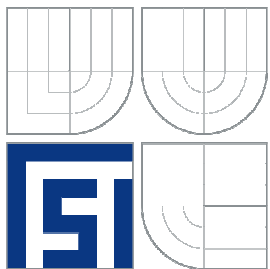


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Aplikace moderních technologií pro návrh a výrobu šachového setu

Application of modern technologies for design and production of chess

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Filip Černošous

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2012

Místo tohoto listu bude vloženo zadání.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství
Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Černošous

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aplikace moderních technologií pro návrh a výrobu šachového setu

v anglickém jazyce:

Application of modern technologies for design and production of chess

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod
2. Historie a vývoj šachu
3. Konstrukce modelu herního plánu a šachových figurek pomocí programu Autodesk Inventor
4. Výroba šachového setu s využitím moderních metod a technologií
5. Technicko-ekonomické zhodnocení
6. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce bude návrh a výroba šachového setu s využitím moderních metod a technologií. Jednotlivé tvary a rozměry šachových figurek včetně herního plánu budou úměrně navrženy a zkonstruovány ve 3D parametrickém softwaru Autodesk Inventor. Výroba jednotlivých modelů šachových figurek bude realizována na 3D tiskárně uPrint s využitím metody Fused Deposition Modeling. Herní plán bude vyroben na konzolové vertikální frézce FV 25 CNC s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530. Práce bude ukončena technicko-ekonomickým zhodnocením, ve kterém bude rozebrána a zhodnocena výroba šachového setu.

Seznam odborné literatury:

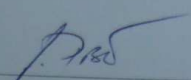
1. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246 s. 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. JACOBSON, D. M., RENNIE, A. E. W., BOCKING C. E. In Proceedings of the 5th National Conference on Rapid Design, Prototyping, and Manufacture. Professional Engineering Publishing, 2004, pp.112. ISBN 1860584659.
3. PÍŠA, Z., KEJDA, P., GÁLOVÁ, D. Rapid Prototyping in Mechanical Engineering. In Proceedings of the Abstracts 12th International Scientific Conference CO-MA-TECH 2004. Bratislava: STU, 2004. s. 160. ISBN 80-227-2121-2.
4. SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.
5. TMS (The Minerals, Metals & Materials Society): Rapid Prototyping of Materials. The Minerals, Metals & Materials Society. 2002, pp. 615. ISBN 0873395301.

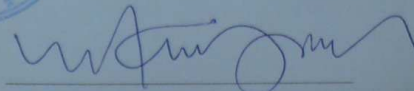
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce bude návrh šachového setu ve 3D programu AutoDesk Inventor 2010 a jeho vyrobení za použití moderních CAD/CAM technologií. Pro výrobu šachových figur bude použita aditivní metoda Fused Deposition Modelling. K výrobě herního plánu bude využita technologie třískového obrábění – frézování. V bakalářské práci je uveden přehled metod Rapid Prototyping, jejich stručná charakteristika.

Klíčová slova

Šachový set, CAD, Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, frézování

ABSTRACT

The aim of bachelor thesis proposal will be a chess set in 3D with AutoDesk Inventor 2010 and his made for using advanced CAD/CAM technology. For the production of chess figures additive method is used Fused Deposition Modelling. To produce the game plan will be used for technology cutting - milling. The thesis provides an overview of Rapid Prototyping, their brief description.

Key words

Chess set, CAD, Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, Moulding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERNOHOUS, Filip. *Název: Aplikace moderních technologií pro návrh a výrobu šachového setu*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 46 s. příloh. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Aplikace moderních technologií pro návrh a výrobu šachového setu* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Filip Černohous

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a za jeho trpělivost. Velký dík patří také mým rodičům za umožnění mých studií a neochvějnou podporu.

OBSAH

OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
1. Historie a vývoj šachu.....	10
1.1 Šachová hra.....	12
2. Konstrukce modelu herního plánu a šachových figur pomocí programu Autodesk Inventor.....	13
2.1 Konstrukce jezdce.....	13
2.2 Konstrukce herního plánu.....	18
3. Výroba šachového setu s využitím moderních metod a technologií.....	20
3.1 Technologie Rapid Prototyping.....	20
3.1.1 Selective Laser Sintering.....	20
3.1.2 Stereolitografie.....	21
3.1.3 Laminated Object Manufacturing.....	22
3.1.4 Multi Jet Modeling.....	23
3.1.5 Fused Deposition Modeling.....	24
3.2 Výroba šachových figur.....	25
3.2.1 Obslužný program CatalystEX.....	26
3.2.2 Tisk šachových figur na tiskárně Dimension uPrint.....	29
3.2.3 Úprava modelů šachových figur.....	31
3.3 Výroba herního plánu.....	32
3.3.1 Modelování v programu PowerMill.....	32
3.3.2 Frézování.....	37
4. Technicko ekonomické zhodnocení.....	40
4.1 Náklady na výrobu šachových figur.....	40
4.2 Náklady výroby herního plánu.....	41
4.3 Náklady celkem.....	42
ZÁVĚR.....	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	44
Seznam použitých zkratk.....	46
Seznam použitých Symbolů.....	47

ÚVOD

V dnešní uspěchané době je kladen vysoký nárok na úsporu času a peněz ve všech možných oborech průmyslu a výroby. Požadavky jsou zejména kladeny na přesnější a kvalitnější výrobky v závislosti na jejich funkčnosti či vzhledu. Vyrábí se specifitější součásti, součásti složitých tvarů a rozličných funkcí, které napomáhají, případně urychlují výzkum a vývoj nových moderních metod. Mezi nové moderní metody patří také aditivní technologie Rapid Prototyping, která navazuje na technologii Reverse Engineering. Tato technologie umožňuje digitalizaci reálných objektů různých tvarů, velikostí a materiálů do 3D modelů, které by jinak nebylo možno vymodelovat. Pomocí aditivní metody Fused Deposition Modeling se vyrábí trojrozměrné modely z plastů nebo vosku. Tyto modely slouží jako testovací prototypy, pro vizualizaci nebo pro ověřování funkčnosti. Principem této aditivní technologie je nanášení jednotlivých vrstev materiálu. Výhodou metody je rychlost výroby, užití netoxických materiálů a nízké množství odpadního materiálu.

V této práci je popsán návrh, tvorba modelů a výroba šachový figur, které jsou inspirovány reálnými technickými součástkami, jako jsou např. šrouby, matice, vrták, posuvné měřítko, hřídel atd. Tvorba šachových figur byla vytvořena v parametrickém programu Autodesk Inventor a realizována pomocí aditivní technologie Fused Deposition Modeling. Návrh a tvorba obráběcích strategií herního plánu byla vytvořena v CAM programu PowerMill. Samotná výroba herního plánu byla provedena pomocí technologie třískového obrábění na vertikální konzolové frézce FV 25 CNC A. Tyto šachové figury a herní plán slouží pro taktickou a strategickou šachovou hru, někdy označovanou jako „hru královskou“.

1. HISTORIE A VÝVOJ ŠACHU

Šachy, nebo také královská hra, jak se jim říká, jsou jednou z nejstarších strategických her na světě. Vznik a původ šachů jako hry je nejistý a obestřený tajemstvím, datuje se přibližně do 6. století našeho letopočtu a šachy se poprvé objevily v Indii, k čemuž se přiklání i spousta historiků. Hra je tedy stará přibližně jeden a půl tisíce let.

V eposu „Kniha králů“ („Šachmate“, 934) zmiňuje jedna z kapitol legendu o vzniku šachů. Královští mudrcové si prý pomocí šachů přehrávali velikou bitvu, v níž padl král Thalhand.

Z Indie se šachy dostali do Persie. Stalo se tak za vlády šacha Chosroese I. Jedna z legend uvádí, jak se šachy dostali do Persie, přivezli je indiští vyslanci šachovy darem [1].

Samotný název hry šachy, vychází z indického názvu čaturangra. Čatur-čtyři značí hlavní figury hry, Angra-část (vojska). Značí tedy čtyři oddíly figur, čtyři různé druhy zbraní. Indické armády se v té době totiž skládali ze čtyř bojových jednotek. Z válečných vozů – na šachovnici dnes věže, jízdy – jezdec, slonů – dnes střelec a pěšáků [3]. Dnešní název šachy vznikl v Persii, kde Peršané na počest svého panovníka nazvali hru šachem, což znamená král.

Od Peršanů se šachy v době 7. století rozšířily do Arábie, odkud se dostaly až do Evropy. Spolu s Maury se hra dostala do Evropy také přes Španělsko. Dalším směrem, kterým šachy do Evropy pronikly, bylo Rusko, kam se dostaly přímo z východu. Tamní jména figur dodnes vychází z perských názvů jako slon či vezír.

U nás se šachy objevili v 11. století. Byly dovezeny českými kupci. Šachy hráli i kněžna Markéta, dcera Přemysla Otakara I.

Ve středověku byla hra známa takřka v celé Evropě. Hra byla součástí základního vzdělání, které měl ovládat každý rytíř. Sloužila jako zábava, ale i jako hra pro učení válečné strategie. V některých křesťanských zemích ve středověku proti hře vystupovala církev. Hry se totiž někdy zneužívalo k hazardu.

Období renesance (16. a 17. století) bylo „zlatou dobou“ a to hlavně ve Španělsku a Francii. V této době, dochází ke změně pravidel a figur do podoby, jak je známe dnes – vznikají moderní šachy Obr. 1.1. Změnily se i figury ze slona se stal střelec, objevila se královna. Konají se mezinárodní šachová utkání, vychází četné publikace zabývající se hrou. Publikace se věnovaly herním počátkům, taktice a čteným zakončením hry, logice. Došlo i k prvním vzestupům a úpadkům šachových mistrů.



Obr. 1.1 Moderní šachy.

V polovině 18. století zářil na šachovém nebi francouzský hudebník André-Francois-Danican Philidor. Navštěvoval známou kavárnu Café de la Régence, kterou navštěvovali hráči francouzští i z ciziny. Philidor napsal učebnici „Analýza šachů“, ze které vycházelo několik dalších pokolení šachistů. Od svých stoupenců dostal šachové žezlo – symbol velmistra.

Prvním oficiálním mistrem světa v šachu se stal roku 1886 Wilhelm Steinitz (pražský rodák).

Od této doby se o titul velmistra hraje již pravidelně. Šachy nabírají na oblibě, konkurence se stává větší. Velmi silnou velmocí bylo a je Rusko. Ruští šachisté prokázali své umění již mnohokrát. Šachové turnaje probíhají pod záštitou mezinárodní šachové federace FIDE. Před vznikem šachové organizace, která stanovila směrodatná pravidla, se spoléhalo pouze na gentlemanké způsoby hráčů a jejich lásku ke hře jako takové [1,2].

Světová šachová federace - FIDE (Federation Internationale Des Echecs), byla založena v roce 1924. Od roku 1999 je uznána Mezinárodním olympijským výborem jako Mezinárodní sportovní federace [5].

Novou „obměnu“ do šachové hry přinesli počítače. S nástupem moderních technologií vyvstala otázka, zda mohou stroje předčít lidskou inteligenci. V roce 1996 se úřadující mistr světa Garry Kasparov utkal s počítačem DeepBlue firmy IBM Obr. 1.2. Ze šesti partií počítač dvě vyhrál, jednu prohrál a tři remizoval.



Obr. 1.2 DeepBlue [4].

Počítače jsou dnes schopné propočítat i několik desítek tahů dopředu. Počítač analyzuje všechny své i soupeřovi možné tahy. Poté vybere ten nejlepší. DeepBlue dokázal ve vyměřeném časové limitu počítat „pouze“ sedm tahů dopředu [4].

V současné době má FIDE 170 členských federací a je jednou z největších sportovních federací na světě. Ve 115 zemích jsou šachy uznány nebo jsou partnerskými členy národních olympijských výborů. Ve 105 zemích jsou šachy uznány jako sport. V současnosti drží titul mistra světa Viswanathan Anand z Indie [5].

1.1 Šachová hra

Šachy jsou tvořeny herním plánem a dvěma sadami herních kamenů. Hrají převážně dva soupeři proti sobě.

Šachovnici tvoří 64 polí. Rozměry jsou 8 x 8 polí. Střídají se zde černá pole společně s bílými.

Na začátku hry má každý hráč 16 kamenů černé nebo bílé barvy. Je šest druhů figur, ty jsou rozestaveny od kraje: věž, jezdec, střelec, dáma, král. V řadě před každou z figur stojí pěšec. Každá figura má svůj specifický způsob pohybu, tedy i specifické a taktické využití v samotné hře.

Hru začíná hráč s bílými kameny. Hráči se vždy po tahu střídají. Hra může skončit dvěma různými způsoby. Výhrou (respektive prohrou) jednoho z hráčů (tzv. šach mat) nebo remízou (tzv. pat).

2. KONSTRUKCE MODELU HERNÍHO PLÁNU A ŠACHOVÝCH FIGUR POMOCÍ PROGRAMU AUTODESK INVENTOR

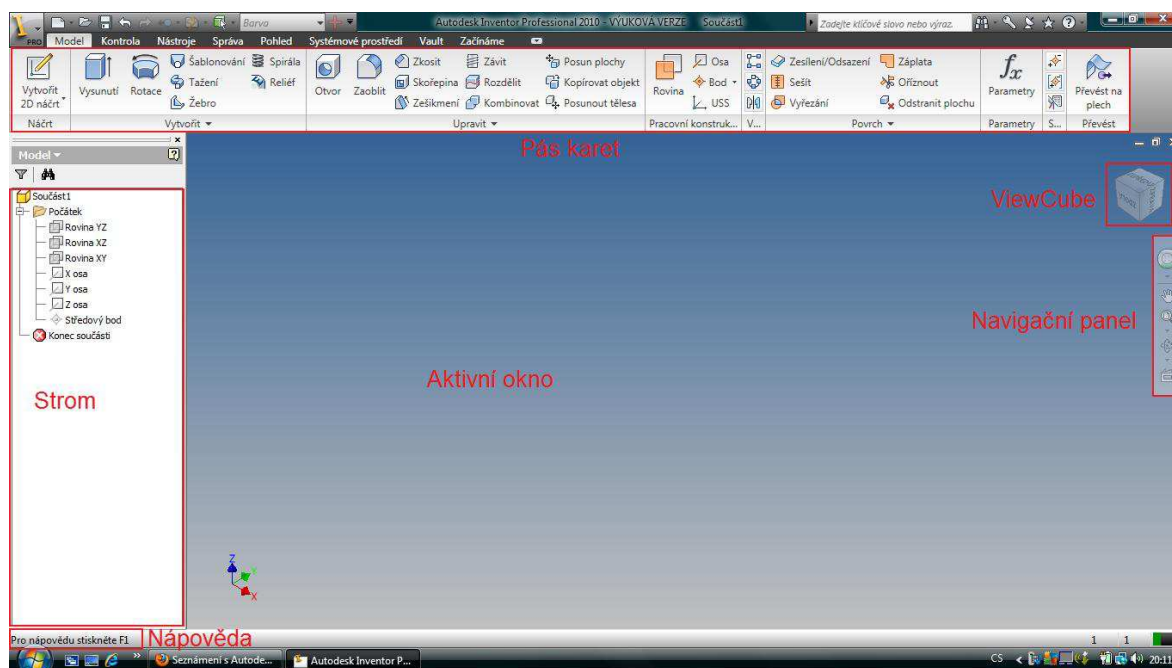
Pro konstrukci modelu herního plánu a šachových figur byl zvolen program Autodesk Inventor.

Program Autodesk Inventor je 3D CAD (Computer Aided Design) softwarový program společnosti Autodesk. Umožňuje za použití softwarových nástrojů navrhovat, simulovat a graficky vytvářet nástroje a strojní součásti. Umožňuje tvorbu 3D digitálních prototypů, návrh vizualizaci a simulaci výrobku na přesném modelu.

Programem Autodesk Inventor byl konstruován jak herní plán, tak i všechny šachové figury. V této technické práci bude uveden pouze konstruování herního plánu a šachové figurky jezdce.

2.1 Konstrukce jezdce

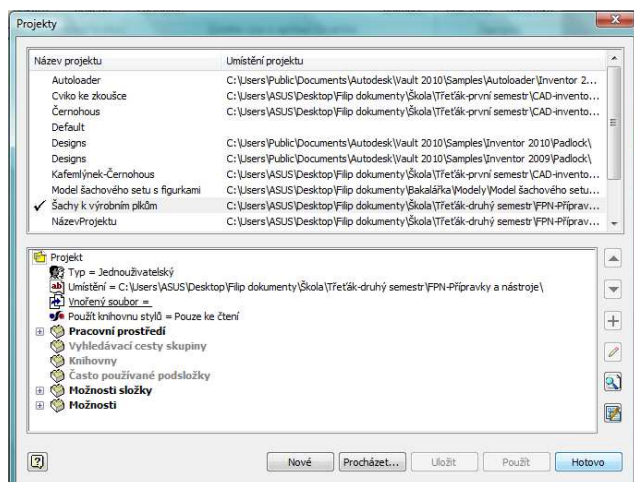
Po otevření programu Autodesk Inventor se zobrazilo okno s programem Obr. 2.1. V horní části je panel nástrojů. Pod ním je umístěn Pás karet, na kterém se nachází panely s vybranými funkcemi nutnými pro samotné modelování součásti. Pro snazší práci se nastavily panely, se kterými se pracovalo. V levé části je umístěn tzv. strom, kde se v průběhu modelování zobrazují jednotlivé kroky výroby dané součásti (jezdce). Ve spodní části je umístěna nápověda.



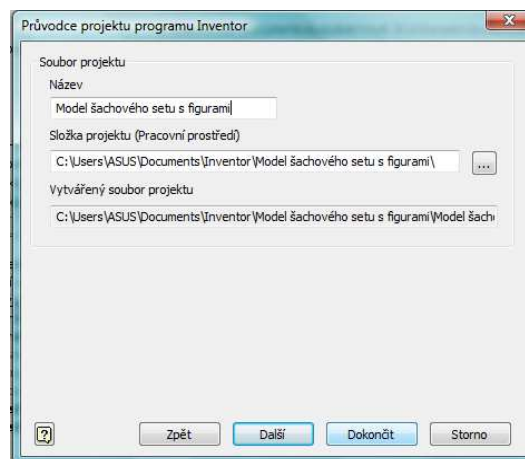
Obr. 2.1 Autodesk Inventor.

Pro začátek modelování bylo nutné, aby byl založen nový projekt, panel nástrojů - Projekty (📁). Byl zvolen Nový jednorázový projekt, Model šachového setu s figurkami.



Následně byl vybrán jako aktivní nově vytvořený projekt Obr. 2.2. Nyní se vytvořila složka s názvem projektu, kam se ukládají vytvořené modely Obr. 2.3.





Obr. 2.2 Výběr projektu.







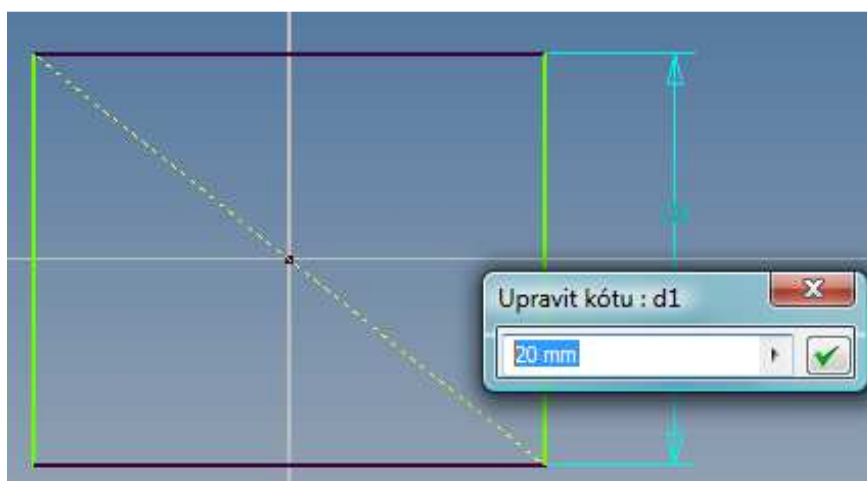
Obr. 2.3 Uložení projektu.

Pro vytvoření samotného modelu je nutné založit Nový soubor. V liště výchozí byla vybrána šablona Norma.itp (). V pravém horním rohu aktivní obrazovky se objeví krychle. Ta slouží k nastavování různých pohledů na aktuální součást. Po vytvoření nového listu, se vše uložilo - Rychlý přístup ().

K samotnému modelování slouží Pás karet. V něm se nachází osm záložek: Model, Kontrola, Nástroje, Správa, Pohled, Systémové prostředí, Vault a Začínáme. Pro co nejjednodušší modelování bude nejčastěji používáno pouze lišty s názvem Model.

Stiskla se klávesa F6 a došlo k natočení souřadného systému zobrazeného v levém dolním rohu. S myší se najelo do stromu a rozbalila se složka s názvem Počátek (). Vybrala se ta z rovin, ve které se mělo modelovat - rovina XY, v té se vytvořil náčrt 2D náčrt (). Osový kříž, který se objevil, byl natočen do nárysu, vpravo nahoře zobrazenou krychlí. Poté za pomoci přidružených šipek dalo libovolně otáčet kostkou a měnit tak zobrazený pohled náčrtu.

V náčrtu se vytvořil Obdélník (), v jeho vnitřku ležel osový kříž. Vybrala se ikona Čára () a v panelu Formát se označilo Konstrukční (), vytvořila se konstrukční čára z jednoho rohu obdélníku úhlopříčně do dalšího. Čára se zobrazila jako čerchovaná (přerušovaná). V panelu Omezit, se vybrala Totožná vazba (). V náčrtu se kliklo na konstrukční přímce do jejího středu, který se zobrazoval jako zelený bod. Vybral se střed osového kříže a obdélník se přesunul. V panelu Omezit se zadal Rozměr, může být použita klávesová zkratka, písmeno D. Obdélník se zakótoval, zobrazila se kóta s číselným údajem, ten byl změněn na 20 mm Obr. 2.4.

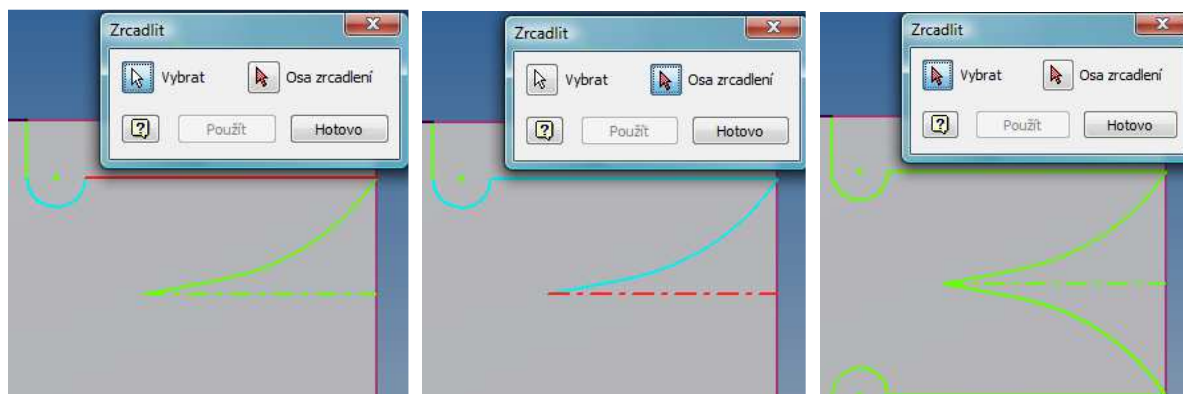


Obr. 2.4 Kótování strany obdélníku.

Horní a dolní strana obdélníku změnila barvu na fialovou, to značí, že jejich vzájemná vzdálenost je známá – zakótovaná. Stejným způsobem se zakótoval rozměr zbylých dvou stran obdélníku na 25 mm. V pravém horním rohu se kliklo na Dokončit náčrt.

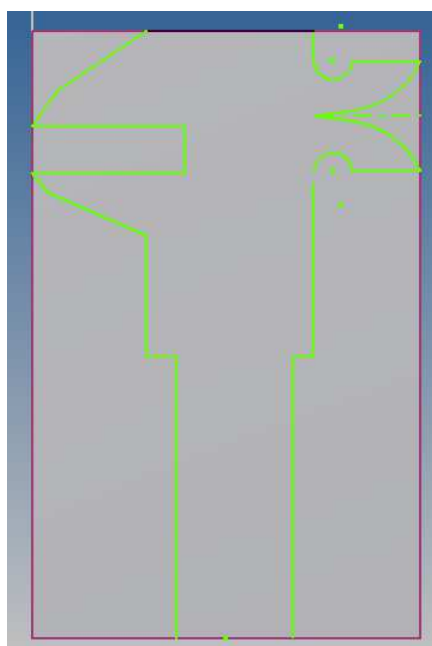
Stiskem F6 se nakreslený obdélník natočil. Bylo zapotřebí vytvořit kvádr, ze kterého se následně vytvořila figura jezdce. Proto muselo být vytvořeno 3D těleso. K tomuto účelu se využilo funkce Vysunutí (☐) v liště Model. Klávesová zkratka pro tuto funkci je E. Po stisku E bylo zobrazeno okno obsahující záložky Tvar a Další. V náčrtu se vytvořil pouze jediný obrazec (obdélník), tudíž nebylo zapotřebí za pomoci Profilu vybírat, který obrazec měl být vysunut. Ve vymezení byla nastavena vzdálenost 40 mm, ve výstupu těleso vysunutí směrem nahoru. Program vykreslil tvar tělesa po zadání hodnot, a po potvrzení ho vytvořil. Stiskne se klávesa F6 a zobrazí se pohled na celé těleso.

Dalším postupem se vytvořil nový náčrt, na pravé straně kvádrů. Opět k tomu dopomohla krychle zobrazená v pravém horním rohu. Objekt se natočí do pravého bokorysu. Kliklo se na plochu objektu, která byla nyní čelně k nám. V tomto pohledu se nyní vytvořil obrys jezdce. Jezdec byl zpodobněn, jako posuvné měřidlo. Kliklo se na ikonu Promítnutí geometrie a označila se stěna kvádrů (natočena čelně). Promítly se na ní hrany kvádrů do aktuální náčrtové roviny. Pomocí Čáry v levém horním rohu na panelu Kreslení, se krok po kroku načrtnul obrys jezdce. V některých místech se použila kružnice či oblouk. Pro úspěšné modelování musely všechny čáry vzájemně plynule navazovat. U vzájemně symetrických částí se využilo funkce Zrcadlení (☐) v panelu Vzor. Aby se tato funkce dala použít, bylo zapotřebí vytvoření jedné strany symetrického obrazce v náčrtu. V dalším kroku se vytvořila osa, podle které byl obrazec symetrický. Opět se kliklo na ikonu Čára a na pravém konci Páso karet, v Panelu Formát se vybrala Osa (☐). V dalším kroku se kliklo na Panelu Vzor na ikonu zrcadlení. Zobrazilo se okno zrcadlit, v náčrtu byly vybrány čáry, kružnice apod., které se měly zrcadlit. Poté se vybrala osa, přes kterou se zrcadlilo Obr. 2.5.

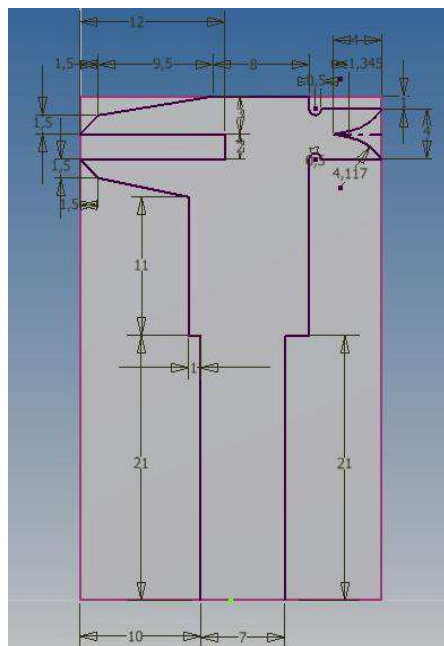


Obr. 2.5 Postup zrcadlení.

Všechny vybrané prvky změnila barvu na světle modrou, v dalším kroku byl náčrt vytvořen (označené čáry se zrcadlí přes vybranou osu). Výsledný náčrt byl nakreslen tak, že nepřesahoval přes vyznačený kvádr, ale dotýkal se jeho stran Obr. 2.6. Náčrt, nemusel mít přesný tvar, jeho parametry se upravily při kótování Obr. 2.7.

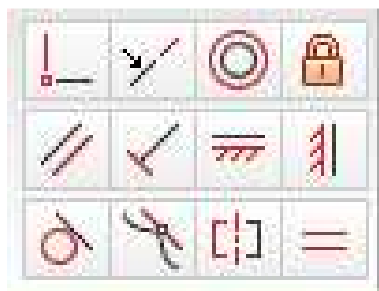


Obr. 2.6 Náčrt obrysu jezdece.



Obr. 2.7 Okótovaný náčrt.

Dalším krokem bylo okótování náčrtu. Postupovalo se tak, že se okótovaly vždy všechny rozměry, které byly vertikální, následně horizontální. Velikosti rozměrů závisely na zvoleném poměru a tvaru modelované součásti. Při umístění každé kóty, čára změnila velikost požadovaného rozměru. U zrcadlených objektů, stačí okótovat pouze originál, který byl zrcadlen. Správně okótovaný náčrt celý zřialověl. Pro jednodušší kótování se užívá Automatické kótování () v panelu Omezit. Všem nezakótovaným rozměrům se přiřadí kóta s jejich aktuálním rozměrem. Pokud se kótuje již známý rozměr, nebo určený jinými kótami zobrazí se pomocnou kótou. K zadání rozměrů je možno použít Vazby Obr. 2.8. Ty se nacházejí v panelu Omezit. Po načrtnutí obrysu jezdece, se Dokončil náčrt.

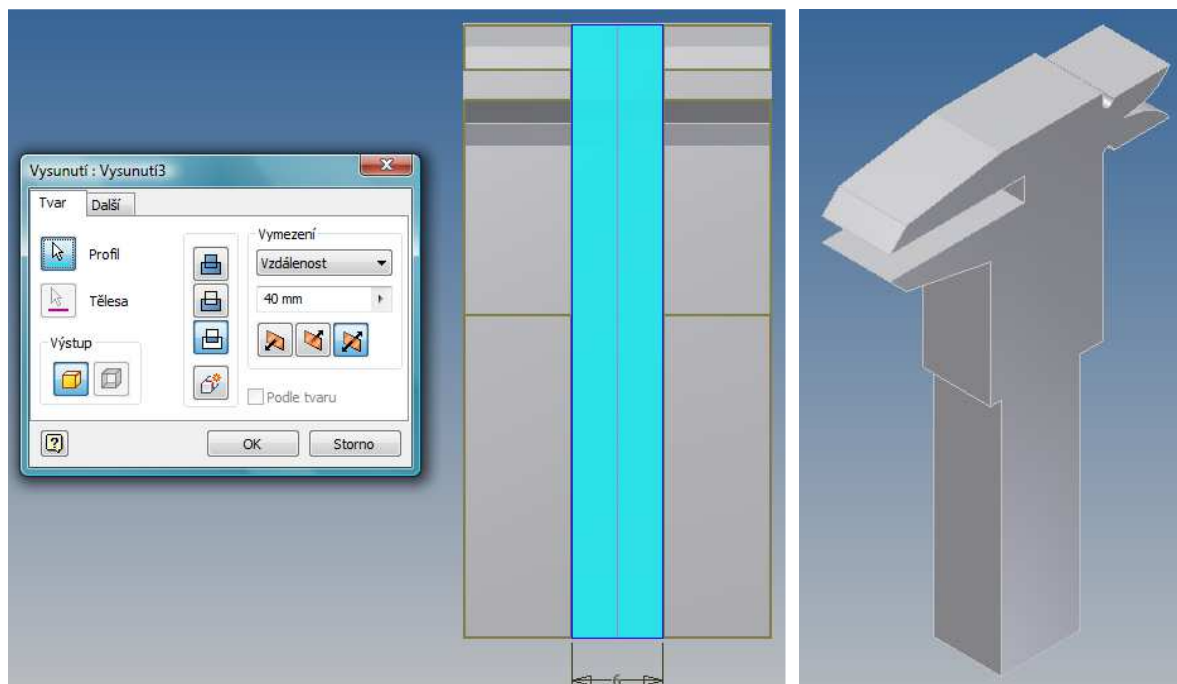


Obr. 2.8 Vazby.

Opět se změnil vzhled pásu karet. V panelu Vytvořit se kliknulo na ikonu Vysunutí. Jako profil se vybral nakreslený obrys jezdce v obdélníku. Vybraný profil byl červeně zvýrazněn, do vzdálenosti se nastavilo Vše. Místo sjednocení se zadal Průnik a označilo vysunutí do materiálu. Po kliknutí F6 se zobrazila součást, v aktuální podobě.

Dalším krokem bylo vytvoření náčrtu v pohledu zdola. Zobrazily se hrany za pomoci Promítnutí říznuté hrany (☞). V dalším kroku se vytvořil obrys jezdce v nárysu. Po stisknutí klávesy F7 se součást zobrazila rozříznutá dle osy náčrtu. Na součásti se objevily dva druhy povrchů, světle šedivý – plochy a tmavě šedivý, místo kde byla součást zobrazena v řezu. V náčrtu se vytvořil obdélník začínající ve spodní části a končící ve vrchní. Součástí se vedla osa, sloužící k použití funkce Symetrické (☐) v panelu Omezit. Obdélník se vystředil podle osy ve středu součásti. Šířka obdélníku se nastavila Rozměrem, dokončil se náčrt a součást se opět zobrazila celá, nerozříznutá.

Po vytvoření jezdce bylo nutné vysunout náčrt a vytvořit tak jeho tvar. Nechala se zadaná vzdálenost (40 mm), nastavil se Průnik. Vzniklá součást měla již tvar jezdce Obr. 2.9.



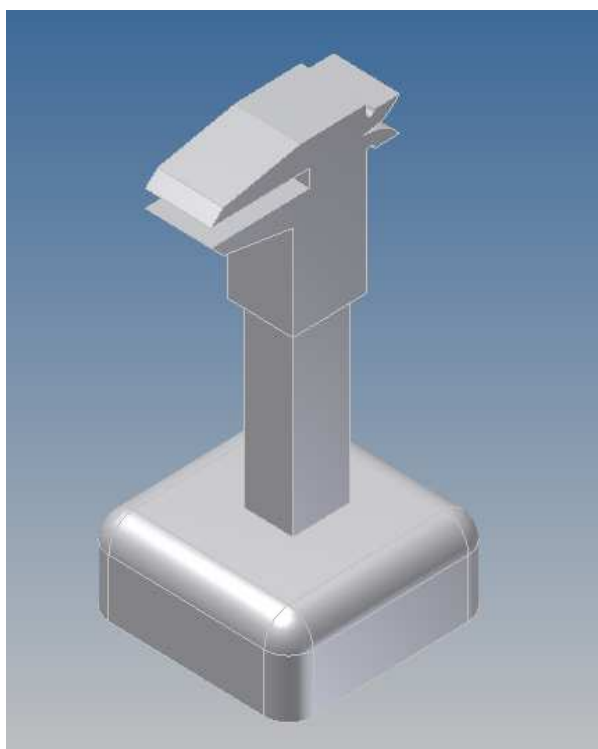
Obr. 2.9 Vysunutí náčrtu.

Nyní se vytvořila podstava, aby jezdec mohl stát na šachovnici a byl stabilní. Jezdec se natočil s použitím klávesy F4. Vytvořil se náčrt na ploše podstavy jezdece a součást byla zobrazena v pohledu zezadu. Byl vytvořen čtverec, jehož střed byl ve středu osového kříže, do něho byla umístěna konstrukční úhlopříčka. S pomocí totožné vazby se přesunul střed úhlopříčky do středu osového kříže a obdélník se zakótoval.

Čtverec se vysunul směrem od jezdece a vytvořil podstavu. Na spodku vzniklé podstavy se vytvořil nový náčrt, v něm se vytvořila kružnice, jejímž vysunutím vzniknul odlehčovací otvor. Střed kružnice byl umístěn do středu osového kříže. U vysouvání kružnice byl nastaven Rozdíl, došlo k odstranění materiálu.

Dalším krokem bylo zaoblení ostrých hran příkazem Zaoblit (☒). Nastavil se pouze poloměr $R = 3 \text{ mm}$. Poté se na jezdcí vybraly hrany určené k zaoblení. Hrany na podstavě se srazily funkcí Zkosit (☒) v panelu Upravit. Vybraná hrana se opět nejdříve vykreslila.

Jezdec byl již vymodelován Obr. 2.10. Materiál pro zobrazení se vybral plast. V pásu karet Pohled, se v panelu Viditelnost zapnula ikona Těžiště (☒), pro kontrolu, zda se nebude jezdec převrhávat.

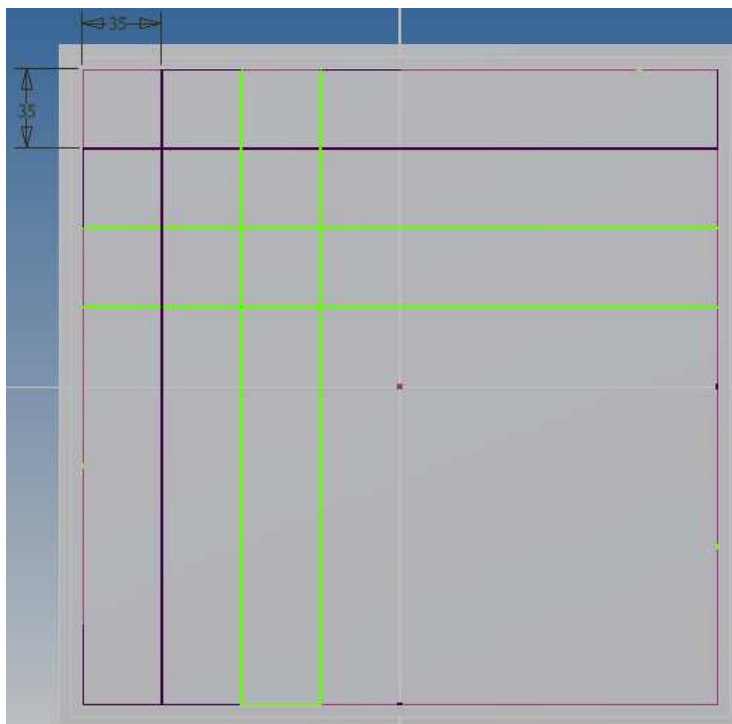


Obr. 2.10 Vymodelovaná součást.

2.2 Konstrukce herního plánu

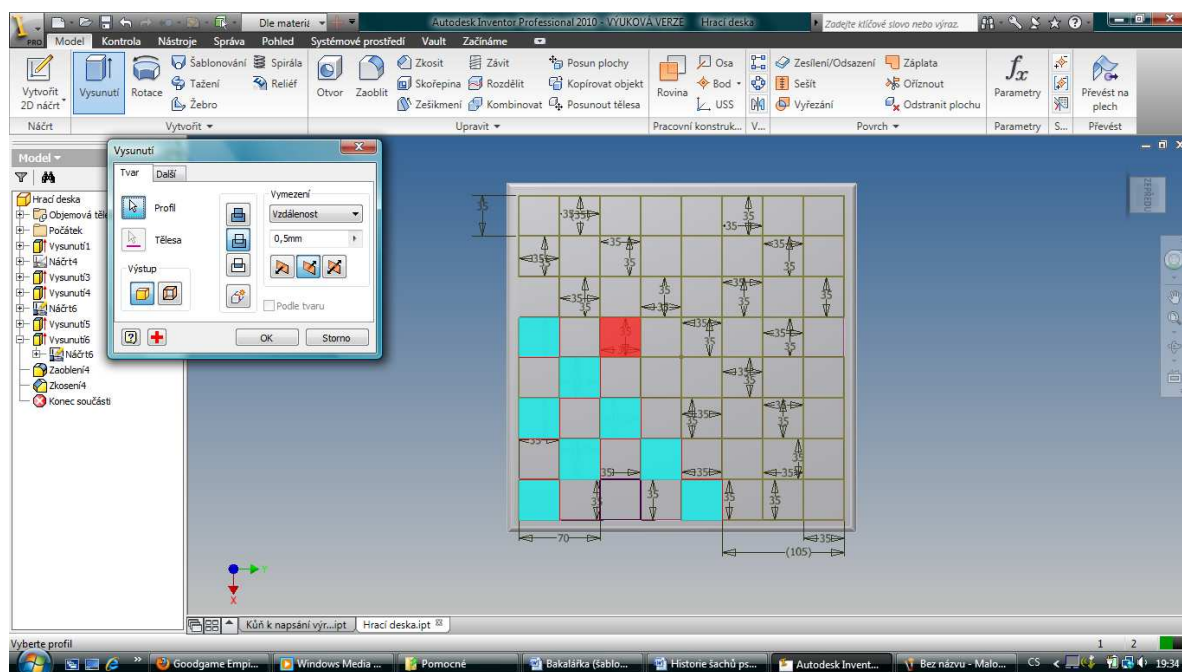
Konstrukce herního plánu se až do vytvoření prvního náčrtu nelišila od postupu při výrobě jezdece. Byl vytvořen náčrt, ve kterém se vytvořil čtverec o rozměrech $300 \times 300 \text{ mm}$. Ten byl následně vysunut do výšky $3,8 \text{ mm}$. V takto vymodelovaném čtverci byl umístěn další čtverec ($280 \times 280 \text{ mm}$). Celý tento čtverec se vsunul do desky, tím vznikl okraj oddělující

pole od okraje desky. Do tohoto čtverce se umístily vodorovné a svislé čáry v rozestupu 35 mm Obr. 2.11.



Obr. 2.11 Tvorba polí.

Tyto čáry vytvořily čtverečky – herní políčka. Každé druhé políčko se funkcí Vysunutí – Rozdíl zasunulo do hloubky desky Obr. 2.12. Vznikly tak dva druhy polí. Nyní se provedlo už jen sražení ostrých hran funkcí Zkosit.



Obr. 2.12 Vysouvání herních polí.

3. VÝROBA ŠACHOVÉHO SETU S VYUŽITÍM MODERNÍCH METOD A TECHNOLOGIÍ

Šachový set se skládá ze dvou částí: ze samotných hracích figur a z herního plánu. Figury byly vytvořeny aditivní technologií Rapid Prototyping a herní plán byl vyroben pomocí třískové technologie obrábění – frézování.

3.1 Technologie Rapid Prototyping

Jedná se o aditivní technologie. Pomocí metod RP je možno vytvářet trojrozměrné modely, obvykle ze syntetického materiálu (plastu), kovových prášků, nebo fotopolymerů. Principem je rozložení počítačového modelu na tenké vrstvy. Materiál je po tenkých vrstvách přidáván, po dokončení každé vrstvy se model posune o krok, tloušťku této vrstvy. Výsledkem tisku je hmotný 3D model [7,8].

K základním metodám RP patří:

SLS - Selective Laser Sintering,

SLA - Stereolitografie,

LOM - Laminated Object Manufacturing,

MJM - Multi Jet Modeling,

FDM - Fused Deposition Modeling.

3.1.1 Selective Laser Sintering

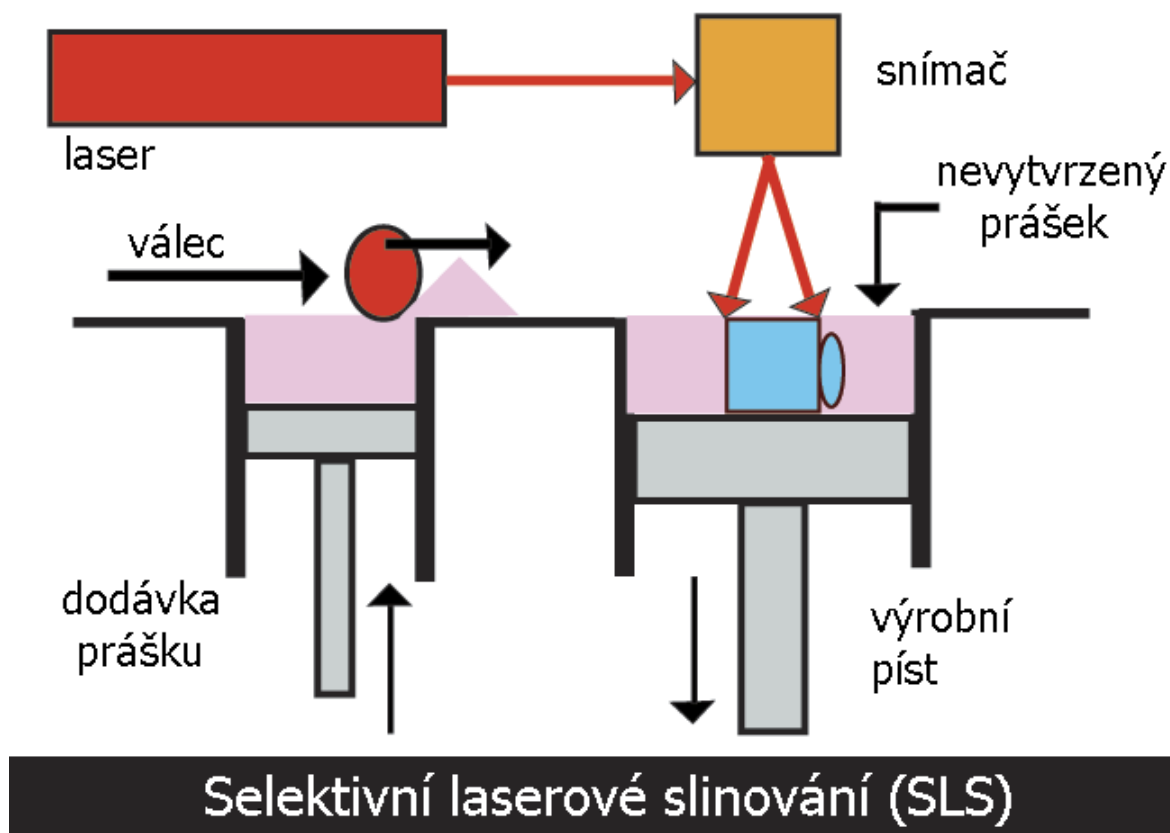
Selective Laser Sintering (selektivní laserové slinování) je metoda, využívající CO₂ laser. Na podkladovou desku je válečkovým mechanismem nanесena vrstva prášku, ten je působením laseru v požadovaném místě spečen Obr. 3.1. Po dokončení vrstvy nosná deska sjede o její tloušťku. Tloušťka vrstvy materiálu je obvykle 0,1 mm. Metoda SLS nevytváří tak hladký povrch jako ostatní metody [8,9,11,14].

Výhody:

- návratnost se dosahuje díky levnému stavebnímu materiálu,
- vyráběné díly mají vysokou pevnost a jsou používány pro zkoušky tvrdosti a funkčnosti v praxi.

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena stroje,
- nízká kvalita povrchu,
- energeticky náročné zařízení.



Obr. 3.1 Princip metody SLS [10].

3.1.2 Stereolitografie

Stereolitografie je nejstarší 3D technologie. Nosná deska je umístěna do fotopolymery (nebo pryskyřice) tak, že její povrch je o tloušťku budoucí vrstvy pod povrchem hladiny. UV laserový paprsek sleduje hranice a vytvrzuje dvojrozměrný průřez modelu z fotopolymery Obr. 3.2. Po dokončení vrstvy nosná deska sestoupí do fotopolymery o tloušťku další vrstvy. Tento proces pokračuje, dokud není model kompletní. Po dokončení je model vyjmut z fotopolymery, očištěn, umístěn do UV pece na konečné vytvrzení.

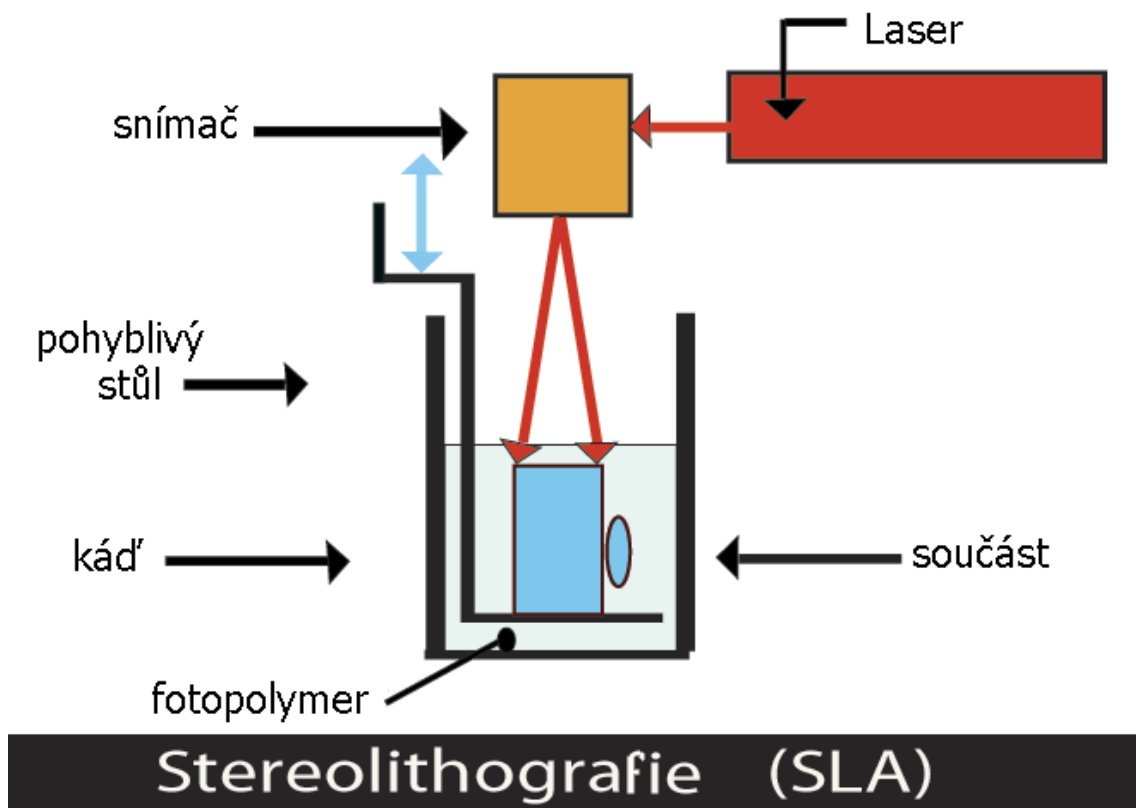
Modely jsou využívány k přípravě forem pro různé druhy odlévání. V lékařství slouží modely pro přípravu kloubních protéz dle individuálních požadavků pacienta [9,11,14].

Výhody:

- vysoká přesnost a jakost povrchu,
- výroba objemných modelů,
- výroba čirých modelů.

Nevýhody:

- nutnost dodatečně sušit a vytvrzovat model v UV komoře.



Obr. 3.2 Princip metody SLA [10].

3.1.3 Laminated Object Manufacturing

Laminated Object Manufacturing – je aditivní metoda, založená na pokládání fólií vrstvu po vrstvě a jejich lepení na sebe - spodní strana fólie je opatřena přínavým nátěrem. Přes každou vrstvu přejede válec, vyvíjející tlak potřebný ke spojení s modelem. Laser následně vyřeže obrys modelu Obr. 3.3, okolní materiál je rozdělen na čtverce. Přebytečný okolní materiál je po dokončení procesu odstraněn od modelu drátem nebo dlátem.

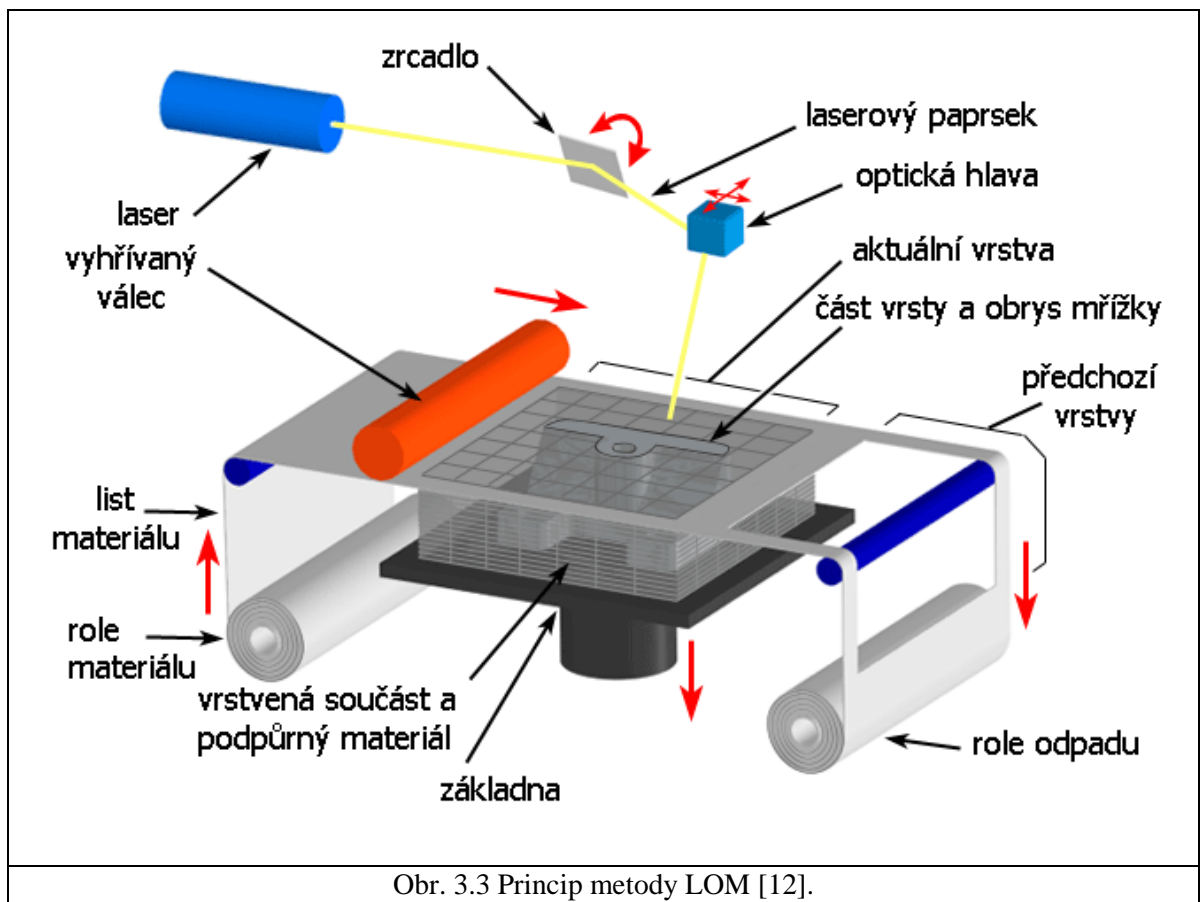
Modely vyrobené touto metodou dosahují nejlepšího povrchu z metod RP. Velké množství materiálu zůstává ve formě odpadu, což činí metodu málo ekonomickou. Materiálem fólií může být plast, papír, kov a další materiály ve formě fólie [8,12,14].

Výhody:

- výroba rozměrných modelů,
- možnost užití velké škály materiálů pro výrobu.

Nevýhody:

- velké množství odpadu,
- zdlouhavé odstraňování podpor,
- metoda je nevhodná pro výrobu tenkostěnných modelů.



3.1.4 Multi Jet Modeling

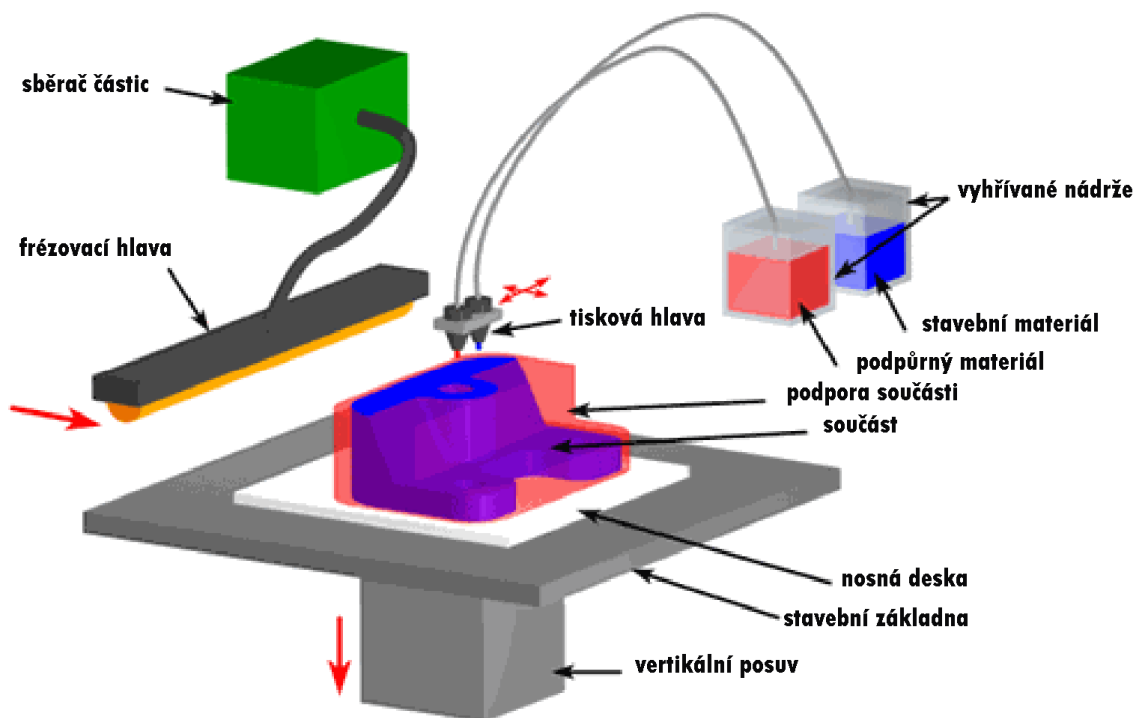
Metoda Multi Jet Modeling je založena na principu nanášení termoplastických materiálů a vosku po vrstvách tiskovou hlavou s 352 tryskami zajišťujícími rovnoměrné nanášení materiálu. Materiál je nanášen v roztaveném stavu, při tisku okamžitě ztuhne a vytvoří požadovanou vrstvu Obr. 3.4. Modelovací a podpurný materiál mají různou teplotu tání, podpory se odstraní nahřátím modelu [8,12].

Výhody:

- rychlost procesu (materiál ihned tuhne),
- ekonomičnost výroby,
- jednoduché řešení.

Nevýhody:

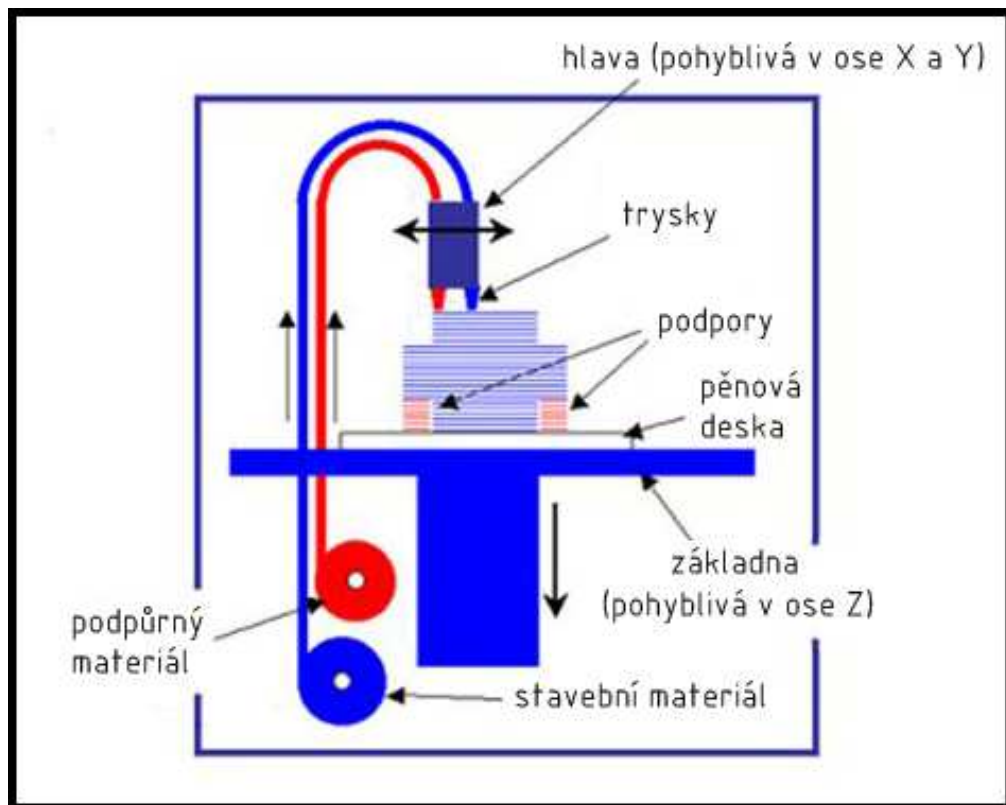
- malá dosahovaná přesnost modelů,
- výroba malých součástí.



Obr. 3.4 Princip metody MJM [12].

3.1.5 Fused Deposition Modeling

Fused Deposition Modeling byla použita pro výrobu šachových figur v této práci. Principem metody je natavení materiálu ve speciálně vytvořené hlavě a nanesení po jednotlivých vrstvách na nosnou desku Obr. 3.5. Software načítá *.stl modely, automaticky model rozdělí na velmi tenké vrstvy a vytváří data pro výrobu modelu. Při modelování je materiál vtlačován do trysky, kde je nataven nad teplotu tání a nanesen. K modelování se užívají dva stavební materiály – modelovací a podpůrný. Ty jsou dodávány ve formě drátů navinutých na cívce. Po nanesení jedné vrstvy nosná deska sestoupí o její tloušťku a postup se opakuje, dokud není celý model vytvořen. Tloušťka nanášené vrstvy je 0,254 mm. Po vyrobení modelu je materiál podpory mechanicky nebo chemicky odstraněn.



Obr. 3.5 Princip metody FDM [13].

Materiálem pro tisk jsou netoxické termoplasty ABS, ABS*plus*, polyamid, polykarbonát, polyetylen, polypropylen, nebo vosk [11,12,13,14].

Výhody:

- minimální odpad (tvořen jen materiálem podpor),
- používání netoxických materiálů,
- výroba prototypů vlastnostmi se blížící konečným produktům.

Nevýhody:

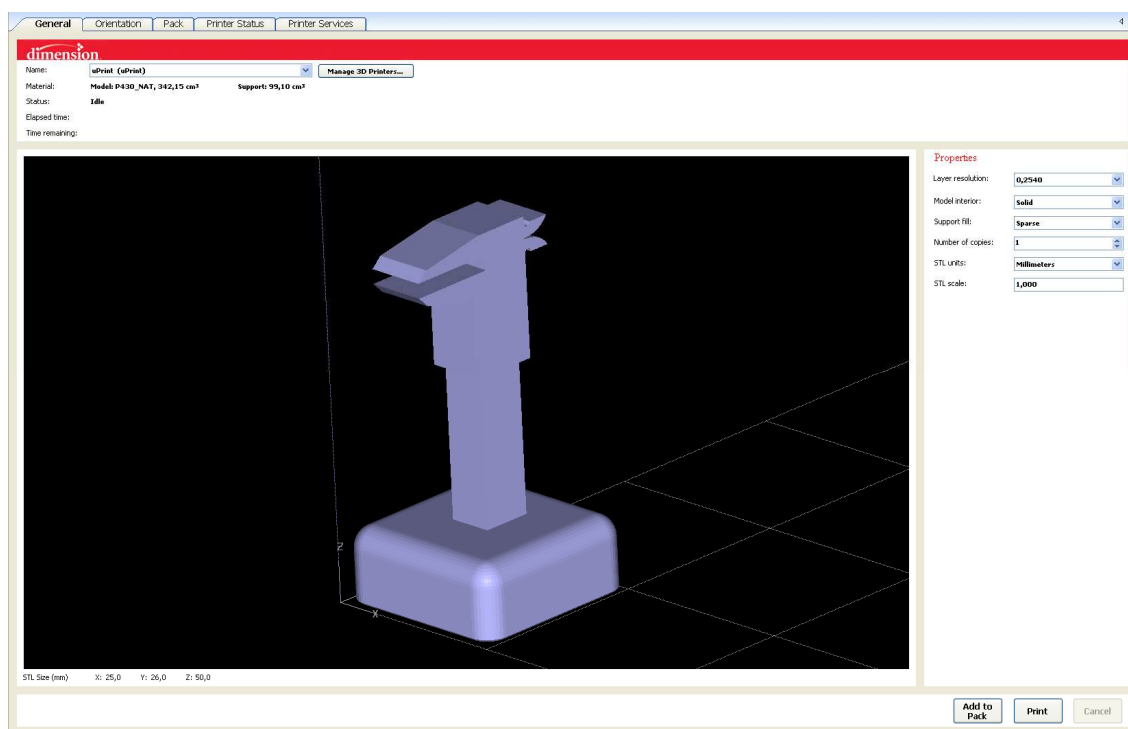
- hrubá struktura modelu,
- omezená přesnost,
- nemožnost urychlení procesu.

3.2 Výroba šachových figur

Vytvořené 3D modely figur se zpracovaly v programu CatalystEX a následně se vyrobily aditivní metodou Fused Deposition Modeling, na tiskárně Dimension uPrint. Takto vyrobené modely se zbavily podpůrného materiálu v ultrazvukové pračce a následně se očistily a nastříkaly.

3.2.1 Obslužný program CatalystEX

V programu CatalystEX se zpracovala data ve formátu *.stl pro tvorbu šachových figur. V této práci bude pro zjednodušení uvedeno pouze nastavení základních vlastností tisku pro tvorbu jezdce Obr. 3.6. Nastavení základních vlastností tisku pro ostatní šachové figury bude provedeno analogicky.



Obr. 3.6 Načtení modelu jezdce do programu CatalystEX [15].

Po načtení dat a ustavení jezdce do souřadných os, bylo zapotřebí nastavit vlastnosti pro tisk modelu Obr. 3.7.

Properties

Layer resolution:	<input type="text" value="0,2540"/>
Model interior:	<input type="text" value="Solid"/>
Support fill:	<input type="text" value="Sparse"/>
Number of copies:	<input type="text" value="1"/>
STL units:	<input type="text" value="Millimeters"/>
STL scale:	<input type="text" value="1,000"/>

Obr. 3.7 Vlastnosti k tisku jezdce [15].

Jednotlivé nastavované vlastnosti jsou:

Layer resolution – tloušťka vrstvy tisknutého materiálu, nabízí tři možnosti:

0,178 mm,

0,254 mm,

0,330 mm.

Tloušťka tisknuté vrstvy má vliv na výsledný povrch materiálu a čas tisku, čím menší je tloušťka vrstvy tím lepší je výsledný povrch modelu. Námi zvolená tloušťka je 0,254 mm.

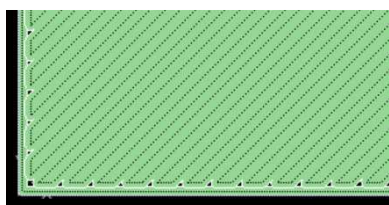
Model interior – způsob vyplnění modelu stavebním materiálem, je možno třemi způsoby:

Solid,

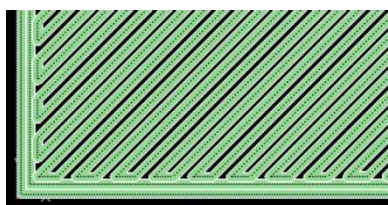
Sparse - high density,

Sparse - low density.

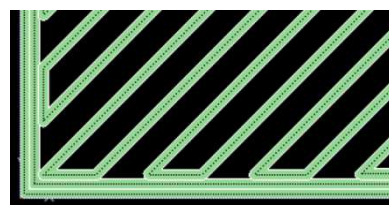
Varianta vyplnění modelu *Solid* Obr. 3.8 se užívá pro potřebu silného odolného modelu, model je vyplněn takřka celý. Výrobní čas je nejdelší, spotřebuje se nejvíce materiálu z nabízených metod, pro tisk šachových figur byla zvolena tato metoda. Pro součásti určené k dalšímu obrábění se užívá výplně *Sparse – high density* Obr. 3.9. Metoda zajistí dostatečnou pevnost a rychlejší čas tisku. Metoda *Sparse – low density* Obr. 3.10 má kratší stavební čas a spotřebuje málo materiálu, takto vyrobené modely slouží především k vizualizaci [15].



Obr. 3.8 Vyplnění *Solid* [15].



Obr. 3.9 Vyplnění *Sparse – hoch density* [15].



Obr. 3.10 Vyplnění *Sparse – low density* [15].

Support fill – způsob vyplnění materiálu podpurným materiálem. Podpurný materiál slouží jako opora pro stavební materiál v průběhu tisku. Po dokončení modelu je podpurný materiál odstraněn. Typy podpor jsou:

Basic,

Sparse,

Minimal,

Brake-away,

Surround.

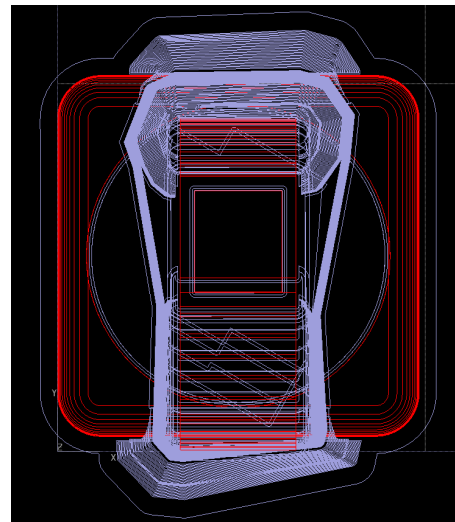
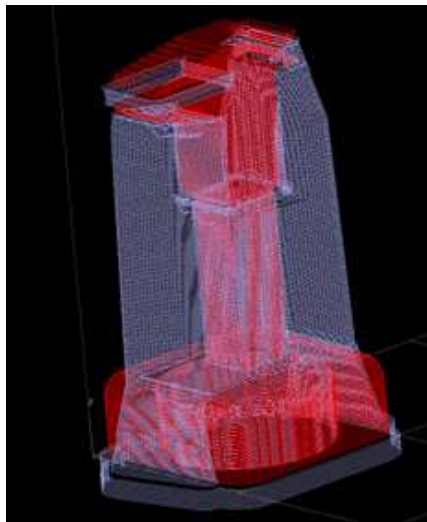
Jednotlivé typy podpor se užívají pro různě tvarované a složité modely. Pro výrobu šachových figur se zvolil způsob *Sparse* [15].

Number of copies – nastavení počtu kopií.

STL units – volba jednotek tisku. Nastavení milimetrů nebo palců, volíme milimetry.

STL scale – nastavení měřítka součásti vůči 3D modelu.

Po nastavení jednotlivých parametrů tisku se určila orientace modelu v pracovním prostředí komory 3D tiskárny a došlo k „rosekání“ modelu na jednotlivé vrstvy o tloušťce 0,254 mm. Program vykreslil součást určenou k tisku Obr. 3.11, modelovací materiál se vykreslil červeně. Materiál podpory se vykreslil šedou barvou [15].



Obr. 3.11 Zobrazení vygenerovaného modelu [15].

Takto vytvořený model se importoval na nosnou desku Obr. 3.12. Pro hru je třeba čtyř jezdců, proto byl výše vytvořený jezdec třikrát rozkopírován. Součásti se ustavili vhodně na nosné desce Obr. 3.13, tak aby nevznikla kolize [15].



Obr. 3. 13 Ustavení součástí na nosné desce [15].

Systém po zpracování dat umožňuje zobrazení vlastností tisku. Zobrazí celkový čas tisku, čas dokončení tisku s datem, spotřebu stavebního materiálu, podpůrného materiálu a aktuální množství materiálu, popřípadě zda je nutno v průběhu tisku materiál do kazet doplnit. To umožňuje vypočítat cenu modelu před tiskem. Hlavní informace tisku jsou zobrazeny v Tab. 3.1 [15].

Tab. 3.1 Hlavní informace o tisku importovaných modelů [15].

Celková doba tisku modelu	28,5 hod
Spotřeba modelovacího materiálu	241,101 cm ³
Spotřeba podpůrného materiálu	79,303 cm ³

3.2.2 Tisk šachových figur na tiskárně Dimension uPrint

Po zadání vlastností tisku se soubor poslal do tiskárny Dimension uPrint. Na samotné tiskárně se pouze spustil tisk tlačítkem Start model.

Tiskárna Obr. 3.14 slouží pro rychlou a přesnou výrobu pevných modelů 3D tiskem digitálního počítačového CAD modelu. Parametry tiskárny jsou uvedeny v Tab. 3.2. Vytisknutý model dosahuje pevnosti, rozměrové stability a tepelné odolnosti do 95°C. To umožňuje využití vytisknutých modelů v oblastech průmyslu, medicíny, architektury a pro výrobu vzorků dílů ve slévárenství. Vyrobené modely lze dále upravovat broušením, tmelením, barvením nebo pokovováním [16].



Obr. 3.14 Tiskárna Dimension uPrint [16].

Tab. 3.2 Parametry tiskárny Dimension uPrint [16].

Velikost modelovacího prostoru (X, Y, Z)	203 x 152 x 152 mm
Modelovací materiál	ABSplus plast barva slonovinové kosti
Podpůrný materiál	ABSplus plast hnědá barva
Objem tiskových kazet	490 cm ³
Napájení zařízení	230V/50Hz
Tloušťka tisknuté vrstvy	0,254 mm
Software	Catalyst

Před vlastním tiskem modelů tiskárna přehřála tiskovou komoru na 74°C. Po dosažení provozní teploty tiskárna spustila tisk modelů. Materiál se v tiskové hlavě natavil do polotekutého stavu za teploty 293°C. Po zahájení tisku tiskárna nanasla několik vrstev podpůrného materiálu na nosnou desku, což umožnilo snadné oddělení modelů od nosné desky po dokončení tisku. Modely byly vytvořeny na této vrstvě Obr. 3.15 [16].



Obr. 3.15 Vytvořené modely.

Materiál použitý k tisku byl ABSplus termoplast. Tento materiál je stabilní a neabsorbuje vlhkost. Je pevnější než standardní ABS materiál o 40%, jeho pevnost je 36 MPa. Využívá se pro tvorbu prototypů určených k testování mechanických vlastností [17].

Výhody 3D tiskárny Dimension uPrint:

- užití dvou zásobníkových komor, umožňující nepřetržitý tisk,
- technologie rozpustných podpor,
- vysoká spolehlivost modelování,
- práce s netoxickým materiálem,
- nízké provozní náklady,
- výkonnost zařízení [16].

3.2.3 Úprava modelů šachových figur

Vytisknuté modely šachových figur, byly pevně spojeny podporou s nosnou deskou. K jednotlivým figurám byly přichyceny podpory potřebné při jejich tisku. Figury byly manuálně odděleny od nosné desky. Malá velikost a křehkost jednotlivých figur znemožnila odstranění všech podpor. K odstranění zbylých podpor byla využita ultrazvuková pračka VGT 1990 QT. V pračce byl speciální chemický roztok a na umístěné součásti Obr. 3.16 působil ultrazvuk, který oddělil zbytek podpor od modelů. Nastavení pracovních parametrů pračky je na Obr. 3.17. Teplotní rozmezí lázně bylo 20 až 80°C, její vyšší nastavení urychlilo rychlost procesu [18].



Obr. 3.16 Ultrazvuková pračka VGT1990QT.



Obr. 3.17 Nastavení ultrazvukové pračky.

Získané modely byly po vyjmutí z pračky očištěny od chemikálií umytím v proudu vody. Další úpravou modelů bylo očištění a zahlazení povrchu součástí, provedené smirkovým papírem P – 600 z estetického důvodu. Na očištěný povrch figur byl nanesen tekutý tmel Obr. 3.18, který zahladil zbytkové nepřesnosti povrchu a vytvořil celistvou vrstvu. Tmel byl nanášen v několika tenkých vrstvách, které se musely nechat zaschnout po dobu alespoň 30 minut. Na polovinu šachových figur byla nanesena černá barva Obr. 3.19. Pro dosažení kvalitního lesklého povrchu se nanoslo několik tenkých vrstev.



Obr. 3. 18 Tekutý tmel.



Obr. 3. 19 Černá barva.

3.3 Výroba herního plánu

Herní plán pro šachový set byl vyroben třískovou technologií obrábění - frézováním. Data pro jeho výrobu byla získána v programu PowerMill.

3.3.1 Modelování v programu PowerMill

Jedná se o CAM (Computer Aided Manufacturing) software firmy Delcam určený pro CNC frézování na frézovacích strojích nebo centrech. Je určen pro 2,5 D, 3 D i pro pěti osé obrábění tvarových ploch Obr. 3. 20. Největší uplatnění má pro obrábění částí forem a komponentů pro letecký a automobilový průmysl [20,21].

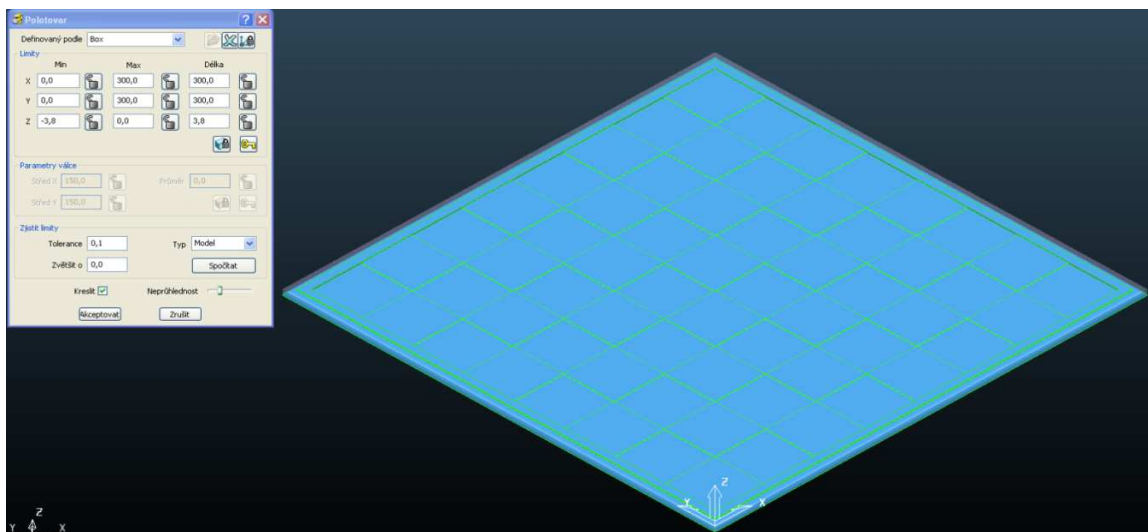
Mezi hlavní výhody programu patří:

- systém pojímá model jako celek, což umožňuje rychlý výpočet drah,
- silná editace dráhy nástroje, nájezdů a přejezdů,
- podporuje jedenáct typů nástrojů,
- nastavení radiálních a axiálních přídavek zvlášť,
- v nabídce přes 30 technologií obrábění,
- stimulování odebrání materiálu,
- instalace obsahuje přes 40 postprocesorů pro všechny známé řídicí systémy.



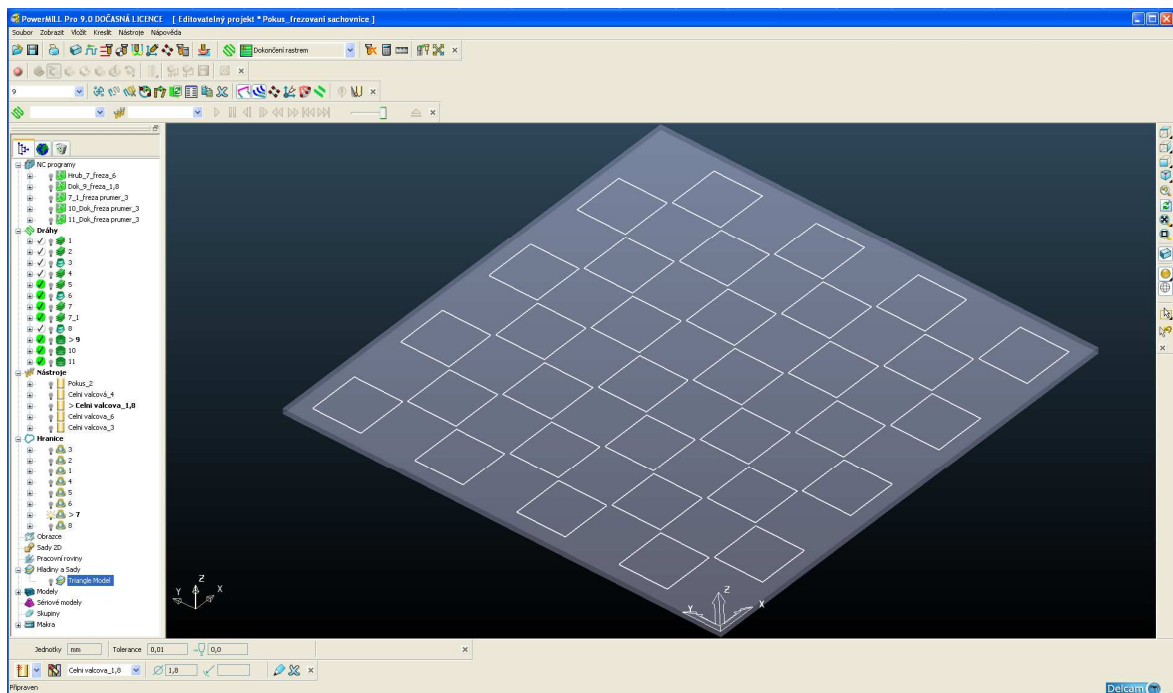
Obr. 3.20 Výroby tvarově složitých součástí [20].

Po načtení modelu do pracovního prostředí programu lze model stínovat, natáčet a jinak měnit jeho vzhled a orientaci. Pro vyrobený herní plán je požadavek malé drsnosti povrchu a design. Zahájení modelování proběhne uložením souboru. Následuje definice velikosti polotovaru, v tomto případě byl volen box Obr. 3.21, který byl limitován jednotlivými rozměry v osách.



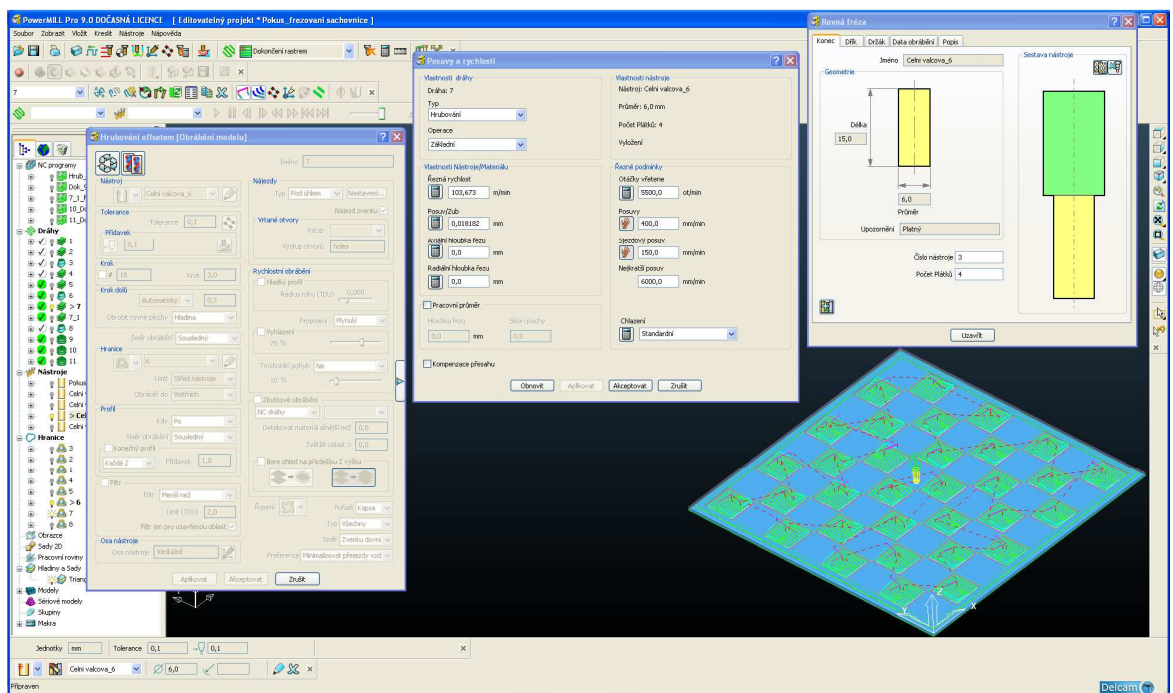
Obr. 3.21 Definice polotovaru.

Po definici polotovaru je zapotřebí nastavit nájezdy a přejezdy nástroje, aby se zabránilo kolizním stavům s obrobkem a optimálně snížil strojní čas. Před začátkem obrábění se nastaví počáteční a koncový bod. Po nastavení parametrů se přejde k vytváření strategií. Pořadí strategií závisí na způsobu obrábění součásti. Pro definici míst, kde se frézovalo, byly vytvořeny hranice Obr. 3.22. Nástroj při svém obrábění tyto hranice kopíruje.



Obr. 3.23 Hranice obrábění.

Po definování polotovaru byly zadány parametry nástroje, drážkovací frézy $\varnothing 6$ mm. První použitá strategie byla **hrubování offsetem**. Principem hrubování je odebrat co nejvíce materiálu v co nejkratším čase. Nástroj je po celou dobu obrábění v záběru a opisuje profil (vytvořené hranice) součástky. Po vyhrubování v dané výšce se nástroj posune v ose Z a hrubování pokračuje. Postup při nastavování hrubování offsetem je zobrazen na Obr. 3.23.



Obr. 3.23 Postup nastavení strategie hrubování offsetem.

Řezné podmínky nástroje uvádí výrobce v katalogu. Z pravidla je uváděna řezná rychlost nástroje v_c , která se přepočítá na otáčky n ze vztahu:

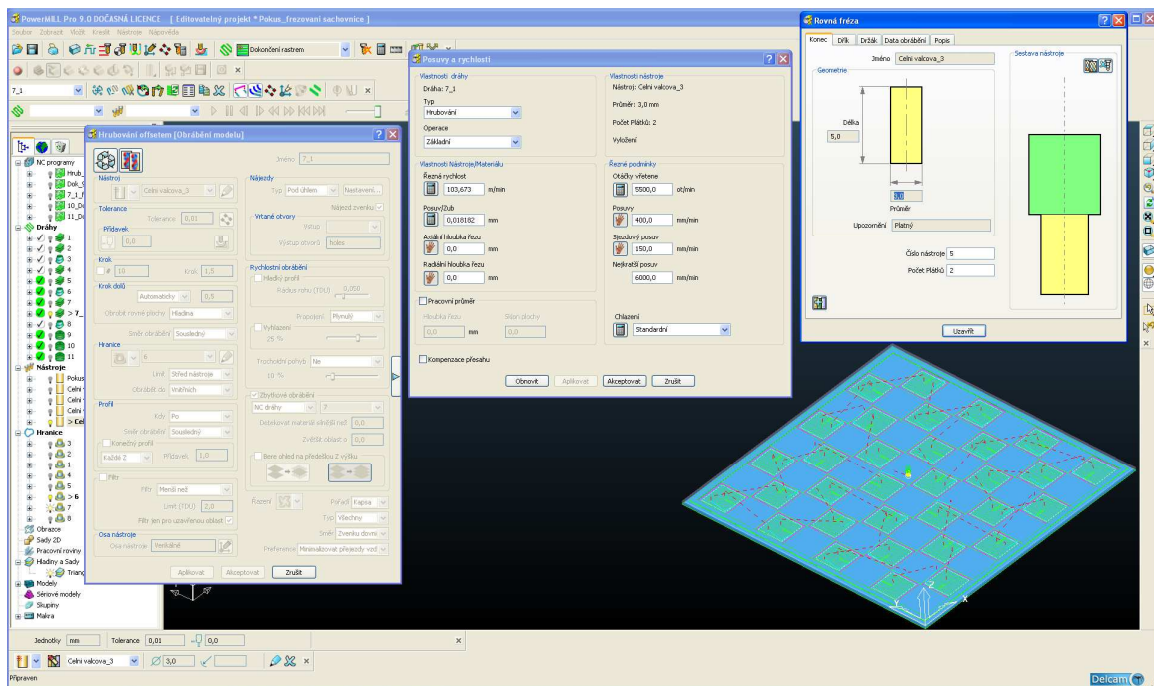
$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (3.1)$$

Kde jsou: n [min^{-1}] – otáčky vřetene,
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] – řezná rychlost,
 π [-] – konstanta,
 D [mm] – průměr řezné části nástroje.

Tab. 3.3 Řezné podmínky.

Způsob obrábění	Hrubování offsetem
Krok	3,0 mm
Krok dolů	0,7 mm
Řezná rychlost	103 m/min
Posuv/Zub	0,018 mm
Otáčky vřetene	5500 ot/min

Pro druhou obráběcí strategii byl nadefinován nový nástroj dvoubřitá drážkovací fréza $\varnothing 3$ mm. Zvolená obráběcí strategie bylo **hrubování offsetem – zbytkové obrábění** Obr. 3.24, které je založeno na definované dráze, detekuje oblasti, kde zůstal materiál po předchozím nástroji, např. rádius v rohu zapuštěného políčka. Parametry obrábění jsou uvedeny v Tab. 3.4.

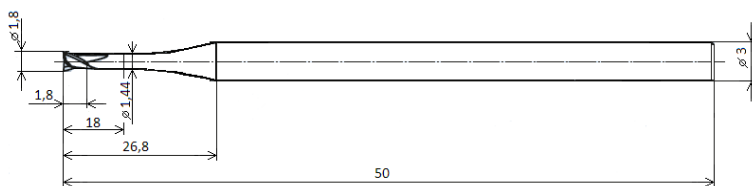


Obr. 3.24 Postup nastavení hrubování offsetem – zbytkové obrábění.

Tab. 3.4 Parametry obrábění hrubování offsetem - zbytkové obrábění

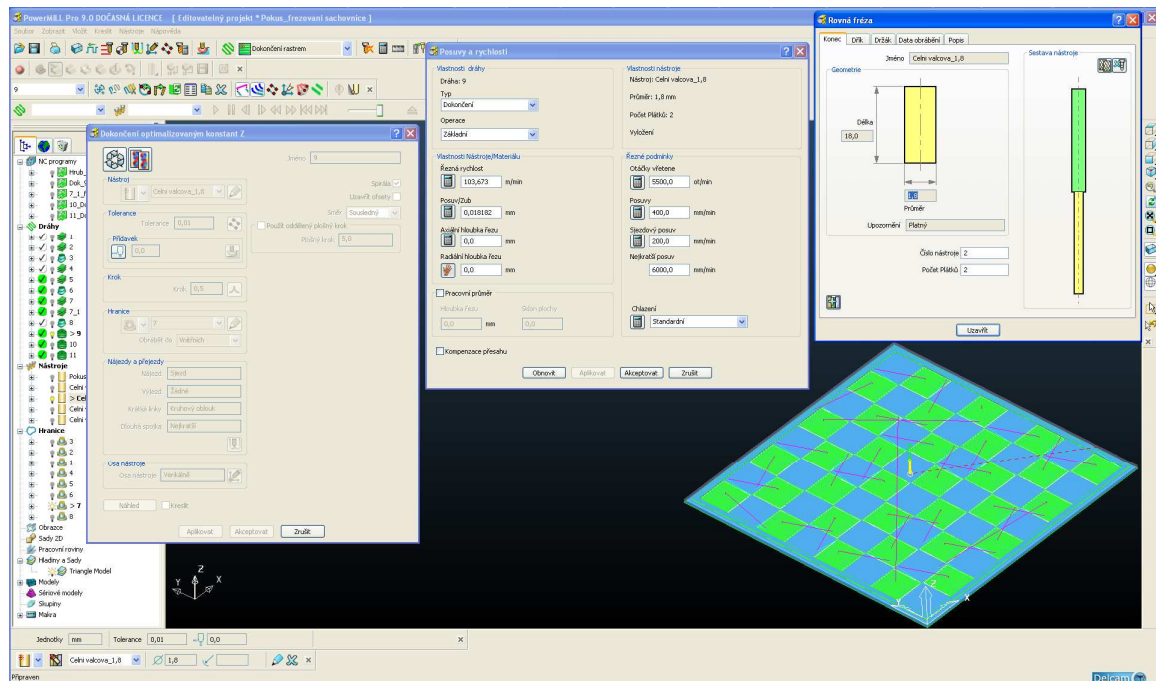
Způsob obrábění	Hrubování offsetem – zbytkové obrábění
Krok	1,5 mm
Krok dolů	0,5 mm
Řezná rychlost	103 m/min
Posuv/Zub	0,018 mm
Otáčky vřetene	5500 ot/min

Pro volbu strategie dokončení rovinných ploch je nutno vzít v úvahu požadovanou kvalitu výsledného povrchu v závislosti na strojním čase a geometrii nástroje. Z tohoto důvodu byl zvolen nástroj Micro-N-Cut velikosti 1,8 mm Obr. 3.25.



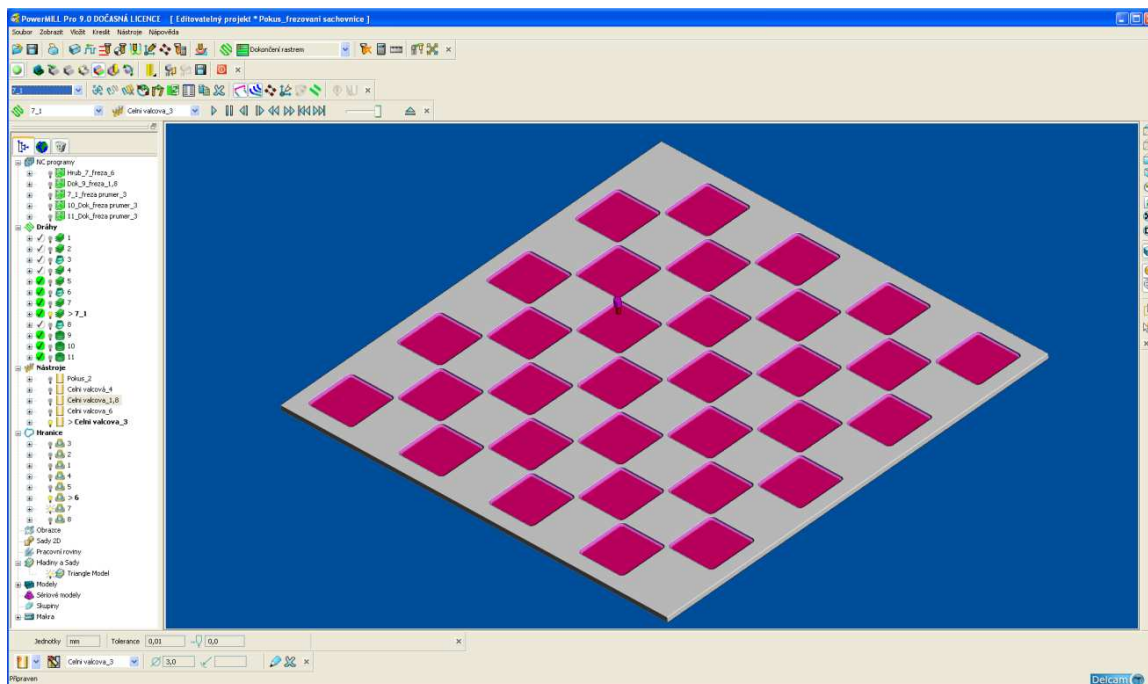
Obr. 3.25 Fréza Micro-N-Nut Ø1,8 mm [22].

Za dokončovací byla zvolena strategie **dokončování optimalizovaným konstant Z**. Strategie, je založena na postupném sjíždění po kroku v definovaných drahách a výškách Z. Postup nastavení strategie je zobrazen na Obr. 3.26.



Obr. 3.26 Postup nastavení dokončování optimalizovaným konstant Z.

Po namodelování strategií byla provedena kontrola kolizí a ověřena se verifikace Obr. 3.27.



Obr. 3.27 Verifikace – ověřování chyb.

Vytvořený program byl uložen jako CL data, která byla postprocesorem převedena do NC programu.

3.3.2 Frézování

Pro frézování herního plánu byla zvolena Frézka FV 25 CNC A Obr. 3.28 s řídicím systémem Heidenhain iTNC 530, výrobce O.S.O., spol. s.r.o., Olomouc. Jedná se o souvisle řízenou vertikální konzolovou frézku. Tato tříosá frézka obsahuje výškově přestavitelnou konzolu, která se pohybuje po vedení stojanu. Horizontální pohyb je vykonáván pracovním stolem. Vertikální pohyb vykonává pinola s vřetenem. Vřeteno je uloženo na stojanu, který je ustaven na základně stroje. Na pravé straně stroje je umístěn ovládací panel na otočném ramenu. Rozvodová skříň je umístěna v zadní části stroje. Pracovní prostor je zajištěn bezpečnostním krytem.



Obr. 3.28 Konzolová vertikální frézka FV 25 CNC A.

Konzolová vertikální frézka je vhodná pro frézování rovinných ploch, pro součásti s velkým podílem vrtacích, vyvrtávacích a závitových operací.

Technické parametry stroje jsou uvedeny v Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Technické parametry konzolové vertikální frézky FV 25 CNC A.

Stůl	
Rozměr pracovní plochy	300 x 300 x 1300 mm
Počet upínacích drážek	5 ks
Maximální zatížení stolu	200 kg
Pracovní zdvih	
Podélný – osa X	760 mm
Příčný – osa Y	355 mm
Svislý – osa Z	172 mm
Pracovní posuv	2,5 – 3000 mm.min-1
Rychloposuv	9000 mm.min-1
Vřeteno	
Upínací kužel	ISO40
Otáčky <i>n</i>	50 – 6000 min-1
Výkon <i>P</i>	5,5 kW
Stroj	
Celkový příkon <i>P</i>	22 kW
Hmotnost <i>m</i>	1500 kg
Zastavěná plocha	2750 x 2385 mm
Výška	2030 mm

Stroj je osazen ovládacím panelem OP 015, ten umožňuje ovládání stroje. Po zapnutí stroje a spuštění řídicího systému byly provedeny nájezdy referenčních bodů R. Nulový bod stroje, je nastaven výrobcem, stroj disponuje absolutním odměřováním.

Následně byl do stroje nahrán program, byly upnuty nástroje a stanoveny korekce. Byla spuštěna simulace pro kontrolu chyb.

Po provedení předešlých úkonů, se do pracovního prostoru stroje upnul obrobek. Rozměrnost obrobku znemožnilo jeho upnutí do svěráku, proto byly použity čtyři upínky. Před vlastním obráběním obsluha stroje stanovila nulový bod obrobku měřicí sondou.

Určením nulového bodu skončila přípravná fáze a bylo přikročeno k vlastnímu obrábění. Vlastní obrábění je zobrazeno na Obr. 3.29.



Obr. 3. 29 Obrábění herního plánu.

Při konečné fázi obrábění, dokončování optimalizovaným konstant Z, byl zlomen nástroj fréza Micro-N-Cut Ø1,8 mm, který způsobil vryp v jednom poli herního plánu. Nástroj byl nahrazen a operace dokončena.

Všechny ostré hrany herního plánu byly ručně odjehleny pilníkem.

4. TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude zhodnocena výroba šachového setu z ekonomického i technologického hlediska, budou vypočítány přibližné náklady na jeho výrobu.

4.1 Náklady na výrobu šachových figur

Šachové figury byly zhotoveny aditivní metodou FDM na 3D tiskárně Dimension uPrint. K tisku byl použit materiál termoplast ABSplus. Cena za tisku 1cm^3 materiálu je Fakultou strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně stanovena na 14,50 [Kč]. Množství použitého materiálu je zobrazeno v Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Množství použitého materiálu

Stavební materiál	241,1 cm^3
Podpůrný materiál	79,3 cm^3
Celkem	320,4 cm^3

Celkové náklady na tisk modelů jsou vypočteny ve vztahu (4.1).

$$C_{nt} = M_c \cdot C_m \quad (4.1)$$

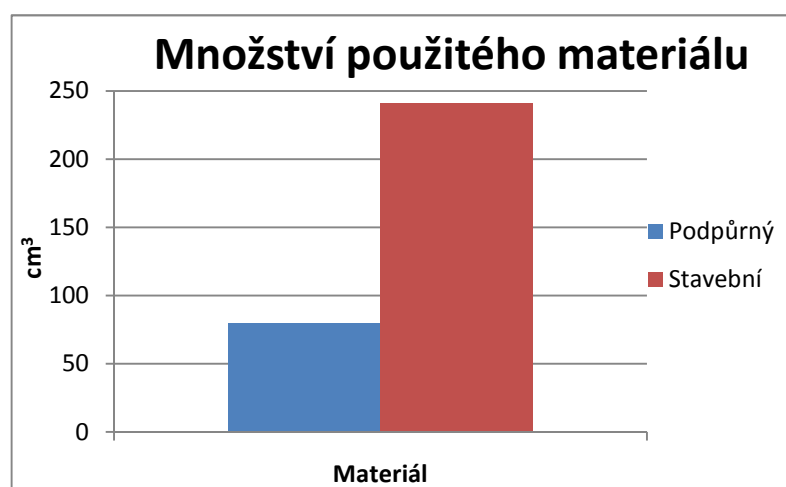
kde: C_{nt} [cm^3] - celkové náklady tisku,

M_c [cm^3] - materiál celkem,

C_m [cm^3] - cena materiálu.

$$C_n = 320,4 \cdot 14,40 = \underline{4\,613,8} \text{ Kč}$$

Na Obr. 4.1 můžeme vidět porovnání množství použitého materiálu při výrobě. Z grafické závislosti je patrné, že bylo použito více stavebního materiálu. Pokud by se při výrobě použilo více podpůrného materiálu, než stavebního byla by výroba neefektivní a prodražená. Volil by se jiný způsob výroby.



Obr. 4.1 Množství použitého materiálu.

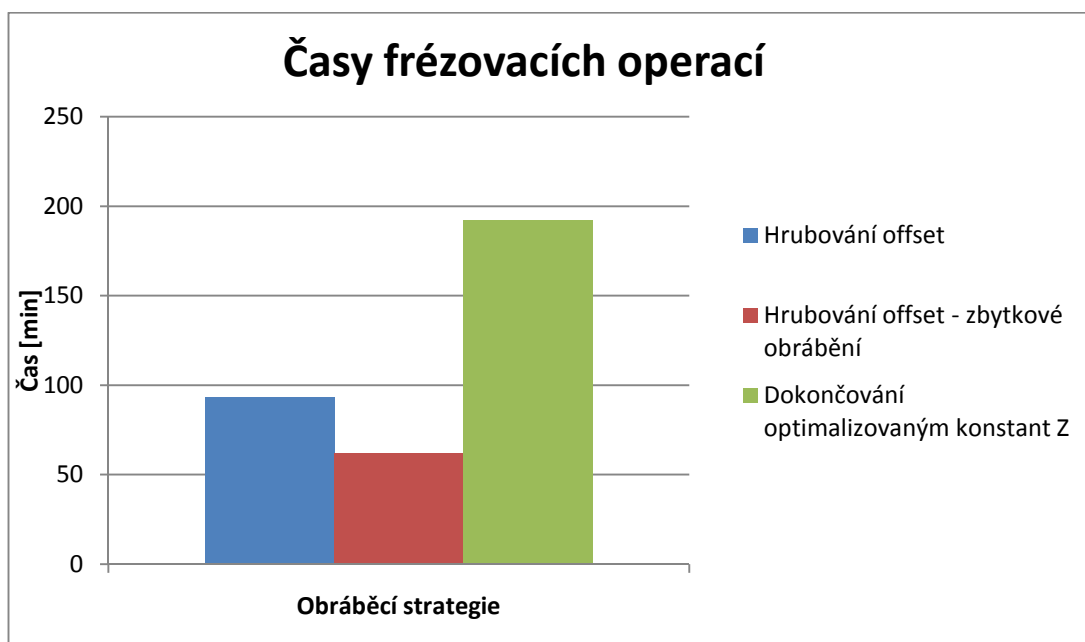
4.2 Náklady výroby herního plánu

Herní plán byl vyfrézován na konzolové vertikální frézce FV 25 CNC A. Cenová hodinová sazba stroje, která je stanovena ředitelem Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně je 1 400,- Kč. Výrobní čas strávený na frézce je v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Výrobní časy frézování

Obráběcí strategie	Čas obrábění [min]
Hrubování offsetem	113
Hrubování offsetem – zbytkové obrábění	62
Dokončování optimalizovaných konstant Z	192
Celkem	367

Doba trvání jednotlivých operací je znázorněna v grafické závislosti na Obr. 4.2.



Obr. 4.2 Časová náročnost operací.

Cena frézování na frézce byla vypočítána ze vztahu 4.2

$$C_f = \frac{t \cdot 1400}{60} \quad (4.2)$$

kde: C_f [cm³] - cena frézování,
 t [min] - čas frézování.

$$C_f = \frac{367 \cdot 1400}{60} = \underline{\underline{8\,540}} \text{ Kč}$$

Do nákladů na výrobu se musí započítat i cena použitých nástrojů Tab. 4.3

Tab. 4.3 Ceny nástrojů

Nástroj	Požizovací cena [Kč]
Drážkovací fréza Ø6 mm	655
Drážkovací fréza Ø3 mm	436
Fréza Micro-N-Cut Ø1,8 mm	2 x 1 190
Celkem	3 471

Fréza Micro-N-Cut je do nákladů za nástroje započítána dvakrát, protože byla v průběhu frézování jedna zničena a nahrazena novým nástrojem.

Celkové náklady na frézování byly spočteny ze vztahu 4.3.

$$C_{nf} = C_f + C_{nn} \quad (4.3)$$

kde: C_{nf} [Kč] - celkové náklady frézování,

C_{nn} [Kč] - cena nástrojů.

$$C_{nf} = 8\,540 + 3\,471 = \underline{12\,011} \text{ Kč}$$

4.3 Náklady celkem

Celkové náklady na výrobu byly spočítány jako součet všech cen na výrobu dílčích částí, tedy jako součet ceny výroby šachový figur a herního plánu.

Celkové náklady jsou uvedeny ve vztahu 4.4.

$$C_n = C_{nf} + C_{nt} \quad (4.4)$$

kde: C_n [Kč] - celkové náklady na výrobu,

C_{nf} [Kč] - celkové náklady frézování,

C_{nt} [Kč] - celkové náklady tisku.

$$C_n = 12\,011 + 4\,613,8 = \underline{16\,624,8} \text{ Kč}$$

Ze vztahu 4.4 vyplývá, že celkové náklady na výrobu činí 16 624,8 Kč.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvoření šachového setu za pomoci moderních CAD/CAM technologií. V práci byl popsán parametrický program Autodesk Inventor, návrh a způsob modelování šachové figury jezdece. Ostatní šachové figury byly modelovány obdobně. Předlohou pro šachové figury byly reálné technické součásti, jako jsou vrtáky šrouby, oboustranně osazené hřídele atd. Dále byly popsány základní aditivní technologie Rapid Prototyping, které se z ekonomického hlediska hodí pro výrobu prototypů a kusových součástí. Modely šachových figur byly vytištěny na tiskárně Dimension uPrint, kterou vlastní Fakulta strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně. Cena tisku šachových figur byla 4613,8 Kč. Vytisknuté modely byly dále opracovány (tmeleny, broušeny) a finálně nastříkány. Obráběcí strategie pro frézování herního plánu byly vytvořeny v programu PowerMill. Herní plán byl vytvořen z kovu, ale z estetického hlediska by se mohlo přistoupit i k užití dřeva, plastu či kompozitu. Doba frézování herního plánu byla 367 minut. Při dokončovací strategii obrábění došlo ke zlomení řezného nástroje.

Pro výrobu herního plánu by se místo technologie frézování mohly použít jiné metody, například obrábění paprskem laseru, které by ušetřilo výrobní čas a tedy i cenu. Tímto způsobem výroby by se za stávajících hodinových sazeb značně ušetřilo. Celková výrobní cena šachového setu vychází dle výše uvedených výpočtů na 16 624,8 Kč. Herní šachový set je prakticky využitelný, ale může sloužit i jako dekorativní prvek.

Všechny cíle bakalářské práce byly splněny, aktuální vzhled šachového setu je vidět na Obr. 5.1.



Obr. 5.1 Šachový set.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. GIŽYCKI, J. *Šachy všech dob a zemí*. Praha: EDICE KOTVA, 1975. 476 str. s. 1-52. ISBN.
2. VYSKOČILOVÁ, Radka. *Šachy*. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova universita v Brně, Fakulta pedagogická, Katedra výtvarné výchovy.
3. BASMAN, Michael. *Šachy*. Praha: Euromedia Group k. s. – Knižní klub, 2002. ISBN 80-242-0818-0.
4. VOCŮ, Michal. Šachový šampion poražen počítačem IBM. *Ikaros* [online]. 1997, roč. 1, č. 3 [vid.2012-03-19]. ISSN 1212-5075. Dostupné z: <http://www.ikaros.cz/sachovy-sampion-porazen-pocitacem-ibm>.
5. FIDE. Game of Chess and its History. Fide.com [online]. ©2012 [vid. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.fide.com/fide/fide-world-chess-federation.html>.
6. AUTODESK. Autodesk Inventor. *Autodesk.cz* [online]. ©2012 [vid. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/adsk/servlet/pc/index?siteID=551663&id=14579603>.
7. PŘISTÁL, Aleš. 3D tisk. *Chip* [online]. 2011, roč. 6, č. 12 [vid. 2012-04-28]. ISSN Dostupné z: <http://www.chip.cz/clanky/trendy/2011/12/3d-tisk>
8. PKMODEL. Technologie 3D tisku. *Pkmodel.cz* [online]. ©2006 [vid. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>.
9. METALS. What is SLS?. *About.com* [online]. ©2012 [vid. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://metals.about.com/library/weekly/aa-rp-sls.htm>.
10. MARTELLO. Rapid prototyping. *martello.co.uk* [online]. 2005 [vid. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.martello.co.uk/rapid_prototyping.htm.
11. QUICKPARTS. Selective Laser Sintering. *Quickparts.com* [online]. ©2012 [vid. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.quickparts.com/LowVolumePrototypes/SLS.aspx>.
12. CUSTOMPART. Laminated Object Manufacturing. *Custompartnet.com* [online]. ©2009 [vid. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>.
13. XPRESS3D. Fused Deposition Modeling. *Xpress3d.com* [online]. © 2005-2011 [vid. 2012-05-01]. Dostupné z: <http://www.xpress3d.com/FDM.aspx>.

14. BARCUCH, Jakub. *Využití moderních technologií při výrobě lopatek rybářských návnad*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
15. DIMENSION. CatalystEX 4.0.1. *dimensionprinting.com* [online]. ©2012 [vid. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.dimensionprinting.com/applications/rapid-prototyping.aspx>.
16. MCAE. Dimension uPrint. *Mcae.cz* [online]. ©2012 [vid. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/dimension-uprint>.
17. EVEKTOR. 3D tisk technologií FDM. *Evektor.cz* [online]. © 1999 - 2012 [vid. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.evektor.cz/3d-tisk-fdm.aspx>.
18. VOLNY. Ultrazvuková pračka. *Volny.cz* [online]. © 1999 - 2012 [vid. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.volny.cz/matejkatvs/prodej/naradi/ultrazvukovavana/ultrazvukovavana2.htm#VGT1990QT>.
19. CAD/CAM. PowerMill. *Vutbr.cz* [online]. © 2012 [vid. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://cadcam.fme.vutbr.cz/?page=powermill>.
20. DELCAM. PowerMill. *Delcam.cz* [online]. © 2008 - 2010 [vid. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.delcam.cz/produkty/powermill/7>.
21. EMUGE. Emuge Franken. *Emuge.com* [online]. © 2008 [vid. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.emuge.com/technical/brochure_milling.html.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
ABS	[-]	Akrylonitrilbutadienstyren
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CL data	[-]	Cutting Location data
CNC	[-]	Computer Numerical Control
FDM	[-]	Fused Deposition Modeling
FIDE	[-]	Federation Internationale Des Echeecs
LOM	[-]	Laminated Object Manufacturing
MJM	[-]	Multi Jet Modeling
NC	[-]	Numerical Control
Obr.	[-]	Obrázek
RP	[-]	Rapid prototyping
SLA	[-]	Stereolitografie
SLS	[-]	Selective Laser Sintering
Tab.	[-]	Tabulka
UV	[-]	Ultra Violet
apod.	[-]	a podobně
např.	[-]	například
*.stl	[-]	formát datového souboru
2,5 D	[-]	Two and a half dimensional
3 D	[-]	Three dimensional

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	Průměr řezné části nástroje
Cf	[Kč]	Cena frézování
Cm	[Kč]	Cena materiálu
Cn	[Kč]	Celkové náklady
Cnf	[Kč]	Celkové náklady frézování
Cnt	[Kč]	Celkové náklady tisku
Mc	[Kč]	Materiál celkem
n	[min ⁻¹]	Otáčky vřetena
t	[hod]	Čas frézování
vc	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
π	[-]	Konstanta

