

Úprava stl modelu pro 3D tisk s využitím plošného modelování v programu Fusion 360

Filip Kamák

Bakalářská práce
2022

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Filip Kamák
Osobní číslo: T19204
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Úprava stl modelu pro 3D tisk a využitím plošného modelování v programu Fusionu 360

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Vytvořte manuál na plošné modelování v autodesk Fusion 360.
3. Vytvořte manuál na úpravu stl modelu pro 3D tisk.
4. Vytvořte příklady modelových dílů.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor: adaptivní modelování v průmyslové praxi. Brno: Computer Press, 2004, vi, 283 s. Česká škola. ISBN 8025103897.

SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Základy konstruování. Vydání sedmé, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019, 243 s. ISBN 9788076230095.

Fusion 360 Help: Product Documentation [online]. Kalifornie, USA: Autodesk, 2021 [cit. 2021-6-18]. Dostupné z: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Janošík, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: **Filip Kamák**

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská je zaměřena na úpravu STL modelu pomocí plošného modelování v programu Fusion 360. Cílem této práce je seznámit čtenáře s programem, jeho uživatelským rozhraním a jednotlivými funkcemi, které lze využít při modelování pomocí ploch a úpravách STL sítě. Součástí praktické části jsou tři vzorové modely, na kterých jsou vysvětleny základní principy a funkce programu.

Klíčová slova: CAD, úprava STL modelu, modelování pomocí ploch, Fusion 360, 3D tisk

ABSTRACT

This bachelor is focused on the modification of the STL model using surface modeling in Fusion 360. The aim of this work is to acquaint the reader with the program, its user interface and individual functions that can be used in modeling using surfaces and modifications of the STL mesh. The practical part includes three model models, which explain the basic principles and functions of the program.

Keywords: CAD, STL model modification, surface modeling, Fusion 360, 3D print

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Václavu Janoščíkovi, Ph.D., za jeho pohotové reakce, rychlé jednání a čas, který mi během vypracování bakalářské práce věnoval. Také bych rád poděkoval své rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZÁKLADNÍ POJMY MODELOVACÍCH SYSTÉMŮ	12
1.1 CAD	12
1.2 CAM.....	12
1.3 CAE.....	13
2 CAD MODELOVACÍ SYSTÉMY.....	14
2.1 HISTORIE CAD SYSTÉMŮ	14
2.1.1 CAD systémy v 50. letech 20. století.....	15
2.1.2 CAD systémy v 60. letech 20. století.....	16
2.1.3 CAD systémy v 70. letech 20. století.....	17
2.1.4 CAD systémy v 80. letech 20. století.....	19
2.1.5 CAD systémy v 90. letech 20. století.....	21
2.1.6 CAD systémy 21. století	23
2.2 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ CAD SYSTÉMY SOUČASNOSTI	23
2.2.1 SolidWorks.....	24
2.2.2 Inventor	24
2.2.3 Revit	24
2.2.4 AutoCAD	25
2.2.5 Civil 3D.....	25
3 POČÍTAČOVÉ MODELOVÁNÍ	26
3.1 PARAMETRICKÉ MODELOVÁNÍ.....	26
3.2 PLOŠNÉ MODELOVÁNÍ	27
3.2.1 Plocha.....	27
3.2.2 Rovná plocha.....	27
3.2.3 Přímková přechodová plocha.....	28
3.2.4 Plocha hyperbolického paraboloidu.....	28
3.2.5 Coonsova bilineární plocha.....	28
3.2.6 Fergusonova plocha	28
3.2.7 Beziérova plocha	29
3.2.8 B-spline plocha.....	29
3.2.9 Uniformní ukotvená bikubická B-spline plocha	29
3.2.10 NURBS plocha.....	30
4 STL SOUBORY.....	31
4.1 PRINCIP PŘEVODU 3D MODELU DO STL SOUBORŮ	31
4.1.1 Teselace.....	31
4.2 ROZLIŠENÍ STL SOUBORŮ	32
4.2.1 Parametry rozlišení STL souborů.....	32
4.3 ZPŮSOB UKLÁDÁNÍ STL SOUBORŮ	33

4.3.1	ASCII kódování STL	33
4.3.2	Binární kódování STL	33
4.4	SPECIÁLNÍ PRAVIDLA PRO STL SOUBORY	34
4.4.1	Vrchol k vrcholu	34
4.4.2	Pravidlo orientace.....	34
4.4.3	Vše kladné pravidlo oktantu.....	35
4.4.4	Pravidlo pro třídění trojúhelníků.....	35
5	3D TISK.....	36
5.1	TECHNOLOGIE 3D TISKU	36
5.2	ROZDĚLENÍ TECHNOLOGIÍ 3D TISKU.....	36
5.2.1	Technologie FDM/FFF	37
5.2.2	Technologie SLA	38
5.2.3	Technologie SLS/DMLS.....	39
6	FUSION 360.....	40
6.1	O PROGRAMU FUSION 360.....	40
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	41
7	STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	42
8	PRÁCE V PROGRAMU FUSION 360	43
8.1	SPUŠTĚNÍ PROGRAMU FUSION 360	43
8.2	ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ PROGRAMU FUSION 360.....	44
8.3	ROZHŘANÍ PROGRAMU FUSION 360.....	45
8.3.1	Panel aplikace (1.).....	45
8.3.2	Profil, nápověda a nastavení programu (2.)	46
8.3.3	Nástroje (3.).....	46
8.3.4	Kostka s pohledy (4.)	47
8.3.5	Stromový prohlížeč (5.)	47
8.3.6	Historie modelování (6.)	48
8.3.7	Navigační nástroje a nastavení zobrazení (7.).....	48
8.3.8	Průzkumník souborů	49
8.4	FUNKCE PROGRAMU AUTODESK FUSION 360	50
8.4.1	Funkce pro plošné modelování	50
8.4.2	Funkce pro úpravu STL souborů.....	58
9	MODELOVÁNÍ VZOROVÉHO PŘÍKLADU POMOCÍ PLOCH.....	64
9.1	HLAVNÍ TVAR.....	64
9.2	OHNUTÍ – BOČNÍ POHLED	65
9.3	VYTVOŘENÍ POMOCNÝCH ROVIN – PRAVÁ STRANA	66
9.4	NAČRTNUTÍ TAŽENÉHO PROFILU – PRAVÁ STRANA.....	67
9.5	VYTVOŘENÍ POMOCNÝCH ROVIN – LEVÁ STRANA	69
9.6	NAČRTNUTÍ TAŽENÉHO PROFILU – LEVÁ STRANA.....	70

9.7	VYTAŽENÍ HRUBÉHO TVARU LŽÍCE.....	71
9.8	VYTVOŘENÍ PŘESNÉHO TVARU	72
9.9	PŘIDÁNÍ TLOUŠTKY	73
10	VZOROVÁ ÚPRAVA STL MODELU A NÁSLEDNÁ PŘÍPRAVA PRO 3D TISK.....	74
10.1	ÚPRAVA STL MODELU A NÁSLEDNÝ EXPORT DO STL.....	74
10.1.1	Vložení STL	75
10.1.2	Převod sítě na těleso.....	75
10.1.3	Provedení změny na držáku	78
10.1.4	Vytvoření jednoho objemového těla	79
10.1.5	Převod na STL soubor.....	79
10.2	ÚPRAVA SKENOVANÉHO POVRCHU.....	81
10.2.1	Vložení souboru STL a přetvoření sítě	82
10.2.2	Zvýraznění povrchu – Scale.....	83
10.2.3	Oříznutí povrchu pomocí rovin.....	85
10.2.4	Oříznutí první části.....	86
10.2.5	Oříznutí druhé části	87
10.2.6	Oříznutí třetí části.....	88
10.2.7	Oříznutí čtvrté části	88
10.2.8	Face groups	89
10.2.9	Převod na plochu.....	90
10.2.10	Vytvoření objemu.....	91
10.2.11	Odebrání pro připojení další části	93
10.2.12	Připojovací část	94
10.2.13	Převod do STL souboru	95
10.2.14	Výsledný povrch	96
10.2.15	3D tisk povrchu	96
	ZÁVĚR	98
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	99
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	102
	SEZNAM OBRÁZKŮ	104

ÚVOD

S rostoucími nároky na stále složitější a konstrukčně náročnější součásti bylo zapotřebí přijít s nástroji, které konstruktérskou práci dokážou zjednodušit. Rýsování na rýsovacích prknech se začalo stávat nedostatečným. S postupným rozvojem počítačů docházelo k rozvoji prvních CAD softwarů, kterými se postupem času zcela nahradilo rýsování na rýsovacích prknech. První CAD programy pracovaly ve dvou rozměrném prostoru – 2D. Práce v nich vyžadovala značné úsilí a mnohdy byla o něco zdlouhavější než samotné rýsování. Díky dalšímu rozvoji však vznikaly mnohem sofistikovanější systémy, které začaly pracovat se třetím rozměrem – 3D. V dnešní době existuje celá řada modelovacích systémů. Volba vhodného systému se dá uskutečnit v závislosti na průmyslovém odvětví. Tyto programy pracují převážně se 3D modely, které mohou vznikat parametricky – zadáním parametrů (základních rozměrů) a následným vytažením o určitou výšku. Nebo plošně, kdy jsou programem tvořeny pouze plochy – plášť.

Teoretická část bakalářské práce v úvodu představuje seznámení se základními pojmy, které se v celé práci vyskytují. Navazující kapitola je věnována postupnému vývoji modelovacích systémů a nejpoužívanějším modelovacím programům současnosti. Dále se práce zabývá samotnými způsoby, jakými může 3D model vznikat a jeho následnými úpravami, pro převod do souboru STL.

Praktická část bakalářské práce se zaměřuje na práci v programu Fusion 360. Čtenář se seznámí s prostředím programu a jednotlivými funkcemi. Praktická část obsahuje tři příklady, na kterých jsou jednotlivé funkce znázorněny. První příklad se zaměřuje čistě na modelování pomocí ploch. Druhý a třetí příklad popisuje práci se sítí, úpravou sítě a následným převodem pro 3D tisk.

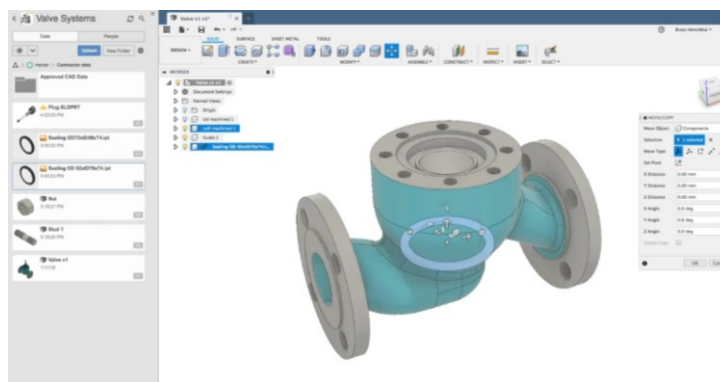
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ POJMY MODELOVACÍCH SYSTÉMŮ

Pro snadnější porozumění obsahu bakalářské práce, jsou zde vysvětleny základní pojmy modelovacích systému, které se v následující kapitole nejčastěji vyskytují.

1.1 CAD

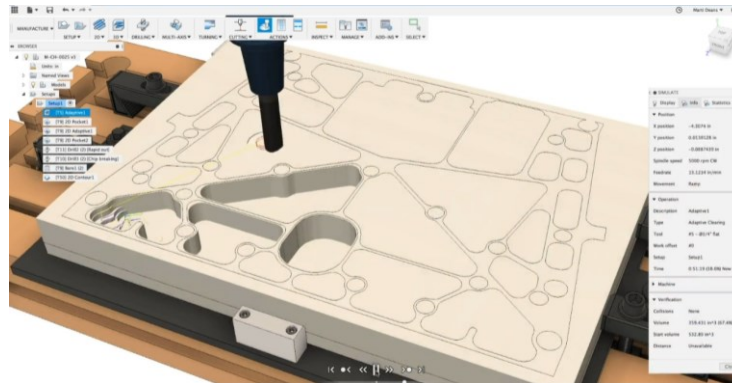
Zkratka CAD – Computer Aided Design je překládaná jako počítačem podporované projektování. Tuto zkratku lze přeložit i jako Computer Aided Drafting – počítačem podporované kreslení. Jedná se o využití grafických programů za účelem vytváření jednoduchých i složitých projektů bez nutnosti použití rýsovacího prkna. Mezi CAD software mohou být zařazeny tyto programy: CATIA, AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360, Inventor, SolidEdge.



Obrázek 1 Prostředí CAD softwaru [23]

1.2 CAM

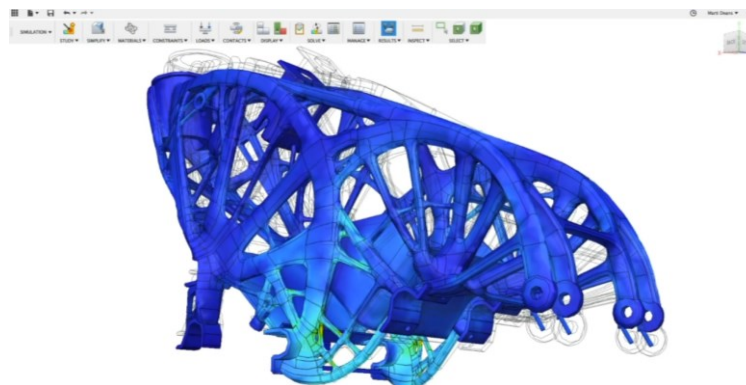
Zkratka CAM – Computer Aided Manufacturing překládaná jako počítačová podpora obrábění nebo počítačová podpora výroby. Jedná se o počítačové systémy, sloužící pro vytvoření jednotlivých technologických operací a následnou realizaci těchto operací na tvářecích nebo obráběcích zařízeních. Hotové modely, jak by měl daný výrobek vypadat, mohou být importovány (převzaty) z CAD systému nebo vytvořeny přímo v integrovaném modeláři. Mezi CAM software lze zařadit tyto programy: EdgeCAM, SolidWorks, Fusion 360, Solid CAM, SurfCAM, NX CAM aj.



Obrázek 2. Prostředí CAM softwaru [23]

1.3 CAE

Zkratka CAE – Computer Aided Engineering je překládána jako metoda využití počítačového softwaru k usnadnění inženýrských činností. Usnadnění poskytují nástroje pomoci při návrhu designů nebo nástroje související s výpočty a vykreslováním analýz. CAE systémy dokážou optimalizovat geometrii výrobku. Takový výrobek pak dokáže snést stejné namáhání jako předchozí návrh, ovšem je značný úbytek hmotnosti. Mezi CAE software mohou být zařazeny tyto programy: CosmosMotion, MITCalc. Ve většině případů jsou již integrované přímo v CAD systémech. [1]



Obrázek 3. Ověření návrhu s pomocí CAE softwaru [23]

2 CAD MODELOVACÍ SYSTÉMY

2.1 Historie CAD systémů

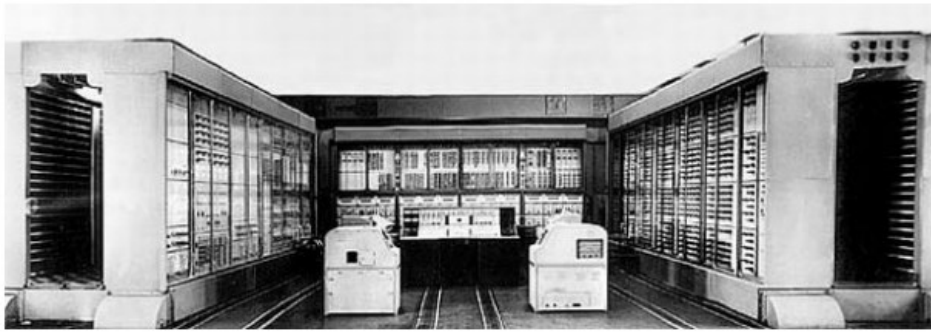
Již první konstruktéři se snažili při realizaci nápadů nebo architektských děl podělit o svých představách s ostatními. Ovšem představy rozdílných lidí se navzájem liší a tak bylo potřeba zavést způsob, jak konzultovat myšlenky společně s ostatními. První konstrukční návrhy se rodily na papírech u rýsovacích prken. Z pohledu jednoduchosti se jednalo velmi složitý a časově náročný proces. Zvláště ve 20. století, kdy byli konstruktéři kvůli dobovému pokroku a požadavkům kladeným na přesnost a výrobu stavění do nelehké situace. Dosavadní prostředky pro tvorbu konstrukčních návrhů jako rýsovací prkna a logaritmická pravítka se jevily jako nedostatečné a časově velmi náročné. [2]



Obrázek 4. Pracoviště s rýsovacími prkny [1]

S postupem času si velké a významné společnosti jako General Motors, Ford nebo Boeing, začaly uvědomovat, že k upevnění pozic na trhu bude potřeba nalézt nové cesty pro konstrukci a výrobu. Začaly tedy investovat velké finanční prostředky do vývoje počítačů. První počítače oproti dnešním potřebovaly dostatek prostoru, proto se jim také říkalo sálové počítače. Navíc byly tyto počítače velmi nákladné, díky čemuž si je mohly dovolit pouze velké společnosti. S příchodem počítačů do těchto společností se začaly vyvíjet také první CAD programy.

V návaznosti na tyto události začaly vznikat firmy zabývající se pouze vývojem CAD programů. Vyvinuté programy spadaly pouze do určitého průmyslového odvětví. Takový program poté vývojáři nabídli buď ve formě licence nebo ho prodali dalším firmám, které o takový program měly zájem. [1], [2]



Obrázek 5. Sálový počítač Strela [1]

2.1.1 CAD systémy v 50. letech 20. století

S končící druhou světovou válkou se začaly zvyšovat požadavky na výrobu a přesnost. Kvůli těmto požadavkům bylo nezbytné najít nové efektivnější cesty, díky kterým by se práce konstruktérů usnadnila. Rýsování na rýsovacích prknech a technické výpočty prováděné ručně na papír zabíraly příliš mnoho času. Následná kontrola správnosti byla také poněkud složitá. Z těchto hledisek nebyl postup a využití času příliš efektivní. Bylo potřeba nalézt jiné cesty.

Vynález světelného pera bývá spojován s prvopočátkem CAD kreslení na počítačích. Obraz zachycující trajektorii pera zůstával díky elektrostatickému výboji zachycený na stínítku obrazovky, která zároveň sloužila jako paměť. Nápadu světelného pera se ujala armáda, která pro tento vynález našla praktické uplatnění v oblasti protivzdušné obrany. Konkrétně se jednalo o radarový systém SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) vyvinutý v MIT Lincoln labs. Do tohoto stroje vybaveného počítačem TX-2 (na tehdejší dobu nejsilnější počítač světa) se za pomoci světelného pera vkládala data. Stroj následně dokázal pomocí výpočtu odhadnout budoucí trasu letounu. [1], [2]



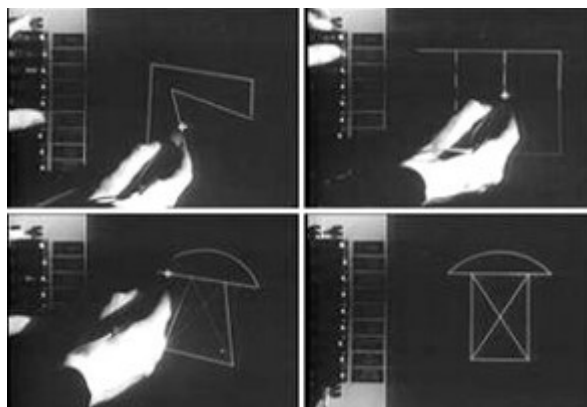
Obrázek 6. Použití světelného pera armádou [2]

2.1.2 CAD systémy v 60. letech 20. století

V 60. letech 20. století se podařilo učinit mnoho významných objevů v oblasti CAD systémů, softwaru počítačů i hardwarů. Do poloviny 60. let se používalo světelné pero, kterým se na obrazovku kreslilo jako na digitální papír. Toto pero bylo nahrazeno myší a později světelné pero nahradil grafický tablet. [1], [2]

V roce 1960 John McCarthy vymyslel LISP. Zkratka LISP znamená zpracování seznamů. Tento jazyk se používá i dnes v programu AutoCAD. [3]

Ve stejném roce se Ivan Sutherland jako mladý student rozhodl ve své disertační práci zaměřit na aplikaci počítačů v počítačové grafice a návrhu. Jeho snažení úspěšně vyústilo roku 1962 do vytvoření kreslicího programu Sketchpad, který je mnohými považován za počátek CAD softwarů. [2], [3]



Obrázek 7. Prostředí programu Sketchpad [3]

Dalším významným rokem byl rok 1964, během kterého vyvinula společnost ITEK nový systém pod názvem The Electronic Drafting Machine. Tento systém fungoval na počítači PDP-1, který disponoval velkou diskovou kapacitou využívanou převážně pro obnovování obrazovky. Veškerá data se do systému zadávala pomocí světelného pera.

Tohoto roku se na trhu objevil i první komerčně dostupný CAD systém vyvinutý společností Digigraphics division of Control Data Corporation. Tento systém byl založený na podobných principech jako CAD software od ITEKu. Stál okolo 500. 000,- USD a bylo prodáno pouze pár kusů.

V roce 1965 byl představen společností Lockheed CAD/CAM systém a FEM systém zvaný CADAM – Computer Augmented Drafting and Manufacturing.

První CAD program CADD, který dokázal řešit různé geometrické problémy byl uveden na trh společností McDonnell Douglas Automation Company (McAuto) roku 1966. [3]



Obrázek 8. Kreslení v programu CADD [3]

V dalších letech vznikalo více a více společností, které se zaměřovaly na vývoj softwarů a hardwarů. Do konce 60. let 20. století se používaly pouze velké počítače, které byly velmi nákladné a mohly si je dovolit pouze velké společnosti. Koncem 60. let vývoj v oblasti hardwarů pokročil a počítače se začal čím dál více rozšiřovat. Rozšiřovaly se také společnosti zabývající se CAD systémy. Mezi nově vzniklé společnosti patřily Applicon, Auto-trol, Computervision, Evans & Sutherland, MAGI, McAuto, SDRC a další. [2], [3]

2.1.3 CAD systémy v 70. letech 20. století

V 70. letech 20. století pokračoval vývoj počítačů stále dopředu, na trh přicházely novější a modernější počítače. Z tohoto důvodu se postupně snižovala pořizovací cena. Vývoji přispěla firma Tektronix zlepšením dosavadních zobrazovačů.

Typický systém řady PDP-11 vypadal v roce 1970 následovně. 16bitový počítač obsahoval hlavní paměti o velikosti 8-16 kB, disk s úložným datovým prostorem 2,5-10 MB a 11“ obrazovkou. Zobrazování kreslicích softwarů bylo velmi omezené. Umožňovalo jednoduché 2D kreslení pomocí vektorové grafiky. O takovýto systém se dělili až čtyři uživatelé. Tyto systémy nebyly příliš výhodné z pohledu rychlosti práce oproti klasickému rýsování. I když se jednalo o velmi moderní počítače, tak byly stále pomalé. Pokud se konstruktér rozhodl pozměnit čáru, musel smazat celou obrazovku. Následovalo dlouhé čekání, než se zbylé čáry vykreslí zpátky a konstrukce bude pokračovat. [2]

Roku 1972 byl společností SynthaVision z MAGI – Mathematics Application Group, Inc. vydán první objemový 3D modelovací program. Nejednalo se však o CAD software.

Program byl určený k analýzám nukleárního záření. Tento program by se dal považovat za předchůdce budoucích 3D CAD systémů.

Ve stejném roce uvedla společnost MCS první CAD pod jménem ADAM, který disponoval rozhraním řízeným prostřednictvím menu.

V roce 1975 koupila francouzská letecká společnost Avions Marcel Dassault – AMD zdrojový kód systému CADAM. Tato společnost začala roku 1978 vyvíjet systém CATIA, který je dodnes velmi oblíbený.

Roku 1976 vyvinula společnost MCS systém AD-2000. Jednalo se o CAD/CAM systém pro nové 32bitové počítače.

V roce 1977 začal společností Avions Marcel Dassault vývoj systému CATI, předchůdce dnešního systému CATIA. Systém CATI byl oproti systému CADAM výhodnější v tom, že přinášel skutečný vstup do 3D modelování. [3]

S rokem 1978 přichází změna v dosavadním typu grafiky. Aktuální vektorová grafika je



Obrázek 9. První náhled na systém CATIA [3]

nahrazována novou rastrovou grafikou. Této změně přispěly nové druhy počítačů (pracovních stanic). Stroj IMB 6090 používal obrazovku s 24bitovou hloubkou barev o rozlišení 1024x1280 px. [2]

Koncem 70. let 20. století a nástupem 80. let 20. století dochází k masivní modernizaci počítačů. Snižuje se jejich cena. Se snižující se cenou se počítače stávají stále dostupnější pro více firem. Tím dochází ke stále většímu pokroku v CAD programech. Tyto CAD programy fungují na speciálních 16bitových počítačích, které disponují disky o velikosti 20 až 300 MB a paměti 512kB. Cena takových počítačů se pohybovala okolo 125 000.- USD. Softwary začínají postupně pracovat s třetím prostorem těles tzv. 3D. Do té doby bylo možné

fungovat pouze s drátovými modely, kdy síť čar tvořila iluzi plochy modelu. Trojrozměrná grafika ploch a renderování se objevuje v programu ARCH MODEL. [1], [2], [3]



Obrázek 10. Pracovní počítač IBM 6090 [2]

2.1.4 CAD systémy v 80. letech 20. století

Začátkem 80. let 20. století přichází Intel s novou generací procesorů x86. Hojně se také začíná využívat HW grafických karet k náročným opakujícím se výpočtům a transformacím grafických souřadnic, aby počítače ušetřily výpočetní čas procesoru. Začínají se objevovat grafické editory typu VersaCAD, AutoCAD, CADkey, MicroCADAM. [2]

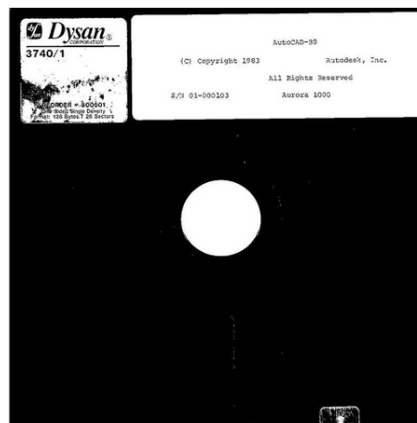
Začíná se také rozvíjet 3D modelování, které konstruktér využíval pouze jako ověření myšlenky návrhu. Nedalo se ještě hovořit o 3D modelování, jak jej známe dnes. Toto modelování neslo řadu nevýhod a konstruktéra spíše zdržovalo. Pokud chtěl konstruktér provést dodatečnou změnu rozměrů na 3D modelu, musel často celý návrh smazat a začít znovu, jelikož by samotná oprava modelu zabrala více času než celý model vytvořit znovu. Právě tyto komplikace zapříčinily zrození první myšlenky o parametrickém modelování. [2]



Obrázek 11. Ověření myšlenky návrhu konstruktéra [3]

V roce 1981 dochází k představení objemového modelovacího systému UniSolid společností Unigraphics, založeném na jádře PADL-2. V tomto roce vznikla sesterská společnost společnosti Avions Marcel Dassault (AMD) Dassault Systemes, která představila první verzi systému CATIA, zaměřenou na 3D navrhování, plošné modelování a NC programování. [3]

Roku 1982 založil John Walker společně s dalšími patnácti spolupracovníky dnešní Autodesk. Dříve známý jako Marin Software Partners. Jejich hlavní myšlenkou bylo vytvořit CAD program s cenou pohybující se okolo 1000 USD. K vytvoření první verze AutoCADu napomohl CAD program z roku 1981 MicroCAD. V listopadu téhož roku byl na výstavě COMDEX, která se konala v Las Vegas v americkém státě Nevada, odhalen program AutoCAD-80 určený pro PC. S tímto programem přichází nové formáty souborů DWG a DXF. [3], [4]



Obrázek 12. Disketa s programem AutoCAD-80 [3]

V roce 1983 došlo k vylepšení softwaru Unigraphics. Původně se jednalo o software MCS ADAM pozmeněný softwarem od United Computing a McAuto. Nový vylepšený produkt nesl název Unigraphics II a původní software byl přejmenován jako Unigraphics I. Stejněho roku představuje nová společnost Adra Systems svůj software CADRA 2D CAD. Taktéž na trh přichází konkurenční software AutoCADu VersaCAD. Začínají práce na nových formátech souborů – STEP.

Roku 1984 se nová verze CATIE stává hlavním lídrem v designování a návrhy pro letecký průmysl.

V roce 1985 byl vydán software MiniCAD společností Diehl Graphsoft. Jednalo se o nejprodávanější CAD software pro MAC.

V dalším roce došlo k přejmenování T&W Systems na Versacad Corporation. Téhož roku společnost představila společnost MCS svůj systém ANVIL-5000. Jednalo se o nejvýkonnější CADD/CAM/CAE systém této dekády. Systém ANVIL-5000 byl použitelný pro všechny druhy počítačů. Nově také na trh přichází software pro Apple, ArchiCAD 2.0 a nová verze 2.5 AutoCADU společnosti Autodesk.

Koncem 80. let 20. století dochází k rozvoji CAD systémů pro odlišné operační systémy. Příkladem takového CAD systému může být CADVANCE koupený společností ISICAD. Jednalo se o první CAD systém pro Windows. Taktéž vycházejí nové verze již stávajících programů. Nová verze softwaru CATIA se stala lídrem v navrhování pro automobilový průmysl. Na trh přicházejí nové systémy založené na parametrickém modelování. Mezi prvními byl software společnosti PTC – Pro/ENGINEER. Tento koncept však přebírají i další společnosti a jejich produkty. Jedná se o společnosti SolidEdge, SolidWorks, Unigraphics.. Mezi některými společnostmi se také začíná objevovat poměrně velká rivalita, která pokračovala celé 90. léta 20. století. [2], [3]



Obrázek 13. AutoCAD R10 disponující plnými 3D možnostmi [3]

2.1.5 CAD systémy v 90. letech 20. století

Koncem 80. let 20. století a začátkem 90. let 20. století rozvoj CAD systému i v Československu. Prvním takovým projektem byl projekt AIP 2000, kdy se jednalo o 2000 CAD pracovišť nacházejících se právě v českých a slovenských podnicích. Tento projekt zajistil nastartování práce s CAD systémy v Československu. Bohužel díky tomuto projektu vznikl velký nepoměr ostatních softwarů nad AutoCadem. V tomto období ve světě patří mezi hlavní CAD systémy CATIA společnosti Dassault Systemes, Pro/Engineer společnosti Parametric Technology, I-DEAS a MDC. [3]

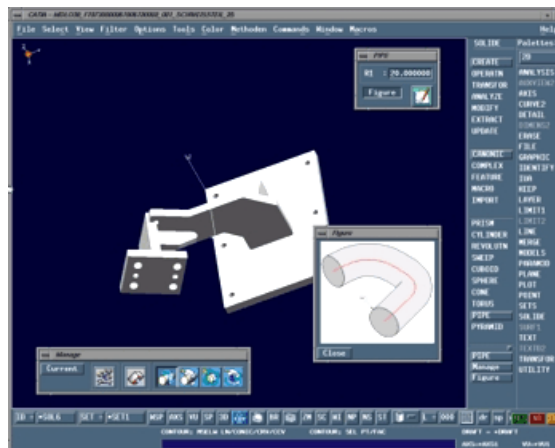
Roku 1990 na trh přichází 3D Studio v podobě první verze a AutoCAD R11 společnosti Autodesk s novým výkresovým prostorem a 3D modulem AME.

Následujícího roku získává společnost Dassault software CADAM od IBM a EDS získává UGS od McDonnell Douglas. Společností Computervision byla odkoupena společnost Premise, jejíž produkt DesignView sloužil jako základ pro vycházející systém CADD5, který na trh přichází stejného roku. [3]

V roce 1992 přichází Autodesk s novější verzí AutoCAD R12 pro DOS a MAC. Jedná se o verzi s 3D modulem AME a AVE, která se stala velmi populární. Zároveň s novou verzí AutoCADU vychází druhá verze programu 3D Studio.

Od roku 1993 začínají změny v používaných platformách. Do teď dominantní operační systém UNIX začíná ustupovat a stále více CAD systémů začíná přecházet na nový operační systém Windows NT, který dokázal zajistit větší stabilitu. Pro Windows vychází nový Pro/ENGINEER a ArchiCAD 4.16, který do této doby fungoval pouze pro Apple.

Společnost Autodesk vydává novou verzi AutoCAD R13 jak pro DOS, tak i pro Windows. Tato verze už disponovala ACIS 3D modelářem a patří k první verzi AutoCADU, která umožnila export do souborového formátu DWF. Vychází i nová verze CATIE – CATIA 4. Roku 1993 došlo také k založení společnosti SolidWorks, Inc. [2], [3]



Obrázek 14. CATIA verze 4 [3]

Roku 1994 vychází nová verze AutoCAD R13 a zároveň s touto verzí AutoCADU vychází 3D Studio 4. Tato nová verze byla kompatibilní se systémem Windows 3.1. Začíná se dařit i mladé společnosti SolidWorks, Inc, která existovala od předchozího roku. Za tímto úspěchem byl příchod Michaela Payna. Bývalého viceprezidenta vývoje společnosti PTC. V tomto roku přichází SolidWorks, Inc. se svým prototypem – SolidWorks.

V roce 1995 vychází SolidWorks 95 a společnost Autodesk přichází s první verzí Mechanical Desktop. Dassault Systems vydává ProCADAM, kdy se jedná o omezenější CATII použitelnou i pro Windows.

Roku 1996 vychází software Solid Edge, který představila společnost Intergraph. Téhož roku vychází také mnoho nových verzí již stávajících CAD systémů. Jedná se o ArchiCAD, Pro/E v17, CINEMA 4D v4, MiniCAD 6, který vychází pro Windows, Micro Station Modeler v.4. Dochází i k odkupu společnosti Softdesk Autodeskem.

V roce 1997 došlo ke sporům mezi federální obchodní komisí a Autodeskem, kvůli neustálému konkurenčnímu boji softwarů AutoCAD a IntelliCAD, kdy se Autodesk snažil skupovat většinu společností, které se věnují vývoji konkurenčního produktu.

Koncem 90. let 20. století je znatelné, že je na trhu příliš různých produktů, které se mezi sebou začínají předhánět, a tak vznikají různé konkurenční boje mezi těmito produkty. Taktéž se o CAD systémy začíná zajímat společnost Microsoft, která se koupením společnosti Vision snaží dostat na tento trh. Vychází nové verze již stávajících produktů, které jsou obohaceny o novější funkce. SolidWorks představuje eDrawings, čímž bezplatně poskytuje nástroje a tvorbu pro jejich prohlížení. [3]

2.1.6 CAD systémy 21. století

Během 21. století vychází nespočet nových CAD produktů a stále nové verze těch stávajících. V dalším vývoji jde spíše o konkurenční boje mezi společnostmi, kdy velké společnosti odkupují menší. Díky odkupu menších společností získávají jejich „know-how“, které následně využívají pro vylepšování svých vlastních produktů. Dalším důvodem odkupů menších společností a produktů je to, že se velké společnosti snaží zabránit možné konkurenci, aby prosazovala své produkty na trhu. [3]

2.2 Nejpoužívanější CAD systémy současnosti

V dnešní době existuje obrovské množství CAD softwarů, které jsou schopné řešit různé designerské a konstrukční úlohy. I přesto, že existuje takové množství CAD systémů, tak se vzájemně liší. Každý CAD systém se specializuje na jiné úlohy a volba správného softwaru závisí především na konkrétním odvětví, ve kterém se společnost (případně jedinec) pohybuje. Dále se pak CAD systémy mohou dělit podle způsobů modelování (parametrické, plošné) nebo podle způsobu zobrazování 2D (AutoCAD), 3D (SolidWorks, Fusion 360.) [5]

2.2.1 SolidWorks

SolidWorks je 3D modelovací software, který se používá v leteckém průmyslu, ve výrobním inženýrství, pro návrhy průmyslových výrobků dokonce se využívá i pro návrhy spadající pod zdravotnická zařízení. Tento software je především velmi oblíbený v oblasti strojírenství, kde disponuje širokou komunitou uživatelů.

Funkce programu SolidWorks:

- 3D modelování,
- simulace a kontrola navrženého modelu,
- odhad nákladů na výrobu,
- odhad vyrobiteľnosti.

Ovládání programu je navíc vytvořeno tak, aby přišel novým uživatelům snadno ovladatelný a modelování bylo spíše intuitivní. [5]

2.2.2 Inventor

Tento program můžeme označit za hlavního konkurenta výše zmíněného Solidworksu. Inventor je 3D modelovací program využívány především ve strojírenském průmyslu. Další využití nachází v podobných odvětvích jako SolidWorks. Jedná se především o výrobní a průmyslové inženýrství.

Funkce programu Inventor:

- parametrické modelování 3D objektů,
- 3D modelování,
- simulace,
- vizualizace. [5]

2.2.3 Revit

Jedná se o software pro BIM – informační model budovy. Revit se využívá především pro navrhování budov a jejich konstrukci. Program podporuje všechny obory stavebních projektů, včetně architektonických, strukturálních, mechanických a elektronických aspektů.

Funkce programu Revit:

- 3D modelování,
- vizualizace,
- MEP modelování a konstruování,
- interiérové nástroje,
- tvorba dokumentace projektu. [5]

2.2.4 AutoCAD

AutoCAD je řazen mezi nejstarší a nejpoužívanější CAD software pro 2D a 3D navrhování. Software se převážně používá pro vytváření plánů a výkresové dokumentace součástí.

Funkce programu AutoCAD:

- 2D kreslení,
- tvorba výkresové dokumentace,
- dynamické bloky,
- síťové 3D modelování,
- objemové a plošné modelování. [5]

2.2.5 Civil 3D

Civil 3D je program společnosti Autodesk stejně jako AutoCAD. Původně se jednalo pouze o jeho doplněk. Nyní se jedná o samostatný software používaný pro plánování, navrhování a řízení stavebních projektů včetně dopravy, územního rozvoje a odpadních vod.

Funkce programu Civil 3D:

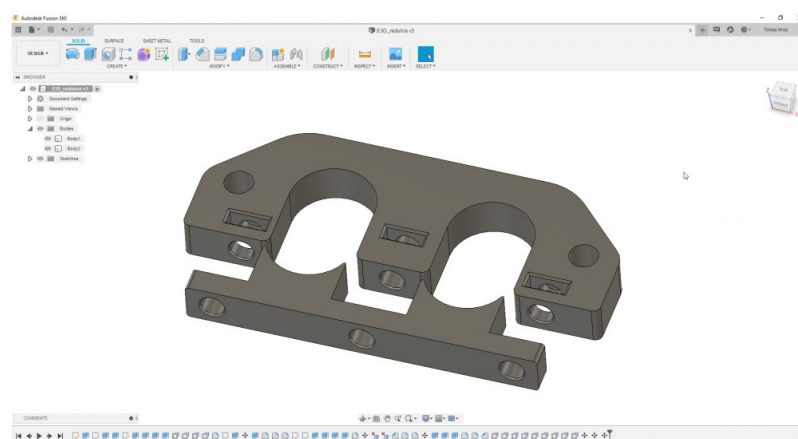
- modelování chodeb,
- hodnocení terénu,
- nástroje pro tvorbu povrchu,
- podpora BIM – informační model budovy,
- plánovací nástroje. [5]

3 POČÍTAČOVÉ MODELOVÁNÍ

Konstruování a navrhování prošlo dlouhým vývojem. Z počátku konstruktéři využívali jednoduché plánky, na které zachycovali své myšlenky. Ze stále rostoucími nároky bylo potřeba složitější součásti zobrazovat pomocí jednotlivých pohledů a řezů. S dalším vývojem v této oblasti došlo k nahrazení 2D zobrazování prostorovým modelem vytvořeným v programech za využití 3D modelování. 3D modelování je proces používání počítačového softwaru k vytvoření matematické reprezentace 3rozměrného objektu nebo tvaru. Takto vytvořený objekt se nazývá 3D model. [6], [7], [8], [9]

3.1 Parametrické modelování

Parametrické modelování je založeno na konstrukční technice, kterou je definice parametrů. Parametry nám popisují geometrické vazby a vztahy mezi 3D objekty. Právě změnou parametrů dochází ke generaci nových sestav i výkresových dokumentací. Tímto druhem modelování dochází k vytvářet 3D modelů obdobným postupem, jakým dochází k výrobě samotné součásti ve skutečnosti. Podobné modelovací operace jako skutečné pracovní úkoly jsou vrtání, řezání závitů a další. Hotové modely mohou dále sloužit k vytváření výkresů pro výrobu nebo mohou být součástí větších a propracovanějších sestav. Právě tyto sestavy bývají velmi důležité v mnoha oblastech. Sestavením jednotlivých modelů do celku může dojít k odhalení nedostatků, které na první pohled nebyly zcela zřejmé, nebo došlo k jejich přehlédnutí. Navíc lze takové sestavy otestovat a důkladně analyzovat pomocí simulací, které v dnešní době nabízí většina CAD softwarů. Příkladem programů, kde je využíváno parametrické modelování je Solidworks, Fusion 360, Inventor, SolidEdge. [6], [7], [8], [10]



Obrázek 15. Parametrické modelování v programu Fusion 360 [8]

3.2 Plošné modelování

Oproti parametrickému modelování se plošné modelování liší především v tom, že jde o vytváření jednotlivých povrchů modelu. Během modelování se vytváří plášť, který kopíruje výsledný tvar. Tento plášť je v podstatě plocha. Z matematického pohledu může být plocha zadána body nebo křivkami, které na dané ploše leží. Pokud je plocha zadána body, pak takovou plochu je možné označit jako síť bodů. U složitých plášťů jsou plochy zadány sítí mnoha bodů, případně se může jednat i systém mnoha křivek. [8], [11]



Obrázek 16. Plošné modelování v programu Rhino [8]

3.2.1 Plocha

Samotnou plochu lze definovat jako dvouparametrickou množinu bodů nacházející se v prostoru R^3 . Body jsou pak funkčními hodnotami bodové funkce dvou proměnných. Namísto těchto dvou proměnných mohou být dosazeny, stejně jako u křivky, koncové body polohových vektorů. Tyto vektory je pak možné označit za funkční hodnoty vektorové funkce dvou proměnných.

Jednoduchou plochu lze definovat pomocí matematických popisů parametrickými rovnicemi. Složitější plochy, které nelze popsat jedinou vektorovou rovnicí, definujeme pomocí menších částí tzv. plátů. Výsledná plocha složitějších tvarů vzniká plátováním, kdy se jedná o vzájemné napojování plátů. [11]

3.2.2 Rovná plocha

Ze všech zde uvedených ploch je rovná plocha nejjednodušší. Rovná plocha je určena třemi proměnnými tedy body. V oblasti 3D modelování se rovné plochy používají jako pomocné roviny. [11]

3.2.3 Přímková přechodová plocha

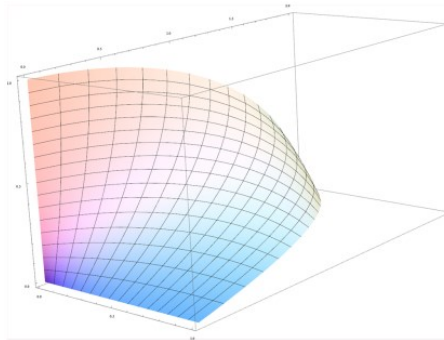
Přímková přechodová plocha je plocha interpolující dva zadané protilehlé okraje – křivky. Přímkovou přechodovou plochu je pak možné získat pomocí interpolace mezi zadanými okraji, ze které lze získat vektorovou funkci dvou proměnných. Lineární interpolace znamená, že jsou určeny body okrajů, které odpovídají stejné hodnotě parametru a následně jsou spojeny úsečkami. Přímkovou přechodovou plochu pak tvoří množina všech těchto úseček. [11]

3.2.4 Plocha hyperbolického paraboloidu

Jedná se o interpolační plochu tvořenou jedním plátem. Tato plocha je lineární interpolací mezi čtyřmi zadanými body, kterými jsou rohy plátu. [11]

3.2.5 Coonsova bilineární plocha

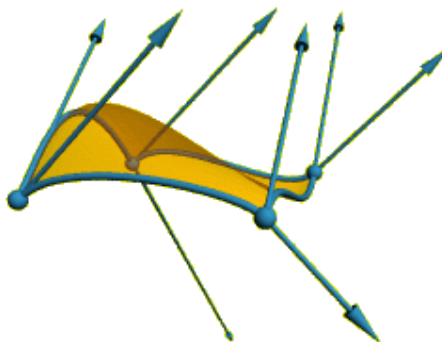
Coonsova bilineární plocha je další z interpolačních ploch tvořených jedním plátem. Tato plocha je tvořena čtyřmi definovanými okraji, které mají společné krajní body v rozích plátu. Rohy těchto plátů lze považovat za součást zadání, i když lze jejich souřadnice vypočítat dosažením krajních hodnot do zadaných vektorových rovnic okrajových křivek. [11]



Obrázek 17. Coonsův bilineární plát [13]

3.2.6 Fergusonova plocha

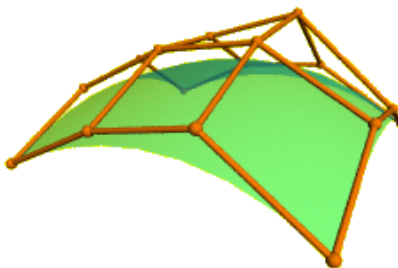
Fergusonova plocha je druhem interpolační plochy určené čtyřmi okrajovými Fergusonovými kubikami. Plát je určen čtyřmi rohovými body a tečnými vektory v nich. [12]



Obrázek 18. Fergusonova plocha [12]

3.2.7 Beziérová plocha

Tato plocha je určena sítí $(m + 1) \times (n + 1)$ řídících bodů $V_{i,j}$, $i = 0, 1, \dots, m$, $j = 0, 1, \dots, n$, uspořádaných do mapy plochy, která prochází čtyřmi rohy sítě. Díky tomu umožňuje modelování pomocí prostorové sítě bodů. Okrajové křivky Beziérových ploch se nazývají jako Beziérové křivky stupně m resp. n . [11], [12]



Obrázek 19. Beziérová plocha [12]

3.2.8 B-spline plocha

B-spline plochu je možné definovat jako zobecněnou B-spline křivku, ve které je možno provádět lokální změny. Celá plocha je určena čtyřúhelníkovou sítí řídících bodů a dvěma uzlovými vektory U a V a stupni u a v . Coonsovy pláty bývají nazývány bikubické B-spline plochy. [12], [13]

3.2.9 Uniformní ukotvená bikubická B-spline plocha

Uniformní ukotvená bikubická B-spline plocha je určena sítí $(m + 1) \times (n + 1)$, $m, n > 4$ řídících bodů $V_{i,j}$, $j = 0, 1, \dots, n$, které mají uspořádání do mapy plochy. [11]

3.2.10 NURBS plocha

NURBS plochy lze považovat za zobecněné B-spline plochy. Jedná se o velmi standardní plochy v oblasti geometrického modelování. Tyto plochy se dají považovat za velmi univerzální, protože dokážou reprezentovat široké spektrum ploch díky jednotnému výpočetnímu algoritmu. NURBS plochy je možné považovat za invariantní ke všem transformacím a projekcím. [12]

4 STL SOUBORY

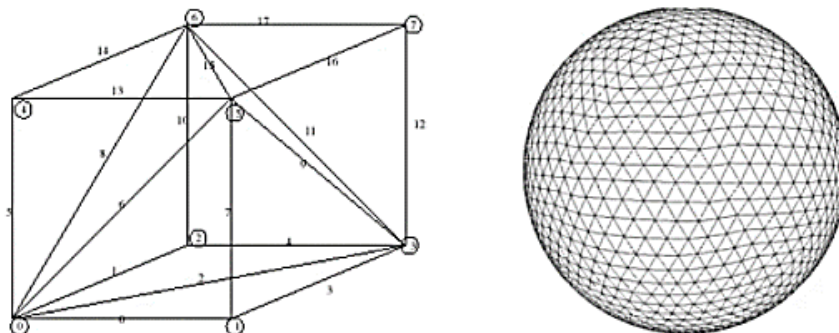
Při navrhování jakéhokoliv 3D modelu se lze setkat s nejrůznějšími typy přípon souborů pro ukládání. Existuje mnoho formátů souborů. Některé formáty se využívají pouze v určitých programech, jiné jsou libovolně otevíratelné téměř ve všech. Zkratka STL vznikla v 80. letech 20. století a znamená Standard Tessellation Language nebo StereoLithography. Jedná se o standardní typ souboru určený především pro 3D tisk. Díky tomu, že STL soubory nezabírají příliš velkou kapacitu na discích, jsou poměrně jednoduché a snadno přijatelné pro 3D stroje a software nachází v tomto oboru široké využití. [14], [15], [16], [17]

4.1 Princip převodu 3D modelu do STL souborů

Hlavním účelem formátu STL je kódování geometrie povrchu 3D objektů. Informace jsou zakódovány pomocí jednoduchého konceptu zvaného teselace. Tento soubor používá k reprezentaci povrchu objemového modelu řadu propojených trojúhelníků, které uchovávají informaci o modelu. Jedná se však pouze o povrchovou geometrii objektu bez zachování původní barvy, textury nebo jiných běžných atributů modelu. [15], [16], [17]

4.1.1 Teselace

Za teselaci je označován proces, při kterém dochází k obložení povrchu jedním nebo více geometrickými tvary. Během obkládání se geometrické útvary dokonale spojují a nedochází k jejich překrývání nebo vzniku mezer. Teselace může zahrnovat jak jednoduché geometrické tvary, tak velmi komplikované a složité obrazce. V případě převodu do formátu STL se jedná o trojúhelníky. [15], [16]



Obrázek 20. Teselace krychle v porovnání s koulí [15]

4.2 Rozlišení STL souborů

Po patentování procesu stereolitografického tisku bylo potřeba vymyslet způsob, jakým bude docházet k přenosu informací o 3D modelech do 3D tiskárny. Tento problém se povedlo vyřešit společnosti Albert Consulting Group. Společnost došla s velmi jednoduchým řešením. Základní myšlenkou bylo mozaikování dvourozměrného vnějšího povrchu 3D modelu pomocí malých trojúhelníků (fazet) a následné ukládání informací o těchto trojúhelnících do souboru. Čím více trojúhelníků je použito k aproximaci povrchu 3D modelu, tím vyššího rozlišení je možné dosáhnout. Pokud dojde k exportu v příliš nízkém rozlišení, dojde ke zviditelnění trojúhelníků na modelu. Naopak, pokud je zvoleno příliš vysoké rozlišení může dojít k extrémnímu nárůstu velikosti souboru, čímž může dojít ke ztížení manipulace se souborem a zhoršením zpracování dat. [14], [15], [16], [17]

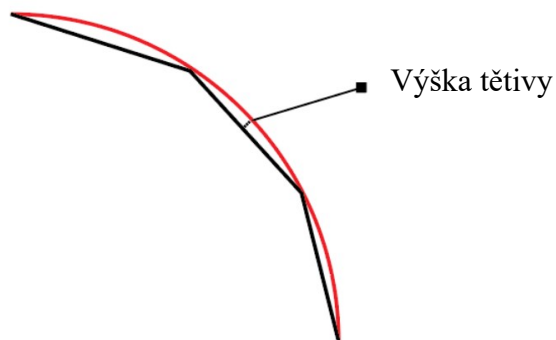


Obrázek 21. Rozlišení výsledného objektu v závislosti na počtu trojúhelníků [16]

4.2.1 Parametry rozlišení STL souborů

Rozlišení souborů STL lze změnit pomocí tolerance v CAD softwarech. Každý CAD software nabízí před vytvořené varianty s určitými tolerancemi. Nejbezpečnější variantou pro následný 3D tisk je varianta vysoká. Hlavními parametry rozlišení bývá výška tětiny a úhel.

Výška tětiny je maximální vzdálenost, mezi povrchem původního 3D modelu a povrchem vytvořeným teselací, kterou software povolí. Menší výška tětiny znamená přesnější reprezentaci zakřivení povrchu. Doporučená hodnota výšky tětiny pro následný 3D tisk je $1/20$ tloušťky tisknuté vrstvy. Tato výška by nikdy neměla být menší než 0,001 mm. Pokud budou dodrženy tyto doporučené parametry, bude získán STL soubor s ideální přesností pro většinu 3D tiskáren.



Obrázek 22. Výška tětiny [16]

Úhlová tolerance omezuje úhel mezi normálami sousedních trojúhelníků. Výchozí hodnota úhlu je 15° . U některých programů se lze setkat s touto tolerancí v podobě hodnoty 0 a 1. Pokud není potřeba žádná jiná tolerance lišící se od výchozí hodnoty 15° volí se 0. [14], [16]

4.3 Způsob ukládání STL souborů

Formát souboru STL poskytuje dva různé způsoby ukládání informací o trojúhelníkových fasetách, které tvoří povrch původního modelu. Prvním způsobem ukládání je kódování ASCII – American Standard 33 od efor Information Interchange. Druhým způsobem ukládání je binární kódování. V obou případech jsou informace o trojúhelnících uloženy jako souřadnice vrcholů a složky jednotkového vektoru k trojúhelníku. Normálový vektor by měl směřovat ven ze 3D modelu. [14], [16], [17], [18]

4.3.1 ASCII kódování STL

Formát souboru ASCII začíná povinným řádkem nesoucím název 3D modelu. Dále soubor pokračuje informacemi o trojúhelnících, kterými jsou informace o vrcholech a normálovém vektoru. Celý soubor je ukončen povinným řádkem endsolid. [15], [17], [18]

4.3.2 Binární kódování STL

Pokud se mozaika, tvořící povrch 3D modelu, skládá z obrovského množství malých trojúhelníků, může soubor ASCII STL nabývat velkých rozměrů. Z tohoto důvodu existuje binární formát STL. Binární soubory začínají 80 znakovým záhlavím, které však většina čtecích zařízení ignoruje. Za záhlavím je číslo reprezentující celkový počet trojúhelníků nacházející se v modelu. Následně pokračují informace o jednotlivých pozicích vrcholů a normálovém vektoru stejně jako u formátu ASCII. [15], [17]

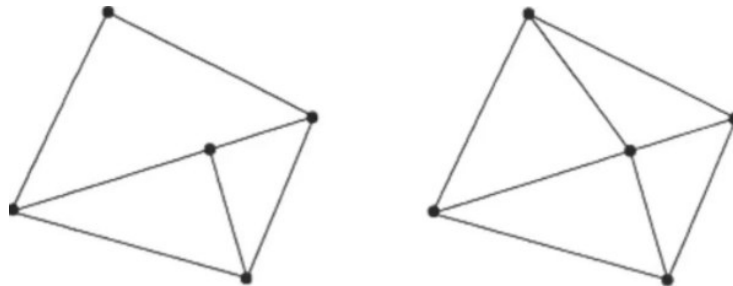
4.4 Speciální pravidla pro STL soubory

Existují speciální pravidla pro mozaikování a ukládání informací STL souborů. Mezi ně patří vrchol k vrcholu, pravidlo orientace, vše kladné pravidlo oktantu a pravidlo pro třídění trojúhelníků.

4.4.1 Vrchol k vrcholu

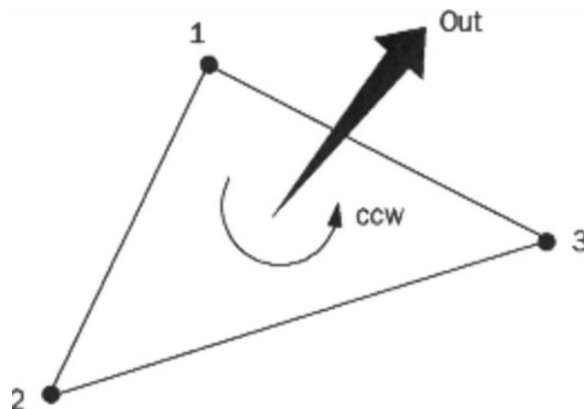
Podle znění tohoto pravidla musí každý trojúhelník sdílet dva vrcholy se sousedními trojúhelníky. Vrchol jednoho trojúhelníku nemůže ležet na straně jiného trojúhelníku. Při vytváření mozaikování povrchu je třeba toto pravidlo respektovat. [14], [15], [17]

4.4.2 Pravidlo orientace



Obrázek 23. Obrázek vlevo nesplňuje pravidlo [15]

Pravidlo orientace říká, že orientace fazety – trojúhelníku, musí být jasně definována. Tato orientace je specifikována dvěma veličinami. První veličinou je směr normálového vektoru, který by měl směřovat směrem ven z modelu. Druhou veličinou je uspořádání vrcholů. Vrcholy by měly být uvedeny v pořadí proti směru hodinových ručiček při pohledu na objekt zvenčí. Pravidlo orientace existuje z určitého důvodu. Pomáhá zajistit konzistenci dat a odhalit poškozená data. Kontrola funguje tak, že software dokáže vypočítat orientaci z normály a následně tento výpočet ověřit pomocí vrcholů. Pokud se stane, že se software ve výpočtech liší, může prohlásit STL soubor za poškozený.



Obrázek 24. Znárodnění pravidla orientace [15]

4.4.3 Vše kladné pravidlo oktantu

Vše kladné pravidlo oktantu říká, že všechny souřadnice vrcholů trojúhelníku musí být kladné. Nesmí se jednat o záporné nebo nulové souřadnice. Takový objekt se pak musí nacházet ve zcela kladném oktantu 3D kartézského souřadnicového systému. Důvod zavedení tohoto pravidla je prostý. Pokud by se objekt mohl nacházet i v záporném oktantu, muselo by se počítat se záporným znaménkem a zápornými souřadnicemi. K uložení takové souřadnice se používají čísla s plovoucí desetinnou čárkou se znaménkem, které vyžadují jeden další 1 bit pro uložení znaménka. Jelikož se však jedná pouze o kladnou část a k dispozici jsou kladné souřadnice, lze používat čísla bez znamének. Tímto je možné ušetřit 1 bit za každou uloženou hodnotu souřadnic. [14], [15]

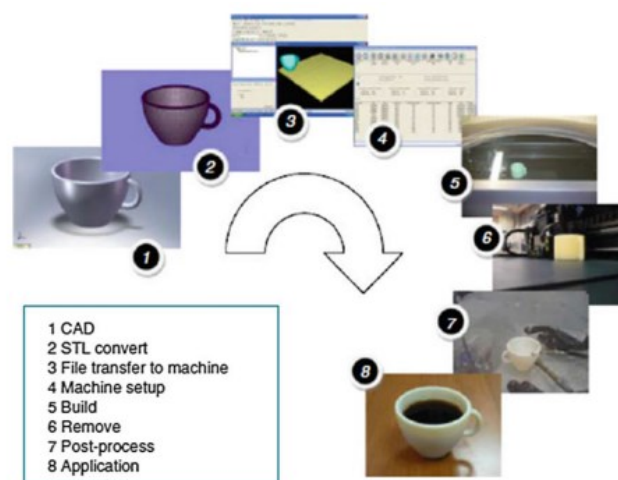
4.4.4 Pravidlo pro třídění trojúhelníků

Pravidlo pro třídění trojúhelníků doporučuje, aby se trojúhelníky objevovaly ve vzestupném pořadí hodnoty z. Takové uspořádání trojúhelníků pak pomáhá slicerům lépe rozřezat modely. Pravidlo pro třídění trojúhelníků však není nutností. [15]

5 3D TISK

5.1 Technologie 3D tisku

Technologii 3D tisku lze považovat za aditivní výrobu, která je zcela odlišná od ostatních konvenčních výrobních metod. U této technologie na rozdíl od ostatních, kde se materiál ubírá, dochází právě naopak k přidávání materiálu v podobě vrstev, které tvoří finální vzhled součásti. Technologie 3D tisku je úzce vzpjata s CAD softwary (CATIA, SolidEdge, Fusion 360, SolidWorks, Inventor), ve kterých vzniká samotný model součásti. Hotový model je potřeba převést do souborového formátu STL, který se dále zpracovává v programech zvaných slicery. V dnešní době existuje velké množství těchto programů. Jejich funkce je stejná dochází v nich k rozložení modelu na jednotlivé vrstvy, díky kterým bude na pracovní ploše tiskárny vznikat samotný výrobek, avšak uživatelské rozhraní má každý program své. Nejznámějšími slicery jsou Cura, Slic3r a Simplify3D. Výstup z těchto programů se nazývá G-kód, který díky jednotlivým řádkům programu umožní tiskárně požadovanou součást vyrobit. [19], [20], [21]



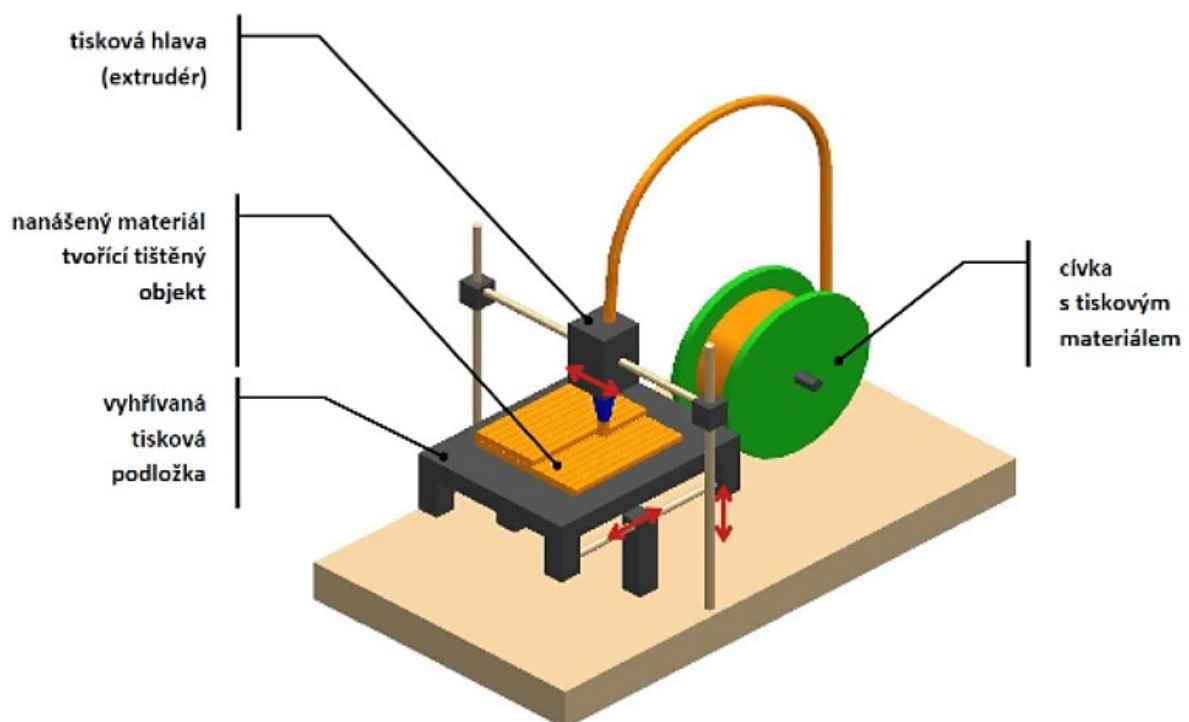
Obrázek 25. Proces aditivní výroby [21]

5.2 Rozdělení technologií 3D tisku

V dnešní době je možné technologii aditivní výroby AM rozdělit dle mnoha způsobů. Může se jednat o samotný typ technologií, technologie tiskáren, lasery aj. Dalším způsobem rozdělení může být druh vstupujícího materiálu. Může se jednat o kapalný polymer, u kterého dochází k vytvrzování na přesně určených souřadnicích. Práškové částice spékávané laserem nebo tavení tiskové struny, zastrčené do tiskové hlavy a následným vytlačováním přes trysku. [21]

5.2.1 Technologie FDM/FFF

Zkratka FDM – Fused Deposition Modelling nebo také FFF – Fused Filament Fabrication označuje stejnou technologii, avšak FDM je ochranná značka společnosti Stratasys. Jedná se o nejrozšířenější a cenově nejdostupnější technologii 3D tisku. Pořizovací cena tiskáren se pohybuje tisíců korun do řádů desítek až stovek tisíc, kdy se už jedná o profesionální průmyslové tiskárny. Tato technologie se používá jak pro funkční, tak pro mechanické díly a prototypování. Princip FDM technologie spočívá v tavení materiálu v podobě filamentu (tenkého vlákna) o tloušťce 1,75 mm nebo 3 mm navinutého na cívku, který se pomocí trysky nanáší po jednotlivých vrstvách na pracovní plochu tiskárny. Tuto technologii lze považovat za poměrně bezpečnou, protože při ní nedochází k manipulaci s nebezpečnými chemikáliemi nebo látkami ohrožující zdraví člověka. Během tisku se však mohou do vzduchu uvolňovat výpary z roztaveného materiálu, proto se doporučuje provozovat tuto technologii v dobře větraném prostředí. Nevýhodou této technologie je viditelnost jednotlivých vrstev na vytištěných objektech, proto je nutné tyto objekty dodatečně upravovat. [19], [20], [21]



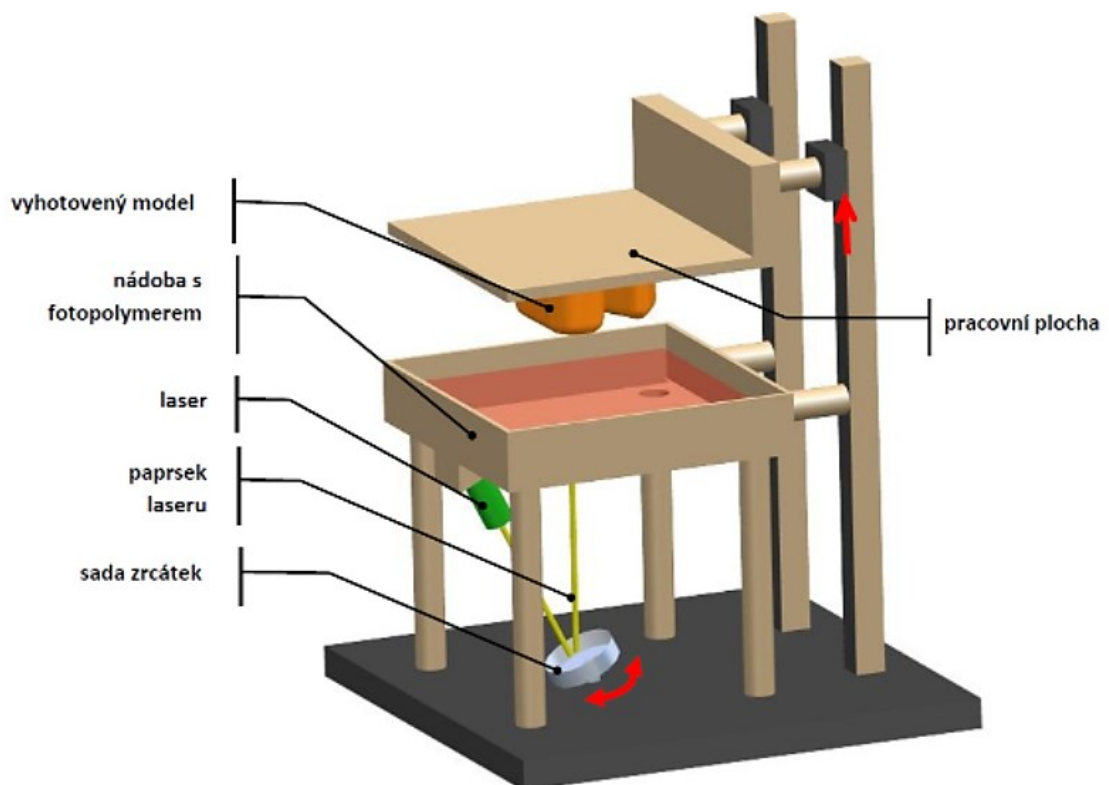
Obrázek 26. Princip FDM/FFF technologie 3D tisku [20]

5.2.2 Technologie SLA

Technologie SLA – stereolitografie patří mezi nejstarší technologií 3D tisku. Byla využívána již od roku 1987, kdy došlo k prodeji první tiskárny. Celá technologie je založená na kapalných fotocitlivých pryskyřicích, u kterých dojde k vytvrzení (ztuhnutí) po osvětlení UV zářením. K vytvrzení dochází vždy na přesných souřadnicích, které udává výsledný model. Po vytvrzení odjíždí tisková plocha o velikost jedné vrstvy. Existují dva principy, na kterých tyto tiskárny pracují. [19], [20], [21]

U prvního principu je pracovní plocha zcela ponořena v nádobě s tekutým fotopolymerem. Tisk probíhá tak, že dochází k postupnému osvětlování laserem a tím i k vytvrzování vrstev pomocí UV záření. Laser je umístěný zespodu. Tisková plocha vyjíždí směrem vzhůru z nádoby vždy o výšku jedné vrstvy. [19], [20]

Druhý princip je opačný oproti prvnímu. Zde dochází k postupnému ponořování do tekutého fotopolymeru vždy o hloubku odpovídající výšce jedné vrstvy. Laser, který vytvrzuje fotopolymer, je u tohoto typu tiskárny umístěn shora. [20]



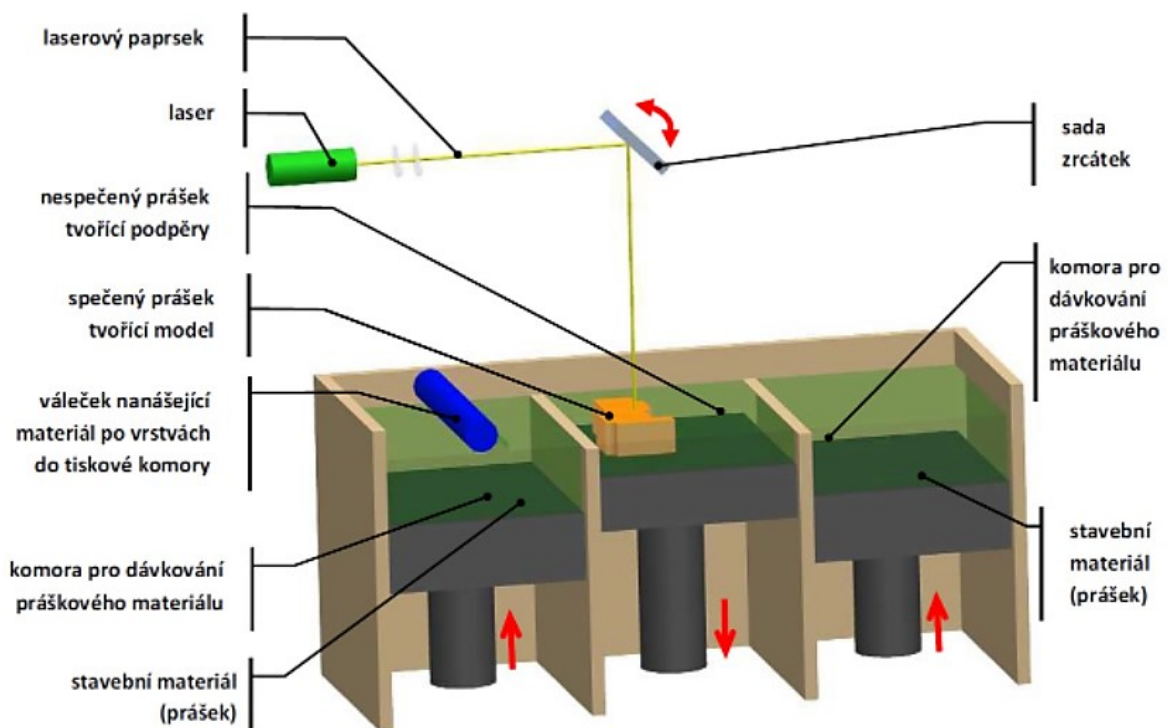
Obrázek 27. Princip SLA technologie 3D tisku [20]

Tato technologie nachází využití u detailních a menších objektů. Výsledné produkty jsou velmi hladké a jednotlivé vrstvy jsou pro lidské oko téměř neviditelné. Tato technologie se uplatňuje v klenotnictví nebo lékařství. Nevýhodou oproti FDM/FFF technologii je výsledná

úprava výtisku, kdy musí proběhnout čištění povrchu od zbytků neztuhlé pryskyřice nejčastěji v izopropylalkoholu a dodatečné vytvrzení pryskyřice pomocí UV světla. Také nastává nebezpečí pro zdraví člověka při manipulaci s pryskyřicemi a nebezpečnými výparů. [19], [20]

5.2.3 Technologie SLS/DMLS

SLS – Selective laser sintering a DMLS – Direct metal laser sintering rozdíl mezi SLS a DMLS technologií je v druhu použitého materiálu a výkonu laseru, který se používá pro tavení prášku. Navíc DMLS technologie pracuje v ochranné atmosféře tvořené Argonem. SLS technologie využívá polymery jako Nylon, ABS, PET nebo keramiku ve formě prášku. DMLS využívá ve formě prášku kov. Jedná se o nerezové oceli, titan, bronz, inconel nebo jiné materiály. Obě tyto technologie fungují na principu nanášení tenké vrstvy práškového materiálu na pracovní plochu. K tavení jemného prášku dochází za pomoci laseru. Tímto natavením vzniká vrstva. Následně dochází k opakovanému nanesení prášku a opětovnému tavení za pomoci laseru. Po dokončení tisku je celý pracovní prostor tiskárny pokryt jemným práškem. Nevyužitý práškový materiál může být znovu využit pro další tisk. Během tisku se tak vyplývá pouze materiál, který se speče. Nevýhodou této technologie je vysoká pořizovací cena strojů, která se pohybuje okolo 6000 USD, proto se SLS a DMLS nepoužívá v kancelářském prostředí. [19], [20]



Obrázek 28 Princip SLS/DMLS technologie 3D tisku [20]

6 FUSION 360

6.1 O programu Fusion 360

Fusion 360 je cloudový CAD/CAM/CAE nástroj pro vývoj produktů. Dokáže kombinovat rychlé a snadné organické modelování s přesným objemovým modelováním, které pomůže uživateli vytvářet konstrukční návrhy. Z těchto návrhů lze následně vytvářet výrobní výkresy se všemi potřebnými náležitostmi. Taktéž mohou být tyto návrhy znázorněny velmi realisticky díky rendrovacím technologiím. Program Fusion 360 také nabízí flexibilní 3D modelování a navrhování. K vytváření konstrukčních návrhů mohou být uživateli programu využívány různé způsoby modelování (přímé, plošné, parametrické, síťové nebo volné modelování). V programu lze také vytvářet plechové součásti a interaktivní sestavy. Jelikož má v sobě Fusion 360 integrované nástroje pro CAM, je možné programovat trasy od 2osého až po 5osé frézování. Součástí CAM nástrojů jsou také nástroje pro soustružení, sondování kusu nebo automatická výměna nástrojů.

Další výhodnou funkcí, kterou tento program obsahuje je generativní design součástí. Za pomoci generativního designu mohou uživatelé snadno řešit složité konstrukční problémy a jejich nejrůznější varianty, aby dosáhli požadovaného výsledku. Program Fusion 360 dokonce obsahuje nástroje elektronických součástí a desek s plošnými spoji. S jejich pomocí uživatelům umožní navrhovat desky s plošnými spoji a nejrůznější elektrické obvody včetně jejich chlazení a simulací výsledného zapojení.

Všechna výstupní data, která program generuje, je možné uložit do svého vlastního počítače nebo také na cloudové úložiště, tímto způsobem dochází k snadnému sdílení dat mezi více uživateli nebo více pracovními počítači.

Cena základní licence programu, která poskytuje téměř všechny funkce bez dalších rozšíření, se pohybuje od 495 USD ročně, pro Českou republiku 12 778,- Kč ročně.

Ovšem je možné získat i bezplatné licence programu, kdy nesmí dojít k užívání za účelem výtěžné činnosti. Jednou z takových licencí je kutilská licence, která je poskytována pro osobní účely, kterými mohou být domácí projekty, koníčky a nevýtěžné činnosti. Druhou možností je verze pro studenty a pedagogy sloužící především ke vzdělávacím účelům. Tato verze je doplněna o osnovu s výukovým obsahem, kterým lze libovolně procházet dle individuálních potřeb. Nevýhodou oproti zakoupené licenci je omezení určitých funkcí programu. [22], [23], [24]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je vypracovat manuál pro modelování pomocí ploch a úpravu STL modelu pro 3D tisk v programu Autodesk Fusion 360. Manuál může následně sloužit jako učební pomůcka pro výuku CAD modelování pro všechny, kteří si budou chtít rozšířit své znalosti v oblasti plošného modelování a úpravách STL modelů.

V souvislosti s výše uvedenými důvody byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracování literární rešerše na dané téma.
- Představení programu Fusion 360.
- Vytvoření manuálu na pro plošné modelování v programu Fusion 360.
- Vytvoření manuálu pro úpravu STL modelů a následný 3D tisk.
- Tvorba tří modelových příkladů.

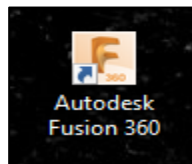
8 PRÁCE V PROGRAMU FUSION 360

Před samotným stažením programu Fusion 360 je nejprve potřeba provést registraci na oficiálních stránkách Autodesku (<https://www.autodesk.cz/>). Následně přejít do „mého účtu“ záložka „produkty a služby“. V této záložce lze najít i jiné softwary, které Autodesk poskytuje. Kliknutím na tlačítko „download now“ započne stahování programu.

8.1 Spuštění programu Fusion 360

Program Fusion 360 se spouští prostřednictvím ikony „Autodesk Fusion 360“, která se po instalaci objeví na pracovní ploše.

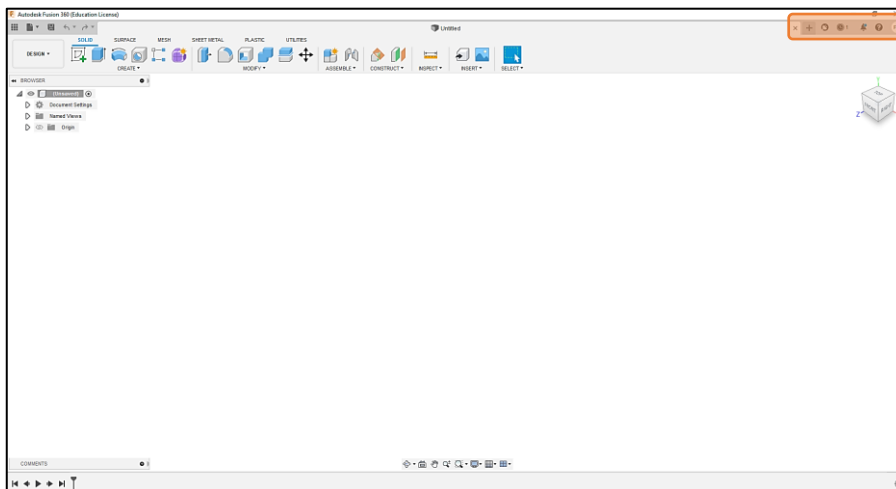
Pokud se program spouští na daném zařízení prvně, bude nutné zadat přihlašovací údaje, pod kterými došlo k registraci na oficiálních stránkách Autodesku.



Obrázek 29. Ikona Autodesk Fusion 360

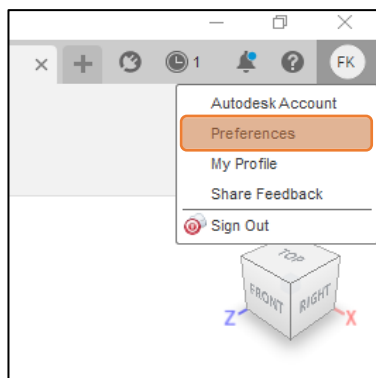
8.2 Základní nastavení programu Fusion 360

Po spuštění programu se uživatel nachází v modelovacím prostředí „Solid“.



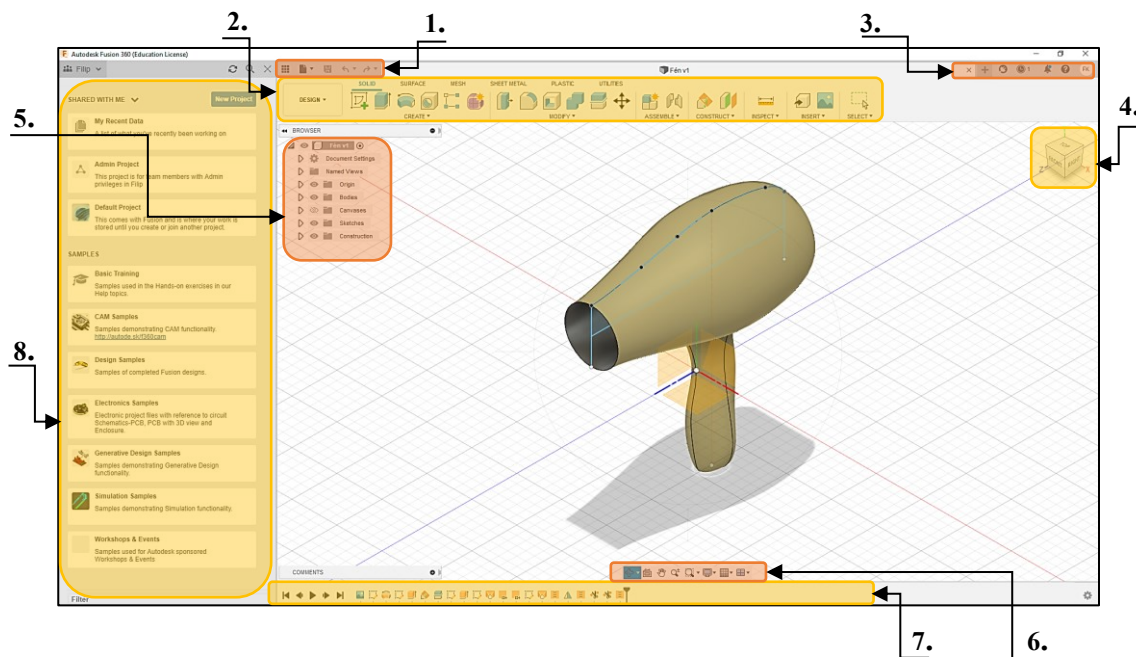
Obrázek 30. Náhled obrazovky po spuštění programu Fusion 360

Ještě před zahájením veškerých modelovacích činností je vhodné nastavit základní parametry, kterými mohou být jednotky, normy, nebo i chování samotného programu. Toto nastavení se provádí v pravém horním rohu kliknutím na iniciály přihlášeného uživatele. Po kliknutí se rozbalí záložka. Nastavení programu je pak pod tlačítkem „Preferences“.



Obrázek 31. Tlačítko pro základní nastavení programu

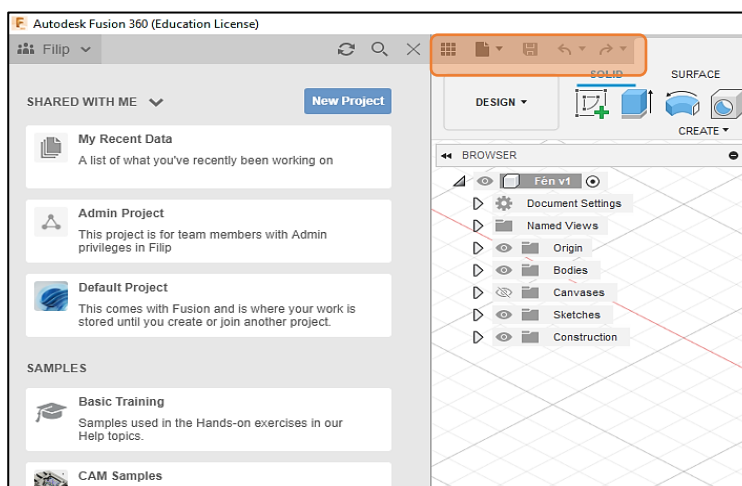
8.3 Rozhraní programu Fusion 360



Obrázek 32. Seznámení s rozhraním programu Fusion 360 (1. – panel aplikace; 2. – profil, nápověda; 3. – nástroje; 4. – kostka s pohledy; 5. – stromový prohlížeč; 6. – historie modelování; 7. – navigační nástroje; 8. – průzkumník souborů)

8.3.1 Panel aplikace (1.)

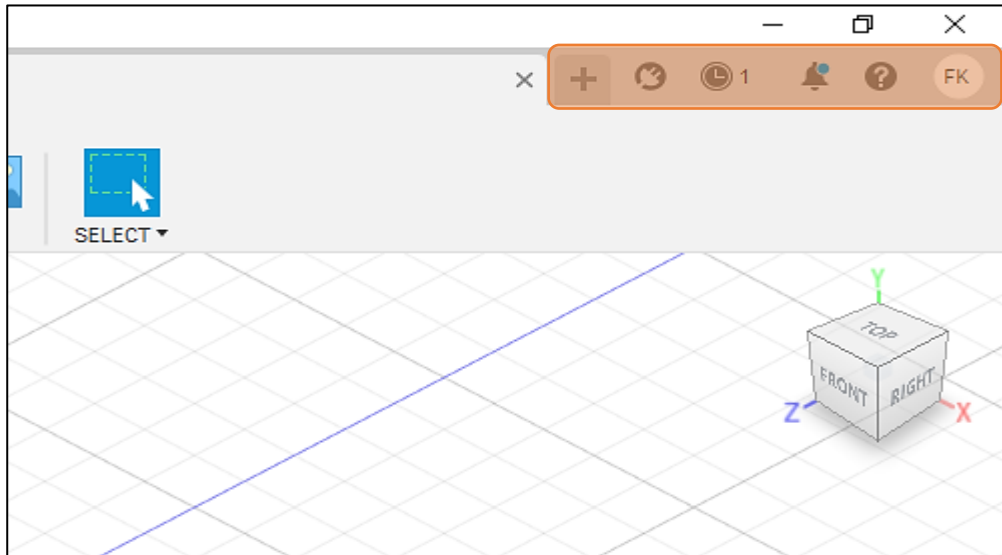
Panel aplikace – horní lišta, která obsahuje základní příkazy, jako schovat levý panel (průzkumník souborů), uložit, otevřít nebo exportovat soubor, krok zpět, krok dopředu a jiné, jim podobné příkazy.



Obrázek 33. Panel aplikace

8.3.2 Profil, nápověda a nastavení programu (2.)

V této záložce lze najít přístup k účtu Autodesk, jeho editaci, dále nastavení programu, kde si sám uživatel může program přizpůsobit svým požadavkům, nebo je zde možné vyžádat pomoc.

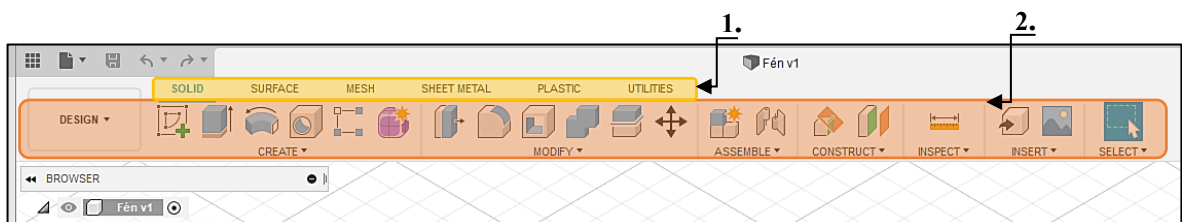


Obrázek 34. Nastavení profilu, programu a vyžádání pomoci

8.3.3 Nástroje (3.)

Díky panelu nástroje je možné přepínat mezi jednotlivými modelovacími prostředími. Jedná se o modelování, generativní design, renderování již hotových součástí, animace, simulace a vytváření programů pro CNC stroje.

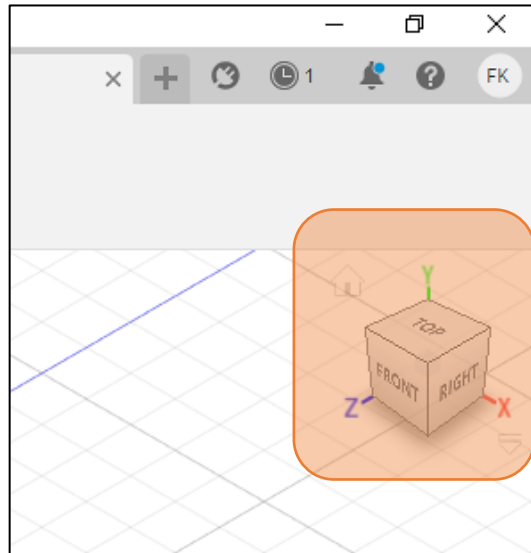
Tento panel umožňuje taktéž přepínat mezi jednotlivými funkcemi modelovacích prostředí.



Obrázek 35. Panel nástroje (1. – modelovací prostředí; 2. – funkce)

8.3.4 Kostka s pohledy (4.)

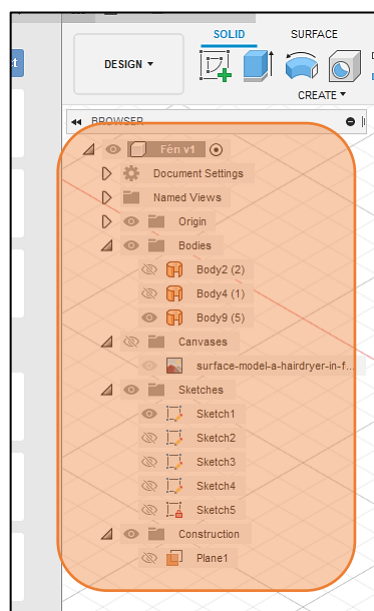
Pohledovou kostku lze využít pro orientaci v prostoru. Na kostce je zobrazen souřadnicový systém a jednotlivé pohledy na samotný model. Klikáním na hrany kostky se natáčí i 3D součást.



Obrázek 36. Kostka s pohledy

8.3.5 Stromový prohlížeč (5.)

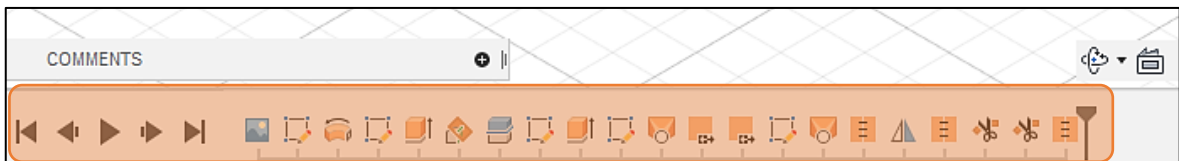
Stromový prohlížeč obsahuje seznam všech objektů v modelu jako jsou těla, skici, vložené obrázky, roviny a další. U těchto prvků je zobrazen symbol oka, kterým je možné určovat jejich viditelnost.



Obrázek 37. Stromový prohlížeč

8.3.6 Historie modelování (6.)

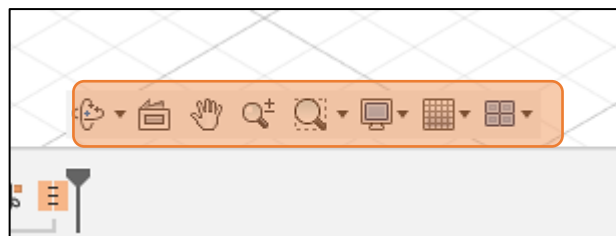
Historie modelování zobrazuje seznam všech operací prováděných na modelu. Mezi jednotlivými operacemi se dá přeskakovat a vracet se zpět. Operace je možné taktéž libovolně upravovat a modifikovat. Historie modelování je totožná se stromem operací, který se vyskytuje v jiných CAD softwarech a zaznamenává veškeré operace provedené na modelu. Posuvníkem se lze vracet mezi jednotlivými operacemi a dvojklikem tyto prvky editovat. Posuvník nabízí možnost vložit operace mezi již provedené. Nová se vkládá vždy před posuvník.



Obrázek 38. Historie modelování

8.3.7 Navigační nástroje a nastavení zobrazení (7.)

Na tomto panelu lze nastavit otáčení modelu, posunování, přiblížení nebo oddálení, upravit vzhled modelovacího prostředí (zobrazit nebo skrýt mřížku). Panel umožňuje definovat přichycení bodů k určitým prvkům.

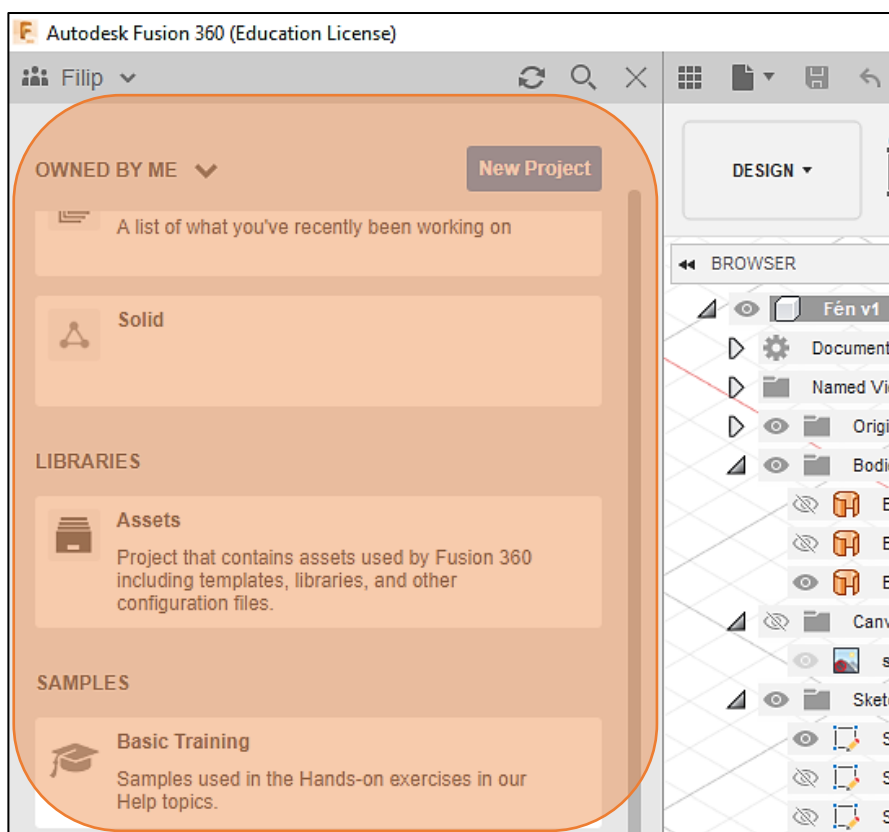


Obrázek 39. Navigační nástroje a nastavení zobrazení

První funkce „Orbit“ umožňuje otáčení kolem modelu. Druhá funkce „Look at“ společně s kliknutím na plochu nebo rovinu vycentruje pohled přímo na zvolený prvek. Další z funkcí „Pan“ dokáže posunovat pohled. Funkce „Zoom“ přibližuje a oddaluje pohled. „Zoom window“ přiblíží na vybraný úsek. Díky „Display settings“ lze nastavit zobrazování modelu (stínování, zvýraznění hran apod.) „Grid and snaps“ dovoluje nastavit funkce mřížky (zda se má zobrazovat, zda k ní mají být vytvářené prvky přichyceny). Poslední funkce „Viewports“ rozdělí obrazovku a zobrazí model ve všech pohledech.

8.3.8 Průzkumník souborů

Průzkumník souborů obsahuje seznam všech složek a souborů v úložišti. Jelikož Fusion 360 pracuje převážně s cloudovým úložištěm, dají se dané soubory načíst z jednoho počítače do druhého, bez nutnosti kopírování na přenosné datové úložiště z jednoho zařízení a následné kopírování do druhého zařízení.



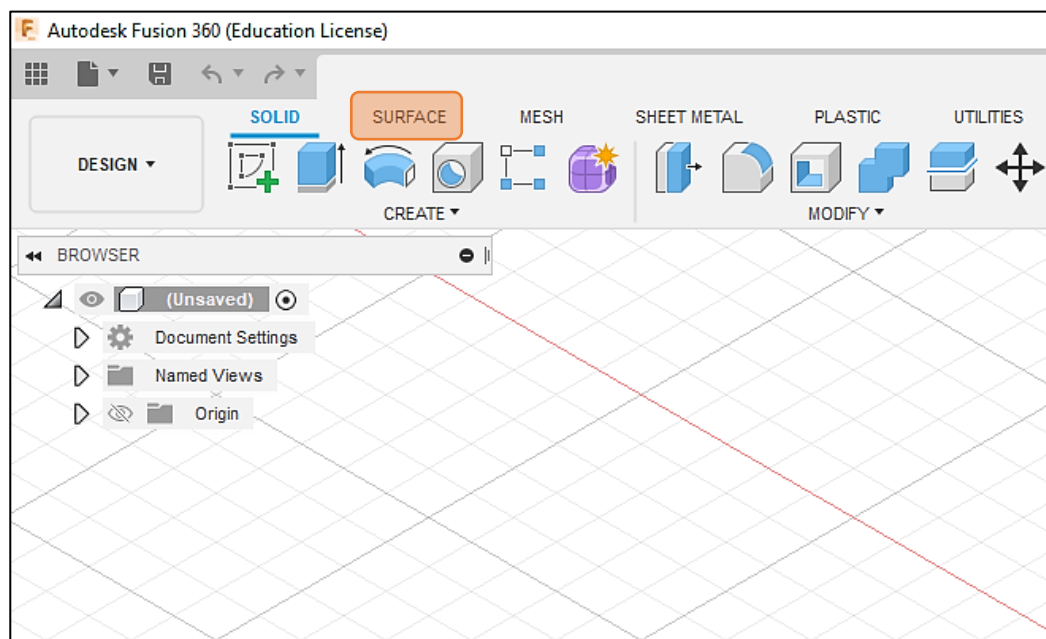
Obrázek 40. Průzkumník souborů

8.4 Funkce programu Autodesk Fusion 360

Program Autodesk Fusion 360 nabízí obrovské množství různých funkcí. Následující dvě kapitoly jsou věnovány funkcím týkajících se plošného modelování a úpravě STL souborů.

8.4.1 Funkce pro plošné modelování

Pro vstup do modulu – plošného modelování, je potřeba přepnout z prostředí „Solid“, které je primárně nabízeno po otevření programu, do prostředí „Surface“

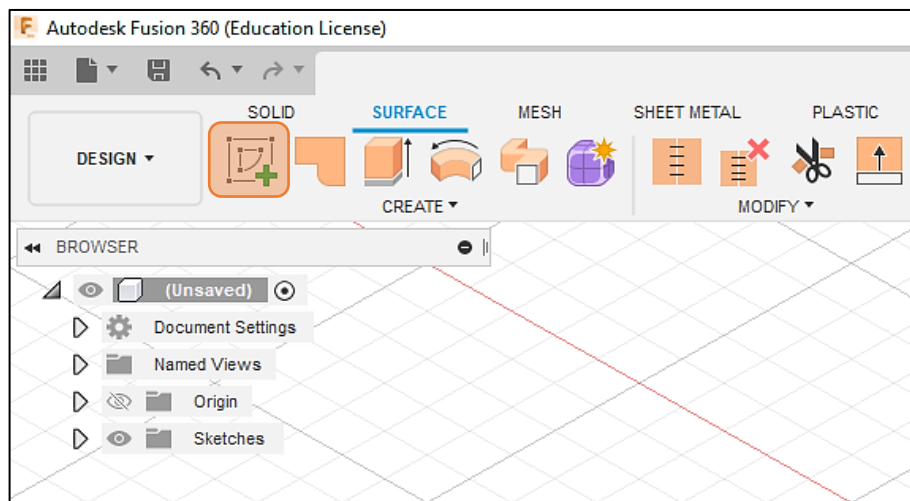


Obrázek 41. Přepínání mezi prostředími

Stejně jako u parametrického modelování, tak i u plošného modelování vychází základní tvary z náčrtů – skic.

- **Create sketch – vytvořit skicu**

Funkce „Create sketch“ umožňuje vytvořit základní náčrt geometrického profilu, který následně definuje samotný 3D objekt. Pro vytvoření skici je potřeba vybrat plochu nebo rovinu, na kterou se bude skica kreslit. Jednotlivé prvky skici tvořící výslednou geometrii mohou být tvořeny čarami, kruhy, body a dalšími jednoduchými geometrickými prvky. Soudržnost prvků zajišťují vazby a kóty.

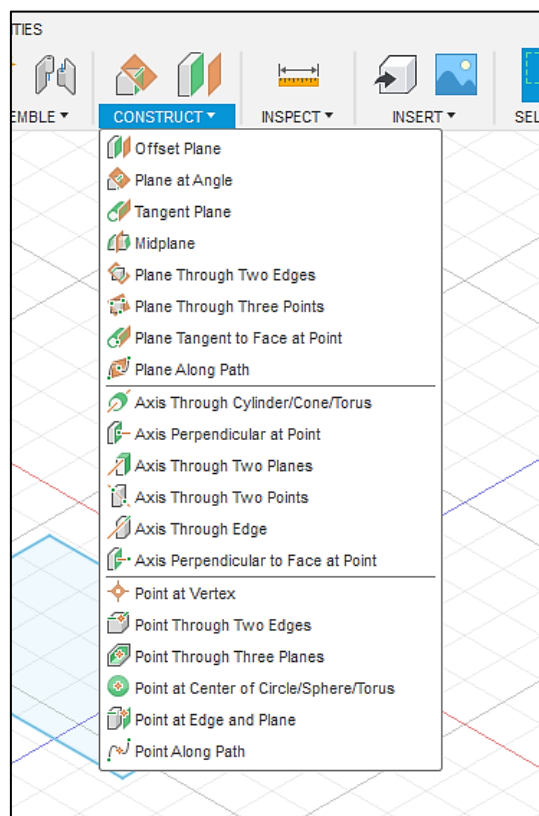


Obrázek 42. Vytvoření skici

Nakreslený profil je bez vazeb a kót označený modrou barvou. Po zakótování a definování geometrie změní prvky barvu na černou.

- **Construct**

Soubor funkcí „Construct“ nabízí možnost vytvářet různé konstrukční roviny dle potřeby, do kterých lze následně vkreslit skicu.



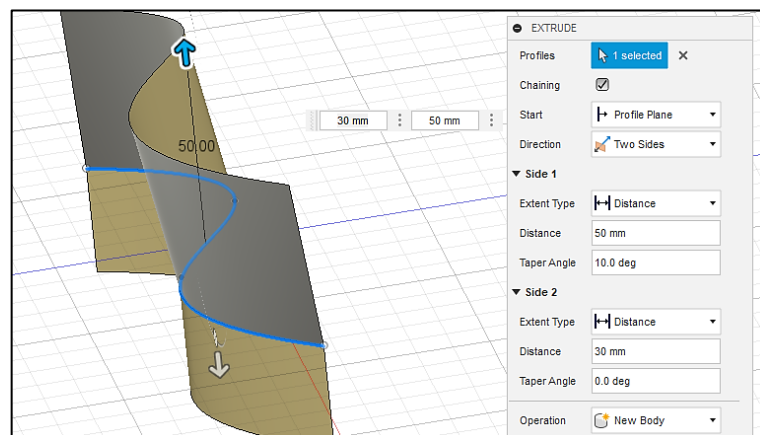
Obrázek 43. Soubor funkcí Construct

- Offset plane – vznikne odsazená rovina od vybrané plochy nebo roviny.
- Plane at angle – vytvoří rovinu pod úhlem procházející hranou nebo osou.
- Tangent plane – výsledná konstrukční rovina je tečná na kruhovou plochu.
- Midplane – konstrukční rovina, která je přesně mezi dvěma dalšími rovinami nebo plochami.
- Plane through two edges – vytvoří rovinu, která se nachází mezi dvěma rohy (úhlopříčku) nebo osami.
- Plane through three points – dojde k vytvoření roviny mezi třemi různými body.
- Plane tangent to face at point – konstrukční rovina, která je tečná na kruhovou plochu a zároveň přilehlá k bodu ležícímu na kruhové ploše.
- Plane along path – vznikne rovina na křivce nebo na okraji plochy.

Soubor funkcí taktéž nabízí variantu vytvářet osy, kdy se funkce chovají podobně jako u vytváření rovin, místo rovin však vytváří osu. Poslední možností, kterou tento soubor nabízí je promítnutí bodu. Promítání bodů může být velmi užitečné při napojování křivek na vytažené plochy nebo při napojování křivek na další křivky.

- **Extrude – vytažení**

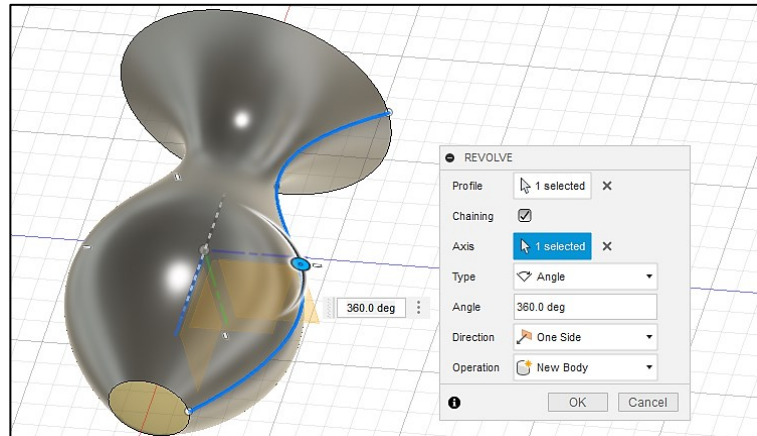
Funkce „Extrude“ umožní vytažení uzavřeného profilu nebo samotné křivky. U této funkce je nejdříve nutné vybrat profil, křivku nebo skicu, která má být vytažena. Po volbě uživatel zvolí parametry vytažení, odkud má začínat. Možnosti jsou: od samotného profilu, od odsazení nebo od objektu. Profil lze vytáhnout jednosměrně, na obě strany i symetricky na obě strany. Zadáním úhlu dochází k plochy pod úhlem.



Obrázek 44. Ukázka funkce Extrude

- **Revolve – obtočit**

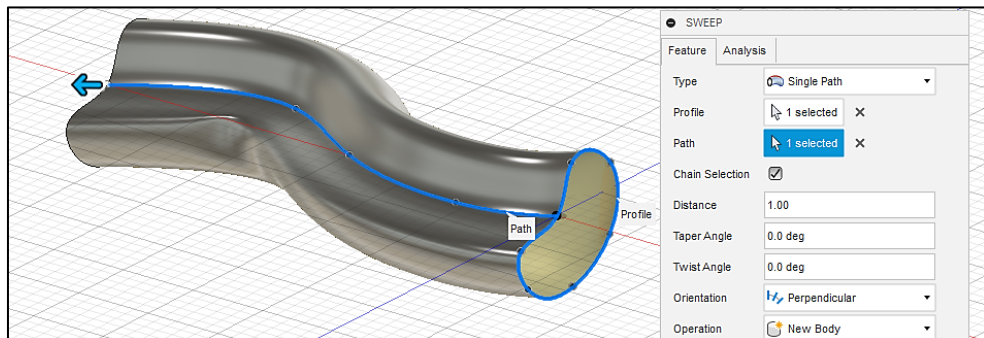
Jak již z názvu plyne, tato funkce slouží k obtočení profilu kolem jiného prvku (osy, souřadného systému). Základem je načrtnutá skica, která je prvkem, který se má rotovat. Nyní je potřeba zvolit druhý prvek, okolo kterého bude rotace probíhat.



Obrázek 45. Ukázka funkce Revolve

- **Sweep – vedení profilu po křivce**

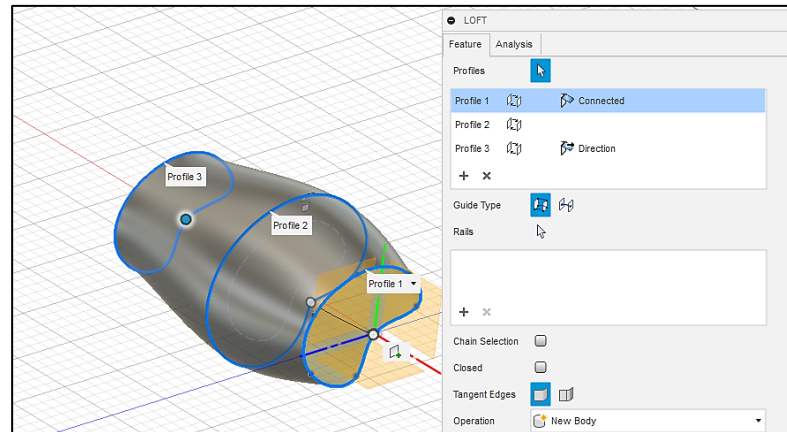
Pro správné fungování této funkce je nutné načrtnout dvě skici. Jedna skica, která představuje výsledný tvar – profil a druhá skica, která reprezentuje cestu, po které bude profil vedený.



Obrázek 46. Ukázka funkce Sweep

- **Loft**

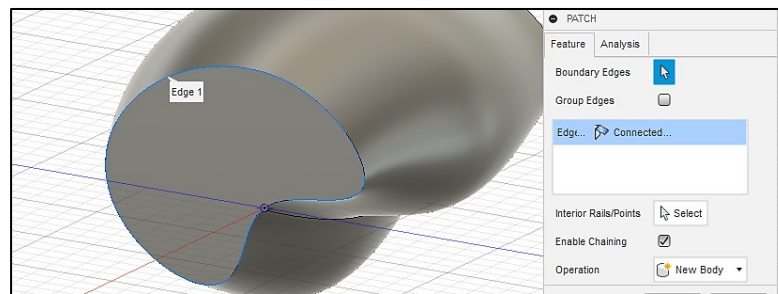
Vytváří plynulý přechod mezi několika za sebou jdoucími skicami. Po vybrání skic a případné cesty dojde k vytvoření výsledného tvaru.



Obrázek 47. Ukázka funkce Loft

- **Patch**

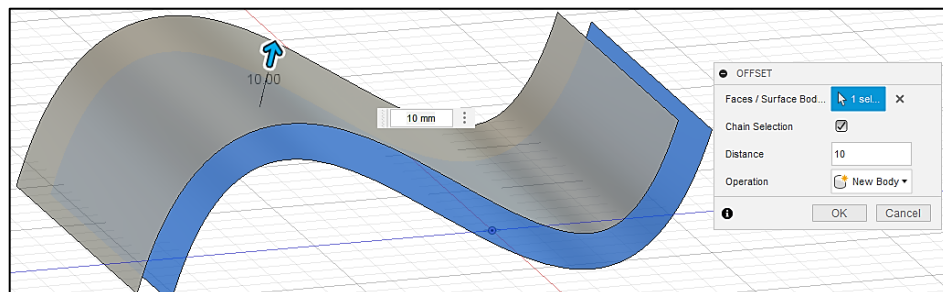
Funkce slouží k uzavření otevřeného prostoru. Uzavření však nepřidává tělesu žádný vnitřní objem. Jedná se pouze o plochu.



Obrázek 48. Ukázka funkce Patch

- **Offset – odsazení**

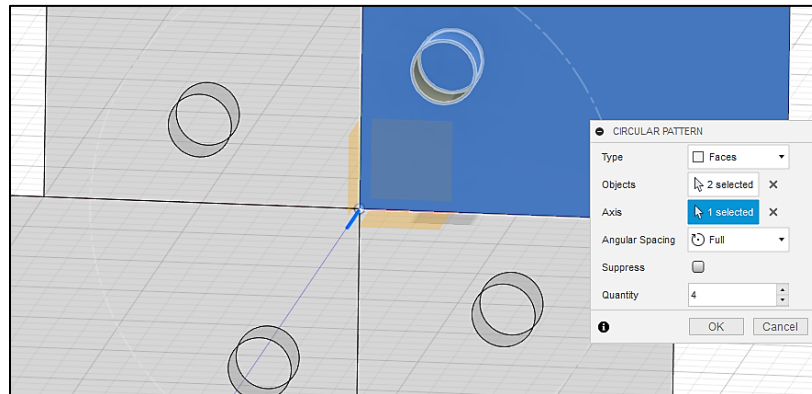
Umožňuje vytvořit další totožnou, ale odsazenou plochu nebo povrch, který má veškeré vlastnosti původního.



Obrázek 49. Ukázka funkce Offset

- **Pattern – pole**

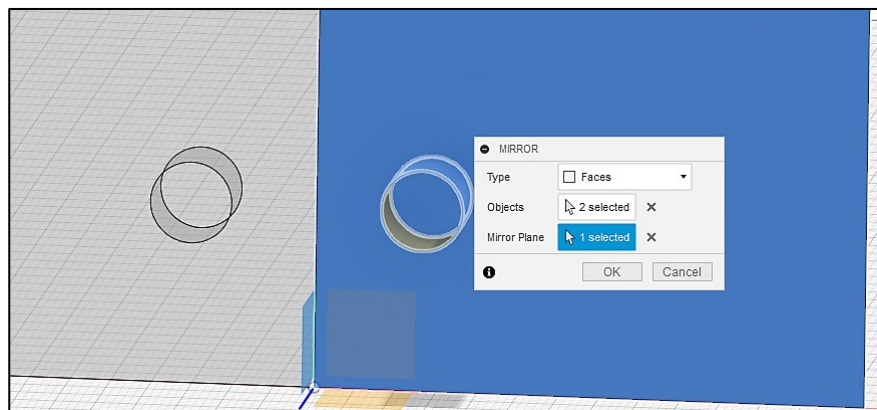
Soubor funkcí „Pattern“ – polí nabízí možnost duplikování určitých prvků za pomoci pole. Pole může být vedeno rovně, dokola, cestou nebo geometrií.



Obrázek 50. Ukázka funkce Pattern

- **Mirror – zrcadlení**

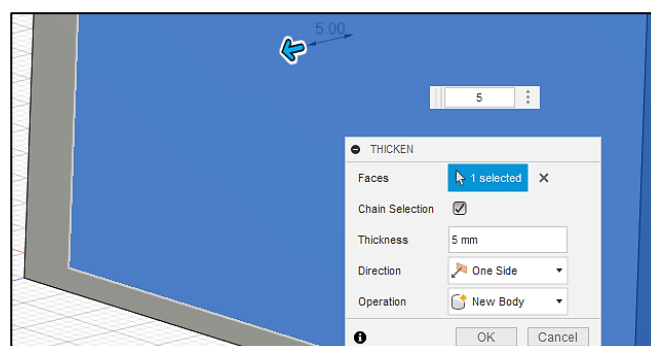
Díky zrcadlení mohou vznikat téměř totožné prvky, které jsou si navzájem zrcadlem. Výsledný prvek je od původního překlopený přes rovinu, přes osy nebo skicu.



Obrázek 51. Ukázka funkce Mirror

- **Thicken**

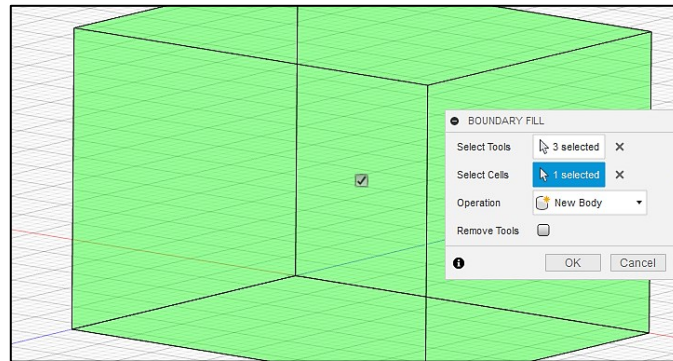
Tloušťka je první z funkcí, jak samotným plochám přidat objem. Přidáním tloušťky je možné vytvářet tenkostěnné prvky, nikoliv však dokonale vyplněná tělesa.



Obrázek 52. Ukázka funkce Thicken

- **Boundary fill**

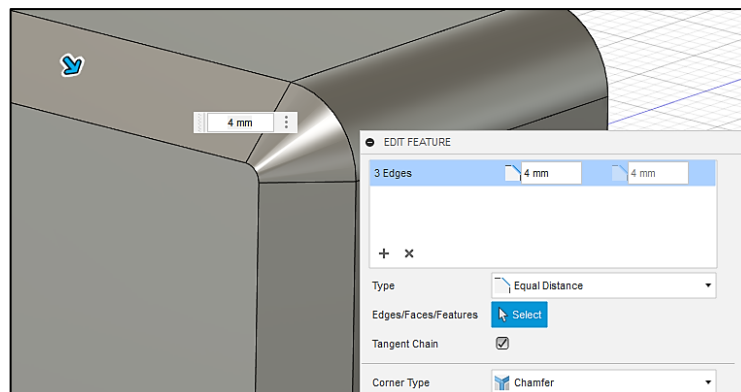
Další z funkcí, která z plošných těles dokáže vytvořit objem. Funguje na principu dvou a více do sebe zanořených těles. Boundary fill tato tělesa spojí dohromady tak, že přebytečné hrany odřízne a prostor, který plochy uzavírají, vyplní pevným objemem.



Obrázek 53. Ukázka funkce Boundary fill

- **Zaoblení / Zkosení**

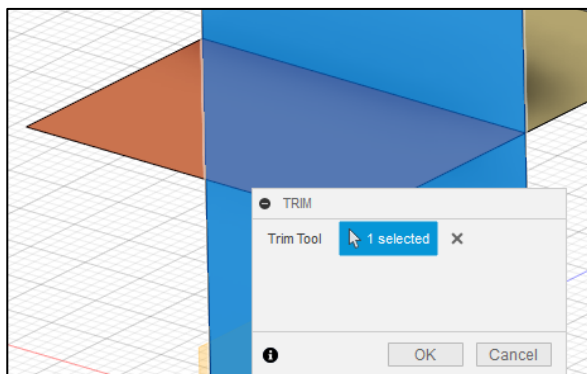
Zaoblení a zkosení slouží k vytváření oblých nebo zkosených hran.



Obrázek 54. Ukázka funkcí Zaoblení a Zkosení

- **Trim / Untrim**

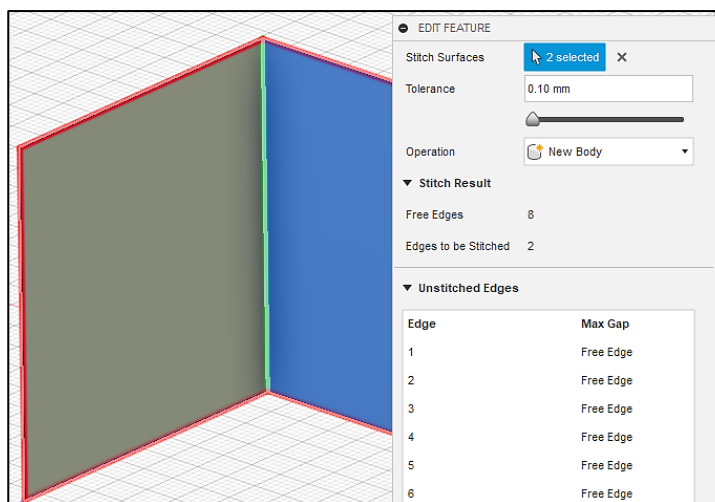
Díky těmto funkcím je možné odštíhnout dvě a více navzájem se kryjících ploch nebo křivek. Výsledkem odštíhnutí může být požadovaný tvar tělesa, kterého bylo potřeba dosáhnout. Prvním výběrem je nástroj ke stříhání (zobrazen modře). Druhým výběrem je odstraňovaná plocha (zobrazena červeně).



Obrázek 55. Ukázka funkcí Trim / Untrim

- **Stitch / Unstitch**

Během modelování vniká velké množství jednotlivých ploch. V některých případech je potřeba, pro správné fungování dalších funkcí, spojit některé z nich. Funkce „Stitch“ slouží ke spojení více jednotlivých ploch nebo křivek, které se následně začnou chovat jako jedna. Naopak funkce „Unstitch“ slouží k rozdělení jedné plochy do většího počtu původních ploch.



Obrázek 56. Ukázka funkce Stitch / Unstitch

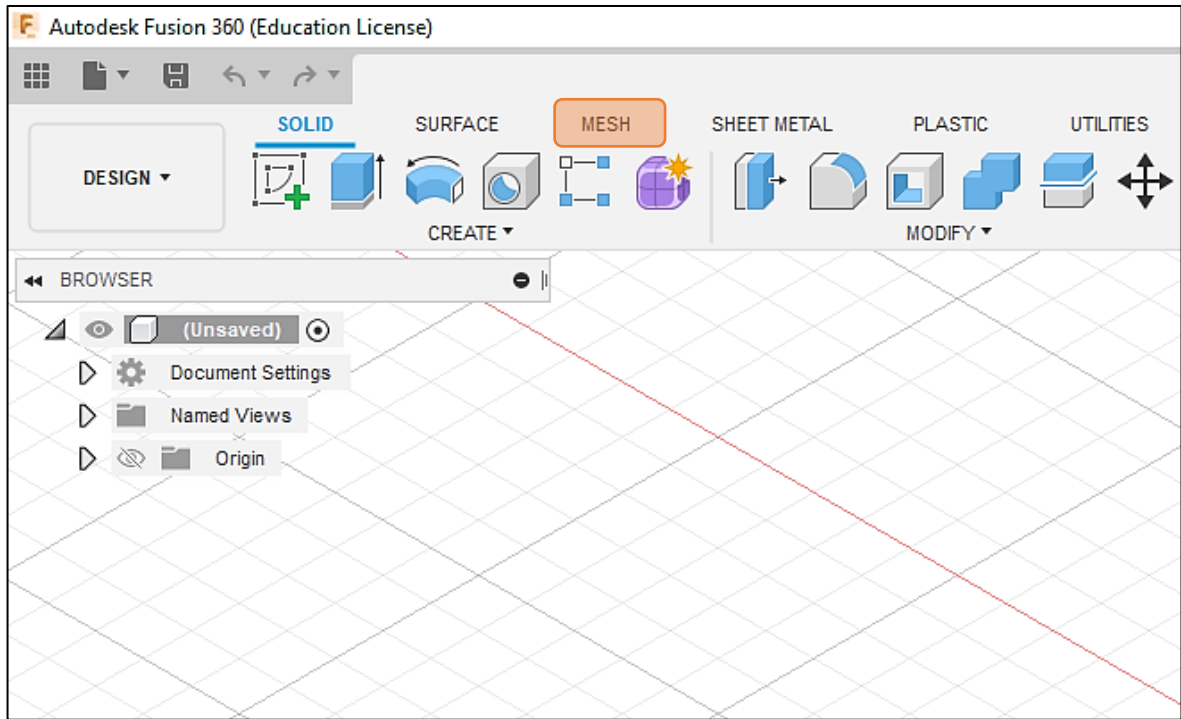
- **Split face / Split body**

Split face – rozdělení plochy (čela) pomocí jiné plochy. Funguje u vytváření skici na tělese, přes které prochází jiná plocha. Touto plochou je pak možné skicu rozdělit.

Split body je velmi podobná funkce. Liší se pouze tím, že funguje v prostoru. Použitím dochází k rozdělení tělesa plochou, která vede skrz toto těleso. Práce s funkcí je stejná jako u funkce „Trim“. První vybraná plocha nebo těleso bude rozdělováno. Druhým prvkem dochází k rozdělení.

8.4.2 Funkce pro úpravu STL souborů

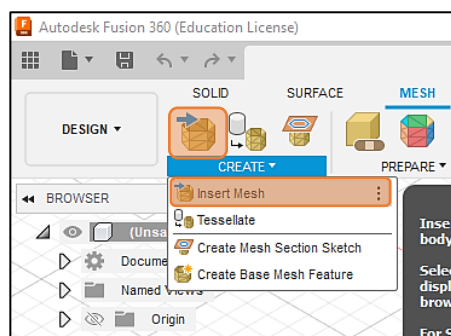
Pro vstup do modulu – plošného modelování, je potřeba přepnout z prostředí „Solid“, které je primárně nabízeno po otevření programu, do prostředí „Mesh“.



Obrázek 57. Přepnutí do Mesh prostředí

- **Insert mesh**

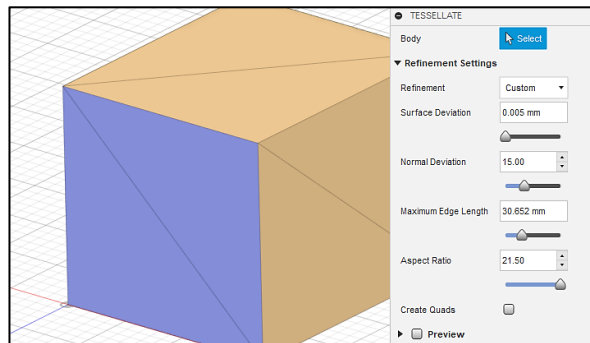
Základem pro úpravu STL souborů je nachystaný objekt. Může se jednat o 3D scan nebo modely, které byly následně převedeny pomocí telesace na síť. Funkce insert mesh umožňuje vložit takovéto sítě do programu Fusion 360.



Obrázek 58. Ukázka funkce Insert mesh

- **Tessellate**

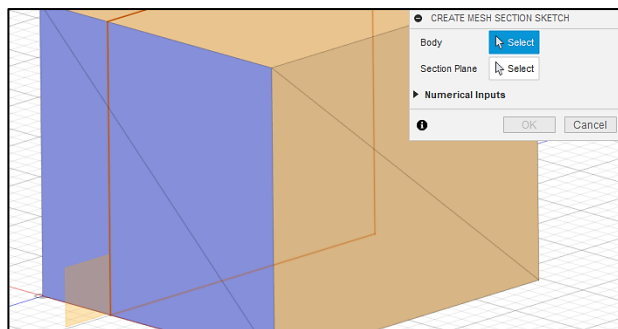
Tessellate – teselace, převádí zvolený 3D objekt do sítě tvořené určitým počtem trojúhelníků.



Obrázek 59. Ukázka funkce Tesselate

- **Create mesh section sketch**

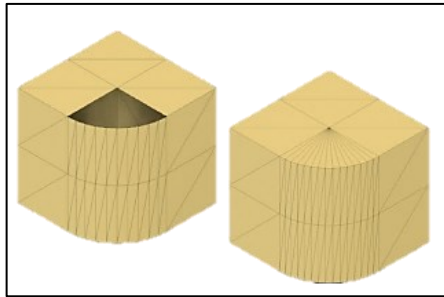
Funkce vytvoří obrys tělesa tam, kde rovina protíná síťové tělo. První výběr spočívá ve volbě těla a druhý ve volbě roviny. Pokud není zvolena rovina, vytvoří se skica přesně uprostřed tělesa.



Obrázek 60. Ukázka funkce Create mesh section sketch

- **Repair**

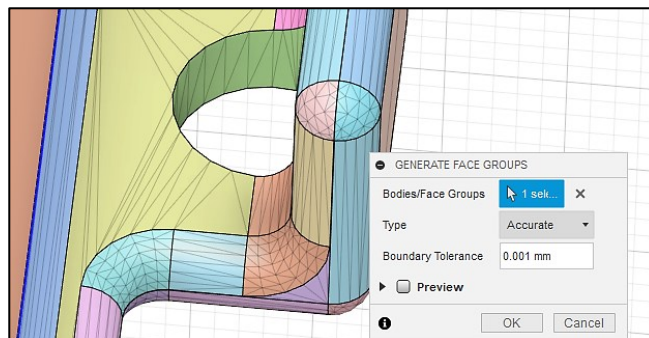
Opravuje síťové tělo (plochy), aby byly připraveny pro následující operace. Oprava může zahrnovat otočení normál elementů, uzavření otevřených ploch nebo kompletní přesíťování špatných prvků.



Obrázek 61. Ukázka funkce Repair

- **Generate face groups**

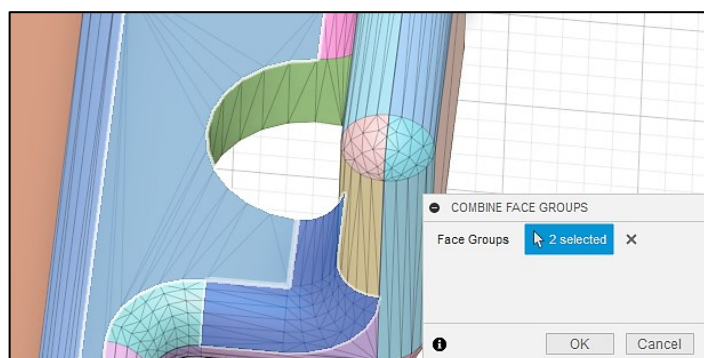
Dojde k automatickému generování skupin ploch na těle sítě pomocí normálních úhlů mezi plochami. Tyto úhly následně určují hranice každé skupiny ploch. Stejné barvy znázorňují stejnou skupinu ploch.



Obrázek 62. Ukázka funkce Generate face groups

- **Combine face groups**

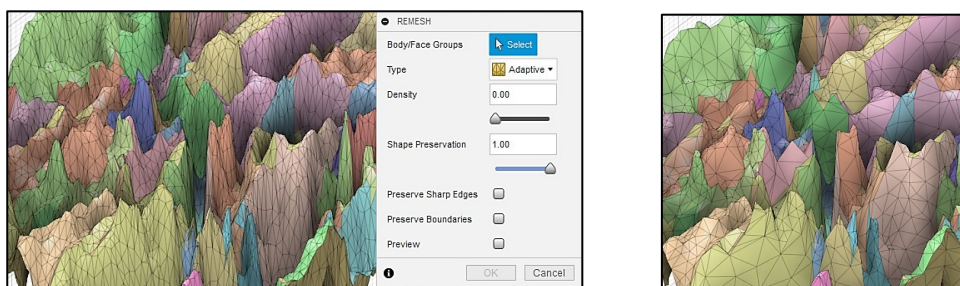
Tato funkce kombinuje dvě nebo více sousedních skupin ploch vytvořených pomocí předešlé funkce – Generate face groups.



Obrázek 63. Ukázka funkce Combine face groups

- **Remesh**

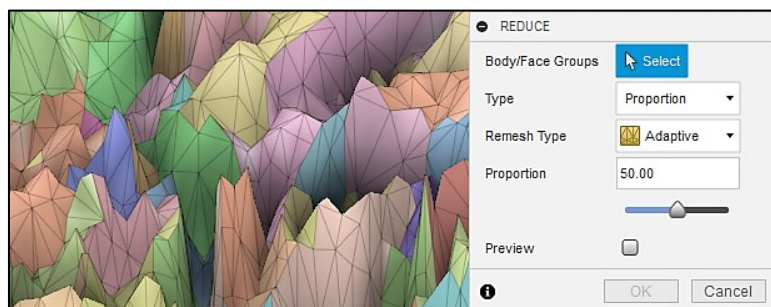
Remesh dokáže již hotovou síť překombinovat v jinou. U této funkce lze zvolit více parametrů. Jedná se o výslednou kvalitu sítě, ostrost, zachování původního tvaru. Používá se pro zredukování přebytečných částí sítě. Díky redukování bude výsledná síť obsahovat menší počet prvků a zachová téměř stejný tvar.



Obrázek 64. Zobrazení povrchu před použitím funkce Remesh a po použití

- **Reduce**

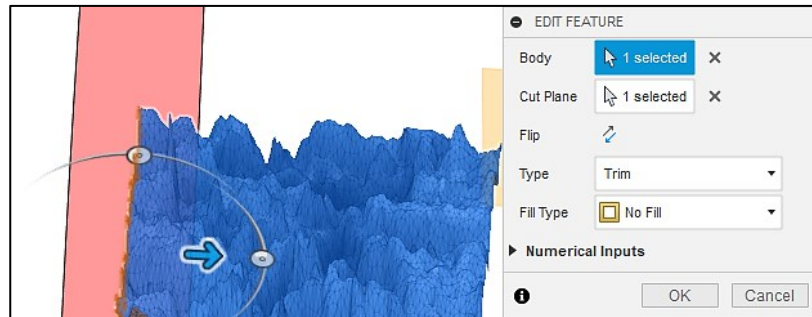
Reduce snižuje počet ploch na těle sítě, aby se minimalizovala složitost. Čím větší redukce prvků proběhne, tím hůře vypadají detaily a výslední objekt. Pokud je potřeba zachovat původní tvar a ostrost prvků, je tato funkce nevhodná.



Obrázek 65. Ukázka funkce Reduce na stejném povrchu

- **Plane cut**

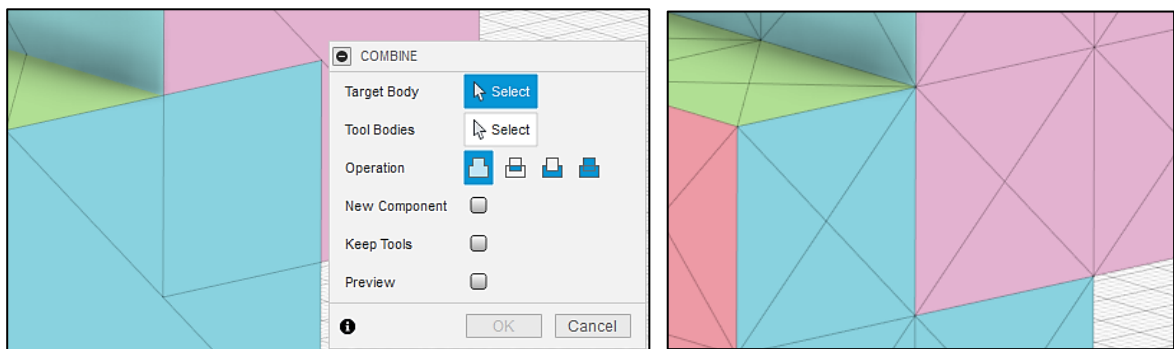
Jak plyne z názvu – plane cut, řez pomocí roviny. Používá se rovina k oříznutí nebo rozdělení síťového těla. Prvním výběrem je síť, která má být řezána. Druhý výběr je rovina, o kterou bude prvek rozříznut.



Obrázek 66. Ukázka funkce Plane cut

- **Combine**

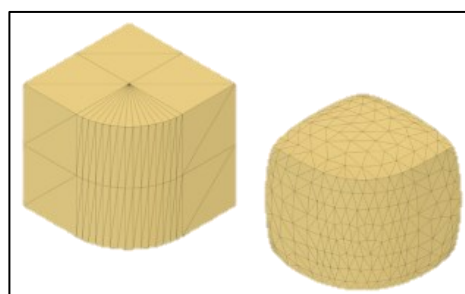
Dovoluje spojit více jednotlivých sítí do jedné. Aby bylo možné sítě spojit, musí se navzájem dotýkat nebo překrývat.



Obrázek 67. Ukázkové spojení sítí pomocí funkce Combine

- **Smooth**

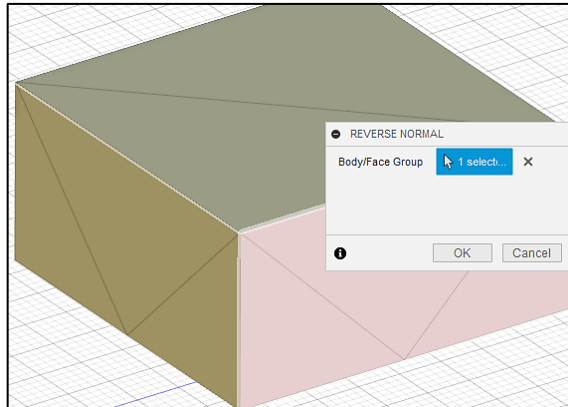
Vyhladí všechny ostré hrany v síti. Z ostrých hran vznikne zaoblená síť.



Obrázek 68. Ukázka funkce Smooth

- **Reverse normal**

Při převodu 3D objektu do sítě pomocí teletace může v některých případech dojít k převrácení normál u jednotlivých prvků. Tyto převrácené normály pak působí komplikace u výsledného tvaru sítě. Reverse normal převrací normály, aby směřovaly všechny stejným směrem. Na demonstrativním příkladu jsou otočené normály „pískovou“ barvou.



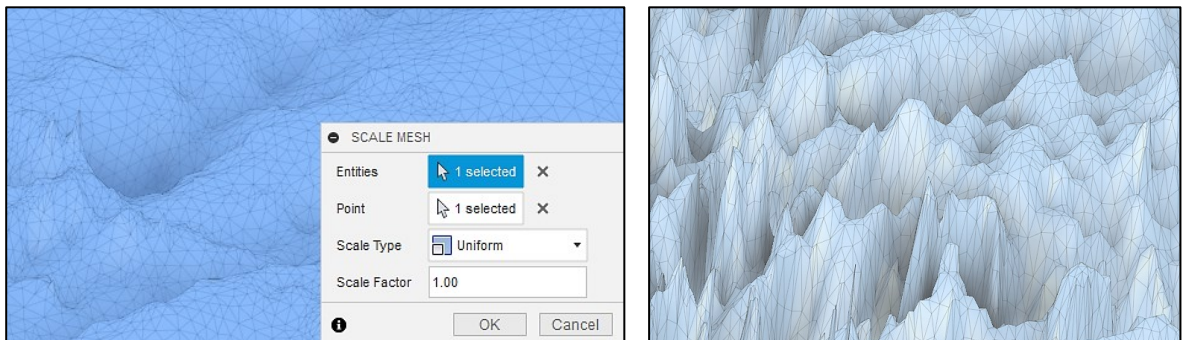
Obrázek 69. Ukázka funkce Reverse normal

- **Separate**

Je převrácenou funkcí ke „Combine“. Separate naopak od Combine umožňuje rozdělit jedno tělo v těla původní.

- **Scale mesh**

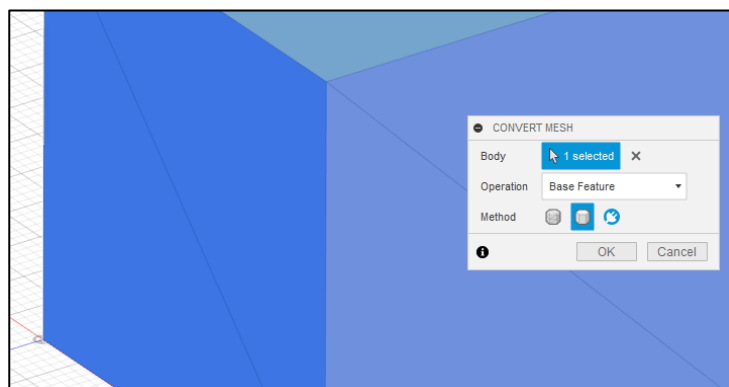
Scale – změna v měřítku. Dokáže celou síť zvětšit nebo zmenšit v zadaném měřítku.



Obrázek 70. Ukázka funkce Scale mesh při zvýraznění drsnosti povrchu

- **Convert mesh**

Opačná funkce k funkci Teselate. Convert mesh vytvoří ze sítě 3D model.



Obrázek 71. Ukázka funkce Convert mesh

9 MODELOVÁNÍ VZOROVÉHO PŘÍKLADU POMOCÍ PLOCH

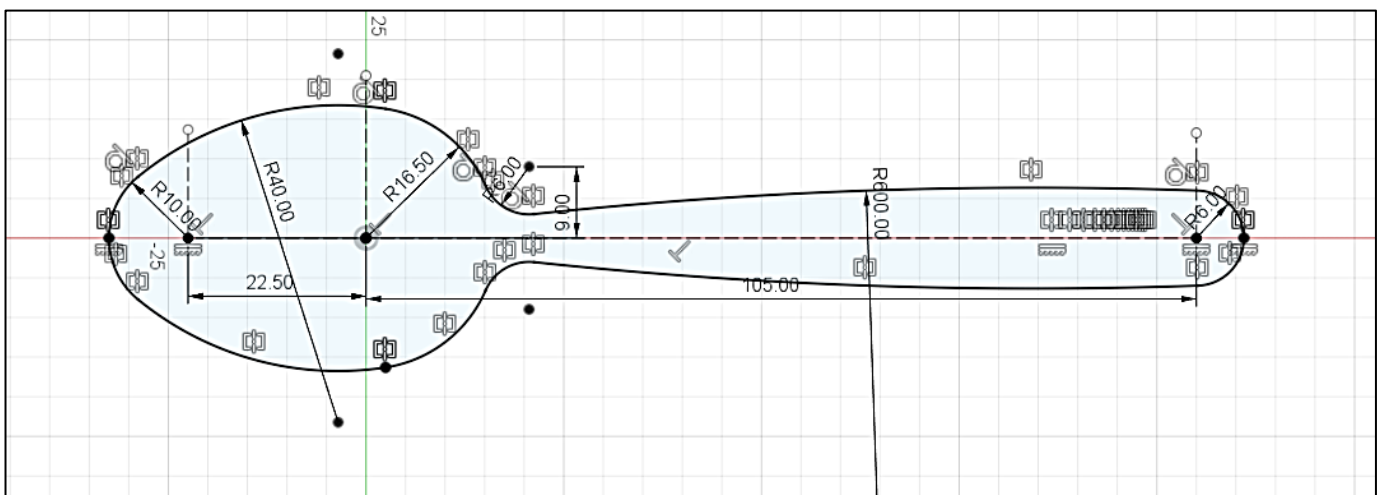
V následující kapitole je podrobně popsáno modelování vzorového příkladu. Tento popis může sloužit osobám, které mají zájem procvičit si modelování v programu Fusion 360. Jako zajímavý příklad pro plošné modelování byla vybrána lžíce.



Obrázek 72. Výsledný produkt modelování

9.1 Hlavní tvar

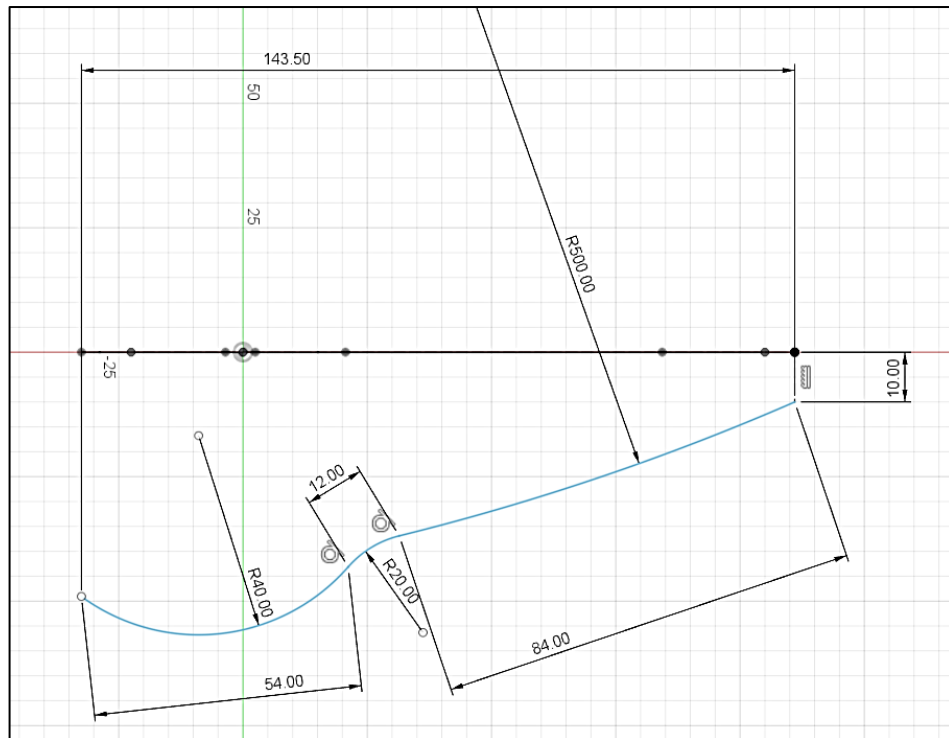
Základem lžíce je následující skica. Tato skica byla načrtnuta v rovině XZ – „top“. Veškeré potřebné rozměry a vazby jsou uvedeny v následujícím obrázku.



Obrázek 73. Hlavní tvar lžíce

9.2 Ohnutí – boční pohled

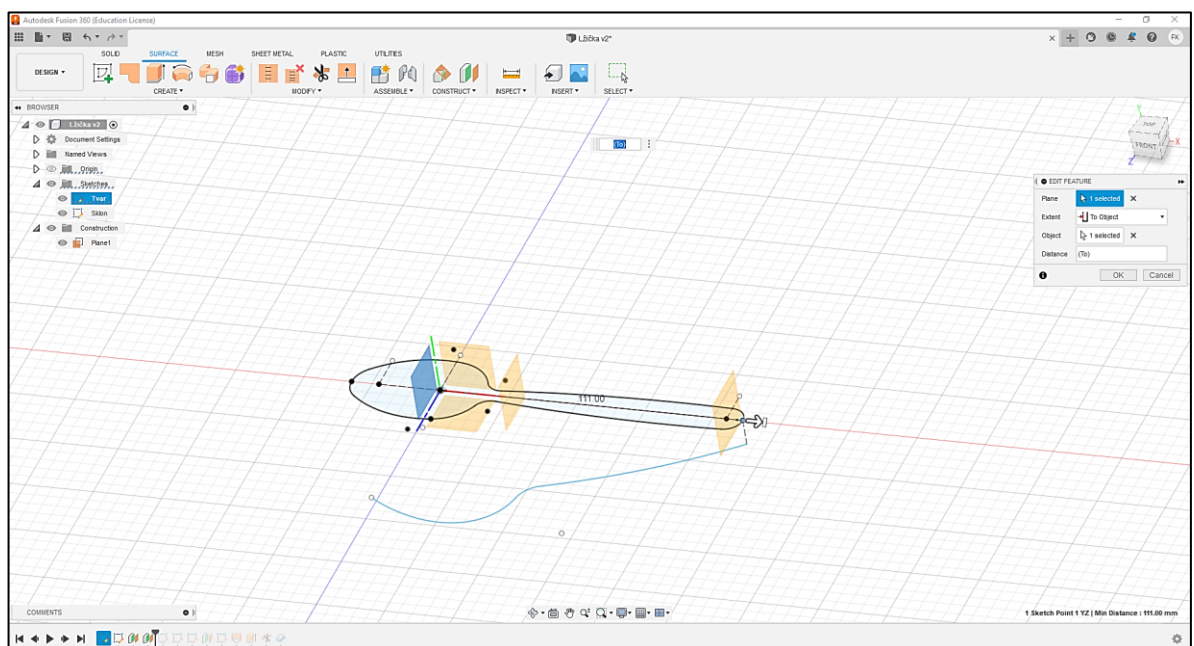
Po načrtnutí základního tvaru samotné lžíce je potřeba nakreslit boční pohled, který bude tvořit prohnutí lžíce a rukojeti. Skica je načrtnuta v rovině XY – „front“. Jednotlivé parametry jsou opět uvedeny v obrázku.



Obrázek 74. Definice prohnutí lžíce

9.3 Vytvoření pomocných rovin – pravá strana

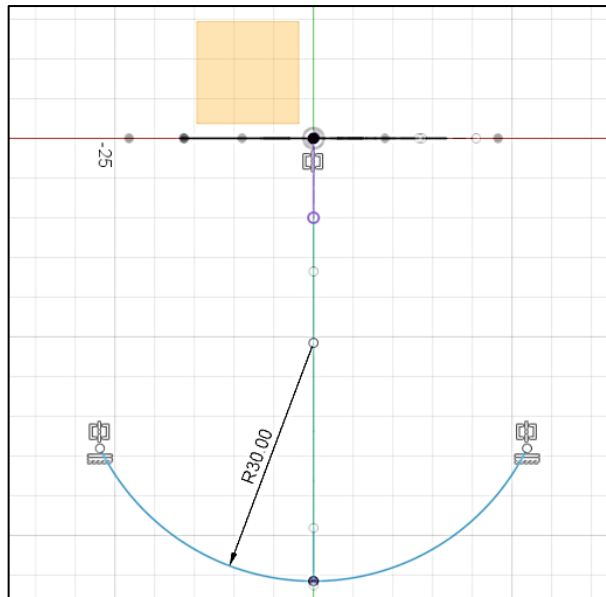
Nyní je vytvořený boční pohled, nezbytný pro vedení zatím neexistujících profilů. V tomto kroku dojde k odsazení jednotlivých rovin od hlavní roviny YZ. První je odsazena o + 31,42 mm a druhá z rovin je odsazena do posledního bodu na hlavním tvaru. Tento bod je nutné promítnout pomocí klávesové zkratky „P“ nebo souborem funkcí „Project / Include“.



Obrázek 75. Pomocné roviny pro tvorbu lžice

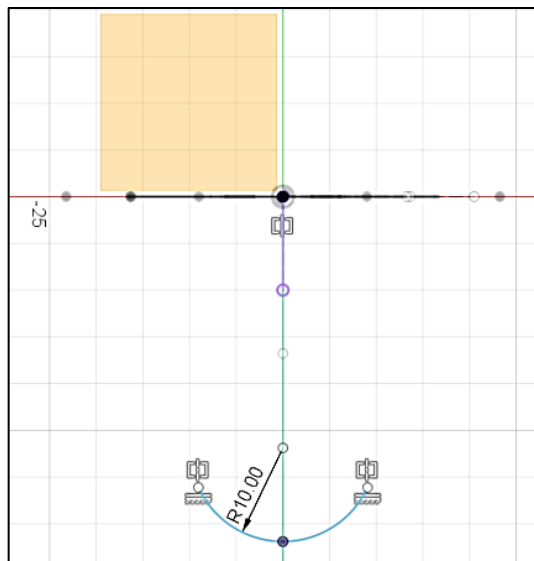
9.4 Načrtnutí taženého profilu – pravá strana

V tomto kroku dojde k načrtnutí jednotlivých skic ve třech rovinách, které byly připraveny. Do každé z rovin je nezbytné načrtnout oblouk, který bude symetrický vzhledem k ose X (ose, která dělí základní tvar lžice na poloviny). Zároveň jsou koncové body oblouků srovnány vazbou „Horizontal/Vertical“. První profil je umístěný přímo do hlavní osy YZ.

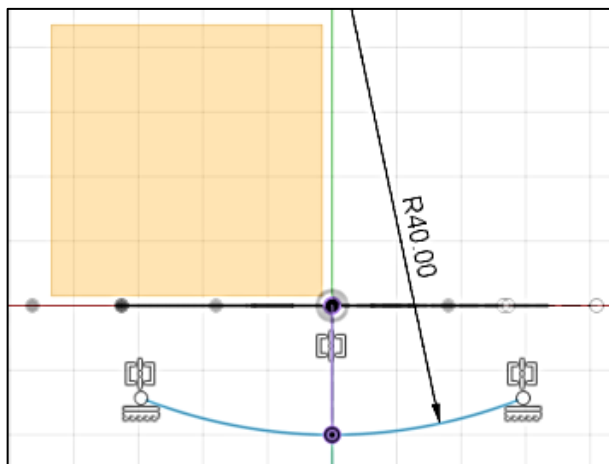


Obrázek 76. První profil

Druhý profil je umístěný do odsazené roviny o 31,42 mm a třetí profil je v nejvzdálenější rovině.

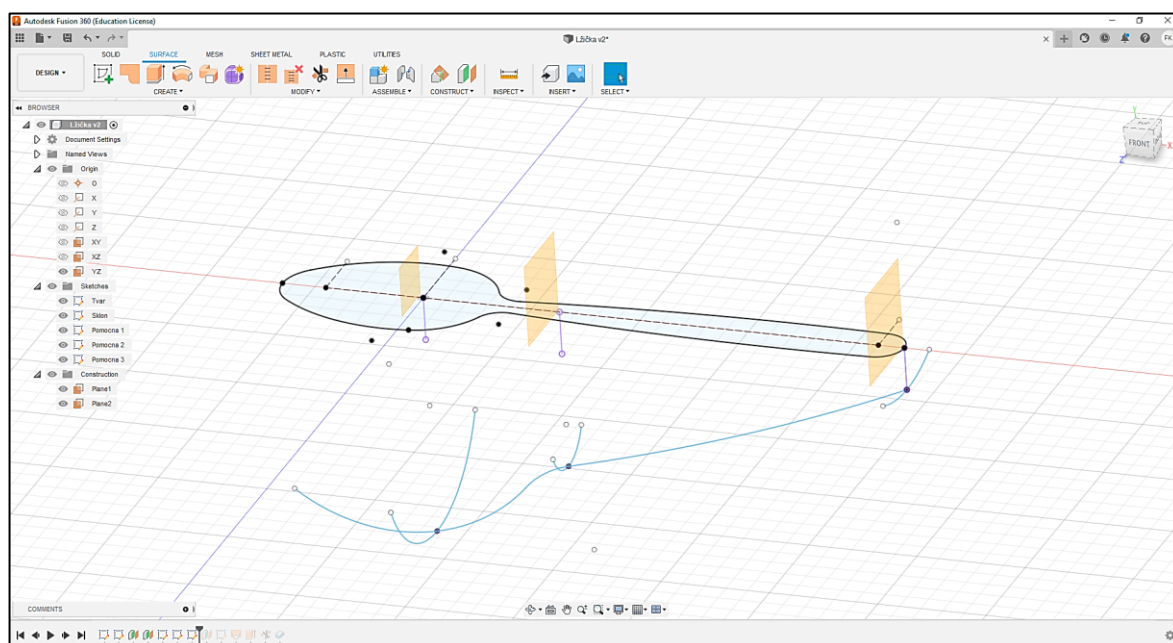


Obrázek 77. Druhý profil



Obrázek 79. Třetí profil

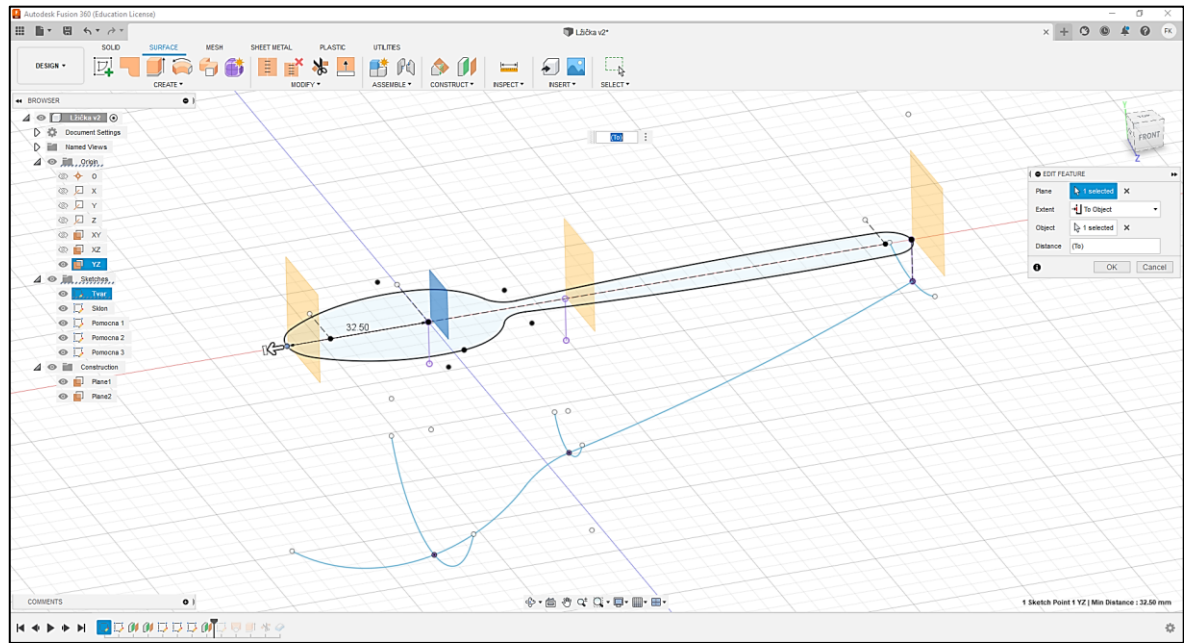
Pro kontrolu správnosti nakreslených profilů je přiložen následující obrázek, který zobrazuje všechny skici na pravé straně včetně jednotlivých profilů.



Obrázek 78. Kontrola načrtnutých skic a profilů

9.5 Vytvoření pomocných rovin – levá strana

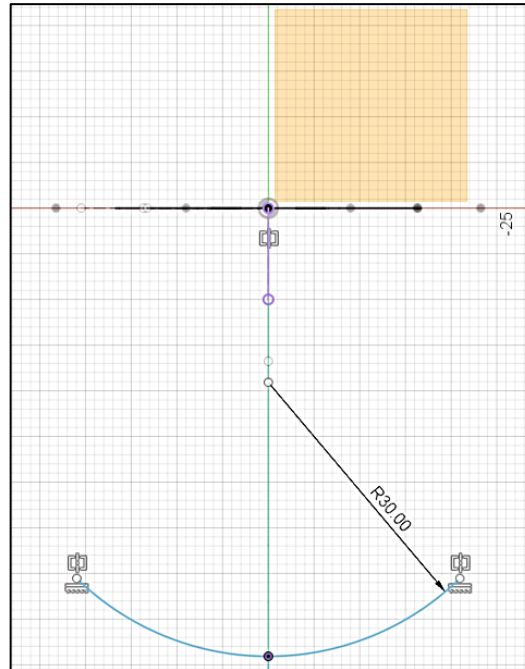
Pravá strana od roviny YZ je tímto vyřešena. Na levé straně zbývá vytvořit jednu pomocnou rovinu, která bude umístěna do koncového bodu „špičky“ lžice. Jedná se o odsazení základní roviny YZ do koncového bodu, který je potřeba promítnout, jak bylo popsáno výše.



Obrázek 80. Poslední pomocná rovina

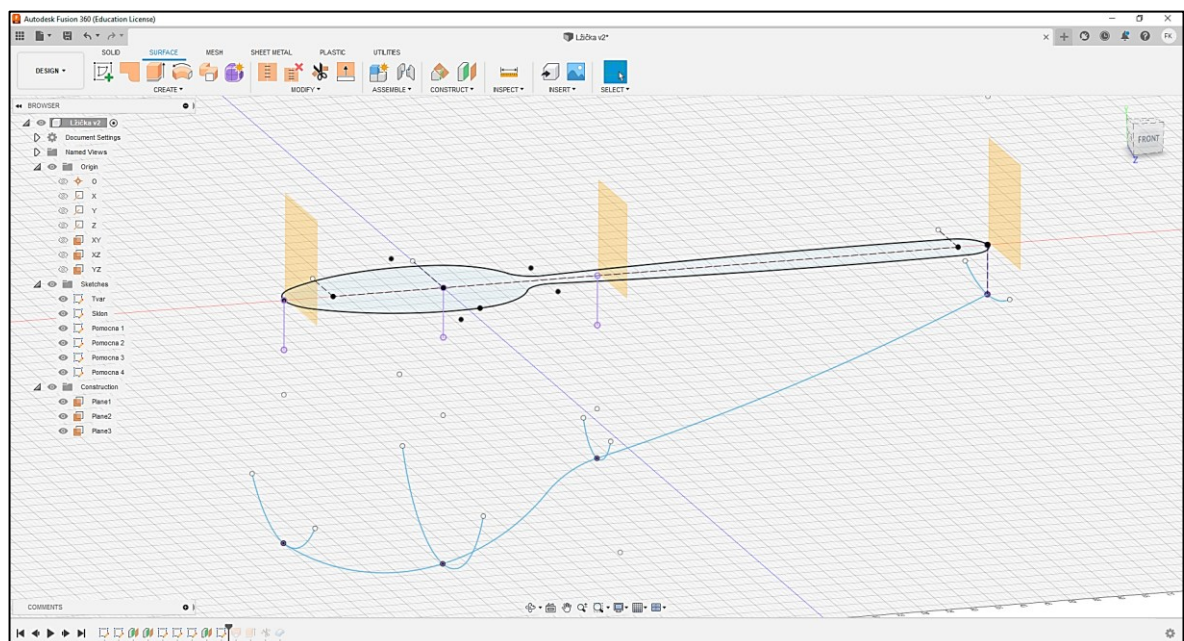
9.6 Načrtnutí taženého profilu – levá strana

Stejně jako u předchozí pravé strany je nezbytné načrtnout do vytvořené skici (levé strany) profil. Profil má následující parametry.



Obrázek 81. Čtvrtý profil

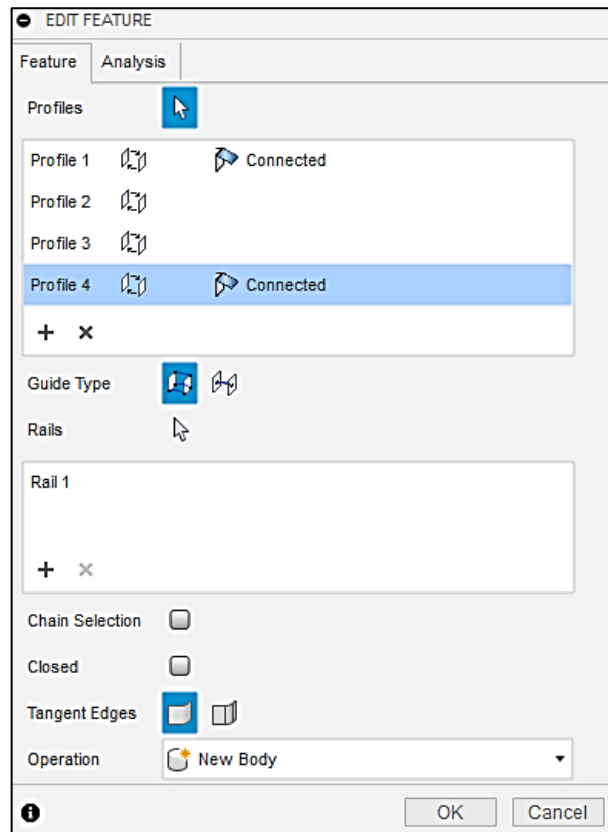
Pro kontrolu je zde přiložen Obrázek 82., který obsahuje všechny načrtnuté roviny včetně skic.



Obrázek 82. Veškeré roviny včetně skic

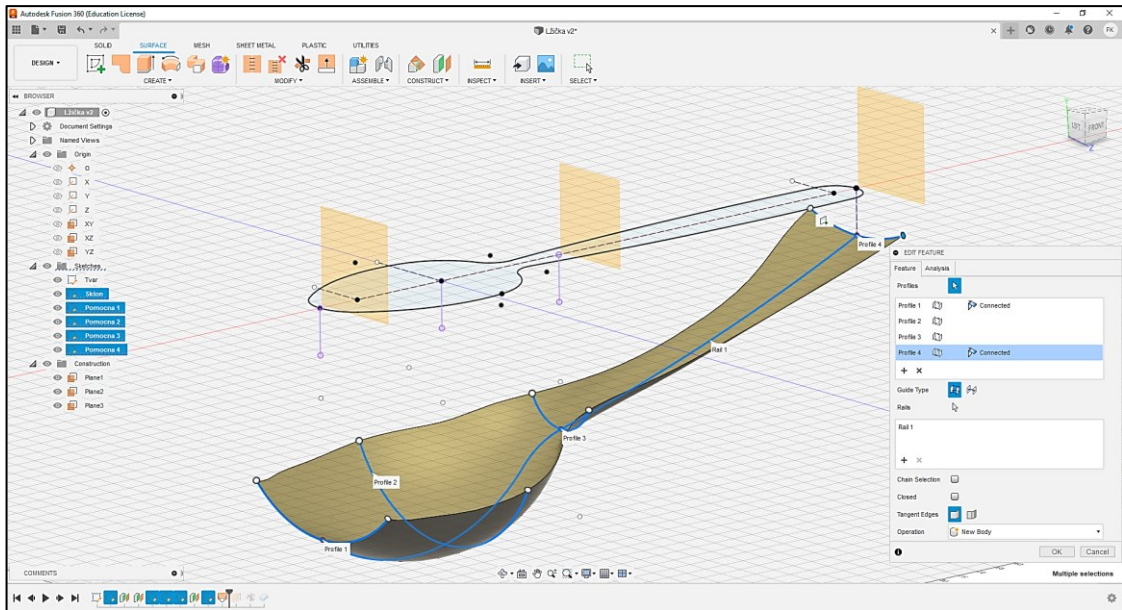
9.7 Vytažení hrubého tvaru lžice

Pro vytažení hrubého tvaru lžice byla použita funkce „Loft“. Tato funkce potřebuje ke správnému fungování jednotlivé profily, které lze vybrat kliknutím myši. Vždy je nezbytné vybrat profil a následně kliknout na symbol „+“, pro přidání dalšího. Celkem se tedy v prvním rámečku objeví čtyři profily. Druhou částí pro fungování je cesta, po které budou tyto profily vedeny. V aktuálním případě je cestou boční pohled, kde je potřeba klikat na jednotlivé části křivky postupně bez použití symbolu „+“.



Obrázek 83. Vybrání parametrů pro funkci Loft

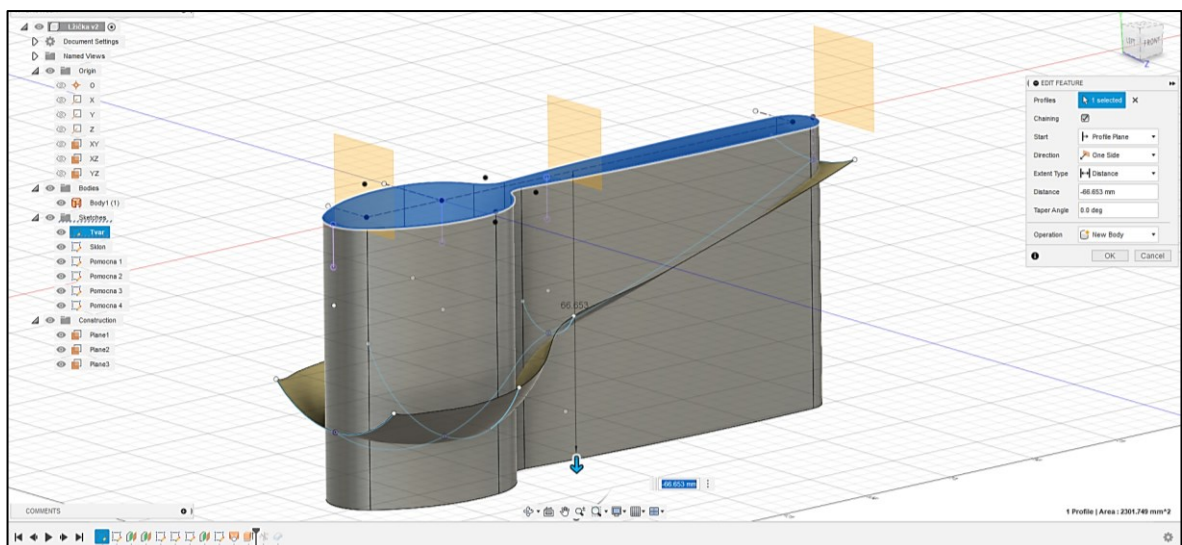
Pokud byly všechny parametry zadány správně, měl by výsledný „hrubý tvar“ lžice vypadat následovně.



Obrázek 84. Výsledný hrubý tvar lžice

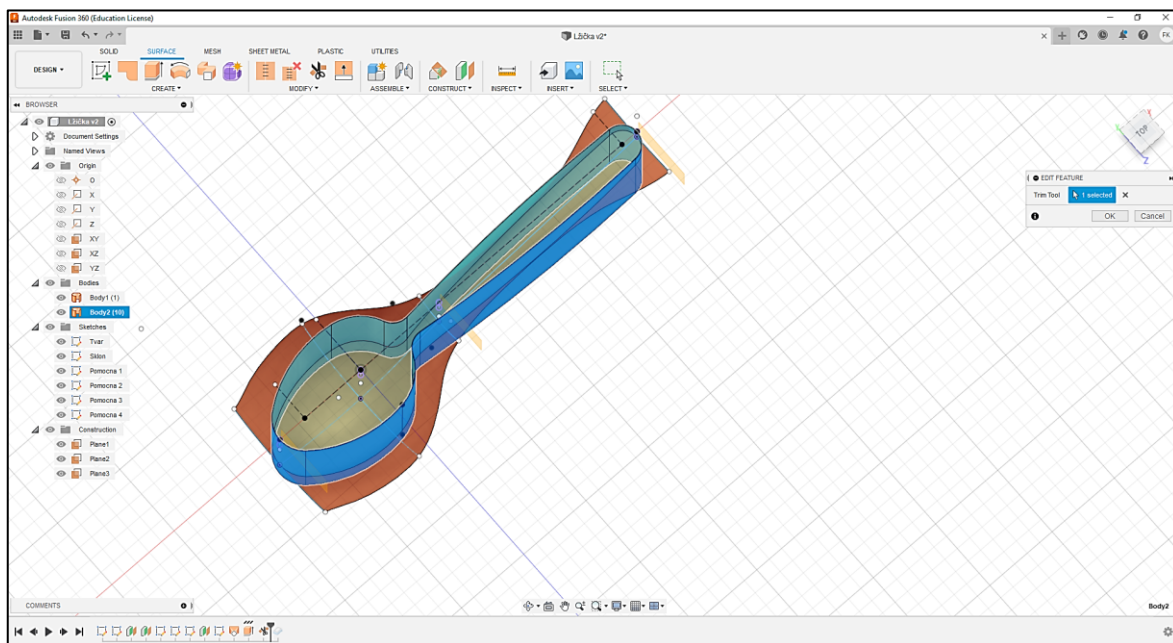
9.8 Vytvoření přesného tvaru

Pro vytvoření přesného tvaru bude použita základní skica. Základní skicu bude potřeba vytáhnout směrem k hrubému tvaru. Na přesné velikosti vytažení nezáleží, protože tento „Extrude“ bude sloužit pouze jako podpora pro využití „Trimu“ k oříznutí. I přesto by vysunutí mělo být delší než nejnižší část hrubého profilu.



Obrázek 85. Vytažení hlavního tvaru lžice

Vytažením došlo k protnutí, díky kterému lze využít funkci „Trim“. První výběr v dialogovém okně slouží k volbě nástroje, kterým bude stříháno. Druhý výběr značí zbytek, který má být odebrán. Hlavní tvar je zvolen jako nástroj a přebytečné hrany jako zbytek k odebrání.



Obrázek 86. Oříznutí hrubého tvaru

9.9 Přidání tloušťky

Výsledný tvar lžice, kterému bude přidána tloušťka, se objeví po zakrytí vytažení „hlavního tvaru“ z předchozích kroků. Skrytí lze provést ve stromovém prohlížeči kliknutím na „oko“. V tomto příkladu byla použita tloušťka 0,5 mm symetricky na obě strany.



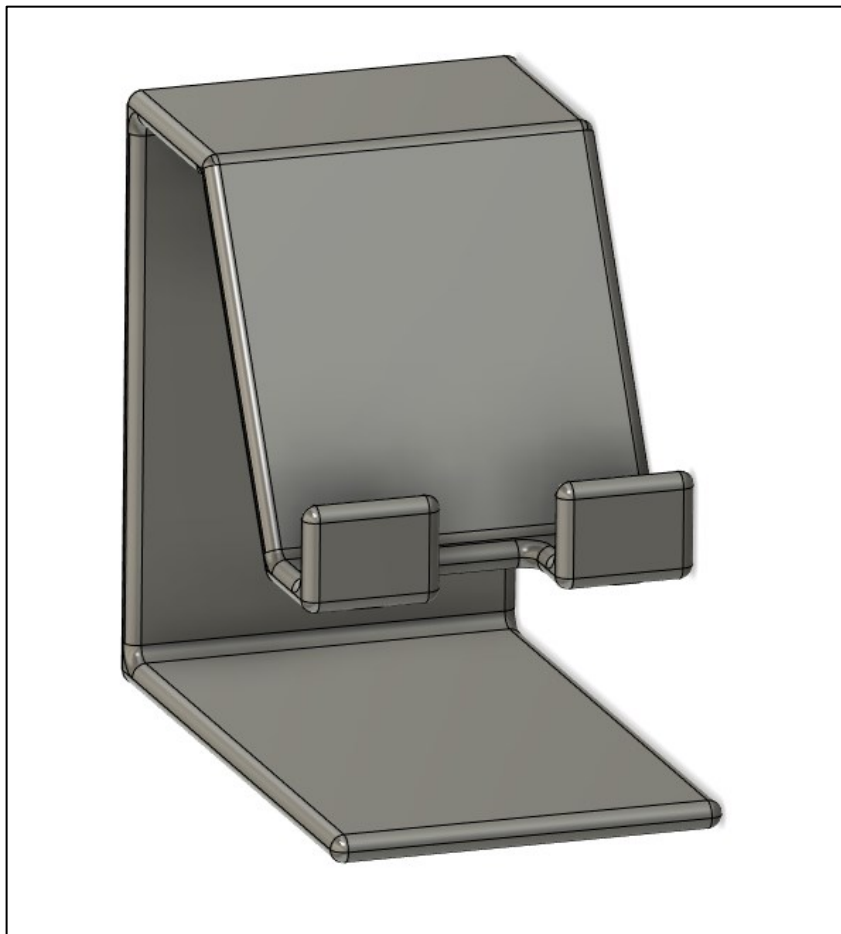
Obrázek 87. Přidání tloušťky

10 VZOROVÁ ÚPRAVA STL MODELU A NÁSLEDNÁ PŘÍPRAVA PRO 3D TISK

V této kapitole je nastíněna práce s STL modelem a jsou zde znázorněny základní postupy, které se dají využít na jakýkoliv jiný příklad. Během první úpravy došlo k přemodelování již existujícího STL souboru. Druhá úprava ukazuje vytvoření objemového tělesa z STL povrchu.

10.1 Úprava STL modelu a následný export do STL

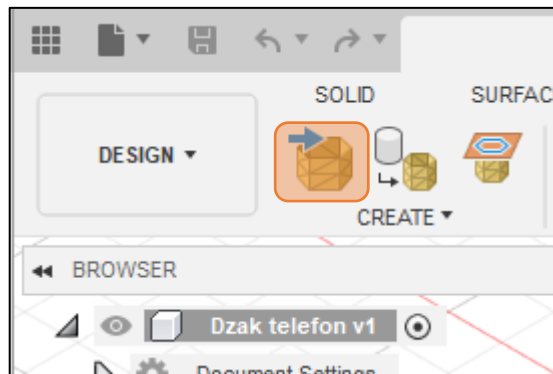
Prvním modelem, který poslouží pro názornou ukázkou je držák na telefon, na kterém došlo k přemodelování nechtěného prvku. Tento STL soubor byl stažen z webu Thingiverse [25]



Obrázek 88. Držák telefonu

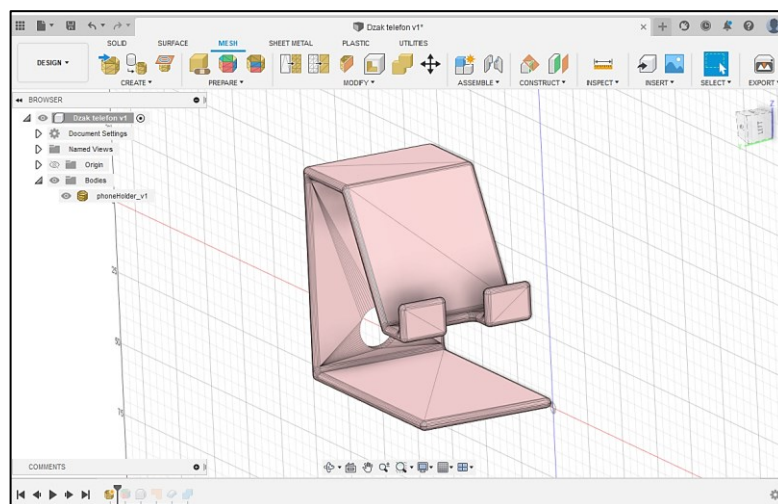
10.1.1 Vložení STL

Soubor je možné vložit pomocí funkce „Insert mesh“.



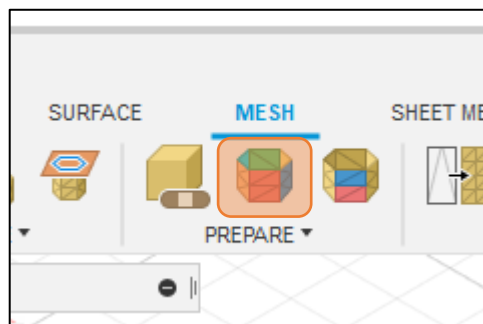
Obrázek 89. Ikona Insert mesh

Souřadné osy zůstaly bez změny podle toho, jak byl model vymodelován. Na vloženém modelu lze vidět jednotlivé segmenty, které vznikly pomocí teselace 3D modelu.



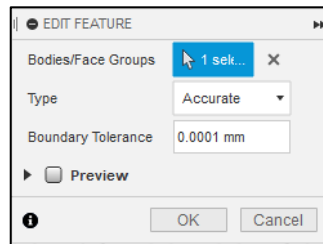
Obrázek 90. Vložený držák

10.1.2 Převod sítě na těleso



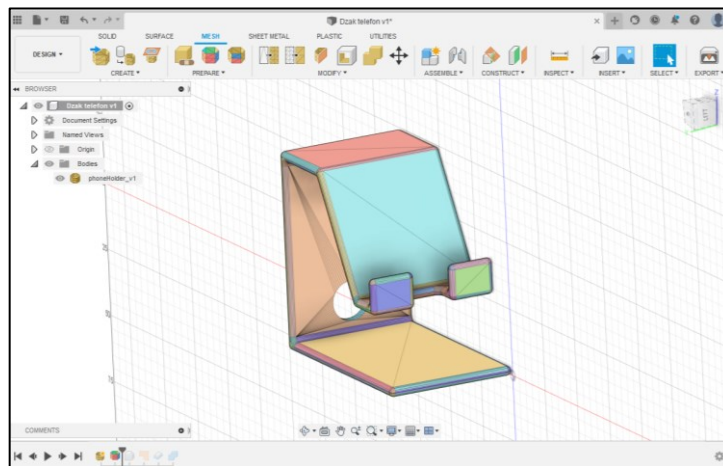
Obrázek 91. Ikona Generate face groups

Než bude možné síť převést na těleso, je potřeba funkcí „Generate face groups“ vytvořit jednotlivé skupiny.



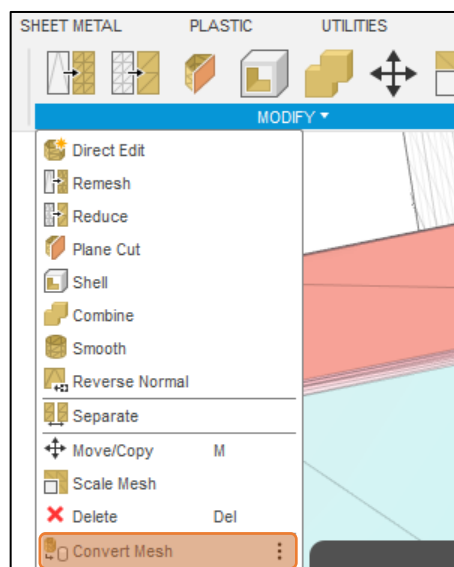
Obrázek 92. Dialogové okno Generate face groups

V těchto skupinách budou zařazeny elementy s podobnými vlastnostmi. Stejná barva na síti znázorňuje podobné vlastnosti elementů.



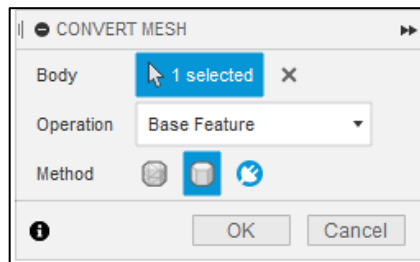
Obrázek 93. Vytvoření jednotlivých skupin

Díky těmto skupinám je možné převést celou síť na jednoduší tvar. K převodu na objemové tělo bude použita funkce „Convert mesh“.



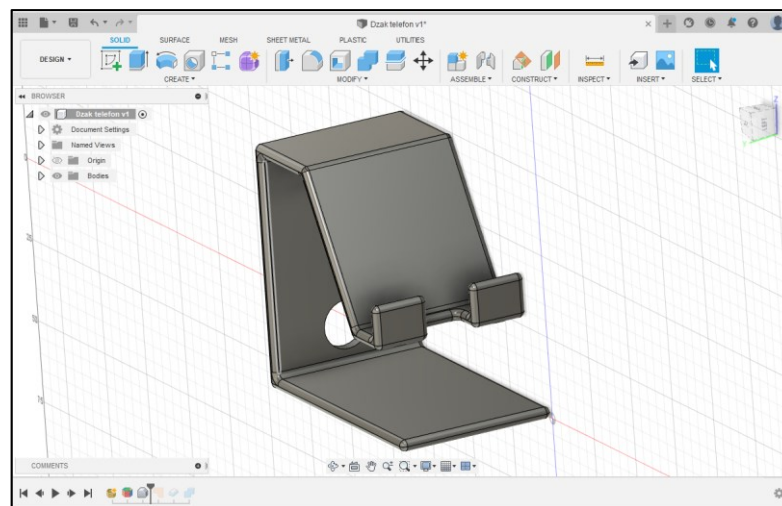
Obrázek 94. Ikona funkce Convert mesh

Kliknutím na funkci se zobrazí dialogové okno, kde je nutné vybrat převáděnou síť, operaci změnit na „Parametric“ a jako metodu zvolit „Prismatic“.



Obrázek 95. Dialogové okno Convert mesh

Potvrzením tlačítkem „OK“ dojde k převodu sítě na objemové těleso.

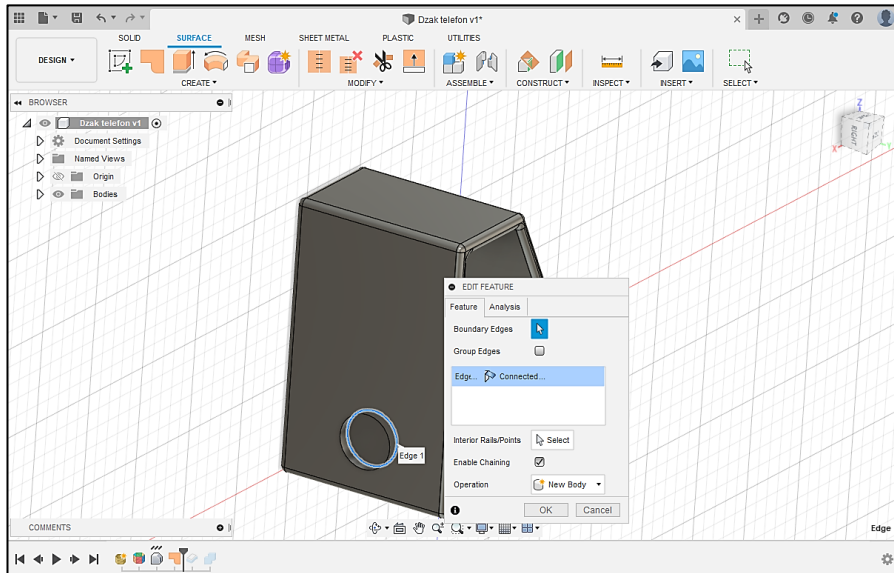


Obrázek 96. Převod na objemové tělo

Bez použití „Generate face groups“ by nebylo možné vytvořit takovýto model. Fusion 360 by nedokázal vyřešit zaoblení a tvary děr.

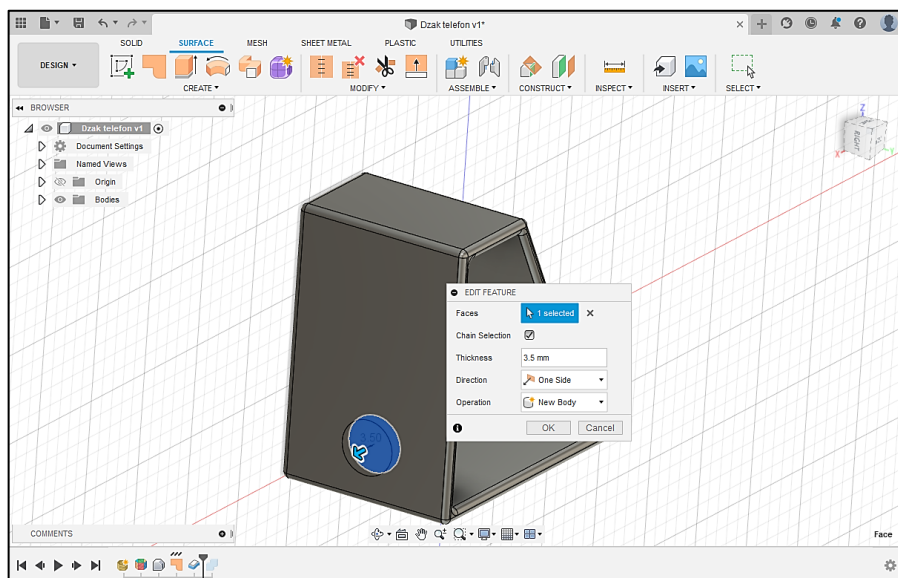
10.1.3 Provedení změny na držáku

Pro ukázkovou změnu bylo zvoleno odstranění otvoru v těle držáku. Funkcí „Patch“ lze vybrat celý otvor a na jeho okraji vytvořit plochu.



Obrázek 97. Vyplnění otvoru funkcí Patch

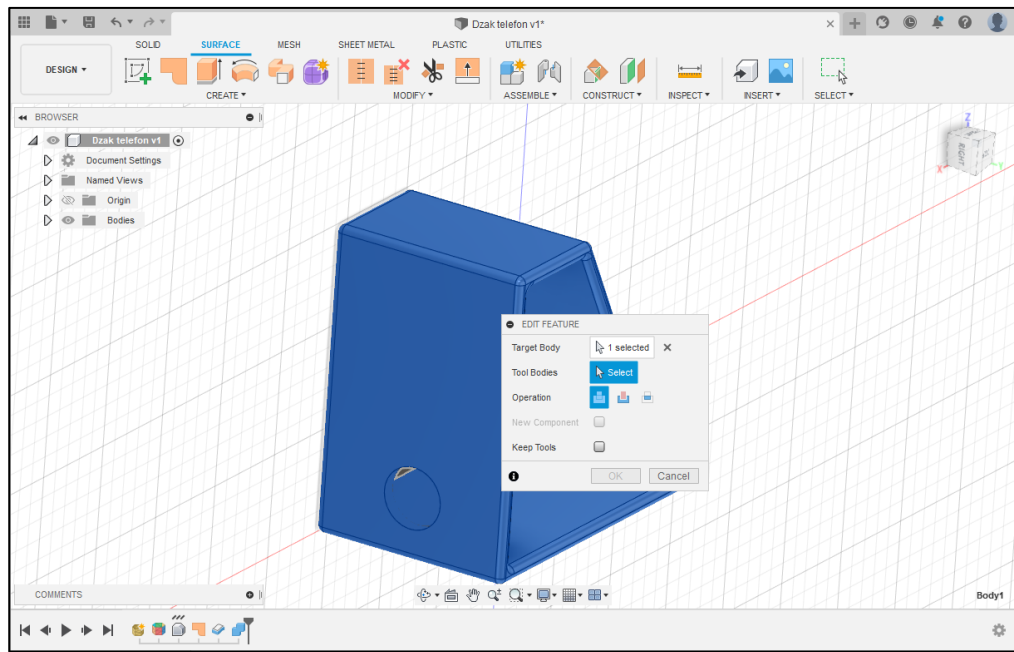
Nově vzniklá plocha nemá žádnou tloušťku. Jedná se o plochu bez rozměru. Přidání tloušťky 3,5 mm bude provedeno pomocí „Thicken“.



Obrázek 98. Přidání rozměru funkcí Thicken

10.1.4 Vytvoření jednoho objemového těla

Aktuální model obsahuje dvě těla. Jedním tělem je samotný držák a druhým zalepený otvor. Tato dvě těla je nezbytné spojit. Ke spojení poslouží funkce „Combine“. Spojením se bude celý držák chovat jako jedno objemové tělo.



Obrázek 99. Kombinace těles funkcí Combine

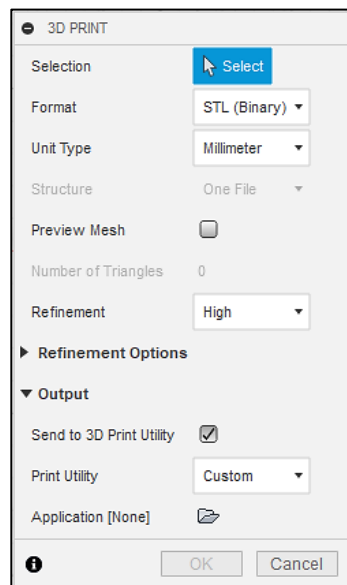
10.1.5 Převod na STL soubor

Aby bylo možné povrch vytisknout na 3D tiskárně, musí dojít k převedení na STL soubor. V programu Fusion 360 lze tento převod udělat dvěma způsoby.

Prvním způsobem je odeslání souboru přímo do Sliceru. Soubor se tedy z programu přemístí přímo Sliceru, kde mohou být nastaveny další parametry. Tento způsob je vhodný pouze v případě, že počítač disponuje takovým programem.

V dialogovém okně se zobrazí jednotky, v jakých má výsledné STL být, rozlišení, kde je možné vybrat mezi „High“, „Medium“, „Low“ a „Custom“. Rozdíly mezi jednotlivými volbami jsou podrobněji rozebrány v teoretické části bakalářské práce.

Pokud je na počítači nainstalován Slicer, lze zaškrtnout „Send to“ a vybrat „Print utility“. Po kliknutí na tlačítko „OK“ dojde rovnou k otevření programu s načteným STL modelem.



Obrázek 100. Dialogové okno převodu do STL

Druhý způsob se využije v případě, že na počítači Slicer není. Je možné odškrtnout „Send to“ a rovnou kliknout na tlačítko „OK“. Dojde k otevření cesty, kam má být daný soubor uložen.

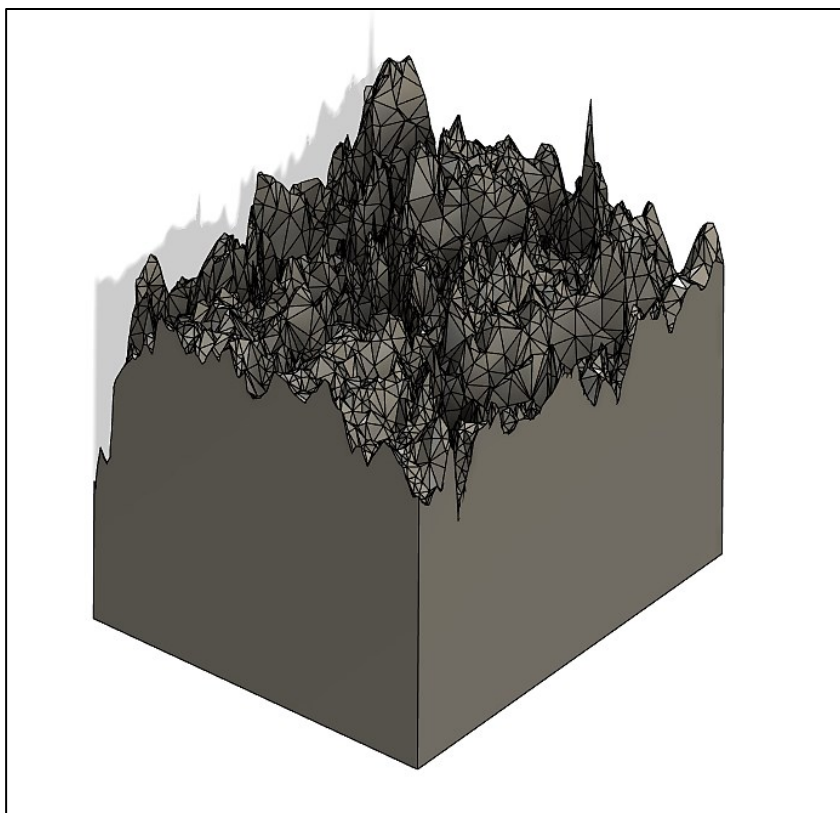


Obrázek 101. Hotový držák telefonu

10.2 Úprava skenovaného povrchu

Pro další vzorovou úpravu STL modelu poslouží 3D sken povrchu, který vznikl na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. Jedná se o mikro držák z polymerních materiálů vyráběný metodou vstřikováním. Povrch zaznamenal přístroj Newview 8000 zaměřený na bezkontaktní metrologická měření. Výsledek skenování se zobrazuje v Mx softwaru. Může se stát, že u téměř kolmých povrchů není přístroj schopný zajistit data a tím vznikají prázdná místa. Nový software dokáže tento problém snadno vyřešit a pomocí složitých vzorců výsledný povrch dopočítat. V minulosti se tento problém řešil převedením do STL a následnou úpravou v jiném softwaru. Cílem této cvičení je zakřivení upravit tak, aby se výsledek dal vytisknout na 3D tiskárně a byla eliminována prázdná místa. Takto zhmotněný povrch může následně sloužit pro prezentaci před zákazníkem. Zákazník si díky hmotnému produktu dokáže problematiku vybavit mnohem lépe, než kdyby mu byl předložen pouhý snímek.

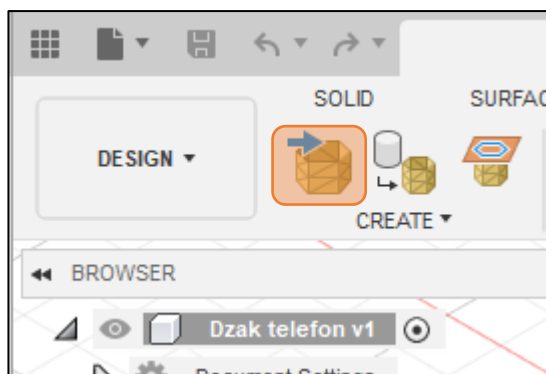
Vzorová úprava bude zobrazovat pouze jednu ze čtyř částí celku. Každá část se nachází v samostatném souboru. Z technických důvodů nebylo možné upravit povrch jako celek. Zbylé části jsou tvořeny dle stejného postupu. Liší se pouze jednotlivé offsetové roviny, podle kterých je každá část oříznuta.



Obrázek 102. Výsledná část úpravy povrchu

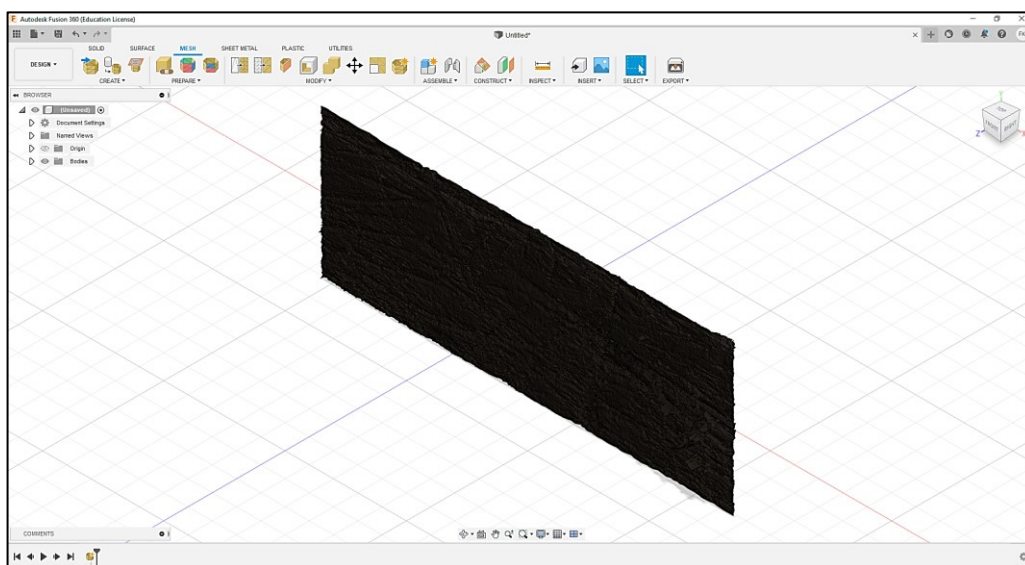
10.2.1 Vložení souboru STL a přetvoření sítě

Soubor je možné vložit pomocí funkce „Insert mesh“.



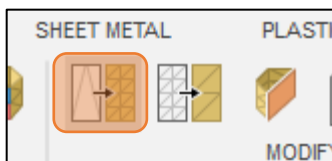
Obrázek 103. Vložení pomocí Insert mesh

Ihned po vložení je téměř nemožné začít pracovat. Vložený soubor obsahuje obrovské množství elementů, které je nutné částečně přeskupit. Bez přeskupení dochází k výpadkům programu, kvůli nedostatečnému výkonu počítače.



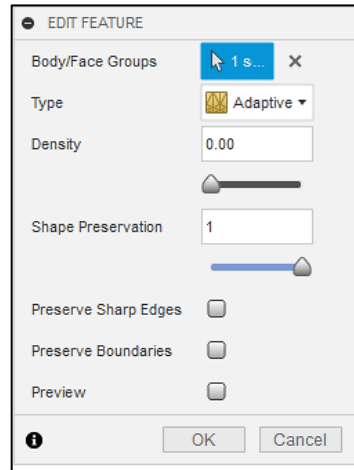
Obrázek 104. Vložený povrch

K přeskupení je vhodné použít funkci „Remesh“.



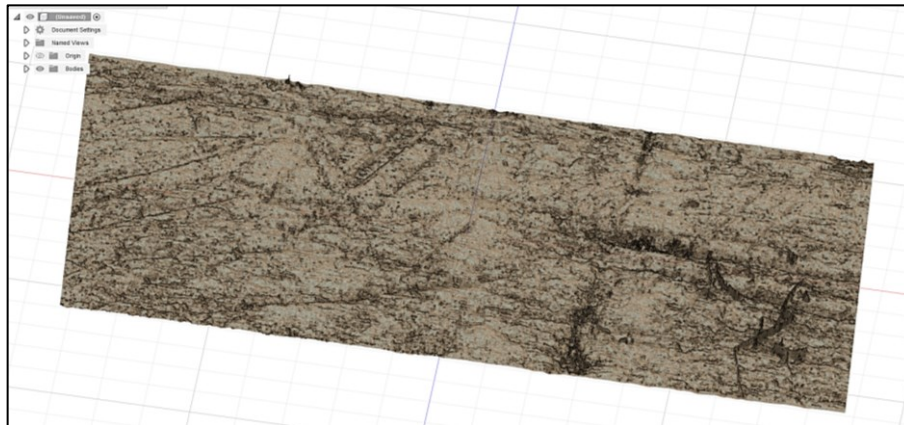
Obrázek 105. Ikona funkce Remesh

Cílem je získat přesný povrch, proto je nezbytné při použití této funkce zvolit 100% „Shape preservation“. Tím dojde k přeskupení elementů a zároveň k zachování původní ostrosti tvaru.



Obrázek 106. Dialogové okno funkce „Remesh“

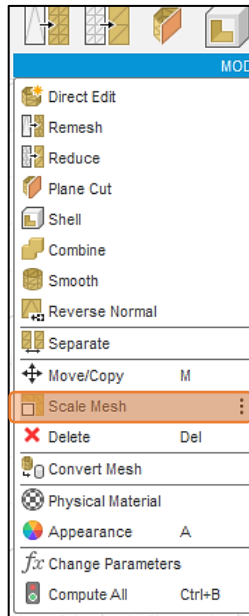
Výsledek po přepočítání pomocí funkce „Remesh“ vypadá následovně.



Obrázek 107. STL po použití „Remesh“

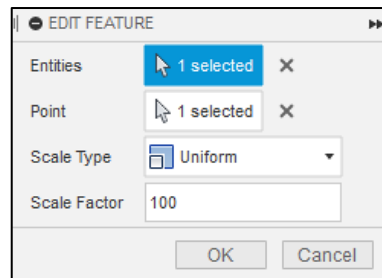
10.2.2 Zvýraznění povrchu – Scale

Jelikož je samotný 3D sken velmi malý (jedná se o řády desetin milimetrů), bude nutné ho zvětšit tak, aby bylo možné sken bez obtíží vytisknout a znázornit vše potřebné. Ke zvětšení lze využít funkci „Scale“.



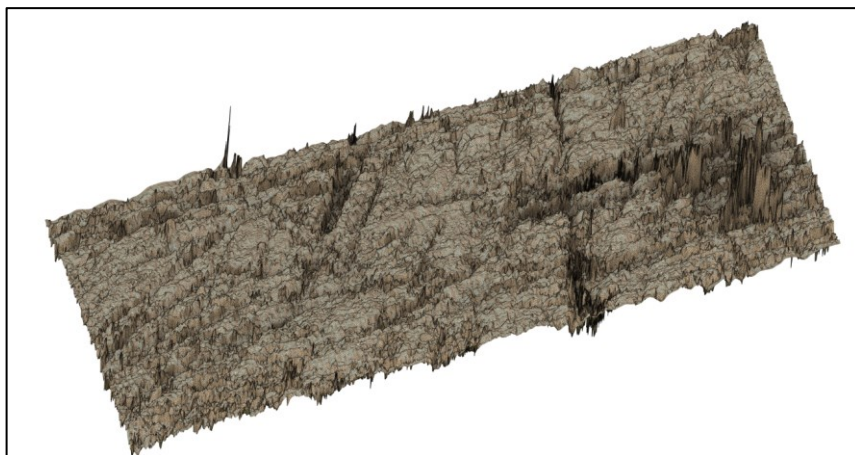
Obrázek 108. Ikona funkce Scale mesh

Celý povrch je zvětšen 100x v každé ose a následně ještě 7x v ose Z, čímž se nerovnosti vzniklé drsností povrchu dostatečně zvýrazní.



Obrázek 109. Dialogové okno funkce Scale mesh

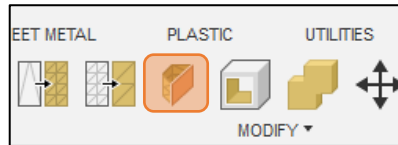
Pro zvětšení pouze v ose Z je nutné místo „Scale Type“ zvolit „Non uniform“. Díky tomuto výběru lze zadávat zvětšení v každé ose zvlášť.



Obrázek 110. Zvětšený povrch

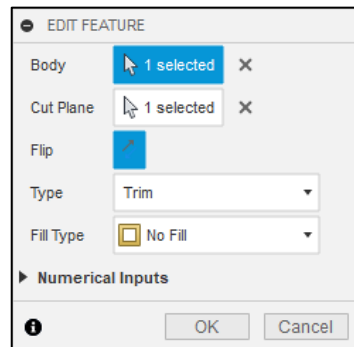
10.2.3 Oříznutí povrchu pomocí rovin

Aktuální povrch obsahuje přes 1 000 000 segmentů. Běžné stolní PC nejsou schopné pracovat s tak rozsáhlými objekty, proto je nezbytné vybrat pouze část, se kterou se bude dále pracovat. K oříznutí poslouží funkce „Plane cut“.



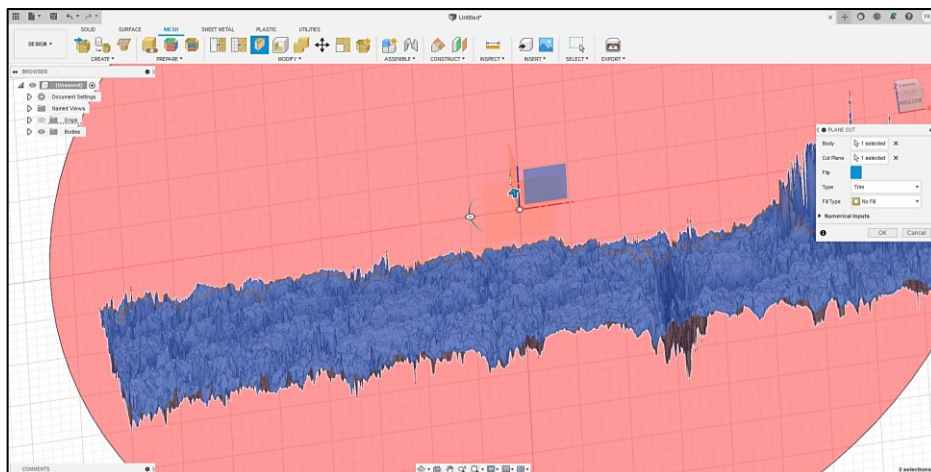
Obrázek 111. Ikona funkce Plane cut

Prvně volený prvek je ten, který je potřeba oříznout a následně typ oříznutí. Typem bude „Trim“. Trimem dojde k úplnému rozdělení a zakrytí odříznuté části.

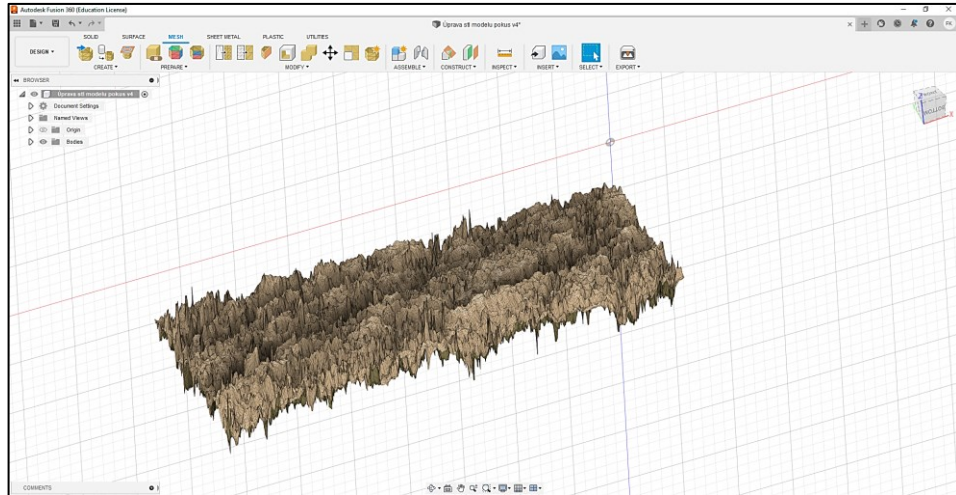


Obrázek 112. Dialogové okno Plane cut

První oříznutí je prováděno přes rovinu XZ a následné druhé oříznutí se stejnými parametry přes rovinu YZ.



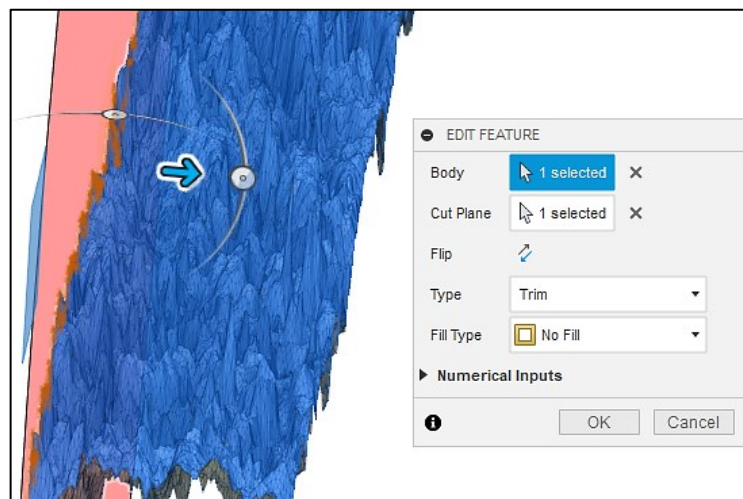
Obrázek 113. Oříznutí „meshe“ na polovinu



Obrázek 114. Výsledek hrubého oříznutí

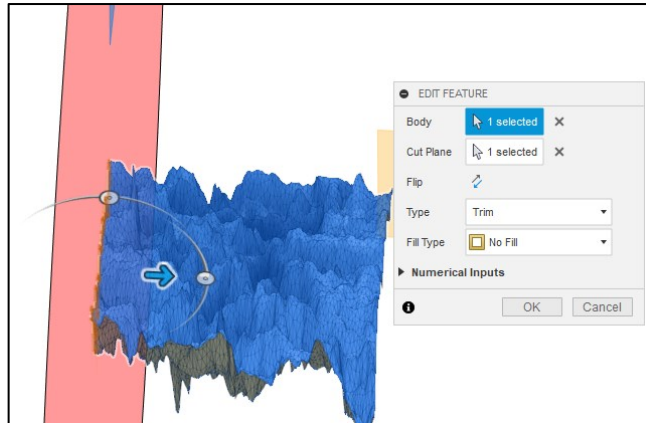
10.2.4 Oříznutí první části

Aktuální oříznutá část obsahuje přes 300 000 segmentů. Fusion 360 podporuje pro další práci 10 000. Lze pracovat i s větším počtem než 10 000, ale úpravy zabírají více času a slabší PC tyto úpravy nemusí zvládnout. Z tohoto důvodu je potřeba síť opět zmenšit. K oříznutí poslouží „offsetové roviny“. První rovina bude vycházet z XZ a odsazení -62 mm. Přes tuto rovinu dojde k oříznutí a zachování pravé části.



Obrázek 115. Vytvoření oříznutí XZ -62 mm

Druhá rovina bude vycházet z YZ a odsazení -72 mm. Odříznutím je nutné zachovat kratší část.



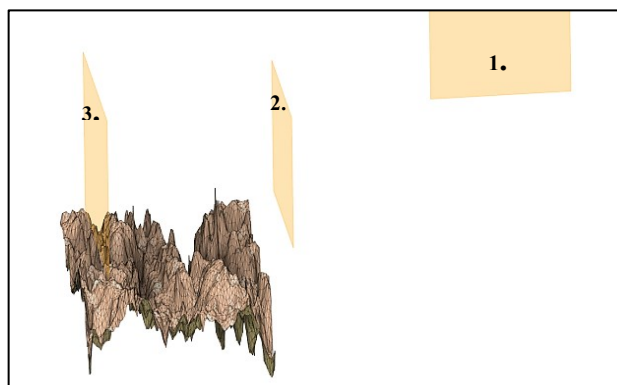
Obrázek 116. Vytvoření oříznutí YZ -72 mm

V prvním oříznutí došlo k vytvoření povrchu o rozměrech 72 x 62 mm. Tento rozměr bude ještě zkrácen o přesah 1 mm z každé strany. Přesah je nezbytný pro vytvoření objemového těla. Výsledný rozměr objektu vychází na 70 x 60 mm.

Při vytváření dalších částí je potřeba počítat s uvedeným přesahem.

10.2.5 Oříznutí druhé části

- 1. odsazení od YZ -72 mm
- 2. odsazení od XZ -60 mm
- 3. odsazení od XZ -122 mm

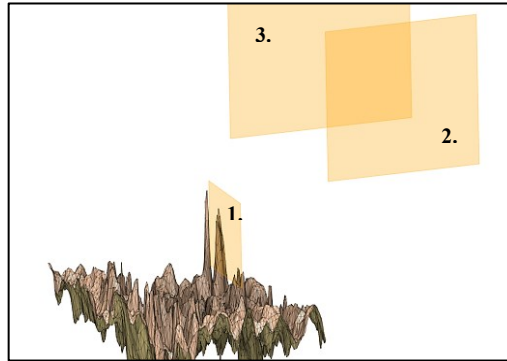


Obrázek 117. Oříznutí druhé části

Podle těchto rovin je provedeno následné oříznutí. Výsledný rozměr druhé plochy je shodný s předchozí plochou.

10.2.6 Oříznutí třetí části

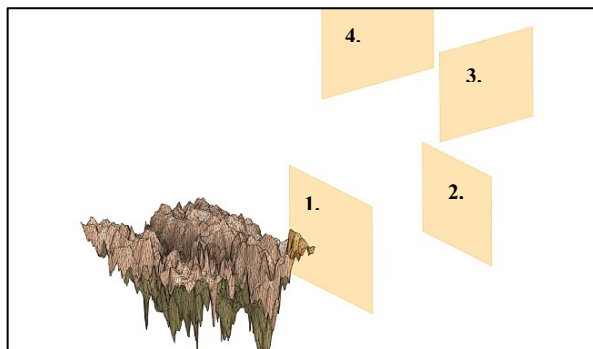
- 1. odsazení od XZ -22 mm
- 2. odsazení od YZ -70 mm
- 3. odsazení od YZ -142 mm



Obrázek 118. Oříznutí třetí části

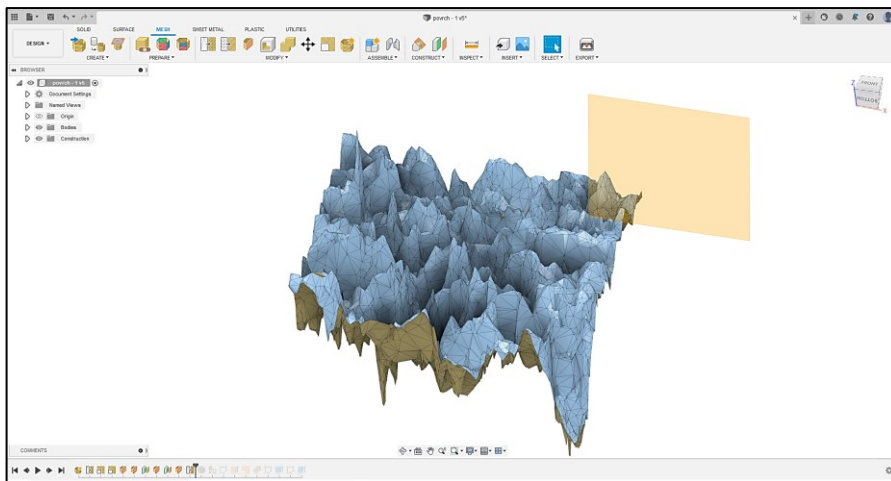
10.2.7 Oříznutí čtvrté části

- 1. odsazení od XZ -122 mm
- 2. odsazení od XZ -62 mm
- 3. odsazení od YZ -70 mm
- 4. odsazení od YZ -142 mm



Obrázek 119. Oříznutí čtvrté části

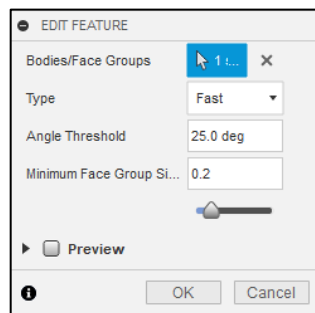
Během řezání a rozdělávání mohly zaniknout určité segmenty tvořící povrch, proto se nabízí možnost využít funkci „Remesh“ stejně jako v prvním kroku úprav.



Obrázek 120. Zredukování zaniklých elementů

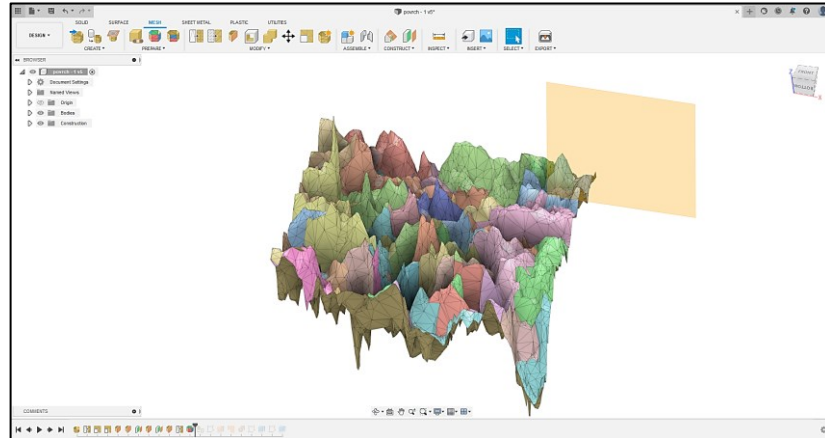
10.2.8 Face groups

Pro zrychlení výpočetních operací je dobré použít funkci „Generate face groups“, která spojí elementy se stejnými vlastnostmi do jedné skupiny. Pro pokrytí aktuální potřeby je zvolen jako typ „Fast“ s minimální velikostí 0,2 mm a úhlem 25°.



Obrázek 121. Dialogové okno Generate face groups

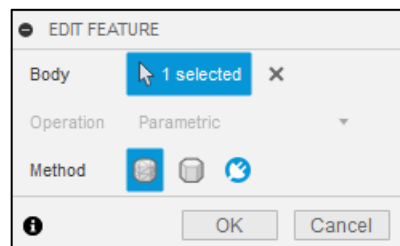
Počítač pak nemusí počítat jednotlivé elementy, ale pracuje se skupinami.



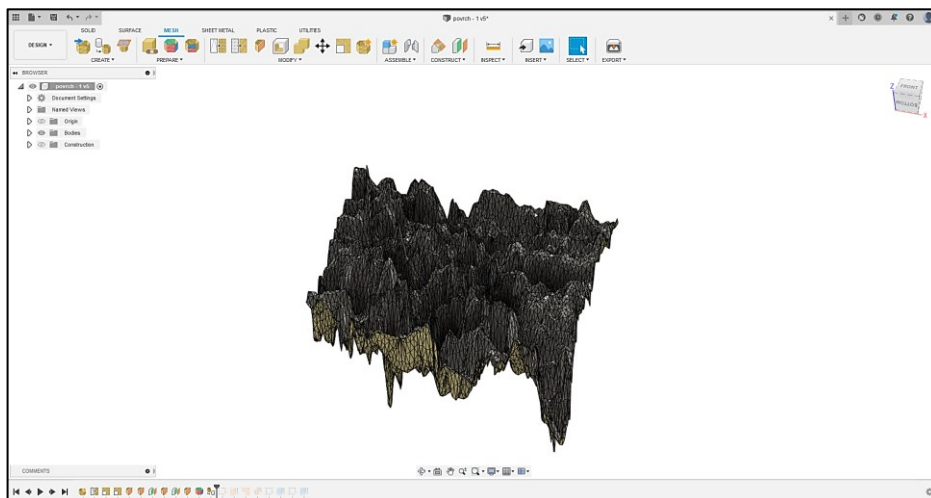
Obrázek 122. Vytvořené „face groups“

10.2.9 Převod na plochu

Nyní je možné bez zdlouhavého čekání a vypínání programu převést síť na plochu. K převodu poslouží funkce „Convert mesh“, kde je jako výsledný povrch zvolen „Faceted“. U zobrazení drsnosti povrchu není možné vytvořit hladký přechod stejně jako u držáku telefonu.



Obrázek 123. Dialogové okno Convert mesh

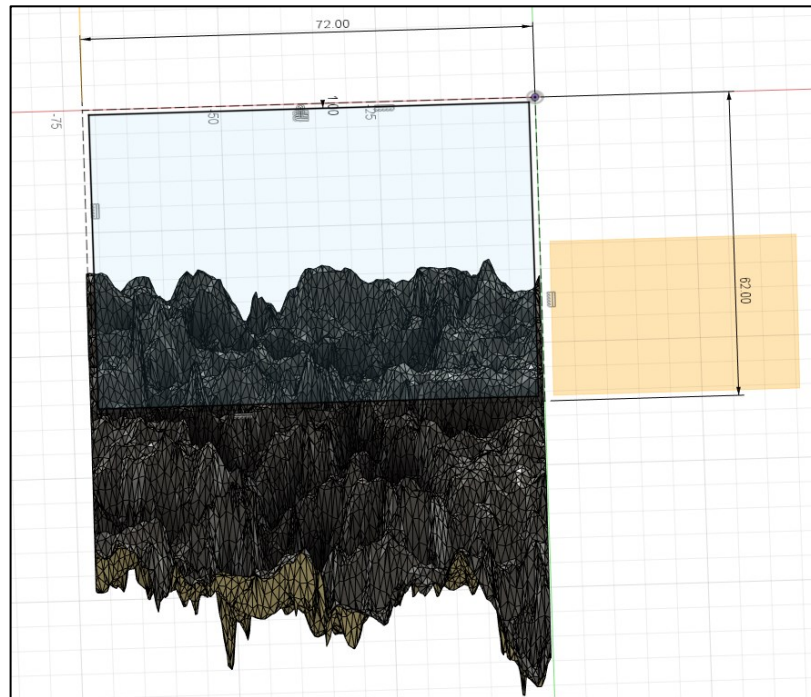


Obrázek 124. Convert mesh

10.2.10 Vytvoření objemu

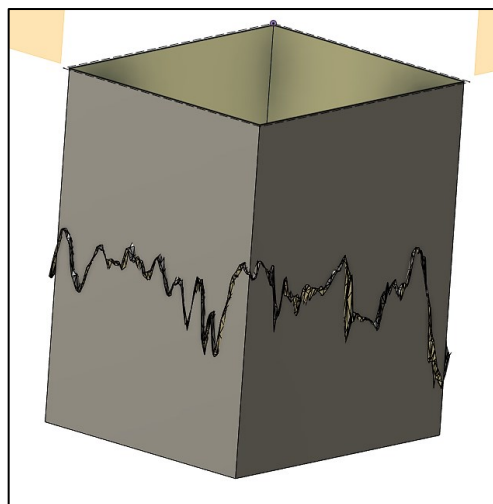
V následující kapitole bude demonstrativně ukázáno, jak vytvořit z pouhé sítě objem.

Na tuto část je potřeba nakreslit skicu. Skica vychází z roviny XY, kde byl nakreslen obdélník s rozměry části. Následně došlo k odsazení o 1 mm dovnitř.



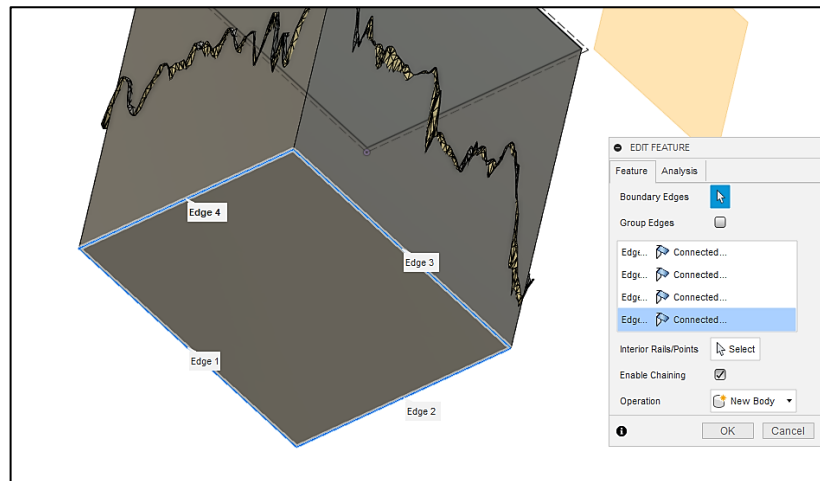
Obrázek 125. Skica pro vysunutí

Hotovou skicu je možné vysunout pomocí funkce „Extrude“ o -95 mm.



Obrázek 126. Vysunutí skici

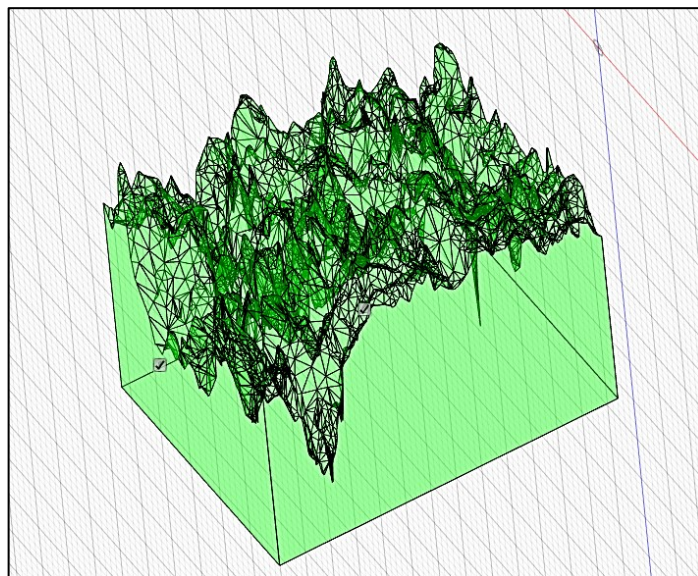
Dále je potřeba uzavřít spodní část pomocí funkce „Patch“.



Obrázek 127. Uzavření profilu funkcí Patch

K automatickému vytvoření objemu poslouží funkce „Boundary fill“.

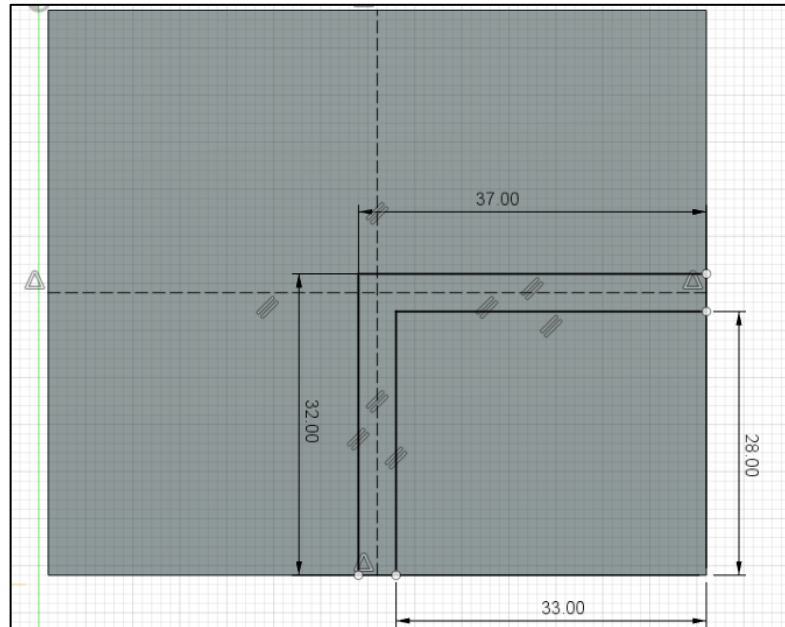
První výběr do této funkce představuje „ohraničení“ objemu. V tomto případě se jedná o „povrch“, extrude a patch. Další výběr značí, kde má vzniknout objem. Aby zmizely přebytečné části, je nutné zatrhnout možnost „Remove tools“.



Obrázek 128. Boundary fill

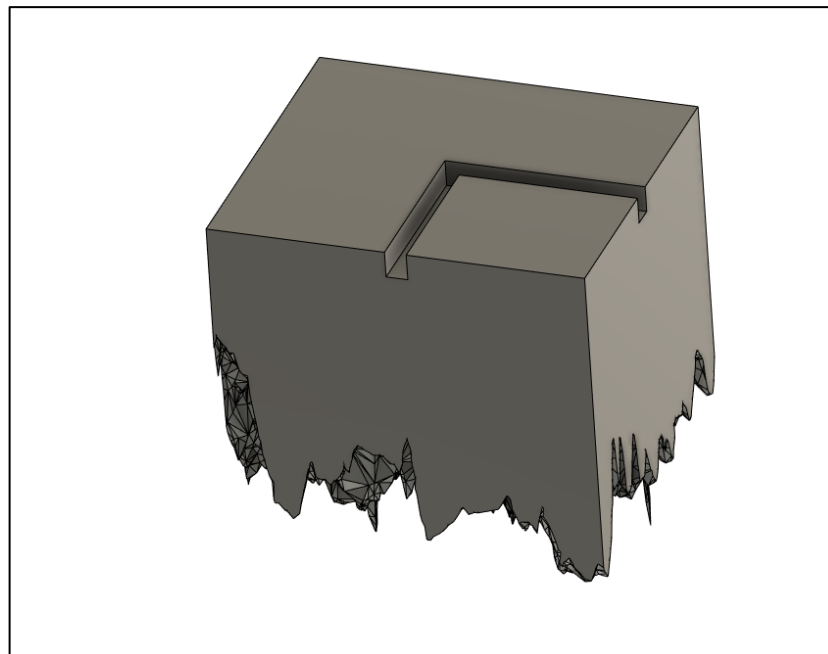
10.2.11 Odebrání pro připojení další části

Posledním krokem před převodem do STL souboru je odebrání pro připojení dalších částí. Odebrání vychází z této skici. Následně je tvar odebrán do hloubky 4 mm.



Obrázek 129. Skica pro připojovací části

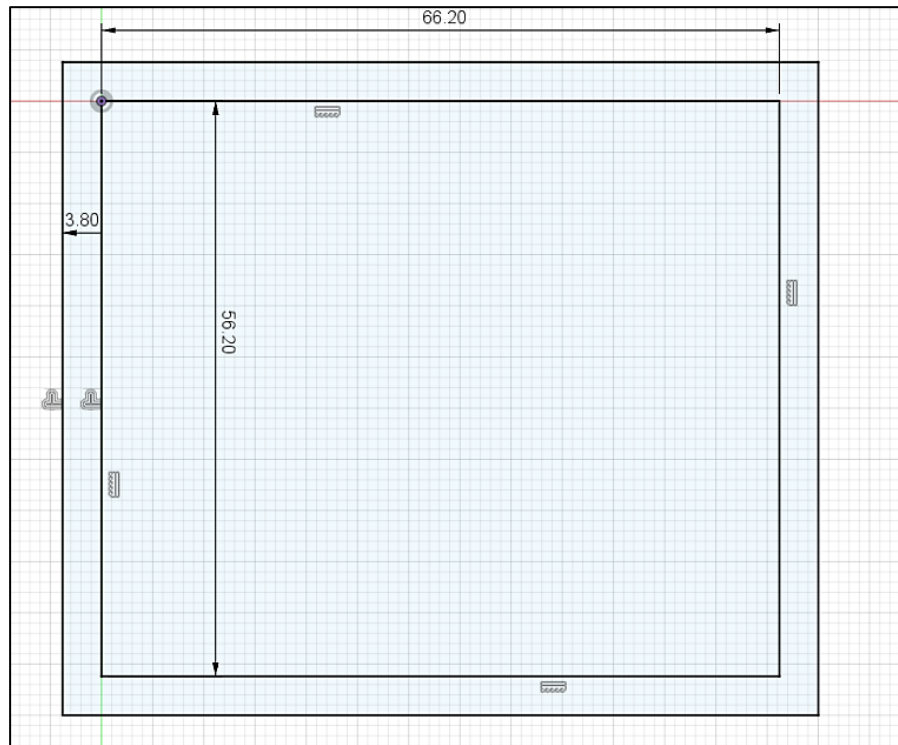
Výsledek po odebrání vypadá následovně. Odebrání je potřeba uskutečnit na každé části celku.



Obrázek 130. Odebrání pro připojovací část

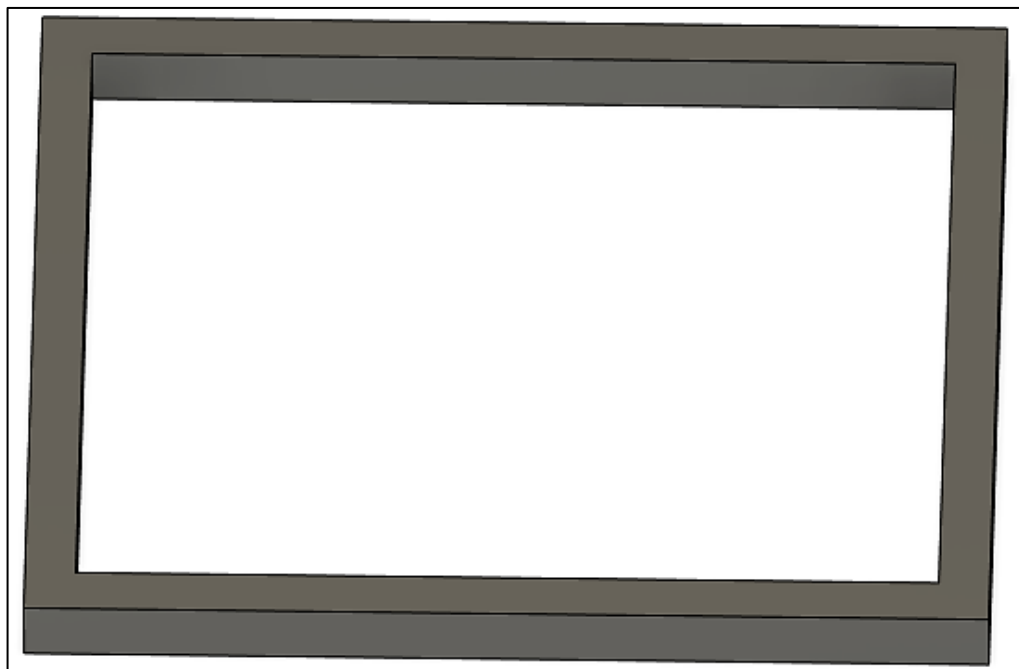
10.2.12 Připojovací část

Tento model bude sloužit jako spojení všech čtyř částí povrchu dohromady. Rozměry jsou o 0,2 mm menší než u drážek na částech. Je to z toho důvodu, že během 3D tisku může dojít k teplotní roztažnosti materiálu a následně by připojovací část nemusela pasovat.



Obrázek 131. Skica spojovací součásti

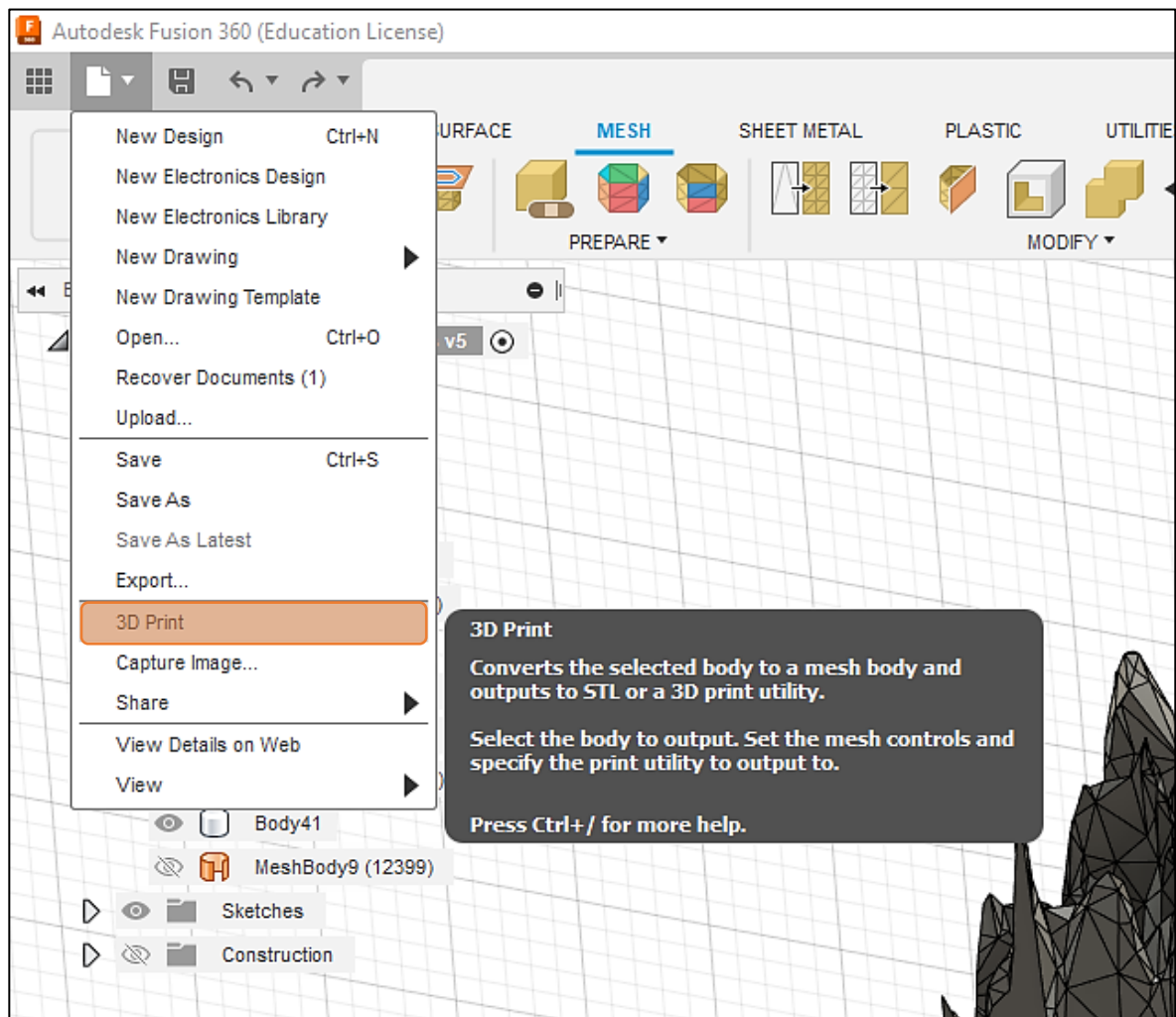
V dalším kroku je tato skica vytažena o 3,9 mm pomocí funkce „Extrude“.



Obrázek 132. Hotová spojovací součást

10.2.13 Převod do STL souboru

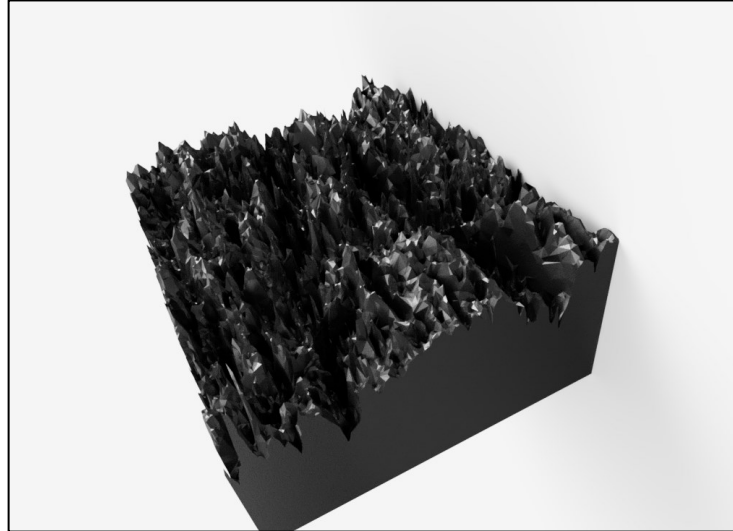
Převod do STL souboru je stejný jako při úpravě krytu na telefon.



Obrázek 133. Export povrchu do souboru STL

10.2.14 Výsledný povrch

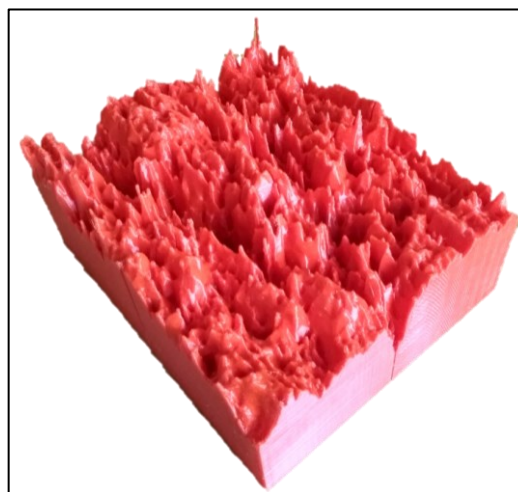
Po úpravě všech částí způsobem nastíněným na jedné z nich, je lze spojit do jednoho celku. Tomuto celku byl přiřazen materiál a pomocí Renderu vznikl výsledný obrázek.



Obrázek 134. Výsledný povrch

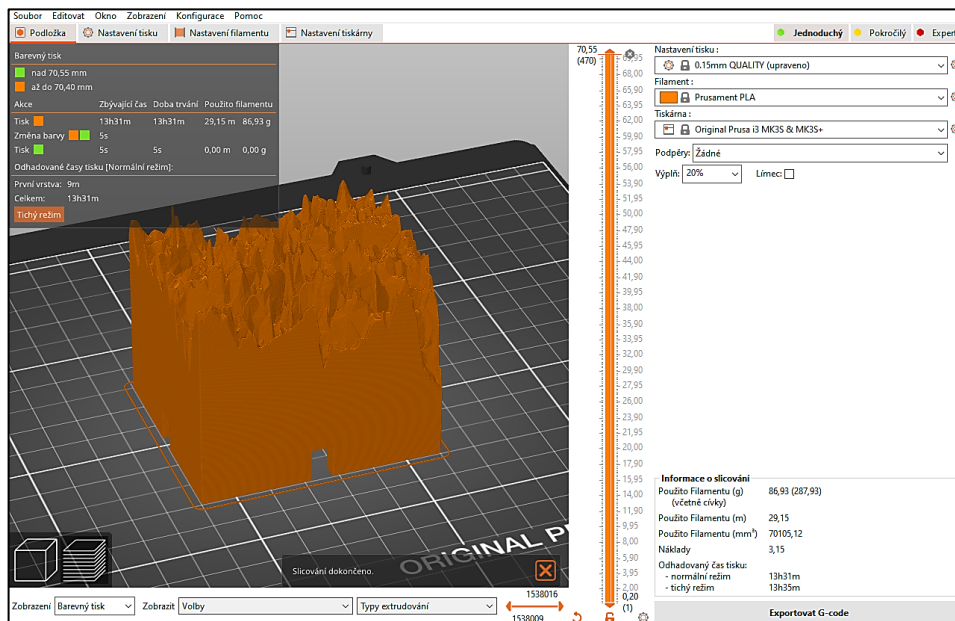
10.2.15 3D tisk povrchu

Posledním krokem úpravy povrchu je prezentace zákazníkovi. Jak bylo zmíněno výše, zákazník si danou problematiku dokáže mnohem lépe představit na hmotném předmětu než z pouhé fotografie, proto bylo nutné upravený povrch vytisknout na 3D tiskárně. 3D tisk byl realizován na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně.



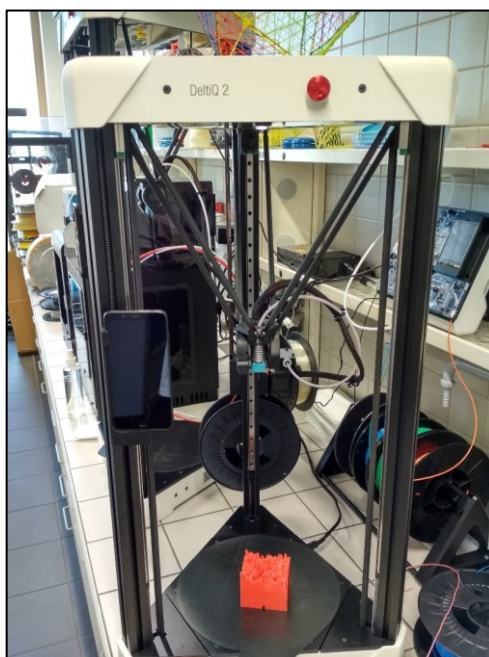
Obrázek 135. Vytisknutý povrch

Před samotným tiskem je nutné STL soubor vložit do Sliceru, který součást převede na jednotlivé dráhy tiskárny. V tomto případě se pracovalo s programem PrusaSlicer. Do programu byly zadány následující parametry. Výška vrstvy 0,15 mm, čím nižší tato hodnota je, tím větší detaily výtisk obsahuje. Výplň 20 %, materiál a průměr trysky 0,4 mm. Jako tiskový materiál bylo zvoleno PLA, u kterého je doporučená teplota trysky 215°C.



Obrázek 136. Nastavení PrusaSliceru

Samotný tisk se uskutečnil na tiskárně Trilab DeltiQ2. Pro zabránění případných komplikací se netiskl celý povrch (všechny čtyři díly), ale pouze dva a dva.



Obrázek 137. 3D tiskárna Trilab DeltiQ2

ZÁVĚR

Předkládaná bakalářská práce se zabývá úpravou STL modelu s využitím plošného modelování v programu Fusion 360.

Záměrem této práce je vytvoření návodu k upravování STL modelů s využitím plošného modelování za využití „Surface“ modulu a „Mesh“ modulu s popisem jednotlivých příkazů a funkcí, které jsou následně ukázány na dvou vzorových příkladech. Čtenář by se tak měl seznámit s fungováním programu Fusion 360.

Pro porozumění obsahu praktické části je v teoretické části čtenář seznámen s CAD systémy, včetně jejich historie až po současnost, základními principy fungování, rozdíly mezi parametrickým a plošným modelováním, převodem 3D modelu do sítě a obecně s 3D tiskem.

Praktická část představuje formou manuálu získání programu, uživatelské rozhraní a seznamuje s použitím funkcí obsažených v „Surface“ a „Mesh“ modulu. Tento průvodce by měl čtenáři rozšířit znalosti a seznámit jej s úpravami a následnou prací na modelu. Pro lepší pochopení jsou v praktické části ukázány tři vzorové příklady, kdy se první příklad zabývá pouze modelováním pomocí ploch. Druhý a třetí příklad zahrnuje úpravu STL sítě, až po vytvoření objemového tělesa, které bude dále možno vytisknout na 3D tiskárně.

Závěrem bych rád shrnul výhody programu Fusion 360. Hlavní výhodou tohoto programu je dostupnost. Program lze získat zdarma na stránkách Autodesku. Další výhodou je uživatelské prostředí, které je možné libovolně přizpůsobit na jiný známý program. Využijí toho zejména uživatelé, kteří přechází z jiných programů. Samotné funkce a prostředí jsou snadno pochopitelné i pro začátečníky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KLEMENT, Milan. Počítačové modelování pro technickou praxi [online]. Olomouc, 2020 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: https://www.pdf.upol.cz/fileadmin/userdata/PdF/katedry/ktiv/Studijni_materialy/Klement/PMT_sylabus_prednasek_2020.pdf. Soubor přednášek. Univerzita Palackého Olomouc, Katedra technické a informační výchovy.
- [2] KUČERA, Jan. Stručná historie CAD/CAM až po současnost [online]. Brno, 2002 [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xkubin2_CAD-CAM.htm. Závěrečná esej. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky.
- [3] CAD História. FreeCAD [online]. [cit. 2021-10-31]. Dostupné z: <http://www.freecad.sk/cz/cad-history>.
- [4] Výstava COMDEX/Fall '97. PCWorld [online]. 1998 [cit. 2021-11-03]. Dostupné z: <https://www.pcworld.cz/clanky/vystava-comdex-fall-97/>.
- [5] Apollotechnical [online]. [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.apollotechnical.com/cad-software-companies-use/>
- [6] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Základy konstruování. Vydání sedmé, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019, 243 s. ISBN 9788076230095.
- [7] FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor: adaptivní modelování v průmyslové praxi. Brno: Computer Press, 2004, vi, 283 s. Česká škola. ISBN 8025103897.
- [8] Jaký zvolit software pro určité typy 3D modelování. Sharplayers [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: <https://eshop.sharplayers.cz/a/jak-zvolit-software-pro-urcite-typy-3d-modelovani>.
- [9] Autodesk 3D MODELING SOFTWARE [online]. [cit. 2021-12-08]. Dostupné z : <https://www.autodesk.com/solutions/3d-modeling-software>
- [10] Systémy CAD [online]. [cit. 2021-12-07]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=12865. Mendelova univerzita v Brně.

- [11] LINKEOVÁ, Ivana. Základy počítačového modelování křivek a ploch [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: http://www.linkeova.cz/vyuka/pg_pgs/public/pgr_skripta.pdf Vysokoškolská skripta. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [12] DOLEŽAL, Jiří. Modelování ploch [online]. [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <https://homel.vsb.cz/~dol75/Pgrafika/Prednaska/Plochy.html>. Podklady k přednášce. Technická univerzita Ostrava.
- [13] Plochy tenzorového součinu – Bézierovy, B-spline a NURBS plochy [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~bastl/GM1/GM1_lecture07.pdf. Podklady k přednášce. Západočeská univerzita v Plzni, Katedra matematiky.
- [14] 5 vital things to know about STL file format in 3D printing [online]. [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <https://www.cmac.com.au/blog/5-vital-things-about-stl-file-format-3d-printing>
- [15] STL File Format: Everything You Need to Know [online]. [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/stl-file-format-3d-printing/>
- [16] 3D printing STL files: A step-by-step guide [online]. [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <https://www.hubs.com/knowledge-base/3d-printing-stl-files-step-step-guide/>
- [17] Fileformat dokumentation [online]. [cit. 2021-12-06]. Dostupné z: <https://docs.fileformat.com/cad/stl/>
- [18] Informatika @ grafika [online]. [cit. 2021-12-06]. Dostupné z: <https://www.gjszlin.cz/ivt/esf/ostatni-sin/kodovani-textu-1.php>
- [19] STRÍTESKÝ, Ondřej a Josef PRŮŠA. Základy 3d tisku s Josefem Průšou [online]. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/
- [20] Přehled technologií 3D tisku. Dk metal prominent [online]. 09.01.2018 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>
- [21] GIBSON, Ian, David ROSEN a Brent STUCKER. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Second Edition. Springer, 2015. ISBN ISBN 978-1-4939-2113-3.

- [22] Fusion 360 Help: Product Documentation [online]. Kalifornie, USA: Autodesk, 2021 [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <https://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU>
- [23] Autodesk products: Fusion 360 [online]. 2021 [cit. 2021-12-05] Dostupné z: <https://www.autodesk.eu/products/fusion-360/overview>
- [24] Gaurav VERMA, Samar MALIK. Autodesk Fusion 360 Black Book (2nd Edition). CAD/CAM/CAE Works, 2018, 784 s. ISBN 9781386482116.
- [25] Thingiverse: Low poly hanging flower pots [online]. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:2474421>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Two-Dimensional Shape (Dvourozměrný prostor)
3D	Three-Dimensional Space (Trojrozměrný prostor)
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ADAM	Automated Drafting and Machining
AM	Additive manufacturing (Aditivní výroba)
AMD	Avions Marcel Dassault
AME	Advanced Modeling Extension
ASCII	American Standard Code for Information Interchange (Americký standardní kód pro výměnu informací)
AVE	Advanced Visualization Extension
BIM	Building Information Modeling (Informační model budovy)
B-spline	Basis Spline
CAD	Computer Aided Design (Počítačem podporované projektování)
CADAM	Computer Augmented Drafting and Manufacturing
CADDS	Computervision Automated Design and Drafting System
CAE	Computer Aided Engineering (Systémy pro podporu inženýrských činností)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Systémy pro počítačovou podporu výroby)
CATI	Computer-Aided Three-Dimensional Interactive
CATIA	Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application
DMLS	Direct metal laser sintering
DOS	Disk Operating System (Diskový operační systém)
DWF	AutoCAD Design Web Format
DWG	AutoCAD Drawing File
DXF	Drawing Exchange Format
EDS	Electronic Data Systems

FDM	Fused Deposition Modelling
FEM	Finite Element Method (metoda konečných prvků)
FFF	Fused Filament Fabrication
HW	Hardware
IBM	International Business Machines Corporation
kB	kilobyte
MAGI	Mathematics Application Group, Inc.
MB	megabyte
MCS	Midwest CAD Solutions
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
NC	Numerical Control (Číslicové řízení)
PC	Personal Computer (Osobní počítač)
PET	polyethylentereftalát
PTC	Parametric Technology Corporation
SAGE	Semi-Automatic Ground Environment
SDRC	Structural Dynamics Research Corporation
SLA	Stereolitografie
SLS	Selective laser sintering
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
STL	Standard Tessellation Language
STL	STereoLithography

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1</i> Prostředí CAD softwaru [23].....	12
<i>Obrázek 2.</i> Prostředí CAM softwaru [23]	13
<i>Obrázek 3.</i> Ověření návrhu s pomocí CAE softwaru [23].....	13
<i>Obrázek 4.</i> Pracoviště s rýsovacími prkny [1]	14
<i>Obrázek 5.</i> Sálový počítač Strela [1]	15
<i>Obrázek 6.</i> Použití světelného pera armádou [2]	15
<i>Obrázek 7.</i> Prostředí programu Sketchpad [3]	16
<i>Obrázek 8.</i> Kreslení v programu CADD [3].....	17
<i>Obrázek 9.</i> První náhled na systém CATIA [3]	18
<i>Obrázek 10.</i> Pracovní počítač IBM 6090 [2]	19
<i>Obrázek 11.</i> Ověření myšlenky návrhu konstruktéra [3].....	19
<i>Obrázek 12.</i> Disketa s programem AutoCAD-80 [3]	20
<i>Obrázek 13.</i> AutoCAD R10 disponující plnými 3D možnostmi [3]	21
<i>Obrázek 14.</i> CATIA verze 4 [3]	22
<i>Obrázek 15.</i> Parametrické modelování v programu Fusion 360 [8]	26
<i>Obrázek 16.</i> Plošné modelování v programu Rhino [8]	27
<i>Obrázek 17.</i> Coonsův bilineární plát [13].....	28
<i>Obrázek 18.</i> Fergusonova plocha [12].....	29
<i>Obrázek 19.</i> Beziérova plocha [12]	29
<i>Obrázek 20.</i> Teselace krychle v porovnání s koulí [15]	31
<i>Obrázek 21.</i> Rozlišení výsledného objektu v závislosti na počtu trojúhelníků [16]	32
<i>Obrázek 22.</i> Výška tětiny [16].....	33
<i>Obrázek 23.</i> Obrázek vlevo nespĺňuje pravidlo [15]	34
<i>Obrázek 24.</i> Znázornění pravidla orientace [15]	35
<i>Obrázek 25.</i> Proces aditivní výroby [21].....	36
<i>Obrázek 26.</i> Princip FDM/FFF technologie 3D tisku [20].....	37
<i>Obrázek 27.</i> Princip SLA technologie 3D tisku [20]	38
<i>Obrázek 28</i> Princip SLS/DMLS technologie 3D tisku [20]	39
<i>Obrázek 29.</i> Ikona Autodesk Fusion 360	43
<i>Obrázek 30.</i> Náhled obrazovky po spuštění programu Fusion 360.....	44
<i>Obrázek 31.</i> Tlačítko pro základní nastavení programu	44
<i>Obrázek 32.</i> Seznámení s rozhraním programu Fusion 360 (1. – panel aplikace; 2. – profil, nápověda; 3. – nástroje; 4. – kostka s pohledy; 5. – stromový prohlížeč; 6. – historie modelování; 7. – navigační nástroje; 8. – průzkumník souborů	45

<i>Obrázek 33. Panel aplikace</i>	45
<i>Obrázek 34. Nastavení profilu, programu a vyžádání pomoci</i>	46
<i>Obrázek 35. Panel nástroje (1. – modelovací prostředí; 2. – funkce)</i>	46
<i>Obrázek 36. Kostka s pohledy</i>	47
<i>Obrázek 37. Stromový prohlížeč</i>	47
<i>Obrázek 38. Historie modelování</i>	48
<i>Obrázek 39. Navigační nástroje a nastavení zobrazení</i>	48
<i>Obrázek 40. Průzkumník souborů</i>	49
<i>Obrázek 41. Přepínání mezi prostředími</i>	50
<i>Obrázek 42. Vytvoření skici</i>	51
<i>Obrázek 43. Soubor funkcí Construct</i>	51
<i>Obrázek 44. Ukázka funkce Extrude</i>	52
<i>Obrázek 45. Ukázka funkce Revolve</i>	53
<i>Obrázek 46. Ukázka funkce Sweep</i>	53
<i>Obrázek 47. Ukázka funkce Loft</i>	54
<i>Obrázek 48. Ukázka funkce Patch</i>	54
<i>Obrázek 49. Ukázka funkce Offset</i>	54
<i>Obrázek 50. Ukázka funkce Pattern</i>	55
<i>Obrázek 51. Ukázka funkce Mirror</i>	55
<i>Obrázek 52. Ukázka funkce Thicken</i>	55
<i>Obrázek 53. Ukázka funkce Boundary fill</i>	56
<i>Obrázek 54. Ukázka funkcí Zaoblení a Zkosení</i>	56
<i>Obrázek 55. Ukázka funkcí Trim / Untrim</i>	57
<i>Obrázek 56. Ukázka funkce Stitch / Unstitch</i>	57
<i>Obrázek 57. Přepnutí do Mesh prostředí</i>	58
<i>Obrázek 58. Ukázka funkce Insert mesh</i>	58
<i>Obrázek 59. Ukázka funkce Tesselate</i>	59
<i>Obrázek 60. Ukázka funkce Create mesh section sketch</i>	59
<i>Obrázek 61. Ukázka funkce Repair</i>	60
<i>Obrázek 62. Ukázka funkce Generate face groups</i>	60
<i>Obrázek 63. Ukázka funkce Combine face groups</i>	60
<i>Obrázek 64. Zobrazení povrchu před použitím funkce Remesh a po použití</i>	61
<i>Obrázek 65. Ukázka funkce Reduce na stejném povrchu</i>	61
<i>Obrázek 66. Ukázka funkce Plane cut</i>	62
<i>Obrázek 67. Ukázkové spojení sítí pomocí funkce Combine</i>	62

<i>Obrázek 68. Ukázka funkce Smooth</i>	62
<i>Obrázek 69. Ukázka funkce Reverse normal</i>	63
<i>Obrázek 70. Ukázka funkce Scale mesh při zvýraznění drsnosti povrchu</i>	63
<i>Obrázek 71. Ukázka funkce Convert mesh</i>	63
<i>Obrázek 72. Výsledný produkt modelování</i>	64
<i>Obrázek 73. Hlavní tvar lžice</i>	64
<i>Obrázek 74. Definice prohnutí lžice</i>	65
<i>Obrázek 75. Pomocné roviny pro tvorbu lžice</i>	66
<i>Obrázek 76. První profil</i>	67
<i>Obrázek 77. Druhý profil</i>	67
<i>Obrázek 78. Kontrola načrtnutých skic a profilů</i>	68
<i>Obrázek 79. Třetí profil</i>	68
<i>Obrázek 80. Poslední pomocná rovina</i>	69
<i>Obrázek 81. Čtvrtý profil</i>	70
<i>Obrázek 82. Veškeré roviny včetně skic</i>	70
<i>Obrázek 83. Vybrání parametrů pro funkci Loft</i>	71
<i>Obrázek 84. Výsledný hrubý tvar lžice</i>	72
<i>Obrázek 85. Vytažení hlavního tvaru lžice</i>	72
<i>Obrázek 86. Oříznutí hrubého tvaru</i>	73
<i>Obrázek 87. Přidání tloušťky</i>	73
<i>Obrázek 88. Držák telefonu</i>	74
<i>Obrázek 89. Ikona Insert mesh</i>	75
<i>Obrázek 90. Vložený držák</i>	75
<i>Obrázek 91. Ikona Generate face groups</i>	75
<i>Obrázek 92. Dialogové okno Generate face groups</i>	76
<i>Obrázek 93. Vytvoření jednotlivých skupin</i>	76
<i>Obrázek 94. Ikona funkce Convert mesh</i>	76
<i>Obrázek 95. Dialogové okno Convert mesh</i>	77
<i>Obrázek 96. Převod na objemové tělo</i>	77
<i>Obrázek 97. Vyplnění otvoru funkcí Patch</i>	78
<i>Obrázek 98. Přidání rozměru funkcí Thicken</i>	78
<i>Obrázek 99. Kombinace těles funkcí Combine</i>	79
<i>Obrázek 100. Dialogové okno převodu do STL</i>	80
<i>Obrázek 101. Hotový držák telefonu</i>	80
<i>Obrázek 102. Výsledná část úpravy povrchu</i>	81

<i>Obrázek 103. Vložení pomocí Insert mesh</i>	82
<i>Obrázek 104. Vložený povrch</i>	82
<i>Obrázek 105. Ikona funkce Remesh</i>	82
<i>Obrázek 106. Dialogové okno funkce „Remesh“</i>	83
<i>Obrázek 107. STL po použití „Remesh“</i>	83
<i>Obrázek 108. Ikona funkce Scale mesh</i>	84
<i>Obrázek 109. Dialogové okno funkce Scale mesh</i>	84
<i>Obrázek 110. Zvětšený povrch</i>	84
<i>Obrázek 111. Ikona funkce Plane cut</i>	85
<i>Obrázek 112. Dialogové okno Plane cut</i>	85
<i>Obrázek 113. Oříznutí „meshe“ na polovinu</i>	85
<i>Obrázek 114. Výsledek hrubého oříznutí</i>	86
<i>Obrázek 115. Vytvoření oříznutí XZ -62 mm</i>	86
<i>Obrázek 116. Vytvoření oříznutí YZ -72 mm</i>	87
<i>Obrázek 117. Oříznutí druhé části</i>	87
<i>Obrázek 118. Oříznutí třetí části</i>	88
<i>Obrázek 119. Oříznutí čtvrté části</i>	88
<i>Obrázek 120. Zredukování zaniklých elementů</i>	89
<i>Obrázek 121. Dialogové okno Generate face groups</i>	89
<i>Obrázek 122. Vytvořené „face groups“</i>	90
<i>Obrázek 123. Dialogové okno Convert mesh</i>	90
<i>Obrázek 124. Convert mesh</i>	90
<i>Obrázek 125. Skica pro vysunutí</i>	91
<i>Obrázek 126. Vysunutí skici</i>	91
<i>Obrázek 127. Uzavření profilu funkcí Patch</i>	92
<i>Obrázek 128. Boundary fill</i>	92
<i>Obrázek 129. Skica pro připojovací části</i>	93
<i>Obrázek 130. Odebrání pro připojovací část</i>	93
<i>Obrázek 131. Skica spojovací součásti</i>	94
<i>Obrázek 132. Hotová spojovací součást</i>	94
<i>Obrázek 133. Export povrchu do souboru STL</i>	95
<i>Obrázek 134. Výsledný povrch</i>	96
<i>Obrázek 135. Vytištěný povrch</i>	96
<i>Obrázek 136. Nastavení PrusaSliceru</i>	97
<i>Obrázek 137. 3D tiskárna Trilab DeltiQ2</i>	97