

# DOKUMENTACE ZÁVĚREČNÉ PRÁCE



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA VÝTVARNÝCH UMĚNÍ**

FACULTY OF FINE ARTS

**ATELIÉR PRODUKTOVÉHO DESIGNU**

PRODUCT DESIGN STUDIO

**GENERATIVNÍ NÁBYTEK**

GENERATIVE FURNITURE

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**DIPLOMA THESIS**

**AUTOR/KA PRÁCE**

**AUTHOR**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

**SUPERVISOR**

**BcA. MATĚJ PICEK**

**MgA. ONDŘEJ TOBOLA**

**BRNO 2020**

## **OBSAH DOKUMENTACE:**

<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	<b>s. 5 – 19</b>
<b>OBRAZOVÁ ČÁST</b>	<b>s. 20 – 33</b>

## **TEXTOVÁ ČÁST**

### **PODĚKOVÁNÍ**

Rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce MgA. Ondřeji Tobolovi za jeho vedení, cenné rady a připomínky. Také panu Ing. Vašku Stavárkovi za odbornou pomoc a rady týkající se celé problematiky topologické optimalizace. V neposlední řadě své rodině za všestrannou podporu během celého mého studia na vysoké škole, bez které by tato práce nemohla vzniknout.

### **ANOTACE**

Tato diplomová práce se zabývá základními principy fungování technologie generativního navrhování, metodou topologické optimalizace a hledáním jejich potenciálu s možnostmi aplikace v oblasti navrhování nábytku. Hlavním výstupem je funkční prototyp nízkého odpočivného křesla, jehož specifická konstrukce je navržena pomocí metody topologické optimalizace.

### **MOTIVAČNÍ ÚVOD**

Hlavní motivace zabývat se tímto tématem pramenila z mého dlouhodobého obecného zájmu o pokročilé technologie a tvorbu interiérového designu. Snažil jsem se proto najít zajímavý způsob, jakým bych tyto dvě oblasti dokázal propojit. Přes různé inspirační zdroje jsem se nakonec dostal k technologii generativního navrhování, která se zabývá novým způsobem navrhování, vycházejícím ze starších optimalizačních metod. Tyto metody, poskytující nový směr v navrhování technických objektů, byly primárně vyvíjeny a určeny k odlišným účelům, než jsou ty designérské. Díky neustálému progresivnímu vývoji se však začaly uplatňovat i v oblastech průmyslu, kde vzhled produktu hraje stejně významnou roli, jako jeho funkčnost. Jelikož se stále jedná o školní projekt, nabízel se zde prostor pro zkoumání potenciálu těchto navrhovacích způsobů, a jejich možné aplikace v oblasti nábytkářství.

## VYMEZENÍ CÍLE

Cílem práce je seznámení se s generativním navrhováním a metodou topologické optimalizace a vysvětlení jejich rozdílů, včetně příkladů jejich uplatnění při navrhování nábytku, a také využití metody topologické optimalizace k navrhování specifického konstrukčního řešení (principu) prostřednictvím výpočetního softwaru ANSYS Mechanical Enterprise, který je součástí softwarového balíku ANSYS. Pokusil jsem se konstrukční řešení vymyslet takovým způsobem, aby jej bylo možné uplatnit u více druhů nábytku a sjednotit tímto způsobem jejich vizuální styl. Zároveň ale šlo o nalezení odlišného přístupu k práci s touto metodou při navrhování nábytku, než tomu bylo doposud, a to se snahou maximálně využít její potenciál s ohledem na budoucí levnou sériovou výrobu, distribuci a praktické použití.

## REŠERŠE

Jisté intervence v oblasti interiérového designu, které vznikaly pomocí generativních způsobů navrhování, již existují. Jsou to ale spíše unikátní „sochařská“ umělecká díla zkoumající nové možnosti, než praktické kusy nábytku, které by byly navrženy pro sériovou výrobu a volný prodej. Jejich výsledná estetika a způsob využití těchto technologií se do jisté míry značně shodují.

Například práce dánského designéra Jorise Laarmana a jeho týmu, jež zkoumá možnosti designu při použití výzkumu, experimentů a moderních technologií. Laarman, jako jeden z prvních, začal využívat pokročilé technologie při navrhování v oblasti interiérového designu. Už v roce 1998 ve spolupráci s firmami General Motors a Adam Opel zahájil vývoj svého prvního křesla *Bone Chair*<sup>1</sup> z kolekce *The Bone Furniture Series* založeného na algoritickém generování návrhu. Křeslo bylo nakonec odlito z hliníku a představil jej až o dlouhých osm let později. Ve stejném roce představil další křeslo z této kolekce s názvem *Bone Chaise*. Tentokrát se jednalo o pryskyřici. Stejným způsobem pak vytvořil o rok později *Arm Chair* a *Rocker*. V následujícím desetiletí realizoval Laarmanův tým několik dalších

---

<sup>1</sup> Bone Chair, Joris Laarman Lab, <https://www.jorislaarman.com/work/bone-chair/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

návrhu nábytku, jako jsou židle ze série *Microstructures* inspirované buněčnými strukturami, ze kterých jsou složeny všechny organismy.

Mezi další vhodné příklady patří i prototyp židle *Generico Chair*<sup>2</sup> od německých designérů Marca Hemmerlinga a Ulricha Nethera. Jejich koncept je také založen na generativním hledání formy zohledňujícím předdefinované parametry.

S poněkud jiným přístupem přišel francouzský designer Patrick Jouin. On a jeho agentura již dlouhou dobu zkoumají možnosti uplatnění 3D tisku v oblasti interiérového designu. Také inspirován přírodou a její schopností vytvářet jednoduché, ale přitom účinné formy, prezentoval minulý rok na milánském Design Weeku nový typ židle TOMO<sup>3</sup>, navržené pomocí generativních metod a realizované 3D tiskem. Není ovšem tvořena jednoduším tvarem, ale několika panely, které se dají složit do zcela zploštělého stavu.

Konečně první sériově vyráběnou židli, vytvořenou pomocí umělé inteligence, se stala až židle *A.I. Chair*<sup>4</sup> navržená Philippem Starckem, která byla představena minulý rok na veletrhu *Salone Del Mobile* během milánského Design Weeku, kterou vytvořil ve spolupráci s firmami Kartell a Autodesk. Generovaná forma respektuje Starckův původní záměr – pohodlné sezení, které splňuje požadavky na konstrukční pevnost a stabilitu pro zajištění certifikace a zároveň respektuje estetické standardy jednoduchosti a čistých linií.

## KONTEXTUALIZACE PRÁCE

Postupným hlubším pronikáním do celé problematiky se pojem generativní navrhování ukázal být poměrně ošemetný. Připomnělo mi to situaci, kdy jsem byl v průběhu studia zmatený z pojmu expresionismus. Neustále se objevoval v různých kontextech a vždy, když už jsem si myslel, že mu začínám rozumět, našel jsem ho zase v jiném kontextu, což mě

---

<sup>2</sup> Generico, SPADE. *Spatial Design Studio*, <https://www.spade-studio.de/projects/generico-chair/>, vyhledáno 20. 7. 2020. – Generico Chair, Arch20, <https://www.arch20.com/generico-chair-marco-hemmerling-and-ulrich-nether/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>3</sup> TAMU, Patrick Jouin, <http://www.patrickjouin.com/fr/projets/1498-tamu.html>, vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>4</sup> A.I. – Introducing the First Chair Created with Artificial Intelligence, 24. 1. 2020, STARCK, <https://www.starck.com/a-i-introducing-the-first-chair-created-with-artificial-intelligence-p3801>, vyhledáno 20. 7. 2020.

mátlo. Nakonec se ukázalo, že se nejedná o žádnou přesně zformovanou skupinu, ale spíše o filozofický směr, který spojoval stejnými názory celou řadu umělců.

Pojem „generativní navrhování“ původně vznikl v oblasti architektonického designu jako způsob, který označuje generování parametrických geometrických forem pomocí sady skriptů.<sup>5</sup> Objevuje se také v souvislosti s optimalizačními metodami, především s topologickou optimalizací, dále s filozofickými myšlenkami nebo programováním – processingem, což je v podstatě open-sourcová grafická knihovna s integrovaným vývojovým prostředím, pracující s jazykem Java.<sup>6</sup>

Dnes termínem „generativní navrhování“ označujeme technologii, o které převážně mluvila a současně také vyvíjí americká firma Autodesk zaměřující se na technologický průmysl. Už roku 2014 přišla s prvním výzkumným projektem zvaným *Dreamcatcher*,<sup>7</sup> což byl jakýsi „preview“ generativního navrhování v oblasti strojírenství. Vznikaly další projekty s názvy *Within*,<sup>8</sup> *Netfabb*,<sup>9</sup> nebo *Rafinery*,<sup>10</sup> sloužící pro generativní urbanistické navrhování v oblasti stavební projekce. Všechny tyto snahy měly začít určovat novou cestu navrhování. Od roku 2018 je tato technologie komerčně dostupná pro předplatitele v jejich cloudové konstrukční aplikaci zvané Fusion 360.<sup>11</sup> Nicméně se jedná o takové „rebrandování“ starší topologické optimalizace, která se využívá ve strojírenském prostředí již delší dobu.

## GENERATIVNÍ NAVRHOVÁNÍ

Technologie, která absolutně mění dosavadní způsoby navrhování, vznikla přirozenou reakcí na rostoucí tlak zákazníků, ruku v ruce s rostoucím výkonem výpočetní techniky. V dnešním světě se nacházíme na poli extrémního konkurenčního trhu, kde se neustále klade větší

---

<sup>5</sup> Parametrický design, *Nové Formy*, <https://www.noveformy.cz/parametricky-design/uvodem/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>6</sup> Processing (programming language), *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Processing\\_\(programming\\_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Processing_(programming_language)), vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>7</sup> Project Dreamcatcher, *Autodesk Research*, <https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher>, vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>8</sup> Within, *Withinlab*, [http://www.withinlab.com/overview/new\\_index.php](http://www.withinlab.com/overview/new_index.php), vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>9</sup> Netfabb, *Autodesk*, <https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview?plc=NETFA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>, vyhledáno 20.7.2020.

<sup>10</sup> Project Rafinery, *Autodesk*, <https://www.autodesk.com/ampaigns/refinery-beta>, vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>11</sup> Fusion 360, *Autodesk*, <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>, vyhledáno 20. 7. 2020.

důraz na inovaci a urychlení vývoje nových produktů (kratší čas navrhování a prototypování, šetření materiálu, menší negativní dopad na životní prostředí atd.), a tím i získání konkurenční výhody. Generativní navrhování tak nabízí výrobcům nová a lepší řešení, poskytující chytřejší výsledky při podstatně nižších nákladech.

Generativní navrhování se snaží napodobit evoluční přístup přírody v oblasti designu. V průběhu historie se designéři snažili vytvářet objekty inspirované přírodou. Od secese, přes 60. léta 20. století až do současnosti, se vždy experimentovalo s novými materiály a dostupnými technologiemi pro dosažení nových a složitějších forem. V naší digitální éře již ale nejsme vázáni omezením průmyslových strojů a nemusíme využívat přírodu jen jako stylistický odkaz, ale můžeme používat její základní principy k vytváření tvarů stejně jako evoluční proces. To je nyní možné díky umělé inteligenci, která využívá strojového učení<sup>12</sup> a obrovského výpočetního výkonu. Dokáže nám tak poskytnout stovky až tisíce řešení jednoho technického problému. Určitý technický problém jsme schopni definovat pomocí vstupních základních parametrů. Počítač následně navrhuje a analyzuje různé tvary, až nakonec vytvoří a doporučí optimální řešení, která splňují zadané požadavky (například pevnost, přenesený výkon, únosnost, přizpůsobení konkrétní výrobní technologii, apod.). Ty pak mohou konstruktéři porovnávat a filtrovat výsledky tak, aby co nejlépe vyhovovaly jejich potřebám.

To je obrovský rozdíl oproti tomu, pokud takový prototyp vyvíjí člověk tradiční cestou navrhování. Ten je za mnohem delší dobu schopný udělat jen několik návrhů, které musí projít jednotlivými procesy (návrh, modelování, simulace, přizpůsobení výrobě, prototypování atd.). Kromě použitelných návrhů, často vzniknou i ty, které nejsou zdaleka optimální. Člověk je především limitovaný vlastní představivostí, což v praxi znamenalo, že technologie odrážela jen zadané konstrukční nápady.

Technologie generativního navrhování vychází z předešlých optimalizačních metod, zejména metody topologické optimalizace, na které staví. Důvodem častého zaměňování je

---

<sup>12</sup> Strojové učení, *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Strojov%C3%A9\\_u%C4%8Den%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Strojov%C3%A9_u%C4%8Den%C3%AD), vyhledáno 20. 7. 2020.

především fakt, že fungují na shodných principech, využívají se ke stejným účelům a jejich generovaná estetika je téměř identická.

## TOPOLOGICKÁ OPTIMALIZACE

Výhodou metody topologické optimalizace je její schopnost za poměrně krátkou dobu prověřit velké množství různých řešení. Změnou určitých parametrů (parametr v mé práci byla topologie<sup>13</sup>) se snaží dosáhnout minima nebo maxima tzv. objektivní funkce (v mém případě se jednalo o hledání minima poddajnosti neboli maximalizování tuhosti). Výsledné řešení musí rovněž vyhovovat určitým kritériím (jaké plochy jsem zanechal a kolik hmotnosti jsem odebral).

*„Topologická optimalizace označuje optimalizaci rozložení materiálu v daném objemu fyzického návrhu pro danou sadu zatížení a okrajových podmínek tak, aby výsledné rozložení splňovalo předepsané výkonnostní cíle. To se často používá k identifikaci koncepčního návrhu, který nejlépe vyhovuje specifickým požadavkům návrhu a ten je pak přizpůsoben pro dosažení lepších vlastností ve výkonu a vyrobitelnosti. Často poskytuje biomorfni tvary, které jsou nevhodnější pro aditivní výrobní metody, před tím, než jsou modifikovány pro konvenční subtraktivní výrobu.“<sup>14</sup>* Hlavním rozdílem optimalizačních metod a generativního navrhování je tedy ten, že metody určené k optimalizaci se zaměřují na zdokonalení již existující konstrukce nebo její části. Generativní navrhování naopak namísto jednoho optimalizovaného výsledku vytváří řadu nových řešení.

Jak už jsem zmínil, výsledné biomorfni formy generované pomocí generativního navrhování, nebo metody topologické optimalizace jsou si esteticky velmi blízké (dalo by se říct až zaměnitelné). Jsou zaměřené výhradně na inženýrský výkon, protože umělá inteligence není schopna řešit estetickou stránku vytvářených návrhů. I to je důvod proč se tyto technologie primárně začaly vyvíjet a využívat zejména ve strojírenském průmyslu, protože jsou

---

<sup>13</sup> Topologie, *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Topologie>, vyhledáno 20. 7. 2020.

<sup>14</sup> Frank Tobe, *Desing Optimization: Topology and Much More*, 15. 9. 2015, *Design World*, <https://www.designworldonline.com/design-optimization-topology-and-much-more-2/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

zaměřené stoprocentně na funkčnost, efektivitu výrobku a jeho výrobu, než na samotný vzhled.

Nicméně v dnešní době, kdy se veškerý výrobní proces stále více automatizuje, budou postupem času tyto technologie zabírat stále více místa v průmyslu. Rychlostí, jakou se dnes vyvíjí, nám neustále otevírají nové možnosti a začínají pronikat do oborů, kde estetika hraje důležitou roli. Ačkoliv se tedy mohou tyto způsoby navrhování zdát z hlediska estetiky jako poměrně neintuitivní, je jen otázkou času, kdy se zdokonalí i možnosti estetické customizace (neboli kastomizace) generovaných forem.

Obecně mě však tenhle způsob napodobování „přírodní“ cesty přijde fascinující sám o sobě. Metoda, při které designér, nebo konstruktér nevytváří výslednou formu a nemůže tak dopředu určit, jak bude vypadat. Ta vzniká přirozenou cestou sama a její estetika je tvořena jen tím nejpodstatnějším. Je oproštěna od všech přebytečností, kdy vše podstatné je právě na místě, kde být musí.

Mezi důvody, proč jsem od původního záměru zkoumání a použití generativního navrhování od Autodesku, přešel k metodě topologické optimalizace, jsou především ty, že nástroje generativního navrhování jsou v současné době k dispozici pouze pro předplatitele aplikace Fusion 360. Nejsou tak součástí studentské licence, ale pouze té komerční. Navíc generování, simulace a export výsledné formy jsou zpoplatněny nemalými částkami. Primární cílovou skupinu tak tvoří především velké firmy, nebo známé osobnosti, kteří často spolupracují i přímo s Autodeskem. Nenabízela by se zde nakonec žádný prostor pro učení a vývoj konceptu, jehož součástí je samozřejmě experimentování a s tím spojené i chybování. Generativní navrhování je tedy již sice komerčně dostupné, ale z praktického hlediska stále ne příliš použitelné. Naproti tomu topologická optimalizace, která je dostupná v dnes již mnoha CAD<sup>15</sup> aplikacích, mi nabídla skvělé experimentální prostředí pro svou práci a možný vývoj konceptu, s možností dosažení velmi podobných výsledků.

---

<sup>15</sup> Computer Aided Design, *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Computer\\_aided\\_design](https://cs.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_design), vyhledáno 20. 7. 2020.

## POPIS PROJEKTU

Ze všech druhů nábytku mi přišlo nejvhodnější využít tuto metodu u sedacího nábytku, který je nejvíce zatížen proměnným působením sil. Nakonec jsem se rozhodnul o vytvoření nízkého odpočivného křesla. Navržená konstrukce je tvořena dvěma hlavními bočnicemi, konstruovanými pomocí metody topologické optimalizace a spojovacími tyčemi. Výsledný tvar bočnic a rozměry spojovacích prvků jsou výsledkem výpočtů a simulací modelového zatížení, tak aby bylo využito minimálního možného materiálu.

Celý proces začal širokou rešerší odpočinkových křesel a židlí, vyrobených rozdílnými metodami (tradičními i pokročilými). Na základě těchto rešerší a postupného osvojování si metody topologické optimalizace jsem si začal utvářet svoji představu o svém návrhu. Základními výchozími rozměry sezení se pro mě staly standardizované normy nízkého odpočivného křesla, založené na aktuálním antropometrickém měření ČR.<sup>16</sup> Ty jsem si ověřoval na fyzických zkušebních modelech a pak více či méně je přizpůsobil své anatomii těla. Díky těmto modelům, jsem si mohl určit jednotlivé rozměry a úhly pro pohodlné sezení.

Tyto rozměry byly pro další postup velmi zásadní. Navrhoval jsem tak 3D modely různých tvarů a velikostí, kde však byly pevně definovány rozměry sezení, ověřené předešlými fyzickými modely. Na zkušebních modelech jsem si také ověřil správné rozložení vah lidského těla působících na jednotlivé části křesla, které byly dalšími klíčovými parametry pro správné definování výsledné formy. Stejně tak důležité pro mě bylo určit si dopředu vhodný materiál, protože mechanické vlastnosti jednotlivých materiálů zásadně ovlivňovaly generovanou geometrii.

Vytvořil jsem více jak stovku různých forem, které se od sebe více, či méně parametrově lišily. Na základě těchto pokusů a omylů jsem si začal blíže osvojovat způsob generování geometrie tak, že jsem postupně začal chápat, které nastavení ovlivňuje danou část a mohl jsem tak více konstruktivně postupovat vpřed. Nevytvářel jsem tak formu, nýbrž ji celou dobu hledal. Tímto postupem jsem nakonec došel k tvarům, které se od sebe začínaly lišit už

---

<sup>16</sup> *Nábytkářský informační systém*, <http://www.n-i-s.cz/cz/rozmery/page/55/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

jen minimálně. Nakonec jsem vybral jeden, nejlépe přizpůsobitelný zvolenému způsobu výroby.

Původně jsem zamýšlel udělat celý koncept v dřevěném materiálu. Zdálo se, že by nebylo špatné zachovat tento materiál, který se používá k výrobě nábytku už po celá tisíciletí. Došlo by tak k zajímavému propojení nových výrobních a návrhových způsobů s tradičním řemeslem. Dřevo jako materiál pro výrobu nábytku jen tak nevyumizí z našeho světa a otázkou je, zdali někdy vůbec. S tímto materiálem ovšem nastaly zásadní problémy. Chování dřeva je velmi složité vystihnout pomocí výpočtu. Jeho mechanické vlastnosti se odvíjí od mnoha proměnných faktorů jako jsou například typ dřeva, hustota a směr vláken, vlhkost atd. Nedá se tak s dostatečnou přesností definovat. Výsledné generované formy a simulace by měly spíše orientační výpovědní hodnoty, na které by se nedalo bez dalšího fyzického testování příliš spoléhat. Největším problémem pro mě však představovala samotná výroba požadovaných dílů z tohoto druhu materiálu. Pro dosažení takto specifických organických tvarů ze dřeva, je jedinou možností tento materiál frézovat. Frézování takto komplikovaných tvarů je velmi zdlouhavý a finančně nákladný proces z hlediska budoucí možné sériové výroby. S tímto způsobem výroby také souvisí i masivní redukce materiálu. Při výrobě by tím pádem vznikalo více odpadového materiálu, než by bylo použito v objemu samotného výrobku. Odpadový materiál by se tak musel zbytečně dál vyvážet a recyklovat. Celý proces by proto postrádal smysl a šel proti celé filozofii tohoto typu navrhování, který má sloužit k přesným výpočtům, ke snížení hmotnosti použitého materiálu, rychlejšímu prototypování a tím i ke snížení celkových výrobních nákladů.

Mezi další dostupné výrobní možnosti se nabízely: a) frézování kovů, b) aditivní výroba – 3D tisk, c) odlévání. U frézování kovů jsem opět řešil stejné problémy jako u frézování dřeva. Dlouhý a velmi nákladný výrobní proces s velkým množstvím odpadního materiálu. Ten je sice stoprocentně recyklovatelný do původního stavu a některé společnosti si tuhle recyklaci dokonce řeší v rámci svojí produkce, nicméně se jedná o další zbytečné finanční a ekologické zatížení.

Co se týče 3D tisku, tak možnosti této výroby jsou dnes již velké. Určitě by byl na tento typ tvarů použitelný, ale stále zdaleka ne ideální pro finální produkci. Je využíváný především na

prototypování a výrobu složitějších dílů, které by obvyklým způsobem nebylo možné vyrobit. Jedná se také stále o poměrně zdlouhavý výrobní proces. Zejména pokud jde o takto velký díl se snahou o dosažení hladkého vzhledu bez hrubých vrstev. Narážel jsem zde navíc na podobný problém s vlastnostmi materiálu jako u dřeva. Tisknutý plastový materiál je totiž rovněž složité popsat ve výpočtu. Výtisk obvykle není plný ve svém objemu – při 3D tisku se vnitřní objem plní vzory (např. včelí plástev), aby se snížila spotřeba materiálu, hmotnost výtisku a doba tisku. I kdybychom tiskli plný objem, ve výtisku by se stejně nacházely nedokonalosti (např. dutiny, nedoléhající vrstvy apod.) a jeho mechanické vlastnosti by závisely na orientaci vrstev.

Pro své potřeby jsem si tedy nakonec zvolil adekvátní výrobní způsob – odlévání, konkrétně lití do ztracené formy: *„Odlévání do písku se řadí do kategorie lití do ztracené formy. Na jednu polovinu modelu odlitku je nasazen formovací rám, který je poté zaplněn speciální směsí pojiva a slévárenského písku. Výplň je pak vibračně nebo tlakově zpevněna a model vyjmut. Stejným postupem je pak zhotovena i druhá polovina pískové formy. Obě poloviny jsou poté spojeny, popř. jsou přidána jádra a výsledná forma je naplněna taveninou. Při vyjímání odlitku po odlití je písková forma zničena. (...) Lití do písku je flexibilní a vhodné jak pro malé, tak velké odlitky. Odlitky se dále vykazují dostačující přesností a dobrou kvalitou povrchu. Tato technologie je vhodná pro složitě členěné díly s požadavkem na použití vložených jader. Z ekonomického hlediska je lití do písku výhodné pro malé série díky nízkým nákladům na modelové zařízení a krátkým dodacím termínům. Konstrukční změny bývají zpravidla snadno proveditelné.“<sup>17</sup>* Tato výrobní metoda mi umožnila si zvolit materiál, jehož chování lze poměrně přesně popsat ve výpočtu. Ze všech slévárenských kovů, jsem si nakonec vybral ten, který měl pro mé potřeby vhodné vlastnosti. Jedná se o slitinu hliníku (chemické složení AlSi10CuMn), která je dostatečně pevná, zároveň velmi lehká a nepotřebuje další úpravy. Další výhodou odlévání je, že nevzniká žádný přebytečný odpadový materiál, ale je spotřebováno přesně tolik hmoty, kolik je potřeba na výrobu jednoho odlitého kusu produktu.

---

<sup>17</sup> Lití do pískové formy, Silesia-Tech s.r.o., <http://www.silesia-tech.cz/liti-do-piskove-formy>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Vygenerovanou geometrii bočních dílů konstrukce jsem musel překreslit takovým způsobem, aby byla vyrobitelná zvoleným výrobním způsobem, protože stejně jako jiné výrobní způsoby, i tento má své limity a pravidla. Výsledná forma tedy dodržuje primárně vygenerovaný tvar, ale je doplněna o nutné úpravy, které jsou charakteristické právě pro tento způsob výroby a doplňuje tak generovanou estetiku.

Obě odlité bočnice spojují čtyři duralové tyče. Délka a průměr tyčí byly zvoleny na základě výpočtů a simulací zatížení tak, aby vydržely odpovídající zátěž a vyhovovaly mému představě o proporci celého křesla. Jednotlivé tyče jsou spojeny s bočnicemi pomocí ocelových závitových šroubů typu DIN7991 M8x40 10.9 a zajišťují dostatečně pevné spoje konstrukce. Sedací a opěrná plocha jsou řešeny pomocí vysokopevnostních PVC šňůr, které jsou vypnuté mezi duralovými tyčemi. Jsou dostatečně pevné na to, aby správně držely anatomii těla ve vyměřených úhlech, ale zároveň dostatečně pružné pro zajištění komfortu při sezení. Zvolený způsob působí odlehčeným vzdušným dojmem a je v souladu s technicistním charakterem celé konstrukce křesla.

## **ZÁVĚR**

Od samotného začátku jsem byl fascinovaný myšlenkou generativního navrhování, který napodobuje vývoj organismů v přírodním světě. Není divu, že se generativní navrhování stalo horkým tématem napříč obory. Jedná se zkrátka o nový způsob navrhování, který mění dosavadní pohled na design, jako takový. Zjednodušeně se dá říct, že role designera se mění na roli „kurátora“, který pouze zadává pokyny a nástroje dělají vše za něj. Tato představa může znít pro někoho docela děsivě, ale když se nad tím zamyslíme, tak cesta plné automatizace je přirozený a nevyhnutelný vývoj. Díky tomu se nám neustále otevírají nové možnosti, které rozvíjí, nebo postupem času zcela nahrazují ty dosavadní.

Tvorba této diplomové práce byla dlouhým a velmi náročným procesem plným neustálého učení, zkoušení, náhod, pokusů a omylů. Jsem rád, že jsem se touhle cestou nakonec vydal a mohl v této oblasti prohloubit své praktické a teoretické znalosti, které nebylo zdaleka lehké nabýt. Stále však mohu říci, že jsem poměrně na začátku a je ještě dlouhá cesta přede mnou, jelikož se jedná o velmi obsáhlé a odborné téma. Nicméně jsou to cenné zkušenosti,

které bych za jiných okolností jen s těžší mohl získat a v budoucnu mi budou nepochybně k užitku.

Ačkoliv se jednalo o velmi proměnnou tvůrčí cestu, mohu říct, že jsem nakonec naplnil své vytyčené cíle a vytvořil konstrukční princip, který je aplikovatelný u více druhů nábytku. I když se jedná stále o ranný prototyp, který projde v budoucnu ještě určitě menšími změnami, vytvořil jsem funkční základ, na který bych ve svojí budoucí kariéře rád navázal a dále jej rozvíjel.

## POUŽITÉ ZDROJE

A.I. – Introducing the First Chair Created with Artificial Intelligence, 24. 1. 2020, *STARCK*, <https://www.starck.com/a-i-introducing-the-first-chair-created-with-artificial-intelligence-p3801>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Ravi Akella, What Generative Design Is and Why It's the Future of Manufacturing, 16. 3. 2018, *New Equipment Digest*, <https://www.newequipment.com/research-and-development/article/22059780/what-generative-design-is-and-why-its-the-future-of-manufacturing>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Loz Blain, Generative design and the radical, skeletal new look of tomorrow, 9. 8. 2017, *New Atlas*, <https://newatlas.com/autodesk-generative-design-interview/50824/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Bone Chair, *Joris Laarman Lab*, <https://www.jorislaarman.com/work/bone-chair/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Mario Carpo, The Second Digital Turn, 21. 3. 2018, *YouTube*, <https://www.youtube.com/watch?v=UVerq5DSdK>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Co umí generativní navrhování, *CAD Studio Blog*, [https://blog.cadstudio.cz/2018/06/co-umi-generativni-navrhovani.html?fbclid=IwAR1wVOCGQ7PCLKpb5QMbjcuYI-5\\_I8ncltcnCyH7uvY1CUy0YroMSmD4](https://blog.cadstudio.cz/2018/06/co-umi-generativni-navrhovani.html?fbclid=IwAR1wVOCGQ7PCLKpb5QMbjcuYI-5_I8ncltcnCyH7uvY1CUy0YroMSmD4), vyhledáno 20. 7. 2020.

Computer Aided Design, *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Computer\\_aided\\_design](https://cs.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_design), vyhledáno 20. 7. 2020.

Jesse Coors-Blankenship, Myth Dispelled: Topology Optimization Is Not True Generative Design, 21. 5. 2019, *PTC*, <https://www.ptc.com/en/product-lifecycle-report/myth-dispelled-topology-optimization-is-not-true-generative-design>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Al Dean, Review: Fusion 360 & Generative Design, 16. 4. 2019, *Develop3D*, <https://develop3d.com/cad/review-fusion-360-generative-design-autodesk-engineering/>, vzhledáno 20. 7. 2020.

Demystifying Generative Design, *Autodesk*, <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/generative-design/autodesk-aec-generative-design-ebook.pdf>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Ondřej Flídr, Použití volně dostupných programů pro topologickou optimalizaci na vybraných úlohách mechaniky těles, *Fakulta strojního inženýrství Vut v Brně, Brno 2019*.

Frank Tobe, Desing Optimization: Topology and Much More, 15. 9. 2015, *Design World*, <https://www.designworldonline.com/design-optimization-topology-and-much-more-2/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Fusion 360, Autodesk, <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Generativní design brzy i v Inventoru, *Inventor guru*,  
<https://www.inventorguru.cz/2015/09/generativni-design-brzy-i-v-inventoru.html>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Generativní navrhování, *CAD Studio*, <https://www.cadstudio.cz/generative-design.asp>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Generativní navrhování (generative design), *CAD Studio*,  
[https://www.cadstudio.cz/dl/Generative-design-CZ.pdf?fbclid=IwAR2R05etX5DAeg\\_5ZK5fVFEAowcFRYEpVym\\_CTZxZ8psF1i8MXUneUpuO1M](https://www.cadstudio.cz/dl/Generative-design-CZ.pdf?fbclid=IwAR2R05etX5DAeg_5ZK5fVFEAowcFRYEpVym_CTZxZ8psF1i8MXUneUpuO1M)  
, vyhledáno 20. 7. 2020.

Generico Chair, *Arch20*, <https://www.arch2o.com/generico-chair-marco-hemmerling-and-ulrich-nether/>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Generico, *SPADE. Spatial Design Studio*, <https://www.spade-studio.de/projects/generico-chair/>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Dan Howarth, Generative design software will give designers „superpowers“, 6. 2. 2017,  
*Dezeen*, <https://www.dezeen.com/2017/02/06/generative-design-software-will-give-designers-superpowers-autodesk-university/>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Jak se mění výroba. Budoucnost vytváření věcí kolem nás (generativní navrhování /  
generative design), *CAD Studio*, [https://www.cadstudio.cz/dl/Generative-design-CZ.pdf?fbclid=IwAR2R05etX5DAeg\\_5ZK5fVFEAowcFRYEpVym\\_CTZxZ8psF1i8MXUneUpuO1M](https://www.cadstudio.cz/dl/Generative-design-CZ.pdf?fbclid=IwAR2R05etX5DAeg_5ZK5fVFEAowcFRYEpVym_CTZxZ8psF1i8MXUneUpuO1M)  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Aykut Kentli, Topology Optimization Applications on Engineering Structures, 17. 3. 2019,  
*IntechOpen*, <https://www.intechopen.com/books/truss-and-frames-recent-advances-and-new-perspectives/topology-optimization-applications-on-engineering-structures>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Lití do pískové formy, *Silesia-Tech s.r.o.*, <http://www.silesia-tech.cz/liti-do-piskove-formy>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

*Nábytkářský informační systém*, <http://www.n-i-s.cz/cz/rozmary/page/55/>,  
vyhledáno 20. 7. 2020.

Netfabb, Autodesk,  
<https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview?plc=NETFA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>,  
vyhledáno 20.7.2020.

Sangeun Oh – Yongsu Jung – Seongsin Kim – Ikjin Lee – Namwoo Kang, Deep Generative Design: Integration of Topology Optimization and Generative Models, *arXiv*,

<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1903/1903.01548.pdf?fbclid=IwAR2HiFq5k-KzNv5bQyWvxolsoXypIM8XFKaWCn6XTeJmuQVWN-ST66GrluA>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Roger Orban, Topology Optimization is not Generative Design, *Autodesk*, <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/topology-optimization-is-not-generative-design/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Parametrický design, *Nové Formy*, <https://www.noveformy.cz/parametricky-design/uvodem/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Processing (programming language), *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Processing\\_\(programming\\_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Processing_(programming_language)), vyhledáno 20. 7. 2020.

Project Dreamcatcher, *Autodesk Research*, <https://autodeskresearch.com/projects/dreamcatcher>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Project Refinery, *Autodesk*, <https://www.autodesk.com/ampaigns/refinery-beta>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Scott Reese, Think Generative Design is Overhyped? These Examples Could Change your Mind, 7. 11. 2018, *Autodesk*, <https://www.autodesk.com/redshift/generative-design-examples/>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Siemens PLM Software Advances Generative Design Technology in NX, *CIM data*, [https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/CIMdata\\_eBook\\_Siemens\\_PLM\\_Software\\_Advances\\_Generative\\_Design\\_Technology\\_in\\_NX\\_tcm27-61556.pdf](https://www.plm.automation.siemens.com/media/global/en/CIMdata_eBook_Siemens_PLM_Software_Advances_Generative_Design_Technology_in_NX_tcm27-61556.pdf), vyhledáno 20. 7. 2020.

Strojové učení, *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Strojov%C3%A9\\_u%C4%8Den%C3%AD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Strojov%C3%A9_u%C4%8Den%C3%AD), vyhledáno 20. 7. 2020.

TAMU, *Patrick Jouin*, <http://www.patrickjouin.com/fr/projets/1498-tamu.html>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Topologie, *Wikipedia. The Free Encyclopedia*, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Topologie>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Topology optimization, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Topology\\_optimization](https://en.wikipedia.org/wiki/Topology_optimization), vyhledáno 20. 7. 2020.

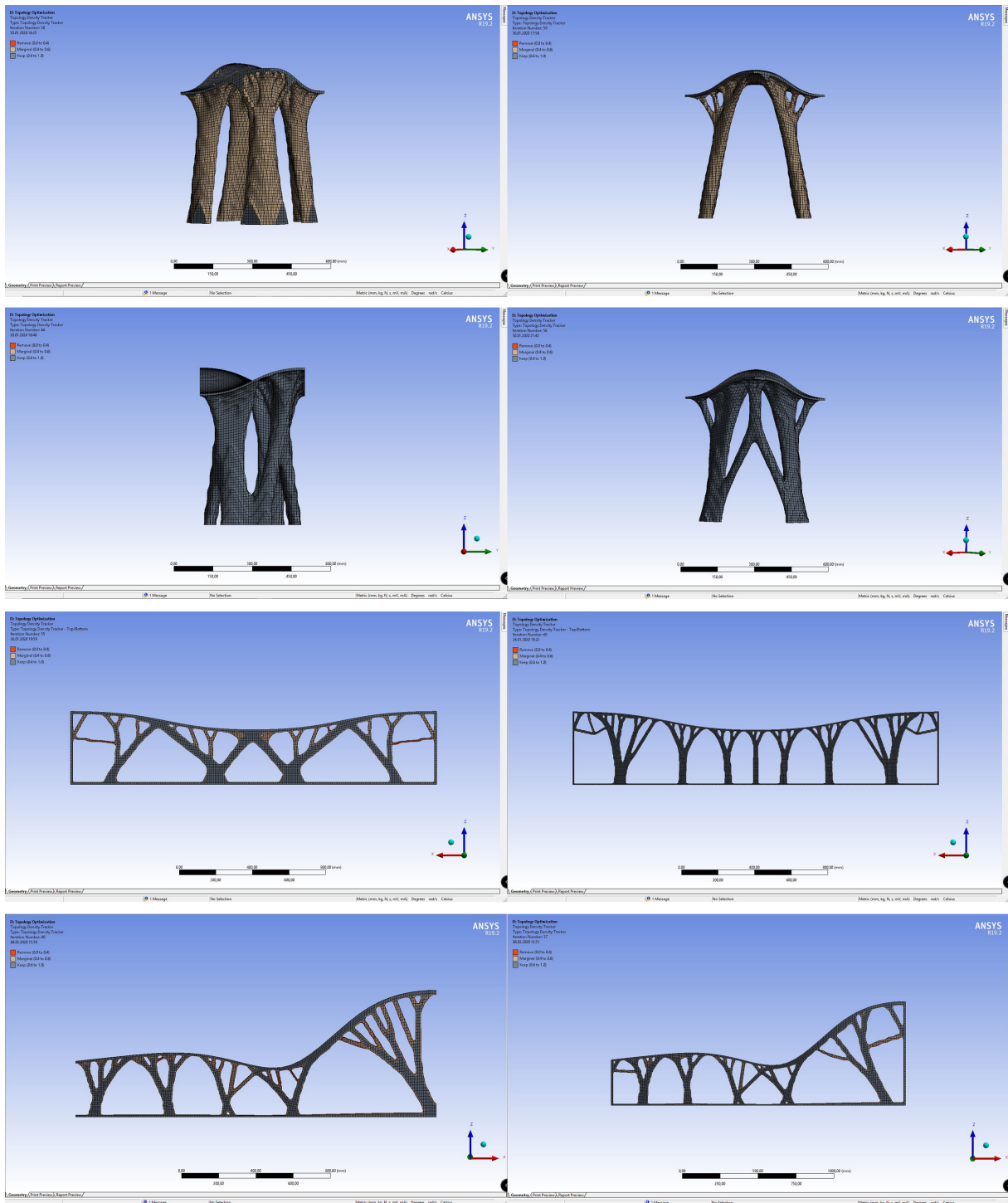
Laura Traldi, Could AI replace designers?, 18. 10. 2019, *DesignAtLarge*, <https://www.designatlarge.it/could-ai-replace-designers/?lang=en>, vyhledáno 20. 7. 2020.

Within, *Withinlab*, [http://www.withinlab.com/overview/new\\_index.php](http://www.withinlab.com/overview/new_index.php), vyhledáno 20. 7. 2020.

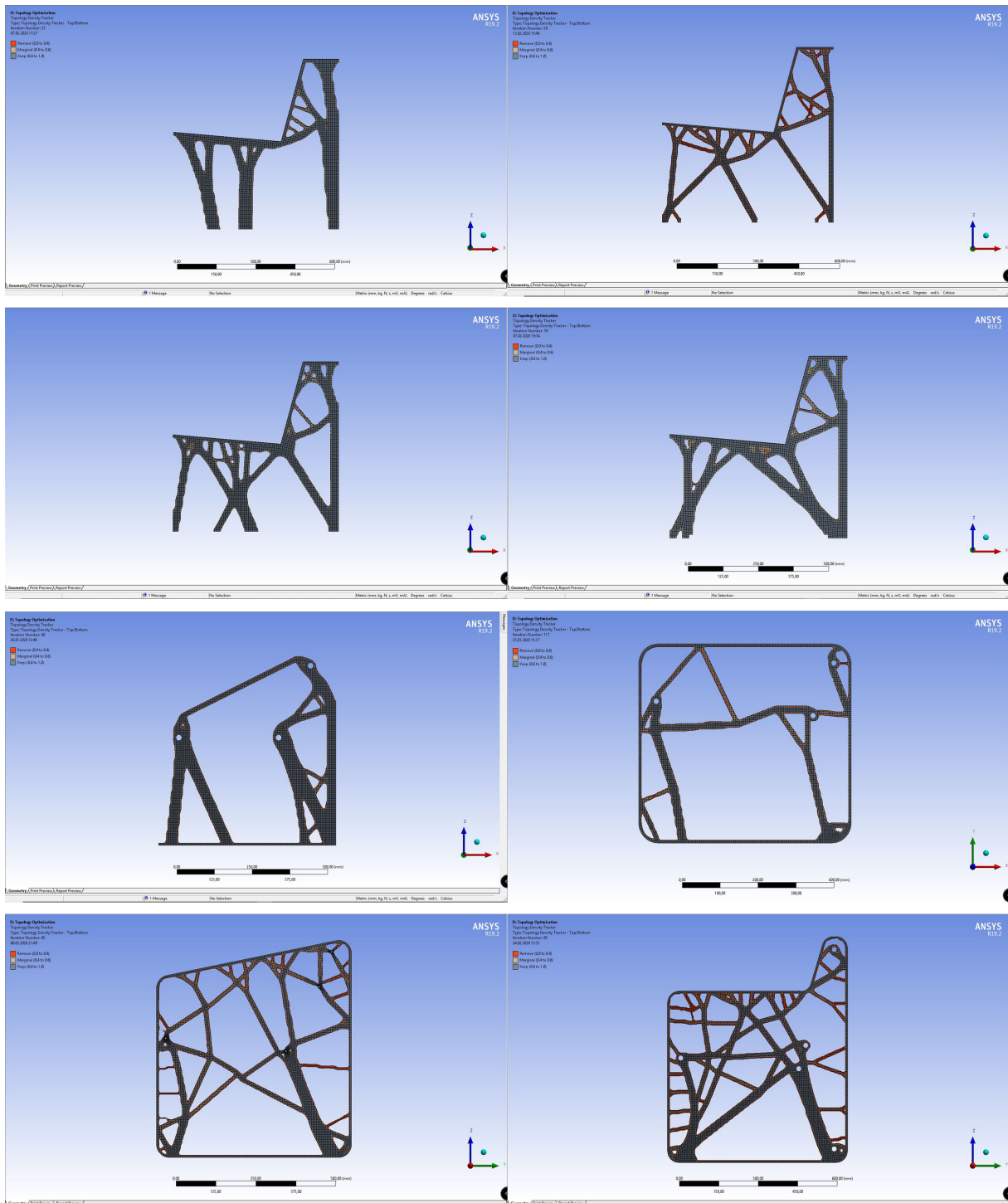
## OBRÁZKOVÁ ČÁST



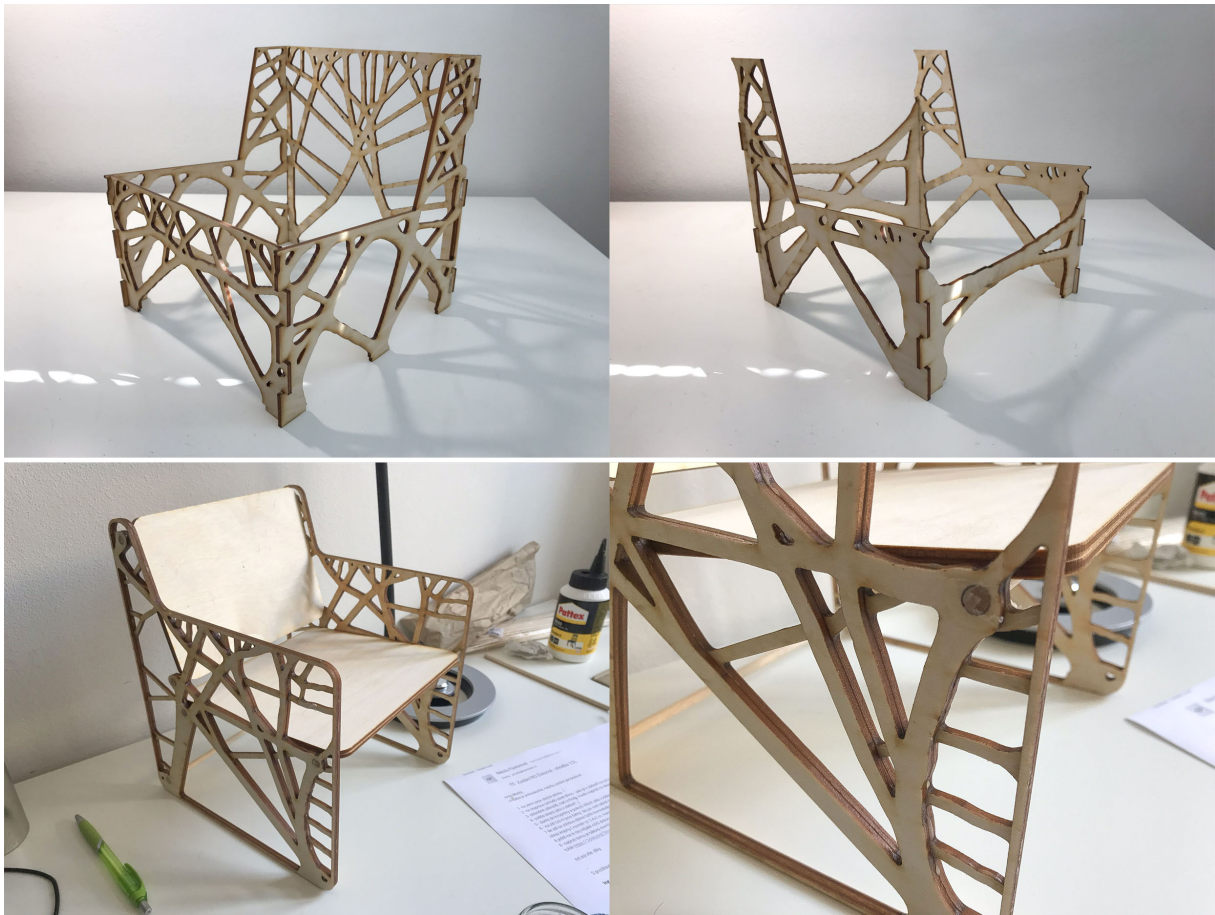
Obr. 1.: Zkušební modely



Obr. 2.: Postupný vývoj konceptu – optimalizování topologie v softwaru ANSYS Mechanical Enterprise



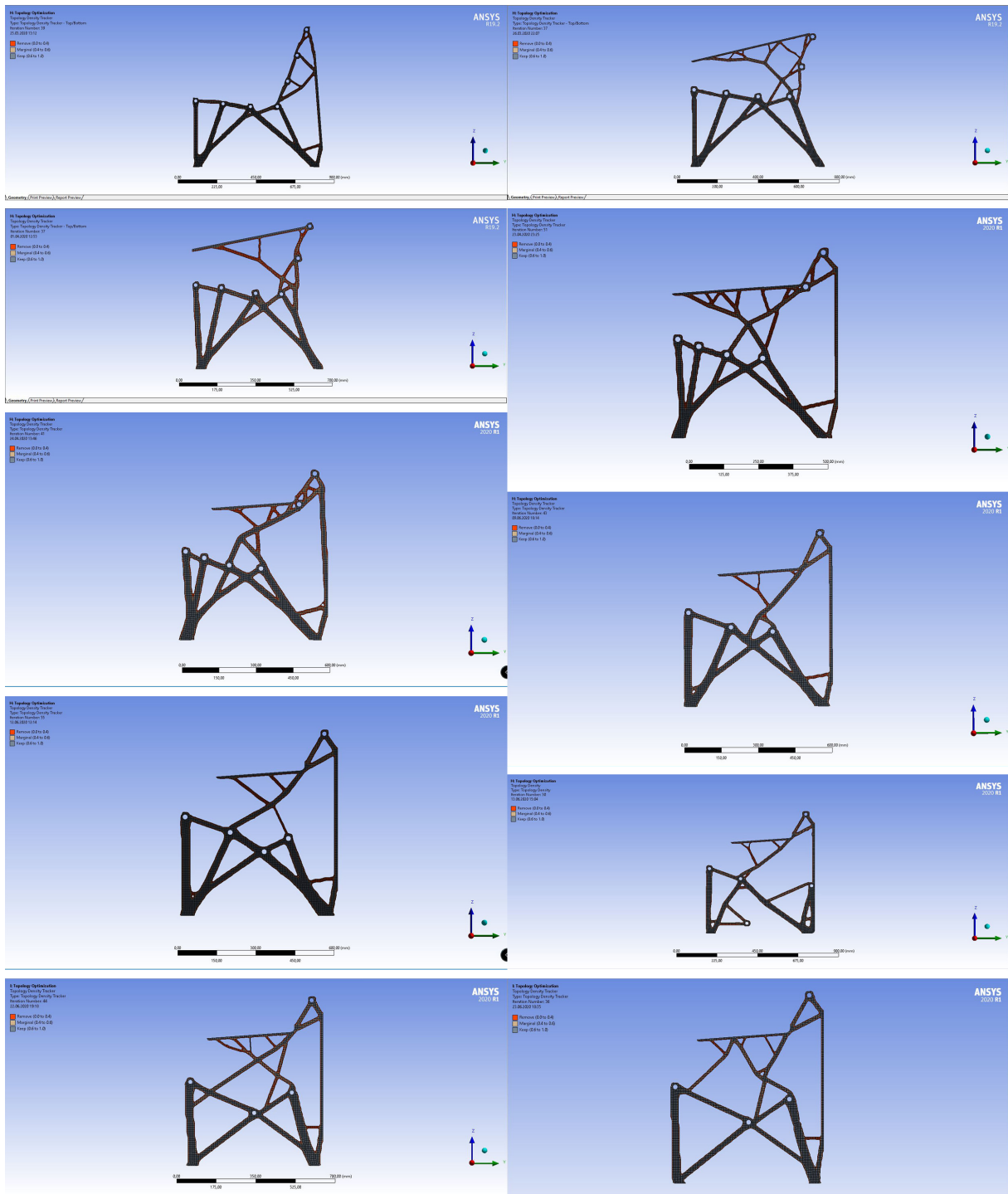
Obr. 3.: Postupný vývoj konceptu



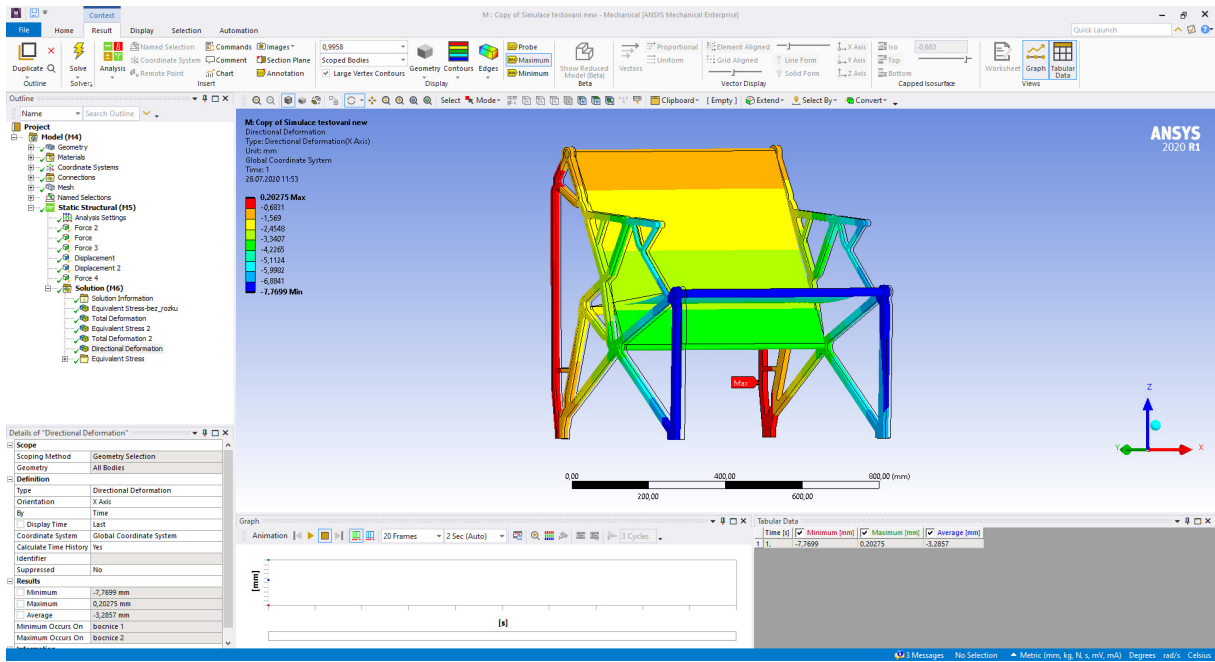
Obr. 4.: Zkušební modely v malém měřítku



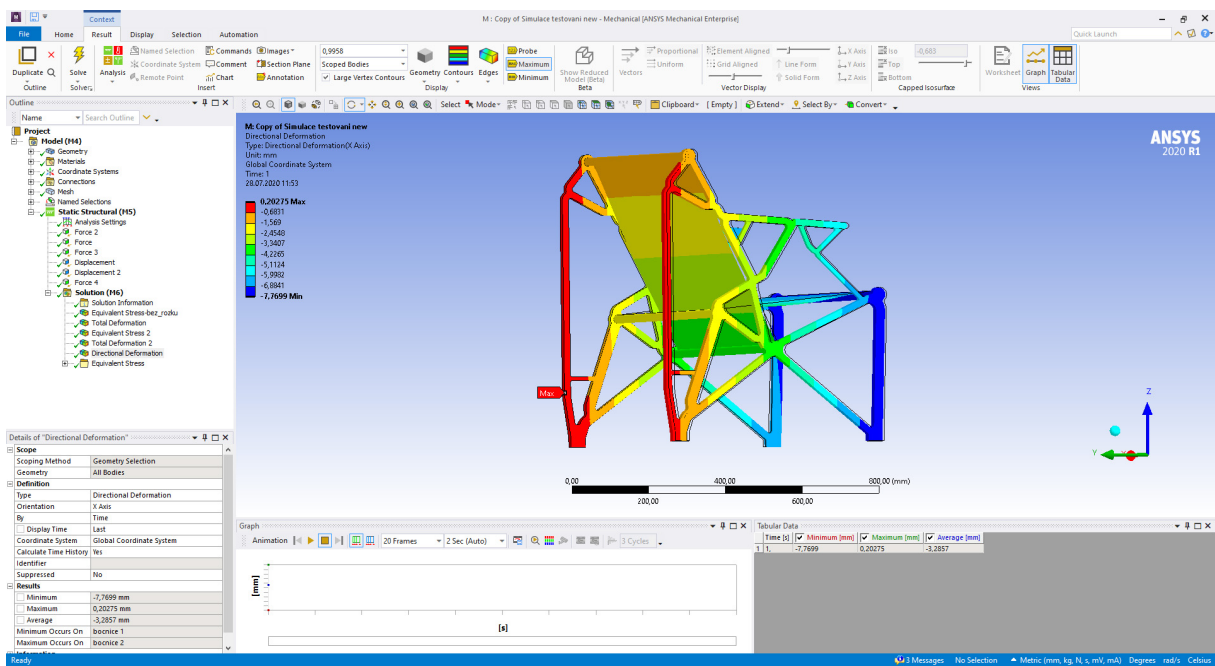
Obr. 5.: Zkušební modely



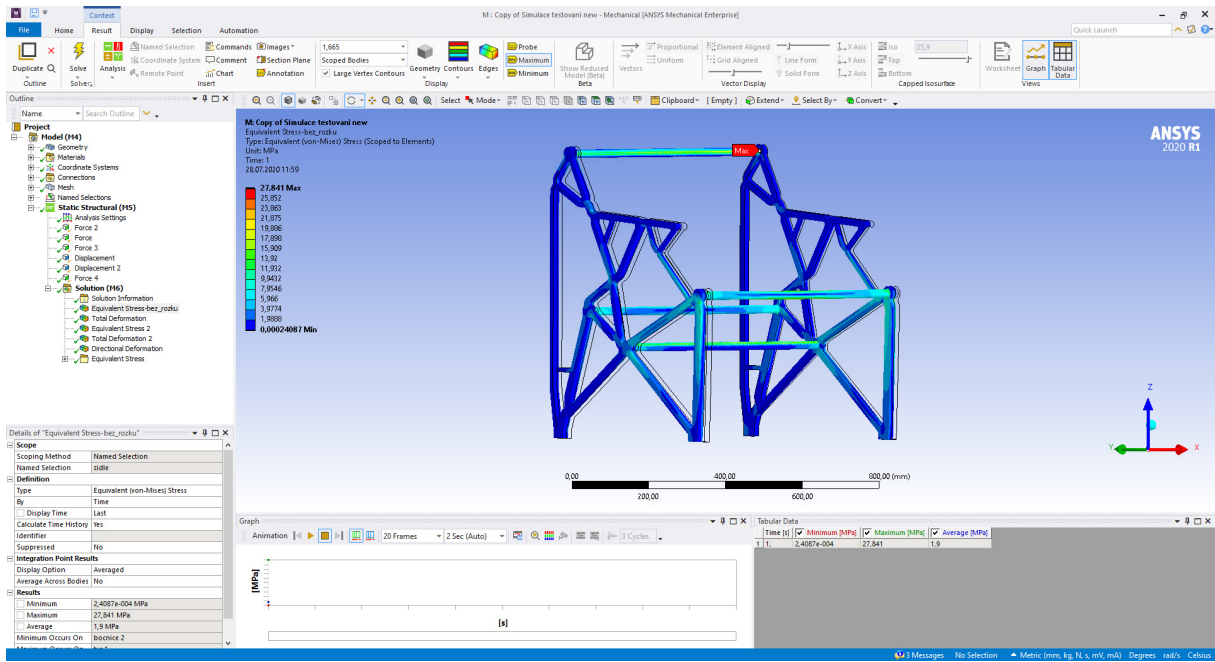
Obr. 6.: Postupný vývoj konceptu – nalezení optimální formy



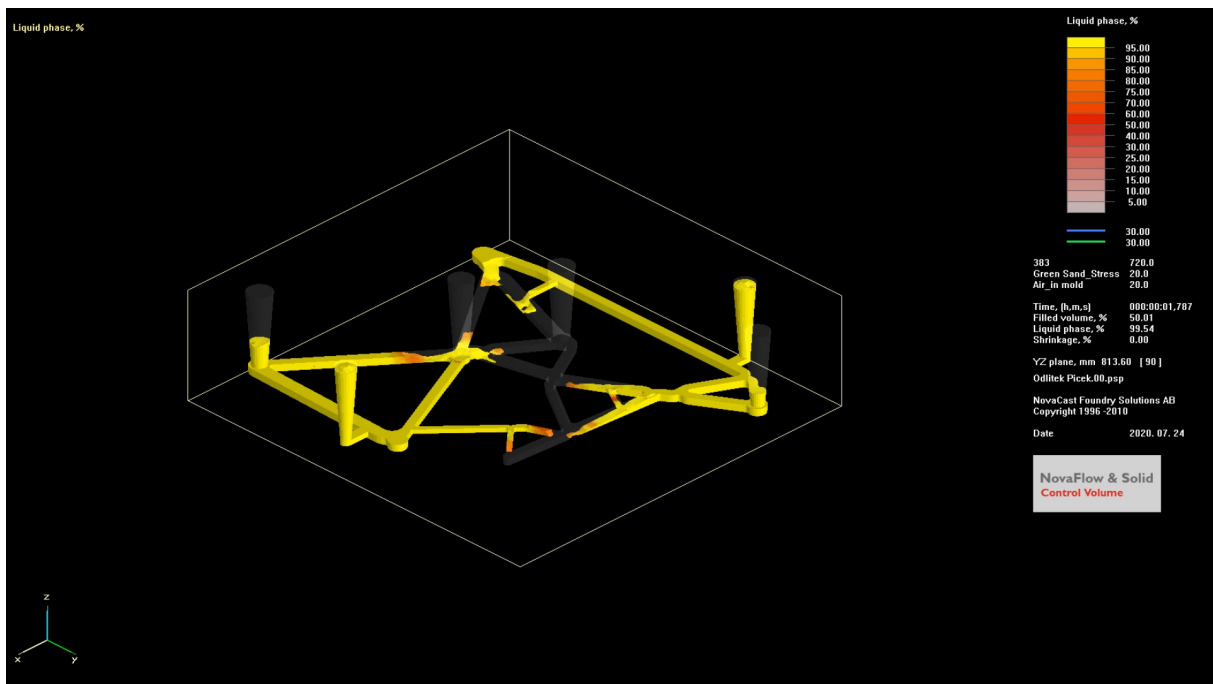
Obr. 7.: Simulace – výsledná deformace materiálu při modelovém zatížení – přední strana



Obr. 8.: Simulace – výsledná deformace materiálu při modelovém zatížení – zadní strana



Obr. 9.: Simulace – výsledné napětí materiálu při modelovém zatížení



Obr. 10.: Simulace – lití roztaveného materiálu do pískové formy



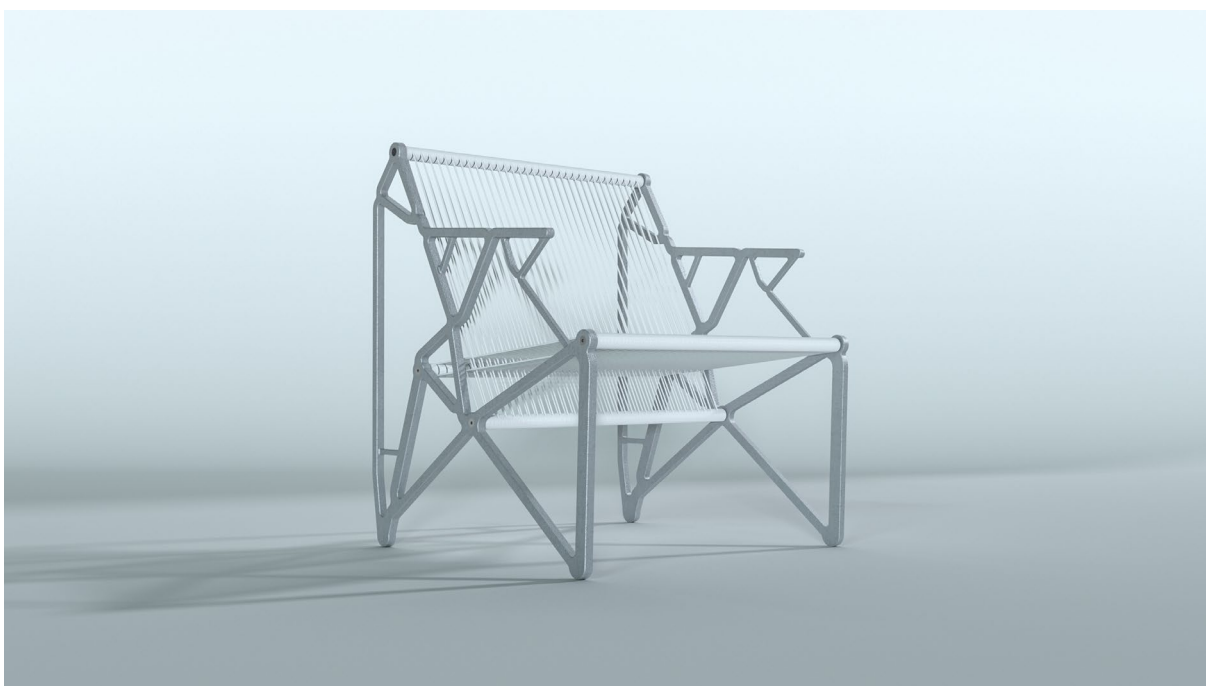
Obr. 11.: Dokumentace výrobního procesu – výroba pískové formy a odlévání



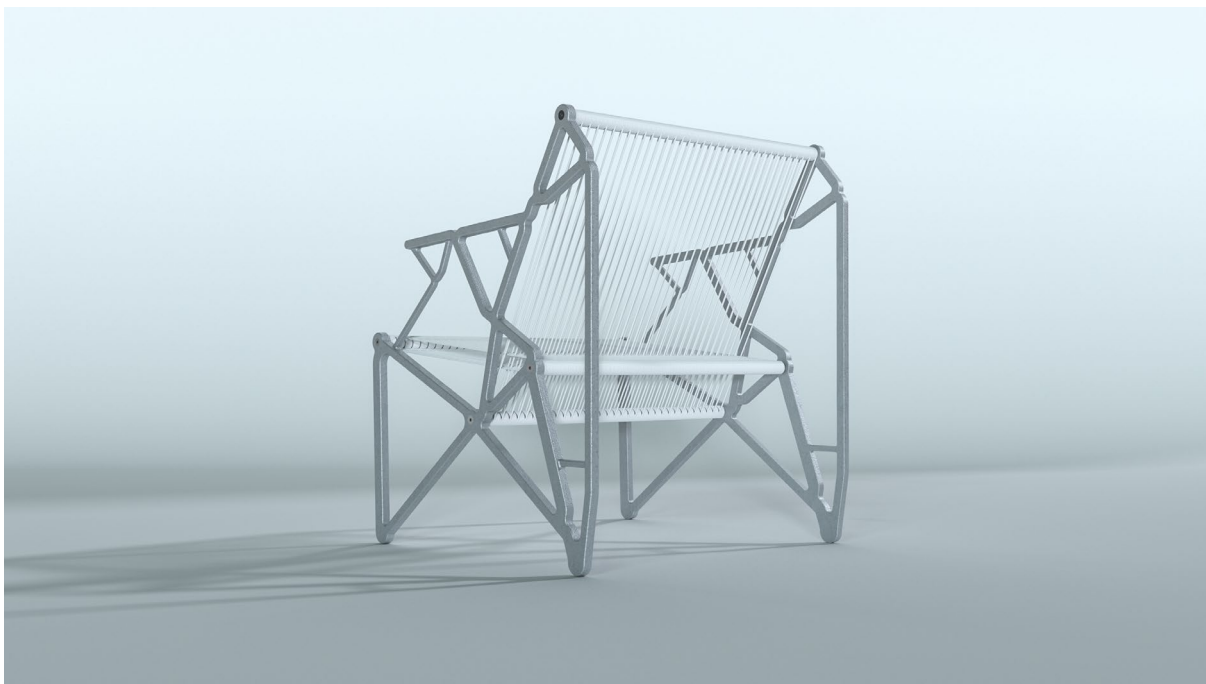
Obr. 12.: Dokumentace výrobního procesu – výroba pískové formy a odlévání



Obr. 13.: 3D vizualizace finální podoby křesla – přední strana



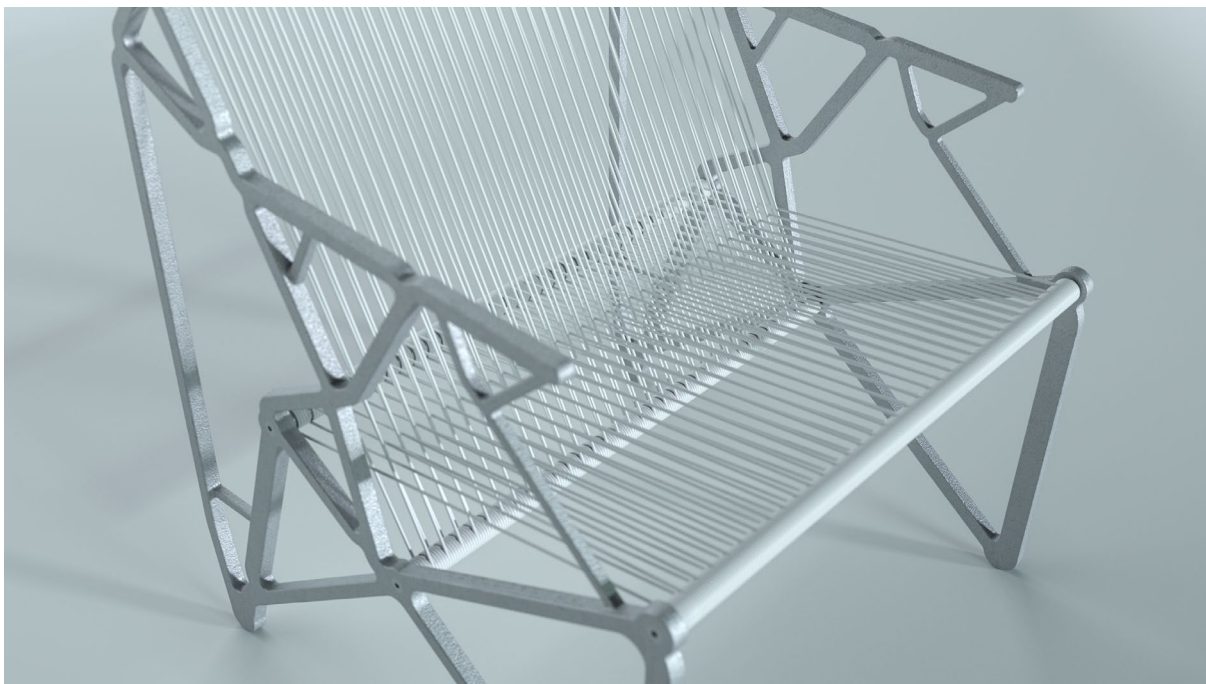
Obr. 14.: 3D vizualizace finální podoby křesla – přední perspektiva



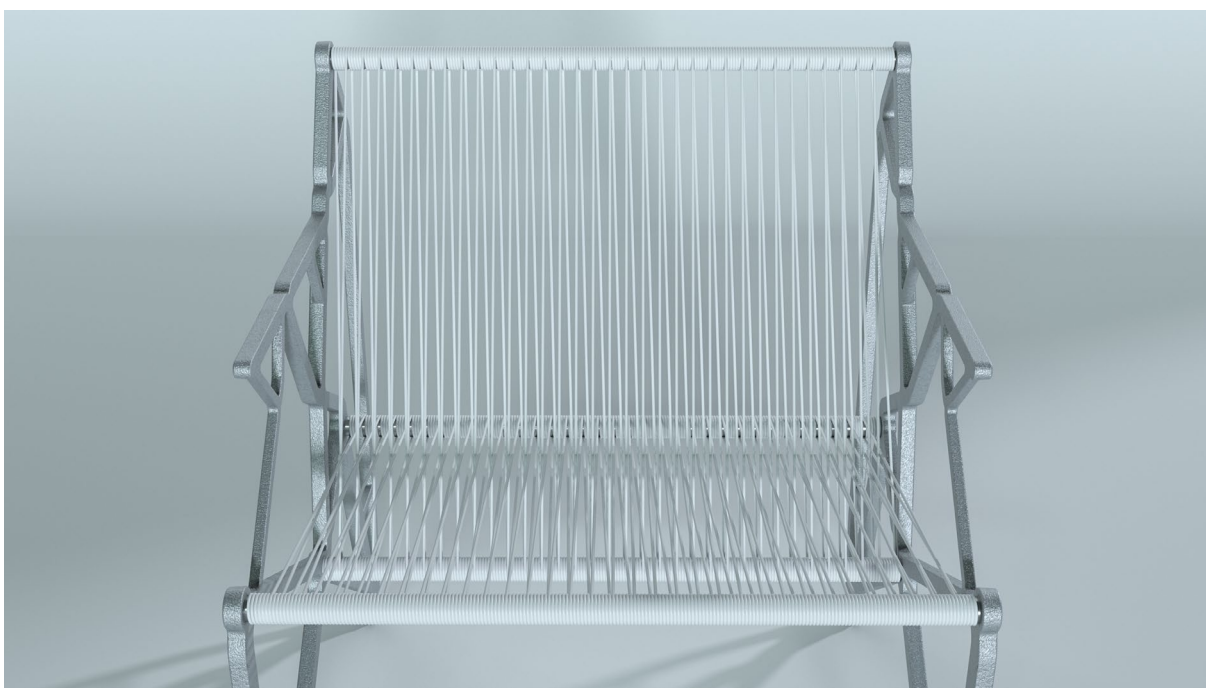
Obr. 15.: 3D vizualizace finální podoby křesla – zadní perspektiva



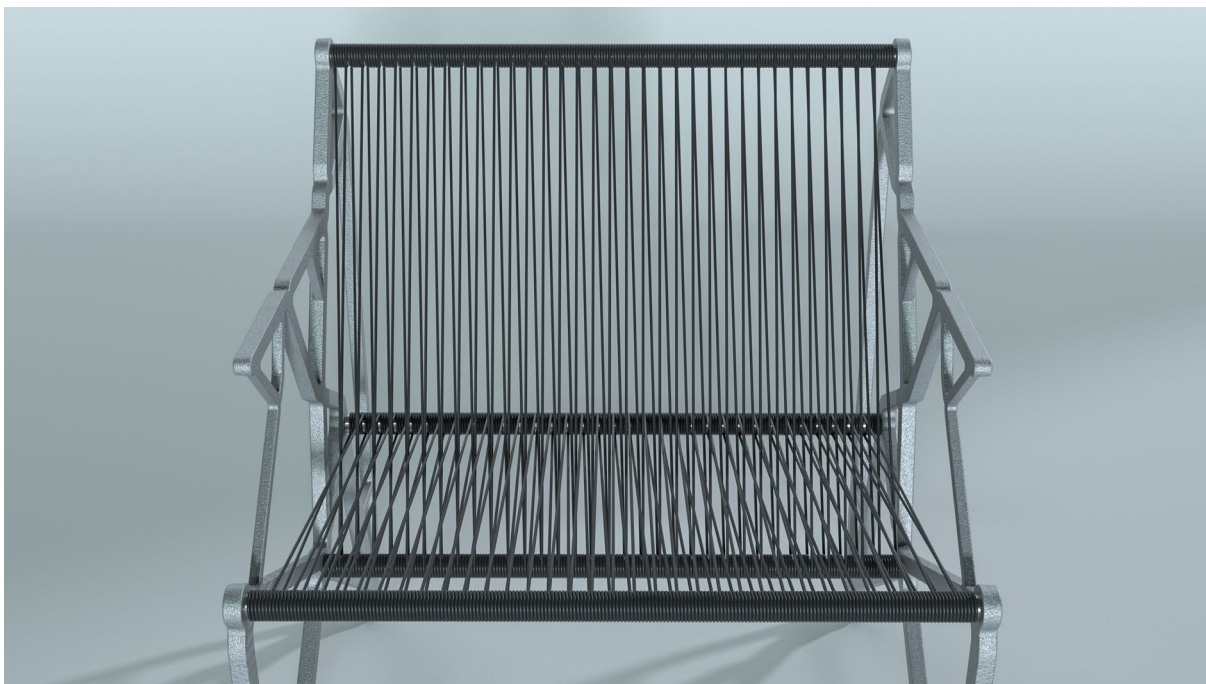
Obr. 16.: 3D vizualizace finální podoby křesla – boční strana



Obr. 17.: 3D vizualizace finální podoby křesla – detail



Obr. 18.: 3D vizualizace finální podoby křesla – bílá varianta výpletu



Obr. 19.: 3D vizualizace finální podoby křesla – černá varianta výpletu