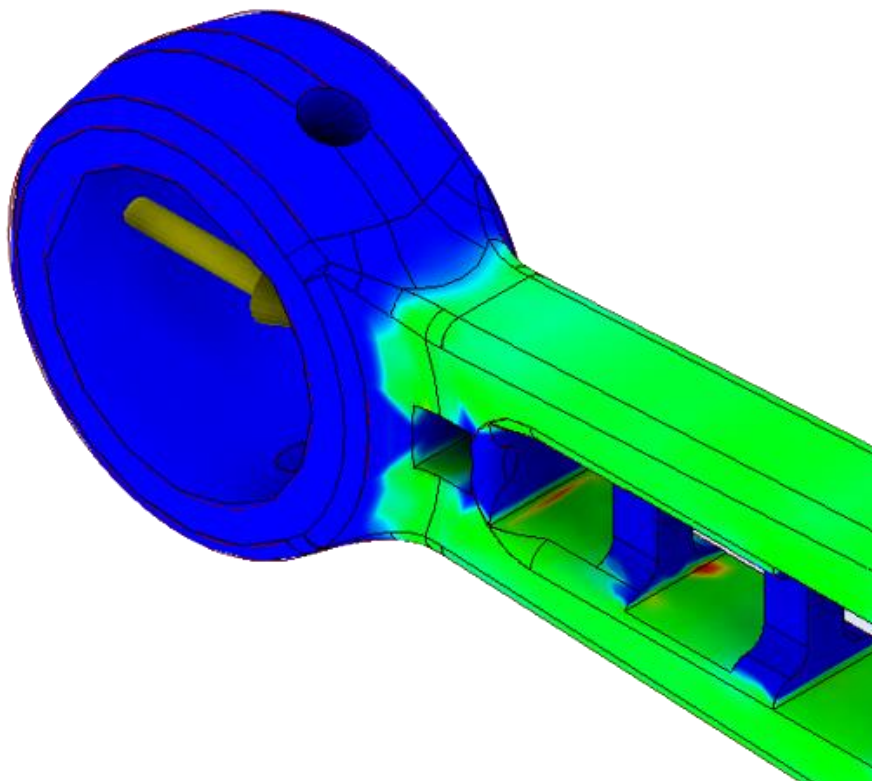


Slika 31: MKE model ojnice z kvadratnimi luknjami

Iz spodnje slike lahko razberemo napetosti v posameznih delih ojnice, opazimo lahko, da se je v primerjavi z vzorčno maksimalna napetost povečala in sicer na 425,4MPa kar je v primerjavi z napetostjo v ojnici z okroglimi izvrtinami nekoliko več. Opazimo, da je koncentracija napetosti v kotih kvadratov, na sliki 32 lahko bolje opazimo pojav zarezne učinka.

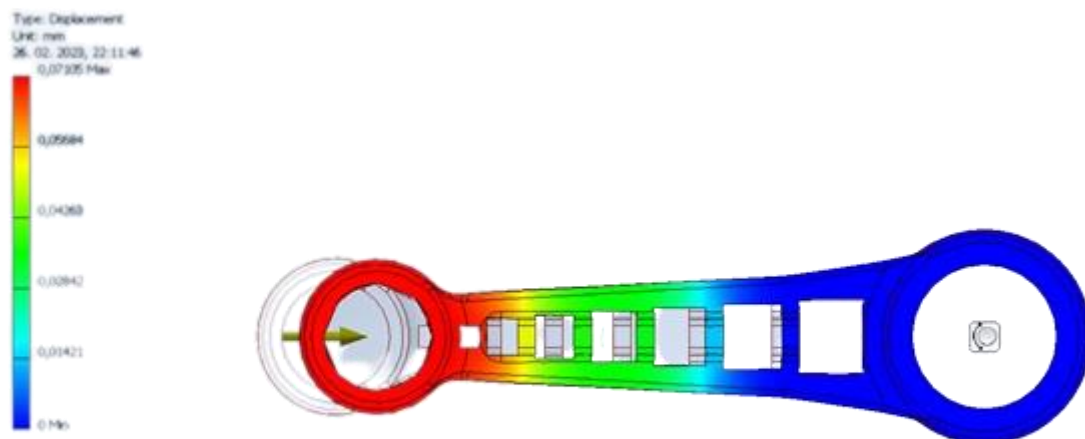


Slika 32. napetosti v ojnici s kvadratnimi luknjami po Misesu



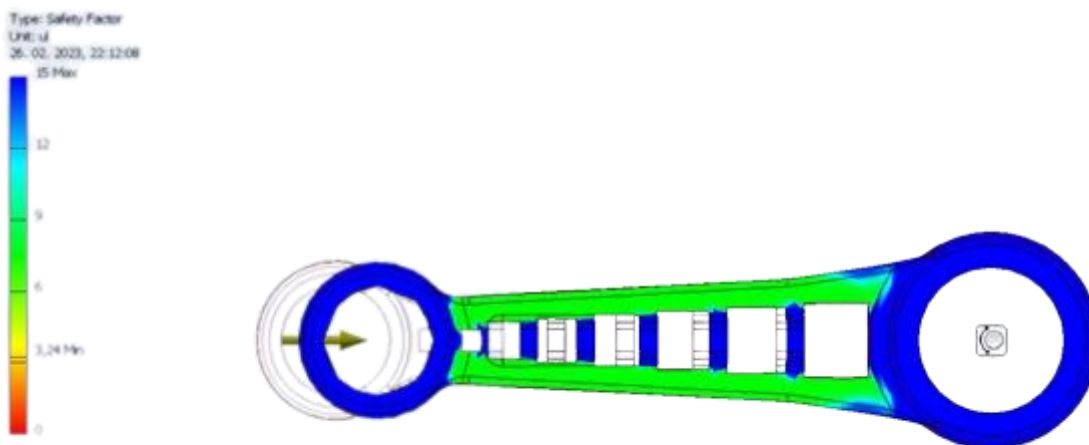
Slika 33: pojav zarezne učinka v kotih kvadrata

Iz slike 33 so razvidne deformacije v ojnici, najbolj se deformira ojnica v zgornjem delu, kjer je največja deformacija 0,071mm . V primerjavi z ojnico z okroglimi izvrtinami se je deformacija zanemarljivo povečala.



Slika 34. deformacija ojnice s kvadratnimi luknjami v ZMT

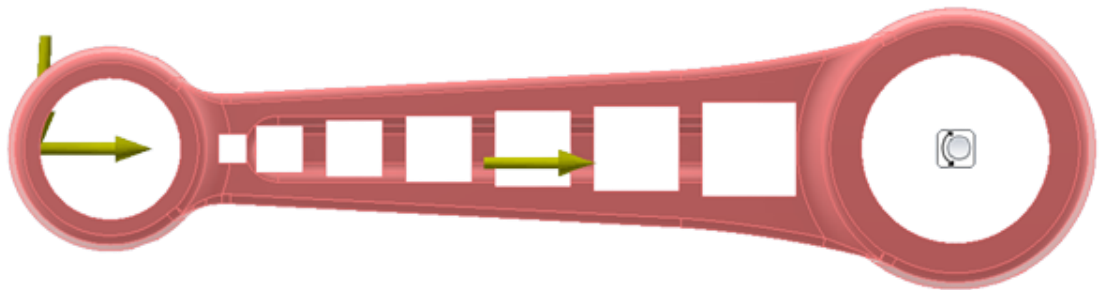
Iz slike 34 lahko vidimo kako se faktor varnosti spreminja glede na napetosti, ki nastanejo v ojnici glede na obremenitev. V našem primeru je minimalni faktor varnosti 3,24 kar, pomeni da je ojnica še vedno varna, v primerjavi z ojnico z okroglimi izvrtinami pa je nekoliko manjši.



Slika 35: faktor varnosti ojnice glede na napetosti v ojnici s kvadratnimi luknjami.

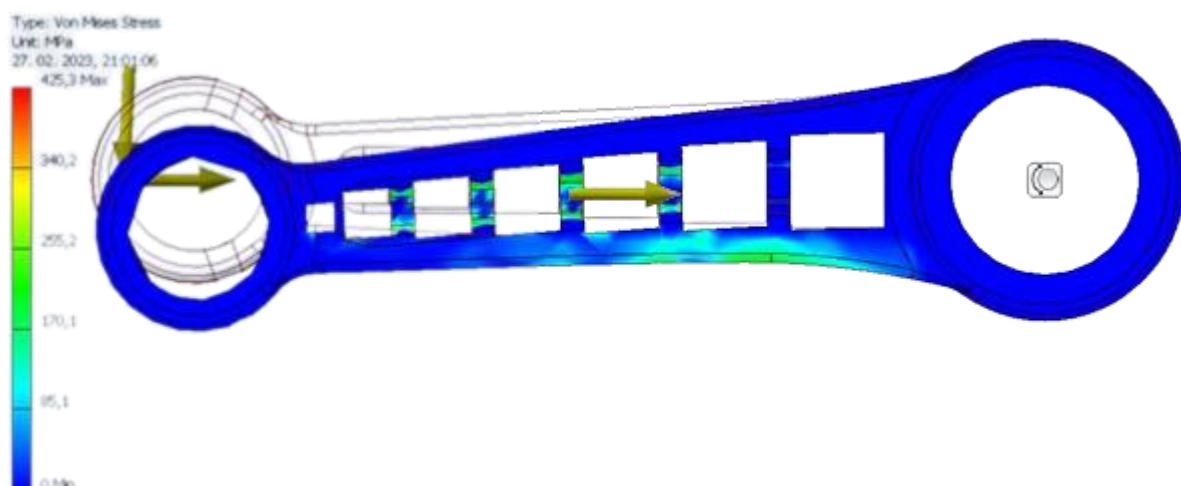
4.5.2 FEM analiza ojnice s kvadratnimi luknjami v vmesnem položaju

Tudi pri modificirani ojnici izhodiščni podatki niso nič drugačni. V vmesnem položaju je ojnica obremenjena nekoliko drugače kot v ZMT. Ker je ojnica pod kotom ni obremenjena samo v aksialni smeri vendar tudi v radialni smeri. Sile obremenitve smo predhodno že izračunali vektor sile F_x je 455,43N in vektor F_y je 1850N. V FEM analizi ponovno predpostavimo, da je ojnica fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) obremenitev pa simuliramo tako da s pomočjo funkcije ležajne obremenitve (bearing load) zgornje ležišče obremenimo aksialno z silo F_y in radialno s silo F_x , inercialno silo pa simuliramo s funkcijo gravitacije (gravity load) tako, da predpostavimo glede na inercialno silo iz enačbe $F = ma$, da je pospešek 14646 m/s². Prijemališče sil v simulaciji je v središču ležišča vendar jih Inventor prikaže drugače. V primerjavi s vzorčno ojnico lahko sklepamo, da bodo napetosti in deformacija večje, faktor varnosti pa manjši.

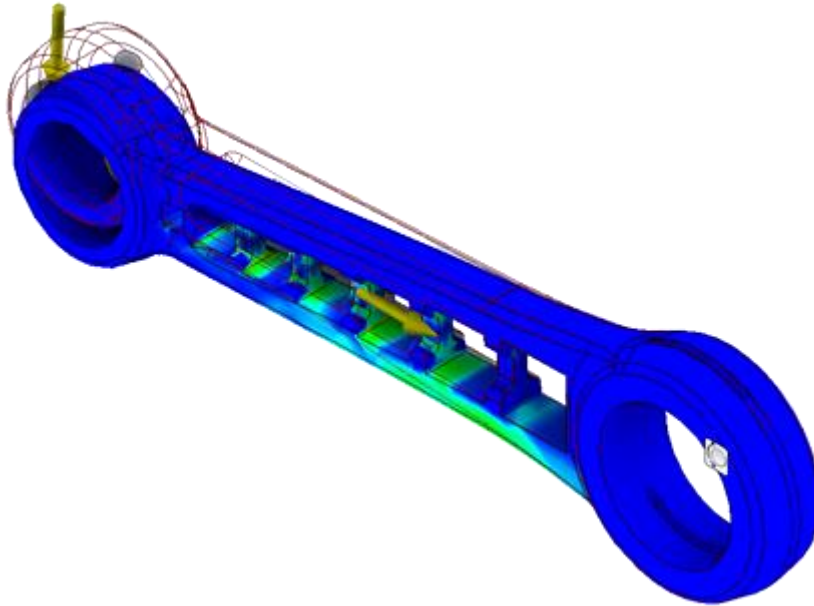


Slika 36: razporeditev sil na ojnici z kvadratnimi luknjami v vmesnem položaju

Na sliki 36 so razvidne napetosti v ojnici, ki nastanejo zaradi obremenitev, ki jih prenaša v vmesnem položaju 45° po ZMT. Največja napetost je 425,3 MPa kar je v nasprotju z pričakovanji. Opazimo lahko, da so koncentracije napetosti drugačne kot pri ojnici z okroglimi izvrtinami, še vedno pase v kotih kvadratov pojavlja zarezni učinek, kar je bolj razvidno iz slike 37.

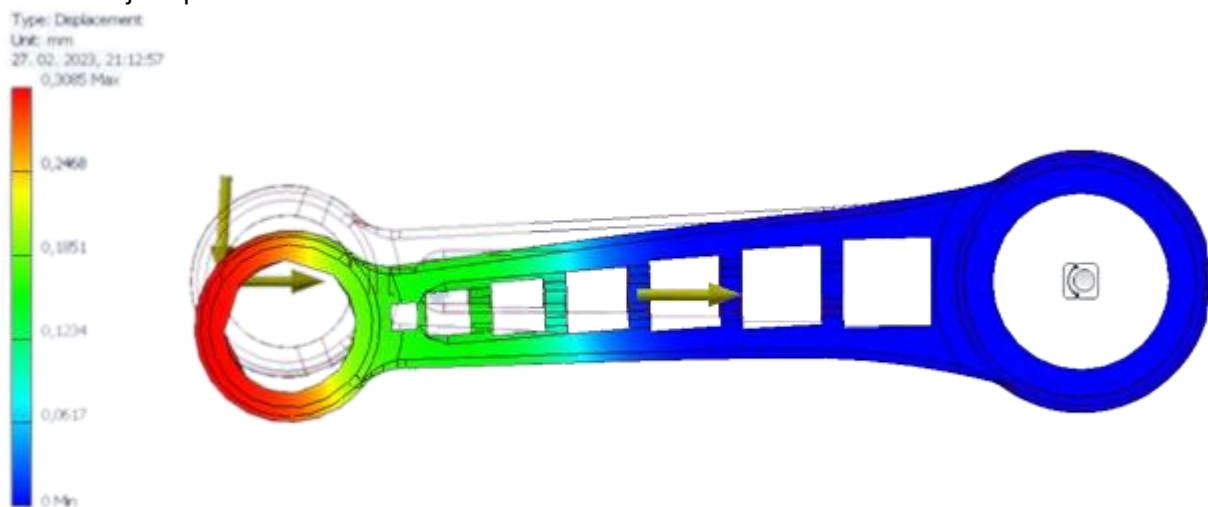


Slika 37: Napetost v ojnici s kvadratnimi luknjami po Misesu



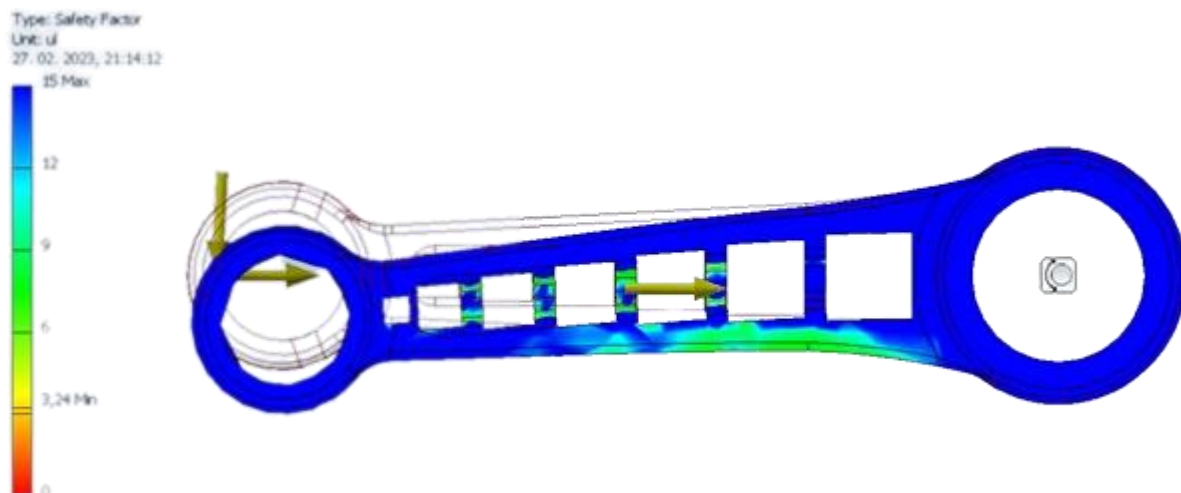
Slika 38: pojav zarezne učinka v vmesnem položaju

Na spodnji sliki je prikazana deformacija ojnice v vmesnem položaju, iz slike je razvidno, da je povse največji na koncu ojnice kjer je prijemališče sil. Maksimalna deformacija je 0,31mm, kar je še manj kot pri ojnici z okroglimi izvrtinami, kar je prav tako v nasprotju z pričakovanji. Deformacija ni plastična.



Slika 39. deformacija ojnice s kvadratnimi luknjami v vmesnem položaju

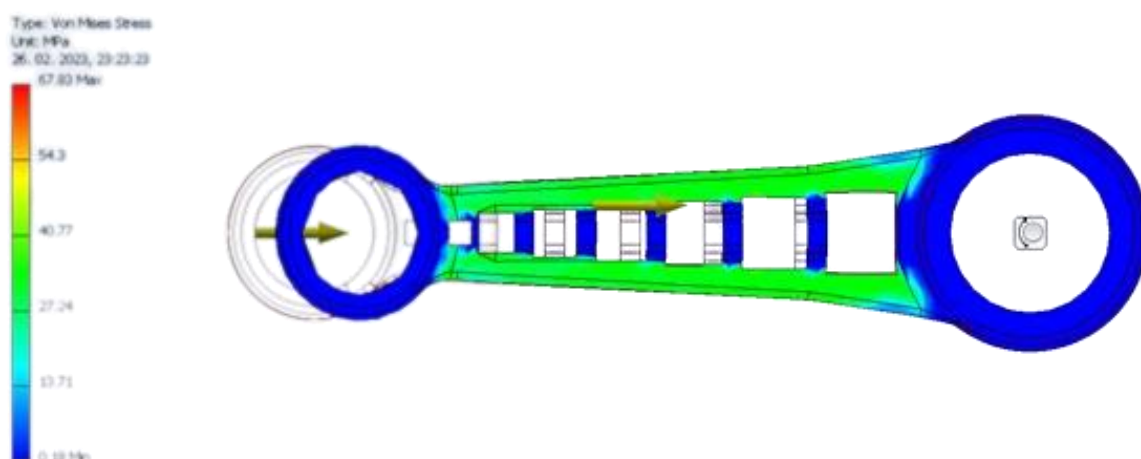
Na spodnji sliki je prikazana vrednost faktorja varnosti glede na napetosti v ojnici v vmesnem položaju. Minimalni faktor varnosti v tem stanju je 3,24, kar je skoraj dvakrat več kot pri ojnici z okroglimi izvrtinami ponovno v nasprotju z pričakovanji.



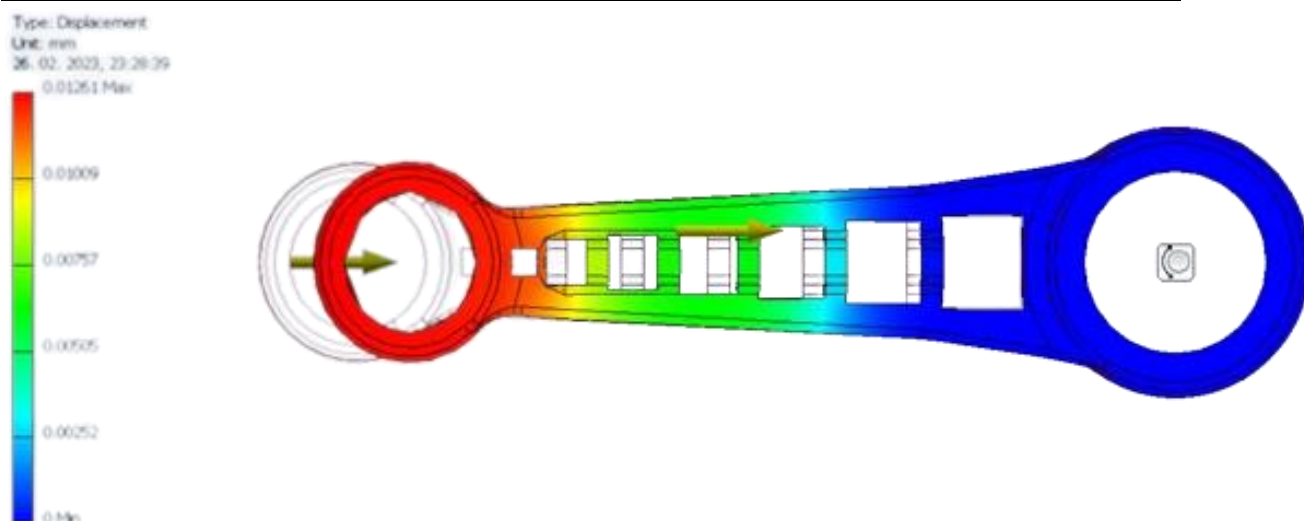
Slika 40: faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v ojnici v vmesnem položaju

4.5.3 FEM analiza ojnice s kvadratnimi luknjami v SMT

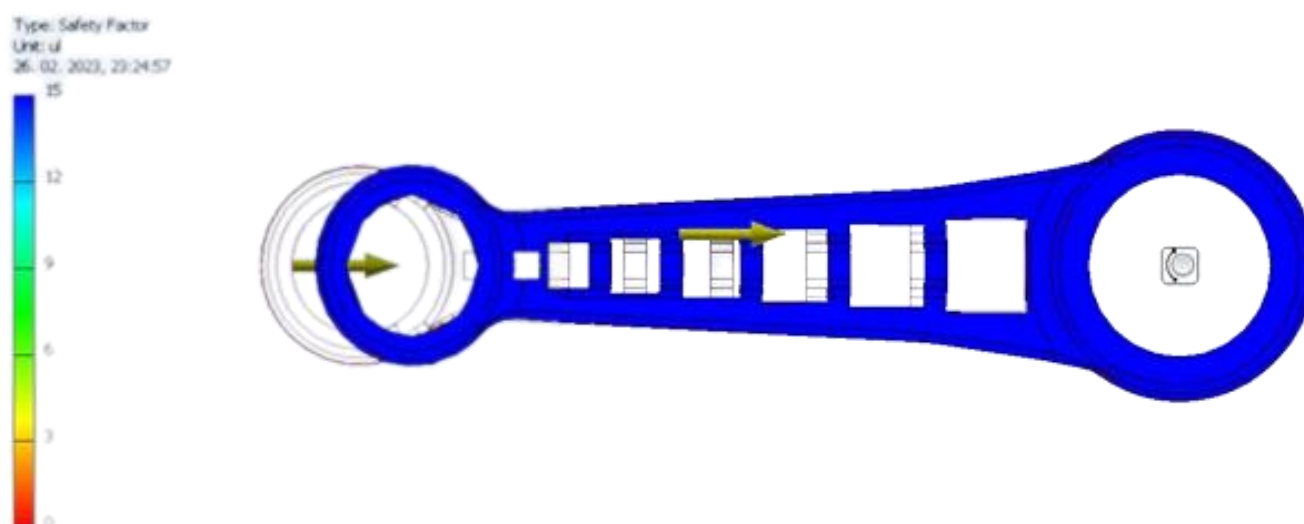
Ojnica je v SMT obremenjena zgolj z inercialno silo batnega sestava in inercialno silo ojnice. Tako kot v položaju ojnice v ZMT tudi tokrat predpostavimo, da je ojnica v spodnjem ležišču fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) in ojnico v zgornjem ležišču obremenimo z funkcijo ležaja na inercialno silo batnega sestava 1116,60N, inercialno silo ojnice pa prikažemo z funkcijo gravitacije in uporabimo pospešek v tokratnem primeru 15089 m/s². Obnašanje ojnice pod to obremenitvijo bo zelo podobno, kot v ZMT le da bodo napetosti in deformacija manjše faktor varnosti pa večji. Ta položaj prikažemo zgolj za lažjo predstavo obremenitev, ki jih ojnica prenaša v ciklu delovanja. Iz slik je razvidno, da je maksimalna napetost po Misesu 67,83MPa, največja deformacija je 0,013mm, in najnižji faktor varnosti 15. Opazimo lahko, da se tudi v tem primeru ojnica s kvadratnimi luknjami obnese bolje kot ojnica z okroglimi izvrtinami.



Slika 41: Napetost po Misesu v ojnici s kvadratnimi luknjami v položaju SMT



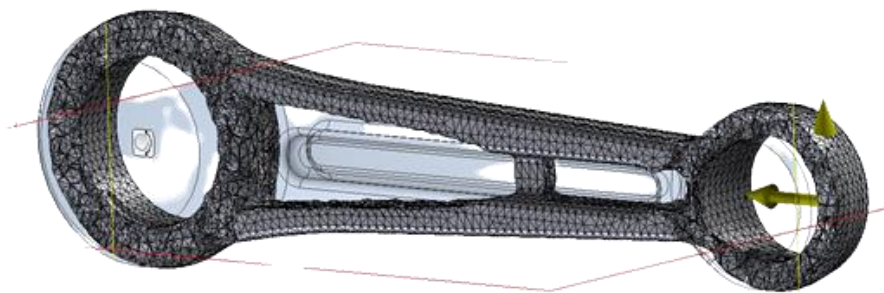
Slika 42: deformacija ojnice s kvadratnimi luknjami v SMT



Slika 43: faktor varnosti ojnice glede na napetost

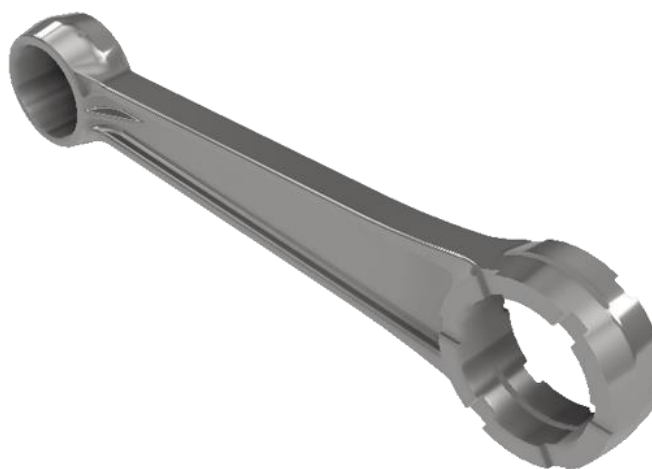
4.6 Modeliranje ojnice z novo geometrijo

Ker z modificiranjem originalne ojnice lahko dosežemo dokaj omejeno spremembo geometrije brez visokih stroškov. Za primerjavo sem zato izdelal še model ojnice z spremenjeno geometrijo, ki je z preprostimi predelavami ne bi bilo mogoče doseči. Osnovne dimenzije so ostale nespremenjene, nekoliko pa se je spremenila geometrija ležišč in povezovalnega dela med ležišči. Pri tem sem si pomagal z opazovanjem geometrije že obstoječih ojníc ter z rezultati statične analize tovarniške ojnice. Pri modeliranju sem si pomagal tudi s funkcijo programa Inventor za topološko optimizacijo oblike (Shape generator). Največjo razliko v obliki lahko opazimo v ležiščih kjer je sedaj veliko manj materiala, na spodjem ležišču so izdelani utori za minimiziranje mase v povezovalnem delu pa je odstranjena večina materiala. Z vgrajeno funkcijo topološke optimizacije (Shape generator), generiramo glede na maksimalno radialno in aksialno silo geometrijo, ki naj bi prenesla takšno obremenitev. Iz spodnje slike lahko vidimo obliko z 40% redukcijo mase. Geometrijo sem nekoliko priredil in masa optimizirane ojnice je 0,047kg kar pomeni da je redukcija mase 39,7%.



Slika 44: geometrija generirana z vgrajeno funkcijo Shape generator

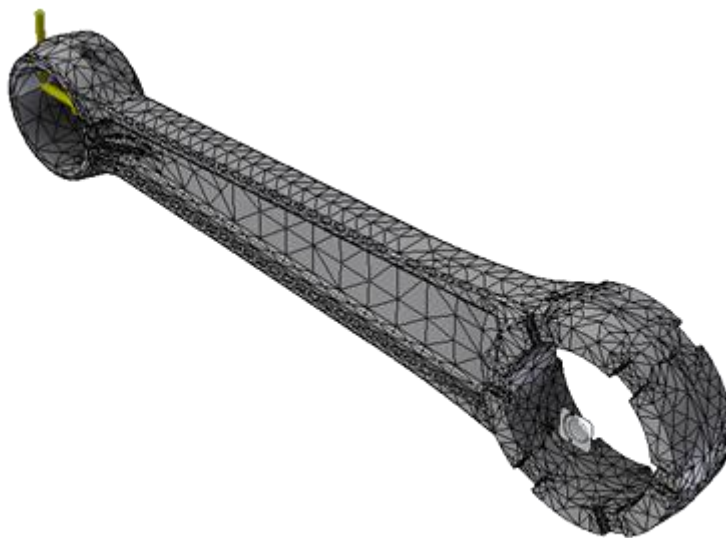
Na sliki 44 lahko vidimo model Ojnice z novo prirejeno obliko geometrije.



Slika 45: 3D model ojnice s spremenjeno geometrijo

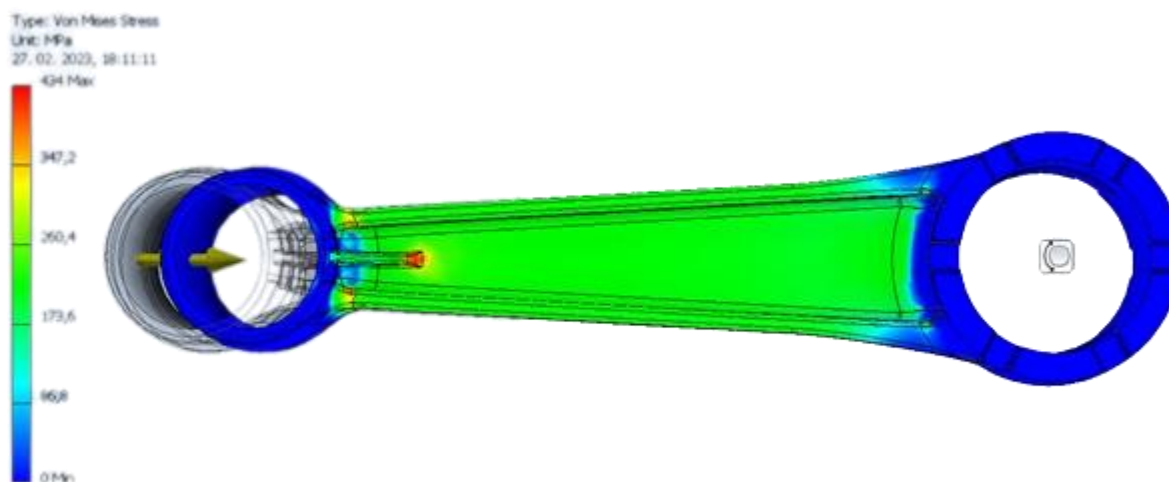
4.6.1 FEM analiza ojnice z kvadratnimi luknjami v ZMT.

V ZMT je obremenitev ojnice največja. Obremenitev smo predhodno že izračunali, predpostavimo, da je prijemališče sile v središču sornika, obremenitev simuliramo tako, da spodnje ležišče fiksno vpnemo s funkcijo zatiča (pin constraint), zgornje ležišče pa obremenimo z izračunano silo (8950N) s funkcijo ležaja (bearing load). Po opravljeni simulaciji dobimo rezultate, zanimajo nas predvsem napetosti po Misesu, deformacija in pa faktor varnosti. Tudi tokrat moramo pred tem 3D model pretvoriti v model končnih elementov.



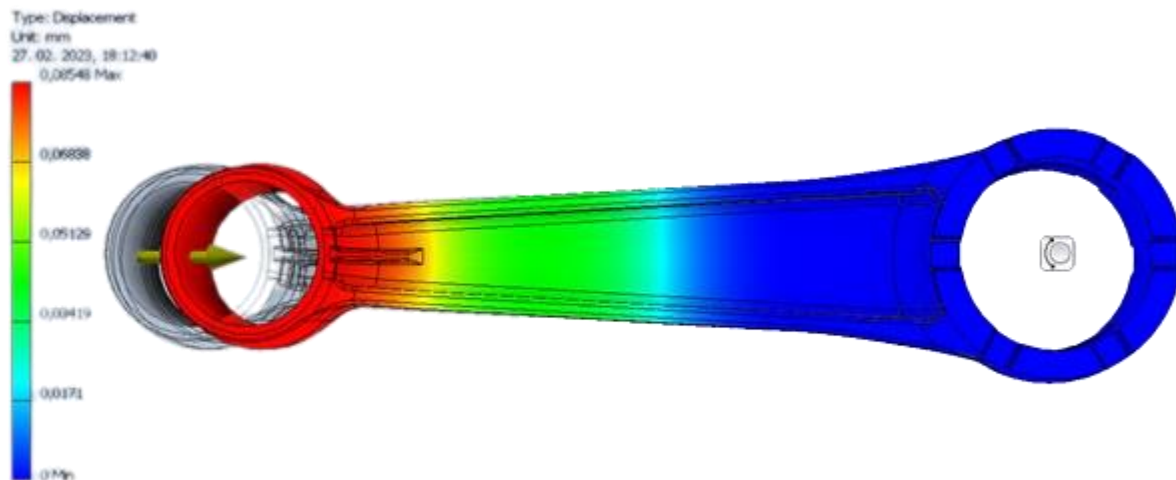
Slika 46: MKE numerični model

Na spodnji sliki je prikazana slika napetosti po Misesu v ojnici z novo geometrijo, opazimo, da so napetosti relativno nizke z izjemo 3 mest kjer se pojavljajo koncentracije kjer pa je maksimalna napetost 434MPa kar pa je v primerjavi z ojnico s kvadratnimi luknjami primerljivo.



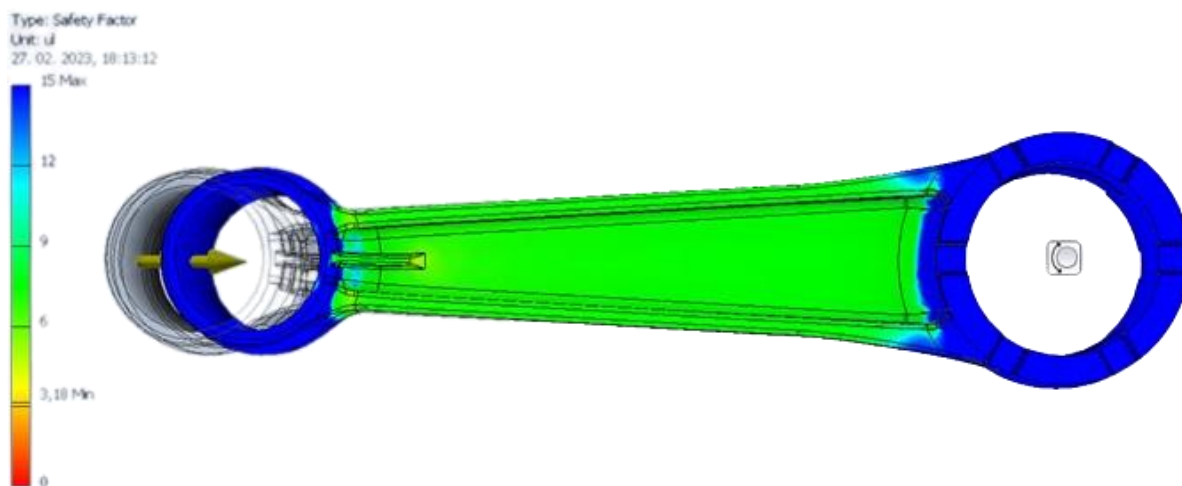
Slika 47: Napetosti po Misesu v ojnici z novo geometrijo

Spodnja slika predstavlja deformacije ojnice v ZMT, opazimo lahko, da je deformacijo podobna kot pri prejšnjih primerih. Največja deformacija je 0,085mm kar je nekoliko več kot pri prejšnjih primerih. Deformacija ni plastična.



Slika 48: Deformacija ojnice z spremenjeno geometrijo v ZMT

Na spodnji sliki lahko vidimo, kako se spreminja faktor varnosti glede na napetosti v ojnici, najmanjši faktor varnosti je v tem primeru 3,18 kar še vedno zadostuje vsem zahtevam. Najmanjši faktor varnosti se pojavi na točkah kjer so napetosti največje.



Slika 49: Faktor varnosti glede na napetosti v ZMT

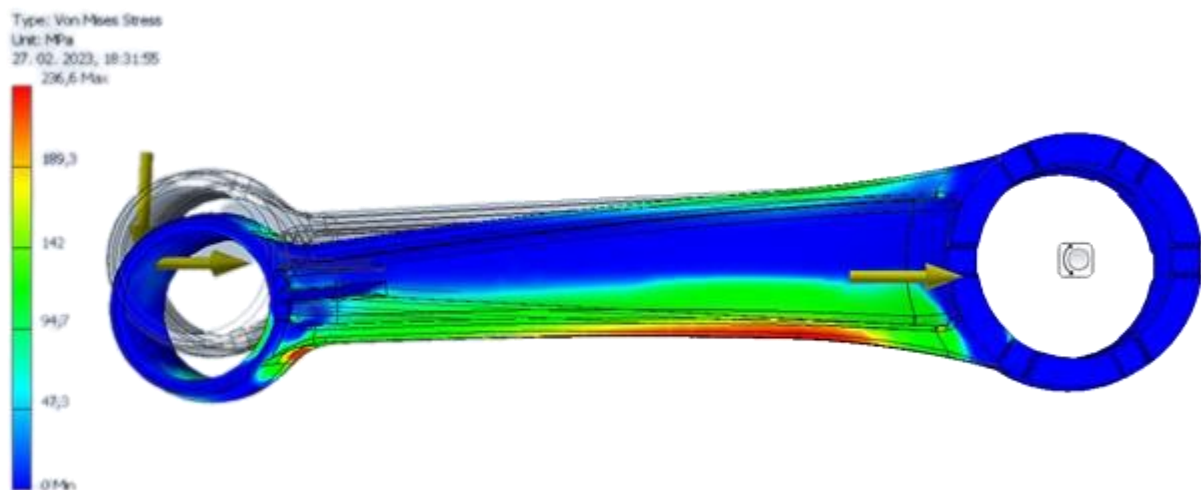
4.6.2 FEM analiza ojnice s spremenjeno geometrijo v vmesnem položaju

Predpostavimo enake pogoje kot pri predhodnih primerih, vektor sile F_x je 455,43N in vektor F_y je 1850N. V FEM analizi ponovno predpostavimo, da je ojnica fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) obremenitev pa simuliramo tako da s pomočjo funkcije ležajne obremenitve (bearing load) zgornje ležišče obremenimo aksialno z silo F_y in radialno s silo F_x , inercialno silo pa simuliramo s funkcijo gravitacije (gravity load) tako, da predpostavimo glede na inercialno silo iz enačbe $F = ma$, da je pospešek 14646 m/s². Prijemališče sil v simulaciji je v središču ležišča vendar jih Inventor prikaže drugače. V primerjavi z vzorčno ojnico lahko sklepamo, da bodo napetosti in deformacija večje, faktor varnosti pa manjši.



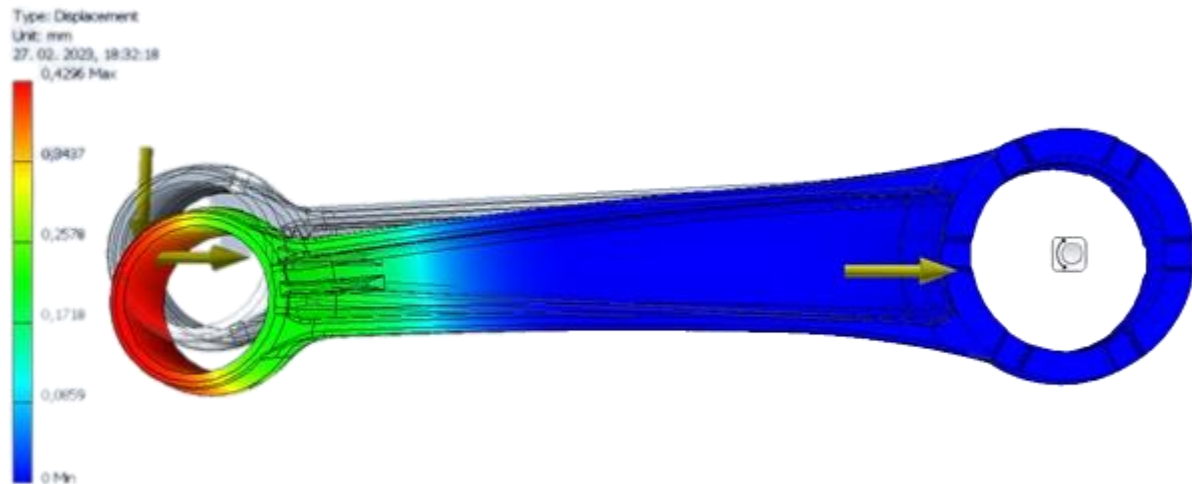
Slika 50: Razporeditev sil na ojnico v ZMT

Na sliki 50 so prikazane napetosti po Misesu v ojnici z novo geometrijo v vmesnem položaju 45° po ZMT. Opazimo lahko, da je porazdelitev napetosti podobna kot pri tovarniški ojnici, maksimalna napetost znaša 236,6 MPa.



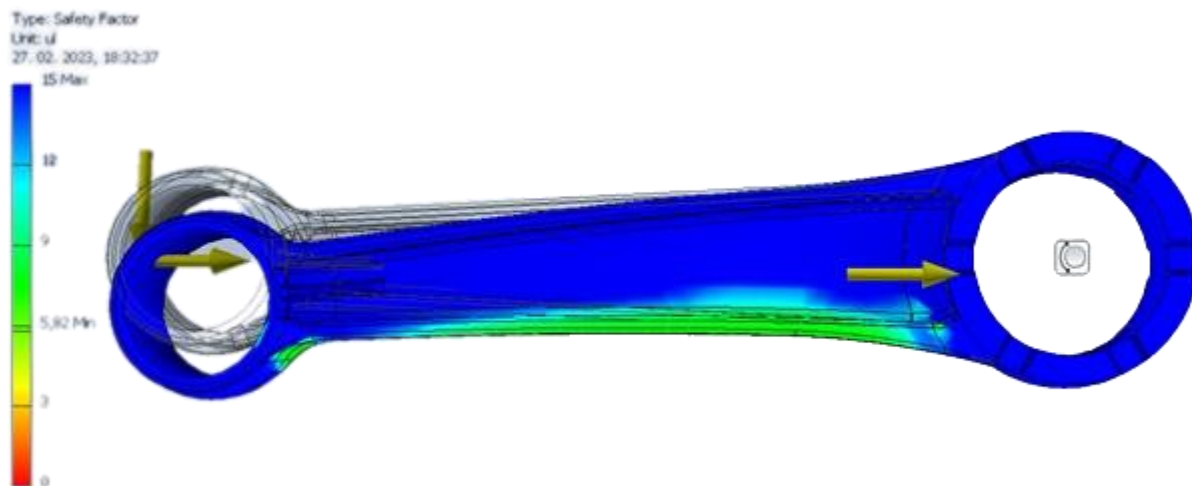
Slika 51: Napetosti po Misesu v ojnici v vmesnem položaju

Na spodnji sliki je prikazana deformacija ojnice v vmesnem položaju, opazimo, da je ujnica obremenjena na upogib, največja deformacija je 0,43mm kar je v primerjavi z ostalimi nekoliko več. Deformacija ni plastična.



Slika 52: Deformacija ojnice v vmesnem položaju

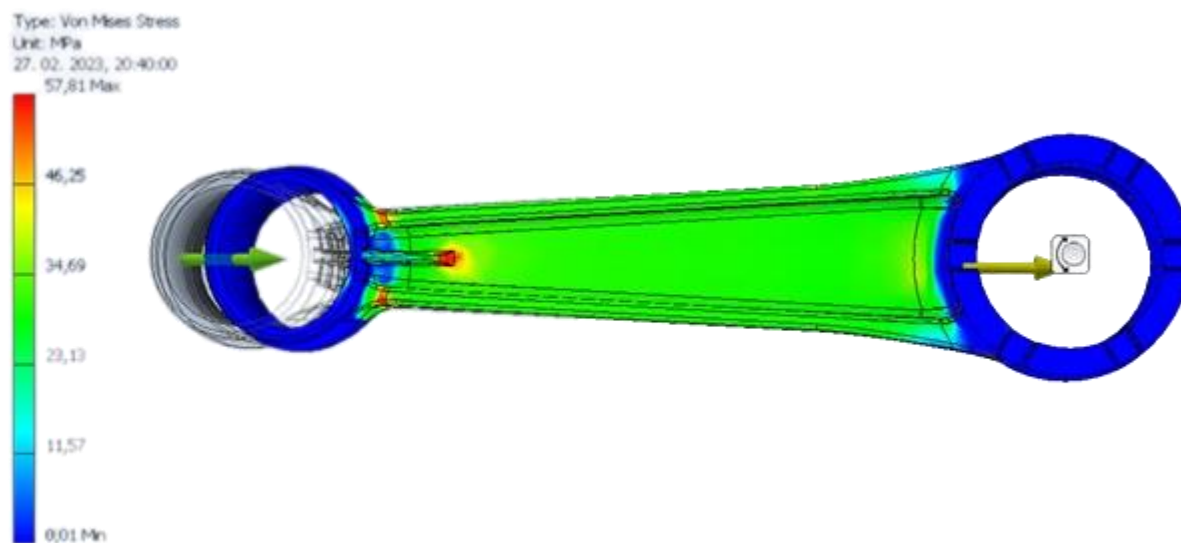
Na sliki 52 je prikazana odvisnost faktorja varnosti od napetosti v ojnici, faktor varnosti je najmanjši na področju kjer so napetosti najvišje, v tem primeru je najnižji faktor varnosti 5,82 kar ustreza zahtevam in nam pove, da ne bo prišlo do plastičnih deformacij.



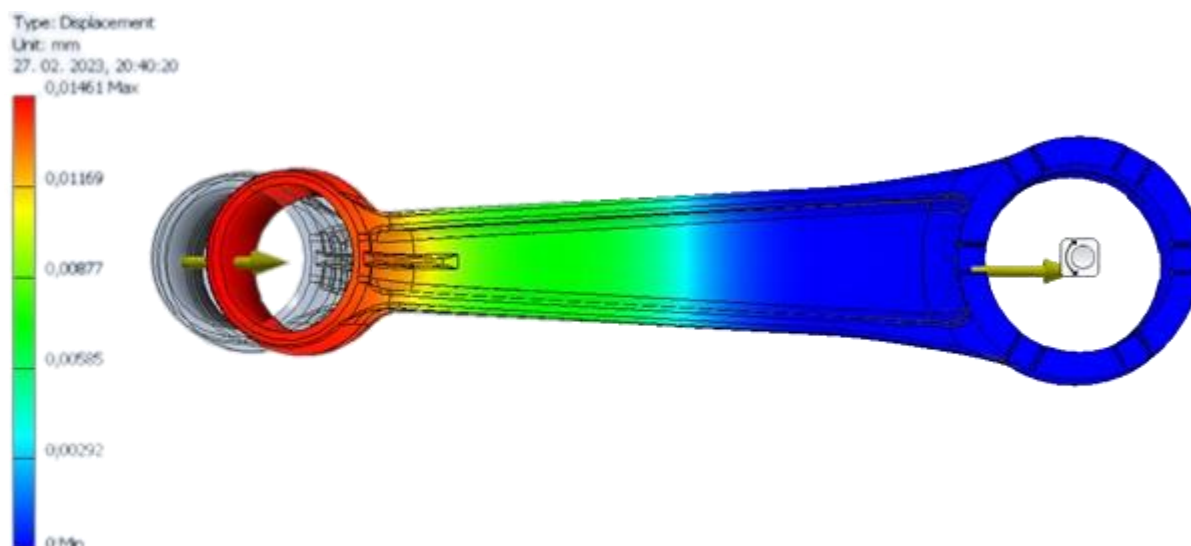
Slika 53: Faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v ojnici v vmesnem položaju

4.6.3 FEM analiza ojnice v SMT

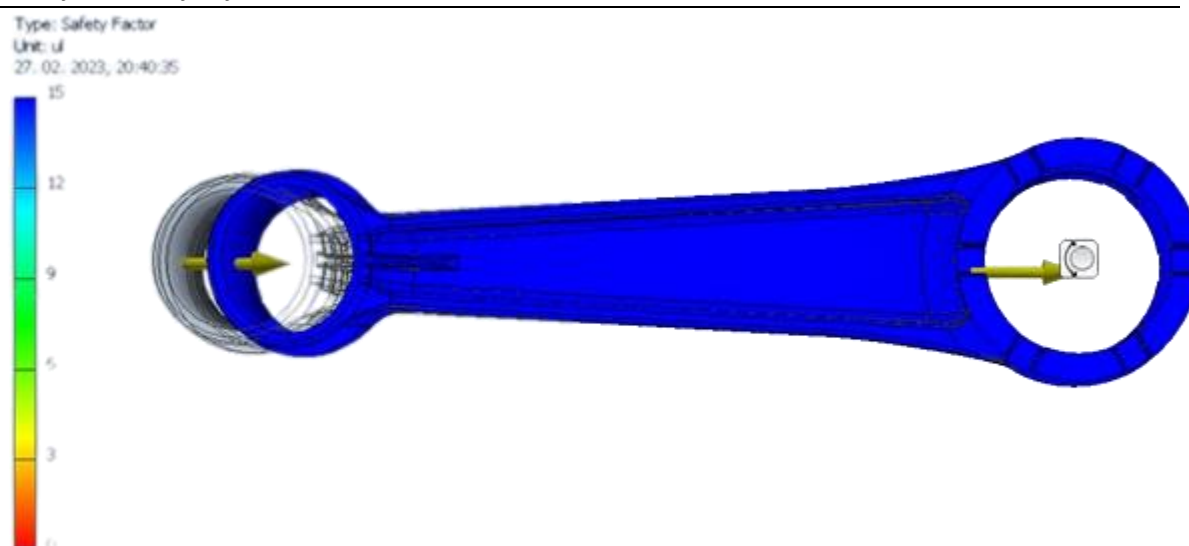
Ojnica je v SMT obremenjena zgolj z inercijsko silo batnega sestava in inercijsko silo ojnice. Tako kot v položaju ojnice v ZMT tudi tokrat predpostavimo, da je ojnica v spodnjem ležišču fiksno vpeta, uporabimo funkcijo zatiča (pin constraint) in ojnico v zgornjem ležišču obremenimo z funkcijo ležaja na inercijsko silo batnega sestava 1116,60N, inercijsko silo ojnice pa prikažemo z funkcijo gravitacije in uporabimo pospešek v tokratnem primeru 15089 m/s². Obnašanje ojnice pod to obremenitvijo bo zelo podobno, kot v ZMT le da bodo napetosti in deformacija manjše faktor varnosti pa večji. Ta položaj prikažemo zgolj za lažjo predstavitev obremenitev, ki jih ojnica prenaša v ciklu delovanja. Iz slik je razvidno, da je maksimalna napetost po Misesu 57,81MPa, največja deformacija je 0,015mm, in najnižji faktor varnosti 15. V primerjavi z ojnico s kvadratnimi luknjami so napetosti nižje a kljub temu je deformacija večja.



Slika 54: Napetosti po Misesu v ojnici v SMT



Slika 55: Deformacija ojnice v SMT



Slika 56: Faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v SMT

4.7 Preračun primerjalnih vztrajnostnih sil modelov ojníc

Za primerjavo obremenitve spodnjega ležaja preračunamo, inercialno silo ojnice za vsak model. Pri tem upoštevamo, da ležaj bremeni vztrajnostna sila mase ojnice nad sredino ležišča ležaja.

$m_1 = 0,065\text{kg}$
 $m_2 = 0,053\text{kg}$
 $m_3 = 0,055\text{kg}$
 $m_4 = 0,038\text{kg}$
 $r = 0,0215\text{m}$
 $\omega = 837,75\text{ rad/sec}$
 $\alpha = 90^\circ$

$F_1 = ?$
 $F_2 = ?$
 $F_3 = ?$
 $F_4 = ?$



Slika 57: Prikaz dela ojnice katerega maso upoštevamo

$F_1 = m_1 \times r \times \omega^2 \times \sin\alpha$ $F_1 = 0,065 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times \sin 90$ $\underline{F_1 = 980,8N}$	$F_2 = m_2 \times r \times \omega^2 \times \sin\alpha$ $F_2 = 0,053 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times 1$ $\underline{F_2 = 799,7N}$
$F_3 = m_3 \times r \times \omega^2 \times \sin\alpha$ $F_3 = 0,055 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times 1$ $\underline{F_3 = 829,9N}$	$F_4 = m_4 \times r \times \omega^2 \times \sin\alpha$ $F_4 = 0,038 \times 0,0215 \times 837,75^2 \times 1$ $\underline{F_4 = 573,4N}$

m_1masa vzorčne ojnice
 m_2masa ojnice z okroglimi izvrtinami
 m_3masa ojnice s kvadratnimi luknjami
 m_4masa ojnice s spremenjeno geometrijo
 rradij gredi
 ωmaksimalna kotna hitrost motorja
 αkot med osjo ojnice in osjo valja

F_1vztrajnostna sila vzorčne ojnice
 F_2vztrajnostna sila ojnice z okroglimi izvrtinami
 F_3vztrajnostna sila ojnice s kvadratnimi luknjami
 F_4vztrajnostna sila ojnice s spremenjeno geometrijo

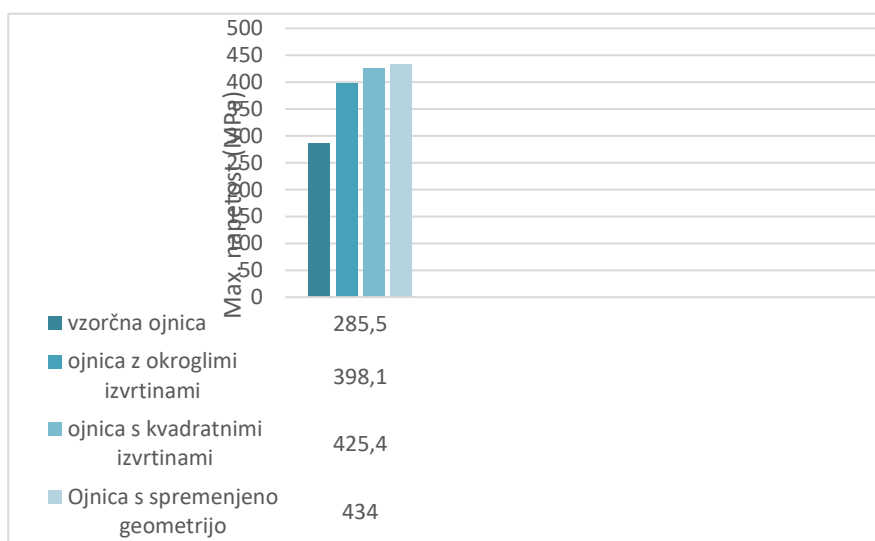
5. Rezultati

Iz analiz smo pridobili veliko podatkov. V nadaljevanju so prikazani podatki iz analiz vseh štirih modelov ojnice v vseh treh primerih obremenitev. Pomembno je, da rezultate med seboj primerjamo ter, da so jasno prikazani.

5.1 Rezultati analize obremenitve v ZMT

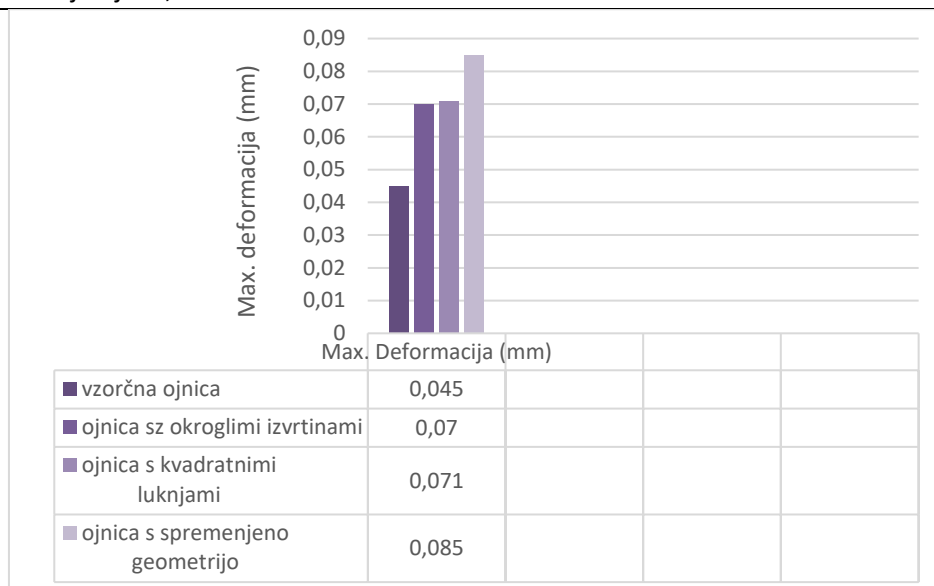
V nadaljevanju so primerjalno prikazani rezultati vseh štirih modelov ojnice v položaju bata v zgornji mrtvi točki. Prikazane bodo, primerjalne napetosti, deformacije in faktor minimalni faktor varnosti.

Iz spodnjega diagrama lahko razberemo, da se največja maksimalna napetost pojavi v ojnici s spremenjeno geometrijo, nekoliko manjša v ojnici s kvadratnimi luknjami, še manjša v ojnici z okroglimi izvrtinami ter najmanjša v vzorčni ojnici



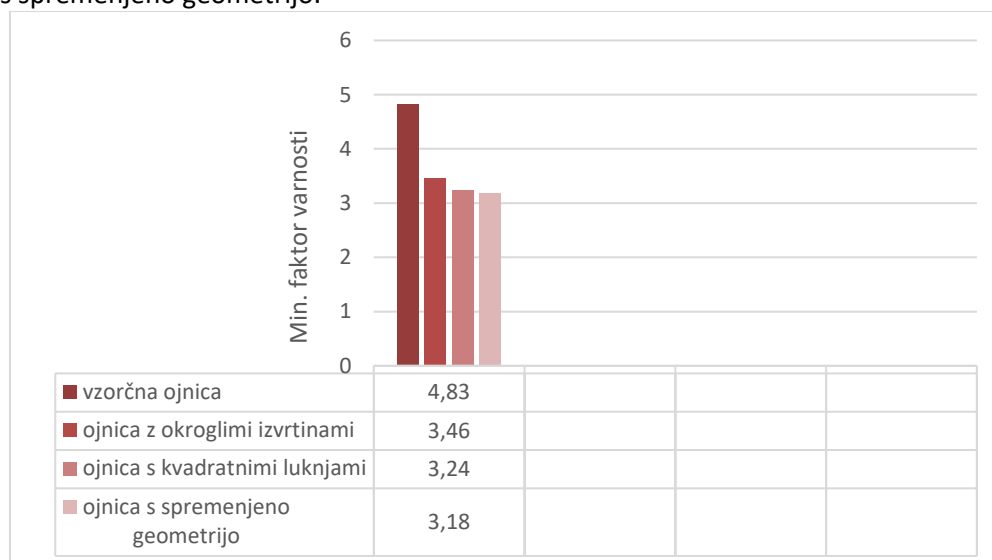
Slika 58: stolpični prikaz napetosti v ojnica v ZMT

Iz spodnje slike lahko razberemo, da se najbolj deformira ojnica s spremenjeno geometrijo, modificirani ojnici se deformirati približno enako, najmanj pa se deformira vzorčna ojnica.



Slika 59: stolpični prikaz maksimalne deformacije ojníc v ZMT

Iz slike 59 lahko razberemo, da ima največji minimalni faktor varnosti vzorčna ojnica in najmanjši ojnica s spremenjeno geometrijo.

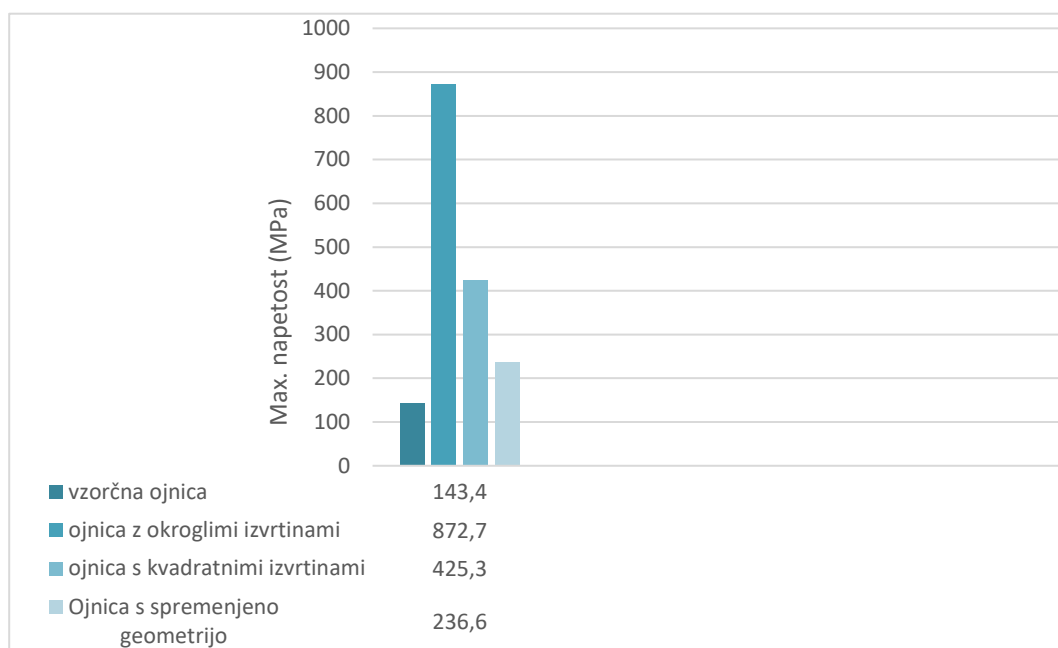


Slika 60: stolpični prikaz minimalnega faktorja varnosti ojníc v ZMT

5.2 Rezultati analize obremenitve v vmesnem položaju

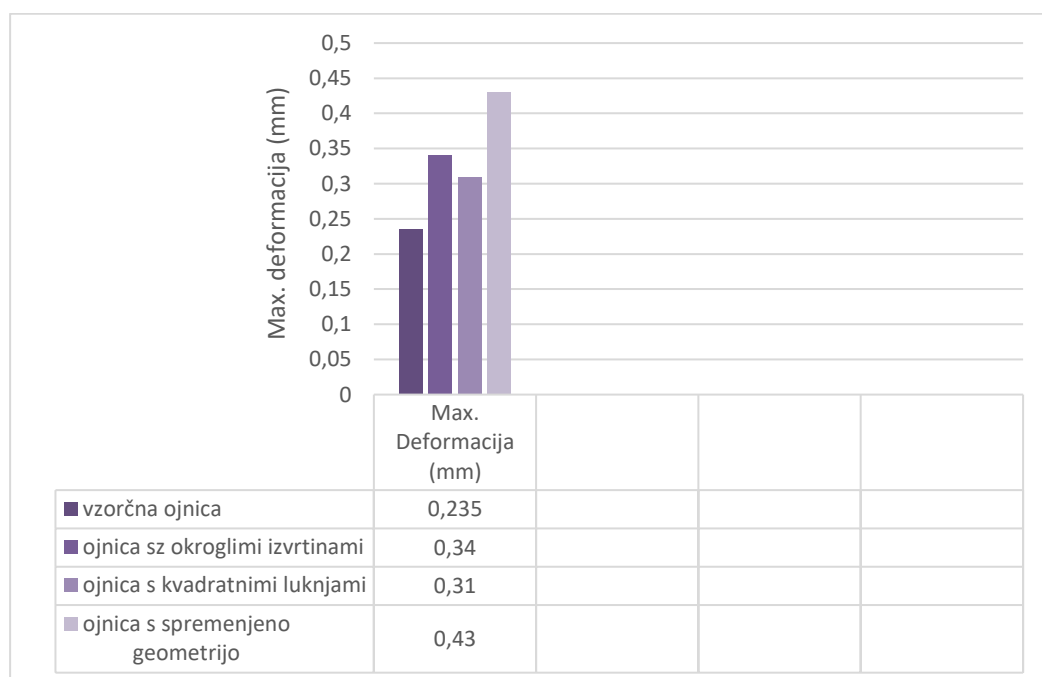
V nadaljevanju so primerjalno prikazani rezultati vseh štirih modelov ojnice v položaju bata v položaju 45° po zgornji mrtvi točki. Prikazane bodo, primerjalne napetosti, deformacije in faktor minimalni faktor varnosti.

Iz spodnjega prikaza lahko razberemo, da največja napetost nastane v ojnici z okroglimi izvrtinami, sledi ji ojnica s kvadratnimi luknjami, nato ojnica s spremenjeno geometrijo, najmanjša maksimalna napetost pa se pojavi v vzorčni ojnici.



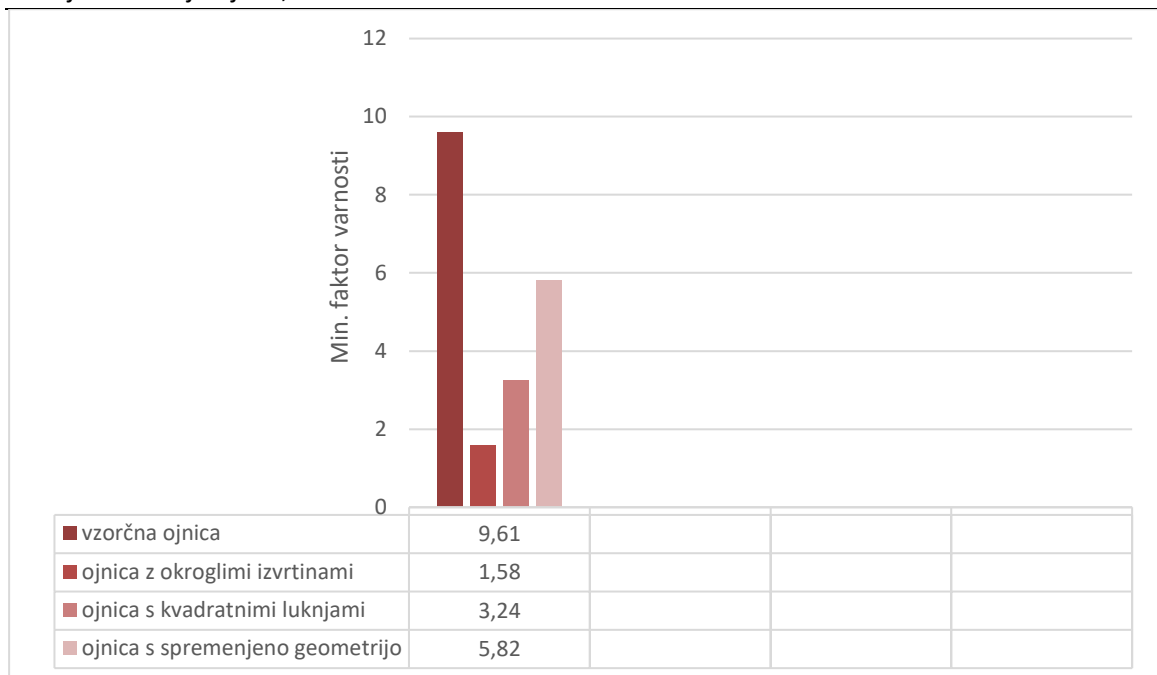
Slika 61: stolpični prikaz maksimalnih napetosti v ojnica v vmesnem položaju

Iz spodnje slike lahko razberemo, da pride do največje deformacije v ojnici s spremenjeno geometrijo, sledi ji ojnica z okroglimi izvrtinami, nato ojnica z kvadratnimi luknjami, najmanj pa se deformira vzorčna ojnica.



Slika 62: stolpični prikaz maksimalne deformacije ojnica v vmesnem položaju

Is slike 62 lahko razberem, da je največji minimalni faktor varnosti pri vzorčni ojnici, skoraj pol manjši pri ojnici s spremenjeno geometrijo, ponovno pol manjši pri ojnici s kvadratnimi luknjami, ter ponovno skoraj pol nekaj več kot pol manjši pri ojnici z okroglimi izvrtinami.

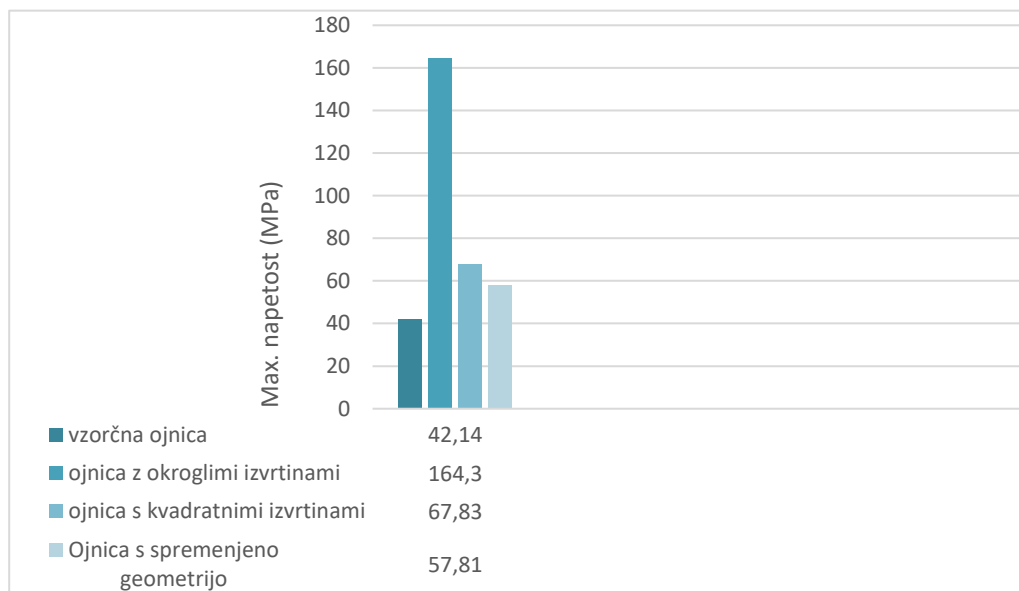


Slika 63: stolpični prikaz minimalnega faktorja varnosti ojníc v vmesnem položaju

5.3 Rezultati analize obremenitve v ZMT

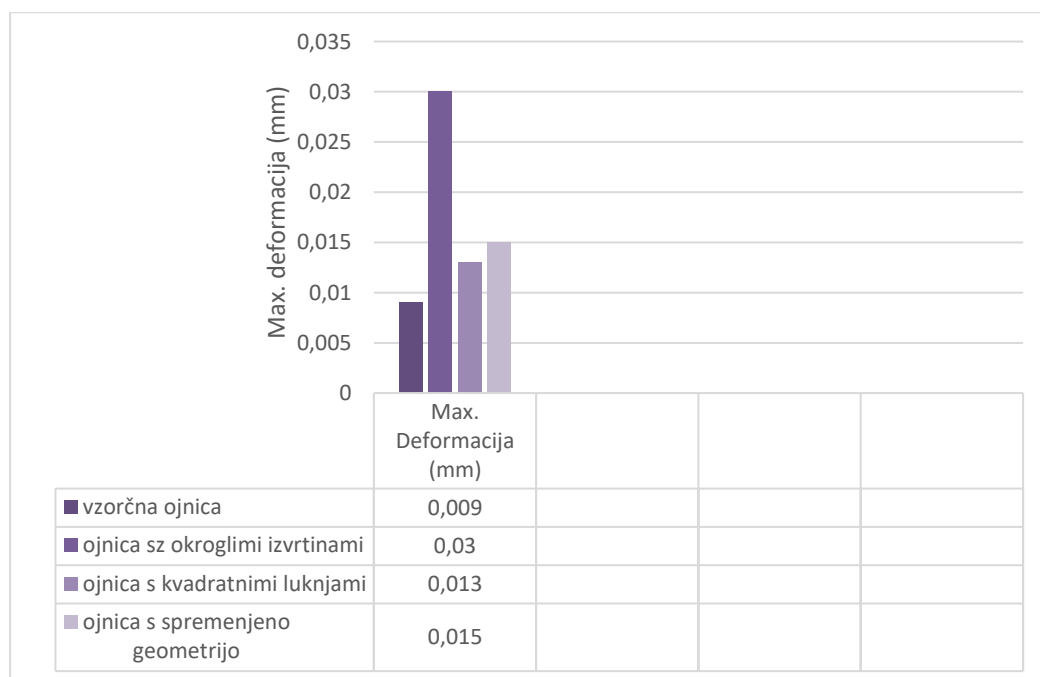
V nadaljevanju so primerjalno prikazani rezultati vseh štirih modelov ojnice v položaju bata v spodnji mrtvi točki. Prikazane bodo, primerjalne napetosti, deformacije in faktor minimalni faktor varnosti.

Iz spodnjega prikaza lahko razberemo, da največja napetost nastane v ojnici z okroglimi izvrtinami, sledi ji ojnica s kvadratnimi luknjami, nato ojnica s spremenjeno geometrijo, najmanjša maksimalna napetost pa se pojavi v vzorčni ojnici.



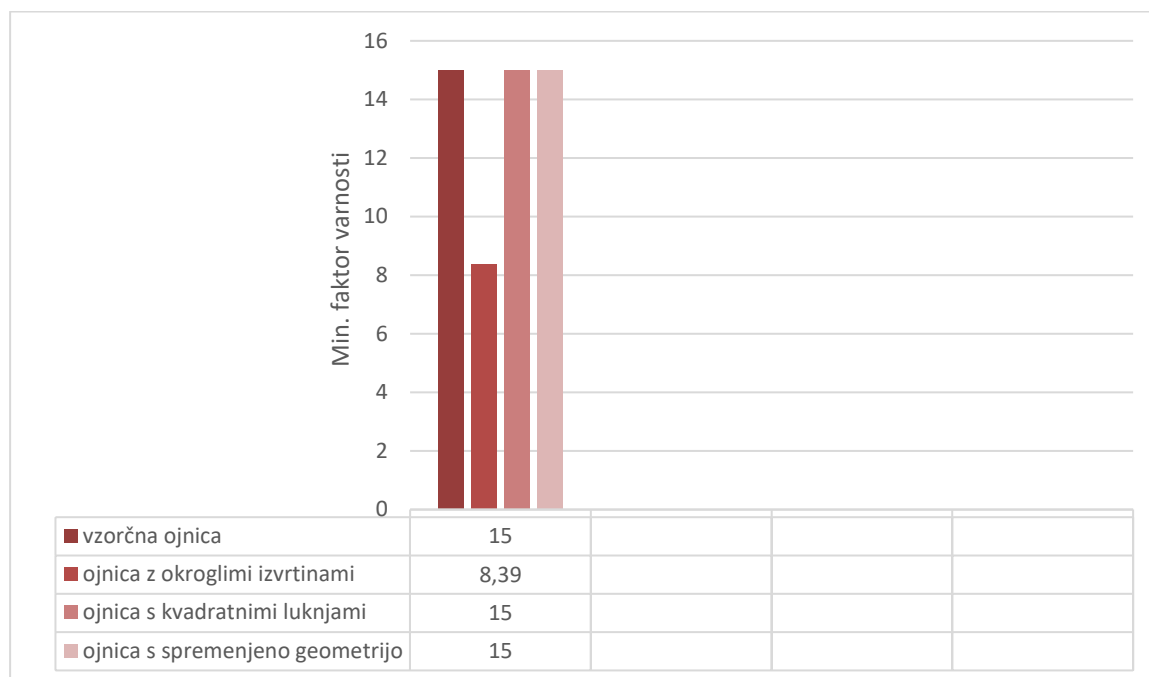
Slika 64: stolpični diagram maksimalnih napetosti v ojnica v SMT

Iz spodnje slike lahko razberemo, da pride do največje deformacije v ojnici z okroglimi izvrtinami, sledi ji ojnica z okroglimi izvrtinami s spremenjeno geometrijo, nato ojnica s kvadratnimi luknjami, najmanj pa se deformira vzorčna ojnica.



Slika 65: stolpični prikaz maksimalnih deformacije ojnica v SMT

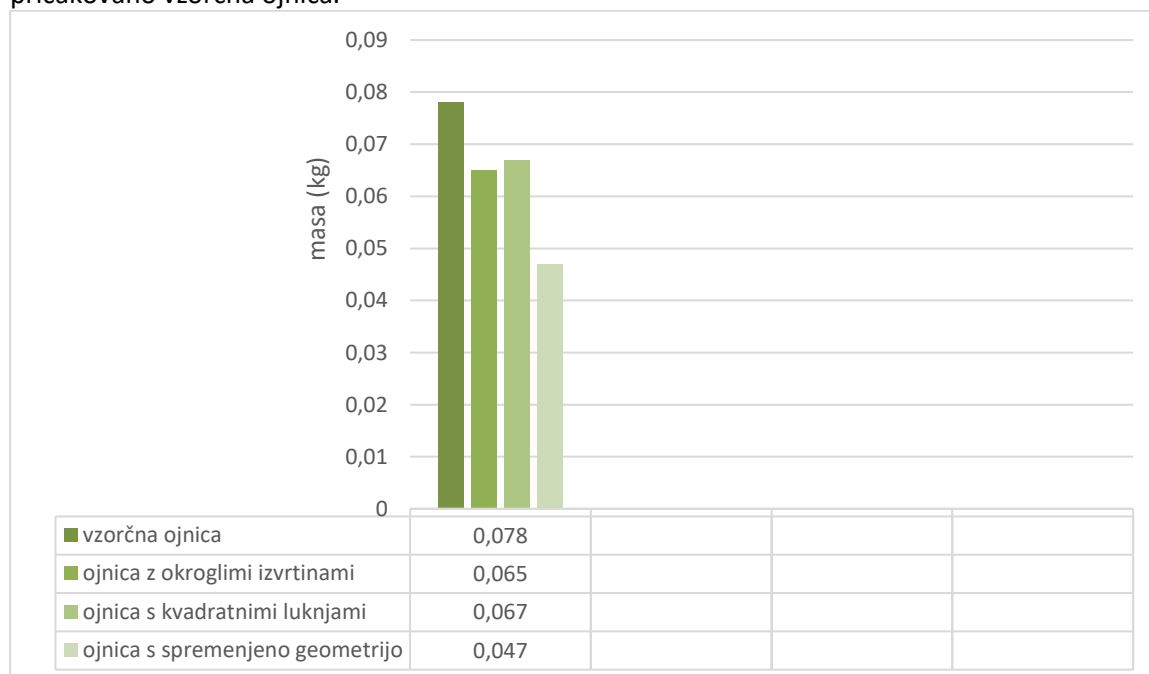
Iz slike 62 lahko razberem, da je največji minimalni faktor varnosti pri vzorčni ojnici in pri ojnici s spremenjeno geometrijo in tudi v ojnici s kvadratnimi luknjami najmanj 15, v ojnici z okroglimi izvrtinami pa je minimalni faktor varnosti precej manjši in sicer pade na 8,39.



Slika 66: stolpčni prikaz minimalnega faktorja varnosti v ojnica v SMT

5.4 Primerjava mase ojníc

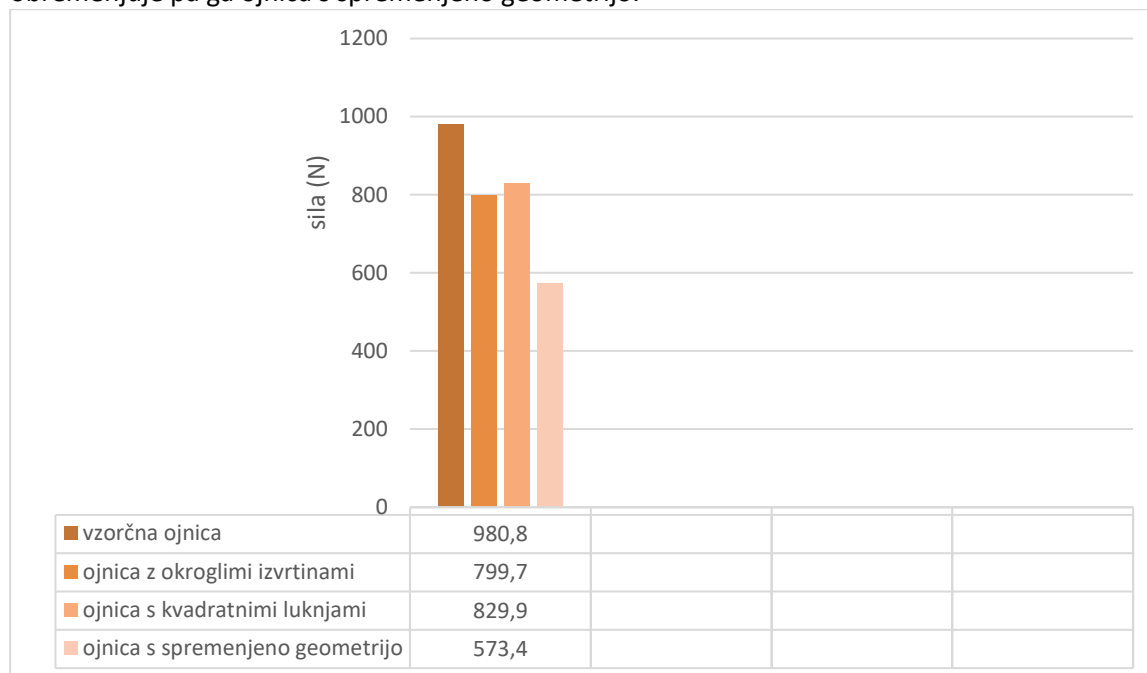
Iz spodnje slike lahko vidimo, da je najlažja ojnica s spremenjeno geometrijo, druga najlažja je ojnica z okroglimi izvrtinami, sledi ji ojnica s kvadratnimi luknjami, največjo masa pa ima pričakovano vzorčna ojnica.



Slika 67: primerjava mase ojníc med seboj

5.5 Primerjava obremenitve spodnjega ležaja v SMT

Kot pričakovano najbolj obremenjuje ležaj inercialna sila vzorčne ojnice, na drugem mestu je ojnica s kvadratnimi luknjami, na tretjem mestu je ojnica z okroglimi izvrtinami, najmanj obremenjuje pa ga ojnica s spremenjeno geometrijo.



Slika 68: primerjava obremenitve spodnjega ležaja SMT

6. Analiza rezultatov

Rezultati v večini potrjujejo predpostavljene hipoteze. Statična analiza vzorčne ojnice potrjuje, da je le ta predimenzionirana in ni optimizirana za delovne pogoje motorja. Potrdili smo tudi hipotezo, da s manjšimi modifikacijami ojnice lahko dosežemo manjšo maso in ohranimo potrebno strukturno trdnost, vendar kot je razvidno iz primerjave napetosti med ojnica s kvadratnimi in okroglimi luknjami geometrija posega vpliva na obnašanje ojnice pod obremenitvijo. Razlika je najbolj opazna v vmesnem položaju ojnice kjer se maksimalna napetost v ojnici z okroglimi izvrtinami skoraj podvoji v primerjavi z ojnico s kvadratnimi luknjami in se nevarno približa maksimalni dopustni napetosti. Potrdili smo tudi hipotezo, da je z relativno preprosto spremembo geometrije mogoče doseči veliko boljše rezultate kot zgolj z modificiranjem obstoječe ojnice.

V primerjavi vseh kriterijev se ojnica s spremenjeno geometrijo najbolj obnese saj je 39,7% lažja kot vzorčna ojnica in splošno bolje prenaša obremenitve v primerjavi s predelanima ojnica, ki sta lažji zgolj za 16,9% in 14,3% in v večini primerov obremenitve slabše oz. primerljivo prenašati obremenitve.

Potrdili smo tudi hipotezo, da lažja ojnica manj obremenjuje ležaje motorja, predvsem spodnji ležaj ojnice in ležaje motorne gredi. Tudi v tem primeru se je ojnica s spremenjeno geometrijo izkazala najboljše saj v SMT ležaj obremenjuje le z silo 575,4N v primerjavi z tovarniško ojnico, ki ležaj obremenjuje s silo 980,8N.

7. Zaključek

V prihodnje bi se lahko bolj posvetil še različnim materialom, predvsem kompozitnim materialom, kot so ogljikova vlakna, ki imajo ogromno potenciala a ker zahtevajo veliko načrtovanja usmeritve posameznih vlaken so zelo draga, zanimivo bi bilo posvetiti tudi pozornost generiranju zahtevnih močno optimiziranih oblik generiranih s pomočjo umetne inteligence in z izdelavo s pomočjo selektivnega laserskega 3D tiskanja, ki omogoča izdelavo kompleksnih in tudi votlih oblik iz različnih materialov. V prihodnosti pa bodo zagotovo razvili tudi še naprednejšo programsko opremo z natančnejšimi simulacijami, ki bodo omogočale izdelavo bolj kompleksnih izdelkov hitro in enostavno, ki bodo morda omogočale tudi dinamično analizo napetosti. Morda bi bilo dobro raziskati optimizacijo batnega sestava saj tudi le ta pripeva precejšen del inercijske obremenitve. Pomanjkljivost te raziskovalne naloge je, da so obremenitve močno poenostavljene ker je dinamične obremenitve težko pretvoriti v statične zato so tudi bile statične analize izvedene v treh stanjih oz. položajih ojnice, da bi bolje predstavil cikel obremenitev, ki jih prenaša ojnica.

8. Literatura

1. Pravardhan S. Shenoy, Ali Fatemi. Connecting Rod Optimization for Weight and Cost Reduction. Vol. 114, Section 5: JOURNAL OF MATERIALS AND MANUFACTURING (2005), pp. 523-530 (8 pages).
Dostopno na WWW: <https://www.jstor.org/stable/44718931> (28.2.2023).
2. Octavio Andrés González Estrada. Optimization of the connecting rod of a two-stroke engine using finite element analysis, November 2019, Journal of Physics Conference Series.
Dostopno na WWW: <https://rb.gy/pqctyg> (28.2.2023)
3. Zasnova ojnice - Conrod design
<https://www.dpengineparts.com/conrod-designs> (Pridobljeno 2023-2-27)
4. B. Sriharsha, P. Sudhakar Rao. Design Considerations for Connecting Rod: International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) (Volume-9 Issue-3, February 2020)
<https://rb.gy/jfjsqq> (Pridobljeno 2023-2-26)
5. C.POTTER, Merle, in W.SOMERTON, Craig.2020.Thermodynamics for Engineers:4.Izdaja.ZDA: McGraw-Hill Education.ISBN 978-1-260-45652-3
6. LEP, Denis, Dimenzioniranje nosilca hidroležaja: Magistrsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, maj 2013.
7. Lastnosti jekla 43CrMo4
<https://rb.gy/urdrsn> Pridobljeno 2023-3-25

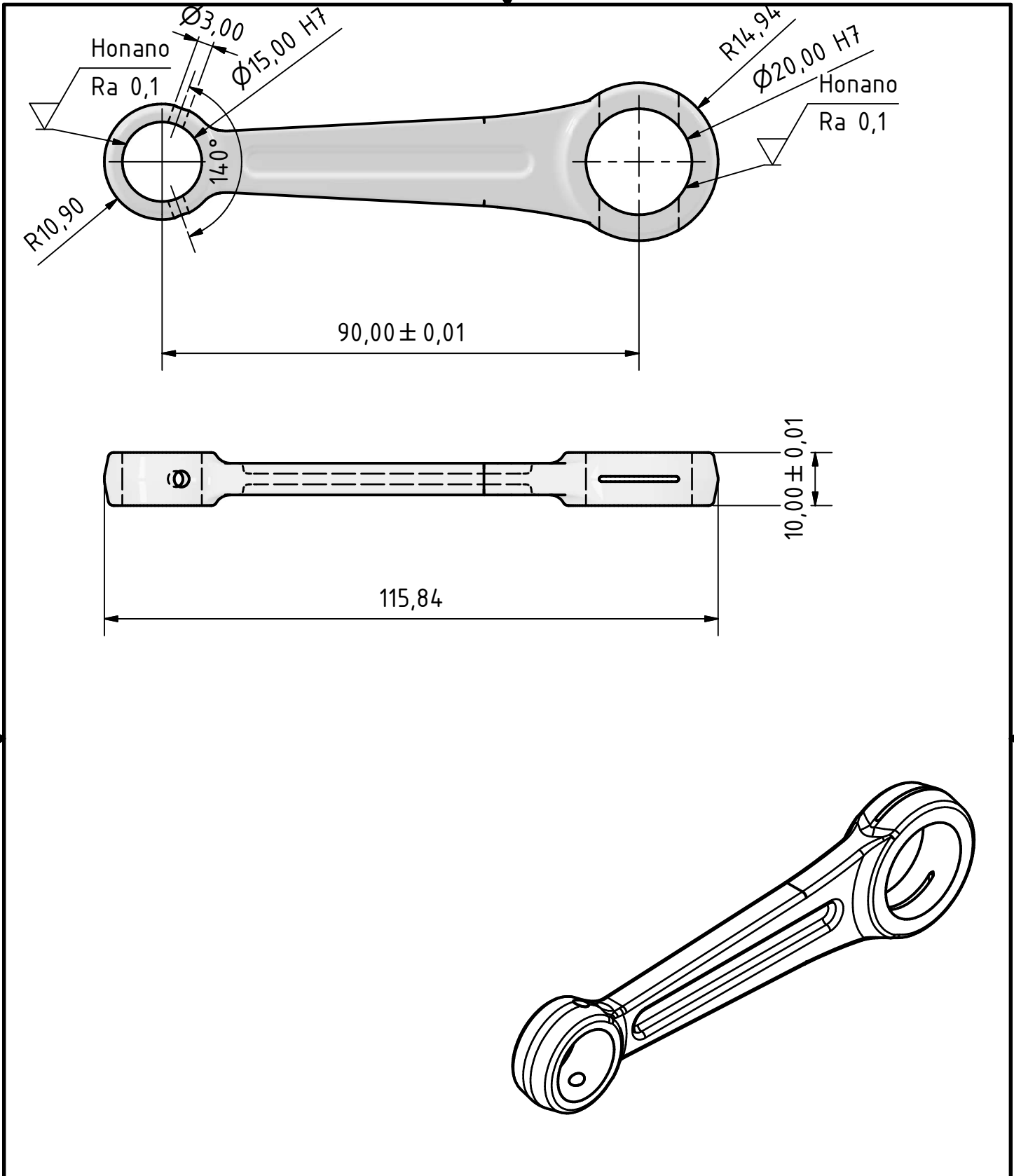
9. Kazalo slik

Slika 1: Lastnosti materiala 42CrMo4.....	8
Slika 2: Obremenitev ojnice v ZMT.....	10
Slika 3: Obremenitev ojnice v SMT.....	11
Slika 4: Obremenitev ojnice v vmesnem stanju.	12
Slika 5: numerični model vzorčne ojnice.....	14
Slika 6: model končnih elementov.	14
Slika 7: napetosti v ojnici po Misesu.	15
Slika 8: deformacije ojnice.	15
Slika 9: faktor varnosti glede na napetosti v ojnici.....	16
Slika 10: prikaz obremenitev na ojnico.	16
Slika 11: napetosti po Misesu v vmesnem položaju ojnice.	17
Slika 12: prikaz deformacije ojnice v vmesnem položaju.....	17
Slika 13: faktor varnosti glede na napetosti v vmesnem položaju.....	18
Slika 14: napetosti v ojnici v SMT po Misesu.....	18
Slika 15: Deformacija ojnice v SMT.	19
Slika 16: Faktor varnosti glede na napetosti v SMT.	19
Slika 17: Model ojnice z okroglimi izvrtinami.....	20
Slika 18: MEK model ojnice z okroglimi izvrtinami.....	20
Slika 19: Napetosti v ojnici z luknjami po Misesu v ZMT.....	21
Slika 20: pojav zarezne učinka v izvrtinah.....	21
Slika 21: deformacija ojnice z okroglimi izvrtinami v ZMT.....	22
Slika 22: faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v ojnici z okroglimi izvrtinami v ZMT.....	22
Slika 23: razporeditev sil v vmesnem položaju.....	23
Slika 24: napetosti v ojnici z luknjami v vmesnem položaju.....	23
Slika 25: deformacija ojnice z okroglimi izvrtinami v vmesnem položaju.....	24
Slika 26: faktor varnosti ojnice glede na napetosti v vmesnem položaju.....	24
Slika 27: napetosti po Misesu v ojnici z okroglimi izvrtinami v SMT.....	25
Slika 28: deformacija ojnice z okroglimi luknjami v SMT.....	25
Slika 29 Faktor varnosti ojnice z okroglimi luknjami v odvisnosti od napetosti v položaju SMT.....	26
Slika 30. 3D model ojnice z kvadratnimi luknjami.....	26
Slika 31: MKE model ojnice z kvadratnimi luknjami.....	27
Slika 32. napetosti v ojnici s kvadratnimi luknjami po Misesu.....	28
Slika 33: pojav zarezne učinka v kotih kvadrata.....	28
Slika 34. deformacija ojnice s kvadratnimi luknjami v ZMT.....	29
Slika 35: faktor varnosti ojnice glede na napetosti v ojnici s kvadratnimi luknjami.	29
Slika 36: razporeditev sil na ojnici z kvadratnimi luknjami v vmesnem položaju.....	30
Slika 37: Napetost v ojnici s kvadratnimi luknjami po Misesu.....	30
Slika 38: pojav zarezne učinka v vmesnem položaju.....	31
Slika 39. deformacija ojnice s kvadratnimi luknjami v vmesnem položaju.....	31
Slika 40: faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v ojnici v vmesnem položaju.....	32
Slika 41: Napetost po Misesu v ojnici s kvadratnimi luknjami v položaju SMT.....	32
Slika 42: deformacija ojnice s kvadratnimi luknjami v SMT.....	33
Slika 43: faktor varnosti ojnice glede na napetost.....	33
Slika 44: geometrija generirana z vgrajeno funkcijo Shape generator.....	34
Slika 45: 3D model ojnice s spremenjeno geometrijo.....	34
Slika 46: MKE numerični model.....	35
Slika 47: Napetosti po Misesu v ojnici z novo geometrijo.....	35
Slika 48: Deformacija ojnice z spremenjeno geometrijo v ZMT.....	36

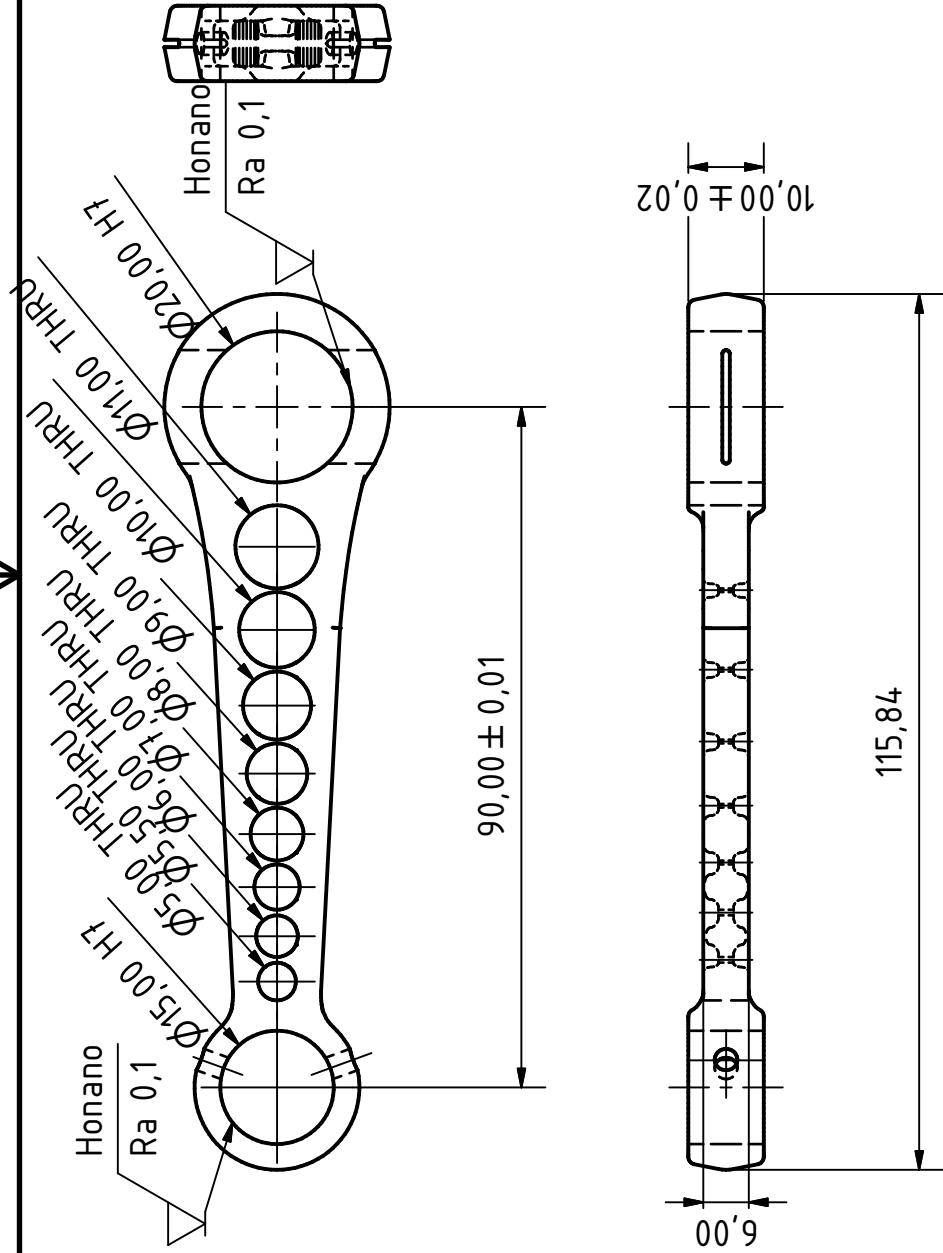
Slika 49: Faktor varnosti glede na napetosti v ZMT	36
Slika 50: Razporeditev sil na ojnico v ZMT	37
Slika 51: Napetosti po Misesu v ojnici v vmesnem položaju	37
Slika 52: Deformacija ojnice v vmesnem položaju	38
Slika 53: Faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v ojnici v vmesnem položaju	38
Slika 54: Napetosti po Misesu v ojnici v SMT	39
Slika 55: Deformacija ojnice v SMT	39
Slika 56: Faktor varnosti v odvisnosti od napetosti v SMT	40
Slika 57: Prikaz dela ojnice katerega maso upoštevamo	41
Slika 58: stolpični prikaz napetosti v ojnica v ZMT	42
Slika 59: stolpični prikaz maksimalne deformacije ojnica v ZMT	43
Slika 60: stolpični prikaz minimalnega faktorja varnosti ojnica v ZMT	43
Slika 61: stolpični prikaz maksimalnih napetosti v ojnica v vmesnem položaju	44
Slika 62: stolpični prikaz maksimalne deformacije ojnica v vmesnem položaju	44
Slika 63: stolpični prikaz minimalnega faktorja varnosti ojnica v vmesnem položaju	45
Slika 64: stolpični diagram maksimalnih napetosti v ojnica v SMT	46
Slika 65: stolpični prikaz maksimalnih deformacije ojnica v SMT	46
Slika 66: stolpični prikaz minimalnega faktorja varnosti v ojnica v SMT	47
Slika 67: primerjava mase ojnica med seboj	47
Slika 68: primerjava obremenitve spodnjega ležaja SMT	48

10. Priloga

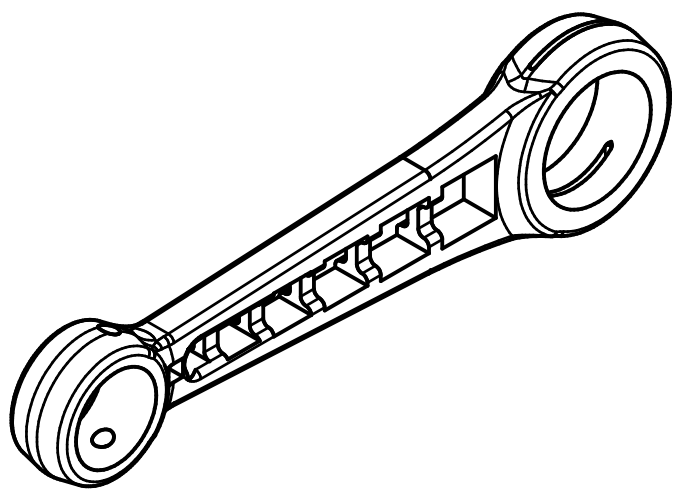
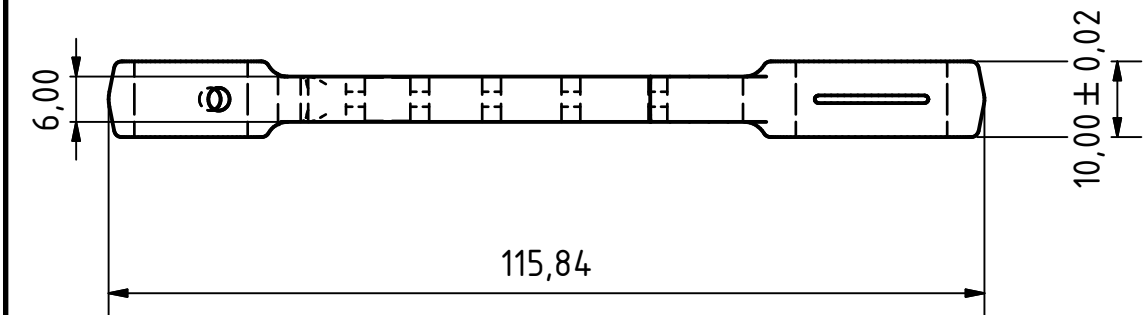
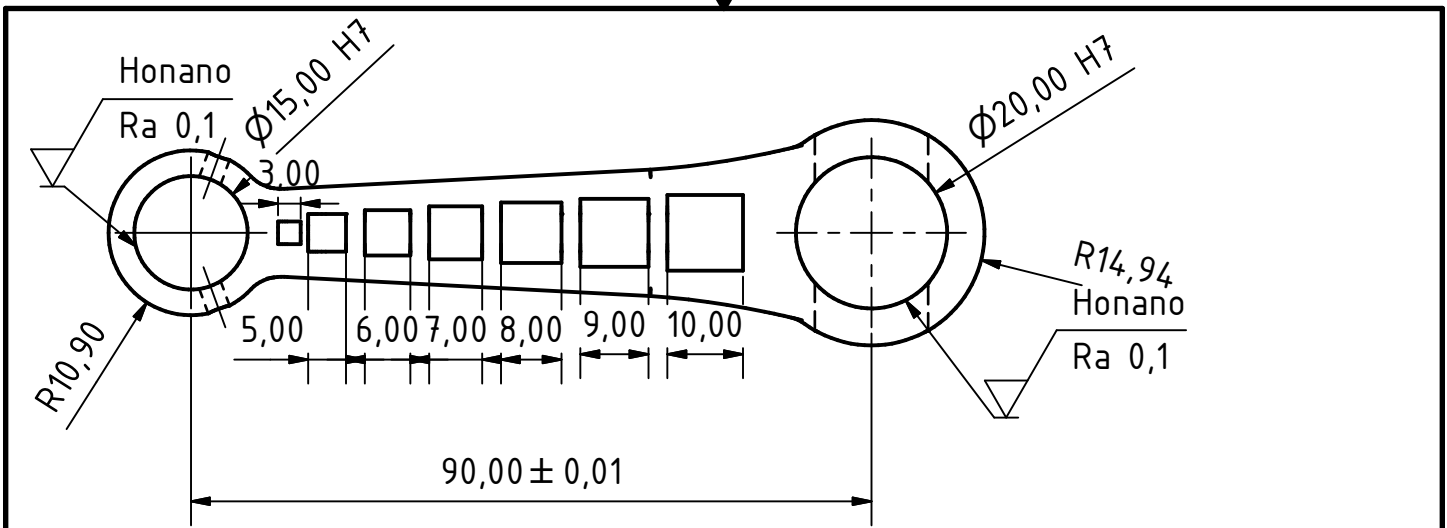
1. Delavniška risba tovarniške ojnice
2. Delavniška risba ojnice z okroglimi izvrtinami
3. Delavniška risba ojnice s kvadratnimi luknjami
4. Delavniška risba ojnice s spremenjeno geometrijo



						42CrMo4			
						1:1			
					Date	Name	Ojnica		
				Drawn	28. 02. 2023	Andrej Albreht			
				Checked					
				Standard					
							1		
State	Changes	Date	Name						A4

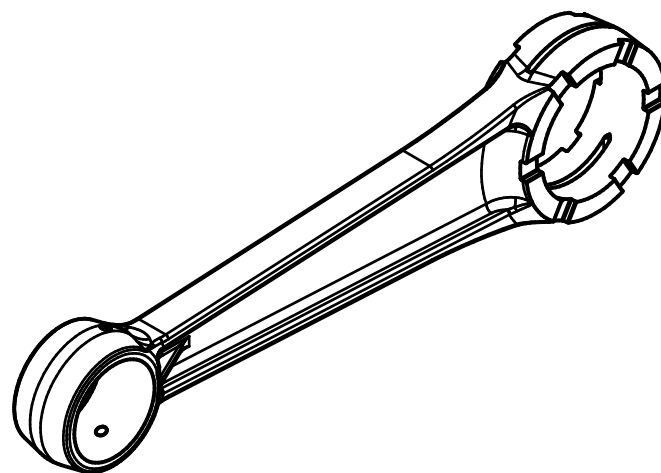
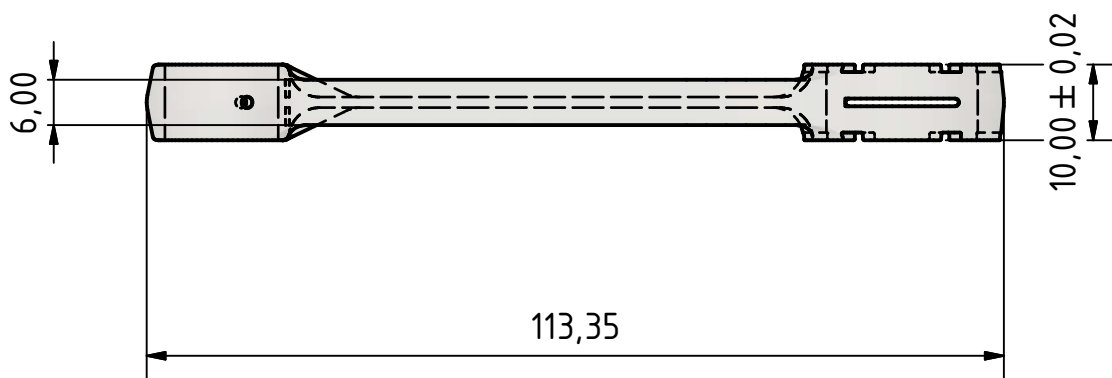
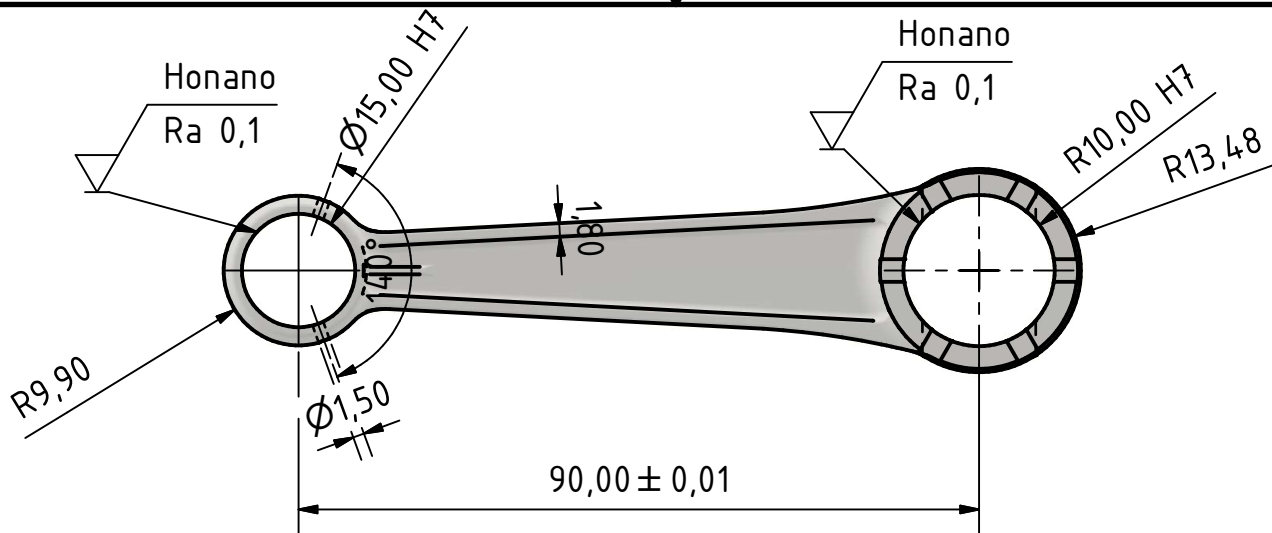


			42CrMo4			
			1:1			
			Ojnica z okroglimi izvrtinami			
					2	
					1	
					A4	



						42CrMo4			
						1:1			
				Date	Name	Ojnica s kvadratnimi luknjami			
				Drawn	28. 02. 2023				Andrej Albreht
				Checked					
				Standard					
						3		1	
								A4	
State	Changes	Date	Name						





						42CrMo4			
						1:1			
				Date	Name	Ojnica s s spremenjeno geom.			
				Drawn	28. 02. 2023 Andrej Albreht				
				Checked					
				Standard					
						4		1	
								A4	
State	Changes	Date	Name						