

ОПТИМИЗАЦИЈА КОНЗОЛНОГ НОСАЧА ПРИМЕНОМ МЕТОДЕ ТОПОЛОШКЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ**OPTIMIZATION OF CONSOLE BRACKET USING TOPOLOGY OPTIMIZATION METHOD**

Лајош Лоци, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

Кратак садржај – У раду је представљен процес тополошке оптимизације алуминијумског конзолног носача са циљем смањења масе завареног склопа под условом очувања чврстоће склопа и његових механичких карактеристика. Симулација је извршена у програму SolidWorks 2020.

Кључне речи: Тополошка оптимизација, SolidWorks, SIMP методологија

Abstract – In this master's thesis, topology optimization was successfully applied to an aluminum cantilever beam with the aim of reducing its mass, and the optimization was conducted using SolidWorks software. The optimization process resulted in a significant reduction in the mass of the structure, with minimal compromise to its mechanical properties, such as strength and stiffness.

Keywords: Topology optimization, SolidWorks, SIMP methodology

1. УВОД

Тополошка оптимизација, омогућава дизајн структура са максималном ефикасношћу употребом минималне количине материјала. Применом методе тополошке оптимизације, могуће је значајно побољшати ефикасност дизајна конзолних носача кроз рационализацију расподеле материјала, што резултира лакшом и ефикаснијом структуром.

Циљ овог рада је да истражи примену методе тополошке оптимизације на примеру конзолног носача, која ће омогућити побољшане перформансе носача путем смањивања масе носача.

2. ТОПОЛОШКА ОПТИМИЗАЦИЈА

Тополошка оптимизација је једна од најзначајнијих метода у савременом инжењерском дизајну која омогућава оптималну расподелу материјала унутар структуре уз истовремено испуњавање задатих ограничења.

За разлику од традиционалних метода оптимизације облика и величина, које се фокусирају на модификацију постојећих геометријских параметара,

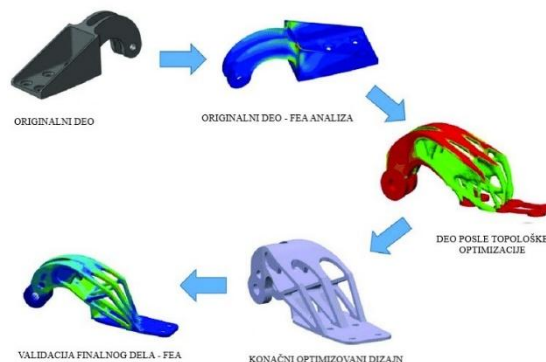
тополошка оптимизација омогућава дизајн структуре „од нуле”, дефинишући где ће се материјал налазити, а где неће [1].

Да би се добили оптимални резултати приликом оптимизације, потребно је поставити одређена ограничења, јер у супротном долази до проблема приликом оптимизације због мањка јасно дефинисаног решења [2].

Нека од ограничења која могу да се примене су:

- тежина,
- крутост,
- критично оптерећење,
- напон,
- померање,
- димензије [3].

На слици 1. је приказан пример процеса тополошке оптимизације.



Слика 1. - Пример процеса тополошке оптимизације [3]

3. АЛАТИ И МЕТОДЕ

За потребе овог рада, тј. за оптимизацију конзолног носача применом методе тополошке оптимизације употребљен је CAD софтвер SolidWorks чија интегрисана тополошка оптимизација је заснована на SIMP методологији. Затим, у складу са описаним процесом тополошке оптимизације, кориштена је и FEA анализа заснована на методи коначних елемената (FEM) која је такође део CAD софтвера SolidWorks.

3.1. SIMP метода тополошке оптимизације

SIMP (енгл. Solid Isotropic Material with Penalization) је један од најефикаснијих и најчешће коришћених приступа у тополошкој оптимизацији. Ова метода

НАПОМЕНА:

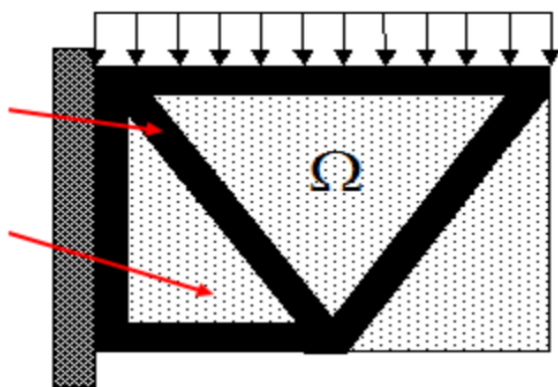
Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Миленко Секулић, ред. проф.

омогућава инжењерима да пронађу оптималну дистрибуцију материјала унутар задатог домена са циљем да се постигну најбоље карактеристике структуре, као што су минимална тежина и максимална крутост [4].

SIMP методологија функционише на принципу додељивања густине материјала сваком елементу унутар домена. Основна идеја је да сваки део структуре може бити изграђен од материјала који има густину од 0 до 1, где 0 представља празан простор, а 1 представља пуни материјал [5].

- $\rho_{(e)} = 1$ где је материјал потребан,
- $\rho_{(e)} = 0$ где је материјал уклоњен.

Слика 5. приказује оптимизован распоред материјала унутар греде под напоном где је пун материјал $\rho_{(e)} = 1$ приказан црном бојом, а елементи празнине $\rho_{(e)} = 0$ су уклоњени.



Слика 1. - Приказ оптимизованог материјала на примеру греде под напоном [6]

3.2. Анализа коначних елемената – FEA

Анализа коначних елемената (FEA) је једна од најважнијих техника у модерном инжењерству и примењује се на различите проблеме, укључујући механичку анализу конструкција, термалну анализу, динамику флуида и многе друге домене.

FEA је нумеричка метода која решава диференцијалне једначине помоћу дискретизације континуалног система у мале, повезане елементе [7]. Сваком од тих елемената додељује се једноставна математичка апроксимација облика (нпр. полином), а читав систем се описује као збир индивидуалних елемената који су међусобно повезани [7]. Оваква дискретизација омогућава приближно решење за иначе веома сложене и нерешиве проблеме у континуалном облику [8].

3.3. SolidWorks 2020

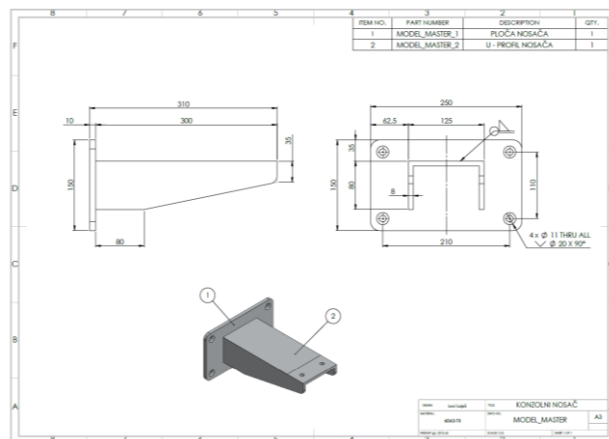
SolidWorks 2020 је један од водећих CAD софтвера за 3D моделирање и симулације, који се широко користи у различитим инжењерским дисциплинама, укључујући машинство, архитектуру и индустријски дизајн. Унутар SolidWorks програма, симулација тополошке оптимизације се спроводи коришћењем горе поменутих метода као што је SIMP.

Тополошка оптимизација у програму SolidWorks укључује уклањање непотребног материјала из конструкције, чиме се добијају лакше и ефикасније структуре.

4. ОПТИМИЗАЦИЈА КОНЗОЛНОГ НОСАЧА

4.1. Дефинисање модела

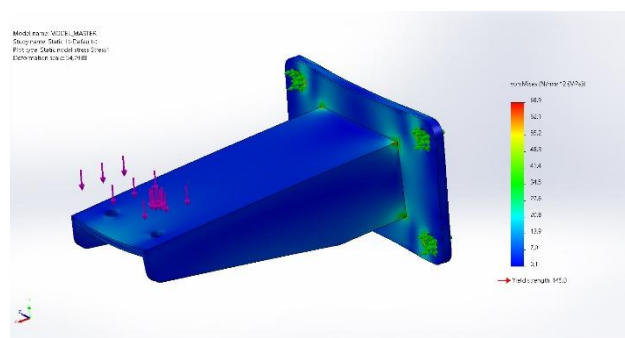
Заварени склоп носача који ће се користити при оптимизацији у овом раду се састоји од плоче носача дебљине 10 mm (1) и стандардног алуминијумског „U“ профила (2) димензија 125x80x8 mm. Технички цртеж склопа се приказан на слици 2.



Слика 2. - Склопни цртеж алуминијумског конзолног носача - (1) – плоча носача; (2) – „U“ профил носача

4.2. Симулација тополошке оптимизације

На основу података добијених FEA анализом, са слике 3. се види, да се највећа концентрација напона налази већим делом на плочи, а мањим делом на врху конзолног носача. Добијени резултати који могу да се читају са скале показују да је максимални напон $\sigma_{max} = 68.9$ МПа, а да се нека средња вредност напона креће у распону од $20 \div 30$ МПа што је далеко испод границе текућа материјала од 148 МПа, и да се максимални напони јављају у зони где углови „U“ профила належу на плочу.



Слика 3. - Распоред Вон Мизесовог напона у склопу и МПа

Највећа деформација, тј. померање настала на врху конзоле и износи 0.569 mm док је минималан фактор сигурности износи 2.103.

Први корак при подешавању параметара и граничних услова је дефинисање фиксних тачака. У даљем процесу дефинисања услова, приступа се дефинисању

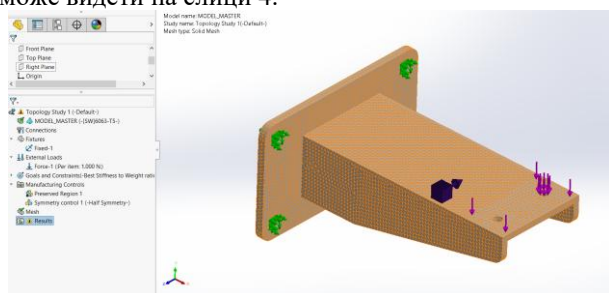
оптерећења. Оптерећење које делује на склоп, тј. на врх конзолног носача у овом случају износи $F = 1000 \text{ N}$.

У овом раду као циљ оптимизације, изабран је фактор смањења масе склопа, а да се при том очува почетна крутост и чврстоћа склопа.

У овом случају, од две понуђене опције, бира се опција за смањење масе у процентима, која у нашем случају износи за 70%. Могуће је одабрати и опцију где се дефинише смањење масе за одређену вредност уколико је то потребно. Затим је потребно дефинисати и додатне критеријуме који ће утицати на процес оптимизације. Једна од најважнијих опција, тј. критеријума код овог сегмента оптимизације је и дефинисање површина које неће бити захваћене симулацијом. У овом случају потребно је одабрати пролазне рупе на плочи као и површину на врху конзолног носача, те и два отвора који се налазе на њему и која служе за вијчану везу са другим склоповима.

Ради добијања униформнијих резултата симулације потребно је дефинисати и раван симетрије. Ова раван омогућава да се оптимизација изврши подједнако са обе стране дефинисане равни.

Као последњи корак у подешавању параметара оптимизације, потребно је дефинисати мрежу коначних елемената на моделу. Мрежа (енгл *MESH*) је дискретизована репрезентација континуираног геометријског домена. При подешавању мреже у овом раду, узета је средња величина елемената, ради добијања равнотеже између времена трајања симулације и довољне прецизности резултата. Изабран је стандардан троугласти облик елемената са величином од око 4.5 mm. Графички приказ мреже, као и осталих параметара подешавања симулације се може видети на слици 4.

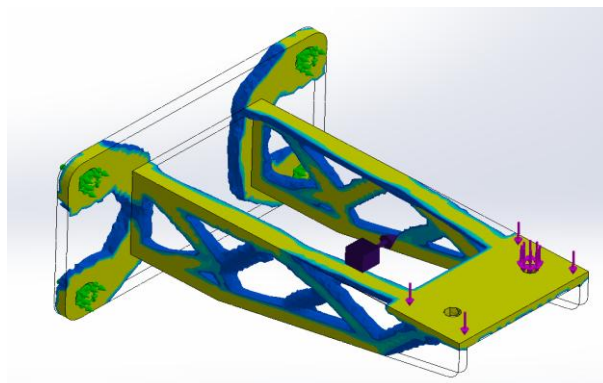


Слика 4. - Графички приказ мреже модела

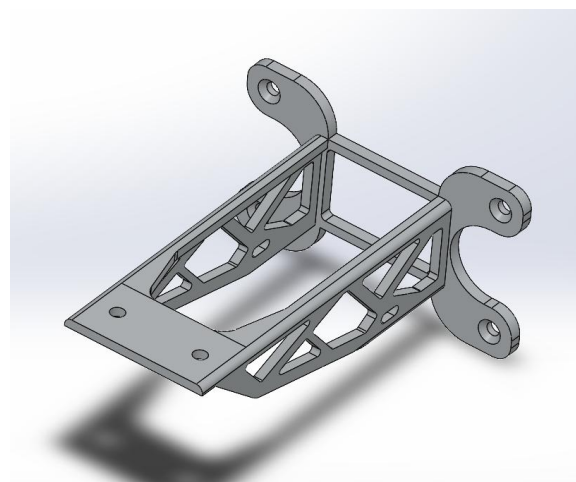
На слици 5. може се видети изглед модела склопа носача после оптимизације као и контуре почетног модела. Као што је иницијална *FEA* симулација приказала, највећи део материјала је одстранен са делова склопа који је најмање оптерећен напонима. Већи део конзолног носача је олакшан, као и делови плоче који не трпе оптерећење услед налегања носача. Задржан је материјал у области деловања оптерећења као и у областима које су предходно дефинисане као области које је потребно очувати.

Без постпроцесирања, резултати тополошке оптимизације могли би остати само теоријски концепти, јер би неправилни облици и грубе структуре могли бити непрактични или немогући за производњу. Сам процес постпроцесирања састоји се

из тога, да се почетни модел модификује на основу модела добијеног оптимизацијом. При модификацији почетног склопа носача, водило се рачуна да се модификације слажу у што већој мери са моделом добијеним оптимизацијом (слика 6.).



Слика 5. - Добијен модел склопа носача после оптимизације



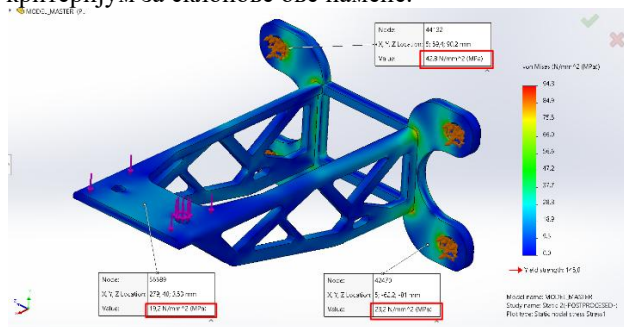
Слика 6. - Изглед модификованог склопа носача

4.3. Верификација путем друге статичке *FEA* анализе

Завршна *FEA* анализа је кључни корак у процесу пројектовања и верификације производа, посебно након тополошке оптимизације и постпроцесирања. Главни циљ завршне *FEA* анализе је да потврди да модификовани или постпроцесирани модел задовољава све функционалне и структуралне захтеве. Сви кораци из иницијалне анализе су поновљени, као и унете.

После завршене симулације добијени резултати, који могу да се прочитају са скале на слици 7., показују да је максимални напон $\sigma_{\max} = 94.3 \text{ MPa}$. Ова вредност је и даље доста нижа од границе течења материјала и налази се само на појединим местима око отвора на плочи. Треба напоменути да се вредност већина напона у склопу креће у распону од 20 - 40 MPa, које су на средњој вредности од максималног оптерећења дела.

Највећа деформација, тј. померање настало је на врху конзоле и износи 1.135 mm. Минималан фактор сигурности износи 1.537 што и даље задовољава критеријум за склопове ове намене.



Слика 7. - Распоред напона у склопу у МПа

5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Главни критеријум оптимизације био је смањење масе за 70%. На графику 1. може се уочити значајна редуција масе конзолног носача. Маса иницијалног склопа је била 2515 g, док маса склопа после оптимизације износи 931 g, што износи у процентима редуцирање масе од 63%. Добијени проценат је близу задатог циља где се мора напоменути да је постпроцесиран модел доста упрошћен у односу на генерисан, те је то последица одступања у резултатима оптимизације.

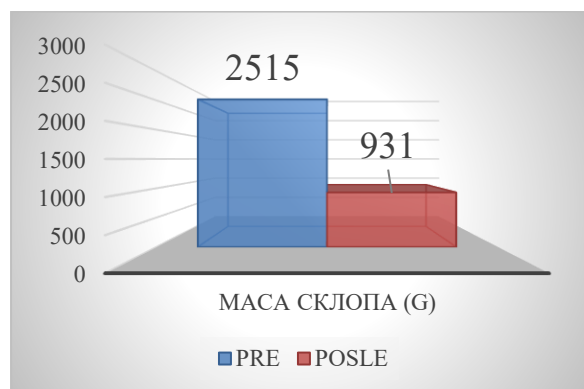


График 1. - Поређене масе склопова пре и после оптимизације

Што се тиче напона који се јављају у материјалу склопа, може се приметити благи пораст на критичним тачкама. Мора се напоменути да су те тачке изолованог карактера и да се ти напони јављају на веома малом делу склопа, те да се из претходних слика може уочити да је већина склопа оптерећена много мањим вредностима.

Вредност фактора сигурности на склопу пре оптимизације је била 2.1, а после 1.5. Уочава се пад на том пољу, али се вредност и даље налази у препорученим границама.

6. ЗАКЉУЧАК

У овом мастер раду успешно је примењена тополошка оптимизација на примеру конзолног носача од алуминијума с циљем смањења његове масе, а оптимизација је спроведена у софтверу SolidWorks.

Током рада је показано да тополошка оптимизација представља моћан алат за дизајн машинских делова од алуминијума, који могу задовољити захтеве у погледу масе и чврстоће, истовремено омогућавајући уштеду материјала.

Резултати истраживања показују да је применом тополошке оптимизације могуће постићи значајна побољшања у дизајну носећих структура. Овај процес не само да је олакшао конструкцију са смањеном масом, већ је и омогућио оптимизацију расподеле материјала унутар носача, што је допринело бољем искоришћењу ресурса и повећању ефикасности.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. Gao, M. Xiao, Y. Zhang, и L. Gao, „A Comprehensive Review of Isogeometric Topology Optimization: Methods, Applications and Prospects“, *Chinese J. Mech. Eng. (English Ed.*, том 33, изд. 1, 2020.
- [2] G. Jovicic, S. Tabaković, M. Zeljković, и C. Mladenović, *STRUKTURNA OPTIMIZACIJA POKRETNE PLATFORME VIŠENAMENSKE MAŠINE ALATKE SA HIBRIDNOM KINEMATIKOM*. 2016.
- [3] M. Tomlin и J. Meyer, „Topology Optimization of an Additive Layer Manufactured (ALM) Aerospace Part“, *7th Altair CAE Technol. Conf. 2011*, стр. 1–9, 2011.
- [4] O. Sigmund, „A 99 line topology optimization code written in Matlab“, *Struct. Multidiscip. Optim.*, том 21, изд. 2, стр. 120–127, 2001.
- [5] M. P. Bendsøe и O. Sigmund, *Topology Optimization*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- [6] „SIMP Method for Topology Optimization“. [На Интернету]. Available at: https://help.solidworks.com/2019/english/SolidWorks/cworks/c_simp_method_topology.htm. [Пристапљено: 01-Сеп-2024].
- [7] J. . Zienkiewicz, O.C, Taylor, R.L, Zhu, *The Finite Element Method: its Basis and Fundamentals*. Elsevier, 2013.
- [8] K. Bathe, „Finite Element Method“, у *Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering*, Wiley, 2008, стр. 1–12.

Kratka biografija:



Лајош Лоци рођен је 1984. године у Зрењанину, Република Србија. Основне академске студије завршио је на Факултету техничких наука, на ком је одбранио и мастер рад 2024. године, из области Производног машинства, смер Рачунаром подржана производња.

контакт: lakilajos@gmail.com