

4. Systém Creo Parametric

Softvér predstavuje komplexné CAD/CAM/CAE riešenie vyvinuté spoločnosťou PTC (Parametric Technology Corporation), nachádzajúce uplatnenie v rozličných priemyselných odvetviach pre účely návrhu, analýzy a výroby produktov. Jeho charakteristickými znakmi sú robustnosť, flexibilita a široké spektrum funkcionalít integrovaných v rámci unifikovanej platformy. Creo Parametric je parametrický softvér, ktorý umožňuje inteligentnú tvorbu 3D modelov založenú na princípe rodič/potomok. Vzťah rodič/potomok zabezpečí, že pri zmene rodičovského prvku sa zmení podľa neho aj potomok. Creo Parametric umožňuje tvorbu modelov vytvorením základného prvku. To znamená, že ak je vytvorený jeden základný prvok, každý ďalší model sa môže odkazovať na tento predchádzajúci prvok.

Primárnou metódou modelovania je parametrické modelovanie, ktoré umožňuje tvorbu inteligentných modelov s definovanými parametrami a vzájomnými vzťahmi medzi nimi. V prípade zmeny hodnoty jedného parametra, ako je napríklad číselná hodnota kóty, dochádza k automatickej aktualizácii celého modelu, čo signifikantne uľahčuje iterácie návrhu a implementáciu modifikácií. Softvér taktiež podporuje priame modelovanie, ktoré umožňuje intuitívne úpravy geometrie bez ohľadu na konštrukčnú históriu. Táto funkcionalita je obzvlášť užitočná pri rýchlych modifikáciách importovaných modelov alebo v počiatočných fázach návrhového procesu.

Softvér v rámci svojich jednotlivých moduloch ponúka špecializované funkcionality ako napríklad generatívny dizajn. Využitím umelej inteligencie a cloudových výpočtov je možné automaticky generovať optimalizované návrhy na základe zadaných požiadaviek. Integrované sú aj nástroje pre rozličné typy simulácií a analýz, ako napríklad analýza konečných prvkov (FEA - Finite Element Method), simulácie prúdenia tekutín (CFD - Computational Fluid Dynamics) a dynamické simulácie, umožňujú verifikáciu funkčnosti a vlastností produktu ešte pred jeho fyzickou realizáciou.

Vzhľadom na svoju robustnosť softvér umožňuje tvorbu komplexných zostáv z jednotlivých komponentov, definovanie ich vzájomných väzieb a detekciu kolízií. Okrem iného umožňuje automatické generovanie 2D výkresovej dokumentácie z 3D modelov, vrátane kót, tolerancií a kusovníkov.

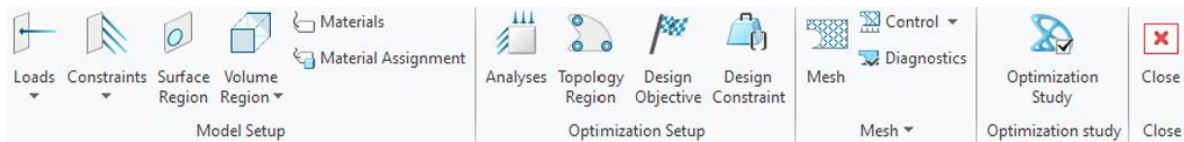
4.1. Topologická optimalizácia

Implementácia topologickej optimalizácie bola prvýkrát sprístupnená v softvérovom prostredí Creo Parametric vo verzii 5.0.0, uvedenej na trh v marci 2018. Funkcionalita **Topology Optimization** bola integrovaná v rámci karty **Applications** hlavného menu. Išlo o inovatívny prístup v danom softvérovom prostredí, ktorý adresoval fundamentálny inžiniersky problém automatizovanej redukcie hmotnosti produktu prostredníctvom eliminácie nepotrebného materiálu pri súčasnom zachovaní požadovaných mechanických vlastností, predovšetkým pevnosti. V tomto kontexte ide

o nástroj, ktorý automaticky generuje optimalizované tvary súčiastok na základe zadaných okrajových podmienok (zaťaženie, upevnenie, atď.) a cieľov (napr. minimalizácia hmotnosti, maximalizácia tuhosti).

Integrácia topologickej optimalizácie do systému Creo Parametric umožnila inžinierom efektívnejšie navrhovať ľahšie a pevnejšie súčiastky priamo v známom prostredí. To viedlo k skráteniu vývojového cyklu a zlepšeniu kvality produktov. Pred zavedením tejto funkcionality museli používatelia často využívať externé softvéry na topologickú optimalizáciu, čo bolo spojené s komplikovanejším prenosom dát a stratou niektorých atribútov navrhovaného modelu.

Panel funkcií pre menu **Topology Optimization** je rozložený v poradí v akom je nevyhnutné vykonať jednotlivé kroky pre vytvorenie optimalizovaného návrhu.

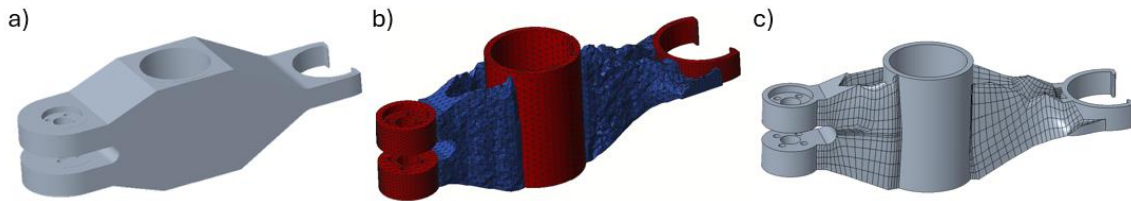


Obr. 18 Panel funkcií - Topology Optimization

- **Loads:** Pomocou tejto funkcie je možné zdefinovať podmienky na určitej časti modelu, ako je sila, moment, tlak, tepelné podmienky a ďalšie.
- **Constraints:** Väzby, ktoré slúžia na definovanie obmedzení pre topologickú optimalizáciu. Táto funkcia sa využíva pri zadaní plôch, v ktorých je uchytené teleso s odobratím jednotlivých stupňov voľnosti.
- **Surface Region, Volume Region:** Funkcie pre definovanie oblasti modelu za účelom priradenia parametrov.
- **Analyses:** Vytvorenie analýzy modelu, už so zadanými podmienkami.
- **Topology Region:** Funkcia pre určenie častí optimalizácie modelu, pridávanie ďalších väzieb, určenie percentuálneho objemu konečného modelu a ďalšie.
- **Design Objective:** Výber cieľa topologickej optimalizácie.
- **Design Constraint:** Zadanie obmedzení pre výpočet návrhu.
- **Mesh:** Vytvorenie polygónovej štruktúry.
- **Optimization Study:** Spustenie procesu optimalizácie.

Doba trvania optimalizačného procesu je závislá od viacerých faktorov, medzi ktoré patrí rozmer modelu, počet zadaných obmedzení, zvolený optimalizačný cieľ a tiež parametre výpočtovej techniky, predovšetkým výpočtový výkon. Nasledujúci obrázok demonštruje príklad topologickej optimalizácie. V rámci CAD modelu sú selektované plochy a objemy, ktoré sú vylúčené z optimalizačného procesu. Ich prípadná redukcia by viedla k nefunkčnosti daného návrhu a neschopnosti plniť stanovený účel. Na obrázku sú tieto nemenné časti vizuálne odlíšené červenou

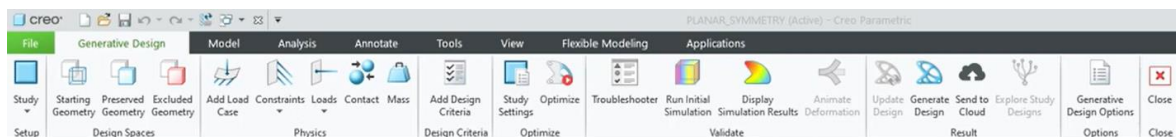
farbou. Vytvoriť viacero samostatných objemov, bez nutnosti pracovať v module Assembly je umožnené vďaka implementovanej funkcii Multibody Design.



Obr. 19 Príklad aplikácie topologickej optimalizácie: a) štandardný CAD návrh, b) optimalizovaný návrh c) objemová rekonštrukcia návrhu

4.2. Generatívne konštruovanie

Implementácia funkcií generatívneho konštruovania bola sprístupnená v softvérovom prostredí Creo Parametric vo verzii 7.0.0, uvedenej na trh v roku 2020. Nahradila možnosť **Topology Optimization** integrovanú v rámci karty **Applications** hlavného menu. Táto verzia umožnila konštruktérovi využívať silu umelej inteligencie a cloudových výpočtov na automatické generovanie a optimalizáciu návrhov. Modul využíva súbor technológií vrátane optimalizácie topológie a simulácie na generovanie a vyhodnotenie potenciálnych návrhov pre produkt. Novšie verzie softvéru Creo prinášajú ďalšie vylepšenia a rozšírenia funkcionality generatívneho dizajnu, ako napríklad lepšiu integráciu s výrobnými procesmi, vylepšené algoritmy optimalizácie a intuitívnejšie používateľské rozhranie.

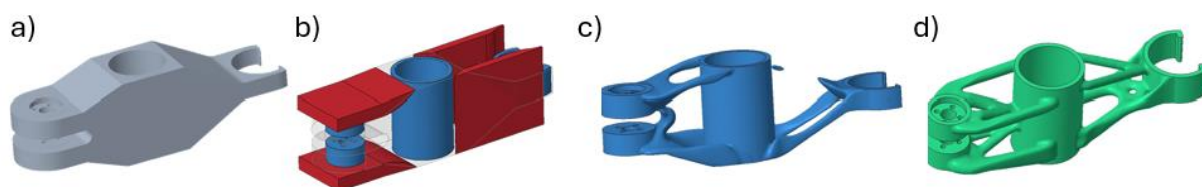


Obr. 20 Panel funkcií Generative Design Creo Parametric 11

Proces návrhu začína v Creo Parametric definovaním cieľov a obmedzení pre projekt. Príklady konštrukčných parametrov môžu zahŕňať:

- navrhnutie objemov,
- zaťaženie a prevádzkové podmienky,
- cieľová redukcia objemu a hmotnosti,
- materiály,
- výrobné metódy.

Interaktívna simulácia a nástroje na generatívnu optimalizáciu topológie sú dostupné v rámci Creo Parametric pre návrh jednej inštancie. Modul **Generative Design** využíva výhody týchto individuálnych technológií ako súčasť integrovanej sady nástrojov na poskytovanie dizajnového riešenia. Príklad práce s modulom je uvedený v podkapitole 4.4.6.4.



Obr. 21 Príklad aplikácie generatívneho dizajnu: a) štandardný CAD návrh, b) definovanie zón návrhu c) teleso v procese generovania tvaru d) objemová rekonštrukcia návrhu

Po úplnom zedefinovaní štúdie je ju možné návrh odoslať do rozšírenia **Generative Design Extension (GDx)** a vygenerovať viacero návrhov. Tieto návrhy môžu byť preskúmané a navzájom porovnané, pre výber toho, ktorý vyhovuje konkrétnym požiadavkám.

4.3. Reverzné inžinierstvo

Funkcionalita **Restyle** (špecializovaný modul pre reverzné inžinierstvo) v systéme Creo umožňuje rekonštrukciu povrchových polygónových dát na objemový CAD model. Vstupom môžu byť priamo importované polygónové dáta, prípadne dáta konvertované z množiny bodov prostredníctvom funkcie Facet Modeling, dostupnej v prostredí softvéru. Restyle ponúka priame modelovacie prostredie, ktoré umožňuje zamerať sa na konkrétnu oblasť fazetového modelu a používať rôzne nástroje na dosiahnutie požadovaného tvaru a vlastností povrchov. Všetka geometria vytvorená vo vnútri prvku Restyle sa stane súčasťou prvku.



Obr. 22 Panel funkcií Restyle Creo Parametric 11

Restyle disponuje komplexnou sadou nástrojov, zahrňujúcou automatické, poloautomatické a manuálne funkcie, určené na realizáciu nasledujúcich operácií:

- Tvorba a modifikácia kriviek, vrátane kriviek extrahovaných priamo z fazetových dát.
- Povrchová analýza fazetových dát s cieľom extrahovať izolínie a extrémne krivky. Izolínové krivky reprezentujú diskkrétne body na fazetových dátach, ktoré aproximujú priebeh izolínií.
- Generovanie a úprava analytických extrudovaných, a rotačných povrchov.
- Tvorba, modifikácia a manipulácia s polynómovými plochami voľného tvaru, vrátane B-spline a Bézierových plôch, s využitím fazetových dát a extrahovaných kriviek.
- Aproximácia (prispôbenie) plôch voľného tvaru k fazetovým dátam.
- Definovanie a správa obmedzení konektivity, zahrňujúce obmedzenia polohy, tangenciálnosti a zakrivenia medzi plochami a krivkami.
- Správa konektivity a tangenciálnych obmedzení medzi jednotlivými plochami.
- Realizácia základných operácií s plochami, ako je extrapolácia a spájanie plôch.



4.4. Praktické ukážky práce v systéme Creo Parametric

Nasledujúce podkapitoly sa zaoberajú praktickou aplikáciou pokročilých nástrojov v softvérovom prostredí Creo Parametric. Prezentovaný text poskytuje v jednotlivých sekciách detailné inštrukcie, rozšírené o poznámky a relevantné doplňujúce informácie, s cieľom umožniť ich adaptáciu pri riešení analogických úloh.

4.4.1. Koncept Multibody Design


Pojem body v systéme Creo popisuje objekt, kontajner pre objemovú geometriu. V starších verziách systému, všetky objemové prvky v rámci jedného modelára boli myslené ako jeden kus z jedného materiálu, aj keď išlo o rozdelené objemy viacerých telies. Od verzie Creo Parametric 7.0 je možné vytvárať telesá, ktoré obsahujú jedno alebo viac geometrických objektov. Každé telo, je možné definovať samostatne a môže mať odlišné charakteristiky. Základnou výhodou je, že pre každý objekt, je možné zadať iný materiál. Samostatne sa definujú len objemové telesá. Roviny, osi, krivky, body nie je možné zahrnúť do samostatných nastavení v rámci funkcií Multibody Design.

Každý objekt má vlastnú geometriu. Objekty je možné medzi sebou spájať alebo rozdeľovať alebo ich použiť ako referencie pre ďalšie prvky. Jednotlivé objekty prispievajú k hmotnostným vlastnostiam celého navrhovaného modelu.


Pri spustení modelára, nový part, automaticky obsahuje prázdny objekt. Ten bude obsahovať geometriu telesa vytvorenú prvkami. Pokiaľ nebola vytvorená žiadna objemová geometria alebo obsahuje iba prvky bez objemu, tento objekt ostáva prázdny. Každý part má vždy minimálne jeden objekt. Ten je možné nájsť v strome jednotlivých operácií na ľavej strane Navigačného menu pod kartou  **Design Items**, ako  **Bodies**. Tam sa ukladajú jednotlivé objekty, postupne ako sú vytvárané. Ich postupnosť nie je možné neskôr zamieňať.

-  — Objekt ktorý obsahuje geometriu

Objekt má geometriu a existujú prvky, ktoré prispievajú k tejto geometrii.

-  — Prázdny objekt

Objekt bez geometrie.

-  — Objekt bez aktuálnej geometrie

Všetky časti geometrie objektu boli odstránené inými prvkami.

-  — Konštrukčný objekt

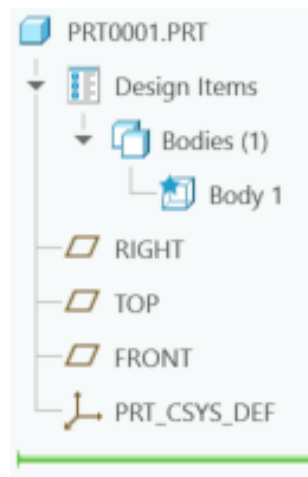
Tento objekt sa nezúčastňuje na výpočtoch hmotnostných vlastností a iných analýzach, ako je analýza interferencií alebo detekcia kolízie. Nastavenie tela na konštrukciu je reverzibilné.

-  — Spotrebovaný objekt

Objekt, ktorého geometria bola úplne odstránená alebo prenesená na iné teleso prvkom. Nemôžete odkazovať na objekt ani k nemu pridať novú geometriu. Neprispieva k hmotnostným vlastnostiam celku.


- , , ,  — Predvolený objekt

Jeden z objektov v modeli je systémom priradený ako predvolený objekt. Jeho označenie je dočasné, kým ho nezmení iná akcia. Tento objekt sa štandardne zobrazuje pri funkcii, ktorá pridáva alebo orezáva geometriu. Je možné obísť systém a nastaviť predvolený objekt manuálne podľa potreby. Predvolený objekt je označený hviezdičkou.



Obr. 23 Objekt pre definovanie objemu partu


Pri otvorení súborov systému Creo Parametric vytvorených v starších verziách ako 7.0, party sú definované jedným objektom. Ten obsahuje všetku objemovú geometriu, ak je súčasťou partu. Nové pribúdajúce objekty sú postupne pomenované od Body 1, vždy s prírastkom o jedno číslo (Body n+1). Keď sa ku CAD návrhu pridá objemová geometria telesa, môže sa pridať do existujúceho objektu alebo do nového objektu. Keď sa odoberá časť geometrie, je možné objem odobrať z konkrétnych objektov alebo zo všetkých.


Je možné prispôbiť typy objektov, ktoré sa zobrazujú, a prepínať zobrazenie prispievajúcich prvkov. Na paneli Navigačného menu s nástrojmi stlačením ikony  **Tree Filters**, je možné v karte **Body/Quits** sa nájsť dialógové okno pre nastavenia zobrazovania objektov.

Objekt sa riadi pravidlami v závislosti od jeho kategórie:

- **Basic solid:** Objekty vytvorené v bežnom modelovacom prostredí.
- **Sheet metal:** Teleso vytvorené v module na vytváranie plechov alebo konvertované z bežného objemového telesa.
- **Lattice:** Objekt ktorý je výsledkom funkcie Lattice.
- **Generated:** Teleso ktoré je výsledkom modulu Generative Design.
- **Composite:** Výsledný objekt funkcie Composite

4.4.2. Vytváranie objektov


Ako bolo spomenuté vyššie, objekty sa pridávajú do stromu na ľavej strane navigačného menu ako podkategórie v rámci priečinka  **Bodies**. Tie automaticky dostávajú nové meno, ale je ich možné premenovať. Objekty je možné vytvárať viacerými spôsobmi:

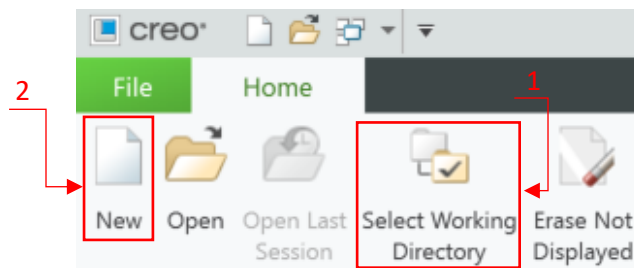
- Automatické prvé teleso
 - Každý nový model je vytvorený s integrovaným prázdny objektom.
- Generovanie nového prázdneho objektu
 - Je možné vytvoriť nový prázdny objekt funkciou **New Body**  v hornom rýchlym menu. Ten neobsahuje žiadnu geometriu. Ten sa zväčša využíva ako nositeľ informácie o materiály alebo o vzťahu ku geometrii.
- Tvorba objektov duplikovaním alebo prenášaním geometrie
 - Objekty vznikajú automaticky pri určitých funkciách kopírovania modelov. Napríklad pri aplikovaní funkcií: **Copy**, **Mirror** a **Pattern**.
 - Objekty môžu vznikať importovaním telesa do modelára funkciou **Get Data/ Import**
- Vytvorenie objektu pomocou prvkov ktoré pridávajú geometriu.
 - Pri tvorbe telesa, ak sa vytvára alebo edituje časť modelu ktorá pridáva geometriu. Napríklad funkciou **Extrude** je možné dané teleso buď pozmeniť alebo vytvoriť nový objemový objekt.

4.4.3. Tvorba objektov

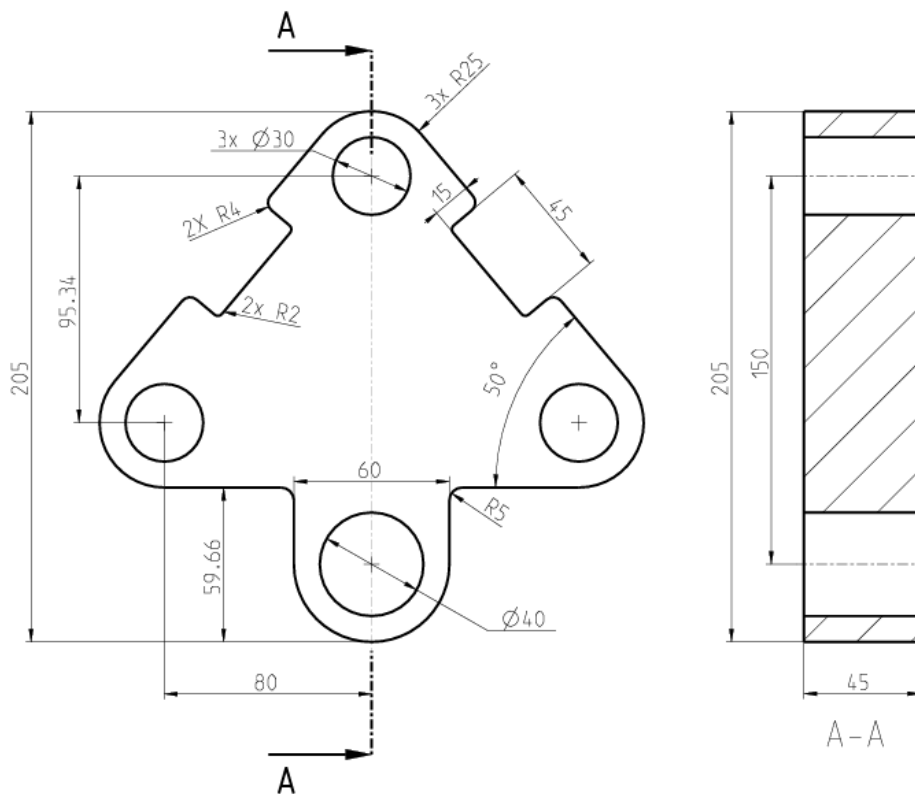
Ďalšie konštrukčné operácie sú vysvetlené na postupe modelovania konkrétnej súčiastky v bodoch. Užívateľ sa oboznámi so základnými postupmi a pravidlami pri tvorbe modelu pomocou funkcie **Extrude** a možnosťou následného kopírovania modelu.

1. Zadefinovanie pracovného adresára pomocou príkazu **Select Working Directory**, ktorý sa nachádza v hlavnom príkazovom menu.

- Adresár by mohol byť napríklad umiestnený C:\Priezvisko\PPVT\Cvicienie_1
2. Zadefinovanie pracovného adresára pomocou príkazu **Select Working Directory**, ktorý sa nachádza v hlavnom príkazovom menu.
- Adresár by mohol byť napríklad umiestnený C:\Priezvisko\PPVT\Cvicienie_1
3. Pomocou príkazu **File/New (CTRL+N)** v hlavnom príkazovom menu alebo potvrdením ikony  sa zobrazí dialógové okno pre vytvorenie nového súboru.
- V dialógovom okne sa označí typ **Part** a vyplní názov budúceho modelu. Voľba sa potvrdí tlačidlom **OK**. Týmto spôsobom sa vytvára part (jednoduchý model), ktorý tvorí základnú stavebnú časť pri tvorbe zostáv a podzostáv. Tvorí sa teda súbor s názvom a koncovkou PRT. Táto koncovka charakterizuje model a priradzuje mu vlastnosti partu.



Obr. 24 Nastavenie pracovného adresára




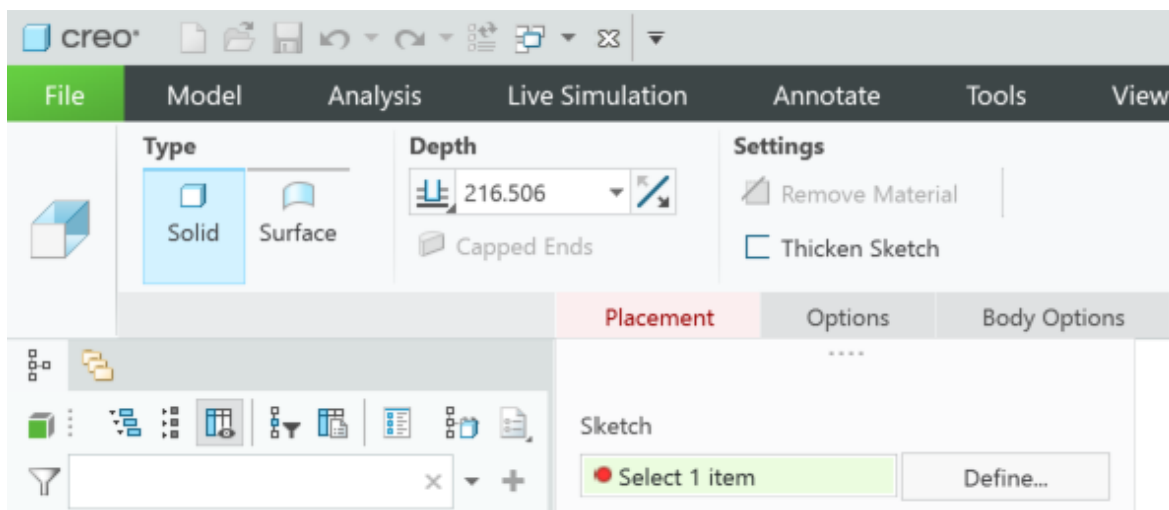
Obr. 25 Vzorový model na precvičenie nástrojov súvisiacich s funkciou Extrude

Upozornenie: Pri inštalácii systému PTC Creo sa volí typ jednotiek, ktoré budú v pracovnom prostredí použité ako východiskové. Na výber je Európsky metrický systém a Anglický jednotkový systém. Ak bol zvolený Európsky metrický systém, potom pole **Use default template** ostáva zaškrtnuté. V prípade, že je nastavený ako východiskový Anglický systém, potom je potrebné zrušiť označenie poľa **Use default template** a v ďalšom okne sa vyberú metrické jednotky (**mmns_part_solid_abs**). Voľba sa potvrdí tlačidlom **OK**.

4.4.3.1. Extrude

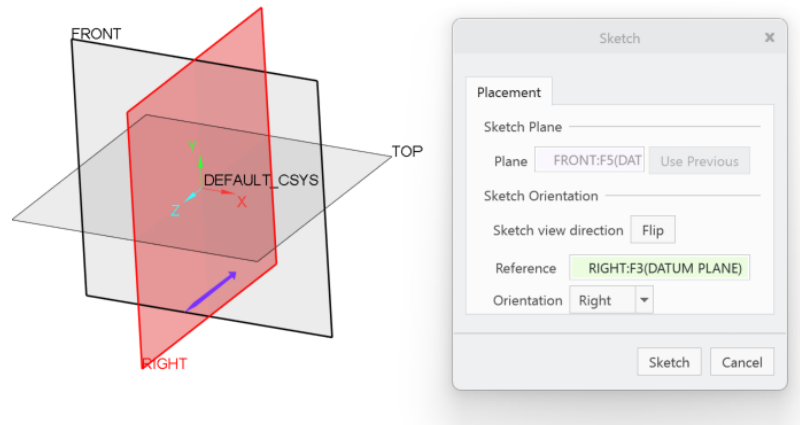
Funkcia **Extrude** je metóda definovania trojrozmernej geometrie na základe dvojrozmerného náčrtu kolmo na vopred definovanú rovinu po vzdialenosť alebo až po špecifikovanú referenciu. Pomocou nástroja **Extrude** je možné vytvoriť teleso alebo povrchový prvok a pridať alebo odstrániť materiál.

- Potvrdením ikony  v hlavnom príkazovom menu sa spustí funkcia **Extrude**. V hornej časti sa objaví dialógové menu. Potvrdením červeného nápisu **Placement**, následne tlačidla **Define** sa zobrazí dialógové okno pre definovanie skicovacej roviny.




Obr. 26 Spustenie funkcie Extrude

- Voľba skicovacej roviny (**Sketch Plane**) Front potvrdením v strome alebo priamo kliknutím na rovinu v hlavnej modelovacej oblasti. V novších verziách softvéru Creo sa následne prepne do 2D prostredia pre tvorbu skíc. Ak sa tak nestane (práca v staršej verzii systému, editácia už vytvoreného prvku) je potrebné zadať nasledovné parametre:
 - Ako **Reference** sa zvolí rovina Right (bokorys).
 - Orientation** sa nastaví v roletovom menu na Right.
 - Následne potvrdením tlačidla **Sketch** sa otvorí 2D modelár.



Obr. 27 Voľba skicovacej roviny


6. Dôležitou podmienkou správneho postupu pri modelovaní je vhodné umiestnenie objektu v skicári. Objekt je vhodné umiestniť tak, aby jeho stred ležal v priesečníku referenčných rovín (prerušované referenčné čiary uprostred skicára).

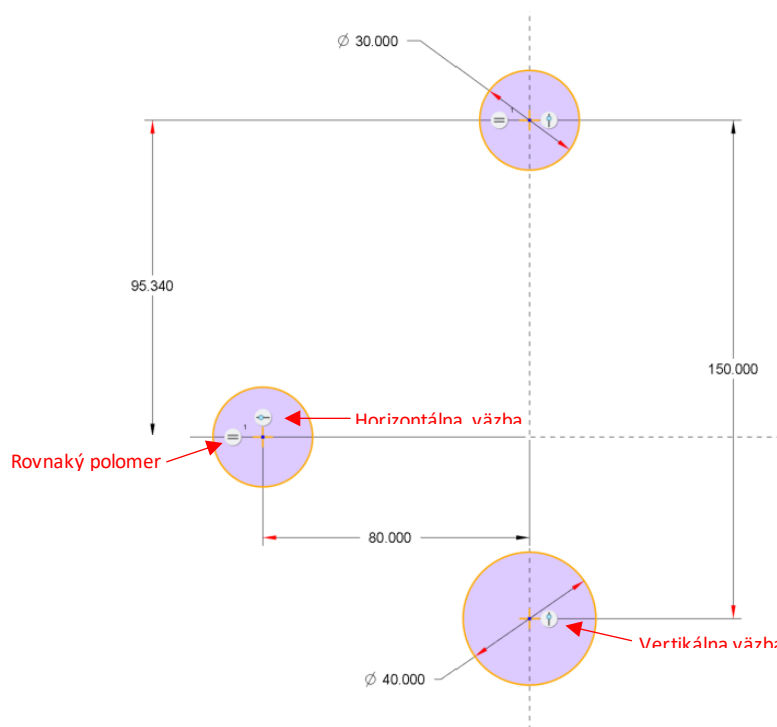
- Ľavým tlačidlom myši sa vyberie nástroj **Center and Point** . Umiestnením kurzora na miesto, kde sa začne skica a znova sa potvrdí ľavým tlačidlom počiatok skicovania. V tomto prípade na vertikálnu stredovú os. Následne editovaním hodnoty priemeru kružnice sa vytvorí kružnica s priemerom 30 mm. Aby poloha kružnice zodpovedala predlohe je potrebné zadať vzdialenosť od horizontálnej osi, v tomto prípade 95.34 mm. Rovnakým spôsobom sa vytvorí kružnica umiestnená na horizontálnej osi vo vzdialenosti 80 mm od stredovej osi. Pri vytváraní kružnice po zadaní stredu a následným pohybom kurzora pre zmenu veľkosti priemeru je možné vytvoriť kružnicu s rovnakým priemerom, aký má prvá kružnica vďaka automaticky vzniknutej väzbe **Equal Radii**. V ďalšom kroku sa vytvorí kružnica na vertikálnej osi s priemerom 40 mm pod horizontálnou osou vo vzdialenosti 150 mm od stredu prvej kružnice. Príkaz Center and point je možné v procese kedykoľvek ukončiť stlačením stredného tlačidla myši alebo tlačidlom **ESC** na klávesnici.

7. Dôležitým krokom pri modelovaní je rozmerové definovanie naskicovanej geometrie. Pri tvorbe skice program automaticky umiestňuje vedľa nakreslených entít svetlomodré kóty, ktoré však majú iba informačný charakter. Konštrukčné modelovanie je založené na možnosti definície a prípadnej zmeny rozmerov, čo je umožnené vďaka kótam modifikovateľným alebo kótam s presne danou hodnotou.

- Modré kóty predstavujú informačné hodnoty navrhnuté programom. Dvojklikom ľavého tlačidla sa kóta stáva modifikovateľnou. Po zadaní požadovanej


hodnoty kóty sa voľba potvrdzuje tlačidlom **Enter**. Zo sivej kóty sa stáva kóta **Strong** (presná, definovaná).




- Ak sivá kóta nevyhovuje alebo nevystihuje žiadaný rozmer, je možné použiť priame kótovanie nástrojom  **Dimension**. Ľavým tlačidlom myši sa aktivuje nástroj, následne sa vyberú dve entity, ktoré budú okótované a kliknutím na rolovacie koliesko (Scroll Wheel) sa kóta potvrdí.
- Pri vytváraní skice nemusí byť vždy jej tvar dodržaný alebo súmerný. Pridelenie náležitých vlastností entitám sa realizuje podľa potreby pomocou funkcií **Constraints**. Základné väzby sú generované automaticky, pričom je ich možné editovať. Po aplikovaní funkcií Constraints sa docieli správny tvar skice.

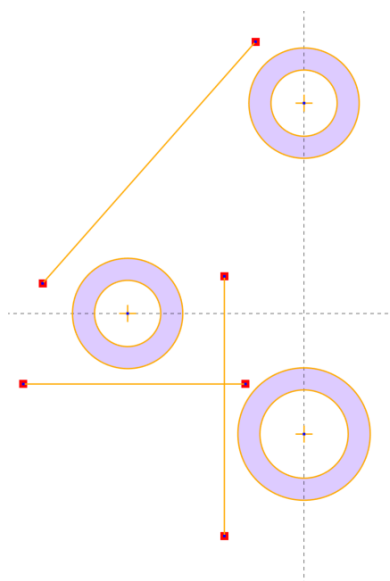


Obr. 28 Definovanie väzieb entít

8. V tomto bode sa vytvorí obrys telesa pomocou kombinovania jednoduchých geometrických tvarov. Touto metódou sa môžu veľmi rýchlo a jednoducho vytvárať zložitejšie skice. Pre potreby vytvorenia modelu postačuje nakresliť len jeho polovicu, nakoľko finálny tvar je súmerný. Zaoblenia aktuálneho tvaru je možné vytvoriť s využitím viacerých možností, nakoľko novo vytvárané kružnice majú spoločný stred s už vytvorenými prvkami.

- Prvé zaoblenie v hornej časti skice vznikne použitím nástroja **Center and Point**  a výberom stredu už existujúcej kružnice. Po vytvorení prvku je potrebné zmeniť hodnotu priemeru na požadovaný rozmer 50 mm.

- Rovnaký postup je možné aplikovať na kružnicu na horizontálnej osi. Po výbere stredového bodu a následnom ťahaní kurzora myši, je možné zachytiť rovnakú veľkosť priemeru vďaka automatickej väzbe **Equal Radii**. Výhodou využitia väzby je, že nie je potrebné zadávať číselnú hodnotu pre definovanie rozmeru. Pri prípadnej zmene priemeru prvej kružnice sa automaticky upraví aj priemer na kružnici s priradenou väzbou.
 - Tretie zaoblenie je možné vytvoriť s využitím funkcie **Offset** . Po aktivovaní príkazu sa vyberie už vytvorená kružnica a zadá sa hodnota odsadenia, v tomto prípade 10 mm. Týmto postupom vznikne kružnica s priemerom 60 mm.
9. Na vytvorenie bočnej steny pre skicovaný objekt budú použité úsečky, ktorým sa postupne priradí väzba **Tangent** .
- Ľavým tlačidlom myši sa vyberie nástroj **Line** . Umiestnením kurzora na miesto, kde sa začne skica a znova sa potvrdí ľavým tlačidlom počiatok skicovania. Následným pohybom kurzora sa zadáva skicovanej čiare nie len orientácia, ale aj veľkosť. Ak čiara zodpovedá požadovanému tvaru, ukončí sa opätovným stlačením ľavého tlačidla myši. Táto operácia sa opakuje, kým skica nemá potrebný tvar. Ukončenie nástroja **Line** sa vykoná kliknutím na rolovacie koliesko (Scroll Wheel) alebo stlačením tlačidla **ESC**.




Obr. 29 Tvorba zložitých tvarov jednoduchými nástrojmi

- Pre vytvorenie väzby medzi horizontálnou alebo vertikálnou úsečkou a kružnicou sa ako prvé aktivuje príkaz **Tangent**, a následne sa vyberú dve prvky, medzi ktorými má vzniknúť väzba. V tomto prípade na poradí výberu prvku nezáleží, nakoľko

vonkajšie kružnice majú zablokovanú zmenu polohy v závislosti na aktívnej väzbe **Coincident Vertices** voči kružniciam vytvoreným na začiatku.

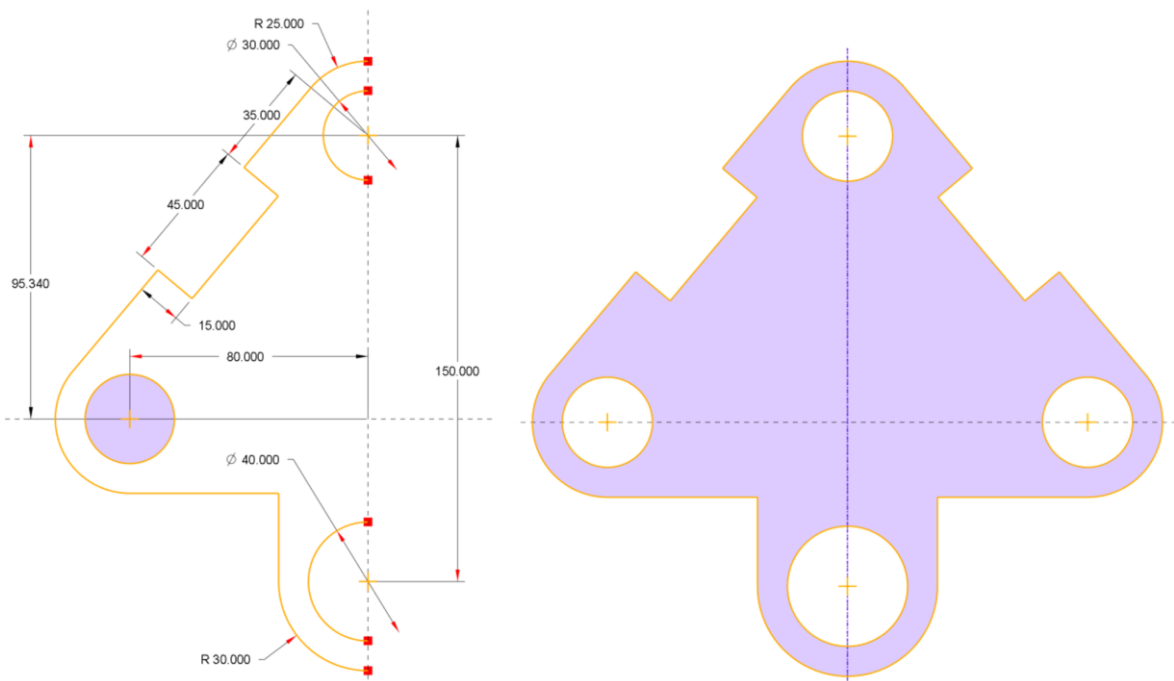
- Úsečka umiestnená na kraji pod uhlom sa prepojí obdobným spôsobom ako v kroku vyššie. Pre jej presné zadefinovanie je potrebné aplikovať väzbu **Tangent** dvakrát, keďže má byť dotyčnicovo pre obe zaoblenia.

10. Pri voľnom škicovaní vzniká veľa nepotrebných presahov. V tomto bode je načase odstrániť nepotrebné časti skice.


- Aktivovanie nástroja  **Delete Segment**.
- Súbežným stlačením a ťahaním kurzora sa vymažú všetky entity, ktoré pri pohybe kurzor pretnete. V prípade, že je na jednom mieste navrstvených viacero entít, je potrebné ich preťať viackrát.


11. Na šikmej strane je potrebné zakresliť zapustenie.

- Možným spôsobom je vytvorenie offsetnutej úsečky od bočnej steny o 15 mm smerom k stredovej osi.
- Horná bočná stena vznikne vytvorením kolmice na šikmú plochu vo vzdialenosti 35 mm od stredu hornej kružnice.
- Dolnú bočnú stenu je možné vytvoriť funkciou **Offset** s hodnotou 45 mm.

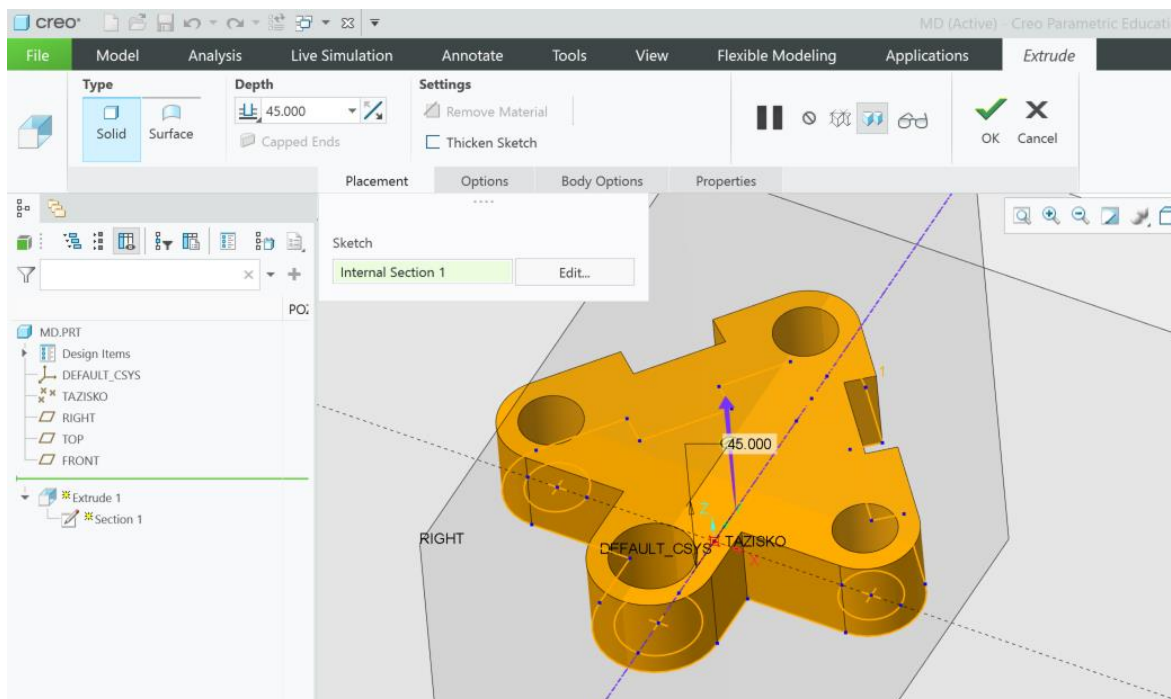


Obr. 30 Tvorba zrkadlených prvkov

12. Pre vytvorenie uzatvoreného tvaru pre súmernú súčiastku, nie je nutné druhú polovicu prácne prekresľovať. Časť skice je možné odzrkadliť funkciou **Mirror** . Pre jej aplikovanie ako prvé je nevyhnutné vytvoriť os súmernosti.

- Pri vytváraní súmernej súčiastky je potrebné vložiť centrovaciu čiaru funkciou **Centerline**. V tomto konkrétnom prípade, čiara musí byť totožná s vertikálnou čiarkovanou čiarou využitou ako stred náčrtu.
- Ak všetky rozmery skice vyhovujú potrebám, je vhodné správne kóty uzamknúť funkciou **Lock**. Ľavým tlačidlom myši sa označí kóta. Sivá kóta sa zmení na červenú, čiže označenú. Potom sa na nej podrží kurzor myši, kde sa po chvíli zobrazí menu, v ktorom sa vyberie funkcia **Toggle Lock**.
- Nástrojmi pre selekciu je potrebné vyznačiť všetky entity, ktoré sú určené k zrkadleniu. Po potvrdení nástroja **Mirror** sa vyberá os zrkadlenia.
- Po dokončení skice sa opustí skicár stlačením voľby  **OK**.


13. Po opustení 2D skicára sa v hornej časti dialógového menu funkcie **Extrude** zadá hodnota priestorového vytiahnutia (45 mm) podľa obr. 9. Ikona slúži na definovanie orientácie vytiahnutia od skicovanej roviny dopredu, dozadu alebo symetricky. Táto zmena orientácie vytahovania môže byť vykonaná aj kliknutím na šípku, ktorá sa nachádza na modeli. Následne sa úkon ukončí potvrdením tlačidla **OK**.



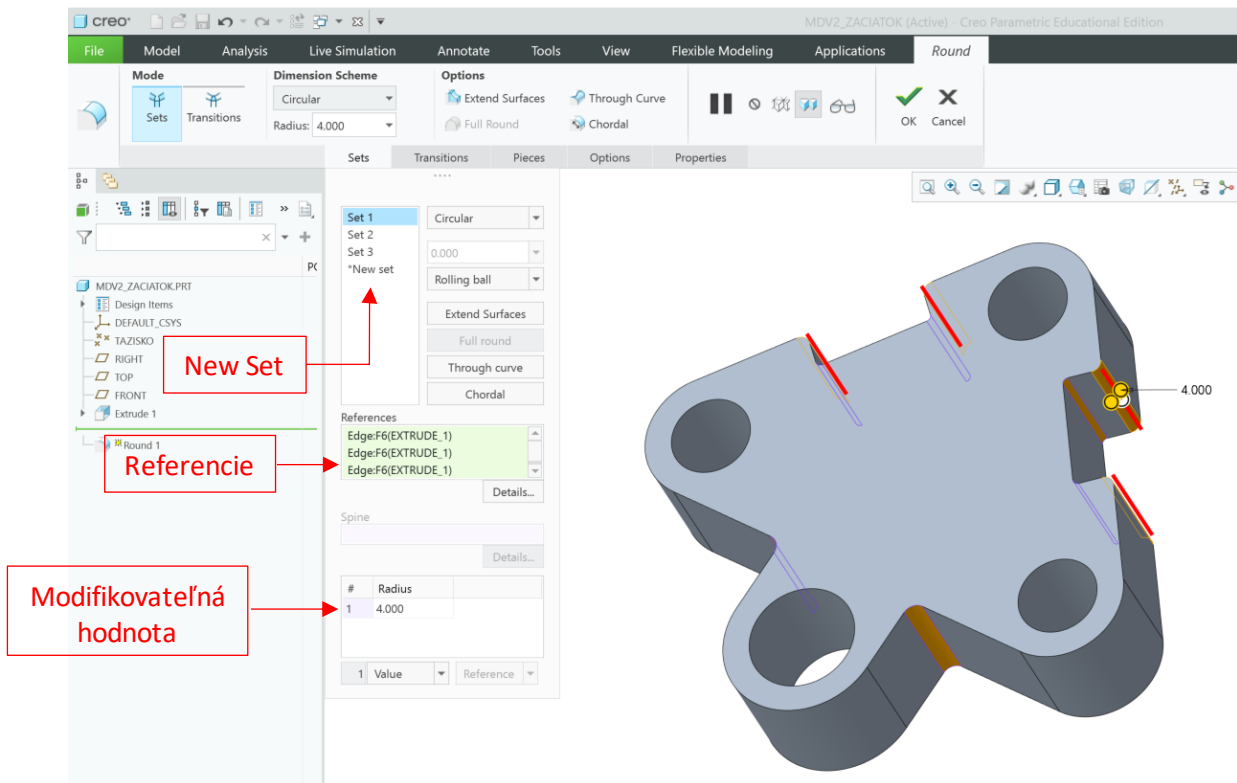
Obr. 31 Priestorové vytiahnutie skice

4.4.3.2. Round

Funkcia **Round** slúži na vytváranie zaoblení. Zaoblenie je znak úpravy hrán, pri ktorom sa k jednej alebo viacerým hranám, reťazi hrán alebo priestoru medzi povrchmi pridá polomer alebo tetiva. Plochy môžu byť ľubovoľnou kombináciou pevných modelových plôch a prikrývok.



14. Funkcia sa aktivuje pomocou ikony .

- V červene zvýraznenom poli **Sets** v hornom dialógovom okne funkcie je kurzorom možné vybrať hranu, kde sa má aplikovať zaoblenie. Ak je potrebné realizovať rovnaké zaoblenie na viac hrán, je možné tak urobiť držaním klávesu **CTRL** spolu s postupným vyznačením všetkých príslušných hrany. Následne sa priradí zaobleniu číselná hodnota.
- V prípade, že je potrebné na niektoré hrany aplikovať zaoblenia s inou hodnotou rádiusu, vyberie sa možnosť **New set**. Vytvorí sa tak nové zaoblenie, pričom sa ďalej postupuje podobne ako v prvom prípade.
- Po dokončení sa funkcia potvrdí tlačidlom **OK**.




Obr. 32 Obr. 49 Nastavenie parametrov zaoblení



4.4.3.3. Copy


Počas modelovania môže dôjsť k požiadavke na vytvorenie duplikátu objektu alebo preniesť časť geometrie do modelu. Objekt alebo prvok je možné vytvoriť rôznymi spôsobmi v závislosti od akcie a vybratej položky. Pomocou príkazov **Copy** , **Paste**, **Paste Special**  je možné

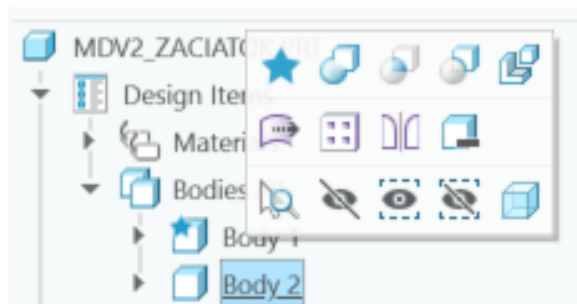
duplikovať a umiestniť prvky alebo sady prvkov, geometriu, krivky a objekty v rámci rovnakého modelu alebo medzi modelmi. Pokiaľ je skopírovaný prvok, geometria k dispozícii v schránke, môže byť vytvorených viacero duplikátov bez toho, aby bolo potrebné kopírované časti po každej operácii prilepenia nanovo vybrať do schránky. Pri kopírovaní je možné vykonávať tieto akcie:

- Kopírovať a prilepte prvky medzi dvoma rôznymi modelmi alebo medzi dvoma rôznymi verziami tej istej časti.
- Vytvoriť nezávislé, čiastočne závislé alebo plne závislé inštancie pôvodného prvku alebo súboru prvkov.
- Zachovať alebo zmeniť referencie, nastavenia a rozmery pôvodného prvku v jednom alebo všetkých inštanciách jeho kópie.
- Vytvárať závislé kópie a meniť závislosti atribútov a prvkov, ako sú kóty, náčrty, poznámky, referencie a parametre.



15. Funkcia **Copy** je neaktívna  do doby, kým nie je vybraný prvok, objekt ktorý je možné kopírovať.

- Pre vytvorenie kópie práve vytvoreného modelu je ako prvé potrebné vybrať nositeľa informácií o jeho geometrii zo stromu v ľavej časti navigačného menu podľa obr. 1. Ikona objektu Body 1  po vytvorení prvého objemového telesa funkciou **Extrude**, sa automaticky zmenila na nasledovný tvar:  objekt obsahujúci geometriu.

Upozornenie: Hviezdička v ľavom hornom rohu indikuje aktuálne aktívny objekt. Ak ich je v strome navigačného menu viac ako jeden, je medzi nimi možné prepínať. Pre zmenu aktívneho objektu je potrebné požadovaný objekt označiť ľavým tlačidlom myši a v zobrazenom rýchlom menu vybrať možnosť **Set as Default Body**  .





Obr. 33 Vyvolanie rýchleho menu pre prácu s objektom


- Po označení objektu Body 1, sa aktivuje ikona **Copy**  v hlavnom príkazovom menu. Jej výberom sa aktivuje možnosť využitia funkcie **Paste, Paste Special**  .


- Pri vytvorení kópie s využitím funkcie **Paste** a následnom potvrdení príkazu, vznikne nový objekt s poradovým číslom 2. Objekt je totožný s objektom Body 1. Zmenou atribútov pôvodného tvaru, skíc alebo referencií objektu 1 dochádza k rovnakej zmene na objekte 2. Ide o plne závislú kópiu prvku.
- Výberom funkcie **Paste Special**, je možné kopírovaný objekt nastavením referencií ponechať na mieste, posunúť alebo pootočiť v závislosti na vybraných parametroch v karte **Settings/ Transformations**.
- V karte **Options** je potrebné označiť zaškrŕavacie políčko **Copy original Geometry**. Pokiaľ sa dané okno nevyberie, zmení sa len poloha objektu bez vytvorenia nového objektu, Body 2.

4.4.3.4. Split/ Trim Body



Funkcia **Split/ Trim Body**  umožňuje vykonanie dvoch operácií a to rozdelenie modelu na dva objekty alebo oddelenie časti objektu. Pri rozdelení objektu, príkaz **Split** , geometria telesa ostáva v modelári, ale časť telesa z pôvodného objektu sa definuje ako nový objekt. Existujú dva spôsoby, ako rozdeliť objekt a to:

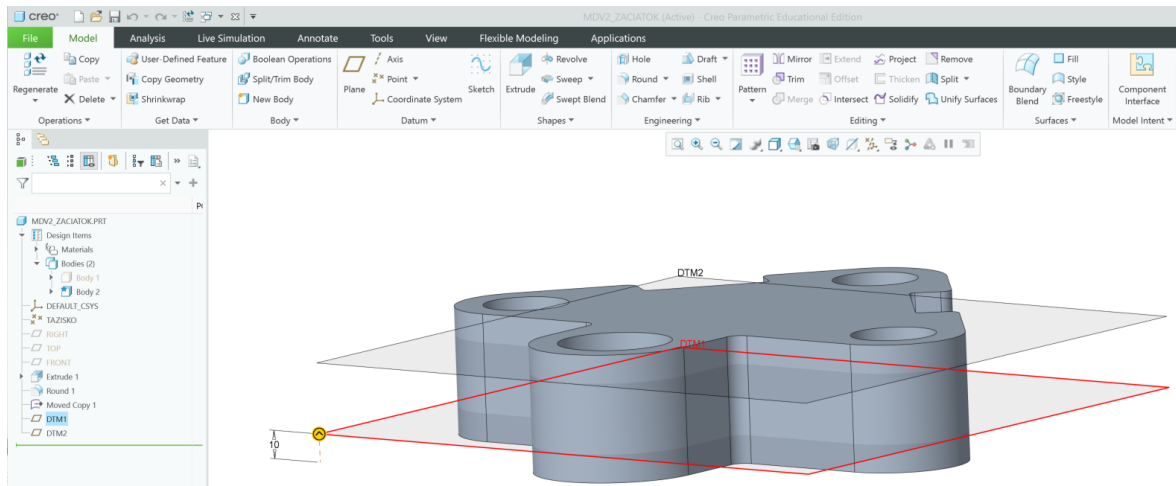
- Rozdelenie telesa na dva objekty pomocou deliaceho člena.
- Oddelenie objemu z pôvodného telesa a jeho zedefinovanie ako nové teleso.

Pri orezávaní geometrie, príkazom **Trim** , sa z objektu oddelí časť jeho geometrie a dochádza k odstráneniu orezanej časti z modelu. Pre oddelenie je možné využiť rovinu alebo inú plochu. Zmenou orientácie vektora od deliaceho prvku je možné vybrať ktorá časť objemu bude ponechaná.

Keď je geometria pôvodného objektu vytvorená z nesúvislých objemov, môžu byť objemy rozdelené a odstránené z modelu. Namiesto deliaceho prvku sa vyberá možnosť **Volume** , pričom v karte **Trim** je možné vybrať či označené objemy majú byť ponechané alebo odstránené.

16. Pre rozdelenie modelu na tri nové objekty, je potrebné vytvoriť deliace roviny.

- Podľa obr. 12 sa funkciou **Plane**  vytvoria dve roviny odsadené 10 mm od spodnej a vrchnej plochy.
- Pre sprehľadnenie práce, nepotrebné roviny, objekty a ďalšie prvky je možné skryť funkciou **Hide** .

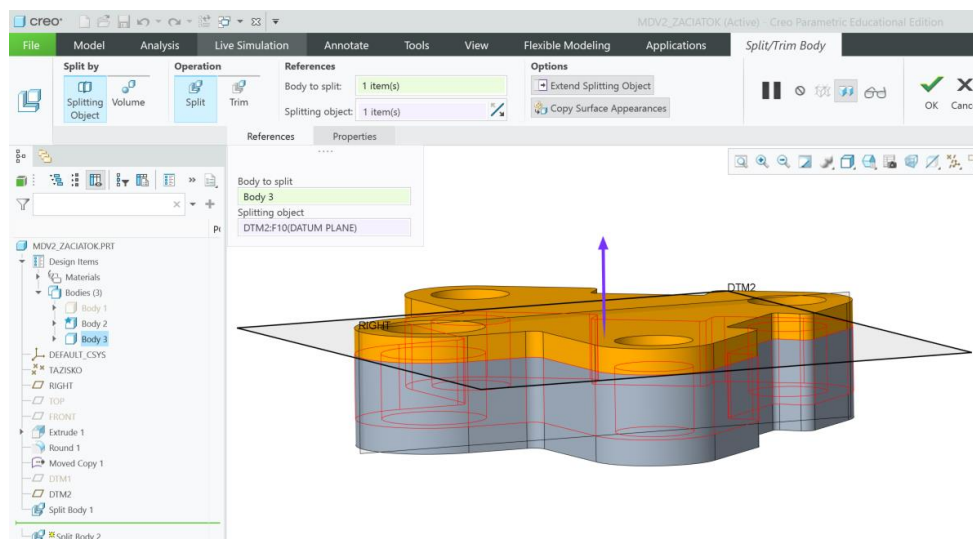


Obr. 34 Rozdelenie objektu rovinami

17. Pre ďalšiu prácu je vhodné (nie nevyhnutné), v strome nastaviť ako aktívny objekt **Body 2**, s využitím funkcie **Set as Default Body**. Nad objektom sa následne objaví modra hviezdička.

Aby ho bolo možné rozdeliť na menšie časti, môže byť využitý nasledovný postup:

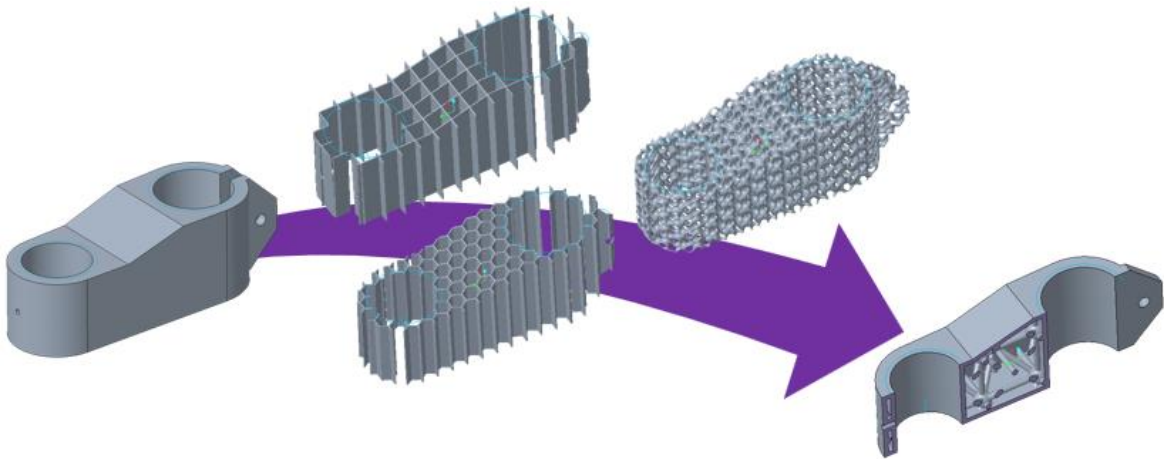
- Po aktivovaní funkcie **Split/ Trim Body** je potrebné v karte **References** vybrať delený objekt (**Body 2**) a deliaci prvok (v tomto prípade rovinu).
- Na modely sa objaví vektor, zmenou orientácie určujeme ktorý z objektov bude vytvorený ako nový objekt s vyšším poradovým číslom (**Body 3**). Objekt od ktorého vektor smeruje si ponecháva svoju menovku.
- Po potvrdení funkcie tlačidlom **OK**, dochádza k rozdeleniu telesa a v strome pribúda nový objekt **Body 3**.
- Pre ďalšie delenie sa opakuje rovnaký postup s využitím funkcie **Split**.




• Obr. 35 Príklad rozdelenia telesa na viacero objektov

4.4.4. Lattice – mriežkové štruktúry

Mriežkové štruktúry v CAD návrhoch, s osobitným zameraním na 3D tlač, definujú vnútorné geometrické usporiadanie materiálu v rámci objektu s cieľom optimalizovať jeho mechanické a materiálové charakteristiky, ako sú pevnosť, hmotnosť, tuhosť a spotreba materiálu. Princíp spočíva v nahradení plného objemu objektu sieťou prepojených elementárnych buniek, čím sa dosiahne redukcia materiálu a zníženie hmotnosti pri súčasnom zachovaní, prípadne aj zlepšení požadovaných funkčných vlastností. Implementácia mriežkových štruktúr umožňuje precíznu kontrolu nad mechanickými vlastnosťami konštrukcie. V kontexte 3D tlače vedie zníženie objemu použitého materiálu k proporcionálnemu skráteniu času tlače, a tým k zvýšeniu efektivity výrobného procesu. V predchádzajúcich generáciách 3D tlačových systémov bola absencia sofistikovaných vnútorných štruktúr kompenzovaná implementáciou jednoduchých výplní s elementárnou geometriou. Táto metóda však neumožňoval simulovať pôsobiace zaťaženie na vyrábaný dielec. Implementácia funkcie Lattice v systéme Creo umožňuje vykonávať štandardné typy analýz priamo na modeloch s mriežkovou výplňou. Pre dosiahnutie korektných výsledkov simulácií je však nevyhnutné v postprocesore konkrétnej tlačiarne nastaviť parameter výplne na 100% pre použitý materiál. Redukcia tejto hodnoty môže viesť k zníženiu mechanickej odolnosti v oblastiach s väčšou hrúbkou stien.




Obr. 36 Integrácia mriežkových štruktúr do 3D tlačených modelov


Mriežkové štruktúry v systéme Creo Parametric predstavujú vnútornú kostru, ktorej účelom je optimalizácia vlastností objemových telies, predovšetkým s cieľom maximalizovať pomer pevnosti k hmotnosti. V prostredí softvéru je možné priestorové mriežky definovať vďaka funkcii **Lattice**  umiestnenej v roletovom menu **Engineering** hlavného menu. V rámci funkcie Lattice je mriežka definovaná dvoma základnými komponentmi:

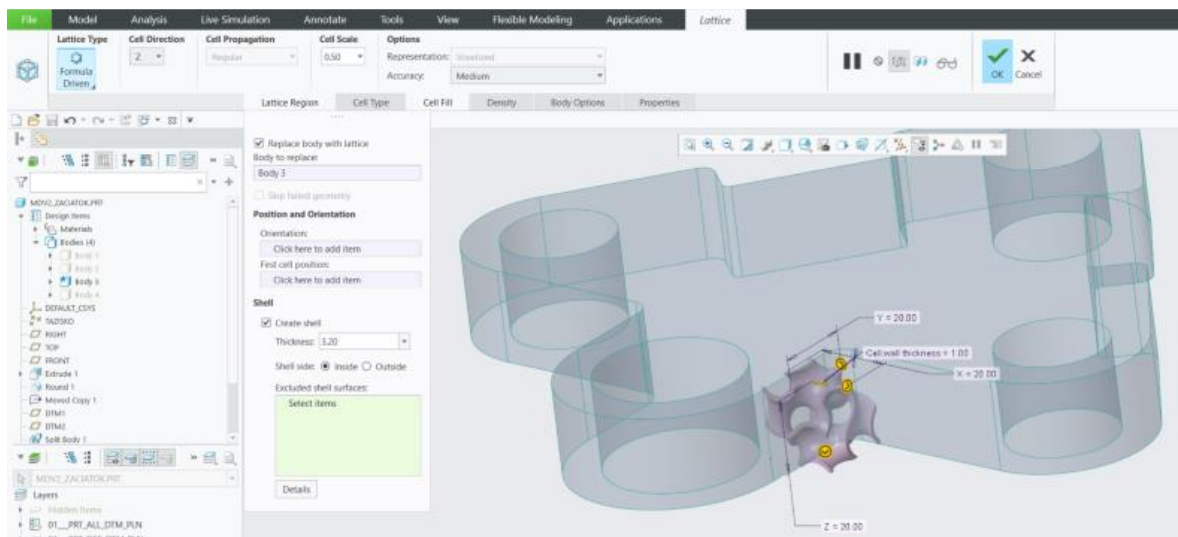
- Jednotková bunka: Táto definuje rozmery, geometrický tvar a vnútornú konfiguráciu elementárnej bunky mriežky.

- Duplikácia bunky: Tento parameter špecifikuje spôsob, akým sa jednotlivé bunky replikujú a rozmiestňujú v rámci definovaného objemu.

Aplikácia mriežky na konštruovaný objekt sa realizuje prostredníctvom priradenia vlastnosti dielu. Hoci sa vyžaduje, aby vnútorný objem bol ohraničený zo všetkých strán, hranica môže byť použitá aj pomocná rovina. Na uzavretie otvorených hraníc objemu, je možné využiť priľahlé pevné povrchy, ako referencie, ktoré sa nenachádzajú vnútri daného objemu. Systém umožňuje definovať mriežku s ignorovaním drobných otvorov. Dostupné sú viaceré typy mriežkových štruktúr: Beams, 2.5D, Formula Driven a možnosť Custom (model vlastného tvaru mriežky). Novinkou je funkcia **Lattice Connect**  použiteľná na prepojenie dvoch alebo viacerých samostatných mriežok, pre získanie súvislej mriežkovej štruktúry. Zatiaľ len pre typ Beams.

18. Pre správne použitie funkcie **Lattice** si je potrebné jednoznačne určiť na ktorom objekte sa bude pracovať.

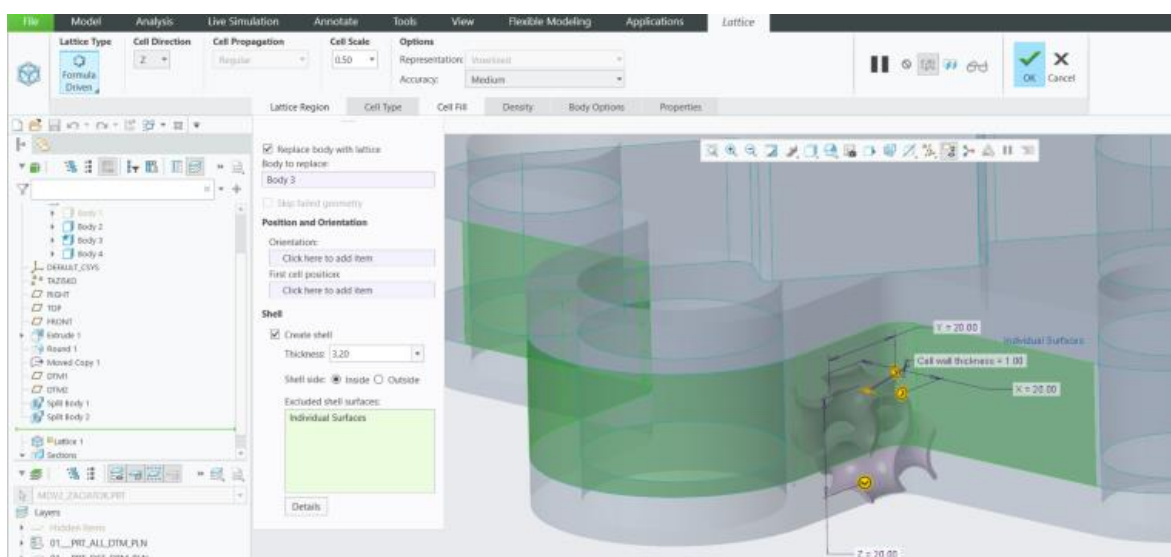
- V strome sa nastaví ako aktívny objekt Body 3.
- Funkcia **Lattice**  je umiestnená v roletovom menu **Engineering** hlavného menu.
- V karte **Lattice Type** je možné vybrať požadovaný typ bunky. Na obrázku je znázornená bunka **Giroid** z možností **Formula Driven**.




Obr. 37 Definovanie Lattice bunky pre model Body 3

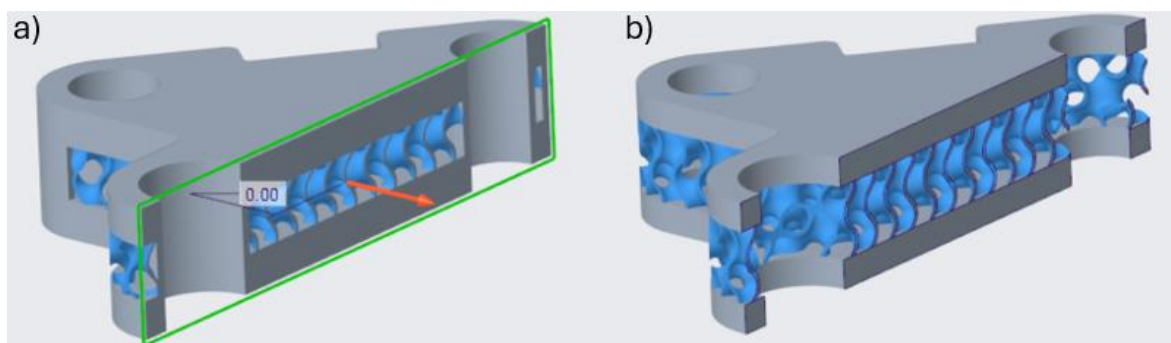
- V karte **Lattice Region** sa ako prvé zaškrtné pole **Replace body with lattice** vďaka čomu bude aktívny objekt nahradený opakujúcou sa bunkou zvoleného typu **Giroid**.
- V prípade potreby je možné zo stromu vybrať iný objekt, avšak vždy len jeden.
- Ďalšie časti definujú polohu prvej bunky a jej natočenie v priestore.

- Voľba **Shell side** definuje vonkajšiu hranicu, škrupinu telesa. Voľbou **Inside** sa zaručí že bunky spolu s ponechanou škrupinou nepresiahnu zvolený objem telesa Body3. Nastavenie **Outside** povedie k vytvoreniu buniek v rámci celého telesa a vytvoreniu novej škrupiny presahujúcej objem objektu Body 3.
- Karta **Shell** umožňuje zadefinovať hrúbku okrajových stien, ktoré budú z nahradzovaného objektu ponechané. Pokiaľ sa táto možnosť neoznačí dôjde k nahradeniu celého objemu.
- Do okna **Excluded shell surfaces** je možné vybrať plochy, na ktoré sa nebude vzťahovať nastavenie škrupiny.



Obr. 38 Vyňatie plôch z nastavenia škrupiny


- Dokončenie základných nastavení sa uskutoční potvrdením voľby  **OK**.






Obr. 39 Rez modelom obsahujúcim mriežkovú štruktúru Giroid.
a) aktivovaná funkcia Shell, b) bez funkcie Shell

4.4.5. Definovanie materiálu

Telesá vytvárané v systéme Creo Parametric 6 a v starších verziách obsahujú vždy len jeden objekt ku ktorému je možné priradiť materiál. Hodnota PTC_MASTER_MATERIAL je materiál priradený k tejto časti. Ak dielu nie je priradený žiadny materiál, potom predvolená hodnota PTC_MASTER_MATERIAL je PTC_SYSTEM_MTRL_PROPS. Tento materiál má pri prvom nastavení prázdne vlastnosti.


Parameter PTC_MASTER_MATERIAL nastavuje hodnotu materiálu, ktorá sa automaticky priradí každému novému telesu vytvorenému v parte. Vo verziách Creo Parametric 7 a vyššie, je možné každému objektu priradiť vlastný materiál. Prvý pridaný materiál sa stáva vždy Master materiálom a je zvýraznený ikonou  pred menovkou materiálu v strome navigačného menu.

Dialógové okno **Materials** môže byť otvorené jedným z nasledujúcich spôsobov:

- V strome modelu kliknutím pravého tlačidla myši na diel a výberom položky  **Edit Material**.
- V strome modelu kliknutím pravého tlačidla myši na položku Materials a výberom možnosti  **Edit Materials**.
- Prístupom cez hlavné príkazové menu **File/ Prepare/**  **Model Properties** a výberom možnosti **Change** v riadku s možnosťou **Material**.

4.4.5.1. Priradenie materiálu

Ak vytvárané teleso pozostáva z viacerých objektov, každému objektu je možné priradiť vlastný materiál nasledovným postupom:

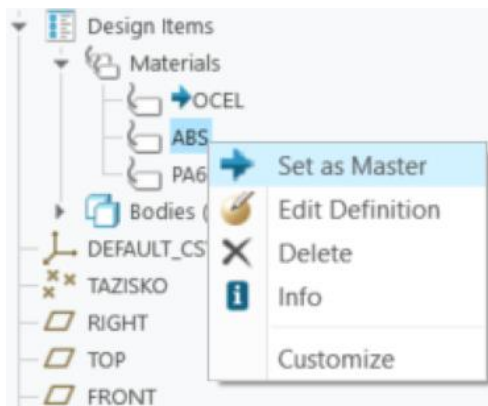
- V strome modelu rozbalením položky **Design Items** a ďalej položky **Bodies** sa označí konkrétny objekt, ktorému má byť priradený materiál.
- Následným kliknutím ľavého tlačidla myši sa vyvolá rýchle menu a vyberie položka **Assign Material**.
- Pokiaľ v automatickom výbere ešte nie je žiadna položka voľbou **Other...** sa vyvolá okno **Materials in Model**, kde je možné vybrať materiál z materiálovej knižnice. Výber položky sa uskutoční kliknutím pravého tlačidla myši na diel a výberom možnosti  **Edit Material**.
- Výber prebieha dvojitým kliknutím ľavého tlačidla myši alebo otvorením rýchleho menu po označení pravým tlačidlom a výberom voľby **Add to Model**.

- Automatické priradenie následne prebehne len v tom prípade, ak je v ľavom dolnom rohu okna **Materials in Model** je nový materiál označený (riadok zvýraznený modrou farbou) a výber potvrdený tlačidlom **Select** na pravej strane okna.

4.4.5.2. Nastavenie Master materiálu

Ako bolo spomenuté v kroku vyššie, pri priradzovaní materiálu môže nastať situácia, že v karte **Assign Material** o v automatickom výbere už je materiál s požadovanými vlastnosťami. Vtedy postačuje vybrať požadovanú voľbu. Pri následnej kontrole editovaný objekt bude mať priradený zvolený materiál. Ak sa znova otvorí voľba **Assign Material**, pred menovkou priradeného materiálu je zobrazená modrá šípka ➡.

- Pre nastavenie **Master Materialu** (priradenie konkrétneho materiálu všetkým objektom naraz) sa v strome modelu rozbalením položky **Design Items/ Materials** vyberie požadovaná položka materiálu pravým tlačidlom myši, čo vyvolá automatické rýchle menu, kde sa vyberie možnosť **Set as Master**.



Obr. 40 Vyvolanie rýchleho menu pre priradenie materiálu

4.4.6. Generatívne konštruovanie v systéme Creo Parametric

Generatívny dizajn predstavuje softvérovú inžiniersku metódu, ktorá autonómne generuje návrhy pripravené na implementáciu do výrobného procesu na základe definovaných inžinierskych parametrov. V rámci tohto procesu inžinier špecifikuje požadované ciele a relevantné obmedzenia, následne vyhodnocuje generované návrhy a iteratívne upravuje alebo spresňuje vstupné parametre s cieľom dosiahnuť optimálne výsledky. Okrem generovania alternatívnych dizajnov spočíva prínos tejto metódy aj v signifikantnom zrýchlení procesu navrhovania. Konkrétne v softvérovom prostredí Creo Parametric sa proces návrhu iniciuje definovaním cieľov a obmedzení pre daný projekt. Medzi typické konštrukčné parametre patria priestorové obmedzenia, pôsobiace

zaťaženia a prevádzkové podmienky, ciele zamerané na redukciiu hmotnosti, materiálové obmedzenia a špecifikácie výrobného procesu.

Softvér Creo Parametric v aktuálnej verzii 11.0. ponúka konštruktérom možnosť vygenerovať návrh jednej inštancie. Návrh je možné odoslať do rozšírenia **Generative Design Extension (GDX)** a vygenerovať viacero iterácií návrhu. Táto kapitola obsahuje prehľad základných funkcií a príklad práce v module v rámci prostredia Creo Parametric.

4.4.6.1. Definovanie úlohy

Hlavným cieľom nasledovného príkladu je vytvoriť podložku pod konzolu zobrazenú na obrázku číslo 41. s využitím FDM 3D tlačiarne. Zámerom je využiť už vytvorené montážne otvory a vytvoriť podložku v jednom kuse, tak, aby došlo k odsadeniu konzoly 50 mm od podkladu. Uvažovaná sila je 50N proti smeru šípku v strede obrázka. V rámci podložky potrebujeme ponechať v strede otvor s priemerom 50 mm pre vedenie budúcej elektroinštalácie.



Obr. 41 Konzola - predloha k príkladu aplikácie generatívneho konštruovania


4.4.6.2. Aplikácia techník reverzného inžinierstva

V tomto prípade ako prvé je potrebné nakresliť jednoduchú podložku (neštandardne pre generatívne konštruovanie), ako by mala vyzeráť, ak by boli použité konvenčné metódy výroby. Nakoľko nie je k dispozícii žiadna výkresová dokumentácia konzoly, ani presné hodnoty vyvrtaných otvorov či 3D sken, je vhodné pre správny návrh dielu využiť priloženú fotografiu.



1. Uloženie obrázka číslo 41 z tejto strany ako samostatný JPG alebo PNG súbor.
2. Spustenie softvéru Creo Parametric a vytvorenie nového pracovného partu.
 - V modelári je práca vykonávaná na základe vybraných jednotiek:
mmns_part_solid_abs

3. Načítanie obrázku do prostredia modelára funkcia **Images**  .

Keď sa importuje obrázok do modelu, obrázok nie je plne vložený do modelu. Vytvorí sa iba odkaz na tento obrázok.. Ak je zámerom použiť obrázky ako textúry aplikované na model, nastavuje sa konfiguračná voľba `save_texture_with_model` na `yes`. To však spôsobuje výrazné zvýšenie veľkosti súborov modelov, v ktorých sú textúry uložené. Okrem toho zmeny, ktoré sa vykonajú v nezávislých súboroch textúr, sa neprejavia v príslušných textúrach, ktoré sú uložené s modelmi.


- Funkcia **Images** je umiestnená v rámci karty **View**, hlavnej nástrojovej lišty v roletovom menu karty **Model Display**.
- Pre nahrať obrázok sa vyberie funkcia **Import**  a hneď sa priradí rovina, do ktorej má byť obrázok pridaný. Pre tento prípad rovina **Top**.
- Nájdením obrázka v prehliadači dôjde k jeho načítaniu až po potvrdení jeho výberu tlačidlom **Open**.


4. Umiestnenie fotografie v rámci koordinačného systému.

- Pre správne polohovanie je vhodné vycentrovať si pohľad v karte **Saved Orientations**  výberom pohľadu **Top**.
- Po označení obrázka s konzolou umiestneného v rovine je možné nim manipulovať v rámci roviny.
- Na začiatok sa definuje približná poloha obrázka, s dôrazom na orientáciu.
- Po jeho natočení sa cez funkciu **Fit**  na hlavnom príkazovom menu vyvolá mierka (úsečka s výraznými červenými bodmi).
- Body sa položia na známy rozmer. V tomto prípade na stupnicu pravítka, hodnoty 0 a 15 cm. Po ich umiestnení sa medzi nimi prepíše aktuálna číselná hodnota na požadovaný rozmer, 150 mm. Deaktivovanie funkcie **Fit**.

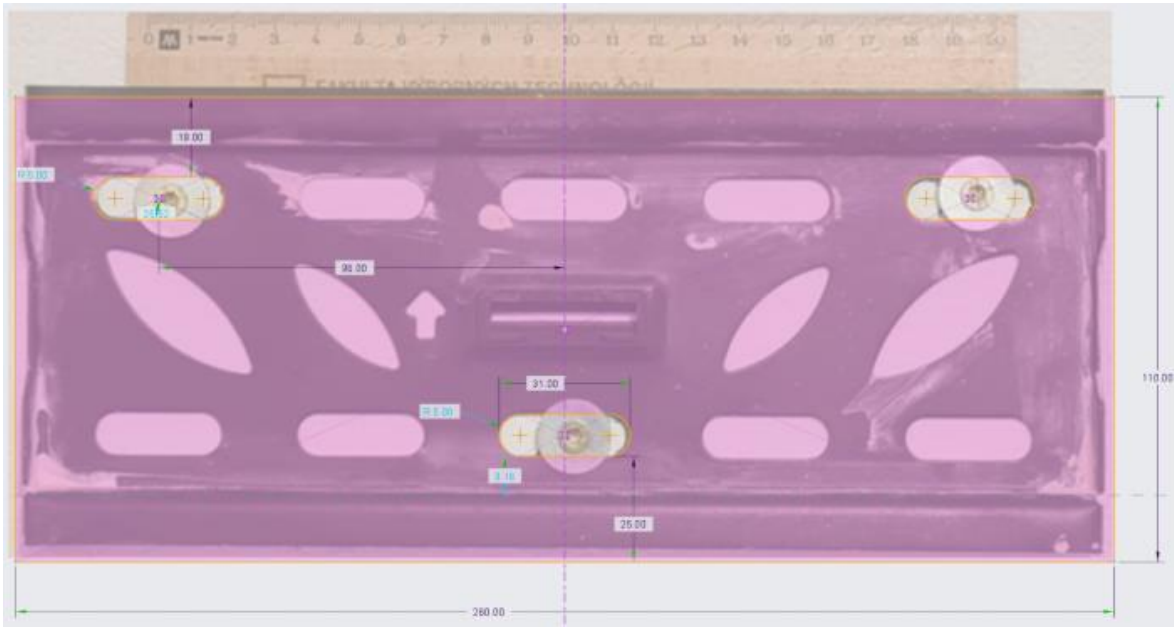


Obr. 42 Definovanie vlastnosti obrázka v module Images

- Ďalším krokom je opätovná úprava polohy obrázka tak, aby sa uľahčil proces modelovania. V tomto prípade na približný stred koordinačného systému.
- Nastavenie obrázka sa ukončí potvrdením voľby  **OK**.

5. Vytvorenie modelu podložky funkciou **Extrude**  .

- Základný tvar pre teleso Body 1 sa vytvorí prekreslením rozmerov z fotografie funkciou **Extrude** bežnými postupmi.



Obr. 43 Prekreslenie základného tvaru na základe fotografie


- Následne sa skica vytiahne 50 mm do priestoru.

Pri práci s fotografiami, v závislosti na skúsenostiach používateľa a kvalite obrázkov, pri aplikácii techník reverzného inžinierstva je možné pracovať v desatinách milimetra.

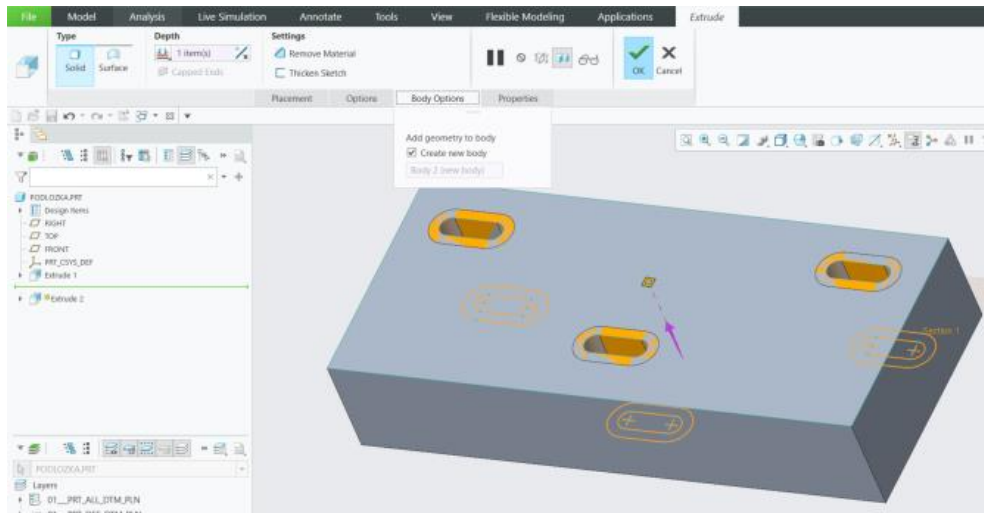
Vzniknuté teleso Body 1 poslúži v neskorších krokoch v rámci generatívneho návrhu ako hraničný maximálny objem v rámci ktorého môže byť nové teleso vygenerované.

4.4.6.3. Využitie funkcií Multibody Design



Aby výsledok návrhu bol použiteľný je potrebné vytvoriť objemy, ktoré posúžia ako časti modelu, ktoré budú ponechané a generatívne procesy ich nijako nepozmenia. Takýmto spôsobom sa zaručí, že nezanikne funkcia montážnych otvorov.

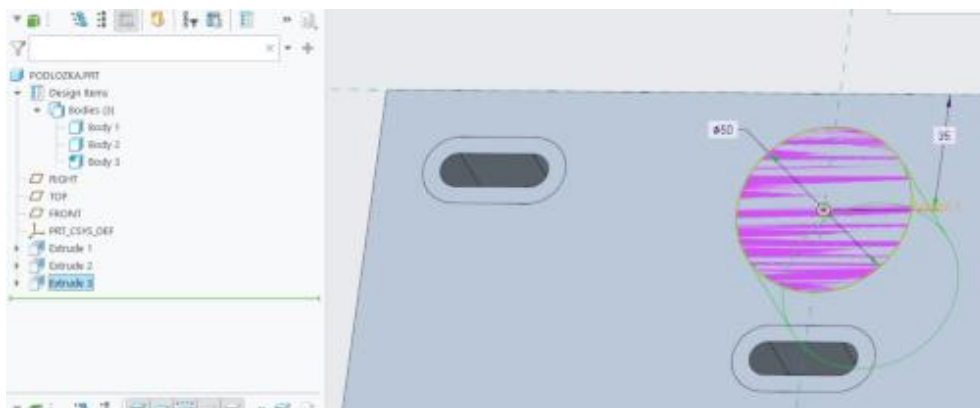
6. Vytvorenie častí na uchovanie funkciou **Extrude**  .

- Pre uchovanie otvorov pre skrutky sa využije funkcia **Extrude**.



Obr. 44 Vytvorenie objemov na uchovanie - Body 2

- Pre urýchlenie procesu sa v skicári funkciou **Project**  obkreslia všetky tri otvory a funkciou **Offset**  sa premietnu vonkajšie hranice o vzdialenosť 5 mm.
 - Po ukončení skice pred ukončením príkazu **Extrude**, v karte **Body Options** sa zaškrtnie voľba **Create new body**. Inak nevznikne samostatný objekt **Body 2**.
7. V tomto kroku sa vytvorí objem **Body 3**, ktorý posluží ako obmedzenie pri generovaní podložky. Je potrebné, aby zvolený priestor ostal voľný pre budúcu elektroinštaláciu.
- Funkciou **Extrude** sa vytvorí valec s priemerom 50 mm a stredom umiestneným na rovine RIGHT vo vzdialenosti 35 mm od hornej hrany telesa Body 1.
 - Po ukončení skice, pred uzatvorením príkazu **Extrude**, v karte **Body Options** sa zaškrtnie voľba **Create new body**. Inak nevznikne samostatný objekt **Body 3**.




Obr. 45 Vytvorenie objemu Body 3


4.4.6.4. Generative Design

V rámci tejto časti prebehne automatické vytvorenie návrhu podložky. Ako prvé musia byť zadané okrajové podmienky návrhu. Plne definovaná štúdia by mala obsahovať:


- Dizajnové priestory na označenie telies súčiastky, ktoré sa majú optimalizovať, a telies, ktoré sa majú pri optimalizácii zachovať alebo z nej kompletne vylúčiť.
- Kontakty medzi telesami súčiastky.
- Vázby a zaťaženia modelu pre štúdiu môžu byť definované viaceré prípady zaťaženia.
- Kritériá návrhu musia obsahovať cieľ návrhu a zadefinovanie materiálu. Môžu obsahovať určenie výrobných a geometrických obmedzení.

Funkcia **Generative Design**  je umiestnená v rámci karty **Applications** hlavnej nástrojovej lišty.


8. Definovanie podmienok začína výberom typu štúdie. Menu funkcie **Generative Design** je prispôbené tak, že postupnosť vykonávania jednotlivých krokov prebieha v smere zľava doprava.

- V karte **Study**  ostáva označený výber **Structure Study**.


9. V karte **Design Spaces** sa postupne priradia funkcie jednotlivým namodelovaným objektom. Označené telesá tvoria počiatočné hranice objemu v štúdií. Prvým krokom je výber telies pre počiatočnú geometriu.

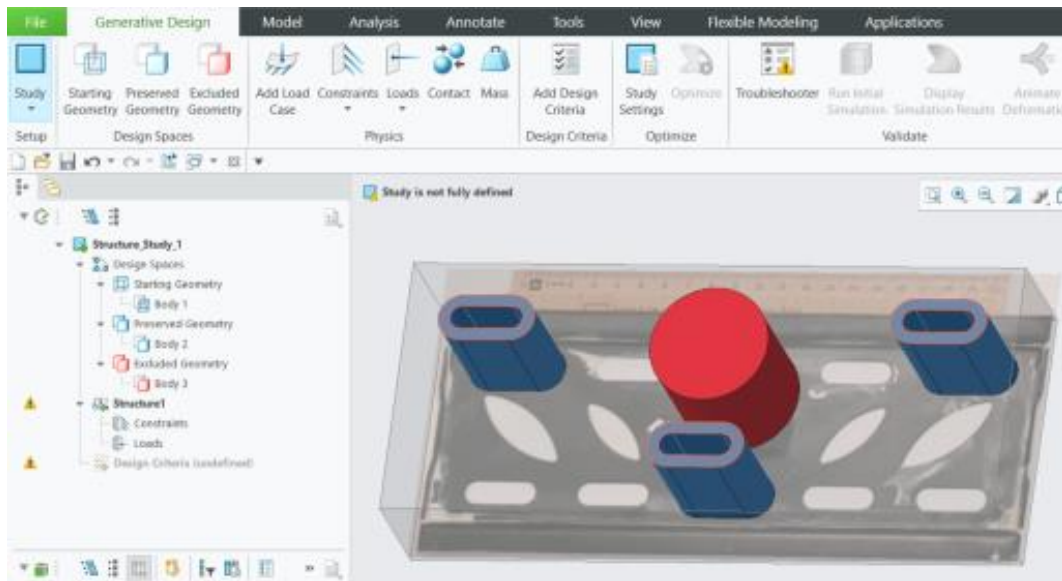
- Ako prvý sa vyberie východiskový objem. Funkcie **Starting Geometry** .
- Teleso označené ako počiatočná geometria sa automaticky stáva čiastočne priehľadným, aby poskytlo lepší pohľad na telesá obsiahnuté vo vnútri súčiastky.

Vybrané teleso predstavuje objem pre dizajn, ktorý sa bude tvoriť z daného objemu. Konečný návrh dizajnu je obsiahnutý vo vnútri počiatočnej geometrie.

- Druhé v poradí sa vyberajú časti ponechávajúce si svoju geometriu funkciou **Preserved Geometry** .
- Po označení a potvrdení výberu objektov sa telesá zachovanej geometrie zafarbia na modro.

Zachovaná geometria Ako zachovaná geometria sa označujú telesá, ktoré nemajú byť ovplyvnené počas optimalizácie. Tieto telesá sú zahrnuté do vygenerovaných návrhov ale ich geometria ostáva nezmenená aj po optimalizovaní. Nemali by sa vzájomne dotýkať alebo sa pretínať, ak sa tak stane je potrebné ich zlúčiť. Zachovaná geometria by sa mala nachádzať celým objemom vo vnútri počiatočnej geometrie. V zadaných kritériách optimalizácie počíta s použitím rovnakého materiálu ako je aktívny materiál. Na plochy zachovanej geometrie je možné naviazať pôsobenie síl alebo zaťaženií.



- Ako posledné sa vyberú časti ktorým sa v priebehu generovania novo vznikajúci objem vyhne. Funkcia **Excluded Geometry** .
- Telesá vylúčenej geometrie sa po označení zafarbia červenou farbou.

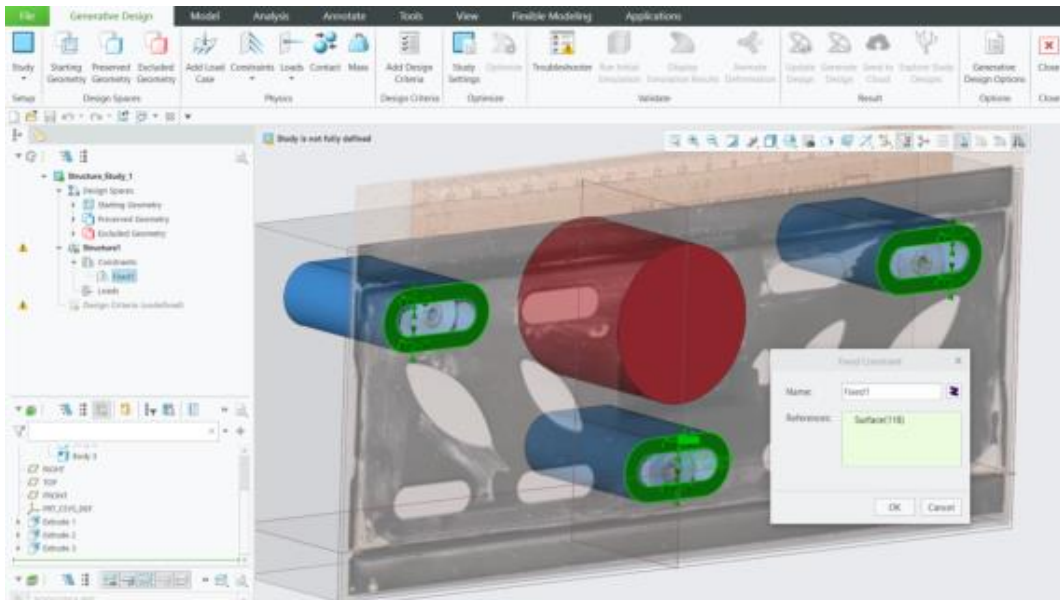


Obr. 46 Priradenie funkcií jednotlivým objemom

Telesá označené ako vylúčená geometria sú v konečnom vygenerovanom návrhu reprezentované ako prázdne objemy bez materiálu. Tieto telesá pôsobia ako prekážky, kde sa výsledok generuje okolo nich a nie v ich geometriách. Výsledný generovaný návrh je prázdny v miestach rozsahu profilu vylúčenej geometrie. Vylúčená geometria by mala byť súčasťou počiatočnej geometrie alebo ňou prechádzať. Ak sa dotýka alebo prelína so zachovanou geometriou, v týchto miestach sa objem telies zachovanej geometrie považuje tiež za vylúčenú geometriu. Na povrch telies označených ako vylúčená geometria nie je možné naviazať žiadne pôsobenie síl alebo zaťaženie. Zadefinovanie vylúčenej geometrie je voliteľné a nie vo všetkých prípadoch potrebné.


10. V tomto kroku sa definujú väzby a zaťaženia použité na zadefinovanie konkrétnych podmienok sústavy. V štúdií je možné použiť jeden alebo aj viacero zaťažovacích prípadov.

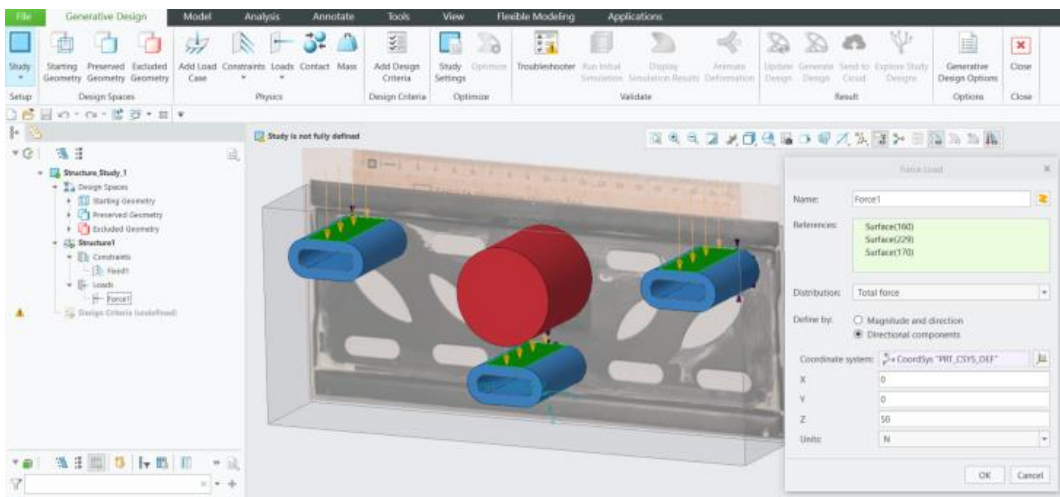
- V karte **Physics** funkciou **Constraints** sa vyberie pevná väzba **Fixed** .
- Po aktivovaní príkazu sa vyberú zadné plochy zachovávanej geometrie. Týmto spôsobom sa zadefinuje odobratie všetkých stupňov voľnosti zvoleným plochám.
- Po ukončení príkazu sa na vybraných plochách vykreslia grafické značky.
- Pre zmenenie výberu plôch väzby je ju možné editovať cez funkciu **Edit Definition**  v strome alebo priamo na väzbe zobrazenej na modely.



Obr. 47 Aplikácia väzby Fixed


Pre každý zaťažený stav sa optimalizácia vypočítava zvlášť. V jednej štúdií môže byť súčasne zadefinovaných viacero stavov naraz, avšak iba jeden z nich môže byť aktívny. Ďalšie väzby a zaťaženia je možné pridať iba do práve aktívneho stavu.

- V karte **Physics** funkciu **Loads** sa vyvolá menu na definovanie pôsobenia sily príkazom **Force**  .
- V poli **References** sa vyberú plochy na ktoré bude pôsobiť sila. Silu je možné definovať pôsobením na bod, viaceré plochy spojito alebo rozloženú v pomere. V tomto prípade sa zadá hodnota 50 N v smere osi Z.
- Smer pôsobenia sily je definovaný podľa osí zvoleného koordinačného systému. Ak sila pôsobí proti smeru príslušného vektora, pred číselnú hodnotu pôsobiacej sily sa dáva znamienko mínus.




Obr. 48 Definovanie pôsobenia sily


Model môže obsahovať aj neoznačené telesá, ktoré môžu byť v kontakte s počiatočnou geometriou alebo inými telesami. Na povrchy týchto telies môžu pôsobiť sily a iné zaťaženia a taktiež dokážu prenášať sily a zaťaženia na ostatné telesá s ktorými sa dotýkajú. Ovplyvňujú vygenerovaný návrh ale vo finále nie sú jeho súčasťou.


Funkcia **Mass**  umožňuje idealizácia hmoty, ktorá sa používa na znázornenie koncentrovanej hmoty bez tuhosti a bez špecifického tvaru. Hmotnosť a tvar objektu určuje, ako objekt odoláva posunu a rotácii. Idealizáciu je možné použiť na štúdium toho, ako sa model správa s touto hmotou umiestnenou na konkrétnom mieste bez špecifikovania celej geometrie. Hmotný bod sa považuje za ťažisko celkovej hmoty. Musí byť spojený s modelom vybranými geometrickými referenciami. V štruktúrálnej štúdií má hmotnosť vplyv iba vtedy, ak sú pre štúdiu definované aj gravitačné zrýchlenie alebo odstredivé zaťaženie.

11. Kritériá návrhu štúdie zahŕňajú špecifikáciu prvkov pre cieľ návrhu, výrobné a geometrické obmedzenia a použité materiály. Aj keď kritérií návrhov môže byť definovaných v strome pre štúdiu viacero, aktívne môže byť súčasne iba jedno. Pre výpočet je braný do úvahy iba aktívne pole DesignCriteria.


- V karte **Design Criteria** sa funkciou **Add Design Criteria**  vyvolá vyskakovanie okno pre zadanie hraničných podmienok návrhu.
- Cieľ štúdie je možné vybrať v karte **Design Goals**. Pri Výbere parametra **Maximized stiffness** je možné zadať cieľový objem v percentách alebo cieľová hmotnosť spolu s jednotkou hmotnosti zo zoznamu.
- V riadku **Limit volume** sa zadá požadovaná hodnota, napríklad 70%. Toto číslo určuje koľko % materiálu bude zachovaného.
- Pole **Design Constraints** umožňuje pridať viaceré výrobné a geometrické obmedzenia súčasne. Tie môžu byť pridané ku kritériám návrhu kedykoľvek.


Zhrnutie obmedzení ku jednotlivým možnostiam kritérií návrhu:


Nastavenie  **Build Direction** pomáha znižovať množstvo podpier potrebných počas procesu 3D tlače. Je potrebné zadať smer ako je postupne vrstvený materiál v procese výroby a hodnotu kritického uhla. Kritický uhol je maximálna hodnota uhla vzhľadom na smer tlače, pri ktorom nie sú potrebné podpery. Všeobecná hodnota pre FFF tlačiarne je 45°.


 **Parting Line** parameter sa môže použiť pri metódach liatia a kovania. Nutné zadať typ deliacej čiary a to buď ako 2D deliacu čiaru alebo ako 3D deliacu čiaru. Deliaci čiaru definuje na súčiastke styčnú plochu medzi základnou a hornou časťou formy (resp. medzi dvoma časťami formy). Zatiaľ čo 2D deliaci čiaru je situovaná v základnej rovine, 3D deliaci čiaru nie je obmedzená


na žiadnu konkrétnu rovinu a môže mať ľubovoľný priestorový priebeh. Okrem definovania deliacej plochy, táto čiara determinuje aj smer otvárania formy (smer ťahu) a uhol ponoru, ktorý predstavuje uhol medzi stenami formovacích dosiek.




 **Linear Extrude** sa využíva pri 2-osých a 3-osových spôsoboch frézovania. Vytvára lineárny výrez v smere ťahu nástroja použitého na frézovanie. Výrez môže byť jednosmerný alebo obojsmerný. Jednosmerný výrez je na jednej strane plochý, zatiaľ čo na druhej strane je voľný pre 3-osovú frézu. Obojsmerný výrez je plochý na oboch stranách, čo je určené pre 2-osové rezanie.

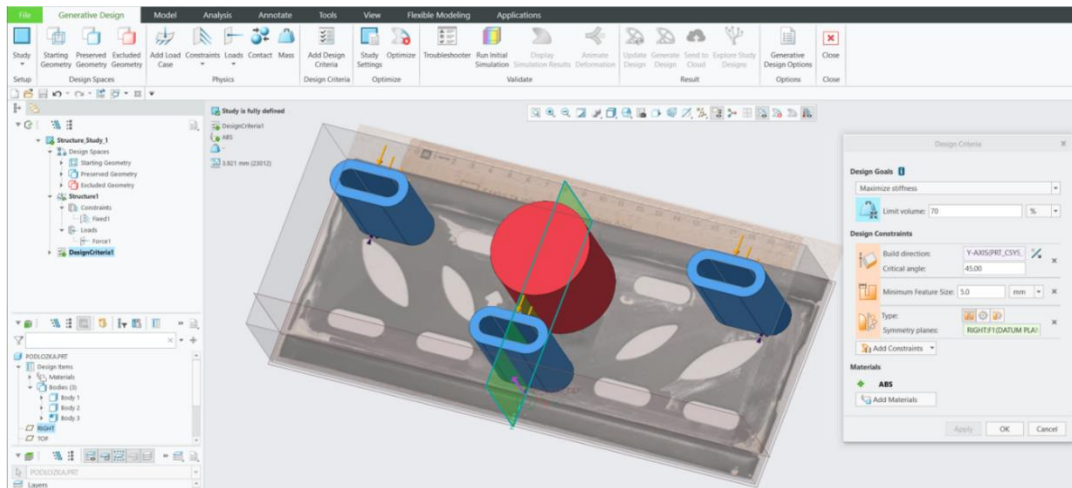
 **Minimum Feature Size** riadi minimálnu veľkosť prvku v optimalizovanom tvare. Toto obmedzenie zaisťuje, že hrúbka výsledného modelu v akomkoľvek priereze je vždy väčšia ako špecifikovaná hodnota.

Geometrické obmedzenie  **Symmetry** vynúti symetriu medzi dvoma stranami vybranej roviny.

Parameter  **Minimum Crease Radius** vyhladenie výslednej geometrie a zmenšenie polomerov prvkov pri optimalizácii. Toto obmedzenie zaisťuje, že všetky povrchy majú zakrivenie s minimálnym polomerom.

Geometrické obmedzenie  **Material Spreading** riadi šírenie materiálu. Nižšie hodnoty vytvárajú viac hrubých pevných oblastí, zatiaľ čo vyššie hodnoty vytvárajú viac vzpier.

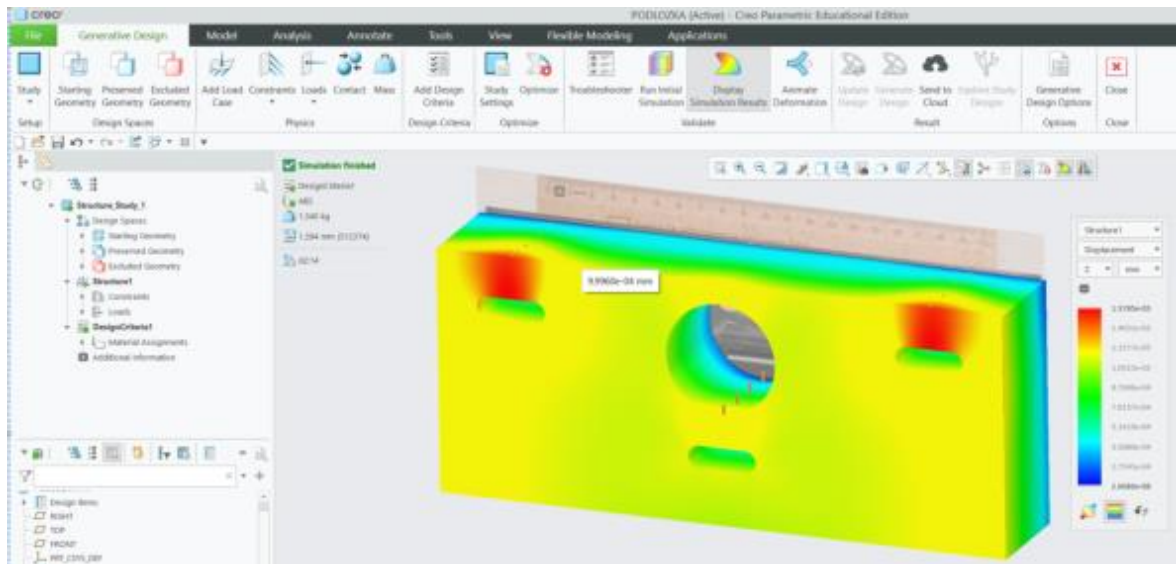
- Zásadným parametrom pre FDM tlačiareň je smer v akom sú nanášané jednotlivé vrstvy. Pri nastavení parametra **Build Direction**  sa vyberie os Y z koordinačného systému.
- Pridaním hodnoty v rámci funkcie **Minimum Feature Size**  sa zaručí minimálna hrúbka steny postačujúca pre FDM technológiu.
- Parameter **Minimum Feature Size** musí byť minimálne 3x väčší ako hodnota Min. element size v rámci parametru **Study Settings**, popísaného v nasledujúcom kroku č. 12!
- Nakoľko sa jedná o symetrický dielec môže byť pridané aj geometrické obmedzenie **Symmetry**  pre zaručenie vygenerovania súmerného komponentu.



Obr. 49 Priradzovanie výrobných a geometrických obmedzení

12. Na karte **Optimize** je možné v rámci funkcie **Study Settings** nastaviť presnosti optimalizácie, minimálnu veľkosti elementov a maximálneho počtu iterácií. Menší rozmer zabezpečí generovanie jemnejších povrchov avšak predlžuje sa trvanie výpočtu.

- V karte **Validate** sa funkciou **Run Initial Simulation** vyvolá vyskakovanie okno pre lepšie pochopenie namáhania a bezpečnostný faktor na počiatočnej geometrii.

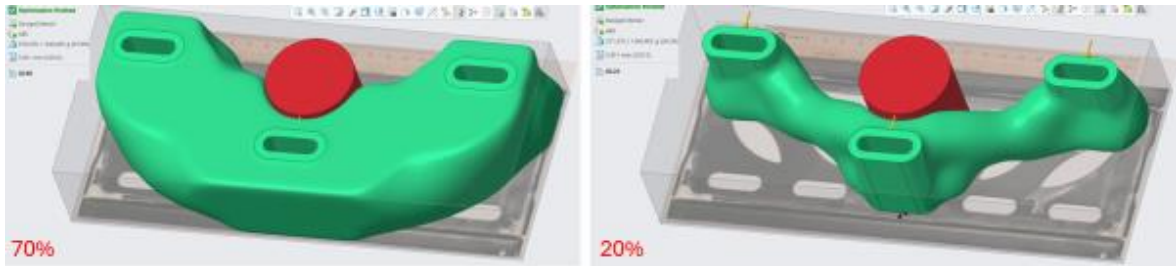


Obr. 50 Výsledky simulácie na počiatočnej geometrii

13. Po zhodnotení výsledkov simulácie je možné zahájiť optimalizačný proces generatívneho dizajnu v rámci východiskového objemu.

- Spustenie optimalizačného procesu sa iniciuje stlačením tlačidla **Optimize**.
- V priebehu simulácie je prezentovaný živý náhľad generovania návrhu telesa podľa zadaných kritérií.
- Výsledky simulácie sú zobrazené v pravom hornom rohu modelovacieho okna.

- Ak výsledok optimalizácie je nepostačujúci, je možné pozmeniť parametre v strome pre jednotlivé položky a optimalizačný proces zopakovať.



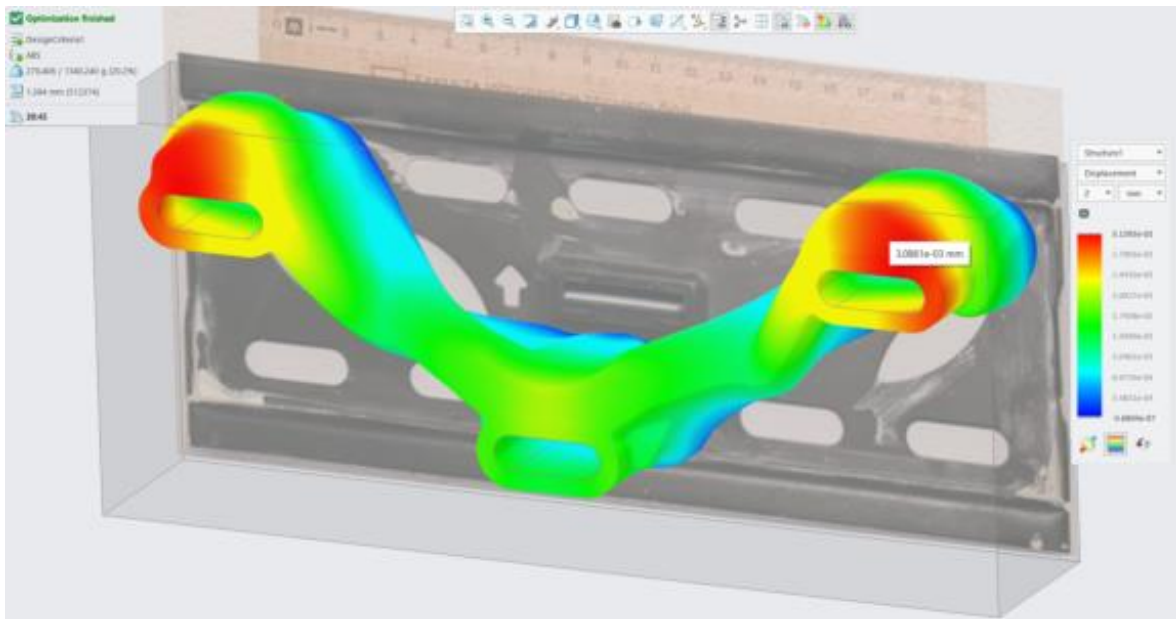
Obr. 51 Výsledky simulácie pre rôzne hodnoty parametra Limit Volume

14. Po úspešnom optimalizačnom procese je možné aktivovať funkciu simulácie na vygenerovanom telese.

- Po vytvorení tvaru optimalizovaného dielu sa funkciou **Display Simulation Results**





zobrazia výsledky simulácie.

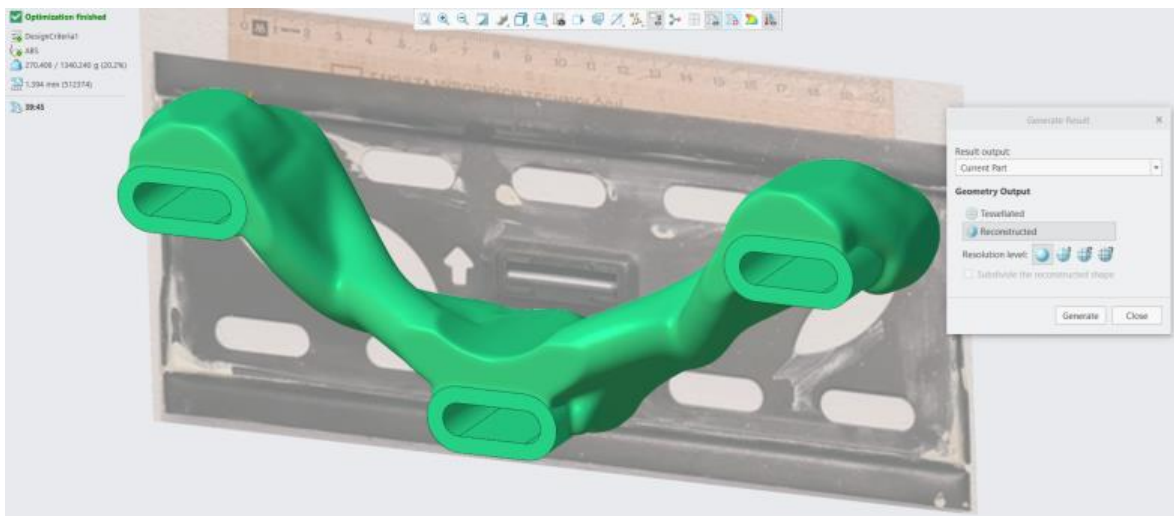


Obr. 52 Grafické znázornenie výsledkov simulácie deformácií pri zaťažení

- Pre animáciu deformácií je možné využiť funkciu **Animate Deformation**



15. Po úplnom zadaní štúdie a vykonaní optimalizácie topológie, môže byť pomocou príkazu **Generate Design** funkcie **Result** vytvorený objemový model optimalizovaného dielu. Nový diel je možné vytvoriť do aktuálneho partu, kde po uzatvorení modulu **Generative Design** bude v strome priamo vytvorený optimalizovaný diel. Druhou možnosťou je nový diel uložiť do nového partu. Pre oba prístupy sú k dispozícii sú dve varianty výstupu, a to:

- **Tessellated:** Optimalizovaná geometria je skonštruovaná ako fazetový, polygónový prvok a geometria, ktorá je vylúčená z optimalizácie, je skopírovaná ako nezávislá geometria (neutrálny prvok). Na fazetovom prvku nemôžu byť vykonávané parametrické funkcie, ale môžu byť vykonávané základné úpravy.
- **Reconstructed:** Optimalizované časti sú konštruované ako prvok modulu **Freestyle** a geometria, ktorá je vylúčená z optimalizácie, sa skopíruje ako nezávislá geometria. Táto metóda vytvára úplný model B-Rep (reprezentácia hraníc). Funkcionalitu Creo Parametric môžete použiť na celú geometriu v novovytvorenom modeli. Odporúča sa začať s nastavením **Basic Resolution**  Pre presnejší detail je možné pristúpiť k výberu nastavení pre hustejšie siete  .
- Generovanie výsledku sa inicializuje stlačením tlačidla **Generate**.

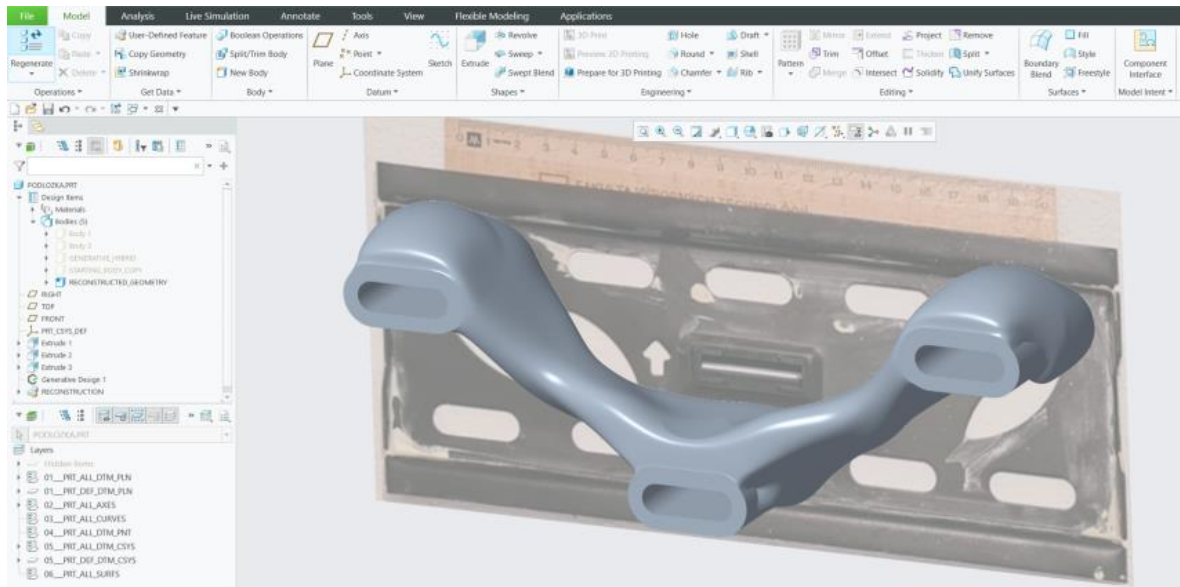


Obr. 53 Nastavenie výstupu a kvality optimalizovaného tvaru


16. Po úplnom zadefinovaní štúdie a vykonaní optimalizácie topológie (pred exportom modelu, bod 15), môže byť optimalizovaný model odoslaný do rozšírenia **Generative Design Extension (GDx)**.

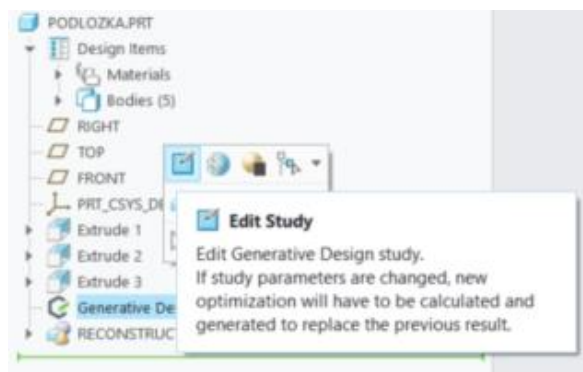
- Nahratie modelu sa vykonáva príkazom **Sent to Cloud**  a umožňuje generovanie viacerých návrhov. Jednotlivé návrhy je možné preskúmať a vybrať si podľa vlastného uváženia. Vhodný návrh je možné následne stiahnuť späť do softvéru Creo Parametric.
- Príkaz **Explore Study Designs**  umožňuje prezeranie už nahraných návrhov.

17. Výsledný objemový model po vygenerovaní výsledku je prítomný v hlavnom modelovacom okne. S modelom je možné ďalej pracovať ako s bežným CAD modelom.





Obr. 54 Výsledný objemový model

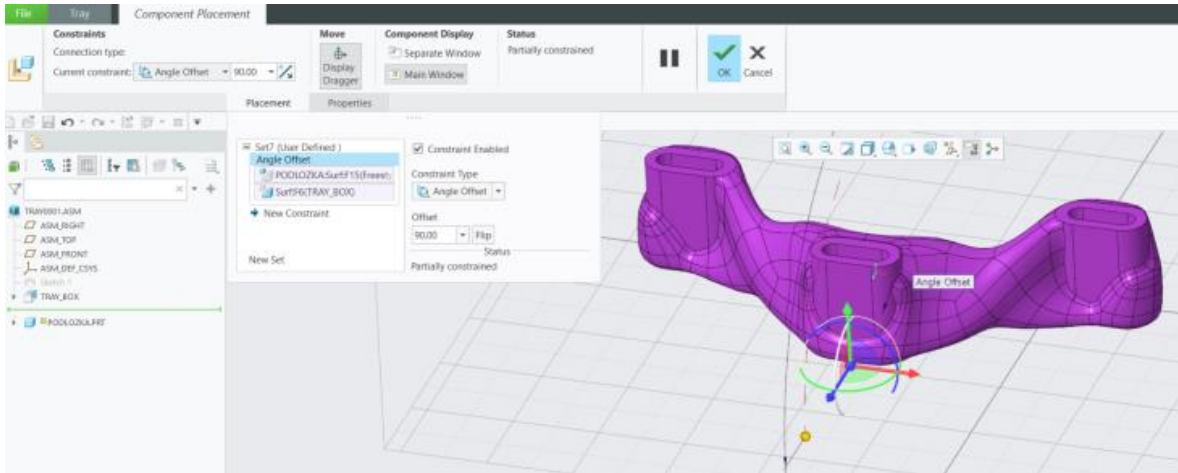
- V strome medzi objektmi pribudla nová položka objektov: RECONSTRUCTED_GEOMETRY
- Pre zmenenie parametrov generatívneho návrhu ju možné editovať štúdiu cez funkciu **Edit Study**  .



Obr. 55 Editovanie štúdie

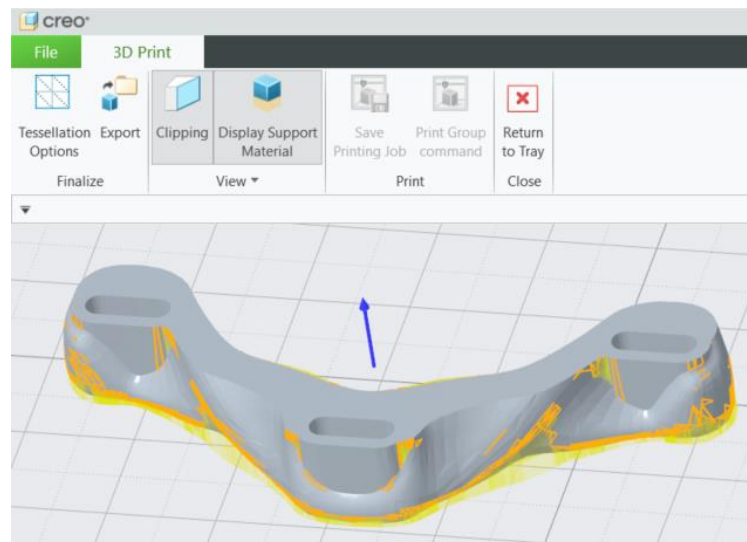
18. Creo ponúka možnosť objednania výroby 3D tlačeneho dielu alebo prípravu tlače dielov na vlastnom zariadení priamo v jeho softvérovom prostredí. Hlavná podpora je venovaná zariadeniam od spoločnosti Stratasys.

- Prípravu tlačového priestoru je možné vykonať funkciou **Prepare for 3D print**  , ukrytou v karte **File/ Print**  /, hlavnej nástrojovej lišty.
- Priestorová manipulácia s modelom podlieha rovnakým pravidlám ako pri tvorbe zostáv v tomto systéme.



Obr. 56 sgdvsdvg

- Pri spracovaní modelu je možné kontrolovať vyrobiteľnosť modelu, a manipulovať s kvalitou povrchu podľa možností konkrétnej 3D tlačiarne.
- Samozrejmosťou je schopnosť modulu generovať podporné štruktúry, ak sú potrebné.
- Teleso je tlačené v plnom objeme, aby boli zaručené parametre simulačného modelu.



Obr. 57 Nastavenie 3D tlačový podmienok

19. Ak užívateľ nemá možnosť využiť nastavenia systému Creo, je možné exportovať model pre 3D tlačiarne tretích strán. Najjednoduchšou možnosťou je využitie všeobecne podporovaného formátu STL, alebo novšieho štandardu 3MF.

- Export dát je možné vykonať cez príkaz **File/ Save As/ Save a Copy**, hlavnej nástrojovej lišty a zvolením príslušného formátu.
- Pre nastavenie kvality výstupu pre formát STL aj 3MF je potrebné zaškrtnúť pri výbere okno s parametrom **Customize Export**, inak dochádza k exportu modelu pri predvolených nastaveniach, čo môže mať za následok zníženie kvality povrchu.
- V karte Export je možné definovať dva základné parametre a to **Chord height** (výška tetivy) a **Angle control** (nastavenie uhla).

Ak sa hodnota **Chord height** nastaví na 0, a potvrdí tlačidlom Enter, softvér prepočíta túto dĺžku na najnižšiu možnú hodnotu vzhľadom na aktuálne nastavenia modelovacieho prostredia softvéru.

Pri exporte do formátu STL je možný výber medzi textovým (ASCII) a binárnym formátom. Tento súborový formát popisuje povrch 3D objektu pomocou množiny prepojených trojuholníkov, bez zastúpenia farieb, textúr, alebo iných atribútov CAD modelu. Každý trojuholník je definovaný pomocou:

- vrcholov - Súradnice troch bodov, ktoré definujú trojuholník.
- normály - Vektor kolmý na rovinu trojuholníka, ktorý určuje jeho orientáciu.



Obr. 58 Konverzia CAD modelu na 3MF súbor

3MF (3D Manufacturing Format) je moderný formát súborov určený pre 3D. Bol vyvinutý konzorciom 3MF, ktorého členmi sú popredné spoločnosti v oblasti 3D tlače a softvéru. Cieľom bolo vytvoriť formát, ktorý by prekonal obmedzenia staršieho formátu STL a poskytol komplexnejšie informácie pre 3D tlačiarne. 3MF súbor obsahuje širokú škálu potrebných informácií v jednom archíve, čo zahŕňa:

- Geometriu modelu: Popis tvaru objektu.
- Materiál: Informácie o použítom materiáli (napr. typ, farba, vlastnosti).
- Farbu a textúru: Vizualizácia povrchu objektu.

- Vnútorne štruktúry (mriežky): Efektívne ukladanie informácií o vnútorných výplniach a mriežkach, čo umožňuje optimalizáciu hmotnosti a pevnosti.
- Podporné štruktúry: Informácie o potrebných podporách pre tlač.
- Nastavenia tlače: Parametre tlače, ako napríklad výška vrstvy, teplota trysky a podložky.
- Metadáta: Informácie o autorovi, dátume vytvorenia a iné.

Formát 3MF sa vyznačuje čitateľnosťou pre človeka aj stroj, pričom využíva etablované štruktúry, ako sú OPC (Open Packaging Conventions), ZIP a XML. Táto konštrukcia uľahčuje vývoj a spracovanie súborov pre softvérových inžinierov a zároveň umožňuje čiastočnú interpretáciu obsahu aj pre koncových používateľov. Dôležitým aspektom je aj modulárna architektúra formátu, ktorá umožňuje jeho jednoduchú extenziu o nové funkcie a vlastnosti v budúcnosti. Status otvoreného štandardu zaručuje jeho voľnú dostupnosť a implementovateľnosť pre kohokoľvek, čo významne podporuje jeho široké uplatnenie a zabezpečuje funkčnosť medzi rozličnými softvérovými aplikáciami a 3D tlačovými zariadeniami.

Zoznam použitej literatúry

- [1]. Abid Haleem; Mohd. Javaid 2019 3D scanning applications in medical field: A literature-based review [online]. [cit.2024-10-13] Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213398418300952#preview-section-cited-by>.
- [2]. Ahmed, A., Arya, S., Gupta, V., Furukawa, H., & Khosla, A. (2021). 4D printing: Fundamentals, materials, applications and challenges. In *Polymer* (Vol. 228, p. 123926). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2021.123926>
- [3]. ASSIMI, Hiram, Ali - JAMALI a Nader - NARIMAN-ZADEH> Sizing and topology optimization of truss structures using genetic programming. *Swarm and Evolutionary Computation*. č. 37 (2017), s. 90–103. ISSN 22106502.
- [4]. ATZENI, Eleonora – SALMI, Alessandro: Economics of additive manufacturing for end-use metal parts. [online]. Londýn: Springer-Verlag London Limited, 2012. [cit. 2024-11-09]. Dostupné na internete: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00170-0113878-1.pdf>.
- [5]. BAKARICH, E. Shannon et al.: 4D Printing with Mechanically Robust, Thermally Actuating Hydrogels. [online]. Weinheim, Nemecko: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013. [cit.2024-09-06]. Dostupné na internete: <https://onlinelibrary.wiley.com/action/downloadSupplement?doi=10.1002%2Fmarc.201500079&file=marc201500079-sup-0001-S1.pdf>.
- [6]. BONOLLO, Franco, TIMELLI, Giulio, GRAMEGNA, Nicola: High-Pressure Die-Casting: Contradictions and Challenges. [online]. Switzerland: JOM: The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 2015. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/273058978_High-Pressure_Die_Casting_Contradictions_and_Challenges.
- [7]. ELAHINIA, H. Mohammad et al.: Manufacturing and processing of NiTi implants: A review. [online]. Toledo, USA: Elsevier B.V., ScienceDirect, 2012. [cit. 2024-11-09]. Dostupné na internete: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642511001058?casa_token=LAXIXHIjPCoAAAAA:WZxqdpahIQ6ZeaXG3nbJIHADfLb9rBhOAOwxUwHcuJW2pCh8gj3g6lC5Wnn6hJdk8laFVLLyFg.
- [8]. EXONE: Powders to Advance Tungsten Metal 3D Printing. [online]. ExOne. 2019. [cit. 2024-10-15]. Dostupné na internete: < <https://www.exone.com/en-US/Resources/News/ExOne-Announces-Collaboration-with-Global-Tungsten>>.

- [9]. Gibson, Ian – Rosen, David W. – Stucker, Brent: Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Springer, 2015. 498 s. ISBN: 978-1493921126.
- [10]. HU, Yalei et al.: Botanical-Inspired 4D Printing of Hydrogel at the Microscale. [online]. Hefei, Čína: John Wiley & Sons, Inc., 2019. [cit. 2024-11-11]. Dostupné na internete: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adfm.201907377?casa_token=0qW7ThogcAAAAA%3A1kG22qwoE4L8w8qCjGZQiusxFOjUgqXXKy7dsNKngcN50e3UuYv77n4rRwAhE3LGy_b7NY4wG_rtTg.
- [11]. IZDEBSKA-PODSIADLY, Joanna: POLYMERS FOR 3DPRINTING: METHODS, PROPERTIES, AND CHARACTERISTICS. Poľsko: Elsevier Inc., 2022. 410 s. ISBN: 978-0-12-818311-3.
- [12]. JASSO-GASTINEL, Carlos F. et al.: MODIFICATION OF POLYMER Británia: Elsevier Inc., 2017. 222 s. ISBN: 978-0-323-44353-1.
- [13]. NOVÁK-MARCINČIN, Jozef. Úvod do počítačovej podpory výrobných technológií. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2005. ISBN 80-8073-309-0.
- [14]. MATTANTI, Valentina et al.: FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of their Mechanical Properties. [online]. Ferrara, Taliansko: Department of Engineering, Università degli Studi di Ferrara, 2019. [cit. 2024-10-10]. Dostupné na internete: <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/7/1094>.
- [15]. QUERIN, Osvaldo M - Mariano VICTORIA - Cristina ALONSO - Rubèn ANSOLA - Pascual MARTÌ. Topology Design Methods for Structural Optimization: UK, 2017. ISBN 9780081009161.
- [16]. Selective Laser Sintering - SLS 3D print service - 3D print technology. In Ricoh 3D [online]. 2019. [cit. 2024-09-25]. Dostupné na internete: <https://rapidfab.ricoh-europe.com/technologies/selective-laser-sintering/>.
- [17]. SHAHRUBUDIN, Nurhalida; LEE, Te Chuan; RAMLAN, R. J. P. M. An overview on 3D printing technology: Technological, materials, and applications. Procedia Manufacturing, 2019, 35: 1286-1296.
- [18]. SLOTA, Ján, Martin MANTIČ a Ivan GAJDOŠ. Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárstve. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2010. Edícia študijnej literatúry. ISBN 978-80-553-0548-6.
- [19]. UNG, Hyuni et al.: Review of polymer technologies for improving the recycling and upcycling efficiency of plastic waste. [online]. Elsevier Ltd, 2023. [cit. 2024-10-03]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523003569>.
- [20]. ZARBANE, K. - BEIDOURI, Z. Eds. Proceedings of CASICAM 2022. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. ISBN 978-3-03-132926-5.

Názov: **Generatívny dizajn v oblasti aditívnych technológií**

Autor: *Ing. Jozef Török, PhD.*

Recenzenti:

1. *Ing. Jozef Barna, PhD.*

3E-VISION s.r.o

2. *Ing. Imrich Orlovský, PhD*

KMS-PT, s.r.o.

Vysokoškolská učebnica

Vydavateľ: Technická univerzita v Košiciach

Rok: 2024

Vydanie: Prvé

Náklad: 50 ks

Rozsah: 82 strán

Autor zodpovedá za odbornú stránku textu a za konečnú verziu rukopisu.

Autor: © Jozef Török

Všetky práva vyhradené.

ISBN 978-80-553-4768-4